

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

Problematika začlenění elektrobuseů do MHD

Problematic of Electrobus Implementation in Urban Transport System

Student:

Bc. Petr Kaplan

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Michal Richtář

Ostrava 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Petr Kaplan**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T003 Dopravní technika a technologie
Specializace: 20 Silniční doprava
Téma: **Problematika začlenění elektrobusů do MHD**
Problematic of Electrobus Implementation in Urban Transport System

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Technické parametry elektrobusů a dopravní sítě
3. Spolehlivost a údržba elektrobusů
4. Nabíjení a nabíjecí stanice
5. Návrhy a doporučení
6. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

Matějka, R. Vozidla silniční dopravy I, Bratislava: ALFA Bratislava, 1990, ISBN 80-05-00392-7
Matějka, R. Vozidla silniční dopravy II, Bratislava: ALFA Bratislava, 1990, ISBN 80-05-00392-7
Svoboda, J.. Teorie dopravních prostředků, Praha: ČVUT Praha, 2000, ISBN 80-01-01613-7

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Michal Richtář**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013



doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.
vedoucí katedry

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- Jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Petr Kaplan

Adresa trvalého pobytu autora práce: České Libchavy 20, 561 14

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

KAPLAN, P. Problematika začlenění elektrobusů do MHD: diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2013, 89 s. Vedoucí práce: Richtář, M.

Tato diplomová práce se zabývá problematikou začlenění elektrobusů do MHD. V úvodu práce jsou zmíněny důvody začlenění elektrobusů do provozu, homologace elektromobilů, jejich bezpečnost, popis elektrobusů SOR EBN a základních komponentů použitých v pohonné soustavě elektrobusů. Následují výpočty spolehlivosti provozu elektrobusů, jejich zhodnocení a popis údržby těchto elektrobusů. V kapitole Nabíjení a nabíjecí stanice je řešena problematika nabíjení trakčních akumulátorů, dojezdy elektrobusů, rekuperace kinetické energie a pokles kapacity akumulátorů. Dále je uvedeno několik průběhů zatížení elektrické sítě při různých režimech nabíjení elektrobusů a statistickým testem ověřen vliv těchto odlišných nabíjecích režimů na provozní hodnoty těchto elektrobusů. V závěru práce jsou uvedeny některé návrhy a doporučení problematiky provozu elektrobusů.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

KAPLAN, P. Problematic of Electrobus Implementation in Urban Transport System : Master Thesis. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2013, 89 p. Thesis head: Richtář, M.

This thesis deals with the integration of the electrobuses to a city public transportation. The introduction mentions the reasons for electrobuses integration into the service, certification of electric vehicles, their safety, description of the SOR EBN electrobuses and basic components used in the electrobuses power system. Then follow reliability calculations of the electrobuses, their evaluation and description of the electrobuses maintenance. In Charging and charging station chapter is solved charging the traction batteries issue and the electrobus range, energy regeneration and a decrease in battery capacity. Then there are indicated few runnings of electrical network load within different modes of the electrobus charging a statistical test verified the effect of these different charging modes on operating values of these electrobuses. The thesis concludes with some suggestions and recommendations for the electrobus operation issue.

Obsah

Seznam použitých zkratk.....	1
1 Úvod.....	3
2 Technické parametry elektrobusů a dopravní sítě.....	4
2.1 Homologace vozidel – elektromobilů	4
2.2 Bezpečnost elektrobusů	5
2.3 SOR EBN 10,5	6
2.4 SOR EBN 8	7
2.5 Popis komponentů pohonu elektrobusů.....	8
2.5.1 Elektrický motor	9
2.5.2 Trakční akumulátor energie	10
2.5.3 Superkapacitor	16
2.5.4 Konvertor	16
2.5.5 Invertor.....	17
2.5.6 Systém kontroly a ochrany trakčních akumulátorů	18
2.6 Dynamika pohybu vozidla.....	20
3 Spolehlivost a údržba elektrobusů	33
3.1 Základní pojmy spolehlivosti	33
3.2 Výpočet střední ujeté dráhy mezi poruchami	34
3.3 Základní pojmy údržby.....	43
3.4 Údržba vozidel městské hromadné dopravy.....	44
3.5 Elektrobusy SOR EBN 10,5	45
4 Nabíjení a nabíjecí stanice	47
4.1 Parametry Li – Ion článků	48
4.2 Nabíjení elektromobilů.....	50
4.3 Zástrčky používané pro nabíjení elektromobilů	52
4.4 Časy nabíjení elektrobusů.....	54
4.5 Dojezdy elektrobusů.....	56

4.6	Rekuperace kinetické energie.....	57
4.7	Pokles kapacity článků elektrobusu SOR EBN 10,5.....	61
4.8	Popis jednotlivých průběhů nabíjení elektrobusů.....	64
4.9	Mannův – Whitneyův test	68
4.10	Napájecí zařízení 3x400V/32 A	71
4.11	Nabíjecí stojan stacionární	72
4.12	Princip Better Place	73
4.13	Wireless Advanced Vehicle Electrification.....	74
4.15	Rampini	76
5	Návrhy a doporučení	78
6	Závěr	83
7	Seznam použité literatury.....	84
8	Seznam příloh.....	89

Seznam použitých zkratek

a	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-2}]$	zrychlení vozidla
C_{AKU}	$[\text{kWh}]$	kapacita akumulátoru
c_x	$[1]$	součinitel odporu vzduchu
e	$[-]$	základ přirozeného logaritmu
f	$[1]$	součinitel odporu valení
$f(l)$	$[-]$	hustota pravděpodobnosti
$F(l)$	$[-]$	pravděpodobnost poruchy
$F_i(m)$	$[-]$	mediánové pořadí
F_k	$[\text{N}]$	hnací síla na kolech
F_x	$[\text{N}]$	hnací síla v podélném směru
G	$[\text{N}]$	tíha vozidla
i	$[-]$	počet tříd
i_0	$[1]$	převodový poměr stálého převodového stupně
l	$[\text{km}]$	ujetá dráha
l_0	$[\text{km}]$	parametr měřítka
l_d	$[\text{km}]$	dojezd elektrobuse
l_i	$[\text{km}]$	ujetá dráha mezi poruchami
l_{max}	$[\text{km}]$	maximální hodnota
l_{min}	$[\text{km}]$	minimální hodnota
L_s	$[\text{km}]$	střední hodnota
m	$[\text{kg}]$	hmotnost vozidla
m	$[-]$	parametr tvaru Weibullova rozdělení
M_{EM}	$[\text{N} \cdot \text{m}]$	moment elektrického motoru
M_k	$[\text{N} \cdot \text{m}]$	moment přivedený na kola
M_M	$[\text{N} \cdot \text{m}]$	točivý moment elektrického motoru
n	$[-]$	celkový počet poruch
n	$[\text{min}^{-1}]$	otáčky elektrického motoru
N	$[-]$	rozsah výběru
n_i	$[-]$	pořadové číslo
O_a	$[\text{N}]$	odpor zrychlení
O_f	$[\text{N}]$	odpor valení
o_f	$[1]$	měrný valivý odpor
O_{POS}	$[\text{N}]$	odpor posouvajících se částí

O_{ROT}	[N]	odpor rotačních částí
o_s	[1]	měrný odpor stoupání
O_s	[N]	odpor sklonu
O_T	[N]	odpor tahu přípojného vozidla
o_v	[1]	měrný odpor vzduchu
O_v	[N]	odpor vzduchu
P	[W]	výkon elektrického motoru
p_K	[1]	měrná hnací síla
$R(I)$	[-]	pravděpodobnost bezporuchového provozu
$R_{el.en.1 km}$	[kWh·km ⁻¹]	rekuperace elektrické energie na jeden kilometr
$R_{el.en.1}$	[kWh]	rekuperace elektrické energie
r_d	[m]	dynamický poloměr kola
r_i	[-]	je <i>i-tá</i> absolutní četnost
s	[1]	maximální stoupavost vozidla
$S_{el.en.1 km}$	[kWh·km ⁻¹]	spotřeba elektrické energie na jeden kilometr
$S_{el.en.1}$	[kWh]	spotřeba elektrické energie
$S_{výsl. 1km}$	[kWh·km ⁻¹]	výsledná spotřeba elektrické energie
S_x	[m ²]	čelní plocha vozidla
$š$	[m]	šířka vozidla
v	[m]	výška vozidla
V	[km·h ⁻¹]	rychlost vozidla
X_i	[-]	relativní četnost
Γ	[-]	tabelovaná gama funkce
δ	[1]	součinitel vlivu rotujících částí
δ	[-]	součinitel vlivu rotujících hmot
ΔL	[km]	šířka třídy
η_0	[1]	účinnost stálého převodového stupně
$\eta_{Rekup.}$	[%]	účinnost rekuperace
$\lambda(I)$	[-]	intenzita poruch
π	[1]	Ludolfovo číslo
ρ	[kg·m ⁻³]	hustota vzduchu
ω	[rad·s ⁻¹]	úhlová rychlost

1 Úvod

Elektrická energie patří v dnešní moderní době k samozřejmé, téměř nepostradatelné součásti běžného lidského života. Tento druh energie se vyskytuje téměř ve všech lidských činnostech, v některých odvětvích je absence elektrické energie byť na krátkou dobu již zcela nemyslitelná. Nadále však existuje několik odvětví, ve kterých tato efektivní a ekologická energie nenachází zásadní uplatnění. Do těchto odvětví patří také doprava, zejména silniční. Doprava se stala nedílnou součástí života moderní společnosti. Lidé dopravu neustále využívají ke každodennímu cestování, přepravě výrobků, surovin a informací. Doprava tedy plní významnou ekonomickou a společenskou činnost.

Proto mezi nejdůležitější parametry pohonného systému dopravních prostředků lze považovat energetickou účinnost. Tento parametr je velice důležitý, zejména z důvodu neustále se zvyšující ceny paliva a zavádění zpřísnujících se norem a předpisů týkající se produkce emisí výfukových plynů. Toto jsou hlavní důvody, proč v posledních několika letech dochází k vývoji a razantním úpravám pohonných systémů. Výsledkem těchto opatření je výroba a provozování dopravních prostředků, které budou mít do budoucna pouze minimální negativní vliv na životní prostředí a lidské zdraví.

V otázce řešení produkce emisí výfukových plynů, omezených zásob fosilních paliv, globálních změn klimatu, hlučnosti a prašnosti vlivem dopravy je největší potenciál vkládán do oblasti elektromobility. Elektromobily se díky svým výhodným vlastnostem stávají velmi žádanými zejména v místech se zhoršenými hodnotami kvality životního prostředí. Mezi tato místa patří například některé městské části nebo průmyslové aglomerace. Elektromobily, jejichž působení v automobilovém odvětví dosahuje poměrně dlouhé historie, se však stále potýkají s některými problémy. Mezi hlavní problémy patří efektivní ukládání elektrické energie a poměrně vysoká pořizovací cena související s nutností použít finančně nákladné trakční akumulátory. V posledních několika letech však došlo ve vývoji trakčního pohonu elektromobilů k několika zásadním změnám. Rozvoj technologických procesů zajistil výrazné navýšení kapacity trakčních akumulátorů při současném snížení hmotnosti, prodloužení doby životnosti, zvýšení spolehlivosti a snížení doby nabíjení.

Rychlost rozvoje moderních technologií a postupů při výrobě těchto komponentů se neustále zvyšuje. Je tedy pouze otázkou nejbližšího časového období, kdy dojde ke značnému rozšíření tohoto bezpečného, spolehlivého a k životnímu prostředí šetrnému typu dopravy, nejen v místech s dlouhodobě zhoršenými životními podmínkami.

2 Technické parametry elektrobusů a dopravní sítě

V úvodu kapitoly je zpracována problematika homologace vozidel, bezpečnosti elektrobusů, dále stručný popis elektrobusů SOR EBN 10,5 a SOR EBN 8. V diplomové práci jsou hodnoceny elektrobusy SOR EBN 10,5 proto jsou tedy dále podrobněji zpracovány. V příloze je uveden přehled ostatních dvounápravových elektrobusů vyskytující se na evropském trhu. Následuje obecný popis základních komponentů trakčního pohonu elektrobusů a jejich obecný popis. U podrobnějšího popisu jsou použity hodnoty elektrobusů SOR EBN 10,5. Tyto elektrobusy jsou provozovány v Dopravním podniku Ostrava a.s. První elektrobus SOR EBN 10,5 s evidenčním číslem 5001 podstoupil první zkušební jízdu v Ostravě 10. 3. 2010, uveden do provozu byl uveden 14. 6. 2010. Druhý elektrobus s evidenčním číslem 5002 byl do provozu uveden v prosinci 2010. Poslední dva elektrobusy pro Dopravní podnik Ostrava a.s. (evidenční č. 5003 a 5004) byly dodány koncem května 2011. Tyto elektrobusy jezdí v Ostravě na linkách č. 27, 38 a 52. Ostrava se tak nasazením elektrobusů do městské hromadné dopravy stala prvním městem v České republice, ale i ve střední Evropě, které zařadilo toto ekologické vozidlo do plného provozu. Dále jsou v této kapitole provedeny výpočty jednotlivých parametrů pohybu elektrobusů. Mezi tyto zpracované parametry patří například jízdní odpory vozidla, maximální rychlost vozidla, zrychlení elektrobusu a výkon potřebný pro překonání jízdních odporů v daném režimu jízdy. Některé tyto výpočty parametrů jsou doplněny výslednými grafy. [Autor]

2.1 Homologace vozidel – elektromobilů

V České republice je pro vlastnosti motorových vozidel, jejich konstrukčních součástí a příslušenství, ovlivňující bezpečnost silničního provozu zaveden zákon č. 56/2001 Sb., o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích. Každé silniční vozidlo uvedené na trh v České republice musí být nejprve schváleno Ministerstvem dopravy České republiky. Toto schválení je provedeno na základě předloženého osvědčení o homologaci, které je vydáno některými českými, nebo zahraničními autorizovanými a pověřenými laboratořemi. Homologace silničních vozidel na elektrický pohon se řídí předpisem Evropské hospodářské komise OSN č. ECE 100. Jedná se o předpis ověřující konstrukční a funkční bezpečnost vozidla. Rozsah platnosti předpisu vztahující se na kategorie vozidel M a N s jedním, nebo více trakčními elektrickými motory s maximální konstrukční rychlostí přes $20 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Tyto trakční elektromotory, části a systémy pohonu nejsou trvale připojeny k elektrické síti.

Předpis ECE č. 100 se zabývá např.: elektrickou pevností, ochranou před dotykem živých částí, izolačním stavem a vlastnostmi během nabíjení a vybíjení. Zkouškou na emise vodíku je podroben i trakční akumulátor, který musí být v dobrém technickém stavu. Vozidlo s těmito akumulátory musí v průběhu jednoho týdne před zkouškou ujet vzdálenost minimálně 300 km. Dále musí být zajištěna zejména horní hodnota provozní teploty trakčních akumulátorů. Elektromobil musí být schopen provozu i při vnějším elektromagnetickém rušení, zároveň však nesmí být sám zdrojem rušení, které by ovlivňovalo okolní provoz. Pro účely homologace je vozidlo ověřováno předpisem č. ECE 10.03 Jednotná ustanovení pro homologaci vozidel z hlediska elektromagnetické kompatibility. Do provozu na pozemních komunikacích v České republice mohou být uvedena jen vozidla splňující homologaci uvedeného příslušenství, zároveň i homologaci celku vozidla. Homologace je udělena po vyhovujících výsledcích typových zkoušek. Kontrolní zkoušky a inspekce ve výrobě zaručují stálou shodu výrobků. [29]

2.2 Bezpečnost elektrobusů

Bezpečnost automobilového provozu lze rozdělit na aktivní a pasivní. Aktivní bezpečnost je soubor vlastností, které pomáhají zabránit vzniku dopravní nehody. Mezi prvky aktivní bezpečnosti patří například pneumatiky, brzdová soustava, řízení vozidla, tlumiče pérování, dostatečný výhled z vozidla a elektronické systémy. Předpokladem je však bezporuchový stav všech těchto systémů. Do pasivní bezpečnosti vozidla patří systémy, které mají co nejvíce zmírnit následky případné dopravní nehody. Do této kategorie lze zařadit deformační zóny vozidla, zádržné systémy, včetně prvků zmírňující náraz cestujících. Trakční akumulátory elektromobilů musí být umístěny ve zpevněné části vozidla mimo vnitřní prostor pro cestující, odděleny nehořlavým materiálem. Dále by mělo být zajištěno chlazení akumulátorů a v případě vzniku požáru i hasící systém. Akumulátory musí být vybaveny kontrolním a jisticím systémem. Vozidlo musí být zkonstruováno tak, aby při nárazu vozidla elektrický motor nezranil posádku. Vysokonapěťové elektrické vodiče pohonu vozidla musí obsahovat zvýšenou izolaci, tuto problematiku dále řeší předpis EHK OSN R 100. Podle testu bezpečnosti lithium-iontových akumulátorů provedeného firmou DEKRA jsou tyto akumulátory přinejmenším stejně bezpečné, jako vozidla se spalovacím motorem. Navíc dochází k nižšímu riziku šíření požáru, protože neobsahují tekutiny, které by dále ztěžovaly uhašení požáru. Akumulátory při testu hořely menším plamenem, než hořel benzín. [20]

2.3 SOR EBN 10,5

Elektrobus SOR EBN 10,5 je v nabídce produktů českého výrobce autobusů SOR Libchavy spol. s r.o. od roku 2010. Elektrobus slouží pro přepravu osob v městském provozu, turistických a horských střediscích a všude tam, kde je kladen důraz na místě bezemisní přepravu cestujících. Jedná se o dvounápravový, nízkopodlažní autobus délky 10 370 mm. Výrobce nabízí dvoudveřovou, nebo třídvěřovou variantu karoserie vozidla. Celková kapacita vozidla je 85 osob. Maximální rychlost dosahuje hodnoty $80 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Přední nezávisle zavěšená náprava SOR BN 004 a zadní hypoidní tuhá náprava s označením DANA jsou vybaveny pneumatickým pérováním. Toto pneumatické pérování je řízeno systémem ECAS (Electronically Controlled Air Suspension – Elektronicky řízené pneumatické pérování), který zajišťuje nastavenou výšku podlahy, bez ohledu na zatížení vozidla. Tento systém dále umožňuje vozidlu stojícímu v zastávce snížení části karoserie blíže k nástupnímu ostrůvku a ulehčit tak a zrychlit nástup a výstup cestujících. Elektrobus je na přední i zadní nápravě vybaven kotoučovými brzdami firmy Knorr s pneumatickým převodem. Brzdová soustava je doplněna protiblokovacím systémem ABS. Kontrolu trakce vozidla řídí systém ASR. Vozidlo, jehož dodavatelem elektrického příslušenství je společnost Cegelec a.s. je vybaveno funkcí rekuperace kinetické energie. Pohon elektrobusu tvoří kapalinou chlazený asynchronní elektrický motor firmy Pragoimex a.s. Jmenovitý výkon tohoto elektromotoru je 120 kW s točivým momentem 835 N·m a maximální výkon 180 kW s točivým momentem 1785 N·m. Trakční měnič (konvertor) řízen IGBT tranzistory, sloužící zároveň jako nabíječ 24 V akumulátorů, je také chlazen kapalinou. Trakční LiFeYPO₄ (Lithium – Železo – Ytrium – Fosfid) akumulátory od firmy Winston Battery obsahují 180 článků (šest bloků po 30 článcích) zapojených do série s parametry 600 V a 300 A·h. Tyto akumulátory s celkovou energií 172 kW·h lze však vybit maximálně na hodnotu 80% celkové kapacity akumulátorů, což je přibližně 137 kW·h. Tato energie, která je z akumulátorů k dispozici, stačí z 50% obsazeného elektrobusu, při průměrné městské spotřebě 0,9 kW·h za jeden kilometr, na dojezd asi 153 km. Kontrolní systém vozidla automaticky ukládá provozní informace a informace o vzniklých poruchách do paměti, kde jsou data zpětně k dispozici. Řidič vozidla se tyto informace zobrazí také na centrálním displeji na palubní desce. V zadním bezpečnostním prostoru, odděleném od interiéru vozidla jsou umístěny vysokonapěťové komponenty vozidla. Tyto komponenty jsou z důvodu bezpečnosti několikanásobně jištěny a zároveň opatřeny hlavním odpojovačem. Elektrobus splňuje veškeré potřebné požadavky platných předpisů a homologací týkající se konstrukce elektromobilů. Nabíjení akumulátorů lze uskutečnit v režimu pomalého nabíjení ze zásuvky 400 V/ 32 A, nebo nabíjecím stojanem

s parametry 400 V/ 250A. Akumulátory jsou plně nabity u pomalého nabíjení přibližně za 7,5 hodin a u rychlého nabíjení postačuje energie získaná nabíjením za půl hodiny na ujetí vzdálenosti 100 km. Tyto trakční akumulátory mají také vlastní kontrolní systém každého článku, který v případě nárůstu nabíjecího napětí nad požadované hodnoty přerušuje nabíjení. Úložný prostor akumulátorů je z důvodu dosažení pracovní teploty dle potřeby ochlazován pomocí ventilátorů, nebo vyhříván. Vyhřívání vozidla je zajištěno nezávislým naftovým topením, nebo je možné využít energii získanou z kapaliny chlazení elektromotoru a výkonové elektroniky. Údržba vozidla je v porovnání s pohonem se spalovacím motorem mnohem jednodušší, vyšší pozornost je však nutné věnovat údržbě a nabíjení trakčních akumulátorů. [7,16,17,18,19]



Obr. č. 2.1: SOR EBN 10,5 Zdroj: [17]

2.4 SOR EBN 8

Elektrobus SOR EBN 8, který byl představen výrobcem SOR Libchavy spol. s r.o. již začátkem léta 2012. Tento elektrobus vychází z koncepce modelu SOR EBN 10,5. Jedná se o dvounápravový, nízkopodlažní autobus, jehož délka je 8 000 mm a šířka 2 525 mm. Vzdálenost podlahy od vozovky této dvoudveřové karoserie je v přední části 320 mm a v zadní části 800 mm. Pohodlný a rychlý nástup a výstup cestujících a to včetně kočárku a vozíku pro imobilní cestující umožňují dostatečně široké dveře vozidla. Šířka předních dveří je 800 mm a šířka zadních dveří je 1 200 mm. Celková kapacita vozidla je 51 cestujících. Maximální konstrukční rychlost vozidla je $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Maximální hmotnost elektrobusu je 12

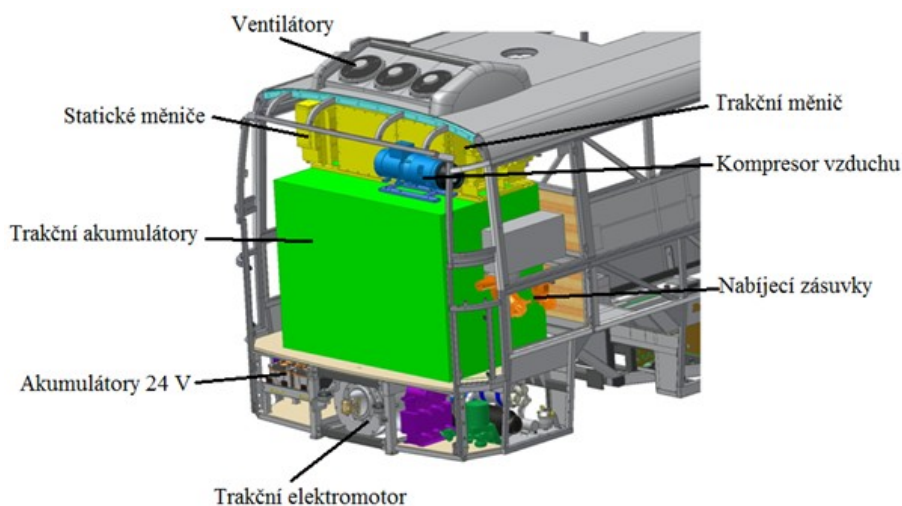
700 kg. Přední nezávisle zavěšená náprava SOR BN 004 a zadní tuhá náprava DANA jsou odpruženy pneumatickými vlnovci. Brzdový systém vozidla tvoří čtyři kotoučové brzdy. Elektrický pohon vozidla od společnosti Cegelec a.s. je shodný s vozidlem EBN 10,5, tedy asynchronní elektromotor o výkonu 120 kW. Výhodou kapalinové chlazení elektrického motoru je, na rozdíl od vzduchem chlazeného motoru, nižší hlučnost, nižší tepelné namáhání ložisek elektromotoru, motor lze až dvojnásobně přetížít. Elektrický motor je také v režimu brzdění vozidla využit jako generátor elektrické energie, která slouží pro nabíjení trakčních akumulátorů. Kapacita 180 článků Lithium – Iontových (LiFeYP04) akumulátorů dodávané firmou Winston Battery je 172 kW·h. Celkové elektrické napětí nabitých, sériově zapojených článků akumulátorů je 600 V. Průměrná spotřeba elektrické energie v městském provozu intenzitou dvou, až tří zastávek na jeden kilometr je asi $0,75 \text{ kWh}\cdot\text{km}^{-1}$. Dojezd vozidla s průměrným počtem 25 cestujících ve vozidle je přibližně 150 až 180 km. Režimy a časy nabíjení trakčních akumulátorů jsou shodné jako u vozidla SOR EBN 10,5. [7,14,15,18]



Obr. č. 2.2: SOR EBN 8 Zdroj:[14]

2.5 Popis komponentů pohonu elektrobusů

Vozidlo poháněné elektrickým motorem je celkovou konstrukcí téměř shodné s konstrukcí vozidla se spalovacím motorem. Vozidla se však zásadně liší pohonnou soustavou. Pohonná soustava elektromobilu je složena z trakčního elektrického motoru, trakčních akumulátorů elektrické energie a příslušenství potřebného pro funkci celého systému, možné řešení uspořádání pohonné soustavy je na obr. č. 2.3. [Autor]

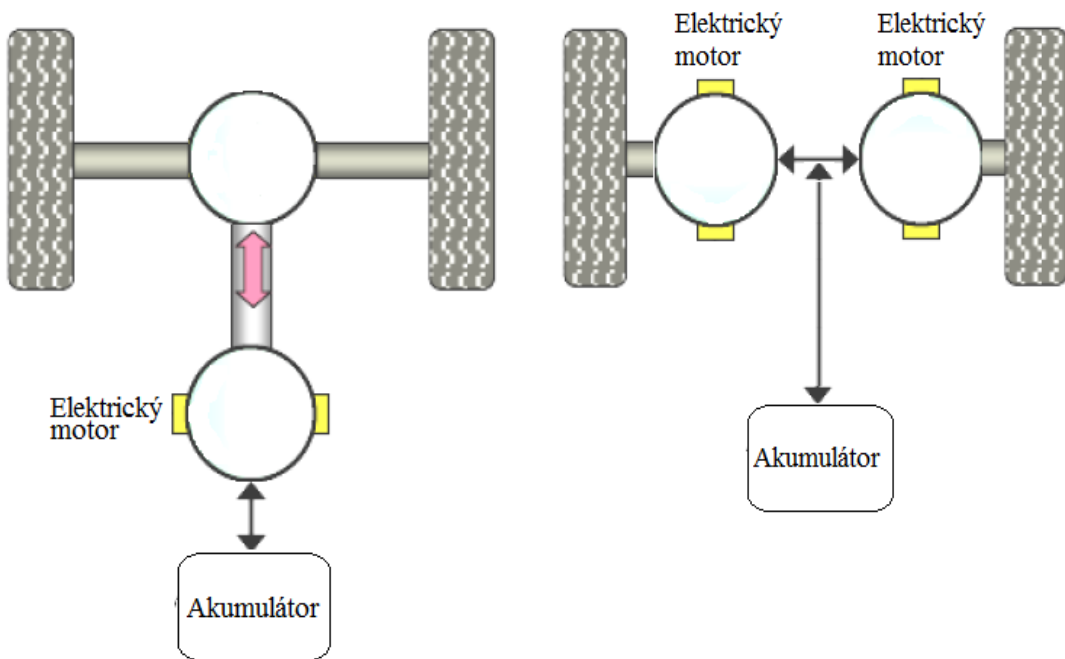


Obr. č. 2.3: Pohonná soustava elektrobusu Zdroj:[7, Autor]

2.5.1 Elektrický motor

Elektrický motor je točivý elektrický stroj, jehož činností dochází k přeměně elektrické energie získané ze zdroje elektrické energie na energii mechanickou. Elektrický motor je složen ze statoru a rotoru. Po přivedení elektrického napětí, se mezi statorem a rotorem tohoto stroje využívá silových účinků magnetického pole. Elektromotor je zkonstruován tak, aby vlivem střídavé změny působení magnetických polí došlo k vytvoření točivého momentu, který je dále odebírán z hřídele rotoru tohoto točivého stroje. Tento hřídel je uložen na ložiskách. Všechny součásti tohoto stroje jsou uloženy v obalu a tvoří tak jeden celek.

Elektrické motory lze rozdělit podle principu činnosti, napájecího napětí, točivého momentu, otáček a výkonu a dalších specifických vlastností. Pro pohon elektromobilů se však používají střídavé třífázové asynchronní elektrické motory. Výhodou těchto motorů je jednoduchá konstrukce, neobsahuje totiž vinutí rotoru a kolektor. Elektromotor je robustní, kompaktní, malých rozměrů a nízké hmotnosti. Z pohledu provozu se jedná o elektrický motor s vysokou hodnotou točivého momentu, dostatečně vysokou hodnotou výkonu a velkým rozsahem otáček. Tento motor je krátkodobě přetížitelný, dosahuje vysoké hodnoty účinnosti a nízké hladiny hluku. Další výhodou je zpětná přeměna mechanické energie na energii elektrickou v okamžiku brzdění vozidla. Zároveň je velice spolehlivý a to při nízkých pořizovacích a provozních nákladech. Nejvíce v současné době používané konstrukční řešení pohonu elektrobusu s centrálně umístěným elektrickým motorem je na obr. č. 2.4. Další možnou variantou umístění elektrických trakčních motorů je přímo v nábojích kol obr. č. 2.5. [1,2,5]



Obr. č. 2.4: Umístění elektromotoru Zdroj:[Autor] Obr. č. 2.5:Umístění elektromotoru Zdroj:[Autor]

2.5.2 Trakční akumulátor energie

Toto technické zařízení slouží k ukládání případně čerpání energie. V silničních vozidlech se v současné době nejčastěji používají elektrické zásobníky energie. Tyto elektrické zásobníky energie obsahují elektrochemické články, v nichž dochází elektrochemickou reakcí k přeměně energie. Dalším typem zásobníku, který lze ve vozidlech použít je zásobník mechanické energie, tedy setrvačnik a také hydraulický akumulátor. Čtvrtý používaný zásobník, zásluhou především rychlého rozvoje elektrotechnického průmyslu, pracující na elektrostatickém principu přeměny energie je superkapacitor. [1,2,9]

Akumulátory elektrické energie

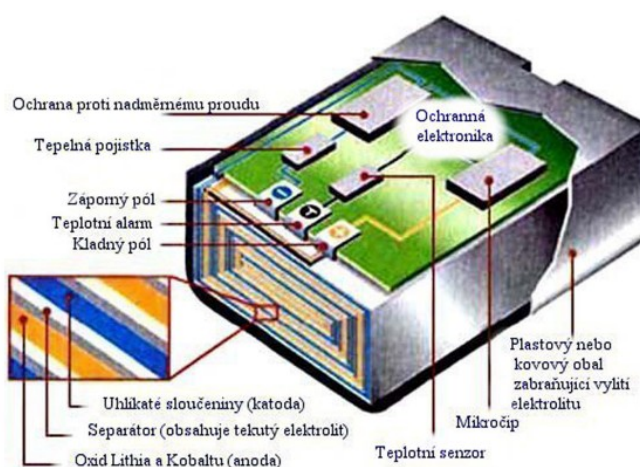
Tyto akumulátory jsou složeny z galvanických článků pracujících na elektrochemickém principu. V případě nabíjení, nebo vybíjení dochází ke změnám chemického složení funkčních částí článků akumulátoru. Článek akumulátoru je složen z kladné elektrody (anoda), záporné elektrody (katoda), které jsou vzájemně odděleny pomocí takzvaných separátorů, celý článek je zaplněn elektrolytem. [1,2]

Požadavky na trakční akumulátory

Vhodný trakční akumulátor musí umožňovat rychlé nabití energií, být schopen bezúdržbového provozu s životností pět až deset let, bez značného poklesu celkové kapacity. Akumulátor dále musí být schopen dosahovat vysokých výkonů, při ceně nepřesahující hodnotu 150 Eur·kW·h. Energetická hustota dosahující hodnoty alespoň 200 Wh·kg⁻¹ a hustota výkonu by se měla přibližovat hodnotě 100 W·kg⁻¹. [1]

Akumulátory Lithium – Ion (Li – Ion)

Akumulátory tohoto typu patří mezi nejmodernější a nejpoužívanější zdroje elektrické energie současných elektromobilů, které jsou malých rozměrů a nízké hmotnosti. Jedná se o velice spolehlivé a výkonné akumulátory. Kladnou elektrodu tvoří lithiokobaltový oxid a oxid lithia. Uhlíková záporná elektroda je vyrobena z koksu, nebo grafitu, tato odlišná konstrukce se projevuje rozdílným tvarem křivky vybíjení a nabíjecím napětím. Vzájemné oddělení elektrod zajišťují separátory, vyrobené z polyethylenové nebo polypropylenové porézní, tenké fólie. Článek je zaplněn elektrolytem tvořený z vodivé soli a rozpouštědla. Životnost akumulátorů je přibližně 1000 cyklů a s nízkou hodnotou samovybíjení. Výrobci těchto akumulátorů doporučují pravidelné nabíjení a vybíjení, ne však příliš vysokými elektrickými proudy. Jmenovité elektrické napětí článku akumulátoru se pohybuje v intervalu 3 až 4 V. V případě nabíjení akumulátoru nesmí dojít k překročení elektrického napětí nad danou hodnotu, což zajišťuje svou činností řídicí a ochranná elektronická jednotka. Tyto zdroje elektrické energie jsou však velice finančně nákladné a je nutné je po několika letech provozu vyměnit za nové. [1,2,9]



Obr. č. 2.6: Článek Li – Ion Zdroj:[26]

LiFePO₄

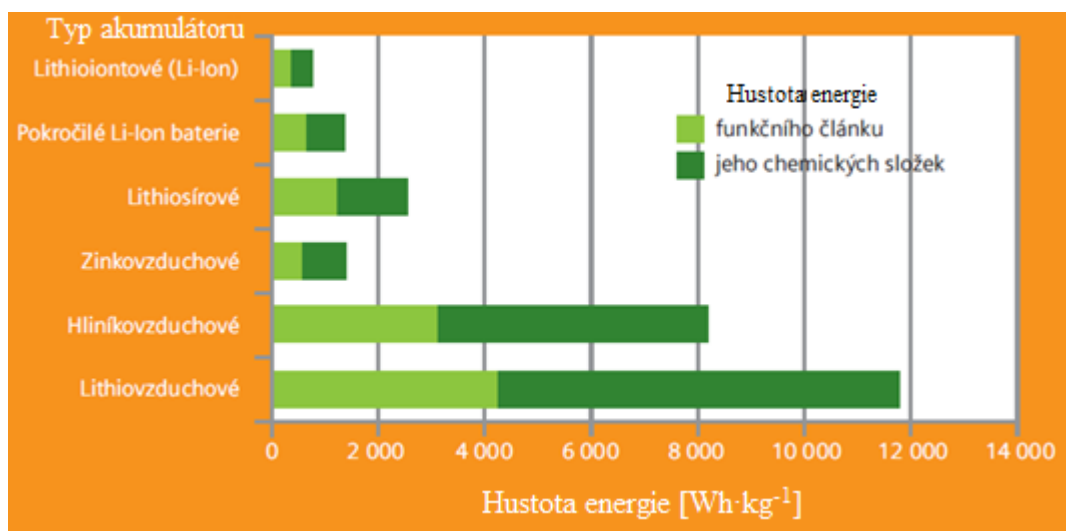
Akumulátory LiFePO₄ jsou konstrukčně velice podobné Li-Ion akumulátorům. Kladná elektroda je však vyrobena z LiFePO₄, uhlíku a polyvinylidenfluoridu. Tento zdroj elektrické energie je schopen dodat poměrně vysoký výkon, elektrický proud, má vysokou kapacitu a zároveň není vyroben z toxických materiálů. Rozsah provozní teploty je v rozsahu -20°C až 70°C. Tyto články akumulátoru nemají takzvaný paměťový efekt, to znamená, že je lze nabíjet při jakémkoliv stavu nabití. Zároveň u nich téměř nedochází k samovolnému vybíjení. Tento zdroj elektrické energie je velice tepelně odolný, dosahuje vysoké životnosti až deseti let a vysokého počtu nabíjecích cyklů asi 2000 až 3000. Hodnota napětí vybitého článku je asi 2,8 V. Jmenovité elektrické napětí článku akumulátoru je přibližně 3,2 V. Maximální nabíjecí elektrické napětí by nemělo dosáhnout vyšší hodnoty, než 3,6 V. Akumulátory by se také neměly nabíjet ani vybíjet příliš velkými elektrickými proudy, protože u nich dochází ke snižování životnosti a předčasnému selhávání správné funkce. Tyto akumulátory lze v porovnání s Lithium – Iontovými akumulátory získat za nižší pořizovací náklady. [37]

LiFeYPO₄

Tyto akumulátory je možné s výhodou použít jako zdroj elektrické energie pro elektromobily. Konstrukce je téměř shodná jako u akumulátorů LiFePO₄. Jejich rozsah provozní teploty je v rozmezí -45°C až +85°C. Tuto vlastnost akumulátoru umožňuje přidaná směs Ytria do katody LiFePO₄, která urychluje pohyb iontů při nízkých teplotách. Navíc jsou vybaveny speciální jednocestnou membránou, která umožňuje únik vznikajícího plynu. Minimální hodnota elektrického napětí článku je 2,5 V, jmenovité napětí je přibližně 3,2 V a maximální hodnota napětí je 4,25V. Maximální hodnota článku však nesmí být vyšší, to zajistí regulační a ochranná jednotka nabíjení akumulátoru. Životnost je více jak 2000 až 8000 cyklů. Akumulátor opět nemá téměř žádný paměťový efekt ani efekt samovybíjení. [13]

Vývoj nových typů akumulátorů

Trakční akumulátory patří mezi nejdůležitější součást pohonného systému elektromobilů. Zároveň jsou však svými současnými parametry limitující součástí neumožňující požadované rozšíření do běžného provozu. Mezi tyto omezující parametry patří zejména kapacita akumulátorů a s ní spojený akční rádius elektromobilů. Dále také třeba maximální výkon, hmotnostní energie, životnost a v neposlední řadě také pořizovací náklady těchto akumulátorů. Moderní typy akumulátorů s hustotou energie jsou uvedeny na obr. č. 2.7.



