



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ
ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

ΠΜΣ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΑΙ ΠΛΗΡΩΣ ΑΥΤΟΝΟΜΑ
ΛΕΩΦΟΡΕΙΑ: ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΣ ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΠΑΤΣΟΥΡΑΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ

ΑΜ: 806971004

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

ΔΡ. ΧΡΗΣΤΟΣ ΔΡΟΣΟΣ

ΑΘΗΝΑ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2024



UNIVERSITY OF WEST ATTICA

SCHOOL OF ENGINEERING

**DEPARTMENT OF INDUSTRIAL DESIGN AND
PRODUCTION ENGINEERING**

«MSc IN INDUSTRIAL AUTOMATION»

Diploma Thesis

**ELECTRIC AND FULLY AUTONOMOUS BUSES: LITERATURE
REVIEW AND FUTURE RESEARCH**

PATSOURAS APOSTOLOS

Registration Number: 806971004

SUPERVISOR:

Dr. CHRISTOS DROSOS

ATHENS, NOVEMBER 2024



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΓΡΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΠΜΣ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι
Εξεταστική Επιτροπή:

A/a	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΑΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	ΧΡΗΣΤΟΣ ΔΡΟΣΟΣ	ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	
	ΓΚΑΝΕΤΣΟΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ	ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	
	ΚΑΝΤΖΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ	ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένοςΠΑΤΣΟΥΡΑΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ..... του.....ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ....., με αριθμό μητρώου ...806971004..... φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Αυτοματισμός Παραγωγής και Υπηρεσιών του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι: «Είμαι συγγραφέας αυτής της Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο.

Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του Διπλώματος μου»

Ο/Η Δηλών/ούσα

Πατσούρας Απόστολος



Αφιέρωση

Στην σύντροφο μου για την στήριξη της σε αυτή την προσπάθεια!

Ευχαριστίες

Με αφορμή το πέρας της μεταπτυχιακής μου μελέτης, σαν ελάχιστο δείγμα εκτίμησης και ευγνωμοσύνης, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους εκείνους τους ανθρώπους που με στηρίζαν, και με τον τρόπο τους συνέβαλαν στη πραγματοποίηση της παρούσας εργασίας. Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, Δρ. Χρήστο Δρόσο, για την συνεχή υποστήριξή του, την καθοδήγηση και τις πολύτιμες συμβουλές του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, τους φίλους μου και ιδιαίτερα την σύντροφο μου για την αδιάλειπτη στήριξη και κατανόησή καθ' όλη τη διάρκεια της εκπαιδευτικής μου πορείας.

Με εκτίμηση,

Πατσούρας Απόστολος

Περίληψη

Οι αστικές μεταφορές τις επόμενες δεκαετίες θα στραφούν παγκοσμίως προς την ηλεκτροδότηση και τον αυτοματισμό, με τελικό στόχο την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης και ασφάλειας για τους επιβάτες.

Τα τελευταία χρόνια, οι εταιρίες παροχής συγκοινωνιακού έργου έχουν αρχίσει να επικεντρώνονται στην ηλεκτροδότηση του στόλου τους για τη μείωση των ατμοσφαιρικών ρύπων στις πόλεις.

Τα ηλεκτρικά λεωφορεία, συμπεριλαμβανομένων των τρόλεϊ, των ηλεκτρικών λεωφορείων με κυψέλες υδρογόνου καυσίμου (FCBE) και των ηλεκτρικών λεωφορείων με μπαταρία (BEV), προσφέρουν υποσχόμενες λύσεις για βιώσιμες αστικές μεταφορές. Με τους ηλεκτρικούς κινητήρες, τα βασικά εξαρτήματα και τις διάφορες επιλογές φόρτισης, αυτά τα λεωφορεία συμβάλλουν σε καθαρότερες πόλεις και ένα πιο πράσινο μέλλον. Η υιοθέτηση της τεχνολογίας των ηλεκτρικών λεωφορείων είναι ζωτικής σημασίας για τη μείωση των εκπομπών και τη δημιουργία ενός πιο πράσινου δικτύου δημόσιων μεταφορών, ειδικά στις αστικές περιοχές.

Αξίζει να αναφερθεί η πρόοδος που σημειώνεται στον τομέα της τεχνολογίας αυτόνομων οχημάτων (AV). Η πλήρως αυτόνομη οδήγηση αναμένεται να βελτιώσει την ασφάλεια, την οδική χωρητικότητα, την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές ρύπων [1] [2] [3] [4].

Η διαδικασία μετατροπής σε συστήματα ηλεκτρικών λεωφορείων, περιλαμβάνει μεγάλες προκλήσεις που αφορούν την τεχνολογία της μπαταρίας, τρόποι φόρτισης .σχεδιασμός τοποθεσίας του εξοπλισμού ,στρατηγικές διαχείρισης έξυπνης φόρτισης σε πραγματικό χρόνο, επιπτώσεις στο ηλεκτρικό δίκτυο, περιορισμοί στην δρομολόγηση.

Αυτές οι σημαντικές αλλαγές απαιτούν ισχυρή συνεργασία και προσπάθειες μεταξύ των δημόσιων αρχών για την έρευνα, την ανάπτυξη, τη δοκιμή και την προώθηση αυτών των τεχνολογιών στους επιβάτες, σαν απώτερο σκοπό την βελτίωση της αξιοπιστίας και της εμπειρία των επιβατών.

Λέξεις-κλειδιά: Ηλεκτρισμός λεωφορείων», «ηλεκτρικό λεωφορείο μπαταριών», «απανθρακοποίηση λεωφορείων», «ηλεκτρικό λεωφορείο», «απανθρακοποίηση των δημόσιων μεταφορών», «διαδρομή ηλεκτροδότησης λεωφορείων» «λεωφορείο εναλλακτικών καυσίμων, τεχνολογία μπαταριών ηλεκτρικών λεωφορείων, περιβαλλοντικές επιπτώσεις των ηλεκτρικών λεωφορείων, αυτοματοποιημένη λεωφορεία, Πλήρως αυτόνομα λεωφορεία.

Abstract

Urban transport in the coming decades will turn globally towards electrification and automation, with the ultimate goal of increasing energy efficiency and safety for passengers.

In recent years, transportation companies have begun to focus on electrifying their fleets to reduce air pollution in cities.

Electric buses, including trolleybuses, hydrogen fuel cell electric buses (FCEBs) and battery electric buses (BEBs), offer promising solutions for sustainable urban transport. With their electric motors, key components and various charging options, these buses contribute to cleaner cities and a greener future. The adoption of electric bus technology is crucial to reducing emissions and creating a greener public transport network, especially in urban areas.

The progress being made in the field of autonomous vehicle (AV) technology is worth mentioning. Fully autonomous driving is expected to improve safety, road capacity, fuel consumption and emissions [4] [1] [3].

The process of converting to electric bus systems includes major challenges related to battery technology, charging methods, equipment location planning, real-time smart charging management strategies, power grid impacts, routing constraints.

These significant changes require strong collaboration and efforts among public authorities to research, develop, test and promote these technologies to passengers, with the ultimate goal of improving reliability and the passenger experience.

Keywords: Bus electrification”, “battery electric bus”, “bus decarbonization”, “electric bus”, “public transport decarbonization”, “bus electrification pathway” “alternative fuel bus, technology of electric bus batteries, environmental impact of e-bus, automated busses, Fully autonomous buses.

Περιεχόμενα

Π

Δ

Δ

Δ

Δ

Δ

Δ

Δ

Δ

Δ

Δ

Δ

Δ

Δ

Δ

Δ

Δ

Δ

Δ

Δ

Δ

Δ

Δ

Δ

Δ

Δ

Δ

Δ

Δ

Δ

Δ

Δ

Δ

Δ

Δ

Δ

Δ

Δ

Δ

Δ

Δ

Δ

Δ

Δ

Δ

.....
 1.2.1 Δυσκολία προώθησης Ηλεκτρικών Λεωφορείων..... 22

2.1 - Εναλλακτικές τεχνολογίες κινητήρων..... 23

2.2 Ηλεκτρικά λεωφορεία στα MMM..... 24

2.2.1 Γιατί να επιλέξω ηλεκτρικά λεωφορεία..... 26

2.2.2 Τι σημαίνει TCO (Total cost of ownership) Ανάλυση..... 26

2.2.3 Γιατί είναι σημαντική η TCO ανάλυση για τους παρόχους 26

2.2.4 Επιλογή διαδρομών 26

2.3 Τοποθέσια αμαξοστάσιων..... 28

2.4 Σχεδιασμός και Δημιουργία υποδομής φόρτισης 29

2.5 Επιλογή σωστής στρατηγικής φόρτισης 29

2.6 Συμβόλαιο συντήρησης..... 31

2.7 Αξιολόγηση κύκλου ζωής ηλεκτρικού λεωφορείου 31

2.7.1 Ανάλυση SWOT..... 33

2.8.1 Total cost of ownership (km/h) 36

3.1 Λειτουργία των ηλεκτρικών λεωφορείων 39

3.2 Επισκόπηση τεχνολογιών 40

3.2.1 Ηλεκτρικά λεωφορεία με μπαταρίες (BEB) 40

3.2.2 Υβριδικά ηλεκτρικά λεωφορεία 42

3.2.2.1 Τρόλεϊ (συμβατικό υβριδικό)..... 43

3.2.3 Ηλεκτρικό λεωφορείο κυψελών καυσίμου – FCEB 43

3.2.4 Υλικά κατασκευής Ηλεκτρικών λεωφορείων 45

4.1. Σύστημα μπαταρίας 48

4.2. Ηλεκτροκινητήρας (*Electric Motor*) 49

4.3. Ηλεκτρονικός μετατροπέας ισχύος (*Power Electronic Converter Unit*)..... 50

4.4. Βοηθητικές Συσκευές 50

4.5. Κατανάλωση Ενέργειας.....	51
4.6. Διασύνδεση φόρτισης.....	51
4.7 Τεχνολογία Φόρτισης	52
4.7.1. Τρόποι φόρτισης	52
4.7.2. Τοπολογία Υποδομής Φόρτισης.....	55
4.8 Τύπος φορτιστή	60
Κ	
ε 5.1 Ευρωπαϊκή οδηγία	61
φ 5.2 Επίδραση ηλεκτρικού λεωφορείου στην ατμοσφαιρική ρύπανση.....	62
α 5.3 Επίδραση ηλεκτρικού λεωφορείου στην ηχορύπανση	65
λ 6.1 Ιστορική ανάδρομή.....	68
α 6.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά.....	69
α 6.2.1. Σύστημα μετάδοσης κίνησης	70
α 6.2.2. Μπαταρία υψηλής τάσης.....	71
α 6.2.3 Πηδαλιούχηση (Σύστημα τιμόνι)	71
α 6.2.4. Σύστημα πέδησης	72
α 6.2.5 Σύστημα φόρτισης.....	74
α 6.3. Συστήματα αισθητήρων.....	74
α 6.3.1. LIDAR	75
α 6.3.2 RADAR	76
α 6.3.3. Σύστημα βιντεοκάμερας	78
α 6.3.4 GPS/GNSS	79
α 6.3.5. Αδρανειακή Μονάδα Μέτρησης	80
α 6.4 Νομικό πλαίσιο.....	81
α 6.5 Κοινωνικές Επιπτώσεις.....	81
α 7.1 Εισαγωγή.....	82
α 7.1.1 Γιατί επιλέχθηκε η εταιρεία Yutong	82
α 7.2 Επέκταση Στόλου.....	87
α 7.3 Το Μέλλον των Δημόσιων Αστικών Συγκοινωνιών (ΟΑΣΑ).....	88
α 7.4 Συμπέρασμα	89
α 8.1 Προκλήσεις και περιορισμοί	89
α 8.2 Μελλοντική έρευνα	92
α 8.3 Συμπεράσματα.....	97

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1 Σύνολο CO₂ εκπομπών διαφορετικών τομέων και του τμήματος των οδικών

μ
Ε
Ε

Εικόνα 4 Daimler και Scania πλήρως ηλεκτρικά λεωφορεία που παρουσιάστηκαν στην IAA

Φ
Ε
Ε
Ε
Ε
Ε
Ε
Ε
Ε
Ε
Ε
Ε

Εικόνα 16 Συμβατικό σύστημα [89] [90] EMT για HEB: (α) συνολική τοπολογία συστήματος HEB. (β) Σύστημα οδήγησης PMSM (permanent magnet synchronous motor) (Ηλεκτρική ροπή που βασίζεται σε MMC (.modular multilevel converter)) (γ)

Ε
Ε
Ε
Ε
Ε
Ε

Εικόνα 22 Χωρητικότητα μπαταρίας και μέγιστη ισχύς φόρτισης διαφορετικών τύπων

Ε

Εικόνα 24 Τρέχουσες μέθοδοι φόρτισης E-bus. Τα κίτρινα κουτιά δείχνουν τεχνικές

Ε

Εικόνα 25 Τυπικό προφίλ SoC ενός (α) BEB φόρτισης αμαξοστασίου και (β) BEB

Ε

Εικόνα 26 Προδιαγραφές τριών τρόπων φόρτισης: Αμαξοστάσιο, καθ' οδόν και φόρτιση σε

Ε

Ε

Εικόνα 28 Τοπολογίες για υποδομή φόρτισης BEB με (α) LFT- και (β) απομονωμένο

Ε

Ε

Ε

Εικόνα 31 Τοπολογίες μετατροπέα AFE τριών φάσεων. (α) Ανορθωτής γέφυρας διόδου, (β) ανορθωτής γέφυρας θυρίστρον, (c) ανορθωτής Βιέννης, (d) Ανορθωτής ενεργού μπροστινού... κρου δύο επιπέδων, (e) μετατροπέας τύπου NPC τριών επιπέδων, (f) Τύπος T τριών

Ε

Ε

Εικόνα 33 Διαφοροποίηση στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από βενζινοκίνητα

Ε

Ε

Ε

Ε

Ε

Ε

Εικόνα 34 Μείωση των εκπομπών σωματιδίων και οξειδίων του αζώτου με την μετάβαση σε η

Εικόνα 35 Μείωση των εκπομπών υπερθέρμανσης του πλανήτη με τη μετάβαση σε

α

β

γ

δ

ε

ς

ζ

Εικόνα 42 Αρχιτεκτονική μετάδοσης κίνησης: **(a)** σύστημα διεύθυνσης με δύο τιμόνια, **(b)**

α

β

Εικόνα 44 Σύστημα διεύθυνσης: **(a)** επισκόπηση του συστήματος διεύθυνσης, **(b)** το

α

β

γ

δ

ε

ς

ζ

η

θ

ι

κ

λ

μ

ν

ξ

ο

π

ρ

σ

τ

υ

φ

χ

ψ

ω

α

β

γ

δ

ε

ς

ζ

η

θ

ι

κ

λ

μ

ν

ξ

ο

π

Κατάλογος Πινάκων.....

α

β

γ

δ

ε

ς

ζ

η

θ

ι

κ

λ

μ

ν

ξ

ο

π

Ευρετήριο συντομογραφιών

Συντομογραφία	Περιγραφή
E	Ηλεκτρικό Όχημα
V	
P	Ηλεκτρονικός μετατροπέας ισχύος
F	
BEB (Battery electric bus)	Ηλεκτρικό Λεωφορείο Συσσωρευτή
SoC (State of charge)	Επίπεδο Φόρτισης
HEB (Hybrid electric buses)	Ηλεκτρικό Υβριδικό Λεωφορείο
FCEB (Fuel cell electric buses)	Ηλεκτρικό Όχημα κυψέλης Καυσίμου
ICEV (Internal combustion engine vehicle)	Συμβατικό Λεωφορείο Εσωτερικής καύσης
LNG (Liquefied natural gas)	Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο
GHG (Greenhouse gases)	Αέρια του Θερμοκηπίου
C	Συμπιεσμένο Φυσικό Αέριο
N	
TCO (Total cost of ownership)	Total cost of ownership
SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats.)	Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats
PMSM σύγχρονους κινητήρες μόνιμου μαγνήτη (PMSMs)	Permanent magnet synchronous motor
HVAC	Heating, Ventilation, and Air Conditioning
Ims (Particular induction (or asynchronous) motors)	Επαγωγικός (ή ασύγχρονος) Κινητήρας
MMC (Modular multilevel converter)	Αρθρωτός Μετατροπέας Πολλαπλών Επιπέδων
EM (Electric Motor)	Ηλεκτρικό Μοτέρ
FRP (Fibreglass reinforced plastic)	Υαλοβάμβακας
CFRP (Carbon fiber-reinforced plastic)	Πολυμερή Ενισχυμένα με Ίνες άνθρακα
LCI (Life Cycle Inventory)	Ανάλυση Κύκλου Ζωής
LFT (Low frequency transformer) (LFT)	Μετασχηματιστής Χαμηλής Συχνότητας

HFT (High-frequency transformer) (HFT).	Μετασχηματιστής Υψηλής Συχνότητας
S S T	Μετασχηματιστής Στερεάς Κατάστασης
THD (Total harmonic distortion)	Αρμονική παραμόρφωση
B2G	Bus to grid
V2G	Vehicle-to-grid
FCILP (Fast charging infrastructure location planning)	Σχεδιασμός τοποθεσίας υποδομής γρήγορης φόρτισης
OCPP	Open Charge Point Protocol
AI (Artificial intelligence)	Τεχνητή Νοημοσύνη
RES (Renewable energy sources)	Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
ESS (Energy storage system)	Σύστημα Αποθήκευσης
E M	Σύστημα διαχείρισης ενέργειας
ITS (Intelligent Transport Systems)	Ευφυή Συστήματα μεταφορών
AFE	Active Front End
LFP	Φωσφορικός Σίδηρος λιθίου
LTO	Οξείδιο του Τιτανίου Λιθίου
NMC	Οξείδιο Κοβαλτίου Νικελίου Λιθίου Μαγγανίου
AC	Εναλλασσόμενο Ρεύμα
DC	Συνεχές Ρεύμα
Lidar	Light Detection and Ranging
ADS	Automated Driving Systems
MRR	Micro Rain Radar
LRR	Long Range Radar
GNSS	Global navigation satellite system
IMU	Inertial measurement unit
WTW	Well to wheel (emissions)
WTT	Well-to-tank (emissions)

Εισαγωγή

Τις επόμενες δεκαετίες, οι αστικές μεταφορές αναμένεται να στραφούν παγκοσμίως προς την ηλεκτροδότηση και την αυτοματοποίηση, με στόχο τελικά τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και τη διασφάλιση της ασφάλειας των επιβατών.

Μια τόσο μεγάλη αλλαγή προϋποθέτει ισχυρή συνεργασία και προσπάθειες μεταξύ της δημόσιας διοίκησης, μακροχρόνια έρευνα για την ανάπτυξη, τη δοκιμή και την προώθηση αυτών των τεχνολογιών στο επιβατικό κοινό.

Πολλές πόλεις έχουν ανακοινώσει φιλόδοξα σχέδια για την εισαγωγή συστημάτων ηλεκτρικών λεωφορείων μηδενικών εκπομπών.

Η διαδικασία μετατροπής σε συστήματα ηλεκτρικών λεωφορείων, περιλαμβάνει μεγάλες προκλήσεις που αφορούν στο σχεδιασμό, στην τεχνολογία της μπαταρίας, τρόποι φόρτισης, σχεδιασμός τοποθεσίας του εξοπλισμού στα αμαξοστάσια κτλ

Ο τομέας των μεταφορών είναι ένας από τους σημαντικότερους καταναλωτές ορυκτών καυσίμων, συμβάλλοντας στο 16,2% των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου

Τα επιβατικά οχήματα (αυτοκίνητα, μοτοσυκλέτες και λεωφορεία) παράγουν περίπου το 45% αυτού του μεριδίου εκπομπών. Κατά συνέπεια, η απαλλαγή από τον άνθρακα αυτού του τομέα μπορεί να διαδραματίσει κρίσιμο ρόλο στον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής και των ζημιών που προκαλεί στα οικοσυστήματα. [6] [7] [8]

Για να αντιμετωπιστεί αυτή η πρόκληση, τα οχήματα εναλλακτικών καυσίμων έχουν αντικαταστήσει τα συμβατικά οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης (ICEV-τα τελευταία χρόνια. Αρκετοί τύποι οχημάτων που κινούνται με ορυκτά καύσιμα χαμηλών εκπομπών άνθρακα (π.χ. συμπιεσμένο φυσικό αέριο, υγρό φυσικό αέριο, υγρό αέριο πετρελαίου) έχουν εμφανιστεί ως εναλλακτική λύση στο συμβατικό

Τα προηγούμενα χρόνια εμφανίστηκαν οχήματα που κινούνται με βιοντίζελ και βιοαιθανόλη επίσης για να ανταποκριθούν στην ανάγκη για πιο βιώσιμα μέσα μεταφοράς. Οι πρόσφατες εξελίξεις στην παραγωγή και τη χρήση βιοκαυσίμων δείχνουν ότι αυτή η τεχνολογία είναι σε σημείο να βελτιώσει τα επίπεδα εκπομπών CO₂ του (ICEV-internal combustion engine vehicle).

Αυτές οι τεχνολογικές εξελίξεις συμβάλουν στην απαλλαγή του τομέα των μεταφορών από τον άνθρακα, με την μεγαλύτερη βαρύτητα να δίνεται στην ηλεκτροκίνηση των οχημάτων. [9]

Οι τεχνολογίες ηλεκτροκίνησης, όπως τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (HEV), τα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία (BEV) και τα οχήματα με κυψέλες καυσίμου (FCV) έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν ακόμα πιο σημαντικά τα επίπεδα εκπομπών στον τομέα των μεταφορών. Η ανάπτυξη των τεχνολογιών FCV βρίσκεται ακόμη στα αρχικά στάδια ανάπτυξης, γεγονός που φανερώνει ότι μεσοπρόθεσμα, η ηλεκτροδότηση του κλάδου θα επιτευχθεί κυρίως από HEV και BEV. [10]

Εκτός από τη συμβολή στη μείωση της εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα και στη μείωση των εκπομπών εάν τροφοδοτούνται με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), η ανάπτυξη ηλεκτρικών οχημάτων (EV) σε αστικό περιβάλλον συμβάλλει στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα, στη μείωση της ηχορύπανσης και στην αύξηση της ενεργειακής απόδοσης. [11]

Η διεθνής τάση πτώσης της τιμής της μπαταρίας επηρεάζει σημαντικά το τελικό κόστος των EV και ενισχύει την περαιτέρω προώθησή τους. [12]

Πολλές χώρες έχουν δηλώσει προτάσεις για σταδιακή κατάργηση του ICEV

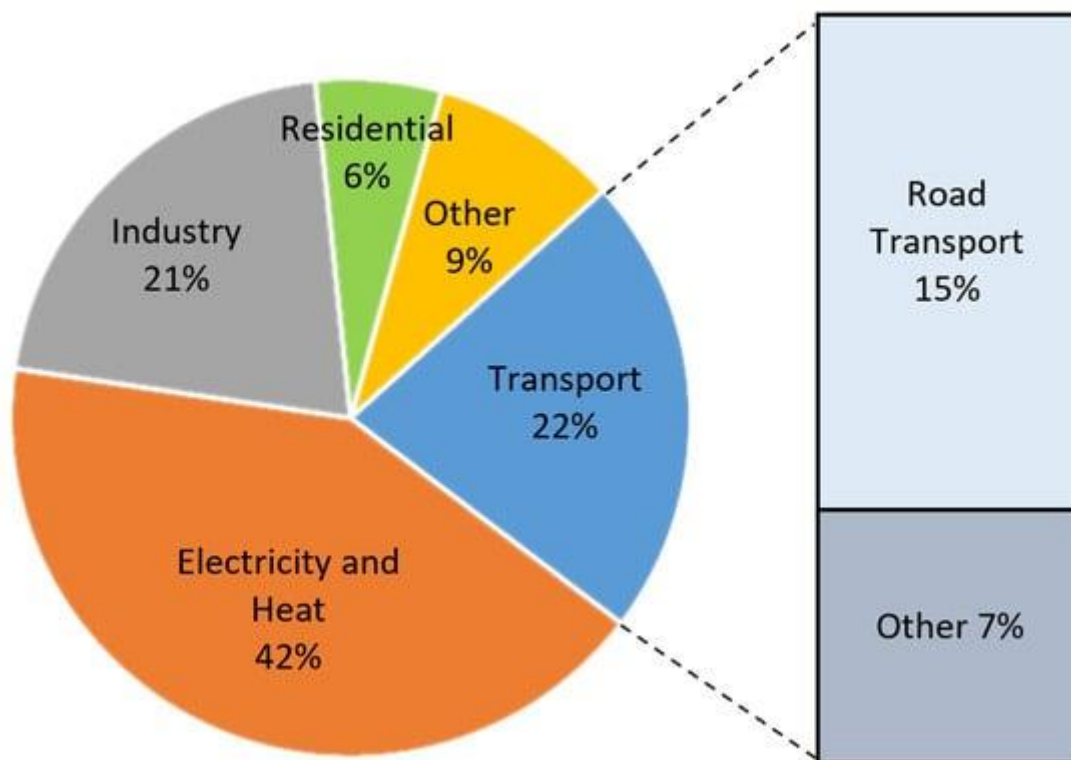
Τα μεγάλα μητροπολιτικά κέντρα εφαρμόζουν πολιτικές ταξινόμησης οχημάτων και χωροταξίας πόλεων για να ενθαρρύνουν τις καθαρές μεταφορές, συμπεριλαμβανομένης της κατανομής κέντρων πόλεων χωρίς αυτοκίνητα. [15]

Αν και τα EV εμφανίζονται ως μια πιο φιλική προς το περιβάλλον εναλλακτική λύση, τα ιδιωτικά επιβατικά οχήματα δεν μπορούν να προσφέρουν μια βιώσιμη λύση όσον αφορά την αποτελεσματικότητα της διαχείρισης του χώρου, λαμβάνοντας υπόψη ένα σενάριο πράσινης αστικής ανάπτυξης. Εάν τα δημόσια συστήματα μεταφορών δεν γίνουν η οριστική λύση στα αστικά περιβάλλοντα, η κυκλοφοριακή συμφόρηση και η έλλειψη θέσεων στάθμευσης θα εξακολουθήσουν να αποτελούν σημαντικά προβλήματα. [16] [17]

Τα λεωφορεία αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το 80% όλων των ταξιδιών επιβατών μέσω μαζικής μεταφοράς παγκοσμίως. [18]

Υπό αυτές τις συνθήκες, η αντιμετώπιση των συστημάτων μεταφορών που βασίζονται σε λεωφορεία μπορεί να επηρεάσει άμεσα την ποιότητα ζωής στις πόλεις. Κατά συνέπεια, η διαδικασία ηλεκτροδότησης των λεωφορείων αποκτά παγκόσμια εμβέλεια. Ορισμένες προβλέψεις υποδεικνύουν ότι τα ηλεκτρικά λεωφορεία (EB) θα εκτοπίσουν τα αντίστοιχα ορυκτά καύσιμα ακόμα και στην τρέχουσα δεκαετία. [19]

Τα αυτόνομα λεωφορεία για δημόσιες μεταφορές επιβατών χρησιμοποιούν συνεχώς εξελισσόμενη τεχνολογία που σίγουρα χρειάζεται χρόνια δοκιμών για να αντικαταστήσει τα δημόσια μέσα μαζικής μεταφοράς μεγάλης κλίμακας χρησιμοποιώντας παραδοσιακά λεωφορεία. [20] [21] [22] Η χρήση αυτόνομων λεωφορείων για αστικές συγκοινωνίες με μεταφορική ικανότητα το πολύ 15 άτομα επιτρέπει την υλοποίηση σταθερών δρομολογίων. [23]



Εικόνα 1 Σύνολο CO₂ εκπομπών διαφορετικών τομέων και του τμήματος των οδικών μεταφορών [24]

Μεθοδολογία: Η προσέγγιση που υιοθετείται σε αυτή τη διπλωματική εργασία, είναι μια βιβλιογραφική ανασκόπηση, η οποία παρέχει στον ερευνητή πρόσβαση σε ένα μεγάλο πλήθος διεθνών και εγχώριων επιστημονικών άρθρων και μελετών. Ως αποτέλεσμα, η ενδελεχής εξέταση αυτών των μελετών και άρθρων διευκολύνει τη βαθύτερη κατανόηση του θέματος της διπλωματικής, καθιστώντας δυνατό τον χαρακτηρισμό του περιεχομένου ως αντικειμενικό και περιεκτικό.

Σκοπός: Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να διερευνήσει -παρουσιάσει την εισαγωγή διαφορετικών τύπων ηλεκτρικών λεωφορείων στο δημόσιο σύστημα συγκοινωνιών, παραθέτοντας τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Κεφάλαιο 1- Ιστορική αναδρομή-τρέχουσα κατάσταση

Επικρατούσα παγκόσμια κατάσταση [25]

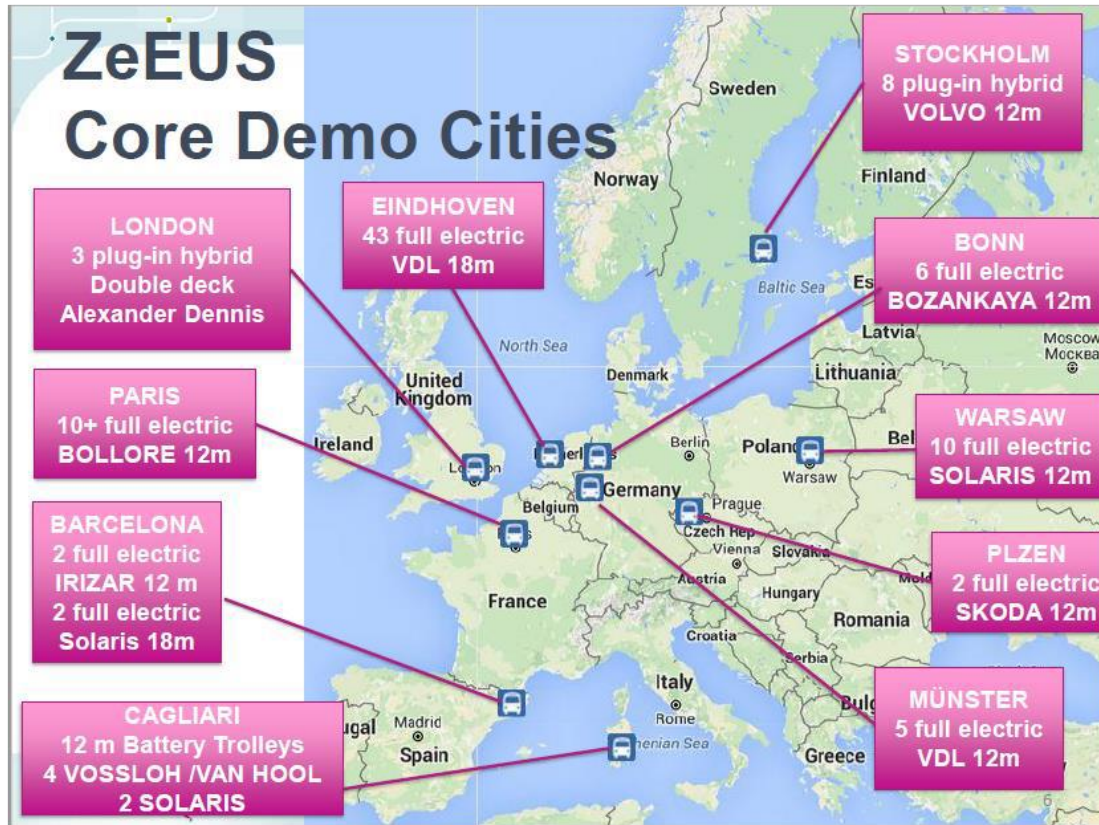
Όλο και πιο συχνά χώρες λαμβάνουν υπόψιν την αύξηση των τιμών διοξειδίου του άνθρακα, σαν αποτέλεσμα της χρήσης συμβατικών λεωφορείων. Επιπρόσθετα αρκετές χώρες έχουν λάβει την απόφαση να σταματήσουν οι αγορές των συμβατικών λεωφορείων, σε συνδυασμό με τον περιορισμό κυκλοφορίας συμβατικών οχημάτων εντός συγκεκριμένων περιοχών (κέντρο πόλεων). Παρόλα αυτά, το αυξημένο κόστος της μπαταρίας, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην μειωμένη απήχηση αγοράς ηλεκτρικών οχημάτων.

Στην Ευρώπη η αφετηρία της τρέχουσας ανάπτυξης ήταν η εισαγωγή, προς το τέλος της δεκαετίας του '90, των πρώτων μικρών ηλεκτρικών οχημάτων, που αφιερώνονται στις δημόσιες συγκοινωνίες. Στην Ιταλία αυτά τα οχήματα χρησιμοποιήθηκαν κυρίως για τις διαδρομές μέσα στη πόλη. Η επέκταση των μικρών και μεσαίου μεγέθους λεωφορείων συνεχίστηκε με την χρήση πραγματικού μεγέθους ηλεκτρικών λεωφορείων μπαταριών, 12 m στους ολυμπιακούς αγώνες του Πεκίνου του 2008.

