

UNIVERZITA PARDUBICE  
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2024

PETR BYSTRŮŇ

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera

Organizace provozu a tvorba jízdního řádu při nasazení elektrobusů  
v plném rozsahu  
Diplomová práce

2024

Bc. Petr Bystroň

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera  
Akademický rok: 2022/2023

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr Bystroň**  
Osobní číslo: **D21457**  
Studijní program: **N1041A040008 Technologie a management v dopravě**  
Specializace: **Technologie a řízení dopravy**  
Téma práce: **Organizace provozu a tvorba jízdního řádu při nasazení elektrobusů v plném rozsahu**  
Zadávací katedra: **Katedra technologie a řízení dopravy**

## Zásady pro vypracování

### Úvod

1. Podmínky pro provoz elektrobusů
2. Návrhy doplnění infrastruktury
3. Návrh provozu – případová studie
4. Vyhodnocení návrhů

### Závěr

Na vedení diplomové práce se spolupodílí Ing. Erik Tischer v rámci udržitelnosti projektu Spolupráce Univerzity Pardubice a aplikační sféry v aplikačně orientovaném výzkumu lokačních, detekčních a simulačních systémů pro dopravní a přepravní procesy (PosiTrans), reg. č.: CZ.02.1.01/0.0/0.0/17\_049/0008394).

Rozsah pracovní zprávy: **50-60**  
Rozsah grafických prací: **5-6**  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

DRDLA, Pavel. Osobní doprava regionálního a nadregionálního významu. Vydání: 2. upravené. Pardubice: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, 2018. ISBN 978-80-7560-189-6.

MOJŽÍŠ, Vlastislav, Milan GRAJA a Pavel VANČURA. Integrované dopravní systémy. Praha: Powerprint, 2008. ISBN 978-80-904011-0-5.

DAMBORSKÝ, Milan. Regionální veřejná doprava v České republice. Brno: Pavel Křepela, 2014. ISBN 978-80-86669-28-1.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Josef Bulíček, Ph.D.**  
Katedra technologie a řízení dopravy

Datum zadání diplomové práce: **2. února 2023**  
Termín odevzdání diplomové práce: **9. května 2024**

L.S.

---

**doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.**  
děkan

---

**doc. Ing. Jaromír Široký, Ph.D.**  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 2. ledna 2023

Prohlašuji:

Práci s názvem **Organizace provozu a tvorba jízdního řádu při nasazení elektrobusů v plném rozsahu** jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 9. května 2024

Bc. Petr Bystroň, v. r.

## **PODĚKOVÁNÍ**

Prostřednictvím tohoto textu bych vyjádřil obrovské poděkování vedoucímu této diplomové práce, váženému pánovi doc. Ing. Josefu Bulíčkovi, Ph.D., za jeho mimořádně pečlivé vedení této práce, bez jehož teoretických i praktických rad by se autor této práce neobešel. Speciální poděkování patří rovněž jeho trpělivosti a rychlé zpětné vazbě. Mimo to bych rád poděkoval za pomoc kolegům a současně přátelům z Dopravního podniku Ostrava, pánovi Tomášovi Zemanovi, řidičům autobusů Dominik Petö, Radim Fabián, Mateusz Smoła, Ing. Ladislavovi Cihlovi z Dopravního podniku města Pardubic a dále pánovi Ing. Liborovi Hinčicovi ze společnosti Cegelec za hodnotné konzultaci technického charakteru.

## **ANOTACE**

Diplomová práce je zaměřena na technické parametry elektrobuseů a stanovení omezujících podmínek jejich provozu ve vazbě na linkotvorbu a tvorbu oběhů. Tyto omezující podmínky byly definovány a ověřovány s využitím v diplomové práci vyvinutého simulačního modelu zaměřeného na vztah jízdního řádu, zpoždění a provozních charakteristik (např. vlivu min. úrovně nabití a doby nabíjení) Práce je završena třemi variantními návrhy koncepce řešení provozu s využitím různých technologií elektrobuseů na vybrané lince MHD Ostrava.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

dopravní obslužnost, elektromobilita, elektrobuse, městská hromadná doprava nabíjecí infrastruktura, parciální trolejbus, simulace, statutární město Ostrava

## **TITTLE**

Organisation of operation and timetabling by application of electric-powered buses in full extent

## **ANNOTATION**

The diploma thesis is focused on technical parameters of electric buses and defines limited conditions of their service according creation of timetables and organization of vehicle's rounds. Those conditions were defined and verified by procuced simulation in this thesis in realtion to timetable, delay and traffic charasteristics (sucha as an impact of min. level of charge and time of charging). The thesis is completed by 3 conceptions of traffic organization using different technologies of electric buses on a chosen line of public transport in Ostrava.

## **KEY WORDS**

transport services, electromobility, electric bus, urban public transport, charging infrastructure, trolleybus with auxiliary battery engine, simulation, Ostrava city

# OBSAH

<b>OBSAH</b> .....	<b>8</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>12</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>14</b>
<b>SEZNAM ZKRATEK</b> .....	<b>16</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>18</b>
<b>1 PROVOZNÍ PARAMETRY ELEKTROBUSŮ</b> .....	<b>20</b>
1.1 <i>Typy a parametry trakčních baterií</i> .....	20
1.1.1 Požadavky na trakční baterie .....	20
1.1.2 Parametry trakčních baterií .....	21
1.1.3 Porovnání aktuálních typů baterií.....	24
1.2 <i>Způsoby nabíjení</i> .....	26
1.2.1 Statické nabíjení.....	26
1.2.2 Dynamické nabíjení.....	26
1.2.3 Rekuperační nabíjení .....	27
1.3 <i>Typy nabíjení</i> .....	28
1.3.1 Dvoupólové nabíjení .....	29
1.3.2 Čtyřpólové nabíjení.....	30
1.4 <i>Typy systémů elektrobusů</i> .....	31
1.5 <i>Výrobci vozidel</i> .....	31
<b>2 VYBRANÝ PŘÍKLAD SOUČASNÉHO PROVOZU ELEKTROBUSŮ</b> .....	<b>33</b>
<b>3 OMEZUJÍCÍ PODMÍNKY PROVOZU A LINKOTVORBY</b> .....	<b>34</b>
3.1 <i>Matematická simulace nabíjecí stanice</i> .....	35
3.2 <i>Charakteristika simulačního modelu</i> .....	36
3.2.1 Výstupy simulace .....	36
3.2.2 Hodnoty proměnných pro výstupy simulace .....	36
3.3 <i>Parametry uvažované trasy</i> .....	39
3.3.1 Délka uvažované trasy .....	39
3.3.2 Reliéf uvažované trasy .....	39
3.3.3 Kilometrický proběh.....	44



3.4	<i>Technologické časy – doba nabíjení</i> .....	46
3.4.1	Vliv délky .....	46
3.4.2	Vliv nabíjecího výkonu .....	46
3.4.3	Vliv minimální požadované kapacity po nabíjení .....	46
3.4.4	Vliv spotřeby na 1 km.....	47
3.4.5	Technologické časy – vliv obratové doby a intervalu linky .....	47
3.5	<i>Technologické časy – cestovní a oběhová rychlost</i> .....	48
3.6	<i>Kapacita infrastruktury – vliv zpoždění</i> .....	48
3.6.1	Interval 10 minut.....	49
3.6.2	Výstupy pro průměrná data .....	51
3.6.3	Výstupy pro město Ostrava (CZ) .....	52
3.6.4	Výstupy pro město Pardubice (CZ).....	53
3.6.5	Výstupy pro město Warszawa (PL) .....	54
3.6.6	Závěry simulace.....	55
3.7	<i>Technologické časy – práce zaměstnanců v dopravě</i> .....	56
3.7.1	Linky s délkou trasy do 50 km .....	57
3.7.2	Linky s délkou trasy nad 50 km .....	58
3.8	<i>Povětrnostní podmínky</i> .....	58
3.9	<i>Shrnutí omezujících podmínek</i> .....	59
<b>4</b>	<b>NÁVRHY DOPLNĚNÍ INFRASTRUKTURY</b> .....	<b>60</b>
4.1	<i>Omezující podmínky</i> .....	60
4.1.1	Distribuce elektrické energie .....	60
4.1.2	Existence liniové infrastruktury .....	61
4.1.3	Finanční náročnost investice.....	62
4.1.4	Fyzická kapacita obratišť .....	63
4.2	<i>Lokace nabíjecí infrastruktury</i> .....	63
4.2.1	V dopravních uzlech .....	63
4.2.2	V blízkosti existující liniové infrastruktury .....	64
<b>5</b>	<b>NÁVRH PROVOZU – PŘÍPADOVÁ STUDIE VE MĚSTĚ OSTRAVA</b> .....	<b>66</b>
5.1	<i>Charakteristika řešeného území</i> .....	66
5.1.1	Autobusová linka 37.....	66
5.1.2	Jízdní řád .....	67
5.1.3	Parametry trasy.....	68
5.1.4	Dopravní výkon .....	69

5.1.5	Oběhy vozidel.....	70
5.1.6	Fyzická kapacita obratišť.....	70
5.1.7	Přítomnost liniové infrastruktury.....	71
5.1.8	Shrnutí vstupních dat pro elektrifikaci autobusové linky 37.....	71
5.2	<i>Varianta A – systém Oppcharge</i> .....	72
5.2.1	Požadavky na vozidla .....	72
5.2.2	Požadavky na infrastrukturu .....	73
5.2.3	Simulace I – ověření nastavených parametrů.....	73
5.2.4	Výběr dodavatele vozidel.....	75
5.2.5	Simulace II – s parametry zvolených vozidel.....	76
5.2.6	Návrh JŘ a oběhů vozidel .....	77
5.2.7	Nabíjecí plán elektrobusů .....	79
5.3	<i>VARIANTA B</i> .....	80
5.3.1	Požadavky na vozidla .....	82
5.3.2	Požadavky na infrastrukturu .....	82
5.3.3	Simulace I – ověření nastavených parametrů.....	83
5.3.4	Výběr dodavatele vozidel.....	84
5.3.5	Simulace II – s parametry zvolených vozidel.....	85
5.3.6	Návrh JŘ a oběhů vozidel .....	86
5.4	<i>Varianta C</i> .....	88
5.4.1	Požadavky na vozidla .....	88
5.4.2	Požadavky na infrastrukturu .....	88
5.4.3	Simulace I – ověření nastavených parametrů.....	89
5.4.4	Výběr dodavatele vozidel.....	89
5.4.5	Simulace II – s konkrétními parametry zvolených vozidel .....	90
5.4.6	Návrh JŘ a oběhů vozidel .....	91
5.4.7	Nabíjecí plán elektrobusů .....	93
<b>6</b>	<b>VYHODNOCENÍ NÁVRHŮ</b> .....	<b>95</b>
6.1	<i>Varianta A</i> .....	95
6.1.1	Ekonomická analýza.....	95
6.1.2	Vyhodnocení varianty A.....	96
6.2	<i>Varianta B</i> .....	97
6.2.1	Ekonomická analýza.....	97
6.2.2	Vyhodnocení varianty B.....	98
6.3	<i>Varianta C</i> .....	99

6.3.1	Ekonomická analýza .....	100
6.3.2	Vyhodnocení varianty C .....	100
6.4	<i>Porovnávání všech variant</i> .....	102
6.4.1	Výpravnost vozidel .....	102
6.4.2	Dopravní výkon .....	104
6.4.3	Rámcové ekonomické porovnání .....	104
6.4.4	Doba nabíjení a doporučená obratová doba .....	105
6.4.5	Synergický efekt s rozvojem elektrifikace .....	106
6.4.6	Ekologický přínos .....	106
6.4.7	Síťový efekt .....	107
6.4.8	Personální náklady .....	107
6.5	<i>Výběr optimální varianty</i> .....	107
<b>ZÁVĚR</b> .....		<b>110</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ</b> .....		<b>111</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....		<b>115</b>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<b>Obrázek 1</b> Specifická energie u různých druhů baterií .....	22
<b>Obrázek 2</b> Graf závislosti změny kapacity za různých teplot. ....	24
<b>Obrázek 3</b> Parciální trolejbus Škoda 30 Tr SOR v severočeských Teplicích. ....	26
<b>Obrázek 4</b> Dvoupólové nabíjení elektrobusů v garážích Klíčov v Praze .....	29
<b>Obrázek 5</b> Schéma ideový postupu elektrifikace autobusové linky .....	34
<b>Obrázek 6</b> Graf závislosti délky trasy na průměrnou dobu nabíjení. ....	39
<b>Obrázek 7</b> Schéma ostravské linky 34 a její výškový profil. ....	41
<b>Obrázek 8</b> Vývoj spotřeby na 1 km na ostravské lince 34 .....	42
<b>Obrázek 9</b> Porovnání průměrné a mediánové spotřeby na ostravské lince 34 .....	42
<b>Obrázek 10</b> Vývoj spotřeby mezi zastávkami Hošťálkovice – Lhotka. ....	43
<b>Obrázek 11</b> Porovnání spotřeby v úseku Hošťálkovice – Lhotka .....	43
<b>Obrázek 12</b> Rekuperace v rámci zastávkového úseku Hošťálkovice – Lhotka .....	44
<b>Obrázek 13</b> Graf závislosti nabíjecího výkonu na průměrnou dobu nabíjení .....	46
<b>Obrázek 14</b> Vliv minimální požadované kapacity na průměrnou dobu nabíjení .....	47
<b>Obrázek 15</b> Průměrná doba nabíjení ve vztahu k různým intervalům mezi spoji.....	49
<b>Obrázek 16</b> Míra spolehlivosti pro interval 10 minut .....	50
<b>Obrázek 17</b> Míra spolehlivosti pro průměrná data při spotřebě 2,1 kWh/km. ....	51
<b>Obrázek 18</b> Ostrava – míra spolehlivosti při spotřebě 2,1 kWh/km. ....	52
<b>Obrázek 19</b> Ostrava – míra spolehlivosti při spotřebě 1,30 kWh/km .....	53
<b>Obrázek 20</b> Pardubice– míra spolehlivosti při spotřebě 2,1 kWh/km. ....	53
<b>Obrázek 21</b> Warszawa– míra spolehlivosti při spotřebě 2,1 kWh/km .....	54
<b>Obrázek 22</b> Bilance parciálních trolejbusů a elektrobusů v ČR.....	61
<b>Obrázek 23</b> Schémas nemožností umístění nabíjecí infrastruktury do uzlů.....	64
<b>Obrázek 24</b> Možná lokace nabíjecích stanic poblíž liniové infrastruktury .....	65
<b>Obrázek 25</b> Schéma lokací nabíjecí st. mimo hlavní uzel a liniovou infrastrukturu.....	65
<b>Obrázek 26</b> Schéma ostravské autobusové linky 37 .....	67
<b>Obrázek 27</b> Výškový profil autobusové linky 37.....	69
<b>Obrázek 28</b> Průměrný denní km proběh celodenních oběhů na autobusové lince 37.....	70
<b>Obrázek 29</b> Autobusové linka 37 a liniová infrastruktura.....	71
<b>Obrázek 30</b> Varianta A – míra spolehlivosti v porovnání s ověřovacím provozem. ....	77
<b>Obrázek 31</b> Schéma autobusové a trolejbusové linky 37.....	81
<b>Obrázek 32</b> Schéma prodloužené trolejbusové linky 102 .....	81

<b>Obrázek 33</b> Varianta A – míra spolehlivosti v porovnání s ověřovacím provozem .....	86
<b>Obrázek 34</b> Varianta C – průměrná doba nabíjení při různých počtech obrátů .....	91
<b>Obrázek 35</b> Varianta A – porovnání spolehlivosti při různých spotřebách na lince 37.....	96
<b>Obrázek 36</b> Varianta C – průměrné doby nabíjení při různých spotřebách. ....	101
<b>Obrázek 37</b> Porovnání nabíjecích a obrátových dob napříč variantami.....	106

## SEZNAM TABULEK

<b>Tabulka 1</b> Přehled parametrů jednotlivých typů elektrobusů.....	20
<b>Tabulka 2</b> Přehled základních parametrů baterií.....	21
<b>Tabulka 3</b> Cyklická životnost trakčních baterií.....	23
<b>Tabulka 4</b> Přehled a porovnání jednotlivých typů trakčních baterií.....	25
<b>Tabulka 5</b> Technické parametry baterií elektrobusů a parciálních trolejbusů.....	31
<b>Tabulka 6</b> Vstupní data pro sestavení míry spolehlivosti.....	36
<b>Tabulka 7</b> Hodnoty proměnných využité v simulaci.....	37
<b>Tabulka 8</b> Přehled požadavků objednatelů dopravy na plnění JŘ.....	38
<b>Tabulka 9</b> Varianty trasy linky 34 a jejich délka.....	40
<b>Tabulka 10</b> Přehled kilometrický proběhů vozidel MHD Ostrava a Pardubice.....	45
<b>Tabulka 11</b> Hodnoty distribuční funkce spolehlivosti pro průměrné hodnoty.....	51
<b>Tabulka 12</b> Ostrava – hodnoty distribuční funkce spolehlivosti.....	52
<b>Tabulka 13</b> Pardubice – hodnoty distribuční funkce spolehlivosti.....	54
<b>Tabulka 14</b> Warszawa – hodnoty distribuční funkce spolehlivosti.....	55
<b>Tabulka 15</b> Rozdělení intervalů mír spolehlivosti.....	56
<b>Tabulka 16</b> Porovnání režimů práce řidičů v Ostravě a v Pardubicích.....	57
<b>Tabulka 17</b> Jízdní řád autobusové linky 37 pro pracovní dny.....	68
<b>Tabulka 18</b> Varianty trasování autobusové linky 37.....	69
<b>Tabulka 19</b> Dopravní výkon autobusové linky 37.....	70
<b>Tabulka 20</b> Zadávací požadavky na elektrifikaci linky 37.....	72
<b>Tabulka 21</b> Varianta A – požadavky na vozidla.....	73
<b>Tabulka 22</b> Rozdělení pravděpodobnosti zpoždění pro autobusovou linku 37 v PD.....	74
<b>Tabulka 23</b> Varianta A – proměnné pro ověření nastavených parametrů.....	74
<b>Tabulka 24</b> Varianta A – hodnoty distribuční funkce při zadaných podmínkách.....	75
<b>Tabulka 25</b> Varianta A – analýza parametrů vozide.....	75
<b>Tabulka 26</b> Varianta A – Posouzení elektrické kapacity vozidel.....	76
<b>Tabulka 27</b> Varianta A – proměnné simulace.....	76
<b>Tabulka 28</b> Varianta A – návrh oběhů vozidel a JŘ pro pracovní dny.....	78
<b>Tabulka 29</b> Varianta A – dopravní výkony linky 37.....	79
<b>Tabulka 30</b> Varianta A – nabíjecí plán pro systém Oppcharge.....	80
<b>Tabulka 31</b> Varianta B– požadavky na vozidla.....	82
<b>Tabulka 32</b> Varianta B– rozdělení pravděpodobnosti zpoždění pro PD linek 37 a 102.....	83

<b>Tabulka 33</b> Varianta B– proměnné pro ověření nastavených parametrů. ....	84
<b>Tabulka 34</b> Varianta B– analýza výběru vozidel .....	85
<b>Tabulka 35</b> Varianta B – proměnné s parametry parciálních trolejbusů. ....	85
<b>Tabulka 36</b> Varianta B – návrh jízdního řádu a oběhů vozidel pro pracovní dny.....	87
<b>Tabulka 37</b> Varianta B – dopravní výkony. ....	88
<b>Tabulka 38</b> Varianta C – analýza výběru vozidel. ....	90
<b>Tabulka 39</b> Varianta C – doporučené obrátové doby a intervaly pro 1 nabíjecí stanici. ....	91
<b>Tabulka 40</b> Varianta C – návrh JŘ a oběhů vozidel pro pracovní dny.....	92
<b>Tabulka 41</b> Varianta C – dopravní výkony. ....	93
<b>Tabulka 42</b> Varianta C – nabíjecí plán. ....	94
<b>Tabulka 43</b> Varianta A – soubor vybraných položek k nezbytných spuštění provozu. ....	96
<b>Tabulka 44</b> Varianta B – soubor vybraných položek k nezbytných spuštění provozu. ....	98
<b>Tabulka 45</b> Varianta B – Porovnání oběhů a dopravního výkonu se současným stavem. ....	99
<b>Tabulka 46</b> Varianta C – soubor vybraných položek k nezbytných spuštění provozu. ....	100
<b>Tabulka 47</b> Porovnání výpravnosti vozidel se současným stavem. ....	103
<b>Tabulka 48</b> Porovnání ročních dopravních výkonů.....	104
<b>Tabulka 49</b> Porovnání rámcových cen napříč variantami. ....	105
<b>Tabulka 50</b> Pořadí variant vzhledem ke kritériím. ....	108

;

## SEZNAM ZKRATEK

AETR – Accord européen sûr les transports routiers (evropská dohoda o práci osádek vozidel v mezinárodní silniční dopravě)

CP – control pilot

C-rate – current raite

ČR – Česká republika

DOD – depth of discharge (hloubka vybití baterií)

DPH – daň z přidané hodnoty

DPMČB – Dopravní podnik města České Budějovice

DPO – Dopravní podnik Ostrava

DPMP – Dopravní podnik města Pardubic

ES – Evropské společenství

EU – Evropská unie

JŘ – jízdní řád

LCO – lithium cobalt oxide

LFP – lithium iron phosphate

LMO – lithium ion manganese oxide

LTO – lithium titanate oxide

MHD – městská hromadná doprava

NCA – nickel cobalt aluminium

NiCd – nickel cadmium

NiMH – nickel metal hydride

NMC – nickel manganese cobalt

PD – pracovní den

PE – protective earth

PL – Polská republika



Sb – Sbírka zákonů a mezinárodních smluv

VLD – veřejná linková doprava

VŠB-TU – Vysoká škola Báňská-Technická univerzita Ostrava

ZTM – Zarząd Transportu Metropolitalnego (organizátor dopravy v metropolitní oblasti města Warszawa)

## ÚVOD

Elektrická energie je jako zdroj energie k pohonu vozidel městské hromadné dopravy využívána již desítky let. S každou uplynulou dekádou se nabízí další nová řešení, jak snižovat a eliminovat emise vzniknuvší provozem veřejné dopravy. Nyní se vývoj zaměřuje na rozšíření možnosti akumulace energie ve vozidlech a její následné využití k provozu. S nástupem pojmu elektromobilita tato řešení často nabírají reálné obrysy a dochází tak ke kýženému omezení množství produkovaných emisí. Častokrát se tak děje za propagace médií a marketingu, jejichž síla má však leckdy za cíl kompenzovat problémy a neúspěchy, které nové a inovativní projekty elektromobility doprovází, neboť nejsou vždy patřičně zohledněny omezující podmínky a požadavky.

Spolu se zpřísnujícími se normami na produkci emisí a také čím dál většími nároky na omezení emise hluku, je čím dál větší potenciál vkládán právě do elektromobility. Elektromobily, resp. elektrobusy, se jeví jako ideální cesta, jak těmto normám a požadavkům vyhovět, zejména pak v oblastech se zhoršenou kvalitou životního prostředí, kde se klade důraz na omezení produkce lokálních emisí. Prozatím má tato cesta mnohačetná úskalí, jak tohoto ideálu dosáhnout, neboť stále není zcela vyřešena problematika uchování elektrické energie, umožňující neomezený celodenní provoz elektrobusů za jakýchkoliv povětrnostních podmínek. Na druhou stranu technologický pokrok v této oblasti dosáhl mnoha úspěchů, které přináší širší spektrum možností, kde lze uvažovat o nasazení elektrobusů. S vhodně dislokovanou infrastrukturou lze pokrýt prakticky celodenní provoz linek. Neopomenutelným tématem je stále životnost baterií, jež se při vhodném provozu přibližuje životnosti karoserie vozidla, avšak stále to není zcela vyřešená problematika. Výměna trakčních baterií představuje nepřehlédnutelnou finanční položku během provozu vozidla, kdy je současně často skloňovaným tématem i ekologická likvidace baterií, u níž lze někdy spekulovat, jak moc ekologická nakonec je. V neposlední řadě je otázka, jestli celkový ekologický přínos vozidla převažuje zátěž, která vzniká před a při výrobě trakčních baterií až po jejich likvidaci.

Nehledě na skutečnost, že s ohledem na vysoké pořizovací náklady elektrobusů a jejich dobíjecí infrastruktury, by se množství pilotních projektů bez štědré dotační politiky státních institucí a Evropské unie nerealizovalo. Je to dáno skutečností, že takové ambiciózní projekty si města ze svých rozpočtů nemohou dovolit financovat i s přihlédnutím ke skutečnosti, že se stále nejedná o zcela spolehlivou variantu zajišťování dopravní obslužnosti. Díky politické reprezentaci měst a dopravních podniků panuje mezi městy různá míra ambicí tento dopravní mód do ulic měst implementovat. Jedním z měst, které je v této oblasti mimořádně aktivní, je i statutární město Ostrava, kde je současný provoz elektrobusů výsledkem synergie několika různých technologií. To jsou jedny z důvodů, proč se případové studie této práce soustředí právě na tuto oblast, kde je další elektrifikace autobusových linek na pořadu dne.

**Cílem práce je stanovit omezující podmínky pro tvorbu jízdních řádů a oběhů vozidel s ohledem na charakter elektrobusů při zohlednění aspektů stanovující nezbytný počet a lokaci dobíjecích stanic.**

Za respektování těchto stanovených podmínek je navazujícím cílem vytvořit i případovou studii na aplikaci výhradního zajištění MHD vybrané oblasti právě elektrobusy, které je možné nasadit v různých systémech autobusové dopravy. Z hlediska současného stavu technického vývoje pak zejména v MHD a VLD, protože například využití v zájezdové dopravě zatím má mnoho úskalí (dostupnost vhodných vozidel i nabíjecích stanic). Diplomová práce se tak z důvodu stránkového rozsahu omezí na MHD, ve které se lze opřít již i o některé zkušenosti a kde jsou i předpoklady relativní efektivnosti elektrického pohonu (omezení tvorby zplodin přímo v zalidněných oblastech) a technologicky se zde lze snadněji vyrovnat s technologickými úskalími realizace (např. kratší dojezd, který je akceptovatelný díky kratším dobám obratu na linkách). Práce je ale koncipována tak, aby základní a klíčové poznatky byly využitelné jak v MHD, tak přiměřeně v ostatních segmentech autobusové dopravy. Mimo to se řada publikací soustředí na samotnou technickou stránku elektrobusů jako takových, nicméně technologická stránka jejich využití je řešena o poznání méně. I to je jeden z důvodů zpracovávání této diplomové práce.

# 1 PROVOZNÍ PARAMETRY ELEKTROBUSŮ

Podstatou této kapitoly je seznámení s provozními parametry a charakteristikami elektrobusů z technického hlediska, jejichž znalost je pro následnou technologickou problematiku výhodná. Trakční baterie poskytují úložiště elektrické energie nezbytné nejen k pohonu samotného vozidla, nýbrž i k jeho provozu obecně. Jejich schopnost ukládat elektrickou energii se odvíjí od typu a počtu trakčních článků, ze kterých je baterie jako celek sestavena. Od typu článku se odvíjí i množství vybíjecích a nabíjecích cyklů, jež je baterie po dobu své životnosti schopna realizovat. V neposlední řadě trakční baterie představují klíčový parametr elektrobusů, od něhož se odvíjí deklarovaný kilometrický dojezd, který je určující pro to, na jaký rozsah provozu je daný elektrobus vhodný.

## 1.1 Typy a parametry trakčních baterií

Existuje několik typů baterií v závislosti na jejich chemickém složení a principu, na jakém fungují. Každý typ má různá specifika, pro jaký účel a typ provozu se hodí, potažmo kde je jeho použití nevhodné. S dobou se jednotlivé typy zdokonalují nebo naopak vznikají nové, čímž se neustále zlepšují a posouvají možnosti jejich využití, resp. elektrobusů celkově.

### 1.1.1 Požadavky na trakční baterie

Základní otázkou při výběru typu a parametrů trakčních baterií je, pro jaký typ provozu mají být dimenzovány. Zcela odlišné požadavky na parametry mají elektrobusy, u nichž se očekává co největší kilometrický dojezd v rámci jednoho nabití a na druhou stranu elektrobusy, jež budou nabíjeny několikrát v průběhu dne, což vyžaduje větší nároky na počet vybíjecích, resp. nabíjecích cyklů, ale současně snižuje požadavky na dojezd na jedno nabití.

Přehled požadavků vybraných řešení, se kterými tato práce nadále počítá, je zobrazen v tabulce 1. U elektrobusů s příležitostným nabíjením a dynamickým nabíjením panuje shoda požadavků na vysoký výkon a počet cyklů, přičemž důraz na počet cyklů je s ohledem na častější nabíjení u elektrobusů s dynamickým nabíjením ještě vyšší. Rozdílem mezi nimi je odlišný požadavek na dojezd, neboť elektrobus s dynamickým nabíjením využívá v průběhu trasy liniové infrastruktury k nabíjení, čímž může dojít ke zmírnění požadavku na dojezd a tím i velikost trakčních baterií.

Tabulka 1 Přehled parametrů jednotlivých typů elektrobusů.

Typ elektrobusu pro provoz MHD	Požadavky na trakční baterie
S příležitostným nabíjením	Vysoký výkon a kvantita cyklů
S nabíjením přes noc/v dopravním sedle	Vysoká kapacita a výkon na 1 nabití
S dynamickým nabíjením	Vysoký výkon a vysoká kvantita cyklů

Zdroj: autor

Vhodně zvolené parametry a adekvátní zátěž během provozu jsou klíčové pro dosažení co nejdélejší životnosti trakčních baterií, která se s každým rokem technického vývoje baterií přibližuje k životnosti vozidla.

### 1.1.2 Parametry trakčních baterií

V současnosti jsou na vzestupu trakční baterie na bázi lithia. V minulosti se využívalo např. olověných baterií, které však pro svou hmotnost a také náchylnost na povětrnostní podmínky již nejsou využívány. Dříve se využívalo také nikl-kadmiových baterií, které mají sice již lepší vlastnosti a menší hmotnost, avšak naráží to na karcinogenní vlastnosti kadmia, které je lidskému zdraví škodlivé. Objevení potenciálu lithia, které nabývá na strategickém významu, přineslo nové možnosti, jak optimalizovat velikost, hmotnost, objem a v neposlední řadě také elektrickou kapacitu trakčních baterií. Přehled základních parametrů baterií zobrazuje tabulka 2.

Tabulka 2 Přehled základních parametrů baterií.

Parametry baterií	Jednotka	Význam
Specifická energie	Wh/kg	Množství energie v 1 kg trakční baterie.
Specifický výkon	W/kg	Výkon trakční baterie na 1 kg její hmotnosti.
Hustota energie	Wh/l	Množství energie v objemu 1 l trakční baterie.
Hustota výkonu	W/l	Výkon trakční baterie v 1 l jejího objemu.
Počet cyklů	Počet cyklů	Množství vybíjecích/nabíjecích cyklů trakční baterie.
C-Rate	Počet C	Koeficient proudové zatíženosti. Rychlost vybíjení/nabíjení, resp. poměr nabíjecího a vybíjecího výkonu baterie v kW a její kapacity v kWh

Zdroj: autor s využitím (8)

Rozdílné požadavky typů elektrobuseů na výslednou kapacitu elektrické energie ovlivňují konečnou specifickou energii a hustotu energie, které si lze představit jako množství energie, které obsahuje trakční baterie v 1 kg a 1 l, což se v praxi promítá do rozměrů, objemu a hmotnosti baterií. Obdobně ovlivňují rozměrové a hmotnostní parametry trakční baterie také požadavky na požadovaný výkon, který má trakční baterie poskytovat a zabezpečovat. Tyto hodnoty představují parametry specifického výkonu a hustoty výkonu. Nároky na životnost trakční baterie představuje parametr zaznamenávající počet vybíjecích/nabíjecích cyklů. Jeden cyklus představuje vybití, resp. nabití, baterie od plné elektrické kapacity až po kapacitu nulovou. Pro přiblížení algoritmu (nabíjecích) cyklů je uveden následující zjednodušený příklad:

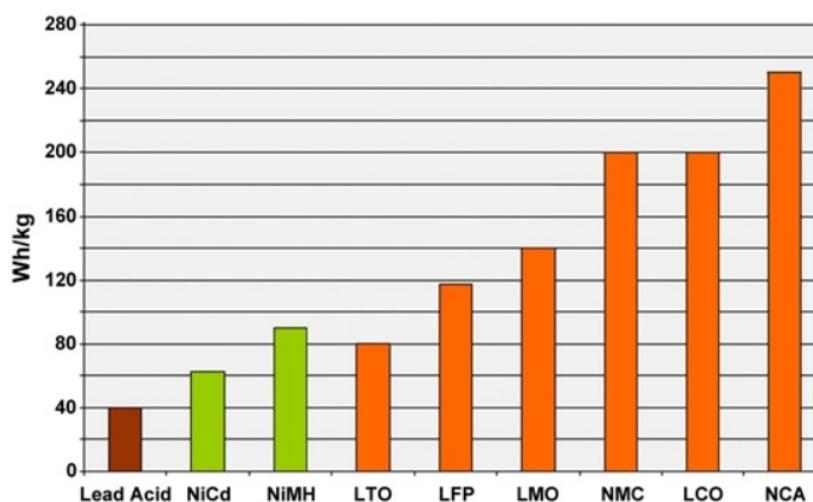
- Trakční baterie je nabita z 0 % elektrické kapacity do 100 % = 1 cyklus.
- Trakční baterie je nabita z 50 % elektrické kapacity do 100 % = 0,5 cyklu.
- Trakční baterie je nabita ze 75 % elektrické kapacity do 100 % = 0,25 cyklu.

Samotnou rychlost nabíjení a vybíjení definuje tzv. C-Rate, který se v praxi projevuje tím, jaký výkon jsou schopny trakční baterie poskytnout, přičemž daný výkon je tolikrát vysoký, kolik kWh energie trakční baterie obsahuje. Lze to vysvětlit na následujícím příkladu:

- Trakční baterie s parametrem 2 C a kapacitou 20 kWh může poskytnout výkon až 40 kW.

Je třeba dodat, že takový výkon může baterie poskytovat pouze omezenou dobu, po které snižující se hodnota C-Rate má za následek např. omezení akcelerace, resp. rychlosti, jakou je vozidlo v daný okamžik schopno udržovat. Na základě toho se rozlišuje mediánový a špičkový C-Rate, kdy špičkový uvádí maximální po určitou dobu poskytovaný výkon (8)

Na obrázku 1 jsou pro představu zobrazeny rozdíly mezi jednotlivými typy trakčních baterií z hlediska specifické energie, která vykazuje nejvyšší hodnoty u lithiových baterií, jež jsou na obrázku 1 znázorněny oranžovou barvou. Pro srovnání s olověnými bateriemi (červená barva) je pro dosažení obdobné elektrické kapacity zapotřebí několikanásobně větší hmotnosti.



Obrázek 1 Specifická energie u různých druhů baterií. Zdroj:(6)

Legenda:

NiCd – nickel cadmium NiMH – nickel metal hydride

LTO – lithium titanate oxide LFP – lithium iron phosphate

LMO – lithium manganese oxide NMC – nickel manganese cobalt

LCO – lithium cobalt oxide NCA – nickel cobalt aluminum

Významnou vlastností trakčních baterií je výrobci deklarovaný kilometrický dojezd po celou dobu její životnosti. Dodržení této vlastnosti je klíčové pro řádné a bezproblémové zajištění provozu uvažované linky MHD, kde jsou dané kilometrické proběhy vozidel, jež musí být elektrobuses schopni realizovat. Uvádí se, že elektrická kapacita trakčních baterií by neměla klesnout pod úroveň 20-30 % její celkové kapacity, což znamená že by hloubka vybití neměla překročit 70-80 %. Tato hodnota je úzce spjata s tzv. cyklickou životností, která přímo odpovídá počtu cyklů trakční baterie a době její životnosti.

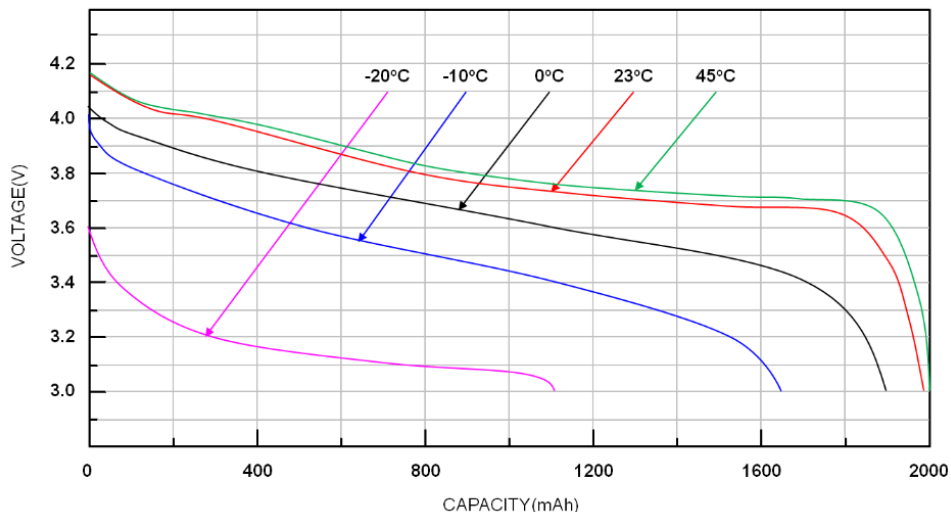
V tabulce 3 je znázorněna závislost hloubky vybití (tzv. DOD) a průměrné teploty bateriových článků, ve které se po většinu jejich životnosti nachází, na cyklické životnosti. V zájmu zajištění co nejdélejší cyklické životnosti je obecným zájmem udržet provozní teplotu bateriových článků co nejnižší a současně nevybíjet trakční baterie téměř do jejich vybití. (9)

Tabulka 3 Cyklická životnost trakčních baterií.

	Průměrná teplota článků (°C)						
	25	30	35	40	45	50	55
Hloubka vybití DOD (%)	Cyklická životnost (počet cyklů do dosažení 80 % původní kapacity)						
100	25 000	19 847	15 753	12 504	9 925	7 878	6 253
90	30 864	24 503	19 449	15 437	12 253	9 726	7 720
80	39 063	31 011	24 615	19 538	15 508	12 309	9 770
70	51 020	40 504	32 150	25 519	20 255	16 077	12 761
60	69 444	55 131	43 760	34 734	27 569	21 883	17 369
50	100 000	79 388	63 014	50 016	39 700	31 512	25 012
40	156 250	124 044	98 459	78 151	62 031	49 237	39 081
30	277 778	220 523	175 038	138 935	110 278	87 532	69 478
20	625 000	496 178	393 836	312 603	248 125	196 947	156 325
10	2 500 000	1 984 711	1 575 344	1 250 412	992 502	787 788	625 298

Zdroj: autor

Provozní teplota bateriových článků má významný vliv na jejich životnost. Za těmito účely je nezbytné zajistit jejich chlazení, přičemž pro tyto účely je nedostačující přirozená ventilace, nýbrž je potřeba zajistit nucenou ventilaci, která představuje částečnou zátěž pro trakční baterie a tedy i dojezd. Především při rychlém nabíjení s vysokým výkonem dochází k rychlému zahřívání bateriových článků. Zdrojem energie k samotnému chlazení během nabíjení je zpravidla samotná baterie, nicméně může k tomu docházet i s využitím elektrické energie přímo z nabíjecí infrastruktury. V případě mrazivých teplot se dojezd elektrobuse může snížit až o 40 % oproti stavu, kdy je teplota vyšší než +23 °C. Tento fakt podrobněji zobrazuje obrázek 2 na LiOn bateriích z diplomové práce, která se na tuto problematiku specializovala, což je mimo předmět této práce. (15)



Obrázek 2 Graf závislosti změny kapacity za různých teplot. Zdroj: (15)

Každý typ baterii reaguje na různé teploty jinak, a tak je vliv na dojezd u každé baterie specifický. Obecně s klesající teplotou dochází v trakčních bateriích k jevu, kdy se zvyšuje vnitřní odpor baterie a tím se snižuje množství elektrického proudu, který je baterie schopna dodávat, ačkoliv je trakční baterie na první pohled dostatečně nabitá. V rámci prevence rapidního omezení dojezdu bývají v takových situacích bateriové články elektrobusů během nočního nabíjení nahřívány, aby byly ještě před započítáním dalšího provozního dne měly adekvátní provozní teplotu. (10) (15)

### 1.1.3 Porovnání aktuálních typů baterií

V tabulce 4 se nachází přehled několika vybraných typů trakčních lithiových baterií, které jsou v současnosti výrobci vozidel využívány. Z katalogů výrobců vozidel vyplývá, že NMC a LTO baterie využívají výhradně evropské výrobce vozidel (např. Solaris, SOR, Škoda, MAN, Mercedes, IVECO), zatímco LFP baterie jsou doménou čínských výrobců vozidel (BYD, Yutong, Golden Dragon). Uvedené hodnoty jsou rámcové, vzhledem k množství producentů baterií a dynamickému vývoji mohou být konkrétní hodnoty lehce odlišné. (24)

Pro elektrobusy s nároky na časté nabíjení, tedy průběžné či dynamické, jsou vhodné LTO baterie, které jednak poskytují vysokou hustotu výkonu a specifický výkon, ale současně mají také vysoké C-Rate. To zmenšuje prostorové a hmotnostní nároky případných trakčních baterií a současně by měly poskytovat zásadně neomezený výkon, který má vliv na jízdní vlastnosti vozidla, konkrétně na jeho akceleraci a maximální konstrukční rychlost. Krom toho je indikátorem vhodnosti tohoto řešení samotný počet cyklů, což by mělo splňovat požadavky na dlouhou životnost.



Tabulka 4 Přehled a porovnání jednotlivých typů trakčních baterií.

<b>PARAMETRY BATERIÍ</b>				
<b>Parametr</b>	<b>Jednotka</b>	<b>NMC</b>	<b>LFP</b>	<b>LTO</b>
Specifická energie	kWh/kg	0,154	0,082	0,04-0,05
Specifický výkon	W/kg	231 nabíjení 171 vybití	184	343
Hustota energie	kWh/l	0,196	0,153	0,06
Hustota výkonu	W/l	269 nabíjení 200 vybití	306	462
Počet cyklů	Počet cyklů	3 000	4 000	25 000-39 000
C-Rate (medián)	Počet C	1,6 C	1,4 C	3,75 C
C-Rate (špičkový)	Počet C	2 C	2 C	8 C
<b>Vhodné řešení pro elektrobusy:</b>				
S průběžným nabíjením		ANO	NE	ANO
S nočním nabíjením		ANO	ANO	NE
S dynamickým nabíjením		ANO	NE	ANO
Max dojezd při spotřebě 2 kWh/km na 1 j. specifické energie	m	77	41	2-2,5

Zdroj: autor s využitím (8) (24)

Zkušenosti ukazují, že ačkoliv se to na první pohled nezdá, pro takové účely využívají výrobci vozidel i NMC baterie. Tyto baterie se neustále zdokonalují, a tak jsou přijatelným kompromisem k LTO bateriím, které na rozdíl od NMC baterií mají vyšší pořizovací cenu. Cenová srovnání budou předmětem následující kapitoly 1.5.2. NMC baterie jsou vhodné, pokud zákazník (dopravce) nemá požadavky na dlouhou životnost baterií. V takovém případě někteří výrobci instalují do vozidel NMC baterie, ačkoliv je zřejmé, že životnost baterií není na takové úrovni, jakou mohou poskytnout LTO baterie. Pakliže to není smluvními mechanismy ošetřeno, případná výměna baterií již není hrazena z finančních zdrojů výrobců, nýbrž samotným zákazníkem. Mezi výrobce, kteří takové řešení nabízejí, je například SOR, Mercedes, MAN a Cegelec, který např. dodal parciální trolejbusy do Prahy a Jihlavy nezvykle s NMC bateriemi, zatímco konkurenční výrobce Škoda Electric prozatím nabízí pouze LTO baterie. (24)

Pro elektrobusy s důrazem na co nejvyšší dojezd na jedno nabití jsou vhodné naopak trakční baterie typu NMC a LFP. Přestože oba typy mohou díky hustotě energie poskytovat vyšší množství energie, z preventivních důvodů je porovnávána také specifická energie. NMC baterie se jeví vhodné spíše pro elektrobusy, u nichž se počítá s většími nároky na dojezd než u baterií LFP. Při pohledu na specifickou energii je zřejmé, že NMC baterie jsou při totožné elektrické kapacitě až o polovinu lehčí. Na druhou stranu LFP mohou poskytovat vyšší hustotu výkonu a počet cyklů je o 1/3 vyšší než v případě NMC. Konečné rozhodnutí závisí na konkrétních požadavcích provozu.

Pro porovnání dojezdu, který poskytuje specifická energie na 1 kg jednotlivých typů trakčních baterií, jsou zobrazeny dojezdy s uvažovanou spotřebou 2 kWh na 1 km. V tomto porovnání

vychází nejlépe NMC, přičemž je zde patrný rozdíl oproti LFP. Uvažovaná hodnota spotřeby je kvalifikovaným odhadem spotřeby většiny elektrobusů. Tato hodnota bývá nižší i vyšší v závislosti na podmínkách provozu, nicméně pro tento modelový příklad byly tyto skutečnosti zanedbány.

## 1.2 Způsoby nabíjení

Pro umožnění dalšího provozu vozidla po vyčerpání dříve uložené energie je nezbytné provádět jeho nabíjení. Existuje několik různých způsobů, jakým lze baterie nabíjet. Na základě toho se odvíjí i vlastnosti samotné trakční baterie a charakter provozu, pro který ji lze využít. Ve výčtu způsobů nabíjení není např. zahrnuto tzv. indukční nabíjení, neboť minimálně v podmínkách států střední Evropy není tohoto způsobu využíváno, a tak se tato část práce zaměřuje na běžně používané způsoby.

### 1.2.1 Statické nabíjení

U elektrobusů se jedná o nejběžnější a nejčastěji využívaný způsob nabíjení trakčních baterií. Takové nabíjení probíhá u vozidel během stání zpravidla v konečných zastávkách i v průběhu nočního odstavu vozidel ve vozovnách, potažmo garážích. Za tímto účelem je nezbytné zajistit nabíjecí infrastrukturu v prostoru obratišť na konečných zastávkách. Toho lze docílit s využitím dvoupólového nebo čtyřpólového nabíjení. V závislosti na zvoleném způsobu nabíjení se odvíjí nároky na technologické časy, které je nezbytné vyhradit pro nabíjení elektrobusů, čemuž se blíže věnují podkapitoly 1.3. a 1.4.

### 1.2.2 Dynamické nabíjení

Dynamické nabíjení je spojeno s jízdou vozidla, kdy se trakční baterie vozidla nabíjí v průběhu samotné jízdy. Toto nabíjení je charakteristické pro tzv. elektrobusy s dynamickým nabíjením, resp. pro trolejbusy disponující autonomním pohonem v podobě trakčních baterií. Obrázek 3 zobrazuje parciální trolejbus, který se na první pohled nijak neodlišuje od standardního trolejbusu bez alternativního bateriového pohonu.



Obrázek 3 Parciální trolejbus Škoda 30 Tr SOR v severočeských Teplicích. Zdroj: foto autor

Takové trolejbusy jsou označovány jako parciální. Sofistikovaný výraz pro takové trolejbusy se objevuje poměrně ojediněle, případně se výjimečně objevuje i v zadávacích dokumentacích na nová vozidla, což je např. případ polského města Gdynia, kde dotační podmínky neumožňovaly využít tento způsob financování pro nákup nových trolejbusů. Místnímu dopravci tak nezbylo nic jiného, než požadovat elektrobuses s dynamickým nabíjením. Mimo to je to i případ opětovného zavedení trolejbusové dopravy v hlavním městě Praze, kde se začal termín trolejbus oficiálně skloňovat až po několik letech příprav. (1)

Samotné nabíjení probíhá během jízdy vozidla pod trolejovým vedením, kdy je nutno počítat s tím, že v případě dobíjení baterií mají taková vozidla nezanedbatelně větší odběr elektrického proudu. Tomu musí odpovídat dimenzovanost měření a napájení, aby byl zaručen bezproblémový provoz i nabíjení více vozidel současně v jednom napájecím úseku..

### **1.2.3 Rekuperační nabíjení**

Na první pohled se může zdát, že rekuperační nabíjení má spíše doplňkový význam, neboť od něj nelze očekávat opětovné dobíjení trakčních akumulátorů v řádu desítek %, nýbrž pouze v řádu jednotek %. Pakliže bude zohledněno jako sledované období celý provozní den a nikoliv jednotlivé jízdy, může rekuperace snížit spotřebu elektrické energie až o 30 % v rámci celého dne. Tato hodnota je proměnlivá a závislá na několika faktorech. Celková spotřeba elektrobuse bude zcela jistě po odečtení rekuperace nižší a tím by se mohl na první pohled prodloužit dojezd, nicméně na takový benefit by se realizace výkonů neměla spoléhat, nýbrž brán jako bonus v podobě vyšší provozní rezervy. (13)

Význam rekuperace spočívá převážně v ekonomickém hledisku, kdy lze snížit energetickou i finanční náročnost provozu. Rekuperační nabíjení vzniká v důsledku snižování rychlosti vozidla s využitím elektrodynamické brzdy, kdy je okamžitá rychlost vozidla snižována působením elektromotoru, během čehož dochází k přeměně kinetické energie vozidla na elektrickou energii.

Míra rekuperace, čili navrácení elektrické energie zpět do trakčních baterií je závislá na několika faktorech. Jedním z nich je reliéf trasy linky, kde je vozidlo provozováno. Četnost a délka klesání má pozitivní vliv na rekuperaci, neboť rychlost vozidla se neustále zvyšuje vlivem klesání, což vyžaduje větší intenzitu brzdění elektrodynamickou brzdou, díky čemuž vzniká také vzrůstá nabíjecí výkon trakčních baterií. Účinnost rekuperace je demonstrována v samostatné podkapitole 3.3.2, kde analyzuje výsledky empirického měření, a je přímo závislá také na řídicích elektrobusech a s tím spojeného stylu jízdy. Důraz na školení personálu zaměřeného na techniku hospodárné jízdy je významný nejen z hlediska rekuperace, ale také

samotné spotřebě elektrické energie během jízdy, což má vliv na dojezd i životnost baterií a nakonec i na ekonomiku provozu.

### 1.3 Typy nabíjení

V závislosti na počtu pólů a typu vstupního elektrického proudu lze nabíjení rozdělit na dvoupólové a čtyřpólové. Mimo to se odlišují v požadavcích na infrastrukturu, úroveň bezpečnosti, finanční náročnosti a také v poskytovaném elektrickém výkonu, který určuje dobu nezbytnou pro dobití trakčních baterií. Na území České republiky v současnosti (2024) převládá dvoupólové nabíjení. Obecně mezi klíčové parametry během nabíjení, potažmo pro nabíjecí infrastrukturu, lze zařadit:

#### Nabíjecí výkon

Představuje hodnotu elektrické kapacity, o kterou lze nabít trakční baterii za jednotku času. Např. pakliže nabíjení probíhá výkonem 100 kW, znamená to že za 1 hodinu lze zvýšit kapacitu baterie o 100 kWh.

#### Hranice balancování

Představuje hranici elektrické kapacity baterie, kdy nabíjecí výkon klesá na úroveň balancovacího výkonu. Krom omezeného výkonu a účelu tohoto opatření to má za následek to, že se prodlužuje doba nabíjení baterie do plné kapacity.

#### Balancovací výkon

Po překročení hranice balancování se nabíjecí výkon během nabíjení snižuje, kdy dochází k balancování elektrické kapacity v jednotlivých bateriových člancích, aby se předešlo jejímu nerovnoměrnému rozložení, ke kterému během provozu dochází.

