

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Brno, 2023

Bc. David Hýsek



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

VYHODNOCENÍ MOŽNOSTI ÚPRAVY VYBRANÉ ČÁSTI SÍTĚ VEŘEJNÉHO OSVĚTLENÍ PRO NABÍJENÍ EV

EVALUATION OF POSSIBILITY OF MODIFYING SELECTED PART OF PUBLIC LIGHTING NETWORK FOR EV CHARGING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. David Hýsek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

BRNO 2023

Diplomová práce

magisterský navazující studijní program **Elektroenergetika a komunikační technologie**

Ústav elektroenergetiky

Student: Bc. David Hýsek

ID: 212604

Ročník: 2

Akademický rok: 2022/23

NÁZEV TÉMATU:

Vyhodnocení možnosti úpravy vybrané části sítě veřejného osvětlení pro nabíjení EV

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Přehled projektů se zaměřením na úpravy sítě městského veřejné osvětlení pro nabíjení EV
2. Přehled projektů města Brna a městských společností v oblasti rozvoje zdrojů elektrické energie a smart cities
3. Vyhodnocení možnosti úpravy vybraných úseků veřejného osvětlení v městě Brně o nabíjecí stanice
4. Vyhodnocení potenciální synergie provozu FVE a nabíjení EV při využití sítě veřejného osvětlení

DOPORUČENÁ LITERATURA:

doporučená literatura podle pokynů vedoucího závěrečné práce

Termín zadání: 6.2.2023

Termín odevzdání: 19.5.2023

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

doc. Ing. Jaroslava Orságová, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

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

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá konceptem smart cities v rámci motivace pro využití synergie sítě veřejného osvětlení a nabíjecích bodů. Práce poskytuje přehled projektů z České republiky i zahraničí se zaměřením na úpravy sítě městského veřejného osvětlení pro nabíjení elektrických vozidel. Jsou zde rozebrány různé varianty instalací nabíjecích stanic a jejich řízení. Dalším důležitým tématem je výběr vhodné lokality pro umístění nabíjecích stanic a koncept synergického propojení těchto stanic s existující sítí veřejného osvětlení. V rámci práce jsou navrženy scénáře využití stávající sítě veřejného osvětlení pro nabíjení elektrických vozidel a scénáře pro přivedení paralelního kabelu k této síti ve vybraných brněnských lokalitách. Cílem je optimalizovat efektivitu a výkon sítě veřejného osvětlení a současně poskytnout dobíjecí infrastrukturu pro elektrická vozidla. Výsledky diplomové práce představují cenný přínos pro urbanistické plánování a rozvoj smart cities, které se zaměřují na udržitelnou a ekologicky šetrnou mobilitu. Synergie mezi sítí veřejného osvětlení a nabíjecími body představuje potenciál pro efektivní využití infrastruktury ve městském prostředí a zároveň přispívá k snižování emisí skleníkových plynů.

Klíčová slova

smart cities, veřejné osvětlení, nabíjecí body, elektrická vozidla, nabíjecí stanice, synergie, fotovoltaické zdroje, udržitelnost.

Abstract

The master thesis deals with the concept of smart cities in the context of motivation for the use of the synergy of public lighting network and charging points. The thesis provides an overview of projects from the Czech Republic and abroad focusing on the adaptation of the urban public lighting network for charging electric vehicles. Different variants of charging station installations and their management are discussed. Another important topic is the selection of a suitable location for charging stations and the concept of synergistic connection of these stations with the existing public lighting network. The thesis proposes scenarios for using the existing public lighting network for charging electric vehicles and scenarios for bringing a parallel cable to this network in selected Brno locations. The aim is to optimize the efficiency and performance of the public lighting network and at the same time provide a charging infrastructure for electric vehicles. The results of the thesis represent a valuable contribution to urban planning and the development of smart cities that focus on sustainable and environmentally friendly mobility. The synergy between the public lighting network and charging points represents a potential for efficient use of infrastructure in the urban environment while contributing to the reduction of greenhouse gas emissions.

Keywords

smart cities, public lighting, charging points, electric vehicles, charging stations, synergy, photovoltaics, sustainability.

Bibliografická citace

HÝSEK, David. Vyhodnocení možnosti úpravy vybrané části sítě veřejného osvětlení pro nabíjení EV. Brno, 2023. Dostupné také z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/152073>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. 109 s. Diplomová práce. Vedoucí práce: doc Ing. Petr Baxant, Ph.D.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta:	<i>David Hýsek</i>
VUT ID studenta:	<i>212604</i>
Typ práce:	<i>Diplomová práce</i>
Akademický rok:	<i>2022/23</i>
Téma závěrečné práce:	<i>Vyhodnocení možnosti úpravy vybrané části sítě veřejného osvětlení pro nabíjení EV.</i>

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

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

V Brně dne: 19. května 2023

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Petru Baxantovi, Ph.D. a Ing. Martinovi Paarovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce. Dále děkuji za spolupráci společnosti Technické sítě Brno a.s., speciální poděkování patří Ing. Josefovi Šarounovi, Dušanovi Pijákovi, Zdeňkovi Dvořákovi a Jiřímu Vašíčkovi za poskytnutí požadovaných podkladů a náhled do fungování a provozování sítě veřejného osvětlení v Brně.

V Brně dne: 19. května 2023

podpis autora

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ	10
SEZNAM TABULEK	12
ÚVOD	13
1. KONCEPT SMART CITIES	15
1.1 PŘEHLED PROJEKTŮ MĚSTA BRNA A MĚSTSKÝCH SPOLEČNOSTÍ V OBLASTI ROZVOJE ZDROJŮ ELEKTRICKÉ ENERGIE A SMART CITIES	16
1.1.1 <i>Projekty smart city Brno</i>	16
1.1.2 <i>Projekty využití energetických zdrojů v městě Brně</i>	18
2. MOTIVACE PRO VYUŽITÍ SYNERGIE SÍTĚ VEŘEJNÉHO OSVĚTLENÍ A NABÍJECÍCH BODŮ	20
3. PŘEHLED PROJEKTŮ SE ZAMĚŘENÍM NA ÚPRAVY SÍTĚ MĚSTSKÉHO VEŘEJNÉ OSVĚTLENÍ PRO NABÍJENÍ EV	22
3.1 PŘEHLED PROJEKTŮ V OSTATNÍCH ZEMÍCH EVROPY	22
3.1.1 <i>Portugalský scénář implementace nabíjení z veřejného osvětlení</i>	22
3.1.2 <i>Londýnský scénář implementace nabíjení z veřejného osvětlení</i>	23
3.1.3 <i>Berlínský scénář implementace nabíjení z veřejného osvětlení</i>	26
3.2 PROJEKTY VYUŽITÍ SÍTĚ VEŘEJNÉHO OSVĚTLENÍ PRO NABÍJENÍ ELEKTROMOBILŮ V ČESKÉ REPUBLICCE	26
3.2.1 <i>Pražské instalace nabíjení z veřejného osvětlení</i>	26
3.2.2 <i>Brněnské instalace nabíjení z veřejného osvětlení</i>	28
3.3 POROVNÁNÍ INSTALACÍ V ČESKÉ REPUBLICE A VE SVĚTĚ.....	29
4. VARIANTY INSTALACÍ NABÍJECÍCH STANIC	30
4.1 NABÍJECÍ STANICE DLE PPDS	30
4.2 TYPY INSTALACÍ NABÍJECÍCH BODŮ NA STOŽÁRY VEŘEJNÉHO OSVĚTLENÍ	30
4.3 VLIVY STŘÍDAVÝCH NABÍJECÍCH STANIC NA DISTRIBUČNÍ SÍŤ	33
5. ŘÍZENÍ DOBÍJECÍCH STANIC	37
5.1 TECHNOLOGIE HDO A AMM	38
5.2 KOMUNIKAČNÍ PROTOKOLY VYUŽÍVANÉ DOBÍJECÍMI STANICEMI	39
5.3 PROTOKOL OCPP	39
6. VÝBĚR LOKALITY	41
6.1 SCÉNÁŘ VÝBĚRU LOKALITY DLE DEMOGRAFIE OBYVATEL.....	41
6.2 SCÉNÁŘ VÝBĚRU LOKALITY DLE REZIDENTNÍHO PARKOVÁNÍ.....	42
7. SOUČASNÝ STAV VEŘEJNÉHO OSVĚTLENÍ V MĚSTĚ BRNĚ	47
7.1 VYHODNOCENÍ PŘIPOJITELNOSTI NABÍJECÍCH STANIC PRO EV DO SOUČASNÉ SÍTĚ VO V BRNĚ... 53	
8. KONCEPT SYNERGIE NABÍJECÍCH STANIC A SÍTĚ VEŘEJNÉHO OSVĚTLENÍ	55
9. SCÉNÁŘ PŘÍVEDENÍ PARALELNÍHO KABELU K SÍTI VO	60
9.1 SCÉNÁŘ PŘÍVEDENÍ PARALELNÍHO KABELU K SÍTI VO – ÚSTŘEDNÍ HŘBITOV	60

9.2	SCÉNÁŘ PŘIVEDENÍ PARALELNÍHO KABELU K SÍTI VO – OBLAST ULICE VEVEŘÍ.....	63
9.3	SCÉNÁŘ PŘIVEDENÍ PARALELNÍHO KABELU K SÍTI VO – ULICE JANA BABÁKA	68
9.4	VYHODNOCENÍ SCÉNÁŘE PŘIVEDENÍ PARALELNÍHO KABELU K SÍTI VO	69
10.	SCÉNÁŘ VYUŽITÍ STÁVAJÍCÍ SÍTĚ VO PRO NABÍJENÍ EV	70
10.1	SOCIOLOGIE NABÍJENÍ EV A VOLBA MOŽNÝCH NABÍJECÍCH VÝKONŮ STANIC	70
10.2	SCÉNÁŘ VYUŽITÍ STÁVAJÍCÍ SÍTĚ VO PRO NABÍJENÍ EV – OBLAST ULICE VEVEŘÍ.....	72
10.3	SCÉNÁŘ VYUŽITÍ STÁVAJÍCÍ SÍTĚ VO PRO NABÍJENÍ EV – P+R UH	78
10.4	SCÉNÁŘ VYUŽITÍ STÁVAJÍCÍ SÍTĚ VO PRO NABÍJENÍ EV – OBLAST ULICE JANA BABÁKA	80
10.5	VYHODNOCENÍ PŘIPOJITELNOSTI NABÍJECÍCH STANIC DO SÍTĚ VO	87
11.	PŘIPOJITELNOST FOTOVOLTAICKÝCH ZDROJŮ DO SÍTĚ VO V PŘÍKLADOVÉ OBLASTI ULICE VEVEŘÍ.....	88
11.1	SCÉNÁŘ VYUŽÍVAJÍCÍ JIŽ REALIZOVANÉ KONSTRUKCE	88
11.2	SCÉNÁŘ VYUŽÍVAJÍCÍ JIŽ REALIZOVANÉ KONSTRUKCE A STŘECH NABÍJECÍCH BODŮ	93
11.3	VYHODNOCENÍ PŘIPOJITELNOSTI NABÍJECÍCH STANIC A FVE DO SÍTĚ VO	94
12.	ZÁVĚR.....	98
	LITERATURA.....	101

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Zastoupení výroby elektrické energie v Brně v letech 2016, 2035 a 2050 [8]	19
3.1	FlexIP Streetlight Management Systém komunikační schéma [16].....	22
3.2	Ukázka rozložení nabíjecích míst na VO pro oblast Chelsea (Londýn) [22]	24
3.3	Ukázka nabíjecího bodu na VO Londýn [22].....	24
3.4	Ukázka testovacího provozu 6 nabíjecích sloupů v Dublinu [22]	25
3.5	Ukázka testovacího provozu 22 nabíjecích sloupů v Calais [22]	25
3.6	Sloup s implementovanou nabíjecí stanicí „Heinz“ [26].....	26
3.7	Rozložení EV-ready lamp Praha Vinohrady [34].....	27
3.8	EV-ready lampa – skříň s technologií pro dobíjení elektromobilů a wallbox [35].....	28
4.1	Wallbox Cityline 300 [43].....	31
4.2	EV StreetCharge Column [45]	31
4.3	Realizace svítidla v plně integrovaném nabíjecím bodem 22 kW v areálu SAKO Brno	32
4.4	Toky výkonů při jednofázovém nabíjení [46]	35
4.5	Toky výkonů při třífázovém nabíjení [46]	36
6.1	Parkovací zóny rezidentního parkování Brno [59] (upraveno)	42
6.2	Ukázka parkování u sloupu veřejného osvětlení ulice Grohova [61].....	44
6.3	Ukázka parkování u sloupu veřejného osvětlení ulice Veverčí [61].....	44
6.4	Ukázka parkování na ulici Jana Babáka	45
6.5	Ukázka parkování u sloupu veřejného osvětlení ulice Jana Babáka	45
6.6	Mapa plánovaných P+R parkovišť pro Brno [62]	46
7.1	Graf vývoje spotřeby elektrické energie a světelných míst v Brně v období 2016-2021 [63].....	48
7.2	Zapínací rozvaděč veřejného osvětlení [63].....	49
7.3	Standardizované rozměry rozvaděče [63]	49
7.4	Blokové schéma zapínacího rozvaděče veřejného osvětlení [63]	50
7.5	Osvětlovací bezpaticový uliční stožár [63]	51
7.6	Rozměry bezpaticového sadového stožáru 6 m [63]	52
7.7	Rozměry obloukového výložníku [63].....	52
8.1	Predikce elektromobility dle Národního akčního plánu čisté mobility z roku 2019 [68].....	55
8.2	Predikce elektromobility dle Ministerstva průmyslu a obchodu [69].....	56
8.3	Stožár svítidla s nabíjecím bodem [70]	57
8.4	Samostatný stojan pro nabíjecí bod [71]	57
8.5	Samostatný stojan s integrovaným svítidlem [72].....	57
8.6	Návrh budoucí implementace nabíjecích bodů na ulici Technická v Brně	58
8.7	Multifunkční síť	59
9.1	Schéma pro scénář vyvedení paralelního kabelu – Parkoviště Ústřední hřbitov	61
9.2	Fázové proudy tekoucí kabelem CYKY- scénář paralelního vodiče – P+R UH	62
9.3	Profil úbytku napětí - scénář paralelního vodiče – P+R UH	63
9.4	Scénář paralelního vodiče – ulice Grohova.....	64
9.5	Profil úbytku napětí - scénář paralelního vodiče – ulice Grohova	65
9.6	Scénář paralelního vodiče – ulice Gorkého	66
9.7	Profil úbytku napětí - scénář paralelního vodiče – ulice Gorkého	66
9.8	Scénář paralelního vodiče pro 3 NS – ulice Gorkého.....	67
9.9	Profil úbytku napětí- 3 NS - scénář paralelního vodiče – ulice Gorkého	67
9.10	Scénář paralelního vodiče– ulice Jana Babáka.....	68
9.11	Profil úbytku napětí - scénář paralelního vodiče – ulice Jana Babáka	69
10.1	Schéma sítě VO v oblasti ulice Veverčí.....	72

10.2	Schéma sítě VO + 37 NB v oblasti ulice Veveří	73
10.3	Orientační ukázka realizace ulice Sokolská	74
10.4	Profil úbytku napětí na síti VO ulice Veveří	75
10.5	Profil úbytku napětí na síti VO v oblasti ulice Veveří po instalaci 37 nabíjecích bodů	76
10.6	Profil úbytku napětí na síti VO v oblasti ulice Veveří s označením 37 nabíjecích bodů.....	77
10.7	Schéma pro scénář připojení NS do sítě VO – Parkoviště Ústřední hřbitov	78
10.8	Profil úbytku napětí - scénář připojení NS do sítě VO – P+R UH	79
10.9	Solární parkoviště Dukovany [80]	80
10.10	Schéma sítě VO v oblasti ulice Jana Babáka.....	81
10.11	Schéma sítě VO + 19 NB v oblasti ulice Jana Babáka	82
10.12	Profil úbytku napětí na síti VO ulice Jana Babáka	84
10.13	Profil úbytku napětí na síti VO v oblasti ulice Jana Babáka po instalaci 19 nabíjecích bodů.....	85
10.14	Profil úbytku napětí na síti VO v oblasti ulice Jana Babáka po instalaci 19 nabíjecích bodů (420 V)	86
11.1	Rozdělení fotovoltaických zdrojů do konkrétních lokalit pro první scénář.....	89
11.2	Napěťový profil pro první scénář NS+FVE	90
11.3	Napěťový profil pro první scénář pouze FVE	91
11.4	Porovnání hodnot napětí na jednotlivých bodech modelu pro oba scénáře.....	92
11.5	Rozdělení fotovoltaických zdrojů do konkrétních lokalit pro druhý scénář	93
11.6	Napěťový profil pro druhý scénář NS+FVE	95
11.7	Napěťový profil pro druhý scénář pouze FVE	96
11.8	Porovnání hodnot napětí na jednotlivých bodech modelu pro oba scénáře.....	97

SEZNAM TABULEK

2.1	Porovnání výhod a nevýhod využití sítě veřejného osvětlení k nabíjení elektromobilů [11].....	20
3.1	Porovnání nabíjecích výkonů v Praze a v západní Evropě.....	29
4.1	Porovnání vybraných nabíjecích bodů pro instalaci na stožáry VO.....	32
5.1	Porovnání vybraných LPWAN technologií [49].....	37
5.2	Porovnání technologií AMM a HDO [50].....	38
5.3	Porovnání protokolů IEC 60870-5-104 a DLMS/COSEM [50].....	39
7.1	Vývoj spotřeby elektrické energie a světelných míst v Brně v období 2016-2021 [63].....	47
7.2	Nejmenší dovolené vzdálenosti kabelů VO od ostatních sítí - souběhy a křížení [63].....	51
10.1	Porovnání časů dobíjení pro vybrané nabíjecí výkony pro dobití 65,6 kWh energie.....	71
10.2	Rozdělení výkonů nabíjecích stanic na jednotlivé ulice.....	73
10.3	Rozdělení výkonů nabíjecích stanic na jednotlivé ulice.....	81
11.1	Rozdělení fotovoltaických zdrojů do konkrétních lokalit.....	89
11.2	Porovnání hodnot napětí pro jednotlivé scénáře.....	94

ÚVOD

„The future of cities is electric. Sustainable transportation, renewable energy, and smart infrastructure are the building blocks of a better urban environment.“

Elon Musk

V současné době je cílem měst a obcí zvyšovat kvalitu života jejich obyvatel a také usnadňování jejich života v každodenních záležitostech. K těmto cílům v dnešní době instituce využívají strategii rozvoje měst a obcí pod názvem smart city, jenž zahrnuje nasazování nových technologií ke zvýšení kvality života obyvatel a sjednocování těchto technologií do nejmenšího možného počtu zařízení. Cílem strategie rozvoje měst a obcí by tedy mělo být hledání technologií, které budou schopny pracovat v synergii. Například současně stojící infrastruktura stožárů veřejného osvětlení skrývá velký potenciál pro instalaci různých technologií v rámci budování konceptu smart city. Z důvodu vysoké hustoty pokrytí sítě veřejného osvětlení a z důvodu nutnosti existence svítidel ve městech a obcích, mohou stožáry veřejného osvětlení představovat výchozí body infrastruktury pro další technologie (nabíjecí infrastruktura, měřiče emisí, wifi vysílače,...).

S narůstajícím počtem elektromobilů v provozu je zřejmá potřeba rozšíření a posílení nabíjecí infrastruktury. Tento proces však představuje značné finanční náklady a vyvolává otázky ohledně vhodné legislativní regulace. Jednou možností, jak snížit vstupní náklady a minimalizovat prostorové požadavky při výstavbě nové nabíjecí infrastruktury, je využít již existující sítě veřejného osvětlení. Synergie mezi těmito dvěma sítěmi představuje konkrétní příklad, jak lze redukovat počet samostatných zařízení pro různé technologie.

Diplomová práce se zabývá komplexním konceptem smart cities a jeho aplikací ve spojení s využitím synergie mezi sítí veřejného osvětlení a nabíjecími body. Smart cities představují moderní přístup k rozvoji městského prostředí, který integruje pokročilé technologie a infrastrukturu za účelem zlepšení životních podmínek obyvatel a optimalizace využití zdrojů.

Práce se nejprve zaměřuje na přehled městských projektů v oblasti smart cities, které byly realizovány ve městě Brně a také na projekty, které řeší rozvoj energetických zdrojů, které mají vliv na udržitelnost a soběstačnost městské infrastruktury. Důraz je kladen na projekty, které upravují síť městského veřejného osvětlení tak, aby byla využívána pro nabíjení elektrických vozidel. Tento přístup představuje inovativní způsob využití stávající infrastruktury veřejného osvětlení a poskytuje perspektivní možnost podpory rozvoje elektromobility. Na základě uvedených projektů je uvedeno porovnání projektů realizovaných v Praze a ve státech západní Evropy.

Další část práce se věnuje analýze různých variant instalace nabíjecích stanic a jejich řízení. Zkoumají se technologické a provozní aspekty, které ovlivňují efektivitu a spolehlivost dobíjecích stanic. Zároveň je proveden důkladný výběr vhodných lokalit

pro umístění nabíjecích stanic, s ohledem na dostupnost a potřeby uživatelů elektrických vozidel.

Klíčovým bodem této práce je koncept synergie mezi nabíjecími stanicemi a sítí veřejného osvětlení. Analyzují se možnosti propojení těchto dvou systémů a využití jejich vzájemného potenciálu. Tato synergie umožňuje optimalizovat energetické toky v městském prostředí a efektivně využívat dostupnou infrastrukturu.

V další části práce jsou navrženy scénáře využití stávající sítě veřejného osvětlení pro nabíjení elektrických vozidel. Tyto scénáře zahrnují praktická opatření a technická řešení pro využití infrastruktury veřejného osvětlení jako nabíjecích bodů pro elektrická vozidla. Součástí práce je i scénář pro přivedení paralelního kabelu k síti veřejného osvětlení, který umožní připojení nabíjecích stanic.

Další kapitola práce se zaměřuje na připojitelnost fotovoltaických zdrojů do sítě veřejného osvětlení. Jsou analyzovány technické aspekty připojení fotovoltaických panelů v konkrétní oblasti ulice Veveří. Tím se zkoumají možnosti využití obnovitelných zdrojů energie pro napájení veřejného osvětlení a potenciál pro snížení závislosti na konvenčních zdrojích energie. Pro oblast ulice Veveří se zvažuje možnost využití veřejných prostor pro nabíjení elektrických vozidel a instalaci fotovoltaických zdrojů.

Tento přístup odpovídá trendu, který sledují evropské země, zejména státy severní Evropy, a zaměřuje se na následující opatření:

- Rezidentní parkování: Jedním ze způsobů je klasické využití parkovacích míst pro obyvatele dané oblasti.
- Snižování parkovacích stání za zvýšení cyklistických stezek a pěších zón: Dalším přístupem je snaha o omezení množství parkovacích míst ve prospěch cyklistických stezek a pěších zón. Tím se podporuje udržitelná doprava a aktivní životní styl [1].
- Umísťování zeleně: Kromě nabíjecích stanic a fotovoltaických zdrojů se také přemýšlí o využití veřejných prostor pro umístění zeleně. Zahrnutí zelených prvků, jako jsou stromy, keře a květinové záhony, nejenže přispívá k estetickému vylepšení prostoru, ale také zlepšuje kvalitu ovzduší, poskytuje stín a ochlazuje okolí.

Zmíněný přístup k využívání veřejných prostor zohledňuje potřeby elektromobility, snahu o udržitelný rozvoj a zvyšování kvality života v městském prostředí. Implementace nabíjecí infrastruktury a fotovoltaických zdrojů v oblasti ulice Veveří by mohla sloužit jako příklad a inspirace pro další městské projekty v České republice i jinde ve světě.

1. KONCEPT SMART CITIES

Smart city je celosvětový pojem, jenž charakterizuje koncept strategického řízení města pro zvýšení kvality života obyvatel, dosahování sociální a hospodářských cílů za využití moderních technologií. Charakteristická je pro koncept smart city synergie mezi různými službami a aktivitami spojených s fungováním města (logistika, energetika, bezpečnost, mobilita, správa budov,...). Cílem je zavedení komunikačních a informačních technologií pro efektivnější správu měst.

Při implementaci konceptu smart cities je důležité stanovení dvou základních rovin:

- **Strategické dokumenty** – stanovuje směr, cíl a systém zavádění projektů, zavádění konceptu navazuje a je provázáno s již existujícími strategickými dokumenty města a územními plány
- **Rozvojové projekty** – jedná se o projekty které naplňují koncept smart cities

V rámci konceptu smart cities rozeznáváme čtyři navazující úrovně:

- **Organizace** – organizace a systém při rozvoji města a jeho správě
- **Komunita** – podpora komunitního života, získávání informací o občanech ke zkvalitnění života pomocí elektronických informačních systémů
- **Infrastruktura** – zahrnuje městské služby, energetiku, mobilitu podporovanou a propojenou komunikačními technologiemi
- **Výsledná kvalita života a atraktivita města** – cíl a výsledek implementace konceptu smart cities

Konceptem smart city se nerozumí pouze implementace technologií, ale celkový rozvoj hospodářského růstu a kvalita životního prostředí měst. Nasazování technologií je pak prostředkem dosažení hospodářských a sociálních cílů.

Pro rozvoj nabíjecích stanic je nejdůležitější úroveň infrastruktury, a proto bude dále rozebrána.

V rámci úrovně infrastruktury dochází k zavádění inteligentních služeb a energetiky:

- energeticky úsporná řešení, řízení spotřeby elektrické energie, energetické hospodářství budov
- kombinovaná výroba elektrické energie a tepla zaváděné do městské energetické sítě, využívání energie z obnovitelných zdrojů
- využití prvků smart grid („chytrých sítí“)
- efektivní využívání energií v městských službách – odpadové hospodářství, hospodaření s vodou a efektivně řešené veřejné osvětlení

Hlavními pilíři infrastruktury „chytrého“ města jsou „zelená“ a „šedá“ infrastruktura. Zelená infrastruktura je tvořena městskou zelení a akumulací a retenčními plochami vodních prvků. Šedá infrastruktura je tvořena technologiemi a budovami ve městě [2].

Dle způsobu implementace jsou rozlišovány dva typy projektů smart cities:

- Investiční projekty – město realizuje již tržně a technicky testované řešení
- Vývojové projekty – města realizují nová, nebo ne zcela hotová řešení [3]

Při řešení nabíjecí infrastruktury v „chytrých“ městech jsou na provozovatele nabíjecích infrastruktur (napájeny z distribuční soustavy) kladeny následující požadavky:

- Nabíjecí kapacita v daném okamžiku nesmí překročit přenosovou kapacitu v napájecím bodě; monitorování zatížení.
- Rozdělování zátěže mezi nabíjecí stanice, aby nedošlo k překročení povolených parametrů na dílčích prvcích soustavy [4].

Z výše uvedených charakteristik pro smart cities a zvláště pak pro úroveň infrastruktury je zřejmé, že v rámci rozvoje a zavádění strategií konceptů smart cities bude docházet k nasazování projektů investičních i vývojových pro rozvoje mobility a energetiky – nabíjecích stanic pro elektromobily. Jedním z investičních projektů nasazeným již v řadě měst západní Evropy je využití stávající infrastruktury veřejného osvětlení pro implementaci nabíjecích stanic. Motivace pro zavádění zmíněného projektu je popsána v následující kapitole 2. Následně v kapitolách 3.1 a 3.2 jsou uvedeny projekty již realizované v Evropě i v České republice.

1.1 Přehled projektů města Brna a městských společností v oblasti rozvoje zdrojů elektrické energie a smart cities

Rozvoj konceptu smart city v Brně je postaven na základě strategie Brno 2050 představenou Statutárním městem Brnem. Vizí strategie Brno 2050 je snaha o zařazení města Brna do centra střední Evropy v oblasti výzkumu, vědy, inovací. V této návaznosti jsou v následující podkapitole 1.1.1 uvedeny rozvojové projekty v oblasti smart city ve městě Brně. Vzhledem k vzájemnému propojení rozvoje smart cities a energetiky jsou v podkapitole 1.1.2 prezentovány projekty zaměřené na rozvoj elektrické energie v městě Brně.

1.1.1 Projekty smart city Brno

Jedním z projektů města Brna v oblasti smart city je BRNO ID. Cílem projektu je poskytování komunikace a služeb občanům elektronickou cestou. Při zahájení projektu byl vytvořen internetový obchod s nabídkou městských služeb a byl umožněn elektronický nákup předplatných jízdenek pro městskou hromadnou dopravu. Elektronickým účtem v BRNO ID disponuje přes 145 000 Brňanů (téměř 40 %).

Město Brno je také součástí projektu RUGGEDISED, který patří do výzvy programu Horizon 2020. Do tohoto projektu je zapojeno šest evropských měst: Rotterdam, Umeå, Gdaňsk, Glasgow, Parma a Brno. Zmíněná města sdílí své zkušenosti a spolupracují v implementaci řešení chytrých měst v oblastech energetiky a mobility. Na základě sdílených zkušeností se Brno podílí na realizaci nové chytré čtvrti Špitálka. Tato

technologicky vyspělá městská čtvrť má za cíl testování využití moderních technologií a následné vytvoření čtvrti s pohodlným bydlením pro občany rozšířitelnou do dalších částí Brna [5].

Dalším projektem města Brna je webový portál DATA.BRNO.CZ. Jedná se o datový portál, který nabízí otevřená data a veřejné analýzy, články a sociologické průzkumy.

V rámci rozvoje koncepce smart city realizují Brněnské komunikace a.s. 5 projektů: C-ROADS, Brňáci pro Brno, Čištění BKOM, DIC – Dopravní informační centrum, DOMINI PARK - Online systém rezervace dlouhodobého parkování.

Mezi cíle projektu C-ROADS patří kooperace při zavádění C-ITS technologií (inteligentní dopravní systémy s datovou výměnou mezi auty a auty a infrastrukturou)¹ na vymezených místech v reálném provozu, dále zvýšení plynulosti dopravy, snížení nehodovosti, ochrana zdraví osob a zvýšení bezpečnosti silničního provozu. Jedná se o evropský pilotní projekt, který je v České republice zaváděn částí C-ROADS CZ. Česká část projektu je unikátní testováním C-ITS systémů v železničním provozu ve veřejné hromadné dopravě.

Aplikace „Brňáci pro Brno“ slouží k informování o závažné či nebezpečné situaci na brněnských komunikacích. Závady zde zadávají do aplikace přímo uživatelé a ty následně propadnou technikovi. Mezi závady se zde řadí například díry ve vozovce, poškození dopravní značky, poškození na veřejném osvětlení,... Aplikace slouží k urychlení opravy závad, které mohou být vyřešeny dříve, než by se o nich provozovatel dozvěděl [6].

Na základě legislativy Evropské komise byl společností EG.D Distribuce, a.s. vytvořen projekt Smart metering pilotní projekt Smaragd, který klade za cíl implementaci Advanced Meter Managementu (AMM). V rámci projektu dochází ke kompletnímu rozvoji smart metering infrastruktury (smartmetry, systémy pro správu zařízení, validaci, sběr a vyhodnocení dat. V roce 2017 bylo v realizační fázi projektu zahájeno osazování téměř 28 tisíc odběrných míst inteligentním měřením, z nichž 8 tisíc se nachází v Novém Lískovci [7].

Správa rozvoje inteligentních sítí v statutárním městě Brně byla přidělena městské společnosti Technické sítě Brno. Společnost se momentálně nachází ve fázi průzkumu, úvah a vývoje aplikací inteligentních sítí. V současnosti probíhá testování možnosti řízení a komunikace se světelnými zdroji prostřednictvím rozsvěcování vybraných oblastí. Hlavní strategií implementace inteligentních sítí pro město Brno a Technické sítě je využití jedné datové platformy s co největším rozsahem funkcí, a to ideálně pro celé město. Inteligentní sloupy veřejného osvětlení by měly být schopny komunikovat s centrálním dispečinkem a být ovladatelné, přičemž by měly být vybaveny dalšími funkcemi, jako je měření teploty, vlhkosti, emisí CO₂, wifi vysílači a senzory pro sledování dopravní hustoty. Sloučení těchto funkcí do jednoho nosiče a jedné sítě by vedlo k redukci nákladů jak na počáteční investici, tak na provoz inteligentní sítě [8].

¹ Kooperativní systémy C-ITS poskytují řidičům informace o aktuální silniční situaci.

1.1.2 Projekty využití energetických zdrojů v městě Brně

Ve spolupráci s městskou firmou SAKO město Brno plánuje dosažení neutrality CO₂ a vyššího využití energetického potenciálu města. Těchto cílů bude dosaženo na základě souboru ekologických a energetických projektů Green future #2030. Tento komplex projektů slouží k rozvoji komunitní energetiky ve městě Brně, kdy v první fázi realizace projektů bylo dosaženo snížení emisí o 55 % oproti plánovaným 40 %. Projekty Green Future 2030 počítají s nasazováním fotovoltaických elektráren do distribuční soustavy v oblasti města, akumulací vyrobené energie. Solární energie bude v prvotních fázích hradit spotřebu ve veřejných budovách a později i v komerčních a soukromých budovách. Elektrická energie bude primárně spotřebována v místě výroby.

Jednotlivé solární zdroje budou spojovány do agregáčního bloku a do distribuční sítě budou vstupovat jako jedna elektrárna obchodující s přetoky.

Instalace fotovoltaických elektráren na střechy budov města Brna a rozvoj alternativních zdrojů energie zaštiťuje dceřiná společnost SAKO Brno SAKO Brno Solar. Ta plánuje celkově solárními elektrárnami osadit 650 střech. Tyto elektrárny budou dosahovat celkového výkonu 40 MWp s roční výrobou okolo 43 GWh elektrické energie, což představuje úsporu 36 tisíc tun emisí CO₂ za rok. První instalace proběhnou na bytových komplexech Vojtova 7 a 9.