Obr. č. 2.7: Hodnoty moderních akumulátorů Zdroj:[21]

V současné době probíhá intenzivní vývoj nových typů akumulátorů, u kterých by měly být tyto nedostatky téměř odstraněny. Podle světových výrobců akumulátorů by měly být tyto zdroje energie dostupné asi do pěti let. [21]

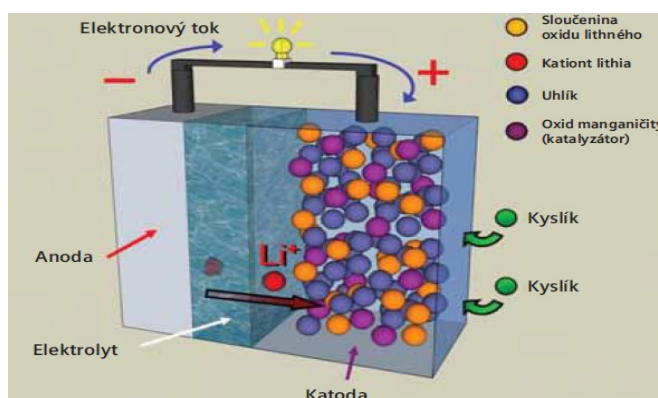
Lithiosírové akumulátory

Na tomto akumulátoru se již delší dobu provádějí provozní zkoušky. Jeho kladná elektroda je vyrobena z lithia a záporná elektroda ze síry. Tento elektrický zdroj energie teoreticky dosahuje několikanásobně vyšší hodnoty kapacity, než je energie Lithium – Iontového akumulátoru. Tento zdroj však doprovází několik podstatných provozních nedostatků. Jedná se například o poruchový stav, kdy při provozu vznikají sloučeniny, které následně velice rychle zanášejí elektrody. Tento nedostatek se zřejmě podařilo odstranit, přidáním speciální přísady do elektrolytu. Tato přísada uvolňuje vzniklé nánosy na elektrodách, které se následně nachází opět v elektrolytu. [21]

Akumulátory Li – Air

Současné Lithium – Iontové akumulátory mají téměř dvojnásobnou energetickou hustotu, než jakou dosahovali akumulátory Ni – MH. Tato energetická hustota je však i tak velice omezená a snižuje tak akční rádius elektromobilu. V případě zapnutí energeticky náročných spotřebičů, jako je klimatizace, nebo vytápění vozidla, dochází k dalšímu výraznému poklesu hodnoty dojezdu vozidla. Možným řešením, jak tento akční rádius zvýšit, by mohlo být použití nových lithiumvzduchových akumulátorů (Li – Air). Energetická hustota tohoto moderního

akumulátoru by mohla být až desetinásobně vyšší, s hmotností nedosahující hodnoty dvě stě kilogramů, ale dvacet kilogramů (osobní elektromobil). Rozšíření tohoto akumulátoru však také znemožňuje několik nedostatků. Jedním z nedostatků bylo, že při kontaktu lithiové anody se vzdušnou vlhkostí se tato elektroda stávala výbušná. To se však již podařilo odstranit zapouzdřením anod ochrannou keramickou vrstvou. Další problém nastával při nasávání uhlíkové katody vzduchem, čímž se postupně zanášela. Toto bylo odstraněno použitím speciální struktury uhlíkové sítě. Další komplikací je prudké snižování životnosti akumulátoru vlivem nabíjení. Vzduch nereaguje totiž pouze s uhlíkovou katodou, ale také s elektrolytem, který se však postupně ztrácí. Pomocí simulace reakcí se podařilo získat elektrolyt, který výrazně prodlužuje životnost akumulátorů. Přesné složení elektrolytu je však zatím přísně tajné a probíhá jeho testování. Vyřešit se však ještě také musí nabíjení, při němž dochází k uvolňování velkého množství kyslíku, který je v určitých koncentracích výbušný. [21]

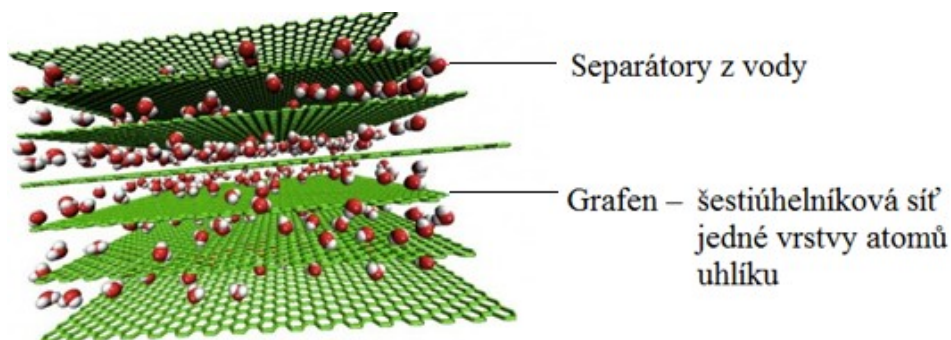


Obr. č. 2.8: Akumulátor Li – Air Zdroj:[21]

Akumulátory Grafen – H₂O

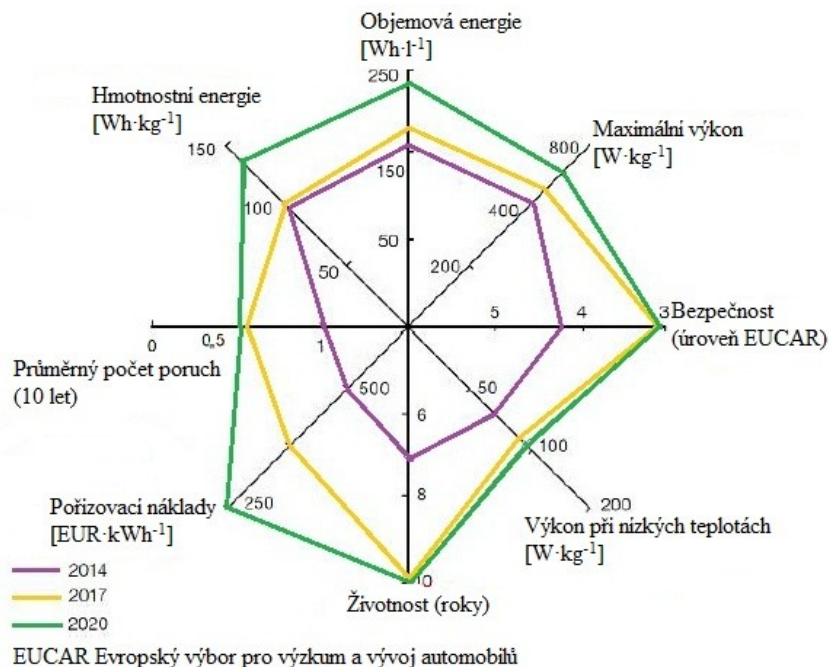
Jedná se akumulátory, konkrétně superkapacity, jejichž kapacita by sice mohla být přibližně shodná jako u lithiových akumulátorů. Výhoda jejich vlastností však spočívá v době nabíjení, která by mohla být jen několik sekund a prakticky neomezenou životnost a jsou netoxické. Akumulátor je složený z grafenu, který vznikne zpracováním uhlíkových nanotrubiček tloušťky jednoho atomu. Tyto trubičky tvaru šestiúhelníkového nanopletiva jsou rozvinuty do roviny. Jedná se o velice odolný materiál s velkou elektrickou vodivostí a obrovskou plochou, vhodnou pro skladování energie. Po navrstvení více vrstev na sebe však dochází ke spojení jednotlivých vrstev a vzniku grafitu. Tento problém se podařilo odstranit separátorem z vody, která vytvoří určitou formu gelu. Gel mezi vrstvami grafenu vytvoří síly

zaručující dostatečnou životnost. Tyto zdroje energie dostupné asi do pěti let, značně ovlivní vývoj a provoz elektromobilů. Je však ještě nutné vyřešit teplotní stabilizaci tohoto akumulátoru energie. [22]



Obr. č. 2.9: Akumulátor Grafen – H₂O Zdroj: [22]

Dále však bude nutné tyto akumulátory vybavit kontrolní a řídicí elektronikou a zařízením udržující potřebnou pracovní teplotu. Na obr. č. 2.10 jsou znázorněny očekávané hodnoty některých základních parametrů trakčních akumulátorů v letech 2014, 2017 a v roce 2020. [23]



Obr. č. 2.10: Očekávané hodnoty akumulátorů Zdroj:[24]

2.5.3 Superkapacitor

Zdroj energie založen na principu elektrostatiky, to znamená, že není ovlivněn ztrátami a ostatními vlivy při transformaci z elektrické energie na jinou energii. Jedná se tak o velice vhodný akumulátor energie, který je schopen vysokými elektrickými proudy pojmout a následně odevzdat značné množství energie, během krátkého časového intervalu. Tyto procesy lze provádět opakovaně bez negativního vlivu na životnost. Kapacitor obsahuje uhlíkové elektrody, které jsou z důvodu dosažení vysoké kapacity vyrobeny s velkou plochou povrchu. Elektrody jsou vzájemně odděleny separátory. Provozní elektrické napětí je v intervalu 1,2 až 3 V, dle použitého typu elektrolytu. Výhodou tohoto zdroje je také velký počet pracovních cyklů, který se blíží hodnotě jednoho milionu cyklů. Tento zdroj s poměrně nízkou hmotností (superkapacitor s kapacitou 600 F a napětí 2,3 V váží pouze 290 g), však dosahují v porovnání s akumulátory nižší měrné energie. Superkapacitory lze vzhledem k jejich vlastnostem použít k uložení energie při rekuperaci energie brzdícího vozidla. [25]

2.5.4 Konvertor

Toto elektronické zařízení slouží pro změnu hodnoty elektrického napětí. Napětí trakčního akumulátoru vozidla dosahuje hodnot několika set voltů. Tímto zařízením je hodnota trakčního napětí snížena na hodnotu používanou v elektrických obvodech elektromobilu. Vozidlo je vybaveno akumulátory, které slouží pro napájení nízkonapěťových obvodů. V případě poklesu napětí těchto akumulátorů, vlivem většího odběru elektrického proudu, jsou opět pomocí konvertoru nabíjeny z trakčních akumulátorů. Parametry jsou navrženy podle hodnot elektrického napětí trakčních akumulátorů a akumulátorů pro elektrické, vozidlové obvody. Dále podle náročnosti odběru elektrické energie spotřebiči ve vozidle. [8]

Tab. č. 2.1: Parametry konvertoru

Parametry PMB 41	
Jmenovité vstupní napětí [V] dc	600
Rozsah vstupního napětí [V] dc	380 – 780
Jmenovité výstupní napětí [V] dc	26,8 (měnitelné)
Jmenovitý výstupní proud [A]	80
Omezení výstupního proudu [A]	100
Chlazení	vzduchové nucené



Zdroj:[8] Obr. č. 2.11: Konvertor Zdroj:[8]

2.5.5 Invertor

Toto zařízení v elektromobilu slouží ke změně stejnosměrných průběhů elektrického napětí a proudu v trakčních akumulátorech na průběhy střídavé, vhodných parametrů. Střídavé elektrické napětí a proud slouží pro napájení trakčního motoru. Zařízení zároveň mění frekvenci a amplitudu střídavých složek, čímž dochází v případě potřeby k regulaci otáček a točivého momentu trakčního elektromotoru. Tato regulace je provedena na základě impulsů řídicí jednotky. V případě rekuperace pracuje elektromotor jako generátor. V tomto režimu invertor pracuje jako usměrňovač, který složky střídavé elektrické energie, přeměněné v generátoru z energie kinetické, usměrní a ukládá zpět do trakčních akumulátorů. Invertor také pracuje v režimu usměrňovače při nabíjení trakčních akumulátorů z nabíjecího stojanu. [7,8]

Tab. č. 2.2: Parametry invertoru

Invertor SBE 10	
Napětí trakčního akumulátoru [V] dc	50 – 750
Výkon motoru [kW]	80 – 140
Výstupní napětí [V] ac, [Hz]	0 – 425, 0 – 200
Chlazení	kapalinové
Komunikační rozhraní	CAN

Zdroj:[8]

Elektrobusy musí být vybaveny přídatným zařízením pro provoz vozidla. Jedná se například o hydraulický posilovač řízení, vzduchový kompresor brzdové soustavy, kompresor klimatizace a další přídatná zařízení. Pro pohon těchto zařízení není využit trakční elektrický motor, ale přídatné elektrické pohony. Výhodou takto řešené koncepce je to, že pohon těchto přídatných zařízení je v činnosti jen v případě potřeby. Tyto pohony jsou také napájeny z trakčních akumulátorů, napájecí napětí je upravováno pomocným invertorem. [7,8]

Tab. č. 2.3: Parametry pomocného invertoru

Pomocný invertor PME 80	
Jmenovité napětí vstupní [V] dc	600
Rozsah vstupního napětí [V] dc	400 – 750
Jmenovité napětí výstupní I a II [V] ac	3 × 0 – 400
Jmenovitý proud výstupní I [A] ef	6,5
Omezení výstupního proudu I [A] ef	7,5
Jmenovitý proud výstupní II [A] ef	4,0
Omezení výstupního proudu II [A] ef	5,0
Frekvence výstupu [Hz]	0 – 100

Zdroj: [8]

2.5.6 Systém kontroly a ochrany trakčních akumulátorů

Úkolem tohoto systému zvanému také BMS (BATTERY MANAGEMENT SYSTEM) je zajistit požadované parametry nabíjení a vybíjení trakčních akumulátorů elektromobilu. Mezi tyto parametry patří zejména elektrické napětí, elektrický proud a teplota akumulátorů. Tyto parametry jsou v závislosti na konstrukci kontrolního a řídicího systému udržovány v určitém rozsahu. Systém v případě překročení nastavených hodnot parametrů jednotlivé články reguluje, nebo zcela odpojí. Nesplněním těchto požadavků dochází k výraznému ovlivnění životnosti těchto akumulátorů elektromobilu, nebo okamžité poruše. Tyto zdroje energie, mezi které patří i Lithium-Iontové akumulátory, však dosahují velice dobrých energetických hodnot a jsou proto vhodné pro systém pohonu elektromobilu. [11]

U elektrobusů SOR EBN 10,5 je systém kontroly akumulátorů od firmy EVC Group s.r.o. Společnost EVC Group s.r.o. specializující se na vývoj a přestavby automobilů na elektrická vozidla a dále na dodávkách elektrických výzbrojí pro elektromobily a elektrobusy. EVC BMS je navržen pro monitorování, balancování a ochranu lithiových článků akumulátorů. Balancery jsou umístěny přímo na člancích akumulátorů, dále komunikují s řídicí jednotkou, ve které dochází k vyhodnocování dat. Řídicí jednotka na základě údajů z balancerů zajišťuje vyrovnávání článků, ochranu proti podpětí, přepětí, vysokým hodnotám elektrického proudu a hlídání příznivé teploty jednotlivých článků. Dále lze využít i další funkce jako ukládání významných parametrů do trvalé paměti, hodnoty rekuperačního a jízdního výkonu. BMS

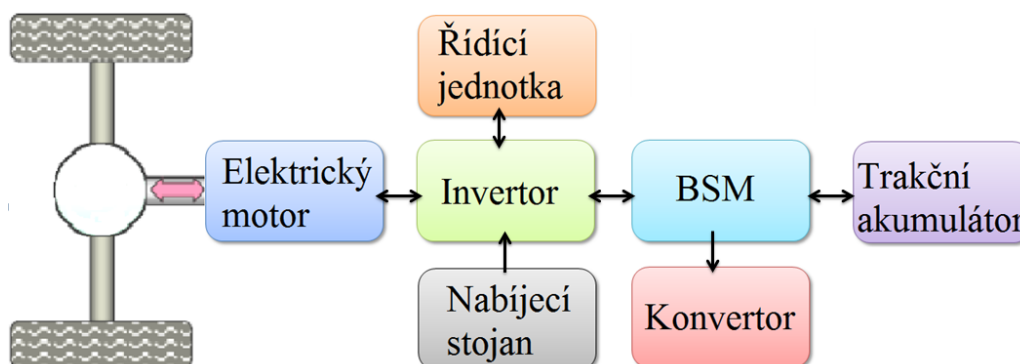
také umožňuje připojit displej na kterém lze předvolit maximální nabíjecí proudy, délku rychlého režimu nabíjení a další hodnoty. [11]

Tab. č. 2.4: Parametry BMS akumulátorů

Hodnoty BMS (Battery Management System)	
Provozní napětí [V]	1,5 – 4,5
Přesnost měření napětí [mV]	± 10
Spotřeba v režimu standby [mA]	0,3
Spotřeba v provozu [mA]	30
Balancovací proud max. [A]	5
Přesnost měření teploty [°C]	± 2
Izolační napětí [kV]	2,5
Automatická ochrana přehřátí při balancování, monitorování vlastní funkce	

Zdroj:[11]

Jednotlivé výše uvedené komponenty pohonného systému elektromobilu, v tomto případě elektrobuse jsou navzájem propojeny a tvoří jeden funkční prvek pohonného systému elektromobilu respektive elektrobuse. Na obrázku č. 2.12 je toto propojení znázorněno. Kde modrá šipka znázorňuje tok mechanické energie. Černá šipka zaznamenává tok elektrické energie a zelená šipka znázorňuje tok řídicích signálů mezi řídicí jednotkou a invertorem. [Autor]



Obr. č. 2.12: Komponenty pohonného systému elektrobuse Zdroj:[8, Autor]

2.6 Dynamika pohybu vozidla

Pro vyřešení provozních charakteristik pohybu silničních vozidel a následné posouzení výsledných vlastností vozidla je nejprve nutné vyřešit základní faktory ovlivňující samotný pohyb silničního vozidla. Mezi tyto faktory patří zejména jízdní odpory vozidla, maximální rychlost vozidla, dosažitelné zrychlené vozidla při daných podmínkách a výkon hnací soustavy potřebný pro překonání jízdních odporů v daném režimu jízdy. [10]

Výkon elektrického trakčního motoru

$$P = M \cdot \omega = M_M \cdot \frac{\pi \cdot n}{30} \text{ [W]} \quad [10] \text{ (2.1)}$$

kde:

P	[W]	výkon elektrického motoru
M_M	[N·m]	točivý moment elektrického motoru
ω	[rad·s ⁻¹]	úhlová rychlost
π	[1]	Ludolfovo číslo
n	[min ⁻¹]	otáčky elektrického motoru

Rovnováha sil ve směru osy x

Na vozidlo působí vnější základní síly, které jsou zapsány v rovnici č. (2.2).

$$F_x = O_f + O_s + O_{vz} + O_a + O_T \text{ [N]} \quad [10] \text{ (2.2)}$$

kde:

F_x	[N]	hnací síla v podélném směru
O_f	[N]	odpor valení
O_s	[N]	odpor sklonu
O_{vz}	[N]	odpor vzduchu
O_a	[N]	odpor zrychlení
O_T	[N]	odpor tahu přípojného vozidla

Hnací síla a točivý moment

V elektrickém motoru vozidla dochází k přeměně elektrické energie na energii mechanickou, která slouží jako hnací síla vozidla působící v podélném směru vozidla. Hodnoty elektromotoru jsou charakterizovány točivým momentem a otáčkami hřídele. Točivý moment od elektromotoru je přenášen na poháněná kola zadní nápravy přes kloubový hřídel a

stálý převod s diferenciálem charakterizované celkovým převodem i_0 a účinností převodu η_0 . Točivý moment na poháněných kolech lze vyjádřit vztahem č. (2.3), popřípadě vztahem č. (2.4). [10]

$$M_K = M_{EM} \cdot i_0 \cdot \eta_0 \text{ [N}\cdot\text{m]} \quad [10] \text{ (2.3)}$$

kde:

M_K	[N·m]	moment přivedený na kola
M_{EM}	[N·m]	moment elektrického motoru
i_0	[1]	převodový poměr stálého převodového stupně
η_0	[1]	účinnost stálého převodového stupně

$$M_K = F_K \cdot r_d \text{ [N}\cdot\text{m]} \quad [10] \text{ (2.4)}$$

kde:

M_K	[N·m]	moment přivedený na kola
F_K	[N]	hnací síla na kolech
r_d	[m]	dynamický poloměr kola

Hnací síla na kole

Hnací sílu na kole lze vyjádřit vztahem č. (2.5), v čitateli zlomku je točivý moment kola a ve jmenovateli dynamický poloměr poháněného kola.

$$F_k = \frac{M_K}{r_d} \text{ [N]} \quad [10] \text{ (2.5)}$$

kde:

F_K	[N]	hnací síla na kolech
M_K	[N·m]	moment přivedený na kola
r_d	[m]	dynamický poloměr kola

Jízdní odpory

Jízdní odpory jsou síly působící téměř vždy proti pohybu vozidla. Tyto jízdní odpory respektive síly však mohou působit neustále proti pohybu vozidla jako například odpor valení a odpor vzduchu. Nebo působí jen za určitých specifických podmínek, mezi ty patří odpor sklonu, odpor zrychlení a odpor tahu přípojného vozidla. [10]

Odpor valení

Odpor valení je způsoben, v případě tuhé podložky, deformací pneumatiky odvalující se po povrchu jízdní dráhy. Odvalováním pneumatiky po povrchu dojde v její přední stykové části ke stlačení pláště, v okamžiku, kdy přestává být běhoun pneumatiky vlivem valení ve styku s povrchem dráhy, dojde k návratu pláště do původního tvaru. Hodnota součinitele odporu valení závisí především na povrchu jízdní dráhy, konstrukci a huštění pneumatiky a také rychlosti vozidla. Do rychlosti přibližně $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ je hodnota téměř konstantní, po zvýšení rychlosti se však tato hodnota, vlivem nedostatečného vyrovnání deformací, exponenciálně zvyšuje. Výpočet odporu valení lze provést součinem tíhy vozidla, součinitelem odporu valení a podélným sklonem vozovky podle vztahu č. (2.6). Pro zpřesnění výsledků odporu valení při vyšších rychlostech je vhodné použít příslušné vztahy, např. vzorec firmy Goodyear č. (2.7). [10]

$$O_f = G \cdot f \cdot \cos\alpha \text{ [N]} \quad [10] \text{ (2.6)}$$

kde:

O_f [N]	odpor valení
G [N]	tíha vozidla
f [1]	součinitel odporu valení

$$f_{V>50} = f \cdot [1 + 0,0065 \cdot (V - 50)] \text{ [1]} \quad [10] \text{ (2.7)}$$

Odpor sklonu

Odpor při pohybu vozidla vlivem podélného sklonu jízdní dráhy se nazývá odpor sklonu, uveden ve vztahu č. (2.8). Výpočet tohoto odporu závisí na tíze vozidla a podélném sklonu vozovky, tedy působení sil na těleso na nakloněné rovině.

$$O_s = G \cdot \sin\alpha \text{ [N]} \quad [10] \text{ (2.8)}$$

kde:

O_s [N]	odpor sklonu
G [N]	tíha vozidla

Odpor vzduchu

Odpor vzduchu vzniká důsledkem působení sil na vozidlo pohybující se určitým prostředím. Toto prostředí obklopující vozidlo brání jeho pohybu. Hodnota odporu vzduchu narůstá s druhou mocninou rychlosti vozidla. Tato síla zpravidla brání pohybu jedoucího

vozidla závisí na dynamickém tlaku p_d , čelní ploše vozidla S_x , součiniteli aerodynamického odporu vzduchu c_x a náporové rychlosti v . Výpočet lze realizovat pomocí vztahu č. (2.9). Hodnotu čelní plochy vozidla vztah č. (2.10), pokud není známa přesná hodnota, lze určit pomocí koeficientu pro úpravu čelní plochy vozidla. Hodnota koeficientu pro osobní vozidla se pohybuje v rozmezí 0,7 až 0,85 a pro nákladní vozidla a autobusy je interval 0,8 až 0,95. [10,6]

$$O_v = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot c_x \cdot S_x \text{ [N]} \quad [10] (2.9)$$

kde:

O_v [N]	odpor vzduchu
ρ [kg·m ⁻³]	hustota vzduchu
v [m·s ⁻¹]	rychlost vozidla
c_x [1]	součinitel odporu vzduchu
S_x [m ²]	čelní plocha vozidla

Čelní plocha vozidla S_x

$$S_x = (0,8 \text{ až } 0,95) \cdot \check{s} \cdot v \text{ [m}^2\text{]} \quad [6] (2.10)$$

kde:

S_x [m ²]	čelní plocha vozidla
\check{s} [m]	šířka vozidla
v [m]	výška vozidla

Odpor zrychlení

Odpor zrychlení se projeví působením síly proti směru zrychlení při změně rychlosti jízdy vozidla. Odpor zrychlení je tvořen součtem odporu posouvajících se částí a odporem rotačních částí vztah č. (2.11). Odpor zrychlení je tedy závislý na hmotnosti vozidla, působícím zrychlení a součiniteli vlivu rotačních částí vozidla. Pro určení součinitele rotujících částí vozidla je zapotřebí znát hmotnost vozidla, moment setrvačnosti motoru, převodový poměr a účinnost převodného ústrojí a moment setrvačnosti kola a jeho poloměr. Tyto hodnoty se však poměrně složitě zjišťují, proto jsou použity obecné, přibližné hodnoty. [10,6]

$$O_a = O_{POS} + O_{ROT} = m \cdot a \cdot \delta \text{ [N]} \quad [10] \text{ (2.11)}$$

kde:

O_a	[N]	odpor zrychlení
O_{POS}	[N]	odpor posouvajících se částí
O_{ROT}	[N]	odpor rotačních částí
m	[kg]	hmotnost vozidla
a	[m·s ⁻²]	zrychlení
δ	[1]	součinitel vlivu rotujících částí

Hodnota zrychlení vozidla a závisí především na velikosti hnací síly, hmotnosti vozidla, odporu valení, odporu vzduchu a součiniteli vlivu rotačních částí vozidla, vztah č. (2.12).

$$a = \frac{F_k - O_f - O_v}{m \cdot \delta} \text{ [m·s}^{-2}\text{]} \quad [10] \text{ (2.12)}$$

kde:

a	[m·s ⁻²]	zrychlení vozidla
F_k	[N]	hnací síla na kolech
O_f	[N]	odpor valení
O_v	[N]	odpor vzduchu
m	[kg]	hmotnost vozidla
δ	[1]	součinitel vlivu rotujících hmot

Rychlost vozidla

$$V = 3,6 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot r_d \cdot n}{i_0 \cdot 60} \text{ [km·h}^{-1}\text{]} \quad [10] \text{ (2.13)}$$

kde:

V	[km·h ⁻¹]	rychlost vozidla
r_d	[m]	dynamický poloměr kola
n	[min ⁻¹]	otáčky elektrického motoru
i_0	[1]	převodový poměr stálého převodového stupně

Výkon silničního vozidla

Výkon silničního vozidla, který je potřebný pro překonání jízdních odporů lze vypočítat z pohybové rovnice vozidla podle vztahu č. (2.14).

$$P = F_K \cdot v = F_K \cdot \frac{V}{3,6} \text{ [W]} \quad [10] \text{ (2.14)}$$

kde:

F_K [N] hnací síla na kolech

v [$m \cdot s^{-1}$] rychlost vozidla

V [$km \cdot h^{-1}$] rychlost vozidla

Měrné vyjádření parametrů rychlostní charakteristiky vozidla

Pro porovnávání různých výkonových vlastností vozidel je vhodné použít hodnoty vztahné na tíhu vozidla tedy měrné hnací síly a odpory. Vztahy (2.15) až (2.18).

Měrná hnací síla

$$p_K = \frac{F_K}{G} [1] \quad [4] \quad (2.15)$$

kde:

p_K [1] měrná hnací síla

F_K [N] hnací síla na kolech

G [N] tíha vozidla

Měrný valivý odpor

$$o_f = \frac{O_f}{G} [1] \quad [4] \quad (2.16)$$

kde:

o_f [1] měrný valivý odpor

O_f [N] odpor valení

G [N] tíha vozidla

Měrný odpor stoupání

$$o_s = \frac{O_s}{G} [1] \quad [4] \quad (2.17)$$

kde:

o_s [1] měrný odpor stoupání

O_s [N] odpor sklonu

G [N] tíha vozidla

Měrný odpor vzduchu

$$o_v = \frac{O_v}{G} [1] \quad [4] \quad (2.18)$$

kde:

o_v [1] měrný odpor vzduchu

O_v [N] odpor vzduchu

G [N] tíha vozidla

Maximální stoupavost

$$s = p_k - o_v - f \quad [4] \quad (2.19)$$

kde:

s [1] maximální stoupavost vozidla

p_k [1] měrná hnací síla

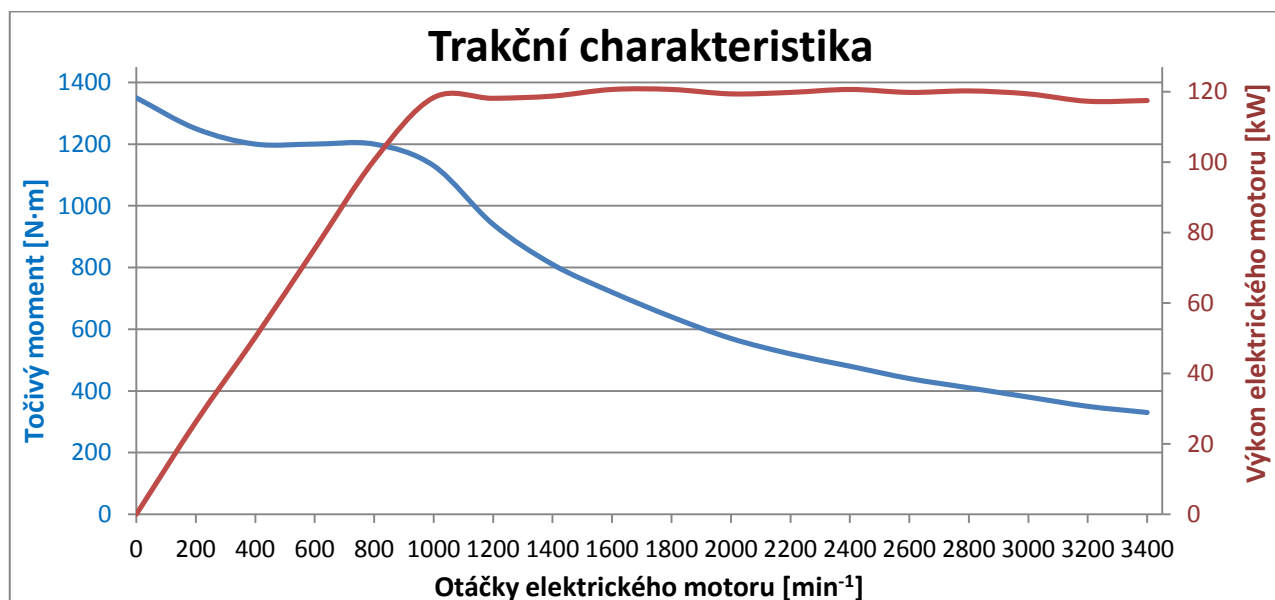
o_v [1] měrný odpor vzduchu

f [1] součinitel odporu valení

Nejprve byl z točivého momentu trakční charakteristiky elektrického motoru TAM 1052 C6B pomocí vztahu (2.1) vypočítán výkon tohoto elektromotoru. Popis elektrického motoru uveden v příloze číslo 2. Hodnota výkonu je od hodnoty jednoho tisíce otáček do hodnoty třech tisíc otáček téměř konstantní s hodnotou přibližně 120 kW. Graf trakční charakteristiky je na obr. č. 2.13. Celkové hodnoty v tab. č. 3p a 4p.

Výkon elektrického motoru (Podle vztahu 2.1, $n = 400 \text{ min}^{-1}$, $M = 1200 \text{ N}\cdot\text{m}$)

$$P = M_M \cdot \frac{\pi \cdot n}{30} = 1200 \cdot \frac{\pi \cdot 400}{30 \cdot 1000} = 50,24 \text{ kW}$$



Obr. č. 2.13: Trakční charakteristika elektromotoru Zdroj:[Autor]

V tabulce číslo 2.5 jsou uvedeny hodnoty parametrů potřebných pro výpočty dynamických veličin elektrobuse.