Množství dobíjené elektrické kapacity za jednotku času platí pro nabíjecí výkon a balancovací výkon dle následujícího fyzikálního vztahu (1.1):

$$C = W \cdot t \text{ [kWh]} \tag{1.1}$$

*Vzorec 1*

Kde:

$C$  ..... elektrická kapacita baterií [kWh]

$W$  ..... nabíjecí/balancovací výkon [kW]

$t$  ..... čas [h]

## Hranice balancování

Představuje hranici elektrické kapacity baterie, kdy nabíjecí výkon klesá na úroveň balancovacího výkonu. Krom omezeného výkonu a účelu tohoto opatření to má za následek to, že se prodlužuje doba nabíjení baterie do plné kapacity. Např. v případě elektrobusů systému Oppcharge v Ostravě je tato hodnota na 90 % elektrické kapacity. Je proto na dopravci a podmínkách provozu, jakou minimální kapacitu baterie bude nezbytné stanovit po každém nabíjení. (4)

### 1.3.1 Dvoupólové nabíjení

V případě dvoupólového nabíjení odpadají vysoké pořizovací náklady a nároky na energetickou infrastrukturu. Často lze využít existující infrastruktury, např. měřičů a přílehlých kabelových tras poblíž tramvajových, či trolejbusových tratí. Těto skutečnosti mohou využívat pouze dopravní podniky, již liniíovou infrastrukturou s měřiči disponují, což snižuje částečně náklady na realizaci a navíc není zapotřebí vše budovat de novo. Pro dopravce, kteří takovou infrastrukturou nevládní, to představuje jednu z omezujících podmínek během uvažované realizace.

Obecně nabíjení probíhá prostřednictvím trolejové stopy známé např. z trolejbusových tratí, kdy je nezbytné samotný elektrobus opatřit sběračem. Jako sběrač se využívá pantograf, popřípadě tyčové sběrače se sběrací hlavicí trolejbusového typu. V takovém případě je pak fakticky řeč o elektrobusu s dynamickým nabíjením, neboli parciálním trolejbusu, který se může dobíjet nejen při pobytech v konečných zastávkách, viz v podkapitole 1.2.2. Na obrázku 4 je zobrazen elektrobus při nabíjení z dvoupólového trolejového vedení, k jehož připojení vozidlo využívá vlastní sběrač.



Obrázek 4 Dvoupólové nabíjení elektrobusů v garážích Klíčův v Praze. Zdroj: Jakub Gulyás

Úskalím dvoupólového nabíjení je nabíjecí výkon pouze nanejvýš 150 kW. Tramvajové a trolejbusové tratě disponují napětím o 600/750 V a elektrickým proudem 100 A, což znamená že

nabíjecí výkon při této infrastruktuře je maximálně 60 kW (600 V) či 75 kW (750 V). Variantně lze v případě nabíjecích stop, jako je například na obrázku 4, navýšit hodnotu elektrického proudu na 150 A a tím i výkon na 90 kW (600 V) nebo 112,5 kW (750 V). (25)

### 1.3.2 Čtyřpólové nabíjení

Na rozdíl od dvoupólového nabíjení spočívá čtyřpólové v tom, že propojení vozidla a nabíjecí infrastruktury probíhá prostřednictvím 4 pólů, čímž je adekvátně ošetřena problematika uzemnění a bezpečnosti během nabíjení. Rozdílem je také to, že čtyřpólové nabíjení využívá jako vstupní elektrický proud střídavý, který je následně transformován na stejnosměrný proud určený přímo k nabíjení baterií.

- Napájecí pól kladný (+)
- Napájecí pól záporný (-)
- Uzemňovací pól PE (Protective earth)
- Kontrolní pól CP (Control pilot)

Jednou z předností čtyřpólového nabíjení je možnost podat daleko větší nabíjecí výkon. Ve srovnání s dvoupólovým nabíjením se jedná až o 3násobný rozdíl, kdy s využitím čtyřpólového lze dosáhnout i více než 450 kW. Tato skutečnost může minimalizovat pobyty vozidel na konečných zastávkách vzhledem ke kratší době nabíjení, nicméně záleží také na dalších parametrech, jako samotném balancovacím výkonu a minimální úrovni nabití.

Na druhou stranu takový nabíjecí výkon na sebe váže i vyšší ztráty, neboť se zvyšující se teplotou vodičů a samotné baterie, která během nabíjení vzniká, dochází také k narůstání elektrického odporu, což snižuje efektivnost nabíjení a současně ovlivňuje ekonomiku provozu. V praxi tak může docházet k tomu, že ačkoliv je takový nabíjecí výkon nabízený, zvýše uvedených důvodů se nemusí využívat.

Pro zavedení čtyřpólového nabíjení je nezbytné vynaložit nemalé množství finančních prostředků, aby mohlo dojít k jeho realizaci. Takové projekty se často neobchází bez dotačních titulů Evropské unie případně příspěvků státních institucí, neboť ve většině případů by k implementaci tohoto de facto nového dopravního módu jinak nedošlo.

Nezanedbatelnou výhodu mají města, kde je provozována MHD drážní dopravou s liniovou infrastrukturou. Pro potřeby čtyřpólového nabíjení lze využívat částí měníren se střídavým proudem, případně také již existujících kabelových tras, na které lze navázat s trasami novými, čemuž se podrobněji věnuje podkapitola 4.1.2. Samotné nabíjení probíhá zpravidla dvěma různými systémy v závislosti na tom, jestli je nosičem sběrače samotné vozidlo, nebo je součástí nabíjecí

infrastruktury. Na základě toho se v praxi rozlišují dva systémy – Oppcharge a Bus-up, které jsou součástí následující podkapitoly 1.4.

## 1.4 Typy systémů elektrobuseů

Vybrané systémy elektrobuseů v této podkapitole vychází přímo z obsahu předchozích kapitol, což představuje obecné využití těchto technologií a parametrů. Obsahem této podkapitoly není konečný výčet systémů elektrobuseů, nýbrž omezený okruh, které se na území ČR vyskytují. Tato kapitola je součástí přílohy A.

## 1.5 Výrobci vozidel

Na pomezí ČR v segmentu 12 m elektrobuseů jsou v současnosti neaktivnější a neúspěšnější 3 výrobci – Solaris, SOR a Škoda, Prozatím (2024) neprovozuje žádný český dopravce elektrobuse čínské provenience, např. Yutong, BYD, Golden Dragon aj. Mezi další výrobce, kteří na českém trhu působí, jsou ještě např. IVECO, MAN, a Daimler (Mercedes-Benz). Na následující tabulce 5 jsou zobrazena technická data k jednotlivým výrobcům. S výjimkou čínského výrobce Yutong používají všichni výrobci LTO nebo NMC baterie.

Klíčovým parametrem, který každého potenciálního zákazníka (dopravce) zajímá, jsou výrobci uváděné dojezdy na jedno nabití. Bohužel ne všichni výrobci tato data prezentují, nebo je naopak představují s přídomkem „až“. Obecně je tyto hodnoty nezbytné brát s rezervou, poněvadž pro marketingové účely mohou být vzaty takové více příznivé výstupy.

Tabulka 5 Technické parametry baterií elektrobuseů a parciálních trolejbusů.

Typ vozidla	Typ baterie	Kapacita baterie (kWh)	Výkon motoru (kW)	Výrobce udávaný min dojezd (km)	Spotřeba dle dojezdu výrobce (kWh/km)	Dojezd dle mediánu (km)	Dojezd dle průměru (km)
SOR NS 12 Electric	NMC	242	160	200	1,21	115,2	129,4
Solaris Urbino 12 Electric IV	LTO	91,4	160	35	2,61	43,5	48,9
Solaris Urbino 12 Electric IV	LTO	91,4	300	35	2,61	43,5	48,9
<b>Škoda 36 BB E' CITY</b>							
Yutong U12	LFP	422	150	432	0,98	201,0	225,6
Iveco Eway 12M	LTO	73	160	-	-	34,8	39,0
Iveco Eway 12M	LTO	88	160	-	-	41,9	47,0
Iveco Eway 12M	NMC	376	160	až 300	1,25	179,0	201,0
Škoda 32 Tr SOR	LTO	41,2	160	10	<b>2,10</b>	19,6	22,0
SOR TNS 12 Cegelec	NMC	76	160	15	<b>2,10</b>	36,2	40,6
Škoda 26 Tr Solaris	LTO	41,2	160	10	<b>2,10</b>	19,6	22,0
Poznámka:				Medián spotřeby (kWh/km)	<b>2,10</b>	Průměrná spotřeba (kWh/km)	<b>1,87</b>
Dle prostého výpočtu by byla spotřeba na základě informací výrobce u typu Škoda 26 Tr / 32 Tr <b>4,12 kWh/km</b> , nicméně to je dáno skutečností, že je zde technicky nezbytné použít kapacitnější baterie vzhledem k C-rate LTO baterií. Skutečná výrobcem uvažovaná spotřeba je <b>2,10 kWh/km</b> , podobně je tomu i u trolejbusu SOR TNS 12 Cegelec ( <b>5,07 kWh/km</b> ), kde jsou užity kapacitnější NMC, aby byla zabezpečena delší cyklická životnost.							

Zdroj: autor s využitím (20) ((22) (29) (31) (32) (33) (34)

Na základě kapacit baterií a výrobci udávaných dojezdů byla stanovena mediánová, resp. průměrná spotřeba na 1 km. Předpokládané výrobci uvažované spotřeby na 1 km byly stanoveny na základě následujícího vztahu (1.2) vycházejícího z dostupných dat výrobců:

$$S = \frac{C}{D} [kWh/km] \quad (1.2)$$

Kde:

$S$ ..... spotřeba elektrické energie  $S$  [kWh/km]

$C$ ..... elektrická kapacita baterie [kWh]

$D$ ..... dojezd na 1 nabití [km]

Pokračování této podkapitoly, které obsahuje mimo jiné rámcové ceny vozidel a baterií, je předmětem přílohy B.



## **2 VYBRANÝ PŘÍKLAD SOUČASNÉHO PROVOZU ELEKTROBUSŮ**

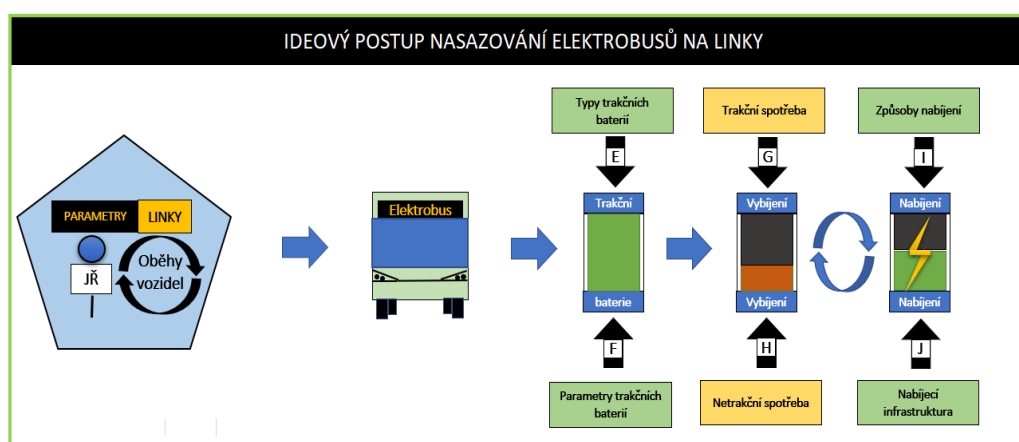
Míra spolehlivosti vozidel a infrastruktury je nezanedbatelným ukazatelem při konstrukci oběhů vozidel a stanovení počtu záložních vozidel. Je nezbytné zohlednit skutečnost, že zavedení elektrobuseů se rovná zavedení nového dopravního módu. Oproti autobusům se spalovacím motorem je u elektrobuseů, tak jako v případě tramvají a trolejbusů, větší pravděpodobnost vzniku závady mající vliv na provoz. Ať už problém s elektrickou částí vozidla či problém na straně infrastruktury. Dopravci provozující tramvajové a trolejbusové subsystémy musí být schopni v případě mimořádnosti částečně tyto subsystémy nahradit subsystémem autobusů. Obdobná opatření lze očekávat i v případě zavedení provozu elektrobuseů, kdy může např. dojít k problémům s nabíjecí infrastrukturou.

Tato část textu je zaměřena na zmapování prvního roku provozu elektrobuseů systému Oppcharge v Ostravě, zejména pak období od dubna do května 2023, kdy došlo ke zprovoznění všech dosavadních nabíjecích stanic. Důraz je kladen zejména na zmapování spolehlivosti tehdy nového systému Oppcharge. Předtím je však charakterizován provoz elektrobuseů v Ostravě jako celek. Tato kapitola je předmětem kapitoly C.

### 3 OMEZUJÍCÍ PODMÍNKY PROVOZU A LINKOTVORBY

Na základě teoretické znalosti elektrobusesů a jejich parametrů je možné stanovit omezující podmínky provozu a linkotvorby, resp. oběhotvorby, které jsou předmětem této kapitoly. Prakticky většina této kapitoly je založena na výstupech simulačního modelu nabíjecí stanice s provozem elektrobusesů, která bude samostatně charakterizována v následující podkapitole. Současně bylo provedeno empiristické měření na trase vybrané autobusové linky. Mimo to jsou zahrnuty také zákonná omezení vztahující se k práci zaměstnanců v dopravě.

Po zohlednění omezujících podmínek je možné přejít na samotné projektování a realizaci potenciálního nasazení elektrobusesů. Schéma vize, jak by se mělo postupovat je předmětem obrázku 5. Nahrazení autobusových linek některým ze systémů elektrobusesů by mělo v maximální možné míře vycházet z původního jízdního řádu vzešlého z požadavků objednatele a společnosti jako takové. Na druhou stranu je v každém případě nezbytné a nevyhnutelné přizpůsobovat výsledné časové polohy a rozsah spojů vzhledem k zvolenému technickému řešení. Autor se domnívá, že by k takovému způsobu mělo docházet převážně co nejméně a v krajních případech, kdy není jiného východiska, aby nedocházelo např. vlivem nabíjení vozidel k omezení rozsahu spojů v určitých časových relacích. Těmto podmínkám je nezbytné přizpůsobit zvolenou variantu technického řešení nabíjecí infrastruktury a vozidel, aby bylo možné požadavkům takového provozu vyhovět a zachovat jej. Pakliže se jedná o linku ryze novou projektovou výhradně na bázi elektrobusesů, lze na dle požadavků elektrobusesů formovat výsledný JŘ mnohem flexibilněji. V neposlední řadě není možné bez předchozí analýzy pořídit vozidla, vybudovat nabíjecí infrastrukturu a teprve poté se zabývat možnostmi využití.



Obrázek 5 Schéma ideové elektrifikace autobusové linky. Zdroj: autor

Obecně lze zavádět a rozvíjet elektromobilitu v segmentu MHD a VLD nejčastěji dvěma různými způsoby či jejich kombinací. První cestou je elektrifikace postupná po vybraných linkách či po svazcích linek, které se potkávají v jednom z významných dopravních uzlů ve městě. Toto řešení

sebou může přinášet pro každou linku odpovídající technologii sledující aktuální trendy, nicméně ve výsledku může vzniknout nekoncepční řešení a v konečném výsledku systém bez synergických efektů a vysokými náklady pro provoz, pakliže bude využito více technologií a typů vozidel. Na druhou stranu může nastat situace, kdy se jednotlivá technická řešení nebudou nikterak ovlivňovat, jak tomu bývá například u systémů metra, např. v Budapešti, kde jsou na některé linky nasazovány autonomní soupravy, případně se linky odlišují v typu zabezpečovacího zařízení.

Druhým způsobem může být universální celosystémové řešení, které nahrává např. menším městům s paprscitým vedením linek. V celém dopravním systému je využito pouze vybrané technologie s jednotným vozovým parkem, díky čemuž může dojít k optimalizaci provozních nákladů. Na druhou stranu jednotná technologie nemusí být vhodná pro všechny dotčené linky, což může vyústit v obtížně řešitelné problémy s kompatibilitou takového řešení. Jde např. o situace, kdy parametry linky, zejména její délka, přesahují technické možnosti určitého systému – např. systému Oppcharge, kdy by takovou linku nebylo možné do tohoto systému zahrnout. Případně se může projevit u elektrobuses s delším dojezdem na 1 nabití, že pro zajištění celodenního provozu je zapotřebí dobíjení nejen v noci, ale i přes den. Mimo to může dojít k technologickému zakonzervování provozu, který bude možné jen stěží dále technicky a technologicky rozvíjet.

Situaci v ČR svým způsobem odráží problematika kapitoly 4.1.2, kde lze rozdělit provozovatele do několika skupin právě podle jejich přístupu ve vztahu k zavádění elektromobility.

### **3.1 Matematická simulace nabíjecí stanice**

Na základě takřka komplexní matematické simulace rychlonabíjecí stanice elektrobuses o určitých parametrech byl zkoumán vliv jednotlivých proměnných na klíčové parametry omezující linkotvorbu a oběhotvorbu – dobu nabíjení a elektrickou kapacitu baterií, s jakou se elektrobuses vracejí po výkonu na vybrané trase. Tento simulační model představuje součást přípravné fáze jednotlivých variant kapitole 5 a současně se podílí na výstupech v kapitole 6.

Cílem této simulace je ověřit vliv zpoždění při provozu elektrobuses na včasnou realizaci JŘ s ohledem na jejich nabíjení. Sekundárními výstupy této práce jsou další závislosti, které ovlivňují např. klíčovou dobu nabíjení. Autor se domnívá, že pro podmínky reálného provozu lze stěží určit veškeré limitní či obecné hodnoty jednotlivých parametrů, neboť každý dopravní systém, potažmo objednatel dopravy, má specifické podmínky, požadavky a nároky. Tudíž jsou výstupy této simulace mnohdy příkladem, či jen doporučením, nicméně autor poznamenává, že po přizpůsobení proměnných konkrétnímu městu lze výstupy na míru co nejvíce přizpůsobit dané situaci.

## 3.2 Charakteristika simulačního modelu

Tato simulace byla naprogramována v prostředí programu Microsoft Excel s využitím funkcí maker, aby bylo dosaženo makro simulace s četnou replikací. Jedná se o simulaci 1 nabíjecí stanice, kde se předpokládá, že každý elektrobus po příjezdu z výkonu na lince bude dobít baterie.

Podrobná charakteristika principu simulačního modelu, včetně definice statistického souboru, simulačního prostředí, jednotlivých proměnných a samotného algoritmu simulačního modelu, je součástí přílohy D.

### 3.2.1 Výstupy simulace

Primárním výstupem této simulace je průměrný počet spojů se zpožděním za celý jeden simulační den, což představuje 73 spojů. Po provedené replikaci je tato průměrná hodnota zhodnocena o celé období replikace, tedy za 220 dní, přičemž vzhledem k pravděpodobnosti má tato hodnota odchylky v řádu jednotek %. Pro potřeby výstupů simulace se tato hodnota vyjadřuje jako spolehlivost, tedy průměrný počet spojů bez zpoždění, kdy se jako takové spoje klasifikují spoje s 0 hodnotou zpoždění. Tato hodnota je jen částí množiny výstupů. Simulace je zaměřena na vliv obratové doby na spolehlivost, kdy se sleduje měnící se obratová doba při určitých hodnotách intervalu linky za jinak stejných ostatních podmínek. Na základě toho jsou z každé situace s různou obratovou dobu stanoveny spolehlivosti, které jsou základem pro distribuční funkci pravděpodobnosti pro daný interval linky, jež je označována v simulaci jako míra spolehlivosti. Vstupní data pro sestavení míry spolehlivosti zobrazuje tabulka 6.

Tabulka 6 Vstupní data pro sestavení míry spolehlivosti.

Interval (min)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Obratová doba (min)	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Spolehlivost	0%	0%	43%	70%	84%	91%	95%	97%	98%	99%	99%	100%	100%
Průměrný počet zp. spojů	100%	100%	57%	30%	16%	9%	5%	3%	2%	1%	1%	0%	0%

Zdroj: autor

Jako sekundární výstupy této simulace jsou závislosti mezi jednotlivými parametry na proměnných, přičemž důraz je kladen především na dobu nabíjení, která je ovlivňována hned řadou faktorů.

### 3.2.2 Hodnoty proměnných pro výstupy simulace

Po seznámení s algoritmem simulace je tato podkapitola věnována představení hodnot proměnných, za jakých bylo dosaženo výstupů této simulace. Z tabulek 12 a 13 jsou přejaty jednotlivá rozdělení pravděpodobností pro každý případ simulace. Tabulka 7 ukazuje hodnoty proměnných, které byly nastaveny pro simulaci ve všech případech. Ke změnám docházelo pouze v případě hodnot intervalů a obratových dob, ostatní hodnoty zůstaly ve statusu quo.

V simulaci probíhalo šetření cekem při 4 hodnotách intervalů a to pro 10, 12, 15 a 20 minut, které fakticky reflektují počet elektrobuses přijíždějících k nabíjecí stanici za 1 hodinu.. Vyšší hodnoty intervalů šetřeny nebyly, neboť při takových hodnotách by byla diskutabilní účelnost výstavby nabíjecí infrastruktury.

Pro každou hodnotu intervalu byly šetřeny obrátové doby od 10 do 22 minut. Vyšší hodnoty obrátových dob nebyly uvažovány vzhledem k výsledkům mír spolehlivosti, případně by tak dlouhé obrátové doby již značně snižovaly efektivitu využití vozidel a řidičů.

Délka linky byla záměrně stanovena na 25 km, která přihlíží i ke spotřebě na 1 km, aby nedocházelo k překročení kritická hranice kapacity. Tato délka představuje de facto zátěžový test systému, kdy jsou vozidla nasazována na jednu z nejdelších linek, kterou lze na kapacitu dané baterie za dané spotřeby uvažovat.

Tabulka 7 Hodnoty proměnných využité v simulaci.

Počáteční čas simulace	<b>5:00</b>
Interval (min)	10
Obrátová doba (min)	15
Manip. čas příjezd (min)	1
Manip. čas odjezd (min)	1
Kapacita baterie (kWh)	91
Min. úroveň nabití	92%
Délka trasy na baterie (km)	25,000
Medián spotřeby bez klim (kWh)	2,100
Medián spotřeby s klim (kWh)	2,100
Jízdní doba směr B (min)	26
Jízdní doba směr A (min)	26
Počet oběhů	7
Nabíjecí výkon (kW)	300
Balancovací výkon (kW)	120
Hranice balancování	90%

Zdroj: autor

Mediánová spotřeba na 1 km byly uvažována na základě výsledků z tabulky 5 v podkapitole 1.5, nicméně pro porovnání byla šetřena také spotřeba získaná na bázi empirického měření v provozu. Tato hodnota spotřeby se může zdát jako extrémní, nicméně aby byly elektrobuses schopné zajišťovat takové výkony po celý rok za jakýchkoliv podmínek, je žádoucí uvažovat o něco vyšší hodnotu spotřeby. Naopak v provozu se právě může ukázat, že systém má daleko větší rezervy než v simulaci, což je přínosné nejen pro provoz samotný, ale i pro baterie, jak plyne např. z logiky fungování nabíjecích cyklů.. Konečný postoj ke spotřebě však závisí na konkrétním provozovateli a může uvažovat hodnotu nižší.

Parametry nabíjecí stanice– (balancovací) výkon a hranice balancování vychází z dat DPO, resp. výrobce nabíjecích stanic elektrobuses, které v současnosti DPO provozuje. Současně je možné

měnit požadovanou minimální úroveň nabíjení, která je v rámci simulace stanovena na 92 %. Tato hodnota ovlivňuje definici doby nabíjení, kdy tato doba představuje čas do nabití této % hodnoty. Kapacita baterií vychází z parametrů elektrobuse Solaris Urbino 12 IV Electric, které na dané infrastruktuře DPO také provozuje.

Jízdní doby mají převážně vliv na počet oběhů, tj. nasazovaných vozidel, v rámci simulace. Uvažována je linka, která i na základě cestovní rychlosti představuje zátěžový test vozidel, neboť za poměrně krátký čas vozidla ujedou vzdálenost 25 km. Každopádně významu této funkce simulace bude převážně využito v návrhové části této diplomové práce.

Každý objednatel dopravy vyžaduje jiné nároky na plnění JŘ a má specifický sankční algoritmus v případě odchylek od JŘ nebo za rušení spojů, a proto toto nelze jednoznačně obecně stanovit. Tabulka 8 zobrazuje požadavky vybraných objednatelů dopravy na kvalitu MHD, kde jsou definována zpoždění a sankční mechanismy v případě neplnění JŘ, resp. za rušení spojů (pokud je to objednatelem ošetřeno). Vybrány byla města s diametrálně odlišnými nároky, kdy např. v Ostravě je kladen velký důraz na stabilitu JŘ vlivem přísné politiky kvality města a dopravce. Naproti tomu v Pardubicích jsou za odjezdy včas považovány odjezdy se zpožděním do 3 minut. V Českých Budějovicích dokonce zpoždění není vůbec definováno. V polské metropoli Warszawa je zpoždění definováno až od 5 minut.

Tabulka 8 Přehled požadavků objednatelů dopravy na plnění JŘ.

Objednatel dopravy	Definice zpoždění	Sankce za rušení spojů
Ostrava	Od 60 s	Sankce za zrušení spoje + krácení dotace o neujeté kilometry
Pardubice	Od 180 s	Krácení dotace o neujeté kilometry
České Budějovice	Není definováno	Krácení dotace o neujeté kilometry
Warszawa	Od 300 s	Sankce za zrušení spoje, POKUD rozsah zrušených spojů na lince překročí 60 % + krácení dotace o neujeté kilometry

Zdroj: autor s využitím (4) (5) (43) (44) (45)

Na základě takto rozličných požadavků je obtížné stanovit jakékoliv hraniční hodnoty, nýbrž pouze doporučené hodnoty, kdy si již každý dopravce může vybrat individuálně dle vlastní situace.

V rámci simulace jsou s výjimkou Warszawy uvažovány nejpřísnější požadavky na kvalitu, tedy evidence zpoždění od 60 s definující vstupní parametry míry spolehlivosti. V případě Warszawy je zpoždění evidováno dle tamních standardů, tedy od 300 s.

Než dojde k představení primárních výstupů simulace v podkapitole 3.6 o kapacitě nabíjecí infrastruktury, budou s využitím sekundárních výstupů simulace charakterizovány další omezující podmínky doplněné o empiristické měření spotřeby.

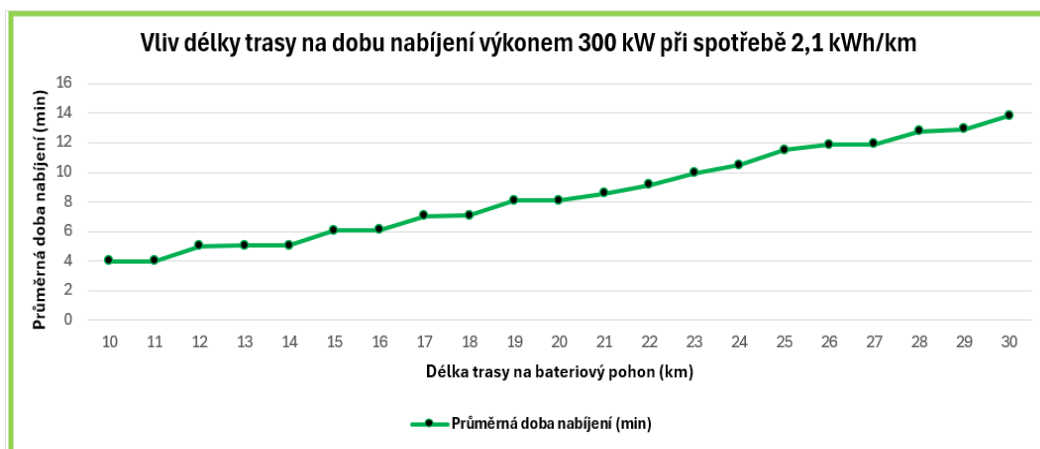
### 3.3 Parametry uvažované trasy

Primární omezující podmínkou potenciálního nasazení elektrobusů je délka a členitost terénu předmětné trasy. Množina možných tras je v první řadě závislá na minimálním dojezdu na jedno nabití. Pakliže uvažovaná trasa spadá do takové množiny, následuje šetření, v jaké míře a jak lze zajistit celodenní provoz na uvažované relaci. Mimo jiné má jistý vliv i četnost zastávek a zastávek na znamení na uvažované trase, což se může projevat v odchylkách průměrné spotřeby, neboť rozjezdy jsou energeticky nejnáročnější.

#### 3.3.1 Délka uvažované trasy

S využitím matematické simulace provozu nabíjecí stanice elektrobusů bylo zkoumáno, jaký vliv na dobu nabíjení má délka trasy. Délka trasy ovlivňuje DOD baterií, se kterou elektrobusy přijíždí k nabíjecí stanici po vykonání obratu/obratů na lince. Tento vliv deklaruje graf na obrázku 6 pro baterii o parametrech definovaných v oddíle 3. 1. 2.

Je evidentní, že přímo úměrně s délkou trasy roste i průměrná doba nabíjení. Obecně tuto dobu krom délky trasy ovlivňují i další proměnné, jako uvažovaná mediánová spotřeba, která má přímý vliv na to, o jakou hodnotu elektrické kapacity bude následně nutné baterii nabít. Klíčový je také nabíjecí výkon, hranice balancování a balancovací výkon.



Obrázek 6 Graf závislosti délky trasy na průměrnou dobu nabíjení. Zdroj: autor

#### 3.3.2 Reliéf uvažované trasy

Vliv reliéfu dané linky byl proveden na bázi empirického měření v provozu a slouží jako samostatný zdroj výstupních dat. Toto měření nemá za cíl stanovovat, jakým hodnotám spotřeby odpovídá takové a takové stoupání/klesání. Jedná se pouze o prokázání vlivu těchto skutečností na spotřebu, přičemž tuto závislost lze prokázat jedině na reálném příkladu. Pro tyto potřeby byla vybrána ostravská linka 34, kde proběhlo empirické měření. Celkem bylo provedeno měření na 30 spojích na jaře a v létě v letech 2023-2024, které provedl převážně sám autor v roli řidiče v rámci

pracovních směn na této lince. Období topné sezóny monitorováno nebylo, neboť inkriminované elektrobuses disponují nezávislým naftovým topením, které nemá zásadní vliv na spotřebu elektrické energie.

Na lince 34 je zaveden pásmový provoz, s tím že jsou zde celkem 3 varianty tras spojů, jež podrobněji zobrazuje tabulka 9. Rozdíl mezi nejkratším a nejdelším obratem je přibližně 8 km. Linka spojuje Ostravu s městem Hlučín v okrese Opava a je spíše příměstského charakteru. Na lince se nachází také četné množství zastávek na znamení. Na linku 34 jsou nasazovány elektrobuses Solaris Urbino 12 IV Electric na základě systému Oppcharge, které disponují LTO bateriemi o kapacitě 91,2 kWh. Tyto elektrobuses mají výrobcem garantovaný dojezd min 30 km.

Tabulka 9 Varianty trasy linky 34 a jejich délka.

Varianta linky	Délka (km)	Délka obratu (km)
<b>34 Valchařská - Bobrovníky</b>	<b>10,48</b>	<b>20,32</b>
34 Bobrovníky - Valchařská	9,84	
<b>34 Valchařská - Rovniny</b>	<b>13,03</b>	<b>25,58</b>
34 Rovniny - Valchařská	12,55	
<b>34 Valchařská - Hlučín, AN</b>	<b>14,43</b>	<b>28,34</b>
34 Hlučín, AN - Valchařská	13,91	

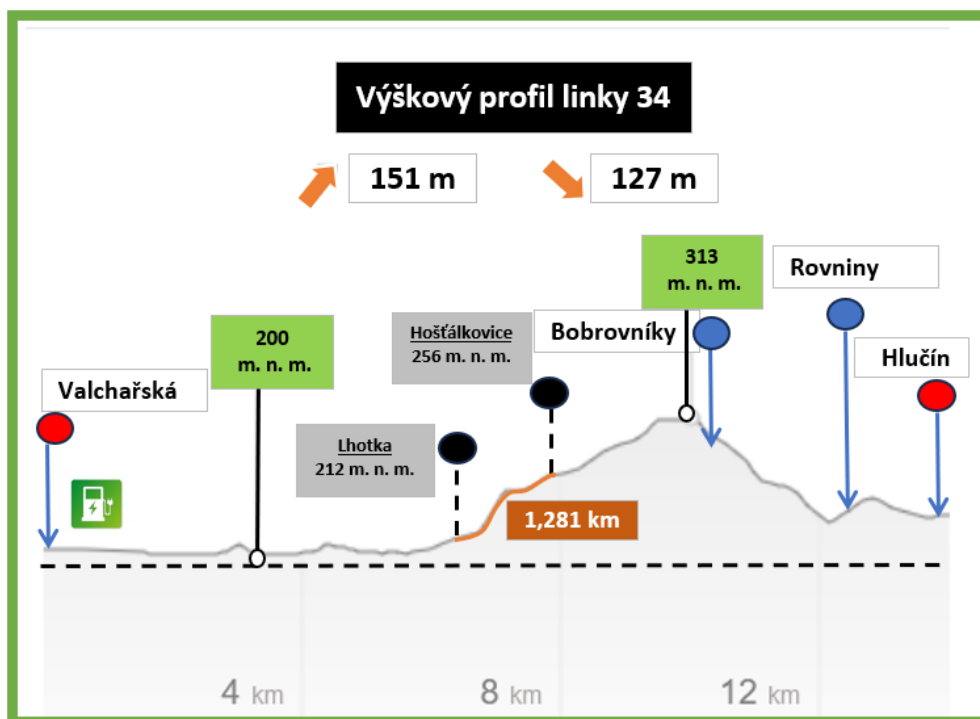
Zdroj: autor

Měření je zaměřeno také na vliv klimatizace salónu cestujících na spotřebu vozidel, kdy probíhalo měření na spojích s vypnutou klimatizací a zapnutou klimatizací. Nabíjení elektrobuses probíhá v konečné zastávce Valchařská. Důležitou skutečností je, že na základě hranice balancování a minimální požadované kapacity byla výchozí kapacita různá pro všechny spoje směr Hlučín v hodnotách od 93 do 99 %. Tato skutečnost však na spotřebu vliv neměla.

Na spotřebu má vliv i technika jízdy, a tak byla snaha získávat data z jízd s co nejmenším počtem řidičů. Na druhou stranu mohou být takové výsledky méně uspokojivé, pakliže existují řidiči s kvalitativně lepší technikou jízdy. Měření probíhala formou zapisování aktuálních % hodnot kapacity baterií zobrazené na přístrojové desce vozidel. Z tohoto důvodu může docházet k odchylkám v řádu 1-2. Podrobné detaily z měření jsou k nahlédnutí v příloze J.

Na této lince je poměrně členitý terén, jak deklaruje obrázek 7, kde se nachází schéma linky na výškovém profilu. V případě nejdelší varianty linky elektrobuses překonávají ve směru z Ostravy do Hlučina celkové převýšení 151 m a klesání o 127 m. Většina měření byla provedena v úseku Ostrava – Bobrovníky, kde se současně nachází nejdelší mezizastávkový úsek s největším převýšením. Tento úsek dosahuje délky přibližně 1,281 km a elektrobuses zde překonávají výškový rozdíl 54 m. Tento úsek se nachází mezi zastávkami Lhotka a Hošťálkovice, kde došlo k samostatnému měření spotřeby.



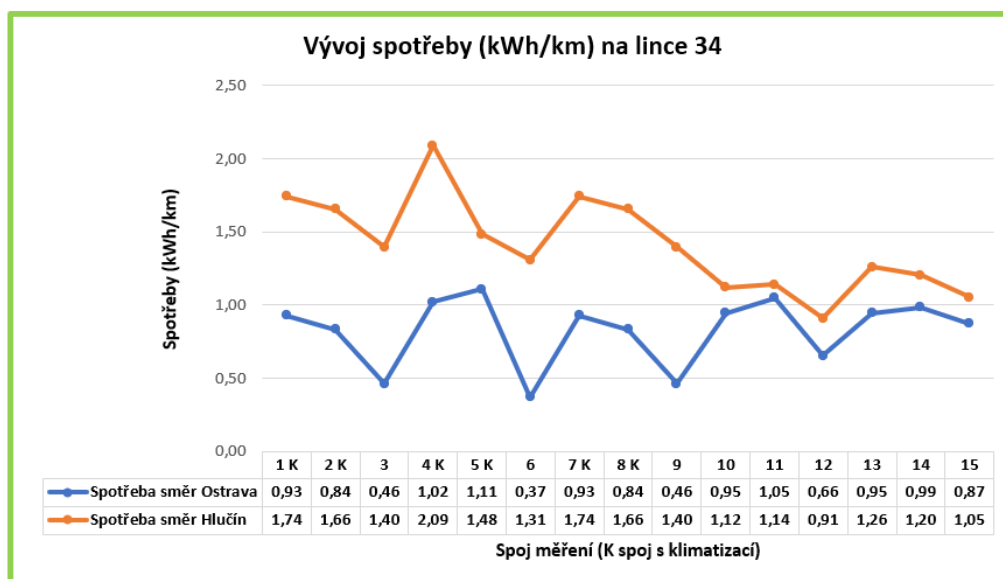


Obrázek 7 Schéma ostravské linky 34 a její výškový profil. Zdroj: autor s využitím (2)

V opačném směru z Hlučína elektrobusesy překonávají převýšení 127 m a klesání 157 m. Na základě toho lze předpokládat, že spotřeba bude vyšší ve směru z Ostravy do Hlučína, neboť v opačném směru je snížena o hodnotu rekuperace při jízdě v klesání.

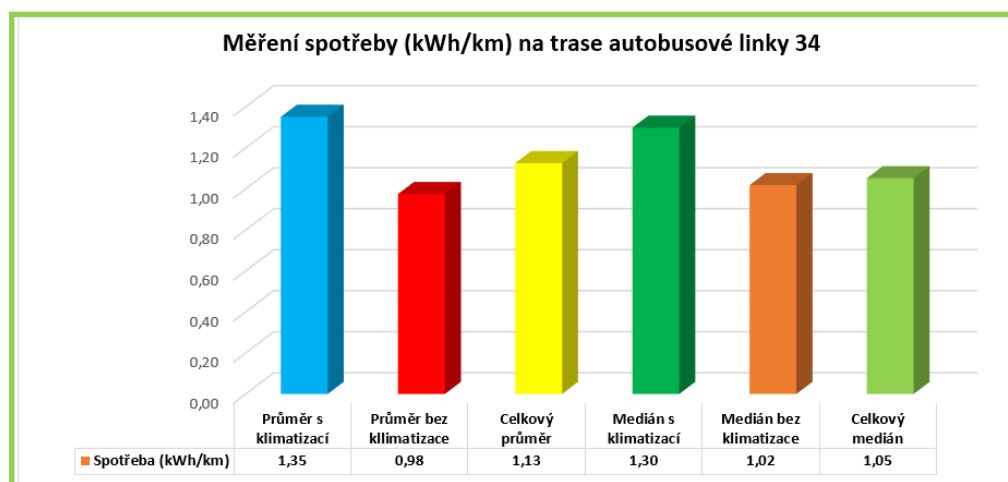
Na obrázku 8 je zobrazen vývoj spotřeby na 1 km pro všechny 3 varianty linky. Díky členitému reliéfu graf odráží energeticky náročnější jízdy z Ostravy do Hlučína a vliv rekuperace na spotřebu při cestě zpět, kdy v rámci trasy převládají klesání. Výkyvy lze přiřadit odchylkám, ale současně i počtu zastavení, resp. rozjezdů.

Na grafu jsou zahrnuty také spoje, kde nebyla v provozu klimatizace salónu cestujících (označeny bez dodatku „K“), což se projevuje ve snížené spotřebě. Především ve druhé polovině grafu, kde probíhala měření výhradně na spojích bez klimatizace, je evidentní viditelný pokles a snížení hodnoty amplitudy průměrné spotřeby.



Obrázek 8 Vývoj spotřeby na 1 km na ostravské lince 34. Zdroj: autor

Porovnání průměrné a mediánové spotřeby na 1 km znázorňuje graf na obrázku 9. Oddělena jsou měření se spuštěnou a vypnutou klimatizací salónu cestujících. Např. rozdíl průměrné spotřeby v takových situacích činí přibližně 0,40 kWh na 1 km.

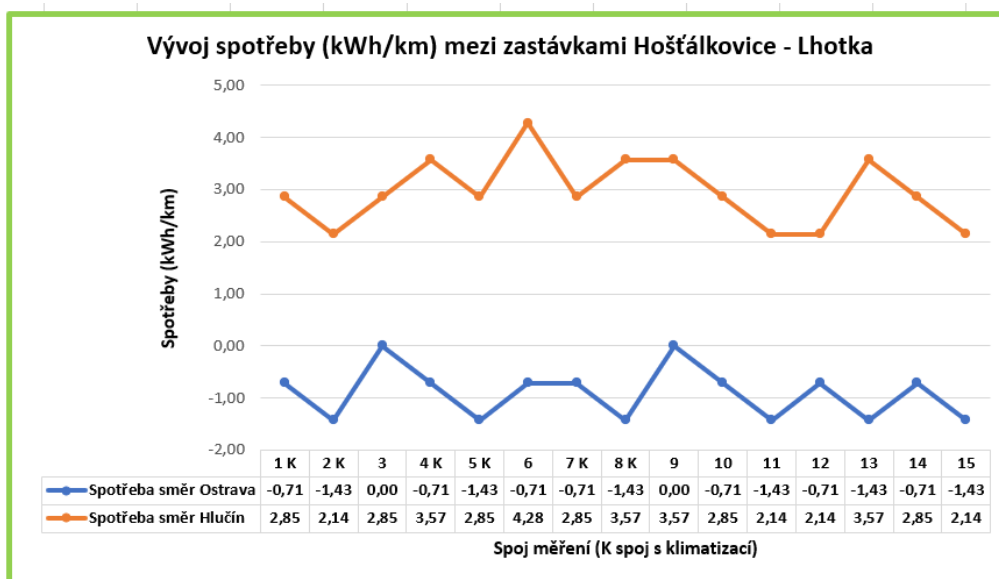


Obrázek 9 Porovnání průměrné a mediánové spotřeby na ostravské lince 34. Zdroj: autor

Vliv klimatizační jednotky na spotřebu není proto zanedbatelný, především se pak ukázalo, že i při delších pobytech v konečných zastávkách se spuštěnou klimatizací dochází k nezanedbatelné spotřebě energie.

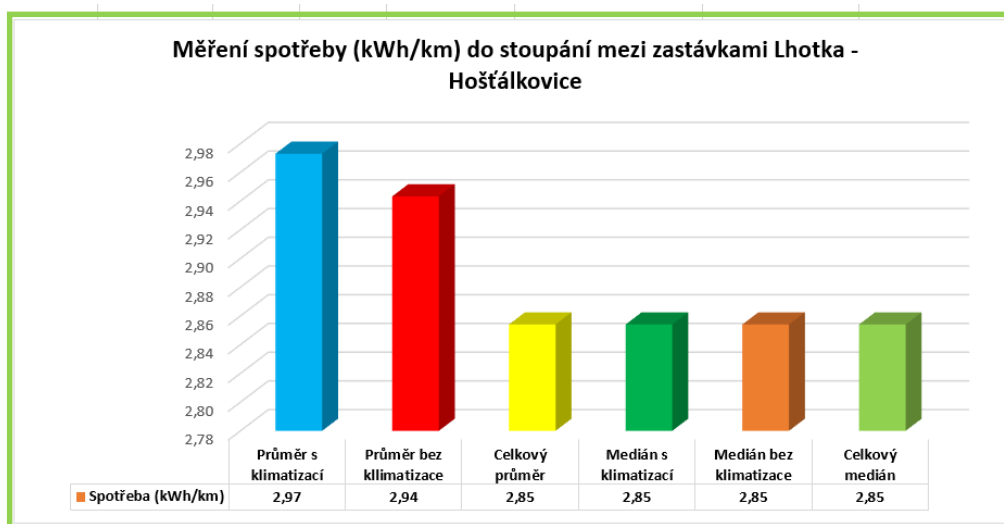
Samostatně probíhala měření v zastávkovém úseku Lhotka – Hošťálkovice. Tento úsek se vyznačuje značným převýšením a současně i vzdáleností, jak deklaruje obrázek 10. Záporné hodnoty spotřeby lze vykazovat jako stavy, kdy byla rekuperace vyšší než samotná spotřeba. Na první pohled při

porovnání s grafy na obrázcích 8 a 9 je evidentní, že spotřeba v předmětném úseku je více než 2násobně vyšší, než je celkový průměr a medián pro celou trasu.



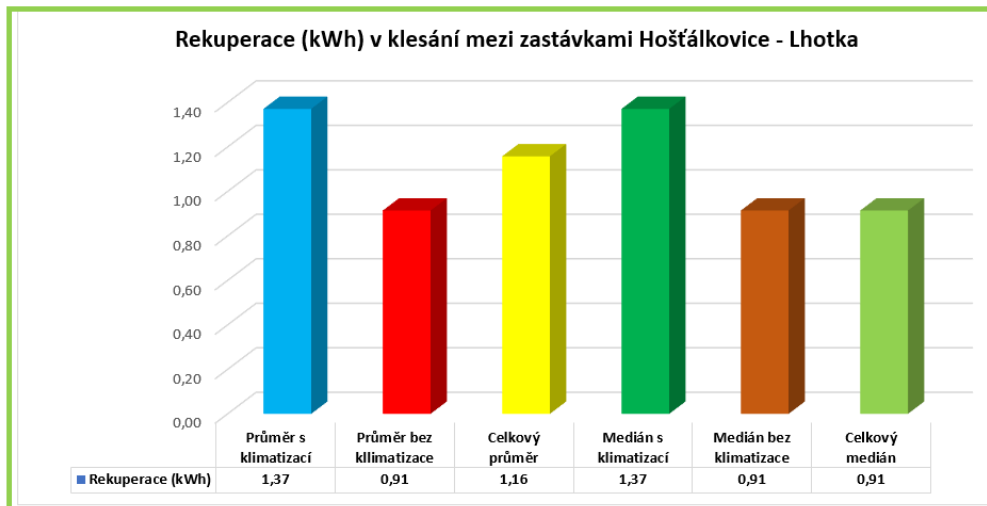
Obrázek 10 Vývoj spotřeby mezi zastávkami Hošťálkovice – Lhotka. Zdroj: autor

Pro zajímavost jsou uvedeny i hodnoty se spuštěnou klimatizací salónu cestujících. Porovnání průměrné a mediánové spotřeby jsou předmětem obrázku 11. Dle očekávání je její vliv na spotřebu na tak krátkém úseku (cca 1,281 km) marginální.



Obrázek 11 Porovnání spotřeby v úseku Hošťálkovice – Lhotka. Zdroj: autor

Ve směru z Hlučína do Ostravy jsou elektrobuses provozovány na trase, kde je větší poměr klesání ku stoupání. Díky této skutečnosti nastala situace, že v předmětném úseku měla vozidla zápornou spotřebu, kterou lze vyjádřit v kladných hodnotách jako rekuperaci. Bilanci rekuperace zobrazuje obrázek 12.



Obrázek 12 Rekuperace v rámci zastávkového úseku Hošťálkovice – Lhotka. Zdroj: (autor)

Jenom v rámci daného mezizastávkového úseku došlo mediánově k úspoře přibližně 1 kWh. Na základě průměrných a mediánových hodnot spotřeby tato úspora může prodloužit dojezd o další 1 km.

Jak již bylo zmíněno na začátku této podkapitoly, provedená měření mohou mít odchylku do 2 %, což je na takto krátkém úseku poměrně zásadní rozdíl, poněvadž elektrická kapacita má stejnou váhu jak na trase celé linky, tak v tomto úseku. Na základě toho došlo s velkou pravděpodobností k odchylkám, kdy je rekuperace efektivnější v případě se zapnutou klimatizační jednotkou. Ta však nemá na rekuperaci přímý vliv, resp. nikoliv v tak krátkém úseku, tudíž nelze na základě tohoto měření vyvádět takový obecný závěr.

Jak již bylo řečeno v úvodu tohoto měření, z výstupů tohoto měření nelze vyvozovat žádné limitní hodnoty spotřeby, neboť každý elektrobus má na každé lince specifickou spotřebu. Nehledě na to, že spotřeba na této lince je opravdu vskutku nestálá a je vhodným příkladem toho, jakých proměnlivých hodnot spotřeba může nabývat. Na základě toho je obecně v každém případě doporučováno uvažovat extrémnější hodnoty. Např. samotný výrobce elektrobusu, na němž bylo prováděno toto měření, uvádí průměrnou spotřebu 2,61 kWh/km. Obdobně jako v simulaci, i v návrhové kapitole 5 bude nadále využívána výsledná mediánová hodnota spotřeby, nacházející se v tabulce 5 podkapitoly 1. 5.

### 3.3.3 Kilometrický proběh

V závislosti na charakteru provozu linky a tedy oběhů vozidel je proměnlivý denní kilometrický proběh vozidel, který je určující pro budoucí nasazení elektrobusů a zvolené technologii trakčních baterií a nabíjecí infrastruktury.

V tabulce 10 jsou zobrazeny hodnoty kilometrických proběhů z vybraných měst, která se odlišují jak svou rozlohou, tak počtem obyvatel, což má přímý vliv na provoz MHD. Vzniká tak srovnání dvou různých měst, jež poskytuje reálnou představu o množství ujetých kilometrů vozidly za den. Mezi extrémy jednotlivých oběhů jsou poměrně značné rozdíly, které mohou či nemusí ovlivňovat výsledný průměrný denní proběh vozidel. Z tohoto důvodu je pro více vypovídající výsledky uvažován také medián kilometrických proběhů, jenž se např. v případě města Pardubice od průměru příliš neodlišuje.

Celodenní oběhy vozidel MHD, které jsou provozovány nejčastěji od 4 hodiny ranní do 23. hodiny večerní až půlnoci, mohou mít denní kilometrický proběh od 150 do 400 km za den. Naproti tomu oběhy, které reagují na období zvýšené přepravní poptávky během přepravních špiček, denně realizující výkony do 200 km.

Tabulka 10 Přehled kilometrický proběhů vozidel MHD Ostrava a Pardubice.

Provoz MHD	Typ výkonu	Nejmenší km. proběh	Největší km. proběh	Průměrný km. proběh	Km. proběh medián
Ostrava	Celodenní	162 km	410 km	<b>262 km</b>	<b>240 km</b>
Ostrava	Dělený	115 km	198 km		
Pardubice	Celodenní	151 km	377 km	<b>208 km</b>	<b>202 km</b>
Pardubice	Dělený	97 km	189 km		

Zdroj: autor s využitím (4) (5)

Na základě takové analýzy provozu je výstupem délka trasy a předpokládané denní kilometrické proběhy jednotlivých oběhů linky. Toto je klíčové pro výběr zvolené technologie elektrobuse. V současnosti (2024) jsou výrobci schopni nabídnout vozidla s dojezdem na jedno nabití i 300-400 km, což by teoreticky mělo pokrýt většinu denních kilometrických proběhů, nicméně s ohledem na výstupy v tabulce 5 podkapitoly 1.5 je na konkrétním dopravci, jak moc bude informace o uváděných dojezdech a spotřebách verifikovat.

Pakliže je při výběru elektrobuse (minimální) dojezd na hranici požadovaného dojezdu, je možné tuto hranici posunout dílčími opatřeními, s nimiž se váže vynaložení dalších finančních prostředků.

- Umožnění průběžného pomalého dobíjení (např. v době přepravního sedla, či přestávky na jídlo a oddech (viz podkapitola 3.7).
- Pořízení elektrobuse s vyšší elektrickou kapacitou baterií, nicméně s možným omezením celkové obsaditelnosti vozidla. (viz příloha B)
- Výstavba nabíjecí infrastruktury a umožnění oportunního dobíjení s vysokým výkonem, umožňuje-li to technologie samotného elektrobuse.