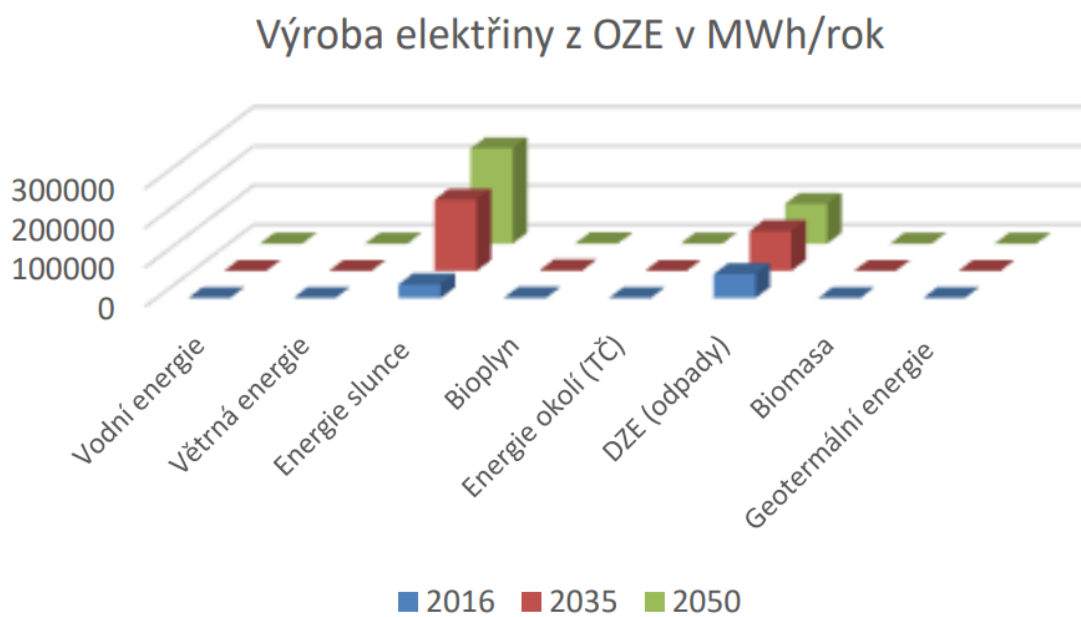
Mimo budování solárních elektráren dojde k výstavbě elektrodového kotle v kombinaci s akumulátory na Jedovnické ulici v areálu SAKO Brno.

Akumulovaná energie bude také následně využita k výrobě zeleného vodíku. Zelený vodík bude vyráběn vodíkovým elektrolyzérem, který bude využívat odpadní vody ze SAKO Brno a akumulovanou energii z městské fotovoltaické elektrárny o výkonu 40 kWp. Následně bude vodík používán jako pohon městské automobilové dopravy.

Dále bude docházet k výrobě biometanu v bioplynové stanici města za zpracování odpadu z gatro průmyslu a ta bude následně dodávat energii do města a digestát (hnojivo).

Na základě výše uvedených informací a grafu uvedeného na obrázku 1.1 je zřejmé, že Brno bude v následujících letech pro výrobu elektrické energie využívat hlavně solární zdroje energie a spalovny [9].

V rámci implementace projektů Green future se město Brno stane energeticky soběstačné, stabilní a bezpečné. Například při startu ze tmy dojde k využití elektrického generátoru využívající energii z obnovitelných zdrojů. Ten bude schopen pokrýt najetí kritické infrastruktury města a zajistit dodávku tepla [9].



Obrázek 1.1 Zastoupení výroby elektrické energie v Brně v letech 2016, 2035 a 2050 [8]

2. MOTIVACE PRO VYUŽITÍ SYNERGIE SÍTĚ VEŘEJNÉHO OSVĚTLENÍ A NABÍJECÍCH BODŮ

Vlivem přechodu zdroje světla svítidel ze sodíkových výbojek na technologii LED došlo ke snížení zatížení sítě veřejného osvětlení. Další snížení spotřeby energie přichází s technologií regulace intenzity pomocí osvětlení inteligentních svítidel. Tyto skutečnosti vedou k otázce využití vedení pro veřejné osvětlení i k jiným účelům. Jelikož jsou sítě VO napojeny samostatně do distribuční sítě je možné je využívat i přes den² k odběru elektrické energie, a to až do velikosti zatížitelnosti kabelů vedení. U sítí s nižšími hodnotami průřezu vodiče je možné instalovat regulátory nabíjení k omezení nabíjecího výkonu.

Využitím mohou být nabíjecí body instalovány na stožárech veřejného osvětlení na sídlištích a jiných bytových jednotkách, kde nebude moci každý vlastník elektromobilu nabíjet v garáži, nebo nebude mít vlastní parkovací místo [10].

Využití sítě veřejného osvětlení k nabíjení elektromobilů má řadu výhod i nevýhod, některé jsou uvedeny v tabulce 2.1.

Tabulka 2.1 Porovnání výhod a nevýhod využití sítě veřejného osvětlení k nabíjení elektromobilů [11]

Výhody	Nevýhody
Dobíjecí body lze instalovat v libovolných výškách sloupu	Může dojít k narušení sloupu (případná nutná nová revize)
Menší nároky na prostorové pásmo kolem nabíjecích bodů	Instalace jsou omezeny na polohy stávající sítě
Nižší náklady na realizaci nabíjecího bodu při využití stávající sítě (případné výkopové práce lze spojit s obnovou sítě veřejného osvětlení)	Omezení na standardy světelných sloupů

Ze studie „A Microgrid Architecture for Integrating EV Charging System and Public Street Lighting“ provedené v roce 2019 vyplývá, že vlivem přechodu ze sodíkových lamp na LED, regulaci světelného toku světelných zdrojů a optimálnímu řízení dostupných zdrojů energie, dochází ke zvýšení hostingové kapacity pro nabíjení elektromobilů [12].

Rozvoj veřejné nabíjecí infrastruktury nižších nabíjecích výkonů bude provázen i snahou větších měst o snížení výskytu soukromých dopravních prostředků v centrech měst. Budou tedy rozšiřovány parkoviště P+R na okrajích měst. Dle současné legislativy (§ 48b vyhlášky č. 266/2021 Sb.) musí každé nově vystavěné parkoviště, které má nad 10 parkovacích míst, disponovat minimálně jedním parkovacím místem s nabíjecím bodem [13].

² Pokud by došlo k řízení spínání jednotlivých svítidel.

Například v Praze je předpoklad nárůstu parkovacích míst P+R plánován ze současných cca 4 tisíc na cca 20 tisíc do roku 2030. To by znamenalo vybudování cca 1 500 nabíjecích bodů. Pokud budeme uvažovat současnou metodiku výstavby nabíjecích bodů PREDistribuce tak by se jednalo o cca 750 nabíjecích stanic 2x22 kW.

V rámci rozvoje nabíjecí infrastruktury pro veřejné pomalé dobíjení lze rozeznávat nabíjecí body z pohledu připojení k distribuční síti: stojící samostatně a řešené se sítí veřejného osvětlení. Právě varianta realizace nabíjecího bodu spolu se sítí veřejného osvětlení (EV-ready lampy) by měla být prioritní a tvořit až 80 % dobíjecích bodů. Zvýšení poměru EV-ready lamp bude vést k celkovému snížení investičních nákladů na rozvoj veřejné infrastruktury nabíjecích stanic.

U varianty realizované se sítí veřejného osvětlení lze rozlišit tři řešení:

- A. dobíjecí stanice na stávající síti veřejného osvětlení,
- B. dobíjecí stanice na paralelní nové síti veřejného osvětlení,
- C. dobíjecí stanice na síti nízkého napětí obnovené paralelně se sítí veřejného osvětlení.

Řešení A vychází z předpokladu využití současné instalace sítě veřejného osvětlení a již existujících rozvodů k dodávce příkonu pro nabíjecí bod. Investiční náklady na realizaci tohoto řešení jsou pouze do výše instalace dobíjecí stanice.

Řešení B předpokládá pouze realizaci paralelní sítě pro napájení nabíjecího bodu spolu s renovací sítě veřejného osvětlení, bez obnovy sítě nízkého napětí. Investiční náklady řešení B se rozšíří o náklady na kabeláž na propojení nabíjecí stanice s předávacím místem distribuční soustavy.

V rámci řešení C jde o instalaci kabelu nízkého napětí, dostatečně dimenzovaného pro napájení stanice a světelných zdrojů veřejného osvětlení (EV-ready lampy). U řešení B je většina nákladů pokryta ze strany provozovatele distribuční soustavy. Cena realizace jedné EV-ready lampy jsou odhadnuty na cca 25 tisíc korun [14] .

Sítě veřejného osvětlení však na rozdíl od nabíjecích stanic využívají pro fakturaci odebrané energie sazbu C 62d, která je použitelná pouze pro osvětlování veřejných prostor a napájení kamer integrovaného záchranného systému a nelze s touto sazbou odebírat energii pro nabíjecí stanice [15].

V této kapitole byly popsány výhody a motivace využití synergie sítě veřejného osvětlení a nabíjecích bodů stejně jako současné nevýhody. Mezi největší výhody a motivace využití synergie se jeví jednoznačné ušetření investičních nákladů na budování nabíjecí sítě a dále pak i možnosti realizace nabíjecích bodů v legislativně hůře dostupných lokalitách (např. centra měst).

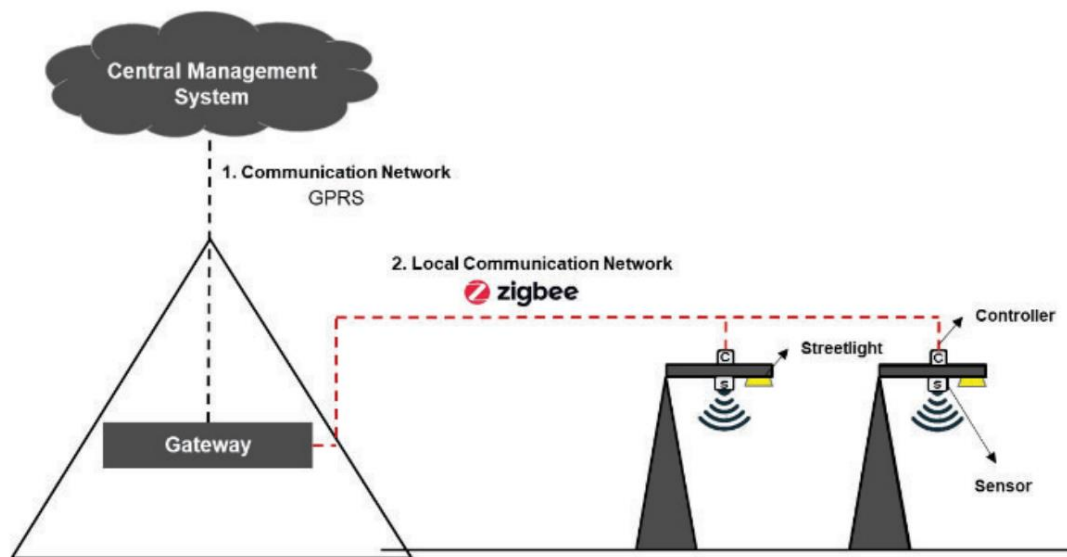
3. PŘEHLED PROJEKTŮ SE ZAMĚŘENÍM NA ÚPRAVY SÍTĚ MĚSTSKÉHO VEŘEJNÉ OSVĚTLENÍ PRO NABÍJENÍ EV

Projekty synergie sítě veřejného osvětlení a sítě nabíjecích stanic jsou především rozšířeny v západní Evropě. Vybrané projekty realizované v České republice i v jiných evropských státech jsou uvedeny v následujících podkapitolách.

3.1 Přehled projektů v ostatních zemích Evropy

3.1.1 Portugalský scénář implementace nabíjení z veřejného osvětlení

V současné době je 90 % infrastruktury veřejného osvětlení (cca 3 miliony svítidel) v Portugalsku ve správě provozovatele distribuční soustavy E-REDES. V rámci implementace strategie Smart cities bylo zpřístupněno napájení veřejného osvětlení i v denním období. Napájení sítě i přes denní období umožňuje implementaci dalších technologií, například využití sítě k nabíjení elektromobilů. Aby mohla být síť permanentně napájena a zároveň došlo ke zvýšení účinnosti osvětlení, byl vyvinut point-to-point řídicí systém veřejného osvětlení – FlexIP Streetlight Management System (SMS) [16].



Obrázek 3.1 FlexIP Streetlight Management System komunikační schéma [16]

Komunikační schéma FlexIP SMS se skládá z Central Management System (uživatelské rozhraní celého řídicího systému), Gateway (zařízení instalované na sekundární substanci) a zprostředkovávající lokální komunikaci pomocí ZigBee

protokolu), ovladačů a senzorů. V rámci testovacího provozu bylo testováno nabíjení elektromobilů ze sítě veřejného osvětlení pomocí NEMA zásuvky, kdy v závěru testu bylo ověřeno, že síť je pro nabíjení elektromobilů využitelná [16].

Provozovatelem distribuční sítě E-REDES byla provedena případová studie chytrého nabíjení v návaznosti na rozvoj strategie Smart cities. Tato studie z roku 2022 zahrnovala flotilu 18-ti elektromobilů a 20-ti nabíjecích bodů s nabíjecími výkony 7,4 kW, 22 kW a 50 kW. Vlivem implementace chytrého nabíjení došlo k poklesu potřebného nabíjecího výkonu z 416,8 kVA na 138 kVA, který byl způsoben vyrovnáváním fází při nabíjení. Studie se zúčastnili elektromobily schopné nabíjení 22 kW na třech fázích a elektromobily schopné nabíjení pouze 3,7-7,4 kW na jedné fázi. Při znalosti topologie fází lze při nabíjení elektromobilu schopného nabíjení pouze na jedné fázi přidělit kapacitu nevyužitých fází jiným elektromobilům. Chytrým nabíjením lze zvyšovat soudobost nabíjení elektromobilů [17].

Jedná se o zpoplatněnou cloudovou službu, která obsahuje jednorázové poplatky při realizaci v hodnotě do 1 000 korun českých a následně od 300 Kč/měsíc paušálních poplatků v závislosti na počtu nabíjecích stanic a uživatelů [18]. Ceny hardwaru (nabíjecího bodu) o výkonu 2x22 kW se ve Spojeném království pohybuje od 58-82 tisíc korun českých [19]. V České republice se wallboxy s dvěma zásuvkami o výkonu 22 kW prodávají v cenovém rozmezí 50-70 tisíc korun českých [20].

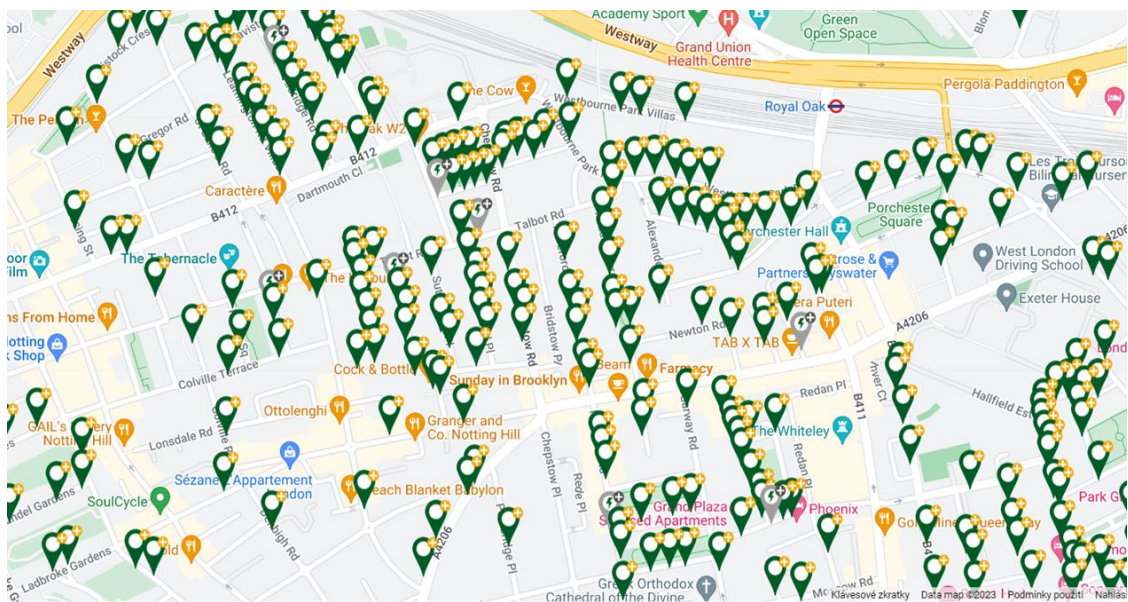
3.1.2 Londýnský scénář implementace nabíjení z veřejného osvětlení

Město Londýn je jedním z hlavních měst rozvoje infrastruktury nabíjecích bodů na síti veřejného osvětlení. První nabíjecí bod zavedený v síti veřejného osvětlení byl v Londýně uveden do provozu v roce 2016. V květnu roku 2023 bylo těchto bodů více než 6 500. Důvodem rychlého rozvoje nabíjecí infrastruktury na sloupech veřejného osvětlení je až 78 % londýnských domácností bez přístupu k „off-street“ parkování³.

V Londýně byly do sloupů veřejného osvětlení implementovány jednoduché zásuvky. Pro využívání nabíjecích bodů je nutné vlastnit „chytrý“ kabel od společnosti Ubitricity, který má zabudovaný systém měření elektrické energie [21].

Pro londýnské instalace je využíván sloup „Chelsea“ se zabudovanou zásuvkou. Využívá jednofázové nabíjení s napětím 230 V a proudem 25 A o maximálním výkonu 5 kW. Nabíjecí stanice komunikuje pomocí protokolů OCPP v1.6 Core [21].

³ Parkování mimo ulici (silniční komunikaci).



Obrázek 3.2 Ukázka rozložení nabíjecích míst na VO pro oblast Chelsea (Londýn) [22]



Obrázek 3.3 Ukázka nabíjecího bodu na VO Londýn [22]

Společnost Shell plánuje do konce roku 2025 uvést do provozu ve Spojeném království 50 tisíc nabíjecích bodů instalovaných na stožárech veřejného osvětlení ve spolupráci s dceřinou společností Ubitricity.

V rámci programu On-Street Residential Charging Scheme hradí britská vláda až 75 % nákladů spojených s výstavbou pouličních nabíjecích bodů. Důvodem je až 60 % anglických domácností, které nemají možnost jiného parkování než na ulici. Snahou anglické vlády je ze zmíněného důvodu co nejrychlejší rozvoj pouličního dobíjení elektromobilů. K největší výstavbě nabíjecích míst dojde k oblastech parkovišť, nákupních center a sídlišť [23].

Napájení osvětlení a nabíjecího bodu je možné realizovat odděleně. Toto opatření umožní funkci osvětlení při poruše nabíjecího bodu. Již existující realizace veřejného osvětlení s nabíjecími body v Londýně jsou instalovány s ochranou napájení 32 A – 6 A ochrana zdroje světla a 25 A ochrana nabíjecího bodu⁴ [24].



Obrázek 3.4 Ukázka testovacího provozu 6 nabíjecích sloupů v Dublinu [22]



Obrázek 3.5 Ukázka testovacího provozu 22 nabíjecích sloupů v Calais [22]

⁴ Instalovaný výkon nabíjecích bodů je 5,8 kW.

3.1.3 Berlínský scénář implementace nabíjení z veřejného osvětlení

Berlín je dalším městem, kde až 60 % obyvatel nemá přístup k soukromému parkovacímu místu. V roce 2022 bylo v Berlíně realizováno 200 nabíjecích míst na sloupech veřejného osvětlení od společnosti Ubitricity. V následujících letech by mělo dojít ke zvýšení tohoto počtu o 800 nabíjecích bodů [25].

Pro německý trh je používán speciální sloup s implementovanou nabíjecí stanicí „Heinz“ (obrázek 3.6). Zabudovaná nabíjecí stanice je schopna nabíjení s napětím 230 V a proudem 16 A na jedné fázi. Maximální nabíjecí výkon je do 3,7 kW. Nabíjecí stanice využívá komunikační protokoly OCPP 1.5/1.6, EEBUS a ISO 15118 Power Line Communications (PLC) [26].



Obrázek 3.6 Sloup s implementovanou nabíjecí stanicí „Heinz“ [26]

3.2 Projekty využití sítě veřejného osvětlení pro nabíjení elektromobilů v České republice

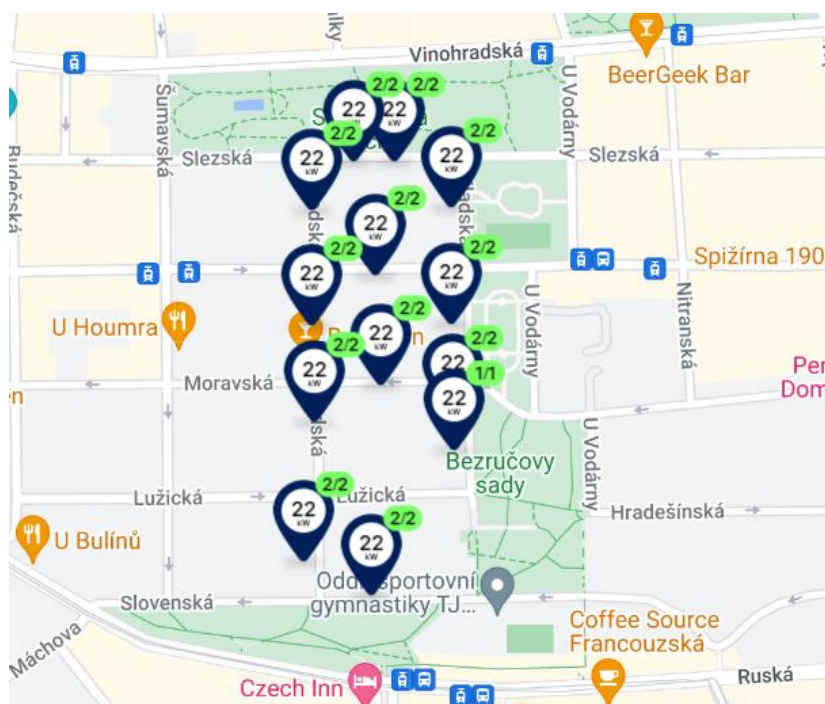
3.2.1 Pražské instalace nabíjení z veřejného osvětlení

Životnost veřejného osvětlení dosahuje 40 let, ovšem v případě osvětlovacích těles pouze 20 let. Z celkového počtu přes 136 tisíc svítidel na území Prahy je již jedna třetina starší čtyřiceti let. Z tohoto důvodu se předpokládá, že většina současného VO nebude schopná provozu do roku 2025 a bude muset být nahrazena [27]. Technologie hlavního města Prahy (THMP) plánují kompletní výměnu stožárů v rozmezí 10-13 let. To představuje velký potenciál pro implementaci technologií „smart cities“, jako například sloupy VO s instalovanými nabíjecími body [28].

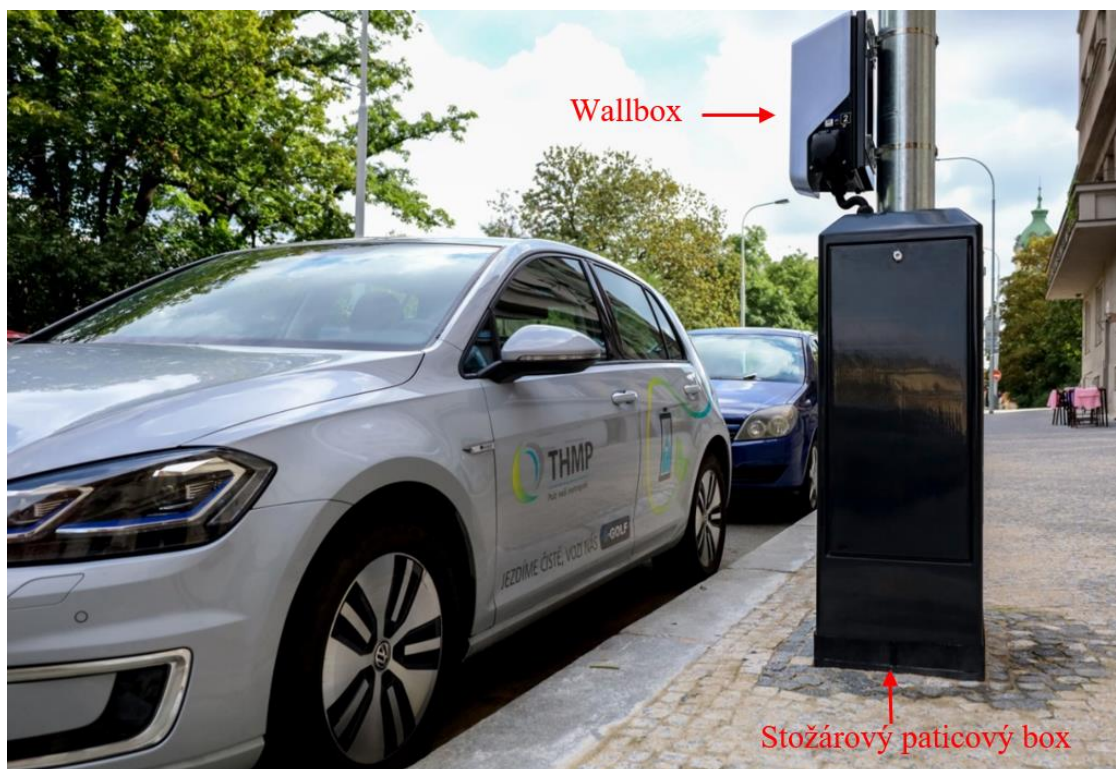
Magistrát hlavního města Prahy předpokládá v roce 2030 koncentraci 100 až 140 tisíc elektromobilů na pražských silnicích. Z důvodu posílení nabíjecí infrastruktury budou realizovány na území Prahy nabíjecí body ve stožárech veřejného osvětlení s investicí 880 milionů korun [29].

Do roku 2026 je v Praze v rámci projektu „Upgrade sítě VO pro účely dobíjení e-mobility a dalších synergií“, realizovaného společností THMP, plánována rekonstrukce kabelových tras a soustavy VO a tras DS v rozsahu 300 km, při níž dojde k realizaci až 3 000 EV-ready lamp. Očekávaná úspora investičních nákladů je stanovena na 500 mil. Kč. Převážná většina instalací je plánována mimo širší centrum města [30].

Rozšiřování nabíjecí infrastruktury o nabíjecí body instalované v lampách veřejného osvětlení v Praze probíhá ve spolupráci se společností PREdistribuce a.s. Instalace jsou realizovány přímo na sloupech VO, na kterých se nachází dvě zásuvky na 400 V a jedna zásuvka na 230 V. Na takto řešených bodech je možné nabíjet zaráz dva elektromobily do výkonu 22 kW. PREdistribuce preferuje nabíjecí výkon 22 kW, přestože většina současných elektromobilů podporuje nabíjecí výkon 7,4 a 11 kW. Z tohoto důvodu jsou projekty budovány s novou kabelovou sítí pro nabíjecí body, jelikož stávající by byla nedostatečně dimenzována. Nová kabelová síť musí být schopná přivést energii pro nabíjecí bod i zdroj osvětlení [31]. V usnesení městské části Praha 7 pro vyjádření k projektu EV-ready lamp je uvedeno uvážení o realizaci kabelového vedení dimenzovaného na větší výkony než 22 kW. Je zde předpokládáno, že nabíjecí výkon 22 kW bude v budoucnu nedostačující a bude nutná obnova za rychlé nabíjení [32]. Převážná většina instalací EV-ready lamp je v Praze uskutečněna jako součást výměny sloupů, nebo případně rekonstrukce chodníků. Příkladem je instalace na Slezské ulici na Vinohradech, kdy bylo v rámci rekonstrukce chodníku vystavěno 47 LED stožárů veřejného osvětlení, z nichž 13 EV-ready lamp [33]. Rozložení těchto svítidel je uvedeno na obrázku 3.7.



Obrázek 3.7 Rozložení EV-ready lamp Praha Vinohrady [34]



Obrázek 3.8 EV-ready lampa – skříň s technologií pro dobíjení elektromobilů a wallbox [35]

Na obrázku 3.8 je zobrazena realizace nabíjecího bodu společností PREdistribuce a.s. Kabeláž distribuční sítě přivedena přímo k sloupu veřejného osvětlení. Svítidlo veřejného osvětlení je vybaveno wallboxem a stožárovým paticovým boxem. Paticový box se skládá ze dvou skříní spojených zády k sobě: přípojkové skříň (součást distribuční sítě) a elektroměrového rozvaděče. Přípojková skříň zprostředkovává připojení svítidla veřejného osvětlení i nabíjecí stanice. V realizacích PREdistribuce je ke svítidlům veden pouze jeden napájecí kabel pro nabíjecí stanici i svítidlo. Z tohoto důvodu jsou takto řešená svítidla spínána individuálně. Je využit kombinovaný silový kabel NN (KSK NN) s mikrotrubičkou, který lze využít pro další instalace spojené se strategií smart cities (čidla měření kvality ovzduší, kamerové systémy,...) [36].

Město Praha je nejprogresivnějším městem z pohledu implementace lamp veřejného osvětlení s nabíjecími body v České republice. Dalším městem rozvíjejícím vizi smart city je Brno.

3.2.2 Brněnské instalace nabíjení z veřejného osvětlení

První projekt instalace EV-ready lamp byl v Brně uskutečněn na přelomu roku 2022 na ulici Tř. kap. Jaroše za spolupráce Tepláren Brno a Technických sítí Brno [37].

Dalším potenciálním místem rozvoje EV-ready lamp by se mohla stát chytrá čtvrt' Špitálka, která by měla být ve výstavbě od roku 2026 [38].

Brněnské veřejné osvětlení je ve správě Technických sítí Brno. Síť brněnského veřejného osvětlení se skládá z 41 735 světelných míst veřejného osvětlení, které jsou ročně v provozu 4 084 hodin. Síť veřejného osvětlení neodebírání energii 4 676 hodin v roce, což je více hodin, než je v provozu. Za dobu odběru síť spotřebuje energii ve výši 14 127 MWh. Tato energie by mohla být využita pro dobítí 305 779 elektromobilů s kapacitou baterie 77 kWh⁵ 6 [39].

3.3 Porovnání instalací v České republice a ve světě

Z výše uvedených informací a zmíněných instalací je patrné, že instalace provedené v České republice, zvláště pak PREDistribucí v městě Praze, jsou realizovány jako střídavé třífázové nabíjení o dvou nabíjecích bodech na jeden sloup veřejného osvětlení s výkonem 22 kW. Jedním z důvodů využívání vyššího nabíjecího výkonu stanic je vliv dotačního programu, ve kterém byl PREDistribucí vysoutěžen hardware pro nabíjecí výkony 22 kW. Instalace těchto bodů jsou spojeny s obnovou stávající sítě veřejného osvětlení a je zavedena nová kabeláž, která napájí nabíjecí body. Strategie PREDistribuce je zavedení kabeláže pro vyšší výkony, než jsou současně plánovány, aby bylo možné v budoucnu nabíjecí výkony zvýšit bez nutnosti dalších výkopových prací [40].

Na druhou stranu instalace provedené v jiných částech světa převážně využívají stávající kabeláž veřejného osvětlení a jsou preferovány jako jednofázové střídavé nabíjení jednoho bodu s výkony 2,3-7,4 kW. Tyto nabíjecí výkony jsou pro nabíjení v rámci 8-10 hodin dostačující pro nabití více než poloviny kapacity baterie.

Všechny instalace jsou provedeny výhradně nabíjením level 2, tedy standardním nabíjením fázovým napětím dostupným v síti nízkého napětí (např. nabíjení z klasické zásuvky).

Porovnání nabíjecích výkonů v Praze a v západní Evropě je přehledně ukázáno v tabulce 3.1.

Tabulka 3.1 Porovnání nabíjecích výkonů v Praze a v západní Evropě

Oblast	Typ dobíjení	Výkony
Praha	3f AC	Vyšší (22 kW)
Západní Evropa	1f AC	Nižší (5 a 7 kW)

⁵ Jedná se o hodnotu kapacity baterie elektromobilu nejprodávanějšího v České republice za období leden-květen 2022 [67].

⁶ Je uvažováno nabíjení z 20 % na 80 % kapacity baterie.

4. VARIANTY INSTALACÍ NABÍJECÍCH STANIC

V následující kapitole je popsána technická realizace nabíjecích stanic dle PPDS a následně jsou uvedeny možné varianty instalace nabíjecích bodů na stožáry svítidel veřejného osvětlení.

4.1 Nabíjecí stanice dle PPDS

Dle Pravidel provozování distribučních soustav (PPDS) Přílohy č.6 z roku 2021 jsou rozeznávány tři typy nabíjecích stanic:

- **DoS1** – určené pro dobíjení jednostopých elektromobilů s maximálním výkonem 3,7 kW na fázi
- **DoS2** – dobíjecí stanice s maximálním nabíjecím výkonem do 22 kW včetně, mimo nabíjecích stanic DoS1 a mimo nabíjecích stanic s výkonem 3,7 kW a menším, které jsou umístěny v domácnostech
- **DoS3** – nabíjecí stanice s výkony nad 22 kW

Pro zajištění bezpečnosti distribuce elektrické energie a splnění kvalitativních parametrů je nezbytné výkon dobíjecích stanic připojených do distribuční soustavy řídit a monitorovat.

Požadavky na dobíjecí stanice dle PPDS příloha č.6 2020:

- **DoS1** – není nutné ohlášení, zákazník je zodpovědný za dodržení rezervovaného příkonu
- **DoS2** – nutné podání žádosti o připojení do distribuční soustavy a následné sjednání smlouvy o připojení, která stanovuje: rezervovaný příkon, zpětné vlivy, komunikační rozhraní pro řízení (sledování) dobíjení
- **DoS3** – stejně jako u DoS2, navíc při existenci více nabíjecích bodů s vlastním řídicím systémem je nutné komunikační rozhraní mezi místním řídicím systémem a systémem provozovatele distribuční soustavy [41]

4.2 Typy instalací nabíjecích bodů na stožáry veřejného osvětlení

Při instalaci nabíjecích bodů na stožáry veřejného osvětlení existují dvě varianty realizace: wallbox instalovaný na stožáru veřejného osvětlení, stožár veřejného osvětlení se zabudovaným nabíjecím bodem.

Mezi první variantu spadá například Cityline 100 CDC. Jedná se o jednofázově napájený wallbox na 32 A a 230 V. Je tedy možné nabíjet výkonem až 7,4 kW [42].