Σε όλη την Ευρώπη, ο αριθμός των πόλεων και των χωρών που ενδιαφέρονται να εγκαταστήσουν ηλεκτρικά λεωφορεία αυξάνεται, αν και η διαδικασία βρίσκεται ακόμη στα αρχικά της στάδια. Σύμφωνα με αναφορές, υπάρχουν 10 διαφορετικοί τύποι ηλεκτρικών λεωφορείων σε 10 ευρωπαϊκές πόλεις, που εξυπηρετούν τις καθημερινές μετακινήσεις των πολιτών και συμβάλλουν στις μετακινήσεις των πολιτών (Εικόνα 2).

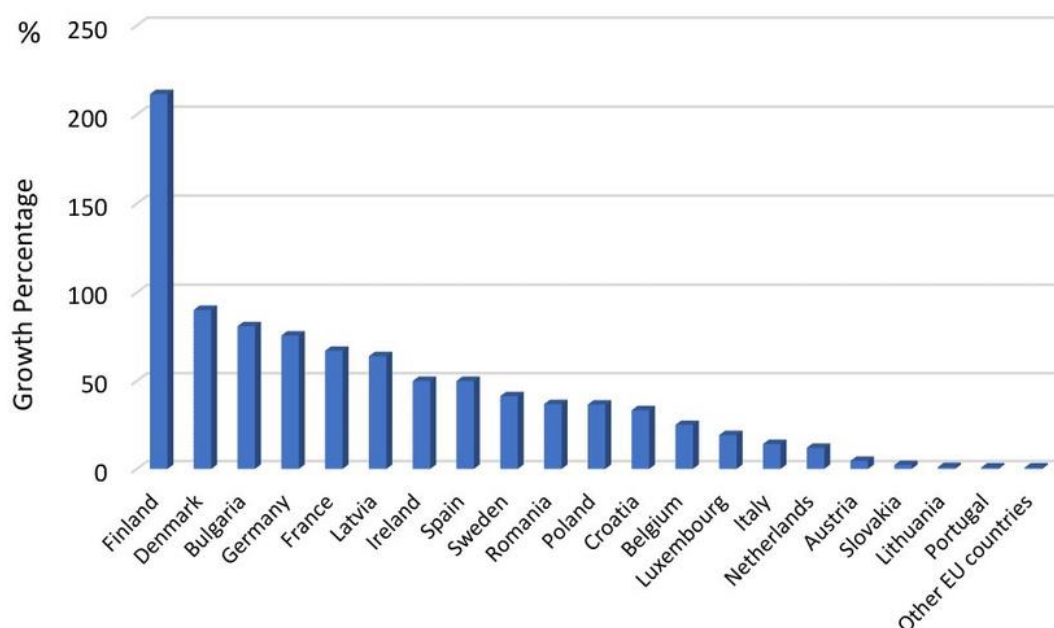
Η εξοικονόμηση χρημάτων και ενέργειας και ταυτόχρονα η μείωση των επικίνδυνων για την ανθρώπινη υγεία ρύπων έχει μονοπωλήσει το ενδιαφέρον μεγάλων εταιριών παρασκευής ηλεκτρικών λεωφορείων στην Ευρώπη και σε όλο τον κόσμο. Χαρακτηριστικά, στην Ευρώπη την τελευταία δεκαετία λειτουργούσαν περισσότερες από 20 εταιρίες παραγωγής Ηλεκτρικών λεωφορείων σε μεγέθη που ποικίλουν ανάλογα με τη χώρα που στοχεύουν οι πωλήσεις και τις διαδρομές που θα εξυπηρετούν. Στην Ισπανία και συγκεκριμένα στην πόλη της Μαδρίτης ανακοινώθηκε η συνεργασία δύο εταιριών κολοσσών για την παραγωγή ηλεκτρικών λεωφορείων, που θα εξυπηρετούσαν το ενεργειακό μείγμα της χώρας και της πόλης της Μαδρίτης [26].

Τα λεωφορεία έχουν ως στόχο όχι μόνο την εξυπηρέτηση ορισμένες απ' τις μετακινήσεις των ανθρώπων, αλλά να αντικαταστήσουν τα λεωφορεία με συμβατικούς κινητήρες εσωτερικής καύσης. Γι' αυτό το λόγο τα μεγέθη τους είναι κατά κύριο λόγο τρία (μικρού, μεσαίου και μεγάλου μεγέθους) και η χωρητικότητα τους αλλάζει ανάλογα με τη ζήτηση και το στόχο των μεταφερόμενων ανθρώπων.



Εικόνα 2 Στόλος ηλεκτρικών λεωφορείων στη Ευρώπη [27]

Ο αριθμός των ηλεκτρικών λεωφορείων στις πόλεις παγκοσμίως έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια. Μια πρόσφατη μελέτη από το Bloomberg New Energy Finance Electric προέβλεψε ότι τα EB θα αντικαταστήσουν πάνω από το 47% του συνολικού στόλου αστικών λεωφορείων στον κόσμο μέχρι το 2025 [28]. Στην εικόνα 3 απεικονίζετε η ετήσια ανάπτυξη του στόλου των ηλεκτρικών λεωφορείων με μπαταρία (BEB) στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) από το 2021 έως το 2022 αναμένεται να αυξηθεί κατά 18,6%. Αυτό δείχνει την τάση μετάβασης από τα συμβατικά λεωφορεία σε ηλεκτρικά λεωφορεία.



Εικόνα 3 Ποσοστό αύξησης ηλεκτρικών λεωφορείων με μπαταρία στην ΕΕ [29]

Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός εταιρειών που παράγουν ηλεκτρικά λεωφορεία. Παρακάτω, παρατίθενται πίνακες με ορισμένες εταιρίες κατασκευής ηλεκτρικών λεωφορείων καθώς επίσης και το μήκος διαφορετικών μοντέλων που κυκλοφορούν.

Επωνυμία	Μήκος (m)
B	
BYD AUTO INDUSTRY	
CO M P A N Y L I M I T E D	
C	
ŠKODA ELECTRIC A.S.	
S	
B	
YTONG	12m,U18m,U13m

Πίνακας 1 Κατασκευαστές ηλεκτρικών λεωφορείων [31] [32] [33] [34] [35] [36]

OEM	Name	Battery capacity/Range	Series production
Daimler	eCitaro	240 kWh	end 2018
Scania	CityWide Electric	150 kWh	now ^{xxxiii}
MAN	Lion's City 12 E	480 kWh/200-270 km	2019 ^{xxxiv}
Volvo	Volvo 7900 Electric	150/200/250 kWh	now

Πίνακας 2 Κατασκευαστές ηλεκτρικών λεωφορείων στην Ευρώπη [25]



Εικόνα 4 Daimler και Scania πλήρως ηλεκτρικά λεωφορεία που παρουσιάστηκαν στην IAA 2018 στο Ανόβερο. [30]

1.2.1 Δυσκολία προώθησης Ηλεκτρικών λεωφορείων

Η αυξημένη τιμή των λεωφορείων με συσσωρευτή είναι ο βασικός λόγος που η αγορά νέων οχημάτων δεν εμφανίζει αλματώδη αύξηση. Η τιμή που καθορίζει η εταιρία για το κάθε μοντέλο προκύπτει από μια σειρά από παράγοντες, σαν αποτέλεσμα οι τιμές να ανεβαίνουν σε υψηλό επίπεδο. Ένα από τα κύρια εμπόδια στη χρήση ΗΛΣ στα υπάρχοντα δίκτυα δημόσιων συγκοινωνιών, είναι η σχέση μεταξύ της αυτονομίας χιλιομέτρων των οχημάτων και του βάρους [38].

Η αυτονομία εξαρτάται κυρίως από την επί του οχήματος ικανότητα μπαταριών. Η αύξηση της ικανότητας των μπαταριών θα οδηγήσει σε αυξανόμενη αυτονομία, σαν αποτέλεσμα να αυξηθεί το κόστος οχημάτων, και να μειωθεί η χωρητικότητα επιβατών λόγω των μέγιστων ορίων βάρους στους άξονες. Γενικά μπορούμε να υπογραμμίσουμε ότι τα ηλεκτρικά λεωφορεία με μειωμένη ικανότητα μπαταριών θα απαιτούν γενικά περισσότερη υποδομή φόρτισης, η οποία προκαλεί μεγαλύτερο κόστος.

Κεφάλαιο 2- Μετάβαση στα ηλεκτρικά λεωφορεία

2.1 - Εναλλακτικές τεχνολογίες κινητήρων

Η πετρελαιοκίνηση κυριαρχεί επί του παρόντος στα λεωφορεία διέλευσης. Τα πεπερασμένα αποθέματα ορυκτών καυσίμων και η αυξανόμενη παγκόσμια ζήτηση παρουσιάζουν αβεβαιότητες σχετικά με τη μακροπρόθεσμη διαθεσιμότητα ντίζελ και φυσικού αερίου ως επιλογές τροφοδοσίας καυσίμων. Επιπρόσθετα, οι ανησυχίες για την κλιματική αλλαγή και οι εκπομπές καθιστούν την ενέργεια ντίζελ λιγότερο ελκυστική σε σχέση με τις εναλλακτικές πηγές ενέργειας. Αρκετοί επιβάτες εκφράζουν την δυσαρέσκεια σχετικά με τον θόρυβο και την ατμοσφαιρική ρύπανση (θερμότητα του κινητήρα και του κλιματιστικού που απελευθερώνεται) ενώ περιμένουν την επιβίβαση και την αποβίβαση σε πετρελαιοκίνητα λεωφορεία. Για όλους αυτούς τους λόγους, ξεκίνησε η αναζήτηση εναλλακτικών επιλογών, όπως η ηλεκτρική ενέργεια [39, 40] [41].

Το φυσικό αέριο είναι μια ικανοποιητική επιλογή ως αντικατάσταση του ντίζελ σε μεσαία έως βάρεια οχήματα, αλλά τα περιβαλλοντικά οφέλη του είναι περιορισμένα. Πιο συγκεκριμένα, στην αύξηση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (GHG) [42], το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) και το συμπιεσμένο φυσικό αέριο (CNG) προσφέρουν το πολύ 2% μείωση των εκπομπών. Τα βιοκαύσιμα παρουσιάζουν μια εναλλακτική επιλογή καυσίμου λεωφορείων με ελάχιστη εμφανή διαταραχή εξοπλισμού και υποδομής. Ωστόσο, δεδομένου ότι τα βιοκαύσιμα καίγονται παρόμοια με το ντίζελ σε έναν κινητήρα λεωφορείων και εκπέμπονται μέσω της εξάτμισης, πολλά από τα αρνητικά της ισχύος ντίζελ παραμένουν στα λεωφορεία που κινούνται με βιοκαύσιμα.

Τα ηλεκτρικά λεωφορεία κυψελών καυσίμου υδρογόνου (FCEB) έχουν χρησιμοποιηθεί σε πιλοτικά προγράμματα σε πρακτορεία διαμετακόμισης στις Ηνωμένες Πολιτείες [43]. Ωστόσο η πηγή του υδρογόνου [44] καθορίζει τις συνολικές εκπομπές που παράγονται από οχήματα κυψελών καυσίμου. Ένας ενεργειακά αποδοτικός τρόπος παραγωγής υδρογόνου από πηγές μη ορυκτών καυσίμων δεν έχει αναπτυχθεί, επομένως το 95% του υδρογόνου που παράγεται στις Ηνωμένες Πολιτείες είναι κατασκευασμένο από μεθάνιο [45] η παραγωγή του οποίου δημιουργεί διοξείδιο του άνθρακα (αερίου του θερμοκηπίου) ως υποπροϊόν. Τα λεωφορεία που κινούνται με κυψέλες καυσίμου υδρογόνου συμβάλουν την αύξηση των εκπομπών, σε σύγκριση με την ισχύ ντίζελ, όταν το υδρογόνο παράγεται από φυσικό αέριο [42]. Σε συνδυασμό με την έλλειψη υπάρχουσας υποδομής παροχής

καυσίμου υδρογόνου, αυτό παρουσιάζει σημαντικά εμπόδια στην ευρεία υιοθέτηση του υδρογόνου ως πηγή καυσίμου στις περισσότερες τοποθεσίες.

Τα ηλεκτρικά λεωφορεία με μπαταρίες (BEB) είναι μια άλλη εναλλακτική λύση, η οποία μπορεί να είναι απαλλαγμένη από ορυκτά καύσιμα εάν η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές (όπως υδροηλεκτρική ενέργεια, ήλιος ή/και άνεμος). Τα ηλεκτρικά οχήματα χρησιμοποιούνται ήδη, ως προσωπικά αυτοκίνητα και λεωφορεία μεταφοράς, και αυτή η τεχνολογία (και το κόστος της) συνεχίζει να βελτιώνεται [46]. Τα υβριδικά ηλεκτρικά λεωφορεία επιτρέπουν κάποια χρήση της ανακτώμενης ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στο καύσιμο ντίζελ.

Είναι σημαντικό ότι υπάρχει συνεχής συζήτηση για τη βέλτιστη διαμόρφωση των Κάθε προσέγγιση απαιτεί διαφορετικό σύστημα υποδομής φόρτισης και επηρεάζει το κόστος και τα οφέλη του κύκλου ζωής του BEB. Αν και έχουν διεξαχθεί αρκετές μελέτες για την πρόβλεψη, την εκτίμηση και τη διαμόρφωση του απαιτούμενου χώρου και πυκνότητας των σταθμών φόρτισης για επιβατικά EV [48] [49], υπάρχουν σχετικά λίγες μελέτες στον ερευνητικό τομέα για BEB [50] [51] [52] [53].

Ηλεκτρικά λεωφορεία στα MMM

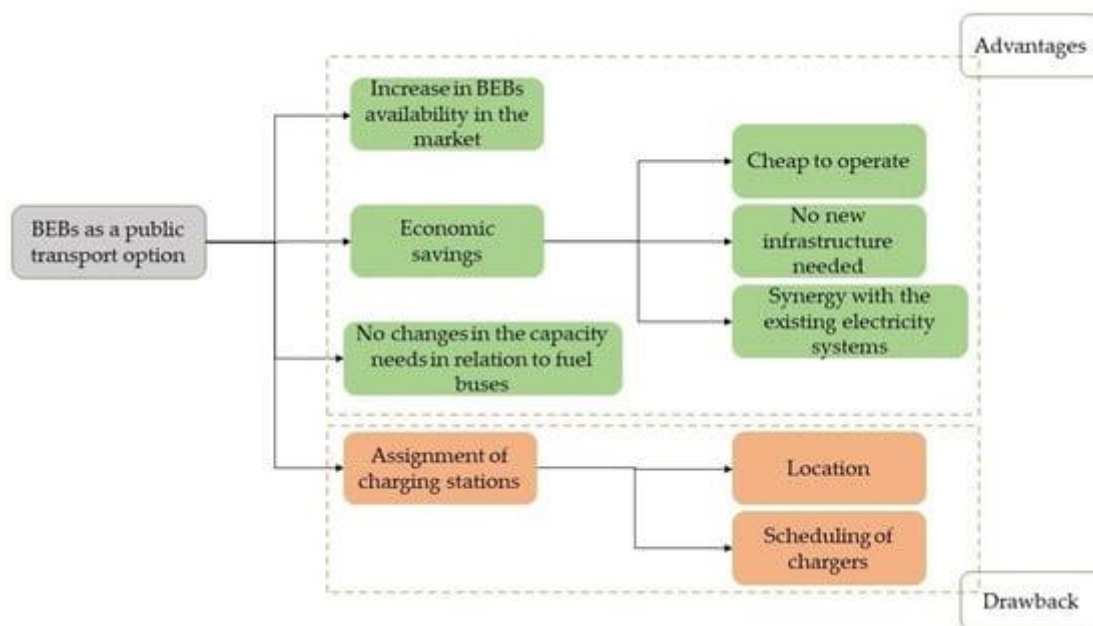
Τα ηλεκτρικά λεωφορεία αποτελούν μία αποτελεσματική επιλογή μέσων μαζικής μεταφοράς [54]. Μία από τις πιο σημαντικές προκλήσεις της εισαγωγής των ηλεκτρικών λεωφορείων στις δημόσιες συγκοινωνίες είναι ο καθορισμός των καταλληλότερων λύσεων που ούτε θα αλλάζουν δραματικά την καθημερινή λειτουργία των λεωφορείων ούτε υπερβαίνουν το προσωπικό, τις επενδύσεις και τη λειτουργικότητα τους [55]. Είναι εξαιρετικά σημαντικό να αξιολογηθούν καλύτερα ορισμένες πτυχές της ηλεκτροδότησης του στόλου λεωφορείων, όπως το μέγεθος του στόλου, τα μοντέλα φόρτισης κτλ.

Η διαθεσιμότητα BEBs στην αγορά αυξάνεται τα τελευταία χρόνια, γεγονός που μπορεί να υποστηρίξει την προσθήκη αυτού του τύπου λεωφορείων στις γραμμές δημόσιων συγκοινωνιών. Τα BEB φαίνεται να έχουν υψηλές δυνατότητες για υπηρεσίες αστικών δημόσιων μεταφορών, επειδή μπορούν να αντιπροσωπεύουν οικονομική εξοικονόμηση έως και 6,0% σε σύγκριση με τα συμβατικά λεωφορεία. Ακόμα κι αν το αρχικό κόστος είναι υψηλότερο από τα τρέχοντα λεωφορεία με πετρέλαιο κίνησης, τα BEB είναι φθηνότερα στη λειτουργία τους και δεν απαιτούν ένα εντελώς νέο σύστημα υποδομής, αλλά προσφέρουν συνέργεια με το υπάρχον σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας [56] [57] [58]. Μπορούν επίσης να χρησιμεύσουν ως τρόπος μείωσης του εξωτερικού κόστους μεταφοράς, γεγονός που αυξάνει την ευκολία ύπαρξης BEB στον αστικό στόλο [59].

Οι μελέτες δείχνουν ότι το πιο αποτελεσματικό σύστημα φόρτισης είναι η εγκατάσταση σταθμών φόρτισης στις τελικές στάσεις των λεωφορείων αντί κατά μήκος της διαδρομής, αν και είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ένα μικρό μέρος των σταθμών φόρτισης (10% έως 25%) πρέπει να εγκατασταθεί σε στάσεις κατά μήκος της διαδρομής, ανάλογα με την προτίμηση βελτιστοποίησης για τη λεωφορειακή γραμμή [60] [61] [62] [63]. Τα ηλεκτρικά λεωφορεία χρειάζονται συνήθως 10 λεπτά

για να φορτιστούν, ανάλογα με το μέγεθος της μπαταρίας και τη διαθέσιμη τάση ισχύος, αλλά συχνά φορτίζονται κατά τη διάρκεια της νύχτας από τις 8 μ.μ. έως τις 3 π.μ. για να διασφαλιστεί η χωρητικότητα και η διαθεσιμότητα ενέργειας [64]. Επίσης, η εφαρμογή κοινών κόμβων φόρτισης για ηλεκτρικά οχήματα και ηλεκτρικά λεωφορεία μπορεί να επιτρέψει τη συντονισμένη φόρτιση που μειώνει τις απαιτήσεις ισχύος αιχμής και οδηγεί σε εξοικονόμηση τόσο στις αρχικές επενδύσεις κεφαλαίου όσο και στις μακροπρόθεσμες χρεώσεις ζήτησης αιχμής [65].

Η ώρα της ημέρας που φορτίζονται τα BEB μπορεί επίσης να επηρεάσει το συνολικό κόστος λειτουργίας αυτού του τύπου λεωφορείου. Σε πόλεις που έχουν φθηνότερες τιμές νυχτερινής ηλεκτρικής ενέργειας, ο στόλος BEB μπορεί να φορτιστεί εκείνη τη στιγμή για να επωφεληθεί από τη μείωση του κόστους ανεφοδιασμού, καθώς η επαναφόρτιση κατά τις ώρες αιχμής μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερο κόστος [66] πρέπει να προσδιορίζεται έτσι ώστε ολόκληρη η διαδρομή να μπορεί να ολοκληρωθεί κατά τη διάρκεια της ημέρας χωρίς να απαιτείται ανεφοδιασμός καυσίμων και τα λεωφορεία να μπορούν να φορτίζονται τη νύχτα στην τελική στάση [68]. Η εικόνα 7 δείχνει μια σχηματική αναπαράσταση των χαρακτηριστικών της εισαγωγής των BEB ως επιλογή δημόσιας μεταφοράς στις πόλεις.



Εικόνα 5 Χαρακτηριστικά της εισαγωγής των BEB ως επιλογή δημόσιας μεταφοράς

Η επιτυχία της εγκατάστασης BEB στις πόλεις όταν εξετάζεται η σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας της φόρτισης της υποδομής και της εκχώρησης διαδρομής εξαρτάται από τους ακόλουθους κύριους παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη από τον φορέα εκμετάλλευσης: (i) ορισμός δρομολογίων ανάλογα με τη χωρητικότητα των μπαταριών, (ii) τοποθέτηση σταθμών φόρτισης στα τελικά σημεία των διαδρομών (τελικές στάσεις). (iii) φόρτιση BEB τη νύχτα λόγω χαμηλότερου ενεργειακού κόστους και διαθεσιμότητας ενέργειας και (iv) αρχική ανάπτυξη BEB σε πιο πυκνές περιοχές όπου μπορούν να καλύψουν περισσότερες διαδρομές σε

μικρότερη περιοχή. Η εγκατάσταση BEB στις πόλεις με τρόπο που η τακτική φόρτιση μπορεί να ελεγχθεί από την επιλεγμένη διαδρομή είναι ο καλύτερος τρόπος για τη μείωση του κόστους και την αύξηση της χρηστικότητας αυτού του τύπου λεωφορείων στις πόλεις.

Γιατί να επιλέξω ηλεκτρικά λεωφορεία

Τα ηλεκτρικά λεωφορεία προσφέρουν την ευκαιρία να μεταβούμε σε λεωφορεία που λειτουργούν με καθαρότερη μορφή ενέργειας και μειώνουν την εξάρτησή μας από τα ορυκτά καύσιμα. [69]

Ακολουθούν οι πιο σημαντικοί παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψιν για αυτή την μετάβαση.

2.2.2 Τι σημαίνει TCO (Total cost of ownership) Ανάλυση.

Είναι το συνολικό κόστος ζωής για την προμήθεια και την λειτουργία λεωφορείου. Το TCO λαμβάνει υπόψη το αρχικό κόστος κεφαλαίου, το λειτουργικό κόστος και πόσα χιλιόμετρα τα λεωφορεία αναμένεται να κινηθούν ανά ημέρα.

Γιατί είναι σημαντική η TCO ανάλυση για τους παρόχους

Βοηθά στη λήψη υπολογισμένων αποφάσεων σχετικά με την επιλογή της σωστής τεχνολογίας λεωφορείων, την υποδομή φόρτισης, την ημερήσια απόσταση, την ανάπτυξη προσωπικού και το επίπεδο της επιδότησης που θα παρέχεται. Μια σύγκριση TCO σε επίπεδο διαδρομής ηλεκτρικών λεωφορείων και λεωφορείων ICE μπορεί επίσης να βοηθήσει τις πόλεις να σχεδιάσουν και να αναπτύξουν τα ηλεκτρικά λεωφορεία πιο αποτελεσματικά.

Επιλογή διαδρομών

Σημαντικό ρόλο στη επιτυχία της εισαγωγής ηλεκτρικών λεωφορείων, διαδραματίζει η σωστή επιλογή διάδρομων-γραμμών.

Οι επιλεγμένες διαδρομές, καθώς και παράγοντες όπως ο αριθμός των στάσεων, οι τοποθεσίες των αμαξοστασίων και το μέγεθος του στόλου, επηρεάζουν τη βελτιστοποίηση της υποδομής φόρτισης.

Το λογισμικό HASTUS [70], ως ένα από τα πιο διαδεδομένα, για ηλεκτρικά λεωφορεία, είναι ένα εξειδικευμένο λογισμικό για δρομολόγηση και βελτιστοποίηση διάδρομων, βαρδιών κτλ μπορεί να βοηθήσει στην κατεύθυνση αυτή.

Για την επιλογή των κατάλληλων διαδρομών θα πρέπει να λάβω υπόψιν κάποιους παράγοντες:

- Αποτελεσματική χιλιομετρική απόσταση

Όσο περισσότερο λειτουργεί ένα ηλεκτρονικό λεωφορείο, τόσο χαμηλότερο είναι το κόστος. Διαδρομές με μήκος 180-230 km βρίσκονται σε απόλυτη προτεραιότητα για να διασφαλιστεί η πλήρης χρήση της μπαταρίας και να μειωθεί η αναλογία αντικατάστασης με μεγαλύτερη χωρητικότητας μπαταρία

(>300 kWh). Για διαδρομές μεγαλύτερες από 200 km, η επιλογή διακεκομμένης φόρτισης είναι μια καλή στρατηγική.

- Λειτουργική Αποδοτικότητα

Προτείνεται η εισαγωγή νέων προγραμμάτων ή αλλαγών στα υπάρχοντα δρομολόγια κατά μήκος των διαδρομών, ώστε να εξασφαλιστεί η αποτελεσματική λειτουργία των λεωφορειακών γραμμών.

- Δρομολόγηση

Η επιλογή της κατάλληλης τοποθεσίας αμαξοστασίων συμβάλει στην μείωση των νεκρών χιλιομέτρων (απόσταση που διανύουν τα λεωφορεία έως το αμαξοστάσιο).

- Συχνότητα αντικατάστασης

Τα ηλεκτρικά λεωφορεία χρειάζονται αρκετό χρόνο για να φορτιστούν μόλις αποφορτιστούν οι μπαταρίες τους. Η επιλογή διαδρομών που θα ελαχιστοποιούν την αναλογία αντικατάστασης με ένα συμβατικό λεωφορείο μπορεί να συμβάλει στην συνολική μείωση της αναλογίας αντικατάστασης και κατά συνέπεια το κόστος.

- Αριθμός των ατόμων που μετακινούνται με τα Μέσα μαζικής μεταφοράς

Διαδρομές στις οποίες παρατηρείται προβλέψιμη επιβατική κίνηση, βοηθούν στην πιο αποτελεσματική χρήση της μπαταρίας και θα πρέπει να επιλέγονται κατά προτεραιότητα.

- Κάλυψη

Διαδρομές κατά μήκος περιοχών υψηλής πυκνότητας, μεγάλων κόμβων απασχόλησης, καθώς και διαδρομές που συνδέονται με κόμβους μέσων μαζικής μεταφοράς θα πρέπει να επιλέγονται κατά προτεραιότητα.

- Κυκλοφοριακή συμφόρηση

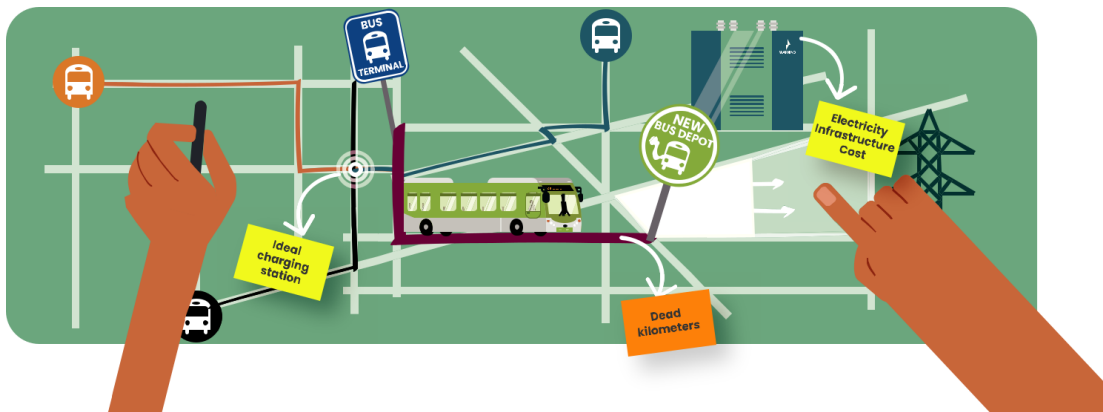
Τα ηλεκτρικά λεωφορεία έχουν σημαντικό πλεονέκτημα σε λωρίδες μικτής κυκλοφορίας, αφού καταναλώνουν πολύ μικρά ποσά ενέργειας σε περίπτωση κυκλοφοριακής συμφόρησης, καλύτερη απόδοση σε χαμηλές ταχύτητες σε σύγκριση με τα συμβατικά οχήματα (τα οποία καίνε καύσιμα στο ρελαντί) και έχουν μικρή απόδοση σε χαμηλή ταχύτητα.

- Υψομετρική κλίση εδάφους

Η άνοδος σε πλαγιές απαιτεί μεγαλύτερη χρήση μπαταρίας, σε αντίθεση με την περίπτωση της καθοδικής κλίσης που τα ηλεκτρικά λεωφορεία έχουν χαμηλότερη κατανάλωση μπαταρίας. Τα ηλεκτρικά λεωφορεία διαθέτουν επίσης αναγεννητικό φρενάρισμα — τη δυνατότητα επαναφόρτισης της μπαταρίας - ενώ κατεβαίνετε την κλίση μειώνοντας περαιτέρω την καθαρή κατανάλωση ενέργειας. Προτείνεται η προσομοίωση σε περιοχές με κυλιόμενο έδαφος ώστε να εντοπιστούν οι πιο εφικτές διαδρομές.

Τοποθεσία αμαξοστάσιων

Η διαθεσιμότητα χώρου για ηλεκτρικά λεωφορεία στα υπάρχουσα αμαξοστάσια, είναι ένα σημαντικός λόγος ανησυχίας λόγω του περιορισμένου χώρου στάθμευσης και χώρου ανάπτυξης υποδομής δικτύου.



Εικόνα 6 Σύστημα αστικών συγκοινωνιών

Η σωστή τοποθεσία συμβάλει τα μέγιστα στην βελτιστοποίηση των λειτουργιών. Θα πρέπει να επιλέγονται τοποθεσίες αμαξοστασίων με τέτοιο τρόπο ώστε να υπάρχει μια ισορροπία μεταξύ της απόστασης των υποσταθμών με την απόσταση από τους τερματικούς σταθμούς κάθε διαδρομής και διαθεσιμότητα επαρκούς χώρου για ηλεκτρικά λεωφορεία.

Οι τοποθεσίες αμαξοστασίων πρέπει να επιλέγονται λαμβάνοντας υπόψιν τους παρακάτω παράγοντες:

- Ελάχιστο κόστος υποδομής ηλεκτρικής ενέργειας

Διεξαγωγή αξιολόγησης της τρέχουσας υποδομής στις θέσεις αμαξοστασίων και τερματικού σταθμού. Μερικές φορές μπορεί να χρειάζονται μόνο μικρές αναβαθμίσεις, άλλες μπορεί να χρειάζονται εγκατάσταση επιπλέον γραμμών μεταφοράς και υποσταθμούς. Η επιλογή μιας τοποθεσίας κοντά σε υπάρχοντες υποσταθμούς μπορεί να συμβάλει στη μείωση του κόστους ή νέες υποδομές.

- Μέγιστη χρήση υποδομής φόρτισης

Επιλέξτε τοποθεσίες σε περιοχές υψηλής ζήτησης με πολλές διαδρομές που διέρχονται για να αυξήσετε το χρησιμότητα της υποδομής. Διερευνήστε επίσης ευκαιρίες έξυπνης φόρτισης και υποστηρίξτε το εφαρμογή δυναμικών τιμολογιακών συστημάτων (όπως τα τιμολόγια ώρας και ώρας χρήσης).

- Επαρκής χώρος, συμπεριλαμβανομένου και χώρου για μελλοντική επέκταση

Τα ηλεκτρικά λεωφορεία απαιτούν περισσότερο χώρο για πρόσβαση στην υποδομή φόρτισης. Ας υποθέσουμε ότι σε κάθε σταθμό φόρτισης αντιστοιχούν 4 ηλεκτρικά λεωφορεία, κατά συνέπεια το 25% των λεωφορείων θα σταθμεύουν σε θέσεις φόρτισης και για τα υπόλοιπα θα πρέπει να έχουμε εξασφαλίσει επαρκή χώρο στάθμευσης.

- Μικρή απόσταση από αμαξοστάσιο

Επιλέξτε τοποθεσίες αμαξοστασίων όσο το δυνατόν πιο κοντά στα τερματικά σημεία των διαδρομών. Οι τοποθεσίες αμαξοστασίων θα πρέπει να έχουν μεγάλη διαθεσιμότητα χώρου και ταυτόχρονα δεν θα πρέπει να αυξάνονται τα νεκρά χιλιόμετρα (απόσταση από τερματικό σημείο διαδρομής με αμαξοστάσιο). Η δημιουργία ευκαιριακών σταθμών φόρτισης (Αφετηρία και τερματικά σημεία διαδρομών) μπορεί να βοηθήσει να αυξηθεί η εμβέλεια των λεωφορείων.

.4 Σχεδιασμός και Δημιουργία υποδομής φόρτισης

Δύο είναι οι επικρατέστερες τεχνολογίες φόρτισης:

όρτιση στο αμαξοστάσιο

Δεδομένου ότι τα λεωφορεία λειτουργούν συνήθως κατά τη διάρκεια της ημέρα, τα ηλεκτρικά λεωφορεία μπορούν να φορτιστούν κατά τη διάρκεια της νύχτας στο αμαξοστάσιο. Αυτό δίνει ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα και ικανότητα κάλυψης απαιτητικών διαδρομών.

