



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

ÚSTAV INFORMAČNÍCH SYSTÉMŮ

DEPARTMENT OF INFORMATION SYSTEMS

**ŘÍZENÍ VEŘEJNÉHO OSVĚTLENÍ
NA PLATFORMĚ SMART CITY**

STREET LIGHT CONTROL ON SMART CITY PLATFORM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

RADEK JŮZL

Ing. JIŘÍ HYNEK, Ph.D.

BRNO 2023

Zadání bakalářské práce



145551

Ústav: Ústav informačních systémů (UIFS)
Student: **Jůzl Radek**
Program: Informační technologie
Specializace: Informační technologie
Název: **Řízení veřejného osvětlení na platformě Smart City**
Kategorie: Informační systémy
Akademický rok: 2022/23

Zadání:

1. Prostudujte oblast internetu věcí (*Internet of Things*, IoT) a koncept chytrých měst (*Smart City*).
2. Prostudujte problematiku řízení veřejného a venkovního osvětlení a prozkoumejte existující způsoby řízeného osvětlení, porovnejte je a uveďte jejich výhody a nevýhody.
3. Analyzujte současný stav řízení veřejného osvětlení na platformě Smart City firmy Logimic, zhodnoťte jeho výhody a nevýhody.
4. Dle výsledků analýzy z bodu 3 navrhnete na platformě Logimic vhodný způsob chytrého řízení světelných profilů (inspirací může být např. sledování výskytu osob v zónách v daných časových intervalech, světelné požadavky a limity jednotlivých zón).
5. Navržené řešení implementujte.
6. Proveďte testování funkčnosti a použitelnosti implementace na platformě Smart City firmy Logimic.

Literatura:

- Greengard, S. (2015). *The Internet of Things*. MIT Press.
- Kiritat, A., Krejcar, O., Kertesz, A., & Tasgetiren, M. F. (2020). Future trends and current state of smart city concepts: A survey. *IEEE access*, 8.
- Gagliardi, G., Casavola, A., Lupia, M., Cario, G., Tedesco, F., Scudo, F. L., ... & Augimeri, A. (2018, April). A smart city adaptive lighting system. In *2018 Third International Conference on Fog and Mobile Edge Computing (FMEC)* (pp. 258-263). IEEE.
- Sikder, A. K., Acar, A., Aksu, H., Uluagac, A. S., Akkaya, K., & Conti, M. (2018, January). IoT-enabled smart lighting systems for smart cities. In *2018 IEEE 8th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)* (pp. 639-645). IEEE.
- Petritoli, E., Leccese, F., Pizzuti, S., & Pieroni, F. (2019). Smart lighting as basic building block of smart city: An energy performance comparative case study. *Measurement*, 136, 466-477.
- Interní dokumentace firmy Logimic.

Při obhajobě semestrální části projektu je požadováno:
Body 1 až 4.

Podrobné závazné pokyny pro vypracování práce viz <https://www.fit.vut.cz/study/theses/>

Vedoucí práce: **Hynek Jiří, Ing., Ph.D.**
Vedoucí ústavu: Kolář Dušan, doc. Dr. Ing.
Datum zadání: 1.11.2022
Termín pro odevzdání: 31.7.2023
Datum schválení: 18.10.2022

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout chytré veřejné osvětlení na platformě Smart City. Navrhnuté řešení se nachází v systému ACADA, kde dochází k vygenerování světelného profilu. Generování světelných profilů je na základě výskytu lidí v dané oblasti. Uživateli je umožněno nastavit parametry hranic výskytu pro jednotlivá procenta svítivosti.

Abstract

The goal of this bachelor's thesis was to design smart public lighting on the Smart City platform. The proposed solution is located in the ACADA system, where the light profile is generated. The generation of light profiles is based on the presence of people in the area. The user is allowed to set the parameters of the occurrence limits for individual percentages of luminosity.

Klíčová slova

veřejné osvětlení, chytrá města, internet věcí, světelné profily, Angular, Typescript

Keywords

street light, smart cities, Internet of Things, light profiles, Angular, Typescript

Citace

JŮZL, Radek. *Řízení veřejného osvětlení na platformě Smart City*. Brno, 2023. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Ing. Jiří Hynek, Ph.D.

Řízení veřejného osvětlení na platformě Smart City

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením pana Ing. Jiřího Hynka, Ph.D. Další informace mi poskytli pracovníci firmy Logimic, s.r.o. Uvedl jsem všechny literární prameny, publikace a další zdroje, ze kterých jsem čerpal.

.....

Radek Jůzl

30. července 2023

Poděkování

Chci poděkovat svému vedoucímu práce Ing. Jiřímu Hynkovi, Ph.D. za časté konzultace, pomoc a zkušenosti, které mi během psaní bakalářské práce předal. Dále chci poděkovat pracovníkům společnosti Logimic, zvláště Ing. Michalu Valnému, Ph.D., za poskytnuté konzultace. Nakonec bych poděkoval své rodině a přátelům za podporu během mého studia a psaní této závěrečné práce.

Obsah

1	Úvod	2
2	Internet věcí a chytré město	3
2.1	Internet věcí	3
2.2	Chytré město	3
2.3	Velká data	4
2.4	Cloud computing	4
2.5	Topologie sítě	5
2.6	Města a využití konceptu chytrého města	6
2.7	Nejpoužívanější technologie v chytrém městě	6
3	Veřejné osvětlení	10
3.1	Světlo	10
3.2	Veřejné osvětlení v ČR	12
3.3	Firmy zabývající se chytrým veřejným osvětlením	14
4	Analýza	17
4.1	Logimic	17
4.2	Požadavky na řešení	18
4.3	Závěr analýzy	22
5	Návrh řešení	23
5.1	Průběh sestavení světelných profilů	23
5.2	Algoritmus	24
5.3	Porovnání světelných profilů	24
5.4	Případy užití	25
6	Implementace	28
6.1	Zvolené technologie	28
6.2	Detaily implementace	29
7	Testování	33
7.1	Ověření funkčnosti	33
8	Závěr	38
	Literatura	39

Kapitola 1

Úvod

Pojem chytrá města se v dnešní době čím dál více objevuje. Chytré město využívá informační technologie, které vedou ke zlepšení bezpečnosti a kvality života. Tento pojem úzce souvisí s internetem věcí (IOT). Díky internetu věcí můžeme od fyzických zařízení sbírat data a ovládat je. To vede například k jednoduššímu monitoringu, správě města nebo úspoře financí.

Tato bakalářská práce se bude věnovat jednomu tématu z měst, který každý zná a to je veřejné osvětlení. Za úkol je navrhnout a porovnat světelné profily. Zjistit, zda se to vyplatí a jaké jsou možnosti výběru technologie.

Kapitole 2 podrobně rozebírá pojem internet věcí a chytrá města. Rozebírá jejich budoucnost, jaké technologie a topologie se využívají v dnešní době v chytrých městech. Dále uvádí příklady, jaké koncepty chytrých měst, už jsou zařazené do infrastruktur měst. V kapitole 3 se rozebere, co je vůbec světlo a jak vzniklo umělé světlo jeho parametry. Dále se věnuje veřejnému osvětlení v ČR, jak funguje. Co je potřeba k jeho výstavbě a správě. Dále se zabývá problémem světelného znečištění. V podsekcí 3.2.3 popisuje rozdíly v dynamickém a chytrém osvětlení. Důležitou částí pro veřejné osvětlení je výběr zdroje světla. Tou se zabývá sekce 3.2.4. kde se nachází tři typy zdrojů světla. V poslední část kapitoly se věnuje firmám, které se zabývají chytrým osvětlením.

V praktické části v kapitole 4 je provedena analýza aktuálního stavu ve firmě Logimic. Je provedeno podrobné porovnání zdrojů světla a následně je provedena analýza požadavků. V kapitole 5 je popsán návrh řešení pro průběh sestavení světelných profilů a návrh pro jejich porovnání. V kapitole 6 je popsána vybraná technologie a detailně implementace. Fungování sestavení světelných profilů a další detaily testování je popsáno v kapitole 7. V závěrečné kapitole 8 je zhodnocení, zda vyplatí investovat do chytrého osvětlení za pomoci tvorby světelných profilů.

Kapitola 2

Internet věcí a chytré město

Tato kapitola se věnuje pojmu internet věcí (sekce 2.1), chytrému městu (sekce 2.2) a jeho technologiím (sekce 2.7). Dále se věnuje cloudovým službám v chytrém městě (sekce 2.4).

2.1 Internet věcí

Pojem *internet věcí* (nebo anglicky *Internet of Things*, zkratka *IoT*) definuje kniha *Real-Time Systems* jako připojení fyzických zařízení k internetu, které lze dálkově ovládat a zachycovat od nich data [33]. Stránka Oracle popisuje termín internet věcí jako síť fyzických zařízení, která mezi sebou komunikují a vyměňují si data přes internet [22]. Podle definic si můžeme představit například kamery, světla, senzory nebo kuchyňské spotřebiče, které jsou pomocí dalších technologií připojeny k Internetu. Díky tomu, víme jejich stav (pohyb, svítí/nesvítí) nebo je můžeme ovládat (natočení kamery). Spojením více zařízení do sebe nám vytvoří internet věcí. Toho využívá koncept chytrých měst, která internet věcí využívá. Konceptem chytrých měst se tato kapitola zabývá v sekci 2.2.

2.2 Chytré město

Chytré město (nebo anglicky *Smart city*) vzniklo jako koncept představ o tom, jak informační a komunikační technologie by mohly zlepšit život ve městě [29]. Chytré město si můžeme představit jako moderní část města, ve které se sbírají data ze senzorů a získané informace se využívají ke správě [46]. Alternativní, ale dost podobná definice, která chytrá města definuje jako město, které musí využívat informační technologie ke zlepšení kvality života a kvality v městských službách pro občany [39]. Chytré město je postaveno na konceptu Internetu věcí, který je představen v sekci 2.1. Poslední dobou se tento pojem dostává více do povědomí lidí. Zvláště díky úsporám energií, růstu velikosti a počet obyvatel měst. S tím jsou spojeny udržitelnosti městských služeb jako je například městská doprava, svoz odpadků nebo veřejné osvětlení.

2.2.1 Budoucnost chytrých měst

V roce 2055 má ve městech bydlet až kolem 66% světové populace [40]. V důsledku toho je potřeba zajistit lidem základní zdroje (energie, čistá voda, potraviny), ale zároveň udržet ekonomiku a nezničit životní prostředí. Proto se plánuje zřízení informačních a komunikačních technologií do měst, jinak řečeno vytvořit takzvaná chytrá města. Do měst se musí

instalovat nové technologie (řídící jednotky, komunikační jednotky), které musí být připraveny na senzory, na velké množství dat (*big data*) a také na umělou inteligenci. Výhodou chytrých měst je udržitelnost, prevence před přírodními katastrofami, větší bezpečnost a kvalitní život. S tímto ale souvisí ztráta soukromí [40]. Je to hlavní nevýhoda chytrých měst. Na základě biometrických informací a pomocí senzorů lze lidi sledovat, kde se pohybují a co dělají. Taková data se dají zneužít. Musí se vyřešit, jak data co nejlépe uchránit, aby lidé neměli obavy z nových technologií.

Jak už bylo zmíněno, technologie musí být připravená na umělou inteligenci. V chytrých městech by se umělá inteligence využila na zpracování velkých dat, která se probírají v sekci 2.3. Například efektivní využití by měla umělá inteligence v řízení dopravního systému [54]. V dnešní době některé semaforey umožňují dát příkaz volno ze směru, kde přijíždí vozidla s právem přednosti jízdy (sanitka, hasiči nebo policejní vozidlo) nebo upřednostnit vozidla MHD [45]. Semafor řízený umělou inteligencí bude rychleji a efektivněji řešit složitější problémy v dopravě. Dokáže předvídat dopravní situaci na základě zpracovaných dat z předešlých dní. Vyřešilo by to mnoho problémů. Například dlouhé kolony ve městech, hlášení dopravních nehod a následné přesměrování dopravy objíždkou nebo dlouhé čekání na semaforu [54].

V současné době se vytváří a upravují mezinárodní normy a standardy k chytrým městům. Stanovilo se zatím šest důležitých částí, kterým by se mělo chytré město věnovat. Jsou to energie, zdraví, vzdělání, mobilita, ekonomika a správa. Podle článku [40] je potřeba, aby normy a standardy byly správně definované. Jinak nastanou problémy mezi vývojáři a uživateli měst. Prozatím by měli vývojáři uznat současné normy a vybudovat města, která budou funkční a udržitelná.

2.3 Velká data

Termín *velká data* (nebo anglicky *big data*) definuje stránka Oracle jako data větší a komplexnější, která přichází s větší rychlostí a větším rozsahem [5]. Taková data jsou objemná a těžko zpracovatelná. Big data nám umožňují získávat lepší odpovědi, protože poskytují více informací. Taková data jsou i více důvěryhodná.

K IoT se připojuje čím dál více zařízení jako jsou senzory, kamery, které generují mnoho dat velkou rychlostí. A s příchodem strojového učení vzniká ještě více dat. Se spojením s cloud computingem dochází k efektivnímu a logickému zpracování těchto dat [39]. Což vede k lepším rozhodnutím. Cloud computingu se věnuje celá sekce 2.4.

2.4 Cloud computing

Cloud computing je poskytnutí počítačových služeb včetně serveru, uložště, sítě přes internet [39]. Jinak řečeno je to přístup k výpočetním zdrojům, které využívá společně více lidí.

Mezi hlavní výhody cloud computingu jsou náklady. S jeho použitím odstraníme náklady za nákup hardware, software a jeho následný provoz. Také během rychlé doby, lze navýšit výkon. Další předností je, že dochází k pravidelným vylepšením hardwaru. Důležitá je i spolehlivost, která je tu na vysoké úrovni. Dochází zde k zrcadlení dat na více místech. Cloud computing je zabezpečen. Chrání data a infrastrukturu před potenciálními hrozbami.

Podle článku [21] existují tři druhy cloudu. První je veřejný cloud. Hardware, software je poskytován a spravován poskytovatelem cloudu. Přístup ke službám je možný přes webové

rozhraní. Druhý typ je soukromý cloud. Ten využívá výhradně jedna firma a většinou bývá umístěn v sídle firmy. Lze si zaplatit hostování soukromého cloudu u poskytovatele těchto služeb. Poslední typ je hybridní. Je to kombinace předchozích dvou typů. Cloudy mezi sebou sdílí data. Umožňuje to větší flexibilitu a zabezpečení vysoké úrovně. Dochází zde k zrcadlení dat na více místech. Cloud computing je zabezpečen. Chrání data a infrastrukturu před potenciálními hrozbami.

Cloud computing se běžně používá a ani o tom nemusíme vědět. Nejčastěji je to u poslechu hudby, hraní her, sledování filmů. V chytrém městě, cloudová technika poskytuje uložště a analytický systém pro data shromážděná ze všech zařízení [28]. S rostoucím počtem obyvatel bude potřeba větší výkon.