Výkonnější variantou je Cityline 300, který je napájen třífázově a disponuje nabíjecím výkonem až 22 kW [43].



Obrázek 4.1 Wallbox Cityline 300 [43]

Druhou variantou je sloup veřejného osvětlení s plně integrovaným nabíjecím bodem. Například EV StreetCharge Column disponuje jednofázovým nabíjením 3,7 kW (16 A) a 7,4 kW (32 A). Jedná se o jeden nabíjecí bod se zásuvkou typu 2 [44].



Obrázek 4.2 EV StreetCharge Column [45]

Svítidlo s plně integrovaným nabíjecím bodem může být realizováno i s třífázovým nabíjením 22 kW, jako je tomu například v pilotním projektu SAKO Solar Brno v areálu SAKO Brno.



Obrázek 4.3 Realizace svítidla v plně integrovaným nabíjecím bodem 22 kW v areálu SAKO Brno

Vybrané nabíjecí body vhodné pro instalaci na stožáry veřejného osvětlení jsou uvedeny v tabulce 4.1.

Tabulka 4.1 Porovnání vybraných nabíjecích bodů pro instalaci na stožáry VO

Název	Cityline 300	Cityline 100	Ubitricity „Chelsea“	Ubitricity „Heinz“	EV StreetCharge Column
Napájecí napětí	230 V	230 V	230 V	230 V	230 V
Nabíjecí proud	3x32 A	1x32 A	1x25 A	1x16 A	1x(16/32) A
Max. nabíjecí výkon	22 kW	7,4 kW	5 kW	3,7 kW	3,6/7,4 kW
Sběr dat	GPRS	GPRS OCPP 2.0	OCPP v1.6 Core/Firmware updates OTA	OCPP 1.5 1.6 EEBUS ISO 1518 PLC	-

4.3 Vlivy střídavých nabíjecích stanic na distribuční síť

Pro instalace je vhodné použití střídavého nabíjení s využitím jedné nebo tří fází. Střídavým jednofázovým nabíjením disponují všechny typy elektromobilů. Rozhodujícím faktorem je pouze maximální možný nabíjecí výkon.⁷ Příklad průběhu jednofázového nabíjení je uveden na obrázku 4.4. Jedná se o nabíjení 3,7 kW. Je patrné, že na konci nabíjení dochází k omezování nabíjecího výkonu a postupnému nárůstu jalového výkonu dodávaného do fáze L1 z hodnoty 0,12 kVAr až k hodnotě 0,27 kVAr. Dále se během nabíjení v odebíraném proudu nevyskytují vyšší harmonické složky. Jednofázové nabíjení nemá na distribuční síť negativní vliv (nulový podíl vyšších harmonických⁸ a do sítě dodává pouze 3 % jalového výkonu odpovídající činnému nabíjecímu výkonu). Střídavým třífázovým dobíjením disponují pouze některé typy elektromobilů, které opět disponují různými nabíjecími výkony.⁹ Příklad průběhu nabíjení s využitím tří fází je znázorněn na obrázku 4.5. Jedná se o nabíjení 22 kW. V průběhu nabíjení dochází k symetrickému dodávání jalového výkonu 1 kVAr do všech tří fází (celkově 3 kVAr). V rámci třífázového nabíjení dojde k projevení zkreslení celkového odebíraného proudu vyššími harmonickými (při odebíraném proudu 33 A pouze 1,5 A zkreslení)¹⁰. Vlivem třífázového nabíjení je do sítě dodáván jalový výkon odpovídající 13 % činného nabíjecího výkonu. Třífázové nabíjení je pro síť vhodnější rovnoměrnou zátěží všech tří fází, ale generuje větší zpětné vlivy na síť [46].

ČEZ Distribuce byla v rámci projektu InterFlex provedena studie Use Case 3, kterou bylo zkoumáno omezování výkonů střídavých nabíjecích stanic při hraničních stavech sítě. Nabíjecí stanice byly vybaveny speciálními funkcemi k omezení výkonu. Funkce měly za cíl při mezních stavech sítě (nízká hodnota frekvence, podpětí, signálu vyslaného pomocí HDO) omezit nabíjecí výkon (nabíjecí proud) na 50 % maximální hodnoty. Jako mezní hodnota frekvence bylo zvoleno 49,9 Hz. Pokud došlo ke zvýšení frekvence nad tuto hodnotu po dobu alespoň 5 minut bylo omezení výkonu vypnuto. Pro podpětí byla stanovena prahová hodnota 95 % jmenovitého napětí. K vypnutí omezení došlo opět při dosažení hodnoty napětí vyšší než prahové po dobu alespoň 5 minut.¹¹ Poslední omezení bylo aktivováno a deaktivováno provozovatelem distribuční soustavy signálem HDO. Omezení pomocí signálu HDO bylo testováno na lokalitách v Hradci Králové a v Děčíně. Všechny testované scénáře omezení výkonu byly schopny po stanovené době (po odeznění mezního stavu) přechodu na maximální nabíjecí výkonu. Studie Use Case 3 dále ukazuje pozitivní vliv jednofázového dobíjení do maximální hodnoty 3,7 kW v sítích nízkého napětí. Pro vyšší počty nabíjecích bodů pak bude možno do distribuční sítě lepší

⁷ Jednofázové nabíjecí výkony - 2,3 kW pro 10 A, 3,7 kW pro 16 A a 7,4 kW pro 32 A

⁸ Při nabíjení jednou fází jsou vyšší harmonické eliminovány palubní nabíječkou.

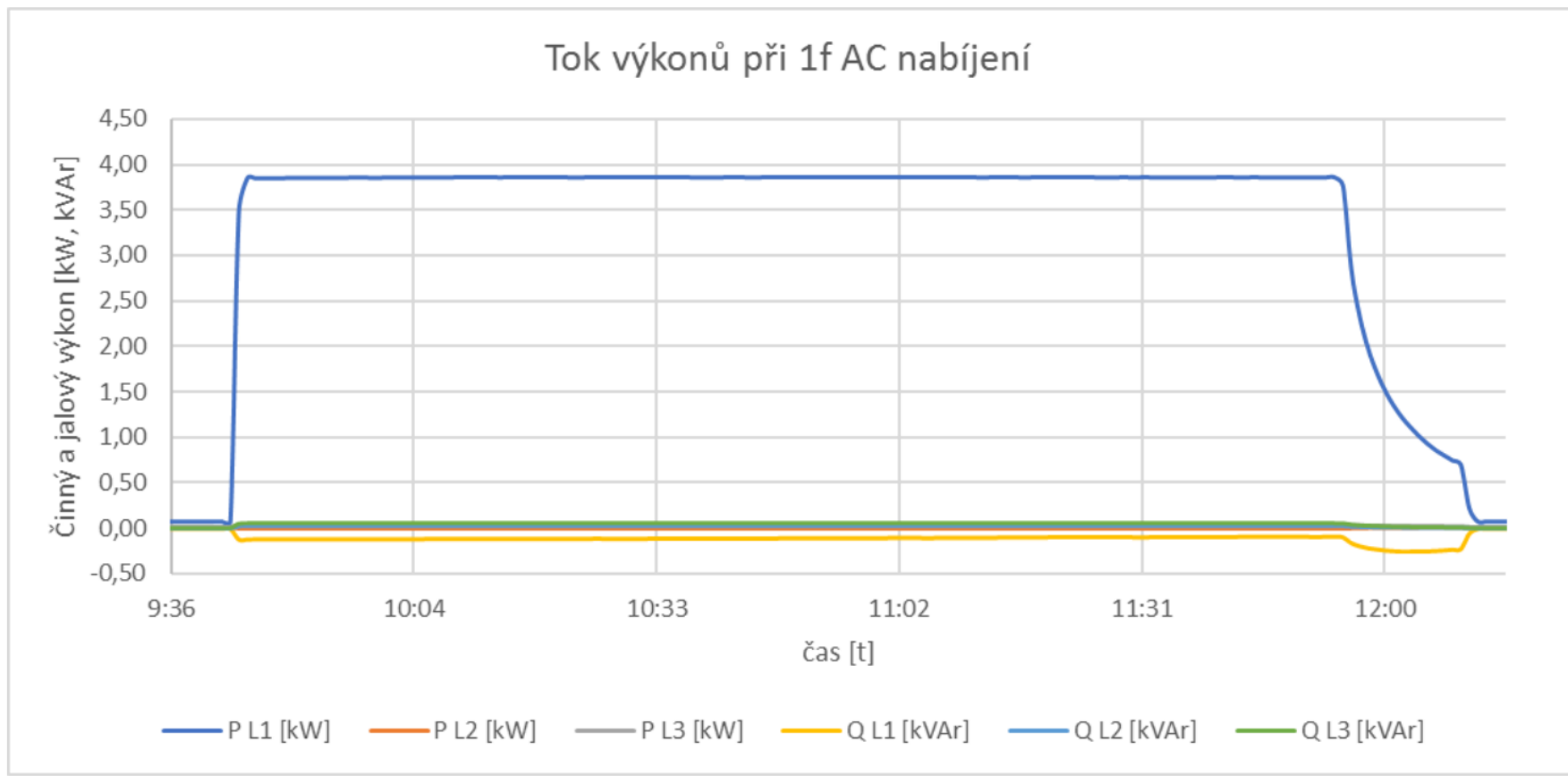
⁹ Třífázové nabíjecí výkony – 11 kW pro 16 A, 22 kW pro 32 A a 43 kW pro 65 A

¹⁰ Poměr vyšších harmonických v odebíraném proudu je pouze 4,5 %.

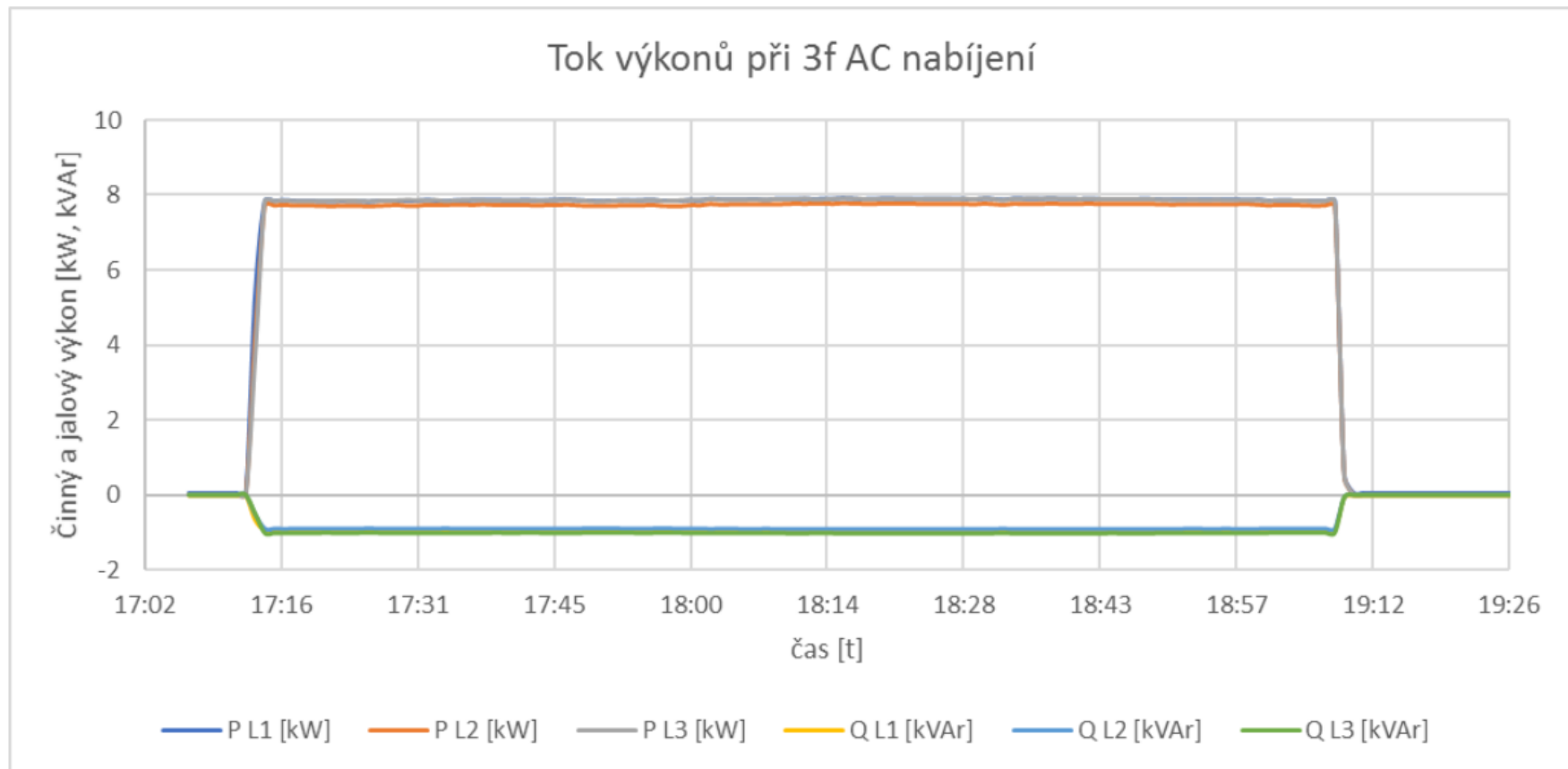
¹¹ Výše zmíněné typy omezení byly testovány pouze v laboratorních podmínkách.

implementovat v případě využití třífázového nabíjení nad hranicí nabíjecího výkonu 3,7 kW [47].

Pro instalace nabíjecích bodů na stožárech veřejného osvětlení do 22 kW, je možné využití řízení pomalého nabíjení stejně jako u klasických stanic. Lze využít signál HDO, kdy je lokalita rozdělena do několika kódů HDO. Například pracoviště a nákupní oblasti budou mít kód HDO rozdělen do denních hodin a domácnosti a jim přilehlá parkoviště do nočních hodin. Zmíněný princip je vhodný pro použití u provozovatele více nabíjecích míst kvůli nižší potřebné hodnotě hlavního jističe nebo rezervovaného příkonu [48].



Obrázek 4.4 Toky výkonů při jednofázovém nabíjení [46]



Obrázek 4.5 Toky výkonů při třífázovém nabíjení [46]

5. ŘÍZENÍ DOBÍJECÍCH STANIC

Sloupy chytrého veřejného osvětlení jsou instalovány s komunikačními moduly pro bezdrátovou komunikaci. Využívá se technologie low-power wide-area network (LPWAN), zvláště pak LoRa a NB-IoT. LPWAN jsou využívány pro obousměrnou komunikaci: získávání informací ze zařízení a ovládání zařízení. Porovnání vybraných LPWAN technologií využívaných v realizacích chytrých sloupů jsou uvedeny v tabulce 5.1 [49].

Tabulka 5.1 Porovnání vybraných LPWAN technologií [49]

Název sítě	GSM	ZigBee	LoRa	NB-IoT
Využívané frekvenční pásmo	850/900/1800 MHz	470/868/915 MHz 2,4 GHz	470/868/915 MHz	850/900/1800 Mhz
Komunikační rychlost	115 Kb/s	250 Kb/s	0,2 a 37,5 Kb/s	65 Kb/s
Komunikační vzdálenost	Dle pokrytí operátora	Point-to-point 150 m	10-15 km	15 km
Výhody	Ochrana proti rušení, nízká spotřeba energie, vysoká rychlost komunikace	Vysoká rychlost, Auto-mesh	Ochrana proti rušení, volná frekvence, vícenásobné připojení	Ochrana proti rušení, nízká spotřeba energie
Nevýhody	Ztráta dat	Krátká vzdálenost komunikace, možná interference, max. připojených bodů 255	500-100 připojených bodů, nízká úroveň komunikace	Veřejná frekvence, Vysoké investiční náklady

Mezi nejpoužívanější komunikační rozhraní spadají drátové technologie (Ethernet a RS-485). Méně často jsou využívány bezdrátové komunikační technologie (PLC, Bluetooth a Zig-Bee).

5.1 Technologie HDO a AMM

Řízení nabíjení technologií HDO lze rozdělit na tři varianty:

- **Vypínání a spínání nabíjení** – plně pokryto technologií HDO
- **V1G** – regulované nabíjení elektromobilu – omezené pokrytí technologií HDO
- **V2G** – regulované nabíjení i vybíjení elektromobilu – není pokryto technologií HDO

Z pohledu kybernetické bezpečnosti a dalšího vývoje nelze pro řízení nabíjecích stanic uvažovat řízení pomocí signálu HDO. Důvody nevhodnosti užití HDO:

- jednosměrná komunikace (bez potvrzení o provedení příkazu)
- provozováno na nízké frekvenci – pouze jednoduché příkazy
- vysílání nezabezpečeného signálu do nezajištěného a otevřeného prostředí (pro naplnění požadavků ukládaných kybernetickým zákonem by muselo dojít k výměně technologie a doplnění infrastruktury na straně příjemce)

Výše uvedené nedostatky by mohly být řešeny s nasazováním chytrých elektroměrů a zaváděním technologie AMM. Porovnání technologií AMM a HDO jsou uvedeny v tabulce 5.2 [50].

Tabulka 5.2 Porovnání technologií AMM a HDO [50]

Typ komunikace	Výhody	Nevýhody
AMM	<ul style="list-style-type: none"> • Obousměrná komunikace • Odezva v řádu jednotek sekund • Pokročilé bezpečnostní mechanismy • Možné použití pro vzdálené odečty a řízení • Lze využít další protokoly (DLMS/COSEM) 	<ul style="list-style-type: none"> • Citlivost na vliv rušení • Dražší komunikační moduly • Rozdílné implementace
HDO	<ul style="list-style-type: none"> • Ultra low band – komunikace na velké vzdálenosti • Nízká cena • Jednoduchá implementace 	<ul style="list-style-type: none"> • Přenos pouze jednoduchých informací • Jednosměrný přenos • Užití pouze na silnoproudá vedení • Nulové zabezpečení

Při ovládání a řízení dobíjecí stanice pomocí AMM je variantou ovládání digitálním rozhraním RS-485, které zaručuje komunikační vzdálenost až 1 200 m dostatečnou přenosovou kapacitu a tím i možnost implementace pokročilejších algoritmů šifrování.

5.2 Komunikační protokoly využívané dobíjecími stanicemi

Pro řízení nabíjecích stanic lze využít následující dva protokoly: **IEC 60870-5-104** a **DLMS/COSEM**. Porovnání zmíněných protokolů je uvedeno v následující tabulce.

Tabulka 5.3 Porovnání protokolů IEC 60870-5-104 a DLMS/COSEM [50]

Komunikační protokol	Výhody	Nevýhody
IEC 60870-5-104	<ul style="list-style-type: none">• Rozšířený v systémech pro trafostanice• Komunikace v reálném čase• Vhodné pro multipoint a peer-to-peer komunikaci	<ul style="list-style-type: none">• Určení pro průmysl• Menší počet obsluhovaných zařízení v čase• Vyšší režie protokolu
DLMS/COSEM	<ul style="list-style-type: none">• Komerční aplikace pro AMM• Rychlejší odezva aplikační vrstvy• Jednoduchý komunikační model (použitelný pro řízení a sběr dat)• Bezpečnost	<ul style="list-style-type: none">• Aktuálně nevhodný pro LPWA technologie• Velká datová režie• Primární užití – Smart metering

5.3 Protokol OCPP

Open Charge Point Protocol (OCPP) je aplikační protokol. Jedná se o volně otevřený standard. Protokol byl definován ve verzi 1.2 v roce 2010 jako způsob optimalizace rizik investic a nákladů do nabíjecí infrastruktury. OCPP je využíván ke komunikaci nabíjecích stanic mezi sebou a také s centrálním řídicím systémem různých výrobců. OCPP pracuje ve funkci prostředníka mezi softwarem back-end systému a nabíjecí stanicí. Komunikace protokolem OCPP disponuje datovým tokem 1 kB za sekundu.

Využití OCPP dovoluje provozovatelům:

- získání informací o výkonu nabíjecích stanic v reálném čase, přenos hodnot z elektroměrů
- řízení stavu nabíjení – Smart charging – rozdělování zátěže
- autorizace – zahájení a ukončení transakce
- zpracovávání plateb
- detekci závad
- dynamické nastavování cen [51]

Protokol OCPP podporuje funkci smart charging a rozdělování zátěže. Vhodným řízením dobíjecích stanic tak dopomáhá vyrovnat zatížení energetické sítě. Řízení probíhá v určitém časovém horizontu (cca jednotky sekund), kdy dochází k přenosu pokynu o změně nabíjecího výkonu přes OCPP a následně komunikace mezi elektromobilem a nabíjecím bodem. Z tohoto důvodu není využití řízení vhodné pro nabíjení v krátkém čase (rychlodobíjení).

Jelikož servery OCPP jsou ve vlastnictví a správě provozovatelů sítí nabíjecích stanic nebo výrobců nabíjecích stanic je nutná jejich spolupráce s provozovateli distribučních soustav, aby mohla být síť nabíjecích stanic účinně operativně řízena [50].

Nejnovější verzí protokolu OCPP je verze 2.0.1. Tato verze oproti předešlým verzím OCPP 1.5 a 1.6 přináší řadu rozšíření.

- vylepšené funkce řízení zařízení – monitorování, sledování a nastavování parametrů nabíjecí stanice
- sjednocení všech zpráv souvisejících s transakcemi do jedné zprávy (TransactionEvent)
- podpora WebSocket Compression – snížení nákladů na mobilní data
- posílení kybernetické bezpečnosti – správa klíčů na straně klienta, zabezpečené aktualizace firmwaru,...
- rozšíření funkce smart charging – přímé vstupy z řídicího systému do nabíjecí stanice
- podpora ISO 15118 – Norma ISO 15118 je nejnovějším protokolem pro komunikaci mezi dobíjecí stanicí a elektromobilem, který přináší funkci Plug & Charge a zahrnutí vstupu z elektromobilu do smart charging.
- další funkce pro zvýšení uživatelského komfortu – například poskytování informací řidiči o tarifech a sazbách [51]

6. VÝBĚR LOKALITY

Tato kapitola se zabývá komplexním pohledem na vliv demografie, kupní síly obyvatel a firem na nákup elektromobilů v Brně, postavené na detroitské studii „EV Consumer Behavior“ [52]. Dále v podkapitole 6.2 je provedena analýza budoucí strategie parkování v Brně na základě současné strategie rezidentního parkování.

6.1 Scénář výběru lokality dle demografie obyvatel

Dle detroitské studie největší skupina majitelů elektromobilů spadá do věkové skupiny 25-54 let. Jako hlavní skupinou se pak jeví lidé ve věku 40-55 let. Až z 75 % se jedná o muže s vysokoškolským vzděláním, ale elektromobily jsou pořizovány do domácností o dvou a více lidech. Vlivem vysokých pořizovacích nákladů na elektromobily si je pořizují nejčastěji domácnosti s ročním příjmem nad 100 tisíc amerických dolarů (2,4 milionu korun českých) [52]. Nejčastěji si domácnosti pořizují elektromobil, pokud už v domácnosti jedno nebo více vozidel mají. Elektromobil si domácnosti pořizují pro týdenní nájezd okolo 250 mil (402,5 km)¹² [53].

V Brně ke konci roku 2021 žilo asi 84 tisíc obyvatel ve věku 40-55 let [54]. Největší zastoupení obyvatel uvedené věkové skupiny spadá do městských částí Maloměřice a Obřany (24,2 %), Žebětín (24,2 %), Kníničky (24,6 %) a Medlánky (26,1 %). Ve věkové skupině 35-50 let, která by mohla být hlavní za následujících 5 let, se největší zastoupení obyvatel nachází na území Bystrc (24,6 %), Líšeň (25,1 %) a Žebětín (27,3 %) [55].

Dalším faktorem nákupu elektromobilů je kupní síla obyvatel. Mezi jedny z městských čtvrtí s největší kupní silou obyvatel v Brně spadá Komín a Žabovřesky [56]. Dále mezi lokality s vyšší kupní silou obyvatel patří Masarykova čtvrť, Černá pole a Pellicova ulice [57].

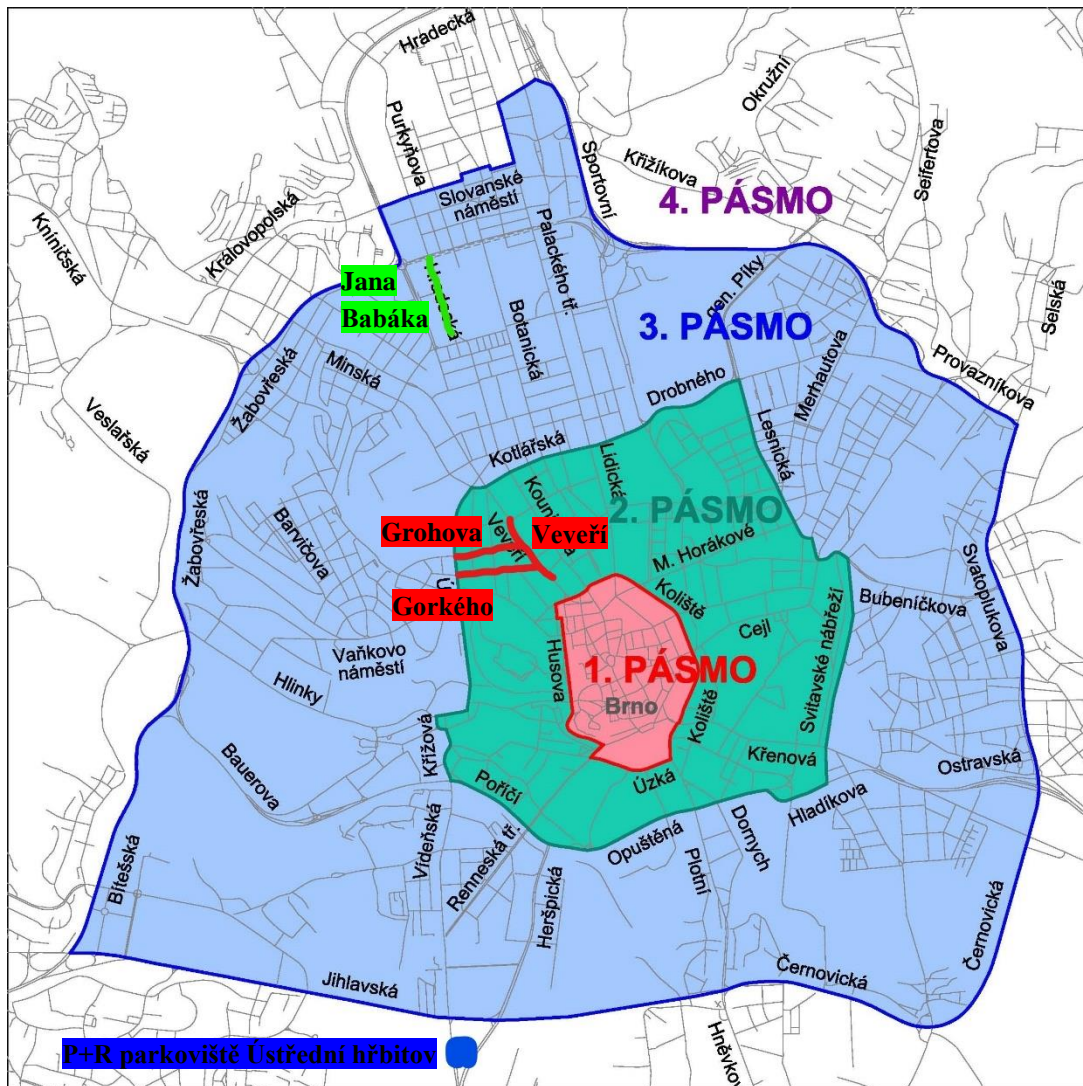
Dalším vliv na nákup elektromobilů mají firmy. Možností zisku dotací na elektromobily se firmy na nákupu elektromobilů podílí až z 80 % [58].

¹² 21 tisíc km za rok (v ČR přibližně 20 tisíc km za rok)

6.2 Scénář výběru lokality dle rezidentního parkování

Pro volbu lokality je město Brno rozděleno podle rezidentního parkování na čtyři oblasti:

1. pásmo - úzké centrum Brna
2. pásmo - širší centrum Brna
3. pásmo - přilehlé části
4. pásmo - odlehlé části



Obrázek 6.1 Parkovací zóny rezidentního parkování Brno [59] (upraveno)

Rozdělení podle rezidentního parkování bylo vybráno z důvodu možného využití pro budoucí parkovací (neparkovací) politiku ve městě.

Dále jsou při volbě lokality z časového hlediska stanoveny tři časová období:

- současnost
- horizont do 10 let
- nástup autonomních vozidel

Současný stav reflektuje stávající parkovací možnosti v Brně a nízkou penetraci elektromobility. Proto pro volbu lokality nebude uvažován. Vlivem penetrace elektromobilového trhu **autonomními elektromobily** lze předpokládat vytlačení parkovacích míst mimo užší městskou aglomeraci. Autonomní elektromobily budou moci být sdílené a následně parkovány v parkovacích domech na okrajích měst. Existuje velký počet faktorů ovlivňujících nasazení autonomních vozidel do plného provozu (např. legalizace ze strany vládních organizací, dostatečný vývoj technologií...). Období dostatečného vývoje autonomních elektromobilů pro plné nasazení v provozu nelze v současné době jasně stanovit, a proto nebude uvažováno. Jako zásadní pro výběr lokality bude uvažována **doba v horizontu následujících 10 let**. Průměrné stáří automobilů reálně jezdících na veřejných komunikacích se pohybuje okolo 8,5 let¹³. Lze tedy očekávat určitou setrvačnost používání automobilů se spalovacími motory i v době kdy je automobilky přestanou vyrábět [60].

Ze strany Magistrátu města Brna a jednotlivých brněnských částí lze v následujících letech očekávat snahu o vytlačení parkovacích ploch z užšího centra Brna. Z tohoto důvodu by se majoritní skupinou využívající tamní nabíjecí infrastrukturu měly stát prostředky mikromobility.¹⁴ Užší centrum Brna z tohoto důvodu nebude pro výběr lokality uvažováno. Vytlačení parkovacích míst z užšího centra Brna lze předpokládat vyšší vytíženost parkovacích míst v druhém a třetím pásmu. Jelikož je v současné době až 80 % nákupů elektromobilů uskutečňováno na firmy, lze v pásmech 2 a 3 očekávat početnou flotilu firemních elektromobilů. Druhé pásmo bude využitelné pro řidiče, kteří se budou snažit dostat do užšího centra města. Zároveň se třetím pásmem bude také sloužit pro parkování pro využití služeb firem. Finální čtvrté pásmo bude primárně sloužit k parkování přes noc na sídlištích a jiných obytných objektech v místech bydliště řidičů.

Výběr lokalit je ovlivněn následujícími parametry:

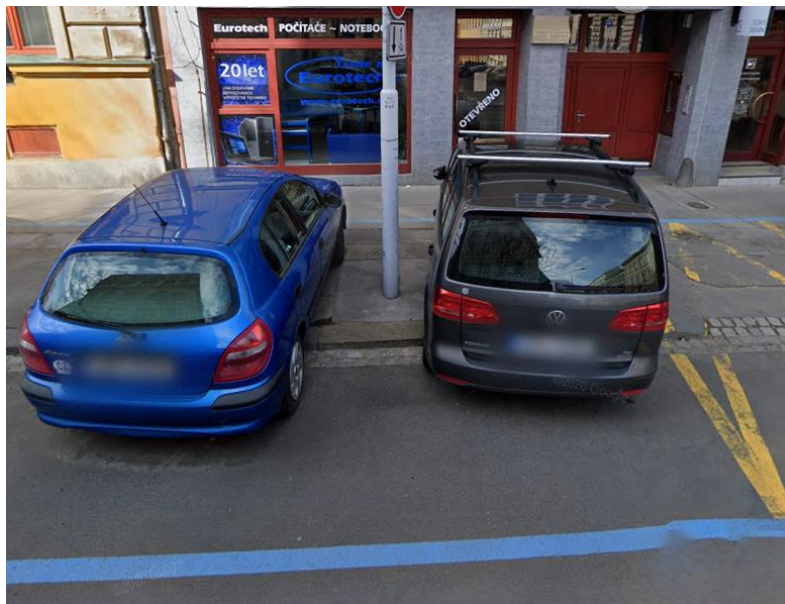
- Lokalita musí v současné době disponovat parkováním na ulicích.
- Svítidlo veřejného osvětlení musí být umístěny na straně u silnice, aby nedošlo k zablokování chodníku při nabíjení elektromobilů.

Ve druhém pásmu jsou vybrány ulice Gorkého, Grohova a Veveří (Obrázek 6.1 – červeně). Jedná se o ulice v širším centru Brna. V současné době jsou zde prodávány byty 2+1 za 5-10 milionů korun českých. Je očekávána vyšší kupní síla obyvatel kupujících byty ve zmíněné oblasti. Vlivem vyšší kupní síly obyvatel pak očekávat i vyšší

¹³ Jedná se o průměrný věk stále využívaných vozidel. Není započten věk vozidel s minimálním, nebo žádným ročním nájzdem.

¹⁴ V současné době je v Brně nasazeno přes 350 elektrokoloběžek. Nejrozšířenější typ koloběžky disponuje baterií o kapacitě 3,7 kWh. Vlivem nižších kapacit baterií lze pro mikromobilitu využívat nabíjecí body nižších výkonů (např 3,7 kW).

pravděpodobnost koupi elektromobilu. V oblasti se také nachází restaurační zařízení, nemocnice, park a obchod s potravinami. Jedná se o služby, které mohou řidiči elektromobilů využívat více než dvě hodiny a je tedy vhodné použití střídavých nabíjecích stanic pro pomalejší nabíjení.