ταθμοί φόρτισης κατά μήκος της διαδρομής

Αυτός ο τρόπος φόρτισης, απαιτεί σταθμούς φόρτισης σε τακτά διαστήματα, το οποίο προϋποθέτει επάρκεια χώρου για εγκατάσταση υποδομής πχ αφετηρία ή τέρμα, εκτοξεύοντας το κόστος υποδομής.

Επιλογή σωστής στρατηγικής φόρτισης

όρτιση κατά την διάρκεια της νύχτας στο αμαξοστάσιο

Αυτή η εναλλακτική λύση είναι βιώσιμη όταν η χωρητικότητα της μπαταρίας παρέχει αρκετό εύρος για να καλύψει την διάρκεια του ημερήσιου

δρομολογίου. Χαμηλότερο κόστος για φορτιστές, αλλά αυξημένη βάρος μπαταρίας που οδηγεί σε χαμηλότερη χωρητικότητα επιβατών.

όρτιση κατά την διάρκεια της νύχτας και ευκαιριακή φόρτιση στα αμαξοστάσια

Κατά τις ώρες εκτός αιχμής, τα λεωφορεία μπορούν να επιστρέψουν στα αμαξοστάσια για φόρτιση. Οι υπάρχοντες στα αμαξοστάσια φορτιστές μπορούν να χρησιμοποιηθούν αλλά μικρότερες μπαταρίες είναι επαρκής.

λονύκτια φόρτιση στο αμαξοστάσιο και δυνατότητα φόρτισης στο τέρμα της διαδρομής ή ακόμα και κατά την διάρκεια του δρομολογίου.

Τα λεωφορεία μπορούν να φορτίζονται κατά τη διαδρομή τους ή στους τερματικούς σταθμούς, ώστε να μειωθούν τα νεκρά χιλιόμετρα για το αμαξοστάσιο. Αυτή η στρατηγική φόρτισης αυξάνει το κόστος και την πολυπλοκότητα υποδομής, διότι θα απαιτηθεί η εγκατάσταση επιπρόσθετων φορητών φορτιστών και μεγαλύτερες απαιτήσεις για ισχύ.



Εικόνα 7 Τρεις τρόποι φόρτισης

Συμβόλαιο συντήρησης

Τα ηλεκτρικά λεωφορεία έχουν λιγότερα κινούμενα μέρη σε σύγκριση με τα συμβατικά λεωφορεία και συνήθως αναμένεται να έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Το αρχικό κεφάλαιο αγοράς είναι αρκετά υψηλό, σαν αποτέλεσμα να απαιτείται μεγάλη περίοδο απόσβεσης.

Ένας άλλος παράγοντας είναι οι μπαταρίες οι οποίες αντικαθίστανται γενικά γύρω στο 7ο έτος λειτουργίας. Η μπαταρία είναι το μεγαλύτερο και πιο ακριβό στοιχείο του ηλεκτρικού λεωφορείου που μπορεί να κοστίσει έως και 30-40% της αρχικής δαπάνης.

Το σημαντικότερο ρόλο για την διάρκεια μιας σύμβασης συντήρησης αφορά το αν θα αντικατασταθεί ή όχι η μπαταρία και στην περίπτωση που χρειαστεί αλλαγή τι ποσοστό της δεύτερης μπαταρίας παραμένει αχρησιμοποίητη στο τέλος του συμβολαίου.

Συνήθως προτείνεται 10-12 χρόνια συμβόλαιο συντήρησης για ηλεκτρικά λεωφορεία. [69]

Αξιολόγηση κύκλου ζωής ηλεκτρικού λεωφορείου

Ακολουθεί η αξιολόγηση του κύκλου ζωής των BEBs [71] [54].

Προκειμένου να εκτιμηθεί ο κύκλος ζωής των BEB και ο τρόπος με τον οποίο επηρεάζουν την περιβαλλοντική επιβάρυνση αυτού του τρόπου μεταφοράς, είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη είτε οι εκπομπές well-to-wheels (WTW) [72] είτε από εκπομπές well-to-tank (WTT) [73]. Η μετάβαση στα BEB είναι η πιο υποσχόμενη λύση για έναν φιλικό προς το περιβάλλον στόλο αστικών λεωφορείων. Ωστόσο, για να επωφεληθούν πλήρως οι πόλεις από την απαλλαγή του στόλου από άνθρακα, τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να συμμορφώνονται με τα επίπεδα και τα πρότυπα πράσινης ενέργειας.

Εάν η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας απαλλαγεί από ορυκτά καύσιμα, τα ηλεκτρισμένα οχήματα, καθώς και τα BEB με δυνατότητες εξωτερικής φόρτισης, θα μπορούσαν να αξιοποιήσουν πλήρως τις δυνατότητές τους για τον μετριασμό της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Επίσης, το κόστος που σχετίζεται με την επαναφόρτιση των οχημάτων μπορεί να είναι χαμηλότερο από τις τιμές της αναπλήρωσης οχημάτων δημόσιων συγκοινωνιών που κινούνται με ντίζελ, γεγονός που αυξάνει το κόστος για τη συνολική διαχείριση των λεωφορείων.

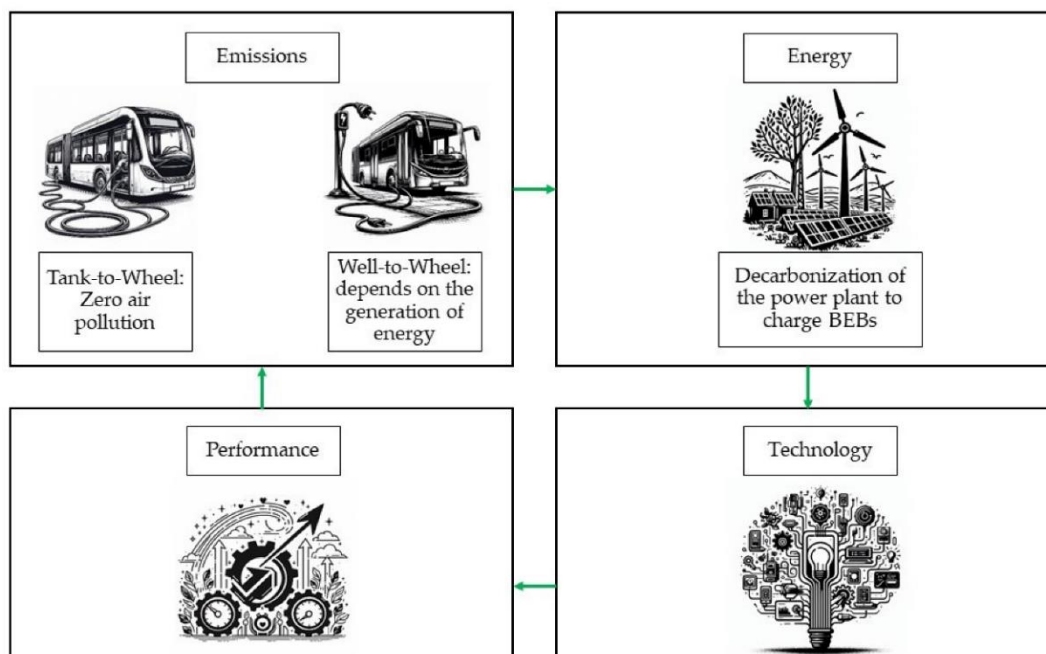
Μια μελέτη έδειξε ότι η στροφή της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε ανανεώσιμες πηγές και πηγές χαμηλών εκπομπών (well to wheel emissions) θα μείωνε σημαντικά τις εκπομπές ρύπων, που είναι η κύρια περιβαλλοντική επιβάρυνση των ηλεκτρικών λεωφορείων.

Ακόμα κι αν τα BEB είναι πολύ πιο ακριβά από άλλους τύπους αστικών λεωφορείων, η ενεργειακή τους απόδοση, η λειτουργία μηδενικών εκπομπών, η μειωμένη

εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα και οι αναμενόμενες μειώσεις κόστους τα καθιστούν μια ικανοποιητική επιλογή για την αντικατάσταση των λεωφορείων ντίζελ [74] [75]. Η ανάπτυξη των BEBs στις πόλεις είναι καλύτερη από τα συμβατικά λεωφορεία ντίζελ κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους όσον αφορά τους περισσότερους δείκτες, όπως το αποτύπωμα άνθρακα και τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Επιπλέον του γεγονότος ότι υπάρχει μείωση των εκπομπών ανά επιβάτη χιλιόμετρο που διανύεται, τα ηλεκτρικά λεωφορεία έχουν πραγματικό κόστος κύκλου ζωής διεξήχθη από τους Lajunen και Lipman [74] δήλωσε ότι τα ηλεκτρικά λεωφορεία είναι πιο ανταγωνιστικά από τα υβριδικά CNG και ντίζελ όταν το κόστος των ορυκτών καυσίμων είναι υψηλότερο και ότι τα BEB με ευκαιριακή φόρτιση είναι πιο οικονομικά από αυτά που φορτίζονται κατά τη διάρκεια της νύχτας.

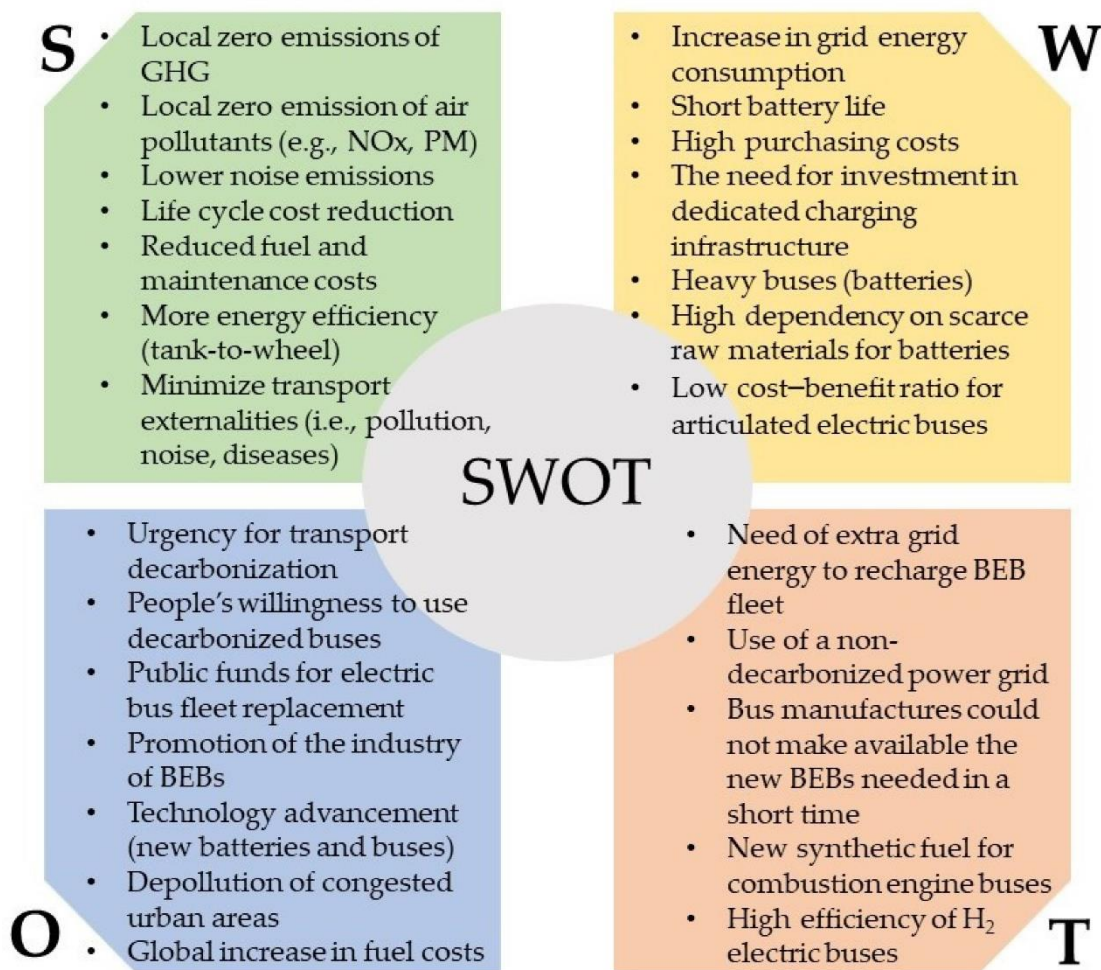
Έτσι, το κόστος του κύκλου ζωής και οι περιβαλλοντικές εξωτερικές επιδράσεις των BEB μπορούν να επηρεαστούν στο μέλλον από ορισμένες ευνοϊκές τάσεις [78]. Η τεχνολογική πρόοδος στο μέλλον μπορεί να επιβεβαιώσει τη μείωση του κόστους αγοράς μπαταριών καθώς βελτιώνεται η απόδοση. Επιπλέον, οι ενεργειακές πολιτικές από τις κυβερνήσεις μπορούν να δημιουργήσουν και να βελτιώσουν ακόμη περισσότερα σχέδια καθαρής ενέργειας ώστε τα BEB να είναι ευκολότερο να ενσωματωθούν με έξυπνες τεχνολογίες ελέγχου. Αυτές οι ευκαιρίες μπορούν να κάνουν το κόστος των ηλεκτρικών λεωφορείων χαμηλότερο από το κόστος του κύκλου ζωής των συμβατικών λεωφορείων πετρελαίου έως το 2030 [78]. Η εικόνα ζωής των BEB.



Εικόνα 8 Αξιολόγηση του κύκλου ζωής των BEB.

Ανάλυση SWOT

Διεξήχθη ανάλυση SWOT για την καλύτερη κατανόηση των κύριων δυνατών σημείων (S), των αδυναμιών (W), των ευκαιριών (O) και των απειλών (T) της αντικατάστασης του στόλου λεωφορείων με ηλεκτρικά οχήματα. [54]



Εικόνα 9 Ανάλυση SWOT απαλλαγής άνθρακα από τον στόλο των λεωφορείων [54]

Η ανάλυση SWOT επιβεβαιώνει τη θεώρηση των BEB ως τρόπου βοήθειας στην απαλλαγή από τον άνθρακα του τομέα των μεταφορών και, κατά συνέπεια, στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Τα περιβαλλοντικά οφέλη των BEB αντισταθμίζουν το αρχικό κόστος για την αγορά αυτού του τύπου λεωφορείων και, μακροπρόθεσμα, παρουσιάζουν μείωση του λειτουργικού κόστους σε σύγκριση με τα λεωφορεία πετρελαίου. Αυτό οφείλεται στο χαμηλότερο κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας για την επαναφόρτιση των μπαταριών, στην ενεργειακή απόδοση και στο μειωμένο κόστος συντήρησης.

Από την άλλη πλευρά, με την εισαγωγή των ηλεκτρικών λεωφορείων στους αστικούς στόλους, αναμένεται ότι θα υπάρξει αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας, αν και αυτό το πρόβλημα μπορεί να ξεπεραστεί εάν ο χειριστής προγραμματίσει τον ανεφοδιασμό κατά τις νυχτερινές ώρες που η τιμή είναι μειωμένη και υπάρχει περισσότερη διαθεσιμότητα ενέργειας [79] [80]. Το τρέχον χρονικό πλαίσιο για την αντικατάσταση των μπαταριών αυξάνεται μέσω της ανάπτυξης νέων τεχνολογιών που επιτρέπουν την επέκταση της διάρκειας ζωής τέτοιων εξαρτημάτων του οχήματος, γεγονός που θα μειώσει το κόστος για τη λειτουργία των BEB.

Η ανάγκη για φόρτιση των μπαταριών μπορεί να οδηγήσει στην ανάγκη για επιπλέον ενέργεια δικτύου για να επιτρέψει στους κατοίκους να χρησιμοποιούν ενέργεια για τα σπίτια τους και τις καθημερινές τους δραστηριότητες καθώς και για τη φόρτιση των μπαταριών λεωφορείων. Αυτό γίνεται πρόβλημα εάν χρειάζεται να παραχθεί επιπλέον ενέργεια από ρυπογόνες πηγές σταθμών παραγωγής ενέργειας, όπως ο άνθρακας. Σε ορισμένα πλαίσια, όπως η Πορτογαλία, η οποία έχει επιτύχει τον στόχο να λειτουργεί εξ ολοκλήρου με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για έξι ημέρες [81], η επιπλέον ενέργεια του δικτύου που απαιτείται μπορεί να αντισταθμιστεί. Ωστόσο, σε ορισμένες άλλες περιοχές, αυτό μπορεί να μην είναι εφικτό. Επομένως, το πλαίσιο της παραγωγής ενέργειας πρέπει να αξιολογηθεί όπου εφαρμόζονται τα BEB. Διαφορετικά, τα περιβαλλοντικά οφέλη από τη λειτουργία του λεωφορείου μπορούν να τεθούν σε κίνδυνο από τις απώλειες που προκύπτουν από την αυξημένη παραγωγή ενέργειας.

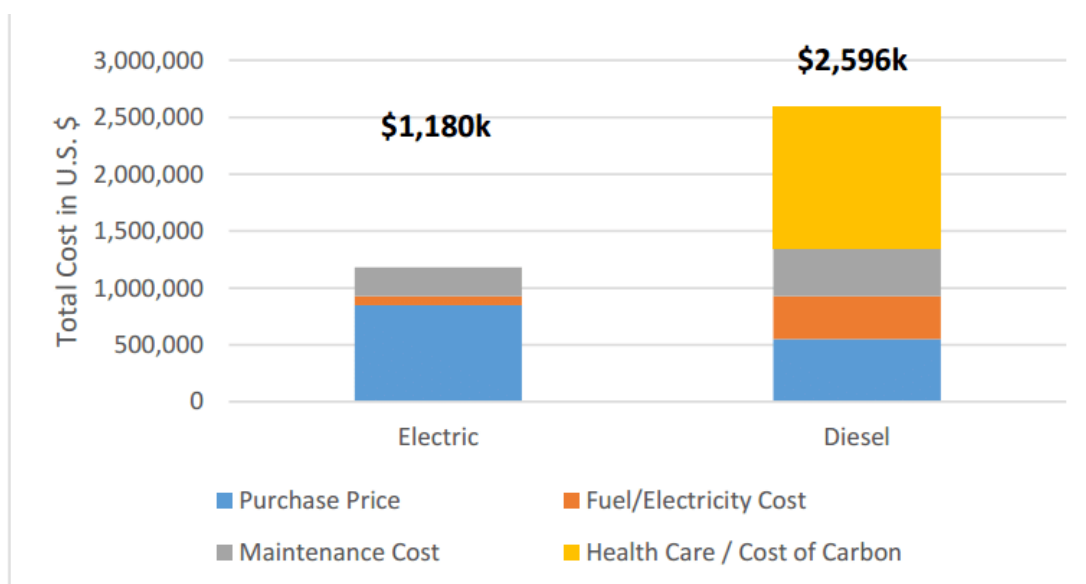
Παρά τις απειλές και τις αδυναμίες της ηλεκτροκίνησης των αστικών λεωφορείων, ο αριθμός των ευκαιριών για το μέλλον είναι μεγάλος. Αναμφίβολα, η ανάπτυξη BEB είναι ένα κέρδος για τον τομέα των μεταφορών από την άποψη της απαλλαγής από τις ανθρακούχες εκπομπές και οι τρέχουσες ανάγκες και τα διαθέσιμα κεφάλαια για την απαλλαγή από τις δημόσιες μεταφορές μπορούν να ενισχύσουν τη χρήση μη ρυπογόνων οχημάτων. Αυτό προσθέτει στο γεγονός ότι τα BEB μπορούν να προωθήσουν μια αλλαγή τρόπου μεταφοράς στις πόλεις, επειδή οι άνθρωποι είναι πρόθυμοι να χρησιμοποιήσουν αυτόν τον τρόπο μεταφοράς και είναι επίσης διατεθειμένοι να πληρώσουν περισσότερα για αυτήν την υπηρεσία [82]. Αυτή η ευκαιρία από μόνη της μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίλυση δύο διαφορετικών προβλημάτων στις πόλεις: τη συμφόρηση, καθώς οι χρήστες αυτοκινήτων θα μετατοπίζονταν στα δημόσια μέσα μεταφοράς, και την ατμοσφαιρική ρύπανση. Σύντομα, αναμένεται ότι τα BEB θα διεισδύσουν σε όλο και περισσότερες πόλεις λόγω των αυξημένων επενδύσεων και η πρόοδος της τεχνολογίας μπορεί να συμβάλει στην ανάπτυξη της παραγωγής BEB καθώς και στη βελτίωση της διάρκειας ζωής των μπαταριών.

Εν ολίγοις, τα BEB έχουν μεγάλες δυνατότητες να συμβάλουν στην απαλλαγή από τις ανθρακούχες εκπομπές στον τομέα των μεταφορών και να διευκολύνουν τη στροφή από το αυτοκίνητο στις δημόσιες μεταφορές. Αν και το αρχικό κόστος μπορεί να είναι υψηλό, υπάρχει τώρα η ευκαιρία να χρηματοδοτηθεί η εισαγωγή των BEB και η ανάπτυξη της απαραίτητης υποδομής φόρτισης. Από την άλλη πλευρά, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην παραγωγή ενέργειας στην οποία αναπτύσσονται τα BEB, προκειμένου να εξασφαλιστεί η αυξημένη παραγωγή καθαρής ενέργειας. Συνεπώς, θα πρέπει να καταβληθούν προσπάθειες για την εξασφάλιση ενός καθαρού

και πράσινου κύκλου ζωής για την ανάπτυξη των BEB και τη λειτουργία τους, ώστε οι εκπομπές των αστικών λεωφορείων να είναι φιλικές προς το περιβάλλον από κάθε άποψη.

Οικονομική Ανάλυση ηλεκτρικού και Diesel λεωφορείου

Το κόστος κύκλου ζωής περιλαμβάνει το κόστος συντήρησης της εσωτερικής καύσης, τις αλλαγές λαδιών και φίλτρων, αλλαγές ελαστικών, επενδύσεων φρένων και άλλα. Το ηλεκτρικό λεωφορείο δεν έχει την πολυπλοκότητα του κινητήρα εσωτερικής καύσης και δεν απαιτεί αντικατάσταση λαδιού, αντικατάσταση φίλτρων κ.λπ. Επιπλέον, η εμπειρία έχει δείξει ότι η φθορά και το σκίσιμο των ελαστικών και των επενδύσεων των φρένων στα ηλεκτρικά λεωφορεία είναι μικρότερη από το ICE. Έτσι, ανεξάρτητα από τα οφέλη για την υγεία της κοινότητας, η Aber διεξήγαγε μια οικονομική ανάλυση του ηλεκτρικού και πετρελαιοκίνητου λεωφορείου το 2016, με τον κύκλο ζωής (12 χρόνια) του ηλεκτρικού λεωφορείου να είναι περίπου 168.000 \$ (12,5%) λιγότερο από το κόστος πετρελαιοκίνητου λεωφορείου [83]. Η εικόνα 12 δείχνει διάφορους παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος του κύκλου ζωής των ντίζελ και των ηλεκτρικών λεωφορείων και δείχνει την υπεροχή των ηλεκτρικών λεωφορείων για μεγάλο χρονικό διάστημα. [84]



Εικόνα 10 Κόστος ζωής ηλεκτρικού VS πετρελαιοκίνητου λεωφορείου

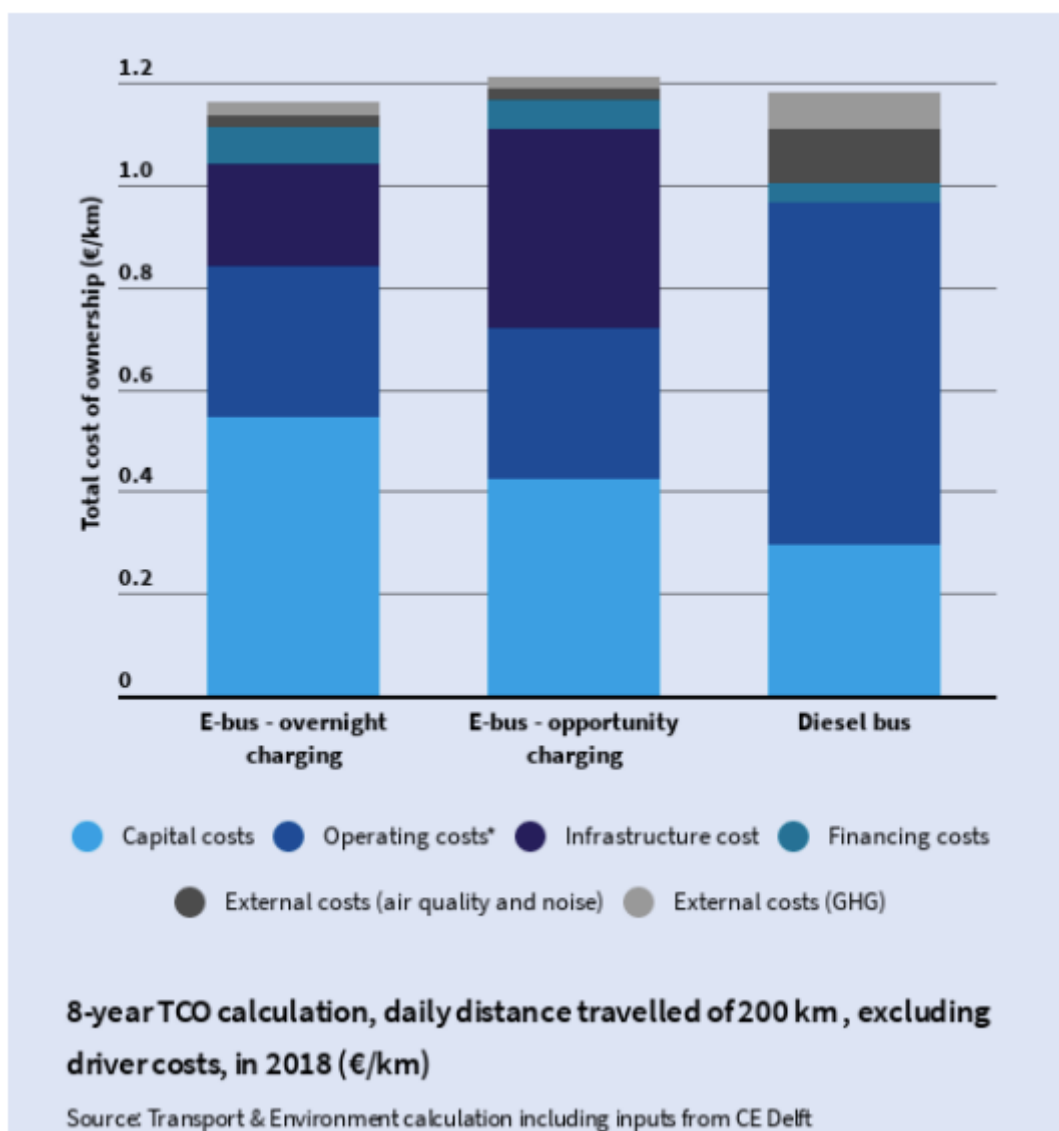
Ορισμένα παραδείγματα παραγόντων, που είναι πιθανό να επηρεάσουν την κατανάλωση ενέργειας ενός λεωφορείου και ενδεχομένως να μειώσουν σημαντικά τη γενική αυτονομία του, ανεξάρτητα από τον εύρος των χιλιομέτρων, μπορεί να ποικίλει σε μεγάλο βαθμό βάσει διάφορων όρων λειτουργίας, όπως η χρήση

κλιματισμού, ο μέσος όγκος επιβατών, τη συχνότητα που σταματούν, την οδική συμπεριφορά, και τη κλίση διαδρομών.

Στην πράξη, η αυτονομία ενός ηλεκτρικού λεωφορείου εξαρτάται από το σχεδιασμό του κατασκευαστή. Ένα ηλεκτρικό λεωφορείο μπορεί να σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να έχει οποιαδήποτε λογική αυτονομία ανάλογα με την εγκατάσταση των διαφορετικών μπαταριών. Οι δύο κύριες συνέπειες της αυξανόμενης αυτονομίας που απορρέει από την αύξηση του μεγέθους των μπαταριών είναι η διαρκώς αυξανόμενη τιμή αγοράς των οχημάτων και η επίσης αυξανόμενη μάζα τους.

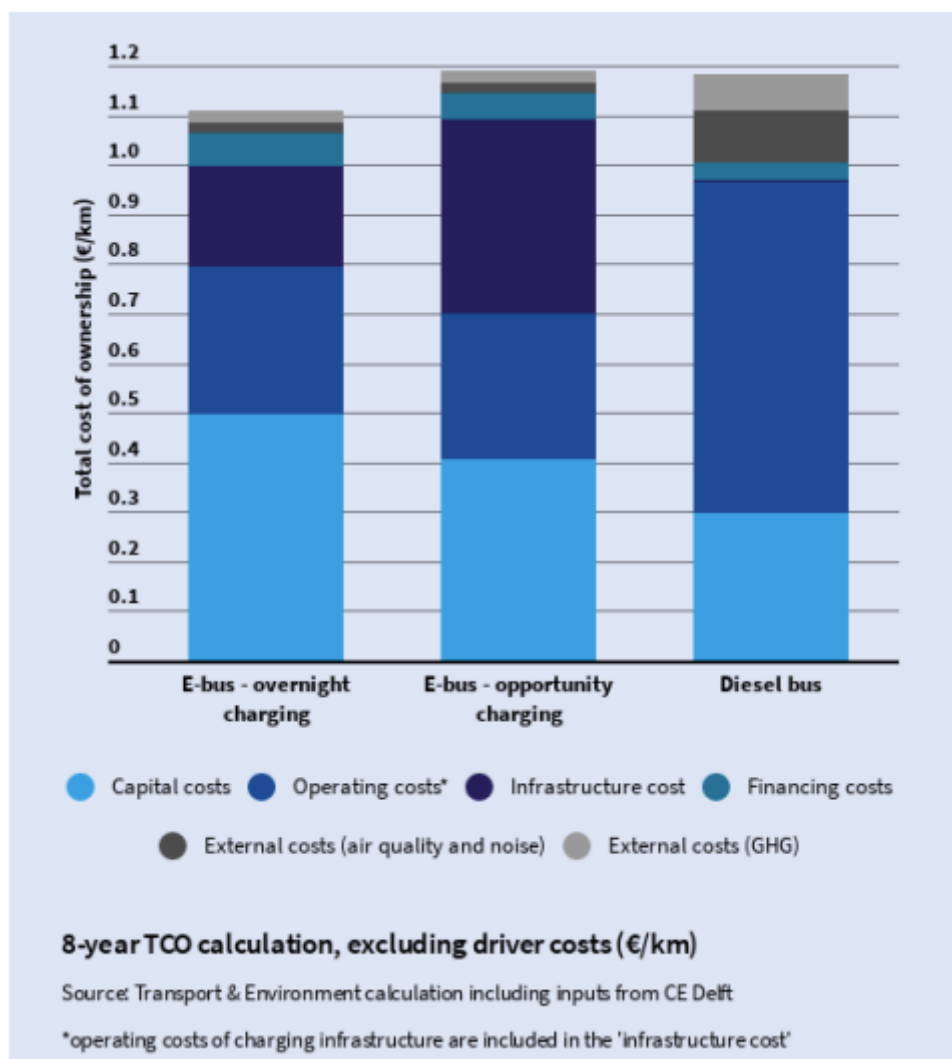
2.8.1 Total cost of ownership (km/h)

Τα ηλεκτρικά λεωφορεία φαίνεται να είναι ακριβότερα σε μικρότερες διαδρομές. [25]

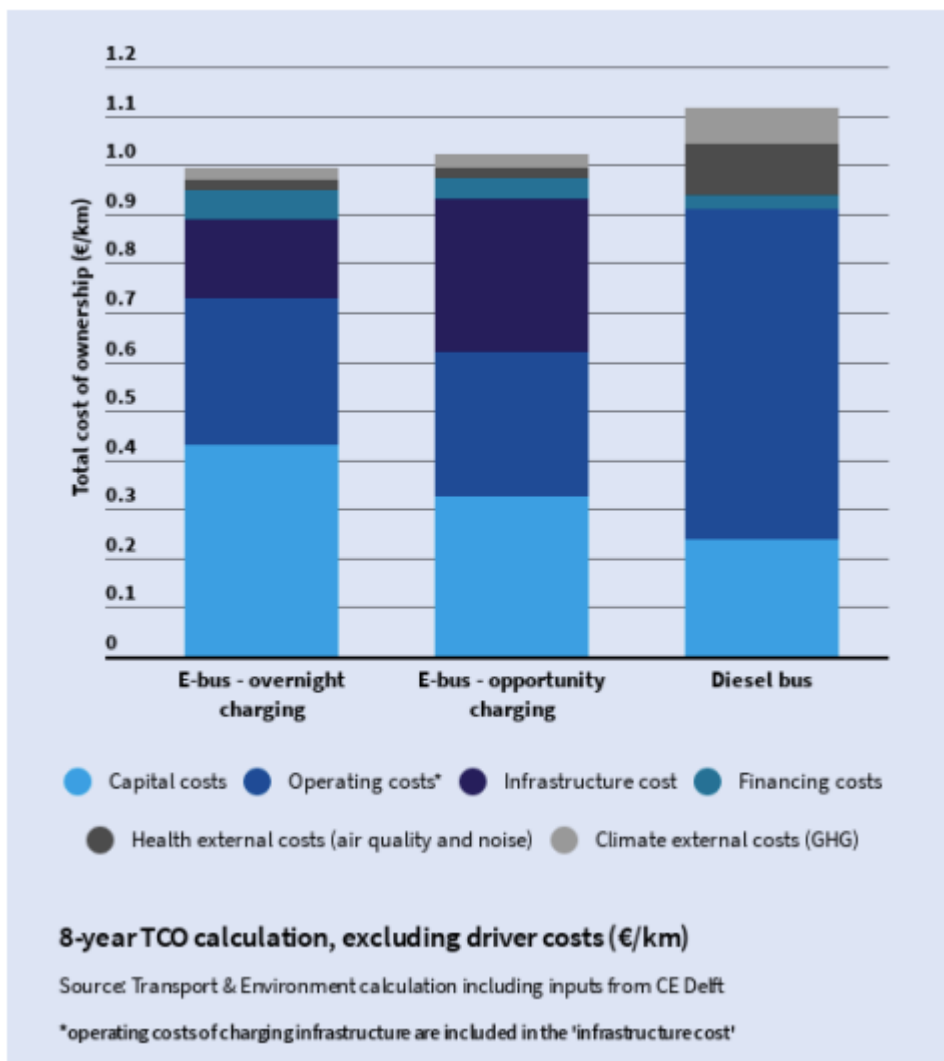


Εικόνα 11 Σύγκριση TCO με 200 km ανά ημέρα

Στο μέλλον η φόρτιση ηλεκτρικών λεωφορείων κατά τη διάρκεια της νύχτας θα γίνεται όλο και πιο συμφέρουσα , όταν οι τιμή για την αγορά της μπαταρίας θα μειωθεί σημαντικά.