Tab. č. 2.5: Parametry vozidla SOR EBN 10,5

Šířka vozidla [m]	2,525
Výška vozidla [m]	2,920
Koeficient úpravy čelní plochy [1]	0,850
Součinitel odporu vzduchu c_x [1]	0,600
Součinitel odporu valení f [1]	0,015
Součinitel vlivu rotačních částí δ [1]	1,000
Dynamický poloměr kola r_d [m]	0,410
Celkový převodový poměr i_0 [1]	6,500
Účinnost stálého převodového stupně η [1]	0,950
Hustota vzduchu ρ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	1,280
Čelní plocha vozidla S_x [m^2]	6,267

Zdroj:[Autor]

Z hodnot točivého momentu elektromotoru byly vypočítány podle vztahu (2.3) točivé momenty M_K přivedené na kola elektrobuse. Z těchto hodnot točivých momentů na kolech byly dle vztahu (2.5) určeny hodnoty hnacích sil na kolech F_K . Pro jednotlivě získané hodnoty točivých momentů a sil na kolech vozidla je dále dopočítána dle vztahu (2.13) rychlost vozidla V uvedena v $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Točivý moment (Podle vztahu 2.3, Tab. č. 3p, $n = 400 \text{ min}^{-1}$, $M = 1200 \text{ N}\cdot\text{m}$)

$$M_K = M_{EM} \cdot i_0 \cdot \eta_0 = 1200 \cdot 6,5 \cdot 0,95 = 7410 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Hnací síla na kolech (Podle vztahu 2.5, Tab. č. 3p, $n = 400 \text{ min}^{-1}$, $M = 1200 \text{ N}\cdot\text{m}$)

$$F_k = \frac{M_K}{r_d} = \frac{7410}{0,410} = 18073 \text{ tedy } 18,073 \text{ kN}$$

Rychlost vozidla (Podle vztahu 2.13, Tab. č. 3p, $n = 400 \text{ min}^{-1}$)

$$V = 3,6 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot r_d \cdot n}{i_0 \cdot 60} = 3,6 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 0,410 \cdot 400}{6,5 \cdot 60} = 9,51 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$$

Maximální rychlost vozidla

Maximální rychlost vozidla lze určit ze vztahu č. (2.13). Výpočet rychlosti vozidla je závislý na poloměru kola, otáčkách elektrického motoru a na celkovém převodovém poměru.

Dynamický poloměr kola je 0,410 m, maximální otáčky elektrického motoru jsou 3400 min^{-1} , celkový převodový je 6,5. Maximální rychlost elektrobuse vyšla výpočtem na $80,85 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Některé výše uvedené hodnoty jsou nezbytné pro výpočet některých jízdních odporů vozidla. Mezi tyto jízdní odpory patří odpor valení O_f , výpočet proveden podle vztahu (2.6). Pro zpřesnění výsledku byl pro součinitel odporu valení pro rychlosti vozidla nad $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ použit vzorec firmy Goodyear (2.7). Tíha vozidla vychází z 80 % maximální hmotnosti elektrobuse. Maximální hmotnost elektrobuse je 16 500 kg, tíha je tedy 129 492 N.

Odpor valení (Podle vztahu 2.6, Tab. č. 4p, $n = 400 \text{ min}^{-1}$, $V = 9,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, rovina)

$$O_f = G \cdot f \cdot \cos\alpha = 129492 \cdot 0,015 \cdot 1 = 1942 \text{ tedy } 1,942 \text{ kN}$$

Hodnotu součinitele valení (Podle vztahu 2.7, Tab. č. 4p, $V = 57,071 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$)

$$f_{V>50} = f \cdot [1 + 0,0065 \cdot (57,071 - 50)] = 0,016$$

Odpor vzduchu O_v je vypočítán podle vztahu (2.9). Nejprve je však nutné určit hodnotu hustoty vzduchu ρ , ve kterém se vozidlo pohybuje, v tomto případě je uvažována hodnota $1,28 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Dále je nutné určit parametr součinitel odporu vzduchu c_x dle literatury (6) je možné uvažovat s hodnotou 0,6. Dalším důležitým parametrem pro výpočet je hodnota čelní plochy vozidla S_x , tato hodnota je vypočítána dle vztahu (2.10). Po získání hodnot nezbytných parametrů bylo možné vypočítat hodnotu odporu vzduchu. Tato hodnota je funkcí druhé mocniny rychlosti vozidla v bezvětrí.

Hodnota čelní plochy vozidla (Podle vztahu 2.10, konstanta:0,85)

$$S_x = (0,8 \text{ až } 0,95) \cdot \check{s} \cdot v = 0,85 \cdot 2,920 \cdot 2,525 = 6,267 \text{ m}^2$$

Odpor vzduchu (Podle vztahu 2.9, Tab. č. 4p, $V = 9,512 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$)

$$O_v = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot c_x \cdot S_x = \frac{1}{2} \cdot 1,280 \cdot v^2 \cdot 0,6 \cdot 6,267 = 17 \text{ N tedy } 0,017 \text{ kN}$$

Výpočet odporu sklonu O_s byl proveden podle vztahu (2.8). Tento odpor je roven součinu tíhy vozidla a hodnotě úhlu sklonu vozovky. Nejprve však byl proveden přepočtení sklonu vozovky na stupně. Tyto hodnoty jsou nezávislé na rychlosti vozidla, proto nebyly uvedeny v tabulce. Tyto hodnoty byly přičteny k hodnotám odporu valení O_f a odporu vzduchu O_v . Na obrázku č. 2.15 jsou uvedeny jako *Odpor O_f , O_v , sklon 5°* a *Odpor O_f , O_v , sklon 10°* .

Odpor sklonu (hodnota sklonu 5°)

$$\alpha = \operatorname{arctg}\left(\frac{s}{100}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{5}{100}\right) = 2^{\circ} 51'$$

$$O_S = 129492 \cdot \sin 2^{\circ} 51' = 6\,438 \text{ tedy } 6,438 \text{ kN}$$

Odpor sklonu (hodnota sklonu 10°)

$$\alpha = \operatorname{arctg}\left(\frac{s}{100}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{10}{100}\right) = 5^{\circ} 42'$$

$$O_S = 129492 \cdot \sin 5^{\circ} 42' = 12\,861 \text{ tedy } 12,861 \text{ kN}$$

Na obr. č. 2.15 *Rychlostní charakteristika vozidla* je křivka označená jako *Odpor Of, Ov, sklon 5°* vypočítána podle vztahu (2.8), k této hodnotě odporu sklonu je přičtena hodnota odporu vzduchu a odporu valení při sklonu 5°. Shodným způsobem je vypočítána i křivka *Odpor Of, Ov, sklon 10°* v tomtéž obr. č. 2.15 *Rychlostní charakteristika vozidla*. V tomto případě jsou výsledné body křivky sumou odpor sklonu podle vztahu (2.8), odporu valení pro sklon 10°, odpor vzduchu. Hodnota odporu sklonu pro 5° je podle vztahu (2.8) 6,438 kN (viz. výše) a hodnota odporu sklonu pro 10° 12,861 kN (viz. výše).

Výkon silničního vozidla

Výkon silničního vozidla lze vypočítat z pohybové rovnice vozidla podle vztahu č. 2.14. Pro maximální rychlost vozidla 80,85 km·h⁻¹ a potřebné síle na kolech vozidla 4 970,12 N je třeba dodat výkon 111,6206 kW.

$$P = F_K \cdot v = F_K \cdot \frac{V}{3,6} = 4\,970,12 \cdot \frac{80,85}{3,6} = 111\,620,6 \text{ W tedy } 111,6206 \text{ kW}$$

Zrychlení vozidla

Zrychlení elektrobuse je vypočítáno podle vztahu č. 2.12, na rovině s uvažovanou hmotností 13 200 kg. Výsledné hodnoty zrychlení vozidla jsou uvedeny v tabulce č. 2.6 a 2.7. Z hodnot této tabulky je sestaven výsledný graf zrychlení vozidla uveden na obr. č. 2.14 *Zrychlení vozidla*.

Zrychlení vozidla (Podle vztahu 2.12, Tab. č. 2.6 , $V = 9,512 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$)

$$a = \frac{F_k - O_f - O_v}{m \cdot \delta} = \frac{18073 - 1942 - 16,8}{13200 \cdot 1} = 1,2208 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Tab. č. 2.6: Zrychlení vozidla

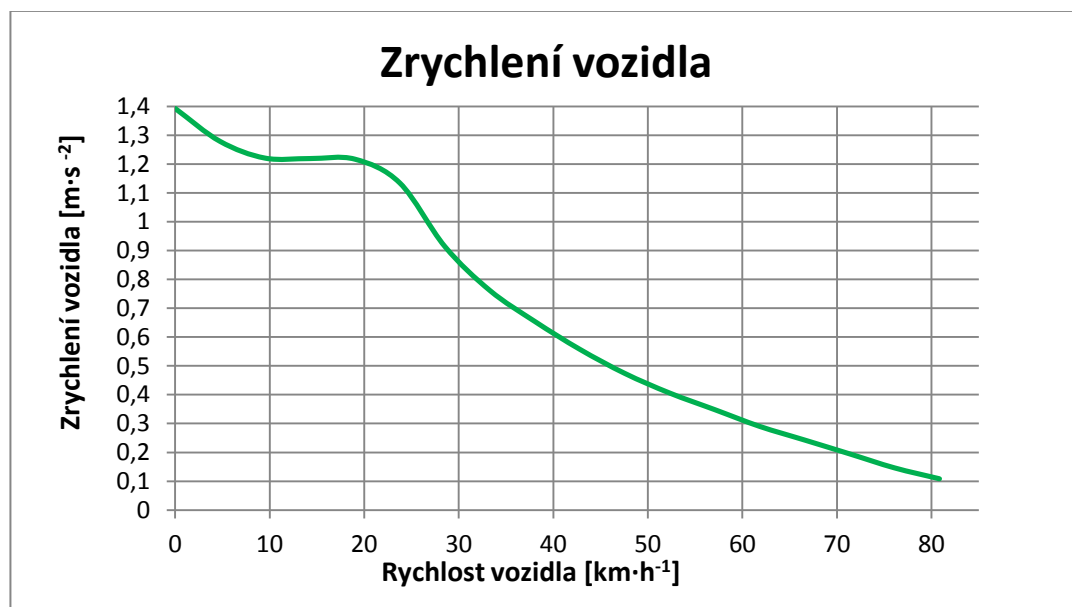
Rychlost vozidla [km·h⁻¹]	0,000	4,756	9,512	14,268	19,024	23,779	28,535	33,291	38,047
Zrychlení vozidla [m·s⁻²]	1,3932	1,2788	1,2208	1,2192	1,2169	1,1342	0,9139	0,7615	0,654

Zdroj:[Autor]

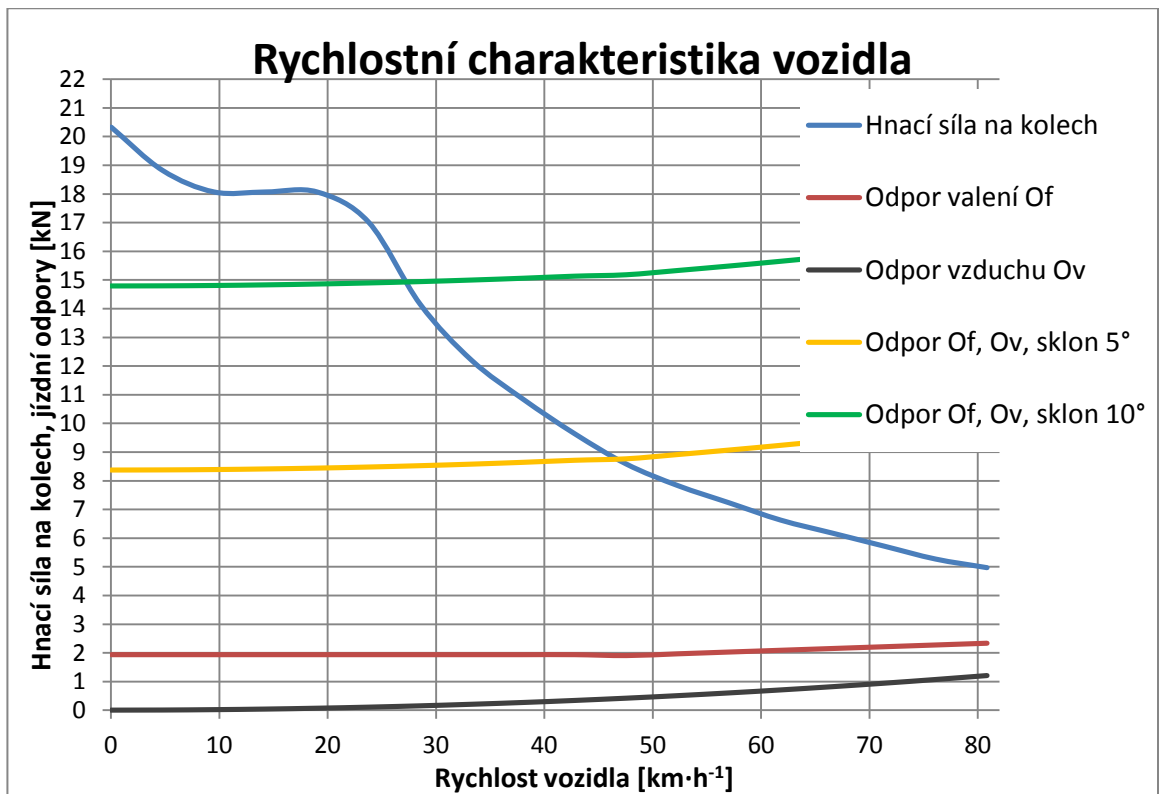
Tab. č. 2.7: Zrychlení vozidla – pokračování

Rychlost vozidla [km·h⁻¹]	42,803	47,559	52,315	57,071	61,827	66,582	71,338	76,094	80,850
Zrychlení vozidla [m·s⁻²]	0,557	0,4737	0,4054	0,3479	0,2898	0,2424	0,1944	0,1458	0,1079

Zdroj:[Autor]



Obr. č. 2.14: Zrychlení vozidla Zdroj:[Autor]



Obr. č. 2.15: Rychlostní charakteristika vozidla Zdroj:[Autor]

Měrné vyjádření parametrů rychlostní charakteristiky vozidla

Tyto vztahy (2.15 až 2.18) měrného vyjádření parametrů jsou vhodné pro porovnávání parametrů vozidel různých konstrukcí a tedy i různých hmotností. To znamená, že jednotlivé parametry jsou vyjádřeny v závislosti na hmotnosti vozidla.

Měrná hnací síla (Podle vztahu 2.15, Tab. č. 5p , $V = 9,51 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$)

$$p_K = \frac{F_K}{G} = \frac{18\,073}{129\,492} = 0,140$$

Měrný valivý odpor (Podle vztahu 2.16, Tab. č. 5p , $V = 9,51 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, rovina)

$$o_f = \frac{O_f}{G} = \frac{1942}{129\,492} = 0,015$$

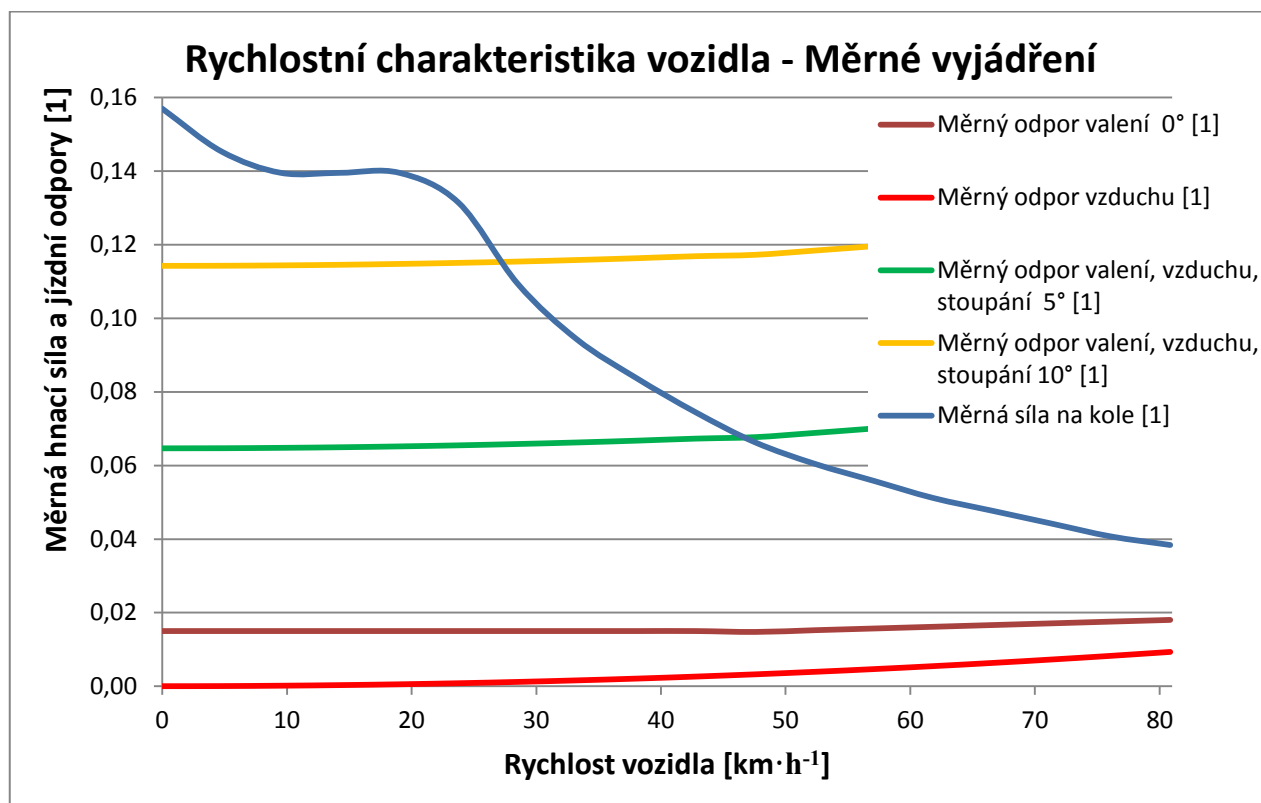
Měrný odpor vzduchu (Podle vztahu 2.18, Tab. č. 5p , $V = 9,51 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$)

$$o_v = \frac{O_v}{G} = \frac{17}{129\,492} = 0,00013$$

Měrný odpor stoupání (Podle vztahu 2.17, Tab. č. 5p , $V = 9,51 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, sklon 5°)

$$o_s = \frac{O_s}{G} = \frac{6438}{129\,492} = 0,049$$

Ve výsledném zobrazení grafu měrného vyjádření rychlostní charakteristiky na obr. č. 2.16 *Rychlostní charakteristika – Měrné vyjádření* je opět jako na obr. č. 2.15 zobrazena křivka *Měrný odpor valení, vzduchu, stoupání 5°* postup výpočtu je tedy také opět shodný, tedy suma měrného odporu sklonu, měrného odporu valení daného sklonu a měrného odporu vzduchu. Takto je sestrojena i křivka pro sklon 10°, tedy opět sumy příslušných hodnot měrných odporů.



Obr. č. 2.16: Rychlostní charakteristika – Měrné vyjádření Zdroj:[Autor]

Technické parametry dopravní sítě

Z hlediska technických parametrů dopravní sítě provozu elektrobuses není žádné omezení v porovnání autobusů se spalovacím motorem z hlediska jízdních vlastností. Současným nedostatkem elektrobuses však zatím zůstává jeho nedostatečný dojezd těchto vozidel. Proto je nutné při provozu elektrobuses zohlednit nasazení na linky, na kterých je možné během provozu nabíjet trakční akumulátory. Elektrobuses během provozu neprodukuje žádné místní emise výfukových plynů. Proto se nabízí jeho využití v centrech měst, lázeňských oblastech a jiných místech, kde je brán ohled na životní prostředí. Elektrobusesy SOR EBN 10,5 jsou provozovány jako SKIBUSY v Peci pod Sněžkou a ve Vysokých Tatrách.[Autor]

3 Spolehlivost a údržba elektrobusů

3.1 Základní pojmy spolehlivosti

Spolehlivost dle ČSN ISO 9000:2000 [3]

Spolehlivost je termín popisující pohotovost a její ovlivňující činitele.

Bezporuchovost jedná se o schopnost objektu, který při stanovené době a stanovených podmínkách nepřetržitě plní svou funkci.

Udržovatelnost je schopnost objektu zůstat ve stavu, nebo se vrátit do stavu, ve kterém je schopen plnit danou funkci za stanovených podmínek a při využití daných prostředků a postupů údržby.

Zajištěnost údržby je schopnost zajistit v daných podmínkách a danými prostředky potřebnou údržbu v předepsaném rozsahu.

Spolehlivost dle ČSN IEC 50(191)

Porucha jde o částečnou, nebo úplnou ztrátu provozuschopnosti soustavy nebo prvku.

Doba do první poruchy jedná se o dobu od uvedení do provozu, až do první poruchy.

Doba mezi poruchami je časový interval mezi dvěma po sobě následujícími poruchami opravovaného objektu.

Doba údržby je doba trvání činnosti, při které se provádí údržbářský zásah, do této doby je započítáno i případné logistické zpoždění.

3.2 Výpočet střední ujeté dráhy mezi poruchami

Dalším bodem této diplomové práce je porovnání středních ujetých drah mezi poruchami elektrobuseu SOR EBN 10,5 5001 v roce 2010 (bakalářská práce) a nyní, koncem roku 2012. K tomu je využit početní postup Weibullova rozdělení. Předpokládaným výsledkem pro nynější ověření je vyšší ujetá dráha mezi poruchami, než při kontrolním výpočtu v roce 2010. Důvodem je totiž delší doba vozidla v provozu od jeho uvedení do provozu. Při zjišťování určitých parametrů daného objektu nelze, ať už z ekonomického nebo časového hlediska, provádět co do rozsahu množství zkoušek těchto objektů. Proto se běžně používají pouze odhady těchto výsledků. Příkladem tohoto postupu řešení zkoušení mohou být například odhady středních ujetých drah mezi poruchami. Rozdíly hodnot takto získaných výsledků však mohou být od skutečných výsledků pouze zanedbatelné, ale i velice odlišné. [3] Vzorce (3.1) – (3.16) [3]

Určení přibližné šířky třídy

$$\Delta L = \frac{l_{max} - l_{min}}{1 + 3,3 \cdot \log N} \text{ [km]} \quad (3.1)$$

kde:

ΔL [km]	šířka třídy
l_{max} [km]	maximální hodnota
l_{min} [km]	minimální hodnota
N [-]	rozsah výběru

Výpočet počtu tříd

$$i = \frac{l_{max}}{\Delta L} \text{ [-]} \quad (3.2)$$

kde:

i [-]	počet tříd
l_{max} [km]	maximální hodnota
ΔL [km]	šířka třídy

Relativní četnost

$$X_i = \frac{r_i}{N} \text{ [-]} \quad i=1, 2, \dots, n \quad (3.3)$$

kde:

X_i [-]	relativní četnost
-----------	-------------------

r_i [-] je i -tá absolutní četnost

N [-] rozsah výběru

Weibullovo rozdělení

Weibullovo rozdělení je velice variabilním typem rozdělení používaným zejména při zobrazování průběhu náhodné veličiny během posuzování bezporuchovosti technických objektů. Původně tříparametrické rozdělení odvozené profesorem Weibullem bylo značně zjednodušeno, což pro běžné výpočty naprosto postačuje, když byl parametr polohy položen nule. Toto rozdělení s výhodou nahradí i ostatní typy rozdělení jako je například exponenciální rozdělení, normální (Gaussovo) rozdělení a Rayleighovo rozdělení. Z pohledu matematických úprav se jedná o velice výhodné rozdělení, jelikož pro výpočty výše uvedených rozdělení lze využít pouze jediný vztah. Následující vztahy popisují jednotlivé veličiny tohoto typu rozdělení. [3]

Hustota pravděpodobnosti

$$f(l) = \frac{m}{l_0} \cdot \left(\frac{l}{l_0}\right)^{m-1} \cdot e\left[-\left(\frac{l}{l_0}\right)^m\right] \quad [-] \quad (3.4)$$

kde:

$f(l)$ [-] hustota pravděpodobnosti

m [-] parametr tvaru Weibullova rozdělení $m > 0$

l [km] ujetá dráha $l \geq 0$

l_0 [km] parametr měřítka $l_0 > 0$

e [-] základ přirozených logaritmů

Pravděpodobnost poruchy

$$F(l) = 1 - e\left[-\left(\frac{l}{l_0}\right)^m\right] \quad [-] \quad (3.5)$$

kde:

$F(l)$ [-] pravděpodobnost poruchy

m [-] parametr tvaru Weibullova rozdělení $m > 0$

l [km] ujetá dráha $l \geq 0$

l_0 [km] parametr měřítka $l_0 > 0$

e [-] základ přirozeného logaritmu

Pravděpodobnost bezporuchového provozu

$$R(l) = e^{\left[-\left(\frac{l}{l_0}\right)^m\right]} \quad [-] \quad (3.6)$$

kde:

R(l)	[-]	pravděpodobnost bezporuchového provozu
m	[-]	parametr tvaru Weibullova rozdělení $m > 0$
l	[km]	ujetá dráha $l \geq 0$
l ₀	[km]	parametr měřítka $l_0 > 0$
e	[-]	základ přirozeného logaritmu

Intenzita poruch

$$\lambda(l) = \frac{m}{l_0} \cdot \left(\frac{l}{l_0}\right)^{m-1} \quad [-] \quad (3.7)$$

kde:

$\lambda(l)$	[-]	intenzita poruch
m	[-]	parametr tvaru Weibullova rozdělení $m > 0$
l	[km]	ujetá dráha $l \geq 0$
l ₀	[km]	parametr měřítka $l_0 > 0$

Střední hodnota

$$L_s = l_0 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right) \quad [\text{km}] \quad (3.8)$$

kde:

L _s	[km]	střední hodnota
l ₀	[km]	parametr měřítka $l_0 > 0$
Γ	[-]	tabelovaná gama funkce
m	[-]	parametr tvaru Weibullova rozdělení $m > 0$

Odhad parametrů Weibullova rozdělení

Matematickou úpravou distribuční funkce získáme tvar vhodný k zavedení substituce rovnice přímky.

$$F(l) = 1 - e^{\left[-\left(\frac{l}{l_0}\right)^m\right]} \quad [-] \quad (3.9)$$

$$1 - F(l) = e^{\left[-\left(\frac{l}{l_0}\right)^m\right]}$$

$$\ln(1 - F(l)) = -\left(\frac{l}{l_0}\right)^m$$

$$\ln[-\ln(1 - F(l))] = m \cdot \ln \cdot \left(\frac{l}{l_0}\right)$$

$$\ln\{-\ln[1 - F(l)]\} = m \cdot \ln l - m \cdot \ln l_0$$

Rovnice přímky

$$y = k \cdot x + q \tag{3.10}$$

Substituce

$$y = \ln(-\ln(1 - F(l))) \tag{3.11}$$

$$k \cdot x = m \cdot \ln l \tag{3.12}$$

$$q = -m \cdot \ln l_0 \tag{3.13}$$

Vzestupně seřazená pořadová čísla ujetých drah mezi jednotlivými poruchami slouží k výpočtu odhadu mediánového pořadí. Za mediánové pořadí lze označit hodnotu nejlepšího odhadu pravé strany vztahu (3.11).

$$F_i(m) = \frac{n_i - 0,3}{n + 0,4} [-] \tag{3.14}$$

kde:

$F_i(m)$	[-]	mediánové pořadí
n_i	[-]	pořadové číslo
n	[-]	celkový počet poruch

Graf parametrů rovnice přímky – určení osy x

$$\ln(l_i) \tag{3.15}$$

kde:

l_i	[km]	ujetá dráha mezi poruchami
-------	------	----------------------------

Vzorec výpočtu parametru měřítka

$$l_0 = e^{\left(-\frac{q}{m}\right)} [\text{km}] \tag{3.16}$$

kde:

l_0	[km]	parametr měřítka	$l_0 > 0$
e	[-]	základ přirozených logaritmů	
m	[-]	parametr tvaru Weibullova rozdělení	$m > 0$

Hodnocení střední ujeté dráhy mezi poruchami

Pro výpočet střední ujeté dráhy mezi poruchami jsou základními parametry jednotlivé vzniklé poruchy s uvedením kilometrického proběhu. Popis poruch s hodnotami je uveden v příloze č. 6, Tab. č. 6p. Tyto hodnoty poskytl Dopravní podnik Ostrava a.s. Hodnoty ujetých drah mezi poruchami jsou vzestupně seřazeny. Dále je z příslušných hodnot vypočítána šířka jedné třídy ΔL podle vztahu (3.1).

$$\Delta L = \frac{l_{max} - l_{min}}{1 + 3,3 \cdot \log N} = \frac{9800 - 412}{1 + 3,3 \cdot \log 24} = 1690,1 \text{ km}$$

Tato šířka třídy je však upravena na hodnotu 2500 km, důvodem je zplnění požadavků kladených na zobrazení histogramu četnosti.

Počet tříd i je vypočítán dle vztahu (3.2) a následně upraven.

$$i = \frac{l_{max}}{\Delta L} = \frac{9800}{2500} = 3,92 \text{ upraveno na 4 třídy}$$

Relativní četnost zobrazena v Tab. č. 3.1 a následně na obr. č. 3.1 je určena ze vzorce (3.3), výpočet pro číslo třídy 1.

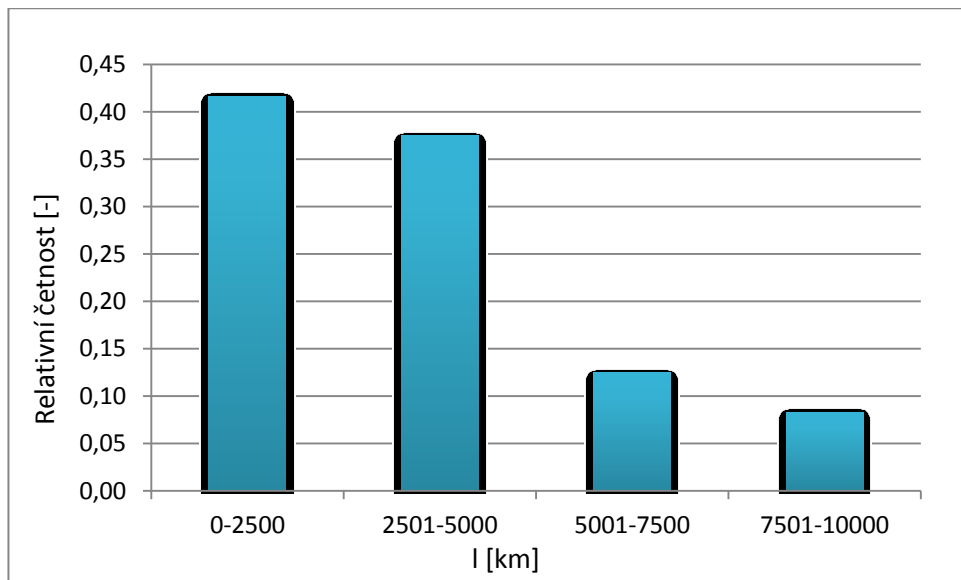
$$X_i = \frac{r_i}{N} = \frac{10}{24} = 0,417$$

Tab. č. 3.1: Základní rozdělení poruch

Číslo třídy	Třída [km]	Absolutní četnost [-]	Relativní četnost [-]
1	0–2500	10	0,417
2	2501–5000	9	0,375
3	5001–7500	3	0,125
4	7501–10000	2	0,083
Celkem		24	1,000

Zdroj: [Autor]

Na obr. č. 3.1 jsou znázorněny hodnoty relativních četností, tyto hodnoty pochází z tab. č. 3.1.



Obr. č. 3.1: Rozdělení relativních četností Zdroj: [Autor]

Pro určení střední ujeté dráhy mezi poruchami byl použit postup výpočtu podle Weibullova rozdělení. Sestavení Tab. č. 3.2 a následné zpracování hodnot, předcházely výpočty dle následujících vztahů. Hodnoty n_i odpovídají pořadí hodnot a hodnoty l_i uvádějí ujeté dráhy mezi poruchami. Výpočet mediánového pořadí podle výrazu (3.14) pro hodnotu n_i rovno 1 je uveden v následujícím výpočtu.

$$F_1(m) = \frac{n_i - 0,3}{n + 0,4} = \frac{1 - 0,3}{24 + 0,4} = 0,029$$

Pro sestavení průběhu na obr. č. 3.2 je nutné vypočítat hodnoty osy $\ln(l)$ a osy $\ln(-\ln(1-F/l))$. Tyto hodnoty jsou uvedeny v Tab. č. 3.2. Názorné výpočty jsou uvedeny níže, vychází ze vztahů (3.11) a (3.15). Opět uvedeny v tabulce u hodnoty n_i rovno 1.

$$y_1 = \ln(-\ln(1 - F(m))) = \ln(-\ln(1 - 0,029)) = -3,537$$

$$\ln(l_1) = \ln(412) = 6,021$$

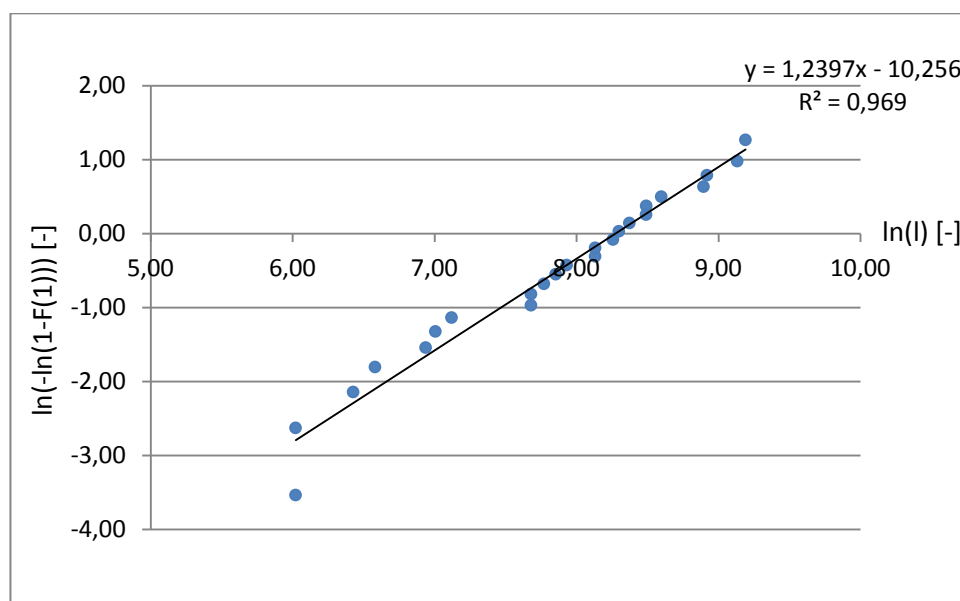
V tabulce č. 3.2 je z důvodu úspory místa uvedena pouze část tabulky, celá tabulka je uvedena v příloze 7, Tab. č. 7p.

Tab. č. 3.2: Údaje pro sestavení grafu

ni [-]	li [km]	F(m)	yi [-]	ln(x)
1	412,000	0,029	-3,537	6,021
2	412,000	0,070	-2,628	6,021
3	618,000	0,111	-2,143	6,426
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
23	9248,000	0,930	0,980	9,132
24	9800,000	0,971	1,267	9,190

Zdroj.: [Autor]

Z hodnot v tabulce č. 3.2 je sestaven graf, který je uveden na obr. č. 3.2. Výslednými hodnotami je v tabulkovém editoru Microsoft Excel proložena přímka. Parametry získané přímky jsou dále zpracovány. Z koeficientu determinace R^2 obr. č. 3.2 je zřejmé, že hodnota se přibližuje hodnotě 1, což znamená velice blízkou korelaci. Směrnice přímky v tomto případě použity vztahy (3.10) a (3.11). Z rovnice přímky lze vyjádřit, tedy směrnice přímky k , hodnotu parametru tvaru m , hodnota je 1,2397.



Obr. č. 3.2: Rovnice parametrů Zdroj: [Autor]

Upravený tvar parametru měřítka vychází z rovnice (3.13), tento konečný tvar je však upraven na konečný vztah (3.16), tento vztah je zapotřebí pro výpočet střední ujeté dráhy mezi poruchami.

$$l_0 = e\left(-\frac{q}{m}\right) = e\left(-\frac{10,256}{1,239}\right) = 3916,56 \text{ km}$$

Pro výpočet střední ujeté dráhy mezi poruchami Weibullovým rozdělením je nejprve nutné určit gama funkci Γ , tato funkce je součástí matematických funkcí již zmiňovaného editoru rovnic Microsoft Excel. Poté je možno dle vztahu (3.8) vypočítat střední ujetou dráhu mezi poruchami.

$$L_s = l_o \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right) = 3916,56 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{1,2397}\right) = 3654,79 \text{ km}$$

Pro zobrazení průběhů parametrů spolehlivosti je práce doplněna následujícími vztahy. Z jednotlivých hodnot jsou poté zmiňované průběhy sestrojeny.