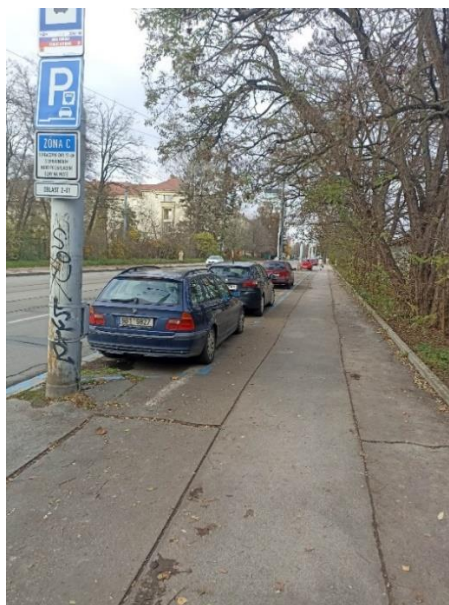


Obrázek 6.2 Ukázka parkování u sloupu veřejného osvětlení ulice Grohova [61]



Obrázek 6.3 Ukázka parkování u sloupu veřejného osvětlení ulice Veveří [61]

Ze třetího pásma je vybrána lokalita ulice Jana Babáka (Obrázek 6.1 – zeleně). V této oblasti lze očekávat vyšší zatíženost parkovacích míst v postupném vytlačování parkování z centra města, jelikož se jedná o parkování přímo u zastávky městské hromadné dopravy, kterou lze využít k cestám do centra města. Nevýhodou parkování na ulici Jana Babáka je podélné parkování.¹⁵



Obrázek 6.4 Ukázka parkování na ulice Jana Babáka



Obrázek 6.5 Ukázka parkování u sloupu veřejného osvětlení ulice Jana Babáka

¹⁵ Elektromobil parkující před sloupem po směru jízdy by mohl mít obtížnější nabíjení, vzhledem k tomu, že 4 z 6 nejprodávanějších elektromobilů v České republice za rok 2022 mají konektor na nabíjení v zadní části vozidla.

Pro čtvrté pásmo byly vybrány lokality P+R parkovišť. Rozvoj veřejné nabíjecí infrastruktury nižších nabíjecích výkonů bude provázen i snahou větších měst o snížení výskytu soukromých dopravních prostředků v centrech měst. Budou tedy rozšiřovány parkoviště P+R na okrajích měst. Dle současné evropské legislativy musí být na každých deset vystavěných parkovacích míst realizováno i jedno parkovací místo s nabíjecím bodem. Brno v současné době disponuje P+R parkovišti u Ústředního hřbitova (Obrázek 6.1 – modře) a na ulici Trnkova. Ovšem v následujících letech by se počet P+R parkovišť v Brně měl zvýšit, jak je uvedené na obrázku 6.6, kde jsou v zelených polích uvedeny počty plánovaných parkovacích míst [62].



Obrázek 6.6 Mapa plánovaných P+R parkovišť pro Brno [62]

7. SOUČASNÝ STAV VEŘEJNÉHO OSVĚTLENÍ V MĚSTĚ BRNĚ

Servis i provoz veřejného osvětlení v městě Brně je dlouhodobě realizován městskou společností Technické sítě Brno (TSB). Cílem společnosti je eliminace poruch, jejich případná eliminace, efektivita, úspornost a modernizace sítě. Například efektivita se v roce 2021 pohybovala v průměrné nesvítivosti 0,48 % (v průměru 198 svítidel), kdy hranice nesvítivosti v jiných srovnatelných městech se pohybuje na hranici 3-4 %. Během pravidelné údržby došlo v průběhu roku 2021 k odstranění cca 2 000 poruch na zařízeních veřejného osvětlení.

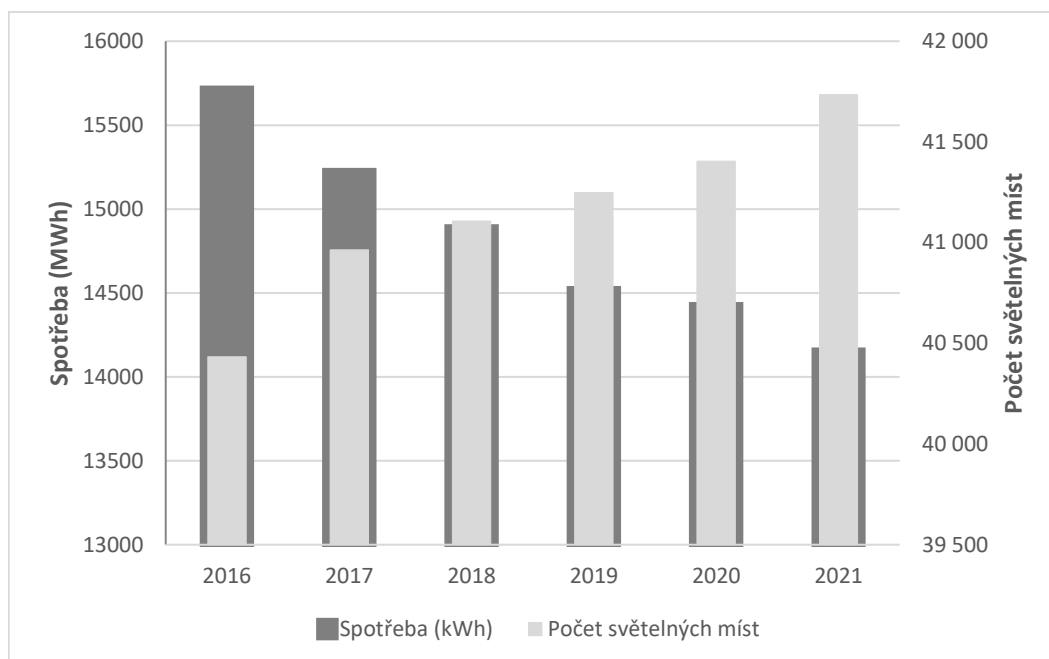
Na konci roku 2021 tvořila síť veřejného osvětlení v Brně 41 209 světelných míst¹⁶ k účelu osvětlení ulic a 526 světelných míst k osvětlení památek a významných budov. Celkově tedy síť veřejného osvětlení v Brně obsahuje 41 735 světelných míst. Průměrný příkon na 1 světelný bod je udáván 79 W. Celková roční spotřeba elektrické energie na provoz sítě VO činila za rok 2021 14 127 775 kWh. Z tabulky 7.1 a obrázku 7.1 je patrné, dodržování trendu snižování spotřeby elektrické energie v průběhu let navzdory zvyšujícímu se počtu světelných míst [63].

Tabulka 7.1 Vývoj spotřeby elektrické energie a světelných míst v Brně v období 2016-2021 [63]

Rok	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Spotřeba (kWh)	15 688 181	15 196 860	14 862 070	14 493 079	14 399 021	14 127 775
Počet světelných míst	40 434	40 964	41 107	41 249	41 404	41 735

Síť veřejného osvětlení v Brně podléhá dokumentu „Městské standardy pro veřejné osvětlení města Brna“ (aktualizováno 03/2022) vytvořeného TSB a vydáno Magistrátem města Brna. Dle uvedeného dokumentu musí být veřejné osvětlení vybudováno a udržováno v souladu s normami ČSN EN 40-1 až 7, ČSN EN 13201-1 až 4 a instalováno na pozemcích vlastněných městem. Dále elektrická zařízení musí splňovat normy ČSN 33 2000-1 až 7 [63].

¹⁶ Světelné místo se skládá ze svítidla, elektrické části a nosiče (stožár, zemní svítidlo,...)



Obrázek 7.1 Graf vývoje spotřeby elektrické energie a světelných míst v Brně v období 2016-2021 [63]

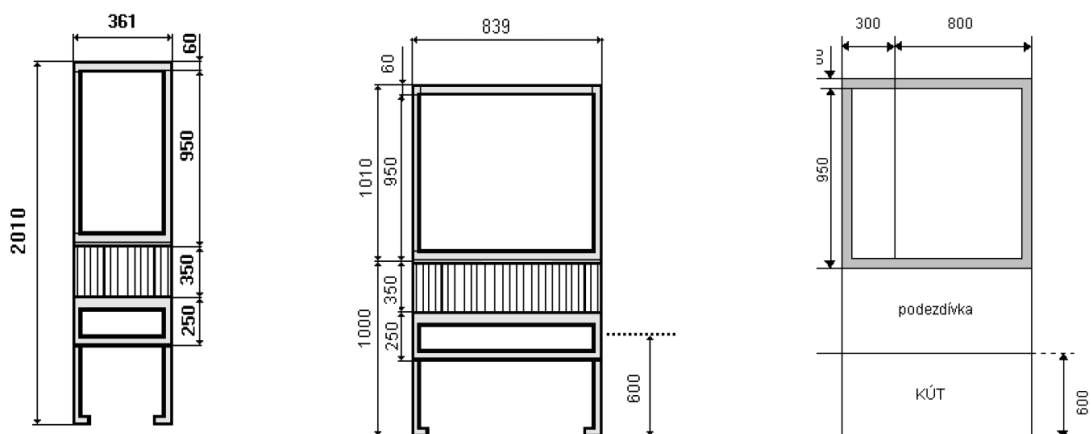
Pro ovládání veřejného osvětlení je v Brně instalováno 473 elektroměrových zapínacích rozvaděčů. Převážná většina (444) rozvaděčů je ovládána radiodatovou sítí a pouze 29 pomocí časových spínačů. Celkově 86 rozvaděčů je disponuje regulátory napětí a dalších 234 stabilizací napětí, jenž má za cíl úsporu elektrické energie (cca 26 %) v dané oblasti [64].

Rozvaděče zapínacích a rozpínacích míst jsou určeny k zapínání, napájení a jištění veřejného osvětlení v dané oblasti. Zapínací rozvaděč (Obrázek 7.2) je složen ze dvou částí: přístrojové a elektroměrové. Jmenovitý proud trojpolového hlavního jističe rozvaděče musí být minimálně 63 A. Umístění rozvaděčů veřejného osvětlení musí vyhovovat podmínkám trvalé přístupnosti pro přístup do rozvaděče:

- minimálně 800 mm před čelní stranou rozvaděče
- před rozvaděčem musí být zpevněná plocha o minimální šířce 600 mm a délce rozvaděče
- přístupová cesta k rozvaděči musí být vyvedena zpevněným povrchem.



Obrázek 7.2 Zapínací rozvaděč veřejného osvětlení [63]



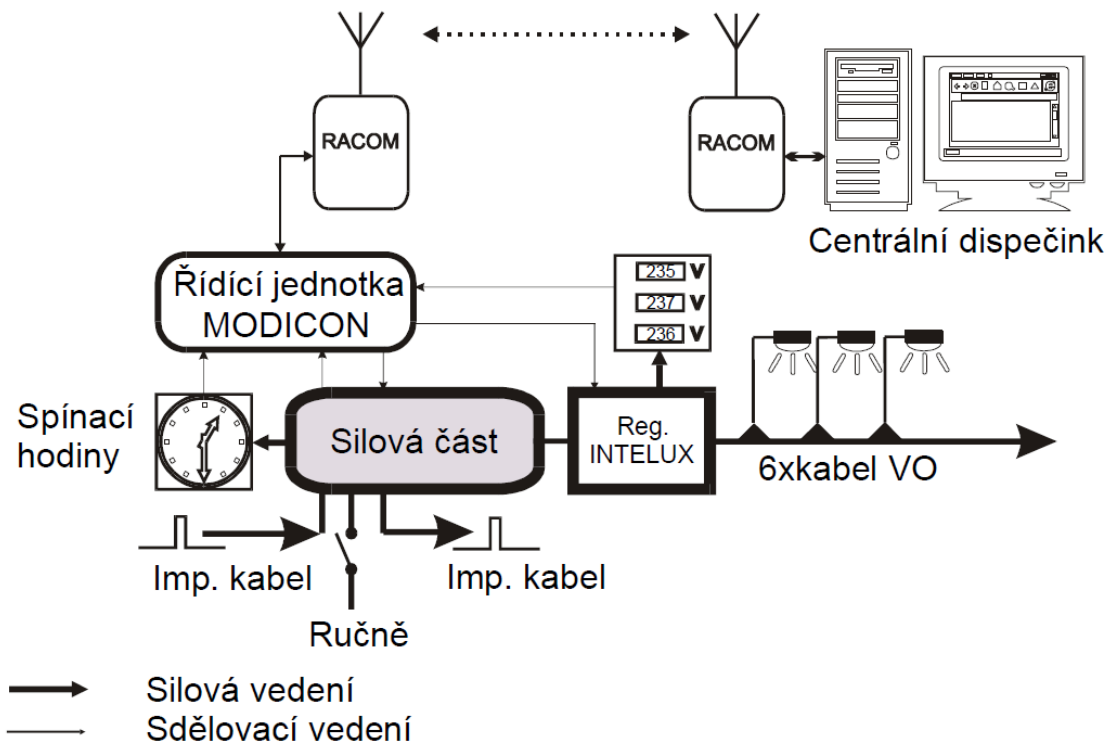
Obrázek 7.3 Standardizované rozměry rozvaděče [63]

Nejpoužívanějšími rozvaděči v městě Brně jsou:

- rozvaděč s radiokomunikací a s přípravou na regulaci s komunikačním modulem
- kompletní rozvaděč s radiokomunikací a regulací s komunikačním modulem

Zapínací (vypínací) rozvaděče veřejného osvětlení jsou řízeny radiovým signálem přímo z dispečinku TSB (viz Obrázek 7.4). Dispečink je schopen radiovou komunikací

spínat rozvaděče se sodíkovými svítilny a regulovat rozvaděče se svítilny technologie LED.



Obrázek 7.4 Blokové schéma zapínacího rozvaděče veřejného osvětlení [63]

Dále, jak vyplývá z blokového schéma zapínacího rozvaděče veřejného osvětlení, z každého rozvaděče je vyvedeno maximálně 6 větví veřejného osvětlení, z nichž je každá chráněna jističem typu B 32 A.

Zapínací místo musí být rovnoměrně zatíženo. Rovnoměrnosti je dosaženo rozfázováním jednotlivých svítidel a rovnoměrným zapojením jednotlivých větví do rozvaděče.

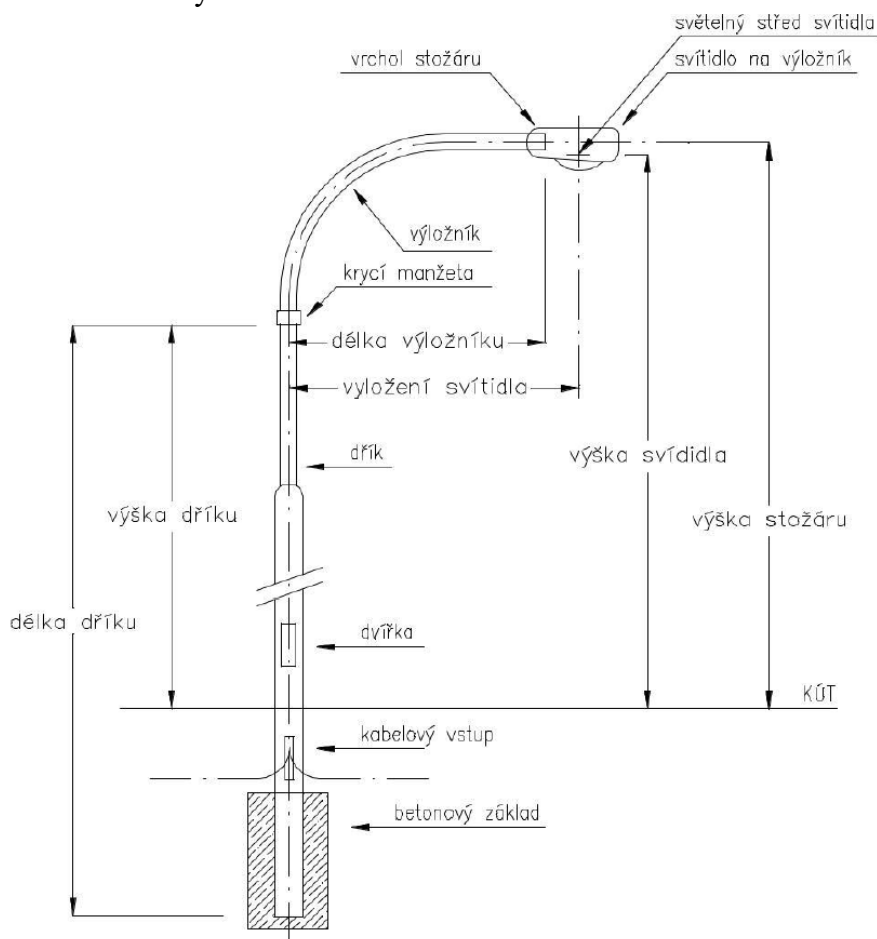
Rozvodná kabelová vedení veřejného osvětlení v zemi musí být řešena ochranným vodičem o stejném průřezu jako fázové. Kabelová vedení instalována na území města Brna musí být minimálně CYKY-J 4 x 10 mm². Výjimkou jsou historické stožáry, kde lze instalovat CYKY-J 5 x 4 mm². V současné době je trendem v rekonstruovaných projektech nasazování kabelu CYKY 4 x 16 mm², případně CYKY 4 x 25 mm². Nejmenší dovolené vzdálenosti kabelů veřejného osvětlení od ostatních sítí pro souběhy a křížení jsou uvedeny v tabulce 7.2 [63].

Tabulka 7.2 Nejmenší dovolené vzdálenosti kabelů VO od ostatních sítí - souběhy a křížení [63]

Druh sítě	Silové kabely do 1 kV	Metalické kabely elektronických komunikací	Nemetalické kabely elektronických komunikací
Vodorovný směr při souběhu (m)	0,05	0,20/0,10 ¹⁷	0,15/0,10
Svislý směr při šíření (m)	0,05	0,30/0,10	0,20/0,10

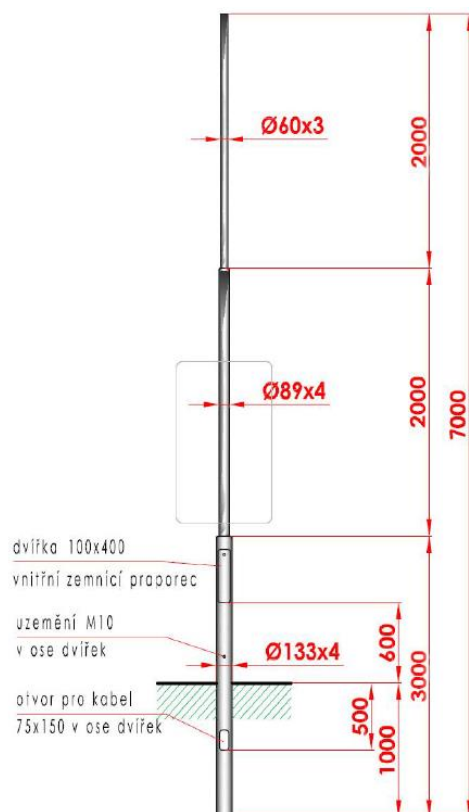
Při instalacích veřejného osvětlení společností TSB jsou využívány výhradně **bezpaticové stožáry** v provedeních sadové a silniční. Zmíněné stožáry jsou dále dále rozděleny podle výšky daného stožáru: sadové - 5 a 6 m; silniční – 8 až 12 m [63].

Ukázka a popis jednotlivých částí bezpaticového sadového stožáru je uvedena na obrázku 7.5. Dále na obrázcích 7.6 a 7.7 jsou uvedeny konkrétní rozměry daného 6m stožáru a obloukového výložníku.

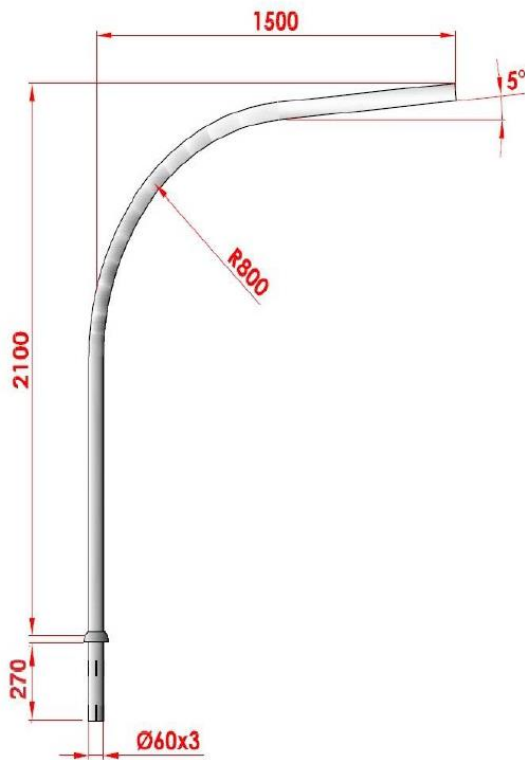


Obrázek 7.5 Osvětlovací bezpaticový uliční stožár [63]

¹⁷ nechráněno / v montážním kanálu nebo v betonových či plastových chráničkách



Obrázek 7.6 Rozměry bezpečivého sadového stožáru 6 m [63]



Obrázek 7.7 Rozměry obloukového výložníku [63]

Pro **elektrické přípojky VO** platí:

- Nové přípojky jsou připojovány o jmenovitém napětí 230/400 V na síť 3+PEN.
- Přípojky VO jsou realizovány odbočením přípojnic rozvaděčů NN v distribučních trafostanicích VN/NN nebo odbočením od spínacích prvků.
- Přípojka musí být realizována kabelem CYKY AJ x min. 25 mm², případně. AYKY AJ x min. 35 mm² [63].

7.1 Vyhodnocení připojitelnosti nabíjecích stanic pro EV do současné sítě VO v Brně

V rámci této kapitoly dojde ke stanovení limitních bodů, jenž omezují připojitelnost nabíjecích stanic na síť veřejného osvětlení. Dále budou pro tyto body navrženy možnosti řešení.

Jedním z největších problémů v připojitelnosti nabíjecích bodů do současné sítě veřejného osvětlení je legislativa daná Energetický regulačním úřadem. Konkrétně se jedná o zavedenou sazbu C62 určenou pro veřejné osvětlení. Zmíněná sazba je určena výhradně k napájení svítidel veřejného osvětlení a kamer integrovaného záchranného systému a nelze ji využít k prodeji energie. Společnost TSB také nedisponuje licenci na distribuci elektrické energie.

Možnými řešeními nasazení nabíjecích stanic na síť veřejného osvětlení přes sazbu C62 jsou:

- 1. Vyvedení napájecího kabelu (paralelně) před rozvaděčem veřejného osvětlení**
 - Nabíjecí stanice musí mít vlastní elektroměr.
 - Realizace omezeny pouze na rekonstrukce VO (pokládka kabelu)
 - Již provedená realizace v Brně na ulici tř. Kpt. Jaroše (kapitola 3.2.2)
- 2. Správa sítě VO ve vlastnictví provozovatele distribuční soustavy (PDS)**
 - PDS disponují licenci na prodej elektrické energie a mohou pro síť VO využívat jinou sazbu než C62.
 - Realizované projekty v Portugalsku (3.1.1) a v Praze (3.2.1)
- 3. Přefakturování prodané elektrické energie**
 - V současné době jsou nabíjecí stanice realizovány s vlastním elektroměrem (nabíjecí stanice informuje o množství odebrané energie). Lze tedy zpětně vyfakturovat množství odebrané energie všemi stanicemi a této hodnotě přidělit jinou sazbu.

Dalším úskalím synergie nabíjecích bodů a sítě veřejného osvětlení je napájení sítě pouze v nočním období. Řešením jsou:

- 1. Již zmíněné vyvedení kabelu před napájecím rozvaděčem**
- 2. Konstantní napájení sítě.**

- Problém se spínáním svítidel veřejného osvětlení – svítidla lze spínat jednotlivě (všechny musí obsahovat komunikační modul)
- TSB v současné době využívají pro spínání svítidel radiového signálu do rozvaděče, který hromadně spíná větve veřejného osvětlení. Pro funkci multifunkční sítě by byla vyhovující jedna komunikační technologie pro řízení a regulaci svítidel i nabíjecích stanic.

Dalším problémem jsou limitace na maximální výkon nabíjecích stanic. Ten je limitován průřezem kabelu používaného TSB (CYKY 4 x 16 mm² – proudová zatížitelnost v zemi je 95 A [65]) a hodnotou hlavního jističe typu B na rozvaděči 63 A a na každé z připojených větví 32 A. Společnost TSB má u provozovatele distribuční soustavy rezervován maximální příkon 63 A na rozvaděč a v každé oblasti se nemusí nacházet dostatek volné kapacity.

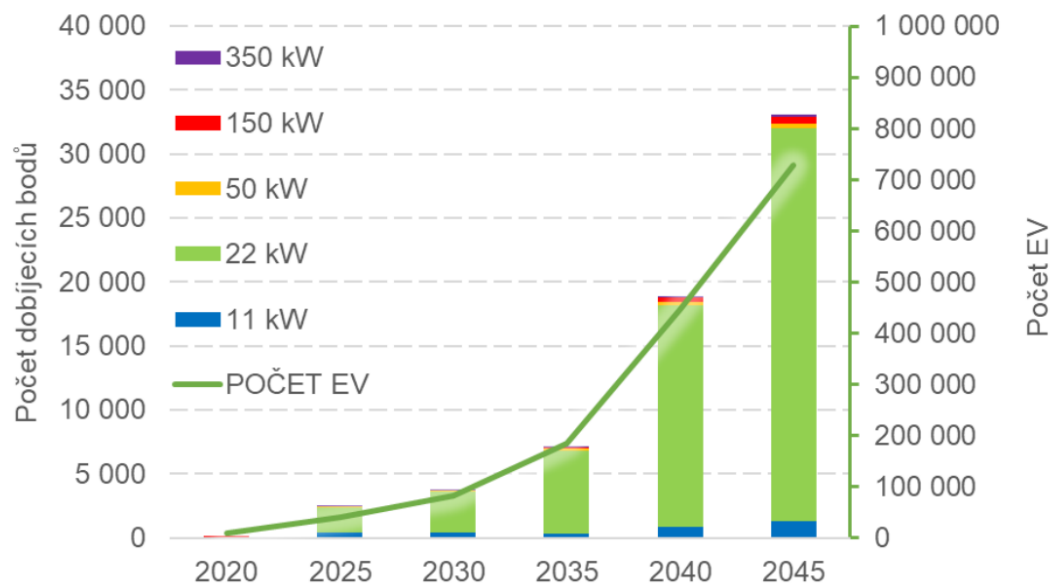
Posledním zmíněným problémem je umístění svítidel veřejného osvětlení. Pro využití sítě veřejného osvětlení pro nabíjení elektromobilů musí být svítidla umístěna přímo u parkovacích míst. Nemohou být tedy umístěny na druhé straně ulice a ani přes chodník (při nabíjení elektromobilu by došlo k zahrazení chodníku pro chodce)

Zmíněné problémy, limitace a řešení budou využity v následující kapitole pro sestavení multifunkční sítě.

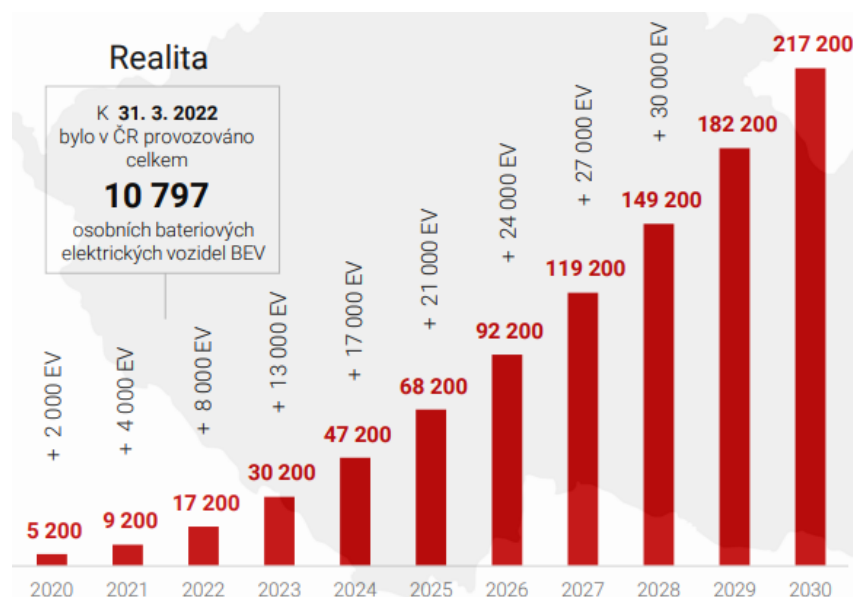
8. KONCEPT SYNERGIE NABÍJECÍCH STANIC A SÍTĚ VEŘEJNÉHO OSVĚTLENÍ

Koncept slouží jako možnost rozšiřování nabíjecí infrastruktury ve městech a v hůře realizovatelných lokalitách pro nabíjecí stanice s vlastním stojanem za snahy snížení investičních nákladů. Spolu s vývojem elektromobility dochází i k rozvoji predikce elektromobility v následujících letech. Tato predikce se ovšem v průběhu let mění, jak je tomu vidět při porovnání obrázku 8.1 a 8.2. Je patrné, že na obrázku 8.1, který vychází z Národního akčního plánu čisté mobility z roku 2019 je predikce osobních elektromobilů v roce 2030 téměř poloviční oproti obrázku 8.2, který vychází z dokumentu Ministerstva průmyslu a obchodu – Sdružení automobilového průmyslu z roku 2022. Z tohoto důvodu je koncept zpracován, tak aby při zvýšení predikce a nutnosti realizace více nabíjecích bodů mohlo dojít pouze k napojení stanice v předem připravené lokalitě a nemuselo docházet k budování celé nové sítě.

Dále pokud uvážíme fakt, že na konci roku 2022 bylo v České republice realizováno 687 AC nabíjecích stanic na 14 316 elektrických vozidel jedná se o poměr 20,84 elektrických vozidel na jednu AC nabíjecí stanici. Pokud by měl být do roku 2030 tento poměr zachován, při uvažování počtu elektrických vozidel 217 200 dle obrázku 8.2, muselo by být v České republice realizováno 10 422 AC nabíjecích stanic [66] [67].



Obrázek 8.1 Predikce elektromobility dle Národního akčního plánu čisté mobility z roku 2019 [68]



Obrázek 8.2 Predikce elektromobility dle Ministerstva průmyslu a obchodu [69]

Vlivem současné životnosti kabeláže využívané společnostmi TSB, která v průměru své kabelové vedení rekonstruuje po 20-30ti letech provozu, lze koncepci synergie rozdělit na tři (navazující) fáze. Zmíněný koncept první fáze byl společností TSB realizován v březnu roku 2023 na ulici Technická v Brně. Rozložení chráničky kopoflex 110 mm je znázorněno na obrázku 8.6.

První fázi lze realizovat v současné době při rekonstrukcích sítě veřejného osvětlení. Jedná se pouze o položení prázdné kabelové chráničky do výkopu v logicky předem vybraných oblastech.¹⁸

Během druhé fáze, jenž je plánována v následujících jednotkách let po rekonstrukci, dojde k využití kabelové chráničky pro instalaci nabíjecích bodů přímo na sloupy VO (obrázek 8.3). Pokud by ovšem byl v následujících 20 letech nárůst elektromobility tak markantní, že by místa na stožárech VO byly nedostačující, lze pouze ve zvoleném místě (mezi svítidly) s již nataženou kabelovou chráničkou provést výkop ke kabelové chráničce a implementovat napájecí kabel a vlastní stojan pro nabíjecí stanice (příklad uveden na obrázku 8.4 a schéma je uvedeno na obrázku 8.6). Nově instalovaný stojan může být realizován i s vlastním svítidlem jako je tomu například na obrázku 8.5.

Kabelová chránička musí být zvolena o dostatečném průměru, aby vyhovovala průřezu kabelu schopného napájet větší počet nabíjecích stanic.

¹⁸ Tyto oblasti jsou vybírány na základě polohy zapínacího rozvaděče od transformační stanice, polohy parkovacích míst vůči svítidlům VO a oblastech města.