2.5 Topologie sítě

Topologie sítě zachycuje zapojení prvků v počítačové síti a to v reálné a logické podobě. V IoT se používá více druhů topologií. Každá topologie přináší pro IoT jiné výhody. S tím se nesou ale i nevýhody těchto topologií. Na obrázku 2.1 je přehled jednotlivých topologií v IoT.

2.5.1 Hvězda

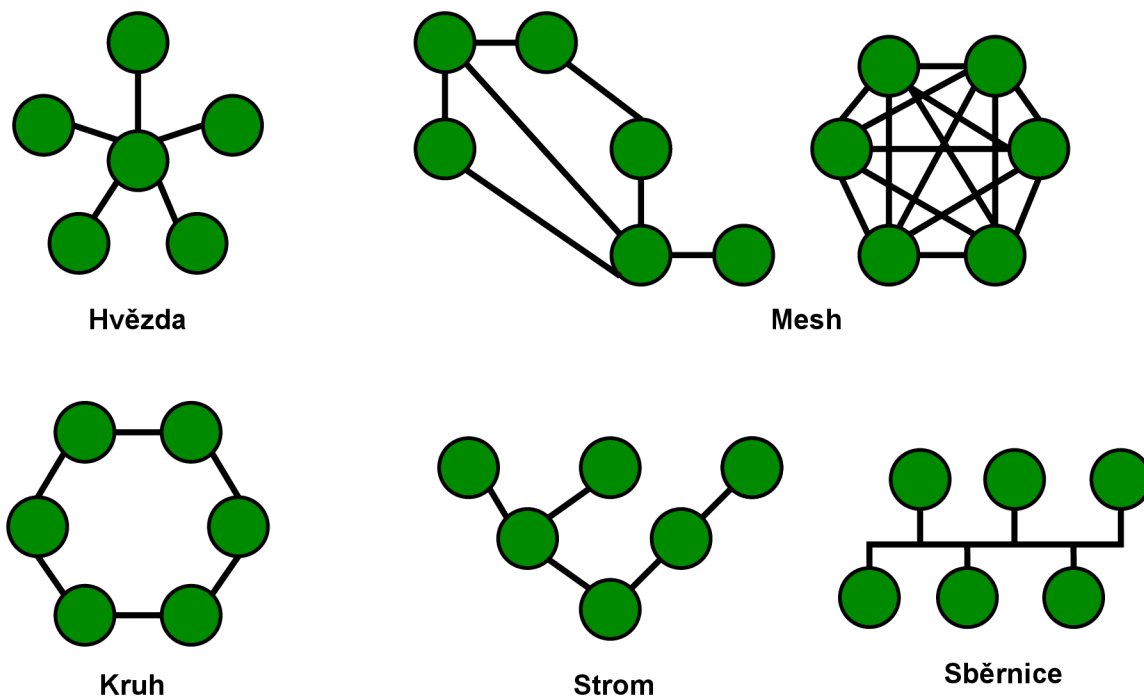
Hvězda (nebo anglicky *star*) je topologie, kde je centrální prvek a do něj jsou připojeny ostatní prvky, kterým říkáme uzly [43]. Je to jediná cesta mezi prvky. Výhodou této technologie je snadné rozšíření, kdy se vezme nový uzel a připojí k centrálnímu prvku. Při selhání uzlu nedojde k výpadku celé sítě. Hlavní nevýhodou je selhání centrálního prvku. Stane se, že přestane jít celá síť.

2.5.2 Mesh

Mesh můžeme také znát pod méně známým názvem jako smíšená topologie. Nachází se zde uzly, kde některé jsou přímo připojeny s více než jedním dalším uzlem [35]. Ještě se můžeme setkat s jedním typem a to s takovým, že jsou uzly propojeny každý s každým. Vzhledem k tomu, že je více cest kudy můžou data téct, tak je potřeba určité technologie k výběru cesty. A to směrování. Hlavní výhodou je redundance. Při výpadku některého z uzlů jdou data jinou cestou. Není zde ani centrální prvek, který by vyřadil celou síť. Do sítě je jednoduché přidat další uzel. Velkou nevýhodou je, že se musí použít směrování a ochrana proti zacyklení, což má za důsledek větší režii [49].

2.5.3 Dvoubodový spoj

S *dvoubodovým spojem* se spíše potkáme pod anglickým názvem *point-to-point*. Síť vytváří spojení mezi dvěma uzly [49]. Jedná se tedy o přímou komunikaci mezi uzly. Nejčastějším příkladem je telefon a sluchátka. Mezi výhodami tohoto je jednoduchost a velmi nízká cena. Největší nevýhodou pro IoT je nemožnost síť více škálovat. Je omezena pouze na dva uzly.



Obrázek 2.1: Znázornění topologií

2.6 Města a využití konceptu chytrého města

Města v dnešní době pomalu začínají koncept chytrých měst implementovat do své infrastruktury. Každé město zatím využívá jiné technologie a také na něco jiného. Není zatím žádný standard, jaké technologie by se měly používat. V tabulce V tabulce 2.1 je výběr pár měst, co koncept chytrých měst zařadilo do své infrastruktury [13].

Město	Použití
Amsterdam	Mobypark – majitelé parkovacích míst pronajímají lidem za poplatek
Barcelona	zavlažovací systém, IP kamery, monitoring dopravy
Buenos Aires	průtok řek – zabránění před povodní
Kodaň	měření kvality ovzduší
Madrid	senzory v odpadkových koších
New York	bezplatná Wi-Fi, nabíjecí stanice pro zařízení
Singapur	přístupové body, GPS senzory v taxíkách
Strafford	chytré měřiče na vodu a elektřinu, chytré čtečky

Tabulka 2.1: Tabulka měst a využití konceptu chytré město

2.7 Nejpoužívanější technologie v chytrém městě

Tato podsekcce se věnuje jednotlivým technologiím používaných v konceptu chytrých měst. Dále zmíní jejich výhody a nevýhody. Na konci najdeme tabulku 2.2 s přehledným porovnáním mezi technologiemi.

2.7.1 Bluetooth 5.X

Technologie *Bluetooth* je otevřený standard, který umožňuje bezdrátovou komunikaci dvou a více zařízení na krátkou vzdálenost [27]. Nejznámější použití této technologie je spojení mobilního telefonu s bezdrátovými sluchátky.

Verze 5 přišla se zásadním vylepšením od předešlé generace. A tou je podpora internetu věcí [7]. Za další výhodné zlepšení pro použití v konceptu chytrého města lze považovat menší spotřebu, 4x větší dosah, rychlejší a zabezpečenější přenos.

Frekvenční pásmo je 2,4GHz. Zabezpečení přenosu je obstaráno nejdříve autorizací. Uživatel potvrdí spojení a následně si zařízení mezi sebou vygenerují klíč, pomocí něho šifrují data [3]. U Bluetooth se můžeme setkat s profily. Profil je sada instrukcí, podle kterých se komunikuje.

2.7.2 IQRF

IQRF je bezdrátová technologie, která vysílá ve frekvenci v 868/916/433 MHz. Nevyžaduje žádnou infrastrukturu od externích poskytovatelů a ani žádnou licenci [23].

Připojením modulu *Transceivers* (nejčastěji zkracováno na *TR*) dokáže učinit jakékoli zařízení bezdrátovým [19]. Připojit se k jedné síti může až 240 zařízení (1 koordinátor + 239 uzlů). Díky obousměrnosti, zabezpečení a nízké spotřebě se dokonale hodí k použití v konceptu chytrého města [12].

Topologie sítě je mesh, více o této technologii v sekci 2.5.2. Navíc tato technologie obsahuje funkce pro automatické budování a obnovení sítě. Komunikace je šifrována pomocí AES-128. ¹ Jsou dva typy komunikace [12]. Unicast, kde paket je odeslán do jedno uzlu. Broadcast, kde je paket odeslán do všech uzlů.

2.7.3 LoraWan

LoRaWAN je softwarová vrstva postavená na LoRa. Podle článku [20] je LoRa je bezdrátová modulační technika a provozuje se na bezlicenčních frekvencích, například 915 MHz, 868 MHz a 433 MHz. Lze ho také provozovat na 2,4GHz, ale dojde ke snížení dosahu. LoRaWAN vyvíjí LoRa Alliance [14]. Je to síťový protokol navržený pro požadavky internetu věcí. Umožňuje obousměrnou, zabezpečenou komunikaci. Je postaven na topologii hvězda. O této technologii se dočtete v sekci 2.5.1. Brána je připojena k internetu a lze ji ovládat vzdáleně.

Článek [20] uvádí, že největší předností je umožnění použití více bran. Při výpadku některé brány přebírá vůdčí roli jiná brána. Další výhodou je geolokace. Nepotřebuje žádný modul GPS. Polohu určí podle triangulace, pokud ho zachytí alespoň tři brány. Nejlépe se hodí využít pro přenos dat malého objemu na velké vzdálenosti. Je dosti optimalizovaný, což nám zaručuje nízkou spotřebu energie a to až 10 let na knoflíkovou baterii. Komunikace je šifrována pomocí AES-128.

2.7.4 LTE-M

LTE-M je typ nízkoenergetického standardu vycházející z technologie LTE [26]. Byl vyvinut za účelem podpořit internet věcí. Článek [50] vysvětluje rozdíl mezi klasickým LTE a LTE-M. Klasické LTE je navrženo pro mobilní síť, kde neustále probíhá aktualizace informací o poloze, což má za následek rychlé vybíjení baterie. Zařízení připojená k internetu věcí posílají nebo přijímají malé datové pakety na základě nějakého spouštěče. A díky LTE-M,

¹https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-25385-0_19

které jim umožní přejít do úsporného režimu, když se nepoužívají. Pokrytí LTE-M nemusí být úplně všude, kde je LTE. Dost operátorů ale investovalo do sítě LTE-M. Také tato technologie lépe proniká do interiéru budov. A signál se jen tak lehce nezruší. Oproti klasickému LTE je LTE-M o dost pomalejší. Ale v současnosti pro zařízení připojená k internetu věcí je to dostatečné. Konkurence LTE-M je NB-IoT [26]. Ve společném srovnání je LTE-M rychlejší a jeho latence je o desítky nižší. K tomu ale vyžaduje větší šířku pásma a je dražší.

2.7.5 WiFi

WiFi je založen na standardech IEEE 802.11, které se běžně používají pro bezdrátové lokální sítě a přístupu k internetu [34]. To nám umožňuje mezi zařízeními vyměňovat data za pomoci rádiových vln. Má ochrannou známku neziskové organizace Wi-Fi Alliance. Článek [36] uvádí, že přenosu využívá pásma 2,4 GHz, 5 GHz a nově 6GHz. Tato pásma jsou rozdělena do více kanálů. V dosahu by měl na kanálu současně vysílat pouze jeden vysílač, jinak dochází k rušení. WiFi je nejrozšířenější technologií po celém světě. Je jen málo míst, kde bychom se s tím nesetkali. Najdeme ji například v hotelích, pracích, domácnostech, knihovnách. Nejčastější zařízení, které používáme je mobilní telefon, tablet nebo notebook.

Jedná se o nejbezpečnější technologii, kterou jsem si zde představili. Používá nově zabezpečení WPA3. K lokaci zařízení se využívá technologie Wi-Fi Location, která má přesnost menší jak metr [24]. Tato technologie nám umožňuje si vybrat mezi topologiemi, podle potřeb. Nejznámější je topologie hvězda a mesh. Novinky Wi-Fi 6 a Wi-Fi 6E umožňují připojit více zařízení najednou a mají zvýšenou datovou propustnost [4]. Ta se hodí například pro kamery, které nahrávají ve 4K rozlišení nebo streamování až v 8K rozlišení.

S konceptem internet věcí se nejvíce používá v domácnosti [24]. Kdy si uživatelé vytvoří chytrou domácnost. Taková chytrá domácnost jim zjednoduší a zautomatizuje denní život. Nejvíce to jsou chytrá světla, termohlavice, termostaty, elektrické zásuvky. Vzhledem k tomu, že mnoho výrobců instaluje WiFi do svých zařízeních a stále se vyvíjí nové generace Wifi, má nejlépe nakročeno prosadit se v konceptu chytrých měst.

2.7.6 Zigbee

ZigBee podle článku [41] je standard pro bezdrátovou komunikaci založený na protokolu IEEE 802.15.4. Dokáže komunikovat ve frekvencích jako jsou 868 MHz, 902-928 MHz a 2,4 GHz. Nejčastěji se jedná o mesh síť. ZigBee je cenově dostupnější v poměru spotřeby energie a nákladů oproti Bluetooth nebo Wi-Fi.

Článek [41] uvádí, že ZigBee se skládá z koordinátoru, směrovače a koncových uzlů neboli zařízení. Koordinátor je nejdůležitější prvek. Má na starosti tvorbu a zabezpečení sítě. Musí vybrat vhodný kanál, přidělit ID a adresu zařízením v síti. Směrovač se nachází mezi koordinátorem a koncovými uzly. Jsou zodpovědní za směrování zprávy mezi uzly a snaží se zprávu doručit. Koncové uzly mají za úkol vykonávat pokyny nebo předávat zjištěné údaje. Nedělají žádné složité operace proto, aby šetřili baterii. Z toho plyne, že komunikace je obousměrná. Mezi výhody patří malá spotřeba, nízké náklady, škálovatelnost a dokáže připojit až 6500 uzlů. Nevýhodou je menší zabezpečení. Není dobré ho použít pro soukromé informace.

	Bluetooth 5.X	IQRF	LoraWAN
Dosah	10 m – 240 m	200 m	2 – 20 km
Propustnost	125 kbps – 2 Mbps	20 kbps	10 kbps – 50 kbps
Spotřeba	Nízká	Nízká	Nízká
Topologie	Hvězda/Mesh	Mesh	Hvězda
Průběžné náklady	Nízké	Nízké	Nízké
Cena modulu	<150 Kč	<200 Kč	<200 Kč

	LTE-M	Wi-Fi	ZigBee
Dosah	Pokrytí operátorem	100 m	100 m
Propustnost	>1 Mbps	54 Mbps – 1,3 Gbps	20 kbps – 250 kbps
Spotřeba	Střední	Střední	Nízká
Topologie	P2P	Hvězda/Mesh	Mesh
Průběžné náklady	Střední	Nízké	Nízké
Cena modulu	170–450 Kč	200–300 Kč	<200 Kč

Tabulka 2.2: Porovnání technologií

Kapitola 3

Veřejné osvětlení

Kapitola rozebírá co je světlo (sekce 3.1), jak funguje veřejné osvětlení v ČR 3.2. Dále se věnuje firmám, které se zabývají chytrým veřejným osvětlením 3.3.

3.1 Světlo

Světlo neboli viditelné světlo je zjednodušeně viditelná část elektromagnetického záření [18]. Rozsah vlnových délek viditelného světla je 400 – 700 nanometrů. To odpovídá 750 – 420 terahertzů. Ve fyzice je světlo elektromagnetické záření jakékoliv vlnové délky [38]. Patří sem například gama, rentgenové nebo radiové záření. Vše je popsáno v elektromagnetickém spektru (sekce 3.1.2). Nejmenší jednotkou světla je foton, který kmitá rychlostí okolo 300 000 kilometrů za sekundu.