Hustota pravděpodobnosti $f(l)$ je vyjádřena vztahem (3.4), pro hodnotu li rovno 0, Tab. č. 3.3, celá tabulka uvedena v Tab. č. 1, příloha 1e.

$$f(l) = \frac{m}{l_o} \cdot \left(\frac{l}{l_o}\right)^{m-1} \cdot e\left[-\left(\frac{l}{l_o}\right)^m\right] = \frac{1,2397}{3916,56} \cdot \left(\frac{0}{3916,56}\right)^{1,2397-1} \cdot e\left[-\left(\frac{0}{3916,56}\right)^{1,2397}\right] = 0$$

Vztah (3.5) vyjadřuje pravděpodobnost vzniku poruchy $F(l)$, Tab. č. 3.3, celá tabulka uvedena v Tab. č. 1, příloha 1e, li rovno 0.

$$F(l) = 1 - e\left[-\left(\frac{l}{l_o}\right)^m\right] = 1 - e\left[-\left(\frac{0}{3916,56}\right)^{1,2397}\right] = 0$$

Výpočet pravděpodobnosti bezporuchového stavu $R(l)$ je určen ze vztahu (3.6), tabulka uvedena v Tab. č. 3.3, celá tabulka uvedena v Tab. č. 1, příloha 1e., kde li je rovno 0.

$$R(l) = e\left[-\left(\frac{l}{l_o}\right)^m\right] = e\left[-\left(\frac{0}{3916,56}\right)^{1,2397}\right] = 1$$

Intenzita poruch $\lambda(l)$ tohoto rozdělení je vypočítána podle vztahu (3.7), uvedená hodnota odpovídá hodnotě na pozici li rovno 0, Tab. č. 3.3, celá tabulka uvedena v Tab. č. 1, příloha 1e.

$$\lambda(l) = \frac{m}{l_o} \cdot \left(\frac{l}{l_o}\right)^{m-1} = \frac{1,2397}{3916,56} \cdot \left(\frac{0}{3916,56}\right)^{1,2397-1} = 0$$

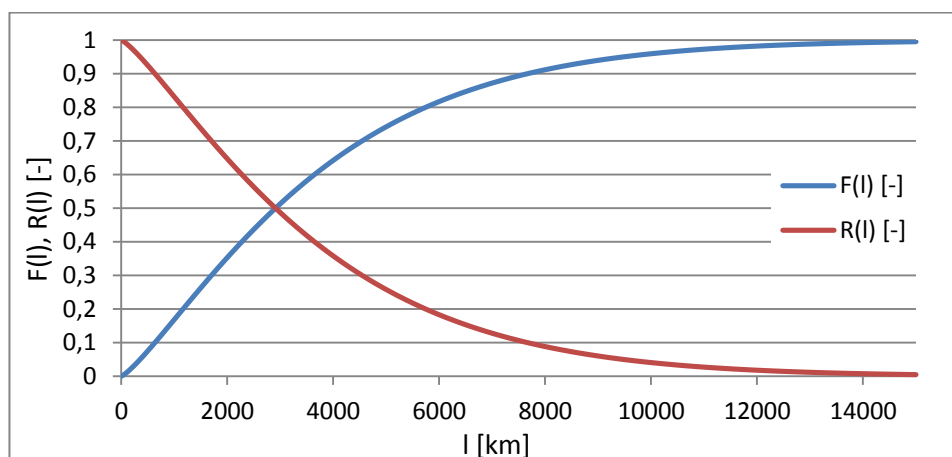
Hodnoty vypočítané pomocí uvedených vztahů jsou uvedeny v tab. č. 3.3 v příloze. V práci je uvedena pouze názorná část úvodu a závěru tabulky, v příloze č. 1e, Tab. č. 1 je uvedena celá tabulka. Pro hodnotu li byl zvolen krok 50 km. Tabulka tedy obsahuje hodnoty $f(l)$, $F(l)$, $R(l)$ a $\lambda(l)$ pro jednotlivé kroky hodnot li . Z takto získaných hodnot jsou sestaveny průběhy $F(l)$ a $R(l)$ na obr. č. 3.3.

Tab. č. 3.3: Údaje pro sestavení grafů

li [km]	$f(l)$ [-]	$F(l)$ [-]	$R(l)$ [-]	$\lambda(l)$ [-]
0	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000
50	0,00011	0,00448	0,99552	0,00011
100	0,00013	0,01054	0,98946	0,00013
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
33850	0,00000	1,00000	0,00000	0,00053
33900	0,00000	1,00000	0,00000	0,00053

Zdroj: [Autor]

Výsledné zobrazení průběhů $F(l)$ a $R(l)$ jsou zobrazeny na obrázku č. 3.3.



Obr. č. 3.3: Průběhy hodnot $F(l)$ a $R(l)$ Zdroj: [Autor]

Hodnota střední ujeté dráhy mezi poruchami určena výpočtovým postupem podle Weibullova rozdělení, uvedena v mé bakalářské práci Technicko – provozní hodnocení hybridních pohonů silničních vozidel u elektrobuse SOR EBN 10,5 činila 156 kilometrů. Hlavním důvodem takto nízké hodnoty bylo u tohoto nově vyrobeného elektrobuse krátké časové období jeho nasazení v provozu. Při ověřování střední ujeté dráhy mezi poruchami stejným postupem v současné době (leden 2013) bylo výpočty zjištěno, že střední ujetá dráha mezi poruchami činí 3654,79 km. V poruchách elektrobuse, jsou však uvedeny jen poruchy významných konstrukčních částí. Tato hodnota je dokonce vyšší, než hodnota autobuse SOR

BN 10,5 se spalovacím motorem, ze kterého tento elektrobus SOR EBN 10,5 konstrukčně vychází. Hodnota střední ujeté dráhy mezi poruchami SOR BN 10,5 je 2172 kilometrů. Tento předpoklad však bylo možné, vzhledem k odlišně konstruované pohonné jednotce elektrobusu, předpokládat. Pohonná jednotka elektrobusu je totiž všeobecně vzhledem k menšímu počtu dílů mnohem méně poruchová. Je však nutné vzít v úvahu výběr vzniklých poruch, při zohlednění všech poruch by byla ujetá dráha mezi poruchami o něco nižší.

3.3 Základní pojmy údržby [3]

Údržba jedná se o kombinaci technických, administrativních a dalších činností, jejímž výsledkem je udržení, nebo návrat do stavu schopného plnit danou funkci.

Údržbový zásah je provádění základních úkonů údržby v určité posloupnosti pro daný účel.

Preventivní údržba jedná se o údržbu prováděnou v předem daných intervalech a kritériích. Výsledkem této údržby je snížení pravděpodobnosti poruchy a degradace funkce objektu.

Základní cyklus preventivní údržby je minimální interval nebo doba provozu objektu, kdy se provádějí předepsané preventivní údržby podle dané dokumentace a v určité posloupnosti.

Údržba po poruše údržba provedená po vzniku poruchového stavu, po jejímž provedení je objekt v takovém stavu, kdy je schopen plnit požadovanou funkci.

Údržbová soustava jsou soubory prostředků, dokumentací a pracovníků, které jsou nezbytně nutné k údržbě a obnově provozuschopného stavu objektů soustavy. Soustava znamená materiální a technické zabezpečení potřebné pro provedení daného systému údržby v daných podmínkách.

Oprava jde o část údržby objektu, jejíž provedení vyžaduje použití ručních operací.

3.4 Údržba vozidel městské hromadné dopravy

Obecně platné zásady pro zajišťování pravidelné údržby vozidel vyplývají ze zákona 56/2001 Sb., z předpisu č. 302/2001 Sb. Vyhláška Ministerstva dopravy a spojů o technických prohlídkách a měření emisí vozidel, z předpisu č. 197/2003 Sb. Nařízení vlády o Plánu odpadového hospodářství České republiky, dále z předpisů Evropské hospodářské komise a technických směrnic, norem a požadavků výrobce. Základním požadavkem údržby vozidel je zajištění bezpečného provozu. Před zařazením vozidla do provozu musí být všechny závady jakkoliv ohrožující bezpečnost provozu odstraněny. Řádný technický stav vozidel je ve většině případů zajištěn zařazením preventivní údržby. Preventivní údržby vozidel předchází poruchám a závadám a zajišťují spolehlivý a bezporuchový provoz vozidel. Tyto údržby jsou provedeny na základě počtu ujetých kilometrů, nebo stanoveného časového období. Pravidelnými prohlídkami jednotlivých skupin vozidel je zjištěn skutečný technický stav vozidel v době kontroly. Součásti kontrolovaných skupin nesmí být nadměrně opotřebované, nebo poškozené. Zjištěné závady je nutné opravit, součásti seřadit nebo vyměnit okamžitě a to i případě, že nejsou náplní daného stupně opravy. Vysokých hodnot provozuschopnosti a životnosti je dosahováno především právě díky technickému ošetřování a plánované údržbě, tyto úkony mohou být dále rozšířeny o dodatečné úkony stanovené výrobcem vozidla. Údržba vozidla je u každého vozidla pečlivě evidována. Velký důraz je také kladen na kvalitní a pravidelné školení dílenských a jízdnicích pracovníků. Dílejší pracovníci musí být u nového vozidla seznámeni s technickým řešením a údržbovým plánem vozidla. Toto zaškolení provádí výrobce vozidla, který spolu s vozidlem předá návod k obsluze vozidla včetně technické dokumentace. Kontrola technického stavu vozidla je také prováděna na pravidelné roční prohlídce ve stanicích technické kontroly.[8]

Povinná ošetření v záručním období

Provádí se v rozsahu a intervalu stanoveném výrobcem nebo dovozcem vozidla. Provedení garanční prohlídky je provedeno podle pokynů výrobce podle časových, nebo kilometrických proběhů vozidla. [8]

Technická ošetření

Denní obsluha vozidel se provádí před jízdou, během jízdy a po ukončení jízdy. Mezi tyto činnosti patří například kontrola pneumatik, řízení, brzdové soustavy, podvozku a spojovacího hřídele. Mezi další technická ošetření patří čištění a mytí karoserie a podvozku vozidla. Dále také doplňování maziva do stanovených míst funkčních součástí vozidla. [8]

Plánovaná údržba

Mezi plánovanou údržbu patří jednotlivé prohlídky, rozděleny na jednotlivé stupně údržby od P1 až po P6, dále příprava vozidel na sezónní provoz TP1 a TP2 a příprava na hodnocení technického stavu vozidla. [8]

Opravy vozidel jsou rozděleny na opravy po plánované údržbě, běžné opravy a velké opravy.

3.5 Elektrobusy SOR EBN 10,5

Údržba elektrobusů SOR EBN 10,5 je velice podobná jako u autobusů se spalovacím motorem. Elektrobus koncepčně vychází z autobusu SOR BN 12. Odlíšná je tedy pouze pohonná jednotka včetně několika dalších konstrukčních úprav. Údržba elektrobusů je proto na rozdíl od běžného autobusu se spalovacím motorem mnohem jednodušší, protože pohonná jednotka elektrobusu je téměř bezúdržbová. K vytápění vnitřního prostoru vozidla se využívá nezávislé naftové topení. To z pohledu údržby znamená čerpat do příslušné nádrže potřebné množství motorové nafty.

Řidiči a provozní záloha jsou seznámeni s provozováním a ovládáním vozidla a s postupem nabíjení trakčních akumulátorů. Během provozu vozidla je třeba dbát zvýšené pozornosti na bezpečnost cestujících a ostatních účastníků v blízkosti vozidla. Důvodem je velice tichý, při nízkých rychlostech až neslyšitelný provoz vozidla.

Řidič vozidla po příjezdu na stanoviště zaznamená hodnoty stavu akumulátoru a počítadla spotřeby elektrické energie na nabíjecím stojanu. Dále připojí nabíjecí zástrčku, nastaví nabíjecí elektrický proud a čas nabíjení. Po nabití akumulátorů se nabíjení automaticky vypne. Řidič před odjezdem odpojí nabíjecí zástrčku a opět zaznamená sledované hodnoty nabíjení. Do prostoru boxu akumulátorů mají řidiči z důvodu vlastní bezpečnosti zakázán přístup.

Základní tzv. šestiměsíční prohlídka je prohlídka P3. Tato prohlídka stupně P3 se na vozidle provede po šesti měsících, nebo je-li s vozidlem najeto 30 000 km. Prohlídka vozidla P6 se na vozidle provede, je-li s vozidlem před uplynutím šesti měsíců najeto 60 000 km. Protokoly o provedení plánované prohlídky jsou uvedeny v příloze č. 8, 9 a 10. a popisníky prací jednotlivých prohlídek jsou uvedeny v příloze č. 2e, Tab. č. 2 – pět částí. [8]

Plánovaná prohlídka stupně P1 – po ujetí 10 000 km s tolerancí ± 500 km.

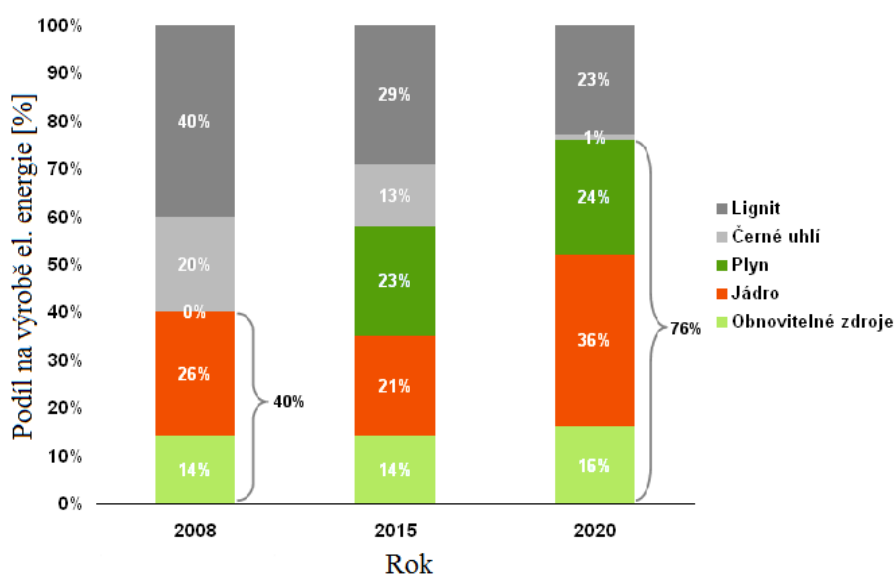
Plánovaná prohlídka stupně P3 – po ujetí 30 000 km s tolerancí ± 500 km.

Plánovaná prohlídka stupně P6 – po ujetí 60 000 km s tolerancí ± 500 km.

Porovnáním potřebného času na údržbu elektrobuse a klasického autobusu by bylo možné prokazatelně potvrdit nižší nároky na údržbu elektrobuse. Tyto hodnoty časů údržby elektrobuse SOR EBN 10,5 však zatím nejsou u provozovatele elektrobuse, tedy Dopravního podniku Ostrava a. s. k dispozici. Důvodem je probíhající časové období, během něhož jsou vozidla udržována v záruční době. Proto si tyto časové intervaly provozovatel nezaznamenává. Jednou z možností, jak zjistit náklady na údržbu elektrobuse je porovnání finančních nákladů údržby autobusů s odlišnými pohony. Tyto údaje jsou uvedeny přímo od výrobce autobusů SOR Libchavy spol. s r. o. Náklady jsou pro městská vozidla délkové kategorie 12 m a jsou vyčísleny v $\text{Kč}\cdot\text{km}^{-1}$. Náklady na údržbu naftového autobusu jsou v rozmezí 4,8 až 4,9 $\text{Kč}\cdot\text{km}^{-1}$. Náklady na údržbu elektrobuse jsou v rozmezí 4,0 až 4,1 $\text{Kč}\cdot\text{km}^{-1}$. Důvodem nižších nároků na údržbu je především zcela odlišná pohonná jednotka vozidla, dále je vozidlo doplněno systémem rekuperace kinetické energie. Tento systém tedy velice významně ovlivňuje činnost brzdového systému vozidla během provozu. V případě elektrobuse se také neprovádí kontrola a doplňování provozních kapalin pohonného systému a další potřebné úkony, které se u klasických autobusů provádějí. Manipulaci během nabíjení elektrobuse lze časově přirovnat k čerpání pohonných hmot do autobusů se spalovacím motorem.

4 Nabíjení a nabíjecí stanice

Provozem elektromobilů nevznikají žádné přímé místní emise, při výrobě elektrické energie však ještě stále v určitém množství tyto emise vznikají. Při výrobě elektrické energie především záleží na tom, jakým způsobem byla tato energie vyrobena. Vliv má také denní doba, kdy je elektromobil nabíjen, nebo složení takzvaného energetického mixu. Při výrobě energie je také rozdíl, zda jsou vzniklé spaliny odsířeny a odváděny vysokým komínem umístěným mimo obydlenu oblast, nebo vznikají ve městském provozu několik centimetrů od vozovky. V dnešní době jsou vzniklé emise během výroby v koncentrovaných zdrojích elektrické energie i tak značně redukovány. Tyto hodnoty emisí se budou i nadále snižovat rozvojem moderních typů elektráren. Hlavními cíly je tedy celkové snížení emisí CO₂, zlepšení kvality ovzduší a snížení závislosti na ropě. V několika následujících letech by proto měly začít platit předpisy podporující tuto dlouhodobou strategii. Na obr. č. 4.1 je zobrazena instalovaná kapacita Skupiny ČEZ podle zdrojů v průběhu několika let s důrazem na zvýšení podílu nízko emisních zdrojů výroby elektrické energie.[23,27,28]



Obr. č. 4.1: Instalovaná kapacita Skupiny ČEZ Zdroj: [28]

Při tvrzení, že moderní spalovací motory vyprodukují nižší množství emisí, než elektrická vozidla je nutno přihlídnout k následujícím skutečnostem. Například k energeticky náročné výrobě a dopravě paliva pro spalovací motory. Vozový park není složen pouze z nových vozidel s moderními motory, průměrné stáří vozidel je asi čtrnáct let. Během provozu moderního motoru dochází vlivem opotřebení k celkovému zhoršení provozních vlastností

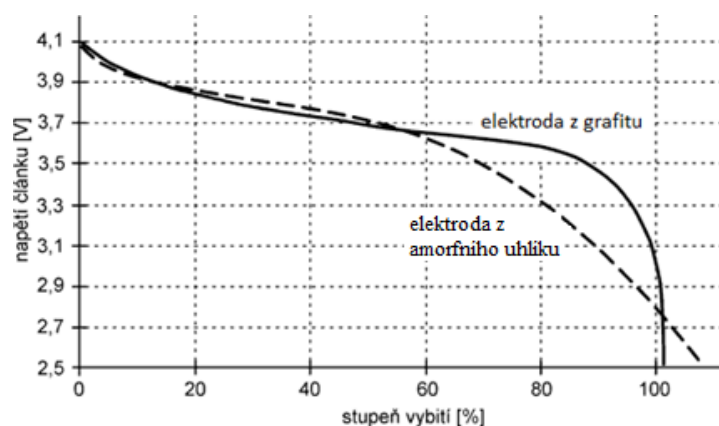
motoru. Na druhou stranu v průběhu provozu elektrických vozidel dochází k nárůstu podílu nízko emisních zdrojů při výrobě elektrické energie, což zlepšuje celkovou bilanci vyprodukovaných emisí. Jestliže tedy vozidla s novým, moderním spalovacím motorem lze v produkci emisí řádově porovnávat s elektromobilem, v průběhu provozu je již tento rozdíl velice znatelný. Při zmiňování nedostatků elektromobilů je třeba zmínit dobu sto let zpět a situaci dostupnosti čerpacích stanic, spotřebu paliva vozidel se spalovacím motorem a jejich celkový dojezd. [29]

V České republice je za rok vyrobeno asi 87 TWh elektrické energie, asi 17 TWh je vyvezeno. Přibližným výpočtem bylo zjištěno, jestliže by průměrné elektrické vozidlo se spotřebou 20 kWh na 100 km (nákladní vozidlo 30 kWh na 100 km) ujelo přibližně 20 000 km za rok, znamenalo by to u jednoho milionu takovýchto vozidel celkovou spotřebu 4 TWh, což je asi 4,5% z celkové spotřeby elektrické energie. Takovýto počet vozidel lze v České republice předpokládat nejdříve v roce 2035. Není proto třeba budovat nové elektrárny za účelem výroby většího množství elektrické energie, spíše je ale modernizovat za účelem snižování vznikajících emisí. Nedostatky by se však mohly projevit na vedení elektrické sítě v místech koncentrace nabíjecích míst elektromobilů. Tento problém by se však dal vyřešit zavedením ekonomicky výhodnějšího tarifního řízení a rozložit tak zatížení elektrické sítě odběrem během celého dne. Elektromobily mohou být také v některých případech použity jako zdroje elektrické energie. Tím lze stabilizovat energetickou síť při určitých požadavcích. Může se jednat o stabilizaci v době mimo špičku, kdy jsou elektromobily nabíjeny. Další možností může být naopak dodávání energie z trakčních akumulátorů zpět do sítě, v případě nedostatečného množství elektrické energie, nebo úplném výpadku elektrické energie v určitém místě. Tyto možnosti stabilizace by však ještě bylo nutné technicky dořešit. [30]

4.1 Parametry Li – Ion článků

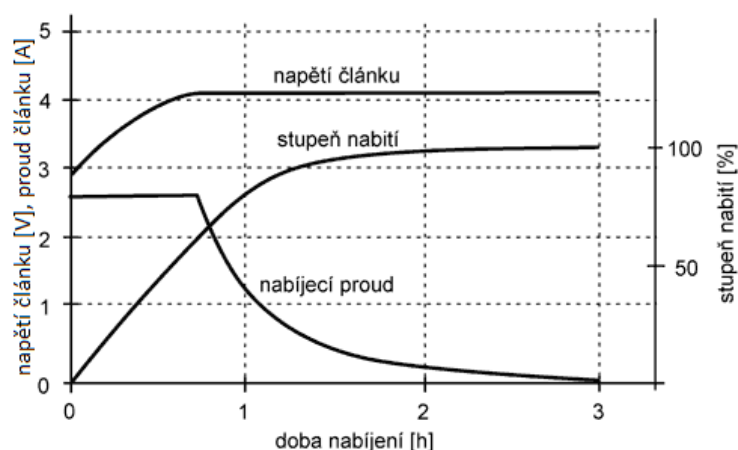
Popis vlastností Li – ion článku při nabíjení a vybíjení

Existují dvě konstrukční řešení trakčních Li – ion akumulátorů, která se odlišují provedením výroby záporné elektrody. Tyto záporné elektrody jsou vyrobeny z uhlíku. V jednom případě se jedná o amorfní uhlík a ve druhém případě o grafit, odlišná je také vybíjecí charakteristika zobrazena na obr. č. 4.2 a napětí, při kterém dochází k zastavení vybíjení.[31]



Obr. č. 4.2: Typická vybíjecí křivka akumulátoru Li-ion Zdroj: [31]

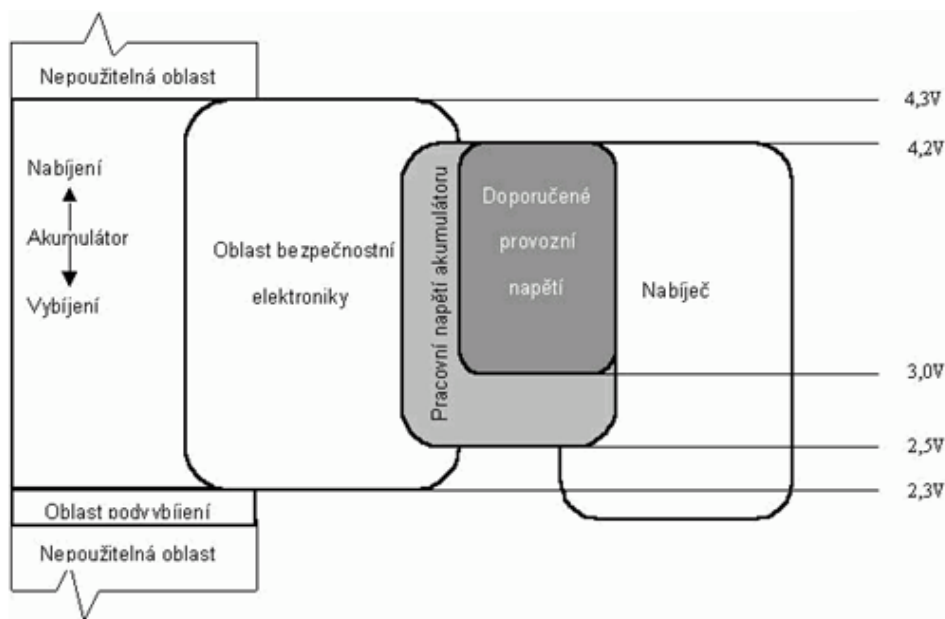
Nabíjecí charakteristika akumulátoru je zobrazena na obr. č. 4.3. Připojením akumulátoru na nabíječku dochází v první fázi k nabíjení do požadovaného napětí. Tato fáze trvá poměrně krátkou dobu, je však nutné při ní dodržet maximální hodnotu povoleného elektrického proudu. Ve druhé fázi kdy se napětí článku blíží hodnotě napětí nabitého článku, dochází ke snižování nabíjecího elektrického proudu. Nabíjení je ukončeno v okamžiku, kdy nabíjecí proud klesne na předem stanovenou hodnotu, nebo po nastaveném časovém intervalu. Celkový čas potřebný k nabití trakčního akumulátoru závisí na hodnotě nabíjecího proudu a na celkové hodnotě vybití akumulátoru.[31]



Obr. č. 4.3: Průběh napětí a proudu při nabíjení akumulátoru Li-ion Zdroj:[31]

Řídící elektronika, jejíž součástí je systém kontroly napětí, proudová pojistka a teplotní senzor, udržuje u Li – ion akumulátorů potřebné provozní hodnoty jednotlivých článků během nabíjení a vybíjení. Tato elektronika neslouží nejen jako ochrana z důvodu bezpečnosti provozu, ale také významným způsobem ovlivňuje celkovou životnost těchto akumulátorů. Tyto akumulátory jsou velice citlivé na dodržování provozních napětí. V případě překročení

minimální nebo maximální hodnoty dochází ke znehodnocování, poklesu kapacity a výraznému snížení životnosti. Napěťové rozsahy tohoto článku akumulátoru a jeho příslušenství jsou uvedeny na obr. č. 4.4. [32]

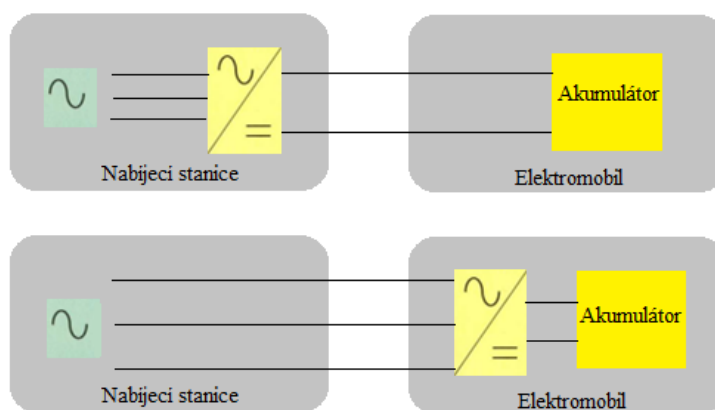


Obr. č. 4.4: Napěťové rozsahy Li-Ion akumulátoru a jeho příslušenství Zdroj:[32]

4.2 Nabíjení elektromobilů

Mezi některé důvody, proč během vývoje elektromobilů zatím nedošlo k výraznému zvýšení dojezdu těchto vozidel, lze považovat například pomalý vývoj trakčních akumulátorů. V posledních několika letech se však díky moderním technologiím tato situace výrazně změnila. Důvodem jsou neustále se zpřísnující normy související s produkováním škodlivých emisí a zvyšující se cena pohonných hmot. Je tedy pouze otázkou času, kdy bude možné díky novým typům akumulátorů elektromobily využívat na stejné vzdálenosti jako vozidla se spalovacím motorem. V dnešní době je však zatím možné tuto nevýhodu elektromobilů částečně eliminovat, použitím moderních postupů a způsobů dobíjení těchto trakčních akumulátorů. V této souvislosti je také nutné vytvořit standardizované propojení mezi nabíjecí stanicí a elektromobilem. Propojení s vozidlem bývá provedeno volným propojovacím kabelem, kdy je na straně nabíjecí stanice i samotného vozidla zásuvka. Nebo propojení vodičem pevně upevněným v nabíjecí stanici a na opačném konci opatřen standardizovanou zástrčkou pro propojení s vozidlem. Snahou výrobců nabíjecích zařízení je zaměřit se na nabíjecí techniku umožňující snadné, rychlé a bezpečné nabíjení trakčních akumulátorů. Dále poskytovat integrovaný systém nabíjení, rozšiřovat nabíjecí místa a to vše maximálním ohledem k životnímu prostředí. Nabíjení elektromobilů lze rozlišovat podle přístupnosti a místa instalace na veřejná nabíjení, polo veřejná nabíjení a soukromá nabíjení. Umístění

jednotlivých nabíjecích zařízení mají své specifické vlastnosti. Mezi tyto vlastnosti lze řadit například potřebná místa během nabíjení vozidel, identifikaci odběratele, množství odebrané energie a v neposlední řadě i způsob platby za odebranou energii. Nabíjecí stanice také musí spolehlivě a bezpečně plnit svou funkci, ať už během nepříznivých povětrnostních podmínek stejně tak i při vysokých teplotách a slunečním záření. Trakční akumulátory ve vozidle je možné na nabíjení připojit stejnosměrnými složkami elektrické energie, nebo střídavými složkami elektrické energie. Tyto dvě možnosti včetně konstrukčního uspořádání jsou zobrazeny na obr. č. 4.5. [29]



Obr. č. 4.5: Uspořádání nabíjení DC, AC Zdroj:[33]

Možností jak nabíjet trakční akumulátory elektromobilů existuje v současné době několik, mezi nejrozšířenější metody nabíjení však patří pomalé a rychlé nabíjení střídavým elektrickým proudem a napětím. V tabulce č. 4.1 jsou uvedeny další možné varianty a časy pro získání energie pro provoz elektrických vozidel. [33]

Tab. č. 4.1: Možnosti získání elektrické energie

Způsob nabíjení	Doba procesu [h]
Pomalé nabíjení (AC)	> 3
Rychlé nabíjení (AC)	< 3
Rychlé nabíjení (DC)	< 3
Zrychlené nabíjení (AC)	≤ 0,1 – 0,3
Výměna akumulátoru ve vozidle	0,05 – 0,1
Výměna akumulátoru v přívěsu	0,05 – 0,1
Nabíjecí agregát ve vozidle	Variabilní během jízdy
Nabíjecí agregát v přívěsu	Variabilní během jízdy

Zdroj:[33]

AC Slow Charging jedná se o pomalé nabíjení střídavým elektrickým proudem. Tento způsob nabíjení je určen především pro domácí nabíjení. Připojení k napájecí síti je realizováno pomocí klasické třífázové zástrčky. Tím je také omezen celkový maximální výkon nabíječky, tyto zástrčky jsou konstruovány na elektrický proud o hodnotě 16 A. Nabíjecí jednotka je umístěna přímo ve vozidle. Čas nabíjení se pohybuje v závislosti na kapacitě akumulátoru a hodnotě jeho vybití v rozmezí 5 až 8 hodin. Parametry jednotlivých režimů jsou uvedeny v Tab. č. 4.2. [29]

AC Fast Charging toto rychlé nabíjení střídavým elektrickým proudem výrazně zkracuje dobu nabíjení trakčních akumulátorů elektromobilu. V tomto případě je však celkový výkon nabíječky natolik veliký, že je nutné k napájení použít přípojku elektrické energie dimenzované na elektrický proud o hodnotě 32A až 250 A. V tomto případě jsou však zvýšeny celkové náklady na pořízení nebo výstavbu nabíjecí stanice a přívodního vedení. [29]

DC Fast Charging tato zkratka představuje rychlé nabíjení stejnosměrným elektrickým proudem. Nabíjecí jednotka již v tomto případě není umístěna ve vozidle, jako tomu bylo u pomalého střídavého nabíjení, ale je umístěna mimo vozidlo. Důvodem je použití velice výkonné nabíjecí stanice vybavené usměrňovačem střídavého napětí a proudu. Hodnota výkonu této nabíjecí stanice se pohybuje v rozmezí 50 až 250 kW. [29]

Tab. č. 4.2: Parametry jednotlivých režimů

Nabíjecí proud [A]	Počet fází	Doba nabíjení [h]	Režim nabíjení	Příkon [kW]
10	1	10	pomalé	2,3
16	1	6,5	pomalé	3,6
16	3	2	pomalé	10
32	3	1	pomalé	21
63	3	0,5	rychlé	43
340	3	0,1	zrychlené	230

Zdroj:[33]

4.3 Zástrčky používané pro nabíjení elektromobilů

Mennekes zástrčka na obr. č. 4.6 dle normy IEC 62196–2 (mezinárodní standard sady elektrických konektorů k dobíjení), jedná se o téměř běžnou třífázovou zástrčku klasického typu 400 V, 32 A nebo 63 A. Tato zástrčka je však doplněna dvěma kolíky pro komunikaci

doby nabíjení a zároveň slouží jako ochrana proti odjezdu vozidla se zapojeným nabíjením. Elektromobily jsou vybaveny vlastním zařízením umožňující nabíjení pomocí této zástrčky. Nabíjení elektrobuse SOR EBN 10,5 pomocí této zástrčky na obr. č. 4.7. [34]



Obr. č. 4.6: Mennekes Zdroj:[34]



Obr. č. 4.7: Připojení k vozidlu Zdroj:[35]

Další možností použití zástrčky pro nabíjení elektromobilů je klasická AC střídavá průmyslová zástrčka CEE, na obr. č. 4.8 (označeno) tyto zástrčky jsou dimenzované podle velikosti protékajícího elektrického proudu a je možné je běžně připojit na místech s třífázovým elektrickým rozvodem elektrické energie. Nabíjecí zařízení uvedeno na obr. č. 4.8 je dále podrobněji popsáno.[36]



Obr. č. 4.8: Nabíjecí zařízení Zdroj:[36]



Obr. č. 4.9: Připojení k vozidlu Zdroj:[36]

4.4 Časy nabíjení elektrobusů

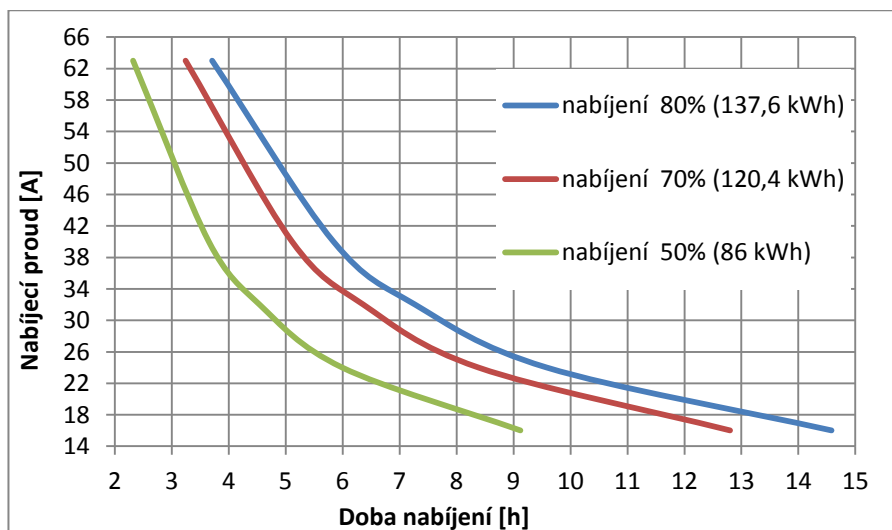
Nabíjení trakčních akumulátorů je rozděleno podle nabíjecích proudů na pomalé a rychlé nabíjení. Jednotlivé časy nabíjení v závislosti na zvoleném elektrickém proudu a požadavku dodané elektrické energie jsou uvedeny v tab. č. 4.3. Časy nabíjení byly zjištěny experimentem. [7]

Tab. č. 4.3: Doby nabíjení trakčních akumulátorů

Trakční akumulátory (300 Ah)												
I_{nab} [A]	t_{nab} 80%		t_{nab} 70%		t_{nab} 50%		t_{nab} 30%		t_{nab} 25%		t_{nab} 20%	
	[h:m]	[h]	[h:m]	[h]	[h:m]	[h]	[h:m]	[h]	[h:m]	[h]	[h:m]	[h]
16	14:35	14,6	12:45	12,8	9:06	9,12	5:28	5,47	4:33	4,56	3:38	3,65
24	9:34	9,58	8:23	8,38	5:59	5,99	3:35	3,59	2:59	2,99	2:23	2,4
32	7:15	7,27	6:21	6,36	4:32	4,54	2:43	2,72	2:16	2,27	1:49	1,82
40	5:50	5,84	5:06	5,11	3:39	3,65	2:11	2,19	1:49	1,83	1:27	1,46
63	3:42	3,71	3:14	3,24	2:19	2,32	1:23	1,39	1:09	1,16	0:55	0,93
80	2:54	2,9	2:32	2,54	1:48	1,81	1:05	1,09	0:54	0,91	0:43	0,73
100	2:19	2,32	2:01	2,03	1:27	1,45	0:52	0,87	0:43	0,73	0:34	0,58
125	1:51	1,86	1:37	1,63	1:09	1,17	0:41	0,7	0:34	0,58	0:27	0,47
160	1:27	1,46	1:16	1,27	0:54	0,91	0:32	0,55	0:27	0,45	0:21	0,36
200	1:09	1,16	1:00	1,02	0:43	0,73	0:26	0,44	0:21	0,36	0:17	0,29
250	0:55	0,93	0:48	0,81	0:34	0,58	0:20	0,35	0:17	0,29	0:13	0,23
320	0:43	0,73	0:38	0,64	0:27	0,45	0:16	0,27	0:13	0,23	0:10	0,18

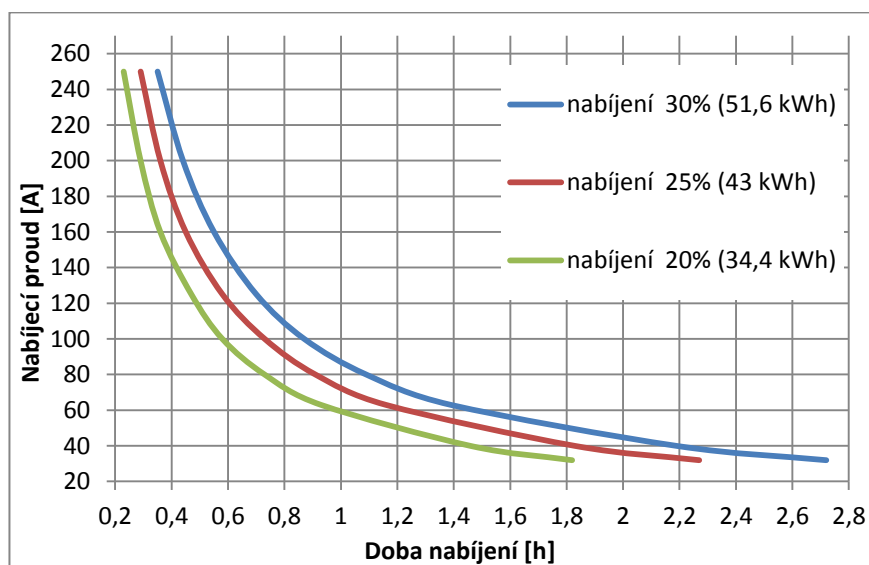
Zdroj:[7, Autor]

Na obr. č. 4.10 jsou zobrazeny časy nabíjení pro získání 50, 70 a 80% elektrické energie, elektrickými proudy od 16 A do 63 A.