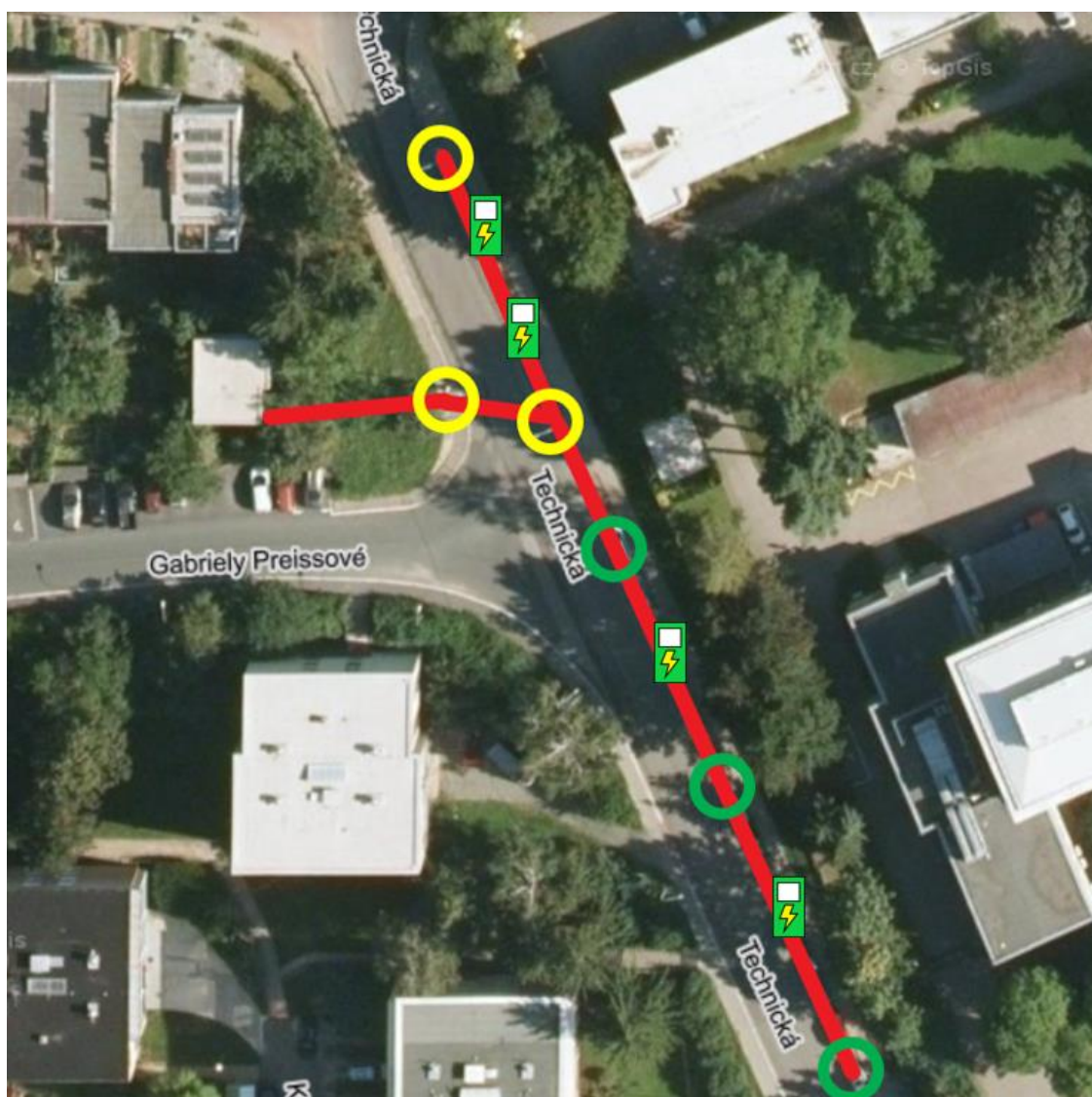
Obrázek 8.3 Stožár svítidla s nabíjecím bodem [70]







Obrázek 8.4 Samostatný stojan pro nabíjecí bod [71]



Obrázek 8.5 Samostatný stojan s integrovaným svítidlem [72]

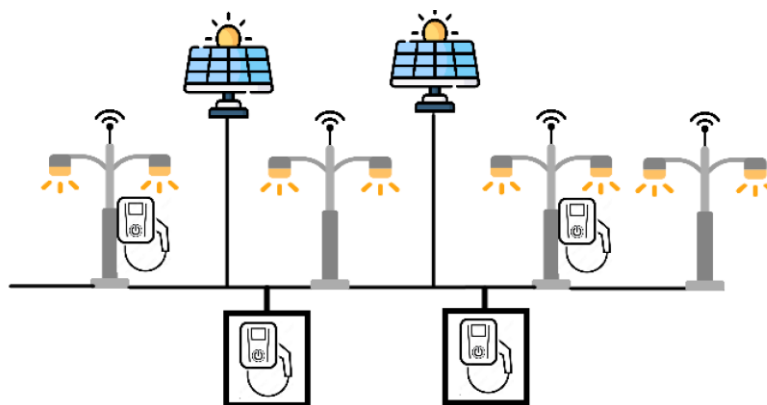


-  Svítidlo
-  Svítidlo s nabíjecím bodem
-  Kabelová chránička
-  Samostatný stojan s nabíjecí stanicí (případně osvětlený)

Obrázek 8.6 Návrh budoucí implementace nabíjecích bodů na ulici Technická v Brně

V horizontu následujících 20 let od rekonstrukce lze pohlížet na danou oblast jako předpřipravenou pro rozvoj multifunkční sítě (třetí fáze). Při následující rekonstrukci kabeláže VO lze realizovat třetí fázi konceptu, jenž spočívá v samotném nasazení multifunkční sítě. Jelikož s největší pravděpodobností by k této rekonstrukci došlo po zmíněných 20ti letech, lze předpokládat dostatečnou penetraci elektromobilů

na tuzemských silnicích a tím i zvýšené nároky na dostatečný počet nabíjecích míst. S druhou rekonstrukcí by došlo k nahrazení sítě veřejného osvětlení jednou sítí s kabeláží o průřezu, který je dostatečně velký pro zahrnutí nabíjecích stanic, malých zdrojů elektrické energie (fotovoltaických) a svítidel veřejného osvětlení. Hlavními službami sítě by pak bylo poskytnutí nabíjecí kapacity řidičům elektromobilů, osvětlování veřejných prostor a dodávka přetoků energie dále do nadřazené sítě, případně pouze snižování spotřeby dané multifunkční sítí. Jednalo by se o síť, jenž by primárně sloužila k napájení infrastruktury nabíjecích stanic, propojení fotovoltaických zdrojů a sekundárně by zde byla přivedena spotřeba sítě veřejného osvětlení.



Obrázek 8.7 Multifunkční síť

Mezi největší výhody konceptu patří případné nižší náklady na budování nabíjecí sítě, jelikož v současné době jsou jednou z nejnákladnějších položek při rekonstrukci sítě VO právě výkopové práce.

9. SCÉNÁŘ PŘIVEDENÍ PARALELNÍHO KABELU K SÍTI VO

V rámci možných využití synergie sítě VO s nabíjecí infrastrukturou bude jako první rozebráno řešení popsané v již zmíněném konceptu – využití výkopových prací na síti VO, položení kabelové chráničky a následné vyvedení paralelního kabelu k síti VO kabelovou chráničkou. Zmíněné řešení je realizovatelné při případných rekonstrukcích vedení sítě VO, či rekonstrukcích prováděných Brněnskými komunikacemi. Ve všech scénářích bude uvažována průměrná spotřeba svítidla 79 W¹⁹.

Jelikož bylo dáno společností TSB omezení na maximální délku kabelu, jenž lze kabelovou chráničkou provléct na 100 m, byly lokality a konkrétní parkovací místa pro instalaci nabíjecích bodů vybírány na základě následujících parametrů:

- Vzdálenost od napájecího bodu
- Pozice svítidla vůči parkovacím stáním
- Využitelnost nabíjecího bodu

Jelikož je v následujících scénářích uvedeno řešení vyvedení paralelního kabelu z rozvaděče veřejného osvětlení v těsné blízkosti transformační stanice, či hlavního přívodu, nabízí se využití napájení i pro rychlonabíjecí DC stanice nižších výkonů. Ovšem tento scénář nebude dále rozebírán, jelikož pro DC nabíjecí stanice platí jiná strategie využitelnosti a vytíženosti, která není v práci rozebrána.

Pro scénář vyvedení paralelního kabelu je uvažován maximální realizovatelný počet nabíjecích bodů o vyšších AC nabíjecích výkonech.

9.1 Scénář přivedení paralelního kabelu k síti VO – Ústřední hřbitov

Jako první lokalita bylo vybráno parkoviště P+R Ústřední hřbitov. Toto parkoviště disponuje šesti svítidly VO, z nichž je jedno výhodně polohováno mezi parkovacími místy. Úvaha realizace nabíjecích bodů na parkovištích P+R vychází z předpokladu, využití parkovacích stání řidiči v době od 7 hodiny ranní do odpoledních hodin, kdy zde řidiči zaparkují své elektromobily a pro cestu dále do centra města zvolí služby městské hromadné dopravy.

Další výhodou této lokality je vzdálenost vybraného svítidla (budoucích nabíjecích bodů) od transformační stanice, jenž činí 90 m.

Jako paralelně vedený kabel byl zvolen kabel CYKY 4x16 mm², jenž je v současné době standardně používán Technickými sítěmi Brno. Tento kabel byl zvolen, jelikož se jedná o instalaci nižšího počtu nabíjecích stanic o nižším výkonu a nedojte tak k překročení jeho zatížitelnosti. Pro funkci modelu je tento průřez dostačující.

¹⁹ Průměrná spotřeba udávaná společností Technické sítě Brno.

Maximální dovolené proudové zatížení kabelu CYKY 4x16 mm² uloženého v kabelové chráničce v zemi je 60,8 A [73] a z tohoto důvodu budou zvoleny pro realizaci dvě nabíjecí stanice, které při plném obsazení pokryjí nabíjení tří elektrických vozidel.

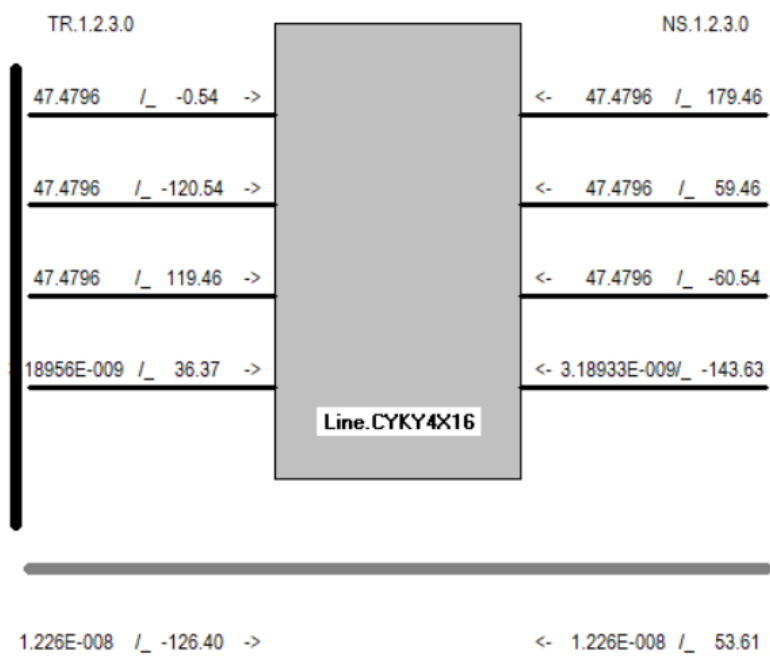
Paralelní kabel je veden od transformační stanice ke svítidlu VO uprostřed parkoviště Ústředního hřbitova. Svítidlo uprostřed parkoviště je obklopeno čtyřmi parkovacími místy, z nichž na třech bude uvažována instalace dvou nabíjecích AC, z nichž jedna stanice bude disponovat dvěma konektory o maximálním nabíjecím výkonu 22 kW pro jeden aktivní konektor, nebo případně 2 x 11 kW pro dva aktivní konektory a druhá nabíjecí stanice bude disponovat nabíjecím výkonem maximálně 11 kW. Jelikož lze předpokládat delší dobu parkování vozidel na parkovištích P+R, jsou voleny nabíjecí body nižších výkonů. Vzdálenost měřená (délka kabelu) mezi transformační stanicí a svítidlem s nabíjecími body je 90 m. Realizace je znázorněna na obrázku 9.1.



Obrázek 9.1 Schéma pro scénář vyvedení paralelního kabelu – Parkoviště Ústřední hřbitov

Pomocí programu OpenDSS byl sestaven model případu znázorněného na obrázku 9.1.

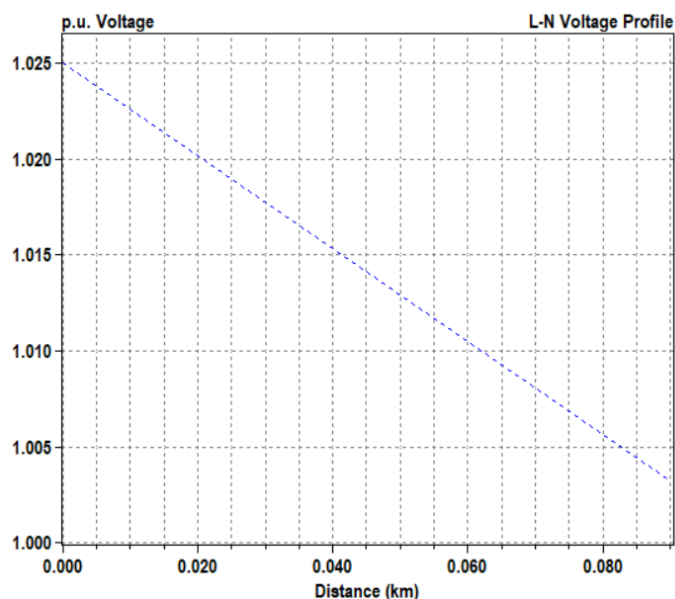
Dále na obrázku 9.2 jsou znázorněny vypočítané fázové proudy kabelem CYKY 4x16 mm² při realizaci AC nabíjení 3 x 11 kW.



Obrázek 9.2 Fázové proudy tekoucí kabelem CYKY- scénář paralelního vodiče – P+R UH

Následně obrázek 9.3 znázorňuje profil úbytku napětí kabelem CYKY 4x16 mm² v poměrných jednotkách vztažených na fázovou hodnotu napětí $U_v=236,71 \text{ V}^{20}$.

²⁰ Jedná se o přepočtenou hodnotu sdruženého napětí v transformační stanici $U_s=410 \text{ V}$.



Obrázek 9.3 Profil úbytku napětí - scénář paralelního vodiče – P+R UH

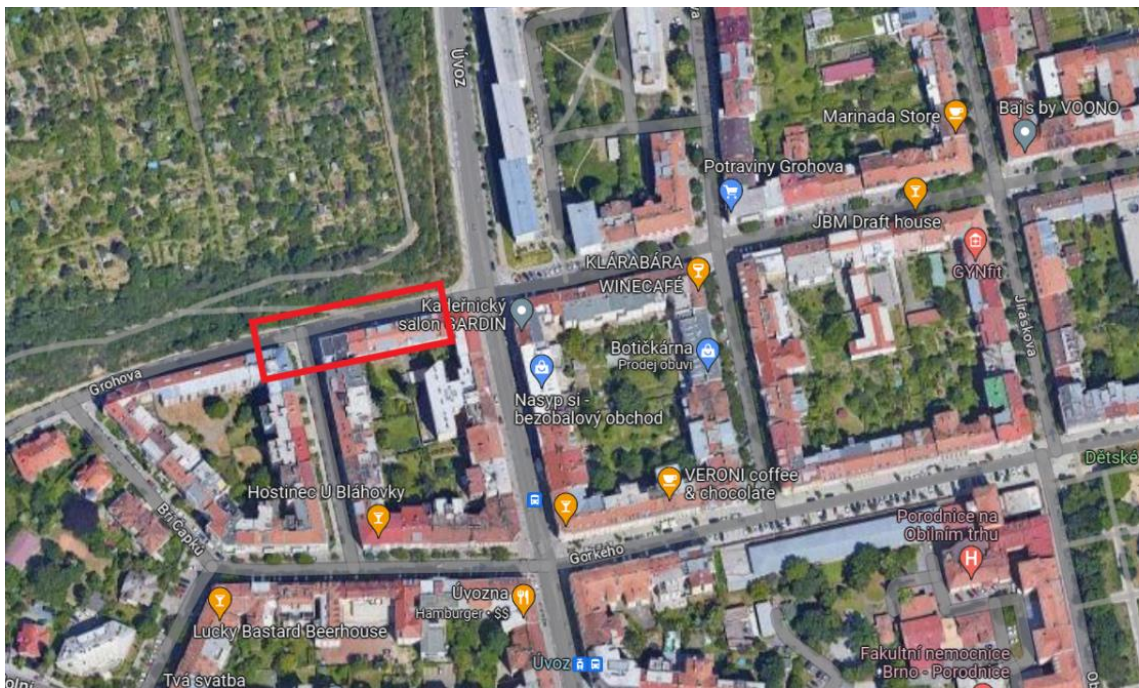
Pokud uvážíme kabel CYKY 4x16 mm², jehož proudová zatížitelnost v kabelové chráničce v zemi je 60,8 A a porovnáme tuto hodnotu s proudovým zatížením jednotlivých fází na obrázku 9.2, je zřejmé, že kabel nebude proudově přetěžován. Dále jak vychází z obrázku 9.3, na konci kabelu dojde k naplnění požadovaných napěťových podmínek (+- 10 % U_v).

Z výše uvedeného vyplývá, že model vyvedení paralelního kabelu CYKY 4x16 mm² ve vzdálenosti 90 m ke svítidlu umístěnému uprostřed P+R parkoviště Ústřední hřbitov je z technického hlediska realizovatelný pro současné nabíjení tří elektrických vozidel s maximálním nabíjecím výkonem 11 kW.

9.2 Scénář přivedení paralelního kabelu k síti VO – Oblast ulice Veverí

Další oblastí zkoumání přivedení paralelního kabelu k síti VO je oblast ulice Veverí, kdy zdejší síť veřejného osvětlení je značně rozsáhlá a pro využití tohoto scénáře tak byly vybrány dvě lokality.

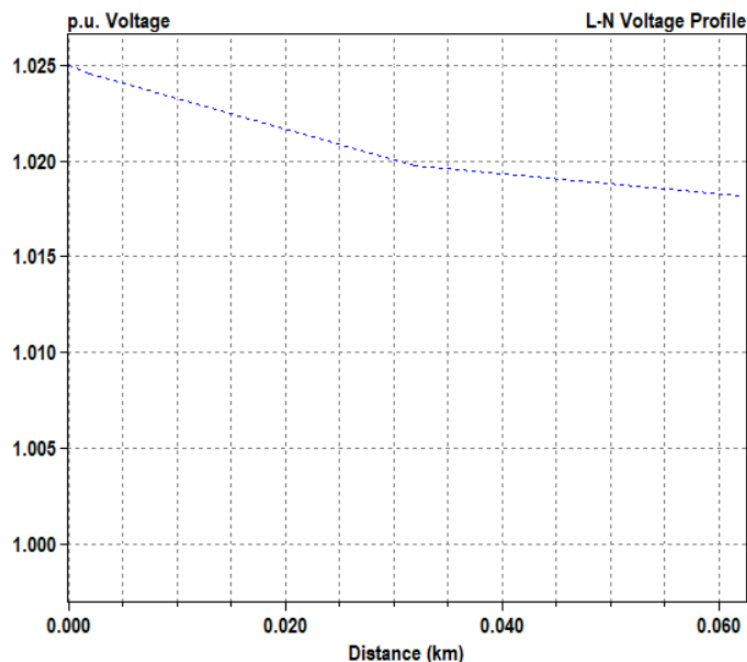
První lokalitou je ulice Grohova za křižovatkou s ulicí Úvoz. Pro tuto oblast bylo navrženo zakopání kabelové chráničky od hlavního přívodu ke třetímu svítidlu v této ulici, které je ve vzdálenosti 60 m (obrázek 10.7). Jedná se o lokalitu bytových domů, z čehož vyplývá předpoklad delší parkovací doby vozidel a využití nabíjení převážně o víkendech a v noční době, lze tak uvažovat nabíjecí body nižších výkonů. V oblasti byla navržena realizace dvou AC dobíjecích stanic 7,4 kW a jedné AC nabíjecí stanice 2 x 7,4 kW.



Obrázek 9.4 Scénář paralelního vodiče – ulice Grohova

Na obrázku 9.4 je modře znázorněno možné natažení kabelové chráničky ze třetího svítidla a využití dalšího stožáru svítidla veřejného osvětlení v ulici Stojanova pro umístění nabíjecích stanic, ovšem zde by mohlo dojít k problému natažení chráničky, kdy by nebylo možné natažení kabelu přímo od napájecího bodu a muselo by dojít k natažení zvláště z posledního svítidla na ulici Grohova. Z tohoto důvodu s touto možností nebylo v modelu počítáno.

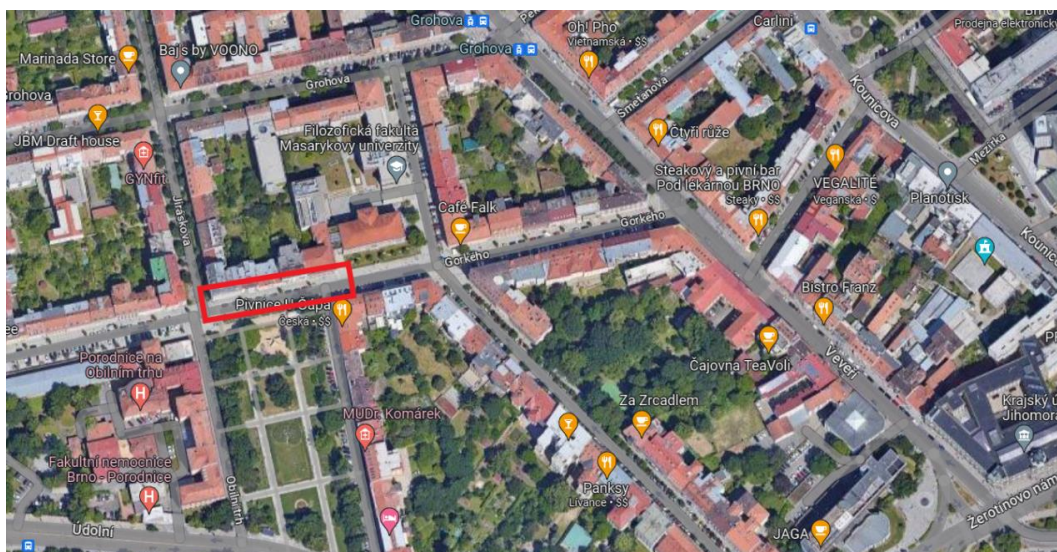
Na následujícím obrázku 10.8 je uveden profil úbytku napětí.



Obrázek 9.5 Profil úbytku napětí - scénář paralelního vodiče – ulice Grohova

V této vybrané lokalitě nedošlo ve výpočetním modelu k překročení zatížitelnosti kabelu CYKY 4x16 mm² a dále nedošlo ani k nedodržení napěťových podmínek.

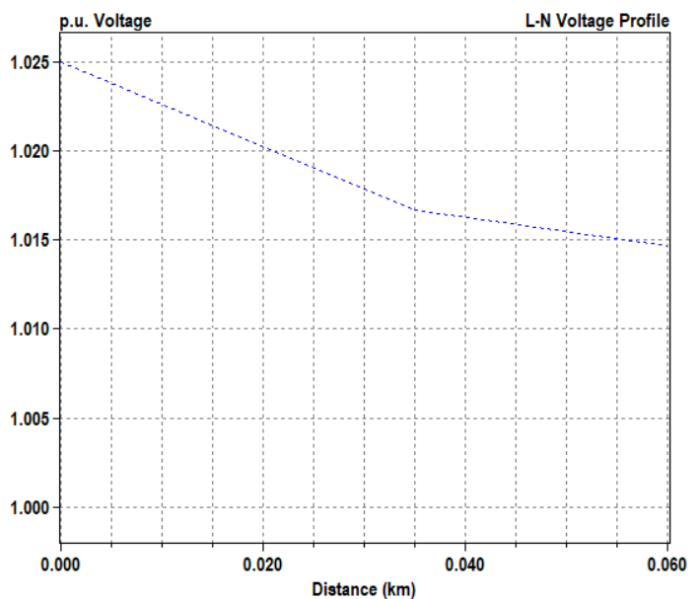
Druhou vybranou lokalitou v oblasti ulice Veverí je ulice Gorkého u křižovatky s Obilním trhem. Jedná se o oblast určenou spíše pro střední a nižší dobu parkování (restaurace, porodnice, přechod na městskou hromadnou dopravu,...). Tamní svítidla jsou umístěna nevhodně pro nabíjení dvou parkovacích míst a lze je tak využít pouze pro nabíjení jednoho elektrického vozidla (obrázek 9.6). Pro model výpočtu tedy byla využita jedna nabíjecí stanice 22 kW a jedna nabíjecí stanice 11 kW.





Obrázek 9.6 Scénář paralelního vodiče – ulice Gorkého

Na následujícím obrázku 9.7 je uveden profil úbytku napětí.



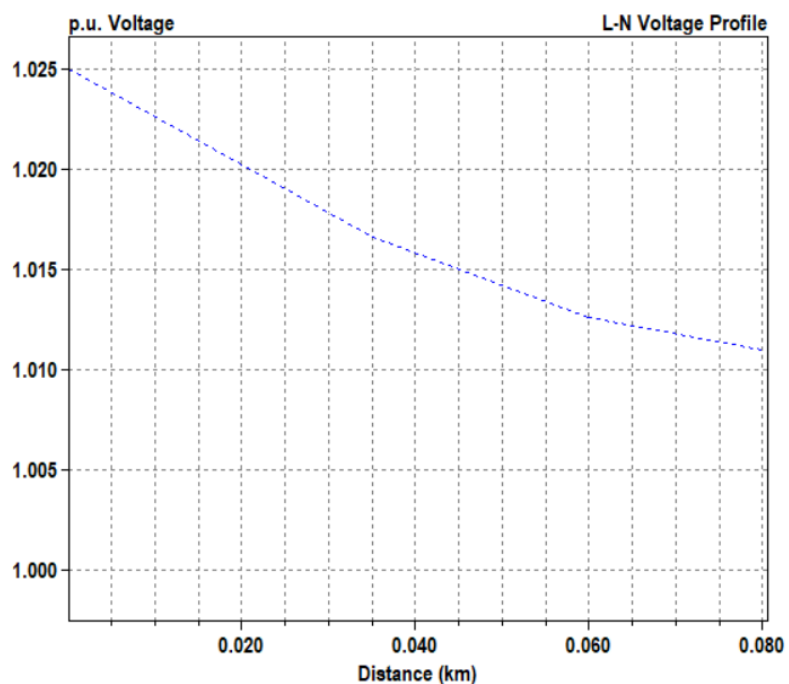
Obrázek 9.7 Profil úbytku napětí - scénář paralelního vodiče – ulice Gorkého

Čtvrté svítidlo v ulici Gorkého na obrázku 9.6 je v současné době příliš vzdáleno od parkovacího stání. Ovšem při rekonstrukcích sítě veřejného osvětlení dochází i k přemístění některých svítidel, proto pokud by bude uvažováno posunutí svítidla po rekonstrukci blíže k parkovacímu místu, bylo by možné dané svítidlo využít pro instalaci nabíjecí stanice. Zmíněný případ je uveden na obrázku , kdy aby mohlo dojít k zachování užití kabelu $CYKY\ 4 \times 16\ \text{mm}^2$, je uvažována instalace tří AC nabíjecích stanic o výkonu 11 kW.



Obrázek 9.8 Scénář paralelního vodiče pro 3 NS – ulice Gorkého

Na následujícím obrázku 9.9 je uveden profil úbytku napětí.



Obrázek 9.9 Profil úbytku napětí- 3 NS - scénář paralelního vodiče – ulice Gorkého

Ani v jedné z uvedených variant pro lokalitu na ulici Gorkého nedošlo ve výpočetním modelu k překročení zatížitelnosti kabelu CYKY 4x16 mm² a dále nedošlo ani k nedodržení napěťových podmínek.

9.3 Scénář přivedení paralelního kabelu k síti VO – ulice Jana Babáka

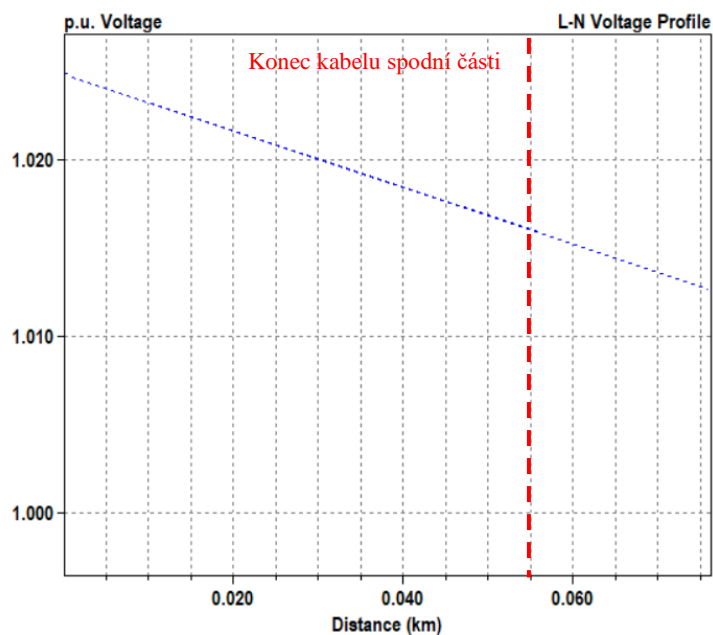
Poslední zkoumanou oblastí je ulice Jana Babáka, která se nachází ve třetím pásmu strategie parkování zmíněné v kapitole 6.2.

Ulice Jana Babáka v současné době disponuje 70ti parkovacími místy umístěnými přímo vedle silniční komunikace. Na základě výše popsané analogie bude ve scénáři na ulici Jana Babáka zkoumána varianta nasazení 2 AC dobíjecích stanic 2 x 11 kW (obrázek 9.10). Pokud tedy bude AC stanice obsazena na obou konektorech bude dodávat maximální výkon 11 kW, pokud ovšem bude obsazena pouze na jednom konektoru, bude dodávat maximální výkon až 22 kW.



Obrázek 9.10 Scénář paralelního vodiče– ulice Jana Babáka

Na následujícím obrázku je uveden profil úbytku napětí modelu (obrázek 9.11).



Obrázek 9.11 Profil úbytku napětí - scénář paralelního vodiče – ulice Jana Babáka

Pro lokalitu na ulici Jana Babáka nedošlo ve výpočetním modelu ve spodní ani ve vrchní části ulice k překročení zatížitelnosti kabelu CYKY 4x16 mm² a dále nedošlo ani k nedodržení napěťových podmínek.

9.4 Vyhodnocení scénáře přivedení paralelního kabelu k síti VO

Z výpočtů modelů pro různé lokality uvedené v této kapitole vyplývá, že pro nižší počet (řádově jednotky) nabíjecích stanic o nižších nabíjecích výkonech lze pro rozšiřování nabíjecí infrastruktury provést paralelní vyvedení kabelu CYKY 4x16 mm².

10. SCÉNÁŘ VYUŽITÍ STÁVAJÍCÍ SÍTĚ VO PRO NABÍJENÍ EV

Scénář využití stávající sítě veřejného osvětlení využívá již vybudované sítě VO v Brně a informací o ní poskytnutých společností TSB. V rámci konstrukce tohoto scénáře je zkoumána pouze stránka technické proveditelnosti připojení nabíjecích stanic pro elektromobily do sítě veřejného osvětlení a legislativní stránka (např. sazba C62) je zde zanedbána.

Výběr konkrétních míst pro realizaci nabíjecích stanic v již zmíněných oblastech, uvažované nabíjecí výkony a počty nabíjecích stanic budou do následujících scénářů voleny dle zpracované sociologie parkovacích dob a chování řidičů zpracovaných v následující podkapitole.

V rámci tohoto scénáře bude zkoumán nejhorší možná situace z pohledu napěťových podmínek. Simulace pro porovnání napěťových poměrů proběhnou za plné obsazenosti nabíjecích bodů pro noční dobu (za odběru svítidel). Pokud dojde k dodržení napěťových podmínek při plné obsazenosti nabíjecích bodů a zároveň plném odběru svítidel veřejného osvětlení, pak nedojde k překročení spodní meze napěťových podmínek ani pokud budou napájeny pouze nabíjecí stanice a z tohoto důvodu nebude tento případ zkoumán.

10.1 Sociologie nabíjení EV a volba možných nabíjecích výkonů stanic

Pro stanovení potřebného počtu nabíjecích bodů a určení hodnoty nabíjecích výkonů stanic bude vybrána oblast okolo ulic Grohova a Veverčí, jenž bude i dále brána jako příkladová ulice pro rozvoj a implementaci multifunkční sítě na základě analýzy chování řidičů zpracované v této podkapitole.

Aby mohlo dojít k volbě konkrétních nabíjecích výkonů stanic je třeba uvést parkovací strategii řidičů elektrických vozidel. Tato parkovací strategie se neliší od parkování řidičů aut se spalovacími motory. Zároveň z pohledu rezidentního parkování v Brně je na elektrická vozidla pohlíženo jako na klasická vozidla se spalovacím motorem, jelikož zabírají stejný prostor. Rozdílem jsou vyhrazená parkovací stání s označením E, které jsou realizovány u nabíjecích stanic a po dobu nabíjení je na takto označených stáních parkování zdarma. Pro dobu dobíjení si však musí řidič přes mobilní aplikaci sjednat oprávnění v různých variantách délky dobíjení: 6, 12, 18 a 24 hodin [74].

Pro účely následujících scénářů bude parkování řidičů rozděleno na tři časová pásma:

- Krátkodobé parkování (1-2 hodiny) – parkování za účelem návštěvy služeb, úřadů, a jiných osobních záležitostí.
- Parkování v pracovní době (8-9 hodin) – parkování přes pracovní dobu
- Noční parkování (12-14 hodin)

Dle Ministerstva průmyslu a obchodu – Sdružení automobilového průmyslu, by se mělo na českých silnicích v roce 2030 pohybovat 217 200 osobních elektrických automobilů [69]. Na konci roku 2022 čítal vozový park v České republice 6 425 417 osobních vozidel. [75] Pokud uvážíme vliv stáří vozidel, carsharingu a budoucího nasazení a sdílení autonomních vozidel, lze předpokládat, že nedojde k výraznému zvýšení počtu osobních vozidel. Kolem roku 2030 by se tedy jednalo o poměr zhruba 30 osobních automobilů se spalovacími motory na jeden elektromobil.

Z pohledu chování řidičů lze očekávat snahu dobíjet elektrické vozidlo již při stavu baterie 20 % a vyšším [76]. Dále pokud uvážíme, že nejprodávanější elektrický vůz za rok 2022 v České republice disponuje baterií o velikosti 82 kWh, pak se jedná se o 65,6 kWh elektrické energie na jeden nabíjecí bod pro nabití z 20 % na 100 % kapacity baterie [67]. Toto množství energie lze dodat pomocí výkonů nabíjecích bodů v závislosti na časech nabíjení uvedených v následující tabulce 10.1.

Tabulka 10.1 Porovnání časů dobíjení pro vybrané nabíjecí výkony pro dobití 65,6 kWh energie

Nabíjecí výkon	Očekávaná doba nabíjení
22 kW	3 hodiny
11 kW	6 hodin
7,4 kW	9 hodin
5,5 kW	12 hodin

Během volby nabíjecích výkonů pro jednotlivé scénáře je předpokládáno, že řidiči elektrických vozidel denně najedou vozidlem průměrně do 50 km [77]. Při uvažování spotřeby energie elektrických vozidel 180 Wh/km pro letní dobu a 220 Wh/km pro zimní dobu tak dojde k průměrné spotřebě 9 kWh (11 % kapacity uvažované baterie) za den pro letní dobu a 11 kWh (13,4 % kapacity uvažované baterie) za den pro zimní dobu. Není zde tedy potřeba každodenního nabíjení, ale předpokládá se, že řidiči budou na AC nabíjecích bodech nabíjet jednou za 5 až šest dní [78].

Analýza chování řidičů elektrických vozidel je podrobně aplikována pro připojitelnost nabíjecích stanic k síti veřejného osvětlení pro příkladovou oblast v okolí ulice Veveří, jenž je rozebrána v následující podkapitole 10.2. Dále v podkapitolách 10.3 a 10.4 je nastíněn obdobný princip pro oblasti parkoviště P+R Ústřední Hřbitov a ulici Jana Babáka.