- Zvýšení počtu nasazovaných vozidel a snížení denního kilometrického proběhu.

### 3.4 Technologické časy – doba nabíjení

Předmětem této kapitoly je přiblížit vliv jednotlivých proměnných obsažených v matematické simulaci na klíčový technologický čas při linkotvorbě a oběhotvorbě s nasazením elektrobusů – době nabíjení. Pro připomenutí, dobou nabíjení se rozumí stav, kdy je dosaženo minimální požadované kapacity. V každém případě, stanovení optimálních hodnot proměnných není cílem této podkapitoly, jde pouze o seznámení s danou problematikou.

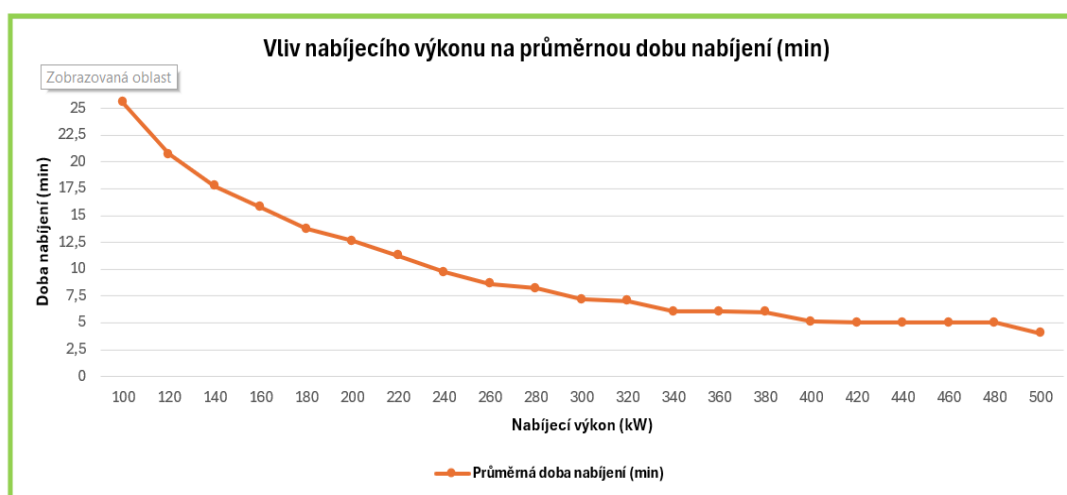
#### 3.4.1 Vliv délky

Vliv délky trasy ujeté na baterie byl předmětem podkapitoly 3.3.1, která je pouze jednou z několika dalších proměnných, na které se soustředí další podkapitoly této práce.

#### 3.4.2 Vliv nabíjecího výkonu

Z definice nabíjecího výkonu v podkapitole 1. 3. plyne, že hodnota nabíjecího výkonu prakticky nejvíce ovlivňuje dobu, za kterou je baterie opět nabita do požadované elektrické kapacity.

Je dána opět trakční baterie dle definovaných parametrů. Na obrázku 13 je zobrazen vliv nabíjecího výkonu na průměrnou dobu, za jakou lze očekávat dobití předmětné trakční baterie. Na základě fyzikálních zákonů dochází k jevu, kdy se zvyšujícím se výkonem narůstají i tepelné ztráty, které zvyšují elektrický odpor a tím snižují efektivnost procesu nabíjení. To má vliv na ekonomiku provozu a je tedy diskutabilní, jak velký nabíjecí výkon nakonec využívat.



Obrázek 13 Graf závislosti nabíjecího výkonu na průměrnou dobu nabíjení. Zdroj: autor

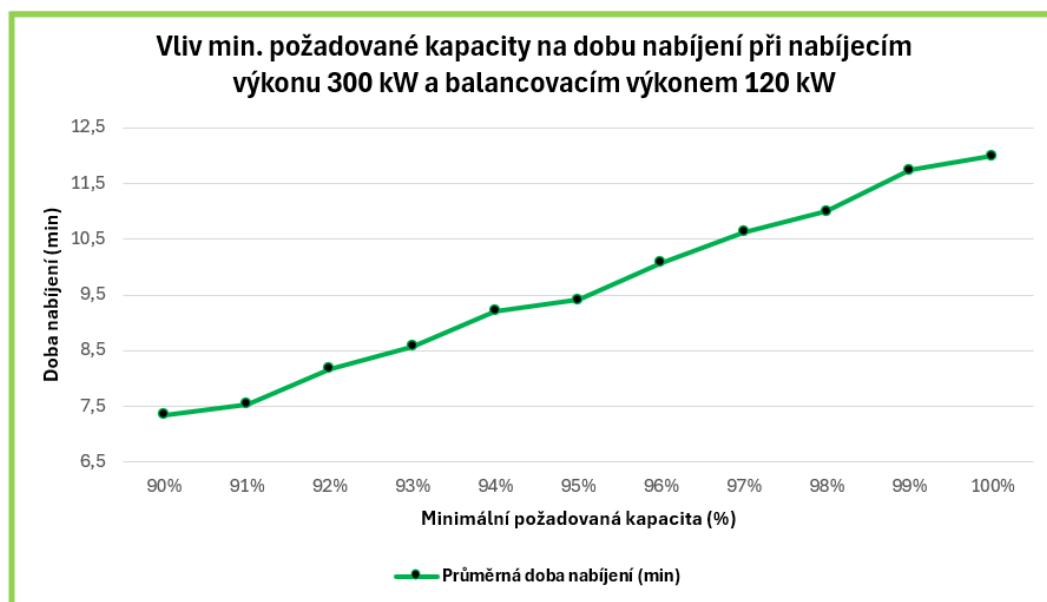
#### 3.4.3 Vliv minimální požadované kapacity po nabíjení

Hranice balancování, tak jako balancovací výkon, mající vliv na tento parametr jsou dány výrobcí vozidel a nabíjecí infrastruktury. Přestože se zdánlivě může jednat jen o marginální část elektrické

kapacity baterií, na základě simulace tomu tak ve skutečnosti není. Nabíjet trakční baterie do plné kapacity by se mohlo jevit jako samozřejmost, nicméně tento požadavek je poměrně časově náročný, což zásadně ovlivňuje průměrnou dobu nabíjení.

Zdánlivých několik % elektrické způsobuje až několika minutové rozdíly, jak deklaruje graf na obrázku 14, kde je zobrazena tato skutečnost ve vztahu k průměrné době nabíjení.

Konečná optimální hodnota minimální požadované kapacity závisí na konkrétní situaci. Kolik % (kWh kapacity) je možné obětovat, aby bylo možné elektrobusy na uvažovanou linku nasazovat a současně nemít příliš vysokou hodnotu průměrné doby nabíjení. Na druhou stranu, pakliže to obrátová doba umožňuje a stále existuje časová rezerva na nabíjení, může se elektrobus dobíjet nad rámec min. průměrné doby nabíjení a požadované kapacity. Výhodou pak je, že do dalšího nabíjecího procesu se elektrobus vrací s vyšší elektrickou kapacitou získanou během předchozího balancování.



Obrázek 14 Vliv minimální požadované kapacity na průměrnou dobu nabíjení. Zdroj: autor

#### 3.4.4 Vliv spotřeby na 1 km

S návazností na podkapitulu 3.3.2, je vliv spotřeby jednoznačně prokazatelný na průměrnou dobu nabíjení, neboť určuje, s jakou DOD baterií se budou elektrobusy vracet k nabíjecím stanicím. Vliv spotřeby bude podrobněji deklarován v podkapitole 3.6, kde význam spotřeby na 1 km potvrzuje i výsledná spolehlivost systému (míra odjezdů včas) v rámci šetřených situací.

#### 3.4.5 Technologické časy – vliv obrátové doby a intervalu linky

Tato doba je důležitá, neboť určuje, jaký časový úsek je v ideálním případě vyhrazen pro nabíjení elektrobusu na nabíjecí stanici až do dosažení minimální požadované kapacity, případně jak dlouho

se může na nabíjecí stanici balancovat, aniž by došlo k odjezdu z výchozí zastávky se zpožděním. Obratovou dobu určuje také zákonná legislativa, která je předmětem podkapitoly 3.7 o práci zaměstnanců v dopravě.

Společně s touto dobou ovlivňuje dobu nabíjení také interval linky, kdy kratší intervaly znamenají i větší počet vozidel, který je potřeba nabít za jednotku času. Vhodný poměr mezi obratovou dobou a intervalem umožňuje právě balancování, na které by při určitém poměru nebylo s ohledem na případná zpoždění čas. Celkově je vliv obratové doby a intervalu obsahem kapitoly 3. 6.

### **3.5 Technologické časy – cestovní a oběhová rychlost**

Hodnota cestovní a oběhové rychlosti vybrané linky má přímý vliv na počet nasazovaných vozidel, resp. na pobyty na konečných zastávkách. Při stejné délce tras dvou na první pohled podobných linek je významná právě jejich oběhová rychlost. Na základě dat z podkapitoly 3.7. platí, že v rámci linek do 50 km nesmí doba řízení řidičů překročit 4 h v rámci jednoho bloku řízení. Díky rozdílným oběhovým rychlostem může řidič na lince jedné vykonat např. 6 párů spojů, za to druhý řidič může realizovat nanejvýš např. 4 páry spojů.

Za předpokladu stejného intervalu se odvíjí i pobyty na konečných a současně i počet nasazovaných vozidel. Navíc za předpokladu stejné četnosti spojů budou linky s menší oběhovou rychlostí vyžadovat větší počet vozidel, zatímco s vyšší oběhovou rychlostí bude potřebných vozidel méně.

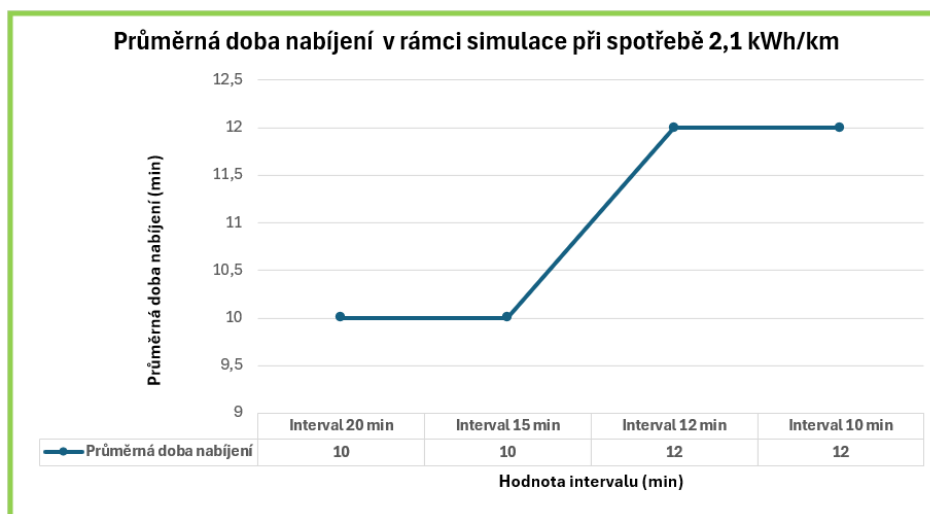
### **3.6 Kapacita infrastruktury – vliv zpoždění**

Omezující vliv na rozsah provozu elektrobuses má v závislosti na zvolené technologii i kapacita infrastruktury, případně i fyzická kapacita obratišť. V případě elektrobuses s delším dojezdem na jedno nabití, kdy nabíjení probíhá skrze standardizovanou zásuvku zpravidla ve vozovkách, má toto omezení menší vliv. U elektrobuses s průběžným nabíjením využívající (rychlo)nabíjecí stanice v prostoru obratišť je třeba zohlednit kapacitu takové infrastruktury a současně rezervy na případné odchylky od JŘ.

V průběhu 4 šetřených situací pro intervaly 10, 12, 15 a 20 minut docházelo také k různým minimálním dobám nabíjení, na kterou má vliv mnoho proměnných charakterizovaných v předešlých podkapitolách. Průměrné minimální doby nabíjení zobrazuje obrázek 15, kde se hodnota této doby pohybovala od 10 do 12 minut v závislosti na intervalu linky a obratové době. V situacích s intervalem 15 a 20 minut byla tato doba kratší, neboť k nabíjecím stanicím přijíždělo za jednotku času i méně elektrobuses, díky čemuž se elektrobuses mohly tzv. balancovat a přijíždět k dalšímu procesu nabíjení s vyšší zbytkovou kapacitou, což má pozitivní vliv na dobu nabíjení.



Oproti reálnému provozu nelze zrušit spoje či nahradit spoj autobusem se spalovacím motorem. Na základě toho tato simulace představuje extrémní situaci, a tudíž by reálný provoz za daných proměnných a skutečností měl vykazovat více optimistické výstupy.



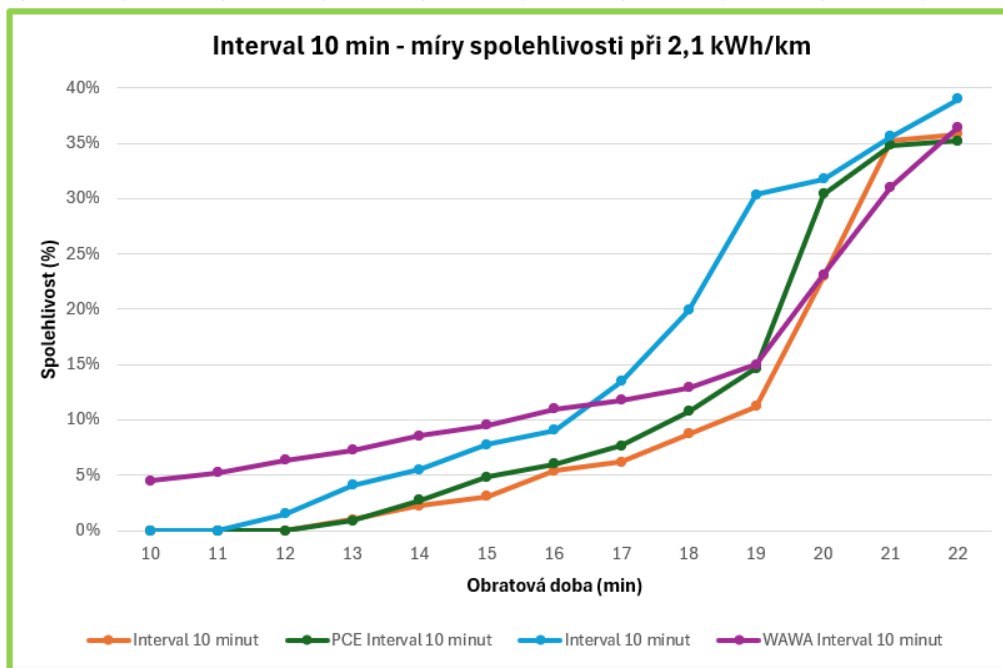
Obrázek 15 Průměrná doba nabíjení ve vztahu k různým intervalům mezi spoji. Zdroj: autor

### 3.6.1 Interval 10 minut

Pro tento interval je jako pro jediný vyčleněna samostatná podkapitola, neboť při tomto intervalu vykazuje provoz řadu komplikací. Průměrná doba nabíjení byla při tomto intervalu 12 minut. Z toho plyne, že je teoreticky možné nabít nanejvýš 5 vozidel za hodinu, zatímco požadavkem takového systému je nabití 6 vozidel za hodinu. Tyto skutečnosti se navzájem vylučují, a proto provází tento systém po celou dobu simulace vysoká míra nespolehlivosti a kumulace zpoždění. Na obrázku 16 je graf míry spolehlivosti pro všechny posuzované vstupní hodnoty rozdělení pravděpodobností, které jsou součástí přílohy D, zpoždění dle měst, kde označení:

- Interval představuje průměrná data.
- PCE interval představuje data pro Pardubice.
- OVA interval představuje data pro Ostravu.
- WAWA interval představuje data pro Warszawu (PL).

Z tvaru křivky je zjevné, že ani po 22 minutách nedosahuje v žádné situaci míra spolehlivosti 40 %. S přihlédnutím k možnostem nabíjecí stanice a požadavku systému na počty nabíjených vozidel za jednotku času nebylo relevantní v simulaci dále pokračovat. Přestože Warszawa vykazuje nejhorší hodnoty rozdělení zpoždění, vlivem tolerance zpoždění 5 minut systém vykazuje leckdy lepší výsledky, nicméně za tímto posunem se skrývá právě aplikovaná tolerance dle místního objednatele dopravy.



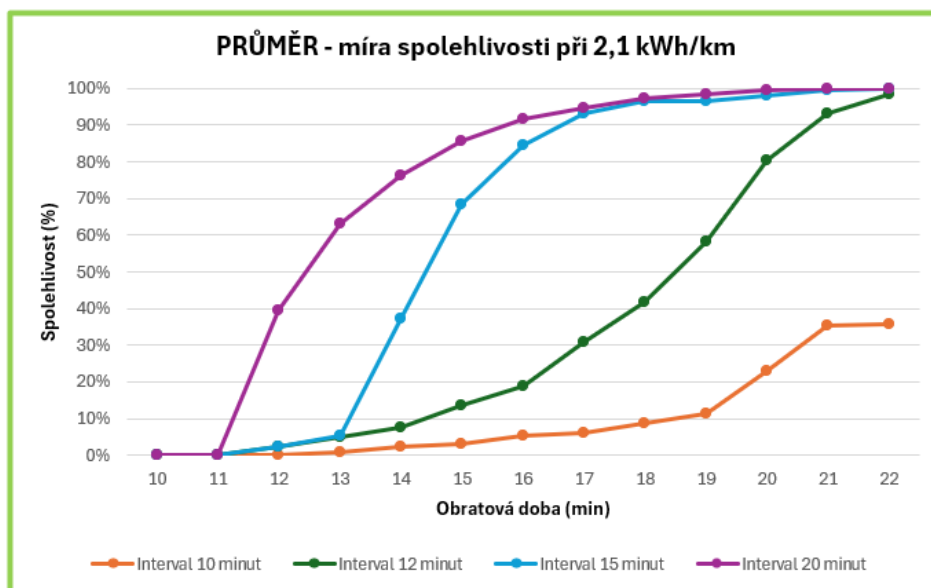
Obrázek 16 Míra spolehlivosti pro interval 10 minut. Zdroj: autor

Nabízí se několik východisek, jak by bylo možné takový interval realizovat:

- Uvažovat menší mediánovou spotřebu, ale s rizikem že při extrémních / (povětrnostních) podmínkách může dojít k podhodnocení situace.
- Uvažovat linku s kratší délkou 1 obratu. V uvedeném případě se jedná o vzdálenost 25 km, tudíž menší, než je tato hodnota.
- Uvažovat linku s kratší délkou 1 obratu, kdy by při sudém počtu oběhů bylo možné uvažovat nabíjení každého vozu až po 2 obrazech, kdy by docházelo ke vzájemnému předjíždění vozidel na konečné zastávce, která by zrovna podstupovala nabíjení.
- Požadovat infrastrukturu s vyšším nabíjecím výkonem, avšak s potenciálním nárůstem provozních nákladů vlivem nižší efektivity nabíjení.
- Snižit minimální požadovanou kapacitu. Na druhou stranu v rámci této simulace byla již tak nízká – 92 %. Snižování této hranice musí být v souladu s adekvátním provozováním trakčních baterií dle pokynů výrobce, aby nedošlo k překročení kritické hodnoty kapacity.
- Uvažovat další nabíjecí stanice, kdy by se požadavky systému rovnoměrně rozložily mezi všechny nabíjecí stanice v závislosti na souhrnném intervalu linky.

### 3.6.2 Výstupy pro průměrná data

Tvary křivek distribučních funkcí spolehlivosti pro průměrná zobrazuje obrázek 17. S ohledem na průměrnou minimální dobu nabíjení 12 minut při intervalu 12 minut, je na základě simulace zjevné, že systém lze za takových podmínek provozovat, nicméně pro dosažení alespoň 95 % spolehlivosti je nezbytné uvažovat alespoň 22minutovou obratovou dobu. Pro intervaly 15 a 20 minut, kdy je počet přijíždějících vozidel za hodinu ustálen na 3-4, je možné dosáhnout spolehlivosti alespoň 95 % již od 18minutové obratové doby.



Obrázek 17 Míra spolehlivosti pro průměrná data při spotřebě 2,1 kWh/km. Zdroj: autor

Tabulka 11 zaznamenává konkrétní hodnoty distribuční funkce spolehlivosti dle intervalů a příslušných obratových dob.

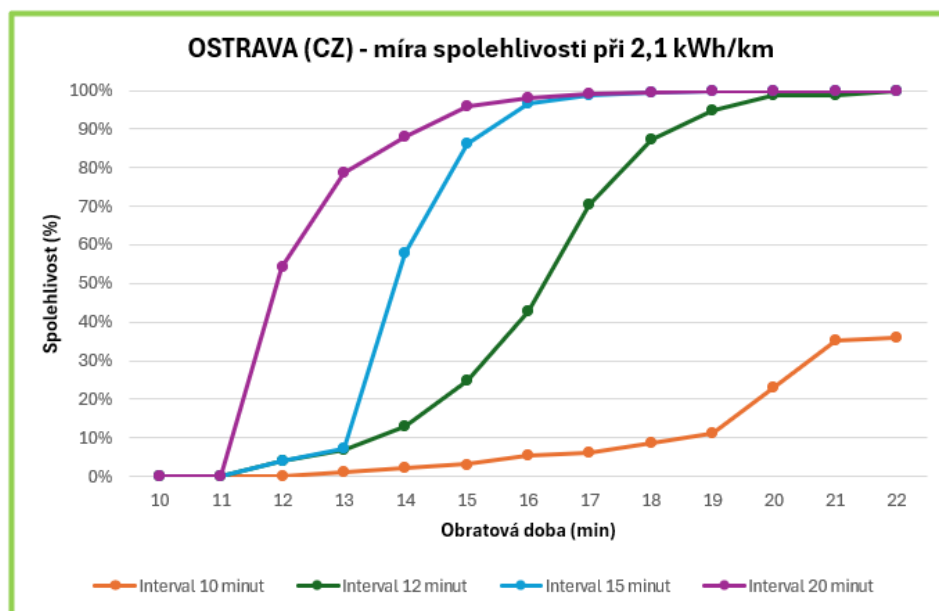
Tabulka 11 Hodnoty distribuční funkce spolehlivosti pro průměrné hodnoty.

PRŮMĚRNÉ HODNOTY- 2,1 kWh/km				
Obratová doba (min)	Interval 10 minut	Interval 12 minut	Interval 15 minut	Interval 20 minut
10	0%	0%	0%	0%
11	0%	0%	0%	0%
12	0%	2%	2%	39%
13	1%	5%	5%	63%
14	2%	8%	37%	76%
15	3%	13%	69%	86%
16	5%	19%	85%	92%
17	6%	31%	93%	95%
18	9%	42%	97%	97%
19	11%	58%	97%	99%
20	23%	80%	98%	99%
21	35%	93%	100%	100%
22	36%	98%	100%	100%

Zdroj: autor

### 3.6.3 Výstupy pro město Ostrava (CZ)

Ostravská MHD vykazuje nejvyšší míru včasných odjezdů ze všech dostupných dat, čemuž odpovídají i příslušné distribuční funkce spolehlivosti pro každý interval. To co bylo platné pro průměrná data, není platné v Ostravě, ani nikde jinde, pakliže se taková data příliš liší od těch průměrných. Míry spolehlivosti pro Ostravu reflektuje obrázek 18.



Obrázek 18 Ostrava – míra spolehlivosti při spotřebě 2,1 kWh/km. Zdroj: autor

Tabulka 12 zaznamenává konkrétní hodnoty distribuční funkce spolehlivosti dle intervalů a příslušných obratových dob.

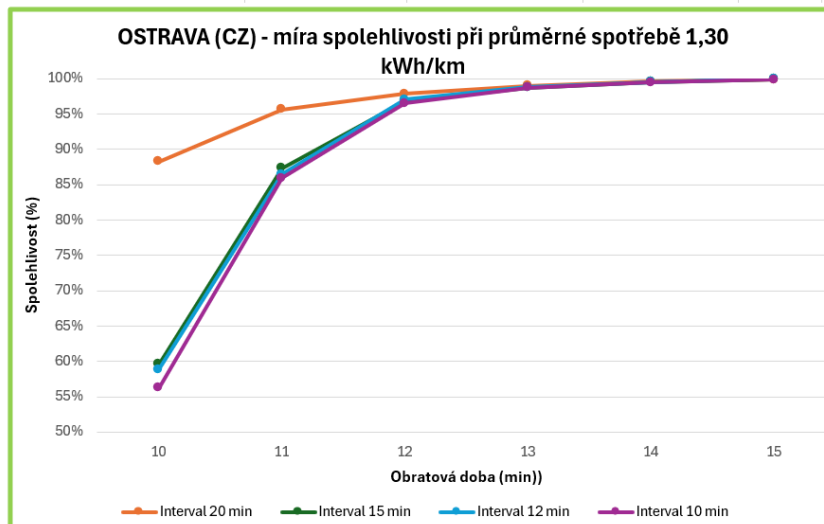
Tabulka 12 Ostrava – hodnoty distribuční funkce spolehlivosti.

OSTRAVA - 2,1 kWh/km				
Obratová doba (min)	Interval 10 minut	Interval 12 minut	Interval 15 minut	Interval 20 minut
10	0%	0%	0%	0%
11	0%	0%	0%	0%
12	1%	4%	4%	54%
13	4%	7%	7%	79%
14	6%	13%	58%	88%
15	8%	25%	86%	96%
16	9%	43%	97%	98%
17	13%	70%	99%	99%
18	20%	87%	99%	100%
19	30%	95%	100%	100%
20	32%	99%	100%	100%
21	36%	99%	100%	100%
22	39%	100%	100%	100%

Zdroj: autor

Na základě výstupů z empirického měření v podkapitole 3.3.2 byla provedena simulace také s reálnou a současně nižší spotřebou. Vliv uvažované spotřeby je proto nesmírně významný, kdy i

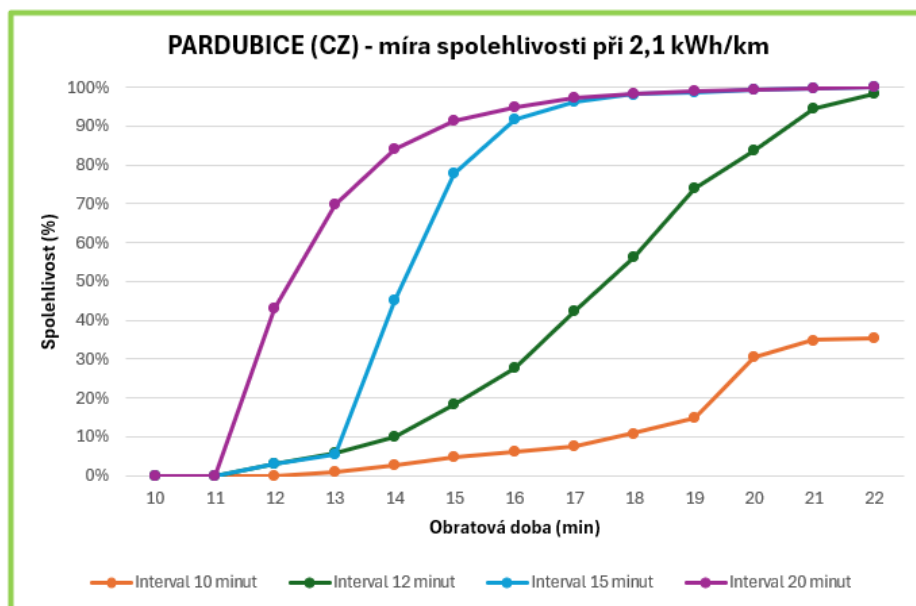
jinak takřka nerealizovatelný interval 10 minut je pro 1 nabíjecí stanici bezproblémový již při 12minutových obrátových dobách, tak jako pro ostatní intervaly. To je dáno průměrnou minimální dobou nabíjení, jež vykazovala hodnoty 6-7 minut. Obrázek 19 zobrazuje danou situaci se sníženou spotřebou.



Obrázek 19 Ostrava – míra spolehlivosti při spotřebě 1,30 kWh/km. Zdroj: autor

### 3.6.4 Výstupy pro město Pardubice (CZ)

Na obrázku 20 je graf, který demonstruje výstupy simulace pro podmínky pardubické MHD, kde je míra spolehlivosti pro interval 12 minut takřka totožná, jako je tomu v případě průměrných hodnot pro téže interval.



Obrázek 20 Pardubice – míra spolehlivosti při spotřebě 2,1 kWh/km. Zdroj: autor

Tabulka 13 zaznamenává konkrétní hodnoty distribuční funkce spolehlivosti dle intervalů a příslušných obrátových dob.

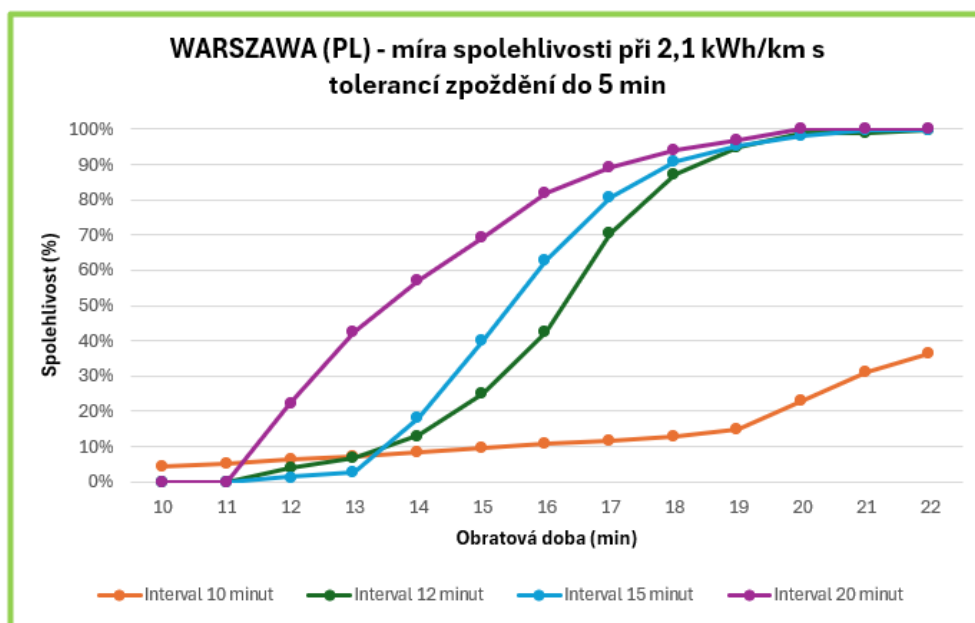
Tabulka 13 Pardubice – hodnoty distribuční funkce spolehlivosti.

PARDUBICE - 2,1 kWh/km				
Obrátová doba (min)	Interval 10 minut	Interval 12 minut	Interval 15 minut	Interval 20 minut
10	0%	0%	0%	0%
11	0%	0%	0%	0%
12	0%	3%	3%	43%
13	1%	6%	6%	70%
14	3%	10%	45%	84%
15	5%	18%	78%	91%
16	6%	28%	92%	95%
17	8%	42%	96%	97%
18	11%	56%	98%	98%
19	15%	74%	99%	99%
20	30%	84%	99%	99%
21	35%	95%	100%	100%
22	35%	98%	100%	100%

Zdroj: autor

### 3.6.5 Výstupy pro město Warszawa (PL)

Pro připomenutí, v případě Warszawy zahrnují míry spolehlivosti pro jednotlivé intervaly 5minutovou toleranci zpoždění, jinak by míry spolehlivosti vykazovaly horší výsledky, které zobrazuje obrázek 21.



Obrázek 21 Warszawa – míra spolehlivosti při spotřebě 2,1 kWh/km. Zdroj: autor

Tabulka 14 zaznamenává konkrétní hodnoty distribuční funkce spolehlivosti dle intervalů a příslušných obrátových dob.

Tabulka 14 Warszawa – hodnoty distribuční funkce spolehlivosti.

WARSAWA (PL) -2,1 kWh/km, tolerance zpoždění 5 minut				
Obratová doba (min)	Interval 10 minut	Interval 12 minut	Interval 15 minut	Interval 20 minut
10	4%	0%	0%	0%
11	5%	0%	0%	0%
12	6%	1%	1%	22%
13	7%	3%	3%	42%
14	9%	4%	18%	57%
15	10%	8%	40%	69%
16	11%	12%	63%	82%
17	12%	19%	80%	89%
18	13%	24%	91%	94%
19	15%	38%	95%	97%
20	23%	54%	98%	100%
21	31%	86%	100%	100%
22	36%	97%	100%	100%

Zdroj: autor

### 3.6.6 Závěry simulace

Simulace se zaměřila především na kapacitu nabíjecí infrastruktury, kdy lze usoudit, že optimální počet nabíjených vozidel na 1 nabíjecí stanici za jednotku času je 4-5 s ohledem na maximalizaci využití vozidel a zaměstnanců (řidičů). Pro některá města a jejich linky se může jednat o 5 vozidel, pro jiné zase 4. V každém případě autor nedoporučuje nabíjení 6 vozidel za jednotku času, pouze v případech, kdy se jedná o velmi krátkou linku, kde je i krátká průměrná doba nabíjení. V opačném případě je nezbytné systém v případě potřeby stabilizovat s využitím dalších záložních elektrobusů či autobusů s pohonem na fosilní paliva.

Obecně bez ohledu na příslušné hodnoty rozdělení pravděpodobností, autor na základě simulace považuje rozpětí spolehlivosti přibližně od 95 do 100 % za takové, kdy nehrozí kolaps systému. V těchto případech je systém i v rámci simulace schopen anulovat kumulaci zpoždění, tudíž nad rámec záložních elektrobusů nejsou záložní autobusy se spalovacími motory přímo nezbytné, nicméně jejich dostupnost je stále výhodou např. pro případ mimořádných událostí, kdy může dojít např. k několika hodinovému výpadku elektrického napájení. Tyto situace nejsou simulovány, ačkoliv by k jejich simulaci dojít mohlo. Tohoto intervalu spolehlivosti je možné dosáhnout i při intervalu 10 minut, nicméně je nezbytné přijmout některé z navržených opatření v podkapitole 3.6.1.

V rozpětí cca od 80 % do 95 % autor předpokládá, že systém není zcela sám o sobě nezávislý na autobusech s pohonem na fosilní paliva. Vhodné pro objednatele, kteří nevyžadují velkou přesnost provozu a současně z ekonomických důvodů odmítají navýšit pobyty na konečných zastávkách, případně investovat do nabíjecí infrastruktury. Pakliže je hodnota spolehlivosti menší než přibližně 80 %, systém funguje převážně na bázi náhody a neobejde se bez rušení

spojů i přes to, že by byly nasazovány záložní autobusy, což je příklad polské Warszawy. Rozdělení intervalů mír spolehlivosti se nachází v tabulce 15. Hranici, při které by mělo dojít k vybudování další nabíjecí stanice nelze jednoznačně určit, ačkoliv v zájmu co nejvyšší spolehlivosti systému by měla být co nejdříve, pakliže není možné zajistit další možná opatření.

Tabulka 15 Rozdělení intervalů mír spolehlivosti.

Interval mezi spoji (min)	Míra spolehlivosti (%)	Doporučená doba pobytu (min)	Předpokládaná charakteristika a opatření
10	95-100	Dle situace každého města	Spolehlivý provoz bez nutnosti záložních autobusů se spalovacími motory
10	80-95		Provoz s menší spolehlivostí vyžadující záložní autobusy
10	< 80		Minimální odolnost JŘ vůči mimořádnostem, výpadky spojů, záložní A
12	95-100	Dle situace každého města	Spolehlivý provoz bez nutnosti záložních autobusů se spalovacími motory
12	80-95		Provoz s menší spolehlivostí vyžadující záložní autobusy
12	< 80		Minimální odolnost JŘ vůči mimořádnostem, výpadky spojů, záložní A
15	95-100	Dle situace každého města	Spolehlivý provoz bez nutnosti záložních autobusů se spalovacími motory
15	80-95		Provoz s menší spolehlivostí vyžadující záložní autobusy
15	< 80		Minimální odolnost JŘ vůči mimořádnostem, výpadky spojů, záložní A
20	95-100	Dle situace každého města	Spolehlivý provoz bez nutnosti záložních autobusů se spalovacími motory
20	80-95		Provoz s menší spolehlivostí vyžadující záložní autobusy
20	< 80		Minimální odolnost JŘ vůči mimořádnostem, výpadky spojů, záložní A

Zdroj: autor

Doporučené doby pobytů jsou proměnlivé a měly by odpovídat konkrétní situaci v daném městě, nelze je proto generalizovat a využívat plošně. Je nezbytné říct, že neexistuje optimální řešení. Každé město se spokojí s různými hodnotami spolehlivosti vzhledem k dopravním kongescím a dalším faktorům ve městě, přičemž města s různými dopravními a provozními podmínkami byla předmětem této simulace.

Autor připouští, že zejména na linkách s krátkým intervalem a nízkou hodnotou spolehlivosti, což je právě příklad Warszawy, lze ve výsledku takové systémy vykazovat zdánlivě jako spolehlivé, neboť pakliže jsou hodnoty zpoždění prakticky v násobcích intervalu linky, dochází pouze k časovému posunu všech oběhů na této lince. Ve skutečnosti cestující nemusí na první pohled považovat systém právě jako nespolehlivý. Pro cestující je směrodatný čas odjezdu požadovaného spoje, nikoliv oběh, který požadovaný spoj měl realizovat. tedy jestliže je požadovaný spoj A1 realizován elektrobusem oběhu 1 namísto elektrobusem oběhu 2, již cestující nehraje významnou roli.

### 3.7 Technologické časy – práce zaměstnanců v dopravě

Mimo jiné je během konstrukce oběhů, ptažmo jízdnicích řadů a požadavků objednatelů dopravní obslužnosti nezbytné zohledňovat platnou legislativu týkající se práce zaměstnanců v dopravě.

Práce řidičů veřejné dopravy se odvíjí od délky spoje v jednom směru, od čehož se odvíjí příslušné nařízení upravující pracovní podmínky. Mimo to platí obecná právní úprava (§ 88 zákoníku práce, která určuje, že po 6 hodinách nepřetržité pracovní doby mají (nejen) zaměstnanci v dopravě právo



na 30minutovou přestávku na jídlo a oddech (dále jen PJO). Tato obecná právní úprava umožňuje sloučení bezpečnostní přestávky (dále jen BP) a PJO, pakliže na ni BP shodou okolností připadne. Tato kapitola prezentuje jen vybrané pasáže z výše skloňované legislativy, které přímo ovlivňují konstrukci oběhů, neboť týdenní doby řízení, odpočinky a zkrácené odpočinky jsou předmětem tvorby turnusů, což je nad rámec této diplomové práce. Společné pro všechny situace, bez ohledu na délku spojů v jednom směru, jsou následující skutečnosti: (37) (38) (39)

- **Maximální délka pracovní doby je stanovena na 13 hodin.**
- **Maximální délka pracovní doby nočních směn je stanovena na 10 hodin.**
- **Maximální denní doba řízení činí 9 hodin** (do řízení se počítají i prostoje mezi spoji, jež jsou kratší než 10 minut).
- **Nejméně po 6 hodinách práce náleží zaměstnanci PJO minimálně v délce 30 minut.** Tuto přestávku lze sloučit i s BP, pokud dojde k časově shodě obou přestávek. (38)
- **PJO lze rozdělit, aby jedna její část trvala nejméně 15 minut.** Nelze ji stanovit na začátku či na konci pracovní doby.

### 3.7.1 Linky s délkou trasy do 50 km

Linky jejichž spoje nepřesahují délku 50 km v jednom směru se řídí nařízením vlády č. 589/2006 ze Sbírky zákonů a mezinárodních smluv. Zpravidla se jedná o linky MHD případně o určitý segment příměstských linek. Obecně tvorbu oběhů ovlivňují zejména následující skutečnosti: (37)

- **Nejpozději po 4 hodinách nepřetržité doby řízení je nezbytné zajistit BP v délce 30 minut.** Pokud je pracovní doba kratší než 4 hodiny a 30 minut, nesmí doba řízení přesahovat 4 hodiny (platí nejčastěji v případech krátkého ranního/odpoledního dílu dělených směn).
- **BP lze rozdělit, přičemž nejkratší přípustná doba jednoho dílu je 10 minut.**

Výše uvedené předpisy mohou upravovat i příslušné kolektivní smlouvy dopravců. V tabulce 16 jsou uvedena porovnání s dopravními podniky v Ostravě a v Pardubicích. (4) (5) (37) (38)

Tabulka 16 Porovnání režimů práce řidičů v Ostravě a v Pardubicích.

	Obecná úprava	Ostrava	Pardubice
<b>Maximální délka denní směny (h)</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>10</b>
<b>Sloučení BP a PJO</b>	<b>ANO</b>	<b>ANO</b>	<b>NE</b>
<b>Rozdělení PJO na kratší úseky</b>	<b>ANO</b>	<b>ANO</b>	<b>NE</b>

Zdroj: autor s využitím (4) (5) (37) (38)

Z tabulky plyne, že v Dopravním podniku města Pardubic je kolektivní smlouvou snížena maximální délka pracovní doby ze 13 h na 10 h. Současně je zakázáno slučovat BP a PJO do jednoho časového bloku, tudíž obě přestávky musí probíhat odděleně (mohou však na sebe navazovat). Krom toho není připuštěno dělit PJO na kratší časové úseky. Naproti tomu v Ostravě kolektivní smlouva obecnou úpravou v zásadě nijak nepozměňuje. (4) (5)

Tyto technologické časy ve vztahu k zaměstnancům v dopravě mohou vykazovat kompatibilitu s technologickými časy vzhledem k s technickému řešení systému elektrobuses, kdy mohou BP a PJO probíhat současně s dobou určenou pro nabíjení baterií. Na druhou stranu frekvence počtu nabíjení během dne může převyšovat nezbytnou frekvenci BP a PJO.

### **3.7.2 Linky s délkou trasy nad 50 km**

Linky se spoji přesahující délku 50 km v jednom směru jsou regulovány nařízením (ES) č. 561/2006 a AETR. Současně musí být vozidla vybavena záznamovým zařízením monitorující režim jízdy a doby řízení řidičů. Oproti linkám do 50 km jsou změny převážně v organizaci BP. (36)

- **Nejpozději po 4,5 hodinách doby řízení musí nastat minimálně 45 minut BP**
- **BP lze rozdělit na 15minutovou a 30minutovou část, přičemž jejich pořadí nesmí být prohozeno.**

Obdobně i zde mohou být obecné úpravy pozměněny kolektivními smlouvami dopravců. Tako jako v případě linek do 50 km, i tomto případě může dojít k synergickému efektu, kdy lze zajistit BP a PJO řidičů současně s potřebou nabíjení baterií elektrobuses.

Zvýše uvedeného plyne, že oběhy vozidel jsou přímo ovlivněny danou legislativou a současně možnosti organizace oběhů vozidel do jisté míry omezují i místní úpravy kolektivních smluv, přestože jejich přínos pro zaměstnance dopravy nelze popřít. (35) (38)

Obecně BP, potažmo PJO, nemusí probíhat standardně ve vozidlech, nýbrž je možné využít i tzv. střídání přestávek řidičů, kdy dochází ke střídání řidičů přímo na trati a BP/PJO jsou tak realizovány mimo vozidla, nicméně toto řešení častokrát může vyžadovat větší počet řidičů než standardní organizace bezpečnostních přestávek na konečných zastávkách. Požadavek na větší počet řidičů se může zdát na realizaci poměrně snadný, každopádně v současnosti (jaro 2024) je značně omezující skutečností nedostatek řidičů.

## **3.8 Povětrnostní podmínky**

V průběhu roku dochází postupně ke čtyřem různým ročním obdobím, kdy se teplota může pohybovat v rozmezí od -30 °C do +40 °C. Konkrétní vliv na provozní vlastnosti baterií je předmětem kapitoly 1.1.

Teplotní rozpětí kontinentálního klimatu klade nároky na zajištění teplotního komfortu i v dobách, kdy je zapotřebí teplotu v interiéru vozidel, ba i trakčních baterií, regulovat. Důsledkem toho je, že je nezbytné nemalou část elektrické energie vynaložit na vytápění či klimatizaci. V závislosti na výrobci vozidla může být takový nárůst až dvojnásobný. Energeticky náročnější je vytápění vozidla, a proto jsou elektrobuses zpravidla vybaveny nezávislým topením na naftu. Díky této skutečnosti nelze takové elektrobuses považovat za bezemisní vozidla, ačkoliv někteří dopravci i přes tento fakt marketingově tyto elektrobuses vykazují, jako bezemisní. V neposlední řadě je zapotřebí doplňovat pohonné hmoty do nezávislého topení, kdy spotřeba motorové nafty může vycházet i 10 l/100 km. (25)

### **3.9 Shrnutí omezujících podmínek**

Obecně je žádoucí při analýze možnosti nasazení elektrobuses vždy počítat s nejvyšší možnou spotřebou, Současně je třeba počítat s vyšším počtem záložních vozidel než při totožném provozu zajišťovaném autobusy se spalovacím motorem. Čím větší je provoz elektrobuses, tím více na sebe váže procento autobusů, kterými je třeba disponovat v případě mimořádností, tak jako v případě tramvajových a trolejbusových subsystémů. Na druhou stranu, pokud není příprava systému elektrobuses podceněna, např. vlivem kalkulace s menší, jen za určitých podmínek možnou spotřebou, mohou být takové systémy soběstačné a dostupnost záložních autobusů je pak jen výhodou, aby systém fungoval prakticky za jakékoliv provozní situace.

## 4 NÁVRHY DOPLNĚNÍ INFRASTRUKTURY

Tato kapitole je zaměřena zejména na elektrobuses s oportunním nabíjením, případně pro dynamicky nabíjené elektrobuses, neboli parciální trolejbusy. Dochází zde k upřesnění podmínek ve vztahu k infrastruktuře z výstupů v kapitole 3, která se zabývá omezujícími podmínky elektrobusesů celkově.

Otázkou vhodného počtu nabíjecích stanic se nelze v obecně rovině zabývat, neboť na základě výstupů simulace v kapitole 3 nelze obecně stanovit, pro jaký počet elektrobusesů vybudovat takové a takové množství nabíjecích stanic. Každý provoz je svým způsobem unikátní a to co může být uplatnitelné v jednom městě, nemusí platit ve druhém, Na základě toho proběhne i v návrhové části práce stanovení počtu nabíjecích stanic až po zohlednění konkrétních parametrů řešené oblasti a uvažovaných vozidel při daném provozu.

### 4.1 Omezující podmínky

Před výstavbou nabíjecí infrastruktury je nezbytné zvážit několik podmínek, přičemž některé z nich mohou uvažované řešení zcela zavrhnout. Tyto podmínky pak ovlivňují finální lokaci infrastruktury, která i přes jednoznačně ideální místo umístění nebude muset vyhovovat některé z uvedených podmínek.

#### 4.1.1 Distribuce elektrické energie

Rozvoj a renesance elektromobility klade zvýšené nároky na spotřebu elektrické energie. K tomu v souladu se zelenou politikou EU a klimatickými cíli je nevyhnutelná změna energetického mixu nejen ČR. Odklon od fosilních paliv, od uhelných elektráren, potenciální konec životnosti jaderných elektráren a nedostatečná rychlost jejich náhrady spolu se zvyšující se spotřebou, budou představovat do budoucna velký problém. Problém představuje také rozvodná elektrická síť, která bude muset zabezpečovat uspokojení poptávky i v dalších letech, kdy lze i nadále očekávat nárůst počtu elektromobilů a např. tepelných čerpadel. Skutečností je, že již dnes (2024) distributoři energie začínají odmítat žádosti o navýšení příkonu (odběru) elektrické energie. Takové zprávy přicházejí i ze zahraničí, kde především v západní Evropě je úroveň elektromobility napřed a tím tedy i vyšší četnost limitů energetické infrastruktury.

Především v případě nabíjecích stanic poskytující vysoký nabíjecí výkon je tato podmínka významná. V současnosti (2024) jsou k dispozici nabíjecí stanice o nabíjecím výkonu až 800 kW. Technicky je možné i více – viz podkapitola 1.5, nicméně účelnost takového technického řešení pak naráží na menší efektivnost nabíjení. Samotný příkon těchto nabíjecích stanic je vyšší vlivem efektivnosti nabíjení, kdy přirozeně dochází k určitým ztrátám. Bohužel výrobci nabíjecí

infrastruktury o hodnotách příkonů převážně nic neuvádí, tak jako o energetických ztrátách při procesu nabíjení. (45)

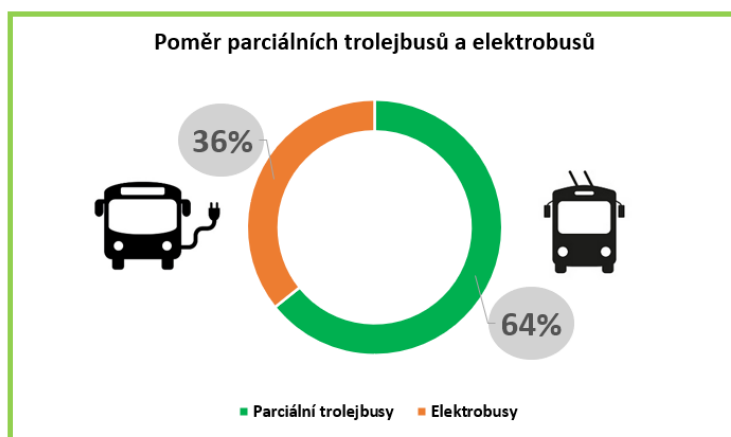
Nezřídka může být nezbytné vybudovat hned několik nabíjecích stanic, čímž naroste i celkový příkon této infrastruktury. Pakliže distributor sítě odmítne žádost o navýšení odběru elektrické energie, je možné vybudovat ještě napájecí měnič, která by poskytovala zdroj elektrické energie pro nabíjecí stanice. Může nastat také situace, kdy nebude možné ze strany distributora zabezpečit dostatečné množství elektrické energie ani pro napájecí měnič. V takové situace je nezbytné zvolit jiné řešení, případně zvolit jinou uvažovanou linku.

#### 4.1.2 Existence liniové infrastruktury

Tato podmínka primárně neomezuje výstavbu infrastruktury, naopak ji usnadňuje a snižuje investované náklady. Tuto skutečnost a nakonec i význam této podmínky potvrzuje aktuální stav (2024) na území ČR mezi městy vlastníci a nevlastníci takovou infrastrukturu, přičemž v rámci této statistiky nejsou uvažovány lanové dráhy. Na území ČR se k roku 2024 nachází 7 tramvajových, 14 trolejbusových subsystémů a 1 speciální dráha, přičemž 4 provozovatelé provozují tramvajový a trolejbusový subsystém současně, kdy mohou provozovatelé subsystémů mohou čerpat z výhod existence liniové infrastruktury.. Mimo převažující dvoupólové nabíjení elektrobuses lze takto snáze realizovat i čtyřpólové nabíjecí stanice, neboť lze využít části měření se střídavým proudem.

Plné znění této podkapitoly je obsahem přílohy E.

Konečnou bilanci elektrobuses a parciálních trolejbusů k roku 2024 zobrazuje obrázek 22, kdy na základě dat z přílohy E vychází, že prakticky každý druhý elektrobús na území ČR je elektrobús s dynamickým nabíjením, čili parciální trolejbus.