Obr. č. 4.10: Doby nabíjení trakčních akumulátorů Zdroj:[7, Autor]

Na obr. č. 4.11 jsou zobrazeny časy nabíjení pro získání 20, 25 a 30% elektrické energie, elektrickými proudy od 16 A do 250 A. Tyto režimy slouží pro rychlé nabití části elektrické energie a možnosti pokračovat v jízdním výkonu během dne.



Obr. č. 4.11: Doby nabíjení trakčních akumulátorů Zdroj:[7, Autor]

4.5 Dojezdy elektrobusů

V tabulce číslo 4.4 jsou uvedeny jednotlivé dojezdy elektrobusu SOR EBN 10,5 v závislosti na spotřebě elektrické energie z akumulátorů a jejich poklesu elektrické energie. Hodnoty poklesu elektrické energie o 100% nesmí být z důvodu razantního snížení životnosti akumulátorů dosaženo.

Dojez elektrobusu

$$l_d = \frac{C_{AKU}}{S_{el. en. 1 km}} [km] \quad [\text{Autor}] (4.1)$$

kde:

l_d	[km]	dojezd elektrobusu
C_{AKU}	[kWh]	kapacita akumulátoru
$S_{el.en.1 km}$	[kWh·km ⁻¹]	spotřeba elektrické energie na jeden kilometr

Dojez elektrobusu, (Podle vztahu (4. 5), hodnota 34,4 kWh; 0,6 kWh·km⁻¹)

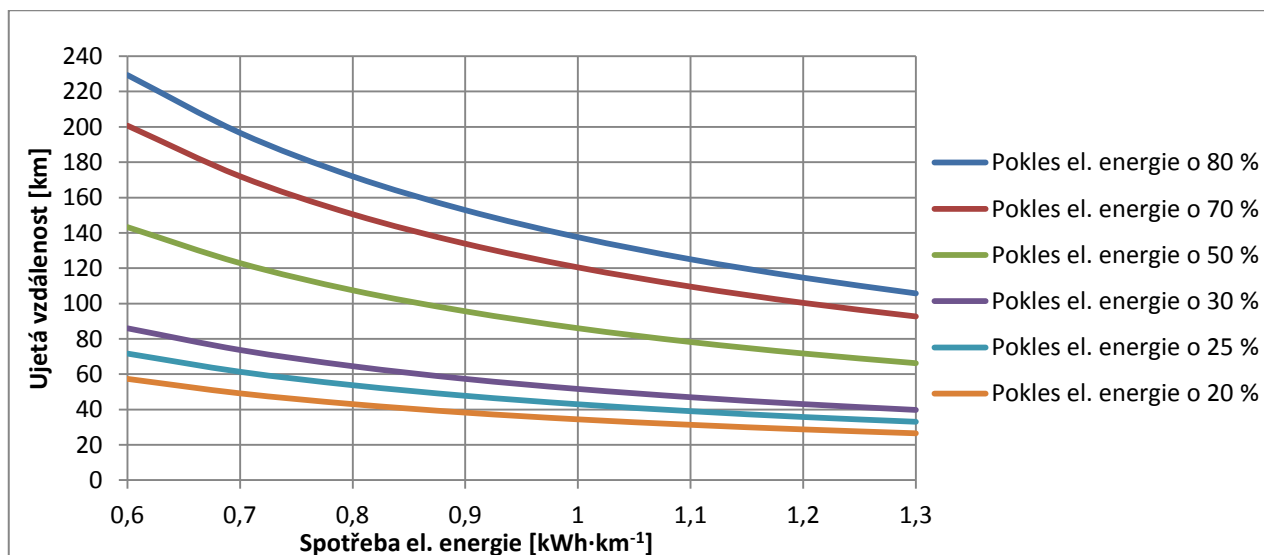
$$l_d = \frac{C_{AKU}}{S_{el. en. 1 km}} = \frac{34,4}{0,6} = 57,3 km$$

Tab. č. 4.4: Dojezd elektrobusu při jednotlivých spotřebách elektrické energie

Pokles el. energie o [%]	20	25	30	50	70	80	100
Kapacita [kWh]	34,4	43	51,6	86	120,4	137,6	172
Spotřeba el. energie [kWh·km ⁻¹]	Dojezd [km]						
0,6	57,3	71,7	86	143,3	200,7	229,3	Oblast snižující životnost akumulátoru
0,7	49,1	61,4	73,7	122,9	172	196,6	
0,8	43	53,8	64,5	107,5	150,5	172	
0,9	38,2	47,8	57,3	95,6	133,8	152,9	
1	34,4	43	51,6	86	120,4	137,6	
1,1	31,3	39,1	46,9	78,2	109,5	125,1	
1,2	28,7	35,8	43	71,7	100,3	114,7	
1,3	26,5	33,1	39,7	66,2	92,6	105,8	

Zdroj:[7, Autor]

Pro větší přehlednost jsou jednotlivé hodnoty dojezdů elektrobusu z Tab. č. 4.4 zobrazeny graficky na obr. č. 4.12. Například při spotřebě elektrické energie 0,9 kWh·km⁻¹ a poklesu elektrické energie akumulátorů o 51,6 kWh je dojezd vozidla přibližně 57 km. Při poklesu elektrické energie o 137,6 kWh a shodné spotřebě je však dojezd už asi 152 km.



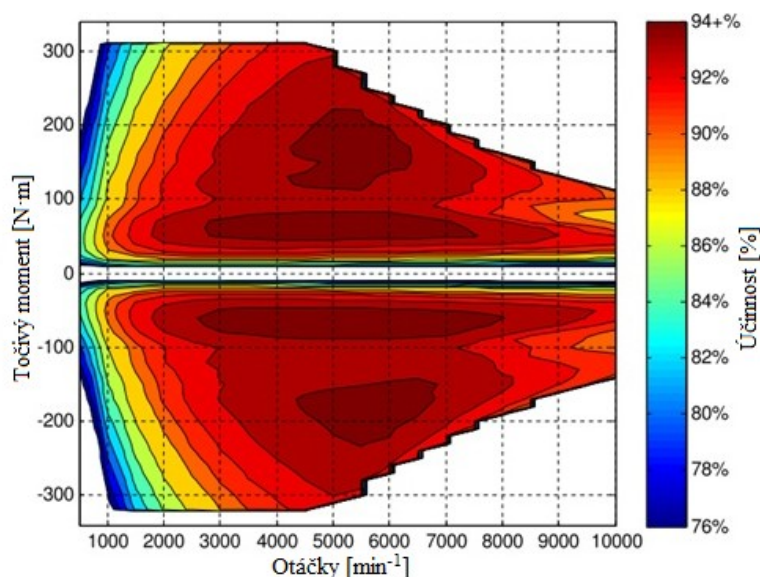
Obr. č. 4.12: Dojezd elektrobuse při jednotlivých spotřebách el. energie Zdroj:[7, Autor]

4.6 Rekuperace kinetické energie

Při udržování požadované rychlosti vozidla, jeho častém zpomalování, nebo zastavování je výhodné využít rekuperaci kinetické energie. Při rekuperaci dochází k přeměně části kinetické energie na jinou formu energie, kterou lze následně opět využít na rozjezd, jízdu, nebo napájení elektrických spotřebičů tohoto vozidla. Tato pohybová energie je u vozidel bez aplikace tohoto zařízení mařena v brzdové soustavě vozidla. U elektromobilů se tato kinetická energie nejčastěji mění na energii elektrickou. K této přeměně dochází v elektrickém motoru, který ale pracuje v režimu generátoru. Do činnosti je rekuperace pohybové energie uvedena na základě pokynů z řídicí jednotky. Energie poté proudí přes invertor, kde je upravena na požadované parametry a dále je uskladněna v trakčních akumulátorech. Při částečném sešlápnutí brzdového pedálu je rekuperace aktivována, při požadavku na větší brzdné zpomalení je aktivováno i provozní brzdění vozidla. Tímto jízdním režimem zároveň dochází k nižšímu opotřebení brzdové soustavy a vzniku prachových částic z brzdového obložení. Tuto rekuperaci lze tedy s výhodou použít u vozidel městské hromadné dopravy, kde dochází k častému zastavování a rozjíždění vozidel. Podle dosavadních výsledů, při použití trakčního třífázového asynchronního elektrického motoru, je touto rekuperací přeměněno a opět následně využito až třicet procent původní pohybové energie. [7]

Elektrobusey SOR EBN 10,5 jsou pro pohon vybaveny asynchronními motory. Účinnost rekuperace kinetické energie je přibližně 30%. Tato hodnota je již uvedena včetně mechanických i elektrických účinností systému. Vyšší hodnotu s asynchronním pohonem

pravděpodobně nebude možné získat. Synchronní motory mají obecně lepší účinnost, než motory asynchronní. Účinnost synchronního motoru obr. č. 4.12 dosahuje přibližně od 700 otáček za minutu vysoké hodnoty účinnosti. Takto vysoká účinnost je až do maximálních otáček motoru, to znamená více jak 90% rozsahu provozních otáček. V případě použití synchronního motoru pro pohon vozidla, by ale bylo nutné pohon doplnit převodovkou. Nabízí se však otázka, jakou by měla dodaná převodovka účinnost.[11]



Obr. č. 4.12: Účinnost synchronního elektromotoru Zdroj:[7]

Pro určení skutečné spotřeby elektrobuse SOR EBN 10,5 se provedly kontrolní jízdy na lince číslo 38. Při této zkoušce bylo celkem zaznamenáno deset jízd, pět jízd jedním směrem a pět jízd druhým směrem. V prvním směru z Hranečnicku na zastávku Bartovice, tato vzdálenost byla 8,66 km. Ve druhém směru z Bartovic do Hranečnicku, vzdálenost této jízdy byla 7,905 km. Hodnoty byly zaznamenány pomocí zařízení zaznamenávající spotřebu elektrické energie z trakčních akumulátorů a energii opět získanou rekuperací. Tyto hodnoty byly přepočítány na jeden ujetý kilometr. Následně bylo možné výpočtem určit účinnost rekuperace kinetické energie elektrobuse SOR EBN 10,5. Hodnoty jsou uvedeny v Tab. č. 4.5.[8]

Spotřeba elektrické energie na jeden kilometr

$$S_{el.en.1 km} = \frac{S_{el.en.l}}{l} \quad [kWh \cdot km^{-1}] \quad \text{[Autor] (4.2)}$$

kde:

$S_{el.en.1 km}$	$[kWh \cdot km^{-1}]$	spotřeba elektrické energie na jeden kilometr
$S_{el.en.l}$	$[kWh]$	spotřeba elektrické energie

l [km] ujetá vzdálenost

Energie energie získaná na jednom kilometru

$$R_{el.en.1 km} = \frac{R_{el.en.l}}{l} [kWh \cdot km^{-1}] \quad [\text{Autor}] (4.3)$$

kde:

$R_{el.en.1 km}$ [kWh·km⁻¹] rekuperace elektrické energie na jeden kilometr
 $R_{el.en.l}$ [kWh] rekuperace elektrické energie
l [km] ujetá dráha

Výsledná spotřeba elektrické energie

$$S_{výsl.1km} = S_{el.en.1 km} - R_{el.en.1 km} [kWh \cdot km^{-1}] \quad [\text{Autor}] (4.4)$$

kde:

$S_{výsl.1km}$ [kWh·km⁻¹] výsledná spotřeba elektrické energie
 $S_{el.en.1 km}$ [kWh·km⁻¹] spotřeba elektrické energie na jeden kilometr
 $R_{el.en.1 km}$ [kWh·km⁻¹] rekuperace elektrické energie na jeden kilometr

Účinnost rekuperace

[Autor] (4.5)

$$\eta_{Rekup.} = \frac{R_{el.en.1 km}}{S_{el.en.1 km}} \cdot 100 [\%]$$

kde:

$\eta_{Rekup.}$ [%] účinnost rekuperace
 $R_{el.en.1 km}$ [kWh·km⁻¹] rekuperace elektrické energie na jeden kilometr
 $S_{el.en.1 km}$ [kWh·km⁻¹] spotřeba elektrické energie na jeden kilometr

Spotřeba elektrické energie na jeden kilometr, (Podle vztahu (4.1), Tab. č. 4.5, 1. řádek)

$$S_{el.en.1 km} = \frac{S_{el.en.l}}{l} = \frac{10,782}{7,905} = 1,364 kWh \cdot km^{-1}$$

Energie získaná rekuperací na jednom kilometru, (Podle vztahu (4.2), Tab. č. 4.5, 1. řádek)

$$R_{el.en.1 km} = \frac{R_{el.en.l}}{l} = \frac{3,715}{7,905} = 0,470 kWh \cdot km^{-1}$$

Výsledná spotřeba elektrické energie, (Podle vztahu (4.3), Tab. č. 4.5, 1. řádek)

$$S_{výsl.1km} = S_{el.en.1 km} - R_{el.en.1 km} = 1,364 - 0,470 = 0,894 kWh \cdot km^{-1}$$

Účinnost rekuperace, (Podle vztahu (4.4), Tab. č. 4.5, 1. řádek)

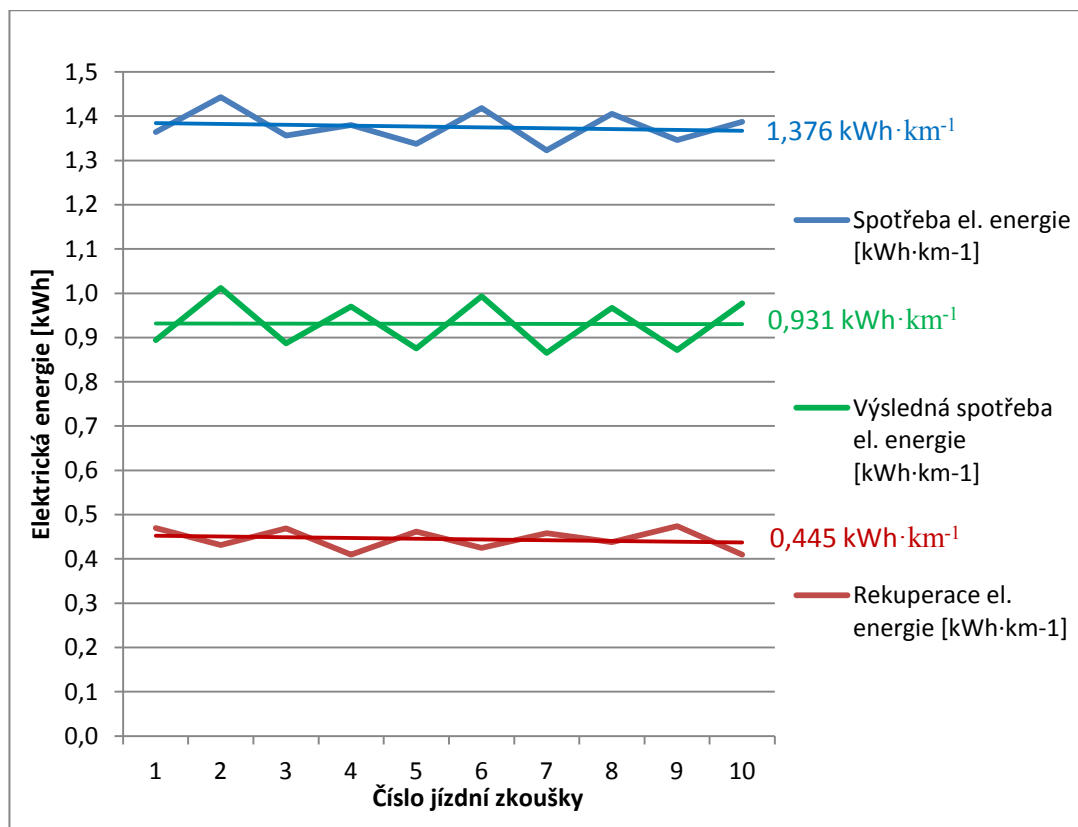
$$\eta_{Rekup.} = \frac{R_{el.en.1 km}}{S_{el.en.1 km}} \cdot 100 = \frac{0,470}{1,364} \cdot 100 = 34,5 \%$$

Tab. č. 4.5: Účinnost rekuperace kinetické energie elektrobuse

Směr jízdy	Dráha l [km]	Spotřeba el. energie l [kWh]	Rekuperace el. energie l [kWh]	Spotřeba el. energie [kWh·km ⁻¹]	Rekuperace el. energie [kWh·km ⁻¹]	Výsledná spotřeba el. energie [kWh·km ⁻¹]	Účinnost rekuperace [%]
Hranečnick	7,905	10,782	3,715	1,364	0,470	0,894	34,5
Bartovice	8,660	12,496	3,732	1,443	0,431	1,012	29,9
Hranečnick	7,905	10,719	3,707	1,356	0,469	0,887	34,6
Bartovice	8,660	11,951	3,551	1,380	0,410	0,970	29,7
Hranečnick	7,905	10,569	3,652	1,337	0,462	0,875	34,6
Bartovice	8,660	12,280	3,681	1,418	0,425	0,993	30,0
Hranečnick	7,905	10,458	3,620	1,323	0,458	0,865	34,6
Bartovice	8,660	12,167	3,793	1,405	0,438	0,967	31,2
Hranečnick	7,905	10,640	3,747	1,346	0,474	0,872	35,2
Bartovice	8,660	12,011	3,551	1,387	0,410	0,977	29,6
Průměrné hodnoty	-	11,407	3,675	1,376	0,445	0,931	32,4

Zdroj:[8, Autor]

Na obr. č. 4.13 je znázorněn graf jednotlivých hodnot toku elektrické energie. Tento graf byl sestaven z hodnot v tabulce č. 4.5. Hodnoty označeny jako *Spotřeba el. energie* znázorňují spotřebu elektrické energie provozem elektromobilu, hodnoty jsou uvedeny na jeden ujetý kilometr. Hodnoty průběhu označeny jako *Rekuperace el. energie* znázorňují energii získanou v režimu rekuperace kinetické energie, kterou byly v průběhu jízdy nabity akumulátory. Tyto hodnoty jsou opět vyjádřeny na jeden ujetý kilometr vozidla. Poslední, tedy třetí průběh znázorňuje hodnoty výsledné spotřeby elektrické energie. Výsledná spotřeba elektrické energie elektrobuse je rozdíl spotřebované a opět získané elektrické energie na jednom kilometru.[Autor]



Obr. č. 4.13: Účinnost rekuperace kinetické energie elektrobuse Zdroj:[Autor]

4.7 Pokles kapacity článků elektrobuse SOR EBN 10,5

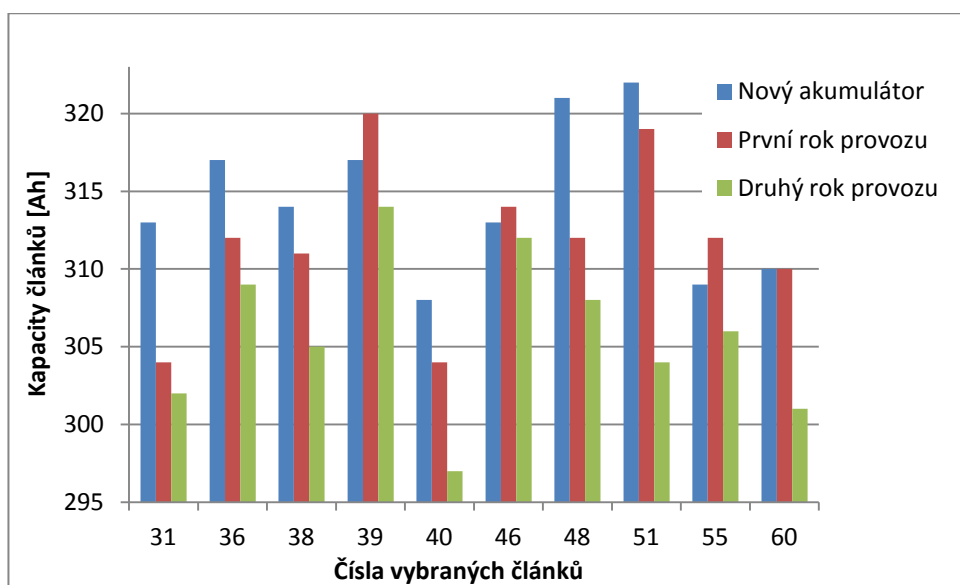
Ověření kapacity akumulátorů na elektrobuse SOR EBN 10,5 s evidenčním číslem 5001 bylo provedeno dodavatelem trakčních akumulátorů, tedy společností EVC Group s.r.o. Cyklování probíhalo vybíjením a nabíjením 1/3C proudu dle výrobce článků (100 A pro 300 Ah články). Pro úsporu a urychlení zjištění aktuální kapacity, byl vybrán jeden bateriový vozík ze šesti, konkrétně číslo 2 a v něm namátkově 10 článků s vyšší, střední a menší počáteční kapacitou, která byla zjištěna při nových člancích. Výsledky jsou uvedeny v tab. č. 4.6. [Auror, 11]

Tab. č. 4.6: Hodnoty z měření poklesu kapacity článků akumulátoru

Číslo článku	Kapacita [Ah]		
	2. 2010 (Nové)	21. 6. 2011	30. 5. 2012
31	313	304	302
36	317	312	309
38	314	311	305
39	317	320	314
40	308	304	297
46	313	314	312
48	321	312	308
51	322	319	304
55	309	312	306
60	310	310	301
Průměrná hodnota [Ah]	314,4	311,8	305,8
Pokles kapacity* [%]	-	0,83	2,74
Pokles kapacity* [Ah]	-	2,6	8,6

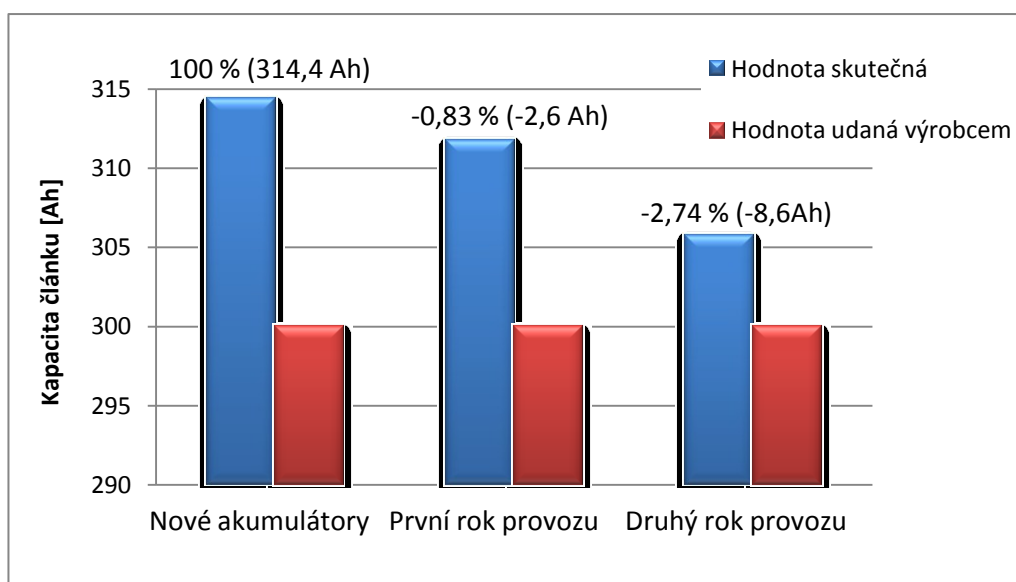
*Pokles kapacity z průměrné hodnoty nového akumulátoru *Zdroj: [Autor, 11]*

Vozidlo během prvních dvou let provozu najelo 59 800 km. Při cyklování 30. 5. 2012 byly články připojeny na stejné cyklovače jako 21. 6. 2011, pro přesnější vyhodnocení od posledního měření. Dne 30. 5. 2012 proběhlo cyklování deseti článků z boxu číslo 2, byly vybrány shodné články jako 21. 6. 2011. Chyba měření jednotlivých cyklovačů mezi sebou je $\pm 3\%$, tzn. pro 300 Ah baterie ± 9 Ah. Chyba opakovaného měření jednoho cyklovače je $\pm 1\%$, tzn. pro 300 Ah článek ± 3 Ah, pro každý článek byly 30. 5. 2012 provedeny tři měření a zprůměrovány. Z výše uvedených měření a poznámek je stanoven celkový průměrný pokles kapacity po dvou letech provozu. Hodnoty byly zprůměrovány a vyhodnotil se pokles celkového průměru, který činí 2,74% což je 8,6 Ah. Na obr. č. 4.14 je uveden graf, který byl sestaven z hodnot tab. č. 4.6 podle jednotlivých fází měření. [Autor, 11]



Obr. č. 4.14: Kapacity měřených článků Zdroj:[Autor]

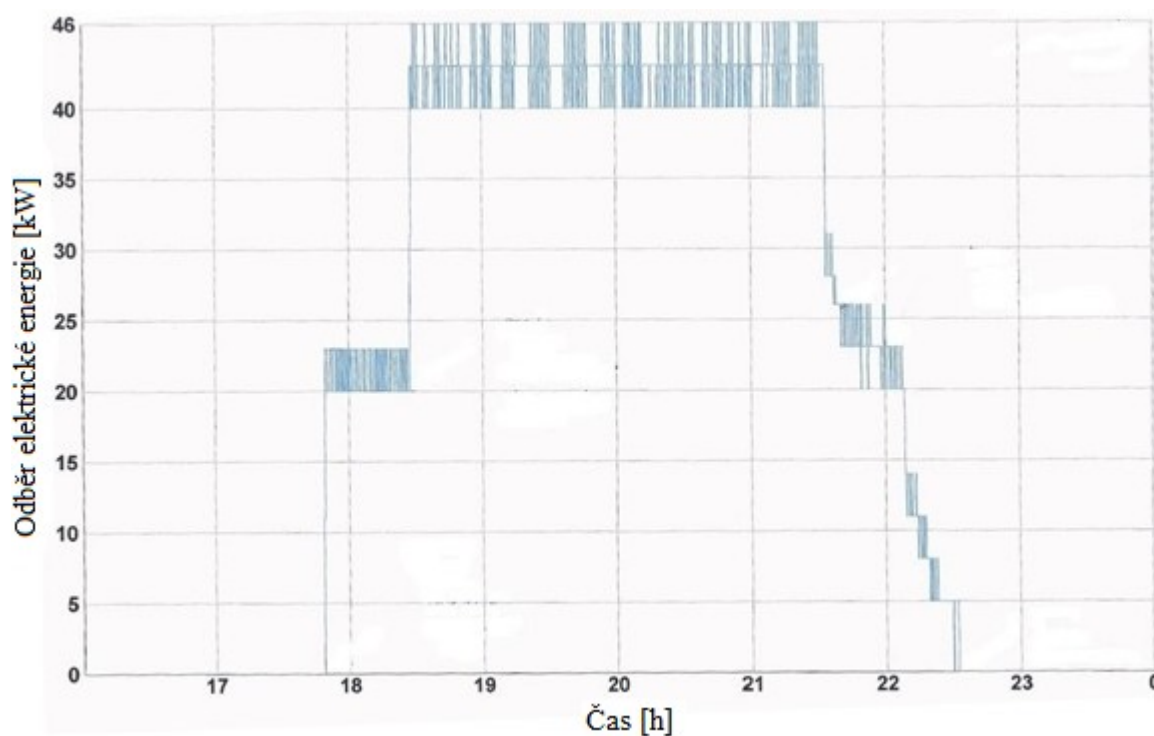
Z těchto naměřených hodnot byly dále výpočtem určeny průměrné hodnoty za jednotlivá období a pro větší názornost byl z těchto dat vytvořen graf, který je na obr. č. 4.15. Tyto jednotlivé hodnoty jsou zároveň porovnány s hodnotami, které udává výrobce. Z grafu je patrné, že skutečné hodnoty jsou o něco vyšší, než hodnoty udávané výrobcem, důvodem jsou jisté záruční podmínky.