10.2 Scénář využití stávající sítě VO pro nabíjení EV – Oblast ulice Veverí

Síť veřejného osvětlení v oblasti ulice Veverí je znázorněna žlutě na obrázku 10.1. Tato síť disponuje 454 svítidly, dvěma rozvaděči veřejného osvětlení napojenými přímo na transformační stanici a dva rozvaděče VO s hlavním přívodem. Síť je vybudována kabelem AYKY 4 x 35 mm², který má proudovou zatížitelnost v kabelové chrániče v zemi 73,15 A [73].

V oblasti Grohova, Antonínská a třídy Kapitána Jaroše se nachází 3 731 parkovacích míst [79]. Dle analogie zmíněné v podkapitole 10.1 by měla tato oblast v roce 2030 disponovat asi 124 parkovacími místy s nabíjecími body. Pokud uvážíme, že oblast okolí ulic Veverí a Grohova disponuje 30 % těchto parkovacích míst, jedná se pak o 37 nabíjecích bodů v této oblasti. Z výše uvedeného, pokud uvážíme kapacitu baterie 82 kWh nabíjenou z 80 % na 37 nabíjecích bodech dostaneme celkovou hodnotu energie potřebnou při plné obsazenosti 2 427 kWh za den.



Obrázek 10.1 Schéma sítě VO v oblasti ulice Veverí

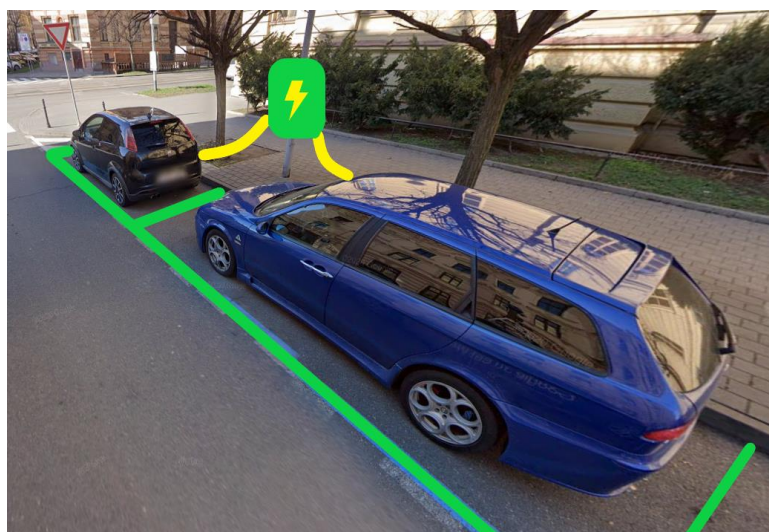
V rámci modelu pro OpenDSS budou na základě výše zpracované sociologie řidičů elektrických vozidel přerozděleny nabíjecí výkony pro 37 nabíjecích bodů do konkrétních ulic (viz tabulka 10.2). Orientační rozmístění nabíjecích stanic je uvedeno na obrázku 10.2. Dále na obrázku 10.3 je uveden orientační princip řešení nabíjecích stanic.

Tabulka 10.2 Rozdělení výkonů nabíjecích stanic na jednotlivé ulice

Ulice	Počet a výkon nabíjecích bodů
Čápkova	2x5,5 kW (4x)
Grohova	2x11 kW (2x)
Gorkého	22 kW (1x); 11 kW (1x)
Jiráskova	2x5,5 kW (2x)
Obilní Trh	2x11 kW (2x)
Pekárenská	2x11 kW (2x)
Slovákova	22 kW (1x); 7,4 kW (2x)
Sokolská	2x11 kW (2x)
Veveří	2x11 kW (1x); 2x5,5 kW (1x)



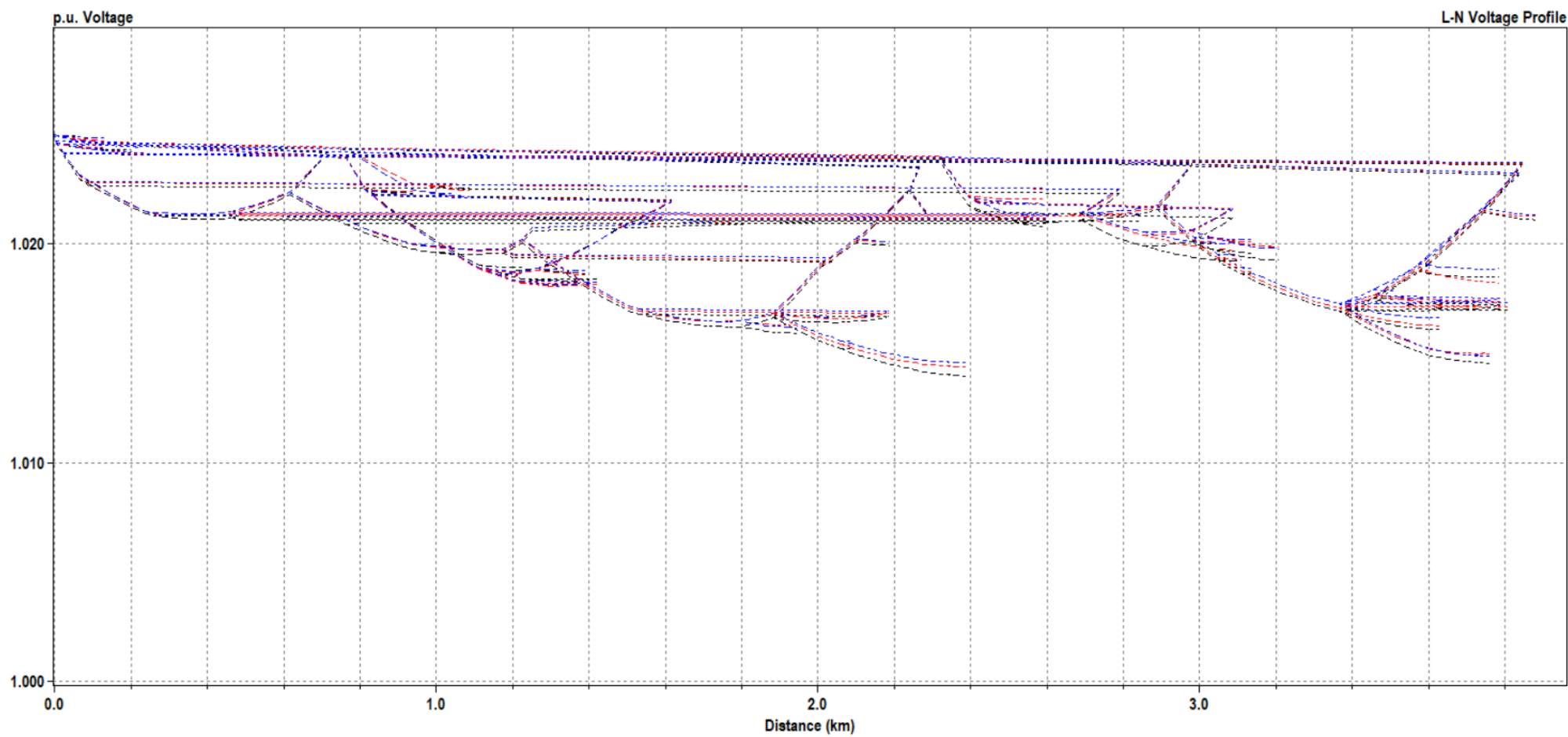
Obrázek 10.2 Schéma sítě VO + 37 NB v oblasti ulice Veverí



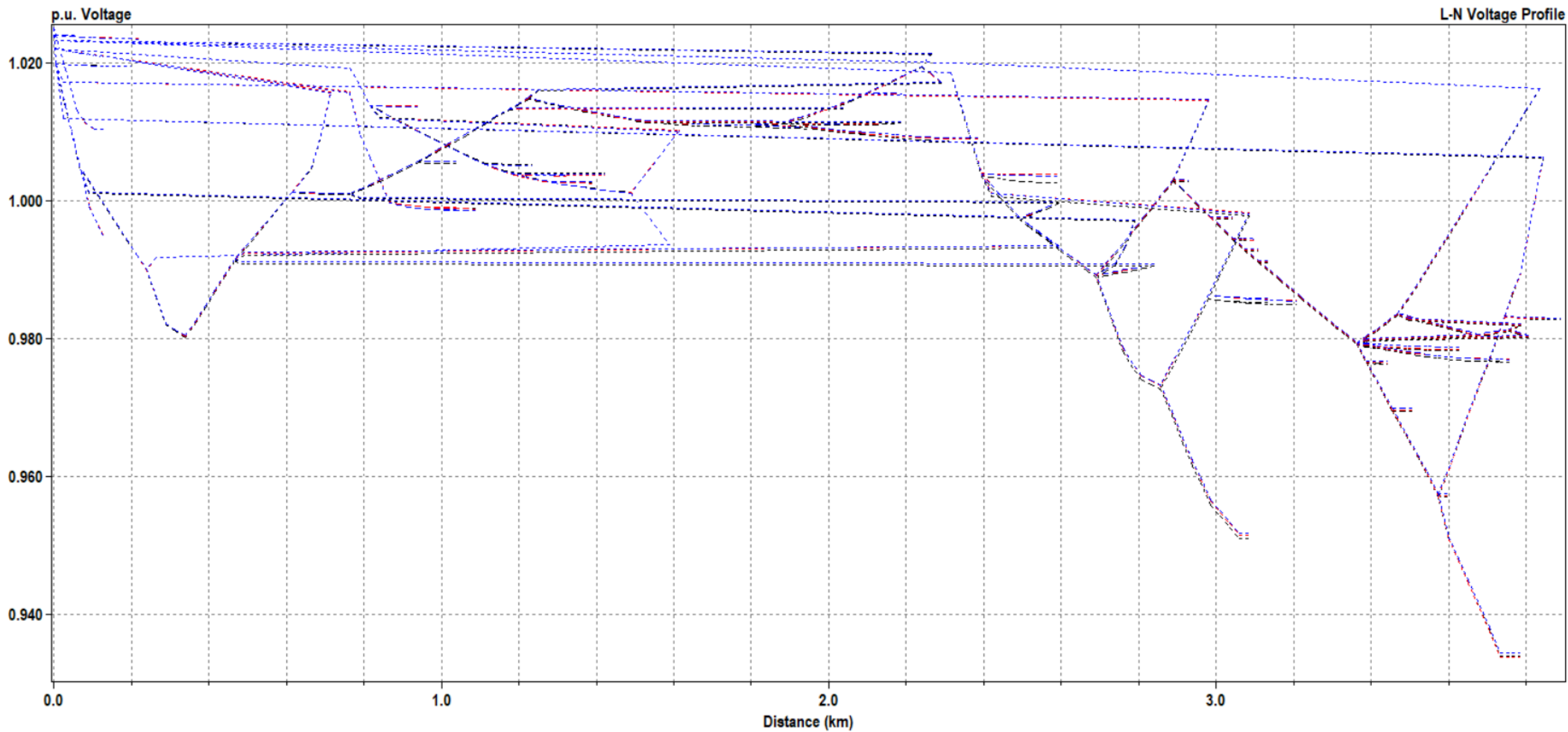
Obrázek 10.3 Orientační ukázka realizace ulice Sokolská

Umístění nabíjecích bodů bylo vybíráno, aby nedošlo k přetížení jakéhokoliv z kabelů, na základě možné parkovací strategie odvozené z konceptu rezidentního parkování, uvedené v podkapitole 6.2 a sociologie řidičů elektrických vozidel v podkapitole 10.1.

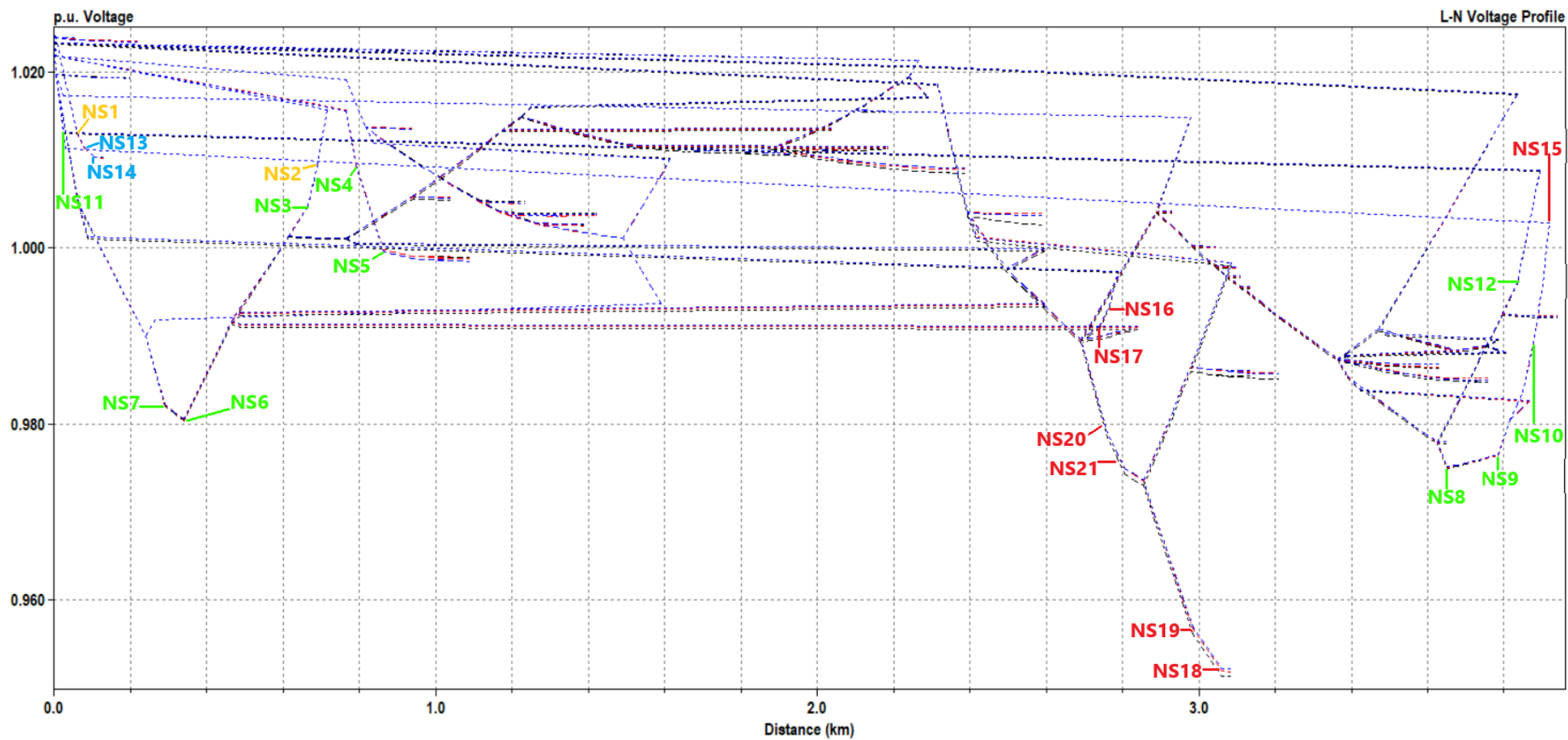
Porovnání napěťového profilu sítě veřejného osvětlení před instalací nabíjecích stanic a po instalaci nabíjecích stanic je znázorněna na obrázku 10.4 a 10.5. Z těchto obrázků dále vyplývá, že ani po instalaci nabíjecích stanic nedošlo při počátečním napětí na napájecích bodech 410 V k nedodržení napěťových podmínek.



Obrázek 10.4 Profil úbytku napětí na síti VO ulice Veveří



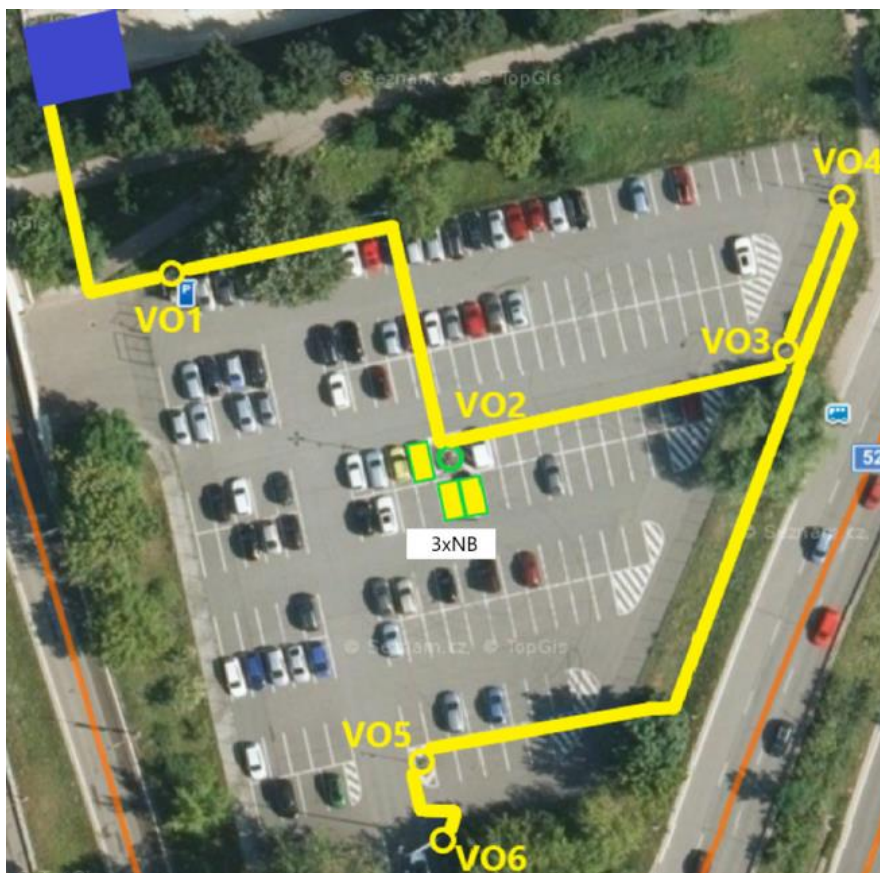
Obrázek 10.5 Profil úbytku napětí na síti VO v oblasti ulice Veverí po instalaci 37 nabíjecích bodů








Obrázek 10.6 Profil úbytku napětí na síti VO v oblasti ulice Veverčí s označením 37 nabíjecích bodů

10.3 Scénář využití stávající sítě VO pro nabíjení EV – P+R UH

Scénář reprezentuje připojení dvou AC nabíjecích stanic do sítě VO na parkovišti Ústředního hřbitova (obrázek 10.7). Vybraná větev VO disponuje 6 svítidly a je napájena z rozvaděče VO, který je napojen přímo do přilehlé transformační stanice. Zmíněné dvě AC nabíjecí stanice budou napojeny do bodu VO2, který reprezentuje druhé svítidlo větve. Celá síť modelu je napájena jedním kabelem CYKY 4x16 mm².

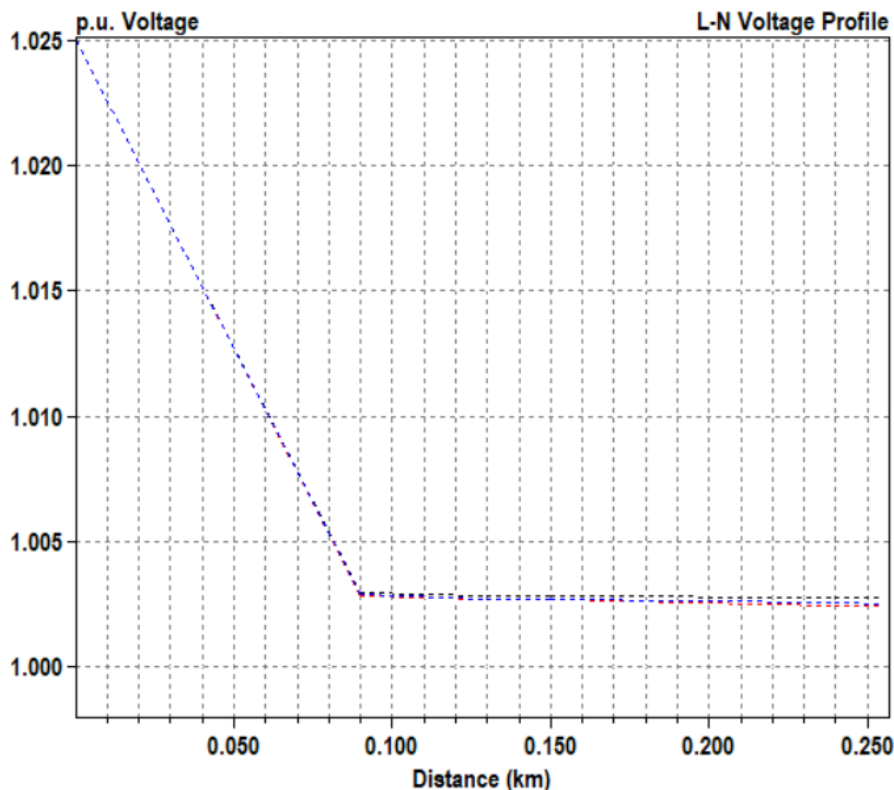


-  Svítidlo
-  Síť VO
-  Svítidlo se třemi nabíjecími body
-  Parkovací místo pro nabíjení EV
-  Transformační stanice

Obrázek 10.7 Schéma pro scénář připojení NS do sítě VO – Parkoviště Ústřední hřbitov

Při realizaci jedné AC dobíjecí stanice 22 kW (možnost nabíjení 2x11 kW) a jedné AC dobíjecí stanice 11 kW, mezi transformační stanicí a prvním svítidlem větve VO1 nedošlo k překročení zatížitelnosti 60,8 A kabelu CYKY 4x16 mm² vedeného v kabelové chrániče.

Na obrázku 10.8 je znázorněn profil úbytku napětí sítí v poměrných jednotkách.



Obrázek 10.8 Profil úbytku napětí - scénář připojení NS do sítě VO – P+R UH

Jelikož v rámci modelu nedošlo k překročení proudové zatížitelnosti v zemi kabelu CYKY 4x16 mm² a dále nedošlo ani k nedodržení napěťových podmínek na konci větve VO (obrázek 10.8) je patrně, že připojení dvou AC dobíjecích stanic do současné větve VO je realizovatelné, pokud by došlo k následujícím změnám:

- Přechod ze sazby C62.
- Zvýšení hodnoty jističe dané větve VO z 32 A na hodnotu vyšší než 96 A.
- Patříčné navýšení hodnoty hlavního jističe v rozvaděči VO.

V případě lokality záchytných parkovišť jako P+R Ústřední hřbitov se předpokládá využití fotovoltaických zdrojů, jenž jsou instalovány přes celou plochu parkoviště, jako je tomu například na parkovišti u jaderné elektrárny v Dukovanech (obrázek 10.9). Při kompletním pokrytí parkoviště střechou s fotovoltaickými panely odpadá potřeba stožárů veřejného osvětlení, neboť je střecha instalována se svítidly. Zmíněný scénář nebude v práci dále řešen.

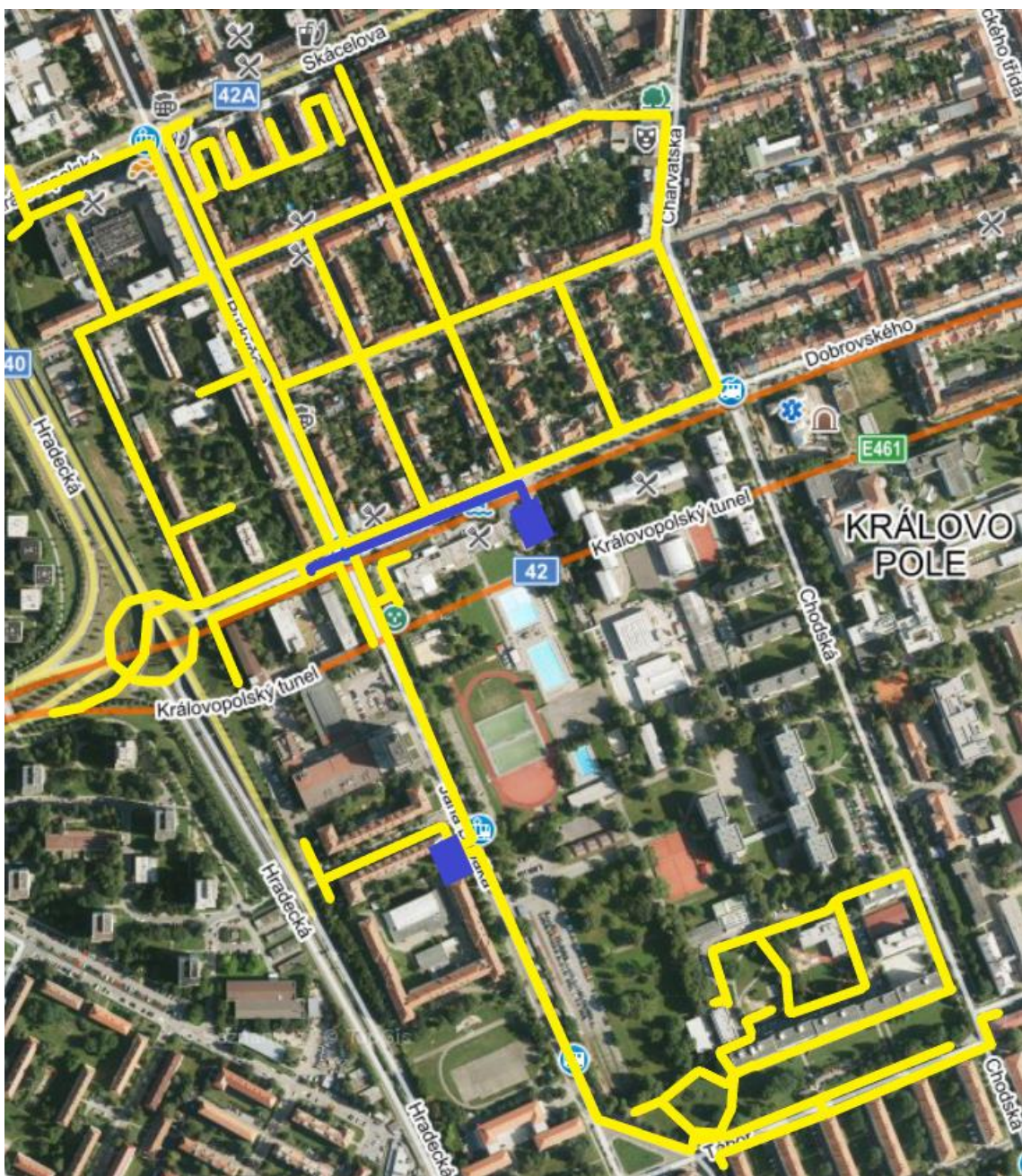


Obrázek 10.9 Solární parkoviště Dukovany [80]

10.4 Scénář využití stávající sítě VO pro nabíjení EV – Oblast ulice Jana Babáka

Síť veřejného osvětlení v oblasti ulice Jana Babáka je znázorněna žlutě na obrázku 10.1. Tato síť disponuje 287 svítidly, jedním rozvaděčem veřejného osvětlení napojeným přímo na transformační stanici a jedním rozvaděčem VO s hlavním přívodem. Síť je vybudována kabelem CYKY 4 x 16 mm², který má proudovou zatížitelnost v kabelové chráničce v zemi 60,8 A.

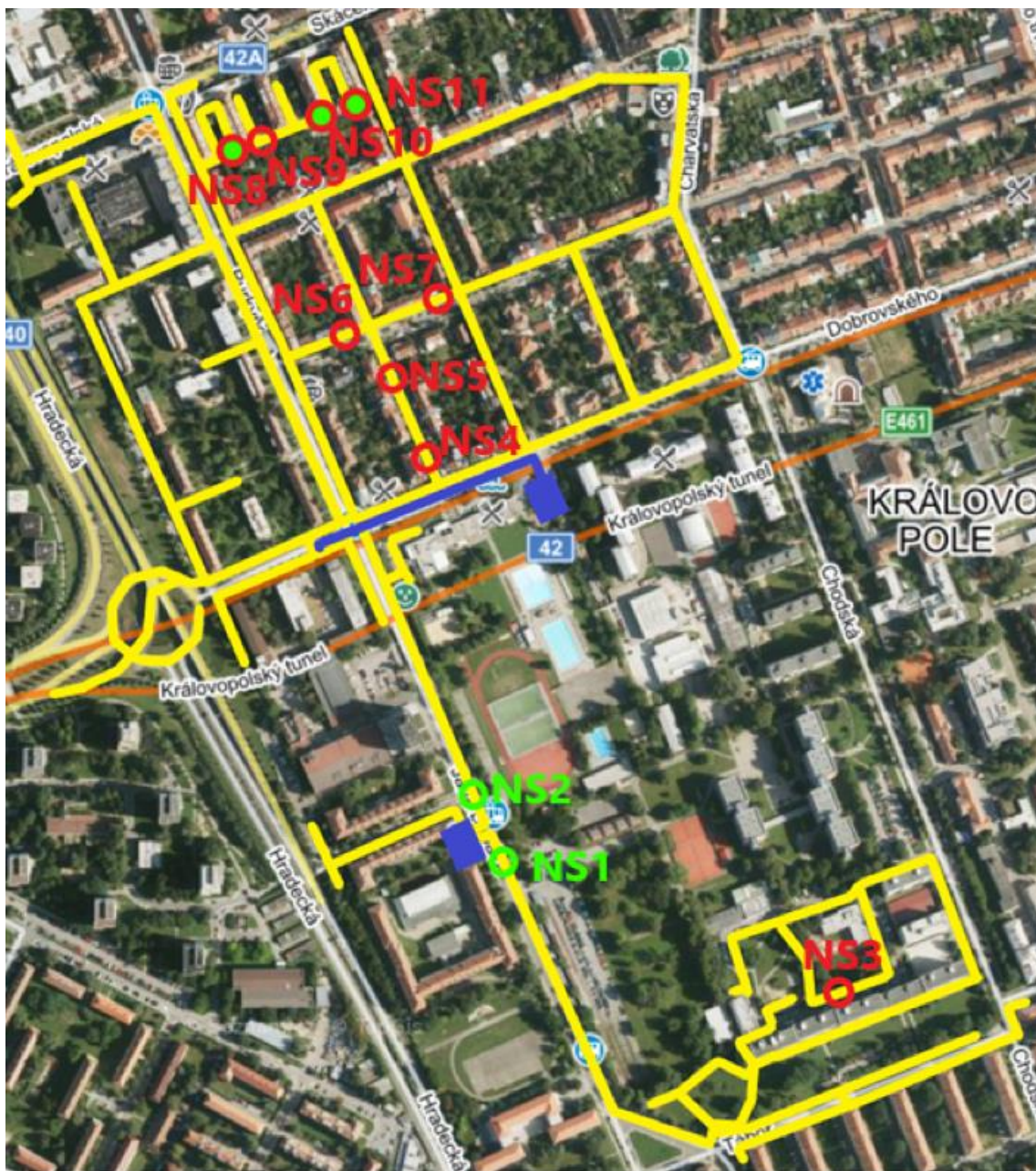
V rámci modelu pro OpenDSS budou na základě výše zpracované sociologie řidičů elektrických vozidel přerozděleny nabíjecí výkony pro 19 nabíjecích bodů do konkrétních ulic (viz tabulka 10.3). Orientační rozmístění nabíjecích stanic je uvedeno na obrázku 10.11.