Obrázek 22 Bilance parciálních trolejbusů a elektrobuses v ČR. Zdroj: autor s využitím (38)

Tato situace je minimálně v poměrech EU zcela unikátní, neboť v žádném členském státě není takový počet trolejbusových subsystémů a současně parciálních trolejbusů. Na základě toho,

i vzhledem k řešené oblasti, je aktuální a nezbytné s parciálními trolejbusy v návrhové části této práce kalkulovat. Autor se domnívá, že soustředění se výhradně na „běžné“ elektrobusy, by bylo v rozporu s aktuálním technologickým trendem v ČR.

### **4.1.3 Finanční náročnost investice**

Předmětem této podkapitoly je výčet části více či méně viditelných činností včetně cen spojených s provozem elektrobusů, přičemž je třeba dodat, že ceny mohou ovlivňovat také množstevní slevy plynoucí z objemu požadované zakázky, kdy mohou výrobci snižovat nabízenou cenu, aby uspěli před potenciální konkurencí, z čehož nakonec profituje zákazník. Tento výčet má pouze informativní charakter, přičemž některé konkrétní případy nemají přímou souvislost s nabíjecí infrastrukturou elektrobusů.

- **Projektová dokumentace**

V roce 2023 uzavřel DPO výběrové řízení na zpracování projektové dokumentace pro novou nabíjecí stopu trolejbusového typu v ulici Mírová za 1 129 588 Kč bez DPH. (46)

- **Kabelové trasy**

V roce 2022 uzavřel DPO výběrové řízení na stavbu 900 m dlouhé kabelové trasy pro rekonstruovanou tramvajovou trať na ulici Hlučínské za cenu 4 571 648 Kč bez DPH.

- **Úprava existujících měření**

Za úpravu vysokonapětového rozvaděče 22 kV a vybudování vysokonapětové přípojky 22 kV k rychlonabíjecí stanici elektrobusů v obratišti Hranečnick zaplatil DPO v roce 2021 celkem 2 046 629 Kč bez DPH. (48)

- **Rychlonabíjecí stanice o výkonu až 450 kW**

Součástí výběrových řízení na dodávku elektrobusů bývají často i samotné fyzické nabíjecí stanice. V roce 2020 zaplatil DPO za zakázku na 24 elektrobusů Oppcharge a dodávku 4 rychlonabíjecích stanic a dalších komponent celkem 311 731 977,25 Kč bez DPH, přičemž na 4 nabíjecí stanice připadá částka přibližně 47 milionů CZK bez Kč. To odpovídá částce 11,75 milionů CZK bez Kč na 1 nabíjecí stanici (49)

O 5 let dříve, v roce 2015 uzavřel DPO smlouvu na výstavbu 1 nabíjecí stanice o výkonu až 450 kW společně s výstavbou transformátoru transformující vysokého napětí pro za 12 165 291 Kč bez DPH. (50)

#### **4.1.4 Fyzická kapacita obratišť**

S kapacitou nabíjecí infrastruktury souvisí rovněž fyzická kapacita obratišť, kde má být tato infrastruktura umístěna. Zpravidla po dobu nabíjení nelze s elektrobusem nikterak fyzicky manipulovat, navíc odchylky od místa zastavení pro nabíjení nejsou v jednotkách metrů, nýbrž jen desítek centimetrů. Na druhou stranu jsou i systémy, které poskytují i při nabíjení vozidel jistou flexibilitu – např. parciální trolejbusy, které se mohou bez přerušování procesu nabíjení pohybovat v dosahu nabíjecí stopy. Pakliže je nabíjecích stanic hned několik, v kombinaci s dobou nabíjení a množstvím nabíjecích stanic se zvyšují také prostorové nároky kladené na obratiště.

## **4.2 Lokace nabíjecí infrastruktury**

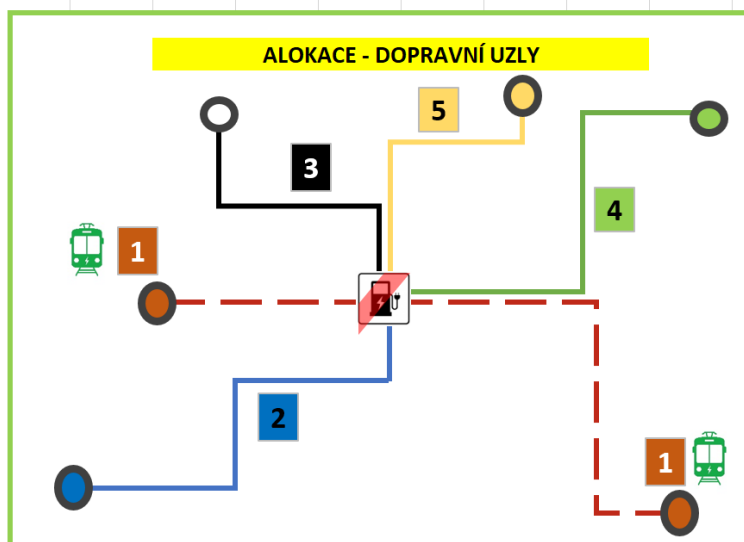
Otázka umístění infrastruktury je klíčová pro její účelnost, systémovost a potenciální rozvoj. Je několik základních způsobů, kde se může nacházet vhodné umístění nabíjecích stanic, během kterého je žádoucí respektovat podmínky stanovené v podkapitole 4.1 a navíc parametry uvažovaných elektrobusem.

### **4.2.1 V dopravních uzlech**

Nejvíce systémovým a pro potenciální rozvoj systému pragmatickým řešením je lokace nabíjecí infrastruktury do dopravních uzlů. Tedy do míst, kde je vyšší koncentrace linek MHD, VLD a přestupních vazeb. Jak bylo naznačeno v úvodu kapitoly 3, elektrifikace autobusových linek může probíhat postupně s rozvojem systému linkou po lince nebo plošně s pokrytím souboru několika/všech linek z daného dopravního uzlu.

Obecně jedním z nejběžnějších způsobů lokace je právě do dopravních uzlů. V návaznosti na omezující podmínku fyzické kapacity obratišť může snadno nastat situace, že v dopravních uzlech může být fyzická kapacita obratišť limitující, obzvláště když vhodnosti takové lokace nasvědčuje i blízká existence liniové infrastruktury a v neposlední řadě i souhlas distributora energetické sítě.

Na obrázku 23 je taková situace zobrazena na síti několika autobusových linek 2, 3, 4 a 5, které jsou trasovány do jednoho dopravního uzlu s možností přestupu na tramvajovou linku 1. Autor dodává, že leckdy jsou pro dopravní uzly pro mnohé linky pouze nácestnou zastávkou. Toto a další schémata pracují se zjednodušeným modelem linkového vedení.



Obrázek 23 Schéma s nemožností umístění nabíjecí infrastruktury do uzlů. Zdroj: autor

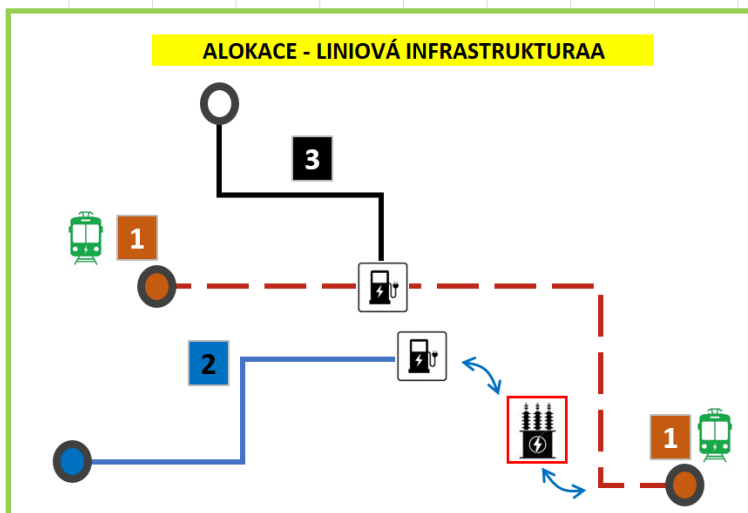
V případě že je kapacita obratiště nedostatečná, lze na situaci reagovat následujícími opatřeními:

- V rámci (plánované) rekonstrukce dopravního uzlu rozšířit kapacitu obratiště, pokud je to možné.
- Umístit do obratiště menší počet nabíjecích stanic, než by vyžadovalo pokrytí všech linek a oběhů elektrobuses, a nasazovat počet elektrobuseů dle kapacity nabíjecí infrastruktury a na omezený počet linek/oběhů.
- K menšímu počtu nabíjecích stanic aplikovat smíšený provoz na linkách s elektrobuses a autobusy.
- Vybudovat nabíjecí stanici na druhé konečné zastávce linky s nejkratším intervalem v souladu s podmínkami podkapitoly 4.1, což může uvolnit kapacitu v dopravním uzlu.
- Optimalizovat obratové doby ostatních linek na minimum, aby byla možná elektrifikace alespoň jedné autobusové linky.

#### 4.2.2 V blízkosti existující liniové infrastruktury

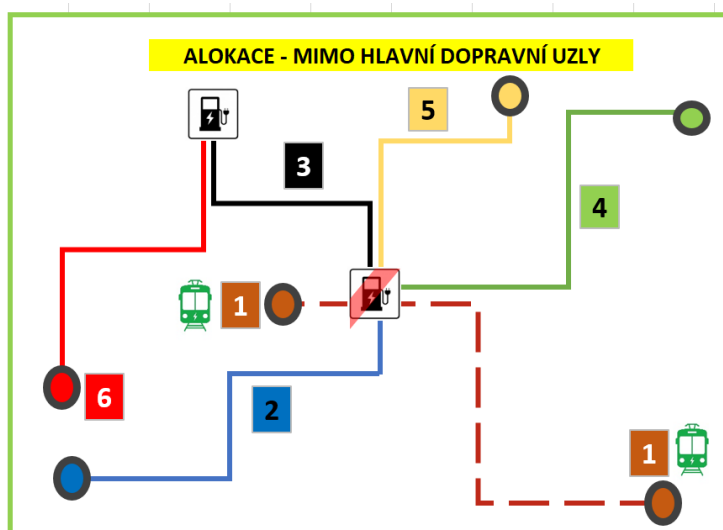
Tento způsob lokace je z logiky věci aktuální pouze ve městech, kde se taková infrastruktura nachází.. Obrázek 24 představuje tuto situaci na síti autobusových linek 2, 3 a tramvajové linky 1. Umístit nabíjecí infrastrukturu lze jednak v bezprostřední blízkosti této linky, nýbrž i s určitým odstupem s vazbou na napájecí infrastrukturu.





Obrázek 24 Možná lokace nabíjecích stanic poblíž liniové infrastruktury. Zdroj: autor

I přes jinak příznivé podmínky může nastat situace, kdy není možné umístit nabíjecí stanici ani v dopravním uzlu, ani v blízkosti liniové infrastruktury. Je však možné nabíjecí stanice umístit na opačné konečné zastávce uvažované linky. Je třeba vzít v potaz, že taková lokace probíhá fakticky de novo ve smyslu absence jakýchkoliv napájecích tras či měření, a proto může být současně nejvíce nákladná. Na druhou stranu může taková lokace směřovat i do menších dopravních uzlů, které nejsou tak dopravně významné. V konečném důsledku pak může dojít k synergickému efektu přítomnosti nabíjecí stanice, kdy lze elektrifikovat i další linky z tohoto uzlu. Tuto situaci znázorňuje obrázek 25, kdy je záměr elektrifikovat linku 3.



Obrázek 25 Schéma s lokací nabíjecí st. mimo hlavní uzel a liniovou infrastrukturu. Zdroj: autor

## **5 NÁVRH PROVOZU – PŘÍPADOVÁ STUDIE VE MĚSTĚ OSTRAVA**

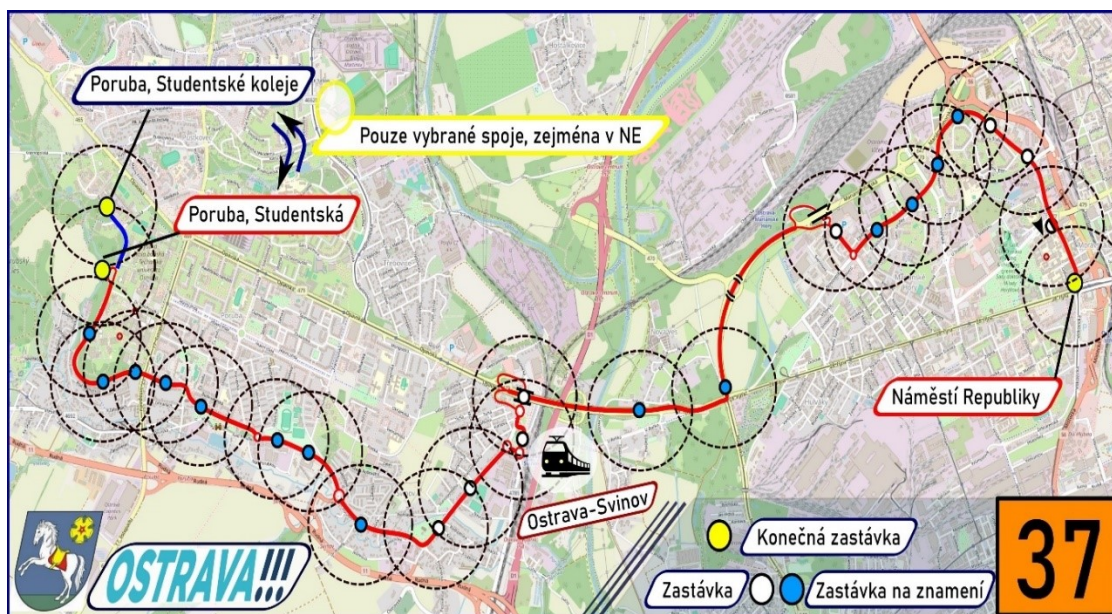
V návrhu jízdního řádu na vybrané lince s provozem elektrobuseů byla zúročena analýza technických aspektů elektrobuseů, která se stala klíčovou jak pro koncepci samotných navrhovaných variant, tak i navržený simulační model. Ten je zmíněn v kapitole 3 a stal se stěžejním pro vyhodnocení navrhovaných variant. Bez tohoto modelu by nemohlo dojít k relevantnímu návrhu potenciálního provozu, aby takové systémy založené na provozu elektrobuseů mohly vykazovat spolehlivost a funkčnost. S ohledem na to, že systémy elektrobuseů vyžadují nemalou alokaci finančních prostředků, je precizní příprava těchto projektů nezbytná. S využitím těchto prostředků autor směřuje k návrhu elektrifikace vybrané autobusové linky ve městě Ostrava, kde se s ohledem na velikost tamního systému MHD specializuje pouze na danou linku. Tento návrh však může sloužit jako moderátor dalšího rozvoje elektrifikace autobusových linek. S využitím simulace a po zohlednění podmínek pro lokaci nabíjecí infrastruktury bude součástí každé varianty také její umístění, bude-li to technické řešení vyžadovat. V neposlední řadě se pro tvorbu návrhů JŘ potvrzuje hodnota vyvinuté simulace jako zdroje vstupních dat, tak jako nástroje pro ověření funkčnosti navrhovaného řešení, přičemž v ověřovací fázi je využito konkrétních dat pro danou situaci, aby bylo dosaženo co nejpřesnějších výsledků a tím i vypovídající hodnota. Jednoduše řečeno, simulace poskytuje vstupní data, ověřovací funkci a simulaci navrhovaného řešení.

### **5.1 Charakteristika řešeného území**

S přihlédnutím k místním znalostním autora, byl vybrán systém MHD v Ostravě, jehož součástí je tramvajový, trolejbusový, autobusový a ve své podstatě také elektrobuseový subsystém. Z tohoto systému byla vybrána uvažovaná linka na základě vlastního uvážení autora, neboť přímo protíná oblast, ze které autor pochází.

#### **5.1.1 Autobusová linka 37**

Uvažovanou linkou, kterou autor zamýšlí elektrifikovat s využitím různých systémů elektrobuseů, je autobusová linka 37 v trase Poruba, Studentské koleje – Náměstí Republiky. Tato linka zabezpečuje spojení mezi Porubou, Svinovem, Novou Vsí, Mariánskými Horami a Moravskou Ostravou, zejména pak sídlištěm Fifejdy ve východní části této linky. Na obrázku 26 je znázorněno schéma autobusové linky 37 společně s izochronami docházkových vzdáleností o poloměru 500 m.



Obrázek 26 Schéma ostravské autobusové linky 37. Zdroj: autor s využitím mapového podkladu (51)

Zajišťuje také spojení s nádražím Ostrava-Svinov a přestupním uzlem Svinov, mosty, kde je možné přestoupit na vnitrostátní a mezinárodní spoje železniční dopravy. Dále je možné přestoupit na další autobusové linky či linky tramvajového subsystému a také na spoje VLD, případně mezinárodní autobusové linky. Linka zabezpečuje dopravní obslužnost několika vzdělávacích institucí od základních škol až po VŠB-TU Ostrava. Neopomenutelná je také obslužnost krajské fakultní nemocnice a Městské nemocnici Ostrava.

### 5.1.2 Jízdní řád

Autobusová linka 37 je v provozu denně od 4 do 23 hodin s výjimkou dvou spojů v rámci noční dopravy. Provoz autobusové linky 37 je v časech se zvýšenou přepravní poptávkou zajišťován v intervalu 10 minut, zatímco v dopravních sedlech je interval 20 minut, tak jako ve dnech pracovního klidu. V neděli jsou odpolední a večerní spoje prodlouženy až na Studentské koleje, tak jako od pondělí to soboty několik večerních párů spojů. Většina spojů je však trasována pouze do Studentské. Ve směru na Náměstí Republiky mají vybrané spoje závazný přípoj na autobusové linky 48 a 54. Cestovní doba je ze Studentských kolejí ve směru na Náměstí Republiky max 33 minut, zatímco ve směru druhém max 31 minut. Jízdní řád linky 37 pro pracovní dny je předmětem tabulky 17.

Tabulka 17 Jízdní řád autobusové linky 37 pro pracovní dny.

37 NÁMĚSTÍ REPUBLIKY <-> PORUBA, STUDENTSKÁ <-> Poruba, St. koleje															
PRACOVNÍ DNY od 1. 4. 2024															
NÁMĚSTÍ REPUBLIKY > Poruba, Studentská							PORUBA, STUDENTSKÁ > Náměstí Republiky								
3							26 M								
4	14	34	54				24	54							
5	14	34	54				13	33	52						
6	2 N	9	14	22 N	34	44	54	2	12	22	32	42	52		
7	4	14	24	34	44	54				2	12	22	32	42	52
8	4	14	24	34	44	54				2	12	22	32	42	
9	4	25	45							6	26	46			
10	5	25	45							6	26	46			
11	5	25	45							6	26	46			
12	5	25	45							6	26	46			
13	5	25	44	54				6	22	32	42	52			
14	4	14	24	34	44	54				2	12	22	32	42	52
15	4	14	24	34	44	54				2	12	22	32	42	52
16	4	14	24	34	44	54				2	12	22	32	42	52
17	4	14	24	34	44	54				2	12	22	32	45	
18	4	22	42							5	25	45			
19	2	22	42							6	26	46			
20	5	25	45							2 ad	22 ad	42 ad			
21	5	25	45							2 ad	22 ad	42 ad			
22	5	25	42							2 ad	23 d				
23															
24															
0	9 N														
POZNAMKY							M - Studentská - Svinov, mosty								
N - Svinov, nádraží - Studentská							XX St. koleje - Náměstí Republiky								
XX pokračuje směr St. koleje							a - přípoj linky 54 d - přípoj linky 48 na zastávce Svinov, mosty								

Zdroj: autor s využitím (52)

V době letních školních prázdnin je špičkový interval linky prodloužen z 10 na 15 minut a současně dochází k časovým úpravám jednotlivých spojů.

Jízdní řád pro soboty a neděle je součástí přílohy F, kdy zejména v neděli je viditelné prodloužení většiny spojů až na Studentské koleje.

### 5.1.3 Parametry trasy

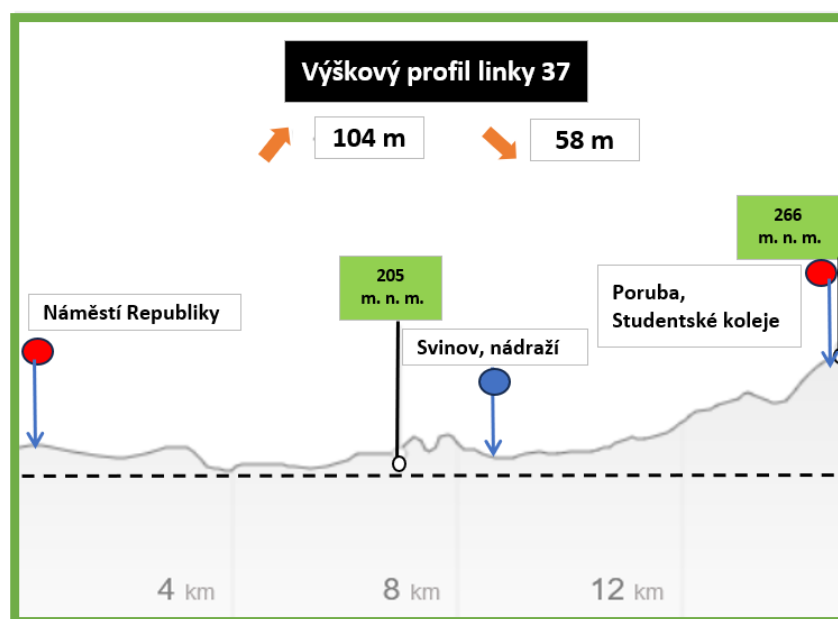
Vzhledem k pásmovému provozu mezi Studentskou a Studentskými kolejemi má linka v zásadě 4 varianty trasy. Noční spoje a vybrané denní spoje jsou trasovány pouze v relaci Poruba – Svinov, nádraží. Všechny varianty s délkami tras a obraty zobrazuje tabulka 18.

Tabulka 18 Varianty trasování autobusové linky 37.

Varianta linky	Délka (km)	Délka obratu (km)
37 Náměstí Republiky - Poruba, Studentské koleje	15,11	29,911
37 Poruba, Studentské koleje - Náměstí Republiky	14,801	
37 Náměstí Republiky - Poruba, Studentská	14,526	28,833
37 Poruba, Studentská - Náměstí Republiky	14,307	
37 Svinov, nádraží - Poruba, Studentská	11,62	23,11
37 Poruba, Studentská - Svinov, nádraží	11,49	

Zdroj: autor

Reliéf autobusové linky 37 zaznamenává obrázek 27. Především v oblasti Poruby trasa linky vykazuje vyšší míru převýšení. Od svinovského nádraží ke Studentským kolejím překonávají autobusy na 11 km úseku převýšení přibližně 50 m. V případě uvažovaného nasazení elektrobuseů lze předpokládat, tak jako v kapitole 3.3.2, vliv reliéfu na průměrnou spotřebu, kdy ve směru z Poruby na Náměstí Republiky bude spotřeba nižší díky rekuperaci.



Obrázek 27 Výškový profil autobusové linky 37. Zdroj: autor s vyzutím (2)

#### 5.1.4 Dopravní výkon

Tabulka 19 zobrazuje přehled dopravního výkonu linky 37 v jednotlivé dny a dále za 1 měsíc a rok. Pro zjednodušení bylo uvažováno, že 1 měsíc sestává ze 22 pracovních dnů a 8 dnů pracovního klidu, přičemž rok představuje 12 takových měsíců. Zajímavostí na dopravním výkonu je především rozdíl mezi sobotami a nedělemi, kdy je o nedělích podstatná část spojů linky prodloužena až na Studentské koleje.

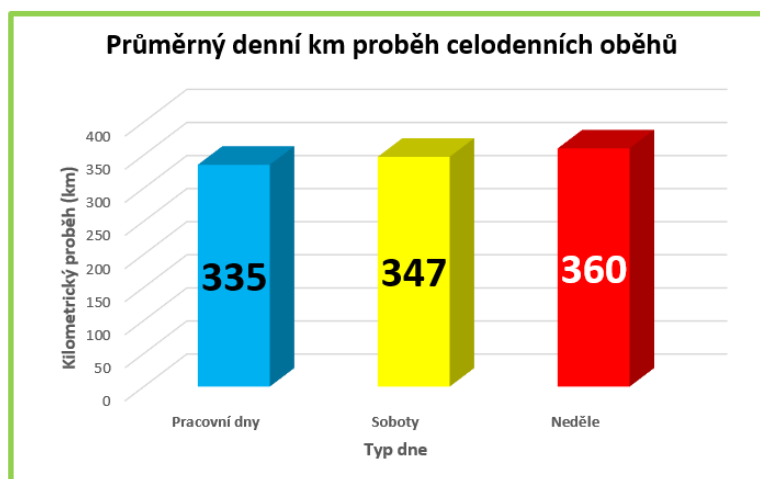
Tabulka 19 Dopravní výkon autobusové linky 37.

DOPRAVNÍ VÝKON LINKY 37 (VOZOKM)					
Typ dne	(Vozokm)	ZA 1 MĚSÍC		ZA 1 ROK	
Pracovní den	2 248	Pracovní den	49 456	Pracovní den	585 148
Sobota	1 602	Sobota	6 408	Sobota	76 253
Neděle	1 631	Neděle	6 524	Neděle	77 645
		<b>CELKEM</b>	<b>62 388</b>	<b>CELKEM</b>	<b>739 046</b>

Zdroj: autor

### 5.1.5 Oběhy vozidel

V pracovní dny je na linku nasazováno celkem 5 celodenních oběhů a 4 dělené oběhy v dobách přepravních špiček. Vzhledem k provázanosti výkonů jednotlivých oběhů s jinými autobusovými linkami jsou pro zjednodušení uvedeny jen průměrné denní kilometrické proběhy 5 celodenních oběhů této linky, jak uvádí obrázek 28.



Obrázek 28 Průměrný denní km proběh celodenních oběhů na autobusové lince 37. Zdroj: Autor s využitím (4)

### 5.1.6 Fyzická kapacita obratišť

Tato linka má celkem 4 různé konečné zastávky, přičemž s ohledem na trasování většiny spojů je žádoucí se zaměřit pouze na 2 z nich. První je situace v obratišti Náměstí Republiky, které je společné pro autobusovou linku 37 a trolejbusové linky 103 a 104. Navíc je v těsné blízkosti také frekventovaná tramvajová trať.

Obratiště není příliš prostorné a nejvíce využitelného prostoru pro odstavení vozidel zaujímá výstupní zastávka. Jsou zde celkem dva pomyslné jízdní pruhy, kdy lze odstavit dvojici vozidel souběžně vedle sebe, nicméně s ohledem na provoz kloubových trolejbusů na lince 104 jsou zde prostorové možnosti značně omezené. Tím spíš, když BP a PJO řidičů linek 103, 104 jsou

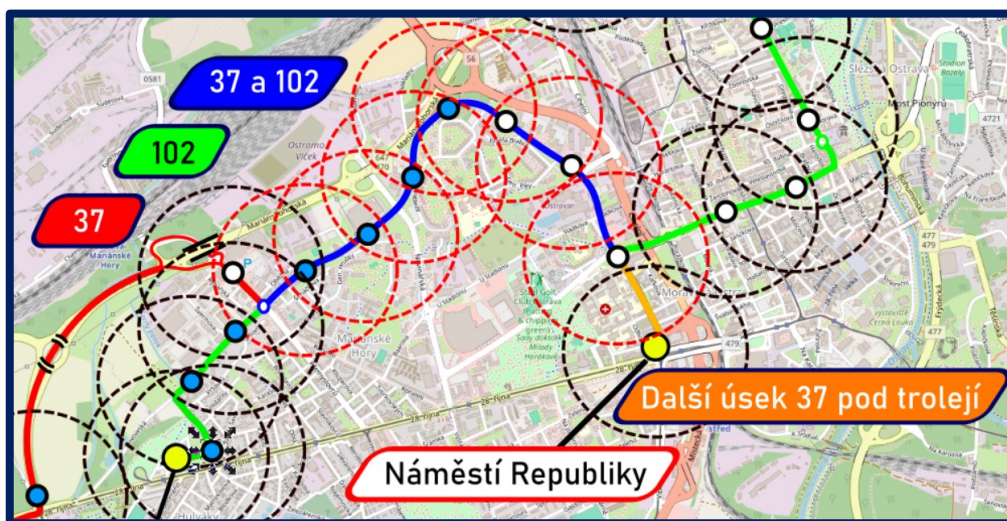


realizovány právě zde. Z těchto důvodů zde mají spoje linky 37 minimální obratové doby, aby mohla být kapacita obratiště využívána ve prospěch trolejbusového subsystému.

Druhým obratištěm je Studentská. Jedná se o obratiště ryze pro autobusový subsystém, kdy se zde sbíhají a protínají trasy linek 37, 47 a 54, 58, pro které je toto obratiště pouze nácestnou zastávkou, tak jako pro vybrané spoje linky 37. Obratiště je využíváno také spoji linky 75 VLD, které zde vykonávají pouze obrat, přičemž zde zastávku Studentská neobsluhují. Vzhledem k omezeným možnostem Náměstí Republiky slouží toto obratiště k zajištění BP a PJO řidičů linky 37. Omezující skutečností tohoto obratiště je nácestná zastávka směr Studentské koleje, kterou autobusy dotčených spojů obsluhují závlekm přes toto obratiště. To snižuje disponibilní kapacitu tohoto obratiště, kde by bylo možné odstavit až 2 autobusy bok po boku.

### 5.1.7 Přítomnost liniové infrastruktury

Kromě obratiště náměstí Republiky je část trasy souběžně vedena s trolejbusovými tratěmi. Jedná se cca o 3,2 km dlouhý úsek, kdy podstatnou část tohoto úseku tvoří trať trolejbusové linky 102. Schéma této situace zobrazuje obrázek 29.



Obrázek 29 Autobusové linka 37 a liniová infrastruktura. Zdroj: autor s využitím mapového podkladu (51)

### 5.1.8 Shrnutí vstupních dat pro elektrifikaci autobusové linky 37

Pro navrhovaná řešení budou z charakteristiky autobusové linky 37 využita klíčová data, mezi něž lze zařadit parametry trasy, kde je významná délka nejdelšího obratu. V podmínkách této diplomové práce lze jen na vědomí vzít skutečnost, jaký vliv na spotřebu má reliéf této linky. Dalo by se však říct, že nejdůležitější jsou průměrné hodnoty km proběhů celodenních oběhů, které definují množinu potenciálních řešení, jakým způsobem elektrifikovat tuto autobusovou linku.

S ohledem na kapacitu obratišť, i přes příznivé možnosti využití liniové infrastruktury, lze umístit případnou nabíjecí infrastrukturu jedině v prostorách obratiště Studentská.

Mimo to je nezbytné zohlednit rozsah spojů a podobu JŘ, aby vlivem elektrifikace nedošlo k případnému zhoršení kvality nabízené dopravní služby či naopak k zásadnímu navýšení dopravních výkonů nad rámec požadavků objednatele.

Výstupní data pro uvažovaný systém elektrobusů jsou předmětem tabulky 20, které budou základem pro každou dílčí variantu. Tyto požadavky autor považuje za stěžejní vzešlých jednak z charakteristiky linky 37, tak současně i z předchozích kapitol této práce, zejména pak simulačního modelu v kapitole 3. V rámci každé varianty se pak mohou objevit další konkrétnější požadavky např. na samotná vozidla.

Tabulka 20 Zadávací požadavky na elektrifikaci linky 37.

ZADÁVACÍ POŽADAVKY NA ELEKTRIFIKACI LINKY 37			
POŽADAVKY NA VOZIDLA		POŽADAVKY NA INFRASTRUKTURU A PROVOZ	
Minimální dojezd na 1 nabití	30 km	Lokace případné infrastruktury	Poruba, Studentská
Způsobilost vykonat denní km proběh	až 360 km	Zabezpečit špičkový interval	10 min
		Zabezpečit sedlový interval	20 min
Připouští se nezávislé naftové topení		Kompatibilní napříč různými výrobci vozidel	
		Předpokládaná denní výpravnost 1)	10 vozidel
		Počet záložních vozidel 1) + 10 %	1

Zdroj: autor

## 5.2 Varianta A – systém Oppcharge

První variantou uvažované elektrifikace autobusové linky 37 je ta s využitím elektrobusů s oportunním nabíjením systému Oppcharge. Toto řešení lze zvažovat právě proto, že průměrné kilometrické proběhy celodenních oběhů dosahují hodnot až 360 km/den. Elektrobusy umožňující takový dojezd na 1 nabití prokazatelně na trhu ještě nejsou a pokud ano, jejich přepravní kapacita je snížena ve prospěch elektrické kapacity, potažmo hmotnosti vozidla jako celku.

### 5.2.1 Požadavky na vozidla

Na základě zadávacích požadavků lze klást konkrétní požadavky na vozidla pro tento koncept provozování elektrobusů. Díky tomu byla určena uvažovaná minimální elektrická kapacita baterií, jež nesmí být nižší než 90 kWh. Dále maximální předpokládaný počet nabíjení během jednoho dne, od čehož se odvíjí i maximální počet cyklů během 1 roku, kdy je uvažováno, že by vozidla měla být v provozu až 29 dní v každém měsíci. Jedná se o maximální hodnotu, neboť v praxi může docházet ke zvýšení správkového procenta např. vlivem oprav následků dopravních nehod. Přehled zadávacích požadavků, z nichž vyplývají požadavky na vozidla, je předmětem tabulky 21. Připouští se také přítomnost nezávislého naftového topení, neboť s elektrickým vytápěním by v době topné



sezóny a extrémních mrazů hrozilo, že by na úkor dojezdu musel být upozaděn teplotní komfort cestujících. Díky tomu tato varianta nebude 100 % lokálně bezemisní variantou.

Tabulka 21 Varianta A – požadavky na vozidla.

ZADÁVACÍ POŽADAVKY			POŽADAVKY NA VOZIDLA			
PARAMETR		HODNOTA	PARAMETR		HODNOTA	STANOVENO DLE
Minimální dojezd na 1 nabití	1)	30 km	Předpokládaná spotřeba při 1)	3)	63 kWh	1) * A)
Způsobilost vykonat denní km proběh	2)	až 360 km	Maximální počet nabíjení/den	4)	12x/den	2) / 1)
Připouští se nezávislé naftové topení			Min.kapacita baterie s ohledem na B)		90 kWh	(100 * 3) / B)
OBECEŇ UVAŽOVANÉ HODNOTY			Maximální počet cyklů/den	5)	8,4 cyklů	4) x B)
Mediánová spotřeba	A)	2,1 kWh/km	Maximální počet cyklů/měsíc	6)	243,6 cyklů	5) * C)
Max. DOD (tj. hloubka vybití)	B)	70%	Maximální počet cyklů/rok		2923,2 cyklů	6) * 12
Počet provozních dnů vozidla za měsíc	C)	29 dní				

Zdroj: autor

## 5.2.2 Požadavky na infrastrukturu

S přihlédnutím k zadávacím podmínkám z tabulky 33 lze nabíjecí infrastrukturu situovat pouze do prostoru obřatiště Studentská. Za předpokladu nabíjení po každém obratu a s ohledem na intervaly linky, lze očekávat, že teoreticky bude nezbytné nabít 6 elektrobusů za 1 hodinu, což s ohledem na výstupy simulace v kapitole 3 znamená, že pro zajištění 10minutového intervalu nebude 1 nabíjecí stanice dostačující, přičemž jiná opatření s ohledem na následující část textu nelze uvažovat. Oproti obecné simulaci, kde se kalkulovalo s linkou o délce obratu 25 km, má nejdelší obrat linky 37 29,9 km, tudíž tomu bude odpovídat i doba nabíjení. Na druhou stranu by část takových dob nabíjení mohla být sloučena např. s nerozdělenými PJO. Každopádně benefitem pořízení více nabíjecích stanic by výhledově mohla být alespoň částečné elektrifikace dalších autobusových linek ze Studentské.

Lze předpokládat, že 2 nabíjecí stanice by pro linku 37 mohly být dostačující. Počet požadavků na nabíjení elektrobusů by se tímto snížil ze 6 na 3 vozy/hodinu, kdy by vytížení nabíjecích stanic bylo rovnoměrné. V prostředí simulace by byl takový provoz simulován jako pro interval 20 minut (na každou nabíjecí stanici). Ověření funkčnosti takového řešení bude předmětem simulace I. Přestože nabíjecí infrastruktura umožňuje poskytovat výkon až 450 kW, autor bude vzhledem ke zkušenostem z provozu kalkulovat s nabíjecím výkonem 300 kW, který lze variantně v reálném provozu měnit.

## 5.2.3 Simulace I – ověření nastavených parametrů

Cílem simulace I je ověřit funkčnost navrhovaného systému s využitím zadávacích požadavků, požadavků na vozidla a také navrhovaného počtu nabíjecích stanic. Pro účely simulace byla zajištěna konkrétní data o zpoždění z linky 37 pro PD, aby výstupy co nejvíce odpovídaly reálnému

provozu. Na první pohled vykazují rozdělení pravděpodobností zpoždění linky 37 větší poměr méně zpožděných spojů, které ukazuje tabulka 22.

Tabulka 22 Rozdělení pravděpodobností zpoždění pro autobusovou linku 37 v PD.

Autobusová linka 37 - pracovní dny		
Zpoždění (min)	Pravděpodobnost	Suma Pst.
0	51,701%	51,701%
1	28,301%	80,002%
2	12,471%	92,473%
3	3,664%	96,137%
4	1,987%	98,124%
5	0,958%	99,082%
6	0,525%	99,607%
7	0,325%	99,932%
8	0,045%	99,977%
9	0,019%	99,996%
10	0,004%	100,000%

Zdroj: autor s využitím (4)

Přehled stanovených proměnných využitých pro simulaci je v tabulce 23, kdy parametry nabíjecí stanice vychází z dat a zkušeností DPO, přičemž obrátové doby byly 10-22 min.

Tabulka 23 Varianta A – proměnné pro ověření nastavených parametrů.

Počáteční čas simulace	<b>5:00</b>
Interval (min)	20
Obrátová doba (min)	22
Manip. čas příjezd (min)	1
Manip. čas odjezd (min)	1
Kapacita baterie (kWh)	90
Min. úroveň nabití	100%
Délka obrátu linky (km)	29,910
Medián spotřeby bez klím (kWh)	2,100
Medián spotřeby s klím (kWh)	2,100
Jízdní doba tam (min)	31
Jízdní doba zpět (min)	33
Počet oběhů	5
Nabíjecí výkon (kW)	300
Balancovací výkon (kW)	120
Hranice balancování	90%

Zdroj: autor

Výstupem je distribuční funkce spolehlivosti daného řešení při nastavených parametrech, která je součástí obrázku 30 v podkapitole 5.2.5. Na základě míry spolehlivosti lze počet nabíjecích stanic prohlásit za dostatečný a zabezpečující provozuschopnost takového systému. Konečný tvar a hodnoty této distribuční funkce ovlivní konkrétní typ vozidel, který může mít větší elektrickou kapacitu, což se příznivě projeví na zkrácení doby nabíjení, pakliže bude obrátová doba a min. požadovaná kapacita baterií po nabíjení nastavena tak, aby mohlo probíhat jejich balancování. Hodnoty distribuční funkce při min. úrovni kapacity po nabíjení 100 %, kdy při hodnotách

obratových dob 21 a 22 minut lze považovat systém za spolehlivý. Samotná průměrná doba nabíjení do plné kapacity odpovídala 16 minutám. Tyto hodnoty ukazuje tabulka 24.

Tabulka 24 Varianta A – hodnoty distribuční funkce při zadaných podmínkách.

Obratová doba (min)												
Spolehlivost (%)												
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	48%	90%	96%	97%	99%

Zdroj: autor

Mimo to v průběhu simulace nedocházelo k překročení DOD (tj. hloubky vybití) baterií o více než 70 %, což bylo taktéž předmětem ověřovací simulace. Pakliže by k jejímu překročení docházelo, bylo by nutné zvýšit minimální požadovanou kapacitu baterií či kalkulovat s menší spotřebou.

#### 5.2.4 Výběr dodavatele vozidel

S využitím výčtu vozidel v tabulce 5 v podkapitole 1.5 jsou porovnávány produkty výrobců vozidel, kteří ve své nabídce mají také elektrobuses pro systém Oppcharge. Pro potřeby této práce autor vybírá vozidla podle vybraných technických parametrů, ačkoliv si uvědomuje, že v praxi by pořízení takových nemuselo být možné. Na základě toho je žádoucí stanovit množinu minimálních požadavků, tak jak popisuje kapitola 5.1.8, které se mohou stát vstupy do předmětného výběrového řízení, kdy jsou hodnoceny pouze vybrané technické parametry, které jsou klíčové pro práci dopravních technologů. Spíše roli informativní charakteru mají ceny vozidel, které budou mít význam během porovnávání jednotlivých variant. Autor dodává, že skutečné hodnoty pro výběrové řízení podléhají větší úrovni šetření a projednávání, nicméně rolí diplomové práce je najít pouze základní doporučení hodnot technických parametrů z dostupných informací na trhu. Konkrétní formulace podmínek zadávacích dokumentací je nad rámec problematiky této práce.

Technické parametry potenciálně vhodných vozidel sumarizuje tabulka 25. Autor dodává, že množina potenciálně vhodných vozidel zjednodušeně reflektuje předpoklady pro co nejdelší životnost baterií, načež byly posuzovány pouze elektrobuses s LTO bateriemi. V otázce nezávislého naftového topení je u obou výrobců vozidel kalkulována varianta s jeho přítomností.

Tabulka 25 Varianta A – analýza parametrů vozide..

VÝBĚR VOZIDEL - ANALÝZA PARAMETRŮ VOZIDEL						
Typ vozidla	Typ baterie	Počet cyklů	Kapacita baterie (kWh)	Dojezd dle mediánu spotřeby (km)	Dojezd při max DOD 70 % (km)	Cena (mil. CZK bez DPH + rok)
Solaris Urbino 12 IV Electric	LTO	25 000-39 000	91,4	43,52	30,47	10,98 (2020)
IVECO Eway 12 M	LTO	25 000-39 000	88	41,90	29,33	12,17 (2022)

Zdroj: autor

Při posuzování technických parametrů došlo k jejich porovnání se zadávacími podmínkami. Tyto podmínky nespĺňuje IVECO, které nedisponuje dostatečnou kapacitou baterií viz tabulka 26. Podmínky splnil pouze Solaris,, který proto bude uvažovaným vozidlem.

Tabulka 26 Varianta A – Posouzení elektrické kapacity vozidel.

VÝBĚR VOZIDEL - POROVNÁNÍ SE ZADÁVACÍMI PARAMETRY						
Typ vozidla	Požadovaný min dojezd	Min požadovaná kapacita (kWh)	Kapacita baterie (kWh)	Dojezd dle mediánu spotřeby (km)	Dojezd při max DOD 70 % (km)	Cena (mil. CZK bez DPH + rok)
Solaris Urbino 12 IV Electric	30 KM	90 kWh	91,4	43,52	30,47	10,98 (2020)
IVECO Eway 12 M			88 < nevyhovuje	41,90	29,33 < nevyhovuje	12,17 (2022)

Zdroj: autor

Autor konstatuje, že v tomto segmentu figuruje více výrobců elektrobusů, kteří nabízejí i též typy vozidel, ale s jinou konfigurací baterií. Posuzovány byla taková vozidla, u nichž se podařilo získat potřebná data. Současně autor přiznává, že pokud by byla uvažována nižší mediánová spotřeba, elektrobusy společnosti IVECO by taktéž splňovaly zadávací podmínky.

### 5.2.5 Simulace II – s parametry zvolených vozidel

Znalost parametrů uvažovaných vozidel je výhodná pro konkretizaci výstupů simulace pro finální návrh JŘ a tvorbu oběhů vozidel, neboť pro ty je klíčová optimální obratová doba. Tabulka proměnných pro simulaci ukazuje tabulka 27, kde s přihlédnutím ke kapacitě baterií mohlo dojít ke snížení minimální úrovně nabití na 99 %, což snížilo průměrnou dobu nabíjení do této kapacity ze 16 na 15 minut.

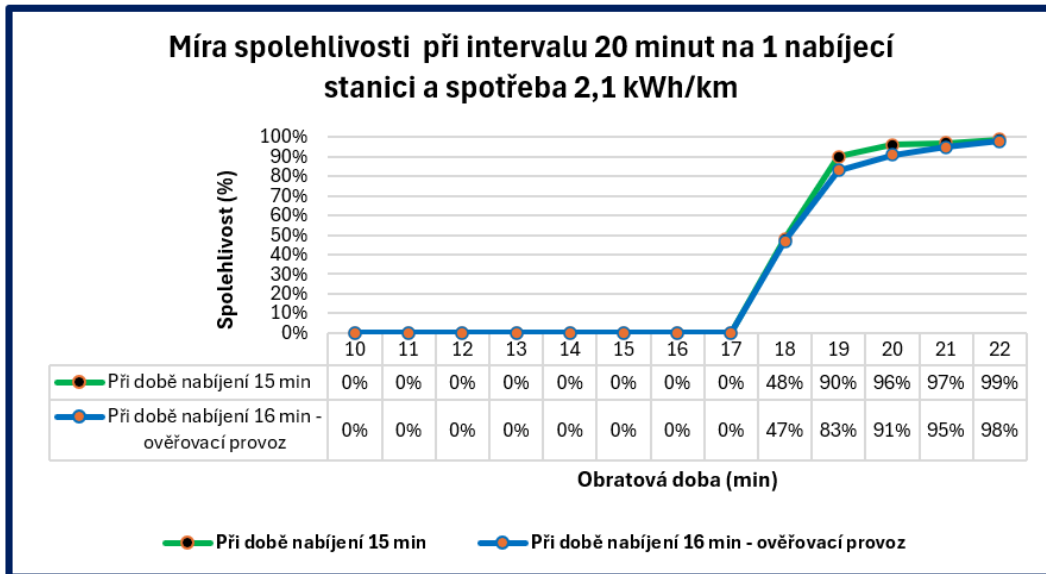
Tabulka 27 Proměnné simulace pro systém Oppcharge

Počáteční čas simulace	<b>5:00</b>
Interval (min)	20
Obratová doba (min)	21
Manip. čas příjezd (min)	1
Manip. čas odjezd (min)	1
Kapacita baterie (kWh)	91,4
Min. úroveň nabití	99%
Délka obratu linky (km)	29,910
Medián spotřeby bez klim (kWh)	2,100
Medián spotřeby s klim (kWh)	2,100
Jízdní doba tam (min)	31
Jízdní doba zpět (min)	33
Počet oběhů	5
Nabíjecí výkon (kW)	300
Balancovací výkon (kW)	120
Hranice balancování	90%

Zdroj: autor

Stěžejním podkladem pro návrh JŘ je distribuční funkce spolehlivosti, která vychází z její definice v podkapitole 3.2.3. Graf této distribuční funkce je na obrázku 30 nabízející porovnání s distribuční funkcí spolehlivosti z ověřovací simulace, Ověřovací míra spolehlivosti vykazuje spolehlivosti nad

95 % od obratových dob 21 minut, zatímco míra spolehlivosti s parametry elektrobusů Solaris nabývá této spolehlivosti od obratové doby 20 minut. se kterou bude navrhovaný JŘ kalkulovat.



Obrázek 30 Varianta A – míra spolehlivosti v porovnání s ověřovacím provozem. Zdroj: autor

### 5.2.6 Návrh JŘ a oběhů vozidel

Významným výstupem varianty A je navrhovaný JŘ a současně oběhy vozidel, pro jehož sestavení byl primárním zdrojem dat JŘ autobusové linky 37 v tabulce 17 s cílem zachovat v maximální možné míře podobu tohoto JŘ, aby nedošlo k narušení integrity s dalšími linkami MHD. Tyto linky jsou mimo šetřenou sféru této práce, nicméně autor si klade za cíl, aby v případě potenciální aplikace do reálného provozu došlo pouze k úpravám spojů z/do garáží. Dalším důvodem je i to, aby nedošlo k přílišnému (nežádoucího) nárůstu dopravního výkonu nad rámec současného stavu (květen 2024). Dále návrh JŘ zohledňuje výstupy simulace vzhledem k uvažovaným vozidlům, lokaci infrastruktury a legislativu týkající se práce zaměstnanců v dopravě.

- **Návrh JŘ a oběhů vozidel pro pracovní dny**

Tento návrh ukazuje tabulka 28, kde oproti skutečnému jízdnímu řádu linky 37 došlo pouze ke 2 zásadním změnám. Došlo k uspořádání spoje z konečné zastávky Studentská ze 4:24 na 4:20 a spoje v opačném směru z 5:34 na 5:29.

Tabulka 28 Varianta A – návrh oběhů vozidel a JŘ pro pracovní dny.

<b>37</b>		<b>NÁMĚSTÍ REPUBLIKY &lt;-&gt; PORUBA, STUDENTSKÁ &lt;-&gt; Poruba, St. kolejje</b>												
<b>VARIANTA A - NÁVRH PRO PRACOVNÍ DNY</b>														
NÁMĚSTÍ REPUBLIKY > Poruba, Studentská						PORUBA, STUDENTSKÁ > Náměstí Republiky								
3						37/1 P	26 M							
4	14	34	54			37/2 H	20	54						
5	9	29	54			37/3 P	13	33	52	58 R				
6	2 N	14	22 N	24	34	44	54	37/4 P	2	12	22	32	42	52
7	4	14	24	34	44	54		37/5 H	2	12	22	32	42	52
8	4	14	24	34	44	54		37/6 P	2	12	22	32	42	
9	4	25	45					37/7 P	6	16 M	26	46		
10	5	25	45					37/8 H	6	26	46			
11	5	25	45					37/9 H	6	26	46			
12	5	25	45					37/10 P	6	26	46			
13	5	25	33 N	44	54				6	22	32	42	52	
14	4	14	24	34	44	54			2	12	22	32	42	52
15	4	14	24	34	44	54			2	12	22	32	42	52
16	4	14	24	34	44	54			2	12	22	32	42	52
17	4	14	24	34	44	54			2	12	22	32	45	
18	4	22	42						5	15 M	25	45		
19	2	22	42						6	26	46			
20	5	25	45						2 ad	22 ad	42 ad			
21	5	25	45 SK						2 ad	22 ad	42 Kad			
22	5 SK	25 SK	42 SK						2 Kad	23 Kd				
23									33 M					
24														
0	9 N													
POZNAMKY						M - Studentská - Svinov, mosty								
N - Svinov, nádraží - Studentská						K - St. kolejje - Náměstí Republiky								
SK - pokračuje směr St. kolejje						R - Svinov, nádraží - Nám. Republiky								
						a - přípoj linky 54 d - přípoj linky 48 na zastávce Svinov, mosty								

Zdroj: autor

Dále proběhlo doplnění spojů pro výjezdy a zátahy vozidel z garáží Poruba/Hranečnick z důvodu zajištění řádných obratových dob na Studentské a současně s tím, že v reálném provozu je linka 37 provozně propojená s dalšími linkami, na kterých nelze uvažovat provoz elektrobuse vzhledem k této variantě. To se v praxi projevuje tím, že některé špičkové oběhy mají přejezdy z/na jiné linky a večer, kdy poslední spoje ze Studentské pokračují do garáží Hranečnick jako linka 48 nebo 54. V současném provozu obratová doba na Studentské odpovídá ve špičkách 17 minutám a v sedlech 30-40 minutám. Při zohlednění výstupů simulace na doporučené minimální obratové doby, bylo zapotřebí ve špičkách pracovních dnů nasazovat 1 oběh navíc. Celkem v navrhované verzi zabezpečuje výpravnost 10 elektrobuse.

- **Návrh JŘ a oběhů vozidel pro soboty a neděle**

JŘ pro soboty je předmětem přílohy G, kdy počet vypravovaných vozidel dnes a v návrhu zůstal zachován, navíc se zachováním současných časových poloh spojů. JŘ pro neděle reflektuje prodloužené spoje na Studentské kolejje.