Obr. č. 4.15: Průměrné kapacity měřených článků Zdroj:[Autor]

4.8 Popis jednotlivých průběhů nabíjení elektrobusů

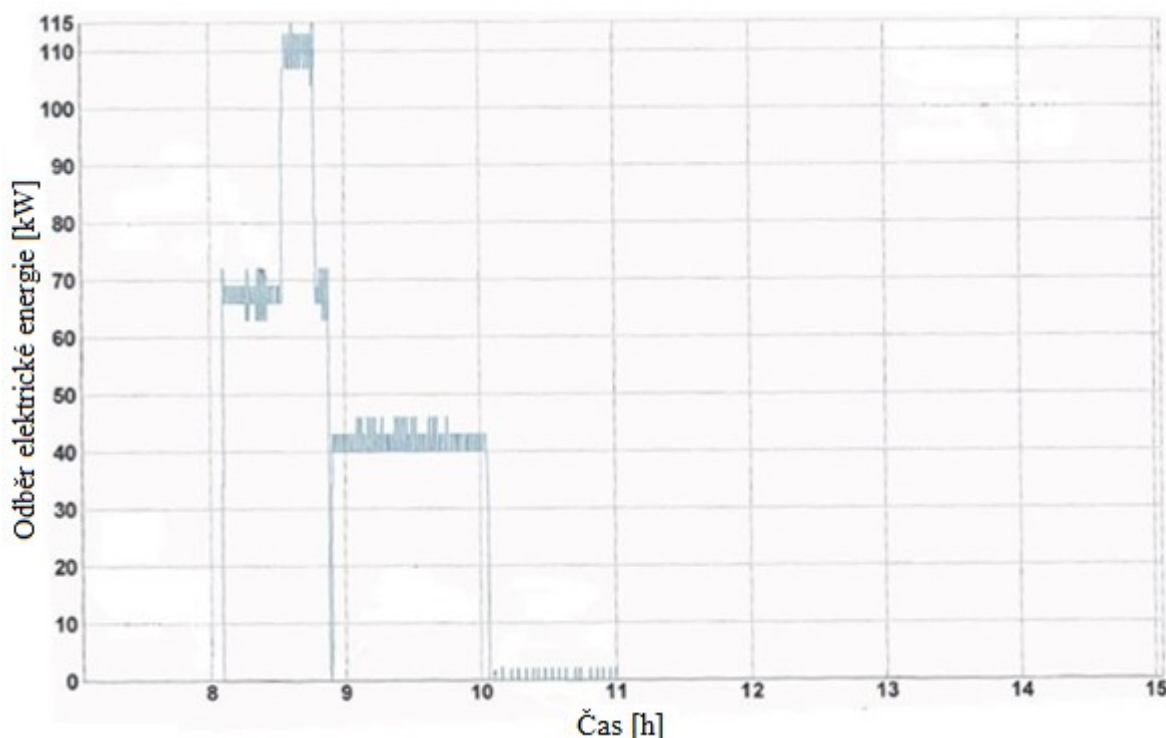
Průběh nabíjení obr. č. 4.16. Začátek nabíjení před osmnáctou hodinou vozidla s evidenčním číslem 5004, stav nabití akumulátoru 54%, hodnota elektroměru 70 837,2 kWh. Stav počítadla ujeté vzdálenosti 96 217 km, nabíjeno elektrickým proudem 32 A, zatížení elektrické sítě přibližně 20 až 23 kW. Po osmnácté hodině začátek nabíjení vozidla 5003 se stavem nabití akumulátoru 52%. Stav elektroměru na začátku nabíjení 133 081,3 kWh a stav počítadla ujeté vzdálenosti 96 765 km. Nabíjeno elektrickým proudem o velikosti 32A. Zatížení elektrické sítě asi 43 kW. Po dvacáté první hodině elektrobus číslo 5004 nabit téměř na hodnotu 100%, do dvacáté druhé hodiny se pohybuje zatížení elektrické sítě od 31 kW do asi 26 kW. Ve 22 je elektrobus číslo 5004 nabit na hodnotu 100%, stav elektroměru je 70 914,1 kWh. Zatížení elektrické sítě na hodnotě 20 až 23 kW, postupně klesá. Po dvacáté druhé hodině je elektrobus číslo 5003 nabit na 100%, elektrická síť není zatížena, stav elektroměru je 133 159 kWh. [Autor]



Obr. č. 4.16: Zatížení elektrické sítě Zdroj:[Autor, 8]

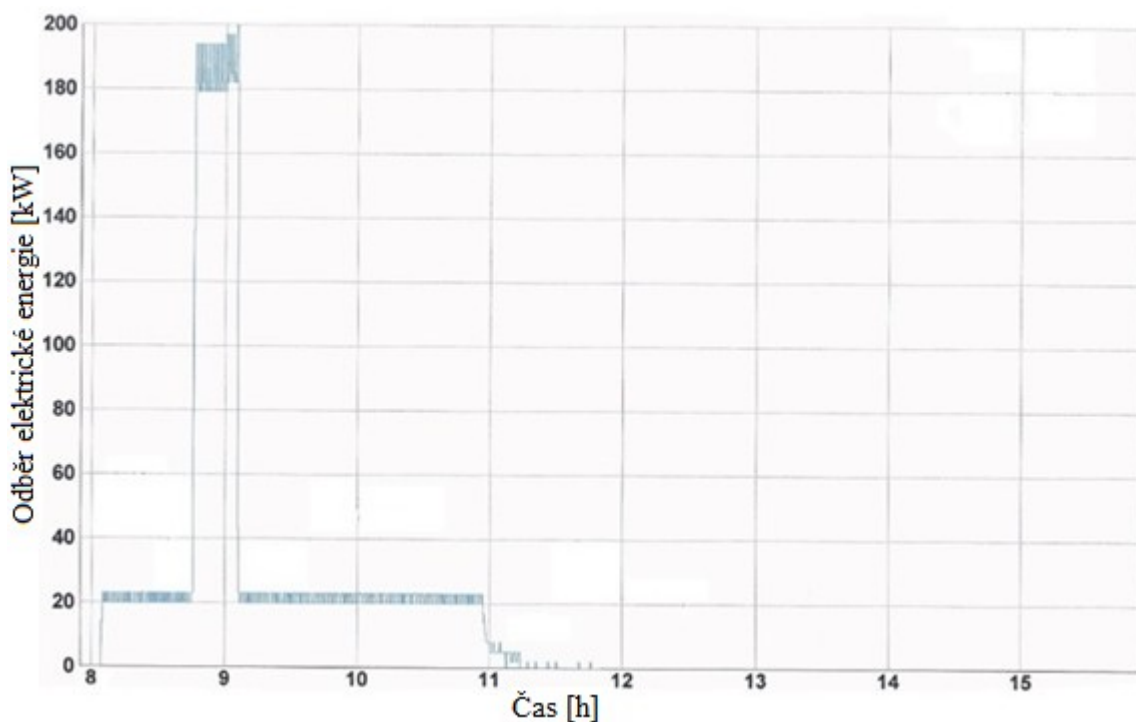
Průběh nabíjení obr. č. 4.17. Po osmé hodině začátek nabíjení elektrobusu 5003 elektrickým proudem 100 A, stav elektroměru před nabíjením 133 031,4 kWh, stav nabití akumulátorů 66%. Stav počítadla ujeté vzdálenosti 96 665 km. Hodnota zatížení elektrické sítě asi 68 kW. Asi o půl deváté zapojení rychlého nabíjení elektrobusu 5004, stav

elektroměru 70 781,7 kWh. Stav nabití akumulátoru 65%. Zatížení elektrické sítě na hodnotě asi 107 až 113 kW. Před devátou hodinou ukončení rychlého nabíjení elektrobuse 5003, stav elektroměru 133 081,3 kWh, stav nabití akumulátoru 97%. Pokles zatížení elektrické sítě na okamžik na nulovou hodnotu, poté na hodnotu 40 až 43 kW. Po desáté hodině dochází k nabití i elektrobuse 5004. Mezi desátou a jedenáctou hodinou připojen elektrobuse 5003. Hodnota zatížení sítě při kontrolním připojení odpovídá asi 3 kW. [Autor]



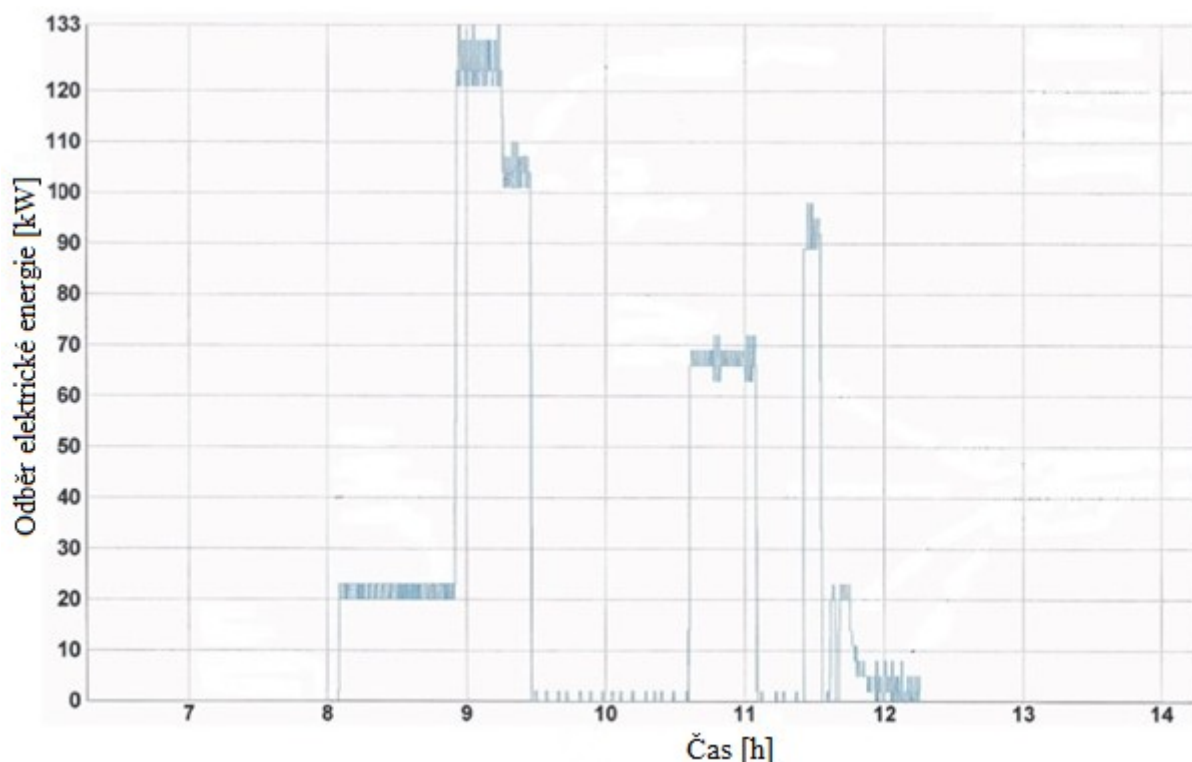
Obr. č. 4.17:Zatížení elektrické sítě Zdroj:[Autor, 8]

Průběh nabíjení obr. č. 4.18. Po osmé hodině začátek nabíjení elektrobuse 5003 elektrickým proudem 32 A. Stav elektroměru 133 159 kWh, hodnota nabití akumulátoru 63%. Počítadlo ujeté vzdálenosti 96 841 km. Zatížení elektrické sítě asi 21 kW. Před devátou hodinou začátek nabíjení elektrobuse 5004 elektrickým proudem 245 A. Hodnota nabití akumulátoru 64% a zatížení elektrické sítě přibližně 190 kW. Po deváté hodině ukončeno nabíjení elektrobuse 5004. Hodnota nabití akumulátoru 96%, stav elektroměru 70 965,8 kWh. Pokračuje nabíjení vozidla 5003, síť zatížena na hodnotě 21 kW. Před jedenáctou hodinou ukončení nabíjení a následné balancování akumulátoru. Stav nabití akumulátoru 100% a stav elektroměru 133 218,6 kWh. [Autor]



Obr. č. 4.18: Zatížení elektrické sítě Zdroj:[Autor,8]

Průběh nabíjení obr. č. 4.19. Po osmé hodině začátek nabíjení elektrobuse 5003 elektrickým proudem 32 A. Stav počítadla ujeté vzdálenosti 97 017 km, stav elektroměru 133 302,7 kWh. Nabití akumulátoru na hodnotě 66%. Před devátou hodinou začátek nabíjení elektrobuse 5004 elektrickým proudem 150 A, stav nabití akumulátoru 64%. Stav elektroměru 71 051,9 kWh, stav počítadla ujeté vzdálenosti 96 474 km. Zatížení elektrické sítě 130 kW. Po deváté hodině přerušení nabíjení vozidla 5003 pokles zatížení sítě na hodnotu 105 kW. Poté ukončení nabíjení 5004, stav nabití akumulátoru 98%, stav elektroměru 71 104,9 kWh. V čase od půl desáté do půl jedenácté připojen elektrobuse 5003 bez nabíjení. O půl jedenácté nabíjení 5003 elektrickým proudem 100 A, zatížení sítě asi 68 kW. Konec nabíjení tohoto elektrobuse po jedenácté hodině, nabití akumulátoru 98% a stav elektroměru 133 356,9 kWh. V čase asi o půl dvanácté nabíjení elektrobuse 5001 elektrickým proudem 120 A, poté rychlé nabíjení ukončeno a následovalo pomalé nabíjení 32 A následně balancování akumulátoru. [Autor]



Obr. č. 4.19: Zatížení elektrické sítě Zdroj:[Autor, 8]

Další bodem této práce je ověřit, zda mají odlišné režimy nabíjení vliv na provozní vlastnosti elektrobuseů SOR EBN 10,5. Režimy nabíjení je myšlena kombinace rychlého a pomalého nabíjení a pouze pomalého nabíjení elektrobuseu. Zpracované hodnoty poskytl z provozu elektrobuseů číslo 5002 a 5004 Dopravní podnik Ostrava a.s., jsou uvedeny v tab. č. 4.7 a tab. č. 4.8. V textu jsou pouze části tabulek, kompletní tabulky jsou uvedeny v příloze. Elektrobuse číslo 5002 nabíjen pouze pomalým režimem nabíjení a elektrobuse číslo 5004 nabíjen kombinovaným režimem. Hodnoty pochází ze shodného provozu. Nabíjení akumulátoru je ovlivněno napětím článku. Provozními vlastnostmi jsou myšleny spotřeba elektrické energie z akumulátorů a s tím související dojezd elektrobuseů v závislosti na procentuálním poklesu energie v akumulátoru. První metodou hodnocení je test hypotézy o shodě dvou středních hodnot. Jedná se o parametrický test, jehož předpokladem je zpracování dat z normálního rozdělení. Po následném ověření normality dat testem dobré shody, použitím Pearsonův χ^2 testu dobré shody, však nebylo potvrzeno, že hodnoty pochází z normálního rozdělení. Proto je použit neparametrický test srovnávající mediány dvou populací, tento test se nazývá Mannův – Whitneyův test. [12]

4.9 Mannův – Whitneyův test

Jedná se o neparametrický Mannův – Whitneyův test, testující shodu mediánů. Nezávislé výběry X_1, X_2, \dots, X_{n_1} a Y_1, Y_2, \dots, Y_{n_2} . Výběr nutno označit $n_1 \geq n_2$.

Tímto testem se testuje nulová hypotéza o shodě mediánu.

$$H_0 : x_{0,5} = y_{0,5}$$

proti jednomu z těchto tvarů H_1 :

$$x_{0,5} < y_{0,5}, \quad (1)$$

$$x_{0,5} > y_{0,5}, \quad (2)$$

$$x_{0,5} \neq y_{0,5}. \quad (3)$$

Tato volba záleží na vztazích mezi mediány výběru. V případě, kdy je $\tilde{x}_{0,5}$ výrazně nižší, než $\tilde{y}_{0,5}$, platí alternativa (1). V případě, kdy je $\tilde{x}_{0,5}$ výrazně vyšší, než $\tilde{y}_{0,5}$, platí alternativa (2). Jsou-li $\tilde{y}_{0,5}$ výrazně blíže $\tilde{y}_{0,5}$, platí alternativa (3).

Postup výpočtu testového kritéria:

Hodnoty $n_1 + n_2$ z výběrů X_1, X_2, \dots, X_{n_1} a Y_1, Y_2, \dots, Y_{n_2} uspořádat vzestupně, hodnotám přiřadit pořadí tak, že minimální hodnotě náleží 1, maximální hodnotě náleží $n_1 + n_2$, v případě shodných hodnot pořadí provést tzv. průměrné pořadí. Značení T_1 suma pořadí hodnot X_1, X_2, \dots, X_{n_1} a T_2 suma pořadí hodnot Y_1, Y_2, \dots, Y_{n_2} .

Platí, že $T_1 + T_2 = 2 \cdot (n_1 + n_2) \cdot (n_1 + n_2 + 1)$.

Výpočet statistiky

$$U_1 = n_1 \cdot n_2 + \frac{n_1 \cdot (n_1 + 1)}{2} - T_1 \quad [12] (4.6)$$

$$U_2 = n_1 \cdot n_2 + \frac{n_2 \cdot (n_2 + 1)}{2} - T_2 \quad [12] (4.7)$$

(Platí, že $U_1 + U_2 = n_1 \cdot n_2$)

Testové kritérium pak určíme jako: $T(X, Y) = \min(U_1, U_2)$, [12] (4.8)

za předpokladu platnosti H_0 rozdělení, kritické hodnoty bývají zobrazeny ve speciálních tabulkách. V případě je-li hodnota testového kritéria nižší, nebo rovna kritické hodnotě, nulová hypotéza je zamítnuta. [12]

Nejprve bylo provedeno ověření spotřeby elektrobusů, názorné hodnoty částí tabulek jsou uvedeny v tab. č. 4.7 a v tab. č. 4.8. Tabulky jsou z důvodu úspory místa v práci uvedeny v příloze č. 11 až 14 v Tab. č. 11p až 14p. Jsou vybrány hodnoty z března 2013. Rozsah výběru je vybrán tak, aby byl zachován podobný počet zaznamenaných hodnot.

Tab. č. 4.7: Provozní hodnoty SOR EBN 10,5 5004

Elektrobus SOR EBN 10,5 5004, Březen 2013									
Převod z Února 2013. Stav záznamu ujeté dráhy: 84 131 km; stav elektroměru: 59 870,8 kW; stav akumulátorů 100%									
	Ujetá dráha		Elektroměr		Akumulátor		Hodnocení		
Datum	Začátek jízdy [km]	Konec jízdy [km]	Začátek nabíjení [kW·h]	Konec nabíjení [kW·h]	Začátek nabíjení [%]	Konec nabíjení [%]	Pokles energie [%]	Spotřeba energie [kWh·km ⁻¹]	Dojezd [km·% ⁻¹]
1.3.	84131	84207	59070,8	59134,5	58	100	42	0,8382	1,8095
1.3.	84207	84304	59934,5	60028,5	44	100	56	0,9691	1,7321
2.3.	84304	84399	60028,5	60092	53	91	47	0,8267	2,0213
2.3.	84399	84473	60092	60153,6	57	90	34	0,8577	2,1765
2.3.	84473	84548	60153,6	60229,8	53	100	37	0,7998	2,0270

Zdroj:[Autor]

Tab. č. 4.8: Provozní hodnoty SOR EBN 10,5 5002

Elektrobus SOR EBN 10,5 5002, Březen 2013									
Převod z Února 2013. Stav záznamu ujeté dráhy: 77 972 km; stav elektroměru: 40 493,5 kW; stav akumulátorů 60%									
	Ujetá dráha		Elektroměr		Akumulátor		Hodnocení		
Datum	Začátek jízdy [km]	Konec jízdy [km]	Začátek nabíjení [kW·h]	Konec nabíjení [kW·h]	Začátek nabíjení [%]	Konec nabíjení [%]	Pokles energie [%]	Dojezd [km·% ⁻¹]	Spotřeba energie [kWh·km ⁻¹]
1.3.	77972	78006	127554,5	127587,0	70	84	10	3,4000	0,9559
2.3.	78006	78012	127587,0	127648,9	58	95	26	0,2308	10,3167
20.3.	78012	78077	40537,8	40607,8	58	100	37	1,7568	1,0769
20.3.	78077	78179	40607,8	40719,6	40	99	60	1,7000	1,0961

Zdroj:[Autor]

Podmínkou testu je zvolit výběr $n_1 \geq n_2$, tedy n_1 rovno 23 (označení X) a n_2 rovno 19 (označeno Y). Alternativní hypotéza, hodnoty shody mediánů: $H_0 x_{0,5} = y_{0,5}$. Alternativní hypotéza $H_1: x_{0,5} > y_{0,5}$ (podle tvaru viz výše – porovnání mediánů, uvedeno v příloze číslo 15, Tab. č. 15p.). Hodnoty obou výběrů jsou barevně odlišeny, sloučeny a seřazeny vzestupně. Poté jsou provedeny součty pořadí odlišených souborů. Tyto sumy jsou již hodnoty T_1 a T_2 . T_1 je rovno hodnotě 477 a T_2 je rovno hodnotě 426. Dále je proveden výpočet U_1 a U_2 , podle 4.6 a 4.7.

$$U_1 = n_1 \cdot n_2 + \frac{n_1 \cdot (n_1 + 1)}{2} - T_1 = 23 \cdot 19 + \frac{23 \cdot (23 + 1)}{2} - 477 = 236$$

$$U_2 = n_1 \cdot n_2 + \frac{n_2 \cdot (n_2 + 1)}{2} - T_2 = 23 \cdot 19 + \frac{19 \cdot (19 + 1)}{2} - 426 = 201$$

$$T(X, Y) = \min(U_1, U_2) = \min(236, 201) = 201$$

Dále je provedeno porovnání hodnoty testového kritéria s kritickou hodnotou. Kritická hodnota pro tento rozsah je uvedena ve statistických tabulkách, hodnota pro rozsah $n_1=23$, $n_2=19$ činí 140.

Závěr: Pozorovaná hodnota testové statistiky vychází vyšší, než kritická hodnota, na hladině významnosti 0,05 nezamítáme nulovou hypotézu, vliv nabíjecího režimu tedy nemá vliv na spotřebu elektrické energie.

Shodným postupem je řešen dojezd elektrobuse. Alternativní hypotéza, hodnoty shody mediánů: $H_0 x_{0,5} = y_{0,5}$. Alternativní hypotéza $H_1: x_{0,5} \neq y_{0,5}$. Hodnoty součtů pořadí T_1 a T_2 . T_1 rovno 505 a T_2 rovno 398. Dále je proveden výpočet U_1 a U_2 , podle 4.6 a 4.7. Příloha číslo 16, Tab. č. 16p.

$$U_1 = n_1 \cdot n_2 + \frac{n_1 \cdot (n_1 + 1)}{2} - T_1 = 23 \cdot 19 + \frac{23 \cdot (23 + 1)}{2} - 505 = 208$$

$$U_2 = n_1 \cdot n_2 + \frac{n_2 \cdot (n_2 + 1)}{2} - T_2 = 23 \cdot 19 + \frac{19 \cdot (19 + 1)}{2} - 398 = 229$$

$$T(X, Y) = \min(U_1, U_2) = \min(208, 229) = 208$$

Závěr: Pozorovaná hodnota testové statistiky vychází vyšší, než kritická hodnota, na hladině významnosti 0,05 nezamítáme nulovou hypotézu, vliv nabíjecího režimu tedy nemá vliv na dojezd elektrobuse.

Při statistickém testování vlivu odlišných nabíjecích režimů na spotřebu elektrické energie a dojezdu elektrobuse pomocí Mannova – Whitneyova testu mediánů nebyly v obou případech zamítnuty nulové hypotézy na hladině významnosti 0,05. Tímto testem tedy nebyl prokázán významný vliv režimu nabíjení na prověřované provozní parametry dvou testovaných elektrobuse SOR EBN 10,5. [Autor]

4.10 Napájecí zařízení 3x400V/32 A

Nabíjecí stojan od firmy Cegelec a. s. je určený pro nabíjení elektrobuse SOR EBN 10,5. Tento mobilní nabíjecí stojan nabíjí akumulátory v režimu pomalého nabíjení a to ze sítě 3x400V/32A. Po připojení zásuvky do elektrobuse, vybaveným komunikační jednotkou a kontrolními obvody, je po kontrole systému možno spustit nabíjení. Po zvolení režimu nabíjení a stisknutí tlačítka určeného pro nabíjení dojde k automatickému nabíjení trakčních akumulátorů elektrobuse. Na panelu stojanu obr. č. 4.20 během nabíjení svítí kontrolka *NABÍJENÍ* a je možné sledovat hodnotu odebrané elektrické energie na displeji elektroměru. Nabíjecí stojan umožňuje napájet topení. Nabíjení je však upřednostňováno a funkce topení je aktivována, až po ukončení nabíjení vozidla. V případě výskytu poruchy je nabíjení zastaveno a začne svítit kontrolka *PORUCHA*. Po nabití akumulátorů se rozsvítí kontrolka *NABITO* a zároveň přestane svítit kontrolka *NABÍJENÍ*. Po ukončení nabíjení se vypne hlavní vypínač a odpojí se zásuvka nabíjení z elektrobuse. [7]



Obr. č. 4.20: Nabíjecí stojan Zdroj:[7]

4.11 Nabíjecí stojan stacionární

Napájení stacionárního nabíjecího stojanu pro rychlé nabíjení je zajištěno elektrickým transformátorem o výkonu 630 kVA. Vzájemné propojení stanice a transformátoru je provedeno dvěma elektrickými vodiči s označením CYKCY 4 x 185 mm². Celkový maximální odebíraný proud z transformátoru 630 kVA je přibližně 900A. Při použití režimu rychlého nabíjení elektrickým proudem 250A dvou vozidel a současném nabíjení tří vozidel elektrickým proudem 32A. Toto nabíjení znamená celkový odebíraný elektrický proud o hodnotě 596A. Odběr areálu činí asi 230A, to znamená, že při takovémto provozu je zajištěna určitá rezerva. Parametry rozvaděče pro standardní nabíjení 3x400 V - 32 A a rychlé nabíjení použít transformátor 22 kV/4 kV. Bezpečnost při nabíjení: kontrola spojení ochranného vodiče a školení řidičů podle vyhlášky číslo 50/1978 Sb. - §4. Jedná se o nabíjecí stojan s rozvaděčem nízkého napětí pro nabíjení trakčních akumulátorů elektrobusu, který vyroben v souladu s normou ČSN EN 60 439–1 ed.2 a ČSN EN 60 439–3. Tento rozvaděč spolu s vývody pro nabíjení elektrického vozidla odpovídá funkčním vlastnostem uvedených v normách ČSN EN 61851–1, ČSN EN 61851 21 a ČSN EN 61851–22 nabíjení elektrických vozidel. Rozvaděč je opatřen dvojitou zesílenou izolací a odpovídá ochraně před elektrickým proudem dle ČSN 33 2000–4-41 ed.2 a to automatickým odpojením od zdroje v síti. Nabíjecí přívod určen pro nabíjení vozidla je v případě odpojení od vozidla bez elektrického napětí. Po spojení zásuvky a následného připojení pod napětí je přívod automaticky uveden vždy až po kontrole spojitosti ochranného vodiče. V případě jakéhokoliv narušení vedení ochranného vodiče dojde k okamžitému odpojení přípojky od elektrického napětí. K okamžitému odpojení od napětí dochází také po stisknutí tlačítka nouzového vypnutí nabíjecího stojanu, umístěného na ovládacím panelu tohoto zařízení. [8]

Tab. č. 4.9: Parametry nabíjecího stojanu

NABÍJECÍ STOJAN	
Označení	RNS
Jmenovité napětí [V]	400/230
Jmenovitá frekvence [Hz]	50
Jmenovitý proud [A]	300
Napěťová soustava	TN-C-S
Stupeň krytí	54/20S
Jmenovitý zkratový proud [kA]	10
Prostředí EMC	třída B
Rozměry V/Š/H [m]	2/0,8/0,8

Zdroj:[8]

Dimenzováním vodičů a jisticími prvky je zajištěna ochrana před tepelnými účinky nadproudů a poruchových proudů dle ČSN 33 2000–1. Toto zařízení nepředstavuje zvýšené požární riziko, doporučuje se však v blízkosti stojanu umístit sněhové nebo práškové hasicí přístroje.

Použité normy:

ČSN EN 60439–1 ed.2: Rozvaděče nn – Část 1: Typově zkoušené a částečně typově zkoušené rozvaděče

ČSN EN 60439–3: rozvaděče nn. Část 3: Zvláštní požadavky pro rozvaděče nn určené k instalaci do míst přístupných laické obsluze.

ČSN EN 61851–1: Systém nabíjení elektrických vozidel vodivým propojením-Část 1: Všeobecné požadavky

ČSN EN 61851–21 Část 21: Požadavky na elektrická vozidla pro vodivá připojení k AC/DC napájení

ČSN EN 61851–22 Část 22: AC nabíjecí stanice

ČSN EN 62196–1: Vidlice, zásuvky, vozidlová zásuvková spojení a vozidlové přívodky- Nabíjení elektrických vozidel vodivým připojením – Část 1: Nabíjení elektrických vozidel do AC 250A a DC 400A

ČSN 33 2000–4-41 ed.2: Elektrické instalace nízkého napětí – Část 4–41: Ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti – Ochrana před úrazem elektrickým proudem

ČSN 33 2000-1 ED.2: Elektrické instalace nízkého napětí – Část 1: Základní hlediska, stanovení základních charakteristik, definice

ČSN 73 0810: Požární bezpečnost staveb. Požadavky na požární odolnost stavebních konstrukcí [8]

4.12 Princip Better Place

S inovativním řešením nabíjení akumulátorů a jejich rychlou výměnou v elektromobilu přichází americká společnost Project Better Place. Jedná se o metodu založenou na principu výměny téměř vybitých trakčních akumulátorů vozidla a nahrazením předem nabitými akumulátory stejného druhu a technických parametrů. Výhodou této metody jsou nižší pořizovací náklady elektromobilu, než při nákupu vozidla s akumulátorem. Dále také nižší nároky na kapacitu akumulátorů, které mohou být menší s nižší hmotností. Nabíjení a údržbu akumulátorů umístěných v nabíjecích stanovištích bude zajišťovat vlastník trakčních

akumulátorů. Majitel vozidla by při každé výměně akumulátorů uhradil finanční náklady spojené s provozem nabíjecí stanice, tím by došlo k rozložení finančních výdajů spojených s nákupem, nabíjením a údržbou akumulátorů na delší časové období. Další výhodou této metody je náhrada akumulátorů, které již nesplňují dané požadavky novými akumulátory stejného typu. Systém elektromobilu indikuje řidiči stav nabití akumulátoru. Součástí vozidla zůstává možnost klasického dobíjení. Výměna akumulátorů netrvá déle, než načerpání paliva do vozidla se spalovacím motorem. Akumulátory jsou dobíjeny i v časech přebytku elektrické energie. Otázkou však zůstává, jaký vliv na akumulátory budou mít rozdílné způsoby jízdy řidičů elektromobilů. Dále také dostatečně rozsáhlá automatizovaná síť nabíjecích stanic s prostory pro uskladnění akumulátorů a v neposlední řadě také dostatečný počet provozuschopných akumulátorů. [38]

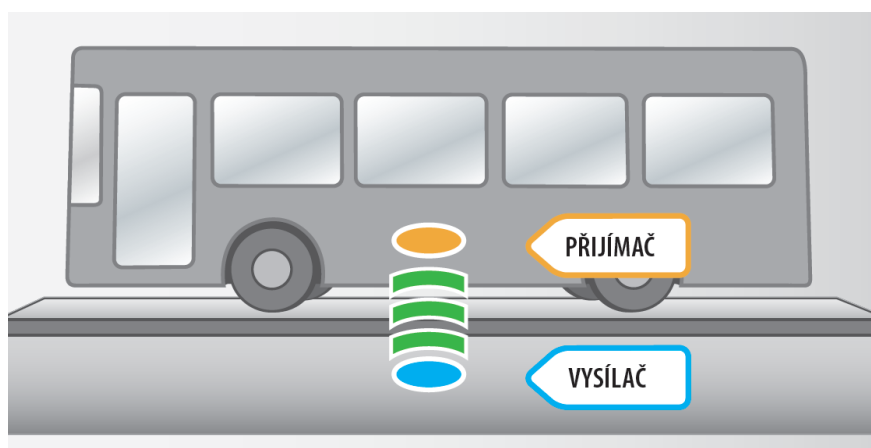
4.13 Wireless Advanced Vehicle Electrification

Společnost EDL (Energy Dynamics Laboratory) sídlící v Utahu vyvinula systém bezdrátového přenosu elektrické energie WAVE WPT (Wireless Advanced Vehicle Electrification Wireless Power Transfer). Tento systém pracuje na principu elektromagnetické indukce. Primární zařízení (vysílač) umístěné například ve vozovce, nebo jiné podložce obsahuje cívku, ve které v případě činnosti zařízení protéká střídavý elektrický proud o určitém elektrickém napětí a o frekvenci 20 kHz. Kolem této cívky vzniká magnetické pole, které se šíří vzduchovou mezerou mezi primárním a sekundárním zařízením (přijímačem) umístěným ve vozidle stojící nad primárním zařízením. Toto sekundární zařízení obsahuje také uzavřenou cívku, ve které se indukuje střídavé napětí a protéká elektrický proud. Elektrické napětí a elektrický proud jsou dále upraveny na požadované hodnoty vhodné pro nabíjení elektrických trakčních akumulátorů. Systém WAVE WPT splňuje bezpečnostní normu ICNIRP (International Commission on Non – Ionizing Radiation Protection – Mezinárodní komise pro ochranu před neionizujícím zářením). Tento systém je schopen pracovat s účinností přibližně 90% při horizontální odchylce až do 20 cm od středu primárního zařízení, což je přijatelná parkovací tolerance. Stejně účinnosti je dosaženo také ve vertikální odchylce do vzdálenosti 20 cm. Systém se po odjezdu vozidla automaticky vypne. Nabíjecí zařízení WAVE neobsahuje žádné pohyblivé části, elektrické části obsahují z důvodu bezpečnosti dvojitou elektrickou izolaci. Celé zařízení je odolné proti povětrnostním podmínkám. Systém je schopen dobíjet akumulátory normální a rychlou variantou dobíjení. [43]

Tab. č. 4.10: Parametry WAVE WPT

PARAMETRY	HODNOTA	POZNÁMKY
Výkon [kW]	5	Lze upravit na 10
Frekvence [kHz]	20	
Vzduchová mezera [m]	0,15 – 0,26	Zachována účinnost
Účinnost [%]	90	
Elektrické napětí [V]	300	Lze upravit
Průměr podložky [m]	0,82	
Hmotnost podložky [kg]	20,4	
Vychýlení [m]	0,20 při mezeře 0,15	
Řízení měniče	Přesné	10 ns
Bezpečnostní norma	ICNIRP (International Commission on Non – Ionizing Radiation Protection – Mezinárodní komise pro ochranu před neionizujícím zářením)	

Zdroj:[43]

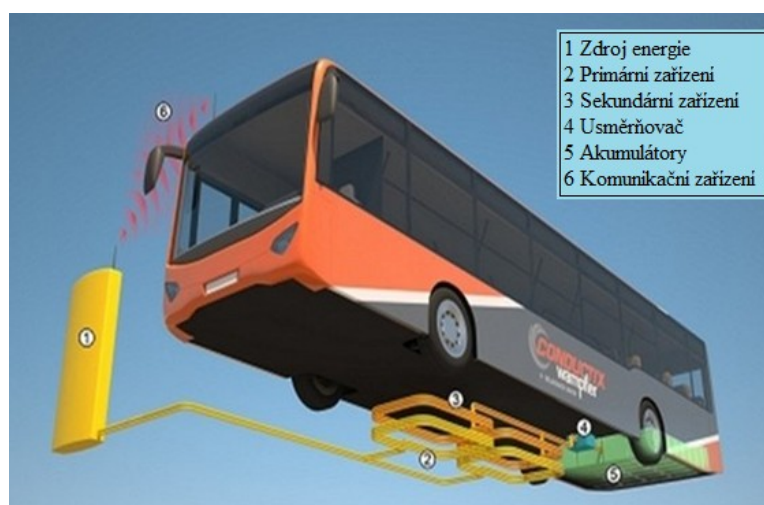


Obr. č. 4.21: WAVE WPT Zdroj:[43]

4.14 Dobíjení elektrobusů IPT® Charge

Další technologie bezkontaktního dobíjení akumulátorů pracující na shodném principu jako WAVE WPT je dobíjecí technologie IPT® Charge od společnosti Conductix-Wampfler. Elektrobusy vybaveny tímto systémem jsou v provozu od roku 2002 v Janově a v Turíně. Celkem třicet vozidel, kdy každé ujede denně přibližně 200 km bez nutnosti dalšího dobíjení. Dobíjecí místa jsou rozmístěna na zastávkách městské hromadné dopravy. Za dobu stání vozidla na zastávce dojde k dobití 10 až 15% z celkově uložené energie akumulátorů. U tohoto systému je uvedena účinnost přenosu energie asi 95%. Tato technologie dobíjení akumulátorů vozidel umožňuje použití menších a také lehčích akumulátorů oproti akumulátorům nedobíjených touto technologií. Jedná se o poměrně bezpečné a pohodlné

dobíjení elektrobuses chráněné před následky vandalismu, které zásadně neovlivňují vzhled městského prostředí. V případě použití tohoto systému u většího počtu vozidel, dojde ke znatelnému rozložení finančních nákladů na pořízení akumulátorů menších rozměrů a na vybudování celého systému. Množství takto rozmístěných dobíjecích stanic, je však i tak finančně velice nákladné. Tato varianta dobíjení však také zároveň prodlužuje čas zastavení vozidla v zastávce, nebo na jiném místě opatřené tímto zařízením. Dále vznikají větší přenosové ztráty, než v případě použití dobíjení pomocí zásuvky. Zároveň není nijak prokázán vliv dlouhodobého záření na lidské zdraví. [44]



Obr. č. 4.22: Technologie IPT® Charge Zdroj:[44,45]

4.15 Rampini

Italský výrobce autobusů Rampini ve spolupráci s firmou Siemens s.r.o. zkonstruovali elektrobuses, který získává energii pro provoz pomocí sběrače z napájecí sítě vídeňského metra. Takto získaná energie je uložena v trakčních akumulátorech. Dvounápravový, třídvéřový, nízkopodlažní elektrobuses je dlouhý 7,72 m. Celková kapacita vozidla je 44 osob. Maximální rychlost vozidla je přibližně $60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Dojezd vozidla bez dobíjení akumulátorů je přibližně 130 km. Karoserie je vyrobena z hliníkových plechů. Přední nezávisle zavěšená náprava a zadní tuhá náprava jsou odpruženy vzduchovým odpružením. Vozidlo je vybaveno kotoučovými brzdami se vzduchovým převodem na všech čtyřech kolech. Vozidlo je vybaveno brzdovým systémem ABS, systémem řízení trakce ASR a stabilizačním systémem ESP. Trakční, kapalinou chlazený, asynchronní elektrický motor vozidla vyrábí firma Siemens s.r.o. Tento elektromotor je umístěn v podélném směru v zadní levé části vozidla a je

vybaven střídačem IGBT od firmy Siemens s.r.o. Jmenovitý výkon elektromotoru je 85 kW, maximálního výkonu 150 kW a maximálního točivého momentu 530 N·m dosahuje při 3000 min⁻¹. Trakčním elektromotorem je možno v případě zpomalování vozidla přeměnit část kinetické energie na energii elektrickou a uložit ji zpět do akumulátorů, takto lze zpětně získat asi 20 % energie. Lithium – železo – fosfátové (LiFePO₄) trakční akumulátory a jejich řídicí systém jsou umístěny ve střeše vozidla. Trakční akumulátory složené ze 187 modulů umístěných ve třinácti akumulátorových jednotkách dosahují celkové kapacity 96 kWh. Nabíjení akumulátorů během provozu se uskutečňuje pomocí již zmíněného sběrače umístěného na střeše vozidla. Toto nabíjení se provádí na konečných stanovištích elektrobusu po aktivaci vypínače z místa řidiče. Po aktivaci nabíjení vozidla stojícího pod napájecím vedením se automaticky vysune sběrač a dojde ke spojení nabíjecího obvodu, toto nabíjení trvá přibližně patnáct minut. Pomalé nabíjení se uskutečňuje obvykle přes noc na stanovišti vozidla pomocí nabíjecí zásuvky. Nabíjení akumulátoru do plné kapacity elektrickým napětím 400 V, proudem 63 A trvá asi šest až osm hodin.[39,40,41,42]



Obr. č. 4.23: Rampini Zdroj:[39]



Obr. č. 4.24: Rampini Zdroj:[40]

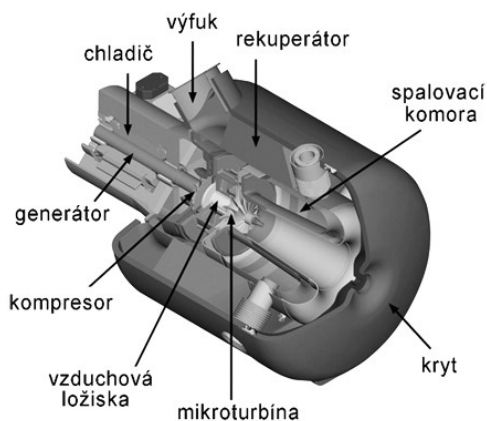
5 Návrhy a doporučení

Vlivem nedostatečných parametrů trakčních akumulátorů a neustále se zvyšujícím požadavkům na dojezd elektrobuseů, již není možné zcela vyhovět provozem elektrobuseů první generace. Z výsledků dojezdů elektrobuseů vyplývajících z jejich provozování jsou známy měrné spotřeby elektrické energie. Měrná spotřeba elektrické energie pro městský provoz dosahuje hodnot $0,07 \text{ kWh} \cdot \text{tkm}^{-1}$. Měrná spotřeba elektrické energie v meziměstském provozu je $0,055 \text{ kWh} \cdot \text{tkm}^{-1}$. Elektrobusey kategorie 12 m mají oproti konvenčním autobusům sníženou přepravní kapacitu přibližně o 15%. Zvýšením kapacity trakčních akumulátorů je možné zvýšit celkový dojezd elektrobuseu až na hodnotu 190km, zároveň ale dojde ke snížení přepravní kapacity o více než 30%. Další možností zvýšení dojezdu vozidel je zařazení režimu rychlého nabíjení během pracovní směny. Tato varianta navýší celkový dojezd na hodnotu 200 až 220 km. Je však nutné zavést organizační a technické změny celkového provozu elektrobuseů. Dále je také nutné počítat se snížením dojezdu elektrobuseu, až o 50% v případě použití elektrické energie pro vytápění nebo klimatizování prostoru vozidla.