Obrázek 10.10 Schéma sítě VO v oblasti ulice Jana Babáka

Tabulka 10.3 Rozdělení výkonů nabíjecích stanic na jednotlivé ulice

Ulice	Počet a výkon nabíjecích bodů
Chodská	2x5,5 kW (1x)
Jana Babáka	2x11 kW (2x)
Matulíkova	2x5,5 kW (2x)
Vackova	2x5,5 kW (2x)
Purkyňova x Vodova	5,5 kW (3x); 2x5,5 kW (1x)

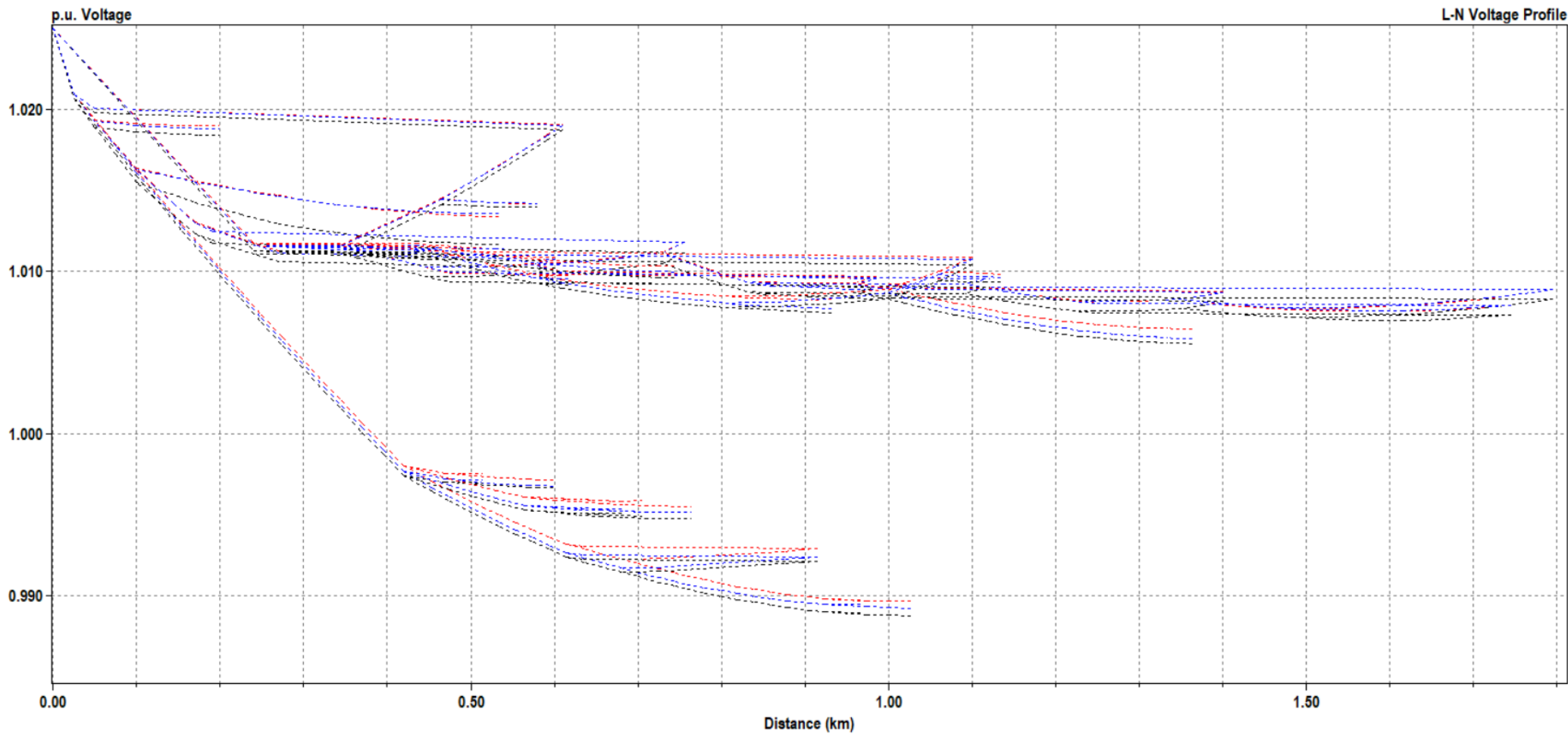


- 2x11 kW
- 2x5,5 kW
- 5,5 kW

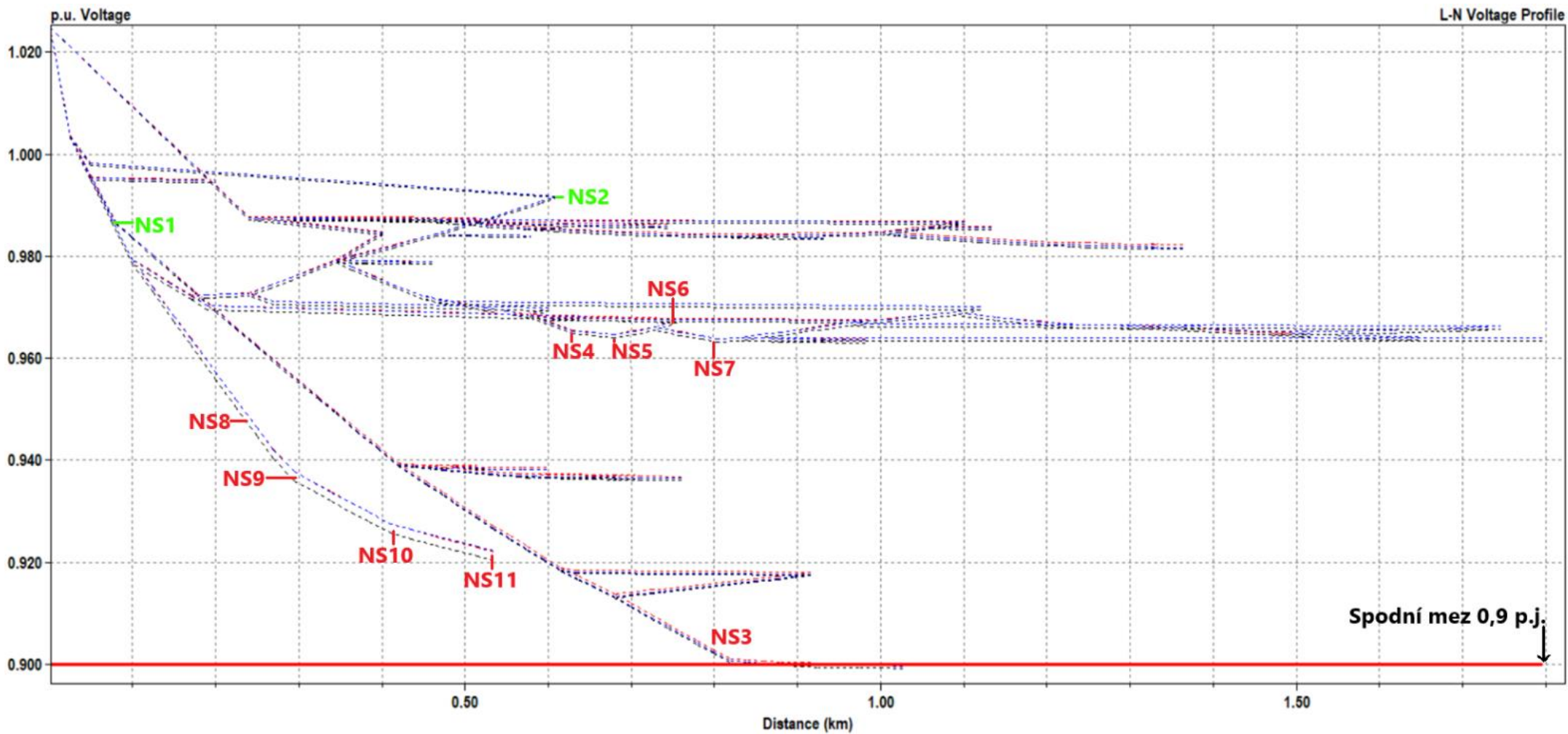
Obrázek 10.11 Schéma sítě VO + 19 NB v oblasti ulice Jana Babáka

Umístění nabíjecích bodů bylo vybíráno tak aby nedošlo k přetížení jakéhokoliv z kabelů na základě možné parkovací strategie odvozené z konceptu rezidentního parkování uvedené v podkapitole 6.2 a sociologie řidičů elektrických vozidel v podkapitole 10.1.

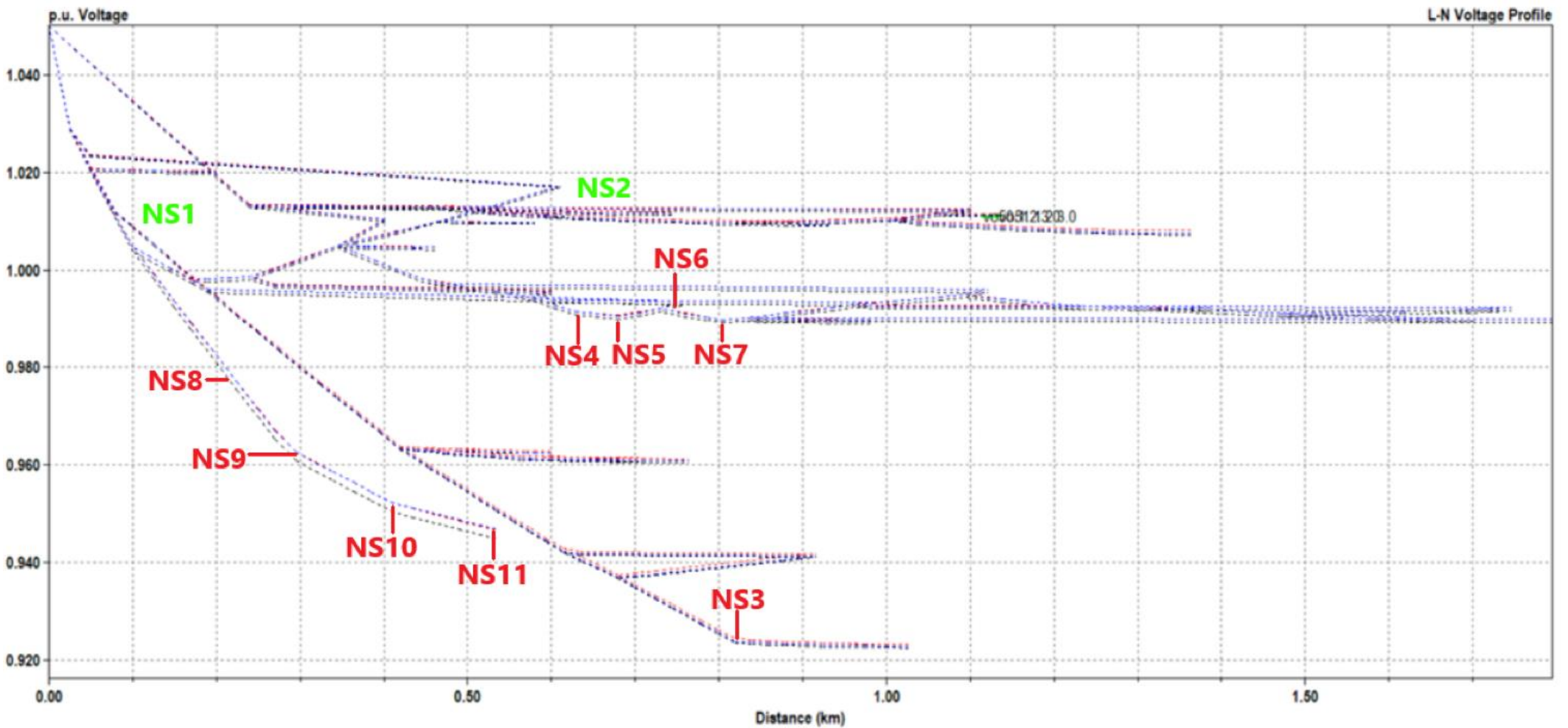
Porovnání napěťového profilu sítě veřejného osvětlení před instalací nabíjecích stanic a po instalaci nabíjecích stanic je znázorněna na obrázku 10.12 a 10.13. Z těchto obrázků dále vyplývá, že po instalaci nabíjecích stanic došlo při počátečním napětí na napájecích bodech 410 V k dosažení hraničního bodu napěťových podmínek. Kdy byly na hraničním bodu na konci vedení (poslední svítidlo) v oblasti ulice Chodská vypočítána hodnota napětí v poměrných jednotkách 0,89919, tedy 207,66 V. Ovšem na nabíjecí stanici v Chodské ulici bylo vypočítáno napětí v poměrných jednotkách 0,900193 a tedy vyhovělo na napěťové poměry. Jelikož TSB provozují některé sítě i s podmínkami mimo povolený rozsah (s ohledem na flickr) bylo by možné takto síť provozovat. Ovšem v rámci modelu byl vypočítán i scénář s přepnutím transformátorové odbočky o jeden stupeň (+2,5 %) na hodnotu napětí 420 V. V tomto případě došlo k naplnění napěťových podmínek (viz. obrázek 10.14).



Obrázek 10.12 Profil úbytku napětí na síti VO ulice Jana Babáka



Obrázek 10.13 Profil úbytku napětí na síti VO v oblasti ulice Jana Babáka po instalaci 19 nabíjecích bodů



Obrázek 10.14 Profil úbytku napětí na síti VO v oblasti ulice Jana Babáka po instalaci 19 nabíjecích bodů (420 V)

10.5 Vyhodnocení připojitelnosti nabíjecích stanic do sítě VO

V rámci kapitoly byly uvedeny scénáře připojitelnosti nabíjecích stanic do současného stavu sítě veřejného osvětlení v oblastech ulice Veveří, Jana Babáka a parkoviště P+R Ústřední hřbitov. Pro sestavení modelů bylo simulováno připojení 37 nabíjecích bodů pro oblast ulice Veveří, 19 nabíjecích bodů pro oblast ulice Jana Babáka a 3 nabíjecí body na parkovišti Ústředního hřbitova.

Z výpočtů modelů pro různé lokality uvedené v této kapitole vyplývá, že i pro vyšší počty (řádově desítky) nabíjecích stanic o nižších nabíjecích výkonech, nedošlo k přetížení žádného z kabelů a zároveň nedošlo k překročení napěťových podmínek. Tato zjištění naznačují, že je možné rozšířit nabíjecí infrastrukturu prostřednictvím připojení k současné síti veřejného osvětlení. Ovšem za předpokladu, že dojde k vyřešení limitací zmíněných v kapitole 7.1.

11. PŘIPOJITELNOST FOTOVOLTAICKÝCH ZDROJŮ DO SÍTĚ VO V PŘÍKLADOVÉ OBLASTI ULICE VEVEŘÍ

Vyhodnocení připojitelnosti fotovoltaických zdrojů do sítě veřejného osvětlení bude zkoumáno pro multifunkční síť definovanou v kapitole 8, tedy synergii sítě veřejného osvětlení, nabíjecích stanic a fotovoltaických zdrojů.

V rámci zkoumání připojitelnosti budou porovnány dva scénáře realizace synergie na základě dvou různých strategií umístování fotovoltaických zdrojů:

- Scénář instalace fotovoltaických zdrojů na již existující objekty.
- Scénář využití již existujících objektů i instalace fotovoltaického zastřešení vybraných nabíjecích bodů.

Pro oba scénáře budou zkoumány napěťové poměry při nulovém odběru svítidel veřejného osvětlení. Výkony fotovoltaických zdrojů budou vybírány jako maximální denní pro vybraný den v červenci dle dat vypočítaných z PVGIS. Tento měsíc byl vybrán pro reprezentaci maximálního dodávaného výkonu fotovoltaických zdrojů do sítě.

U obou scénářů dojde k porovnání dvou stavů:

- plné obsazenosti nabíjecích stanic (uvažování rozmístění a výkonů nabíjecích stanic z kapitoly 10.2) a maximálním dodávaném výkonu fotovoltaických zdrojů
- pouze dodávání fotovoltaických zdrojů, bez odběrů

U varianty s fotovoltaickými zdroji je zbytečné porovnávat napěťové podmínky na spodní mezi, jelikož nedošlo k jejich překročení ve scénáři v podkapitole 10.2 nedojde k jejich překročení ani v tomto případě. Naopak může dojít k překročení horní meze v případech kdy budou nabíjecí stanice plně obsazeny i když nebude obsazena žádná.

11.1 Scénář využívající již realizované konstrukce

Pro instalace fotovoltaických zdrojů byly vybrány pro první scénář využívající již realizované konstrukce tři zastávky městské hromadné dopravy: Konečného náměstí, Grohova a Obilní trh. V rámci modelu bude pro tyto realizace uvažována instalace tří fotovoltaických panelů o výkonu 500 Wp. Pro zastávky MHD jsou uvažovány dva zdroje, tedy v obou směrech komunikace. Dále byly do scénáře zahrnuty domy ve správě Brna-Střed [81]. Všechna umístění zdrojů jsou uvedeny v následující tabulce 11.1 a následně jsou tyto zdroje na obrázku 11.1 zaznačeny červeně.

Při porovnání napěťových profilů obou variant znázorněných na obrázcích 11.2 a 11.3 je patrné, že při napětí 410 V na napájecích bodech nedošlo k překročení horní meze napěťových podmínek (+10 %). Dále na obrázku 11.4 je uvedeno porovnání obou variant.

Dále jak je patrné z tabulky 11.1 síť by do nadřazené soustavy dodávala maximálně 74,732 kW (beze ztrát).



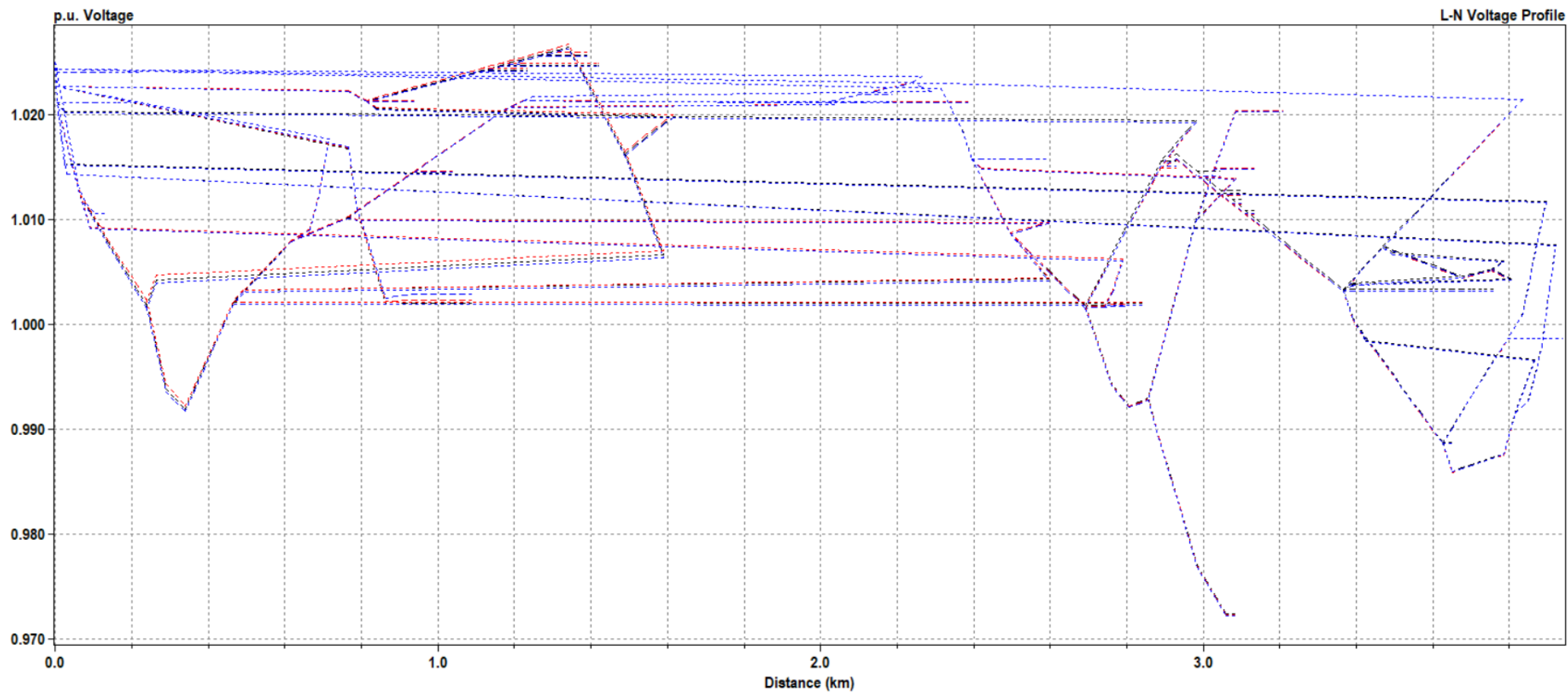
● FVE na již existujících objektech

Obrázek 11.1 Rozdělení fotovoltaických zdrojů do konkrétních lokalit pro první scénář

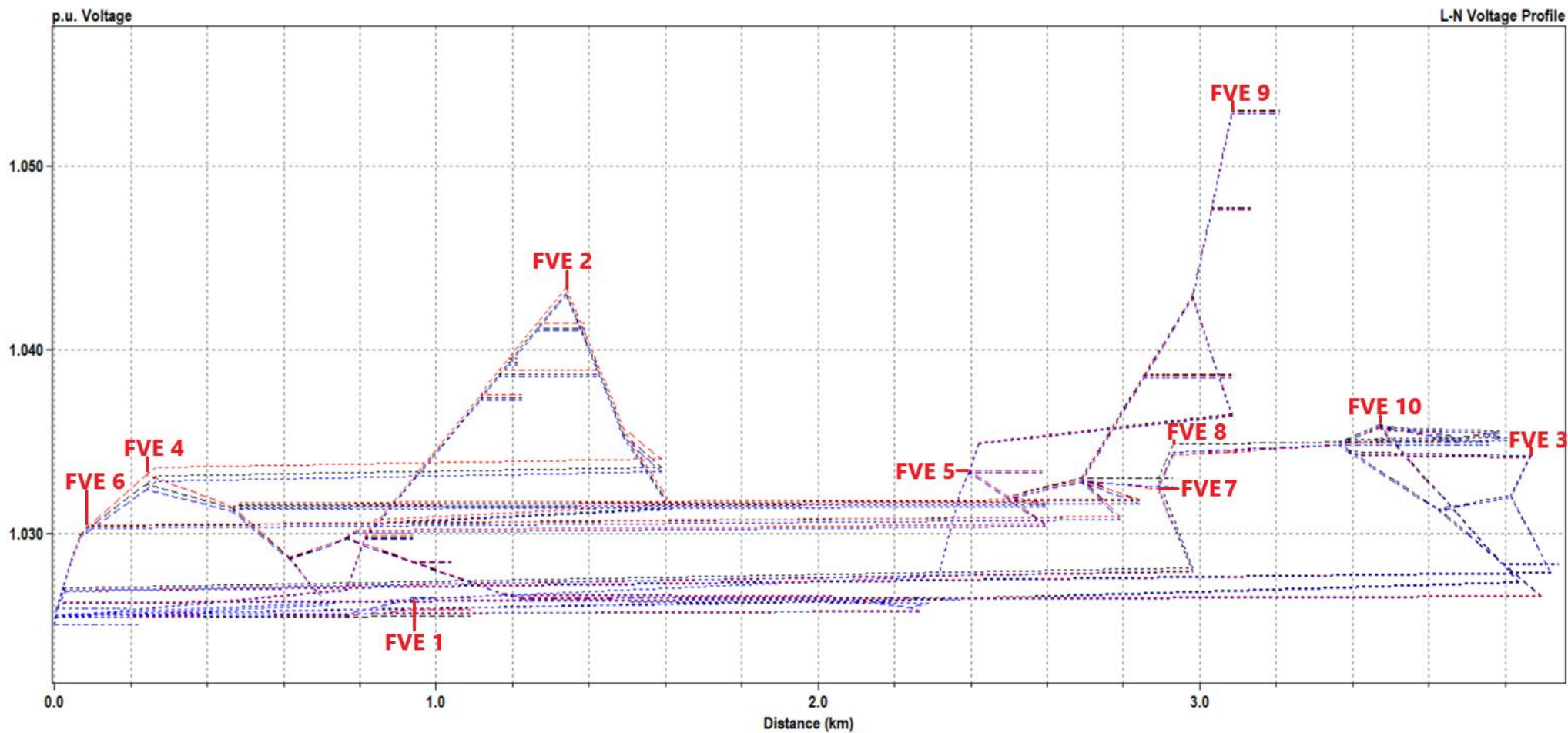
Tabulka 11.1 Rozdělení fotovoltaických zdrojů do konkrétních lokalit

Umístění	Počet panelů (ks)	Instalovaný výkon zdroje (kWp)	Maximální výkon zdroje v červnu dle PVGIS (kWp)	Způsob připojení
Konečného náměstí MHD	6	1,5/1,5 ²¹	0,938/1,030	jednofázový
Grohova MHD	6	1,5/1,5	0,941/1,035	jednofázový
Obilní Trh MHD	6	1,5/1,5	1,013/1,090	jednofázový
Jana Uhra 1	14	7	5,470	třífázový
Jiráskova 59	20	10	8,675	třífázový
Úvoz 59	12	6	4,053	třífázový
Úvoz 61	10	5	3,878	třífázový
Úvoz 88	18	9	6,723	třífázový
Úvoz 118	50	25	18,647	třífázový
Veveří 24	20	10	7,541	třífázový
Veveří 979	40	20	14,699	třífázový
Celkově	196	101	74,732	x

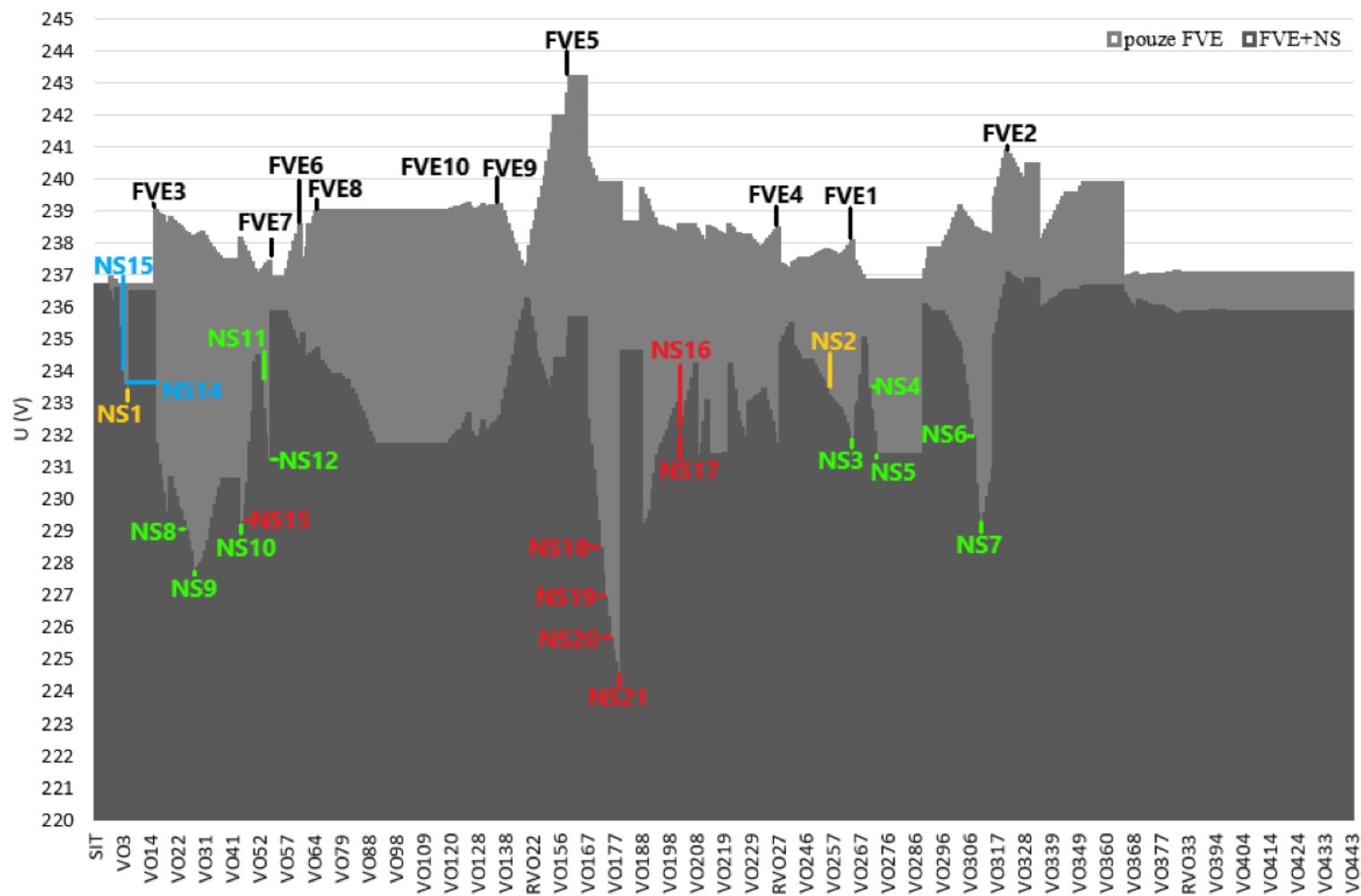
²¹ Ve dvou směrech dopravní komunikace.



Obrázek 11.2 Napěťový profil pro první scénář NS+FVE



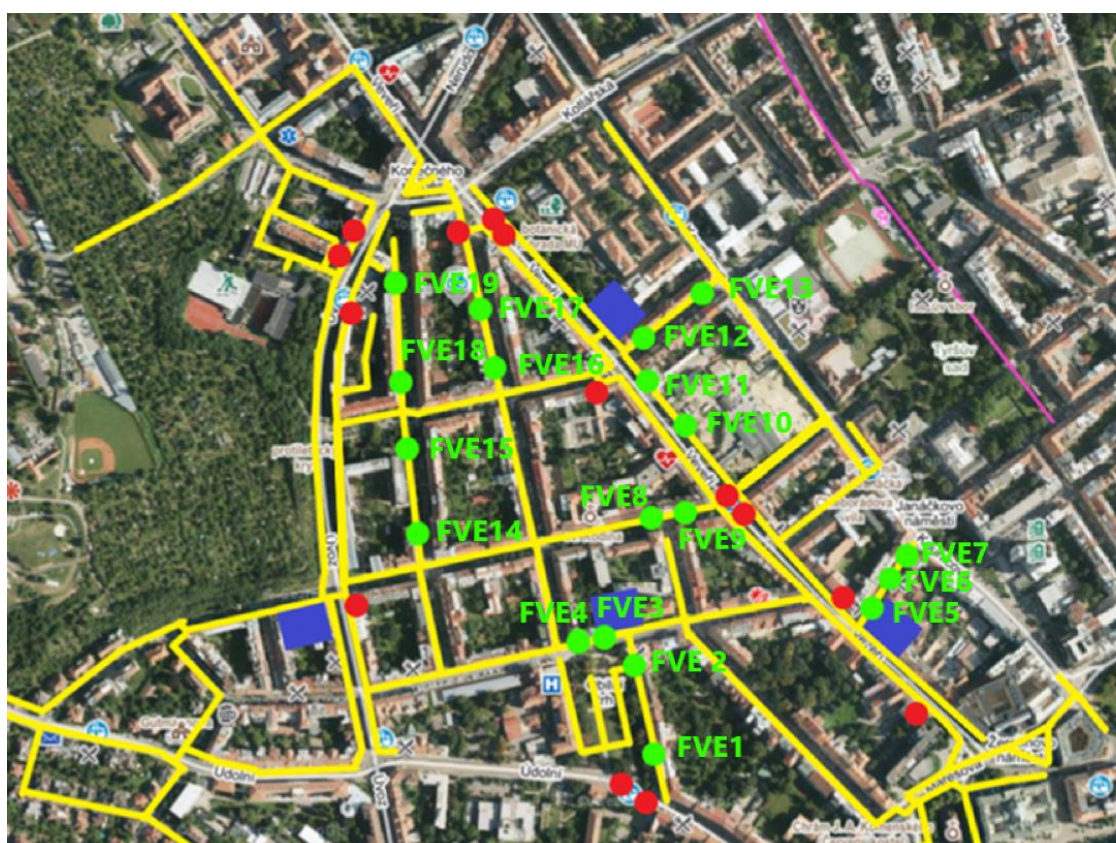
Obrázek 11.3 Napěťový profil pro první scénář pouze FVE



Obrázek 11.4 Porovnání hodnot napětí na jednotlivých bodech modelu pro oba scénáře

11.2 Scénář využívající již realizované konstrukce a střech nabíjecích bodů

V rámci druhého scénáře připojitelnosti fotovoltaických zdrojů dojde k rozšíření výše uvedených zdrojů o zdroje realizované jako zastřešení parkovacích míst nabíjecích bodů uvedených v podkapitole 10.2. Scénář předpokládá realizaci zastřešení čtyřmi fotovoltaickými panely o výkonu 500 Wp pro jedno parkovací místo (celkový instalovaný výkon 2 kWp). Fotovoltaické zastřešení parkovacích stání není realizovatelné nad všemi nabíjecími body a jako nevhodné se jeví nabíjecí body v ulici Pekárenská, jelikož jsou umístěny blíže budovám a jsou tak z jižní strany většinu dne zastíněny. Zdroje, jež budou uvažovány pro realizaci scénáře, jsou uvedeny na obrázku 11.5 zeleně.



- FVE na již existujících objektech
- FVE na zastřešených nabíjecích bodech

Obrázek 11.5 Rozdělení fotovoltaických zdrojů do konkrétních lokalit pro druhý scénář

Jelikož PVGIS do výpočtů výkonů nezahrnuje situaci okolních objektů (stínění) a hodnoty instalovaných výkonů všech střešních fotovoltaických zdrojů jsou stejné (2 kWp) bude pro všechny body uvažován stejný výkon a to 1,507 kWp. Jednotlivé zdroje budou připojeny jednofázově a co nejefektivněji rozfázovány.

Při porovnání napěťových profilů obou variant znázorněných na obrázcích 11.6 a 11.7 je patrné, že při napětí 410 V (236,71 V na fázi) na napájecích bodech nedošlo k překročení horní meze napěťových podmínek (+10 %). Následně je na obrázku 11.8 uvedeno porovnání obou variant, kdy černě podtržené nabíjecí stanice jsou stanice s instalovaným fotovoltaickým zastřešením.

Celá by síť do nadřazené soustavy dodávala maximálně původních 74,732 kW jako v prvním scénáři a dále 19krát 1,507 kW při druhém scénáři, celkově 103,365 kW (beze ztrát).

11.3 Vyhodnocení připojitelnosti nabíjecích stanic a FVE do sítě VO

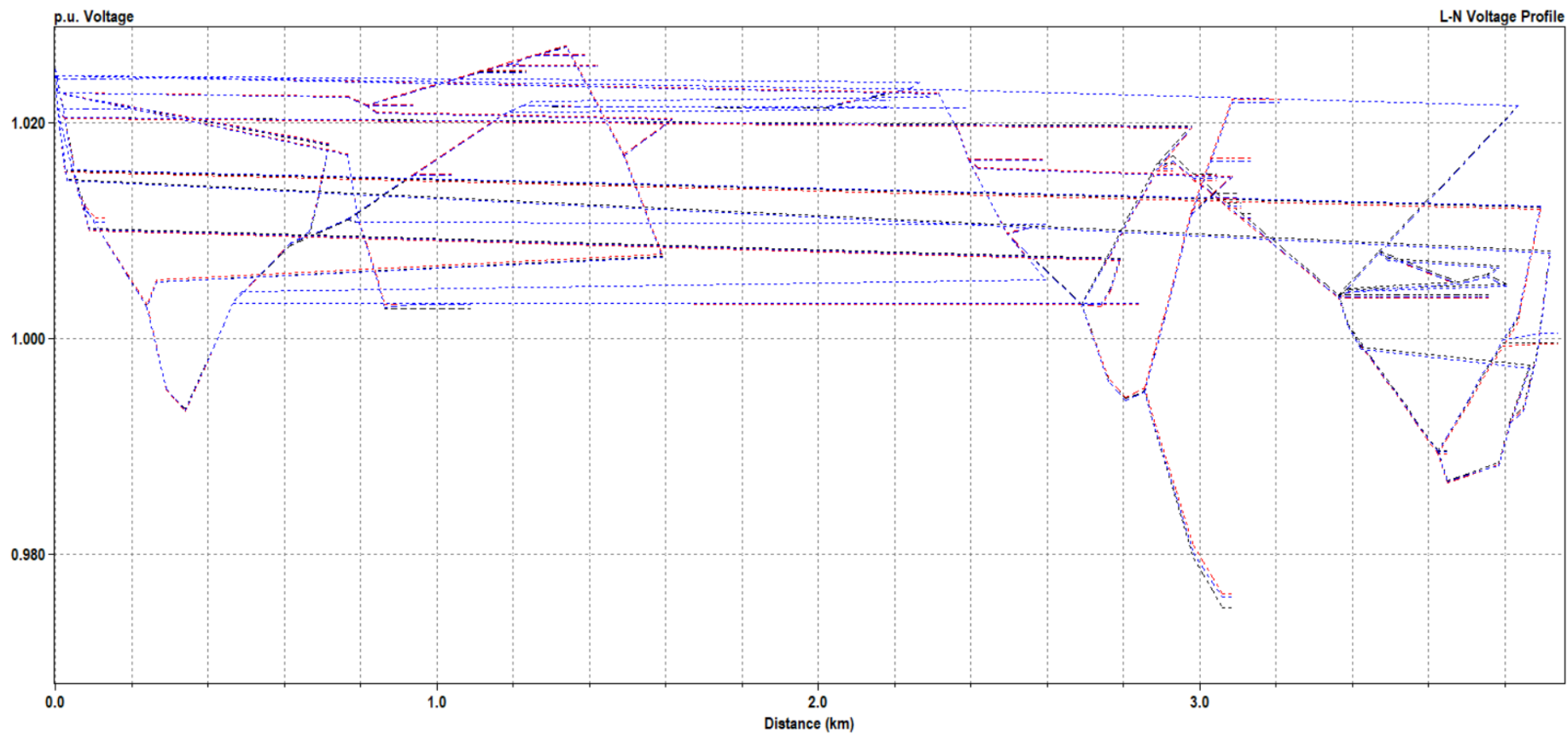
Z výpočtu modelu pro lokalitu oblasti Veverí uvedené v této kapitole vyplývá, že v této oblasti lze realizovat multifunkční síť zahrnující nabíjecí stanice, fotovoltaické zdroje a svítidla veřejného osvětlení. Ovšem za předpokladu, že dojde k vyřešení limitací zmíněných v kapitole 7.1.