3.1.1 Historie světla

Mnoho vědců se pokoušelo zjistit, jak vzniká světlo. Už ve starověkém Řecku filozof Empedoklés tvrdil, že lidské oko vysílá signál do prostoru, aby detekovalo všechno záření. Ne všichni s touto teorií souhlasili. Jeden z odpůrců teorie Lucretius navrhl, že světlo je složeno z atomů, které cestují nekonečně rychle od svého zdroje [30].

Až v 17. století došlo k popsání podstaty světla, kdy se objevily dvě teorie o světle. První teorii představil Christiaan Huygens. Tvrdila, že světlo je podélné vlnění. Tuto teorii představil Christiaan Huygens. V druhé teorii Isaac Newton tvrdil, že světlo je tok částic. Až v 19. století došlo k průlomů teorie o světle [18]. Zjistilo se, že světlo je příčinou elektromagnetické vlny v úzké oblasti vlnových délek, které jsou současně tok fotonů. Tímto se potvrdily obě teorie ze 17. století.

3.1.2 Elektromagnetické spektrum

Elektromagnetické spektrum je popis všech možných světelných záření. O jaké záření se jedná lze zjistit pomocí vlnové délky a frekvence vln. Vlnová délka je vzdálenost mezi společnými body na samostatných vlnách. Frekvence určuje, kolik vln projde daným bodem za sekundu. Nejvíce energie má záření s největší frekvencí a nejkratší vlnovou délkou [30].

Viditelné světlo lze rozdělit do vlastního spektra vlnových délek pro každou barvu. Lidské oko a mozek vnímá vlnové délky a frekvence viditelného světla jako různé barvy. Například červená barva má nejdelší vlnové délky. Naopak zas fialová má nejkratší vlnové délky [30].

Seznam vln a jejich vlnových délek od největší po nejkratší vlnovou délku [30]:

- Rádiové vlny – mezi 100 000 kilometry a 1 metrem.
- Mikrovlny – mezi 10 centimetry a 1 milimetrem.
- Infračervené – mezi 1 milimetrem a 1 mikronem.
- Viditelné světlo – mezi 700 a 400 nanometry.
- Ultrafialové – mezi 400 a 10 nanometry.
- Rentgenové záření – mezi 10 nanometry a 10 pikometry.
- Gama paprsky – mezi 10 pikometry a 1 pikometrem.

3.1.3 Umělé světlo

Umělé světlo bylo vytvořeno za účelem využití části dne, kdy Slunce nesvítí. V dnešní době je to bráno jako samozřejmost. Můžeme svítit kdykoliv je potřeba, ale nebylo to tak vždy. Nejdříve to započalo ohněm. Později došlo k vytvoření petrolejových lamp a dokonce plynových lamp. V roce 1879 došlo k největšímu vynálezu a to žárovky s dlouhou životností. Vynálezce byl Thomas Alva Edison. A nevytvořil jen žárovku, ale celý proces svícení. Tento proces zahrnoval vytvoření elektrárny a rozvedení vytvořené elektřiny [8].

Princip fungování žárovky je v tom, že se rozzhává materiál pomocí průchodu elektrického proudu. Tento princip nevymyslel Thomas A. Edison, ale nýbrž Humphry Davy. V roce 1802 rozzhával dva plátky platiny, ale na velmi krátkou dobu. Teprve Thomas A. Edison dokázal vylepšit tento princip. Rozzhavil uhlík, který vkládal do skleněné baňky. V baňce muselo být dokonalé vakuum [8].

Žárovka se neustále vyvíjí. Lidé se snaží vytvořit dokonalý zdroj umělého světla. Mít co nejnižší spotřebu a co nejméně zatížit životní prostředí. V dnešní době dochází k přechodu k LED technologiím.

3.1.4 Kvantitativní a kvalitativní parametry

Kapitola se zabývá kvantitativními a kvalitativní parametry, které je dobré znát pro veřejné osvětlení [53]:

Kvantitativní parametry

- **Světelný tok ϕ [lm]** – množství energie, kterou světelný zdroj vyzáří za časovou jednotku.
- **Příkon zdroje P [W]** – hodnota udávající spotřebu elektrické energie za provozu.
- **Měrný světelný výkon K [lm·W⁻¹]** – udává účinnost světelného zdroje.

Kvalitativní parametry

- **Doba života t [h]** – celková doba života světelného zdroje. Většina výrobců udává střední dobu života.

- **Střední doba života t [h]** – doba, kdy z množiny testovaných zdrojů zůstává 50% funkčních (50% selhání).
- **Všeobecný index barevného podání R_a [-]** – jinak označován jako CRI. Udává shodnost vnímání barev stejného předmětu osvětlovaným daným zdrojem a normalizovaným zdrojem. Hodnoty se pohybují od 0 do 100 (100 je maximum rozpoznávaných barev).
- **Teplota chromatičnosti T_c [K]** – vyjadřuje barevné vlastnosti světla teplotních zdrojů.

3.2 Veřejné osvětlení v ČR

Veřejné osvětlení se využívá pro pohodlí lidí v nočních hodinách, zlepšení viditelnosti a dopravní bezpečnosti. V dnešní době se začalo i s osvětlováním památek a zajímavých míst. S bezpečím se pojí teplota chromatičnosti. Při vyšších teplotách chromatičnosti (chladné světlo) navozuje lidem větší pocit bezpečí.

3.2.1 Výstavba a správa

Koncepce veřejného osvětlení je tvořena v souladu se zákonem č.13/1997 Sb. a souborem norem ČSN EN 13 201, ČSN EN 12464-2, ČSN 73 6102 a ČSN 73 7507. Na začátku analýzy se zkoumá vzhled města v nočních hodinách, vytvořený veřejným osvětlením. Pokračuje se dopravní bezpečnostní analýzou, při které se popisují typy komunikací a intenzita dopravy. Dále se posuzuje rušivý vliv na místní obyvatelé, řidiče a takzvané světelné znečištění, které je popsáno v sekci 3.2.2.

Z analýzy se přechází do návrhu, kde se začínají vybírat světelné zdroje. Jakou budou mít teplotu chromatičnosti, geometrie osvětleného prostoru, umístění a výšku světelných zdrojů. Cílem analýzy a návrhu je stanovení celkových nákladů, a to i s jejich údržbou. Je doporučováno vytvořit takzvanou pasportizaci, je to technická inventura veřejného osvětlení. Je zde detailní popis jednotlivých lamp. V rámci koncepce veřejného osvětlení je i zvaženo chytré osvětlení. Pro dynamické osvětlení je dobré vytipování vhodných míst. Rozdíl, výhody a nevýhody chytrého a dynamického osvětlení je popsáno v sekci 3.2.3.

K správě a údržbě je pověřena servisní organizace dané obce nebo obec musí uzavřít smluvní vztah se subjektem vykonávajícím servis veřejného osvětlení. V rámci servisu se musí provádět pravidelná revize, preventivní kontrola, odstranění havárií (vandalismus, živelné pohromy) a monitoring. Při preventivních kontrolách dochází ke zkontrolování, zda lampy v pořádku svítí. Tento proces usnadní chytré veřejné osvětlení.

3.2.2 Světelné znečištění

Světelné znečištění (anglicky light pollution) je označení pro negativní jevy z umělého venkovního osvětlení [52]. Lidský organismus má pravidelný denní cyklus, do kterého patří spánek. Jednou z příčin špatného spánku je vystavení nadměrnému množství světla v noci. Působení způsobuje část světelného spektra o vlnových délkách pod 550nm – odpovídající modré a zelené barvě. Modrá složka spektra je součástí LED zdrojů, které vyzařují takzvané bílé světlo. Jak uvádí studie [37], dochází k poškození sítnice od LED zdrojů s buzením v nízkých modrých vlnových délkách. Jiná studie [31] tvrdí, že u obratlovců může docházet k fyziologickým následkům. A netýká se to jen lidí. V přírodě podle jedné studie

[42] dochází k ovlivňování procesů, které propojují sousední ekosystémy. Jiná studie [32] poukazuje na úbytek biomasy hmyzu o 75% v posledních 27 letech. A i přesto, že vyšší teplota chromatičnosti navozuje lidem větší bezpečí, se prosazuje používání LED s nízkou teplotou chromatičnosti (<3000K). U těchto LED je menší část světelného spektra pod 550nm. Jedna ze studií [51] tvrdí, že při ztlumení nebo úplném vypnutí veřejného světla nedochází ke zvětšení kriminality. Dochází jen k psychologickému navození bezpečí. Problém se světelným znečištěním lze vyřešit, jak už bylo zmíněno, snížením teploty chromatičnosti, ale také chytrým a dynamickým osvětlením, kterému se věnuje další podkapitola 3.2.3.

3.2.3 Dynamické a chytré osvětlení

Chytré osvětlení je podle článku [48] takové, které je ovládáno přes inteligentní systém, jako je internet věcí. První vlastností chytrého osvětlení je usnadnění provozu. Uživatel nastaví parametry svícení jako je intenzita jasu na určitý čas a případné zapínání/vypínání – ve většině případů toto řeší za uživatele samotný senzor. V některých případech lze nastavit teplotu chromatičnosti. Vše se může provést plně dálkově a z pohodlí domova. Je to díky tomu, že všechny lampy v sobě mají zabudované komunikační jednotky, které komunikují s gateway. Gateway pak komunikuje ven do internetu. Na základě poskytovatele veřejného osvětlení se data dále zpracovávají. A následně jsou uživateli zprostředkovány do webové nebo mobilní aplikace.

Není to jen o nastavení, jak se má svítit, ale o velmi přehledném zobrazení aktuálního stavu, detailu jednotlivých lamp – spotřeby, životnosti, servisních intervalů. Navíc se jednotlivé lampy a rozvaděče rozmístí po digitální mapě. Díky tomu vzniká přehledný pasport. Další výhodou chytrého osvětlení je monitoring. Jeho funkcí je správné fungování veřejného osvětlení. Systém sám upozorní na nefunkční lampu nebo nějaký jiný problém související s veřejným osvětlením. Toto všechno může uživatel spravovat a nastavovat sám nebo to může přenechat poskytovateli chytrého veřejného osvětlení.

Největší nevýhodu chytrého veřejného osvětlení je předem stanovená hodnota intenzity jasu. Stmívat lze za poklesu dopravy, pohybu chodců a zároveň dodržení rovnoměrnosti distribuce světla na povrch. Kvůli manuálnímu nastavení intenzity jasu hrozí, že tyto podmínky nebudou dodrženy. Chytré veřejné osvětlení nereaguje na aktuální stav. Tento problém lze vyřešit buď dynamickým osvětlením nebo částečně algoritmem. Dynamickému osvětlení bude věnována další podkapitola. Algoritmus sám sestaví plán osvětlení, někdy nazývaný profil svícení. Plán se skládá z časových rozsahů a intenzity jasu. Takovýto plán je vyhodnocen na základě dat ze senzorů pohybu. Plán může být sestavován automaticky nebo generovat se na vyžádání od uživatele. Plně automatický algoritmus je přesnější, protože se průběžně aktualizuje plán osvětlení. Na vyžádání se čeká, až sám uživatel si nechá vygenerovat nový. Takový plán je méně přesnější.

Dynamické osvětlení popisuje článek [48]. Je nadstavbou chytrého osvětlení. Navíc reaguje na aktuální podmínky. Jinak řečeno dynamické osvětlení reaguje na proměnu denního cyklu a způsob využití veřejného prostranství. Stále se musí dodržovat platné legislativy a normy, proto nesmí nastat situace, kdy by dynamické osvětlení úplně vypnulo veřejné osvětlení. Proto je spuštěn náhradní časový harmonogram, který v případě nějakého problému převezme svícení.

K reagování na aktuální situaci se musí využít více senzorů jako je soumrakový senzor, senzor pohybu, senzor stanovení rychlosti a směru pohybu, senzor přiblížení, kamerový systém. Na základě dat ze senzorů a předem daných limitních podmínek dochází k vyhodnocení a nastavení hodnoty intenzity jasu nebo popřípadě i chromatičnosti. Takovýto

system je ale velice nákladný. Proto ho není vhodné aplikovat na vytížené oblasti s vysokou intenzitou dopravy. A doposud dynamické osvětlení není v technických normách. Chytré i dynamické osvětlení lze využít i k jiným účelům. Jednoduše k nim připojit monitoring parkovacích míst, kde pak je jejich vidět vytížení. Lze ho také využít na měření dopravy a získávat aktuální data z místa. Zda se vyplatí přejít na chytré osvětlení se věnuje celá sekce 4.2.3.

3.2.4 Zdroje světla

Ve veřejném osvětlení jsou stále dost rozšířené vysokotlaké nebo nízkotlaké výbojové zdroje světla. V dnešní době je pomalu dohánějí LED zdroje, které i přes větší pořizovací cenu mají větší životnost a lepší měrný světelný výkon.

Rtuťové výbojky – do této kategorie zdrojů se zahrnují jednak zářivky lineární a kompaktní, tak i indukční výbojky. S nízkotlakými se lze setkat v kompaktních zářivkách veřejného osvětlení v malých obcích [48]. Vysokotlaké se staly minulostí pro veřejné osvětlení. Pro jejich okamžitou náhradu bez nutnosti jakékoliv úpravy svítidel existují speciální vysokotlaké sodíkové výbojky [48]. Nelze obě varianty použít pro inteligentní řízení. Doba životnosti je okolo 16 tisíc hodin.

Sodíkové výbojky – sodíková výbojka je druh výbojky, která používá elektrický výboj v prostředí sodíkových výparů k výrobě světla [1]. Jsou dvě varianty, jak u rtuťové. Nízkotlaké sodíkové výbojky dosáhnou plného svitu po 7 až 15 minutách hoření a znovu zapálení je možné během několika sekund. Zásadním nedostatkem je vyzařování monochromatického žlutého světla, takže předměty se jeví jako černožluté. Nikdy se moc nerozšířily jednak kvůli zkreslení barev, tak i vysoké ceně. Byly nahrazeny rtuťovými výbojkami a později vysokotlakými sodíkovými výbojkami. Vysokotlaké sodíkové výbojky jsou o dost menší a obsahují další prvky jako rtuť. I zde dochází ke zkreslení barev, ale barvy od sebe lze rozeznat [48]. Doba životnosti se liší podle varianty. Pohybuje se to okolo 16–28 tisíc hodin.

LED světelné zdroje – LED jsou polovodičovým zdrojem světla. Emitované světlo se pohybuje v úzké oblasti barevného spektra. Ve veřejném osvětlení se začalo používat po vynalezení modře svítící LED. Teplota chromatičnosti je v intervalu 2500K–8000K. Zásadní roli pro zajištění dlouhé životnosti je chlazení. Zvýšená teplota snižuje významně dobu životnosti. Doba životnosti LED je 50–100 tisíc hodin, nicméně vývoj je stále rychlý a parametry se vylepšují [48].