Přehled dopravních výkonů jednotlivých oběhů zaznamenává tabulka 29, kde přídomek „H“ značí příslušnost ke garážím Hranečnick a „P“ k Porubě. K zamyšlení je oběh 37/10, který denně vykazuje pouze 109 vozokm. Právě u tohoto oběhu autor nevyklučuje nasazení autobusů se spalovacím motorem vzhledem k pořizovacím cenám vozidel a také dotačním podmínkám, které často stanovují i minimální km proběhy za určité období. Do budoucna nelze také vyloučit provozní propojenost tohoto oběhu s jinou linkou.

Tabulka 29 Varianta A – dopravní výkony linky 37.

Dopravní výkony (vozkm)			
Oběh	PD	Sobota	Neděle
37/1 P	288,914	317,747	322,059
37/2 H (SoNe - P)	317,657	317,747	322,059
37/3 P (SoNe - H)	317,747	339,764	344,076
37/4 P (SoNe - H)	295,097	317,657	322,553
37/5 H	339,764	310,437	314,749
37/6 P	144,165	0,000	0,000
37/7 P	172,998	0,000	0,000
37/8 H	157,920	0,000	0,000
37/9 H	128,512	0,000	0,000
37/10 P	109,313	0,000	0,000
CELKEM	2272,09	1603,35	1625,50
CELKEM/MĚSÍC		62 901,37	
CELKEM/ROK		754 815,44	

Zdroj: autor

### 5.2.7 Nabíjecí plán elektrobuseů

S ohledem na to, že obratiště Studentská by disponovalo 2 nabíjecími stanicemi, je zapotřebí sestavit také nabíjecí plán. V případě mimořádné události, např. porucha jedné z nabíjecích stanic, by bylo nabíjecímu plánu nadřazené dispečerské řízení.

Nabíjecí plán pro část dne zobrazuje tabulka 30. Jedná se o ranní špičku společně s částí dopoledního sedla v rámci PD.. Tento plán přiřazuje oběhy vozidel k nabíjecí stanici A, nebo B, kdy jsou pro všechny oběhy vyhrazené časy na nabíjení. Algoritmus nabíjení je tentýž, jako v případě samotné simulace, která právě využívá principu nabíjecího plánu. Volné časové rezervy představují rozdíl mezi obratovou dobou a dobou nabíjení, která je 15 minut. U výjezdových/zátahových spojů jsou doby nabíjení kratší s ohledem na nižší DOD při příjezdu na Studentskou, případně při pokračování do garáží není zapotřebí nabíjet do min. úrovně kapacity. Díky tomu je na těchto spojích obratová i nabíjecí doba kratší



Tabulka 30 Varianta A – nabíjecí plán pro systém Oppcharge.

NABÍJECÍ STANICE A		NABÍJECÍ PLÁN OBRAŤIŠTĚ PORUBA, STUDENTSKÁ															
zastávka	oběh >	3703	3707	3702	3708	3707	3706	3709	3702	3703	3701	3704	3709	3702	3703	3704	3702
Poruba, Studentská	příjezd	4:05	4:39	5:05	5:40	6:00	6:30	6:35	6:45	7:05	7:25	7:45	8:05	8:25	8:45	9:25	10:16
NABÍJENÍ OD > DO		4:05	4:39	5:05	5:40	6:00	6:30	6:37	6:47	7:05	7:25	7:45	8:05	8:25	8:45	9:25	10:16
		4:12	4:46	5:20	5:55	6:15	6:37	6:47	7:02	7:20	7:40	8:00	8:20	8:40	9:00	9:40	10:31
Poruba, Studentská	odjezd	4:20	4:54	5:33	6:02	6:22	6:42	6:52	7:12	7:32	7:52	8:12	8:32	9:06	9:26	10:06	10:46
zastávka	oběh >	3703	3707	3702	3708	3707	3706	3709	3702	3703	3701	3704	3709	3702	3703	3704	3702
Obratová doba (min)		0:15	0:15	0:28	0:22	0:22	0:12	0:17	0:27	0:27	0:27	0:27	0:27	0:41	0:41	0:41	0:30
Rezerva volná (min)	výjezd	výjezd	výjezd	0:13	0:07	0:07	výjezd	výjezd	0:12	0:12	0:12	0:12	0:12	0:26	0:26	0:26	0:15
NABÍJECÍ STANICE B																	
zastávka	oběh >	3705	3703	3701	3704	3705	3710	3708	3707	3706	3705	3710	3708	3701	3705	3703	3704
Poruba, Studentská	příjezd	4:43	5:25	5:55	6:15	6:25	6:55	7:15	7:35	7:55	8:15	8:35	8:55	9:05	9:56	10:36	11:16
NABÍJENÍ OD > DO		4:43	5:25	5:55	6:15	6:30	6:55	7:15	7:35	7:55	8:15	8:35	8:55	9:10	9:56	10:36	11:16
		4:43	5:25	6:10	6:30	6:30	6:55	7:30	7:50	8:10	8:30	8:50	9:10	9:25	10:11	10:51	11:31
Poruba, Studentská	odjezd	5:13	5:52	6:12	6:32	7:02	7:22	7:42	8:02	8:22	8:42	8:52	9:12	9:46	10:26	11:06	11:46
zastávka	oběh >	3705	3703	3701	3704	3705	3710	3708	3707	3706	3705	3710	3708	3701	3705	3703	3704
Obratová doba (min)		0:30	0:27	0:17	0:17	0:37	0:27	0:27	0:27	0:27	0:27	0:17	0:17	0:41	0:30	0:30	0:30
Rezerva volná (min)	výjezd	0:15	0:12	výjezd	0:02	0:22	0:12	0:12	0:12	0:12	0:12	0:12	zátah	zátah	0:26	0:15	0:15

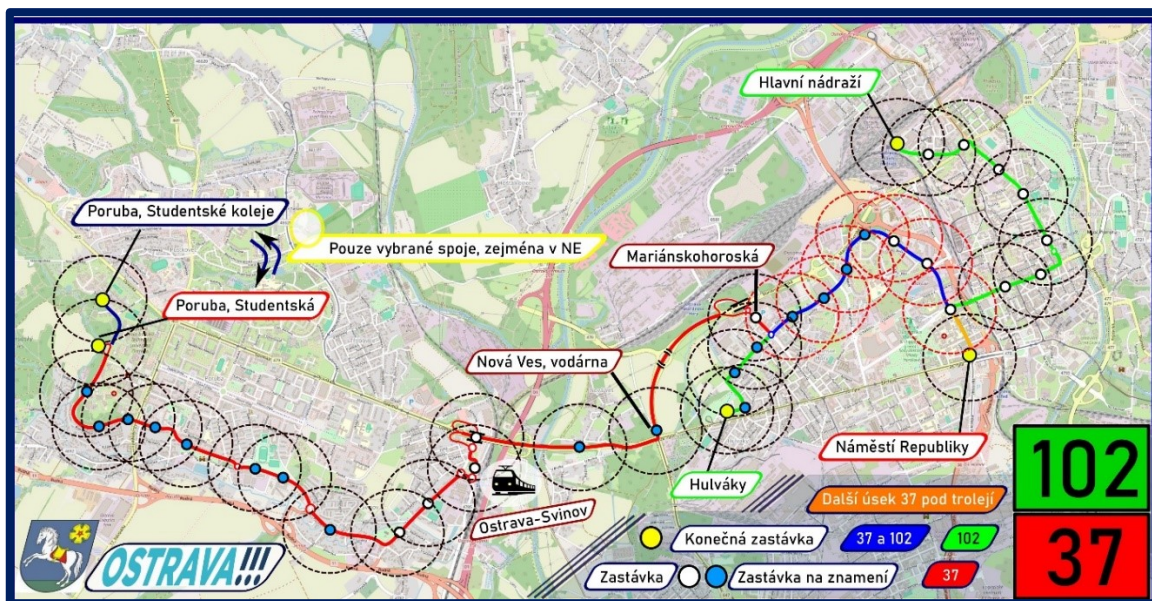
Zdroj: autor

Pro dopravní sedla a dny pracovního klidu by vystačovala 1 nabíjecí stanice, díky čemuž je využití obou nabíjecích stanic při rovnoměrném přiřazování oběhů průměrné, ačkoliv v případě poruchy jedné z nich je možné provoz bez potíží zabezpečit druhou nabíjecí stanicí. Na druhou stranu je také možné snáze plánovat a realizovat údržbové práce, kdy by vzniklá výluka nijak neovlivňovala provoz. s ohledem na skutečnost, že by jinak bylo nezbytné zajistit náhradní autobusovou dopravu.

### 5.3 VARIANTA B

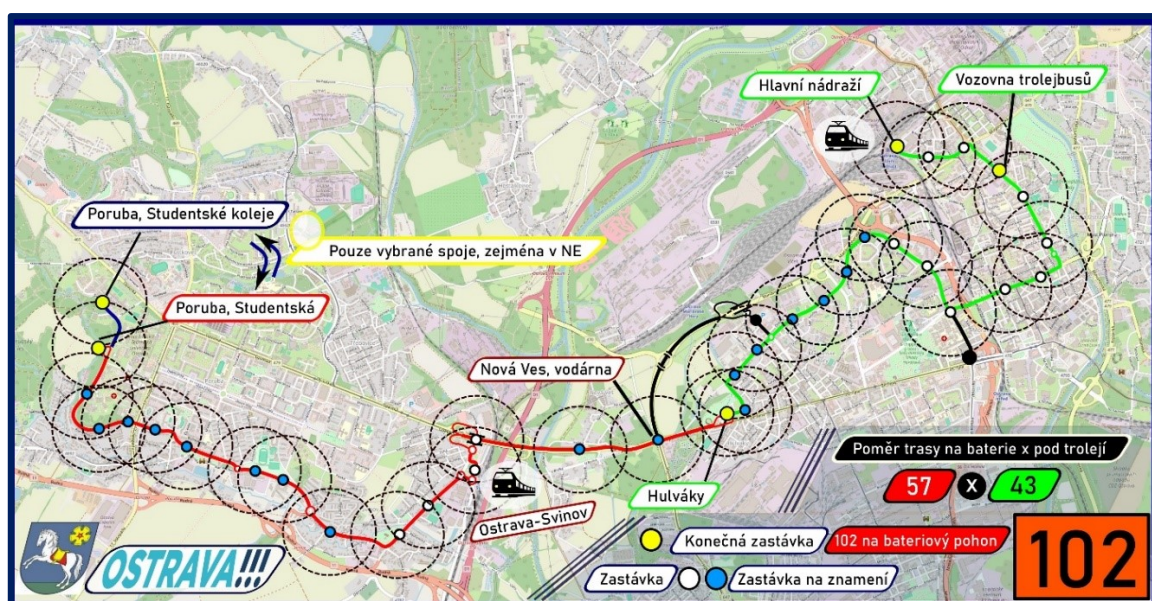
Druhá varianta elektrifikace autobusové linky 37 je s využitím parciálních trolejbusů, kdy na základě charakteristiky této linky lze využít skutečnosti, že autobusová linka 37 sdílí přibližně 3,2 km trasy a trolejbusovou linkou 102. Dále lze využít skutečnost, že část autobusové linky 37 je trasována v úseku zastávek Nové Ves, vodárna – Mariánskohorská mimo osídlená území a navíc bez dalších nácestných zastávek. Schéma těchto linek je na obrázku 31.





Obrázek 31 Schéma autobusové a trolejbusové linky 37. Zdroj: autor s využitím mapového podkladu (51)

Na základě toho autor navrhuje sloučení autobusové linky 37 a trolejbusové linky 102 viz obrázek 32. Linka 102 by byla již na alternativní pohon prodloužena z konečné zastávky Hulváky do zastávky Nová Ves, vodárna, odkud by se opět napojila na stávající trasu linky 37 až do Poruby. Zastávka Mariánskohorská by nově vzniknuvší linkou nebyla dále obsluhována, tak jako Náměstí Republiky. Autor si uvědomuje ztrátu přímého spojení s Náměstím Republiky, která by byla aktuální ve společném úseku dnešních linek 37 a 102. V části téže úseku je jednosměrně provozována rovněž polookružní trolejbusová linka 107, jež by mohla být odkloněna a ukončena na Náměstí Republiky, čímž by došlo ke kompenzaci ztráty tohoto spojení. Jedná se však pouze o sekundární návrh, který není předmětem této varianty.



Obrázek 32 Schéma prodloužené trolejbusové linky 102. Zdroj: autor s využitím mapového podkladu (51)

Tato nová linka by měla poměr trasy mimo trolejové vedení pod trolejí 57:43, což spadá ještě do množiny přípustného provozu parciálních trolejbusů.

### 5.3.1 Požadavky na vozidla

Jelikož představuje tato varianta zásah do jádra linky 37, dochází tak k částečné úpravě zadávacích požadavků i nároků na vozidla, neboť délka trasy na baterie je cca 9,3 km v jednom směru při spojích až na Studentské koleje. Max. denní km proběh představuje nově 60 % z celkového představující pouze tu část s jízdou na baterie. V zadávacích požadavcích se uvádí minimální dojezd pouze pro délku v jednom směru, neboť se připouští i výstavba nabíjecí stopy v obratišti Studentská. Soupis požadavků zobrazuje tabulka 31.

Tabulka 31 Varianta B – požadavky na vozidla.

ZADÁVACÍ POŽADAVKY			POŽADAVKY NA VOZIDLA			
PARAMETR		HODNOTA	PARAMETR		HODNOTA	STANOVENO DLE
Minimální dojezd na 1 nabíjení	1)	10 km	Předpokládaná spotřeba při 1)	3)	21 kWh	1) * A)
Způsobilost vykonat denní km proběh	2)	až 216 km	Maximální počet nabíjení/den	4)	12x/den	2) / 1)
<b>OBEZNĚ UVAŽOVANÉ HODNOTY</b>			Min kapacita baterie s ohledem na B)		30 kWh	(100 * 3) / B)
Mediánová spotřeba	A)	2,1 kWh/km	Maximální počet cyklů/den	5)	8,4 cyklů	4) x B)
Maximální DOD (tj. hloubka vybití)	B)	70 % k	Maximální počet cyklů/měsíc	6)	243,6 cyklů	5) * C)
Počet provozních dnů vozidla za měsíc	C)	29 dní	Maximální počet cyklů/rok		2923,2 cyklů	6) * 12

Zdroj: autor

### 5.3.2 Požadavky na infrastrukturu

Pro případ, kdy by byla nabíjecí infrastruktura nezbytná, je šetřen i dodatek této varianty, kdy by bylo nezbytné vybudovat nabíjecí stopu pro parciální trolejbusy i v obratišti Studentská. Oproti většině elektrobuses může probíhat nabíjení několika parciálních trolejbusů současně v rámci jedné nabíjecí stanice, resp. v tomto případě nabíjecí stopy. Na rozdíl od elektrobuses není problematikou parciálních trolejbusů zpravidla počet nabíjecích stop, nýbrž její délka, od čehož se odvíjí maximální možný počet trolejbusů, které bude v jeden moment potřeba nabíjet. Tuto informaci lze stanovit až po návrhu oběhů a ekonomické analýzy – viz podkapitola 6.2.2., na základě průměrných dob nabíjení a obrátových dobách. Autor nevyklučuje variantu, kdy by došlo k vybudování více separátních nabíjecích stop v těsné blízkosti, nicméně primárně je uvažována jednu spojitá stopu o prozatím neznámé délce. Pakliže existují parciální trolejbusy s dostatečně kapacitními bateriemi umožňující zvládnout 1 obrát jenom s nabíjením z trolejového vedení, nebude v tomto případě nabíjecí infrastruktury zapotřebí.

### 5.3.3 Simulace I – ověření nastavených parametrů

Pro simulaci parciálních trolejbusů bylo zapotřebí fakticky zjednodušit algoritmus základní simulace, neboť kapacita baterie již nemá vazbu na konkrétní oběh. Jelikož se fakticky jedná o simulaci s nabíjecími stanicemi na obou konečných linky, přibyla proměnná – úroveň nabití, trolej, kdy se předpokládá, že trolejbus bude vždy v okamžiku počátku jízdy na baterie disponovat 100 % kapacitou, na což lze spoléhat vzhledem k adekvátně dlouhé (kilometricky i časově) trase pod trolejí. Z tohoto důvodu není zapotřebí dobíjet trolejbusy na nabíjecí stopě do plné kapacity, nýbrž jen do takové míry, aby byly schopné bezpečně dojet zpět k trolejovému vedení. V rámci ověřovací simulace se však počítá tato úroveň do 100 %. Dále je zapotřebí zajistit to, že může probíhat nabíjení více vozidel v rámci jedné nabíjecí stopy, čehož bylo docíleno tak, kdy na 2 listech v prostředí MS Excel proběhla totožná simulace s tím rozdílem, že ta druhá měla o jeden spoj posunutý počátek simulace. Výsledné spolehlivosti pak byly z obou listů zprůměrovány. Pro účely simulace byla zajištěna konkrétní data o zpoždění z linek 37 a 102, přičemž pro potřeby simulace došlo k jejich zprůměrování, jak ukazuje tabulka 32.

Tabulka 32 Varianta B– rozdělení pravděpodobnosti zpoždění pro PD linek 37 a 102.

Zpoždění (min)	Pravděp.	SUM Prav
0	55,926%	55,926%
1	24,501%	80,426%
2	12,786%	93,212%
3	4,382%	97,594%
4	1,419%	99,012%
5	0,501%	99,513%
6	0,275%	99,788%
7	0,170%	99,957%
8	0,029%	99,986%
9	0,012%	99,998%
10	0,003%	100,000%
	100,000%	

Zdroj: autor s využitím (4)

Přehled proměnných je obsahem tabulky 33, kde bude pro nabíjecí stopu uvažován nabíjecí výkon 90 kW při napětí v troleji 600 V (používáno ve spojitém trolejovém vedení v Ostravě) a proudu 150 A.



Tabulka 33 Varianta B– proměnné pro ověření nastavených parametrů.

Počáteční čas simulace	<b>5:00</b>
Interval (min)	20
Obratová doba (min)	22
Manip. čas příjezd (min)	1
Manip. čas odjezd (min)	1
Kapacita baterie (kWh)	30
Úroveň nabití - trolej	100%
Min. úroveň nabití	100%
Délka linky (km)	9,500
Spotřeba bez klim (kWh)	2,100
Spotřeba s klim (kWh)	2,100
Jízdní doba tam (min)	21
Jízdní doba zpět (min)	22
Počet oběhů	4
Nabíjecí výkon (kW)	90
Balancovací výkon (kW)	90
Hranice balancování	90%

Zdroj: autor

Distribuční funkce spolehlivosti daného ověřovací fáze je při nastavených parametrech na obrázku 33 v oddílu 5.3.6, kdy při hodnotách obratových dob od 19 minut lze považovat systém za spolehlivý. V průběhu simulace nedocházelo k překročení DOD o více než 70 %, tudíž jsou parametry vhodně stanovené.

### 5.3.4 Výběr dodavatele vozidel

Obdobně jako v případě varianty A, je výběr vozidel zjednodušený a v realitě by k takové volbě dojít nemuselo. Vzhledem k omezenému trhu jsou uvažovány i trolejbusy, u nichž jsou využívány NMC baterie, které by se s ohledem na nízký počet cyklů mohly jevit jako nepraktické. Obě posuzovaná vozidla splňují zadávací podmínky, a tak bylo nezbytné rozhodnout o výběru vozidel přes analýzu cyklické životnosti. Přestože by u trolejbusu TNS 12 Cegelec bylo možné ujet tuto trasu bez nabíjení na Studentské, což se jeví jako výhoda v úspoře nákladů za infrastrukturu, při analýze odhadované cyklické životnosti se ukázalo, že finanční úspora by byla marginální ve vztahu k nákladům za výměnu baterií za celou životnost vozidla, a to i přesto, že by se toto vozidlo nabíjelo méněkrát denně než 32 Tr. Trolejbus TNS 12 Cegelec by byl vhodný tam, kde by byla daleko kratší trasa. Na základě této analýzy autor dospěl k závěru, že pro potřeby této varianty budou adekvátní trolejbusy 32 Tr. Detaily této analýzy ukazuje tabulka 34.

Tabulka 34 Varianta B– analýza výběru vozidel.

ANALÝZA PARAMETRŮ VOZIDEL						
Typ vozidla	Typ baterie	Počet cyklů	Kapacita baterie (kWh)	Dojezd dle mediánu spotřeby (km)	Dojezd při max DOD 70 % (km)	Cena (mil. CZK + rok)
Škoda 32 Tr SOR	LTO	25 000	41,2	19,62	13,73	14,60 (2023)
SOR TNS 12 Cegelec	NMC	3 000	77	36,67	25,67	11,90 (2021)
POSOUZENÍ ELEKTRICKÉ KAPACITY						
Typ vozidla	Požadovaný min dojezd	Min požadovaná kapacita	Kapacita baterie (kWh)	Dojezd při max DOD 70 % (km)	Dojezd po výkonu na 1 spoji (km)	Nabíjení v obratišti Studentská
Škoda 32 Tr SOR	10 Km	30 kWh	41,2	13,73	4,23	Nezbytné
SOR TNS 12 Cegelec			77	25,67	16,17	Není zapotřebí
ANALÝZA CYKlickÉ ŽIVOTNOSTI						
Typ vozidla	DOD po výkonu na 1 spoji (%)	DOD po 1 obratu (%)	Požadovaný max denní km proběh	Max předpokládaný počet nabíjení/den	Max předpokládaný počet cyklů/den	Max předpokládaný počet cyklů/rok
Škoda 32 Tr SOR	48%	97%	až 216 km	22	11,52	3 848,06
SOR TNS 12 Cegelec	26%	52%		11	5,32	1 850,28
EKONOMICKÁ ANALÝZA CYKlickÉ ŽIVOTNOSTI						
Typ vozidla	Max předpokládaný počet cyklů/rok	Max předpokládaný počet cyklů/12 let	Očekávaný počet výměn baterií	Cena za 1 výměnu baterií (CZK)	Celková cena za výměnu baterií (CZK)	Finální statut
Škoda 32 Tr SOR	3 848,06	46 152,72	1	1 949 048	1 949 048	VYBRÁN
SOR TNS 12 Cegelec	1 850,28	22 203,36	7	1 723 876	12 758 613	NEVYBRÁN

Zdroj: autor

Autor dodává, že uvažovaná analýza počtu cyklů odpovídá maximálnímu možnému nasazení při minimálním správkovém % vozů. Navíc by v provozu zcela jistě docházelo k vypravování vozidel i na méně náročné linky, tudíž se jedná spíše o scénář při extrémních podmínkách. Při výpočtu pro LTO baterii byla uvažovaná spodní hranice cyklů z intervalu 25 000-39 000 cyklů. V každém případě u trolejbusu Škoda 32 Tr by i tak pravděpodobně došlo k výměně baterií.

### 5.3.5 Simulace II – s parametry zvolených vozidel

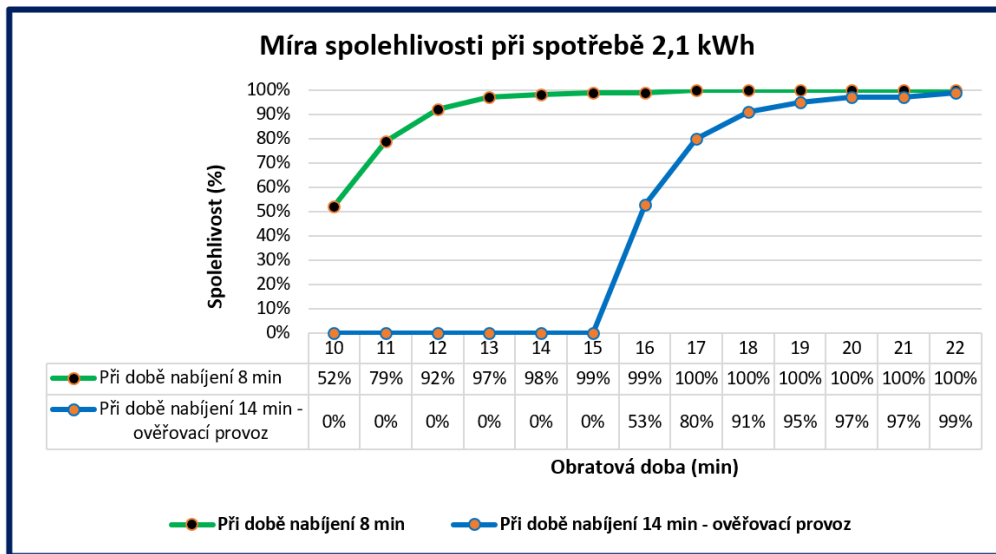
V zájmu optimalizace průměrné doby nabíjení došlo k jejímu snížení ze 14 na 8 minut, kdyby bylo využito nabíjení jen do nezbytně nutné kapacity. Proměnné ukazuje tabulka 35.

Tabulka 35 Varianta B – proměnné s parametry parciálních trolejbusů.

Počáteční čas simulace	<b>5:00</b>
Interval (min)	20
Obratová doba (min)	21
Manip. čas příjezd (min)	1
Manip. čas odjezd (min)	1
Kapacita baterie (kWh)	41,2
Úroveň nabití - trolej	100%
Min. úroveň nabití	80%
Délka linky (km)	9,500
Spotřeba bez klim (kWh)	2,100
Spotřeba s klim (kWh)	2,100
Jízdní doba tam (min)	21
Jízdní doba zpět (min)	22
Počet oběhů	4
Nabíjecí výkon (kW)	90
Balancovací výkon (kW)	90
Hranice balancování	90%

Zdroj: autor

Očekávaná míra spolehlivosti pro uvažovaný provoz parciálních trolejbusů, kdy se v návrhu oběhů bude uvažovat obrátová doba min 13 minut. Obrázek 33 porovnává výstupy ověřovací simulace s výstupy s daty trolejbusů Škoda 32 Tr.



Obrázek 33 Varianta A – míra spolehlivosti v porovnání s ověřovacím provozem. Zdroj: autor

### 5.3.6 Návrh JŘ a oběhů vozidel

Vzhledem ke skutečnosti, že se jedná o sloučení 2 linek, nebylo zcela možné zachovat původní časové polohy spojů v obou směrech – zejména v pracovní dny. V ranních a večerních hodinách a ve dnech pracovní klidu byla snaha zachovat maximum přípojů mezi trolejbusovými linkami, aby nedošlo k narušení přestupních vazeb. V pracovní dny bylo přijato opatření v podobě posílení provozu v době dopravního sedla, tak jako mírné navýšení spojů z centra ke svinovskému nádraží. Tato nová linka by rovněž optimalizovala také počty vypravovaných vozidel a řidičů, neboť by pro její výpravnost bylo zapotřebí 12 oběhů ve špičkách PD, 9 oběhů v dopravních sedlech a 6 oběhů o sobotách a nedělích. Jízdní řád pro PD společně s oběhy vozidel je součástí tabulky 36.

Spoje ve 4:37 a 22:22 autor navrhuje zabezpečovat autobusy v rámci jejich výjezdových a záťahových tras, neboť vozovna trolejbusů nemá příliš strategické umístění, aby byly zajišťovány brzké ranní a pozdně večerní spoje z/do Poruby při zachování počtu spojů v těchto hodinách.

Tabulka 36 Varianta B – návrh jízdního řádu a oběhů vozidel pro pracovní dny.

102		HLAVNÍ NÁDRAŽÍ ↔ PORUBA, STUDENTSKÁ ↔ Poruba, St. koleje											
		VARIANTA B - NÁVRH PRO PRACOVNÍ DNY											
HLAVNÍ NÁDRAŽÍ > Hulváky						PORUBA, STUDENTSKÁ > Hlavní nádraží							
3	58 VH					102/1	14						
4	1	15 VH	22	36 V	42 S	56 VN	102/2	18 HS	37 KS	38 HKS	54KS		
5	2 S	16 VN	22 S	34 V	37	47	102/3	14 KS	34 K	48 N	54	58 N	
6	7	17	27	37	47	57	102/4	9	19	29	39	49	59
7	7	17	27	37	47	57	102/5	9	19	29	39	49 V	59
8	10 VN	21	36VN	41	56 VH		102/6	9 V	19	29 V	39	49 V	59
9	1	16 VH	21	36 VH	41	56 VH	102/7	13 HV	26	33 HV	46	53 HV	
10	1	16 VH	21	36 VH	41	56 VH	102/8	6	13 HV	26	33 HV	46	53 HV
11	1	16 VH	21	36 VH	41	56 VH	102/9	6	13 HV	26	33 HV	46	53 HV
12	1	16 V	21	36 VH	41	56 V	102/10	6	13 HV	26	33 H	46	53 H
13	1	16 VH	21	37	47	57	102/11	6	22	39	49	59	
14	7	17	27	37	47	57	102/12	9	19	29	39	49	59
15	7	17	27	37	47	57		9	19	29	39	49	59
16	7	17	27	37	47	57		9	19	29	39 V	49	59 V
17	7	22 VN	24	39 VN	44	59 VN		9	19 V	29	39 V	49	59
18	2	16 VH	22	36 VH	42	52 VH		14	18 NV	34	38 NV	54 K	58 HV
19	2	22	42					14 K	17 HV	25 V	34 K	57 K	
20	2 K	22 K	42 K					17 K	37 K	57 K			
21	2 K	22 KJ	42 KJ					17 K	37 K	57 JK			
22	2 KJ	22 KJ	56					17 J	37 J	57 V			
23													
24													
0													
POZNAMKY		VH - Vozovna trolejbusů - Hulváky						HV - Hulváky - Vozovna trolejbusů					
		VN - Vozovna trolejbusů - Svinov nádraží						NV - Svinov nádraží - Vozovna trolejbusů					
		V - Vozovna trolejbusů - Poruba, Studentsá						V - Poruba, Studentsá - Vozovna trolejbusů					
		J - Hlavní nádraží - Studentké koleje						H - Hulváky - Hlavní nádraží					
								J - Studentké koleje - Hlavní nádraží					
XX		spoj obsluhovaný autobusem						S - přípoj linky 104					
								K - přípoj linky 105 na zastávce Konzervatoř					

Zdroj: autor

- **Návrh JŘ a oběhů vozidel pro soboty a neděle.**

JŘ pro soboty je předmětem přílohy H, kdy se podařilo kompletně zachovat přípoje s trolejbusovými linkami. Na druhou stranu došlo ke ztrátě přestupu cestujících z linek 48 a 54 na linku 37, resp. 102. Přestup na tyto linky z linky 102 se s čekací dobou 5 minut nicméně podařilo zachovat. Nedělní JŘ je prakticky totožný jako sobotní, avšak zahrnuje prodloužené spoje až na Studentské koleje a zpět v plném rozsahu.

Přehled dopravních výkonů jednotlivých oběhů zaznamenává tabulka 37, Celkový měsíční dopravní výkon by činil 65 639 km, přičemž na všech obězích autor uvažuje nasazení parciálních trolejbusů.

Tabulka 37 Varianta B – dopravní výkony.

Dopravní výkony (vozokm)			
Oběh	PD	Sobota	Neděle
102/1	314,099	310,536	314,826
102/2	309,712	310,536	313,826
102/3	276,032	310,536	314,826
102/4	313,211	310,536	314,826
102/5	265,316	343,057	347,347
102/6	244,267	310,536	314,826
102/7	235,890	0,000	0,000
102/8	297,433	0,000	0,000
102/9	224,964	0,000	0,000
102/10	167,487	0,000	0,000
102/11	166,205	0,000	0,000
102/12	168,976	0,000	0,000
CELKEM	2983,59	1895,74	1920,48
CELKEM/MĚSÍC		65 639,02	
CELKEM/ROK		970 846,56	

Zdroj: autor

## 5.4 Varianta C

Předmětem této varianty je nasazení elektrobusů s delším dojezdem na 1 nabití, kdy by nemuselo k nabíjení na některých obězích docházet vůbec, anebo jen několikrát denně např. v rámci PJO a samozřejmě pak mezi dopravními špičkami a v noci autobusových garážích. Dalo by se říct, že principiálně a z hlediska simulace se jednalo o variantu A pouze s rozdílem, že nabíjení elektrobusů nemusí probíhat po každém obratu. Toto je bezpochyby výhodou této skupiny elektrobusů, kdy je možné zcela absentovat nabíjení mezi několika obraty a v podstatě navrhnout oběhy vozidel tak, jako pro autobusy se spalovacím motorem.

### 5.4.1 Požadavky na vozidla

Požadavky na vozidla se fakticky neodlišují od těch ve variantě A. Jak pro elektrobusy Oppcharge, tak i pro tyto elektrobusy jsou množinou zadávacích parametrů údaje v tabulce 21 v podkapitole 5.2.1.

### 5.4.2 Požadavky na infrastrukturu

U této varianty se předpokládá využití dvoupólového nabíjení s výkonem 120 kW. Nabíjení může probíhat prostřednictvím standardizované zásuvky, případně s využitím pantografu na vozidle, který by se připojil např. k nabíjecí stopě trolejbusového typu. V takovém případě by se fakticky jednalo o systém Bus-up. Jako v předchozích variantách, její umístění připadá do obratiště Studentská. V momentální fázi této varianty rovněž není možné určit počet nabíjecích stanic, neboť není znám příslušný typ vozidla. Ačkoliv jsou známy požadavky na vozidla a i infrastrukturu, stanovení počtu nabíjecích stanic se odvíjí od kapacity baterií vozidel, k jejichž výběru dojde v podkapitole 5.4.4. U vozidel s nižší kapacitou bude poměrná doba nabíjení kratší, tudíž i počet



nabíjecích stanic by mohl být menší, zatímco v případě vyšší kapacity budou nároky na kvantitu nabíjecích stanic větší.

### **5.4.3 Simulace I – ověření nastavených parametrů**

Vzhledem k analogii s variantou A proběhla verifikace nastavených zadávacích podmínek již v podkapitole 5.2.3.

### **5.4.4 Výběr dodavatele vozidel**

Tak jako v případě předchozích variant, je výběr vozidel zjednodušený, kdy autor zanedbává posuzování obsaditelností vozidel, neboť především v případě elektrobusů s kapacitními bateriemi může snadno docházet k překročení maximální přípustné hmotnosti 19 t. Uvažovány jsou elektrobusy od čínské společnosti Yutong a české společnosti SOR. Každý elektrobus disponuje jiným typem baterií a rozdíl jejich kapacity je takřka 2násobný. Obě posuzovaná vozidla jsou ve shodě se zadávacími podmínkami, a tak je nezbytné rozhodnout o výběru vozidel přes analýzu cyklické životnosti. V případě Yutongu by bylo zapotřebí nabíjet elektrobus (při DOD 70 %) až 3x denně, zatímco elektrobus SOR až 5x denně, pakliže by došlo k jejich nasazení na oběh s km proběhem cca 360 km.

Z hlediska počtu cyklů vychází lépe LFP baterie, neboť poskytují o 1/3 více cyklů než NMC. To se propisuje také do životnosti baterií při extrémním provozu. Předpokládá se, že by u Yutongu došlo k výměně baterií 2x u elektrobusu SOR až 5x. To je dáno jednak rozdílným typem baterie, tak i jejich kapacitou, kdy logicky u Yutongu bude stát jejich výměna více prostředků vzhledem k vyšší kapacitě.

Z pozice řádného hospodáře by pravděpodobně došlo na základě ceny a nákladů za všechny výměny baterií k výběru elektrobusu SOR za předpokladu, že by se do tohoto řízení nepřihlásil další subjekt. Autor však na základě respektování ekologických principů považuje elektrobus Yutong za vhodnější, a to i přes vyšší pořizovací cenu i náklady na výměnu baterií. Ceny jsou opět pouze rámcové a převážně informativního charakteru. Tabulka 38 zobrazuje danou analýzu.

Tabulka 38 Varianta C - analýza výběru vozidel.

ANALÝZA PARAMETRŮ VOZIDEL						
Typ vozidla	Typ baterie	Počet cyklů	Kapacita baterie (kWh)	Dojezd dle mediánu spotřeby (km)	Dojezd při max DOD 70 % (km)	Cena (mil. CZK + rok)
YUTONG U12	LFP	4 000	422	200,95	140,67	15,50 (2024)
SOR NS 12 Electric	NMC	3 000	242	115,24	80,67	12,30 (2021)
POSOUZENÍ ELEKTRICKÉ KAPACITY						
Typ vozidla	Požadovaný min dojezd	Min požadovaná kapacita	Kapacita baterie (kWh)	Dojezd při max DOD 70 % (km)	Dojezd po výkonu na 1 obratu (km)	Nabíjení v obrotišti Studentská
YUTONG U12	30 Km	90 kWh	422	140,67	110,77	Nezbytné
SOR NS 12 Electric			242	80,67	50,77	Nezbytné
ANALÝZA CYKLICKÉ ŽIVOTNOSTI						
Typ vozidla	DOD po 1 obratu (%)	Počet obrátů do DOD 70 %	Požadovaný max denní km proběh	Max předpokládaný počet nabíjení/den	Max předpokládaný počet cyklů/den	Max předpokládaný počet cyklů/rok
YUTONG U12	15%	4	až 360km	3,00	2,10	730,80
SOR NS 12 Electric	26%	2		5,00	3,50	1 218,00
EKONOMICKÁ ANALÝZA CYKLICKÉ ŽIVOTNOSTI						
Typ vozidla	Max předpokládaný počet cyklů/rok	Max předpokládaný počet cyklů/12 let	Očekávaný počet výměn baterií	Cena za 1 výměnu baterií (CZK)	Celková cena za výměnu baterií (CZK)	Finální statut
YUTONG U12	730,80	8 769,6	2	7 033 052	14 066 104	<b>VYBRÁN</b>
SOR NS 12 Electric	1 218,00	14 616	5	5 413 056	10 826 112	<b>NEVYBRÁN</b>

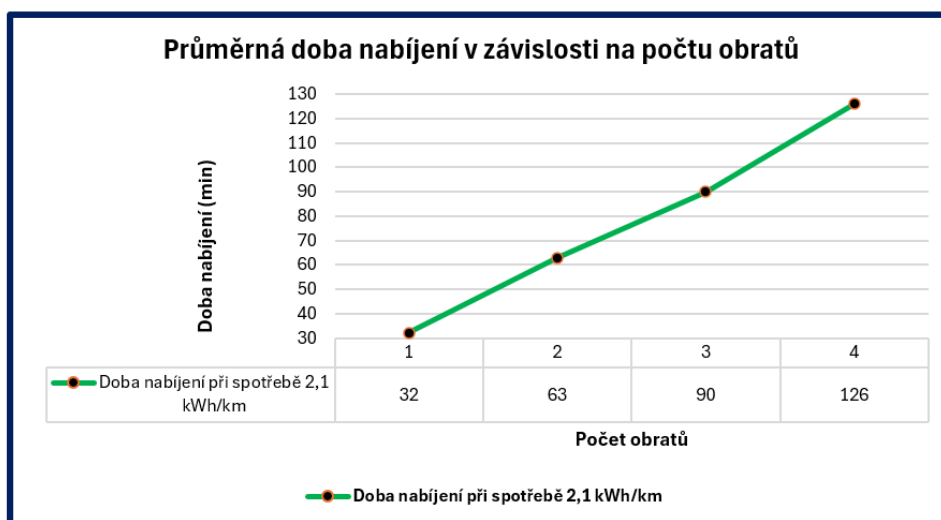
Zdroj: autor

V neposlední řadě bude tato varianta díky elektrobusem Yutong ověřením nasazování elektrobusem s takovou kapacitou baterií v provozu, přičemž autor se domnívá, že takových elektrobusem bude v budoucnosti přibývat. Ke zvoleným elektrobusem bude využito nabíjení skrze standardizovanou zásuvku CCS 2 Combo.

#### 5.4.5 Simulace II – s konkrétními parametry zvolených vozidel

Tato simulace je primárně určena pro vozidla, u nichž se předpokládá nabíjení po každém obratu/spoji Poměrově byla proto v prostředí simulačního modelu navýšena délka linky o příslušný obrat, kdy 1 obrat představuje 29,9 km Nabíjení zvolených elektrobusem při výkonu 120 kW probíhalo vždy do plné kapacity. Tyto doby se liší podle počtu obrátů vykonaných elektrobusem na 1 nabití, jak ukazuje obrázek 34.

V provozu však není vyloučeno nabíjet pouze tak, aby elektrobusem zvládl realizovat další 1 obrat, čímž lze zkrátit dobu nabíjení. Na základě těchto hodnot může být v rámci návrhu oběhů využito skutečnosti, že se elektrobusem budou nabíjet po menším počtu obrátů, než jim umožňuje dojezd. Tím lze docílit s velkou pravděpodobností snížit počet vypravovaných vozidel.



Obrázek 34 Varianta C – průměrná doba nabíjení při různých počtech obrátů. Zdroj. Autor

Současně vlivem delších dob nabíjení byly empiristicky stanoveny doporučené obrátové doby a doporučený interval příjezdu následujícího elektrobuse k téže nabíjecí stanici, což zobrazuje tabulka 39.

Tabulka 39 Varianta C – doporučené obrátové doby a intervaly pro 1 nabíjecí stanici.

Počet obrátů	1	2	3	4
Minimální obrátová doba (min)	37	68	100	131
Doporučený interval (min)	40	70	100	130

Zdroj: autor

#### 5.4.6 Návrh JŘ a oběhů vozidel

Výhoda delšího dojezdu se brzy začala projevovat částečně jako nevýhoda, neboť s přihlédnutím ke grafu na obrázku 34 a tabulce 39 se zdá nemyslitelné, aby se v podmínkách linky MHD vozidlo nabíjelo více než 60 minut. Toto neplatí u vozidel na dělených obězích, kdy jsou vozidla odstavena v garážích.

Obecně se však podařilo zachovat stávající polohy spojů a návaznosti, většina komplikací vzhledem k potřebě delšího nabíjení těchto elektrobuse se dělá na pozadí jízdního řádu, tedy v obězích vozidel.

- **Návrh oběhů vozidel pro pracovní dny**

Ve špičkách pracovních dnů se podařilo zachovat výpravnost vozidel 9 oběhů, tak jako je tomu na dnešní lince 37, nicméně v sedle a ke konci dopravních špiček muselo dojít v průběhu dne k vypravení dalších 2 vozidel, která sice fyzicky počet 9 oběhů na lince nezvýšila, došlo však k fyzickým výměnám vozů, a proto bylo o pracovních dnech potřeba vypravit celkem 11 vozů.

Výměny byly v duchu nahrazení vozů blízko ke kritické hodnotě DOD (po 3,5-4 obrazech) za vozy plně nabitě. Pakliže to situace umožňovala, docházelo také k předjíždění několika oběhů, aby se inkriminovaný elektrobus s nízkou kapacitou baterií mohl dobít alespoň na dalších obrat. Takové časové okno nicméně šlo zajistit za daných obratových dob (17 minut ve špičkách na Studentské) pouze pro 1 vozidlo, kdy předmětné vozidlo mohlo prakticky až 1 obrat vynechat.

Aby byl zajištěn provoz elektrobusů bez nutnosti nabíjení až do konce denního provozu, byly dělené oběhy 37/3 a 37/7 posíleny o další večerní obrat, aby došlo k navýšení obratových dob na Studentské mezi 18-20 hodinou večerní na 60-70 minut. Návrh JŘ a oběhů je v tabulce 40.

Tabulka 40 Varianta C – návrh JŘ a oběhů vozidel pro pracovní dny.

37		NÁMĚSTÍ REPUBLIKY <-> PORUBA, STUDENTSKÁ <-> Poruba, St. koleje												
		NÁMĚSTÍ REPUBLIKY > Poruba, Studentská					PORUBA, STUDENTSKÁ > Náměstí Republiky							
3						37/1 P	26 M							
4	14	34	54			37/2 H	20	54						
5	9	29	54			37/3 P	13	33	52	58 R				
6	2 N	14	22 N	24	34	44	54	37/4 P	2	12	22	32	42	52
7	4	14	24	34	44	54		37/5 H	2	12	22	32	42	52
8	4	14	24	34	44	54		37/6 P	2	12	22	32	42	
9	4	25	45					37/7 P	6	26	46			
10	5	25	45					37/8 H	6	26	46			
11	5	25	45					37/9 P	6	26	46			
12	5	25	45					37/10 P	6	26	46			
13	5	25	44	54				37/11 P	6	22	32	42	52	
14	4	14	24	34	44	54			2	12	22	32	42	52
15	4	14	24	34	44	54			2	12	22	32	42	52
16	4	14	24	34	44	54			2	12	22	32	42	52
17	4	14	24	34	44	54			2	12	22	32	45	
18	4	22	42						5	25	45			
19	2	22	42						6	26	46			
20	5	25	45						2 ad	22 ad	42 ad			
21	5	25	45 SK						2 ad	22 ad	42 Kad			
22	5 SK	25 SK	42 SK						2 Kad	23 Kd				
23									13 M					
24														
0	9 N													
POZNAMKY		N - Svinov, nádraží - Studentská SK - pokračuje směr St. koleje					M - Studentská - Svinov, mosty K - St. koleje - Náměstí Republiky R - Svinov, nádraží - Nám. Republiky a - přípoj linky 54 d - přípoj linky 48 na zastávce Svinov, mosty							

Zdroj: autor

- **Návrh JŘ a oběhů vozidel pro soboty a neděle**

JŘ pro soboty společně s komentářem je předmětem přílohy I. Jízdní řád je totožný, jako ve variantě A, pouze byl zapotřebí z hlediska problematiky nabíjení elektrobusů dělený oběh 37/6, který v dopoledních a pozdně odpoledních hodinách navyšuje obratové doby elektrobusů ze 30 na

50 až 70 minut. Tento oběh samotný nabíjení nepodléhal. Organizace provozu v neděli je totožná, jako v sobotu, pouze jsou vybrané spoje prodlouženy na Studentské koleje.

Přehled dopravních výkonů jednotlivých oběhů zaznamenává tabulka 41, Celkový měsíční dopravní výkon by činil 61 786 km, přičemž na všech obězích autor uvažuje elektrobusey. Vlivem delších obratových dob v dopoledním sedle pracovních dnů a ve dnech pracovního klidu po dobu provozu oběhu 37/6, došlo ke snížení km proběhů na většině celodenních obězích, resp. došlo k jejich přerozdělení mezi další oběhy vlivem výměn vozidel.

Tabulka 41 Varianta C – dopravní výkony.

Dopravní výkony (vozkm)			
Oběh	PD	Sobota	Neděle
<b>37/1 P</b>	216,941	288,914	293,226
<b>37/2 H (SoNe - P)</b>	172,998	289,408	293,226
<b>37/3 P (SoNe - H)</b>	201,831	288,824	292,642
<b>37/4 P (SoNe - H)</b>	279,987	281,604	284,838
<b>37/5 H</b>	202,909	281,604	285,332
<b>37/6 P</b>	144,165	172,998	176,232
<b>37/7 P</b>	201,831	0,000	0,000
<b>37/8 H</b>	281,604	0,000	0,000
<b>37/9 H</b>	179,181	0,000	0,000
<b>37/10 P</b>	138,146	0,000	0,000
<b>37/11 P</b>	201,831	0,000	0,000
<b>CELKEM</b>	<b>2221,42</b>	<b>1603,35</b>	<b>1625,50</b>
<b>CELKEM/MĚSÍC</b>		<b>61 785,93</b>	
<b>CELKEM/ROK</b>		<b>741 431,14</b>	

Zdroj: autor

#### 5.4.7 Nabíjecí plán elektrobuseů

Až s nabíjecím plánem lze definovat, kolik nabíjecích stanic by bylo pro zajištění tohoto provozu zapotřebí. Zahrnuta jsou pouze nabíjení nad doby obrátů 30 minut, kdy kratší doby nabíjení nejsou vyloučeny, nicméně pro zajištění kapacity na 1 další obrát je nezbytných alespoň 32 minut nabíjení. Tabulka 42 ukazuje nabíjecí plán s orientačními hodnotami kapacity, kterým bylo nezbytné věnovat pozornost. Na 1 obrát připadá snížení kapacity o 15 %, zatímco pro nabíjení platí výkon 120 kW, to znamená, že za 10 minut stání může elektrobuse získat 20 kWh kapacity (cca 4-5 %). Plán zahrnuje pouze oběhy, u nichž se skutečně počítalo s (nevyhnutelným) nabíjením. Dle tabulky 34 autor předpokládal, že nabíjení proběhne max 3x/den u jednoho elektrobuse (při DOD max 70 % odpovídající spotřebě 0,7 cyklu). Takových stavů v navrhovaném provozu nastalo minimum, kdy se tomu nejbližší přiblížil oběh 37/11, který byl v provozu bez nabíjení od 13:22 do 19:13, a vykonal tak 4 obraty. Na základě toho lze očekávat, že by i celková cyklická životnost baterií mohla být delší než v tabulce 34..

Na základě nabíjecího plánu autor stanovil, že pro tuto variantu by bylo zapotřebí vybudování 3 nabíjecích stanic s výkonem 120 kW na obratišti Studentská + příslušný počet v garážích.

Tabulka 42 Varianta C – nabíjecí plán.

Nabíjecí stanice A					Nabíjecí stanice B					Nabíjecí stanice C				
OBĚH	Poč. kap.	Od	Do	Kon. Kap.	OBĚH	Poč. kap.	Od	Do	Kon. Kap.	OBĚH	Poč. kap.	Od	Do	Kon. Kap.
37/8 H	63%	8:45	9:46	84%	37/4 P	63%	9:05	10:06	89%	37/9 H	63%	9:25	10:26	81%
37/10 P	55%	9:56	11:06	81%	37/1 P	85%	10:16	11:06	100%	37/11 P	85%	10:36	11:26	100%
37/8 H	69%	10:56	11:46	90%	37/4 P	74%	11:16	12:06	95%	37/9 H	62%	11:36	12:26	83%
37/10 P	54%	11:56	12:46	76%	37/1 P	85%	12:16	13:06	100%	37/11 P	84%	12:36	13:22	100%
37/8 H	75%	12:56	13:42	92%	37/4 P	80%	13:16	14:02	100%	37/9 H	61%	13:36	14:22	82%
37/8 H	62%	16:25	17:22	85%	37/4 P	55%	18:05	19:06	81%	37/5 H	85%	18:25	19:13	100%
37/8 H	70%	18:53	20:02	100%	37/1 P	55%	18:35	19:46	81%	37/11 P	40%	19:13	20:22	73%

Zdroj: autor

## 6 VYHODNOCENÍ NÁVRHŮ

Po zpracování všech návrhů přichází na řadu jejich vyhodnocení, aby byla vymezeny jejich pozitiva a negativa. Navíc bude provedena rámcová ekonomická analýza a shrnutí části potřebných úkonů k realizaci každé z variant. K hodnocení variant je třeba zdůraznit, že každá varianta se soustředí na izolovaný provoz linky 37 s tím, že případné synergické efekty (např. návrh využití nabíjecí infrastruktury i s provozem dalších linek) nejsou sledovány. V reálném provozu by toto mohlo mít podstatný vliv na hodnocení variant, a ovlivnit výsledné porovnání, do čehož vstupuje mnoho neznámých.

### 6.1 Varianta A

Tato varianta odpovídá návrhu elektrifikace autobusové linky 37 s využitím elektrobusů systému Oppcharge, pro jejichž potřeby by vznikly 2 nabíjecí stanice o výkonu 300 kW.

#### 6.1.1 Ekonomická analýza

Díky návrhu počtu oběhů je znám konečný počet vozidel pro zabezpečení výpravnosti, od čehož se odvíjí i počet záložních vozidel. Celkem je nezbytné zajistit 11 elektrobusů, z čehož 1 by byl záložní.

S využitím výstupů simulace a s přihlédnutím k podmínkám autobusové linky 37 bylo stanoveno, že pro zabezpečení provozu jsou nezbytné 2 nabíjecí stanice. Dále by bylo nezbytné vybudovat pro každý elektrobus nabíjecí stanici pro pomalé nabíjení během nočního odstavení v autobusových garážích.