Εικόνα 12 Σύγκριση TCO το 2020 με 200 km ανά ημέρα



Εικόνα 13 Σύγκριση TCO το 2020 με 250 χιλιόμετρα ανά ημέρα

Οι τιμές των μπαταριών αποτελούν το μεγαλύτερο κόστος ενός λεωφορείου φόρτισης κατά την διάρκεια της νύχτας σε σύγκριση με λεωφορείο που πραγματοποιεί ευκαιριακή φόρτιση, του οποίου η μπαταρία είναι μικρότερη. Με 200 χλμ ημερήσια χιλιόμετρα, το ηλεκτρικό λεωφορείο το οποίο φόρτισε κατά την διάρκεια της νύχτας είναι φθηνότερο από το πετρελαιοκίνητο λεωφορείο. Καθώς η τεχνολογία της μπαταρίας εξελίσσεται, θα αυξάνεται και ο αριθμός των κύκλων που μπορεί να εκτελέσει κατά τη διάρκεια της ζωής της (δηλ. πριν η κατάσταση υγείας της μπαταρίας φτάνει το 80%), γεγονός που καθιστά ακόμα πιο συμφέρουσα επιχειρηματικά την επιλογή χρήσης ηλεκτρικού λεωφορείου.

Κεφάλαιο 3- Κατηγοριοποίηση ηλεκτρικών λεωφορείων

Λειτουργία των ηλεκτρικών λεωφορείων

Τα ηλεκτρικά λεωφορεία διακρίνονται σε τρεις βασικές κατηγορίες όπως φαίνεται στην Εικόνα 16 [85]. Υπάρχουν τα λεωφορεία με κυψέλες καυσίμου FCEB (fuel cell electric buses), τα υβριδικά HEB (hybrid electric buses) και τα ηλεκτρικά με αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας σε συσσωρευτή BEB (battery electric buses) κατηγορία (BEB)).

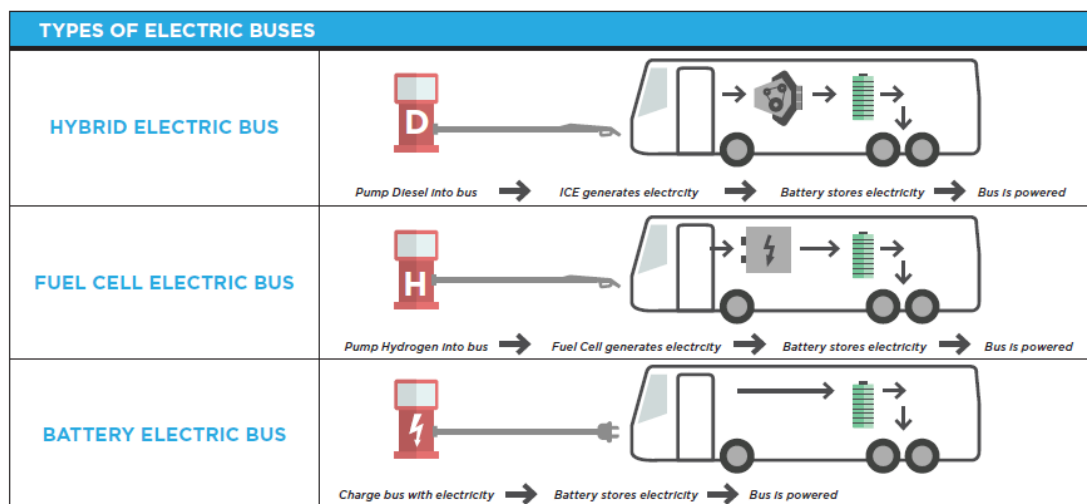
Τα ηλεκτρικά λεωφορεία μπαταριών (ΗΛΣ) αποθηκεύουν την ηλεκτρική ενέργεια επί του αμαξώματος στον συσσωρευτή, και φορτίζονται είτε ολονυχτίς καθώς είναι σταθμευμένα είτε κατά τη διάρκεια της διαδρομής. Το ηλεκτρικό λεωφορείο είναι ένα σύστημα ηλεκτρικής προώθησης που χρησιμοποιεί τη χημική ενέργεια που αποθηκεύεται στα πακέτα μπαταριών. Τα ηλεκτρικά λεωφορεία χρησιμοποιούν για την προώθηση ηλεκτρικές μηχανές αντί των μηχανών εσωτερικής καύσεως. Αντλούν το σύνολο της απαιτούμενης δύναμης από τα πακέτα του συσσωρευτή και δεν έχουν καμία μηχανή εσωτερικής καύσεως, κύτταρο καυσίμων ή δεξαμενή καυσίμων. Τα λεωφορεία μπαταριών φορτίζονται όταν είναι στατικά, κάνοντας χρήση του μηχανικού και ηλεκτρικού εξοπλισμού.

Μπορούν να διαιρεθούν σε δύο κατηγορίες με βάση το προφίλ φόρτισης και στην αυτονομία των χιλιομέτρων τους. Η πρώτη κατηγορία είναι τα ηλεκτρικά λεωφορεία, που είναι δυνατόν να φορτιστούν γρήγορα καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας και υπό τις κατάλληλες συνθήκες (ευκαιριακή φόρτιση). Η δεύτερη κατηγορία είναι τα ηλεκτρικά λεωφορεία που πραγματοποιούν ολονύκτια φόρτιση και φορτίζονται με βάση τις βραδινές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας. Τα ευκαιριακά έχουν πιο μικρή εμβέλεια χιλιομέτρων σε σύγκριση με τα ολονύκτια, συνήθως 30-70 km, και συχνά έχουν τη δυνατότητα να επαναφορτιστούν 80-100% σε πέντε έως δέκα λεπτά [86]. Το εύρος των χιλιομέτρων που έχουν διανυθεί, η χρήση κλιματισμού, ο μέσος όγκος επιβατών, η συχνότητα που σταματούν, η οδική συμπεριφορά, η κλίση των διαδρομών, είναι πιθανό να επηρεάσουν την κατανάλωση ενέργειας ενός λεωφορείου και να μειώσουν σημαντικά την γενική αυτονομία του.

Στην πράξη, η αυτονομία ενός ηλεκτρικού λεωφορείου εξαρτάται από το σχεδιασμό του κατασκευαστή. Ένα ηλεκτρικό λεωφορείο μπορεί να σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να έχει οποιαδήποτε λογική αυτονομία ανάλογα με την εγκατάσταση των διαφορετικών μπαταριών. Οι δύο κύριες συνέπειες της αυξανόμενης αυτονομίας που απορρέει από την αύξηση του μεγέθους των μπαταριών είναι η διαρκώς αυξανόμενη τιμή αγοράς των οχημάτων και η επίσης αυξανόμενη μάζα τους.

Αυτή την χρονική στιγμή κυκλοφορούν υβριδικά ηλεκτρικά, ηλεκτρικά λεωφορεία κυψελών καυσίμου και ηλεκτρικά λεωφορεία με πλήρη μπαταρία σε δίκτυα δημόσιων μεταφορών σε όλο τον κόσμο. Οι διαφορετικοί τύποι τεχνολογίας ηλεκτρικών λεωφορείων μπορούν να ταξινομηθούν ως προς το εάν είναι ηλεκτρική ενέργεια παράγεται ή αποθηκεύεται επί του οχήματος σαν: [87]

- Τα υβριδικά ηλεκτρικά λεωφορεία (HEB) παράγουν ηλεκτρική ενέργεια επί του οχήματος κατά τη διάρκεια της λειτουργίας ντίζελ κινητήρα.
- Τα ηλεκτρικά λεωφορεία κυψελών καυσίμου (FCEB) χρησιμοποιούν κυψέλες καυσίμου υδρογόνου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κατά την διάρκεια λειτουργίας του οχήματος.
- Τα ηλεκτρικά λεωφορεία με μπαταρίες (BEB) αποθηκεύουν ηλεκτρική ενέργεια επί του οχήματος και φορτίζονται είτε κατά τη διάρκεια της νύχτας, είτε κατά την διάρκεια εκτέλεσης του δρομολογίου.



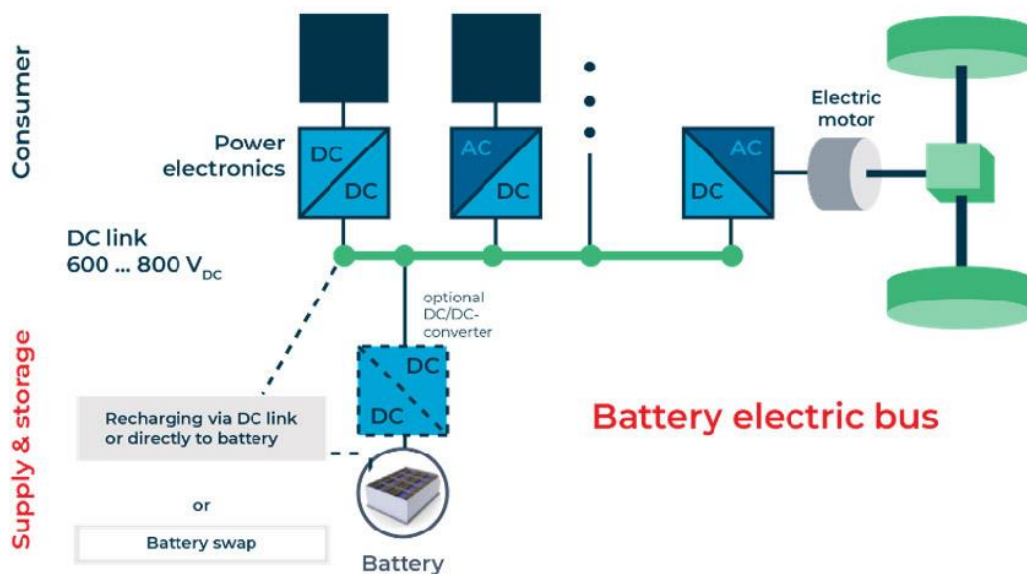
Εικόνα 14 Εξαρτήματα διαφορετικών τύπων ηλεκτρικού λεωφορείου [85]

3.2 Επισκόπηση τεχνολογιών

Ηλεκτρικά λεωφορεία με μπαταρίες (BEB)

Το ηλεκτρικό λεωφορείο λειτουργεί με ηλεκτρική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη σε μια ενσωματωμένη μπαταρία και επομένως δεν περιλαμβάνει καμία μηχανική διαμόρφωση κινητήρα. Για τη φόρτιση της μπαταρίας, το BEB χρησιμοποιεί δύο μορφές λειτουργίας: φόρτιση ευκαιρίας και φόρτιση κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Οι διαφορές μεταξύ των δύο τύπων βασίζονται στην εμβέλεια και στο χρόνο φόρτισης. Τα λεωφορεία που χρησιμοποιούν δυνατότητα ευκαιριακής φόρτισης έχουν μικρότερο πακέτο μπαταριών που προσφέρει περιορισμένη αυτονομία και μπορεί να φορτιστεί πλήρως (80–100%) μέσα σε 5–10 λεπτά. Από την άλλη πλευρά, τα λεωφορεία που χρησιμοποιούν ολονύκτια φόρτιση περιέχουν ένα μεγαλύτερο πακέτο μπαταριών με μεγαλύτερη αυτονομία αλλά απαιτούν πολύ μεγαλύτερο χρόνο φόρτισης (2–4 ώρες). Στο παρακάτω διάγραμμα, φαίνεται η δομή ενός ηλεκτρικού διαύλου μπαταρίας. [88]



Εικόνα 15 Δομή ηλεκτρικού λεωφορείου μπαταρίας [88]

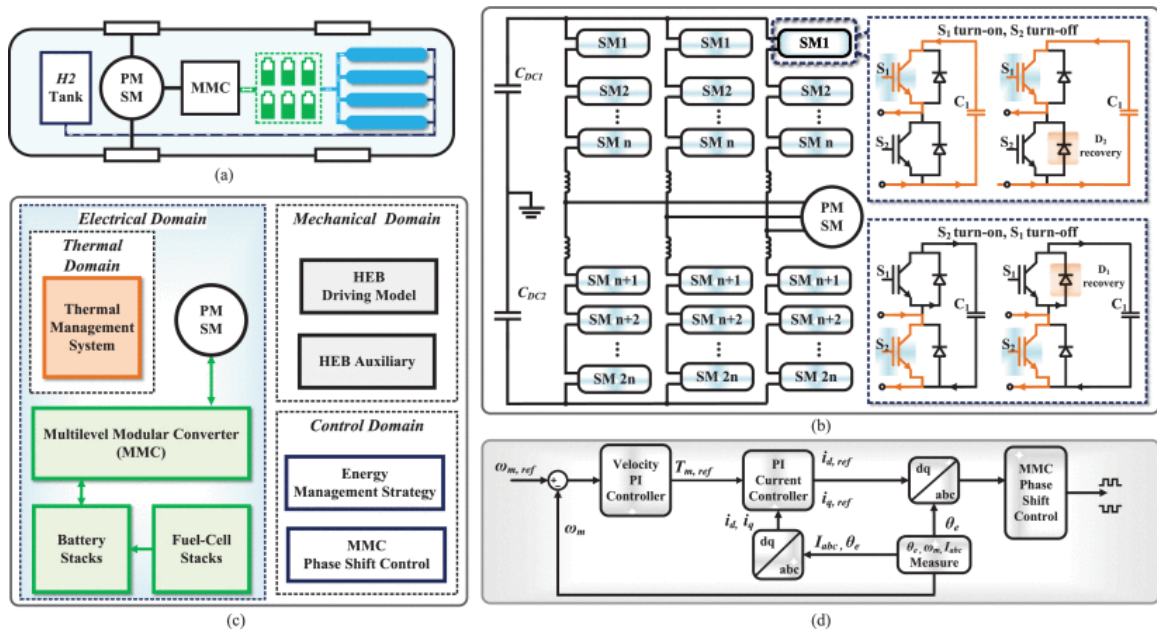
Μερικά από τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αναφέρονται παρακάτω: [87]

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Δεν υπάρχουν εκπομπές εξάτμισης - Λιγότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και τοπικών ρύπων με χρήση ΑΠΕ.	Μικρό εύρος κάλυψης απόστασης των διαδρομών.
Πολύ μεγάλη ενεργειακή αποδοτικότητα του ηλεκτρικού κινητήρα.	Οι βαριές, τρέχουσες μπαταρίες αυξάνουν το βάρος του λεωφορείου, περιορίζοντας τους δρόμους που θα μπορούσαν να κινηθούν.
Μειωμένα λειτουργικά κόστη.	Χωρητικότητα, το αυξημένο βάρος μπαταριών οδηγεί σε μείωση της χωρητικότητας του οχήματος.
	Υποδομή, τα BEB απαιτούν υποδομή φόρτισης (είτε σε αμαξοστάσια, στάσεις λεωφορείων ή και τα δύο).

Πίνακας 3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα BEB

Υβριδικά ηλεκτρικά λεωφορεία

Τα ΗΕΒ χρησιμοποιούν δύο κινητήρες, έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης (ICE), που είναι συνήθως ντίζελ, και έναν ηλεκτροκινητήρα (EM) για την τροφοδοσία του οχήματος. Είναι ο πιο κοινός τύπος ηλεκτρικού λεωφορείου σε λειτουργία παγκοσμίως και συνεχίζει να είναι ο πιο αγορασμένος τύπος νέου ηλεκτρικού λεωφορείου.



Εικόνα 16 Συμβατικό σύστημα [89] [90] EMT για ΗΕΒ: (α) συνολική τοπολογία συστήματος ΗΕΒ. (β) Σύστημα οδήγησης PMSM (permanent magnet synchronous motor) (Ηλεκτρική ροπή που βασίζεται σε MMC (.modular multilevel converter) (γ) σύστημα πολλαπλών τομέων· (δ) Σύστημα ελέγχου MMC. [91]

Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των ΗΕΒs περιγράφονται παρακάτω:

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Μικρότερες αλλαγές στην τεχνολογία.	Τα βαριά εξαρτήματα του συστήματος μετάδοσης κίνησης αυξάνουν το βάρος του οχήματος.
	Χωρητικότητα, αυξημένο βάρος σημαίνει ότι η χωρητικότητα του οχήματος συχνά μειώνεται λόγω των μέγιστων ορίων βάρους του άξονα.
	Η υποδομή, ενδέχεται να απαιτεί πρόσθετη υποδομή, όπως φόρτιση σταθμούς.
	Η αξιοπιστία, η χωρητικότητα της μπαταρίας και η ωφέλιμη διάρκεια ζωής ενδέχεται να μειωθούν κατά πολύ θερμοκρασίες [92]

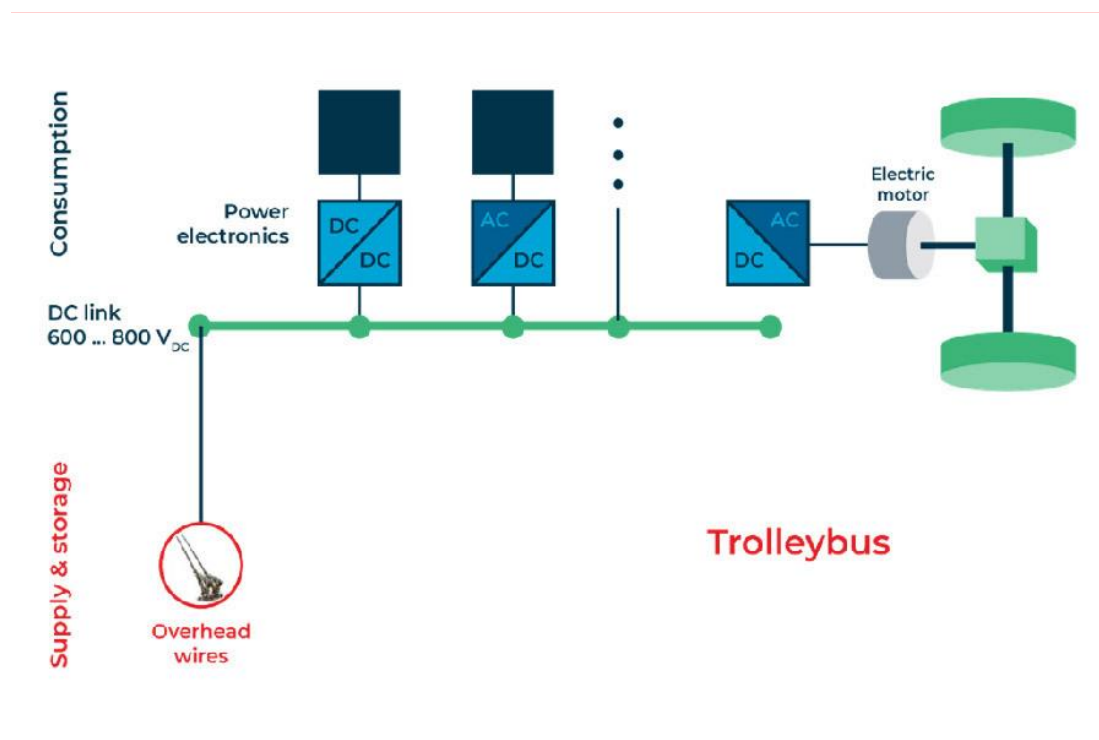
Πίνακας 4 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα ΗΕΒ

Τρόλεϊ (συμβατικό υβριδικό)

Ένα υβριδικό ηλεκτρικό λεωφορείο (HEB) είναι παρόμοιο με ένα κανονικό λεωφορείο, αλλά περιλαμβάνει έναν μηχανικό βραχίονα που το τροφοδοτεί και παρέχει συνεχή τροφοδοσία μέσω εναέριων καλωδίων.

Έχει πολλά πλεονεκτήματα, όπως μη απελευθέρωση ρυπογόνων εκπομπών καθώς και αθόρυβη λειτουργία. Ωστόσο, η δημοτικότητα του έχει υποφέρει λόγω της εξάρτησής του από εναέρια καλώδια και της δυσκολίας του να αποκλίσει από την αρχική του διαδρομή.

Μερικά πλεονεκτήματα αυτής της τεχνολογίας είναι η δυνατότητα αδιάλειπτης λειτουργίας, λόγω της συνεχούς τροφοδοσίας. Επιπλέον, η μεγάλη αντοχή καθιστά το τρόλεϊ πολύ αξιόπιστο μέσα μαζικής μεταφοράς. Συνεπώς, αυτός ο τύπος e-bus είναι κυρίως ενδιαφέρον για πόλεις με υπάρχον δίκτυο τρόλεϊ ή διαδρομές BRT με μεγάλη χωρητικότητα και σταθερούς διαδρόμους. Στο επόμενο διάγραμμα, φαίνεται η δομή του τρόλεϊ. [88]



Εικόνα 17 Δομή υβριδικού λεωφορείου τρόλεϊ

Ηλεκτρικό λεωφορείο κυψελών καυσίμου – FCEB

Το Ηλεκτρικό λεωφορείο κυψέλης ενσωματώνει κυψέλη καυσίμου υδρογόνου και μπαταρίες, δημιουργώντας υβριδική αρχιτεκτονική. Η κυψέλη καυσίμου παρέχει την απαραίτητη ενέργεια για τη λειτουργία του οχήματος, ενώ οι μπαταρίες συμβάλλουν στη μέγιστη ισχύ του κινητήρα. Όλη η ενέργεια παράγεται μέσω της μετατροπής του υδρογόνου σε ηλεκτρική.

Τα ηλεκτρικά λεωφορεία κυψελών καυσίμου είναι εξοπλισμένα με έναν ηλεκτρικό κινητήρα που χρησιμοποιεί ένα μείγμα συμπιεσμένου υδρογόνου και οξυγόνου από τον αέρα, με το νερό να είναι το μόνο προϊόν αυτής της διαδικασίας.

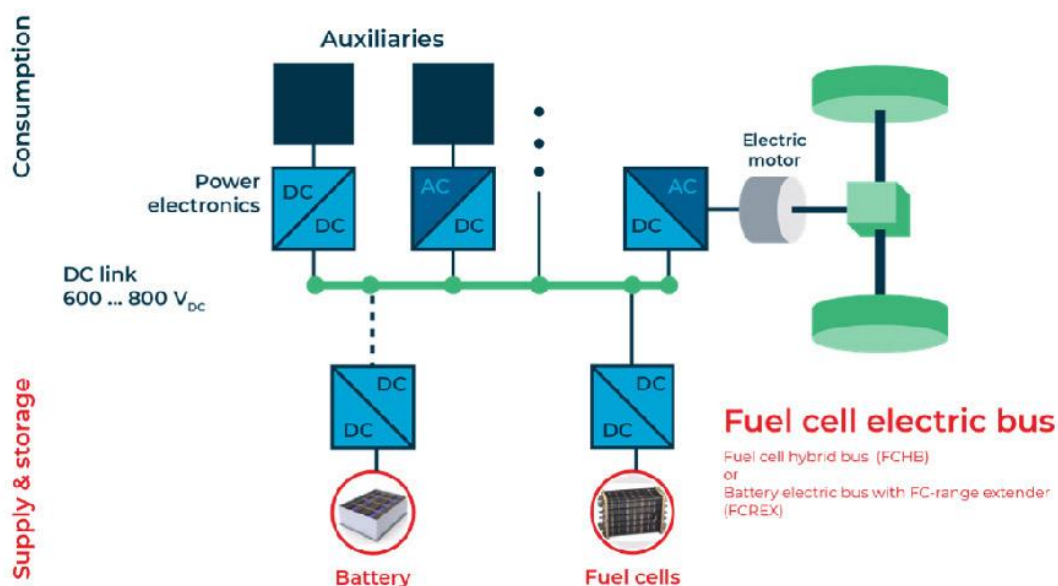
Η κατανάλωση σε H₂ είναι η παρακάτω:

- Μονό λεωφορείο: περίπου. 8-16 κιλά/100 χλμ
- Αρθρωτό λεωφορείο: περίπου. 12-24 κιλά/100 χλμ

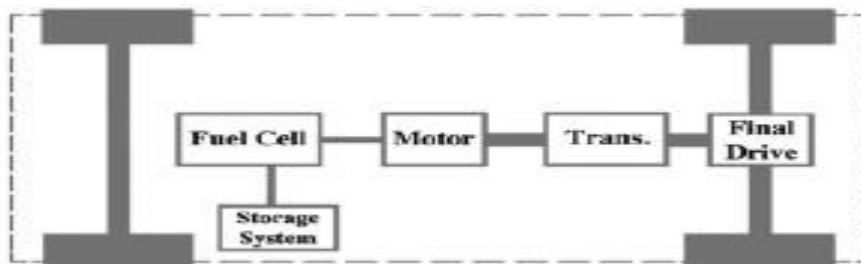
Οι μεγάλες ημερήσιες αποστάσεις μπορεί να μην αποτελούν πρόβλημα, αλλά είναι απαραίτητο να γίνει διαφοροποίηση μεταξύ της εγκατεστημένης και της πραγματικής χρησιμοποιήσιμης χωρητικότητας για αποθήκευση H₂. Επιπλέον, ενδέχεται να απαιτούνται προσαρμογές στις τρέχουσες χωρητικότητες αποθήκευσης.

Επιπρόσθετα, υπάρχουν κάποιες απαιτήσεις όσον αφορά την χρήση συστημάτων πληροφορικής [88]. Τέτοια μπορεί να είναι συστήματα για την πρόβλεψη και παρακολούθηση της κατάστασης φόρτισης (SOC) τόσο για τις αποθήκες ενέργειας, για παράδειγμα, μπαταρία και H₂ θα ήταν απαραίτητα να εγκατασταθούν.

Ο σχεδιασμός και ο προγραμματισμός του ανεφοδιασμού θα εξαρτηθεί από τη διαθεσιμότητα της υποδομής ανεφοδιασμού.



Εικόνα 18 Δομή ηλεκτρικού λεωφορείου κυψελών καυσίμου



Εικόνα 19 Διαμόρφωση ηλεκτρικού λεωφορείου κυψελών καυσίμου [93]

Πιθανά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της χρήσης πολυμερούς ηλεκτρολύτη περιγράφονται παρακάτω: [88]

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Χαμηλές εκπομπές καυσαερίων [94]	Η πυκνότητα υδρογόνου: το υδρογόνο είναι λιγότερο ενεργειακά πυκνό από το ντίζελ, άρα απαιτείται περισσότερος αποθηκευτικός χώρος σε σχέση με τα ντίζελ λεωφορεία.
Αυξημένη διαθεσιμότητα του οχήματος, απαιτείται λιγότερη συντήρηση λόγω της απουσίας εσωτερικών κινούμενων μερών [95]	Εκτεταμένες υποδομές αποθήκευσης και ανεφοδιασμού υδρογόνου θα απαιτηθεί για την επιτυχή ενσωμάτωση των FCBE.
Τα οχήματα μεγάλων αποστάσεων με κυψέλες καυσίμου υδρογόνου δεν έχουν τα ίδια ζητήματα εμβέλειας που περιορίζουν επί του παρόντος τα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία.	Τα FCBE είναι αυτή την στιγμή περίπου επτά φορές πιο ακριβά από τα DB και τα ηλεκτρικά και το κόστος κατασκευής ενός σταθμού ανεφοδιασμού υδρογόνου κοστίζει περίπου 5 εκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ.
	Διαχείριση συστήματος: Τα εξαρτήματα είναι πολύ ευαίσθητα στη θερμότητα και στις αλλαγές στα επίπεδα συγκέντρωσης νερού και ακαθαρσίες μέσα στο υδρογόνο. [94]

Πίνακας 5 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα FCBE

3.2.4 Υλικά κατασκευής Ηλεκτρικών Λεωφορείων

Η κατασκευή ηλεκτρικών λεωφορείων περιλαμβάνει τη χρήση μιας ποικιλίας υλικών για τη διασφάλιση της δομικής ακεραιότητας, της ασφάλειας και της αποτελεσματικότητας του οχήματος. Ακολουθούν ορισμένα κοινά υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή ηλεκτρικών λεωφορείων:

- Αλουμίνιο: Το αλουμίνιο είναι ένα ελαφρύ και ανθεκτικό υλικό που χρησιμοποιείται στην κατασκευή πλαισίων λεωφορείων, πάνελ αμαξώματος και εξαρτημάτων. Βοηθά στη μείωση του συνολικού βάρους του λεωφορείου,

βελτιώνοντας την ενεργειακή απόδοση και επεκτείνοντας την εμβέλεια της μπαταρίας. Το αλουμίνιο είναι επίσης ανθεκτικό στη διάβρωση, συμβάλλοντας στη βελτίωση της οικονομίας καυσίμου.