3.3 Firmy zabývající se chytrým veřejným osvětlením

V této sekci se nachází přehled několika firem, které se zabývají problematikou veřejného osvětlení a jeho následným inteligentním řízením.

3.3.1 DATmoLUX

Firma *DATmoLUX* se specializuje na problematiku osvětlení a jeho inteligentního řízení. Nabízí kompletní servis řešení. Společnost má vlastní vývojové oddělení pro oblast hardware i software a je členem IQRF alliance¹, kde má certifikované výrobky pro bezdrátové řízení svítidel [6].

¹<https://www.iqrfalliance.org/index.php>

Elektronika pro řízení a monitoring svítidla je vyvíjena tak, aby byla uplatitelná i pro ostatní druhy svítidel se standardními předřadníky. Mechanické spojení se svítidlem je přes univerzální rozhraní NEMA. Přenos dat ze svítidla do dispečerského pracoviště je zajištěn bezdrátově. Přenos mezi svítidlem a koncentrátorem je realizován na volné frekvenci a není zpoplatněn. V koncentrátoru se shromažďují všechny informace ze svítidel, které jsou navázány na daný koncentrátor. Data se pak jako blok přenáší do dispečerského software [17].

Stavebnice DATMO – množina všech prvků vyvinutou firmou DATmoLUX pro oblast veřejného osvětlení. Základní prvek je řídicí jednotka CPU DATMO RVO. Její náplní je sběr a zpracování dat z veřejného osvětlení. Pro napájení používají zdroj OVZ DATMO. Pro ovládání světel využívají RVO DC-2 DATMO, která se skládá z prvku DC-2 umístěném v rozvaděči a libovolného počtu jednotek DCD/2 umístěné v lampě. Dalším důležitým prvkem je snímač proudů SPP DATMO. Zde dochází k měření proudů kabelů jdoucích do veřejného osvětlení a vyhodnocení nestandardních výkyvů. Poslední prvek CPU DATMO KN moc nesoou s provozem veřejného osvětlení. Využívá se jako nadstavba pro sběr dat z podružných elektroměrů nebo sledovanost 8 binárních vstupů [16].

Software RVO DATMO RVO – umožňuje sběr dat o majetku veřejného osvětlení a umístění do mapového podkladu. O každé lampě je vedena databáze s popisem technických parametrů, její stav a údržba [15].

3.3.2 MinebeaMitsumi

MinebeaMitsumi je japonská nadnárodní společnost a významný výrobce strojních součástí a elektronických zařízení. Nově se zabývá inteligentním svícením. Společnost MinebeaMitsumi vyvinula vysoce účinné LED pouliční osvětlení s bezdrátovou funkcí společně s Iwasaki Electric. Je členem uCIFI². Ta má za cíl vyvinout jednotný systém mezi síťovými technologiemi [2].

PE Smart urban network je systém pro správu IoT, lze použít jakékoliv senzory, aplikace třetích stran, takže klidně vlastní vyvinuté. Tento systému se skládá z důležitých prvků. První z nich je **PE Smart CMS**. Je to platforma pro správu a ovládání připojených objektů. Pro rozhraní připojení objektů se používá zařízení **PE Smart Nodes**. **PE Smart Gateways** jsou směrovači, síťoví koordinátoři a sběrači dat. A posledním prvkem je **PE IoT Engine**. Komunikační zařízení pro vytváření interoperabilních, plně přizpůsobených IoT řešení a aplikací. To znamená schopnost systémů vzájemně si poskytovat služby a efektivně spolupracovat. Využívají otevřený protokol 6LoWPAN, který využívá IPv6 [11].

3.3.3 Signify

Signify dříve známá jako Philips Lighting je společnost zabývající se v oblasti osvětlení. Společnost přišla s mnoha inovacemi. V roce 2018 zabudovali LiFi do běžných kancelářských svítidel. LiFi je širokopásmové připojení prostřednictvím světelných vln. Využívá se v místech, kde nelze použít Wi-Fi nebo bezdrátový signál je špatný [9].

Mezi další inovací je inteligentní osvětlení. Využívají k tomu svoji platformu Interact IoT Platform. Je to systém propojených LED osvětlení a čidel. Při použití s jejich softwarem Interact City šetří čas a peníze. Umožňuje spravovat a ovládat chytré osvětlení měst. Na dálku lze zjistit závady, nastavit profily svícení, monitorovat spotřebu [10].

²<https://ucifi.org/>

Lampy, které jsou připojeny do této platformy, obsahují modul na připojení k LTE. Díky tomu komunikuje každá lampa zvlášť. Prodávají i lampy bez připojení do této platformy a ty využívají ostatní výrobci, aby z nich udělali chytré osvětlení za lepší cenu. Obě verze lamp mají v sobě senzory – detekce pohybu, detekce světla/noci [10].

Nevýhody k použití jejich platformy je, že nelze použít jiné výrobce lamp. Pokud by cena za lampy moc stoupla, není možnost si vybrat jinou. U různých výrobců lze i upravovat funkcionalitu nebo vzhled výsledné aplikace.

3.3.4 Logimic

Logimic se zaměřuje na realizaci projektů a produktů v oblasti IoT. V rámci této práce s nimi spolupracuji a jejich představení a současný stav, probírám v sekci 4.1.

Kapitola 4

Analýza

Kapitola nejdříve představí firmu Logimic, pro kterou je tato práce vyvíjena [4.1](#). Představí nám požadavky na řešení. Jako jsou uživatelé řešení a cíle práce [4.2](#) nebo náklady za veřejné osvětlení na základě technologií lamp. [4.2.3](#).

4.1 Logimic

Logimic¹ je česká firma, která se zaměřuje na realizaci projektů a produktů v oblasti IoT a cloudovým systémem určeným pro sběr dat a následné zobrazení pro uživatele. Zabývají se například monitoringem kvality ovzduší, monitoringem odpadků a pastí, dálkovými odečty energií, měřením kvality ovzduší a řízením veřejného osvětlení.

4.1.1 Aktuální situace

V současné době je systém provozován v cloudové platformě AWS od firmy Amazon. Data ze senzorů jsou ve formátu MQTT, která jsou za pomoci gateway posílána technologií LoRaWan. Dále jsou zpracovány pomocí služby AWS IoT Core. Podle obdržené zprávy dochází ke spuštění určitých obslužných funkcí. Na ukládání dat se využívá relační databázový systém PostgreSQL a také NoSQL databáze InfluxDB.

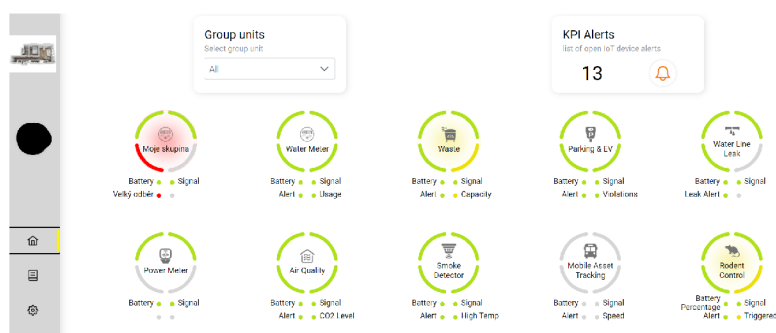
Do lamp jsou instalovány jednotky IQRf, které mezi sebou vytváří mesh síť. Data jsou dále posílána přes gateway do cloudu. Lze jednoduše rozšiřovat tuto síť a přidávat další různé senzory. Veřejné osvětlení dříve mělo svoji samostatnou platformu Light Logimic. Nově se nyní přechází na platformu ACADA (zkratka z anglického Asset Control and Data Acquisition). Důvodem je sjednocení do jednoho systému. ACADA slouží k integraci koncových zařízení, správě a řízení jednotlivých lokalit. Na obrázku [4.1](#) můžeme vidět, jak vypadá starší platforma. Na dalším obrázku [4.2](#) je zobrazen dashboard nové platformy.

¹<https://www.logimic.com/cs/>

Dashboard

Locations						
Name ↑↓	Address	Id ↑↓	Type	Online	Power	Prog
Kfely	Address	QelproLigi outdoor		●	●	🔍
Ke Koupališti	Address	QelproLigi outdoor		●	●	🔍
Svatopluk-propojení	Address	QelproLigi outdoor		●	●	🔍
Ležnická - Historické	Address	QelproLigi outdoor		●	●	🔍
Školní	Address	QelproLigi outdoor		●	●	🔍
Tovární	Address	QelproLigi outdoor		●	●	🔍

Obrázek 4.1: Dashboard – Light Logimic



Obrázek 4.2: Dashboard – Acada

4.2 Požadavky na řešení

Sekce představí jednotlivé uživatele řešení. Představí nám shrnutí požadavků. Nejvíce se bude zabírat náklady na veřejné osvětlení, kde se vyskytují různé technologie lamp. Bude zde i porovnání mezi městem a vesnicí. V závěru podsektce zhodnotí, kdy se vyplatí využít řízené LED moduly.

4.2.1 Uživatel řešení

Nejčastějším uživatelem budou vesnice a města, která chtějí ušetřit náklady za provoz a modernizovat veřejné osvětlení. U vesnic a měst s menším výskytem může dojít k velké úspoře nákladů za provoz. Nemusí se to jen týkat těch co mají pouze staré technologie lamp a chtějí modernizovat. Na dynamické osvětlení lze přejít i s LED moduly a pokud LED moduly umožňují snižovat jas, tak lze jen přidat modul na komunikaci.

4.2.2 Shrnutí požadavků

- Algoritmus vygeneruje světelný profil na základě dat ze senzorů.
- Algoritmus poběží na cloudové platformě.
- Po kliknutí na vytvoření profilu

- Přehledné zobrazení světelného profilu pro uživatele.

4.2.3 Náklady za veřejné osvětlení

Podkapitola rozebere jednotlivé náklady na veřejné osvětlení a zda se vyplatí přechod na LED lampy. Náklady pro řízené LED moduly budeme porovnávat mezi městem Brno a menší vesnicí. V tabulkách budou mezi sebou rozlišeny písmeny v závorce, kdy pro Brno to je *B* a pro vesnici je to *V*. Mezi náklady patří pořízení nových LED lamp nebo žárovek, servis a neustálá manuální kontrola lamp, zda svítí.

Podle [44] je doba od západu k východu Slunce v letních období kolem 8 hodin. Naopak v zimě je tato doba vyšší a to kolem 14 hodin. Dochází k tomu proto, že v létě je vidět déle kvůli slunovratu, kdy se Země nakloní směrem k Slunci a prodlouží se délka dne. V zimě je naopak kratší den, protože Země je nakloněna od Slunce. Tento údaj se týká pouze České republiky. Z toho vyplývá, že průměrná doba svícení je 12 hodin.

V porovnání lamp se nachází algoritmem řízená LED lampa, která na základě výskytu lidí má vytvořený plán, jakou hodnotou jasu bude svítit. Na výskyt lidí z nočního Brna jsem použil diplomovou práci s názvem Čas a prostor nočního města [56]. Výskyt lidí na vesnici jsem určil na základě svého pozorování v mé rodné obci Jiřice u Humpolce. Vesnice má kolem 1 000 obyvatel. Podle dat výskytu jsem určil na jaké procento jasu a po jakou dobu budou lampy svítit. Interval svícení je doba, kdy vychází a zapadá Slunce. O jakou dobu se jedná je popsáno v odstavci výše. Lampy v Brně budou svítit 5 hodin na 100%, 4 hodiny na 75% a 3 hodiny na 50%. Ve vesnici lampy budou svítit 4 hodiny na 100%, 2 hodiny na 75% a 6 hodiny na 50%. Jak je vidět, tak lampy ve vesnici svítí více na nižší procenta jasu. Dáno je to menším výskytem lidí.

Jednotlivé technologie, které porovnáваме, mají stejný parametr a to světelný tok. Ten je kolem 6 000lm. V porovnání se nachází modul LED, sodíková a rtuťová výbojka. Příkon včetně předřadníku má sodíková kolem 83W, rtuťová kolem 138W a LED modul z nich má jen 45W. LED modul se nachází v porovnání třikrát. Poprvé jako neřízený. Ten po celou dobu svítí na 100%. Zbývající dva moduly jsou řízené. Jeden patří pro město Brno a druhý pro menší vesnici. Nastavení jasu se během noci mění na základě výskytu lidí, které jsme si určili z pozorování a je popsáno v odstavci výše. V reálném prostředí bude algoritmus vycházet z dat senzorů, které zaznamenávají výskyt lidí. V porovnání u neřízených lamp se nebere v úvahu špatné spínání lamp – moc brzo nebo naopak se zapínají příliš pozdě. Například ve vesnici, kde byl dělán výskyt lidí, se spínání nezapíná skrz senzor a často se stává, že se lampy zapínají pozdě.

Na začátku výdajů je pořízení nových LED modulů a do stávajícího veřejného osvětlení výměna nové žárovky. V tabulce 4.1 je uvedena cena lamp a žárovek. Navíc musíme přidat cenu instalace, která je 500Kč. V ceně instalace je zahrnut jeřáb, dva lidé a nejsou zahrnuty případné výměny sloupů a zemní práce kolem toho.

Technologie	Cena (Kč)
Neřízená LED	2 500
Řízená LED (B)	3 500
Řízená LED (V)	3 500
Sodíková	500
Rtuťová	500

Tabulka 4.1: Cena za koupení a instalaci

Výhodou LED modulů je jejich životnost. Podle [48] je střední doba života LED modulů 50 000 hodin. U sodíkových žárovek je to 28 000 hodin a rtuťových jen 16 000 hodin. V tabulce 4.2 je vidět, kolik jednotlivé technologie vydrží let. Znovu se zde počítá s průměrnou dobou svícení 12 hodin. Výpočet pro počet let je: $(\text{střední doba životnosti} / \text{doba svícení}) / \text{počet dnů}$. Počet dnů je tu 365 dní (1 rok). U řízených LED modulů je životnost úměrná k tomu na kolik procent svítí. U výpočtu dochází ke snížení doby svícení a to u jasu na 50% až o polovinu a u 75% o jednu čtvrtinu. To znamená, že při 12 hodinách svícení, hodnota doby svícení u modulu v Brně klesne na 9,5 hodin a u modulu na vesnici na 8,5 hodin.

Technologie	Počet let
Neřízená LED	11
Řízená LED (B)	14
Řízená LED (V)	16
Sodíková	6
Rtuťová	4

Tabulka 4.2: Doba životnosti

Na veřejné osvětlení je určen speciální tarif elektřiny. Dle [55] se tento tarif nazývá C62d. Celková cena včetně DPH je 8 144,51 Kč/MWh (Megawatthodina). V tabulce 4.3 je vypočtena cena provozu dané technologie za 1 rok. K zjištění ceny za provoz je využit výpočet: $\text{příkon lampy} * \text{cena za 1Wh} * \text{počet dnů}$. Počet dnů je znovu 365 dní (1 rok). U řízených LED modulů dochází se snížením jasu, také ke snížení spotřeby. Spotřeba úměrně klesá se snižováním jasu. Při 50% jasu je spotřeba poloviční a u 75% je spotřeba o jednu čtvrtinu menší.