Tabulka 11.2 Porovnání hodnot napětí pro jednotlivé scénáře

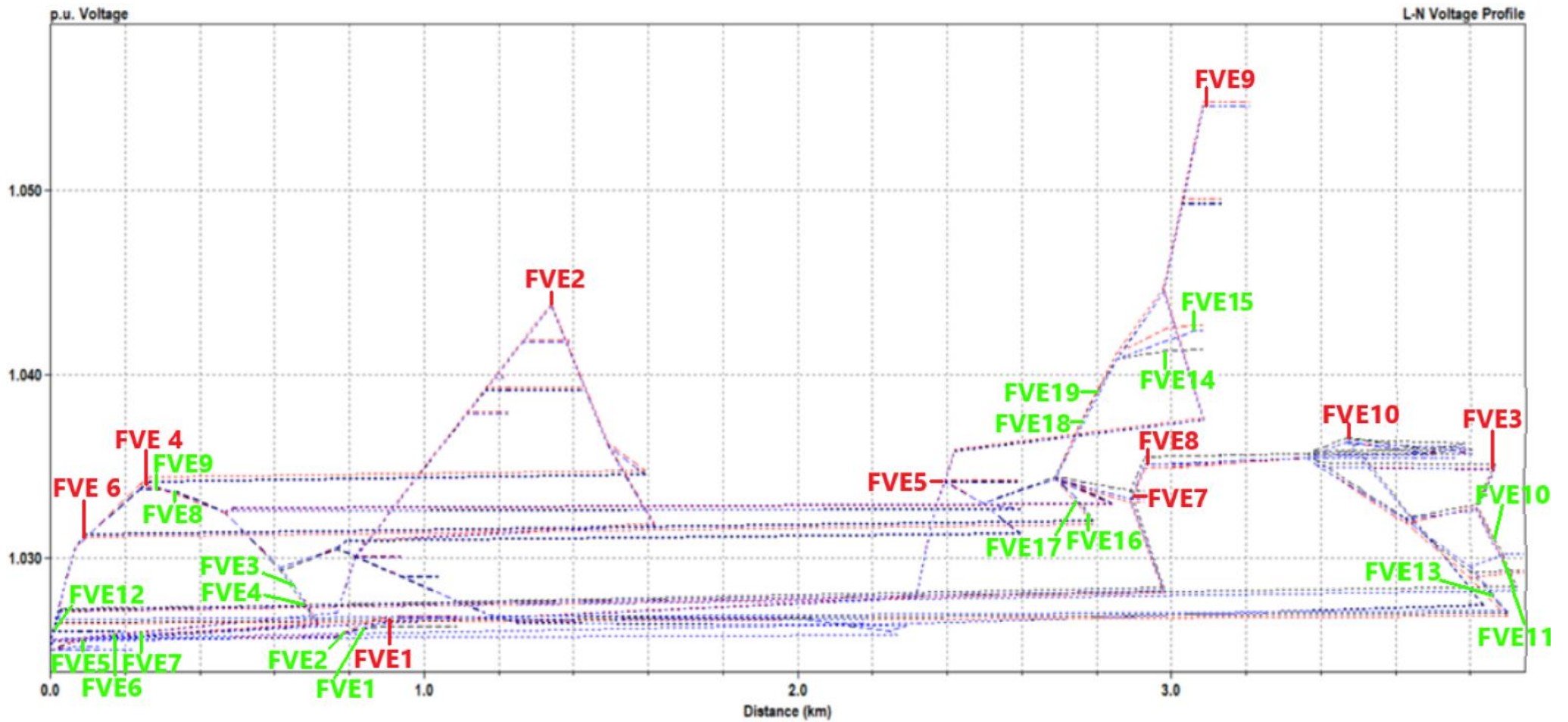
Scénář		Minimální hodnoty napětí v p.j. ²²	Maximální hodnoty napětí v p.j. ²³
Stávající objekty pro instalaci FVE	FVE + NS	0,9722	1,0267
	Pouze FVE	1,0250	1,0530
Stávající objekty a zastřešení NS pro instalaci FVE	FVE + NS	0,9751	1,0272
	Pouze FVE	1,0250	1,0548

²² Dolní hranice je brána hodnota 0,9 v poměrných jednotkách. (213,04 V)

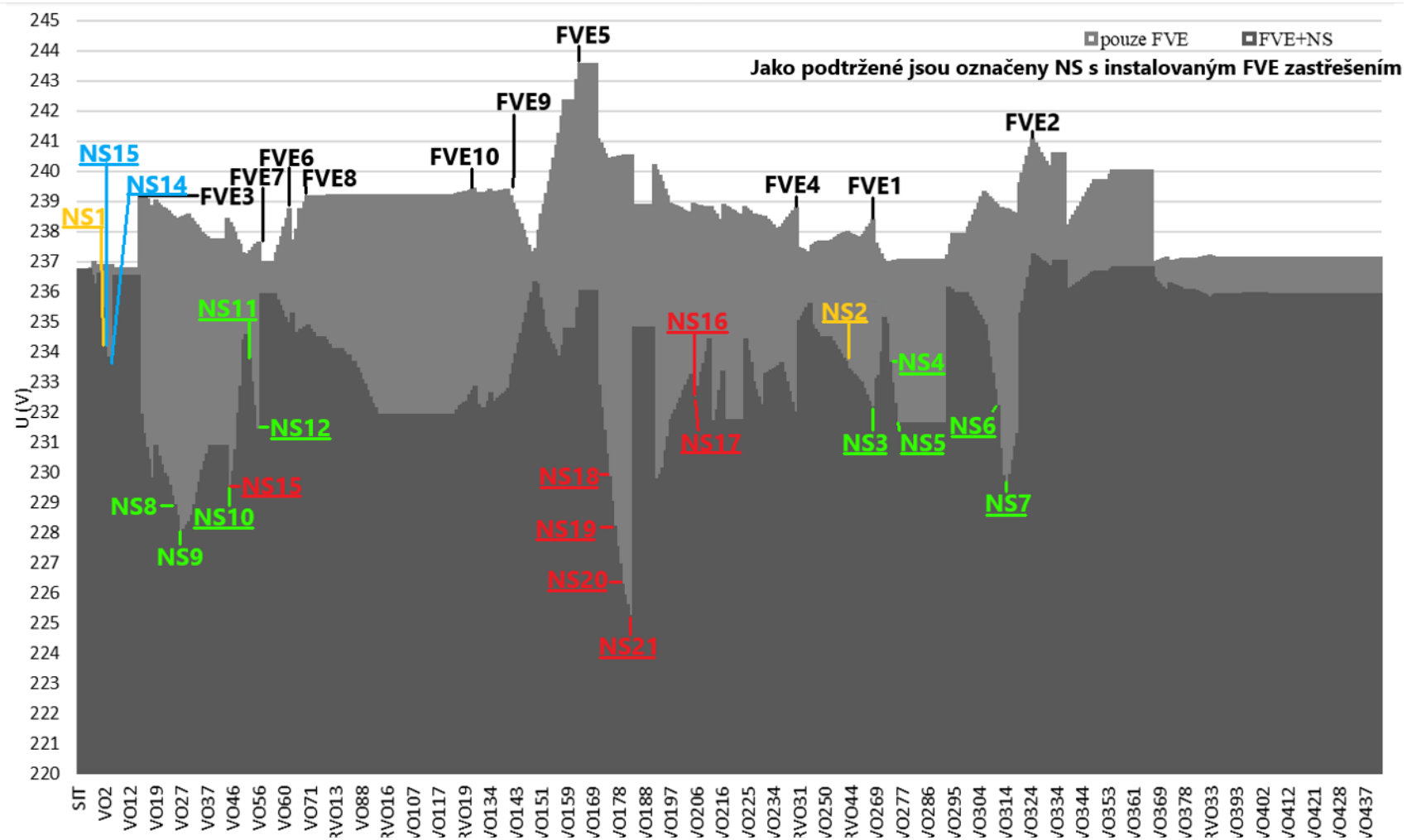
²³ Horní hranice je brána hodnota 1,1 v poměrných jednotkách. (260,38 V)



Obrázek 11.6 Napěťový profil pro druhý scénář NS+FVE



Obrázek 11.7 Napěťový profil pro druhý scénář pouze FVE



Obrázek 11.8 Porovnání hodnot napětí na jednotlivých bodech modelu pro oba scénáře

12. ZÁVĚR

Tato diplomová práce představila koncept smart cities a analyzovala plánované a realizované projekty v oblasti smart city a rozvoje energetických zdrojů ve městě Brně.

Dále se zaměřila na aplikaci konceptu smart city prostřednictvím synergického využití sítě veřejného osvětlení a sítě nabíjecích stanic pro elektromobily. Motivací pro tento přístup bylo dosažení energetické efektivity, snižování emisí skleníkových plynů a podpora udržitelné mobility.

Byly prezentovány projekty, které realizovaly sjednocení sítí veřejného osvětlení a nabíjecích stanic v různých evropských zemích, zejména v České republice. Byly porovnány různé strategie instalace nabíjecích stanic na stožáry veřejného osvětlení. Zatímco v západní Evropě převládají instalace nabíjecích stanic o nižších výkonech s přímou integrací do stožárů, v České republice je snaha instalovat nabíjecí stanice o vyšších nabíjecích výkonech (zejména 22 kW) s umístěním wallboxu na stožáru. Tyto rozdíly byly detailně popsány a byly uvedeny konkrétní typy nabíjecích stanic pro různé varianty instalace.

Komunikace mezi elektromobily a nabíjecími stanicemi byla také součástí zkoumání. Byly popsány komunikační protokoly, které se v současné době využívají při dobíjení elektromobilů a řízení nabíjecích stanic.

Dále byla provedena analýza socioekonomické struktury města Brna a budoucí parkovací strategie. Z výsledků této analýzy byly vybrány lokality pro realizaci synergie.

V rámci této práce byl podrobně analyzován současný stav veřejného osvětlení v Brně a provedena hodnocení připojitelnosti nabíjecích stanic do této sítě. Zjištěno bylo, že bez provedení určitých úprav, jak bylo popsáno v kapitole 7.1, není možné připojovat nabíjecí stanice do sítě veřejného osvětlení.

Na základě těchto úprav byl navržen koncept synergie, který zahrnuje instalaci kabelové chráničky pro budoucí napájení nabíjecích stanic silovým kabelem. Tento koncept je flexibilní a umožňuje reagovat na neočekávaný výrazný nárůst nabíjecích bodů, který přesahuje současné predikce v oblasti elektromobility.

V souladu s realizovanými projekty využití sítě veřejného osvětlení v Praze a Brně byl vypracován scénář pro přivedení paralelního kabelu pro lokality ulice Veverí, Jana Babáka a parkoviště Ústřední hřbitov.

Na základě provedené sociologické analýzy byly stanoveny počty nabíjecích stanic a jejich nabíjecí výkony pro tyto lokality. Nabíjecí stanice byly následně vhodně umístěny do stávající sítě veřejného osvětlení. Po připojení nabíjecích stanic byly zkoumány napěťové poměry v síti a zatížení jednotlivých silových kabelů. V žádném z modelovaných scénářů nedošlo k překročení povolených hodnot.

V poslední části práce byl navržen koncept multifunkční sítě, který propojuje síť veřejného osvětlení, nabíjecích stanic a fotovoltaických zdrojů. Pro již modelované nabíjecí stanice v oblasti ulice Veverí bylo zkoumáno připojení fotovoltaických zdrojů

na stávající objekty a také přidání fotovoltaických zastřešení na vybraná parkovací místa s nabíjecími body. Pro zkoumané scénáře nedošlo k překročení napěťových podmínek.

Výsledky této práce mají potenciál poskytnout poznatky a doporučení pro urbanistické plánování a rozvoj smart cities. Využití synergie mezi sítí veřejného osvětlení a nabíjecími stanicemi přináší přínos v oblasti energetické efektivity, snižování emisí skleníkových plynů a podporu udržitelné mobility. Práce také přispívá k ekonomické analýze a strategickému rozhodování v oblasti infrastruktury městského osvětlení a nabíjení elektromobilů.

Vzhledem k výše uvedeným výsledkům a závěrům této diplomové práce je možné konstatovat, že synergické využití sítě veřejného osvětlení a sítě nabíjecích stanic představuje inovativní a udržitelný přístup k rozvoji smart cities a podpoře elektromobility. Využití těchto technologií a strategií má potenciál přinést významné ekonomické, ekologické a sociální výhody pro města a jejich obyvatele. Budoucnost smart cities a rozvoje elektromobility je plná možností a výzev, které vyžadují další výzkum, spolupráci mezi různými zainteresovanými stranami a strategické rozhodování.

„We're rapidly heading towards sustainable energy independence. The transition to renewable energy and electric transportation is not just an option, it's an imperative.“
Elon Musk

LITERATURA

- [1] Management parkování a možnosti jeho využití v praxi. In: *Centrum dopravního výzkumu* [online]. Brno: Centrum dopravního výzkumu, 2016 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.civinet.cz/files/management-parkovani-a-moznosti-jeho-vyuziti-v-praxi-zkusenosti-z-evropskych-mest.pdf>
- [2] *Metodika Smart Cities* [online]. Praha: Ministerstvo pro místní rozvoj ČR, 2018 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: https://mmr.cz/getmedia/f76636e0-88ad-40f9-8e27-cbb774ea7caf/metodika_smart_cities.pdf.aspx?ext=.pdf
- [3] *O smart city* [online]. Praha: Smart city v praxi, 2023 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: https://www.smartcityvpraxi.cz/o_smart_city.php
- [4] *Inteligentní nabíjení pro chytrá města* [online]. Praha: Smart city v praxi, 2023 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: https://www.smartcityvpraxi.cz/moderni_technologie_166.php
- [5] *Smart city Brno* [online]. Brno: Statutární město Brno, 2022 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://brno2050.cz/wp-content/uploads/2020/09/LEAFLET-SMART-CITY-BRNO-2020-CZ.pdf>
- [6] *Chytré město* [online]. Brno: Brněnské komunikace, 2016 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://www.bkom.cz/chytre-mesto>
- [7] *Územní energetická koncepce statutárního města BRNA* [online]. Brno: Statutární město Brno, 2018 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: https://priprav.brno.cz/media/2021/04/UEK-SMB_HLAVNI-DOKUMENT.pdf
- [8] *Územní energetická koncepce statutárního města brna - 5.3 Systém zásobování elektrickou energií* [online]. Brno: Statutární město Brno, 2018 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://priprav.brno.cz/media/2021/04/5.3-Syst%3%A9m-z%3%A1sobov%3%A1n%3%AD-elektrickou-energi%3%AD.pdf>
- [9] *Sako solar Brno - Aktuality* [online]. Brno: Sako solar Brno, 2022 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://sakosolar.cz/aktuality/>
- [10] *The 'Street lamp charger' is coming* [online]. Berlín: Bender GmbH & Co. KG, 2022 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://www.bender.de/en/know-how/applications/emobility/the-street-lamp-charger-is-coming/>
- [11] *On-street electric vehicle charging from light poles* [online]. Vancouver: Greenest City Scholar, 2019 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: https://sustain.ubc.ca/sites/default/files/2019-60_On-Street%20Electric%20Vehicle%20Charging_Puentes.pdf?fbclid=IwAR1Xaq-PANJLpUsg7ZH2JEZpq3kLCS9Ts7bWE5ixUrNv0YYoclsklLDBOyQ

- [12] BRUNO, Sergio, Giovanni GIANNOCARO, M. SCALA a Rodio CARMINE. *A Microgrid Architecture for Integrating EV Charging System and Public Street Lighting*. 2019, 1-5. Dostupné z: doi:10.1109/EEEIC.2019.8783640
- [13] Metodická pomůcka k aplikaci § 48b vyhlášky č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby, ve znění vyhlášky č. 266/2021 Sb. In: *Ministerstvo pro místní rozvoj ČR* [online]. Praha: Ministerstvo pro místní rozvoj ČR, 2022 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.mmr.cz/getattachment/a88d2e7c-bf5d-4c26-9564-1c484a1d4331/Methodicka-pomucka-k-aplikaci-48b.pdf.aspx?lang=cs-CZ&ext=.pdf>
- [14] *Generel rozvoje nabíjecí infrastruktury v hlavním městě Praze* [online]. Praha: Operátor ICT, 2020 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://operatorict.cz/wp-content/uploads/2021/02/Generel-rozvoje-dob%C3%ADjec%C3%AD-infrastruktury-v-HMP.pdf>
- [15] *ENERGETICKÝ REGULAČNÍ VĚSTNÍK 11/2021* [online]. Jihlava: Energetický regulační úřad, 2023 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/energeticky-regulacni-vestnik-11-2021>
- [16] SILVA, C.M., B.E. SANTO a L.T. FERREIRA. The integration of E-Mobility in smart cities: the Portuguese scenario for EV charging in street light circuits. *Hybrid Conference, Porto, Portugal*. 2022, 472-475. Dostupné z: doi:10.1049/icp.2022.0751
- [17] PINTO, C.S., C.M. SILVA a L.T. FERREIRA. E-Mobility integration through smart charging – E-Redes case study. *CIREN Porto Workshop 2022: E-mobility and power distribution systems, Hybrid Conference, Porto, Portugal*. 2022, 476-479. Dostupné z: doi:10.1049/icp.2022.0752
- [18] *Inteligentní řešení nabíjení a fakturační služby od smartEV pro nabíjení elektromobilů* [online]. Praha: SmartEV, 2023 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <http://www.smartev.cz/cz/uctovani-sluzeb/>
- [19] *22kW Electric EV Chargers* [online]. Bexhill-on-Sea: Electrical2go, 2022 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: https://www.electrical2go.co.uk/wiring-acc/electric-vehicle-chargers/22kw-electric-ev-chargers.html?ev_fitting_mounting=5886
- [20] *Nabíjecí stanice pro elektromobily 22 kW* [online]. Praha: Heureka Group a.s., 2023 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://nabijeci-stanice-pro-elektromobily.heureka.cz/f:30570:42212942/?f=2>
- [21] *Our offer for local authorities* [online]. Londýn: Ubitricity, 2022 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://ubitricity.com/en/what-we-offer/>

- [22] Explore ubitricity's EV charging network. In: *Ubitricity* [online]. Londýn: Ubitricity, 2023 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://ubitricity.com/en/driver/charging-network-map/>
- [23] *Shell aims to install 50,000 ubitricity on-street ev charge posts* [online]. Londýn: Shell U.K. Limited, 2021 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://www.shell.co.uk/media/2021-media-releases/shell-aims-to-install-ubitricity-on-street-ev-charge-posts-acros.html>
- [24] *Case Study: Taking charge of safe and reliable on-street EV infrastructure* [online]. Thame: Lucy Zodion, 2019 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://www.lucyzodion.com/case-study-taking-charge-of-safe-and-reliable-on-street-ev-infrastructure/>
- [25] *200 lamp post chargers in Berlin* [online]. Londýn: Ubitricity, 2022 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://ubitricity.com/200-lamp-post-chargers-in-berlin/>
- [26] *Řešení veřejného zpoplatnění pro města a obce* [online]. Londýn: Ubitricity, 2022 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://ubitricity.com/de/ladeloesungen/>
- [27] *Obnova veřejné osvětlení v Praze přijde na 2,4 miliardy* [online]. Praha: Smart light solution, 2018 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://www.smartlightingsolution.cz/upload/files/sc-praha-2mld.pdf>
- [28] *Správce veřejného osvětlení v Praze ročně obnoví až tisíce svítidel a stožárů.* [online]. Praha: Technologie hlavního města Prahy a.s., 2020 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://www.thmp.cz/hlavni-strana/aktuality/spravce-verejneho-osvetleni-v-praze-rocne-obnovi-az-tisice-svitidel-a-stozaru-na-podnety-mestskych-casti-prisviti-treba-detska-hriste>
- [29] *V Praze se elektromobily budou nabíjet přímo ze sítě veřejného osvětlení* [online]. Praha: Magistrát hlavního města Prahy, 2021 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: [https://www.praha.eu/jnp/cz/o_meste/zivot_v_praze/sluzby/v_praze_se_elektromobily_budou_nabijet\\$5465-export.html](https://www.praha.eu/jnp/cz/o_meste/zivot_v_praze/sluzby/v_praze_se_elektromobily_budou_nabijet$5465-export.html)
- [30] *Výroční ZPRÁVA* [online]. Praha: Technologie hlavního města Prahy, 2021 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: https://thmp.cz/images/THMP_VZ_2021.pdf
- [31] *Praha instaluje chytré lampy, dobijí auto nebo pohlídají smog* [online]. Praha: MAFRA, a. s., 2018 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/technet/technika/chytre-lampy-praha-karlin.A180502_151509_hardware_vse
- [32] *Vyjádření MČ Praha 7 ke koncepci projektu EVR (Electric Vehicle ready) lamp v lokalitě Holešovice* [online]. Praha: městská část Praha 7, 2022 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://www.praha7.cz/usneseni/?id=34054&type=mainRes>

- [33] *Na Vinohradech vzniklo třináct stožárů veřejného osvětlení* [online]. Praha: Magistrát hlavního města Prahy, 2020 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: https://portalzp.praha.eu/jnp/cz/tiskove_zpravy_z_mesta/na_vinohradech_vzniklo_tri_nact_stozaru.html
- [34] Dobíjecí stanice PRE. In: *dobíjecí stanice pre* [online]. Praha: PREdistribuce a.s., 2023 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://chargepre.smatrics.com/cs/>
- [35] *Na Vinohradech lze dobít elektromobily ze sloupů veřejného osvětlení* Zdroj: https://prazsky.denik.cz/zpravy_region/elektromobil-nabijecka-lampa-sloup-litacka-led-osvetleni.html [online]. Praha: Pražský deník, 2020 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: https://prazsky.denik.cz/zpravy_region/elektromobil-nabijecka-lampa-sloup-litacka-led-osvetleni.html
- [36] ULLRICH, Jiří. Koncept ev ready lamp. *Konference ČK CIRED*. 2021, 2021(61), 1-7.
- [37] *Nabit auto z pouliční lampy* [online]. Brno: Český rozhlas, 2022 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://brno.rozhlas.cz/nabit-auto-z-poulicni-lampy-brno-rozsiruje-sit-verejnych-dobijecich-panic-8676273>
- [38] *Chytrá čtvrť Špitálka* [online]. Brno: RE:Spitalka, 2019 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://respitalka.brno.cz/>
- [39] *Veřejné osvětlení města brna* [online]. Brno: TECHNICKÉ SÍTĚ BRNO, 2022 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://www.tsb.cz/sluzby/verejne-osvetleni-mesta-brna/>
- [40] *Budou mít obyvatelé sídliště kde nabít své elektromobily?* [online]. Stockholm: Spotify, 2022 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://open.spotify.com/episode/1WPrcljWQ9Z8g01bmQz6Eo?si=588343ad2e6a4973&nd=1>
- [41] Pravidla provozování distribučních soustav. In: *standardy připojení zařízení k distribuční soustavě* [online]. Brno: EG.D, 2021 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: https://www.egd.cz/sites/default/files/2021-10/PPDS_Priloha_6.pdf
- [42] *Cityline 100 - CDC 7Kw* [online]. Portsmouth: CityEV Limited Technopole, 2020 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://cityev.net/wp-content/uploads/Cityline-100-2.0-CDC.pdf>
- [43] *Cityline 300 11/22Kw* [online]. Portsmouth: CityEV Limited Technopole, 2020 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://cityev.net/wp-content/uploads/Cityline-300-2.0.pdf>
- [44] *EV StreetCharge Column* [online]. Nottingham: EV Street Charge, 2018 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://www.evstreetcharge.co.uk/ev-streetcharge-column/>

- [45] *Cambridge Public Electric Vehicle Charging* [online]. Cambridge: Cambridge EV Points, 2020 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://cambridge-evpoint.co.uk/public-electric-vehicle-charging/>
- [46] KURFIŘT, Martin, Jan HLAVNIČKA a Jan TEPLÝ. Zpětný vliv nabíjení elektromobilů na distribuční soustavu. *Konference ČK CIRED*. 2018, **2018**(29).
- [47] KŮLA, Jan, Pavel DERNER, Stanislav HES a Jan ŠVEC. Vliv dobíjení elektromobilů na poměry v distribuční soustavě. *Konference ČK CIRED*. 2018, 2018(410).
- [48] KURFIŘT, Martin, Jan HLAVNIČKA, Martin KAŠPÍREK a Daniel KOUBA. Rozvoj elektromobility a připojovací podmínky pro nabíjecí stanice. *Konference ČK CIRED*. 2019, 2019(55).
- [49] *Chytré veřejné osvětlení* [online]. Holešov: ELKO EP, 2019 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: https://www.elkoep.cz/media/files/download/item/files-187/11_Chytne_verejne_osvetleni_CZ_2019_print.pdf
- [50] MLÝNEK, Petr, Ján SLÁČIK, Radek FUJDIAK, Lukáš BENEŠL, Daniel JUŘÍK a Petr MARVAN. Dobíjecí stanice elektromobilů – smart charging a vehicle-to-grid. *Konference ČK CIRED*. 2021, 2021(64).
- [51] *Open vs. Closed Charging Stations: Advantages and Disadvantages* [online]. Los Angeles: Greenlots, 2020 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://www.openchargealliance.org/uploads/files/OCA-Open-Standards-White-Paper-compressed.pdf>
- [52] *OCPP 2.0.1* [online]. Arnhem: Open Charge Alliance [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://www.openchargealliance.org/downloads/>
- [53] *EV Consumer Behavior* [online]. Alexandria: Fuels Institute, 2022 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://www.fuelsinstitute.org/Research/Reports/EV-Consumer-Behavior/EV-Consumer-Behavior-Report.pdf>
- [54] *Počet obyvatel podle pohlaví a věku k 31. 12. 2021* [online]. Praha: Český statistický úřad, 2022 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/11280/185994794/13005922b03.pdf/dde6ca1d-c0d3-4fe1-8524-a5ed0ac53bd7?version=1.1>
- [55] *Data a věková struktura obyvatel Brna* [online]. Brno: Statutární město Brno, 2021 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://data.brno.cz/pages/clanek-vekova-struktura-obyvatel-brna>
- [56] *Brněnské čtvrti Komín a Žabovřesky v kupní síle dohánějí Prahu* [online]. Praha: iRegiony.cz, 2018 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: https://www.impuls.cz/regiony/jihomoravsky-kraj/brno-dohani-prahu-kupni-sila-pruzkum-jizni-morava.A180116_102204_imp-jihomoravsky_kov

- [57] *Jaké jsou nejluxusnější adresy Brna?* [online]. Brno: Centrumnews, 2019 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://www.centrumnews.cz/jake-jsou-nejluxusnejsi-adresy-brna>
- [58] *Čtyři důvody, proč si Češi kupují elektromobily* [online]. Praha: Seznam Zprávy, a.s, 2021 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://www.seznamzpravy.cz/clanek/proc-si-cesi-kupuji-elektromobil-maji-ctyri-duvody-a-penize-173389>
- [59] *Rezidentní parkování* [online]. Brno: HANA VEČEŘOVÁ, 2017 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://www.hanavecerova.cz/novinky-ze-sveta-nemovitosti/%20rezidentni-parkovani-nebo-li-modre-zony-prichazi-i-do-brna-na-podzim-2018-se-spousti-1-zona-brno-stred>
- [60] *Parkovací dům budoucnosti* [online]. Praha: Porsche Česká republika s.r.o., 2023 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://www.volkswagen.cz/znacka-a-technologie/volkswagen-magazin/mobilita/parkovaci-dum-budoucnosti>
- [61] *Google maps* [online]. San Francisco: Google maps [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps/>
- [62] *Brno vytipovalo 11 míst pro záchytná parkoviště P+R.* [online]. Praha: Česká televize, 2021 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/regiony/2800880-brno-vytipovalo-11-mist-pro-zachytne-parkoviste-pr-chce-tak-snizit-pocet-aut-v>
- [63] Oddělení majetkoprávní. In: *Brno.cz* [online]. Brno: Statutární město Brno, 2023 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.brno.cz/w/oddeleni-majetkopravni-a-ekonomicke>
- [64] Výroční zpráva 2021. In: *TSB.cz* [online]. Brno: Technické sítě Brno, akciová společnost, 2022 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: https://www.tsb.cz/wp-content/uploads/2022/05/tsb_vyrocní_zprava_2021.pdf
- [65] Kabel CYKY-J 4x16. In: *Ielektra.cz* [online]. Most: ielektra, 2023 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.ielektra.cz/kabel-cyky-j-4x16>
- [66] EVMAPA. In: *Evmapa.cz* [online]. Nebovidy: EVMAPA, s.r.o., 2023 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.evmapa.cz/>
- [67] Nejprodávanější elektromobily v Česku?. In: *Elektrické vozy* [online]. Praha: Matouš Vrchota, 2022 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://elektrickevozy.cz/clanky/jake-jsou-nejprodavanejsi-elektromobily-v-cesku-neprekvapivy-lidre-ma-poradny-naskok>
- [68] Aktualizace predikce vývoje elektromobility v ČR do roku 2045. In: *MPO* [online]. Praha: EUROENERGY, SPOL. S R. O, 2021 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni>

dokumenty/narodni-akcni-plan-pro-chytre-site/2022/2/Elektromobilita
_predikce-do-2045.pdf

- [69] Nevyhnutelný nástup elektromobility v ČR ?. In: *MPO* [online]. Praha: Zdeněk Petzl, AutoSAP, 2022 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/narodni-akcni-plan-pro-chytre-site/2022/6/220531_AutoSAP_Vyvoj-e-mobility-CR.pdf
- [70] Providing residents with an on-street electric vehicle lamppost charging solution. In: *Unboxed.co* [online]. Londýn: Unboxed, 2023 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://unboxed.co/our-work/chargy/>
- [71] How to charge with ubitricity. In: *Ubitricity.com* [online]. Londýn: Ubitricity, 2023 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://ubitricity.com/en/driver/how-to-charge/>
- [72] Charge wherever there is light. In: *Bega.com* [online]. Menden: BEGA, 2023 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.bega.com/en/products/electrical-supply/e-mobility/>
- [73] Výpočet zatížení kabelu. In: *Myllms.cz* [online]. Praha: myllms.cz, 2020 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.myllms.cz/vypocet-zatizeni-kabelu/>
- [74] Elektromobily a hybridy v parkovacím systému. In: *Parkování v Brně* [online]. Brno: Statutární město Brno, 2023 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.parkovanivbrne.cz/otazky-a-odpovedi#197>
- [75] Svaz dovozců automobilů. In: *Svaz dovozců automobilů* [online]. Praha: Svaz dovozců automobilů, 2023 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://portal.sdac-ia.cz/stat.php?v#str=vpp>
- [76] A case study in the Netherlands. In: *ScienceDirect* [online]. Peyman Ashkrof, Gonçalo Homem de Almeida Correia, Bart van Arem, 2020 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920919309757?via%3Dihub>
- [77] Plugged In: How Americans Charge Their Electric Vehicles. In: *Idaho National Laboratory* [online]. Idaho: Idaho National Laboratory, 2015 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://avt.inl.gov/sites/default/files/pdf/arra/PluggedInSummaryReport.pdf>
- [78] Elektromobily v testu: dojezd je skutečně tak vysoký. In: *ADAC* [online]. Mnichov: ADAC, 2023 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/tests/stromverbrauch-elektroautos-adac-test/>

- [79] Kolik bude parkovacích míst?. In: *Parkování v Brně* [online]. Brno: Statutární město Brno, 2023 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.parkovani.vbrno.cz/vyhledavani?s=po%C4%8Det+parkovac%C3%ADch+m%C3%ADst>
- [80] Solární parkoviště JE Dukovany. In: *Hybrid.cz* [online]. Brno: Hybrid.cz, 2022 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.hybrid.cz/solarni-parkoviste-je-dukovany-vyrobilo-za-rok-877-mwh-elektriny/>
- [81] Správa nemovitostí městské části Brno-střed. In: *Městská část Brno-Střed* [online]. Brno: Statutární město Brno, 2023 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.brno-stred.cz/potrebuji-si-vyridit/byty/sprava-nemovitosti-mestske-casti-brno-stred>
- [82] *Nejprodávanější elektromobily v Česku* [online]. Brno: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2022 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: <https://www.cista.doprava.cz/nejprodavanejsi-elektromobily-v-cesku-enyaq-ev6-a-kona/>

Seznam zkratk

Zkratky:

AC	střídavé
EV	elektrické vozidlo
FVE	fotovoltaická elektrárna
MHD	městská hromadná doprava
NB	nabíjecí bod
NS	nabíjecí stanice
RVO	rozvaděč veřejné osvětlení
THMP	Technologie hlavního města Prahy
TSB	Technické sítě Brno
VO	veřejné osvětlení