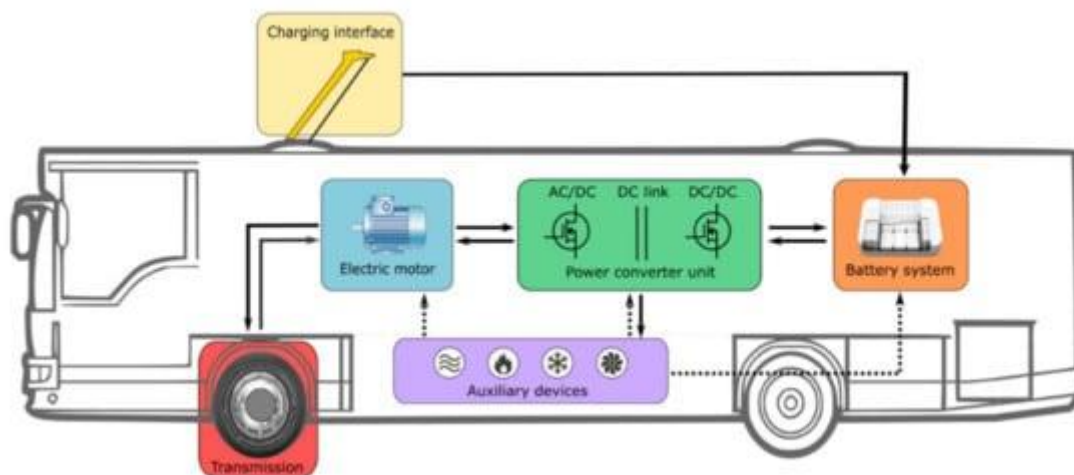
- **Χάλυβας υψηλής αντοχής:** Ο χάλυβας υψηλής αντοχής χρησιμοποιείται σε σασί λεωφορείων και δομικά εξαρτήματα για να παρέχει αντοχή, ακαμψία και αντοχή σε πρόσκρουση. Προσφέρει ανώτερη δομική ακεραιότητα διατηρώντας παράλληλα την απόδοση βάρους, διασφαλίζοντας την ασφάλεια των επιβατών σε περίπτωση σύγκρουσης.
- **Σύνθετα υλικά:** Σύνθετα υλικά, όπως πλαστικά ενισχυμένα με υαλοβάμβακα (FRP) ή πολυμερή ενισχυμένα με ίνες άνθρακα (CFRP), χρησιμοποιούνται σε διάφορα εξαρτήματα διαύλου, συμπεριλαμβανομένων των πάνελ αμαξώματος, των εσωτερικών επενδύσεων και των ελαφριών δομικών στοιχείων. Αυτά τα υλικά είναι ισχυρά, ελαφριά, ανθεκτικά στη διάβρωση και προσφέρουν ευελιξία σχεδιασμού.
- **Πλαστικά και πολυμερή εξαρτήματα:** Διάφορα πλαστικά και πολυμερή υλικά χρησιμοποιούνται στην κατασκευή ηλεκτρικών λεωφορείων για εσωτερικά εξαρτήματα, πάνελ ταμπλό, καθίσματα και επένδυση. Αυτά τα υλικά είναι ελαφριά, ανθεκτικά και προσφέρουν αισθητική εμφάνιση.
- **Γυαλί:** Το γυαλί ασφαλείας υψηλής αντοχής χρησιμοποιείται για παράθυρα, παρμπρίζ και άλλες διαφανείς επιφάνειες σε ηλεκτρικά λεωφορεία. Εξασφαλίζει την ασφάλεια των επιβατών, την ορατότητα και την προστασία από κρούσεις ή θραύση.
- **Ηλεκτρικά Εξαρτήματα:** Τα ηλεκτρικά λεωφορεία απαιτούν συγκεκριμένα υλικά για τα ηλεκτρικά τους συστήματα. Χάλκινες καλωδιώσεις, σύνδεσμοι και μονωτικά υλικά χρησιμοποιούνται για την εξασφάλιση αποτελεσματικής διανομής ισχύος, αξιόπιστων συνδέσεων και ηλεκτρικής ασφάλειας.
- **Θερμομονωτικά υλικά:** Τα θερμομονωτικά υλικά, όπως αφρός, υαλοβάμβακας ή ορυκτοβάμβακας, χρησιμοποιούνται για την ελαχιστοποίηση της μεταφοράς θερμότητας και τη διατήρηση του ελέγχου της θερμοκρασίας εντός του διαύλου. Βοηθούν στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και της άνεσης των επιβατών.
- **Υλικά επιβραδυντικά πυρκαγιάς:** Τα ηλεκτρικά λεωφορεία ενσωματώνουν υλικά επιβραδυντικά πυρκαγιάς σε κρίσιμες περιοχές για την ενίσχυση της πυρασφάλειας. Χρησιμοποιούνται πυρίμαχα υλικά, πυρίμαχα επιστρώματα και πυρίμαχη μόνωση για την ελαχιστοποίηση των κινδύνων πυρκαγιάς και την προστασία των επιβατών και του οχήματος.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα συγκεκριμένα υλικά που χρησιμοποιούνται μπορεί να διαφέρουν μεταξύ κατασκευαστών λεωφορείων και μοντέλων και

εξαρτώνται από συγκεκριμένες απαιτήσεις σχεδιασμού, κανονιστικά πρότυπα και τεχνολογικές εξελίξεις. Κάθε κατασκευαστής μπορεί να έχει τα δικά του ιδιόκτητα υλικά ή μοναδικές τεχνικές κατασκευής για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης και της ασφάλειας των ηλεκτρικών λεωφορείων του. [94]

Κεφάλαιο 4- Ηλεκτρικό σύστημα κίνησης λεωφορείων με μπαταρία

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 22, το σύστημα μετάδοσης κίνησης ενός BEB είναι εξοπλισμένο με σύστημα μπαταρίας και ηλεκτρικό κινητήρα (EM) [95]. Ενδιάμεσα, απαιτείται ηλεκτρονικός μετατροπέας ισχύος (PEC) για τη ρύθμιση της ροής ισχύος από το σύστημα μπαταρίας στο EM (Ηλεκτρικό κινητήρα) και αντίστροφα (στην περίπτωση πέδησης με ανάκτηση). Ένα σύστημα μετάδοσης στέλνει την ενέργεια στους τροχούς για να οδηγήσει το BEB. Κατά το φρενάρισμα, η αναγεννητική ενέργεια πέδησης μπορεί να ανακτηθεί για να φορτιστεί η μπαταρία. Ένας άλλος τρόπος φόρτισης της μπαταρίας είναι να χρησιμοποιήσετε τη διεπαφή φόρτισης και να τη φορτίσετε με ηλεκτρισμό από το δίκτυο. Επιπρόσθετα η ισχύς της μπαταρίας χρησιμοποιείται επίσης για την κάλυψη των αναγκών ισχύος των βοηθητικών συσκευών, η οποία είναι απαραίτητη για την ψύξη των άλλων εξαρτημάτων του συστήματος μετάδοσης κίνησης και τη θέρμανση της καμπίνας του BEB [95] [93]



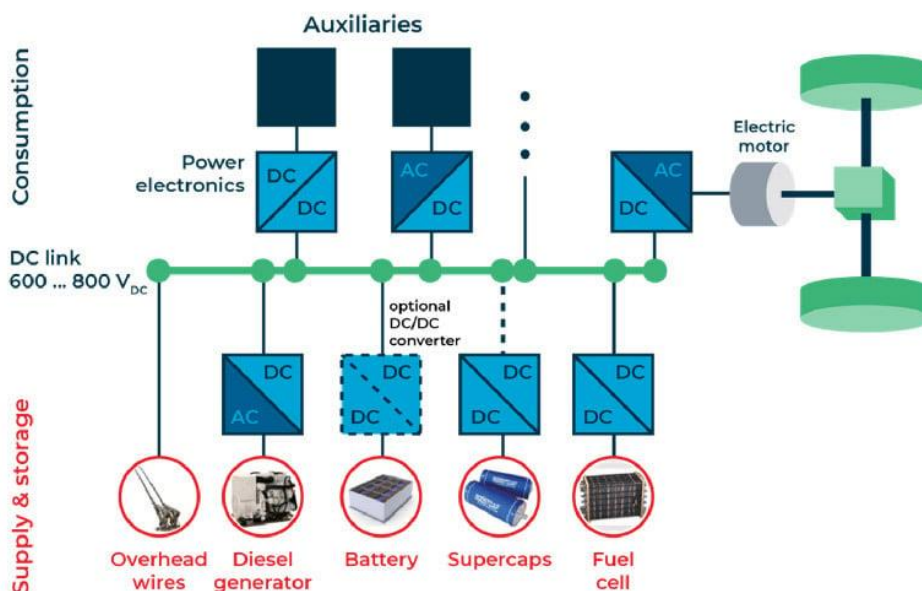
Εικόνα 20 Τοπολογία συστήματος μετάδοσης κίνησης ενός ηλεκτρικού λεωφορείου μπαταρίας.

Κατά την εκκίνηση, τα ηλεκτρικά λεωφορεία λειτουργούν στέλνοντας ένα σήμα στον ελεγκτή του συστήματος μετάδοσης κίνησης. Αυτό οδηγεί την μπαταρία υψηλής τάσης, όπου η χημική ενέργεια αποθηκεύεται και μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Στη συνέχεια, η ηλεκτρική ενέργεια κατανέμεται σε όλα τα διαφορετικά

εξαρτήματα που επιταχύνουν το δίαυλο, όπως ο ηλεκτροκινητήρας και το σύστημα θερμικού ελέγχου.

Το AC σημαίνει εναλλασσόμενο ρεύμα, όπου τα ηλεκτρόνια αλλάζουν εμπρός και πίσω σε κύκλους. Μπορεί να παραχθεί από ανανεώσιμες πηγές όπως η αιολική ή η υδροηλεκτρική ενέργεια. Το DC αντιπροσωπεύει το συνεχές ρεύμα, με τα ηλεκτρόνια να ρέουν σταθερά προς μία κατεύθυνση. Μπορεί να παραχθεί, για παράδειγμα, από ηλιακούς συλλέκτες και χρησιμοποιείται για αποθήκευση ενέργειας.

Η διαδικασία περιλαμβάνει την άντληση εναλλασσόμενου ρεύματος από το δίκτυο, τη μετατροπή της σε ισχύ συνεχούς ρεύματος και, στη συνέχεια, την αποθήκευση και χρήση της σε μπαταρίες υψηλής τάσης, όπως στην παρακάτω εικόνα.

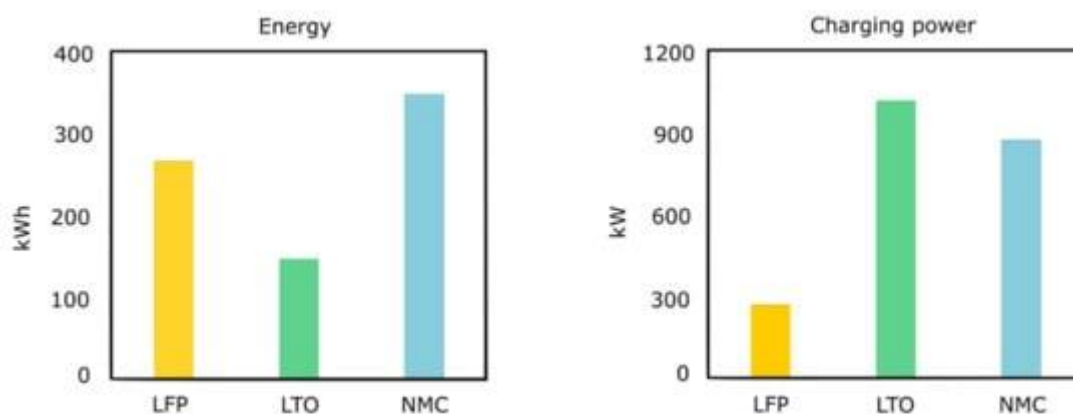


Εικόνα 21 Διαφορετικοί τρόποι παροχής ενέργειας [88]

1. Σύστημα μπαταρίας

Το σύστημα μπαταρίας είναι η κύρια και μοναδική πηγή ενέργειας η οποία βρίσκεται στο όχημα. Αυτό σημαίνει ότι όλη η απαιτούμενη ενέργεια για την οδήγηση του λεωφορείου προέρχεται από την μπαταρία και ότι η ενεργειακή χωρητικότητα της μπαταρίας καθορίζει την εμβέλεια οδήγησης του BEB. Όπως σε όλα τα ηλεκτρικά οχήματα σήμερα, τα BEB είναι εξοπλισμένα με κάποια μορφή μπαταριών ιόντων λιθίου. Επί του παρόντος, ο φωσφορικός σίδηρος λιθίου (LFP), το οξειδίο του τιτανίου λιθίου (LTO) και το οξειδίο κοβαλτίου νικελίου λιθίου μαγγανίου (NMC) είναι οι συμβατικοί τύποι μπαταριών που συναντώνται στα BEB [97] [98]. Η εικόνα διαφορετικών τύπων μπαταριών σε μια συμβατική πόλη BEB. Το LTO έχει την

υψηλότερη ισχύ φόρτισης από τις εξεταζόμενες τεχνολογίες, αλλά έχει επίσης τη χαμηλότερη ενεργειακή χωρητικότητα. Επομένως, το LTO έχει εφαρμογή μόνο για ευκαιριακή φόρτιση κατά την διαδρομή. Από την άλλη πλευρά, το LFP δέχεται μόνο πολύ χαμηλή ισχύ φόρτισης και επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για καταστάσεις αργής φόρτισης, όπως η φόρτιση στο αμαξοστάσιο. Τέλος, το NMC έχει τη μεγαλύτερη ενεργειακή χωρητικότητα, καθώς και υψηλή ισχύ φόρτισης και επομένως είναι κατάλληλο τόσο για φόρτιση στη διαδρομή όσο και για φόρτιση αμαξοστασίου [99].



Εικόνα 22 Χωρητικότητα μπαταρίας και μέγιστη ισχύς φόρτισης διαφορετικών τύπων μπαταριών ιόντων λιθίου για μια τυπική πόλη BEB [95] [99].

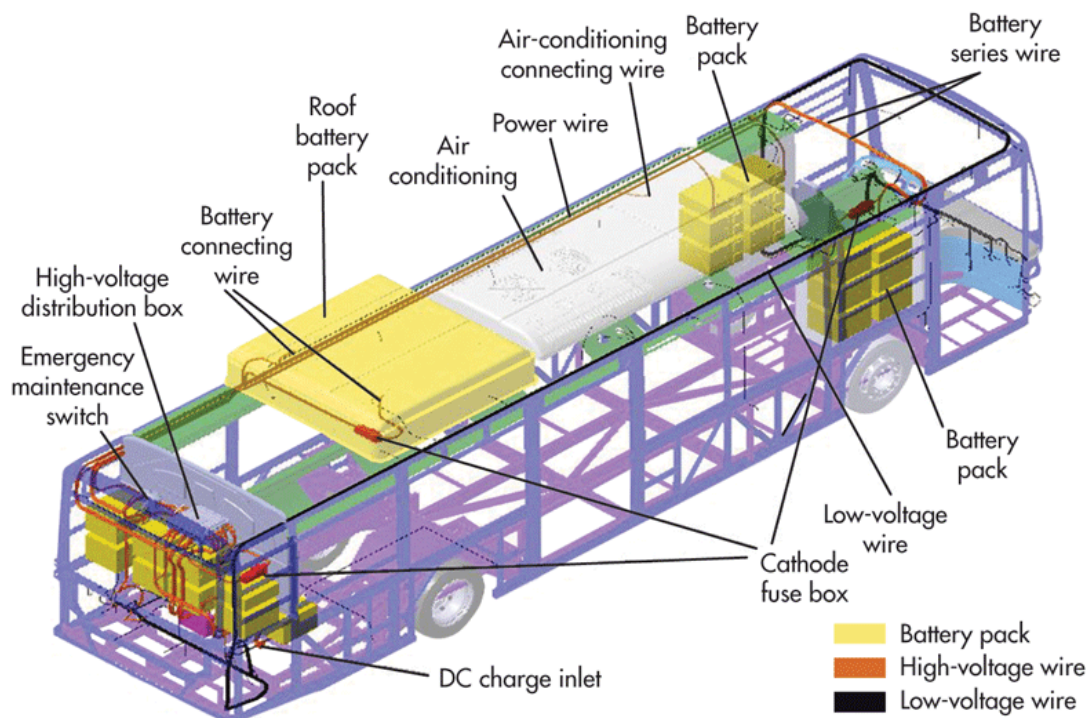
Η αυτονομία ενός ΗΛΣ εξαρτάται από το σχεδιασμό του κατασκευαστή. Ένα ΗΛΣ (ηλεκτρικό λεωφορείο συσσωρευτή) μπορεί να σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να έχει οποιαδήποτε λογική αυτονομία ανάλογα με την εγκατάσταση των διαφορετικών μπαταριών. Οι δύο κύριες συνέπειες της αυξανόμενης αυτονομίας που απορρέει από την αύξηση του μεγέθους των μπαταριών είναι η διαρκώς αυξανόμενη τιμή αγοράς των οχημάτων και η επίσης αυξανόμενη μάζα τους.

Το εύρος των χιλιομέτρων των ηλεκτρικών λεωφορείων ενδέχεται να ποικίλει σε μεγάλο βαθμό βάσει διάφορων όρων λειτουργίας, όπως η χρήση κλιματισμού, ο μέσος όγκος επιβατών, τη συχνότητα που σταματούν, την οδική συμπεριφορά και τη κλίση διαδρομών. Οι παραπάνω παράγοντες είναι πιθανό να επηρεάσουν σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας ενός λεωφορείου και ενδεχομένως να μειώσουν σημαντικά τη γενική αυτονομία του. [100]

.2. Ηλεκτροκινητήρας (*Electric Motor*)

Το EM μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια που προέρχεται από την μπαταρία σε μηχανική ενέργεια για την κίνηση των τροχών. Μπορεί επίσης να λειτουργήσει ως γεννήτρια για να στείλει την ανακτώμενη ενέργεια πέδησης πίσω στο σύστημα μπαταρίας. Η πλειονότητα των BEB χρησιμοποιεί κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος, ιδιαίτερα επαγωγικούς (ή ασύγχρονους) κινητήρες (IMs) και σύγχρονους κινητήρες μόνιμου μαγνήτη (PMSM) [98] [95]. Τα IM προτιμώνται λόγω της αξιοπιστίας, της στιβαρότητας, της ώριμης τεχνολογίας και της χαμηλής τιμής τους,

ενώ τα PMSM έχουν υψηλότερη πυκνότητα ισχύος, υψηλότερη απόδοση και απλή δομή [101].



Εικόνα 23 Τοπική Κάτοψη ενός E-Bus [88]

4.3. Ηλεκτρονικός μετατροπέας ισχύος (Power Electronic Converter Unit)

Απαιτείται μια μονάδα PEC για τη μετατροπή της ισχύος εξόδου DC του συστήματος μπαταρίας σε ισχύ εισόδου AC για το EM. Αποτελείται κυρίως από δύο στάδια: ένα στάδιο μετατροπής DC σε DC για τη σύνδεση του συστήματος μπαταρίας σε μια σύνδεση DC υψηλής τάσης, στην οποία είναι συνδεδεμένες όλες οι βοηθητικές συσκευές, και ένα στάδιο μετατροπής DC σε AC (inverter) για την σύνδεση DC με το EM. Ο μετατροπέας ελέγχει την ταχύτητα EM (Electric Motor) ρυθμίζοντας την τάση AC και τη συχνότητα. Αυτοί οι μετατροπείς είναι απαραίτητοι για μια αξιόπιστη και αποτελεσματική λειτουργία του συστήματος μετάδοσης κίνησης BEB

4. Βοηθητικές Συσκευές

Εκτός από τα κύρια εξαρτήματα του συστήματος μετάδοσης κίνησης ενός BEB, υπάρχουν επίσης πολλές βασικές βοηθητικές συσκευές επί του οχήματος που

απαιτούν ισχύ από το σύστημα μπαταρίας. Το σύστημα θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού (HVAC) εξασφαλίζει την άνεση των επιβατών. Τα συστήματα θερμικής διαχείρισης της μπαταρίας, της μονάδας PEC και του EM επιτρέπουν μια ικανοποιητική και ασφαλή λειτουργία αυτών των εξαρτημάτων. Άλλα ηλεκτρικά βοηθητικά εξαρτήματα διασφαλίζουν τη λειτουργία των θυρών, των φώτων, των υαλοκαθαριστήρων κ.λπ. [103].

.5. Κατανάλωση Ενέργειας

Ένα καλά σχεδιασμένο και βελτιστοποιημένο σύστημα μετάδοσης κίνησης είναι απαραίτητο για μια αξιόπιστη λειτουργία BEB. Αυτό οφείλεται κυρίως στην εξομάλυνση του συστήματος μπαταρίας για την επίτευξη μιας επιθυμητής αυτονομίας. Επιπλέον, δεδομένου ότι η μπαταρία εξακολουθεί να είναι το πιο ακριβό εξάρτημα του συστήματος μετάδοσης κίνησης, ένα βελτιστοποιημένο σύστημα μπαταρίας θα έχει επίσης θετική επίδραση στο συνολικό κόστος του BEB. Για τους χειριστές λεωφορείων, απαιτείται λεπτομερής γνώση της κατανάλωσης ενέργειας του BEB υπό διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας, όπως καιρικές συνθήκες, κύκλοι οδήγησης και πληρότητα επιβατών. Αυτές οι πληροφορίες βοηθούν στην έξυπνη ενσωμάτωση των BEB στις πόλεις, βοηθώντας τους φορείς εκμετάλλευσης λεωφορείων να προσδιορίσουν ποιοι τύποι λεωφορείων μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ποιες γραμμές. Η μέση κατανάλωση ενέργειας κυμαίνεται μεταξύ 1–2 kWh/km, 1,5–3 kWh/km και 2–3,5 kWh/km για τυπικά λεωφορεία, διώροφα και αρθρωτά λεωφορεία αντίστοιχα [104] [105] [106]. Σε έντονη κυκλοφοριακή συμφόρηση και ακραίες καιρικές συνθήκες, τα BEB γενικά καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια. Η κατανάλωση ενέργειας του συστήματος πρόωσης μπορεί να αυξηθεί έως και 35%, και η κατανάλωση ενέργειας του βοηθητικού θα μπορούσε να τριπλασιαστεί στην κυκλοφορία αιχμής σε σύγκριση με την τυπική κυκλοφορία. Σε ακραίες καιρικές συνθήκες, η συνολική κατανάλωση ενέργειας του BEB θα μπορούσε ακόμη και να διπλασιαστεί, κυρίως λόγω του συστήματος HVAC [107] [108]. Αυτοί οι παράγοντες θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όταν αποφασίζετε το μέγεθος της μπαταρίας των BEB. Ωστόσο, δεδομένου ότι τέτοιες ακραίες καιρικές συνθήκες δεν συμβαίνουν πολύ συχνά, η πιθανότητα εμφάνισής τους πρέπει να αναλυθεί σωστά. Διαφορετικά, αυτό μπορεί να οδηγήσει σε υπερμεγέθη σύστημα μπαταρίας.

.6. Διασύνδεση φόρτισης

Η ενσωματωμένη μπαταρία των BEB πρέπει να φορτίζεται τακτικά. Επομένως, ένα BEB είναι εξοπλισμένο με μια διεπαφή φόρτισης που μπορεί να συνδεθεί με την κατάλληλη υποδομή φόρτισης για να φορτίσει την μπαταρία με ισχύ από το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Υπάρχουν διαφορετικές διεπαφές φόρτισης όπως αναφέρονται παρακάτω:

- **Φόρτιση παντογράφου:** Ένας συνηθισμένος τρόπος φόρτισης BEB είναι η χρήση παντογράφου που έρχεται σε επαφή μεταξύ του διαύλου και της υποδομής φόρτισης με αυτοματοποιημένο τρόπο. Επί του παρόντος, υπάρχουν δύο τρόποι για να πραγματοποιήσετε αυτήν την επαφή. Ο παντογράφος μπορεί να τοποθετηθεί στην κορυφή της οροφής του BEB και

ανυψώνεται όταν απαιτείται φόρτιση ή ο παντογράφος τοποθετείται στην υποδομή φόρτισης και κινείται προς τα κάτω .Το τελευταίο είναι προτιμότερο επειδή απαιτεί λιγότερους παντογράφους για μια δεδομένη διαδρομή λεωφορείου και προσθέτει μικρότερο βάρος στο BEB. Επιπλέον, ο παντογράφος δεν εκτίθεται σε δονήσεις από το δίαυλο [109][21].

- Φόρτιση Plug-in: Τα BEB μπορούν επίσης να φορτιστούν συνδέοντας μια υποδοχή από την υποδομή φόρτισης. Την δεδομένη στιγμή, η υποδοχή πρέπει να συνδεθεί χειροκίνητα, γεγονός που καθιστά αυτόν τον τύπο διεπαφής φόρτισης λιγότερο ελκυστικό για μεγαλύτερους στόλους BEB. Ωστόσο, αυτή η διαδικασία θα αυτοματοποιηθεί επίσης μέσω της αυτοματοποίησης στο εγγύς μέλλον [110].
- Επίγεια φόρτιση: Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα BEB φορτίζονται μέσω ενός επίγειου συστήματος φόρτισης. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους. Όπως η φόρτιση παντογράφου, ένας συλλέκτης ρεύματος μπορεί να πέσει κάτω από το λεωφορείο για να έρθει σε επαφή με μια αγωγίμη συσκευή ενσωματωμένη στην επιφάνεια του δρόμου [111]. Ένας άλλος τρόπος είναι να μεταφέρετε την ισχύ φόρτισης ασύρματα εφαρμόζοντας ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο μεταξύ ενός πηνίου εκπομπής στην επιφάνεια του δρόμου και ενός πηνίου λήψης που βρίσκεται στο BEB. Το κύριο πλεονέκτημα της ασύρματης φόρτισης είναι ότι μπορεί να επιτρέψει στα BEB να φορτίζουν ενώ βρίσκονται σε κίνηση [112] [113].

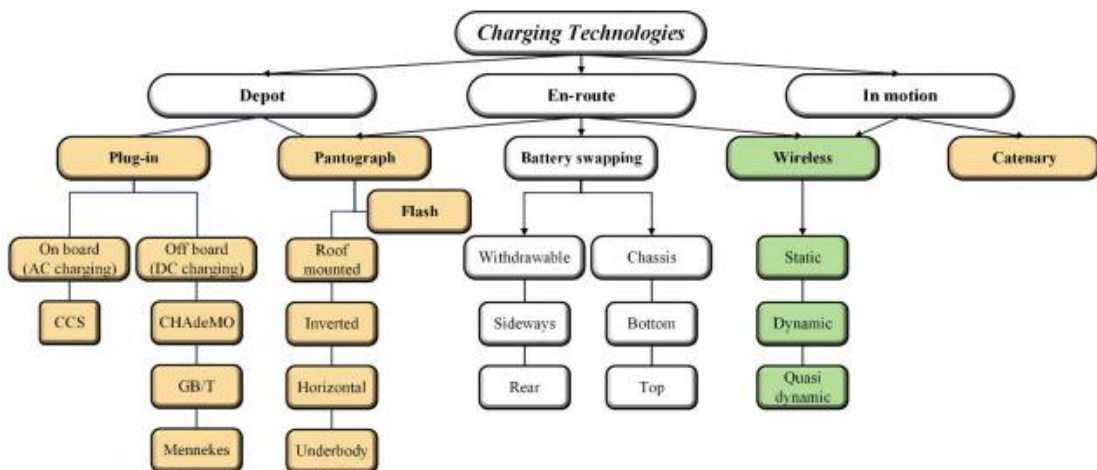
Τεχνολογία Φόρτισης

Η υποδομή φόρτισης διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην εφαρμογή των BEBs στις πόλεις. Τα BEB χρησιμοποιούν εξωτερικούς φορτιστές, ενώ τα PEC (power troφοδοσίας εναλλασσόμενου ρεύματος από το δίκτυο σε συνεχές ρεύμα για τη φόρτιση της μπαταρίας, βρίσκονται εκτός από το BEB. Αυτοί οι φορτιστές επιτρέπουν την επίτευξη υψηλότερων επιπέδων ισχύος φόρτισης, καθώς δεν περιορίζονται από ζητήματα μεγέθους και βάρους. Επιπλέον, λόγω της περιορισμένης αυτονομίας οδήγησης ενός BEB, απαιτείται μια συγκεκριμένη στρατηγική φόρτισης για να διασφαλιστεί η συνεχής λειτουργία του BEB κατά τη διάρκεια της ημέρας. Αυτή η ενότητα παρέχει μια επισκόπηση των υφιστάμενων αρχών φόρτισης και των τοπολογιών φορτιστή και για να παρέχει μια αξιόπιστη και αποτελεσματική συμπεριφορά φόρτισης. [95]

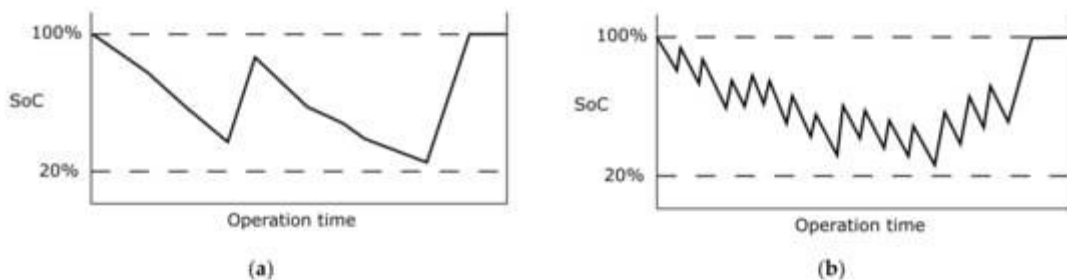
Τρόποι φόρτισης

Οι τρεις πιο διαδεδομένοι τρόποι φόρτισης, είναι η φόρτιση στο αμαξοστάσιο, η φόρτιση ευκαιρίας (συνήθως στα τερματικά σημεία) και η δυναμική ασύρματη φόρτιση (εικόνα 26). Καθένα από αυτά εξυπηρετεί διαφορετικές ανάγκες, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά και τις απαιτήσεις του δικτύου λεωφορείων στις πόλεις, και το καθένα έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά του. Με την φόρτιση στο

αμαξοστάσιο, τα BEB φορτίζονται μόνο μέσα στο χώρο του αμαξοστασίου. Αυτό συμβαίνει κυρίως κατά τη διάρκεια της νύχτας (γι' αυτό αναφέρεται συχνά ως φόρτιση κατά τη διάρκεια της νύχτας), αλλά λόγω του περιορισμένου εύρους των BEB σε σύγκριση με το αντίστοιχο ντίζελ, η φόρτιση μπορεί επίσης να συμβεί μία φορά κατά τη διάρκεια της ημέρας. Αυτό φαίνεται στην εικόνα 27α, το οποίο δείχνει ένα παράδειγμα του SoC (state of charge) της μπαταρίας κατά τη διάρκεια της ημέρας. Από την άλλη πλευρά, η ευκαιριακή φόρτιση αναφέρεται όταν η φόρτιση γίνεται κατά την εκτέλεση της διαδρομής-δρομολογίου, στους τερματικούς σταθμούς ή σε κανονικές στάσεις λεωφορείων. Κατά συνέπεια, το BEB φορτίζεται τακτικά κατά τη διάρκεια της ημέρας, χωρίς να χρειάζεται να φορτίζεται πλήρως κάθε φορά, όπως υπογραμμίζεται από την εξέλιξη του SoC κατά τη διάρκεια της ημέρας στην εικόνα 27β. Η δυναμική ασύρματη φόρτιση είναι στην πραγματικότητα μια ειδική περίπτωση φόρτισης κατά τη διαδρομή, όπου το BEB φορτίζεται ενώ οδηγεί σε συγκεκριμένα τμήματα του δρόμου που είναι εξοπλισμένα με επαγωγικά επιθέματα φόρτισης. Η δυναμική ασύρματη φόρτιση καθημερινής εξέλιξης SoC μοιάζει με φόρτιση ευκαιρίας (Εικόνα 27β). [95]



Εικόνα 24 Τρέχουσες μέθοδοι φόρτισης E-bus. Τα κίτρινα κουτιά δείχνουν τεχνικές αγωγήμης φόρτισης, ενώ τα πράσινα επαγωγικούς τρόπους φόρτισης. [160]



Εικόνα 25 Τυπικό προφίλ SoC ενός (α) BEB φόρτισης αμαξοστασίου και (β) BEB ευκαιριακής φόρτισης και δυναμικής ασύρματης φόρτισης. [95]

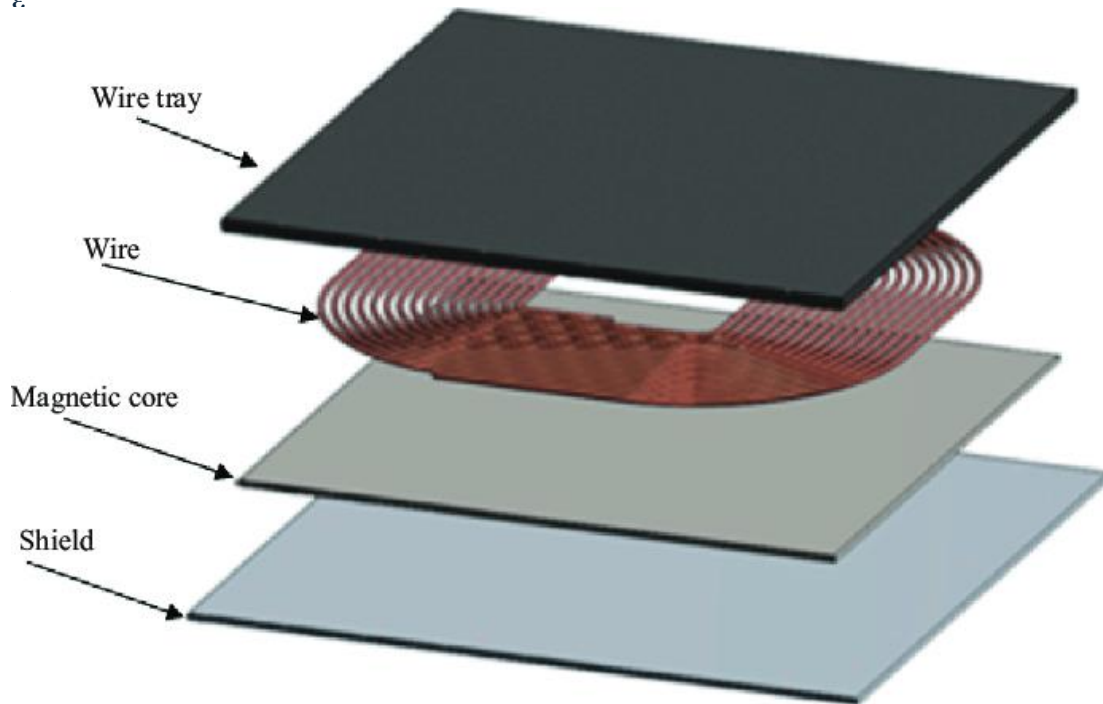
Charging method	Charging time	Power range (kW)	Fleet size	Electricity cost	Grid impact	Space need	Battery size	Dwell time
<p>Depot charging</p>	4-8 hours	22-350	High	Low (charged at nights)	Low	High	High (~500-250 kWh Weight: ~5000-2500 kg Volume: ~2.5-1.25 m ³)	High
<p>En route charging</p>	20 min sec-8 min	150-600	Average	High	Very high	Small	Low (~50 kWh Weight: ~ 500 kg Volume: ~0.25 m ³)	Small (delay in some stations)
<p>In motion charging</p>	While moving	up to 250	Small	High	Medium	Zero	Low (~30 kWh Weight: ~ 300 kg Volume: ~0.15 m ³)	No extra delay

Εικόνα 26 Προδιαγραφές τριών τρόπων φόρτισης: Αμαξοστάσιο, καθ' οδόν και φόρτιση σε κίνηση (δυναμική φόρτιση). [160]

Συνήθως, τα BEB που χρησιμοποιούν φόρτιση αμαξοστασίου διαθέτουν μια μεγάλη μπαταρία για να διασφαλιστεί ότι μπορούν να λειτουργήσουν κατά τη διάρκεια ενός σημαντικού τμήματος της ημέρας χωρίς να χρειάζεται να επιστρέψουν στο αμαξοστάσιο. Το μειονέκτημα είναι ότι μια μεγαλύτερη μπαταρία αυξάνει το βάρος του λεωφορείου και απαιτεί περισσότερο χώρο, που σημαίνει ότι υπάρχει λιγότερος χώρος για τους επιβάτες. Σαν αποτέλεσμα, τα δρομολόγια λεωφορείων με πολύ υψηλή ζήτηση οχημάτων κατά τις ώρες αιχμής πρέπει να χρησιμοποιούν φόρτιση στο αμαξοστάσιο εκτός των ωρών αιχμής και να χρησιμοποιούν το μεγάλο μέγεθος μπαταρίας τους για να καλύψουν το σύνολο της διάρκειας των ωρών αιχμής [114]. Η ισχύς φόρτισης συχνά δεν είναι μεγαλύτερη από 150 kW (αργή φόρτιση για BEB), καθώς υπάρχει αρκετός χρόνος για να φορτιστούν πλήρως τα BEB. Για την ευκαιριακή φόρτιση, είναι το αντίστροφο, το μέγεθος και το βάρος της μπαταρίας μπορούν να μειωθούν, γι' αυτό και αυτός ο τύπος φόρτισης προτιμάται για αρθρωτά λεωφορεία (18 m). Η ισχύς φόρτισης μπορεί να φτάσει τα 600 kW για να φορτίσει επαρκώς τα BEB σε 5–10 λεπτά. Κατά συνέπια η ευκαιριακή φόρτιση στους τερματικούς σταθμούς προτιμάται συχνά από τους παρόχους συγκοινωνιακού έργου επειδή στις στάσεις λεωφορείων συχνά δεν υπάρχει χρόνος για φόρτιση. Σε μια τέτοια περίπτωση, η ισχύς φόρτισης θα πρέπει να αυξηθεί ακόμη περισσότερο, κάτι που θα έχει ως αποτέλεσμα πολύ ακριβούς φορτιστές και μεγαλύτερες απαιτήσεις από το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Όσον αφορά την ασύρματη φόρτιση, το μέγεθος της μπαταρίας μπορεί να μειωθεί ακόμη περισσότερο, ανάλογα με το πόσα

επαγωγικά επιθέματα είναι εγκατεστημένα κάτω από την επιφάνεια του δρόμου. Αποτελείται βασικά από δύο επιθέματα (πομπός και δέκτης) και κάθε επίθεμα

π
ε



Εικόνα 27 Τυπικά εξαρτήματα ενός επαγωγικού αποθέματος (Pad) [116]

Η ισχύς φόρτισης μπορεί επίσης να μειωθεί εάν τα ειδικά τμήματα του δρόμου είναι αρκετά μεγάλα. Ωστόσο, η εφαρμογή αυτής της φόρτισης είναι πολύ ακριβή στην κατασκευή, καθώς οι δρόμοι πρέπει να ανακατασκευαστούν πλήρως.