Technologie	Cena (Kč)
Neřízená LED	1 605,28
Řízená LED (B)	1 270,85
Řízená LED (V)	1 137,08
Sodíková	2 960,86
Rtuťová	4 922,87

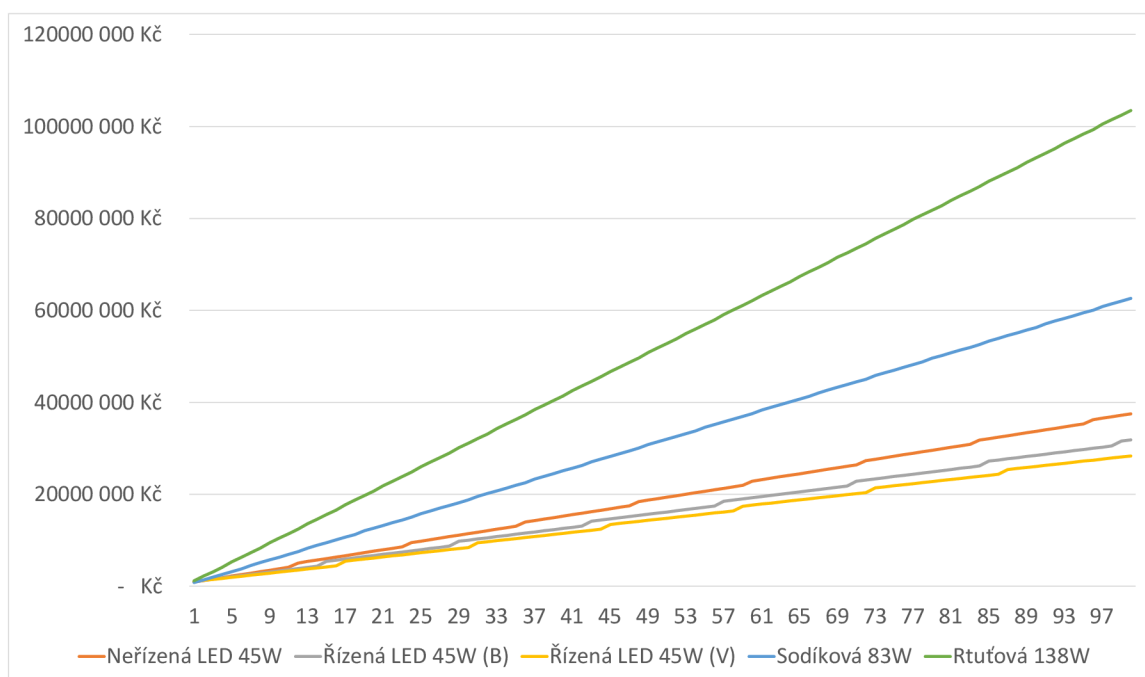
Tabulka 4.3: Cena za spotřebu pro jednu lampu za 1 rok

Nejvíce uživatele zajímá, kolik za to zaplatí za deset nebo padesát let. Zda se mu přechod na novou technologii vyplatí. Tabulka 4.4 ukazuje za vybrané roky, kolik už bylo investováno. V ceně je zahrnuta spotřeba elektřiny, výměna za novou lampu po její životnosti. Nejsou do toho zahrnuty preventivní kontroly u neřízených lamp, nečekané situace (vandálismus, zničení bouřkou) a revize. Už za druhý rok moduly LED jsou cenově úspornější než staré technologie, i když jejich pořizovací cena byla vyšší. Za deset let je rozdíl mezi neřízeným a řízeným modulem rozdíl 3000–4000 Kč. Za padesát let je tento rozdíl ještě větší a to 6 000–12 000Kč. Rozdíly mezi řízenou ve městě a na vesnici není tolik velký. Je vidět, že při větším výskytu lidí se budeme blížit k neřízenému LED modulu. Při vysokém výskytu lidí nešetříme tolik za spotřebu, ale výhodou je oznámení o poruše jednotlivých lamp, přehledné vyobrazení lamp na mapě a jejich aktuální stav nebo jejich spotřeba. V tabulce 4.5 je přehled, kolik se zainvestuje za vybrané roky pro 200 lamp (počet lamp ve vesnici).

Úspora je opravdu velká oproti starým technologiím. V grafu 4.3 jsou vidět investice během 50 let pro 200 lamp.

Rok	Neřízená LED	Říz. LED (B)	Říz. LED (V)	Sodíková	Rtuťová
1	4 605,28	5 270,85	5 137,08	3 960,86	5 922,87
2	6 210,57	6 541,70	6 274,15	6 921,71	10 845,74
5	11 026,41	10 354,24	9 685,38	15 804,28	26 614,34
10	19 052,83	16 708,49	15 370,75	31 608,55	52 228,68
15	30 079,24	27 062,73	21 056,13	47 412,83	77 843,01
20	38 105,66	33 416,98	30 741,51	63 217,10	103 457,35
30	57 158,49	50 125,47	42 112,26	93 825,65	155 686,03
40	76 211,32	62 833,96	57 483,02	125 434,21	206 914,70
50	95 264,15	79 542,45	72 853,77	157 042,76	259 143,38

Tabulka 4.4: Celková investice (Kč) za vybrané roky za 1 lampu



Obrázek 4.3: Investice pro 200 lamp

Rok	Neříz. LED	Říz. LED (B)	Říz. LED (V)	Sodíková	Rtuťová
5	2 205 283	2 070 849	1 937 075	3 160 855	5 322 868
10	3 810 566	3 341 698	3 074 151	6 321 710	10 445 735
15	6 015 849	5 412 547	4 211 226	9 482 565	15 568 603
20	7 621 132	6 683 396	6 148 302	12 643 421	20 691 470
30	11 431 698	10 025 094	8 422 452	18 765 131	31 137 206
40	15 242 263	12 566 792	11 496 603	25 086 841	41 382 941
50	19 052 829	15 908 490	14 570 754	31 408 552	51 828 676

Tabulka 4.5: Celková investice (Kč) za vybrané roky pro menší obec (200 lamp)

4.3 Závěr analýzy

Z analýzy můžeme vidět, že staré zdroje světla – sodíkové a rtuťové, se dnes investičně nevyplatí. Neřízená LED už je na tom o trochu lépe, ale pokud se nasadí řízená LED, tak se cena za provoz ještě sníží a jejich životnost vzroste. U řízené LED nejvíce závisí na výskytu lidí v dané oblasti. pokud v dané oblasti je neustále velký pohyb lidí přes noc, LED bude svítit stále na plno. Tím nedojde k velké úspoře a ani prodloužení životnosti, ale stále to má jednu výhodu a to je monitoring. Ihned je zaslán jakýkoliv problém s osvětlením. Největší úspora bude ve městech a vesnicích s nízkým nočním výskytem lidí.

Kapitola 5

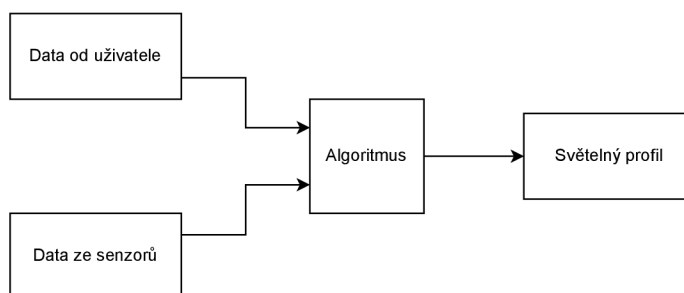
Návrh řešení

Tato kapitola popisuje v sekci 5.1 návrh řešení algoritmu pro vytvoření světelných profilů. Návrh vychází z požadavků uživatele, které byly představeny v kapitole 4. Dále se v sekci 5.3 věnuje návrhu porovnání světelných profilů. Na konci v sekci 5.4 rozebírá případy užití.

5.1 Průběh sestavení světelných profilů

Princip vytvoření světelných profilů byl dohodnut s pracovníky firmy Logimic. Sestavení světelného profilu bude vycházet na základě pohybu lidí v dané lokalitě. V dané lokalitě musí být umístěn senzor soumraku, pohybu nebo kamera. Tato zařízení budou zaznamenávat pohyb a ten ukládat do databáze. Při sestavení profilu si bude moct uživatel zvolit hranice počtu lidí pro svítivost lampy na 50% a 75%. Veřejné osvětlení (lampa) nemůže svítit méně než na 50%, protože by docházelo k špatnému osvětlení dané lokality. Uživateli budou nabídnuty doporučené hodnoty hranic pro počet lidí pro jednotlivá procenta svítivosti, podle analýzy výskytu lidí ve městech. Uživatel při sestavení dále může vybrat, zda se vytvoří plán na každý den stejný, nebo na jednotlivé dny zvlášť.

Nejdříve uživatel nebo technik, který bude montovat lampy, musí vytvořit skupinu. Do ní přiřadit lampy a senzory z dané lokality. Pak musí vytvořit program a do něj přiřadit tuto skupinu. Následně si může nechat vygenerovat světelný profil. Jak je vidět na obrázku 5.1, vezmou se data od uživatele a data získané ze senzoru. Za pomoci algoritmu, který je popsán v sekci 5.2, dochází k vytvoření světelného profilu, neboli plánu svícení pro danou skupinu. Světelný profil by měl být po domluvě tvořen od 15:00 do 7:00. V těchto časech se pouze nastaví hodnota, na kolik procent lampa bude svítit, ale k samotnému rozsvícení/zhasnutí, dochází na pokyn ze senzoru soumraku.



Obrázek 5.1: Vytvoření světelných profilů

5.2 Algoritmus

Uživatel má vytvořený program a přiřazený ke skupině. Objevit by se mu mělo tlačítko na vygenerování světelného profilu. Po kliknutí se mu zobrazí modalové okno (anglicky *modal window*). Toto okno dočasně blokuje interakci s ostatními prvky webu, dokud uživatel nevyřeší toto okno. V okně se mu zobrazí přednastavené hodnoty parametrů pro svítivost na 50% a 75%, které uživatel může změnit. Dále má zaškrtačací tlačítko (anglicky *checkbox*, které určí, jestli se budou generovat dny stejně nebo jednotlivě. Nakonec tam budou dvě tlačítka. První bude potvrzovací a druhé bude rušit tuto akci. Po kliknutí na potvrzovací tlačítko vyskočí nové modalové okno, které informuje uživatele, že budou smazány všechny dosavadní příkazy. Uživatel může potvrdit, že souhlasí nebo zrušit akci vygenerování světelného profilu.

Návrh algoritmu, který tu bude popsán, je i zakreslen na obrázcích 5.2, 5.3 a 5.4. Po potvrzení akce vygenerování světelného profilu je známo pouze ID programu. Pomocí tohoto ID se zjistí ID skupiny, ke které je program přiřazen. Na základě ID skupiny se najdou v databázi data od senzorů pohybu. Vyfiltrují se data, aby byla pouze od 15:00 do 7:00 hodin. Po vyfiltrování dat se algoritmus rozdělí na dvě řešení.

První řešení je generování pro každý den stejný program. Vezmou se data pro každou hodinu zvlášť a pomocí součtu se zjistí počet výskytu lidí v danou hodinu. Nyní je potřeba z toho udělat průměr. Vezme se tedy součet za každou hodinu a vydělí se počtem dní, ze kterých byla data brána. Po domluvě s pracovníky z Logimicu, to bude sedm dní zpátky od aktuálního dne, aby data nebyla tolik zastaralá. Jednotlivá zprůměrovaná data se porovnají s hranicemi svítivosti, které definoval uživatel a tím se získá pro každou hodinu, na jakou hodnotu budou lampy svítit. Aby se zbytečně do databáze neukládala každá hodina a také pro lepší uživatelskou přehlednost dochází k tomu, že pokud předchozí hodnota svítivosti je stejná, tak se neukládá do databáze. Do databáze se musí uložit hodnota svítivosti, hodina a ID programu, ke kterému to patří. Po uložení dat do databáze, bude uživatel přesměrován na vygenerované příkazy, které říkají v jakou hodinu se má změnit svítivost. Proto je v pořádku vynechat, po sobě jdoucí stejné hodnoty svítivosti.

Druhé řešení se zabývá generováním pro každý den individuálně. Zde by bylo dobré vybrat více dnů. Nejlepší by bylo čtrnáct a více dní. Data nejsou tolik zastaralá a každý den bude zastoupen vícekrát. Nejdříve se data musí roztřídit podle jednotlivých dnů v týdnu. Dále je potřeba zjistit, na základě dne v týdnu a data, kolikrát se nachází jednotlivý den v týdnu. Například pro čtrnáct dní se pondělí nachází celkově dvakrát a pro sedm dní je tam pondělí jen jedenkrát. Nyní princip bude dost podobný prvnímu řešení. Začne se od prvního dne v týdnu (pondělí). Vezme se každá hodina určitého dne a spočítá se celkový výskyt lidí. Nakonec se ihned, po spočítání součtu pro určitý den, vypočítá průměr. Průměr se vypočítá pomocí součtu výskytu a vydělí se hodnotou počtu jednotlivého dne v týdnu. Takto vypočítané hodnoty se porovnají s hranicemi pro svítivost. Tím získáme hodnoty svítivosti. I zde se bude praktikovat porovnání předchozí hodnoty svítivosti. Nakonec se data uloží do databáze, kde přibude navíc den v týdnu. Toto se pak provede pro každý den v týdnu, takže celkově sedmkrát. Po uděláním všech sedmi dní je uživatel přesměrován na vygenerované příkazy.

5.3 Porovnání světelných profilů

Tato podkapitola popisuje porovnání světelných profilů. První část by se měla věnovat porovnání jednotlivých technologií lamp. Nachází se zde 3 technologie – LED modul, sodíková

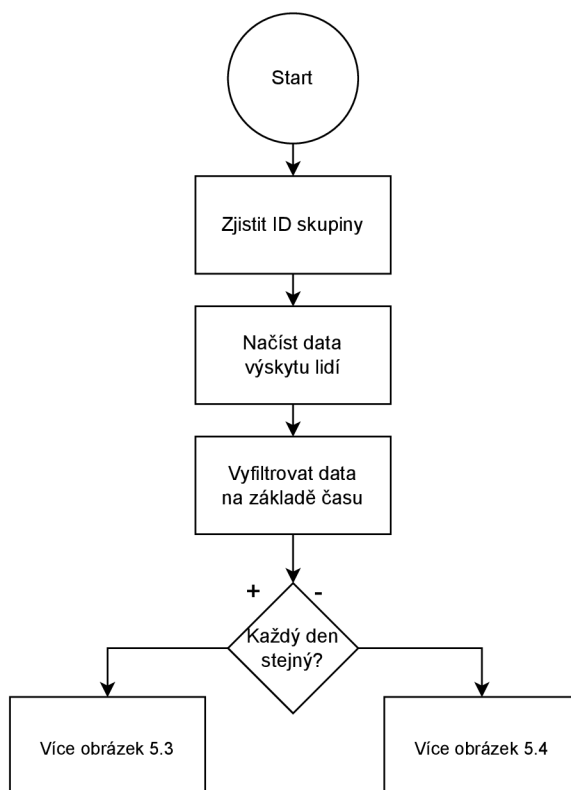
a rtuťová. U LED modulu dále dělíme na neřízenou, řízenou se světelným profilem, který je na ní nastaven a řízenou s nově vygenerovaným profilem. Uvidíme zde jejich spotřebu a cenu za spotřebu. Cena za 1 MWh bude předem nastavena, ale uživatel ji bude moci změnit. Nakonec se vše zobrazí přehledně v grafu. Uživatel bude moci si vybrat, zda si data zobrazí za 1 den, týden, měsíc nebo rok.