Na druhou stranu se autor se domnívá, že s ohledem na to, že DPO současně elektrobusy stejného typu vlastní a garáže již Hranečnick disponují určitým počtem takové infrastruktury, bylo by nejspíš možné zkoordinovat tuto variantu s již disponibilním systémem a jenom jej rozšířit o poměrnou část vozidel a /nabíjecích stanic v garážích.

Rámcová cena za 11 elektrobusů a 2 rychlonabíjecí stanice vycházela 144,25 mil. Kč bez DPH, jak ukazuje tabulka 43. Tato cesta vychází z ceny pro rok 2020 za totožná vozidla a infrastrukturu, nicméně od té doby ČR čelí dynamickému vývoji inflace a je s těžší odhadnutelné, jaká by byla cena v roce 2024. Toto jsou pouze dvě nejviditelnější položky. Jak vyplynulo z obsahu podkapitoly 4.1, skrývá se před spuštěním provozu elektrobusů mnoho dalších činností, které nelze přesně odhadnout. Mezi takové činnosti lze zařadit zpracování projektové dokumentace a EIA, dále samotné stavební práce, výstavbu měničny, vysokonapěťových přípojky atd.

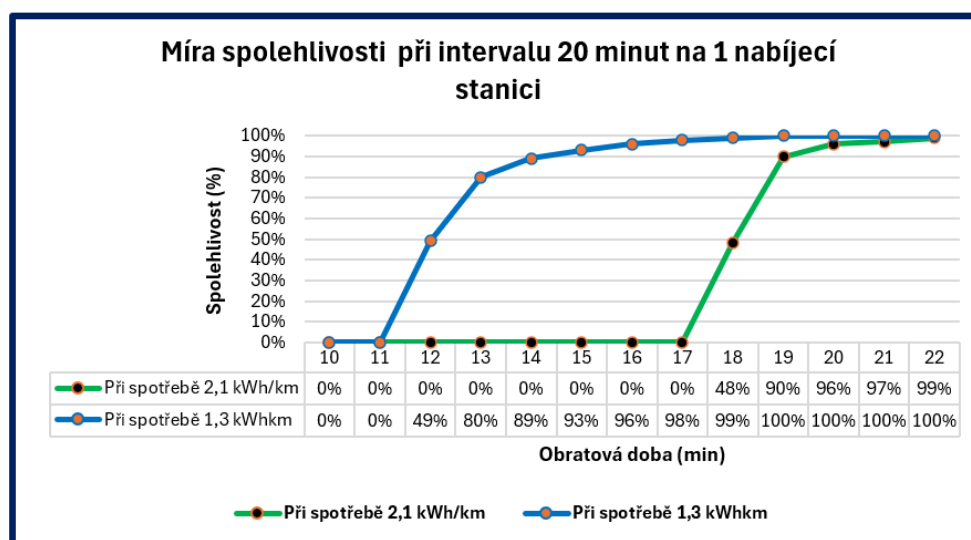
Tabulka 43 Varianta A – soubor vybraných položek k nezbytných spuštění provozu.

Název položky	Kategorie položky	Rámcová cena za jednotkubez DPH	Rámcová cena bez DPH
Dodávka 11 elektrobusů Solaris	Vozový park	10,98 mil. CZK	120,75 mil. CZK
Výstavba 2 nabíjecích stanic	Infrastruktura	11,75 mil. CZK	23,50 mil. CZK
DALŠÍ NEZBYTNÉ ČINNOSTI 1)			
Posouzení vlivu na živ. prostředí EIA	Příprava projektu		
Zpracování projektové dokumentace	Příprava projektu		1,20 mil. CZK
Vykopové práce a pokládka kabel. tras	Stavební práce		4 mil. CZK
Nabíjecí stanice pro pomalé nabíjení	Pohonné hmoty		
Výstavba měničů	Infrastruktura		
		<b>Celkem</b>	<b>144,25 mil. CZK</b>
		<b>Celkem včetně 1)</b>	<b>149,45 mil. CZK</b>

Zdroj: autor

### 6.1.2 Vyhodnocení varianty A

Po zpracování této varianty autor může zdůraznit, jak rozdílné výstupy bude poskytovat simulace reálného provozu, pakliže bude uvažována menší a nejčastější spotřeba z reálného provozu. Toto porovnání zaznamenává obrázek 35.



Obrázek 35 Varianta A – porovnání spolehlivosti při různých spotřebách na lince 37. Zdroj: autor

Na tomto grafu jsou zobrazeny míry spolehlivosti pro mediánovou spotřebu a spotřebu naměřenou na ostravské lince 34 na totožném typu elektrobusu. Při nižší spotřebě systém dle očekávání dosahuje kýžené spolehlivosti již při 16minutových obratových dobách. To je dáno zejména skutečností, že je doba nabíjení o 6 minut kratší, ačkoliv min. požadovaná kapacita je i zde 99 %. Navíc by ji bylo možné snížit, čímž by se čas na nabíjení ještě zkrátil. Bez ohledu na příznivost takových výsledků autor nadále trvá na kalkulaci s vyšší spotřebou. V každém případě jsou takové výsledky dobrou známkou toho, jak by provoz mohl v reálu vypadat a že by nedocházelo k takovým hloubkám vybitím baterií, jako při mediánové spotřebě.



Obecně, výhodou této varianty je možnost využít přítomnosti 2 autobusových garáží v Ostravě a zachovat výpravnost z garáží, tak jak je tomu i v současnosti (2024). Příznivě se také projevují časové polohy spojů, které náhodou umožňují to, že není zapotřebí s výjimkou dopravních špiček přidávat oběhy vozidel navíc oproti současnému stavu. Díky tomu lze zavést elektrifikaci autobusové linky 37 prakticky bez významných provozních změn a snížit výpravnost autobusů v DPO o 10 vozidel. Současně by tento krok mohl být moderátorem rozvoje elektrifikace autobusových linek v Ostravě Porubě, neboť jak je pojednáváno v dalších odstavci, nabíjecí infrastruktura bude mít mimo dopravní špičky a o letních školních prázdninách disponibilní kapacitu pro nabíjení dalších vozidel. Pakliže by se uvažovalo systémově s elektrifikací dalších linek, mohlo by dojít k navýšení počtu nabíjecích stanic alespoň o 1 další a pokračovat v plošné elektrifikaci linek spojených s tímto dopravním uzlem. Problematika nerovnoměrného využití infrastruktury a vozidel je aktuální v případě, kdy je kladen důraz na elektrifikaci páteřních částí systémů a snahy jejich maximálního využití. Na druhou stranu s postupem času bude přibývat situací, kdy bude nezbytné elektrifikovat alespoň majoritní část systému, kdy se průměrná či podprůměrná vytíženost vozidel a infrastruktury bude muset akceptovat.

Nevýhodou této varianty je skutečnost, že potřeba 2 nabíjecích stanic je aktuální pouze v dopravních špičkách. V sedlech a ve dnech pracovního klidu je provoz možný pouze s 1 nabíjecí stanicí, tudíž vysoké investiční náklady na infrastrukturu čerpají z opodstatnění „jenom“ pár hodin denně. Pakliže by byla zohledněna skutečnost, že o letních školních prázdninách je interval na lince 37 ve špičkách PD jenom 15 minut, stojí za zvážení, zdali v elektrobusech neprovozovat pouze 5 celodenních oběhů, kterým by postačovala pouze 1 nabíjecí stanice. Nad rámec této varianty bylo možné využít synergického efektu přítomnosti této infrastruktury a disponibilní kapacitu nabíjecích stanic využít ve prospěch částečné elektrifikace autobusových linek 47 a 58, které s linkou 37 sdílí konečnou zastávku Studentská (47) a Studentská koleje (58). Dalším úskalím této varianty může být i vysoká pořizovací cena nabíjecí infrastruktury společně s dalšími nezbytnými prvky. I proto je na jednu stranu pochopitelné, že alespoň v počátcích takového provozu se očekává jeho maximální využití.

## **6.2 Varianta B**

Druhá varianta předpokládá sloučení autobusové linky 37 a trolejbusové linky 102 s využitím parciálních trolejbusů, pro které by byla vybudována nabíjecí stopa o výkonu 90 kW.

### **6.2.1 Ekonomická analýza**

Díky návrhu oběhů vozidel je evidentní počet potřebných vozidel k zabezpečení provozu. Maximální denní počet vypravovaných vozidel je 12, přičemž další 2 by byly potřeba jako záložní. Dohromady by se jednalo o 14 parciálních trolejbusů.

Na základě simulaci a doporučené minimální obrátové doby od 13 min ve vztahu k intervalu linky bylo zjištěno, že nanejvýš bude zapotřebí nabíjet 2 trolejbusy současně. Na základě toho autor navrhuje výstavbu nabíjecí stopy o délce min. 15 m, aby bylo možné pro případ mimořádné události nabíjet i 3 vozidla současně. K realizaci této stopy by byla zapotřebí dvojice sloupců trolejového vedení s výložníky, přičemž jejich rozteč musí odpovídat min. délce nabíjecí stopy. Dále je nezbytné tuto nabíjecí stopu vybavit tzv. natrolejovací stříškou a samozřejmě zajistit její napájení. V prostoru obratiště Hulváky by bylo nezbytné upravit geometrickou polohu trolejí v zastávce směr Hlavní nádraží a vybavit ji natrolejovací stříškou. Pro těchto 12 trolejbusů by bylo zapotřebí ve vozovně trolejbusů zajistit balancovací stopu během nočního odstavení.

Rámcovou cenu za dodání vozidel lze odhadovat na 204,4 mil. Kč bez DPH, přičemž rámcovou cenu za nabíjecí stopu lze odhadovat na 150 000 Kč bez DPH (25), přičemž tato cena nezahrnuje napájení a další součásti. I zde nelze ani rámcové ceny přesně odhadnout vzhledem k vývoji inflace v posledních letech. Tabulku činností a s částečným rámcovým ocením zobrazuje tabulka 44.

Tabulka 44 Varianta B – soubor vybraných položek k nezbytných spuštění provozu.

Název položky	Kategorie položky	Rámcová cena za jednotku bez DPH	Rámcová cena bez DPH
Dodávka 14 parciálních trolejbusů	Vozový park	14,60 mil. CZK	204,4 mil. CZK
Výstavba nabíjecí stopy (bez napájení)	Infrastruktura		150 000 CZK
<b>DALŠÍ NEZBYTNÉ ČINNOSTI 1)</b>			
Posouzení vlivu na živ. prostředí EIA	Příprava projektu		
Zpracování projektové dokumentace	Příprava projektu		1,20 mil. CZK
Vykopové práce a pokládka kabel. tras	Stavební práce		4 mil. CZK
Pořízení 2 ks natrolejovacích stříšek	Infrastruktura		
Výstavba měničny	Pohonné hmoty		
		<b>Celkem</b>	<b>204,15 mil. CZK</b>
		<b>Celkem včetně 1)</b>	<b>209,35 mil. CZK</b>

Zdroj: autor

Autor dodává, že zde nejsou zahrnuty potenciální náklady na výměnu baterií, které s velkou pravděpodobností jednou nastanou.

## 6.2.2 Vyhodnocení varianty B

Významným benefitem je již částečně existující liniová infrastruktura, s jejíž využitím byla využita možnost optimalizace času nabíjení u parciálních trolejbusů, kdy mohlo dojít k razantnímu zkrácení této doby ze 14 na 8 minut, jak deklaruje obrázek 33 v oddílu 5.3.5. Tohoto bylo využito při zpracování oběhů vozidel, neboť díky tomu se podařilo snížit počty vypravovaných vozidel v porovnání se situací, kdy každá linka funguje nezávisle na sobě. Tabulka 45 ukazuje aktuální počty oběhů na linkách 37 a 102 s novou linkou 102 s parciálními trolejbusy. V případě oběhů bylo došlo v PD ke snížení počtu oběhů o 20 %, zatímco ve dnech pracovního klidu dokonce o 33 %.

Tabulka 45 Varianta B – Porovnání oběhů a dopravního výkonu se současným stavem.

Výpravnost vozidel na linky (oběh)						Roční dopravní výkon (vozokm)			
Linka	PD			Sobota	Neděle	Linka	PD	Sobota	Neděle
	Špička	Sedlo	Večer						
37	9	5	5	5	5	37	589 972	76 893	78 285
102	6	4	4	4	4	102	301 567	38 535	38 535
<b>Celkem</b>	15	9	9	9	9	<b>Celkem</b>	891 539	115 428	116 820
Porovnání s novou linkou 102						Porovnání s novou linkou 102			
102 - parciální	12	9	6	6	6	102 - parciální	787 668	90 996	92 183
<b>Rozdíl</b>	3	0	3	3	3	<b>Rozdíl</b>	103 871	24 431	24 637
<b>Rozdíl (%)</b>	20%	0%	33%	33%	33%	<b>Rozdíl (%)</b>	12%	21%	21%

Zdroj: autor

V případě dopravního výkonu by došlo k úspoře vozokm v PD o 12 %, zatímco výraznější úspora by nastala ve dnech pracovního klidu, kdy taková úspora dosahuje 21 %. To vše při zachování kvality nabízené služby, ačkoliv tak jak se to pojí s každou změnou linkového vedení, jedno nové přímé spojení vznikne, další zanikne. Konečný přínos nakonec převažuje a generuje nezanedbatelné úspory dopravního výkonu a také personálních nákladů s ohledem na menší potřebný počet řidičů. Další výhodou této varianty je i to, že rámcové vychází nabíjecí infrastruktura ztatelně levněji, navíc tato infrastruktura využívá k nabíjení pouze stejnosměrný proud, tudíž je i méně technicky méně náročná. Mimo to je i využití vozidel z hlediska počtu kilometrů v pracovní dny adekvátní, kdy je nejmenší denní km proběh 168 km, a tak autor variantně nenavrhuje obsazení špičkových oběhů s nejmenším km proběhem autobusy.

Nevýhodou této varianty je také omezená nabídka trolejbusů, kdy na českém trhu figurují pouze jednotky výrobců. Společně se statutem drážního vozidla jsou díky tomu trolejbusy nákladné na pořízení, přičemž kdyby jejich cena byla taková, jako např. v letech 2020-2021 vlivem příchodu konkurence, vykazovaly by daleko větší konkurenceschopnost ve vztahu k elektrobusem. Ve vztahu k systému MHD v Ostravě by toto řešení pravděpodobně nevykazovalo synergický efekt, kdy by mohlo dojít k využití nabíjecí stopy na Studentské i pro další linky. Trolejbusový subsystém totiž v současnosti dopravní obslužnost v Porubě nezajišťuje a nejbližší trať je právě na konečné Hulváky. Další nevýhodou této varianty je prodloužení průměrné doby čekání ve dnech pracovního klidu, kdy by byl společný úsek linek 37 a 102 namísto souhrnného intervalu 10 minut, zabezpečován intervalem 20 minut, avšak poskytující přímé spojení.

### 6.3 Varianta C

Poslední varianta uvažuje nasazení elektrobusem s delším dojezdem na 1 nabití na autobusovou linku 37 a výstavbou 3 nabíjecích stanic o výkonu 120 kW.

### 6.3.1 Ekonomická analýza

Z návrhů oběhů vozidel jsou významné 2 výstupy. Tím prvním je počet potřebných vozidel, který uvažuje maximální denní vypravení 11 vozidel, k čemuž by měly náležet 2 vozidla záložní. Celkem se jedná o 13 elektrobusů.

S ohledem na oběhy vozidel a sestavený nabíjecí plán se ukázalo, že by bylo nezbytné vybudovat 3 nabíjecí stanice v prostoru obratiště Studentská. Samozřejmostí jsou pak nabíjecí stanice pro příslušný počet elektrobusů také v prostoru autobusových garáží. Výhodou těchto nabíjecích stanic se zásuvkou CCS 2 Combo jsou menší technické nároky na napájení, nicméně problém by mohl nastat s celkovým výkonem 360 kW všech stanic, kdy by bylo nejspíš nezbytné vybudovat vlastní rozvodnu/měničnu i pro tyto stanice. Rámcová cena vozidel odpovídá částce 201,5 mil. Kč bez DPH. Předpokládá cena za všechny 3 nabíjecí stanice na Studentské by mohla činit 150 000 Kč bez DPH (25), přičemž při této ceně není součástí napájení. Rámcové ceny a činnosti zahrnuje tabulka 46.

Tabulka 46 Varianta C – soubor vybraných položek k nezbytných spuštění provozu.

Název položky	Kategorie položky	Rámcová cena za jednotku bez DPH	Rámcová cena bez DPH
Dodávka 13 elektrobusů	Vozový park	15,50 mil. CZK	201,5 mil. CZK
Výstavba 3 nabíjecích st. (bez napájení)	Infrastruktura		150 000 CZK
<b>DALŠÍ NEZBYTNÉ ČINNOSTI 1)</b>			
Posouzení vlivu na živ. prostředí EIA	Příprava projektu		
Zpracování projektové dokumentace	Příprava projektu		1,20 mil. CZK
Vykopové práce a pokládka kabel. tras	Stavební práce		4 mil. CZK
Nabíjecí stanice v garážích autobusů	Infrastruktura		
Výstavba měničny/rozvodny	Pohonné hmoty		
		<b>Celkem</b>	<b>201,5 mil. CZK</b>
		<b>Celkem včetně 1)</b>	<b>206,7 mil. CZK</b>

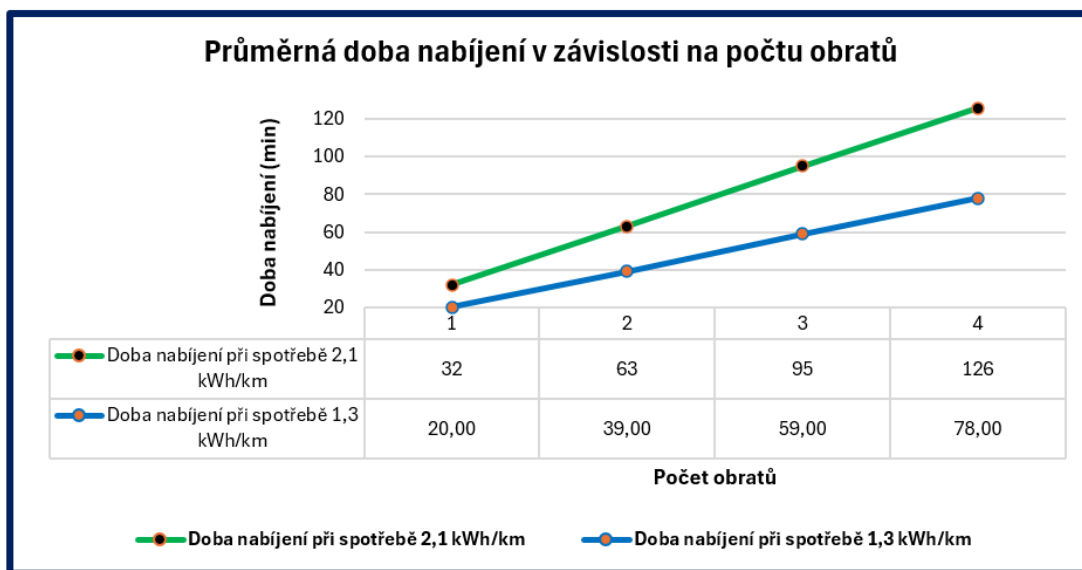
Zdroj: autor

Jako i při předchozích variantách, konečná hodnota těchto cen je spíše informativní. Autor dodává, že ani zde nejsou zahrnuty potenciální náklady na výměnu baterií, které s velkou pravděpodobností nastanou.

### 6.3.2 Vyhodnocení varianty C

Obrázek 36 demonstruje opět význam, jak velký rozdíl se projevuje v případě užití jiné než mediánové spotřeby stanovené v podkapitole 1. 5. Tento graf odráží hodnoty nabíjení do plné kapacity, nicméně tak jak by i provozu nastávalo, nabíjení do plné kapacity po 4 obrazech na lince 37 (cca 120 km) připadá v úvahu pouze v případě špičkových oběhů, kdy lze toto nabíjení realizovat bezprostředně po odstavení vozidla v garážích. I při hodnotách s nižší spotřebou se tyto doby nabíjení příliš neslučují s prostředím linek MHD, kde jsou zpravidla vyšší oběhové rychlosti než

u linek VLD. Současně s nižší spotřebou lze očekávat i vyšší realizaci i vyššího počtu obrátů na 1 nabití, s tím ovšem nabude vyšších hodnot i příslušná doba nabíjení.



Obrázek 36 Varianta C – průměrné doby nabíjení při různých spotřebách. Zdroj: autor

Autor přiznává, že pokud by mělo dojít k realizaci takového provozu za každou cenu, muselo by dojít k jistému kompromisu v nepatrném snížení hodnoty uvažované spotřeby, a to s vědomím, že může nastat extrémní situace a dojde ke snížení spolehlivosti celého systému, načež by měl dopravce disponovat záložními autobusy či dalšími elektrobusey. V případě že elektrobusey disponují elektrickým topením interiéru vozidla, by jakékoliv ústupky od mediánové spotřeby měly být mnohem precizněji zváženy.

Mimo to autor nevylučuje, že lze navrhnout oběhy vozidel a nabíjecí plán i dalšími způsoby. Konkrétně do podoby nabíjecího plánu se propisuje to, po kolika obrazech, tedy jak často budou elektrobusey nabíjeny. Může dojít dokonce i ke snížení počtu nabíjení, kdy by teoreticky vystačily možná i 2 nabíjecí stanice, avšak za předpokladu, že by došlo k výraznému nárůstu vozidel, který nastal již i v tomto případě.

Mezi výhody této varianty lze jednoznačně zařadit absenci nabíjení u oběhů, jejichž výkon nepřesahuje 4 obraty linky 37. Takové podmínky splňují všechny špičkové oběhy. Pozitivně lze hodnotit také náklady na nabíjecí infrastrukturu, nicméně cena uvažovaných vozidel tento benefit poměrně neutralizuje. Pozitivní stránkou je také skutečnost, že mimo časy nabíjení lze provozovat takovou linkou takřka identicky, jako autobusovou linku z hlediska obrátových dob a počtů vozidel. Velice významným faktem je především to, že tyto elektrobusey poskytují maximální flexibilitu v nasazení prakticky na většinu linek, kde nejsou omezení z hlediska průjezdnosti trasy.

Možnost absentování nabíjení po každém obratu byla u celodenních oběhů spíše nevýhoda. Schopnost zajistit až 4 obraty bez nabíjení má vysokou daň. Pokud takový elektrobus na celodenním oběhu vykonal 4 obraty a jeho DOD je 60-70 %, z pozice řádného hospodáře nedává smysl jej nabíjet do plné kapacity, neboť nejdražší jsou obvykle personální náklady a současně se tím snižuje využití personálu, jehož přítomnost je při nabíjení v provozu na lince nezbytná. V podmínkách MHD lze přerušit práci řidiče nejdříve po 2 hodinách, což se tradičně děje mezi dopravními špičkami. Situace na celodenních obězích je ale odlišná. Přerušit práci řidičů by mělo jednak dopad na tvorbu turnusů, neboť by se snížily délky směn, ale zároveň by toto opatření bylo nepopulární mezi řidiči, kteří by měli kratší hodinové výkony za téže směny, jako když tam bývaly autobusy. Daly by se uvažovat i nabíjení kratší než 30 minut, nicméně taková nabíjení jsou v daném případě ve výsledku bezvýznamná, poněvadž nabití na 1 další obrat vyžaduje nabíjení alespoň 32 minut – čistého času bez rezervy na zpoždění. Ačkoliv je žádoucí tyto elektrobusy nabíjet „jen jednou za čas“, minimálně v podmínkách linky 37 autor dospěl k názoru, že je nezbytný vlastně pravý opak – častější nabíjení per partes po 1-2 obracech. Obecně je však nevýhodou této varianty fakt, že vyžaduje vyšší nároky na počty vypravovaných vozidel, ať už při nabíjení per partes, nebo výměnami vozidel z důvodu vyšších hloubek vybití.

## **6.4 Porovnávání všech variant**

Na úvod je třeba připomenout, že předmětem všech variant není primárně optimalizace současného provozu, což by bylo i obtížně realizovatelné v porovnání s vozidly na fosilní paliva, ale návrh elektrifikace autobusové linky 37 s minimálními dopady tohoto procesu na provoz a kvalitu nabízené služby. Toto porovnání má za cíl sumarizovat výsledky všech uvažovaných variant A, B a C, které jsou podkladem pro oddíl 6.5. Tím základním a logickým rysem je odlišnost zvolené technologie, kdy jsou uvažovány na téže lince možnosti využití elektrobusů s oportunním nabíjením systému Oppcharge, parciálních trolejbusů a elektrobusů s delším dojezdem na jedno nabití.

### **6.4.1 Výpravnost vozidel**

Důležitým ukazatelem koncepčnosti jednotlivých variant je počet potenciálních změn počtu vypravovaných vozidel ve vztahu k současnému provozu linky 37. Tento údaj svým způsobem vypovídá o tom, jak moc je daná technologie pro uvažovanou linku vhodná, poněvadž ji lze z hledisky délky a km proběhů oběhů zařadit mezi jednu z náročnějších. Přehled počtu oběhů v různých částech PD a dnů pracovního klidu v porovnání s aktuálním stavem zobrazuje tabulka 47.

Tabulka 47 Porovnání výpravnosti vozidel se současným stavem.

Výpravnost vozidel na linku 37 (oběh)					
Varianta / linka	PD			Sobota	Neděle
	Špička	Sedlo	Večer		
<b>Varianta A</b>	10	5	5	5	5
<b>Varianta B</b>	12	9	6	6	6
<b>Varianta C</b>	9	6	6	6	6
Porovnání s nýnější linkou 37					
<b>Linka 37</b>	9	5	5	5	5
Rozdíl (%)					
<b>Varianta A</b>	11%	0%	0%	0%	0%
<b>Varianta C</b>	0%	20%	20%	20%	20%
Porovnání s nýnější linkou 37 a 102					
<b>Linka 37+102</b>	15	9	9	9	9
Rozdíl - úspora (%)					
<b>Varianta B</b>	20%	0%	33%	33%	33%

Zdroj: autor

Současný provoz sestává v pracovní dny z 9 oběhů ve špičkách a 5 v sedlech a večer. Naproti tomu došlo u varianty A k nárůstu počtu oběhů pouze ve špičkách o 11 %. Varianta C vykazuje přesný opak, kdy provoz ve špičkách je totožný, jako dnes, nicméně problém nastává ve všech zbylých situacích. Dalo by se říct, že varianty A a C jsou navzájem inverzní, čímž by se dalo vyvodit, že kombinací těchto variant by hypoteticky mohl nastat ideální stav, kdy by celodenní oběhy byly v režii elektrobusů Oppcharge, zatímco špičkové oběhy by byly v režii elektrobusů, jako ve variantě C. Musela by se ovšem vyřešit otázka nabíjení elektrobusů Oppcharge na Studentské, neboť ty vyžadují min obrátové doby 20 minut, nicméně současný stav a varianta C vykazují obrátové doby 17 minut ve špičkách PD. Pravděpodobně by tak k úspoře jednoho oběhu ve špičkách PD ani kombinací těchto variant nedošlo, ačkoliv vývoj v dalších částech dne a týdne by byl bezesporu zajímavý, nicméně návrhy této práce se primárně soustředí na užití výhradně 1 technologie/varianta.

Samostatně je pozornost věnována variantě B. Tu nelze napřímo z tohoto hlediska s variantami A a C zcela srovnávat se současným stavem, poněvadž zde došlo ke změně koncepce linkového vedení. Díky tomuto kroku ale nepřímým mohlo dojít k návrhu optimalizace provozu, jež tato varianta současně vykazuje. S přihlédnutím k síťovému efektu nově vzniklé linky došlo i ke snížení počtu vypravovaných vozidel, kdy zejména ve špičkách PD lze očekávat úsporu vozidel o 20 %, zatímco večer a ve dnech pracovního klidu dokonce 33 %.

## 6.4.2 Dopravní výkon

Odchytky od ročního dopravního výkonu současné linky 37 demonstrují, jak moc se navrhovaný provoz odlišuje od aktuálního rozsahu provozu, což zobrazuje tabulka 48.

Tabulka 48 Porovnání ročních dopravních výkonů.

Roční dopravní výkon (vozokm)				
Linka	PD	Sobota	Neděle	Celkem
<b>Varianta A</b>	599 832	76 961	78 024	<b>754 816</b>
<b>Varianta B</b>	787 668	90 996	92 183	<b>970 847</b>
<b>Varianta C</b>	586 455	76 961	78 024	<b>741 440</b>
Porovnání s nýnější linkou 37				
<b>Linka 37</b>	585 148	76 253	77 645	<b>739 046</b>
Rozdíl (%)				
<b>Varianta A</b>	2,45%	0,92%	0,49%	<b>2,09%</b>
<b>Varianta C</b>	0,22%	0,92%	0,49%	<b>0,32%</b>
Porovnání s nýnější linkou 37 a 102				
<b>Linka 37+102</b>	891 539	115 428	116 820	<b>1 123 787</b>
Rozdíl - úspora (%)				
<b>Varianta B</b>	11,65%	21,17%	21,09%	<b>13,61%</b>

Zdroj: autor

V případě variant A a C došlo k marginálním odchylkám od současného dopravního výkonu, což je dáno tím, že se v rámci těchto variant objevilo několik nových výjezdových/zátahových spojů z/do garáží. Jinak se podařilo zachovat stávající rozsah provozu.

Naproti tomu varianta B vykazuje nepřímou optimalizaci, což se dalo při této variantě očekávat. Lze předpokládat, že sloučením těchto dvou linek by došlo ke snížení celkového ročního dopravního výkonu o 13,61 %, což sebou mimo jiné váže značnou úsporu provozních nákladů.

## 6.4.3 Rámcové ekonomické porovnání

Cena hraje v reálném provozu zásadní roli, nicméně v prostředí této práce se jedná spíše o informativní prvek, neboť nelze zcela vyčíslit při nejmenším ani administrativní, ani stavební práce spojené s výstavbou infrastruktury. Je však patrné, že nabíjecí infrastruktura pro dvoupólové nabíjení o výkonech 90 kW a 120 kW ve variantách B a C je nesrovnatelně levnější než v případě varianty A. Navíc ve všech případech se jedná pouze o fyzickou nabíjecí stanici bez příslušného napájení. Celkové ceny v tabulce 49 právě zahrnují i vybrané méně viditelné činnosti, které jsou součástí ekonomických analýz každé z variant.



Tabulka 49 Porovnání rámcových cen napříč variantami.

Rámcové ceny vozidel infrastruktury (CZK bez DPH)			
	Varianta A	Varianta B	Varianta C
Vozidla	120 760 000	204 400 000	201 500 000
Infrastruktura	23 500 000	150 000 CZK	150 000
Celkem	149 450 000	209 350 000	206 700 000

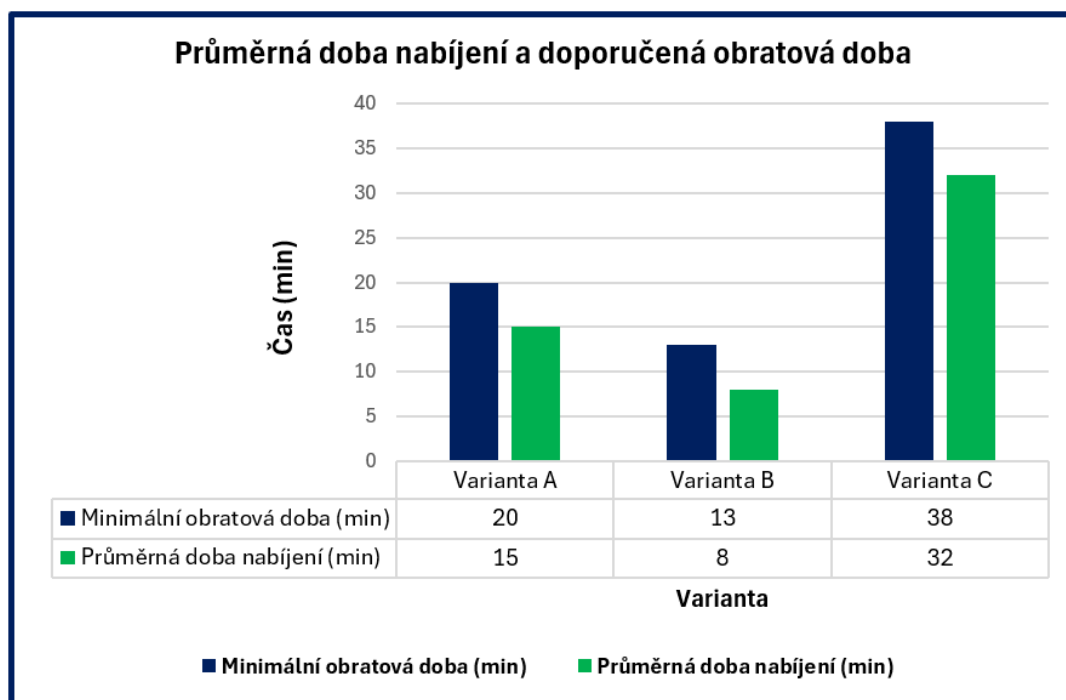
Zdroj: autor

Z hlediska cen vozidel je těžké vyvádět závěry, neboť právě vozidla reflektují zcela zásadně geopolitickou situaci ve světě, která přímo ovlivňuje veškeré dodavatelské řetězce. V každém případě často platí, že čím větší elektrická kapacita je, tím vyšší lze očekávat cenu. Na druhou stranu ne vždy tomu tak bývá – příkladem je právě porovnání varianty A a B. Elektrobus s kapacitou 91 kWh vycházel v roce 2020 v přepočtu na 10,95 mil Kč bez DPH, zatímco parciální trolejbus s kapacitou baterií 41,2 kWh vykazuje cenu 14,60 mil. Kč bez DPH. Do varianty C se propisuje cena za baterie o kapacitě 422 kWh, kdy jeden vůz vychází na 15,50 mil. Kč bez DPH. Důležitým aspektem je pak výměna baterií, která není součástí tohoto cenového rámce. S jistotou však lze říct, že ve všech 3 variantách A, B, C u každého vozidla k této výměně nejméně 1 dojde.

#### 6.4.4 Doba nabíjení a doporučená obrátová doba

Zajímavým porovnáním jsou také jednotlivé doby nabíjení a příslušné doporučené minimální obrátové doby pro zajištění spolehlivosti systému nad 95 %. U systému Oppcharge se často zdůrazňuje krátká doba nabíjení díky vysokému výkonu. Skutečně tomu tak je, nicméně pakliže dojde ke srovnání s parciálním trolejbusem, tedy variant A a B, má parciální trolejbus jasnou výhodu v tom, že podstatnou část trasy využívá pro nabíjení již existující infrastrukturu. Tudiž v případě varianty B se na Studentské nabíjely pouze po dobu nezbytně nutnou. S přihlédnutím k této skutečnosti lze svým způsobem prohlásit, že i parciální trolejbusy mohou zásadně konkurovat tomuto konceptu. Navíc nabíjecí stopy jsou v porovnání s rychlonabíjecími stanicemi daleko levnější.

Variantu C nelze v tomto ohledu s variantami A a B srovnávat, poněvadž kapacitním bateriím přímo úměrné odpovídají nabíjecí i obrátové doby. Porovnání napříč všemi variantami je na obrázku 37.



Obrázek 37 Porovnání nabíjecích a obratových dob napříč variantami. Zdroj: autor

#### 6.4.5 Synergický efekt s rozvojem elektrifikace

V situaci variant A a C je zjevné, že s ohledem na výstavbu nabíjecí infrastruktury na Studentské, které je konečnou zastávkou i pro další linky, by mohu dojít z počátku alespoň k částečné elektrifikaci i dalších dotčených autobusových linek v této oblasti. Došlo by tak alespoň ke zvýšení vytížení vozidel a infrastruktury, které ani v případě varianty A a C není vždy takové, jak by se očekávalo. Vzniklá infrastruktura, potažmo pořízená vozidla, by se proto mohla zasadit o rozšíření provozu elektrobuseů nad rámec primárního návrhu těchto variant, při nejmenším ve dnech pracovního klidu, kdy jsou disponibilní jednak vozidla, tak i infrastruktura.

V porovnání s variantou B tato varianta nevykazuje takové možnosti, jako v případě variant A a C. Je to dáno zejména omezenou přítomností infrastruktury v Ostravě Porubě, kde se v současnosti nenachází žádná další trolejbusová trať. Pakliže by mělo dojít k rozvoji trolejbusového subsystému i v této lokalitě, neobešlo by se to bez výstavby tratí s liniovou infrastrukturou, což by na jednu stranu mohla usnadnit i přítomnost tramvajových měníren.

#### 6.4.6 Ekologický přínos

S ohledem na skutečnost, že simulace uvažovala elektrobusey s nezávislým naftovým topením, které prozatím stále u elektrobuseů převládá, nelze varianty A a C klasifikovat jako zcela lokálně bezemisní. Přibližná spotřeba s využitím naftového topení je 10 l/100 km, což s ohledem na délku topné sezóny a počet vozokm v tabulce 48 není přehlédnutelný faktor, nicméně autor konstatuje, že

veřejnost o této uhlíkové stopě prakticky ani nemůže mít povědomí, poněvadž zrovna v případě DPO se tato informace u současných elektrobusů do médií nikdy nedostala.

Ekologický přínos je za to u parciálních trolejbusů evidentní, čímž lze tato vozidla a celkově variantu B prohlásit jako za 100 % lokálně bezemisní.

#### **6.4.7 Síťový efekt**

Tento ukazatel se týká omezení přestupů v podobě zavádění přímých spojení, které zrovna v tomto případě přináší varianta B sloučením linky 37 a 102, zatímco u variant A a C pochopitelně dochází jenom ke změně pohonu vozidel na jinak totožné trase linky 37.

#### **6.4.8 Personální náklady**

Stanovení i rámcové ceny za navýšení/snížení personálních nákladů je nad rámec řešené problematiky, nicméně je důležité si uvědomit, že se zvyšujícím se počtem oběhů rostou také personální náklady a celkově nároky na počet zaměstnanců. Především varianta C by vykazovala zásadní změny, především pak v PD. Současně jsou náročné a nákladné také dlouhé obrátové a nabíjecí doby v této variantě. Naproti tomu varianta A se jeví jako nepříliš odlišná od současného stavu, kdy by došlo k navýšení pouze o 1 oběh ve špičkách PD. Tak jako v případě výpravnosti a dopravního výkonu, by varianta B poskytovala významné úspory personálních nákladů

### **6.5 Výběr optimální varianty**

Shrnutí výsledků a vzájemných porovnání všech variant představuje klíčový seznam výstupních dat pro stanovení pořadí jednotlivých variant. Výrazným podpůrným nástrojem je vyvinutý simulační model v kapitole 3, jejíž význam je pro tuto práci nepostradatelný. Již v úvodu kapitoly 3 autor došel k předzvěsti Závěru a této podkapitoly, že je nemožné určit univerzální soubor hodnot a doporučení pro návrhy provozu elektrobusů, který by byl široce uplatnitelný napříč spektrem měst a systémů všeho druhu. O to víc v případě výběru optimální varianty. Předmětem této práce nebylo navrhnout a současně vybrat optimální variantu, poněvadž jak už i v průběhu kapitoly 3 vyplývalo, každý dopravní systém je unikátní a do jeho charakteristiky vstupuje řada proměnných. Nejinak je tomu i v případě výběru optimální varianty. Každý dopravce/objednatel dopravy má zcela odlišné nároky, možnosti a hodnotící kritéria. Každá z variant A, B, C v sobě zahrnuje pozitiva i negativa a s tím spojené důsledky a možnosti dalšího rozvoje.

Výběr potenciální optimální varianty přesahuje problematiku této práce i z pohledu dopravní politiky DPO, poněvadž strategie i priority elektrifikace dalších linek jsou autorovi neznámé. Souvisí to právě se strategií, jakou bude DPO uplatňovat u dalších autobusových linek. Proto se autor rozhodl ukázat, jaké řešení by mohlo být nalezeno při použití každého z přístupů (označených jako A, B, C). I pokud se některá varianta jeví z pozice diplomové práce jako výhodná, nakonec to

tak v praxi nemusí být. Nastalo by to například tehdy, pokud by daná technologie zůstala na této lince osamocena a nebylo by možno využívat úspor z rozsahu a dalších synergických efektů.

Nicméně, aby autor projevil svůj názor na relativní výhodnost jednotlivých variant, určí jejich pořadí v pohledu několika různých kritérií:

- Rámcová cena – A, C, B
- Změna dopravního výkonu – B, A = C (kdy varianty A i C jsou rovnocenné, neboť zásadní odchylka mezi nimi nenastala)
- Změna personálních nákladů – A, B, C (z pohledu omezení nárůstu těchto nákladů ve vztahu k současnému stavu)
- Změna výpravnosti vozidel – B, A, C (z pohledu omezení nárůstu počtu vozidel vzhledem k současnému stavu)
- Synergický efekt (základ pro budoucí elektrifikaci) – A, C, B
- Ekologický přínos – B, A = C (varianty A a C v obou případech nevykazují 100 % lokálně bezemisní provoz)
- Síťový efekt – B, A = C (varianty A i C pouze elektrifikují danou linku a nedochází ke změně koncepce linkového vedení)

Pořadí variant A, B, C vzhledem k daným kritériím je odrazem obsahu oddílu 6.4, v němž autor porovnával aspekty navrhovaných variant vycházející z jejich samotného vyhodnocování. Sumarizaci pořadí jednotlivých variant zobrazuje tabulka 50, kdy bylo v některých případech dosaženo rovnocenného pořadí, což je jmenovitě příklad síťového efektu či změn dopravních výkonů, kde byly rozdíly marginální. S přihlédnutím k daným pořadím se jeví varianta C, alespoň za aktuální situace na trhu elektrobusů, jako nekoncepční, na což autor poukazoval již v průběhu realizace této varianty, načež se ukazuje, že jsou tyto domněnky i podloženy fakty.

Tabulka 50 Pořadí variant vzhledem ke kritériím.

POŘADÍ VARIANT VZHLEDEM KE KRITÉRIÍM			
Kritérium	Pořadí varianty		
	Varianta A	Varianta B	Varianta C
Rámcová cena	1	3	2
Změna výpravnosti vozidel	2	1	3
Změna dopravního výkonu	2	1	2
Synergie dalšího rozvoje elektromobility	1	3	2
Ekologický přínos	2	1	3
Změna personálních nákladů	2	1	3
Síťový efekt	2	1	2
Průměrná doba nabíjení	2	1	3

Zdroj: autor

V případě variant A a B je situace již méně jednoznačná a velice záleží na dopravní strategii dopravního podniku. Jak bylo analyzováno v podkapitole 4.1.2, naprostá většina provozovatelů trolejbusových subsystémů by preferovala variantu B s parciálními trolejbusy, nicméně v případě města Ostravy jsou provozovány jednak parciální trolejbusy, tak i největší flotila elektrobuseů Oppcharge na území ČR, a proto je v této situaci komplikovanější rozhodnout o relativně výhodnější variantě.

V každém případě, v podmínkách této diplomové práce se varianta B s parciálními trolejbusy jeví jako nejvíce relativně výhodná, čemuž nasvědčuje mnoho skutečností. Autor se však domnívá, že cena parciálních trolejbusů bude hrát v rozhodování dopravců postupně čím dál větší roli, poněvadž lze očekávat, že ceny elektrobuseů se budou snižovat, což může vést ještě ve větší neprospěch parciálních trolejbusů v případě finanční stránky, která je zásadní.

## ZÁVĚR

Lze předpokládat, že otázka rozvoje elektromobility na poli MHD a VLD bude čím dál větším tématem obzvláště ve městech, která se jí prozatím v jistém slova smyslu vyhýbala. Implementace elektrobusů do dopravních systémů bude nevyhnutelným krokem i za cenu vyšších (nejen) provozních nákladů, což se pomalu začíná stávat i realitou. Ačkoliv mají elektrobusy z pohledu laické veřejnosti mnoho společného s autobusy se spalovacími motory, opak je pravdou. Za rouškou leckdy rádoby lokálně bezemisního provozu se skrývá mnoho omezujících podmínek a proměnných, které jednoznačně vyžadují důslednost v oblasti dopravního plánování a strategie. Problémem řady měst se zdá být neznalost dané problematiky, kdy snahy o zavedení provozu elektrobusů často pracují s technickými i technologickými požadavky, které jsou častokrát dvousečné a jen obtížné lze takovým požadavkům, ať už ze stran výrobců či dopravních technologů, vyhovět. I na základě toho se autor rozhodl vytvořit simulační model, na které by mohl právě s technickými znalostmi problematiky elektrobusů ověřovat a navrhovat relevantní návrhy jízdního řádu vybrané linky s výhradním provozem elektrobusů.

První skutečný provoz elektrobusů na území ČR byl do provozu uveden v letech 2010-2011 v Ostravě. Za tu dobu prodělaly elektrobusy neskutečný technický i technologický pokrok, kdy je z dnešního pohledu až podivuhodné, že takový provoz vůbec vznikl. Je otázkou, jaké možnosti lze očekávat v tomto segmentu za stejný časový úsek v budoucnosti. Avšak jedno se zdá být pravděpodobné, se zdokonalováním parametrů baterií elektrobusů a snižováním cen těchto vozidel bude jakákoliv úvaha o rozšíření provozu parciálních trolejbusů obtížněji obhajitelná, přestože představují příhodnou formu elektrifikace autobusových linek v kombinaci se síťovým efektem, což směle dokládá aktuální technický trend napříč českými městy s trolejbusovými subsystemy.