Existuje možnost jak zvýšit dojezd elektrobuseu v městském provozu na hodnotu 250 až 300 km. Navýšit možnost spotřeby elektrické energie ze 130 kWh na 260 kWh. Dosáhnout topný výkon v zimním období do 25kW a v letním období chladicí výkon minimálně 15kW. Touto možností je použit lehké a výkonné trigenerační jednotky čerpající energii z tlakového CNG zásobníku, umístěného na střeše vozidla. Obsah vzniklých škodlivých spalin z výfukového systému je výrazně nižší, než u klasických spalovacích motorů. Hmotnost celé jednotky, včetně zásobníků plynu by neměla přesáhnout hmotnost 600kg.

Lehký a malý vysokootáčkový elektrický motor generátor s optimálním výkonem 15kWe musí dosahovat životnosti přesahující 30 000 hod. Z tohoto důvodu, tedy není možné použít vozidlový CNG motor. Tento CNG motor zároveň dosahuje nepříjemných vibrací a je z důvodu sacího, chladicího a výfukového systému prostorově i hmotnostně náročný. Plynová mikroturbína i přes neustálý vývoj tyto požadavky splňuje např.: mikroturbína od Americké společnosti CAPSTONE.

Technické parametry mikroturbíny CAPSTONE C30 MIKRO TURBINE – RANGE EXTENDER o elektrickém výkonu 30kWe při využívaném výkonu 15 kWe, jsou následující. Elektrická účinnost se pohybuje kolem hodnoty 23%, přivedená tepelná energie paliva přibližně 65 kW a tepelná energie ve výfukovém potrubí asi 42 kW. Spotřeba stlačeného zemního plynu CNG se pohybuje v rozmezí 6,1 až 7,2 m³, nebo 4,2 až 5,0 kg·h⁻¹.



Obr. č. 5.1 Mikroturbína Capstone Zdroj:[7]

Tepelnou energii ve výfukovém systému lze s výhodou použít pro ohřev kapaliny pro vytápění prostoru vozidla. Doplněním systému o tepelné čerpadlo na bázi zeolit – voda, lze dále připravit kapalinu o teplotě 3 až 5°C pro systém klimatizace.

Vzhledem k rozměrům (ø500 mm; délka 800 mm) a hmotnosti asi 91kg zařízení a absenci údržby a vibrací, lze systém v elektrobusech umístit do bezprostřední blízkosti trakčních akumulátorů. Výfukový systém bude vyveden na střechu vozidla, kde na něj budou přímo navazovat kogenerační jednotky. Na střeše vozidla bude umístěn také zásobník CNG, o objemu 300 až 400 l (spotřeba 60 až 70 m³·den⁻¹).

Z ekonomického hlediska se u současně nabízených elektrobusech kategorie 11 až 12 m cena pohybuje v rozmezí 350 až 500 tis. EURO. Nárůst ceny elektrobusech s Range Extendem se předpokládá do 50 tis. EURO. Prodejní cena elektrobusech značky SOR Libchavy druhé generace s dojezdem až 300 km v městském provozu a až 380 km v meziměstském provozu by se tedy mohla pohybovat uprostřed výše uvedeného cenového pole. Při spotřebě elektrické energie složené z 50% z nočního nabíjení za cenu asi 3 Kč·kWh⁻¹ a z dalších 50% z Range Extendru za cenu 6 Kč·kWh⁻¹. Průměrná cena energie tedy bude 4,5 Kč·kWh⁻¹ a náklady na jeden ujetý kilometr přibližně 4,20 Kč. To je asi 45% nákladů proti autobusech s naftovým motorem.

Podle studie technického řešení se potvrzuje vhodnost použití elektrobusech druhé generace. Použitím trigenerační jednotky je vyřešen prodloužený dojezd i plnohodnotné topení a klimatizace elektrobusech, navíc se rozšiřuje použití elektrobusech i do meziměstské přepravy.

Společnost Capstone Turbine Corporation má již v současné době zakázku na výrobu a dodávku čtyřiatřiceti mikroturbín Capstone C30 pro autobusy provozované v hlavním městě Colorada v Denveru. Do společnosti Regional Transportation District (RTD) by měly být turbíny dodány nejpozději v tomto roce (2013).



Obr. č. 5.2 Elektrobusy se systémem mikroturbíny Capstone Zdroj:[7]

V současné době je již vyvinuto několik nových konstrukcí akumulátorů, je tedy pouze otázkou času jejich použití v elektromobilech a tím zvýšit jejich akční rádius. Další možností zvýšení dojezdu elektrobusů je snižování hmotnosti vozidel a vhodné rozmístění jednotlivých komponentů. Například vhodným umístěním akumulátorů dojde ke snížení ohybových momentů na karoserii vozidla, což by umožnilo její konstrukční změny vedoucí k jejímu celkovému odlehčení. Dále například použití elektrických trakčních motorů v nábojích kol. Možností zvýšení kapacity cestujících použitím nízkopodlažního čtyřnápravového článkového vozidla.

Z provedených bezpečnostních zkoušek lze konstatovat, že elektrobusy jsou přinejmenším stejně bezpečné jako konvenční autobusy. Při testování hořlavosti se navíc ukázalo, že se případně vzniklý požár u elektrobusů nešíří takovou rychlostí, jako u vozidel s motorem spalující kapalná paliva. Během testování elektrobusů na velice členitých linkách se potvrdila dostatečná rezerva jízdních parametrů, což umožňuje nasazení na většině linek do délky 120 km. Hodnoty některých dynamických parametrů byly provedeny v této práci. Navíc byly elektrobusy provozovány jako skibusy, kde se navíc projeví plynulejší rozjezdy na rozdíl od klasických autobusů.

Z pohledu spolehlivosti a údržby elektrobusů bylo již několikrát uvedeno, že elektrobusy obsahují konstrukčně jednodušší a tím spolehlivější pohonnou soustavu. Což se také potvrdilo při výpočtu střední ujeté dráhy mezi poruchami. Tento výsledek hodnocených prototypů elektrobusů SOR EBN 10,5 vyšel přibližně o 50% (při zohlednění započtení všech poruch – ve výpočtech pouze významně funkční celky) vyšší, než u autobusů se spalovacím motorem ze kterých tyto elektrobusy konstrukčně vycházejí.

Během provozu musí být akumulátory hlídány kontrolní a řídicí elektronikou, což například umožňuje použití rychlých nabíjecích režimů při zachování stanovené životnosti a bezporuchovosti trakčních akumulátorů. Toto tvrzení je možné potvrdit v kapitole o poklesu kapacity článků akumulátoru, kdy tento průměrný pokles po dvou letech provozu činí 8,6 Ah. Je však třeba mít na paměti, že při rychlém nabíjení akumulátorů dochází k větším tepelným ztrátám. Dále je třeba mít na paměti zatížení elektrické sítě při nabíjení akumulátorů. V případě většího počtu provozovaných elektrobusů je nutné vhodné rozmístění nabíjecích stanic. V současné době se není třeba zabývat budováním výkonnější přenosové sítě, ale spíše rozložením nabíjecích časů během celého dne. Dále také výrobě elektrické energie ze zdrojů s nižším negativním vlivem na životní prostředí.

Vliv nabíjecích režimů na celkovou životnost akumulátorů v práci byl proveden statistický test, který neprokázal významný vliv na spotřebu elektrické energie a dojezdů elektrobusů. Do jaké míry jsou však tyto režimy vhodné pro celkovou životnost akumulátorů je možno určit až z dalších provedených měření poklesu kapacity článků akumulátoru.

Dnešní elektrobusy jsou vybaveny rekuperací kinetické energie, což je zařízení, díky němuž může vozidlo neustále zpětně využívat část pohybové energie. Tímto zařízením je možné podle výpočtu zkušebních měření uvedených v této práci ušetřit až 32% energie a zároveň snížit opotřebení brzdového obložení. I tak se však zatím elektrobusy vlivem akumulátorů nepřibližují dojezdům automobilů se spalovacím motorem. V současné době však probíhá intenzivní vývoj několika světových výrobců akumulátorů. Proto již existují některé nové technologie výrazně zvyšující dosavadní parametry akumulátorů. Na těchto akumulátorech probíhají zkušební testy. Projekty, které se zaměřují na snížení kapacity elektrické energie trakčních akumulátorů a použití častého dobíjení akumulátorů vysokými hodnotami elektrického proudu, nejsou příliš výhodné. Důvodem jsou větší tepelné ztráty a při využívání stejné dynamiky vozidla, mnohem větší výkonové nároky na akumulátory. Což se pravděpodobně velice výrazně projeví na životnosti akumulátorů. Možnou variantou jak zvýšit dojezd a možnost čerpat další, potřebnou energii pro zvýšení komfortu cestujících je uvedeno v úvodu této kapitoly. Jedná se o instalaci trigenerační jednotky spalující stlačený

zemní plyn, při současném využití dosavadních zkušeností z vývoje, výroby a provozu elektrobuseů.

Postupným zaváděním elektromobilů do provozu vznikají nová průmyslová odvětví zabývající se touto problematikou. V tomto směru je možné využít řadu nových i vyspělých technologií, zkušeností a poznatků. Dále je zapotřebí výraznější podíl především finanční podpory a účelových programů ze strany státu. Důvody zavedení této šetrné a ekologické dopravy jsou především ve snižování zátěže životního prostředí. Jedná se o efektivní řešení využívání energie se snížením závislosti na ropě. Nevýhodou těchto vozidel však, ale neustále zůstávají parametry trakčních akumulátorů. Mezi výhody lze požadovat již zmiňované vlastnosti elektrobuseů. Dále také velice nízká hluchnost provozu vozidla, snížená prašnost vznikající například z brzdového obložení. Dále také absence převodovky, spalovacího motoru a s tím spojená výroba, používání a zneškodňování provozních kapalin. Trakční akumulátory již neobsahují toxické látky a je možné je po době životnosti recyklovat popřípadě zneškodnit. Provoz elektrobuseů tedy celkově snižuje negativní dopady dopravy a zvyšuje kvalitu života ve městech a ostatních místech. Z toho tedy vyplývá, že je možné tyto elektrobusey první generace provozovat ve městské a příměstské dopravě, centrech měst, nákupních centrech, letištích, lázeňských oblastech, chráněných krajinných. Při zavedení elektrobuseů druhé generace budou moci být využívány i na meziměstských linkách i jako dálkové spoje. Po snížení výrobních nákladů akumulátorů, zavedení sériové výroby a vhodném nastavení financování nákupu vozidel, se provoz elektrobuseů stane ekonomicky a ekologicky nejvýhodnějším dopravním prostředkem. [7, Autor]

6 Závěr

V diplomové práci s názvem Problematika začlenění elektrobuseů do MHD je u úvodu uvedeno několik podstatných důvodů zavedení elektrobuseů do provozu. V úvodu druhé kapitoly jsou uvedeny požadavky na bezpečnost elektrobuseů, dále jejich homologace. Následuje popis elektrobuseů SOR EBN a ostatních elektrobuseů, které jsou uvedeny v příloze. Poté jsou v této kapitole popsány jednotlivé základní prvky pohonu elektrobuseů. Další část této kapitoly tvoří dynamika pohybu vozidla. V této části jsou popsány a vypočítány některé jednotlivé faktory ovlivňující pohyb silničního vozidla.

Ve třetí části jsou uvedeny základní pojmy spolehlivosti, dále je proveden výpočet střední ujeté dráhy mezi poruchami. Pro tento výpočet byl použit početní postup Weibullova rozdělení. Výsledné hodnoty jsou porovnány s výsledkem střední ujeté dráhy mezi poruchami téhož elektrobuseu, provedeným v roce 2010 v bakalářské práci s názvem Technicko – provozní hodnocení hybridních pohonů silničních vozidel. Zároveň je tento výsledek porovnán s autobusem se spalovacím motorem, z něhož tento elektrobuse konstrukčně vychází. Dále je v této kapitole popsána údržba elektrobuseů. Tento údržbový plán je sestaven od výrobce a od provozovatele elektrobuseů. Dále jsou uvedeny některá specifika údržby vozidel s tímto druhem pohonu.

Čtvrtá kapitola této práce je věnována nabíjení elektrobuseů a nabíjecím stanicím. V této kapitole jsou popsány základní informace o výrobě elektrické energie, nabíjecí a vybíjecí průběhy článků Li – ion akumulátorů a možnosti nabíjení elektrobuseů. Dále jsou uvedeny nabíjecí časy elektrobuseů, jejich dojezd v závislosti na průměrně spotřebované elektrické energii. Z hodnot získaných měření z provozu elektrobuseů jsou zjištěny hodnoty rekuperované energie a pokles kapacit článků akumulátorů. V závěru této kapitoly je proveden statistický test spotřeby elektrické energie a dojezdy elektrobuseů v závislosti na zvoleném režimu nabíjení. Pro jednotlivé nabíjecí režimy je zároveň zaznamenáno zatížení sítě elektrické energie v místě nabíjení elektrobuseů. Dále jsou uvedeny možnosti získávání elektrické energie.

V kapitole Návrhy a doporučení jsou nejprve představeny technické úpravy elektrobuseů druhé generace, zvyšující dojezd elektrobuseů a možnosti čerpání další energie pro větší pohodlí při cestování ve vozidle. V závěru této kapitoly je provedeno celkové hodnocení elektrobuseů používaných v běžném provozu. Práce je doplněna přílohami, které nejsou uvedeny přímo v diplomové práci.

7 Seznam použité literatury

- [1] Kameš, J.: Alternativní pohony automobilů, BEN – Technická literatura, Praha 2004, ISBN 80-7300-127-6
- [2] Vlk, F.: Alternativní pohony motorových vozidel, František Vlk, Brno 2004, ISBN 80-239-1602-5
- [3] Famfulík, J.: Teorie údržby, VŠB-TU Ostrava, Ostrava 2006, ISBN 80-248-1029-8
- [4] Vlk, F.: Dynamika motorových vozidel, František Vlk, Brno 2005, ISBN 80-239-0024-2
- [5] Svoboda, J.: Teorie dopravních prostředků Vozidla silniční a terénní, České vysoké učení technické v Praze, Praha 1990, ISBN 80-01-00276-4
- [6] Matějka, R.: Vozidla silniční dopravy I, Vysoká škola dopravy a spojov v Žilině, Žilina 1992, ISBN 80-7100-074-4
- [7] Interní dokumentace SOR spol. s r.o.
- [8] Interní dokumentace 1,2 Dopravní podnik Ostrava a. s.
- [9] Černožorský, T.: Diplomová práce [online], [14. 5. 2013]. Dostupné na WWW: <http://dspace.upce.cz/bitstream/10195/34072/1/JS_2009.pdf>.
- [10] Dynamika silničních vozidel [online], [14. 5. 2013]. Dostupné na WWW: <http://homen.vsb.cz/~s1i95/DSV/DSV_RAM.HTM>.
- [11] Interní dokumentace EVC Group s.r.o
- [12] Litschmannová, M.: Úvod do statistiky [online], [14. 5. 2013]. Dostupné na WWW: <[Litschnerováhttp://mi21.vsb.cz/sites/mi21.vsb.cz/files/unit/uvod_do_statistiky.pdf](http://mi21.vsb.cz/sites/mi21.vsb.cz/files/unit/uvod_do_statistiky.pdf)>.

- [13] Vision produkty [online], [14. 5. 2013]. Dostupné na WWW: <<http://vision-batt.cz/produkty/lyp---lifeypo4-lyp-s-primesi-yttria-lyp--clanky-32v.htm>>.
- [14] SOR EBN 8 [online], [14. 5. 2013]. Dostupné na WWW: <<http://sor.cz/site/elektrobusy-sor-ebn-8>>.
- [15] SOR EBN 8 [online], [14. 5. 2013]. Dostupné na WWW: <<http://www.hybrid.cz/czech-raildays-2012-predstavujeme-elektrobus-sor-ebn-8>>.
- [16] Elektrobusy SOR [online], [14. 5. 2013]. Dostupné na WWW: <<http://www.sor.cz>>.
- [17] *SOR EBN 10,5* [online], [14. 5. 2013]. Dostupné na WWW: <<http://www.busportal.cz/modules.php?name=article&sid=9527>>.
- [18] SOR EBN Městská doprava [online], [14. 5. 2013]. Dostupné na WWW: <<http://www.sor.cz/upload/file/článek Městská doprava 5-2012.pdf>>.
- [19] SOR EBN 10,5 [online], [14. 5. 2013]. Dostupné na WWW: <http://www.automobilrevue.cz/rubriky/truck-bus/novinky/elektrobus-sor-elektrobus-uspesne-slouzi-i-ve-velehorach_40198.html>.
- [20] Bezpečnost akumulátorů [online], [14. 5. 2013]. Dostupné na WWW: <<http://elektrickevozy.cz/clanky/>>.
- [21] Časopis VISIONS [online], [14. 5. 2013]. Dostupné na WWW: <www.siemens.cz/visions>.
- [22] Budoucnost akumulátorů [online], [14. 5. 2013]. Dostupné na WWW: <http://www.rozhlas.cz/leonardo/technologie/_zprava/924948>.
- [23] Elektromobily informace [online], [14. 5. 2013]. Dostupné na WWW: <<http://elektromobil.vseznamu.cz/baterie-v-elektromobilech>>.

- [24] Manz AG [online], [14. 5. 2013]. Dostupné na WWW: <http://media.nmm.de/86vayhingen_manz_13.11.2012_13.30_26766986.pdf>.
- [25] VOKÁČ, Luděk. Auto.idnes.cz [online]. [8. 4. 2011]. Dostupné na WWW: <<http://auto.idnes.cz/auta-na-setrvacnik-nejsou-jen-pro-deti>>.
- [26] Lithiové články [online], [14. 5. 2013]. Dostupné na WWW: <http://www.panska.cz/files/ukazky-praci/dgt-gst/lithiove-clanky.pdf>>.
- [27] Auto week [online], [14. 5. 2013]. Dostupné na WWW: <http://www.autoweek.cz/cs-tiskove_zpravy/pilotni_projekt_elektromobility_cez-1210>.
- [28] FUTUR/E/MOTION [online], [14. 5. 2013]. Dostupné na WWW: <www.futuremotion.cz>.
- [29] Elektromobilita [online], [14. 5. 2013]. Dostupné na WWW: <<http://www.odbornecasopisy.cz/>>.
- [30] Dobíjecí stanice a rozvoj elektromobilů [online], [14. 5. 2013]. Dostupné na WWW: <<http://www.petrol.cz>>.
- [31] Akumulátory Li-ion a jejich nabíjení [online], [14. 5. 2013]. Dostupné na WWW: <<http://www.belza.cz/charge/liion1.htm>>.
- [32] Používání Li-Ion akumulátorů v praxi [online], [14. 5. 2013]. Dostupné na WWW: <<http://www.battex.info/>>.
- [33] Opava, J.: Perspektivy elektromobility v širších souvislostech, České vysoké učení technické v Praze, Konference
- [34] Elektro net [online], [14. 5. 2013]. Dostupné na WWW: <<http://www.elektro.net/>>.
- [35] BKV [online], [14. 5. 2013]. Dostupné na WWW: <<http://www.bkv.hu>>.

- [36] Elektrobus na testování v Brně [online], [14. 5. 2013]. Dostupné na WWW: <<http://www.busportal.cz/modules.php?name=article&sid=8945>>.
- [37] Foton mag [online], [14. 5. 2013]. Dostupné na WWW: <<http://www.fotonmag.cz/svitilny/baterie/bezpecne-li-ion-akumulatory-na-bazi-lifepo4>>.
- [38] Better Place [online], [14. 5. 2013]. Dostupné na WWW: <http://www.startupnation.cz/data/Clanky/Ekonom-Elektrobus_Start-up_nation.pdf>.
- [39] Rampini [online], [14. 5. 2013]. Dostupné na WWW: <<http://www.hybrid.cz/videnske-elektrobuses-se-budou-dobijet-z-napajeci-site-metra>>.
- [40] Rampini [online], [14. 5. 2013]. Dostupné na WWW: <<http://www.busportal.cz/modules.php?name=print&sid=10070&secid=0>>.
- [41] Siemens ve městě [online], [14. 5. 2013]. Dostupné na WWW: <<https://www.cee.siemens.com/web/at/de/corporte/portal/Presse/News/Pages/Elektroautobus.aspx>>.
- [42] Rampini [online], [14. 5. 2013]. Dostupné na WWW: <<http://www.langautobus.de/PDF/Baubeschreibung%20Rampini%20Ale%20Elektrik.pdf>>.
- [43] Wireles [online], [14. 5. 2013]. Dostupné na WWW: <http://markot.net/wp-content/uploads/2012/01/Wave-Brochure_CZv2.pdf>.
- [44] IPT charge [online], [14. 5. 2013]. Dostupné na WWW: <http://sdeleni.idnes.cz/elektrobuses-s-ipt-charge-v-provozu-jiz-10-let-fmd-/auto-sdeleni.aspx?c=A120807_081945_auto-sdeleni_ahr>.
- [45] Conductix-Wampfler [online], [14. 5. 2013]. Dostupné na WWW: <<http://www.conductix.com/>>.

- [46] Electric Buses & Components [online], [14. 5. 2013]. Dostupné na WWW:
<<http://ebusco.eu/Bus.html>>.
- [47] AMZ City Smile CS10E [online], [14. 5. 2013]. Dostupné na WWW:
<http://www.samochodyelektryczne.org/amz_city_smile_cs10e.htm>.
- [48] Polské firmy na IAA 2012 [online], [14. 5. 2013]. Dostupné na WWW:
<<http://infobus.pl/text.php?from=main&id=50306>>.
- [49] AMZ City Smile CS10E [online], [14. 5. 2013]. Dostupné na WWW:
<<http://www.hybrid.cz/transexpo-amz-predstavilo-nejusmevavejsi-autobus-na-svete>>.
- [50] Solaris Urbino [online], [14. 5. 2013]. Dostupné na WWW:
<<http://www.buspress.cz/elektrobus-solaris-urbino-12-electric-premiera-na-veletrhu-iaa-v-hannoveru/>>.
- [51] Solaris Urbino [online], [14. 5. 2013]. Dostupné na WWW:
<<http://www.solarisbus.pl/vehicles/>>.
- [52] BYD [online], [14. 5. 2013]. Dostupné na WWW:
<<http://www.byd.com/auto/ElectricBus.html>>.
- [53] BYD [online], [14. 5. 2013]. Dostupné na WWW:
<<http://vantransitfan.blogspot.cz/2011/10/demonstration-bus-byd-ebus.html>>.
- [54] Pragomiex a.s. [online], [14. 5. 2013]. Dostupné na WWW:
<<http://www.pragoimex.cz>>.

8 Seznam příloh

Příloha 1	Popis dalších elektrobusů
Příloha 2	Elektrický motor TAM 1052 C6B
Příloha 3	Tab. č. 3p: Parametry vozidla část 1
Příloha 4	Tab. č. 4p: Parametry vozidla část 2
Příloha 5	Tab. č. 5p: Parametry vozidla – Měrné hodnoty
Příloha 6	Tab. č. 6p: Poruchy elektrobusu SOR EBN 10,5
Příloha 7	Tab. č. 7p: Údaje pro sestavení grafu
Příloha 8	Tab. č. 8p: Protokol o provedení PÚ – P1
Příloha 9	Tab. č. 9p: Protokol o provedení PÚ – P3
Příloha 10	Tab. č. 10p: Protokol o provedení PÚ – P6
Příloha 11	Tab. č. 11p: Spotřeba elektrické energie SOR EBN 10,5 5004
Příloha 12	Tab. č. 12p: Dojezd SOR EBN 10,5 5004
Příloha 13	Tab. č. 13p: Spotřeba elektrické energie SOR EBN 10,5 5002
Příloha 14	Tab. č. 14p: Dojezd SOR EBN 10,5 5002
Příloha 15	Tab. č. 15p: Mannův – Whitneyův test
Příloha 16	Tab. č. 16p: Mannův – Whitneyův test

Přílohy v elektronické podobě na přiloženém CD

Příloha 1e	Tab. č. 1: Hodnoty Weibullova rozdělení SOR EBN 10,5
Příloha 2e	Tab. č. 2: Popisník prací elektrobusu SOR EBN 10,5
Příloha 2e	Tab. č. 2: Popisník prací elektrobusu SOR EBN 10,5 část druhá
Příloha 2e	Tab. č. 2: Popisník prací elektrobusu SOR EBN 10,5 část třetí
Příloha 2e	Tab. č. 2: Popisník prací elektrobusu SOR EBN 10,5 část čtvrtá
Příloha 2e	Tab. č. 2: Popisník prací elektrobusu SOR EBN 10,5 část pátá

Příloha 1 Popis dalších elektrobusů

EBUSCO

Prostřednictvím Nizozemské společnosti EBUSCO se snaží na evropský trh prosadit čínský výrobce autobusů YTP. EBUSCO se zabývá vývojem a prodejem elektrobusů.

Elektrobus značky EBUSCO, který je schválen pro provoz na evropském trhu představila společnost na autosalonu IAA v Hannoveru v roce 2012. Elektrobus s 85 místy pro cestující je 11,48 m dlouhý, 2,5 m široký a 3,2 m vysoký. Maximální hmotnost je 18 tun. Vozidlo zrychlí z 0 – 50 km·h⁻¹ za méně než 20 sekund. Maximální rychlost vozidla je 80 km·h⁻¹. Dojezd vozidla je výrobcem udáván kolem hodnoty 220 km. Není, ale uvedeno v jakých podmínkách se vozidlo zkoušelo a zda se jedná o provoz bez cestujících. Jmenovitý výkon elektrického motoru je 90 kW, maximální výkon dosahuje hodnoty 150 kW. Jmenovité otáčky elektromotoru jsou 1 400 min⁻¹ s točivým momentem 700 N·m. Maximální točivý moment elektromotoru je 2 500 N·m při 3 300 min⁻¹. Trakční akumulátory typu Lithium-Železo-Fosfát (LiFePO₄) také označován jako LFP mají kapacitu 242 kW·h. Napětí akumulátoru je 346 V a kapacita 700 A·h. Doba plného nabití jsou přibližně čtyři hodiny. Napětí akumulátoru je při nabíjení 400 V a elektrický proud 100 A, nebo 200 A podle režimu nabíjení. [46]



Obr. č. 1p: ECOBUS Zdroj:[46]

AMZ City Smile CS10E

Polský výrobce AMZ Kutno představil na autosalonu IAA v Hannoveru 2012 elektrobuse AMZ City Smile CS10E. Vozidlo dlouhé deset metrů technicky vychází z autobusu C10LF. Pohon elektrobuse zajišťuje kapalinou chlazený asynchronní elektrický motor Pragomiex TMA o jmenovitém výkonu 120 kW. Elektrická energie pro pohon vozidla je dodávána ze šesti Lithium – Iontových akumulátorů s kapacitou 230 kW·h. Ty umožňují vozidlu dojezd až 240 km, otázkou však opět zůstává, jakým způsobem výrobce k předkládané hodnotě dospěl. Při použití režimu rychlého nabíjení, kdy jsou akumulátory nabíjeny proudem 250 A jsou zcela nabity za jednu hodinu. U pomalého režimu nabíjení trvá délka nabíjení osm hodin. Akumulátor při úplném vybití je potom opět plně nabit asi za deset hodin. Pro vyhřívání vozidla je použito nezávislé naftové topení, ve kterém je možno používat i biopalivo. Prostor, kde jsou umístěny akumulátory je při nízkých okolních teplotách vyhříván na teplotu přibližně 5°C. Prototyp prezentovaný na autosalonu však nebyl vybaven klimatizací. Ve vozidle je uplatněno několik designových a technických řešení, například nově řešený strop vozidla a prostoru pro motor, zvětšující užitečný prostor a tím zvyšují celkovou kapacitu vozidla na 83 cestujících. Řidič vozidla má neustále k dispozici přehled o stavu nabití trakčních akumulátorů pomocí barevného displeje, na kterém lze zobrazit i další provozní informace o vozidle, které jsou přenášeny pomocí sběrnice CAN. Automobilka však již v současné době (Září 2012) pracuje na dvanáctimetrovém elektrobuse, jehož elektrické motory budou umístěny v nábojích zadních kol. [47,48,49]



Obr. č. 2p: AMZ City Smile CS10E Zdroj: [47]

Tab. č. 1p: Parametry elektrobusu AMZ City Smile CS10E

PARAMETRY	HODNOTA
Rozměry (délka; šířka; výška) [m]	10,360; 2,555; 3,126
Maximální hmotnost [kg]	11 500
Počet míst pro cestující [-]	85
Dojezd vozidla [km]	240
Pohon	Třífázový asynchronní motor, TAM 1052 C6B
Elektrické napětí motoru [V]	400
Jmenovitý výkon motoru [kW]	120
Maximální výkon motoru [kW]	160
Maximální otáčky motoru [min⁻¹]	3400
Účinnost motoru [%]	93
Jmenovitý točivý moment [N·m]	835
Maximální točivý moment [N·m]	1785
Hmotnost motoru [kg]	430
Chlazení motoru	Kapalinou
Akumulátory	Lithium – Iontové
Energie uložená v bateriích [kW·h]	230
Počet jednotek akumulátoru [-]	6
Doba pomalého nabíjení [h]	8
Doba rychlého nabíjení [h]	1

Zdroj:[47]

Solaris Urbino 8,9 electric

Elektrobus Solaris Urbino 8,9 se konstrukčně liší od autobusů se spalovacím motorem nejen pohonnou jednotkou vozidla, ale i mnoha designovými a technickými řešeními. Jedná se o vozidlo s velice tichým provozem, které je svým provozem šetrné k životnímu prostředí. Dvounápravové vozidlo je dlouhé 8,95 m, 2,4 m široké a 3,25 m vysoké. Kapacita cestujících se pohybuje v závislosti na vybavení vozidla v rozmezí 21 až 29 cestujících. Rám vozidla je ocelový, části karoserie jsou tvořeny z plechů z nerezové oceli a z hliníkových plechů. Přední nezávisle je zavěšená náprava typu ZF RL 55. Zadní hnací náprava typu DANA G150. Přední a zadní dveře mohou být jednodílné, nebo dvoudílné. Vozidlo je nízkopodlažní s ručně ovládanou nájezdovou plošinou pro imobilní cestující umístěnou u druhých dveří vozidla. Elektrobus je poháněn elektrickým čtyřpólovým asynchronním motorem od výrobce Vossloh Kiepe. Jmenovitý výkon elektromotoru je 120 kW a jmenovitý točivý moment 400 N·m. Energie pro pohon vozidla je uložena ve dvou trakčních Lithium-Ionových akumulátorech, každá o kapacitě 120 kW·h a napětí 600 V a celkové hmotnosti 1400 kg. Dojezd vozidla uvádí výrobce přibližně 100 km. Maximální rychlost vozidla je 50 km·h⁻¹. Akumulátory slouží zároveň i jako zdroj energie pro ostatní elektrické spotřebiče ve vozidle. Řízení, kompresor, vytápění, ventilace a ovládání dveří mají elektrické pohony, které jsou v činnosti pouze v případě činnosti daného zařízení. Vnitřní prostor vozidla je klimatizován. Autobus je vybaven elektronickým brzdovým systémem ABS a systémem kontroly trakce ASR. Akumulátory jsou nabitý přibližně za čtyři hodiny, nabíjecí elektrické napětí je 400 V a elektrický proud 63 A. [50,51]



Obr. č. 3p: Solaris Urbino 8,9 electric Zdroj: [51]

Solaris Urbino 12 electric

Polský výrobce autobusů značky Solaris svým dvanáctimetrovým vozidlem Solaris Urbino 12 electric rozšiřuje nabídku elektrobuses na evropském trhu. Elektrobuses Solaris Urbino 12 je dvounápravový, nízkopodlažní elektrobuses, který je dlouhý 12 m a 2,55 m široký. Celková kapacita vozidla je 85 cestujících. Tři dveřový autobus je vybaven u druhých dveří opatřen plošinou pro imobilní cestující. Dveře mohou být ve variantách jednodílných, nebo dvoudílných. Přední náprava vozidla je nezávisle zavěšená ZF RL 75 EC. Zadní hnací náprava je portálová ZF AV 132. Pohon vozidla zajišťuje čtyř pólový asynchronní elektromotor o výkonu 160 kW a točivém momentu 1400 N·m od firmy Vossloh Kiepe. Trakční Lithium – Iontové akumulátory s kapacitou 210 kW·h a napětí 600 V. Vozidlo je vybaveno elektronickým brzdovým systémem EBS, ABS a systémem kontroly trakce ASR. Problémy související s vysokou hmotností akumulátorů elektrické energie, automobilka částečně eliminovala použitím moderních lehkých, ale pevných materiálů na některých dílech tohoto elektrobuses. Některé části karoserie vozidla byly vyrobeny právě z těchto materiálů. Další možností snížení hmotnosti vozidla bylo použití speciálních okenních výplní, které jsou oproti běžným výplním tenčí. Ve vozidle byla použita tenká podlaha, která již není vyrobena z dřevěné překližky. U elektrobuses byly na rozdíl od klasického autobuses použity tenčí sedačky, nový pěnový materiál na potrubí a disky z lehkých slitin. [50,51]