Επί του παρόντος, η φόρτιση αμαξοστασίου είναι η πιο χρησιμοποιούμενη μέθοδος φόρτισης, αν και αρκετές μελέτες [117] [118] δείχνουν ότι η ευκαιριακή φόρτιση έχει χαμηλότερο κόστος κύκλου ζωής. Ένας άλλος λόγος για τον οποίο οι εταιρείες παροχής συγκοινωνιακού έργου μπορεί να προτιμούν την φόρτιση στο αμαξοστάσιο είναι ότι η υποδομή φόρτισης μπορεί να εγκατασταθεί στη δική τους ιδιοκτησία και να συγκεντρωθεί σε ένα μέρος. Επιπρόσθετα, εδώ μπορούν να φορτιστούν όλοι οι πόλοι BEB, ανεξάρτητα από τη διεπαφή φόρτισής τους, αν και υπάρχει αυξημένο ενδιαφέρον για τη φόρτιση παντογράφου λόγω της δυνατότητας να είναι αυτοματοποιημένη. Για την ευκαιριακή φόρτιση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο παντογράφος ή επίγεια φόρτιση. Στο μέλλον αναμένεται ότι θα επικρατήσει ένας συνδυασμός και των δύο αρχών χρέωσης λόγω της μεγάλης ποικιλίας των δρομολογίων λεωφορειών σε πόλεις σε όλο τον κόσμο. Η δυναμική ασύρματη φόρτιση, από την άλλη πλευρά, δεν έχει εφαρμοστεί ακόμη για τα BEB και πιθανώς θα εφαρμοστεί μόνο για λεωφορειολωρίδες στο μέλλον.

2. Τοπολογία Υποδομής Φόρτισης

Ένας φορτιστής εκτός οχήματος αποτελείται γενικά από έναν μετασχηματιστή, ένα αρμονικό φίλτρο και ένα PEC (power electronic converter) με μονάδα ελέγχου και

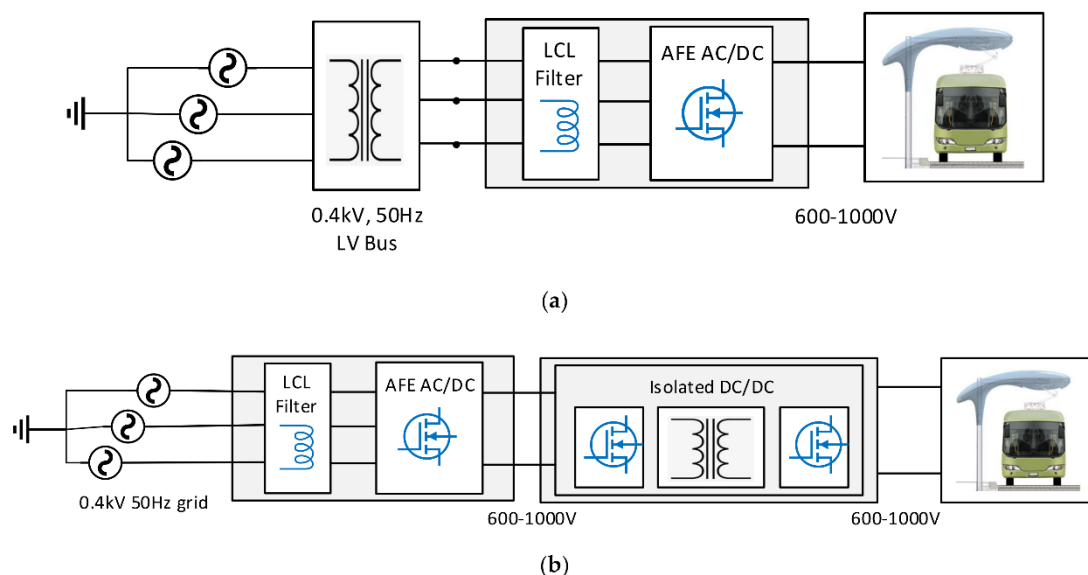
δ

ί

κ
ο

επικοινωνίας. Ο μετασχηματιστής παρέχει γαλβανική απομόνωση μεταξύ του BEB και του δικτύου. Το φίλτρο χρησιμοποιείται για την εξάλειψη των ανεπιθύμητων αρμονικών ρευμάτων. Το PEC μετατρέπει την τριφασική ισχύ εναλλασσόμενου ρεύματος από το δίκτυο σε ισχύ συνεχούς ρεύματος που χρησιμοποιείται για τη φόρτιση της μπαταρίας του BEB. Η μονάδα ελέγχου λειτουργεί τους διακόπτες του PEC για να προσαρμόσει το επίπεδο τάσης και ρεύματος σε αυτό που μπορεί να δεχτεί το BEB. Η επικοινωνία μεταξύ του BEB και του φορτιστή γίνεται με βάση το πρότυπο ISO 15118.

Για την ασφαλή λειτουργία του φορτιστή, καθώς χαρακτηρίζεται από υψηλές τάσεις και ρεύματα, απαιτείται γαλβανική απομόνωση μεταξύ του ηλεκτρικού δικτύου και του BEB. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τοπολογίες μετασχηματιστή, όπως φαίνεται στην Εικόνα 30: ένας μετασχηματιστής χαμηλής συχνότητας (LFT) ή ένας μετασχηματιστής υψηλής συχνότητας (HFT).



Εικόνα 28 Τοπολογίες για υποδομή φόρτισης BEB με (α) LFT- και (β) απομονωμένο μετατροπέα DC/DC που βασίζεται σε HFT.

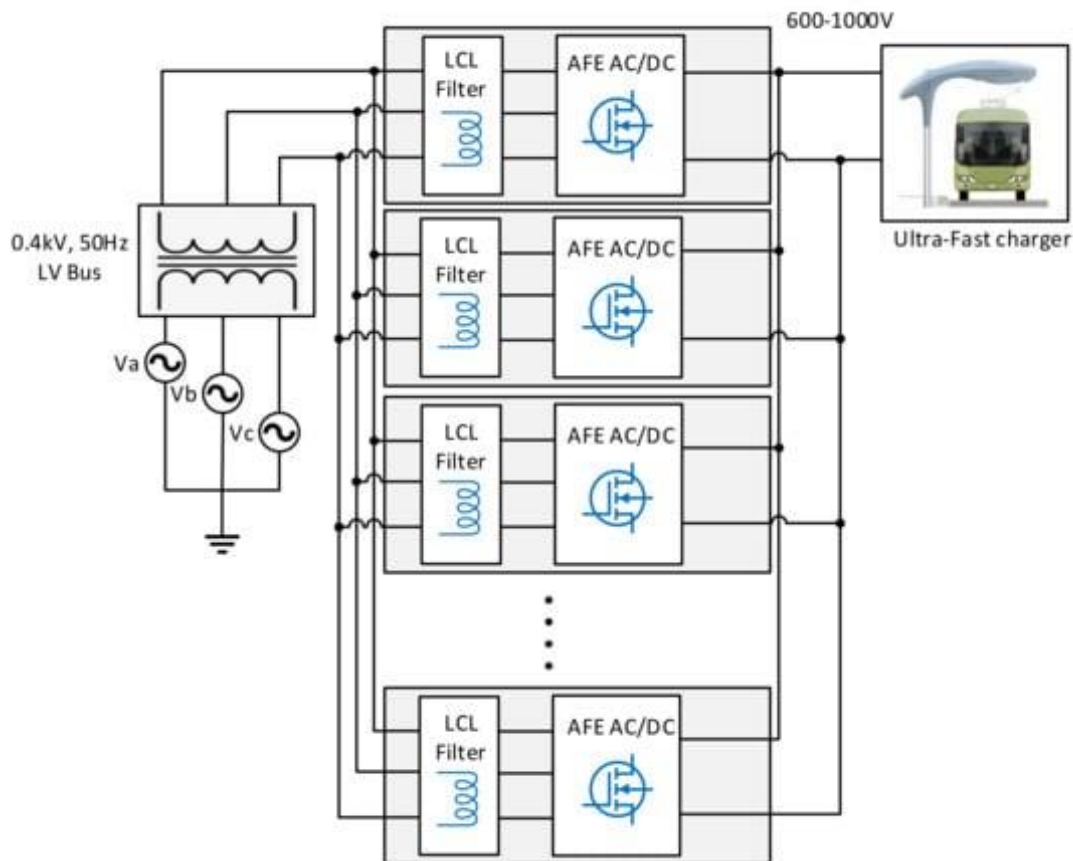
Το Σχήμα 30α απεικονίζει έναν σταθμό φόρτισης BEB με ένα LFT μεταξύ του ηλεκτρικού δικτύου και του πραγματικού φορτιστή. Ως εκ τούτου, το LFT χρησιμοποιείται για την παροχή τριφασικής ισχύος στον φορτιστή. Αυτός ο ογκώδης μετασχηματιστής συχνότητας γραμμής αυξάνει το μέγεθος και το βάρος του φορτιστή και περιπλέκει την εγκατάσταση. Επιπλέον, απαιτούνται εμφανείς αγωγοί και ογκώδεις συσκευές προστασίας για την αντιμετώπιση της υψηλής ισχύος.

Για να ξεπεραστούν αυτά τα προβλήματα, η συχνότητα λειτουργίας μπορεί να αυξηθεί, η οποία πραγματοποιείται μέσω ενός απομονωμένου μετατροπέα DC/DC, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 30 β [119]. Το πρώτο στάδιο αποτελείται από έναν ανορθωτή AC/DC με σύνδεση DC υψηλής τάσης. Το δεύτερο στάδιο περιέχει το HFT με τη μορφή μετασχηματιστή στερεάς κατάστασης (SST) ή ηλεκτρονικού μετασχηματιστή ισχύος. Σε ορισμένες περιπτώσεις, το HFT μπορεί επίσης να είναι μέρος του πρώτου σταδίου μετατροπέα ισχύος για τη δημιουργία μιας σύνδεσης DC

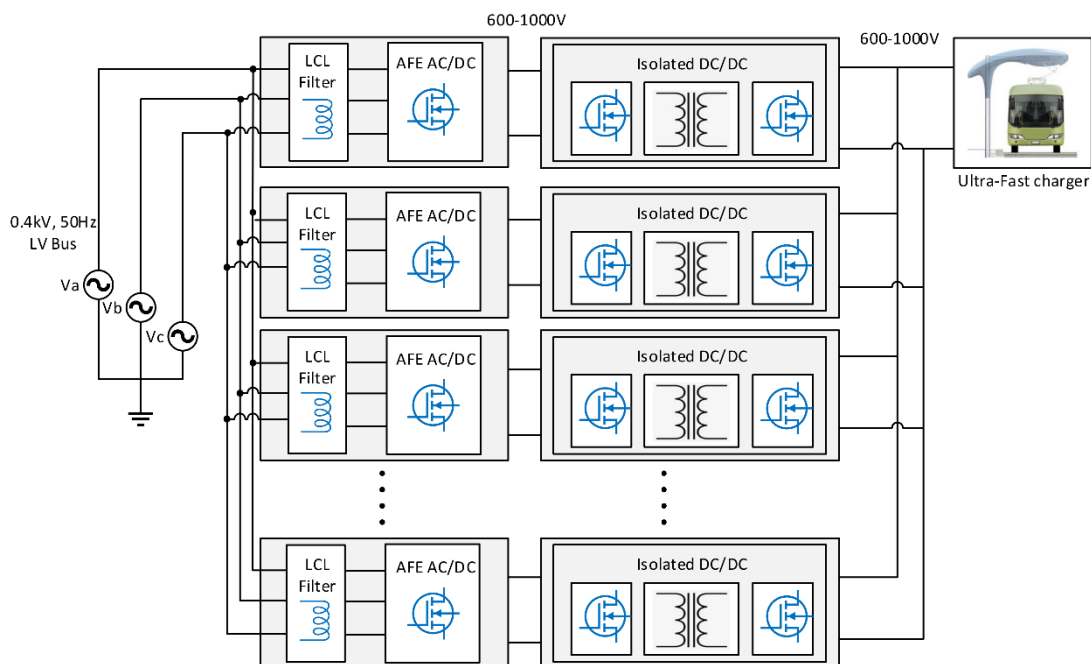
χαμηλής τάσης μεταξύ του πρώτου και του δεύτερου σταδίου. Μπορεί επίσης να ληφθεί υπόψη ένας σχεδιασμός με τρία στάδια με σύνδεση DC υψηλού και χαμηλής τάσης και το ενδιάμεσο HFT [120][42].

Επί του παρόντος, η υποδομή φόρτισης που διατίθεται στην αγορά χρησιμοποιεί LFT καθώς είναι πιο αξιόπιστα από τα STT. Επιπλέον, είναι πιο αποτελεσματικά, φθηνότερα και συμβατά με την προστασία που χρησιμοποιείται στα σημερινά δίκτυα. Ωστόσο, τα STT παραμένουν μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική λύση επειδή, εκτός από τη μείωση του μεγέθους και του βάρους, επιτρέπουν τον πλήρη έλεγχο της τάσης και του ρεύματος, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα ισχύος [121]

Δεδομένου ότι η φόρτιση BEB απαιτεί υψηλή ισχύ, ειδικά σημειακή φόρτιση, πολλαπλά πανομοιότυπα PEC που συνδέονται παράλληλα με το δίαυλο DC συνήθως ενσωματώνονται στην υποδομή φόρτισης, όπως φαίνεται στην εικόνα 31 στην περίπτωση ενός LFT, και στο εικόνα 32 στην περίπτωση HFT. Αυτή η προσέγγιση βελτιώνει την αποτελεσματικότητα, την αξιοπιστία και την ευελιξία του συστήματος φόρτισης μπορούν να αυξήσουν ή να μειώσουν το επίπεδο ισχύος μέσω της λειτουργίας διαφορετικού αριθμού PEC. Επιπλέον, η παρουσία του διαύλου DC επιτρέπει την ενοποίηση συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας [124](ESS) και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) [125].



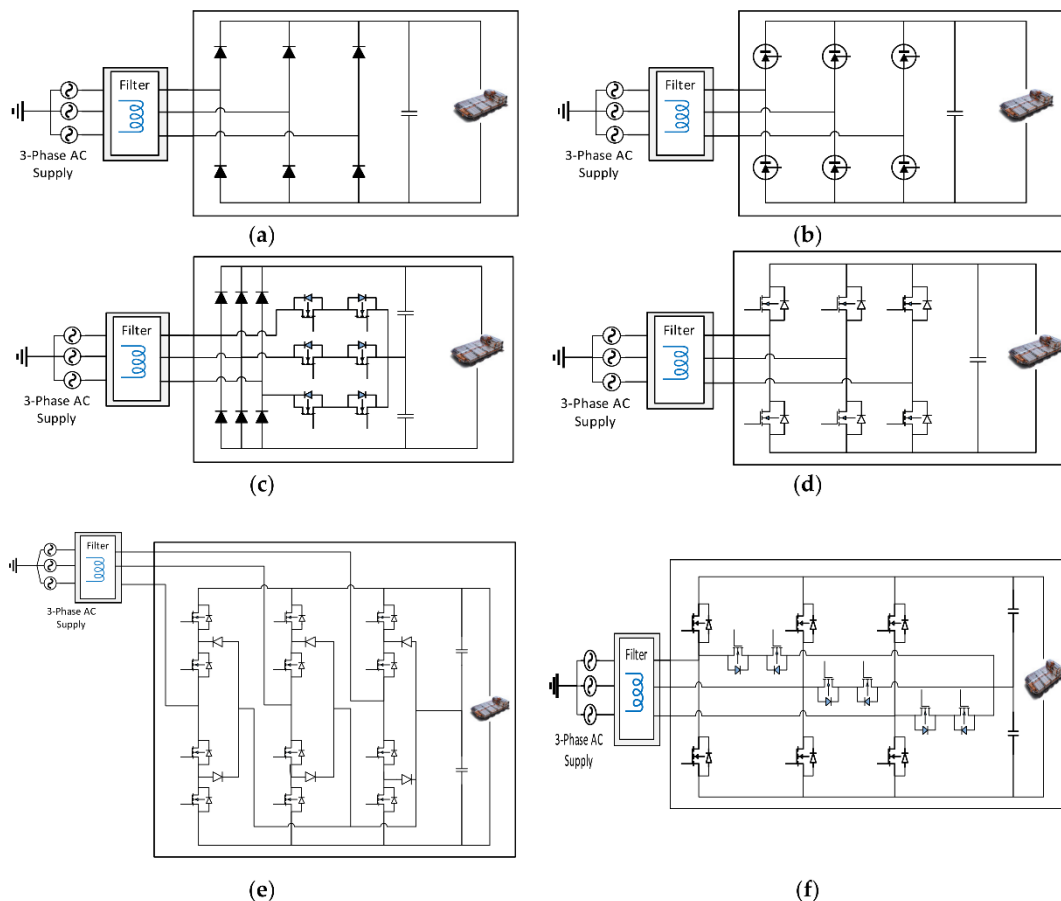
Εικόνα 29 Υποδομή φόρτισης BEB με LFT και αρθρωτά PEC.



Εικόνα 30 Τοπολογία Ηλεκτρονικού Μετατροπέα Ισχύος (PEC) [126]

Το πιο βασικό στοιχείο ενός PEC είναι ο διακόπτης. Στο σταθμό φόρτισης, οι διακόπτες του PEC μετατρέπουν το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές ρεύμα, επιτρέποντας στο BEB να συνδεθεί και να φορτίσει την μπαταρία. Το στάδιο μετατροπής AC/DC μπορεί να πραγματοποιηθεί με έναν ενεργό μετατροπέα [127] τριφασικών AFE AC/DC PEC. Μπορεί να περιλαμβάνει ανορθωτή γέφυρας διόδου, ανορθωτή γέφυρας, ανορθωτή Vienna, ενεργό ανορθωτή buck/boost δύο επιπέδων ή ενεργό ανορθωτή τριών επιπέδων όπως φαίνεται στην Εικόνα 33 [119] [128] [129]. Η πιο οικονομική μέθοδος μετατροπής AC/DC είναι ο ανορθωτής διόδου. Ωστόσο, η σταθερή τάση εξόδου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την τριφασική τάση τροφοδοσίας και οδηγεί σε δυσμενή ολική αρμονική παραμόρφωση (THD) [130]. Η εφαρμογή ενός ανορθωτή Vienna μπορεί να βελτιώσει το THD του ρεύματος γραμμής, αλλά έχει περιορισμένο έλεγχο άεργου ισχύος. Αυτές οι τοπολογίες, ωστόσο, επιτρέπουν μόνο μια μονοκατευθυντική ροή ισχύος και επομένως δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εφαρμογές από όχημα σε δίκτυο (V2G) [131]. Για αμφίδρομη ροή ισχύος, θα πρέπει να χρησιμοποιείται ένας ανορθωτής δύο ή τριών επιπέδων. Ο ανορθωτής δύο επιπέδων χρησιμοποιείται ευρέως επειδή έχει απλή δομή, ελέγχεται εύκολα μέσω PWM και παράγει ρεύματα χαμηλής αρμονίας. Ένας μετατροπέας τριών επιπέδων προσφέρει ακόμη καλύτερη απόδοση όσον αφορά τις αρμονικές του συστήματος, αλλά έχει επίσης αυξημένο αριθμό διακοπών, με αποτέλεσμα αυξημένο κόστος, μέγεθος και βάρος.

Μεταξύ πολλών τοπολογιών μετατροπής AC/DC, ο ανορθωτής ενίσχυσης AFE δύο σταδίων που φαίνεται στο Σχήμα 33d είναι η καλύτερη επιλογή για φορτιστές BEB, επειδή από σχεδιαστική άποψη, πρέπει να επιτευχθεί υψηλή απόδοση, υψηλός συντελεστής ισχύος και οικονομική απόδοση, μειωμένο μέγεθος και βάρος, λειτουργεί χωρίς παραμόρφωση, έχει περιορισμένο αντίκτυπο στο δίκτυο και έχει υψηλή αξιοπιστία.



Εικόνα 31 Τοπολογίες μετατροπέα AFE τριών φάσεων. **(α)** Ανορθωτής γέφυρας διόδου, μπροστινού άκρου δύο επιπέδων, **(ε)** μετατροπέας τύπου NPC τριών επιπέδων, **(f)** Τύπος T τριών επιπέδων Μετατροπέας AFE.

Σήμερα, οι εσωτερικοί διακόπτες των PEC που χρησιμοποιούνται στην υποδομή φόρτισης BEB βασίζονται κυρίως στην τεχνολογία ημιαγωγών IGBT [132] πυριτίου (Si). Για εφαρμογές υψηλής ισχύος, όπως οι φορτιστές BEB, οι διακόπτες που βασίζονται σε SiC θα χρησιμοποιηθούν κυρίως, καθώς έχουν χαμηλότερες πτώσεις τάσης και υψηλότερη θερμική αγωγιμότητα, μειώνοντας έτσι σημαντικά τις απώλειες ισχύος [133].

Τύπος φορτιστή

Οι φορτιστές για τα ηλεκτρικά λεωφορεία μπορούν να κατηγοριοποιηθούν όπως:

Τυπικός φορτιστής (αργή φόρτιση): [88]

- φόρτιση κατά τη διάρκεια της νύχτας στο αμαξοστάσιο ή σε μεγαλύτερους χρόνους στάσης
- εξοπλισμένο με μπαταρία υψηλής ενέργειας

Γρήγορος φορτιστής (ταχεία φόρτιση):

- Φόρτιση κατά την διάρκεια μιας διαδρομής
- εξοπλισμένο είτε με μπαταρία υψηλής ισχύος ή υψηλής ενέργειας.

Οι μπαταρίες υψηλής ισχύος και υψηλής ενέργειας είναι δύο διαφορετικοί τύποι επαναφορτιζόμενων μπαταριών που έχουν σχεδιαστεί για συγκεκριμένες εφαρμογές. Διαφέρουν ως προς τα χαρακτηριστικά απόδοσης και τις εργασίες για τις οποίες είναι καταλληλότεροι. Η επιλογή μεταξύ μπαταριών υψηλής ισχύος και υψηλής ενέργειας εξαρτάται από τις ειδικές απαιτήσεις της εφαρμογής. Οι μπαταρίες υψηλής ισχύος χρησιμοποιούνται όταν χρειάζονται γρήγορες εκρήξεις ισχύος, ενώ οι μπαταρίες υψηλής ενέργειας χρησιμοποιούνται όταν είναι απαραίτητες ο μεγαλύτερος χρόνος λειτουργίας και η χωρητικότητα αποθήκευσης ενέργειας.

Αν και η γρήγορη φόρτιση σε αμαξοστάσιο μπορεί επίσης να είναι μια βιώσιμη λύση, στις περισσότερες περιπτώσεις, απαιτούνται μόνο λίγες στάσεις στο τερματικό ως τοποθεσίες φόρτισης. Τα πλεονεκτήματα αυτής της τεχνολογίας περιλαμβάνουν την προσαρμοστικότητά της σε συγκεκριμένες απαιτήσεις και την υψηλή συνολική της απόδοση. Επιπλέον, παρέχει τη δυνατότητα άμεσης χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται με αναγέννηση, χωρίς εκπομπές καυσαερίων και ελάχιστες μόνο συνολικές εκπομπές κατά τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Εξαιτίας αυτών, αυτή η αναδυόμενη τεχνολογία παρουσιάζει σημαντικές δυνατότητες στις τρέχουσες αγορές.

Κεφάλαιο 5 -Περιβαλλοντικό αποτύπωμα ηλεκτρικού λεωφορείου

Ευρωπαϊκή οδηγία

Τον Νοέμβριο του 2017, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρότεινε αναθεώρηση της οδηγίας για τα καθαρά οχήματα, η οποία στοχεύει να προωθήσει λύσεις καθαρής κινητικότητας στις δημόσιες προμήθειες θέτοντας στόχους για τις δημόσιες συμβάσεις που περιλαμβάνει λεωφορεία μηδενικών εκπομπών καθώς και λεωφορεία φυσικού αερίου). Η πρόσφατη ψηφοφορία στο κοινοβούλιο θέτει στόχους έως και 50% το 2025 και 75 % το 2030 στα περισσότερα δυτικά και βόρεια κράτη μέλη

με επιμέρους στόχο λεωφορεία μηδενικών εκπομπών. Η προμήθεια 100% λεωφορείων μηδενικών εκπομπών είναι τεχνικά φιλόδοξο, καθώς θα ενθάρρυνε απλώς τις δημόσιες αρχές να ακολουθούν την αγορά αντί να την κατευθύνουν, δίνοντας αρνητικό μήνυμα προς τον κλάδο και μη ανταπόκριση στις αυξανόμενες ανησυχίες των πολιτών για την κακή ποιότητα του αέρα.

Κάποιες συστάσεις προς αυτή την κατεύθυνση είναι οι εξής:

- Ο στόχος των προμηθειών θα πρέπει να επικεντρώνονται μόνο σε οχήματα μηδενικών εκπομπών. Τα οχήματα αερίου δεν μπορούν να

θεωρηθούν ότι παρουσιάζουν περιβαλλοντικά οφέλη στην ατμόσφαιρα και γενικότερά στο κλίμα.

- Από το 2030, το σύνολο των οχημάτων που αποκτήθηκαν πρόσφατα στην ΕΕ θα πρέπει να έχουν μηδενικές εκπομπές ρύπων. [30]

Επίδραση ηλεκτρικού λεωφορείου στην ατμοσφαιρική ρύπανση

Η κύρια πηγή ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι η χρήση ορυκτών καυσίμων και οχημάτων ντίζελ. Η αύξηση του αριθμού των οχημάτων ιδιαίτερα στις μεγάλες πόλεις επιδεινώνει αυτό το πρόβλημα. Η μείωση της ποιότητας του αέρα θα έχει μεγάλες επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων, θα μειώσει την κερδοφορία, το εμπόριο και θα αυξήσει την μετανάστευση των ανθρώπων σε άλλες πόλεις [84] επιτρέπουν την επιλογή ενός συγκεκριμένου μοντέλου ηλεκτρικού λεωφορείου έναντι άλλων μοντέλων. Από τον πίνακα συμπεραίνουμε ότι τα υβριδικά λεωφορεία, όπως και τα ντίζελ, χρησιμοποιούν λιγότερη βενζίνη για να παρέχουν μέρος της ενέργειας που χρειάζονται, αλλά εκπέμπουν ρύπους παρόμοιους με τους συμβατικούς. Επιπρόσθετα τα ηλεκτρικά λεωφορεία με μπαταρία δεν έχουν εκπομπές καυσαερίων.

Segment	Diesel Buses		CNG	Hybrid Electric bus	Pure electric bus
	Volvo 8400	Tata STABUS SLF 44			
Model	Volvo 8400	Tata STABUS SLF 44	Tata STARBUS LE CNG 18	Tata STARBUS Hybrid	BYD K9
Seats	32	44	18	32	31
Length	12.3m	12m	12m	12m	12m
Width	2.5m	2.5m	2.55m	2.55m	2.55m
Height	302m	3.2m	3.35m	3.35m	3.49m
Gross weight	16200 kg	16200 kg	16000	16200 kg	18500 kg
Costs	138000 \$	138000 \$	47000 \$	188000 \$	370000 \$
Fuel Efficiency	2.2 km/l	3.5 km/l	2-3 km/l	2.2-4 km/kg	1.5 kwh/km
Fuel Cost	0.36 \$/km	0.24 \$/km	0.25 \$/km	0.21 \$/km	0.16 \$/km
Range (Km)	484	560	260-390	286-520	249
Fuel Tank size	220 lit	160 lit	720 lit	720 lit	--
Charging time	--	-	-	-	3-6 h
Max power	290 BHP	177 BHP	230 BHP	230 BHP 44 KW battery	180 Kw
Max torque	1200 Nm	685 Nm	687 Nm	678 Nm	700 Nm
Battery Type	-	-	-	Li-ion batteries	li-ion Iron
Emission standard	EURO III	BS III	BS IV	EURO III	0 tail pipe emission

Εικόνα 32 Σύγκριση μεταξύ λεωφορείων ICE, Electric και CNG

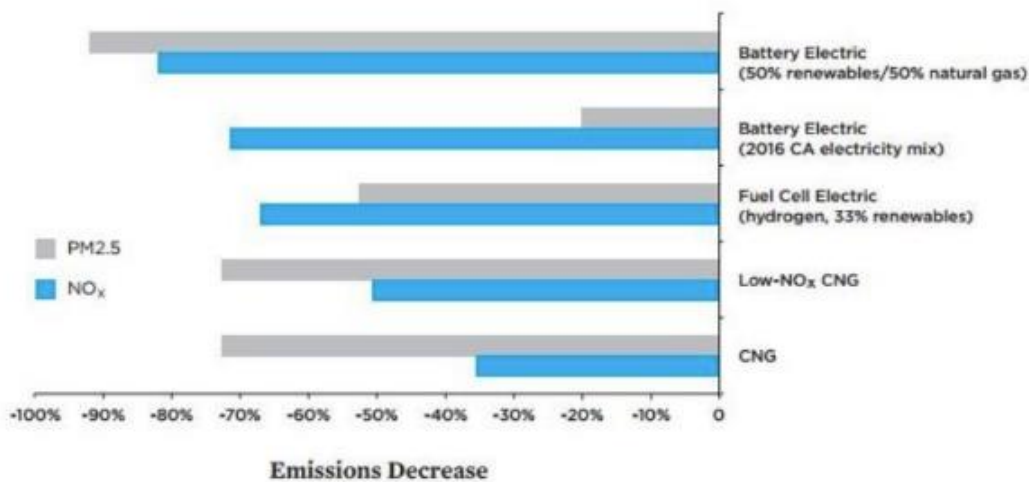
Τα ηλεκτρικά λεωφορεία είναι

πιο αποδοτικά από τα συμβατικά λεωφορεία ντίζελ και CNG για τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και τη μείωση της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων στο μέλλον. Η συμβατότητα των ηλεκτρικών οχημάτων με το περιβάλλον είναι πολύ υψηλή και η ποσότητα μείωσης των ρύπων εξαρτάται από την πηγή καυσίμου που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που φαίνεται στην εικόνα

EV Fuel/Feedstock	Change
Solar and nuclear	-90% to -80%
Natural gas	-50% to -25%
Coal	-10% to +10%

Εικόνα 33 Διαφοροποίηση στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από βενζινοκίνητα οχήματα σε ηλεκτρικά οχήματα [135]

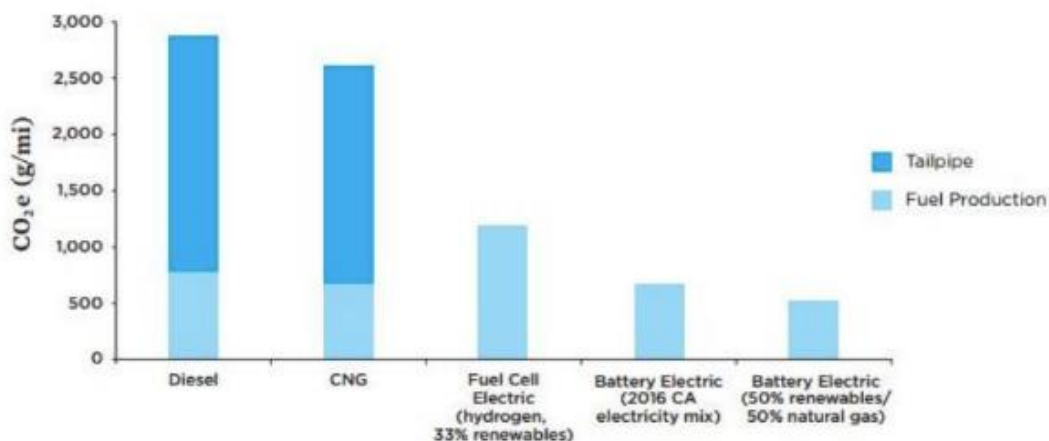
Επίσης, έγινε σύγκριση μεταξύ της ποσότητας των παραγόμενων ρύπων με αστικά λεωφορεία στις εικόνες 36-39, που δείχνει την υπεροχή των ηλεκτρικών λεωφορείων με μπαταρία από άλλα λεωφορεία στη συζήτηση για τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.