Druhá část se věnuje samotnému porovnání světelného profilu, který je nastaven a světelnému profilu, který byl znovu nad novými daty vygenerován. Zobrazí se celková doba svícení. Počet hodin svícení na 100%, 75% a 50%. U světelných profilů, které jsou vygenerovány na jednotlivé dny, se tyto údaje zobrazí pro každý den v týdnu zvlášť. Nakonec na základě toho, jak svítí, se uživatel vygenerují jejich klady a zápory.

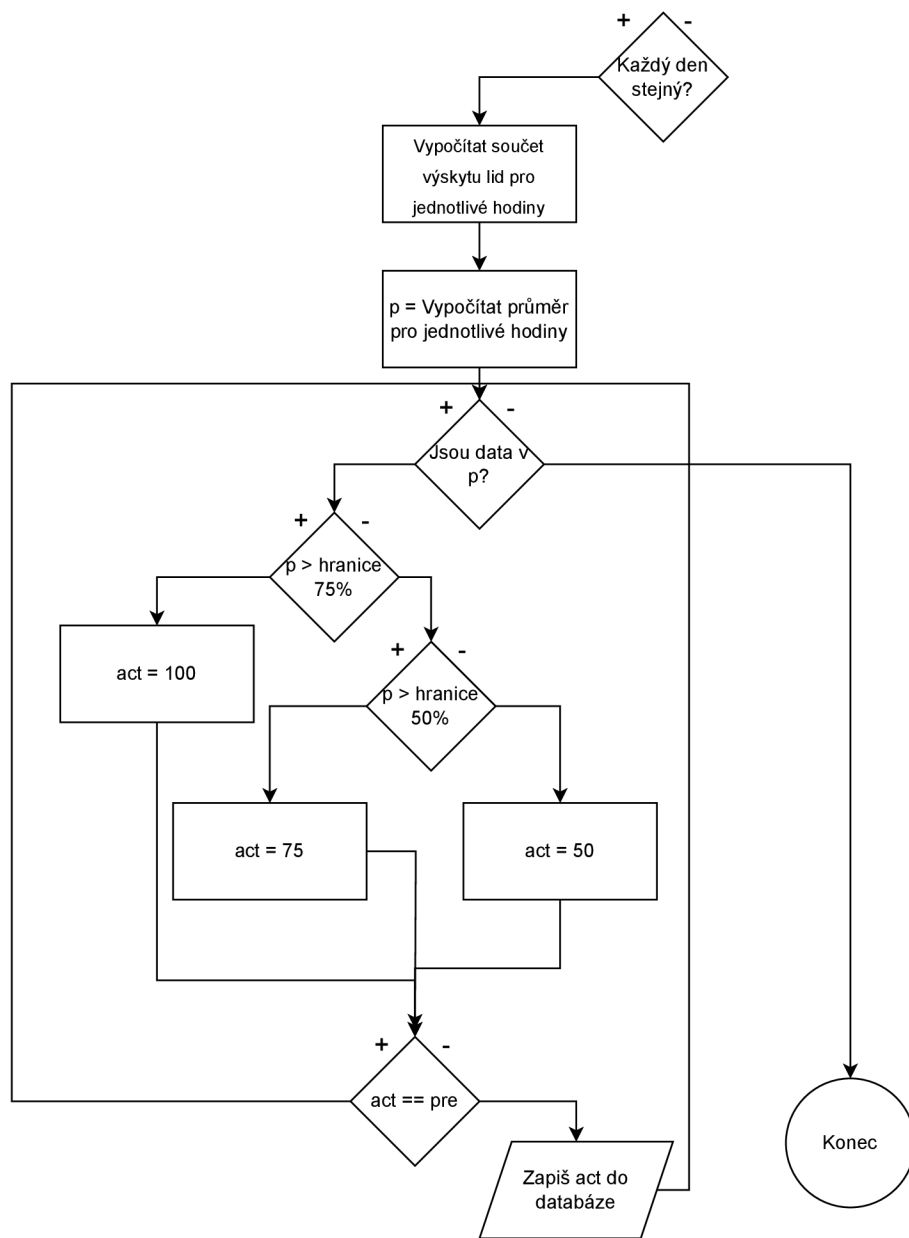
5.4 Případy užití

Aktérem bude uživatel, který si chce nechat vygenerovat světelný profil. Uživatel by měl být schopen:

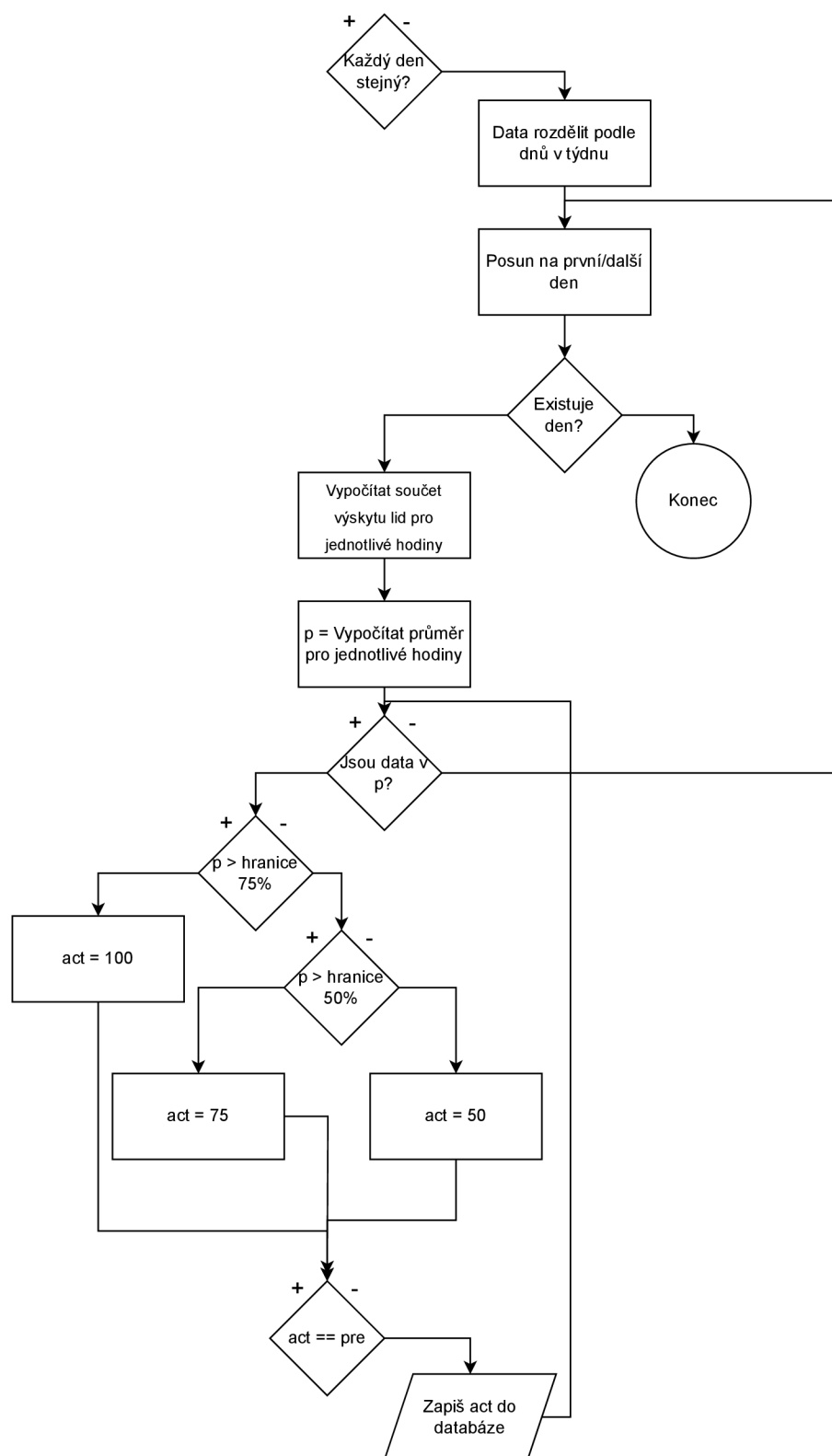
- Vytvořit program a přiřadit ho k dané lokalitě.
- Spustit vygenerování světelného profilu – vyplnit hranice počtu lidí.
- Zvolit druh světelného profilu – každý den stejný nebo jednotlivé dny.
- Zkontrolování vygenerovaného profilu.



Obrázek 5.2: Začátek algoritmu



Obrázek 5.3: Algoritmus pro každý den stejný



Obrázek 5.4: Algoritmus pro každý den individuálně

Kapitola 6

Implementace

Tato kapitola se v sekci 6.1 věnuje výběru technologie. Dále v sekci 6.2 jednotlivým součástem pro vytvoření světelného profilu a jeho porovnání.

6.1 Zvolené technologie

Při volbě prostředí a jazyka pro implementaci byl hlavní požadavek implementovat to do firmy Logimic. Po konzultaci s pracovníky z firmy Logimic bylo rozhodnuto, že implementace bude v prostředí ACADA. Platformu ACADA jsme si představili společně s firmou Logimic v sekci 4.1. ACADA je vytvořena pomocí frameworku Angular.

6.1.1 Angular

Angular je open-source framework pro tvorbu webových aplikací [25]. Je postaven na programovacím jazyku TypeScript, který je popsán v sekci 6.1.1. Angular je tvořen *komponentami* (anglicky *Components*). Každá komponenta obsahuje třídu a k této třídě se připojí šablona HTML a CSS. Logika komponenty, jak už bylo zmiňováno, je psána v jazyce TypeScript.

Další části jsou *moduly*, *služby*, *direktivy*, *routování* a *vkládání závislostí*. Moduly slouží pro seskupení souvisejících komponentů. Služby *anglicky Services* slouží pro sdílení funkcionalit mezi různými komponentami. Nachází se zde například komunikace s API. Direktivy nám umožňují přidávat do HTML speciální značky, jako například **ngIf*. Routování funguje stejně jako u běžných webů. Dochází ke přesměrování na jinou část aplikace. Vkládání závislostí je spíše známo pod anglickým názvem *Dependency injection*. Slouží pro zjednodušení deklarování závislostí mezi třídami.

TypeScript

TypeScript vytvořila firma Microsoft a byl vydán jako open-source [47]. Jedná se o nástavbu JavaScriptu. Přidává nové funkce jako statické typování, třídy a rozhraní. Se statickým typováním se snižuje chybovost způsobená špatnými datovými typy. Pomocí transpileru je kód napsaný v TypeScriptu, převeden do jazyka JavaScript.

Asynchronní komunikace

V Angularu se setkáme s asynchronní komunikací. V TypeScriptu se asynchronní funkce vyznačuje pomocí *async*. Největší výhodou asynchronní komunikace je způsob komunikace

s ostatními službami. Neblokuje aplikaci při komunikaci s nima, lze nadále s aplikací pracovat. Data se zobrazí ihned po vrácení odpovědi. Na rozdíl od synchronní komunikace, která při komunikaci neustále čeká na výsledek. Tím dochází k blokování interakce s aplikací, někdy až k úplnému zaseknutí.

Generování grafů v Angularu

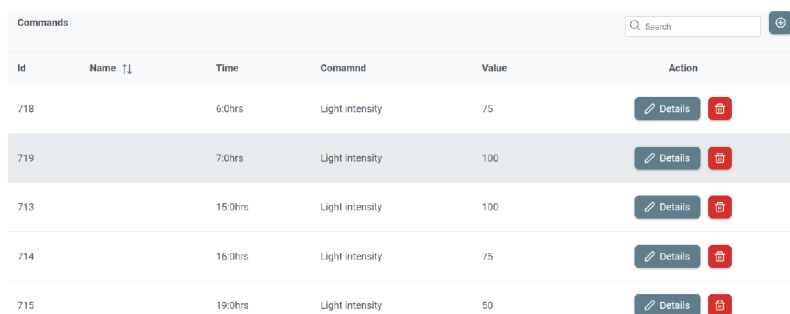
V implementaci pro porovnání světelných profilů bylo potřeba zobrazit grafy. Byla použita knihovna *Chart.js* ve verzi 3. Knihovna poskytuje mnoho sad grafů. Nakonec byly použity pouze dva druhy grafů, a to spojnicový a sloupcový graf. Integrace byla velice jednoduchá. Pomocí *npm install chart.js* došlo k instalaci knihovny do Angularu. Pak stačilo naimportovat *Chart.js*.

6.2 Detaily implementace

Sekce se zabývá dvěma implementacemi. První implementace se zabývá generováním světelných profilů a druhá implementace je o porovnání světelných profilů. Celé řešení se nachází ve složce *lgmc-gui-lights*. V ní nalezneme podsložky *assets*, *components*, *services* a soubor *lgmc-gui-lights.module.ts*. Ve složce *assets* se nachází JSON pro český a anglický jazyk. Podle toho co si uživatel vybere za jazyk, tak mu je vybrán příslušný JSON. Nejdůležitější část je ve složce *components*. Zde se to dále rozděluje na dvě podsložky – *lgmc-gui-lights-compare* a *lgmc-gui-lights-generate*. Obě složky obsahují šablonu HTML, CSS a soubor s třídou a logikou komponenty. Modul *lgmc-gui-lights.module.ts* slouží ke sdružování souvisejících komponent a jednoduššímu použití na jiném místě v aplikaci.

6.2.1 Implementace světelných profilů

Uživateli po vytvoření programu se zobrazí tlačítko s názvem *Light profile*, které je pro vygenerování světelného profilu. Po jeho kliknutí se zobrazí modální okno. Po jeho vyplnění a potvrzení, je uživatel přeměrován na stránku s přehledem příkazů, jako je na obrázku 6.1. Dále je na stejném obrázku vidět položka v menu *Skupiny*. Zde se přiřazuje program ke skupině s lampy a senzory.