Obr. č. 4p: Solaris Urbino 12 electric Zdroj:[50]

BYD eBus

Elektrobus BYD eBus je dvounápravový, třídvěřový nízkopodlažní elektrobus dlouhý dvanáct metrů. Elektrobus je široký 2,55 m a 3,2m vysoký. Pohotovostní hmotnost je 13 800 kg. Obsaditelnost vozidla je 68 míst. Maximální rychlost vozidla je $100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Vozidlo je vybaveno vzduchovým pružením a kotoučovými brzdami na všech čtyřech kolech se vzduchovým převodem. Mezi bezpečnostní systémy, kterými je toto vozidlo vybaveno, patří například brzdový systém ABS a systém kontroly trakce ASR. Velké čelní sklo (až dvě třetiny čelní plochy) zajišťuje řidiči dobrý výhled z vozidla, což přispívá ke zvýšení bezpečnosti ostatních účastníků provozu. Zvuková izolace vozidla a nastavitelná kvalitní kožená sedadla zajišťují pohodlné cestování nejen pro cestující, ale i pro řidiče. Trakční akumulátory typu Fe s kapacitou 324 kW·h zajišťují dojezd vozidla v mimo městském provozu na vzdálenost až 250 km. Nevýhodou je však vyšší celková hmotnost vozidla, která dosahuje hodnoty devatenáct tun, zároveň je oproti konkurenčním elektrobusům snížena celková obsaditelnost vozidla. Na střeše vozidla jsou nainstalovány solární články, které slouží k nabíjení trakčního akumulátoru. Spotřebovaná energie vozidla na vzdálenosti 100 km je podle výrobce nižší, než 120 kW·h. Trakční akumulátory sou plně nabity za tři nebo šest hodin dle parametrů nabíjecího zařízení. [52,53]



Obr. č. 5p: BYD eBus Zdroj: [53]

Tab. č.1.1p Parametry elektrobusů

Typ		SOR EBN 8	SOR EBN 9,5	SOR EBN 10,5
Délka	[m]	8,00	9,79	10,37
Celková hmotnost	[kg]	12 700	14 400	15 700
Pohotovostní hmotnost	[kg]	9 100	9 300	9 800
Obsaditelnost	[1]	51+1	73+1	85+1
Střední výpočtová hmotnost	[t]	10,90	11,85	12,75
Kapacita akumulátorů	[kWh]	173,0	173,0	173,0
Využitelná kapacita (70%)	[kWh]	121,0	121,0	121,0
Průměrná spotřeba ve městě (0,07 kWh·tkm ⁻¹)	[kWh·km ⁻¹]	0,76	0,83	0,89
Průměrná spotřeba meziměsto (0,055 kWh·tkm ⁻¹)	[kWh·km ⁻¹]	0,60	0,65	0,70
Dojezd ve městě*	[km]	159	145	136
Dojezd meziměstý *	[km]	202	186	173
Dojezd prázdného elektrobusu **	[km]	276	270	257

* čerpání 70% kapacity akumulátorů (vyšší životnost)

** čerpání 80% (dovolené výrobcem)

Typ	BYD	EURABUS	SOLARIS U. E 8,9	SOLARIS U. E 12
Délka	12,00	11,48	8,95	12,00
Celková hmotnost	19 000	17 500	14 500	17 800
Pohotovostní hmotnost	14 300	11 600	9 600	11 800
Obsaditelnost	68+1	86	55	85
Střední výpočtová hmotnost	16,65	14,55	12,05	14,80
Kapacita akumulátorů	324,0	218,0	120,9	210,0
Využitelná kapacita (70%)	227,0	153,0	84,7	147,0
Průměrná spotřeba ve městě (0,07 kWh/1 t km)	1,17	1,02	0,84	1,04
Průměrná spotřeba meziměsto (0,055 kWh/1 t km)	0,92	0,80	0,66	0,81
Dojezd ve městě*	194	150	101	141
Dojezd meziměstý *	246	191	128	181
Dojezd prázdného elektrobusu **	327	274	183	259

* čerpání 70% kapacity akumulátorů (vyšší životnost)

** čerpání 80% (dovolené výrobcem)

Zdroj: [7, Autor]

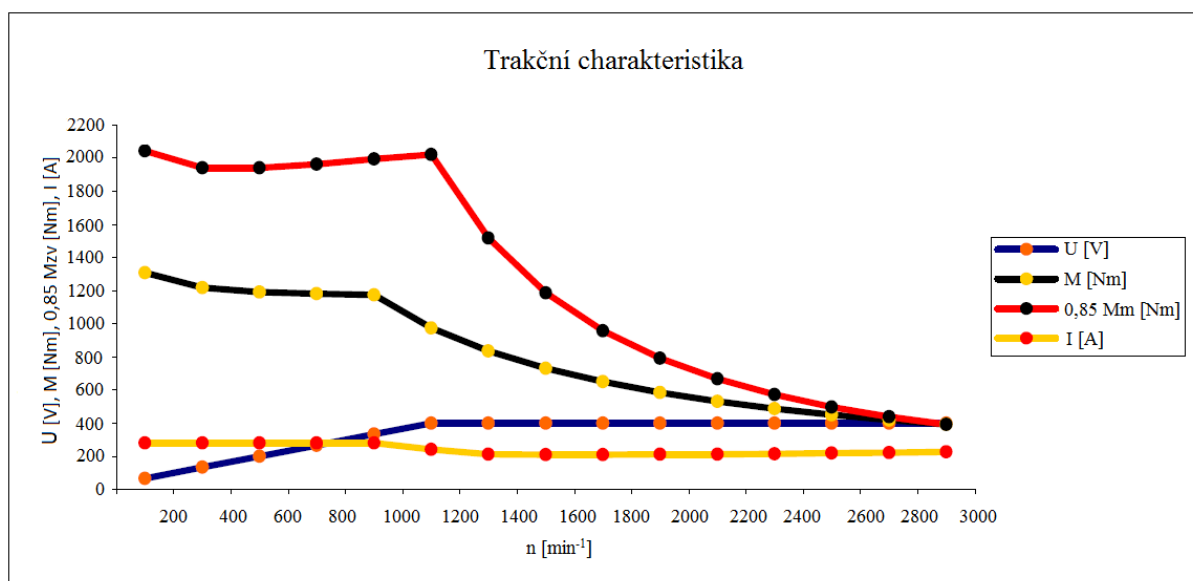
Příloha 2 Elektrický motor TAM 1052 C6B

Pro pohon elektrobuse je použit trakční asynchronní, šesti pólový elektromotor typu TAM 1052 C6B. Tento motor vyrábí společnost PRAGOIMEX a.s. Elektrický motor je chlazen kapalinou. Elektromotor splňuje požadavky normy IEC 349. [54]

Tab. č. 2p: Hodnoty trakčního elektrického motoru

Zátěž	S1	Napětí	400 V
Výkon	120 kW	Proud	213 A
Frekvence	70 Hz	Moment	835/1785 N·m
Otáčky	1373 min ⁻¹	cos φ	0,867
Účinnost	93%	Hmotnost	430 kg
U _{test}	5600 V _{DC}	Tvar	IM 1001
n _{max}	3400 min ⁻¹	Chlazení	kapalina
třída izolace	200	Krytí	IP 56

Zdroj:[54]



Obr. č. 6p: Trakční charakteristika elektrického motoru TAM 1052 C6B Zdroj:[Autor, 54]

Příloha 3 Tab. č. 3p: Parametry vozidla část 1

Parametry vozidla část 1					
Elektrický motor			Trakční charakteristika		
Otáčky [min⁻¹]	Točivý moment motoru [N·m]	Výkon [kW]	Točivý moment na kole [N·m]	Síla na kole [kN]	Rychlost vozidla [km·h⁻¹]
1	1350,000	0,141	8336,250	20,332	0,02
200	1250,000	26,167	7718,750	18,826	4,76
400	1200,000	50,240	7410,000	18,073	9,51
600	1200,000	75,360	7410,000	18,073	14,27
800	1200,000	100,480	7410,000	18,073	19,02
1000	1130,000	118,273	6977,750	17,019	23,78
1200	940,000	118,064	5804,500	14,157	28,54
1400	810,000	118,692	5001,750	12,199	33,29
1600	720,000	120,576	4446,000	10,844	38,05
1800	640,000	120,576	3952,000	9,639	42,80
2000	570,000	119,320	3519,750	8,585	47,56
2200	520,000	119,739	3211,000	7,832	52,31
2400	480,000	120,576	2964,000	7,229	57,07
2600	440,000	119,739	2717,000	6,627	61,83
2800	410,000	120,157	2531,750	6,175	66,58
3000	380,000	119,320	2346,500	5,723	71,34
3200	350,000	117,227	2161,250	5,271	76,09
3400	330,000	117,436	2037,750	4,970	80,85

Zdroj:[Autor]

Příloha 4 Tab. č. 4p: Parametry vozidla část 2

Parametry vozidla část 2							
Trakční charakteristika							
Rychlost vozidla [km·h⁻¹]	Součinitel odporu valení [kN]	Odpor valení 0° [kN]	Odpor valení 5° [kN]	Odpor valení 10° [kN]	Odpor vzduchu [kN]	Odpor valení, vzduchu, stoupání 5° [kN]	Odpor valení, vzduchu, stoupání 10° [kN]
0,01	0,015	1,942	1,940	1,933	0,000	8,378	14,794
4,76	0,015	1,942	1,940	1,933	0,004	8,382	14,798
9,51	0,015	1,942	1,940	1,933	0,017	8,395	14,811
14,27	0,015	1,942	1,940	1,933	0,038	8,416	14,832
19,02	0,015	1,942	1,940	1,933	0,067	8,445	14,861
23,78	0,015	1,942	1,940	1,933	0,105	8,483	14,899
28,54	0,015	1,942	1,940	1,933	0,151	8,529	14,945
33,29	0,015	1,942	1,940	1,933	0,206	8,584	15,000
38,05	0,015	1,942	1,940	1,933	0,269	8,647	15,063
42,80	0,015	1,942	1,940	1,933	0,340	8,718	15,134
47,56	0,015	1,912	1,912	1,902	0,420	8,770	15,183
52,31	0,015	1,972	1,972	1,962	0,508	8,918	15,331
57,07	0,016	2,032	2,032	2,022	0,605	9,074	15,487
61,83	0,016	2,092	2,092	2,081	0,710	9,240	15,652
66,58	0,017	2,152	2,152	2,141	0,823	9,413	15,825
71,34	0,017	2,212	2,212	2,201	0,945	9,595	16,007
76,09	0,018	2,272	2,272	2,261	1,075	9,785	16,197
80,85	0,018	2,332	2,332	2,320	1,214	9,984	16,395

Zdroj:[Autor]

Příloha 5 Tab. č. 5p: Parametry vozidla – Měrné hodnoty

Parametry vozidla								
Trakční charakteristika – Měrné hodnoty								
Rychlost vozidla [km·h⁻¹]	Měrná síla na kole [1]	Součinitel odporu valení [1]	Měrný odpor valení 0° [1]	Měrný odpor valení 5° [1]	Měrný odpor valení 10° [1]	Měrný odpor vzduchu [1]	Měrný odpor valení, vzduchu, stoupání 5° [1]	Měrný odpor valení, vzduchu, stoupání 10° [1]
0,01	0,157	0,00012	0,015	0,015	0,015	0,00000	0,065	0,114
4,76	0,145	0,00012	0,015	0,015	0,015	0,00003	0,065	0,114
9,51	0,140	0,00012	0,015	0,015	0,015	0,00013	0,065	0,114
14,27	0,140	0,00012	0,015	0,015	0,015	0,00029	0,065	0,115
19,02	0,140	0,00012	0,015	0,015	0,015	0,00052	0,065	0,115
23,78	0,131	0,00012	0,015	0,015	0,015	0,00081	0,066	0,115
28,54	0,109	0,00012	0,015	0,015	0,015	0,00117	0,066	0,115
33,29	0,094	0,00012	0,015	0,015	0,015	0,00159	0,066	0,116
38,05	0,084	0,00012	0,015	0,015	0,015	0,00208	0,067	0,116
42,80	0,074	0,00012	0,015	0,015	0,015	0,00263	0,067	0,117
47,56	0,066	0,00011	0,015	0,015	0,015	0,00324	0,068	0,117
52,31	0,060	0,00012	0,015	0,015	0,015	0,00392	0,069	0,118
57,07	0,056	0,00012	0,016	0,016	0,016	0,00467	0,070	0,120
61,83	0,051	0,00012	0,016	0,016	0,016	0,00548	0,071	0,121
66,58	0,048	0,00013	0,017	0,017	0,017	0,00636	0,073	0,122
71,34	0,044	0,00013	0,017	0,017	0,017	0,00730	0,074	0,124
76,09	0,041	0,00014	0,018	0,018	0,017	0,00830	0,076	0,125
80,85	0,038	0,00014	0,018	0,018	0,018	0,00937	0,077	0,127

Zdroj:[Autor]

Příloha 6 Tab. č. 6p: Poruchy elektrobuse SOR EBN 10,5

Název poruchy	Ujetá dráha [km]
Svítil kontrolka stop	42 077
Porucha, nutno restartovat	72 565
Nemožnost jízdy, nutno restartovat	83 380
Porucha kompresoru	46 609
Pomalé nabíjení (rychlý režim)	42 798
Porucha pedálu jízdy	14 667
Porucha třetí dveře	64 179
Nemožnost jízdy, nutno restartovat	53 480
Porucha komunikace	29 430
Vůz nejede	22 138
Porucha kompresoru	58 763
Porucha nabíjení	47 021
Nefunkční posilovač řízení	38 678
Pokles tlaku stlačeného vzduchu	85 543
Nefunkční BUSE panel	44 034
Porucha přední náprava vůle uchycení	48 051
Ukazatel nabití akumulátoru	70 196
Porucha staniční brzdy	75 346
Únik stlačeného vzduchu	58 351
Porucha komunikace	52 377
Porucha pohonu, svítí kontrolní žárovka	9 800
Pokles energie v akumulátoru	79 363
Poruch pedálu jízdy	68 033
Výpadek dodávky energie, nefunkční agregáty	79 981

Zdroj: [Autor]

Příloha 7 Tab. č. 7p: Údaje pro sestavení grafu

li [km]	ni [-]	F(m)	yi [-]	ln(x)
412	1	0,029	-3,537	6,021
412	2	0,070	-2,628	6,021
618	3	0,111	-2,143	6,426
721	4	0,152	-1,805	6,581
1030	5	0,193	-1,542	6,937
1103	6	0,234	-1,324	7,006
1236	7	0,275	-1,136	7,120
2163	8	0,316	-0,970	7,679
2163	9	0,357	-0,819	7,679
2369	10	0,398	-0,680	7,770
2575	11	0,439	-0,550	7,854
2781	12	0,480	-0,426	7,931
3399	13	0,520	-0,308	8,131
3399	14	0,561	-0,193	8,131
3854	15	0,602	-0,081	8,257
4017	16	0,643	0,031	8,298
4326	17	0,684	0,143	8,372
4867	18	0,725	0,257	8,490
4871	19	0,766	0,374	8,491
5416	20	0,807	0,499	8,597
7292	21	0,848	0,635	8,895
7471	22	0,889	0,789	8,919
9248	23	0,930	0,980	9,132
9800	24	0,971	1,267	9,190

Zdroj:[Autor]

Příloha 8 Tab. č. 8p: Protokol o provedení PÚ – P1

Protokol o provedení PÚ – P1						
Zápis identifikačních parametrů vozidla – evidenční číslo vozidla, SPZ, číslo podvozku, dále informace o stavu tachometru a datum a proběh od poslední prohlídky						
Název	Práce					
Podvozek – rám						
Řízení a ovládání	.120E	.123E	.125E	.126E	.128E	
Kola	.1310E	.1311E				
Přední náprava	.1320E	.1326E				
Zadní náprava	.1330E	.1333E				
Brzdy	.186E					
Systémy a mazání	.1C1					
Trakční motor	.210E	.212E				
Trakční měnič						
Karosérie	.310E					
Vnitřní výbava	.334E	.335E				
Dveře a ovládání dveří	.361E					
Elektrické příslušenství	.518E	.519E				
Elektrické příslušenství						
Elektrické příslušenství						
Klimatizace						
Vybavení vozu						
Informace o stavu popř. doplnění provozních kapalin						
Diagnostika brzdové soustavy – brzdné síly a tlaky, opotřebení brzdového obložení						
Stav pneumatik – opotřebení, tlak						
Stav akumulátoru						
Doplňující poznámky o stavu vozidla						

Zdroj:[8]

Příloha 9 Tab. č. 9p: Protokol o provedení PÚ – P3

Protokol o provedení PÚ – P3								
Zápis identifikačních parametrů vozidla – evidenční číslo vozidla, SPZ, číslo podvozku, dále informace o stavu tachometru a datum a proběh od poslední prohlídky								
Název	Práce							
Podvozek – rám								
Řízení a ovládání	.120E	.121E	.123E					
Kola	.1310E	.1311E						
Přední náprava	.1320E	.1321E	.1322E	.1323E	.1326E			
Zadní náprava	.1333E							
Brzdy	.180E	.180EP	.182E	.183E	.186E	.187E	.188E	.189E
Brzdy	.1800E							
Systémy a mazání	.1C1							
Trakční motor	.210E	.211E	.212E	.213E				
Trakční měnič	.220E	.221E						
Karosérie								
Vnitřní výbava	.332E	.335E						
Dveře a ovládání	.361E	.362E						
Elektrické příslušenství	.510E	.513E	.514E	.515E	.517E	.518E	.519E	.5100E
Elektrické příslušenství								
Klimatizace								
Vybavení vozu	.810E	.820E	.830E	.840E	.850E	.851E	.860E	
Kompresor	.900E	.901E	.902E	.903E				
Informace o stavu popř. doplnění provozních kapalin								
Diagnostika brzdové soustavy – brzdné síly a tlaky, opotřebení brzdového obložení								
Stav pneumatik – opotřebení, tlak								
Stav akumulátoru								
Doplňující poznámky o stavu vozidla								

Zdroj:[8]

Příloha 10 Tab. č. 10p: Protokol o provedení PÚ – P6

Protokol o provedení PÚ – P6								
Zápis identifikačních parametrů vozidla – evidenční číslo vozidla, SPZ, číslo podvozku, dále informace o stavu tachometru a datum a proběh od poslední prohlídky								
Název	Práce							
Podvozek – rám	.110E							
Řízení a ovládání	.120E	.121E	.122E	.123E	.124E	.126E	.127E	
Kola	.1310E	.1311E						
Přední náprava	.1320E	.1321E	.1322E	.1323E	.1324E	.1325E	.1326E	
Zadní náprava	.1330E	.1331E	.1333E					
Brzdy	.180E	.180EP	.182E	.183E	.185E	.186E	.187E	.188E
Brzdy	.189E	.1800E						
Systémy a mazání	.1C1							
Trakční motor	.210E	.211E	.212E					
Trakční měnič								
Karosérie	.310E							
Vnitřní výbava	.330E	.331E	.332E	.333E	.334E			
Dveře a ovládání	.360E	.361E	.362E					
El. příslušenství	.510E	.511E	.512E	.513E	.516E	.517E	.518E	.519E
El. příslušenství	.5100E							
Klimatizace								
Vybavení vozu	.810E	.820E	.830E	.840E	.850E	.851E	.860E	
Kompresor	.900E	.901E	.902E	.903E	.904E	.905E	.906E	.907E
	.908E	.909E	.910E					
Informace o stavu popř. doplnění provozních kapalin								
Diagnostika brzdové soustavy – brzdné síly a tlaky, opotřebení brzdového obložení								
Stav pneumatik – opotřebení, tlak								
Stav akumulátoru								
Doplňující poznámky o stavu vozidla								

Zdroj:[8]

Příloha 11 Tab. č. 11p: Spotřeba elektrické energie SOR EBN 10,5 5004

Elektrobus SOR EBN 10,5 5004 Březen 2013								
Převod z Února 2013. Stav záznamu ujeté dráhy: 84 131 km; stav elektroměru: 59 870,8 kW; stav akumulátorů 100%								
Datum	Ujetá dráha		Elektroměr		Akumulátor		Hodnocení	
	Začátek jízdy [km]	Konec jízdy [km]	Začátek nabíjení [kW·h]	Konec nabíjení [kW·h]	Začátek nabíjení [%]	Konec nabíjení [%]	Ujetá dráha [km]	Spotřeba elektrické energie [kW·h]
1.3.	84131	84207	59070,8	59134,5	58	100	76	63,7
1.3.	84207	84304	59934,5	60028,5	44	100	97	94,0
2.3.	84304	84399	60028,5	60092,0	53	91	95	63,5
2.3.	84399	84473	60092,0	60153,6	57	90	74	61,6
2.3.	84473	84548	60153,6	60229,8	53	100	75	76,2
3.3.	84548	84622	60229,8	60300,9	47	90	74	71,1
3.3.	84622	84727	60300,9	60363,4	49	87	105	62,5
3.3.	84727	84802	60363,4	60441,4	51	90	75	78,0
4.3.	84802	84878	60441,4	60501,1	60	100	76	59,7
4.3.	84878	84975	60501,1	60588,8	47	99	97	87,7
5.3.	84975	85052	60588,8	60656,4	54	97	77	67,6
5.3.	85052	85149	60656,4	60749,2	44	100	97	92,8
6.3.	85149	85225	60749,2	60812,3	48	100	76	63,1
6.3.	85225	85322	60812,3	60903,3	46	100	97	91,0
6.3.	85322	85397	60903,3	60962,6	60	98	75	59,3
6.3.	85397	85493	60962,6	61020,3	45	82	96	57,7
7.3.	85493	85568	61020,3	61112,1	40	100	75	91,8
7.3.	85568	85664	61112,1	61203,4	45	100	96	91,3
8.3.	85664	85770	61203,4	61277,6	48	94	106	74,2
8.3.	85770	85845	61277,6	61343,0	52	93	75	65,4
9.3.	85845	85920	61343,0	61418,8	54	100	75	75,8
10.3.	85920	85970	61418,8	61453,3	75	95	50	34,5
10.3.	85970	86043	61418,8	61524,9	60	99	73	106,1

Zdroj:[Autor]

Příloha 12 Tab. č. 12p: Dojezd SOR EBN 10,5 5004

Elektrobus SOR EBN 10,5 5004 Březen 2013									
Převod z Února 2013. Stav záznamu ujeté dráhy: 84 131 km; stav elektroměru: 59 870,8 kW; stav akumulátorů 100%									
Datum	Ujetá dráha		Elektroměr		Akumulátor		Hodnocení		
	Začátek jízdy [km]	Konec jízdy [km]	Začátek nabíjení [kW·h]	Konec nabíjení [kW·h]	Začátek nabíjení [%]	Konec nabíjení [%]	Pokles energie [%]	Spotřeba [kWh·km ⁻¹]	Dojezd [km·% ⁻¹]
1.3.	84131	84207	59070,8	59134,5	58	100	42	0,8382	1,8095
1.3.	84207	84304	59934,5	60028,5	44	100	56	0,9691	1,7321
2.3.	84304	84399	60028,5	60092,0	53	91	47	0,8267	2,0213
2.3.	84399	84473	60092,0	60153,6	57	90	34	0,8577	2,1765
2.3.	84473	84548	60153,6	60229,8	53	100	37	0,7998	2,0270
3.3.	84548	84622	60229,8	60300,9	47	90	53	1,1843	1,3962
3.3.	84622	84727	60300,9	60363,4	49	87	41	0,6422	2,5610
3.3.	84727	84802	60363,4	60441,4	51	90	36	0,9600	2,0833
4.3.	84802	84878	60441,4	60501,1	60	100	30	0,5891	2,5333
4.3.	84878	84975	60501,1	60588,8	47	99	53	0,9215	1,8302
5.3.	84975	85052	60588,8	60656,4	54	97	45	0,9188	1,7111
5.3.	85052	85149	60656,4	60749,2	44	100	53	0,9054	1,8302
6.3.	85149	85225	60749,2	60812,3	48	100	52	0,8303	1,4615
6.3.	85225	85322	60812,3	60903,3	46	100	54	0,9381	1,7963
6.3.	85322	85397	60903,3	60962,6	60	98	40	0,8323	1,8750
6.3.	85397	85493	60962,6	61020,3	45	82	53	0,8610	1,8113
7.3.	85493	85568	61020,3	61112,1	40	100	42	0,8568	1,7857
7.3.	85568	85664	61112,1	61203,4	45	100	55	0,9510	1,7455
8.3.	85664	85770	61203,4	61277,6	48	94	52	0,7913	2,0385
8.3.	85770	85845	61277,6	61343,0	52	93	42	0,8933	1,7857
9.3.	85845	85920	61343,0	61418,8	54	100	39	0,8569	1,9231
10.3.	85920	85970	61418,8	61453,3	75	95	25	0,8625	2,0000
10.3.	85970	86043	61418,8	61524,9	60	99	35	1,3044	2,0857

Zdroj:[Autor]

Příloha 13 Tab. č. 13p: Spotřeba elektrické energie SOR EBN 10,5 5002

Elektrobus SOR EBN 10,5 5002 Březen 2013								
Převod z Února 2013. Stav záznamu ujeté dráhy: 77 972 km; stav elektroměru: 40 493,5 kW; stav akumulátorů 60%								
Datum	Ujetá dráha		Elektroměr		Akumulátor		Hodnocení	
	Začátek jízdy [km]	Konec jízdy [km]	Začátek nabíjení [kW·h]	Konec nabíjení [kW·h]	Začátek nabíjení [%]	Konec nabíjení [%]	Ujetá dráha [km]	Spotřeba elektrické energie [kW·h]
1.3.	77972	78006	127554,5	127587,0	70	84	34	32,5
2.3.	78006	78012	127587,0	127648,9	58	95	6	61,9
20.3.	78012	78077	40537,8	40607,8	58	100	65	70,0
20.3.	78077	78179	40607,8	40719,6	40	99	102	111,8
21.3.	78179	78244	40719,6	40776,8	60	97	65	57,2
21.3.	78244	78347	40776,8	40888,0	33	97	103	111,2
22.3.	78347		460311,0	Hodnoty nebyly k dispozici				
24.3.	78347	78472	66870,0	66900,9	71	90	125	30,9
24.3.	78472	78522	66900,9	66936,0	65	88	50	35,1
24.3.	78522	78596	67014,0	67084,4	48	89	74	70,4
24.3.	78596	78646	129342,7	129374,1	64	82	50	31,4
24.3.	78646	78707	129374,1	129440,7	56	96	61	66,6
25.3.	78707	78783	129440,8	129501,3	52	90	76	60,5
25.3.	78783	78882	129501,3	129602,6	32	93	99	101,3
26.3.	78882	78956	129602,6	129656,1	57	88	74	53,5
26.3.	78956	79056	129656,1	129724,1	40	82	100	68,0
27.3.	79056	79132	129724,1	129814,9	49	90	76	90,8
27.3.	79132	79232	129814,9	129874,9	33	87	100	60,0
28.3.	79232	79308	129874,9	129968,0	49	89	76	93,1
28.3.	79308	79403	129968,0	130032,5	36	88	95	64,5

Zdroj: [Autor]

Příloha 14 Tab. č. 14p: Dojezd SOR EBN 10,5 5002

Elektrobus SOR EBN 10,5 5002 Březen 2013										
Převod z Února 2013. Stav záznamu ujeté dráhy: 77 972 km; stav elektroměru: 40 493,5 kW; stav akumulátorů 60%										
Datum	Ujetá dráha		Elektroměr		Akumulátor		Hodnocení			
	Začátek jízdy [km]	Konec jízdy [km]	Začátek nabíjení [kW·h]	Konec nabíjení [kW·h]	Začátek nabíjení [%]	Konec nabíjení [%]	Pokles energie [%]	Dojezd [km·% ⁻¹]	Spotřeba [kWh·km ⁻¹]	
1.3.	77972	78006	127554,5	127587,0	70	84	10	3,4000	0,9559	
2.3.	78006	78012	127587,0	127648,9	58	95	26	0,2308	10,3167	
20.3.	78012	78077	40537,8	40607,8	58	100	37	1,7568	1,0769	
20.3.	78077	78179	40607,8	40719,6	40	99	60	1,7000	1,0961	
21.3.	78179	78244	40719,6	40776,8	60	97	39	1,6667	0,8800	
21.3.	78244	78347	40776,8	40888,0	33	97	64	1,6094	1,0796	
22.3.	78347	-	460311,0	Hodnoty nebyly k dispozici						
24.3.	78347	78472	66870,0	66900,9	71	90	13	9,6154	0,2472	
24.3.	78472	78522	66900,9	66936,0	65	88	25	2,0000	0,7020	
24.3.	78522	78596	67014,0	67084,4	48	89	40	1,8500	0,9514	
24.3.	78596	78646	129342,7	129374,1	64	82	25	2,0000	0,6280	
24.3.	78646	78707	129374,1	129440,7	56	96	26	2,3462	1,0918	
25.3.	78707	78783	129440,8	129501,3	52	90	44	1,7273	0,7961	
25.3.	78783	78882	129501,3	129602,6	32	93	58	1,7069	1,0232	
26.3.	78882	78956	129602,6	129656,1	57	88	36	2,0556	0,7230	
26.3.	78956	79056	129656,1	129724,1	40	82	48	2,0833	0,6800	
27.3.	79056	79132	129724,1	129814,9	49	90	33	2,3030	1,1947	
27.3.	79132	79232	129814,9	129874,9	33	87	57	1,7544	0,6000	
28.3.	79232	79308	129874,9	129968,0	49	89	38	2,0000	1,2250	
28.3.	79308	79403	129968,0	130032,5	36	88	53	1,7925	0,6789	

Zdroj:[Autor]

Příloha 15 Tab. č. 15p: Mannův – Whitneyův test Zdroj:[Autor]

Spotřeba [kWh·km ⁻¹]	Pořadí	Hodnoty	Medián	Pořadí	Hodnoty	Označení	Pořadí X	Pořadí Y
0,8382	1	0,5891		1	0,2472	Y		1
0,9691	2	0,6422		2	0,5891	X	2	
0,8267	3	0,7913		3	0,6000	Y		3
0,8577	4	0,7998		4	0,6280	Y		4
0,7998	5	0,8267		5	0,6422	X	5	
1,1843	6	0,8303		6	0,6789	Y		6
0,6422	7	0,8323		7	0,6800	Y		7
0,9600	8	0,8382		8	0,7020	Y		8
0,5891	9	0,8568		9	0,7230	Y		9
0,9215	10	0,8569		10	0,7913	X	10	
0,9188	11	0,8577		11	0,7961	Y		11
0,9054	12	0,8610	0,8610	12	0,7998	X	12	
0,8303	13	0,8625		13	0,8267	X	13	
0,9381	14	0,8933		14	0,8303	X	14	
0,8323	15	0,9054		15	0,8323	X	15	
0,8610	16	0,9188		16	0,8382	X	16	
0,8568	17	0,9215		17	0,8568	X	17	
0,9510	18	0,9381		18	0,8569	X	18	
0,7913	19	0,9510		19	0,8577	X	19	
0,8933	20	0,9600		20	0,8610	X	20	
0,8569	21	0,9691		21	0,8625	X	21	
0,8625	22	1,1843		22	0,8800	Y		22
1,3044	23	1,3044		23	0,8933	X	23	
				24	0,9054	X	24	
0,9559	1	0,9559		25	0,9188	X	25	
10,3167	2	10,3167		26	0,9215	X	26	
1,0769	3	1,0769		27	0,9381	X	27	
1,0961	4	1,0961		28	0,9510	X	28	
0,8800	5	0,8800		29	0,9514	Y		29
1,0796	6	1,0796		30	0,9559	Y		30
0,2472	7	0,2472		31	0,9600	X	31	
0,7020	8	0,7020		32	0,9691	X	32	
0,9514	9	0,9514		33	1,0232	Y		33
0,6280	10	0,6280	0,6280	34	1,0769	Y		34
1,0918	11	1,0918		35	1,0796	Y		35
0,7961	12	0,7961		36	1,0918	Y		36
1,0232	13	1,0232		37	1,0961	Y		37
0,7230	14	0,7230		38	1,1843	X	38	
0,6800	15	0,6800		39	1,1947	Y		39
1,1947	16	1,1947		40	1,2250	Y		40
0,6000	17	0,6000		41	1,3044	X	41	
1,2250	18	1,2250		42	10,3167	Y		42
0,6789	19	0,6789				SUMA	477	426

Příloha 16 Tab. č. 16p: Mannův – Whitneyův test Zdroj:[Autor]

Dojezd [km·% ⁻¹]	Pořadí	Hodnoty	Medián	Pořadí	Hodnoty	Označení	Pořadí X	Pořadí Y
1,8095	1	1,3962		1	0,2308	Y		1
1,7321	2	1,4615		2	1,3962	X	2	
2,0213	3	1,7111		3	1,4615	X	3	
2,1765	4	1,7321		4	1,6094	Y		4
2,0270	5	1,7455		5	1,6667	Y		5
1,3962	6	1,7857		6	1,7000	Y		6
2,5610	7	1,7857		7	1,7069	Y		7
2,0833	8	1,7963		8	1,7111	X	8	
2,5333	9	1,8095		9	1,7273	Y		9
1,8302	10	1,8113		10	1,7321	X	10	
1,7111	11	1,8302		11	1,7455	X	11	
1,8302	12	1,8302	1,8302	12	1,7544	Y		12
1,4615	13	1,8750		13	1,7568	Y		13
1,7963	14	1,9231		14,5	1,7857	X	14,5	
1,8750	15	2,0000		14,5	1,7857	X	14,5	
1,8113	16	2,0213		16	1,7925	Y		16
1,7857	17	2,0270		17	1,7963	X	17	
1,7455	18	2,0385		18	1,8095	X	18	
2,0385	19	2,0833		19	1,8113	X	19	
1,7857	20	2,0857		20,5	1,8302	X	20,5	
1,9231	21	2,1765		20,5	1,8302	X	20,5	
2,0000	22	2,5333		22	1,8500	Y		22
2,0857	23	2,5610		23	1,8750	X	23	
				24	1,9231	X	24	
3,4000	1	0,2308		26,5	2,0000	X	26,5	
0,2308	2	1,6094		26,5	2,0000	Y		26,5
1,7568	3	1,6667		26,5	2,0000	Y		26,5
1,7000	4	1,7000		26,5	2,0000	Y		26,5
1,6667	5	1,7069		29	2,0213	X	29	
1,6094	6	1,7273		30	2,0270	X	30	
9,6154	7	1,7544		31	2,0385	X	31	
2,0000	8	1,7568		32	2,0556	Y		32
1,8500	9	1,7925		33,5	2,0833	X	33,5	
2,0000	10	1,8500	1,8500	33,5	2,0833	Y		33,5
2,3462	11	2,0000		35	2,0857	X	35	
1,7273	12	2,0000		36	2,1765	X	36	
1,7069	13	2,0000		37	2,3030	Y		37
2,0556	14	2,0556		38	2,3462	Y		38
2,0833	15	2,0833		39	2,5333	X	39	
2,3030	16	2,3030		40	2,5610	X	40	
1,7544	17	2,3462		41	3,4000	Y		41
2,0000	18	3,4000		42	9,6154	Y		42
1,7925	19	9,6154				SUMA	505	398

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval pedagogům Institutu dopravy, Vysoké školy báňské Technické univerzity Ostrava za trpělivý přístup při předávání znalostí během mého studia, vedoucímu práce Ing. Michalu Richtářovi za ochotu a poskytování cenných rad při zpracování této diplomové práce. Dále bych velice rád poděkoval Ing. Janu Černému ze společnosti SOR Libchavy spol. s r.o., za konzultace dané problematiky. Děkuji také Ing. Jiřímu Stachovičovi z Dopravního podniku Ostrava a.s., za poskytnutí potřebných informací.

Poděkování také patří celé mé rodině, která mi morální a finanční podporou umožnila studium na vysoké škole.