Εικόνα 34 Μείωση των εκπομπών σωματιδίων και οξειδίων του αζώτου με την μετάβαση σε ηλεκτρικά λεωφορεία [136]

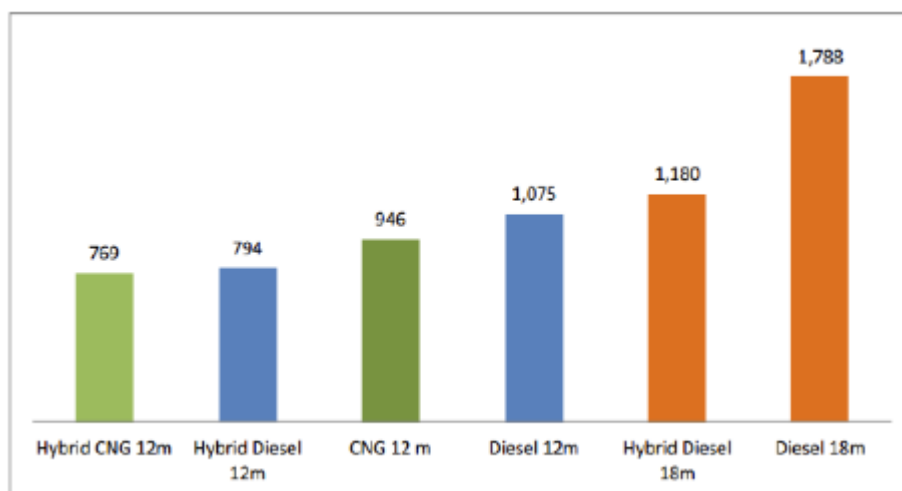
Το Ινστιτούτο Greenlining εξέδωσε μια έκθεση για τα οφέλη των ηλεκτρικών λεωφορείων, σύμφωνα με την οποία τα ηλεκτρικά λεωφορεία είναι ανώτερα από άλλα λεωφορεία για την υγεία της κοινότητας και το κλίμα της περιοχής, γεγονός που ωφελεί τη μείωση των αναπνευστικών ασθενειών, τη μείωση των εγκεφαλικών για εκατομμύρια νοικοκυριά. Σύμφωνα με τις εικόνες 36 & 37, η ποσότητα σωματιδίων (PM) και οξειδίου του αζώτου (NOx) στα ηλεκτρικά λεωφορεία είναι χαμηλότερη από αυτή των λεωφορείων ντίζελ, των μπαταριών, των κυψελών καυσίμου και του

συμπιεσμένου φυσικού αερίου. Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που παράγονται από λεωφορεία με συμπιεσμένο φυσικό αέριο είναι πολύ υψηλότερες από τα ηλεκτρικά λεωφορεία και τις κυψέλες καυσίμου. Αυτές οι δύο μορφές ηλεκτρικών λεωφορείων είναι η καλύτερη λύση για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής [136].



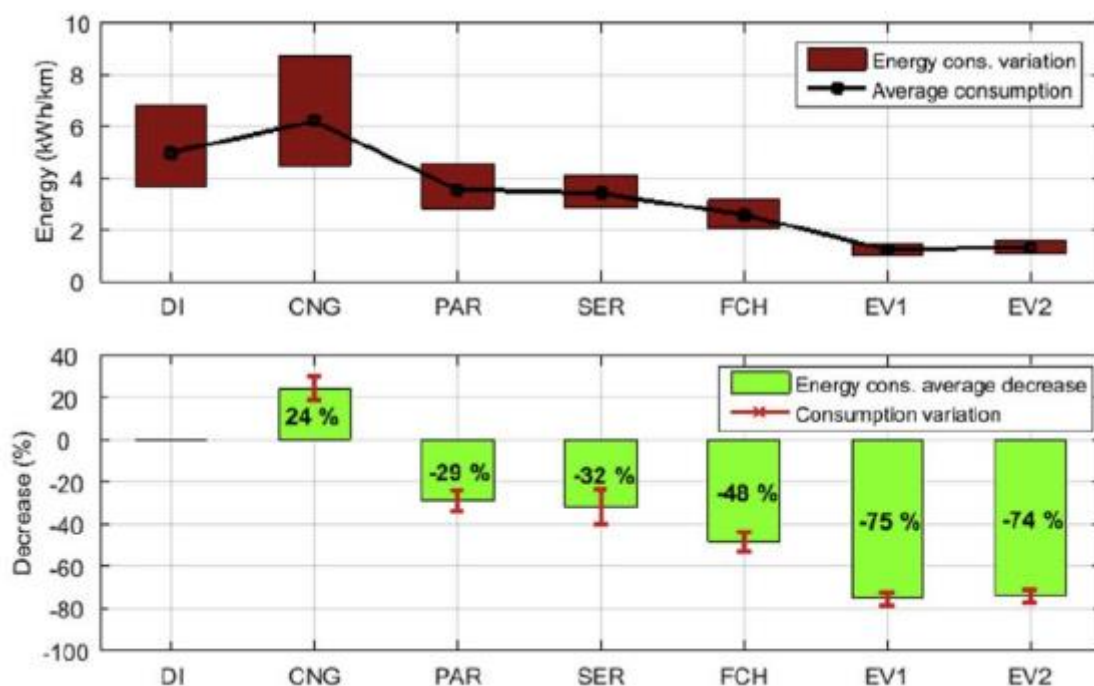
Εικόνα 35 Μείωση των εκπομπών υπερθέρμανσης του πλανήτη με τη μετάβαση σε ηλεκτρικά λεωφορεία [136]

Επίσης, στο Guangzhou, το 2014, έγινε σύγκριση μεταξύ των επιδόσεων των λεωφορείων υβριδικών, ντίζελ και πεπιεσμένου φυσικού αερίου. εξήχθη η ποσότητα αερίου του θερμοκηπίου που παρήχθη από έξι διαφορετικούς τύπους λεωφορείων, όπως φαίνεται στην εικόνα 38, που αντιπροσώπευε χαμηλότερη παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα σε υβριδικά ηλεκτρικά λεωφορεία ανά χιλιόμετρο.



Εικόνα 36 Η ποσότητα αερίων θερμοκηπίου που παράγεται από διαφορετικά λεωφορεία [137]

Επίσης, κατά τη διάρκεια έρευνας που διεξήχθη στη Φινλανδία από την Anti-Lajunen, έγινε σύγκριση μεταξύ έξι τύπων λεωφορείων, συμπεριλαμβανομένων ντίζελ, φυσικού αερίου, υβριδικών (σειρών και παράλληλων), κυψέλη καυσίμου και ηλεκτρική μπαταρία (νυχτερινή και ευκαιριακή φόρτιση), που μείωσαν την κατανάλωση ενέργειας αυτών των οχημάτων Σε σύγκριση με το λεωφορείο ντίζελ, φαίνεται στην εικόνα 39 ότι το ηλεκτρικό λεωφορείο με μπαταρία (νυχτερινή φόρτιση EV1 και ευκαιριακή φόρτιση EV2) είχε τη μεγαλύτερη μείωση στην κατανάλωση ενέργειας κατά 75%, η κυψέλη καυσίμου με 48%, η υβριδική 32% και 29% μείωσαν την κατανάλωση ενέργειας και τα λεωφορεία με φυσικό συμπιεσμένο αέριο αύξησαν τη χρήση ενέργειας κατά 24% [138]

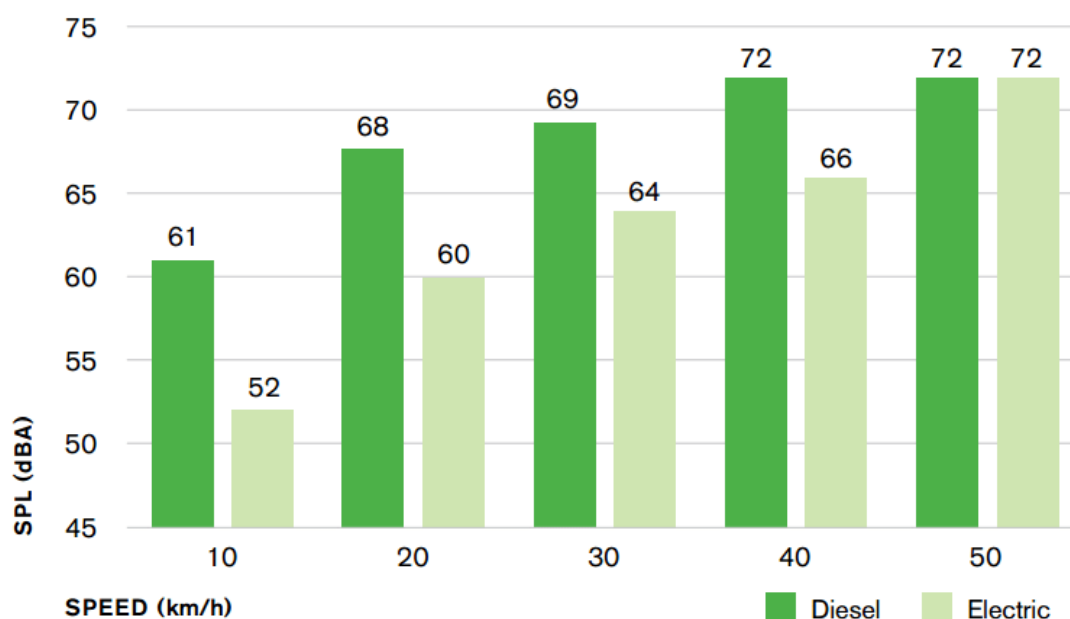


Εικόνα 37 Κατανάλωση ενέργειας και δυνατότητα μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας

Επίδραση ηλεκτρικού λεωφορείου στην ηχορύπανση

Οι μετρήσεις θορύβου που γίνονται σε εξωτερικούς χώρους δείχνουν σημαντική διαφορά μεταξύ ηλεκτρικών και πετρελαιοκίνητων λεωφορείων. Αυτό δεν σχετίζεται μόνο με το επίπεδο θορύβου αλλά και με τη συχνότητα. Και οι δύο παράγοντες επηρεάζουν την αντίληψη του θορύβου, αλλά ιδιαίτερα η συχνότητα επηρεάζει σημαντικά τα επίπεδα θορύβου σε εσωτερικούς χώρους. Οι εξωτερικές μετρήσεις των επιπέδων θορύβου από ντίζελ και ηλεκτρικά λεωφορεία σε σταθερές ταχύτητες δείχνουν διαφορά 5–9 dBA σε κανονικές ταχύτητες λειτουργίας σε περιβάλλον πόλης. Επειδή η κλίμακα είναι λογαριθμική, η διαφορά που γίνεται αντιληπτή είναι

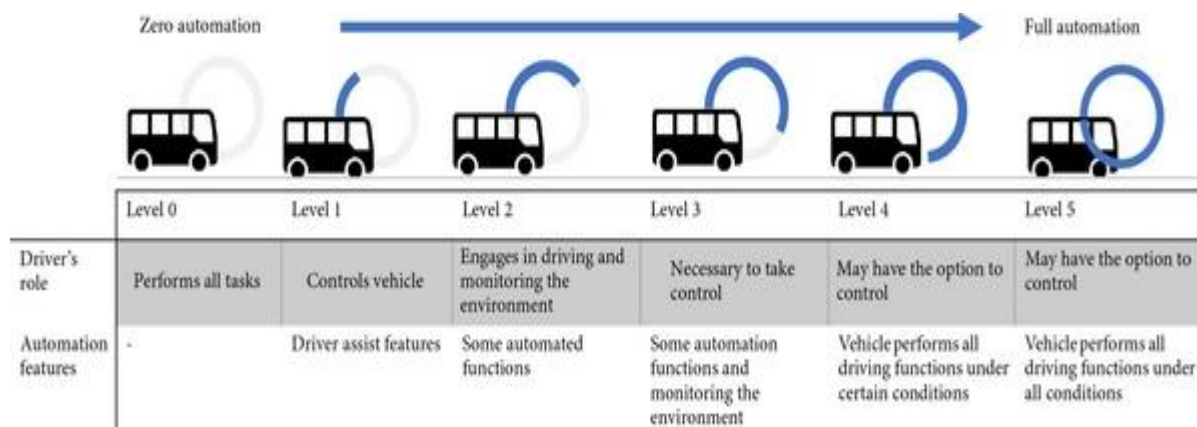
πολύ μεγάλη. Μια διαφορά επιπέδου θορύβου 5–9 dBA μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι μεταξύ "μιας σαφούς διαφοράς" και "ενός αντιληπτού διπλασιασμού" του επιπέδου θορύβου. Οι διαφορές στα επίπεδα θορύβου μεταξύ ηλεκτρικής και πετρελαιοκίνητης λειτουργίας μειώνονται καθώς αυξάνεται η ταχύτητα. Αυτό συμβαίνει επειδή ο θόρυβος των ελαστικών γίνεται κυρίαρχος από τα 50 km/h περίπου. Τα επίπεδα θορύβου μέσα σε ένα ηλεκτρικό λεωφορείο είναι επίσης πολύ χαμηλότερα από ό,τι σε ένα λεωφορείο ντίζελ που φαίνεται στην εικόνα 40. Σε χαμηλή ταχύτητα, το επίπεδο θορύβου μειώνεται στο μισό. Καθώς αυξάνεται η ταχύτητα, η διαφορά μεταξύ των δύο τύπων λεωφορείων μειώνεται. [84]



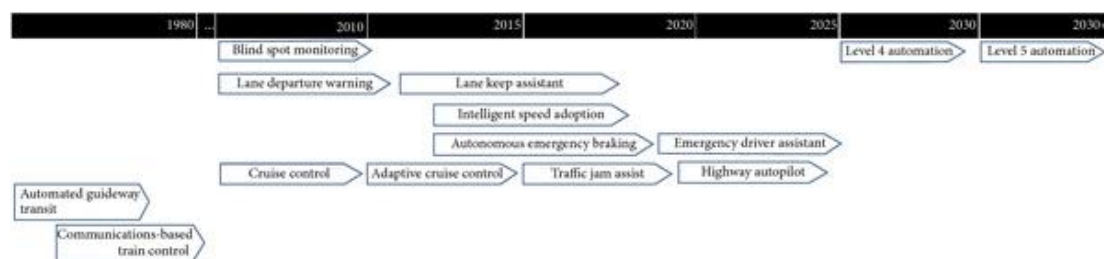
Εικόνα 38 Διαφορά επιπέδου θορύβου μεταξύ ηλεκτρικού και πετρελαιοκίνητου λεωφορείου [84]

Κεφάλαιο 6-Αυτόνομο όχημα

Ως αυτόνομο όχημα ορίζεται ένα όχημα που μπορεί να οδηγεί χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση ανιχνεύοντας το τοπικό περιβάλλον, ανιχνεύοντας αντικείμενα, ταξινομώντας τα και αναγνωρίζοντας μονοπάτια πλοήγησης με πληροφορίες που προέρχονται από διαφορετικούς αισθητήρες, τηρώντας τους κανόνες μεταφοράς με πιο συγκεκριμένο τρόπο χρησιμοποιώντας έξι επίπεδα αυτοματισμού με βάση τον ορισμό του Society of Automotive Engineers (SAE) [140] [141]. Το επίπεδο 0 αντιπροσωπεύει κανέναν αυτοματισμό, τα επίπεδα 1 έως 3 είναι τέτοια ώστε ο οδηγός να έχει τον κύριο έλεγχο του οχήματος και ο αυτοματισμός χρησιμοποιείται εν μέρει και τα Επίπεδα 4 και 5 πληρούνται όταν το όχημα μπορεί να ελεγχθεί πλήρως αυτόνομα (Εικόνα 41).

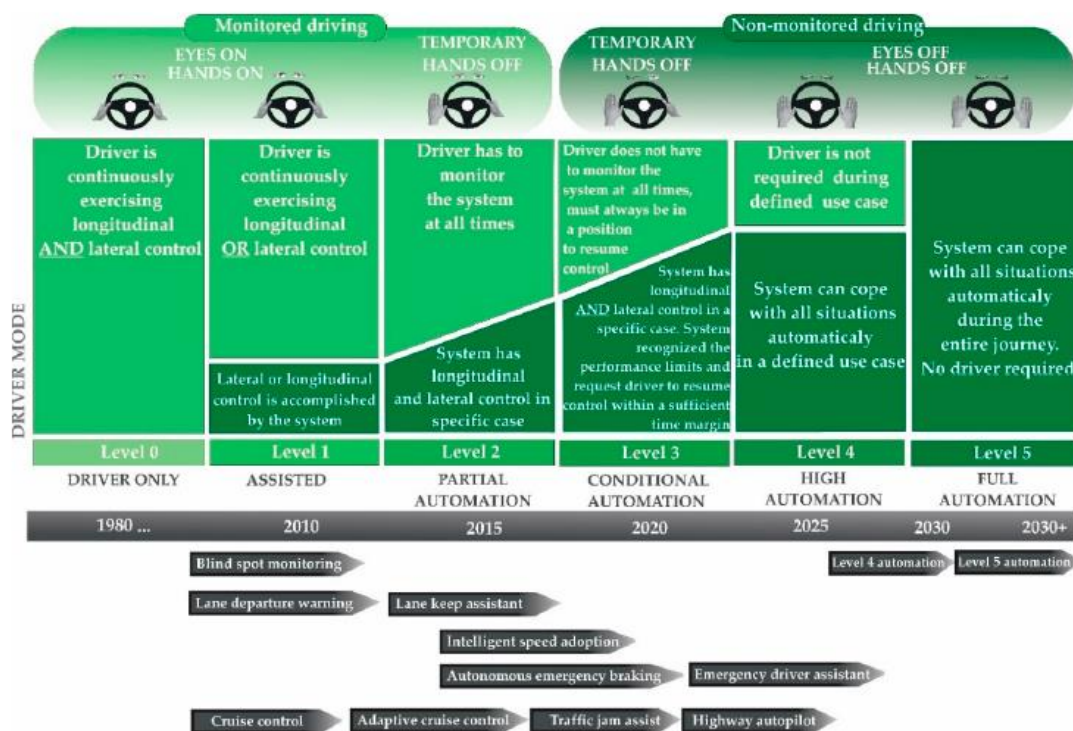


Εικόνα 39 Επίπεδα AV (προσαρμοσμένα από το SAE). [142]



Εικόνα 40 Χρονοδιάγραμμα αυτονομίας διέλευσης (προσαρμοσμένο από την αναφορά

Ο αυτοματισμός δεν είναι μια νέα έννοια στα μέσα μαζικής μεταφοράς. Από τα τέλη της δεκαετίας του 1960, συστήματα αυτοματοποιημένης διέλευσης με οδηγό (AGT) με πλήρως διαχωρισμένο δικαίωμα διέλευσης έχουν αναπτυχθεί σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες, την Ιαπωνία, τον Καναδά και τις Ηνωμένες Πολιτείες [143] περισσότερο τον έλεγχο αμαξοστοιχίας που βασίζεται σε επικοινωνίες (CBTC), ο οποίος συνήθως χρησιμοποιεί συνεχείς επικοινωνίες δεδομένων αντί για οδηγό για τον έλεγχο των οχημάτων [145]. Πιο πρόσφατα, αυτοματοποιημένες τεχνολογίες όπως η υποβοήθηση οδηγού, η προειδοποίηση και αποφυγή σύγκρουσης, η σύνδεση ακριβείας και η αυτόματη διατήρηση λωρίδας και αλλαγή λωρίδας χρησιμοποιούνται στον κλάδο των συγκοινωνιών, ιδιαίτερα στα λεωφορεία [146] [147]. Η εικόνα 43 παρουσιάζει ένα γενικό χρονοδιάγραμμα των τεχνολογιών αυτοματισμού που σχετίζονται με τις δημόσιες μεταφορές.



Εικόνα 41 Επίπεδα αυτοματισμού οδήγησης (SAE J3016™) [142]

Ιστορική ανάδρομη

Στα μέσα της δεκαετίας του 1920, ο Francis P. Houldina, ένας ηλεκτρολόγος μηχανικός με στρατιωτικό υπόβαθρο, εξόπλισε ένα όχημα Chandler με μια κεραία που λάμβανε σήματα από ένα δεύτερο όχημα μπροστά. Ο έλεγχος γινόταν μέσω ενός μικρού ηλεκτροκινητήρα που εκτελούσε εργασίες ανάλογα με την κίνηση του πρώτου οχήματος. Το κανάλι επικοινωνίας χρησιμοποιούσε ραδιοκύματα .

Ένας άλλος οραματιστής ήταν ο Norman Bel Geddes, ένας βιομηχανικός σχεδιαστής που, με την υποστήριξη της General Motors, παρουσίασε ένα όχημα που κινείται από μαγνητικά πεδία που δημιουργούνται μέσω κυκλωμάτων ενσωματωμένων στο δρόμο το 1939 κατά τη διάρκεια της έκθεσης «Futurama» .

Το 1957, η RCA LABS-USA παρουσίασε στο κοινό, δύο οχήματα που παρέχονται από την General Motors, τα οποία είναι εξοπλισμένα με δέκτες ικανούς να ερμηνεύουν τα σήματα που προέρχονται από το δρόμο. Τα οχήματα ήταν σε θέση να διαχειριστούν το αυτόματο τιμόνι, την επιτάχυνση και το φρενάρισμα.

Στην ευρωπαϊκή ήπειρο, οι πρωτοπόροι στον τομέα ήταν μια ομάδα από το Εργαστήριο Έρευνας Δρόμων και Μεταφορών που, το 1960, δοκίμασε επιτυχώς ένα Citroen DS με ταχύτητες άνω των 130 km/h χωρίς οδηγό σε κάθε είδους καιρικές συνθήκες. Αυτό το όχημα λειτουργούσε ακολουθώντας το μαγνητικό πεδίο μιας σειράς ηλεκτρικών καλωδίων τοποθετημένων στο δρόμο.

Το έτος 1980 εισήγαγε μια νέα προσέγγιση που αναπτύχθηκε από τη Mercedes-Benz, η οποία θεωρεί το «όραμα» ως τον αποφασιστικό παράγοντα για ένα φορτηγό χωρίς

οδηγό, το οποίο λειτουργούσε με επιτυχία σε δημόσιους δρόμους. Αυτό το έργο διεξήχθη από τον καθηγητή Ernst Dickman, έναν πρωτοπόρο στην όραση υπολογιστών που εργάζεται στο Πανεπιστήμιο Bundeswehr του Μονάχου.

Τότε άρχισε να προωθείται νομοθεσία για αυτόν τον τύπο οχήματος και, το 1997, το Υπουργείο Μεταφορών των Ηνωμένων Πολιτειών δημιούργησε τους πρώτους νόμους που σχετίζονται με την «επίδειξη ενός αυτοματοποιημένου συστήματος οχημάτων και αυτοκινητοδρόμων» [146].

Το αεροδρόμιο Schiphol τον Δεκέμβριο του 1997 ήταν η πρώτη δημόσια οντότητα που χρησιμοποίησε το «Park Shuttle», που ονομάζεται «αυτόματη μετακίνηση ανθρώπων». Αυτή η τεχνολογία ήταν το θεμέλιο για μελλοντικά επιτεύγματα στον τομέα, αντιπροσωπεύοντας την πρώτη φορά που οι δυνατότητες αυτόνομης οδήγησης δοκιμάστηκαν σε δημόσια κοινή χρήση [148].

Από το 2000 έχει γίνει μια επανάσταση στην αυτόνομη οδήγηση. Ανεξάρτητοι ερευνητές, εταιρείες αυτοκινήτων, εταιρείες λογισμικού και ηλεκτρονικές εταιρείες επιδιώκουν να διεκδικήσουν την ιδιοκτησία αυτού του πολύπλοκου μέσου μεταφοράς που σίγουρα θα αλλάξει τις σχέσεις των ανθρώπων με τα οχήματα μια για πάντα.

Το AV είναι ένα όχημα εξοπλισμένο με υλικό και λογισμικό που εξασφαλίζει ικανότητα οδήγησης χωρίς την ανάγκη ανθρώπινης παρέμβασης με τους μηχανισμούς ελέγχου του οχήματος, με ή χωρίς απομακρυσμένη παρακολούθηση του οχήματος.

Επί του παρόντος, υπάρχουν πολλές εταιρείες παγκοσμίως που έχουν ήδη παράγει λεωφορεία αυτόνομης οδήγησης για την αγορά. Κάποιες από αυτές είναι η Apollo Baidu (Baidu, Κίνα), EasyMile EZ10 (EasyMile, Toulouse, Γαλλία) [149], Navya Arma (Navya, Λυών, Γαλλία) [150] και Olli (Local Motors, National Harbor, MD, ΗΠΑ). Η συντριπτική πλειονότητα αυτών των εταιρειών προέκυψε από νεοφυείς επιχειρήσεις.

Το ρυθμιστικό πλαίσιο για τα AV σε διεθνές επίπεδο (στο πλαίσιο του ΟΗΕ) θεσπίστηκε με βάση τη Διεθνή Σύμβαση της Βιέννης για την Οδική Κυκλοφορία το 1968, η οποία ορίζει στο άρθρο 8 ότι «κάθε οδηγός πρέπει να έχει συνεχώς τον έλεγχο του οχήματός του».

Τεχνικά χαρακτηριστικά

Τα τελευταία χρόνια, η αυτόνομη οδήγηση έχει γίνει όχι μόνο μια υποθετική λύση οδήγησης αλλά και πραγματικότητα. Ο τύπος του φυσικού οχήματος που χρησιμοποιείται για την υλοποίηση αυτών των αντιλήψεων είναι παρόμοιος με προϋπάρχουσες λύσεις, με τιμόνι, επιτάχυνση και πτερύγια πέδησης, αλλά περιλαμβάνει επίσης ένα πολύπλοκο δίκτυο αισθητήρων. Ανάλογα με τον βαθμό αυτοματισμού, αυτά τα κλασικά στοιχεία ελέγχου αρχίζουν να εξαφανίζονται και θα εξαφανιστούν εντελώς μόλις ο βαθμός αυτοματισμού φτάσει στο 5ο επίπεδο. Παράλληλα, άρχισαν να εμφανίζονται νέες λύσεις διαχείρισης αποφάσεων (όπως πίνακες και joysticks) που βασίζονται στον έλεγχο των AV σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης ή μη επιτρεπτών καταστάσεων. Η πολυπλοκότητα του άμεσου μηχανικού ελέγχου από την πλευρά του οδηγού θα μειωθεί και ο βαθμός αυτοματοποιημένου ελέγχου της δυναμικής συμπεριφοράς του οχήματος θα αρχίσει να αυξάνεται, έως ότου ο οδηγός δεν έχει κανέναν έλεγχο στη συμπεριφορά του οχήματος, παρά μόνο

με την ένδειξη του προορισμός. Αυτή η φυσική διαδικασία εξάλειψης λειτουργεί παράλληλα με την αναβάθμιση του επιπέδου αυτονομίας. Ωστόσο, η πλήρης αντικατάσταση ενός οδηγού απαιτεί μια σειρά αναβαθμίσεων στις περιοχές των αισθητήρων και την ισχύ επεξεργασίας των μονάδων ελέγχου αυτόνομης οδήγησης. Οι τεχνικές πτυχές του ρόλου κάθε στοιχείου παρουσιάζονται στις ακόλουθες ενότητες.

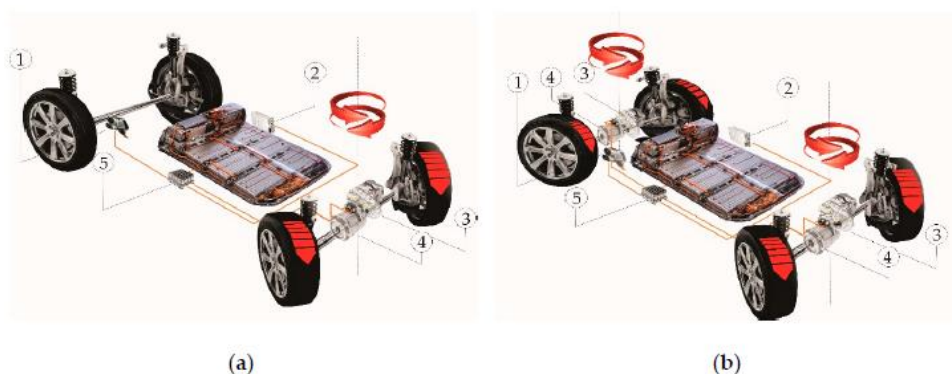
1. Σύστημα μετάδοσης κίνησης

Το σύστημα πρόωσης AV είναι εξοπλισμένο με ασύγχρονο/σύγχρονο κινητήρα/κινητήρες έλξης που τροφοδοτούνται από μετατροπέα DC/AC μέσω ενός πολύπλοκου ηλεκτρονικού συστήματος ισχύος.

Οι κινητήρες έλξης παράγουν ροπή στους τροχούς πρόωσης σύμφωνα με τον αλγόριθμο ελέγχου της ηλεκτρικής μηχανής. Η ηλεκτρική ροπή και η ισχύς που παρέχεται στους τροχούς ελέγχονται άμεσα από την επιθυμητή ταχύτητα του AV.

Οι ηλεκτρικές μπαταρίες φορτίζονται από σταθμούς φόρτισης που είναι συνδεδεμένοι στο τερματικό σύνδεσης. Η ροή τάσης/ρεύματος στη μπαταρία από τους σταθμούς φόρτισης ελέγχεται πρώτα από τα ηλεκτρικά ισχύος με μετασχηματισμένη ενέργεια (AC/DC) και μετά από το BMS [149].

Η εντολή και ο έλεγχος της λειτουργίας του συστήματος πρόωσης πραγματοποιείται από την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου (ECU), η οποία είναι ενσωματωμένη στο ADS (Automated Driving System) των οχημάτων και παρεμβαίνει στη τροποποίηση των τιμών των παραμέτρων που επηρεάζουν την απόδοση του AV με σκοπό τη βελτιστοποίηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 42 Αρχιτεκτονική μετάδοσης κίνησης: (a) σύστημα διεύθυνσης με δύο τιμόνια,

.2. Μπαταρία υψηλής τάσης

Μια μπαταρία υψηλής τάσης αποτελείται από μια σειρά κυψελών χαμηλής τάσης (2,2 V έως 3,7 V) στερεωμένες σε μονάδες που συνδέονται σε σειρά και παράλληλα, προκειμένου να αυξηθεί η ισχύς και η τάση ολόκληρου του πακέτου μπαταριών. Το πλήρες πακέτο μπαταριών, ανάλογα με το μέγεθός του, μπορεί να φτάσει τα 280–390 V με ισχύ που μπορεί να κυμαίνεται από 20 kWh έως 35 kWh. Αυτό το πακέτο μπαταριών παρακολουθείται συνεχώς από το BMS για ίση τάση φόρτισης και εκφόρτισης κυψέλης (κατάσταση φόρτισης, SOC), τη βέλτιστη λειτουργική του θερμοκρασία, τον βέλτιστο ρυθμό C (ρυθμός με τον οποίο φορτίζεται ή αποφορτίζεται η μπαταρία) του πλήρους πακέτου, και την πλήρη κατάσταση της μπαταρίας (SOH). Η μπαταρία είναι έμμεσα συνδεδεμένη με τα ηλεκτρικά ισχύος, τη μονάδα που ελέγχει τη ροή ενέργειας μέσω όλων των ηλεκτρικών συστημάτων.