**Za hlavní přínosy této práce autor považuje ucelené zmapování dosud méně často probírané problematiky z hlediska technických parametrů baterií, způsobů nabíjení, až po elektrobusy samotné. Pomyslnou páteří práce je navržený simulační model, díky němuž bylo možné definovat celou řadu závislostí a omezujících podmínek provozu, s jehož využitím byly demonstrovány příklady rozhodování o možnostech elektrifikace vybrané linky, jenž mohly být současně podrobeny verifikaci funkčnosti a spolehlivosti. Parametry simulačního modelu mohou být přizpůsobeny podmínkám ve vztahu ke konkrétnímu dopravnímu systému.**

## SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ

- (1) DRDLA, Pavel. Osobní doprava regionálního a nadregionálního významu. 2. upravené vydání. Pardubice: Polygrafické středisko Univerzity Pardubice, 2018. 420 s. ISBN 978-80-7560-189-6.
- (2) MAPY.CZ. *Mapy.cz [online]. [cit. 2023-31-03]. Dostupné z: <https://mapy.cz/>*
- (3) ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD. *Český statistický úřad [online]. [cit. 2024-25-03]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/pocet-obyvatel-v-obcich-k-112023>*
- (4) Interní materiály DPO, a. s.
- (5) Interní materiály DPMP a. s.
- (6) PRO ELEKTROTECHNIKY. *Pro elektrotechniky [online]. [cit. 2023-11-04]. Dostupné z: <https://www.proelektrotechniky.cz/elektromobilita/382.php>*
- (7) PRO ELEKTROTECHNIKY. *Pro elektrotechniky [online]. [cit. 2023-11-04]. Dostupné z: <https://www.proelektrotechniky.cz/elektromobilita/387.php>*
- (8) PRO ELEKTROTECHNIKY. *Pro elektrotechniky [online]. [cit. 2023-11-04]. Dostupné z: <https://www.proelektrotechniky.cz/elektromobilita/385.php>*
- (9) SMART CITY V PRAXI. *Smart city v praxi [online]. [cit. 2023-11-04]. Dostupné z: [https://www.smartcityvpraxi.cz/moderni\\_technologie\\_111.php](https://www.smartcityvpraxi.cz/moderni_technologie_111.php)*
- (8) OPPCHARGE. *Pro elektrotechniky [online]. [cit. 2021-06-01]. Dostupné z: <https://www.oppcharge.org/>*
- (10) SMART CITY V PRAXI. *Smart city v praxi [online]. [cit. 2023-11-04]. Dostupné z: [https://www.smartcityvpraxi.cz/zajimave\\_projekty\\_390.php](https://www.smartcityvpraxi.cz/zajimave_projekty_390.php)*
- (11) SMART CITY V PRAXI. *Smart city v praxi [online]. [cit. 2023-11-04]. Dostupné z: [https://www.smartcityvpraxi.cz/Ebusy\\_Pruvodce/Elektricke\\_autobusy\\_efektivne.pdf](https://www.smartcityvpraxi.cz/Ebusy_Pruvodce/Elektricke_autobusy_efektivne.pdf)*
- (11) NANO POWER. *Nano power [online]. [cit. 2023-11-04]. Dostupné z: <https://nanopower.eu/cs/trakcni-baterie-vozidla-hromadne-dopravy/>*
- (12) PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. *Průmyslové spektrum [online]. [cit. 2023-11-04]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/stridave-stejnoserne-nazory-na-elektromobilitu-5-dil-typy-nabijeni-a-jejich-specifika>*

- (13)DPmHK DPmHK [online]. [cit. 2023-11-04]. Dostupné z: [https://www.dpmhk.cz/articles/1054/Elektrobussy\\_na\\_linkach\\_MHD\\_v\\_Hradci\\_Kralove\\_dosahly\\_jiz\\_peti\\_milionu\\_ujetyc/](https://www.dpmhk.cz/articles/1054/Elektrobussy_na_linkach_MHD_v_Hradci_Kralove_dosahly_jiz_peti_milionu_ujetyc/)
- (14)Faiveley Faiveley [online]. [cit. 2023-11-04]. Dostupné z: (13)DPmHK DPmHK [online]. Dostupné z: [https://www.dpmhk.cz/articles/1054/Elektrobussy\\_na\\_linkach\\_MHD\\_v\\_Hradci\\_Kralove\\_dosahly\\_jiz\\_peti\\_milionu\\_ujetyc/](https://www.dpmhk.cz/articles/1054/Elektrobussy_na_linkach_MHD_v_Hradci_Kralove_dosahly_jiz_peti_milionu_ujetyc/)
- (15)TRANSPHOTO.ORG. Gorodskoj elektrotransport [online]. [cit. 2023-06-02]. Dostupné z: <https://transphoto.org/vehicle/114447/#n110364>
- (16)SOR. SOR [online]. [cit. 2023-10-04]. Dostupné z: [https://www.sor.cz/wp-content/uploads/2019/11/NS\\_12\\_electric\\_CZ\\_NEW2\\_LoRes\\_23.10.2019.pdf](https://www.sor.cz/wp-content/uploads/2019/11/NS_12_electric_CZ_NEW2_LoRes_23.10.2019.pdf)
- (17)IVECO. IVECO [online]. [cit. 2023-10-04]. Dostupné z: [https://www.iveco.com/ivecobus/cz-cz/collections/technical\\_sheets/Documents/2022/E-WAY/CZ\\_Eway\\_12m.pdf](https://www.iveco.com/ivecobus/cz-cz/collections/technical_sheets/Documents/2022/E-WAY/CZ_Eway_12m.pdf)
- (18)SOLARIS BUS AND COACH Solaris Bus and Coach [online]. [cit. 2023-10-04]. Dostupné z: [https://www.solarisbus.com/public/assets/content/pojazdy/2021/CS\\_Bezemisni\\_pohony\\_produkto\\_vy\\_katalog\\_2021.pdf](https://www.solarisbus.com/public/assets/content/pojazdy/2021/CS_Bezemisni_pohony_produkto_vy_katalog_2021.pdf)
- (20)ČESKOSLOVENSKÝ DOPRAVÁK. Československý dopravák [online]. [cit. 2023-10-04]. Dostupné z: <https://www.cs-dopravak.cz/2018-1-16-pardubice-zakoup-sv-prvn-parciln-trolejbusy/>
- (21)TECHFOCUS. Techfocus [online]. [cit. 2024-06-01]. Dostupné z: <https://techfocus.cz/4250-nejvetsi-flotilu-elektrobusu-v-ceske-republice-bude-mit-ostrava.html>
- (22)PRO ELEKTROTECHNIKY. Pro elektrotechniky [online]. [cit. 2024-06-01]. Dostupné z: <https://www.proelektrotechniky.cz/elektromobilita/314.php>
- (23)Vliv teploty na parametry baterií [online]. Praha, 2019 [cit. 2023-28-04]. Dostupné z: [https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/80353/F3-DP-2019-Knotek-Vojtech-vliv\\_teploty\\_na\\_parametry\\_baterii.pdf](https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/80353/F3-DP-2019-Knotek-Vojtech-vliv_teploty_na_parametry_baterii.pdf). Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Ing. Pavel Hrzina, Ph.D.
- (24) Konzultace s obchodním ředitelem společnosti Cegelec a. s. panem Ing. Liborem Hinčicou
- (25)SUITANABLE BUS. Suitanable bus [online]. [cit. 2024-31-03]. Dostupné z: <https://www.sustainable-bus.com/electric-bus/solaris-mobility-move-2024-urbino-electric-new-battery/>



- (26)E-MOBILITY ENGINEERING. *E-mobility engineering [online]. [cit. 2024-31-03]. Dostupné z: <https://www.emobility-engineering.com/solaris-urbino-electric/>*
- (27)ČESKOSLOVENSKÝ DOPRAVÁK. *Československý dopravák [online]. [cit. 2024-31-03]. Dostupné z: <https://www.cs-dopravak.cz/solaris-v-berline-predstavil-novou-verzi-urbina-12-electric/>*
- (28)ČESKOSLOVENSKÝ DOPRAVÁK. *Československý dopravák [online]. [cit. 2024-02-04]. Dostupné z: <https://www.cs-dopravak.cz/most-ma-svuj-prvni-elektrobus-odkoupil-predvadeci-eway/>*
- (29)ČESKOSLOVENSKÝ DOPRAVÁK. *Československý dopravák [online]. [cit. 2024-02-04]. Dostupné z: <https://www.cs-dopravak.cz/pardubice-poptavaji-10-novych-trolejbusu/>*
- (30)ČESKOSLOVENSKÝ DOPRAVÁK. *Československý dopravák [online]. [cit. 2024-02-04]. Dostupné z: <https://www.cs-dopravak.cz/prvni-liberecky-elektrobus-nese-logo-solarisu/>*
- (31)ČESKOSLOVENSKÝ DOPRAVÁK. *Československý dopravák [online]. [cit. 2024-02-04]. Dostupné z: <https://www.cs-dopravak.cz/do-varsavy-zamiri-cinske-elektrobusy-yutong/>*
- (32)ČESKOSLOVENSKÝ DOPRAVÁK. *Československý dopravák [online]. [cit. 2024-02-04]. Dostupné z: <https://www.cs-dopravak.cz/v-ostrave-vyrazily-do-provozu-prvni-elektrobusy-od-solarisu/>*
- (33)ČESKOSLOVENSKÝ DOPRAVÁK. *Československý dopravák [online]. [cit. 2024-02-04]. Dostupné z: <https://www.cs-dopravak.cz/tram-for-envi-a-bogdan-dodaji-trolejbusy-do-jihlavy/>*
- (34)DPMHK. *Dopravní podnik města Hradec Králové [online]. [cit. 2024-02-04]. Dostupné z: [https://www.dpmhk.cz/177/Elektrobusy\\_SOR\\_NS\\_12\\_electric\\_v\\_Hradci\\_Kralove/](https://www.dpmhk.cz/177/Elektrobusy_SOR_NS_12_electric_v_Hradci_Kralove/)*
- (35)TENDER ARENA. *Tender arena [online]. [cit. 2024-02-04]. Dostupné z: <https://tenderarena.cz/dodavatel/seznam-profilu-zadavatele/detail/Z0000740/zakazka/682408>*
- (36)ESIPA. *Esipa [online]. [cit. 2024-02-04]. Dostupné z: <https://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=32006R0561>*
- (37)ESIPA. *Esipa [online]. [cit. 2024-02-04]. Dostupné z: <https://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=AZ&CP=2006s589-2021s342>*
- (38)PPROPO. *Příručka pro personální agendu a odměňování zaměstnanců [online]. [cit. 2024-02-04] Dostupné z: [https://ppropo.mpsv.cz/zakon\\_262\\_2006](https://ppropo.mpsv.cz/zakon_262_2006)*

- (39)TRANSPHOTO.ORG. *Gorodskoj elektrotransport [online]. [cit. 2024-02-04]. Dostupné z: <https://transphoto.org/country/11/>*
- (40)ČESKOSLOVENSKÝ DOPRAVÁK. *Československý dopravák [online]. [cit. 2024-11-04]. Dostupné z: <https://www.cs-dopravak.cz/do-liberce-zamiri-prvni-tuzemsky-solaris-urbino-9-le-electric/>*
- (41)Z DOPRAVY. *Z Dopravy [online]. [cit. 2024-11-04]. Dostupné z: <https://zdopravy.cz/dotaborske-mhd-miri-elektrobuses-budou-tvorit-temer-ctvrtinu-vozidel-197903/>*
- (42)ČESKOSLOVENSKÝ DOPRAVÁK. *Československý dopravák [online]. [cit. 2024-11-04]. Dostupné z: <https://www.cs-dopravak.cz/decin-vypsal-soutez-na-20-elektrobusu/>*
- (43)Interní materiály DPMČB a. s.
- (44)ZARZĄD TRANSPORTU MIEJSKIGO W WARSZAWIE. *Zarząd Transportu Miejskiego w Warszawie [online]. [cit. 2024-12-04]. Dostupné z: <https://www.ztm.waw.pl/statystyki/>*
- (45)Interní materiály ZTM Warszawa
- (46)SIEMENS VISIONS. *Siemens visions [online]. [cit. 2024-11-04]. Dostupné z <https://www.visionsmag.cz/jak-nabijet-nejvetsi-ceskou-flotilu-elektrobusu>*
- (47)PROFILY VEŘEJNÝCH ZADAVATELŮ. *Profily veřejných zadavatelů [online]. [cit. 2024-11-04]. Dostupné z <https://profily.proebiz.com/verejne-zakazky/3788>*
- (47)PROFILY VEŘEJNÝCH ZADAVATELŮ. *Profily veřejných zadavatelů [online]. [cit. 2024-11-04]. Dostupné z <https://profily.proebiz.com/verejne-zakazky/3180>*
- (48)PROFILY VEŘEJNÝCH ZADAVATELŮ. *Profily veřejných zadavatelů [online]. [cit. 2024-11-04]. Dostupné z <https://profily.proebiz.com/verejne-zakazky/2660>*
- (49)PROFILY VEŘEJNÝCH ZADAVATELŮ. *Profily veřejných zadavatelů [online]. [cit. 2024-11-04]. Dostupné z <https://profily.proebiz.com/verejne-zakazky/2164>*
- (50)MHD Ostrava. *MHD Ostrava [online]. [cit. 2024-11-04]. Dostupné z [http://mhd-ostrava.cz/?s=nabijeci\\_stanice](http://mhd-ostrava.cz/?s=nabijeci_stanice)*
- (51)OPENSTREETMAP. *OpenStreetMap. [online]. [cit. 2024-19-04]. Dostupné z: <https://www.openstreetmap.org/>*

## SEZNAM PŘÍLOH

<b>Příloha A</b> Systémy elektrobusů .....	116
<b>Příloha B</b> Rámcové ceny vozidel a baterií.....	123
<b>Příloha C</b> Provoz elektrobusů v Ostravě v roce 2023.....	127
<b>Příloha D</b> Charakteristika simulačního modelu .....	132
<b>Příloha E</b> Existence liniové infrastruktury .....	137
<b>Příloha F</b> JŘ současné autobusové linky 37 pro soboty a neděle. ....	141
<b>Příloha G</b> Varianta A – návrh JŘ a oběhů vozidel pro soboty a neděle. ....	142
<b>Příloha H</b> Varianta B – návrh JŘ a oběhů vozidel pro soboty a neděle .....	143
<b>Příloha I</b> Varianta C – návrh JŘ a oběhů vozidel pro soboty a neděle .....	144
<b>Příloha J</b> Spotřeba na autobusové lince 34.....	145

## Příloha A Systémy elektrobusů

Na základě způsobů a typů nabíjení s ohledem na technologie trakčních baterií, bylo vyvinuto několik systémů elektrobusů, které jsou dnes vzhledem k environmentální politice implementovány do subsystémů MHD, případně i VLD. Zvolené systémy vychází přímo z obsahu předchozích kapitol, což představuje obecné využití těchto technologií a parametrů. Obsahem této podkapitoly není konečný výčet systémů elektrobusů, nýbrž omezený okruh, které se na území ČR vyskytují.

### Systém Oppcharge

Podstatou systému Oppcharge je oportunní nabíjení elektrobusů během denního provozu. Ačkoliv je dojezd na jedno nabití u takových elektrobusů poměrně omezený, tak tento dojezd lze násobit četností nabíjení. Celkový dojezd pak může být větší než v případě elektrobusů, u nichž je kladen důraz na co největší dojezd na jedno nabití.

Někdy je systém Oppcharge označován pojmem Panto-down, z jehož názvu je daleko evidentní, co je jeho charakteristickým znakem. Propojení vozidla a nabíjecí infrastruktury je v tomto případě zajišťováno reverzním pantografem, který se, jak je z anglického názvu systému patrné, spouští z nabíjecího stojanu dolů ke střeše vozidla, kde dochází mezi napájecími lištami ramena a lyžinami na střeše vozidla ke kontaktu. Na obrázku A 1 je zobrazen spuštěný reverzní pantograf.



Obrázek A 1 Spuštěný reverzní pantograf zprostředkující nabíjení ostravského elektrobusu systému Oppcharge. Zdroj: foto autor

Aby se reverzní pantograf spustil, je nezbytné, aby řidič elektrobusu zastavil na stanoveném místě pod nabíjecím stojanem. Po aktivaci parkovací brzdy a stisknutí příslušného tlačítka je prostřednictvím Wifi vydán z vozidla signál, aby došlo k nabíjení. Pokud jsou výše uvedené podmínky splněny, reverzní pantograf se spustí a nabíjení může probíhat. Po dosažení 100 % se reverzní pantograf automaticky stáhne zpět. Dřívější ukončení nabíjení je zapotřebí ukončit daným spínačem ve vozidle. Pohled na proces nabíjení ztvárňuje obrázek A2.



Obrázek A 2 Elektrobusy Solaris Urbino 12 IV Electric během procesu nabíjení na ulici Valchařské v Ostravě, kde jsou umístěny hned 3 nabíjecí ramena.. Zdroj: foto autor

Případy nežádoucího opuštění vozidla v průběhu nabíjení jsou podmíněny stažením nabíjecího ramena, bez něhož nelze i s odbrzděným vozidlem příslušný prostor opustit. Jsou tak softwarově ošetřeny případy pochybení lidského činitele, kdy by mohlo dojít k poškození vozidla a infrastruktury.

Výhodou tohoto řešení je fakt, že samotné vozidlo není zapotřebí vybavit příslušným sběračem, čímž dochází k úspoře hmotnosti vozidla. Samotná vozidla jsou opatřena dvojicí lyžin, které mají hmotnost pouhých 15 kg, což je při srovnání s polopantografem, který má hmotnost přibližně 125 kg, nezanedbatelná úspora. Ušetřená hmotnost může být využita ve vozidle jinak, případně může vést ke kýženému snížení celkové hmotnosti vozidla. Mimo to absence sběrače snižuje i světlou výšku vozidla, která může být v některých lokalitách limitující. (14)

Oproti systému Bus-up, jež je předmětem následujícího oddílu, jsou nabíjecí pantografy dislokovány na samotných vozidlech, nikoliv jak je tomu v případě Oppcharge, kde jsou nabíjecí pantografy situovány na samotných nabíjecích stanicích. Platí proto, že každé vozidlo systému Bus-up musí disponovat vlastním sběračem pro nabíjení.

Na základě znalostí systému Oppcharge a Bus-up, jak a kde se využívá nabíjecích sběračů byl vytvořen modelový příklad v tabulce A1. Představuje srovnání počtu nabíjecích pantografů v rámci systémů Oppcharge a Bus-up.

V modelovém příkladu je uvažováno, že na každou linku přísluší pro oba systémy 1 nabíjecí stanice, tedy 1 nabíjecí rameno (reverzní sběrač) v případě systému Oppcharge. Pro tentýž systém nemá

počet nasazovaných vozidel pochopitelně na konečný počet sběračů žádný vliv, což neplatí pro systém Bus-up. Počty uvažovaných vozidel jsou pouze pro demonstraci rozdílů mezi oběma systémy.

*Tabulka A 1 Vývoj počtu sběračů v systémech Oppcharge a Bus-up.*

		Potřebné počty sběračů (ks)	
Počet linek	Počet nasazovaných vozidel	Oppcharge	Bus-up
1	1	1	1
1	2	1	2
1	4	1	4
2	8	2	8
2	10	2	10
3	12	3	12
4	20	4	20

*Zdroj: autor*

V systému Bus-up platí, že každé vozidlo musí disponovat vlastním nabíjecím sběračem. S narůstajícím počtem vozidel se proto přímo úměrně zvyšuje počet nabíjecích sběračů.

S přihlédnutím k pořizovacím cenám sběračů je k zamyšlení, zdali je systém Bus-up výhodný pro kvantitativně větší provoz elektrobuses, zatímco v systému Oppcharge přísluší na nabíjecí stanici 1 reverzní sběrač, neboť na vozidlech samotných se nenachází.

### **Potenciální význam absence sběračů na vozidlech**

Na dalším příkladu bude přiblížen význam absence sběračů na vozidlech, který bude demonstrován na příkladu, kde se vypočítává hmotnost jednotlivých typů bateriových článků. Přestože hmotnostní úspora vlivem absence sběračů může být ve výsledku pouhých 100 kg, což se může jevit jako marginální a irelevantní, v případě NMC baterií se může jednat až o 15 kWh dodatečné elektrické kapacity navíc.

Tabulka A2 demonstruje závislost elektrické kapacity baterie a její hmotnosti, resp. i na požadovaném výkonu. Jsou dány dva parametry, které jsou určeny provozem a parametry elektrobuse. Jedná se o elektrickou kapacitu 40 kWh a požadovaným výkonem 120 kW. Na základě takového zadání může proběhnout porovnání vybraných typů baterií o známých parametrech.

Tabulka A 2 Modelový příklad závislosti kapacity baterií, výkonu a hmotnosti.

Požadovaná kapacita		40 kWh	Požadovaný výkon		120 kW	
Typ baterie	Specifická energie (kWh/kg)	C-rate medián	Kapacita baterie (kWh)	Výkon dané baterie (kW)	Hmotnost baterie (kg)	Specifická energie (kWh/100 kg)
NMC	0,154	1,8	67	120	433	15
LFP	0,082	1,6	75	120	915	8
LTO	0,045	3,75	32	120	711	5

**Poznámka:**

Výkon LTO baterie postačuje, avšak kapacita nikoliv. V takovém případě je nezbytné využít baterii s vyšší kapacitou, která by současně poskytla ještě větší výkon.

Zdroj: autor

Předpokládané hmotnosti baterií byly stanoveny na základě následujícího fyzikálního vztahu vycházejícího z definice specifické energie, která vyjadřuje množství elektrické kapacity na 1 kg (baterie). V uvedeném vzorci (A.1) se jedná o přepočtenou elektrickou kapacitu na 100 kg (baterie).

$$C = E_S \cdot 100 \text{ [kWh/100 kg]} \quad (\text{A.1})$$

Kde:

$C$  ..... elektrická kapacita baterie [kWh]

$E_S$  ..... specifická energie  $E_S$  [kWh/kg]

Přestože je v zadání požadována kapacita 40 kWh, je nezbytné současně splnit podmínku požadovaného výkonu. S přihlédnutím na C-Rate LTO baterií je výsledná kapacita LTO baterií vyšší, než je poptáváno, nicméně pro zajištění požadovaného výkonu není technicky možné vyrobit LTO baterii s menší kapacitou. Uvažované elektrické kapacity byly stanoveny na základě následujícího fyzikálního vztahu (A.2), kde je krom požadovaného elektrického výkonu významný také C-Rate jednotlivých baterií. Čím vyšší je C-Rate (LTO baterie), tím dříve baterie dosahuje požadovaného výkonu, ale na druhou stranu neposkytuje tak vysokou elektrickou kapacitu baterií, jako při nižších hodnotách (NMC, LFP):

$$C = \frac{W}{C_{Rate}} \text{ [kWh]} \quad (\text{A.2})$$

Kde:

$C$  ..... elektrická kapacita baterie  $C$  [kWh]

$W$  ..... elektrický výkon [kW]

$C_{Rate}$  .....  $C_{Rate}$  []

Elektrický výkon takové baterie byl stanoven na základě matematického vyjádření elektrického výkonu z předcházejícího fyzikálního vzorce pro výpočet elektrické kapacity baterií.

Na základě C-Rate poskytuje suverénně nejlepší výsledky LTO baterie, která poptávaný výkon poskytuje již při kapacitě 32 kWh. Tato hodnota nesplňuje požadovanou elektrickou kapacitu, a proto by bylo zapotřebí v případě využití LTO baterií využít baterie s větší elektrickou kapacitou. Na druhou stranu by tímto baterie nabízela větší výkon, než je na první pohled nezbytné. Je však třeba uvést, že takový výkon baterie poskytuje jen po omezenou dobu. Špičkový C-Rate LTO baterií je 8, nicméně takový C-Rate je časově omezený, a proto je nezbytné počítat s patřičnou výkonnostní rezervou, díky čemuž je baterie s vyšší kapacitou a výkonem výhodou.

Vzhledem k rozdílným hodnotám specifické energie má každý typ baterie odlišnou hmotnost. Suverénně nejlepší specifickou energii mají NMC baterie, čemuž odpovídá i jejich výsledná hmotnost. Naopak LFP baterie vykazují zcela nejvyšší hmotnost, i když je třeba zohlednit skutečnost, že pro splnění požadované kapacity by bylo nezbytné vyrobit kapacitnější LTO baterii, a tak by se hmotnostní rozdíl mezi LFP a LTO minimalizoval.

Tento příklad je zaměřený pro představení hmotností vybraných baterií, přičemž nezohledňuje jiné důležité parametry, které se vyskytují při výběru vhodného typu baterií, mezi něž se řadí např. počet cyklů či rámcová cena.

V současnosti (2024) je jediným provozovatelem systému Oppcharge Dopravní podnik Ostrava, který disponuje 5 rychlonabíjecími stanicemi a 26 elektrobusem.

### **Systém Bus-up**

Daný systém bývá označován také jako systém Schunk dle prvotního německého výrobce, který tuto technologii k elektrobusem dodával. Podstata tohoto systému je analogická se systémem Oppcharge, kdy se vozidla v provozu oportunně nabíjí na vybudované nabíjecí infrastruktuře na konečných zastávkách.

Oproti Oppcharge je nosičem sběrače samotné vozidlo. Navíc je u systému Oppcharge téměř výhradně využíváno čtyřpólové nabíjení, zatímco u systému Bus-up využívají zejména čeští dopravci dvoupólovou nabíjecí infrastrukturu, což je v ČR příklad například Prahy, Českých Budějovic a Hradce Králové. V rámci ČR je princip systému Bus-up prozatím daleko více rozšířený.

### **Overnight charging**

Tento ustálený pojem je spojen nejčastěji s nabíjením přes noc, avšak může probíhat např. mezi dopravními špičkami, kdy jsou některá vozidla po ukončení provozních výkonů dislokována ve vozovnách/garážích. Toto nabíjení bývá zpravidla pomalé, resp. méně výkonné, neboť jedním z důvodů je i ten, že není zapotřebí dobít trakční baterii v krátkém čase. Díky tomu může dojít



i k tzv. balancování trakčních baterií, kdy se vyrovná elektrická kapacita ve všech bateriových člancích, jejichž kapacita bývá v provozu různá.

Nabíjení přes noc probíhá zpravidla s využitím standardizované zásuvky CCS/Combo 2, jež má oporu i v evropské legislativě, díky čemuž je zajištěna kompatibilita s různými výrobci vozidel. Pro potřeby tohoto nabíjení často postačuje rozvodna příslušných vozoven/garáží, kde jsou vozidla dislokována, což ovlivňuje i maximální možný nabíjecí výkon. Ilustrační fotografii této zásuvky zobrazuje obrázek A3. (11)



*Obrázek A 3 Standardizovaná zásuvka CCS/Combo 2. Zdroj: (11)*

V případě jiných technologií interoperabilita prozatím v evropské legislativě zahrnuta není, což v případě plánování provozu elektrobusů pouze v krátkodobém či střednědobém horizontu přináší problémy v okamžiku nutné obměny vozidel, kdy je provozovatel vázán výhradně na technologii jednoho výrobce.

### **Parciální trolejbusy**

Ačkoliv se (parciální) trolejbusy v představách laické veřejnosti příliš neslučují s definicí elektrobusu, jak již bylo nastíněno dříve a především v podkapitole 4.1.2, v podmínkách České republiky představují v současnosti (2024) parciální trolejbusy nejrozšířenější formu elektrobusů, resp. způsob rozvoje elektromobility. Ilustrační obrázek parciálního trolejbusu je na obrázku A4.



*Obrázek A 4 Parciální trolejbus Škoda 26 Tr Solaris nasazený na ostravskou linku 101, jež nahradila autobusovou linku 29. Zdroj: foto autor*

Jedním z neduhů trolejbusů obecně je jejich omezená flexibilita v případě mimořádných událostí. Ta bývá odpůrci tohoto dopravního módu často vyzdvižována, nicméně s rozvojem technologií a příchodem parciálních trolejbusů se stal tento atribut minulostí. Data ukazují že v případě českých měst již provozující trolejbusové subsystémy, obecně převládají preference parciálních trolejbusů nad elektrobusy.

S výjimkou Hradce Králové a Ostravy, kteří se řadí mezi největší provozovatele elektrobusů v ČR, tomu tak skutečně je, kdy se města rozhodla využít existující liniové infrastruktury a začít omezovat výkony autobusového subsystému pomocí trolejbusů s alternativním pohonem. Bližší přehled přináší samostatná podkapitola 4.1.2. věnující se dané problematice. Ilustrační obrázek parciálního trolejbusu je na obrázku B2.

Zavedení parciálních trolejbusů nevyžaduje výrazné zásahy či investice do infrastruktury, tak jako tomu je v případě systémů OppCharge či Bus up. Mezi dílčí úkony, které je nezbytné provést, je vybudování natrolejovacích stříšek v místech, kde se trolejbusy budou opět připojovat k trolejové síti. S tímto krokem se často pojí i nezbytná geometrická úprava příslušné trolejové stopy, která musí být co nejbližší ose místa zastavení parciálního trolejbusu, aby mohlo dojít k bezproblémovému připojení sběračů k trolejovému vedení.

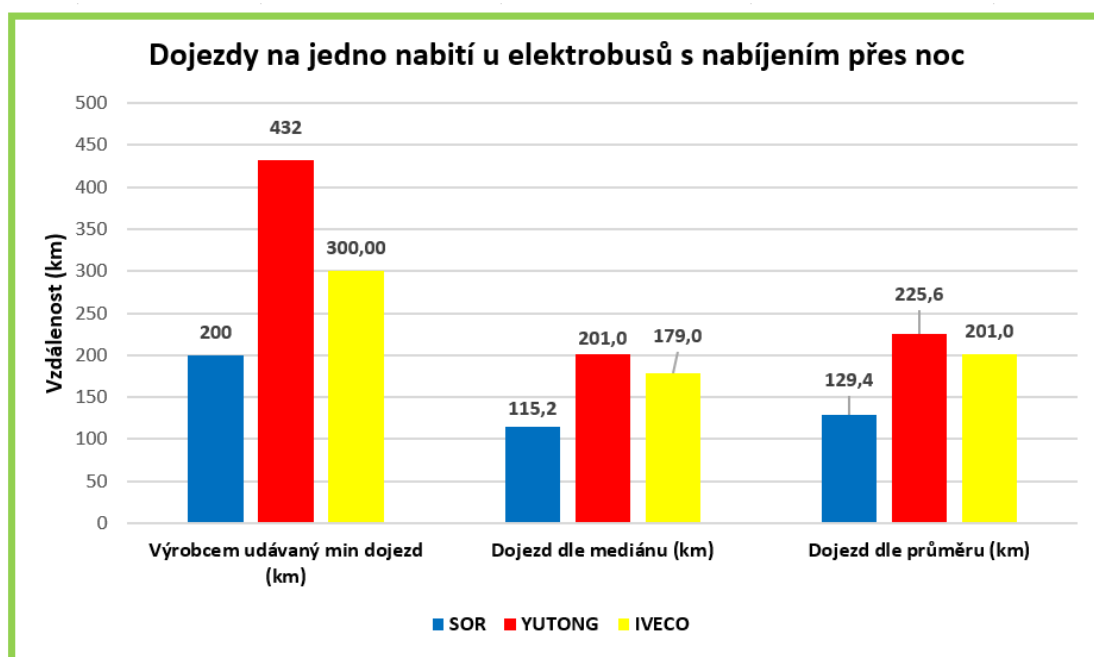
Důležitým opatřením je taktéž vyhrazení tzv. balancovací trolejové stopy ve vozovkách, kde během nočního odstavení vozidel bude docházet k vyrovnávání elektrické kapacity v jednotlivých bateriových člancích, aby byla zajištěna správná funkčnost a současně předepsaná cyklická životnost baterií. Za další je nezbytné zohlednit skutečnost, že parciální trolejbusy mají během

dynamického nabíjení pod trolejí zvýšenou spotřebu elektrické energie, tudíž je nezbytné učinit taková opatření, aby v případě větší koncentrace trolejbusů v 1 napájecím úseku nedošlo k poruchám/výpadkům napájení sítě, vzhledem k nadměrnému odběru elektrického proudu více vozidel současně.

Obecně na základě zkušenosti z provozu a výrobců lze dnes parciální trolejbusy provozovat na trasách, kde je poměr jízdy na alternativní pohon a jízdy pod trolejí 60:40. Dříve se doporučovalo a aplikovalo, aby tento poměr byl alespoň 50:50. V závislosti na konkrétních podmínkách uvažované trasy se ukazuje, zdali je na konečné v části trasy bez liniového vedení nezbytné vybudovat nabíjecí trolejovou stopu, nebo ne. Pokud ano, není nezbytné nabíjet tyto trolejbusy až do plné kapacity, nýbrž pouze tak, aby bezpečně dojevy opět k trolejovému vedení,, přičemž do plné kapacity se nabíjí během jízdy s odběrem z troleje. (24)

## Příloha B Rámcové ceny vozidel a baterií

Při pohledu na spotřebu dle dojezdů výrobců v tabulce 5 v podkapitole 1.5 je evidentní, kteří výrobci počítají více reálnými a extrémními provozními podmínkami. Jak uvádí graf na obrázku B1, u elektrobusů s overnightcharge nejsou rozdíly mezi výrobcí uváděnými čísly a hodnotami na bázi mediánové a průměrné spotřeby nezanedbatelné. Na základě této analýzy bude autor v dalších částech této práce uvažovat mediánovou spotřebu vozidel, neboť jedině tak bude dosaženo toho, aby byl dojezd vozidel platný v každém ročním období. V kapitole 3.3.2 je analyzována spotřeba konkrétního typu vozidla na sklonově náročné trase.



Obrázek B 1 Graf s dojezdy na 1 nabití u elektrobusů s nabíjením přes noc. Zdroj: autor

Navýšit dojezd na jedno nabití lze logicky s využitím kapacitnějších baterií. Tento krok má však i svá úskalí. Navýšení kapacity přináší navýšení pohotovostní hmotnosti vozidla a tím i snížení obsaditelnosti vozidla, aby vyhovovalo zákonným limitům týkající se maximální přípustné hmotnosti vozidel. Ve většině zemích v EU je limit stanoven na 19 000 kg, nicméně například v Itálii a ve Španělsku je to 20 000 kg.

V tabulce B1 je zobrazen vliv vyšší kapacity baterií na celkovou obsaditelnost vozidla vycházející z konfigurace elektrobusu SOR NS 12 Electric, který je o takových parametrech skutečně nabízen a provozován například v Hradci Králové.

Tabulka B 1 Vliv elektrické kapacity baterií na přepravní kapacitu elektrobusu.

VÝCHOZÍ KONFIGURACE							
Typ vozidla	Typ baterie	Specifická energie (kWh/kg)	Kapacita baterie (kWh)	Výrobce udávaný min dojezd (km)	Spotřeba dle dojezdu výrobce	Pohotovostní hmotnost (kg)	Z toho hmotnost baterie (kg)
SOR NS 12 Electric	NMC	0,154	242	200	1,21	12 500	1 571
Typ vozidla	Typ baterie	Kapacita baterie (kWh)	Dojezd dle spotřeby výrobce (km)	Obsaditelnost (cestujících)		Pohotovostní hmotnost (kg)	Z toho hmotnost NMC baterie (kg)
				při 80 kg/cestující	% rozdíl		
SOR NS 12 Electric	NMC	242	200	81		12 500	1 571
SOR NS 12 Electric	NMC	300	248	77	-6 %	12 877	1 948
SOR NS 12 Electric	NMC	350	289	72	-11 %	13 201	2 273
SOR NS 12 Electric	NMC	400	331	68	-16 %	13 526	2 597
SOR NS 12 Electric	NMC	450	372	64	-21 %	13 851	2 922
SOR NS 12 Electric	NMC	500	413	60	-26 %	14 175	3 247
SOR NS 12 Electric	NMC	550	455	56	-31 %	14 500	3 571
SOR NS 12 Electric	NMC	600	496	52	-36 %	14 825	3 896

Zdroj: autor s využitím (16) (27)

Další situace zobrazují hypotetické parametry téhož typu vozidla, avšak s různými kapacitami baterií. Uvedené hodnoty jsou pouze rámcové, vše se odvíjí od konkrétních NMC baterií, kdy může docházet k menším odchylkám u specifické energie. Je patrné, že přibližně každých dodatečných 50 kWh elektrické kapacity snižuje oficiální přepravní kapacitu přibližně o 5 %. (16)

Bezpochyby je zajímavostí, že výrobce elektrobusů SOR NS 12 Electric v katalogovém listu tohoto typu vozidla nadhodnocuje kapacitu vozidla, neboť obsaditelnost výchozí konfigurace, tedy té skutečné, je 102 cestujících. Na základě výpočtů v tabulce B1 by ale maximální přípustná obsaditelnost vzhledem k zákonným hmotnostním limitům neměla přesahovat u tohoto typu vozidla kapacitu 81 osob. (16)

### Ceny vozidel

Neméně významnou skutečností jsou ceny vozidel. V posledních letech čelí výrobci vozidel mnoha důsledkům geopolitických situací, kdy se ceny turbulentně mění. Svůj podíl na ceně má i velikost trhu, který je v případě trolejbusů omezen prakticky na jednotky výrobců. To do budoucna nebude

příliš nahrávat preferenci parciálních trolejbusů, neboť je možné, že se ceny elektrobusů postupem času budou snižovat i vlivem čínské konkurence.

Ceny vybraných vozidel demonstruje tabulka B2, kde se nachází vybrané příklady cen vzešlých z výběrových řízení v letech 2017-2024. Např. cena prakticky totožného parciálního trolejbusu, avšak s odlišnou karoserií výrobce Škoda Electric, se mezi lety 2021 a 2023 zvýšila o více než 2 miliony Kč. Pro zajímavost je zastoupen také případ z polského hlavního města Warszawa, která v roce 2024 uzavřela kontrakt na dodávku elektrobusů Yutong, kdy 1 vozidlo vychází v přepočtu na 15,5 milionu Kč bez DPH.

Tabulka B 2 Ceny vybraných elektrobusů a parciálních trolejbusů v letech 2017-2024.

Typ vozidla		Výrobce	Cena bez DPH (mil. CZK)	Cena dle města
SOR NS 12 Electric	Bus up	SOR	12,30 (2017)	Hradec Králové
Solaris Urbino 12 Electric IV	Oppcharge	Solaris	10,98 (2020)	Ostrava
Škoda 36 BB E'CITY	Bus up	Škoda+Temsas	12,25 (2020)	Praha
Yutong U12	Overnighcharge	Yutong	15,50 (2024)	Warszawa (PL)
Škoda 32 Tr SOR	Parciáln ĩTr	Škoda+SOR	14,60 (2023)	Pardubice
SOR TNS 12 Cegelec	Parciáln ĩTr	Cegelec+SOR	11,90 (2021)	Jihlava
Škoda 26 Tr Solaris	Parciáln ĩTr	Škoda+Solaris	12,37 (2021)	Plzeň

: autor s využitím (20) ((22) (29) (31) (32) (33) (34)

### Rámcová cenová hladina baterií

Cena trakčních baterií představuje podstatnou část celkové ceny za vozidlo. Přestože někteří výrobci nabízejí v dnešní době (2024) svá vozidla s bateriemi o celkové kapacitě až 700 kWh, je důležité si uvědomit, že se tento úctyhodný artikl promítne do konečné ceny. Na níže přiložené tabulce B3 je příklad baterie, kde zákazník (dopravce) požaduje baterii, která je schopna zaručit dojezd 30 km a poskytovat výkon 160 kW.

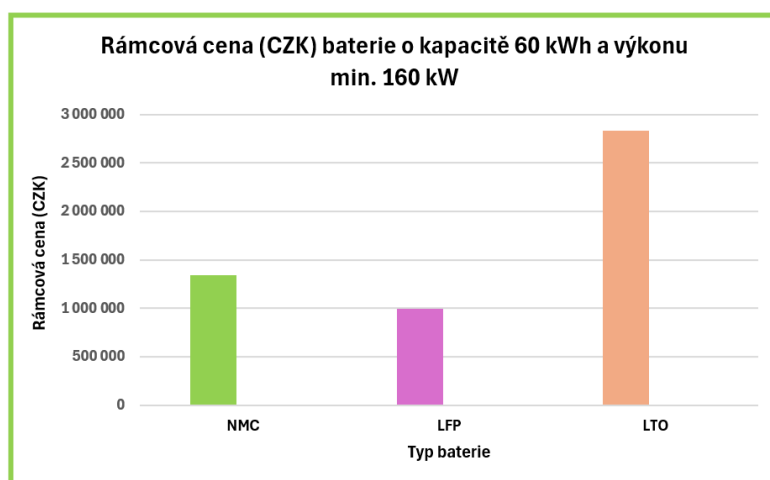
Tabulka B 3 Rámcová cena baterií a jejich parametrů.

	Požadovaný dojezd		30 km	
	Požadovaný výkon		160 kW	
Typ baterie	Kapacita baterie (kWh)	Výkon baterie (kW)	Hmotnost baterie (kg)	Počet cyklů
NMC	60	60	389	3 000
LFP	60	120	731	4 000
LTO	60	480	1 333	25 000-39 000
	Rámcová cena za 1 kWh -2022 (CZK)	Rámcová cena baterie - 2022 (CZK)	Záruční doba baterií daná výrobcem (rok)	
NMC	22 368	1 342 080	8	Cegelec
LFP	16 666	999 960	10	BYD
LTO	47 307	2 838 420	5	Škoda Electric

Zdroj: autor s využitím (25)

Při výpočtu bylo využito průměrné spotřeby 2 kWh na 1 km. Ceny za 1 kWh u jednotlivých typů baterií na základě konzultace se společností Cegelec jsou pouze rámcové, nicméně pro potřeby této práce jsou dostačující. Tyto ceny odpovídají situaci na trhu v roce 2022. Pro zajímavost jsou uvedené také příklady záručních dob, které výrobci na trakční baterie poskytují, případně vzešly z požadavků konkrétního zákazníka (dopravce).

Na základě kapitoly 1.1.2 o parametrech baterií je při jejich výběru nezbytné zhodnotit také jejich cyklickou životnost, čili počet nabíjecích/vybíjecích cyklů a současně také konkrétní řešení, které nabízí výrobce. I přes zdánlivě nízký počet cyklů u NMC baterií se může zdát, že při častém nabíjení bude také kratší jejich životnost. Na druhou stranu, pokud výrobce zvolí baterie s daleko větším dojezdem, než zákazník požaduje, bude se i životnost NMC baterie blížit životnosti LTO baterie. V každém případě, finanční úspora v podobě pořízení levnějších baterií se později nemusí vyplatit, pokud bude baterie zatěžována takovým způsobem, že ji bude nezbytné v průběhu životnosti vozidla vyměnit. Cenové porovnání rámcových cen jednotlivých baterií přibližuje obrázek B4.



Tabulka B 4 Porovnání rámcových cen NMC, LFP a LTO baterií. Zdroj: autor s využitím (25)



## Příloha C Provoz elektrobuses v Ostravě v roce 2023

Dne 7. května 2022 uvedl DPO do provozu druhou rychlonabíjecí stanici v obratišti Hranečnick. Současně s tím pořídil celkem 24 elektrobuses Solaris Urbino 12 Electric IV, které byly do provozu postupně zařazovány do konce téhož roku. Od 31. března 2023 jsou v provozu také 3 nabíjecí stanice na ulici Valchařská, díky čemuž je v tuto chvíli DPO největším provozovatelem elektrobuses systému Oppcharge. 24 vozidel je nasazováno celkem na 17 původně autobusových oběhů, z nichž 5 využívá nabíjecí stanice na Hranečnicku a 12 na Valchařské. Ve dnech pracovního klidu se jedná o celkem 10 oběhů. (4)

Ukázkou nasazení elektrobuses systému Oppcharge je provoz DPO s 24 vozidly, pro něž je vyhrazeno celkem 17 pořadí v pracovní dny. Přehled vypravení demonstruje tabulka C1. Díky průběžnému nabíjení je možné zajistit nasazení elektrobuses i na kurzy, které mají i více než 300 km denní proběh, což bylo ještě v minulé dekádě nerealizovatelné. Důkazem toho je např. kurz 68/1, kde je elektrobuses nasazený téměř 20 hodin s nájezdem takřka 400 km. Je třeba upozornit, že elektrobuses Oppcharge sice mohou za celý den najet takové množství kilometrů, nicméně dojezd na 1 nabití je výrobcem omezen i s rezervou na 30 km. Tomu musí odpovídat zvolené linky, u nichž jeden obrat nepřekročí tuto hodnotu.

Tabulka C 1 Vypravení elektrobuses v Ostravě od 31. 3. 2023.

Nabíjení	Kurz	Výjezd	Zátaž	Výkon (h)	Proběh (km)	Míra nasazení/den (%)
HRANEČNÍK	68/1	3:56	23:50	19,9	397	83
	67/1	3:57	23:53	19,93	377	83
	56/1	4:32	0:00	19,42	354	81
	52/1	4:09	23:29	18,32	343	76
	34/1	4:11	0:00	19,92	342	83
VALCHAŘSKÁ	34/2	4:13	22:53	18,77	329	78
	22/1	4:21	23:15	18,90	321	79
	30/1	5:08	22:32	17,40	318	73
	34/3	4:29	22:01	17,54	305	73
	23/2	4:08	22:49	18,69	299	78
	56/2	4:09	20:35	16,43	299	68
	56/4	4:10	19:51	15,28	295	64
	23/1	4:28	20:57	16,48	293	69
	52/2	4:39	21:39	17,00	293	71
	34/4	4:23	21:21	16,97	281	71
	56/3	4:15	20:16	16,02	271	67
	22/2	3:25	10:59	7,57	131	32
Medián				17,54	305	73

Zdroj: (4); úprava autor

Denní medián ostravských elektrobuses odpovídá hodnotě 305 km, přičemž jsou v provozu přes 17,5 hodiny denně. Přestože je k dispozici 24 vozidel, tak jsou tato vozidla nasazována pouze na

17 kurzů, přičemž kurz 22/2 je v provozu pouze do dopoledních hodin, kdy po zbytek pracovního dne je v provozu 16 elektrobusesů.

Mimo to DPO provozuje z předešlých let 3 elektrobusesy Ekova Electron, z nichž 2 jsou dle systému Oppcharge, kdy od 26. října 2018 využívají vůbec první rychlonabíjecí stanici v Ostravě. Poslední vůz Ekova Electron ev. č. 5007 je naopak nasazován na dělené oběhy, kdy v době přepravního sedla probíhá nabíjení v areálu garáží Hranečník. Vzhledem ke skutečnosti, že výrobce těchto vozidel byl v roce 2020 odkoupen spolu s ústředními dílnami DPO výrobcem Škoda Group, je poměrně problém s distribucí náhradních dílů mechanické části, což doby prostoje vozidel prodlužuje. Od roku 2010 DPO disponuje také 4 elektrobusesy SOR EBN 10,5, které byly vůbec prvními elektrobusesy na území ČR, které do provozu zasahovaly do června 2023. Současně jsou do provozu nasazovány také 3 elektrické minibusy Rošero. (4). Tabulka C2 zobrazuje analýzu vypravení elektrobusesů v Ostravě od 31. března 2023 do 31. 5. 2023, kdy byly do provozu na počátku sledovaného období uvedeny zprovozněny nabíjecí stanice na Valchařské.

Tabulka C 2 Analýza vypravení elektrobusesů v Ostravě od 31. 3. 2023 do 31. 5. 2023..

TYP + způsob nabíjení	Evidenční číslo	Míra poruchovosti (%)	Míra vypravení za dané období (%)	DENNÍ VYPRAVENÍ		
				Bez závady	Se závadou	Bez vypravení
Ekova Electron OppCharge	5005	44,44	52	9	4	14
Ekova Electron Oppcharge	5006	37,50	44	8	3	16
Ekova Electron ON charging	5007	100,00	20	2	3	22
Solaris Urbino Oppcharge	5008	450,00	44	2	9	15
Solaris Urbino Oppcharge	5009	20,00	72	15	3	8
Solaris Urbino Oppcharge	5010	6,67	64	15	1	9
Solaris Urbino Oppcharge	5011	18,18	52	11	2	14
Solaris Urbino Oppcharge	5012	odstaven	0	0	0	27
Solaris Urbino Oppcharge	5013	6,25	68	16	1	9
Solaris Urbino Oppcharge	5014	11,11	40	9	1	16
Solaris Urbino Oppcharge	5015	23,08	64	13	3	11
Solaris Urbino Oppcharge	5016	18,18	52	11	2	14
Solaris Urbino Oppcharge	5017	44,44	52	9	4	13
Solaris Urbino Oppcharge	5018	18,18	52	11	2	13
Solaris Urbino Oppcharge	5019	25,00	20	4	1	22
Solaris Urbino Oppcharge	5020	62,50	52	8	5	14
Solaris Urbino Oppcharge	5021	27,27	56	11	3	13
Solaris Urbino Oppcharge	5022	25,00	60	12	3	11
Solaris Urbino Oppcharge	5023	18,75	76	16	3	7
Solaris Urbino Oppcharge	5024	25,00	60	12	3	11
Solaris Urbino Oppcharge	5025	23,08	64	13	3	11
Solaris Urbino Oppcharge	5026	15,38	60	13	2	11
Solaris Urbino Oppcharge	5027	57,14	44	7	4	16
Solaris Urbino Oppcharge	5028	30,00	52	10	3	14
Solaris Urbino Oppcharge	5029	85,71	52	7	6	13
Solaris Urbino Oppcharge	5030	83,33	44	6	5	14
Solaris Urbino Oppcharge	5031	500,00	24	1	5	21

Zdroj: autor s využitím (4)

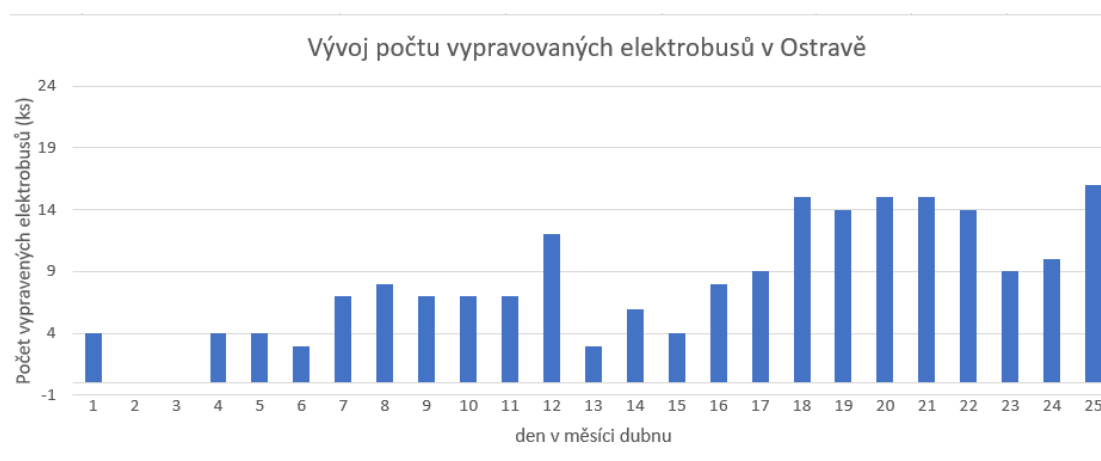
V této tabulce jsou dále zahrnuty elektrobusesy Solaris a Electron. Minibusy a v tuto chvíli již odstavené elektrobusesy SOR nejsou uvažovány. Analyzovat období od uvedení druhé nabíjecí stanice do provozu by nebylo příliš relevantní, neboť kapacita nabíjecí stanice umožňuje provoz pouze 5 oběhů obsazených elektrobusesy, na nichž se střídalo až 24 vozidel.



Právě od 31. března je pro 24 elektrobusů vyhrazeno celkem 17 oběhů, což je současně i téměř maximální možné nasazení vzhledem ke kapacitě obratišť a infrastruktury.. I přesto tuto skutečnost se pořád jedná celkem o poměrně malé číslo, neboť obecně se uvádí a bývá zvykem, že provozní zálohy by měly představovat přibližně 10 % vozového parku s výjimkou dopravců provozující i tramvaje a trolejbusy. V tomto případě je celkem 7 vozidel denně nevyužito, kdy 10 % zaujímají 3 vozidla. S přihlédnutím ke skutečnosti, že za dobu sledovaného období je medián míry poruchovosti vozidel 25 % a medián míry vypravení za dané období 52 %, tak je 7 záložních vozidel do jisté míry opodstatněných.

Zlepšit bilanci vypravení elektrobusů by mohlo zvýšení spolehlivosti vozidel a infrastruktury. Každý systém se v počátcích provozu potýká s vyšší frekvencí závad, nicméně některé elektrobusy jsou byly v daný okamžik (květen 2023) již 10 měsíců v provozu, což by mohlo značit to, že by již měla být situace o něco více stabilizovaná. Např. vůz ev. č. 5012 byl pro technickou závadu odstaven po celé sledované období. Vůz ev. č. 5031 byl do provozu nasazen celkem 6x, z čehož byl 5x z důvodu závady stažen z provozu.

Vývoj počtu vypravovaných elektrobusů, které celodenní provoz vykonaly bez závady, zobrazuje graf na obrázku C1, který se soustředí na období dubna 2023. Ve druhé polovině měsíce dubna je vypravení o poznání příznivější než v první polovině měsíce. Náhlý propad výpravnosti ve dnech 13,-14. dubna představuje poruchy nabíjecích stanic na Valchařské.



Obrázek C 1 Vývoj počtu vypravovaných elektrobusů v Ostravě v dubnu 2023. Zdroj: autor

Mezi vůbec nejčastější technické závady elektrobusů v Ostravě patří problémy s trakčními bateriemi, nabíjením a poruchy pohonu. Tabulka C3 uvádí zaznamenané závady v elektronických knihách vozidel od výskytu první závady, co je vozidlo nasazováno do provozu do 31. 5. 2023. Bohužel je nutné avizovat, že úplnost dat se značně odvíjí od lidského faktoru, tudíž zde nejsou zahrnuty všechny závady. Skutečný počet závad je o něco vyšší. Vliv na počet závad má současně

i to, jak často je vozidlo do provozu nasazováno. V tabulce C3 jsou zaznamenány pouze ty závady, které zapříčinily stažení vozidla z provozu, přičemž pro názornost je zde uvedena je část vozidel.

Tabulka C 3 Přehled kategorií závad jednotlivých elektrobusů v Ostravě.

TYP	Evidenční číslo	Sledované období od	Kategorie vážných závad vedoucí ke stažení vozidla z provozu									Celkem vážných
			Nabíjení + baterie	Pohon + brzdový	Kola + pneumatik	Informační / odbavovací	Dveře + ovládání	Dopravní nehoda	Topení / klimatiza	Znečištěný	Ostatní	
Ekova Electron	5005	07.05.2022	7	4		3			1		2	17
Ekova Electron	5006	07.05.2022	6	2		5			1			14
Ekova Electron	5007	07.05.2022	2	8		1	1		1			13
Solaris Urbino Electric	5008	07.05.2022	13	5	2	2	2	1				25
Solaris Urbino Electric	5009	07.05.2022	11	5			1	2			2	21
Solaris Urbino Electric	5010	07.05.2022	13	5		1				1		20
Solaris Urbino Electric	5011	07.05.2022	12	6		1		1				20
Solaris Urbino Electric	5012	10.05.2022	7	4		1	1					13
Solaris Urbino Electric	5013	07.05.2022	10	4	2	4	3	1	1			25
Solaris Urbino Electric	5014	07.05.2022	11	2			1		2			16
Solaris Urbino Electric	5015	07.05.2022	6	4	1	3	3	1			2	20

Zdroj: autor s využitím (4)

Tabulka C4 ukazuje četnost výskytu jednotlivých kategorií závad u všech elektrobusů, které jsou seřazeny sestupně od nejvyšší četnosti po nejmenší. Tomu odpovídá i míra pravděpodobnosti výskytu takové závady, pokud nějaká vážná závada znemožňující další provoz, nastane. Mimo závad na elektrické části a pohonu, které se stávají ve 2/3 případů výskytu vážné závady, se naskýtají i závady dveří a informačního či odbavovacího systému. Tyto závady nesouvisí s technologií samotného elektrobusu, a tak by bylo na místě za účelem vyšší provozní spolehlivosti toto eliminovat.

Tabulka A 3 Přehled četností a pravděpodobností výskytu vážných závad. Zdroj: autor

VÁŽNÉ ZÁVADY	Nabíjení + baterie	Pohon + brzdový systém	Dveře + ovládání	Informační / odbavovací systém	Dopravní nehoda	Ostatní	Topení / klimatizace	Kola + pneumatiky	Znečištěný interiér	Celkem vážných závad
Četnost výskytu	188	67	22	19	7	7	6	5	2	354
Pravděpodobnost výskytu	0,53107	0,18927	0,06215	0,05367	0,01977	0,01977	0,01695	0,01412	0,00565	

Technické problémy se nevyhýbají ani nabíjecí infrastruktuře. Na obrázku C2 je znázorněn přehled mimořádných událostí mající za následek vyřazení nabíjecích stanic z provozu, což vede k okamžité náhradě elektrobusů autobusy. Od května 2022 do května 2023 došlo k takovým situacím pouze v jednotkách případů, ačkoliv v dubnu 2023 postihla technická závada v krátkém sledu 4 z 5 nabíjecích stanic, přičemž porucha u nabíjecí stanice Svinov nebyla jednodenní záležitostí.