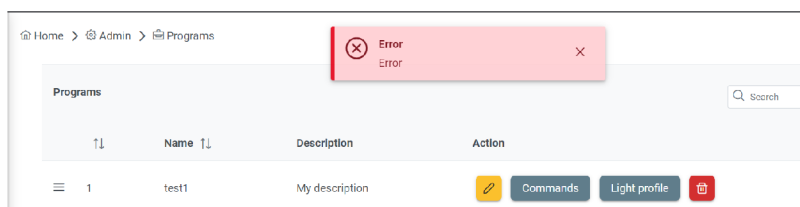


Id	Name	Time	Command	Value	Action
718		6:0hrs	Light intensity	75	Details
719		7:0hrs	Light intensity	100	Details
713		15:0hrs	Light intensity	100	Details
714		16:0hrs	Light intensity	75	Details
715		19:0hrs	Light intensity	50	Details

Obrázek 6.1: Přehled příkazů

Tlačítko pro vygenerování světelného profilu bylo definováno v souborech *lgmc-gui-lights-generate.component*. Tlačítko vyvolá modální okno. Modální okno obsahuje nastavení parametrů – hranic výskytu lidí a typ světelného profilu. Po jeho potvrzení se objeví druhé modální okno. V něm se zobrazí varování, že předchozí data budou smazána. Po

potvrzení je zavolaná funkce *generateProgramById*, která je definovaná v souboru *lgmc-gui-lights-generate.component.ts* a v sekci 6.2.1 je popsána. Po dobu jejího trvání je zobrazen nahoře načítací pruh. Po dokončení můžou nastat dva stavy. První stav je, že vše proběhlo v pořádku a uživatel je přesměrován na stránku s příkazy. Nebo nastane druhý stav, jako je na obrázku 6.2. Druhý stav znamená, že došlo během generování k nějakému problému.

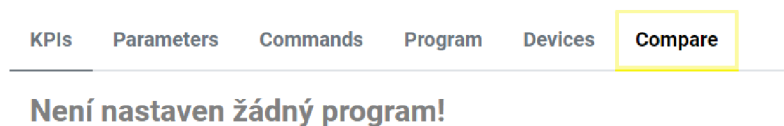


Obrázek 6.2: Neproběhlo vygenerování

Funkce *generateProgramById* bude pracovat s ID programu a parametry uživatele. Po zkontrolování parametrů uživatele, volá funkci *deleteAllCommands*, na smazání předchozích příkazů. Dále je potřeba zajistit si data od senzorů. To zajistí funkce *callDatabaseAndParse*. Vzhledem k tomu, že zatím Logimic data ze senzorů nemá, tak k této funkci byla dodělaná funkce *callAPI*, která nám vrací JSON s nasimulovanými daty od senzoru. Po získání dat dochází k jejich filtraci a setřídění. Následně dle typu, který vybral uživatel, se data zpracují. Funkce udělá součet výskytu lidí pro každou hodinu a nakonec tyto data zprůměruje. Výsledné hodnoty se vloží do pole a dle typu se zavolá *insertCommandDay* nebo *insertCommandWeek*. Obě funkce fungují na podobný princip. Vezmou výsledné pole dat a na základě nastavených hranic od uživatele, každé jednotlivé hodině se přiřadí hodnota svítivosti – 100%, 75% nebo 50%. Následně dochází ke spojení více stejných hodnot do jedné hodiny, protože stačí vždy jen změna svítivosti. Nakonec jsou tyto hodnoty uloženy pomocí API do databáze.

6.2.2 Implementace porovnání světelných profilů

Porovnání světelných profilů bylo přidáno jako další položka v menu s názvem *Compare*. Po kliknutí na tuto položku můžou nastat dva stavy. První nastane pokud uživatel tuto skupinu nepřihradil žádnému programu. Jak je vidět na obrázku 6.3, mu byla vypsána hláška, že *žádný program není nastaven*. Druhý stav už zobrazí porovnání, grafy a výpočty.



Obrázek 6.3: Zobrazena chybová hláška

Nejdůležitější část kódu se nachází v souboru *lgmc-gui-lights-compare.component.ts*. Všechna data jsou zobrazena až po té, kdy je dokončena funkce *reloadData*. V této funkci se zjišťuje, zda má tato skupina přiřazený program. Dále načítá všechny příkazy, které obsahuje tento program. A nakonec postupně volá další funkce.

První volaná funkce je *initDevices*, která zjišťuje počet lamp a jejich výkon (Watt) a data se pak využijí pro výpočet spotřeby a ceny. Další funkce *parseCommand* přebírá načtené

příkazy. Nejdříve dochází ke zjištění, zda se jedná o denní nebo týdenní typ. Podle typu začne jednotlivé příkazy procházet a zjistí, jak je nastaven světelný profil. Pomocí dalších menších funkcí na ukládání do proměnných, připraví data pro porovnání. Pro porovnání je potřeba vygenerovat druhý světelný profil s výchozími parametry a i aktuálními daty ze senzorů. Toto obstará funkce *newProfileLight*, která zavolá funkci *callDatabaseAndParse*. Tuto funkci jsme si představili v sekci 6.2.1. Funkce nám zpátky vrátí pole výskytu lidí. Na základě výchozích parametrů dojde k vypočítání dat pro porovnání a za pomoci pomocných funkcí k uložení do proměnných.

Nyní jsou data skoro připravená. Za pomoci funkce *calPowerProfile* vypočítá spotřebu pro nastavený program, výchozí program a navíc vypočítá spotřebu pro porovnání s neřízenou LED, sodíkovou a rtuťovou lampou. Spotřeba se počítá pro počet lamp a jejich výkon, které byly přiřazeny do této skupiny. Další funkce *compareData* vezme data, co vytvořily předchozí funkce a udělá porovnání mezi světelnými profily. Na obrázku 6.4 můžeme vidět toto porovnání.

Porovnání světelných profilů - Týdenní přehled

Nastavený program

Doba svícení: 17

100%: 2 hodin

75%: 5 hodin

50%: 10 hodin

Stejná spotřeba

Stejně svítí

Základní program

Doba svícení: 17

100%: 2 hodin

75%: 5 hodin

50%: 10 hodin

Stejná spotřeba

Stejně svítí

Obrázek 6.4: Porovnání světelných profilů

Posledními funkcemi jsou *Day*, *Week*, *Month*, *Year*. Tyto funkce zobrazují spotřebu, cenu a grafy na základě toho, co si uživatel vybere – den, týden, měsíc nebo rok. Výchozí je nastaven den. Sloupcové grafy jsou určeny pro den, týden a měsíc. Zobrazují spotřebu a cenu. U roku je u spotřeby také použit sloupcový graf, ale u ceny je použit spojnicový graf. Ten nám ukazuje vývoj ceny za jednotlivé měsíce. Grafy jsou vytvořeny ve funkcích *createGraphPrice*, *createGraphPower*. Cena za 1MWh je předem zobrazena v textovém poli. Uživatel ji může změnit na svoji cenu. Na obrázku 6.5 vidíme porovnání technologií.

Počet lamp: 5

Cena za 1MWh:

Den Týden Měsíc Rok

Řízené LED s nastaveným programem

Spotřeba: 3 279 Watt
Cena: 27 Kč

Řízené LED se základním programem

Spotřeba: 3 279 Watt
Cena: 27 Kč

Neřízené LED lampy

Spotřeba: 5 185 Watt
Cena: 42 Kč

Sodíkové lampy

Spotřeba: 7 055 Watt
Cena: 57 Kč

Rtuťové lampy

Spotřeba: 11 730 Watt
Cena: 96 Kč

Obrázek 6.5: Porovnání technologií

Kapitola 7

Testování

Po dokončení implementace přichází testování. Testováním se zjistí, zda nejsou v implementaci nějaké chyby. Navíc dojde ke kontrole, zda se splnily všechny požadavky zadání. Tato kapitola popisuje testování a co z něj vyplynulo.

7.1 Ověření funkčnosti

Pro ověření funkčnosti a splnění požadavků bylo využito manuální testování. Generování a porovnání světelných profilů bylo vyzkoušeno při různých typech výskytu lidí. Například výskyt lidí ve městě, vesnici nebo například na nějakém rušném místě. Všechny výskyty byly simulované. Na obrázku 7.1 můžeme vidět tři rozdílné vygenerované světelné profily pro stejný výskyt. Liší se pouze v nastavení hranic. Úplně vlevo je nastavena hranice 50% na deset a 75% na dvacet. Uprostřed jsou nechány původní hodnoty. Vpravo jsou hodnoty nastaveny pro 50% na čtyřicet a pro 75% na šedesát. Na obrázcích 7.2, 7.3 a 7.4, je porovnání nižších hranic s původními hranicemi. Jak je vidět, tak světlo více svítí a za každý rok by město utratilo o 2000 Kč více. Na obrázcích 7.5, 7.6 a 7.7 je porovnání vyšších hranic s původními, kde se svítí méně a dochází k úspoře 1500 Kč.

Na obrázku 7.2 je vidět, jak vypadá nastavený a základní program. Nastavený program svítí na 100% sedm hodin. Na rozdíl základní program pouze 2 hodiny. Už z tohoto jde poznat, že bude úspornější základní program, ale za cenu menšího komfortu pro lidi. Na obrázku 7.3 může uživatel zvolit za jaké období by chtěl porovnat různé technologie. Uvidí spotřebu a cenu za energii. Navíc se s tím i mění graf. Naopak na obrázku 7.6 je vidět, že nastavený program je úspornější, protože ve většině času svítí na 50%. Tady zase bude základní program více komfortnější. Jaký program kdy zvolit, je zmíněno v kapitole 8.

Hranice výskytu, které uživatel zvolí, jsou velmi důležité. Jejím navolením rozhoduje, kolik se ušetří a jaký bude komfort svícení pro lidi. Při velmi vysokém výskytu lidí se generování světelných profilů nevyplatí oproti manuálnímu nastavení (vše na 100%), protože při generování by došlo ke stejnému nastavení. Výhodou, jak už bylo zmiňováno v kapitole 4 je, že k tomuto je on-line monitoring lamp, který upozorní na vzniklé potíže.

Generování světelných profilů funguje tak, jak bylo navrženo. Jedním potřebným rozšířením je nainstalovat senzory pohybu a ukládat data o výskytu do databáze. S tím souvisí i doděláním volání pro data výskytu přes API.

5:0hrs	Light intensity	75	7:0hrs	Light intensity	75		
7:0hrs	Light intensity	100	15:0hrs	Light intensity	100		
15:0hrs	Light intensity	100	16:0hrs	Light intensity	75	15:0hrs	Light intensity
							75
19:0hrs	Light intensity	75	17:0hrs	Light intensity	100	16:0hrs	Light intensity
							50
20:0hrs	Light intensity	100	18:0hrs	Light intensity	75	17:0hrs	Light intensity
							75
22:0hrs	Light intensity	75	19:0hrs	Light intensity	50	18:0hrs	Light intensity
							50
23:0hrs	Light intensity	50	20:0hrs	Light intensity	75		
			22:0hrs	Light intensity	50		

Obrázek 7.1: Světelné profily

Porovnání světelných profilů - Tydenní přehled

Nastavený program

Doba svícení: 17

100%: 7 hodin

75%: 4 hodin

50%: 6 hodin

Vyšší spotřeba

Více svítí - větší komfort

Základní program

Doba svícení: 17

100%: 2 hodin

75%: 5 hodin

50%: 10 hodin

Nižší spotřeba

Méně svítí - menší komfort

Obrázek 7.2: Nižší hranice 20 a 10 – přehled

Den Týden Měsíc **Rok**

Řízené LED s nastaveným programem

Spotřeba: 1 447 225 Watt

Cena: 11 787 Kč

Řízené LED se základním programem

Spotřeba: 1 196 835 Watt

Cena: 9 748 Kč

Neřízené LED lampy

Spotřeba: 1 892 525 Watt

Cena: 15 414 Kč

Sodíkové lampy

Spotřeba: 2 575 075 Watt

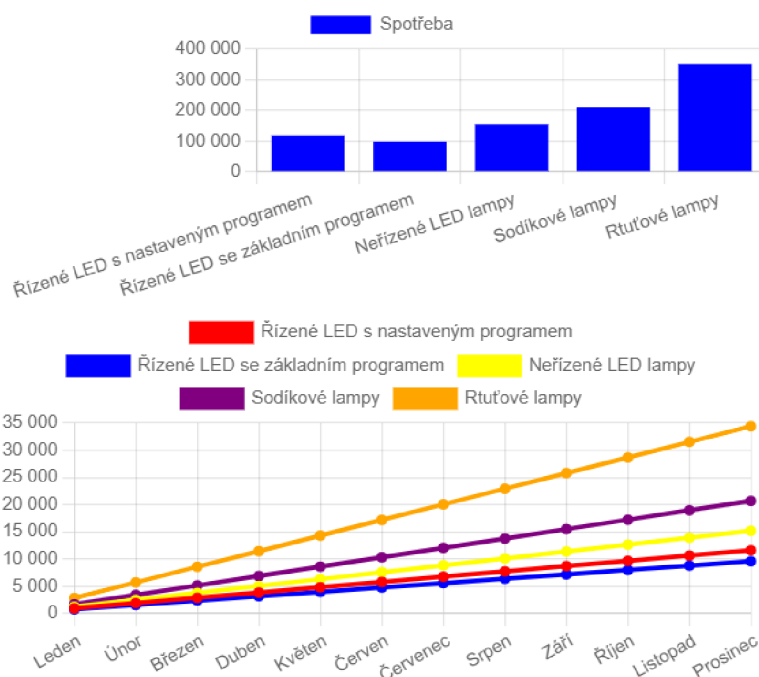
Cena: 20 973 Kč

Rtuťové lampy

Spotřeba: 4 281 450 Watt

Cena: 34 870 Kč

Obrázek 7.3: Nižší hranice 20 a 10 – porovnání



Obrázek 7.4: Nižší hranice 20 a 10 – graf

Porovnání světelných profilů - Tydenní přehled

Nastavený program

Doba svícení: 17

100%: 0 hodin

75%: 2 hodin

50%: 15 hodin

Nižší spotřeba

Méně svítí - menší komfort

Základní program

Doba svícení: 17

100%: 2 hodin

75%: 5 hodin

50%: 10 hodin

Vyšší spotřeba

Více svítí - větší komfort

Obrázek 7.5: Vyšší hranice 60 a 40 – přehled

Řízené LED s nastaveným programem

Spotřeba: 1 001 925 Watt

Cena: 8 160 Kč

Řízené LED se základním programem

Spotřeba: 1 196 835 Watt

Cena: 9 748 Kč

Neřízené LED lampy

Spotřeba: 1 892 525 Watt

Cena: 15 414 Kč

Sodíkové lampy

Spotřeba: 2 575 075 Watt

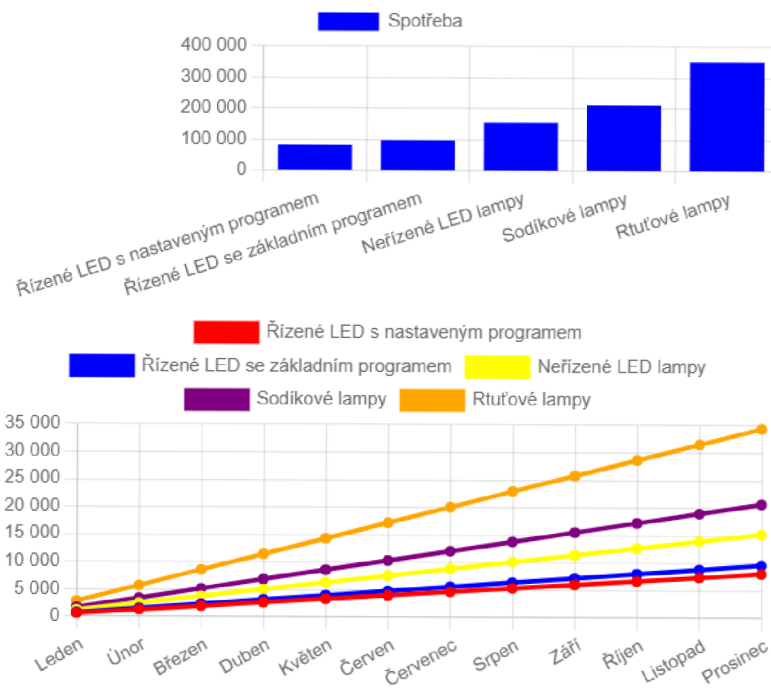
Cena: 20 973 Kč

Rtuťové lampy

Spotřeba: 4 281 450 Watt

Cena: 34 870 Kč

Obrázek 7.6: Vyšší hranice 60 a 40 – porovnání



Obrázek 7.7: Vyšší hranice 60 a 40 – graf

Kapitola 8

Závěr

Cílem této závěrečné práce bylo navrhnout vhodné řízení veřejného osvětlení na platformě Smart City společnosti Logimic. Navrženo bylo řešení s generováním světelných profilů na základě výskytů a navíc bylo přidáno porovnání světelných profilů. Tímto byl záměr práce splněn.

Teoretická část byla rozdělena do dvou částí. V první části byl zkoumán internet věcí, chytrá města a jejich budoucnost. Druhá část se zabývala světlem a jeho parametry. Dále se teoretická část zabývala veřejným osvětlením v ČR a zdroji světla. U každého zdroje bylo vysvětleno, jak funguje, jeho výhody a nevýhody. Následně došlo k jejich porovnání v pořizovací ceně, životnosti, spotřebě a v ceně za spotřebu. Nakonec teoretické části je popsáno, proč zvolit řízené LED.

Po nastudování dané problematiky a zjištění všech informací bylo navrženo řešení s generováním světelných profilů. Generování bylo navrženo na základě výskytu lidí v dané oblasti. Po té řešení bylo implementováno. Důvody použitých technologií byly společně s částmi aplikace popsány v implementaci. Na závěr došlo k otestování generování světelných profilů na nasimulovaných datech. Popsáno bylo, co se stane, pokud uživatel změní hranice výskytu. Na závěr testování bylo popsáno, jak se vyplatí generování světelných profilů.

Vytvořené generování bude využito firmou Logimic. V plánu je toto společně nasadit se senzory do menšího města. Bude se sledovat, zda došlo ke správnému generování a po čase by byl proces plně automatizovaný, a proto by uživatel nemusel znovu generovat nový světelný profil.

Literatura

- [1] *Lighting Comparison: LED vs High Pressure Sodium/Low Pressure Sodium* [online]. 2016. Přečteno 29.12.2022. Dostupné z: <https://www.stouchlighting.com/blog/led-vs-hps-lps-high-and-low-pressure-sodium>.
- [2] *Began an IoT Street Lighting* [online]. 2020. Přečteno 31.12.2022. Dostupné z: https://www.minebeamitsumi.com/english/news/press/2020/1198434_13882.html.
- [3] *Bluetooth (INFORMACE): verze, dosah, frekvence a protokoly* [online]. 2022. Přečteno 2.11.2022. Dostupné z: <https://www.alza.cz/slovník/bluetooth-art12370.htm>.
- [4] *Co je WiFi 6?* [online]. 2022. Přečteno 1.11.2022. Dostupné z: <https://www.alza.cz/wifi-6>.
- [5] *Co jsou big data?* [online]. 2022. Přečteno 16.11.2022. Dostupné z: <https://www.oracle.com/cz/big-data/what-is-big-data/>.
- [6] *DatmoLux* [online]. 2022. Přečteno 31.12.2022. Dostupné z: <http://www.datmolux.cz/>.
- [7] *Differences Between Bluetooth 5 vs 4.2* [online]. 2022. Přečteno 30.10.2022. Dostupné z: <https://www.amarinfotech.com/differences-comparisons-bluetooth-5-vs-4-2.html>.
- [8] *Historie žárovky: dlouhá cesta k jasnému světu* [online]. 2022. Přečteno 30.12.2022. Dostupné z: <https://www.lighting.philips.cz/consumer/advice-on-lighting-ideas/historie-zarovky-od-edisona-po-led-zarovky>.
- [9] *Innovation* [online]. 2022. Přečteno 28.12.2022. Dostupné z: <https://www.signify.com/global/innovation>.
- [10] *Interact IoT lighting* [online]. 2022. Přečteno 28.12.2022. Dostupné z: <https://www.interact-lighting.com/global>.
- [11] *Interoperable network components for Open Cities* [online]. 2022. Přečteno 31.12.2022. Dostupné z: <https://www.minebeamitsumi.eu/en/products-service/smart-city/>.
- [12] *IQMESH* [online]. 2022. Přečteno 5.11.2022. Dostupné z: <https://www.iqrf.org/technology/iqmesh>.
- [13] *List of smart cities* [online]. 2022. Přečteno 1.11.2022. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_smart_cities.
- [14] *LoRa Alliance* [online]. 2022. Přečteno 5.11.2022. Dostupné z: <https://lora-alliance.org/>.

- [15] *Software RVO DATMO RVO* [online]. 2022. Přečteno 31.12.2022. Dostupné z: <http://www.datmolux.cz/software-rvo-datmo-rvo>.
- [16] *Stavebnice DATMO* [online]. 2022. Přečteno 31.12.2022. Dostupné z: <http://www.datmolux.cz/stavebnice-datmo>.
- [17] *Svítlidla a elektronika ve svítidle* [online]. 2022. Přečteno 31.12.2022. Dostupné z: <http://www.datmolux.cz/svitidla>.
- [18] *Světlo: Co to je a jak funguje?* [online]. 2022. Přečteno 30.12.2022. Dostupné z: <https://www.lighting.philips.cz/consumer/advice-on-lighting-ideas/jak-funguje-svetlo>.
- [19] *Transceivers* [online]. 2022. Přečteno 5.11.2022. Dostupné z: <https://www.iqrf.org/products/transceivers>.
- [20] *What are LoRa and LoRaWAN?* [online]. 2022. Přečteno 5.11.2022. Dostupné z: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/what-is-lorawan/>.
- [21] *What is cloud computing?* [online]. 2022. Přečteno 15.11.2022. Dostupné z: <https://azure.microsoft.com/cs-cz/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-cloud-computing/>.
- [22] *What is IoT?* [online]. 2022. Přečteno 30.09.2022. Dostupné z: <https://www.oracle.com/in/internet-of-things/what-is-iot/>.
- [23] *What is IQRf?* [online]. 2022. Přečteno 5.11.2022. Dostupné z: <https://www.iqrf.org/what-is-iqrf>.
- [24] *Wi-Fi® is an essential IoT enabler* [online]. 2022. Přečteno 1.11.2022. Dostupné z: <https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/internet-of-things>.
- [25] *What is Angular?* [online]. 2023. Přečteno 01.07. 2023. Dostupné z: <https://angular.io/guide/what-is-angular>.
- [26] ALDAHDOUH, K. A., DARABKH, K. A., AL SIT, W. et al. A survey of 5G emerging wireless technologies featuring LoRaWAN, Sigfox, NB-IoT and LTE-M. In: *IEEE. 2019 International conference on wireless communications signal processing and networking (WiSPNET)*. 2019, s. 561–566.
- [27] BISDIKIAN, C. An overview of the Bluetooth wireless technology. *IEEE Communications magazine*. IEEE. 2001, sv. 39, č. 12, s. 86–94.
- [28] BUNI, J. *How cloud computing will power smart cities* [online]. 2019. Přečteno 15.11.2022. Dostupné z: <https://techhq.com/2019/06/how-cloud-computing-will-power-smart-cities/>.
- [29] CAMERO, A. a ALBA, E. Smart City and information technology: A review. *Cities*. Elsevier. 2019, sv. 93, s. 84–94.
- [30] COMUNALE, J. *What is Light?* [online]. 2021. Přečteno 30.12.2022. Dostupné z: <https://study.com/learn/lesson/study-light.html>.
- [31] GRUBISIC, M., HAIM, A., BHUSAL, P., DOMINONI, D. M., GABRIEL, K. M. et al. Light pollution, circadian photoreception, and melatonin in vertebrates. *Sustainability*. MDPI. 2019, sv. 11, č. 22, s. 6400.

- [32] HALLMANN, C. A., SORG, M., JONGEJANS, E., SIEPEL, H., HOFLAND, N. et al. More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PloS one*. Public Library of Science San Francisco, CA USA. 2017, sv. 12, č. 10, s. e0185809.
- [33] HERMANN KOPETZ, W. S. *Real-Time Systems*. 3. vyd. Švýcarsko: Springer, 2022. ISBN 978-3-031-11991-0.
- [34] HIERTZ, G. R., DENTENEER, D., STIBOR, L., ZANG, Y., COSTA, X. P. et al. The IEEE 802.11 universe. *IEEE Communications Magazine*. 2010, sv. 48, č. 1, s. 62–70. DOI: 10.1109/MCOM.2010.5394032.
- [35] HOPEI, C. *Mesh topology* [online]. 2018. Přečteno 17.11.2022. Dostupné z: <https://www.computerhope.com/jargon/m/mesh.htm>.
- [36] IL CHOI, Y., CHEN, A., DESAI, V., MONAJEMI, P. a KULKARNI, S. WI-FI CLIENT STEERING BETWEEN 2.4 GHZ, 5GHZ, AND 6GHZ BANDS. 2021.
- [37] JIN, M., LI, X., YAN, F., CHEN, W., JIANG, L. et al. The effects of low-color-temperature dual-primary-color light-emitting diodes on three kinds of retinal cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. Elsevier. 2021, sv. 214, s. 112099.
- [38] KERKER, M. *The scattering of light and other electromagnetic radiation*. Elsevier, 2016.
- [39] KIRIMTAT, A., KREJCAR, O., KERTESZ, A. a TASGETIREN, M. F. Future trends and current state of smart city concepts: A survey. *IEEE access*. IEEE. 2020, sv. 8, s. 86448–86467.
- [40] LAI, C. S., JIA, Y., DONG, Z., WANG, D., TAO, Y. et al. A review of technical standards for smart cities. *Clean Technologies*. MDPI. 2020, sv. 2, č. 3, s. 290–310.
- [41] LECCESE, F., CAGNETTI, M. a TRINCA, D. A smart city application: A fully controlled street lighting isle based on Raspberry-Pi card, a ZigBee sensor network and WiMAX. *Sensors*. MDPI. 2014, sv. 14, č. 12, s. 24408–24424.
- [42] MANFRIN, A., SINGER, G., LARSEN, S., WEISS, N., VAN GRUNSVEN, R. H. et al. Artificial light at night affects organism flux across ecosystem boundaries and drives community structure in the recipient ecosystem. *Frontiers in Environmental Science*. Frontiers Media SA. 2017, sv. 5, s. 61.
- [43] MEHMET ALI, M. K., HAYES, J. F. a ELHAKEEM, A. K. Traffic analysis of a local area network with a star topology. *IEEE Transactions on Communications*. IEEE. 1988, sv. 36, č. 6, s. 703–712.
- [44] METEOGRAM. *Tabulka s časy východu a západu slunce* [online]. 2022. Přečteno 15.11.2022. Dostupné z: <https://www.meteogram.cz/vychod-zapad-slunce/>.
- [45] MHMP. *Smart City v praxi: Chytré semaforey upřednostňují autobusy* [online]. 2022. Přečteno 8.4.2023. Dostupné z: https://www.praha.eu/jnp/cz/doprava/smart_city_v_praxi_chytre_semafory.html.

- [46] MOHAMMADI, M. a AL FUQAHA, A. Enabling cognitive smart cities using big data and machine learning: Approaches and challenges. *IEEE Communications Magazine*. IEEE. 2018, sv. 56, č. 2, s. 94–101.
- [47] MÁČA, J. *Úvod do TypeScriptu* [online]. 2023. Přečteno 01.07.2023. Dostupné z: <https://www.itnetwork.cz/javascript/typescript/uvod-do-typescriptu>.
- [48] O.P.S., P. *Veřejné osvětlení pro 21. století* [online]. 2017. Přečteno 1.11.2022. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/prirucka-vo-21.stoleti-efekt-2017-porsenna.pdf>.
- [49] PACELLE, M. *3 topologies driving IoT networking standards?* [online]. 2014. Přečteno 17.11.2022. Dostupné z: <http://radar.oreilly.com/2014/04/3-topologies-driving-iot-networking-standards.html>.
- [50] PAPANIKOLAOU, K. *What Is LTE-M?* [online]. 2022. Přečteno 7.11.2022. Dostupné z: <https://www.emnify.com/iot-glossary/lte-m>.
- [51] PERKINS, C., STEINBACH, R., TOMPSON, L., GREEN, J., JOHNSON, S. et al. What is the effect of reduced street lighting on crime and road traffic injuries at night? A mixed-methods study. 2015.
- [52] PROSTŘEDÍ, M. životního. *Jednoduchá osvětlovací příručka* [online]. 2021. Přečteno 5.4.2023. Dostupné z: <https://svetelneznecisteni.cz/wp-content/uploads/2021/06/Osvetlovaci-prirucka-2021.pdf>.
- [53] TERRICH, T. *Příprava normálů světelného toku a svítivosti*. 2014. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická. SUPERVISOR : Marek Bálský. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/23844/F3-DP-2014-Terrich-Theodor-prace.pdf?sequence=3&isAllowed=y>.
- [54] VODA, A. I. a RADU, L. D. Artificial intelligence and the future of smart cities. *BRAIN. Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience*. 2018, sv. 9, č. 2, s. 110–127.
- [55] ČEZ DISTRIBUCE, a. *Elektrina – Na 1 rok na míru* [online]. 2022. Přečteno 20.11.2022. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/elektrina-2022/mop/cez_cenik_elektrina_elektrina_1_rok_na_miru_mop_vezdi_18_5_2022_web.pdf.
- [56] ŽÁKOVÁ, D. *Čas a prostor nočního města* [online]. 2015 [cit. 2023-03-25]. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Brno. SUPERVISOR : Ondřej Mulíček. Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/oln5b/>.