Linie	Datum	Typ dopravy	Čas odjezdu	Čas příjezdu	Popis závady
2410	25.04.2023	Autobusová doprava	25.04.2023 05:56	25.04.2023 06:01	zpoždění k.č. 15/343 na odjezdu z nástupní zastávky Křížkova směr Hlučín,aut.nádr.
2410	25.04.2023	Autobusová doprava	25.04.2023 00:00	25.04.2023 23:59	nabíjecí stanice Svinov,mosty mimo provoz, zajištěna výměna elektrobusů za autobus
2410	24.04.2023	Autobusová doprava	24.04.2023 00:00	24.04.2023 23:59	nabíjecí stanice Svinov,mosty mimo provoz, zajištěna výměna elektrobusů za autobus
2410	23.04.2023	Autobusová doprava	23.04.2023 00:00	23.04.2023 23:59	nabíjecí stanice Svinov,mosty mimo provoz, zajištěna výměna elektrobusů za autobus
2410	22.04.2023	Autobusová doprava	22.04.2023 00:00	22.04.2023 23:59	nabíjecí stanice Svinov,mosty mimo provoz, zajištěna výměna elektrobusů za autobus
2410	21.04.2023	Autobusová doprava	21.04.2023 00:00	21.04.2023 23:59	nabíjecí stanice Svinov,mosty mimo provoz, zajištěna výměna elektrobusů za autobus
2410	20.04.2023	Autobusová doprava	20.04.2023 00:00	20.04.2023 23:59	nabíjecí stanice Svinov,mosty mimo provoz, zajištěna výměna elektrobusů za autobus
2410	19.04.2023	Autobusová doprava	19.04.2023 00:00	19.04.2023 23:59	nabíjecí stanice Svinov,mosty mimo provoz, zajištěna výměna elektrobusů za autobus
2410	18.04.2023	Autobusová doprava	18.04.2023 00:00	18.04.2023 23:59	nabíjecí stanice Svinov,mosty mimo provoz, zajištěna výměna elektrobusů za autobus
2410	17.04.2023	Autobusová doprava	17.04.2023 00:00	17.04.2023 23:59	nabíjecí stanice Svinov,mosty mimo provoz, zajištěna výměna elektrobusů za autobus
2410	16.04.2023	Autobusová doprava	16.04.2023 00:00	16.04.2023 23:59	nabíjecí stanice Svinov,mosty mimo provoz, zajištěna výměna elektrobusů za autobus
2410	15.04.2023	Autobusová doprava	15.04.2023 00:00	15.04.2023 23:59	nabíjecí stanice Svinov,mosty mimo provoz, zajištěna výměna elektrobusů za autobus
2410	14.04.2023	Autobusová doprava	14.04.2023 04:40	14.04.2023 23:59	nabíjecí stanice Svinov,mosty mimo provoz, zajištěna výměna elektrobusů za autobus
2410	14.04.2023	Autobusová doprava	14.04.2023 00:01	14.04.2023 11:05	nabíjecí stanice Valchařská mimo provoz, zajištěna výměna elektrobusů za autobusy na
2410	13.04.2023	Autobusová doprava	13.04.2023 15:49	13.04.2023 23:59	vyhlášen nouzový stav pro nabíjecí stanici Valchařská, zajištěna výměna elektrobusů za
2410	12.04.2023	Autobusová doprava	12.04.2023 00:00	12.04.2023 14:25	vyhlášen nouzový stav pro nabíjecí stanici Valchařská, zajištěna výměna elektrobusů za
2410	11.04.2023	Autobusová doprava	11.04.2023 19:45	11.04.2023 23:59	vyhlášen nouzový stav pro nabíjecí stanici Valchařská, zajištěna výměna elektrobusů za
2410	21.01.2023	Autobusová doprava	21.01.2023 08:14	21.01.2023 08:26	zdržení k.č.16/762 na odjezdu z nástupní zastávky Svinov,mosty směr Polanka +12 min
2410	21.01.2023	Autobusová doprava	21.01.2023 07:45	21.01.2023 07:45	nefunkční nabíjecí stanice Svinov,mosty. Výměna ebusu ev.č.5006 na k.č.16/762.
2410	27.05.2022	Společné	27.05.2022 00:00	27.05.2022 10:00	nabíjecí stanice elektrobusů Svinov,mosty mimo provoz.
2410	26.05.2022	Společné	26.05.2022 00:00	26.05.2022 23:59	nabíjecí stanice elektrobusů Svinov,mosty mimo provoz.
2410	25.05.2022	Společné	25.05.2022 07:30	25.05.2022 23:59	nabíjecí stanice elektrobusů Svinov,mosty mimo provoz.

Obrázek C 2 řehled technických závad nabíjecích stanic. Zdroj: (4)

Uvedený ostravský příklad nelze samozřejmě zcela generalizovat na většinu situací, ale jako informativní obraz skutečnosti, že zavedení provozu elektrobusů prakticky potvrzuje, že ke stavu záloh je nezbytné přistupovat s patřičnými provozními rezervami. Při nejmenším alespoň v počátcích provozu, byť zde se ani po 1 roce nepodařilo veškeré problémy odladit.

## **Příloha D Charakteristika simulačního modelu**

Představuje pokračování podkapitoly 3.1.

### **Simulační prostředí a statistický soubor**

Tato simulace byla naprogramována v prostředí programu Microsoft Excel s využitím funkcí maker, aby bylo dosaženo makro simulace s četnou replikací. Jedná se o simulaci 1 nabíjecí stanice, kde se předpokládá, že každý elektrobus po příjezdu z výkonu na lince bude dobíjet baterie.

Jako statistický soubor bylo zvoleno 73 spojů, mezi nimiž je jednotný interval platný po celou dobu simulace. Tento statistický soubor v rámci doby simulace představuje jeden provozní den. Aby bylo dosaženo co nejpřesnějších výstupů, je každý simulační den replikován a to 220x. Znamená to tedy, že na základě 220 provozních dnů byly získány potřebné a cenné výstupy. Přestože jsou v reálném provozu intervaly v rámci dne proměnlivé díky dopravním špičkám a sedlům, v rámci simulace je zkoumán vliv zpoždění na ucelený provoz linky po celý simulační den, kde lze patřičněji prokázat (ne)stabilnost systému.

Pro potřeby simulace se autorovi podařilo získat cenná data z několika provozů s různými dopravními situacemi, přičemž se jedná o česká města Ostrava, Pardubice a polské hlavní město Warszawa. Tato data budou porovnávána, přičemž by tím autor rád obhájil vlastní tvrzení, kdy nelze definovat obecné limitní hodnoty a závěry, kterým by se plošně mohly systémy elektrobusů řídit.

### **Vstupní proměnné**

Mezi klíčová vstupní data autor považuje rozdělení pravděpodobností zpoždění, která byla získána z interních zdrojů několika dopravních společností. Díky tomu je simulace přesnější a odpovídá situacím v konkrétních provozech.

Pro zajímavost je simulována také obecná varianta simulace, která vzešla na základě zprůměrování hodnot rozdělení pravděpodobností napříč všemi posuzovanými městy, nicméně jelikož každý objednatel dopravy má jiné nároky na kvalitu dopravy, tj. spolehlivost JŘ, a současně ve městech panují různé dopravní a provozní situace, nelze postavit simulaci výhradně na obecných (průměrných) datech, které by byly obecně uplatnitelné.

- **Rozdělení pravděpodobností zpoždění**

Na základě této proměnné jsou ovlivněny konečné výstupy, z nichž lze vyvádět určité závěry a řešení. Tabulka D1 zobrazuje hodnoty distribučních funkcí pravděpodobností pro jednotlivé hodnoty zpoždění. V hodnotách zpoždění intervalu (0-1) jsou evidovány také předčasné odjezdy, které např. v Pardubicích o několik % zlepšují hodnotu pro daný interval, kdy jsou realizovány

spojů včas. Je zjevné, že každý systém je zcela unikátní a mohou mezi nimi vznikat obrovské rozdíly, jak je vidno mezi polskou Warszawou a Ostravou. (4)

Tabulka D 1 Rozdělení pravděpodobností využitých v simulaci.

Zpoždění (min)	WARSAWA (PL)	PARDUBICE (CZ)	OSTRAVA (CZ)
	Suma pravděpodobností		
0	22,000%	43,968%	54,400%
1	42,000%	70,006%	79,000%
2	57,000%	84,111%	88,200%
3	70,000%	91,433%	95,700%
4	82,000%	95,136%	97,900%
5	89,000%	97,114%	99,000%
6	94,000%	98,212%	99,600%
7	97,000%	98,913%	99,920%
8	99,000%	99,396%	99,970%
9	99,992%	99,746%	99,992%
10	100,000%	100,001%	100,000%

Zdroj: autor s využitím (4) (5) (44) (45)

Zprůměrováním výše uvedených hodnot vyšlo rozdělení pravděpodobností i pro obecnou variantu simulace, které zobrazuje tabulka D2.

Tabulka D 2 Průměrné rozdělení pravděpodobnosti.

Průměrné rozdělení pravděpodobnosti		
Zpoždění (min)	Pravděpodobnost	Suma Pst.
0	40,123%	40,123%
1	23,546%	63,669%
2	12,768%	76,437%
3	9,274%	85,711%
4	5,968%	91,679%
5	3,359%	95,038%
6	2,233%	97,271%
7	1,340%	98,611%
8	0,844%	99,455%
9	0,455%	99,910%
10	0,090%	100,000%

Zdroj: autor

Při porovnání s daty v tabulce D1 vychází, že obecné vstupné rozdělení pravděpodobnosti odpovídá provozní a dopravní situaci v Pardubicích, přičemž je o něco příznivější.

- **Technicko-technologické proměnné**

Tyto proměnné představují hodnoty, na základě kterých lze po dosazení příslušných hodnot rozdělení pravděpodobnosti modifikovat technické parametry elektrobuseů i nabíjecí stanice a technologické proměnné týkající se parametrů linky a technologických časů. Spotřeba vozidel je

zde rozdělena na režim s/bez topení/klimatizace. Seznam proměnných, které simulace zahrnuje, je předmětem tabulky D3.

Tabulka D 3 Seznam proměnných v rámci simulace.

<b>Počáteční čas simulace</b>	<b>5:00</b>
<b>Interval (min)</b>	10
<b>Obratová doba (min)</b>	15
<b>Manip. čas příjezd (min)</b>	1
<b>Manip. čas odjezd (min)</b>	1
<b>Kapacita baterie (kWh)</b>	91
<b>Min. úroveň nabití</b>	92%
<b>Délka trasy na baterie (km)</b>	25,000
<b>Medián spotřeby bez klim (kWh)</b>	2,100
<b>Medián spotřeby s klim (kWh)</b>	2,100
<b>Jízdní doba směr B (min)</b>	26
<b>Jízdní doba směr A (min)</b>	26
<b>Počet oběhů</b>	7
<b>Nabíjecí výkon (kW)</b>	300
<b>Balancovací výkon (kW)</b>	120
<b>Hranice balancování</b>	90%

Zdroj: autor

Krom intervalu linky a obratové doby jsou uvažovány také časy pro manipulační přejezdy z výstupních zastávek k nabíjecí stanici a posléze k nástupní zastávce. Modifikovat lze také délku linky (obousměrně) a jízdní doby, které reflektují cestovní, resp. oběhovou rychlost. Ty v simulaci ovlivňují počet oběhů a jejich přiřazování k jednotlivým spojům, díky čemuž lze přesněji monitorovat vývoj elektrické kapacity u jednotlivých spojů. Maximální počet oběhů je v simulaci omezen na hodnotě 10.

### **Algoritmus simulace**

Jak již bylo naznačeno v úvodu této podkapitoly, simulace se zaměřuje na provoz elektrobusů na 1 lince ve vztahu k nabíjecí stanici situované na jedné z konečných zastávek této linky, přičemž druhá konečná zastávka nabíjecí stanicí nedisponuje. Simulace zanedbává vznik potenciálních mimořádných událostí a současně se primárně nesoustředí na respektování legislativy omezující práci řidičů v dopravě, nicméně ve výsledku jsou minimálně bezpečnostní přestávky v každém případě splněny.

Příjezdy elektrobusů jsou ovlivňovány příslušným rozdělením pravděpodobností zpoždění mající vliv i na odjezdy elektrobusů, pakliže je hodnota zpoždění taková, kdy nelze s přihlédnutím k nabíjení realizovat odjezdy včas. Příjezdy elektrobusů přibližuje tabulka D4. Po příjezdu

k nabíjecí stanici může začít samotný proces nabíjení elektrobuse, přičemž nabíjet lze maximálně 1 vozidlo v daný okamžik.

Tabulka D 4 Snímek ze simulace s příjezdy elektrobuse.

Oběh	Příjezd dle JŘ	Zpoždění (čas)	Zpoždění (min)	Příjezd Skutečný	Příjezd k nabíjecí st.
1	5:00	0:00	0	5:00	5:01
2	5:12	0:03	3	5:15	5:16
3	5:24	0:00	0	5:24	5:26
4	5:36	0:00	0	5:36	5:37
5	5:48	0:00	0	5:48	5:49
6	6:00	0:00	0	6:00	6:01
1	6:12	0:03	3	6:15	6:16
2	6:24	0:05	5	6:29	6:30
3	6:36	0:06	6	6:42	6:43
4	6:48	0:01	1	6:49	6:54
5	7:00	0:00	0	7:00	7:05
6	7:12	0:00	0	7:12	7:16
1	7:24	0:00	0	7:24	7:26

Zdroj: autor

Pomyslnou páteří simulace je samotný proces nabíjení, který v každém případě probíhá tak, že je elektrobuse nabíjen do minimální požadované kapacity, kterou lze definovat. Dále proces nabíjení v simulaci funguje následovně:

- Jestliže elektrobuse má i po dosažení minimální požadované kapacity čas na nabíjení, nabíjí se nad rámec této kapacity balancovacím výkonem až do odjezdu dle JŘ.
- Pokud za takovým elektrobusem již čeká na nabíjení další elektrobuse, balancování se přerušuje elektrobuse vyčkává na odjezd dle JŘ za nabíjecí stanici.

Procesy nabíjení zaznamenává tabulka D5, kde lze prokázat význam nabíjení nad minimální požadovanou kapacitu baterií, pakliže čas umožňuje elektrobuse delší dobu balancování baterií. Díky tomu se pak elektrobuse vrací s nižší DOD, načež následující doba nabíjení trvá kratší dobu. Minimální čas nabíjení představuje v simulaci dobu, po kterou se elektrobuse nabíjí do minimální požadované kapacity, která je pro provoz zásadní. Tato hodnota je proměnlivá a je závislá na mnoha proměnných, o čemž bude zmínka v dalších podkapitolách této simulace. Každopádně na přiložené tabulce je minimální nabíjecí čas ovlivněn tím, jestli se elektrobuse na téže oběhu dobíjel během předchozího obratu nad rámec minima kapacity.



Tabulka D 5 Proces nabíjení během simulace.

Příjezd k nabíjecí st.	Nab Start	StavBat Start (kWh)	Stav baterie start (%)	Nutno dobít (kWh)	Čas Nab (s)	Nabíjecí čas (min)	Minimální nabíjecí čas	StavBat Min (kWh)	StavBat Konec (kWh)	Stav baterie konec (%)
5:01	5:01	38,5	42,3%	45,2	575,4	10	0:10	83,7	89,7	98,6%
5:16	5:16	38,5	42,3%	45,2	575,4	10	0:10	83,7	83,7	92,0%
5:26	5:26	38,5	42,3%	45,2	575,4	10	0:10	83,7	85,7	94,2%
5:37	5:37	38,5	42,3%	45,2	575,4	10	0:10	83,7	87,7	96,4%
5:49	5:49	38,5	42,3%	45,2	575,4	10	0:10	83,7	87,7	96,4%
6:01	6:01	38,5	42,3%	45,2	575,4	10	0:10	83,7	89,7	98,6%
6:16	6:16	37,2	40,9%	46,5	590,8	10	0:10	83,7	83,7	92,0%
6:30	6:30	31,2	34,3%	52,5	662,8	12	0:12	83,7	83,7	92,0%
6:43	6:43	33,2	36,5%	50,5	638,8	11	0:11	83,7	83,7	92,0%
6:54	6:54	35,2	38,7%	48,5	614,8	11	0:11	83,7	83,7	92,0%
7:05	7:05	35,2	38,7%	48,5	614,8	11	0:11	83,7	83,7	92,0%
7:16	7:16	37,2	40,9%	46,5	590,8	10	0:10	83,7	83,7	92,0%
7:26	7:26	31,2	34,3%	52,5	662,8	12	0:12	83,7	83,7	92,0%
7:38	7:38	31,2	34,3%	52,5	662,8	12	0:12	83,7	83,7	92,0%
7:50	7:50	31,2	34,3%	52,5	662,8	12	0:12	83,7	83,7	92,0%
8:02	8:02	31,2	34,3%	52,5	662,8	12	0:12	83,7	83,7	92,0%
8:15	8:15	31,2	34,3%	52,5	662,8	12	0:12	83,7	83,7	92,0%
8:27	8:27	31,2	34,3%	52,5	662,8	12	0:12	83,7	83,7	92,0%
8:39	8:39	31,2	34,3%	52,5	662,8	12	0:12	83,7	83,7	92,0%
8:51	8:51	31,2	34,3%	52,5	662,8	12	0:12	83,7	83,7	92,0%
9:03	9:03	31,2	34,3%	52,5	662,8	12	0:12	83,7	83,7	92,0%

Zdroj: autor

Na základě algoritmu nabíjení, které může probíhat za několika scénářů, jsou elektrobusy dále způsobilé pokračovat v dalším spoji na uvedené lince. Pro každý spoj lze rovněž definovat, s jakou spotřebou má simulace pro daný spoj kalkulovat. Lze kalkulovat spoje bez i s udržováním tepelného komfortu cestujících, kdy bývá spotřeba obecně vyšší. Koncovou část simulace představuje tabulka D6.

Tabulka D 6 Odjezdy elektrobusů v rámci simulace.

Čas konce nabíjení	Odjezd z nabíjecí st.	Odjezd dle JŘ	Odjezd Skutečný	Zpoždění (min)	Klimatizace Topení	Zpoždění (A/N)
5:12	5:13	5:15	5:15	0	ANO	0
5:23	5:25	5:27	5:27	0	ANO	0
5:35	5:38	5:39	5:39	0	ANO	0
5:52	5:52	5:51	5:53	2	ANO	1
6:02	6:02	6:03	6:03	0	ANO	0
6:12	6:14	6:15	6:15	0	ANO	0
6:25	6:25	6:27	6:27	0	ANO	0
6:36	6:37	6:39	6:39	0	ANO	0
6:47	6:50	6:51	6:51	0	ANO	0
7:02	7:02	7:03	7:03	0	ANO	0

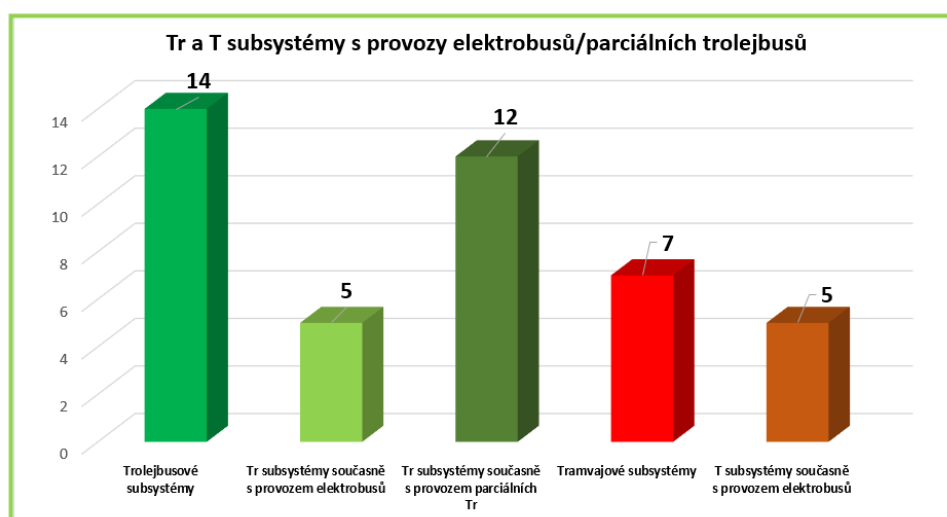
Zdroj: autor



## Příloha E Existence liniové infrastruktury

V ČR je dle dat Českého statistického úřadu z roku 2023 celkem 130 měst s počtem obyvatel nad 10 000 obyvatel. U uvedeného výčtu měst provozuje celkem 12 % měst drážní MHD a zbylých 88 % nikoliv. Drážní MHD momentálně (2024) provozuje celkem 16 měst. (3) (39) Situaci ve městech bez drážní dopravy zobrazuje obrázek 28, Měst bez drážní dopravy nad 10 000 obyvatel je celkem 116, přičemž 10 z nich již provozuje elektrobuses. Ve všech níže uvedených statistikách nejsou zahrnuty elektrobuses na bázi karoserií dodávkových automobilů, pro něž je typická nízká obsazenost. Takových elektrobuseů jsou pouze jednotky a v žádném městě nepředstavují výhradní elektrobuseový subsystém.

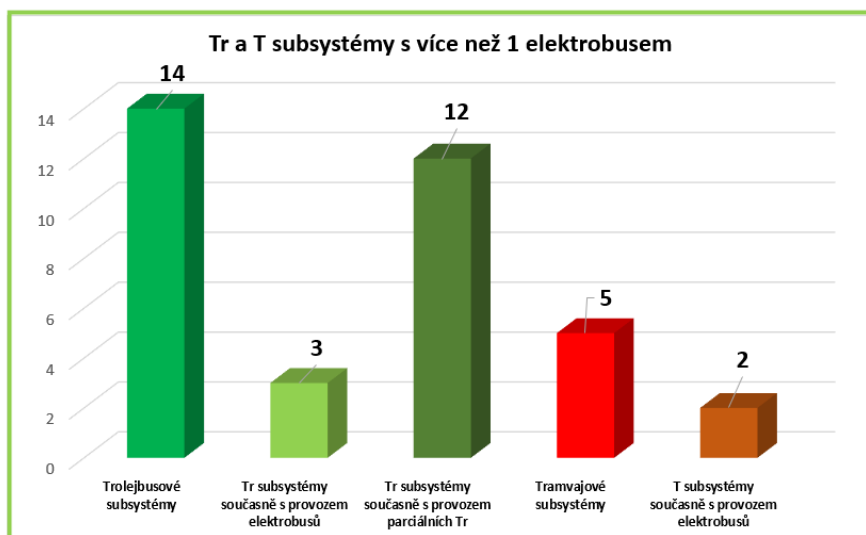
Obrázek E1 se zaměřuje na města s drážní MHD společně s nasazováním elektrobuseů v rámci výkonů tamních systémů MHD. Je evidentní, že ve městech s trolejbusovými subsystémy je daleko více využíváno tzv. parciálních trolejbusů než elektrobuseů. V případě tramvajových subsystémů provozuje 5/7 provozovatelů alespoň 1 elektrobuse.



Obrázek E 1 Bilance provozovatelů ve městech s drážní MHD. Zdroj: autor s využitím (38)

Parciální trolejbusy využívá na pravidelných linkách i mimo trolejové vedení celkem 11 z 12 měst, které parciálními trolejbusy disponují. Bezprostředně před odevzdáním této diplomové práce (květen 2024) se k těmto provozovatelům přidaly dopravní podniky měst Brna a Ústí nad Labem. Pouze v Českých Budějovicích nejsou parciální trolejbusy dosud takto využívány.

Pro zajímavost byla zkoumána také četnost elektrobuseů v jednotlivých městech. Na následujícím obrázku E2 se počet měst s elektrobuses snížil v obou případech téměř o více než polovinu. Z dat zmizeli provozovatelé, kteří disponují pouze jedním elektrobusem, z jejichž postojů lze uvážit, že jsou s rozvojem takových technologií spíše uvážliví a rozvážní. Takové provozy lze klasifikovat jako ověřovací.



Obrázek E 2 Počet měst s drážní MHD s více než 1 elektrobusem. Zdroj: autor s využitím (38)

Bezprostředně po datu odevzdání této diplomové práce (květen 2024) se počet tramvajových subsystémů s více než 1 elektrobusem rozšíří o jedno další město – Liberec, jenž bude provozovat o jeden elektrobuse více. (40)

V tabulce E1 je komplexní výčet všech dopravních subsystémů s drážní MHD a elektrobuseů na území ČR, Do řady dopravních subsystémů elektrobuseů se v roce 2023 připojil Liberec a Most formou odkoupení ojetých elektrobuseů. V roce 2024 bude nově součástí MHD 8 elektrobuseů ve městě Tábor. Aktuálně (jaro 2024) probíhá také výběrové řízení na dodávku až 20 elektrobuseů pro město Děčín, které elektrobusey taktéž dosud neprovozuje. (41) (42).

Obecně by se dalo říct, že provozovatelé výhradně tramvajů (Most & Litvínov, Liberec & Jablonec nad Nisou, Olomouc) do segmentu elektrobuseů vstoupili nanejvýš pořízením 1 vozidla. Naproti tomu u provozovatelů trolejbusové dopravy je evidentní, že pragmaticky rozvíjí osvědčený systém s využitím parciálních trolejbusů. S výjimkou Českých Budějovic, Hradce Králové a Ostravy, resp. i Prahy, tento trend odpovídá skutečnosti. (28) (30)

Zajímavostí tohoto přehledu je také počet obyvatel vybraných měst k počtu provozovaných elektrobuseů/parciálních trolejbusů, který částečně odráží rozšířenou míru elektrifikace o elektrobusey/parciální trolejbusy.

Tabulka E 1 Přehled provozovatelů elektrické MHD na území ČR v roce 2024.

MĚSTO	Počet obyvatel (2022)	Drážní doprava			Elektrobuses	Počátek provozu E	Počet elektrobuses	Počet parciálních Tr	Počet obyvatel / na 1 E+Tr
		T	Tr	S					
Mariánské Lázně	12 000		Tr				8	1 500	
Hranice na Moravě	17 000				E	2017	6	2 833	
Hradec Králové	93 000		Tr		E	2013	22	2 906	
Ústí nad Labem	90 000		Tr				30	3 000	
Třinec	34 000				E	2017	10	3 400	
Plzeň	170 000	T	Tr				46	3 696	
Jihlava	50 000		Tr				13	3 846	
Kutná Hora	20 000				E	2019	5	4 000	
České Budějovice	94 000		Tr		E	2018	11	4 273	
Bílina	14 000				E	2018	3	4 667	
Ostrava	280 000	T	Tr		E	2010	30	4 828	
Teplice	49 000		Tr				10	4 900	
Opava	55 000		Tr				10	5 500	
Písek	30 000				E	2020	5	6 000	
Vrchlabí	12 000				E	2018	2	6 000	
Trutnov	29 000				E	2019	4	7 250	
Nový Jičín	23 000				E	2017	3	7 667	
Zlín + Otrokovice	92 000		Tr		E	2020	1	9 200	
Náchod	19 000				E	2018	2	9 500	
Pardubice	86 000		Tr				8	10 750	
Jeseník	11 000				E	2020	1	11 000	
Uherské Hradiště	24 000				E	2018	2	12 000	
Brno	380 000	T	Tr				30	12 667	
Havířov	69 000				E	2018	3	23 000	
Přerov	46 000				E	2018	2	23 000	
Krnov	23 000				E	2018	1	23 000	
Praha	1 275 000	T	Tr	S	E	2016	17	24 519	
Frýdek-Místek	54 000				E	2018	2	27 000	
Kladno	67 000				E	2021	2	33 500	
Karviná	50 000				E	2018	1	50 000	
Most + Litvínov	85 000	T			E	2023	1	85 000	
Olomouc	99 000	T			E	2018	1	99 000	
Liberec + Jablonec nad Nisou	147 000	T			E	2023	1	147 000	
Chomutov + Jirkov	68 000		Tr						
<b>Celkem</b>		<b>7</b>	<b>14</b>	<b>1</b>	<b>26</b>		<b>138</b>	<b>248</b>	

Zdroj: autor s využitím (38)

Vůbec nejlepších výsledků v přepočtu na 1 000 obyvatel dosahují Mariánské Lázně, Hranice na Moravě a Hradec Králové, Významně v této statistice postoupilo např. Ústí nad Labem, které po dokončení dodávky 33 kloubových parciálních trolejbusů (do konce roku 2024), zaujme v tomto přehledu 2. místo.

Z velkých měst jsou na tom nejhůře města provozující pouze tramvajové subsystémy, neboť ty logicky parciální trolejbusy využívat nemohou. Současně jsou pouze drobnými provozovateli elektrobuses, kdy na „celé město“ připadají nanejvýš 2 elektrobuses (po dodání 2. elektrobuse do Liberce). Souměstí Chomutova a Jirkova je jediným trolejbusovým subsystémem, který nedisponuje jediným elektrobusem či parciálním trolejbusem.

Na základě směrnice 2009/33/ES, která je do právního prostředí ČR implementována ve formě zákona č. 360/2022 Sb., lze předpokládat, že v následujících letech se bude počet elektrobuses na území ČR dále zvyšovat. Tento zákon stanovuje, že v rámci veřejných zakázek musí být určitý počet vozidel lokálně bezemisních, přičemž mezi taková vozidla se neřadí tramvaje. Zákon je tedy zaměřen na nekolejovou dopravu. Do 31. 12. 2025 musí mít taková vozidla minimální podíl 41 %,

pro navazující období mezi 1. 1. 2026 a 31. 12. 2030 je pro ČR platný minimální podíl 60 %. Z uvedených hodnot musí být vždy alespoň polovina vozidel lokálně bezemisních. Znamená, že i provozovatelé, kteří dosud s pořizováním elektrobusů z různých důvodů zatím nespěchali, budou muset při obnově vozového parku s touto skutečností počítat.

Z hlediska nabíjení je prozatím pouze v případě Ostravy využíváno čtyřpólového nabíjení. V nejbližší době se čtyřpólové nabíjení realizuje v Praze, přičemž zde již provozují, obdobně jako v Českých Budějovicích, dvoupólového nabíjení z trolejové stopy trolejbusového typu. Hradec Králové má poměrně atypický systém, který narozdíl od Ostravy nevyužívá systém Oppcharge, ale kombinuje systém Schunk s elektrobusy s dlouhým dojezdem na 1 nabití. Pro tyto účely je ve městě umístěno 5 nabíjecích stanic. (22)

Vliv přítomnosti liniové infrastruktury je evidentní i v případě zvolené technologie elektrobusů. Všechna města provozující výhradně elektrobusy využívají pouze elektrobusy s nabíjením prostřednictvím zásuvky CCS/Combo2, tedy s nabíjením přes noc případně mezi dopravními špičkami.

Příloha F JŘ současné autobusové linky 37 pro soboty a neděle.

<b>37</b> NÁMĚSTÍ REPUBLIKY <=> PORUBA, STUDENTSKÁ <=> Poruba, St. koleje				<b>37</b> NÁMĚSTÍ REPUBLIKY <=> PORUBA, Studentská <=> PORUBA, ST. KOLEJE			
SOBOTA od 1. 4. 2024				NEDĚLE od 1. 4. 2024			
NÁMĚSTÍ REPUBLIKY > Poruba, Studentská				PORUBA, STUDENTSKÁ > Náměstí Republiky			
3				26 KM			
4	23	45		42 ad			
5	5	25	45	2 ad	22 ad	42 ad	
6	5	25	45	2 ad	22 ad	42 ad	
7	5	25	45	2 ad	22 ad	42 ad	
8	5	25	45	2 ad	22 ad	42 ad	
9	5	25	45	2 ad	22 ad	42 ad	
10	5	25	45	2 ad	22 ad	42 ad	
11	5	25	45	2 ad	22 ad	42 ad	
12	5	25	45	2 ad	22 ad	42 ad	
13	5	25	45	2 ad	22 ad	42 ad	
14	5	25	45	2 ad	22 ad	42 ad	
15	5	25	45	2 ad	22 ad	42 ad	
16	5	25	45	2 ad	22 ad	42 ad	
17	5	25	45	2 ad	22 ad	42 ad	
18	5	25	45	2 ad	22 ad	42 ad	
19	5	25	45	2 ad	22 ad	42 ad	
20	5	25	45	2 ad	22 ad	42 ad	
21	5	25	45	2 ad	22 ad	42 ad	
22	5	25	42	2 ad	23 d		
23							
24							
0	9N						
POZNAMKY	N - Svinov, nádraží - Studentská XX pokračuje směr St. koleje			KM - St. koleje - Svinov, mosty XX St. koleje - Náměstí Republiky a - přípoj linky 54 d - přípoj linky 48 na zastávce Svinov, mosty			

<b>37</b> NÁMĚSTÍ REPUBLIKY <=> PORUBA, Studentská <=> PORUBA, ST. KOLEJE			
NEDĚLE od 1. 4. 2024			
NÁMĚSTÍ REPUBLIKY > Poruba, Studentské koleje			
3			
4	23 S	45 S	
5	5 S	25 S	45 S
6	5 S	25 S	45 S
7	5 S	25 S	45 S
8	5 S	25 S	45 S
9	5 S	25 S	45 S
10	5 S	25 S	45 S
11	5 S	25 S	45 S
12	5 S	25 S	45 S
13	5 S	25 S	45 S
14	5 S	25 S	45 S
15	5	25	45
16	5	25	45
17	5	25	45
18	5	25	45
19	5	25	45
20	5	25	45
21	5	25	45
22	5	25	42
23			
24			
0	9 N		
POZNAMKY	N - Svinov, nádraží - St. koleje S - Náměstí Republiky - Studentská		
	KM - St. koleje - Svinov, mosty S - Studentská - Náměstí Republiky a - přípoj linky 54 d - přípoj linky 48 na zastávce Svinov, mosty		

Zdroj: autor

## Příloha G Varianta A – návrh JŘ a oběhů vozidel pro soboty a neděle.

<b>37</b> NÁMĚSTÍ REPUBLIKY ↔ PORUBA, STUDENSKÁ ↔ Poruba, St. koleje				<b>37</b> NÁMĚSTÍ REPUBLIKY ↔ PORUBA, STUDENSKÁ ↔ Poruba, St. koleje			
VARIANTA A - NÁVRH PRO SOBOTY				VARIANTA A - NÁVRH PRO NEDĚLE			
NÁMĚSTÍ REPUBLIKY > Poruba, Studentská		PORUBA, STUDENSKÁ > Náměstí Republiky		NÁMĚSTÍ REPUBLIKY > Poruba, Studentská		PORUBA, STUDENSKÁ > Náměstí Republiky	
3		37/1 P	26 KM	3		37/1 P	26 KM
4	23	45	42 ad	4	23 S	45 S	42 Sad
5	5	25	45	5	5 S	25 S	45 S
6	5	25	45	6	5 S	25 S	45 S
7	5	25	45	7	5 S	25 S	45 S
8	5	25	45	8	5 S	25 S	45 S
9	5	25	45	9	5 S	25 S	45 S
10	5	25	45	10	5 S	25 S	45 S
11	5	25	45	11	5 S	25 S	45 S
12	5	25	45	12	5 S	25 S	45 S
13	5	25	45	13	5 S	25 S	45 S
14	5	25	45	14	5 S	25 S	45
15	5	25	45	15	5	25	45
16	5	25	45	16	5	25	45
17	5	25	45	17	5	25	45
18	5	25	45	18	5	25	45
19	5	25	45	19	5	25	45
20	5	25	45	20	5	25	45
21	5	25	45 SK	21	5	25	45
22	5 SK	25 SK	42 SK	22	5	25	42
23			33 M	23			32 KM
24				24			
0	9N			0	9N		
POZNAMKY		N - Svinov, nádraží - Studentská SK - pokračuje směr St. koleje		POZNAMKY		N - Svinov, nádraží - Studentská S - Náměstí Republiky - Studentská	
		M - St. Studentská - Svinov, mosty K - St. koleje - Náměstí Republiky a - přípoj linky 54 d - přípoj linky 48 na zastávce Svinov, mosty				KM - St. koleje - Svinov, mosty S - Studentská - Náměstí Republiky a - přípoj linky 54 d - přípoj linky 48 na zastávce Svinov, mosty	

Zdroj: autor

S ohledem na organizaci nedělního provozu autor navrhuje u všech variant A, B, C, že po příjezdu spojů na Studentské koleje budou spoje dále pokračovat režijně bez cestujících na Studentskou, kde proběhne nabíjení. Po dokončení nabíjení a v čase odjezdu dle JŘ, budou spoje pokračovat režijně zpět na Studentské koleje, odkud budou dále pokračovat již jako spoj linky 37. Toto opatření sebou váže navýšení režijních jízd o 26 denně o délce 600 v jednom směru. Sekundárním důsledkem je, že dojde ke snížení obrátové doby na Studentských kolejí z 26 minut na 22 minut, což na druhou, navíc při večerním a víkendovém provozu, neovlivňuje stabilitu systému z hlediska nabíjení, ani na plnění BP či PJO.

Příloha H Varianta B – návrh JŘ a oběhů vozidel pro soboty a neděle

102 Hlavní nádraží ↔ Poruba, Studentská ↔ Poruba, St. koleje				102 Hlavní nádraží ↔ Poruba, Studentská ↔ Poruba, St. koleje			
VARIANTA B - NÁVRH PRO SOBOTY				VARIANTA B - NÁVRH PRO NEDĚLE			
HLAVNÍ NÁDRAŽÍ → Poruba, Studentská		PORUBA, STUDENTSKÁ → Hlavní nádraží		HLAVNÍ NÁDRAŽÍ → Poruba, Studentská		PORUBA, STUDENTSKÁ → Hlavní nádraží	
3	58 VH	102/1	14 H	3	58 VH	102/1	14 H
4	6 V 22 42	102/2	17 17 H 37 57	4	6 V 22 42	102/2	17 17 H 37 57 K
5	2 K 22 42	102/3	17 K 37 57	5	2 K 22 42	102/3	17 T 37 J 57 KS
6	2 K 22 42	102/4	17 K 37 57	6	2 K 22 42	102/4	17 K 37 S 57 KS
7	2 K 22 42	102/5	17 KS 37 S 57 S	7	2 K 22 42	102/5	17 S 37 S 57 KS
8	2 KS 22 S 42 S	102/6	17 KS 37 S 57 S	8	2 KS 22 S 42 S	102/6	17 K 37 S 57 KS
9	2 KS 22 S 42 S		17 KS 37 S 57 S	9	2 KS 22 S 42 S		17 S 37 S 57 KS
10	2 KS 22 S 42 S		17 KS 37 S 57 S	10	2 KS 22 S 42 S		17 K 37 S 57 KS
11	2 KS 22 S 42 S		17 KS 37 S 57 S	11	2 KS 22 S 42 S		17 S 37 S 57 KS
12	2 KS 22 S 42 S		17 KS 37 S 57 S	12	2 KS 22 S 42 S		17 K 37 S 57 KS
13	2 KS 22 S 42 S		17 KS 37 S 57 S	13	2 KS 22 S 42 S		17 S 37 S 57 KS
14	2 KS 22 S 42 S		17 KS 37 S 57 S	14	2 KS 22 SJ 42 SJ		17 K 37 S 57 KS
15	2 KS 22 S 42 S		17 KS 37 S 57 S	15	2 KSJ 22 SJ 42 SJ		17 SJ 37 SJ 57 KSJ
16	2 KS 22 S 42 S		17 KS 37 S 57 S	16	2 KSJ 22 SJ 42 SJ		17 KJ 37 SJ 57 KSJ
17	2 KS 22 S 42 S		17 KS 37 S 57 S	17	2 KSJ 22 SJ 42 SJ		17 SJ 37 SJ 57 KSJ
18	2 KS 22 S 42 S		17 KS 37 S 57 S	18	2 KSJ 22 SJ 42 SJ		17 KJ 37 SJ 57 KSJ
19	2 K 22 42		17 K 37 57	19	2 KJ 22 J 42 J		17 T 37 J 57 KJ
20	2 K 22 42		17 K 37 57	20	2 KJ 22 J 42 J		17 J 37 J 57 KJ
21	2 K 22 J 42 J		17 K 37 57 J	21	2 KJ 22 J 42 J		17 T 37 J 57 KJ
22	2 KJ 22 J 56		17 KJ 37 J 57 V	22	2 KJ 22 J 56		17 J 37 57 V
23			17 V	23			17 V
24				24			
0				0			
POZNAMKY		J - Studentké koleje - Hlavní nádraží		POZNAMKY		J - Studentké koleje - Hlavní nádraží	
VH - Vozovna trolejbusů - Hulváky		V - Poruba, Studentská - Vozovna trolejbusů		VH - Vozovna trolejbusů - Hulváky		V - Poruba, Studentská - Vozovna trolejbusů	
V - Vozovna trolejbusů - Poruba, Studentská		H - Hulváky - Hlavní nádraží		V - Vozovna trolejbusů - Poruba, Studentská		H - Hulváky - Hlavní nádraží	
J - Hlavní nádraží - Studentké koleje				J - Hlavní nádraží - Studentké koleje			
XX spoj obsluhovaný autobusem S - přípoj linky 104		K - přípoj linky 105 na zastávce Konzervatoř		XX spoj obsluhovaný autobusem S - přípoj linky 104		K - přípoj linky 105 na zastávce Konzervatoř	

Zdroj: autor

Příloha I Varianta C – návrh JŘ a oběhů vozidel pro soboty a neděle

37 NÁMĚSTÍ REPUBLIKY <> PORUBA, STUDENTSKÁ <> Poruba, St. kolejie				37 NÁMĚSTÍ REPUBLIKY <> PORUBA, STUDENTSKÁ <> Poruba, St. kolejie			
VARIANTA C - NÁVRH PRO SOBOTY				VARIANTA C - NÁVRH PRO NEDĚLE			
NÁMĚSTÍ REPUBLIKY > Poruba, Studentská		PORUBA, STUDENTSKÁ > Náměstí Republiky		NÁMĚSTÍ REPUBLIKY > Poruba, Studentská		PORUBA, STUDENTSKÁ > Náměstí Republiky	
3		37/1 P	26 KM	3		37/1 P	26 KM
4	23 45	37/2 P	42 ad	4	23 S 45 S	37/2 P	42 Sad
5	5 25 45	37/3 H	2 ad 22 ad 42 ad	5	5 S 25 S 45 S	37/3 H	2 Sad 22 Sad 42 Sad
6	5 25 45	37/4 H	2 ad 22 ad 42 ad	6	5 S 25 S 45 S	37/4 H	2 Sad 22 Sad 42 Sad
7	5 25 45	37/5 H	2 ad 22 ad 42 ad	7	5 S 25 S 45 S	37/5 H	2 Sad 22 Sad 42 Sad
8	5 25 45	37/6 P	2 ad 22 ad 42 ad	8	5 S 25 S 45 S	37/6 P	2 Sad 22 Sad 42 Sad
9	5 25 45		2 ad 22 ad 42 ad	9	5 S 25 S 45 S		2 Sad 22 Sad 42 Sad
10	5 25 45		2 ad 22 ad 42 ad	10	5 S 25 S 45 S		2 Sad 22 Sad 42 Sad
11	5 25 45		2 ad 22 ad 42 ad	11	5 S 25 S 45 S		2 Sad 22 Sad 42 Sad
12	5 25 45		2 ad 22 ad 42 ad	12	5 S 25 S 45 S		2 Sad 22 Sad 42 Sad
13	5 25 45		2 ad 22 ad 42 ad	13	5 S 25 S 45 S		2 Sad 22 Sad 42 Sad
14	5 25 45		2 ad 22 ad 42 ad	14	5 S 25 S 45		2 Sad 22 Sad 42 Sad
15	5 25 45		2 ad 22 ad 42 ad	15	5 25 45		2 Sad 21 ad 41 ad
16	5 25 45		2 ad 22 ad 42 ad	16	5 25 45		1 ad 21 ad 41 ad
17	5 25 45		2 ad 22 ad 42 ad	17	5 25 45		1 ad 21 ad 41 ad
18	5 25 45		2 ad 22 ad 42 ad	18	5 25 45		1 ad 21 ad 41 ad
19	5 25 45		2 ad 22 ad 42 ad	19	5 25 45		1 ad 21 ad 41 ad
20	5 25 45		2 ad 22 ad 42 ad	20	5 25 45		1 ad 21 ad 41 ad
21	5 25 45 SK		2 ad 22 ad 42 Kad	21	5 25 45		1 ad 21 ad 41 ad
22	5 SK 25 SK 42 SK		2 Kad 23 Kd 53 M	22	5 25 42		1 ad 22 d 52 KM
23			32 KM	23			32 KM
24				24			
0	9N			0	9N		
POZNAMKY N - Svinov, nádraží - Studentská SK - pokračuje směr St. kolejie		KM - St. kolejie - Svinov, mosty K - St. kolejie - Náměstí Republiky a - přípoj linky 54 d - přípoj linky 48		POZNAMKY N - Svinov, nádraží - Studentská S - Náměstí Republiky - Studentská		KM - St. kolejie - Svinov, mosty S - Studentská - Náměstí Republiky a - přípoj linky 54 d - přípoj linky 48	
XX Spoj obsluhovaný autobusem		na zastávce Svinov, mosty		XX Spoj obsluhovaný autobusem		na zastávce Svinov, mosty	

Zdroj: auto



## Příloha J Spotřeba na autobusové lince 34.

Linka	Klimatizace	Od	Do	Km proběh (km)	Počáteční kapacita (kWh)	Koncová kapacita (kWh)	Spotřeba včetně rekuperace (kWh)	Spotřeba (kWh/km)	Stoupání/klesání na lince 34 (kWh)	Spotřeba včetně rekuperace (kWh)	Spotřeba (kWh/km)	
<b>Měření 12. 8. 2023 na kurzu 25/681 na voze Solaris Urbino 12 Electric IV. Max venkovní teplota téhož dne 28 °C.. ŘIDIČ A</b>												
<b>34 Valchařská - Bobrovníky</b>	ANO	<b>13:20</b>	13:40	10,48	82,3	64,0	18,28	1,74	66,72	63,07	<b>3,66</b>	<b>2,85</b>
34 Bobrovníky - Valchařská	ANO	13:58	<b>14:16</b>	9,84	59,4	50,3	9,14	0,93	58,50	59,41	-0,91	-0,71
<b>34 Valchařská - Bobrovníky</b>	ANO	<b>15:29</b>	15:50	10,48	88,0	65,2	17,37	1,66	75,86	73,12	<b>2,74</b>	<b>2,14</b>
34 Bobrovníky - Valchařská	ANO	16:07	<b>16:27</b>	9,84	58,5	50,3	8,23	0,84	57,58	59,41	-1,83	-1,43
<b>34 Valchařská - Bobrovníky</b>	NE	<b>17:29</b>	17:50	10,48	88,7	74,0	14,62	1,40	81,35	77,69	<b>3,66</b>	<b>2,85</b>
34 Bobrovníky - Valchařská	NE	18:08	<b>18:26</b>	9,84	67,6	63,1	4,57	0,46	67,64	67,64	0,00	0,00
<b>Měření 19. 8. 2023 na kurzu 25/681 na voze Solaris Urbino 12 Electric IV. Max venkovní teplota téhož dne 30 °C. ŘIDIČ A</b>												
<b>34 Valchařská - Bobrovníky</b>	ANO	<b>13:20</b>	13:40	10,48	85,92	62,15	23,76	2,27	67,64	63,07	<b>4,57</b>	<b>3,57</b>
34 Bobrovníky - Valchařská	ANO	13:58	<b>14:16</b>	9,84	56,67	46,61	10,05	1,02	56,67	57,58	-0,91	-0,71
<b>34 Valchařská - Bobrovníky</b>	ANO	<b>15:29</b>	15:50	10,48	85,00	69,46	15,54	1,48	76,78	73,12	<b>3,66</b>	<b>2,85</b>
34 Bobrovníky - Valchařská	ANO	16:07	<b>16:27</b>	9,84	62,15	51,18	10,97	1,11	57,58	59,41	-1,83	-1,43
<b>34 Valchařská - Bobrovníky</b>	NE	<b>17:29</b>	17:50	10,48	89,57	75,86	13,71	1,31	82,26	76,78	<b>5,48</b>	<b>4,28</b>
34 Bobrovníky - Valchařská	NE	18:08	<b>18:26</b>	9,84	73,12	69,46	3,66	0,37	72,21	73,12	-0,91	-0,71
<b>Měření 26. 8. 2023 na kurzu 25/681 na voze Solaris Urbino 12 Electric IV. Max venkovní teplota téhož dne 28 °C. ŘIDIČ A</b>												
<b>34 Valchařská - Bobrovníky</b>	ANO	<b>13:20</b>	13:40	10,48	85,9	62,2	23,76	1,74	67,64	63,98	<b>3,66</b>	<b>2,85</b>
34 Bobrovníky - Valchařská	ANO	13:58	<b>14:16</b>	9,84	56,7	46,6	10,05	0,93	56,67	57,58	-0,91	-0,71
<b>34 Valchařská - Bobrovníky</b>	ANO	<b>15:29</b>	15:50	10,48	85,0	69,5	15,54	1,66	76,78	72,21	<b>4,57</b>	<b>3,57</b>
34 Bobrovníky - Valchařská	ANO	16:07	<b>16:27</b>	9,84	62,2	48,4	13,71	0,84	57,58	59,41	-1,83	-1,43
<b>34 Valchařská - Bobrovníky</b>	NE	<b>17:29</b>	17:50	10,48	89,6	75,9	13,71	1,40	82,26	77,69	<b>4,57</b>	<b>3,57</b>
34 Bobrovníky - Valchařská	NE	18:08	<b>18:26</b>	9,84	72,2	67,6	4,57	0,46	72,21	72,21	0,00	0,00
<b>Měření 13. 4. 2024 na kurzu 25/343 na voze Solaris Urbino 12 Electric IV. . Max venkovní teplota téhož dne 22 °C. ŘIDIČ R</b>												
<b>34 Valchařská - Rovniny</b>	NE	<b>15:57</b>	16:22	13,03	85,00	70,38	14,62	1,12	78,6	74,9	<b>3,66</b>	<b>2,85</b>
34 Rovniny - Valchařská	NE	16:33	<b>16:57</b>	12,55	66,72	54,84	11,88	0,95	64,0	64,9	-0,91	-0,71
<b>34 Valchařská - Hlučín, AN</b>	NE	<b>17:27</b>	17:55	14,43	88,66	72,21	16,45	1,14	81,3	78,6	<b>2,74</b>	<b>2,14</b>
34 Hlučín, AN - Valchařská	NE	18:00	<b>18:27</b>	13,91	72,21	57,58	14,62	1,05	66,7	68,6	-1,83	-1,43
<b>34 Valchařská - Rovniny</b>	NE	<b>20:27</b>	20:52	13,03	90,49	78,60	11,88	0,91	84,1	81,3	<b>2,74</b>	<b>2,14</b>
34 Rovniny - Valchařská	NE	21:03	<b>21:26</b>	12,55	73,12	64,89	8,23	0,66	71,3	72,2	-0,91	-0,71
<b>Měření 14. 4. 2024 na kurzu 25/343 na voze Solaris Urbino 12 Electric IV. . Max venkovní teplota téhož dne 22 °C. ŘIDIČ R</b>												
<b>34 Valchařská - Rovniny</b>	NE	<b>15:57</b>	16:22	13,03	87,7	71,3	16,45	1,26	81,3	76,8	<b>4,57</b>	<b>3,57</b>
34 Rovniny - Valchařská	NE	16:33	<b>16:57</b>	12,55	66,7	54,8	11,88	0,95	64,0	65,8	-1,83	-1,43
<b>34 Valchařská - Hlučín, AN</b>	NE	<b>17:27</b>	17:55	14,43	89,6	72,2	17,37	1,20	80,4	76,8	<b>3,66</b>	<b>2,85</b>
34 Hlučín, AN - Valchařská	NE	18:00	<b>18:27</b>	13,91	72,2	58,5	13,71	0,99	67,6	68,6	-0,91	-0,71
<b>34 Valchařská - Rovniny</b>	NE	<b>20:27</b>	20:52	13,03	86,8	73,1	13,71	1,05	80,4	77,7	<b>2,74</b>	<b>2,14</b>
34 Rovniny - Valchařská	NE	21:03	<b>21:26</b>	12,55	69,5	58,5	10,97	0,87	67,6	69,5	-1,83	-1,43

Zdroj: autor