Οι ηλεκτρικές μπαταρίες έχουν χωρητικότητα που θα εξασφαλίσει τη λειτουργία του AV στις επιλεγμένες διαδρομές εντός προκαθορισμένου χρονικού διαστήματος (γενικά διάρκεια μιας εργάσιμης ημέρας ή 8–10 ωρών) με μέγιστο φορτίο με επιβάτες με τα συστήματα κλιματισμού για το χώρο επιβατών θερμοκρασία κατά τη λειτουργία και σε όλες τις πιθανές καταστάσεις υπό όλες τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

Οι μπαταρίες χρησιμοποιούν τεχνολογία λιθίου, με υψηλή αποθηκευμένη ενεργειακή πυκνότητα, τον ελάχιστο όγκο και μάζα που απαιτούνται για την επίτευξη της απαιτούμενης αυτονομίας και μέγιστη ασφάλεια λειτουργίας στις κλιματικές συνθήκες στις οποίες λειτουργεί το AV.

Powertrain Elements	Apollo Baidu	EasyMile EZ10	Navya Arma	Olli
Battery Capacity	no data	20.0 kWh	33.0 kWh	18.5 kWh
Battery Type	no data	LiFePO4	LiFePO4	Lithium

Εικόνα 43 Τύπος και ισχύς μπαταρίας υψηλής τάσης λεωφορείου.

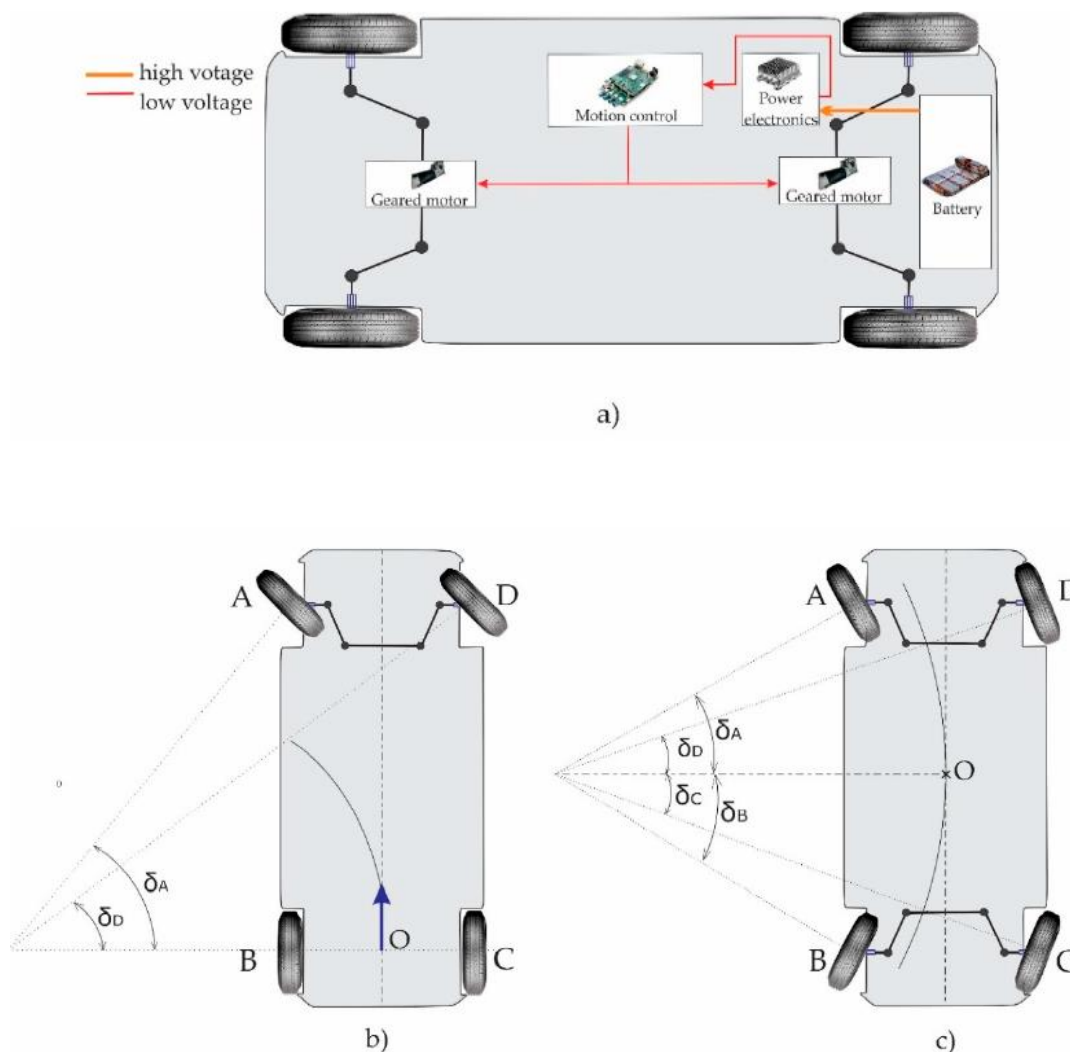
Πηδαλιούχηση (Σύστημα τιμόνι)

Το σύστημα διεύθυνσης των AV εξακολουθεί να αποτελεί βασικό παράγοντα, αλλά ο άμεσος έλεγχος λείπει. Εδώ, οι αποφάσεις διεύθυνσης χρησιμοποιούν πιο διακριτικά έναν αλγόριθμο αποφάσεων που εποπτεύεται από το ADS. Το τιμόνι ενός AV είναι μια αντιδραστική ενέργεια που δημιουργείται από μια σειρά εξωτερικών παραγόντων και όχι από την απόφαση μιας «εικονικής κίνησης» που αντανάκλαται σε μια προληπτική λειτουργία που βασίζεται στο δρόμο, την κυκλοφορία και το περιβάλλον. Το τιμόνι σε αυτή την περίπτωση είναι το μέσο, όχι η μέθοδος, με την οποία το όχημα φτάνει στον επιθυμητό στόχο. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο ένα AV λειτουργεί με βάση μια εικονική/βέλτιστη τροχιά.

Έτσι, δεν υπάρχει ελευθερία να κοπούν οι γραμμές και δεν υπάρχει πιθανότητα να αντιμετωπίσετε επικίνδυνες καταστάσεις, αλλά υπάρχει πάντα μια ασφαλής μέθοδος οδήγησης και μια ελεγχόμενη ισορροπία μεταξύ της θέσης του κέντρου βαρύτητας

του οχήματος και των δυνάμεων τριών αξόνων που ενεργούν σε κάθε σύστημα διεύθυνσης ρόδα.

Τα αυτόνομα λεωφορεία μπορούν να εξοπλιστούν με συστήματα διεύθυνσης με δύο τροχούς ή συστήματα διεύθυνσης με τέσσερις τροχούς. Η εικόνα 46 παρουσιάζει μια επισκόπηση του συστήματος διεύθυνσης (a) και των άλλων δύο συστημάτων διεύθυνσης που βρίσκονται σε αυτόνομα λεωφορεία μεταφοράς: ένα σύστημα διεύθυνσης με δύο τιμόνια και (b) ένα σύστημα διεύθυνσης με τέσσερα τιμόνια (c).



Εικόνα 44 Σύστημα διεύθυνσης: (a) επισκόπηση του συστήματος διεύθυνσης, (b) το σύστημα διεύθυνσης με δύο τιμόνια, (c) το σύστημα διεύθυνσης με τέσσερα τιμόνια

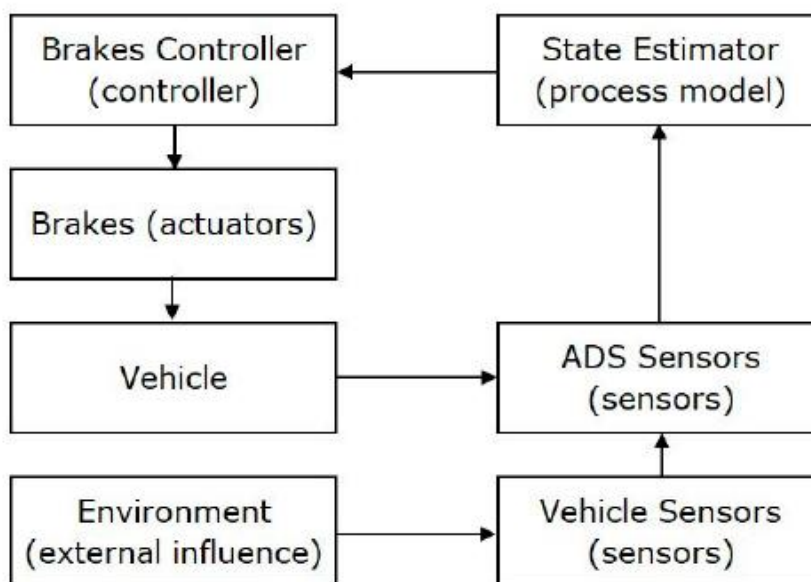
4. Σύστημα πέδησης

Για τα κλασικά οχήματα, ο οδηγός χρησιμοποιεί τις αισθήσεις, την εμπειρία και τις ικανότητές του για να κάνει προβλέψεις. Οι οδηγοί φορτηγών και λεωφορείων χρησιμοποιούν συχνά επιβραδυντή πριν χρησιμοποιήσουν το πεντάλ του φρένου. Στο τέλος, το φρενάρισμα γίνεται εν μέρει ενστικτωδώς και εν μέρει με επίγνωση. Λαμβάνοντας υπόψη όλες αυτές τις μεταβλητές, οι κατασκευαστές οχημάτων δεν

διασφαλίζουν μια ορισμένη απόσταση πέδησης ανάλογα με τις διαφορετικές ταχύτητες του οχήματος, αλλά εξοπλίζουν τα οχήματά τους με συστήματα πέδησης ικανά να εξασφαλίζουν ελάχιστη επιβράδυνση μετρούμενη σε m/s^2 .

Για τα AV, ισχύει η ίδια νομοθεσία και τέτοια οχήματα θα φθάνουν πάντα στο επιθυμητό επίπεδο επιβράδυνσης. Το πρόβλημα έγκειται στο πώς αυτή η επιβράδυνση κατανέμεται στην απόσταση και πώς οι επιβάτες του οχήματος βιώνουν αυτήν την επιβράδυνση, ιδιαίτερα εκείνοι που δεν κάθονται και εκείνοι που δεν βλέπουν στο δρόμο, προκειμένου να αναγνωρίσουν τη διαδικασία πέδησης. Ο αλγόριθμος που ελέγχει την επιβράδυνση πρέπει να είναι προσαρμόσιμος και να μπορεί να διακρίνει μεταξύ κανονικής πέδησης, ομαλής επιβράδυνσης και πέδησης και πέδησης έκτακτης ανάγκης.

Μια πιθανή λύση ελέγχου για τον έλεγχο πέδησης ενός AV παρουσιάζεται στην Εικόνα 47.



Εικόνα 45 Δομή βρόχου ελέγχου

Τα AV τροφοδοτούνται από μια πλατφόρμα ηλεκτρικού οχήματος που επιτρέπει την αναγεννητική πέδηση και την αντίθετη πέδηση. Έτσι, υπάρχουν τρεις τρόποι για να προκληθεί επιβράδυνση σε ένα AV. Τα φυσικά συστήματα είναι ήδη γνωστά, αλλά τα κλειδιά για την πέδηση στην αυτόνομη οδήγηση είναι ο καθορισμός της στιγμής πέδησης, της δύναμης πέδησης και της στιγμής που το φρενάρισμα δεν είναι πλέον απαραίτητο, λαμβάνοντας υπόψη ότι στη συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων, δεν απαιτείται συνολική δύναμη επιβράδυνσης του συστήματος πέδησης.

Σύμφωνα με την επιθυμητή επιβράδυνση και την απόσταση μεταξύ του οχήματος και του επιθυμητού ελιγμού, ο αλγόριθμος ελέγχου πέδησης μπορεί να αποφασίσει να χρησιμοποιήσει το υδραυλικό σύστημα, το σύστημα πέδησης ανάκτησης, το σύστημα πέδησης αντίθετης ροής ή το πρώτο και το δεύτερο παράλληλα.

Σύστημα φόρτισης

Η φόρτιση ενός οχήματος που προορίζεται για δημόσια μέσα μεταφοράς πρέπει να λαμβάνει υπόψη ότι υπάρχει άμεση σύνδεση μεταξύ του SOH (state of health) της μπαταρίας και της χρησιμοποιούμενης λύσης φόρτισης. Η συνεχής χρήση σταθμών γρήγορης φόρτισης (DC υψηλής ισχύος) θα δημιουργήσει, με την πάροδο του χρόνου, μια επίδραση ταχείας γήρανσης στο επίπεδο κυψέλης της μπαταρίας, το οποίο θα ασκήσει άμεση επίδραση στην αξιοπιστία και τη χρηστικότητα του πλήρους πακέτου μπαταριών [151].

Οι σταθμοί φόρτισης είναι εξοπλισμός που φορτίζει μπαταρίες αυτόνομων λεωφορείων μέσα σε ένα καλά καθορισμένο χρονικό διάστημα, ανάλογα με τη χωρητικότητά τους, χρησιμοποιώντας ειδικούς συνδέσμους/συσκευές ζεύξης. [149]

Τα επίπεδα φόρτισης 1–3 (Εικόνα 46) χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση της ισχύος, της τάσης και του ονομαστικού ρεύματος των σταθμών φόρτισης σύμφωνα με τις προδιαγραφές που ορίζονται από το SAE J1772. [144] [151].

Level	Voltage (V)	Phases (-)	Current (A)	Power (kW)	Time
Level 1	120	1 × AC	12–16	1.4–1.9	≤17 h
	200–450	DC	≤80	≤36	≤1.2 h
Level 2	240	1 × AC	≤80	≤20	≤7 h
	200–450	DC	≤200	≤90	≤20 min
Level 3	208–600	3 × AC	no data	≤20	no data
	200–600	DC	≤400	≤240	≤10 min

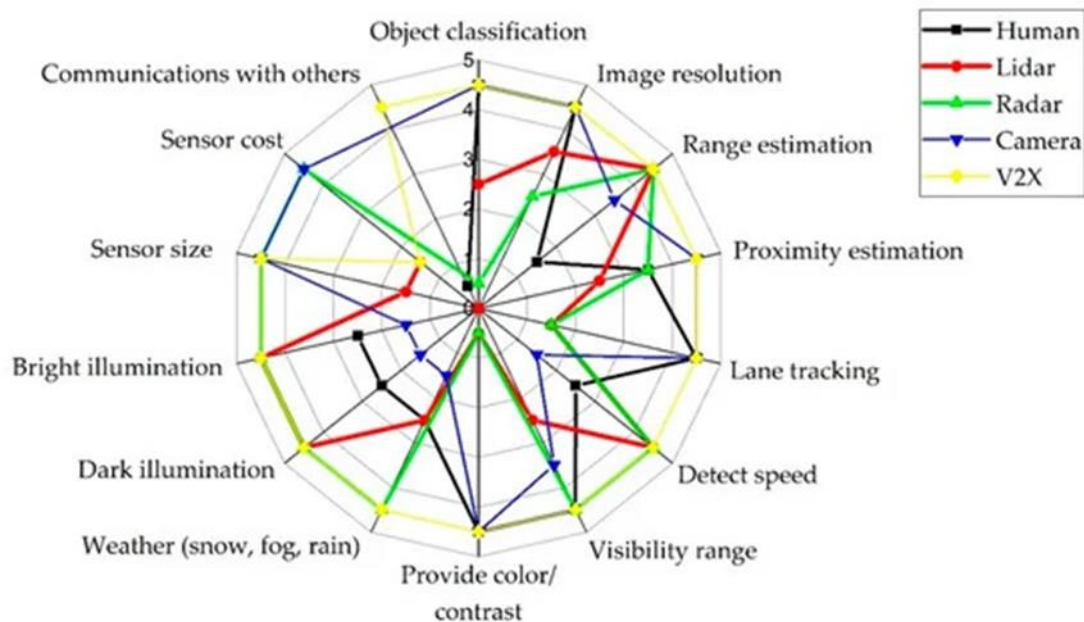
Εικόνα 46 Τα επίπεδα φόρτισης (SAE J1772)

Συστήματα αισθητήρων

Οι αισθητήρες (Εικόνα 49) είναι τεχνικές συσκευές συγκεκριμένων μεγεθών που αντιδρούν σε ορισμένες περιβαλλοντικές ιδιότητες. Ένα AV, το οποίο στερείται την αντίληψη ενός ανθρώπινου χειριστή, πρέπει να είναι σε θέση να αντιλαμβάνεται το περιβάλλον του για να λειτουργεί με ασφάλεια χωρίς την παρέμβαση ανθρώπινου χειριστή. Για αυτή τη διαδικασία, τα AV είναι εξοπλισμένα με μεγάλο αριθμό αισθητήρων που σαρώνουν ολόκληρο το περιβάλλον, εντοπίζοντας οτιδήποτε συμβαίνει γύρω από το όχημα, από οδικές σημάσεις και σήματα κυκλοφορίας έως στατικά και δυναμικά αντικείμενα. [[149] [144].

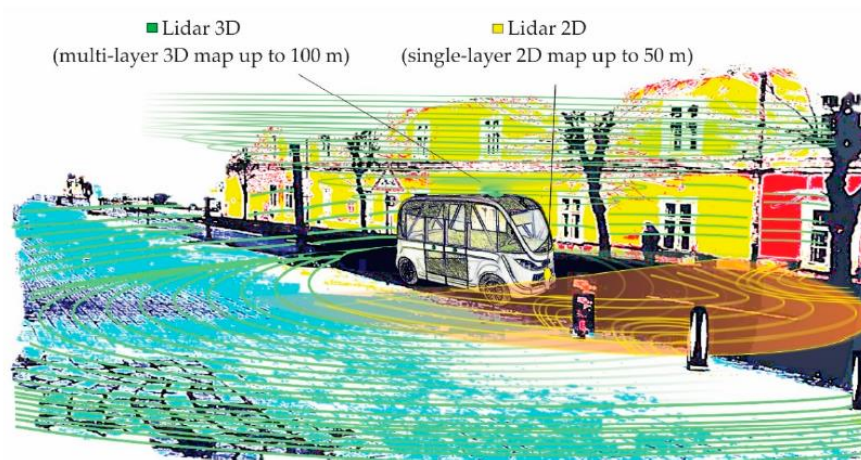
Τα σήματα που μεταδίδονται από τους αισθητήρες διαχειρίζονται έξυπνες πλατφόρμες όπως η πλατφόρμα υπολογισμού αυτόματης οδήγησης, η οποία είναι ενσωματωμένη στο ADS (Automated Driving Systems). Με βάση αυτά, οι δυνατότητες αντίληψης των AV γίνονται όλο και πιο εξελιγμένες, έχοντας την ικανότητα να αναγνωρίζουν και να ταξινομούν οποιαδήποτε στατικά ή δυναμικά αντικείμενα κοντά στο AV και να παρακολουθούν αυτά τα αντικείμενα από πλαίσιο σε πλαίσιο [149] [144].

Τα χαρακτηριστικά των αισθητήρων στα AV (οι μέγιστες τιμές για το οπτικό πεδίο, το εύρος, την ακρίβεια, τον ρυθμό καρέ, την ανάλυση, την αντίληψη των χρωμάτων και τις ελάχιστες τιμές για τις καιρικές συνθήκες, τη συντήρηση, την ορατότητα και την τιμή) φαίνονται στο Σχήμα 10 (όπου το 0 είναι πολύ φτωχό, το 1 είναι φτωχό, το 2 είναι πολύ δίκαιο, το 3 είναι δίκαιο, το 4 είναι καλό και το 5 είναι πολύ καλό).



Εικόνα 47 Σύγκριση δυνατοτήτων αισθητήρων

Οι αισθητήρες LIDAR (Εικόνα 50) που βασίζονται στην τεχνολογία μέτρησης απόστασης δέσμης λέιζερ επιτρέπουν σε ένα AV να δημιουργήσει μια εικονική παράσταση του περιβάλλοντος στο οποίο κυκλοφορεί για να καθορίσει την ακριβή θέση του και να ανιχνεύσει τα στατικά ή δυναμικά αντικείμενα στο δρόμο για έναν 2D χάρτη (LIDAR 2D) ή για τρισδιάστατο χάρτη (LIDAR 3D) [149].



Εικόνα 48 Αισθητήρες LIDAR

Ο κύριος ρόλος των αισθητήρων LIDAR είναι να ανιχνεύουν υπάρχοντα αντικείμενα (πεζούς, οχήματα κ.λπ.) και να καθορίζουν το ADS για τον έλεγχο της πέδησης έκτακτης ανάγκης για την αποφυγή συγκρούσεων. Οι αισθητήρες LIDAR 3D χρησιμοποιούν ένα σύνολο διόδων λέιζερ (μεταξύ 4 και 128 καναλιών λέιζερ) τοποθετημένες σε μια περιστροφική συσκευή που σαρώνει το περιβάλλον σε οριζόντιο οπτικό πεδίο 360° και κατακόρυφο 20-45°.

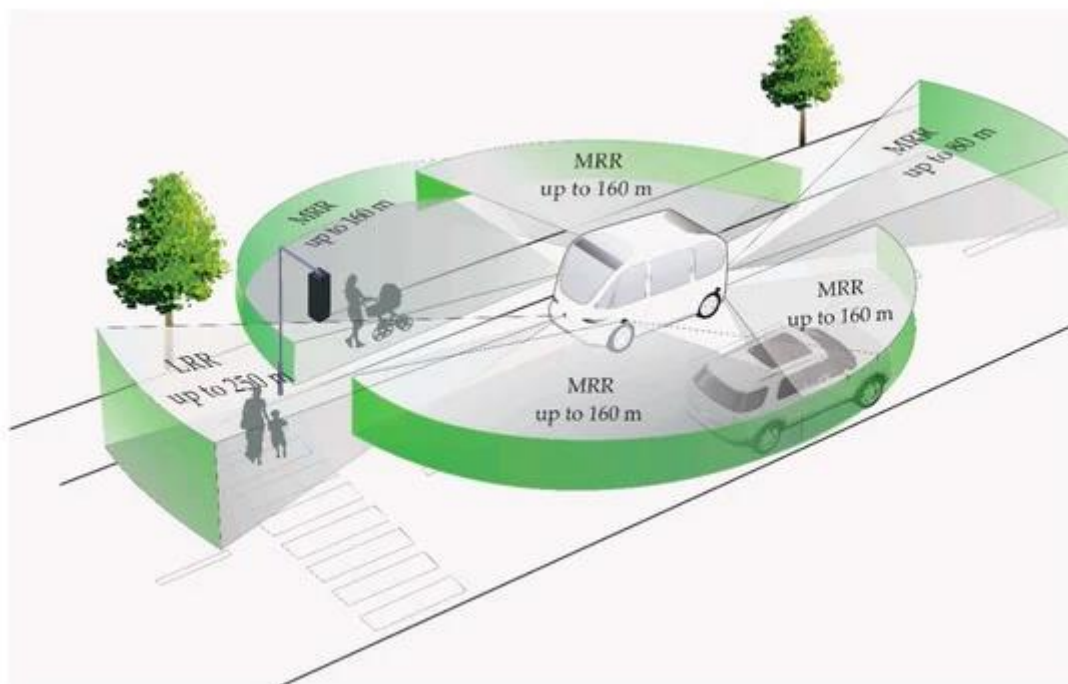
Οι αισθητήρες LIDAR 2D συλλαμβάνουν πληροφορίες από το περιβάλλον εφαρμόζοντας μια ενιαία κυκλική δέσμη λέιζερ σε μια επίπεδη επιφάνεια κάθετη στον άξονα περιστροφής. Οι αισθητήρες LIDAR 2D είναι γενικά τοποθετημένοι σε δύο κομμάτια για να ελαχιστοποιούν τις περιοχές χωρίς κάλυψη και να εξασφαλίζουν συνεχή ορατότητα σε ολόκληρη την κυκλική επιφάνεια του AV. [144] [149]

Τα κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά των αισθητήρων LIDAR που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές αυτοκινήτων παρουσιάζονται στην Εικόνα 16 και λαμβάνονται από τα τεχνικά φύλλα των πιο χρησιμοποιούμενων κατασκευαστών αισθητήρων LIDAR).

Lidar Sensor	Lidar 2D	Lidar 3D
Aperture angle (horizontal)	270°	360°
Aperture angle (vertical)	-	30°
Horizontal resolution	0.25–0.5°	0.1–0.4°
Vertical resolution	-	2°
Working range	0.50–50 m	1–100 m
# of lines	1	16
Scanning range (10% remission)	18–30 m	-
Scanning range (90% remission)	20–50 m	-
Scanning frequency	25 Hz/50 Hz	20 Hz

Εικόνα 49 Τεχνικά στοιχεία αισθητήρων LIDAR.

Οι αισθητήρες ραντάρ που είναι εξοπλισμένοι σε AV τοποθετούνται στο μπροστινό και στο πίσω μέρος ενός οχήματος για τη μέτρηση της απόστασης από τα αντικείμενα που ανιχνεύθηκαν και να υπολογίσει την ταχύτητά τους και να εκτιμήσει την κατεύθυνση του ταξιδιού τους.



Εικόνα 50 Αισθητήρες ραντάρ

Τα ραντάρ μεσαίας εμβέλειας (MRR) τοποθετούνται έτσι ώστε να καλύπτουν τις μπροστινές, πίσω και πλευρικές γωνίες ενός AV για να ανιχνεύουν αντικείμενα σε άμεση γειτνίαση με το όχημα. Οι αισθητήρες ραντάρ μεγάλης εμβέλειας (LRR) χρησιμοποιούνται για την παροχή πληροφοριών σχετικά με τα οχήματα που ταξιδεύουν μπροστά από το AV και τον προσδιορισμό του προσαρμοστικού cruise

Τα κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά των αισθητήρων ραντάρ που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές αυτοκινήτων παρουσιάζονται στην Εικόνα 53. Οι τιμές λαμβάνονται από τα τεχνικά φύλλα των πιο χρησιμοποιούμενων κατασκευαστών αισθητήρων ραντάρ.

Radar Sensor	LRR	MRR	MRR Rear
Frequency range	76–77 GHz	76–77 GHz	76–77 GHz
Detection range	0.36–250 m	0.36–160 m	0.36–80 m
Measuring range	6° (200 m)	6° (160 m)	5° (70 m)
	10° (100 m)	9° (100 m)	75° (close range)
	15° (30 m)	10° (60 m)	-
	20° (5 m)	25° (36 m)	-
	-	42° (12 m)	-
Measuring accuracy: distance	±0.12 m	±0.12 m	±0.12 m
Measuring accuracy: speed	0.11 m/s	0.11 m/s	0.14 m/s
Measuring accuracy: angle	±0.3°	±0.3°	±0.8°
Object separation: distance	0.72 m	0.72 m	0.72 m
Object separation: speed	0.4 m/s	0.66 m/s	1.4 m/s
Object separation: angle	4°	7°	7°
Maxim of detected objects	24	32	32
Cycle time	60 ms	60 ms	60 ms

Εικόνα 51 Τεχνικά στοιχεία αισθητήρων ραντάρ

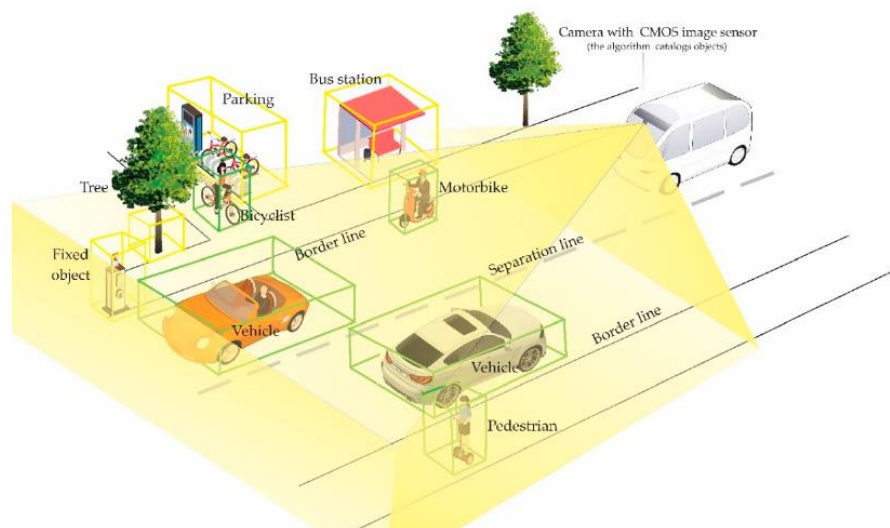
6.3.3. Σύστημα βιντεοκάμερας

Ένα AV είναι εξοπλισμένο με ένα σύστημα στερεοφωνικής βιντεοκάμερας υψηλής ανάλυσης (δύο πανομοιότυπες κάμερες που προσομοιώνουν την ανθρώπινη διόφθαλμη όραση), που βρίσκεται στο μπροστινό και πίσω μέρος του οχήματος για να παρέχει μια κυκλική εικόνα του περιβάλλοντος.

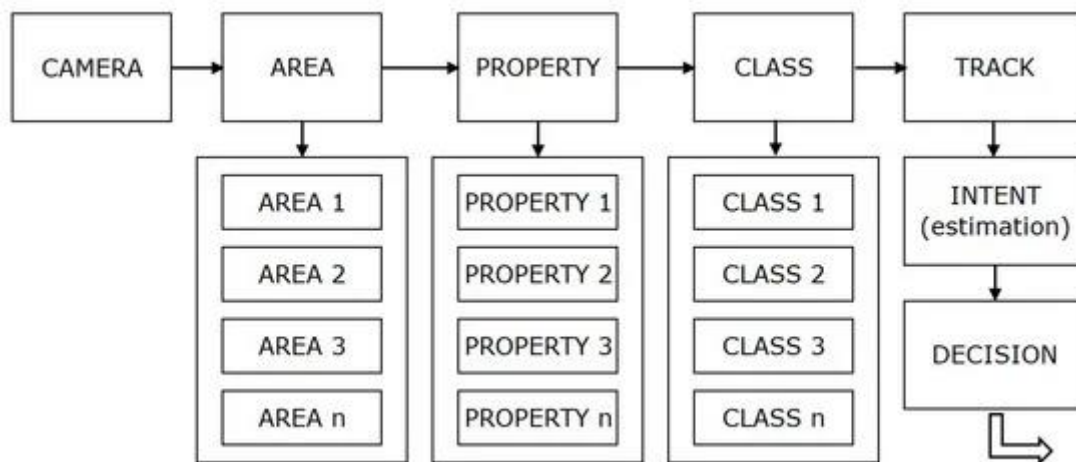
Αυτές οι βιντεοκάμερες υψηλής ανάλυσης έχουν το ρόλο της μόνιμης παρακολούθησης/καταγραφής της κίνησης του AV, της διαδρομής που ακολουθείται, των σημάτων κυκλοφορίας κ.λπ., και είναι εξοπλισμένες με συμπληρωματικούς αισθητήρες μετάλλου-οξειδίου-ημιαγωγού (CMOS). Οι μονόφθαλμες βιντεοκάμερες καταγράφουν 2D εικόνες χωρίς να δημιουργούν ακριβείς λεπτομέρειες σχετικά με τις αποστάσεις από τα αντικείμενα που ανιχνεύονται χωρίς να υπολογίζουν πληροφορίες που θα βοηθήσουν στη δημιουργία σεναρίων για την αποφυγή αυτών των αντικειμένων. Αντίθετα, οι στερεοφωνικές βιντεοκάμερες έχουν τη δυνατότητα να εκτιμούν την απόσταση από τα αισθητά αντικείμενα μετρώντας τη διαφορά μεταξύ δύο εικόνων από διαφορετικές γωνίες . [144] [149]

Οι βιντεοκάμερες (Εικόνα 54) έχουν εφαρμοστεί σε πολλαπλές εργασίες για AV, όπως ανίχνευση λωρίδας, ανίχνευση απόστασης άλλων αντικειμένων ή οχημάτων από την κυκλοφορία και τον εντοπισμό σημάτων κυκλοφορίας.

Μετά το στάδιο της επεξεργασίας εικόνας, η οπτική αντίληψη χρησιμοποιείται για την αναγνώριση και κατανόηση των αντικειμένων που ανιχνεύονται στο περιβάλλον χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο ταξινόμησης (Εικόνα 55).

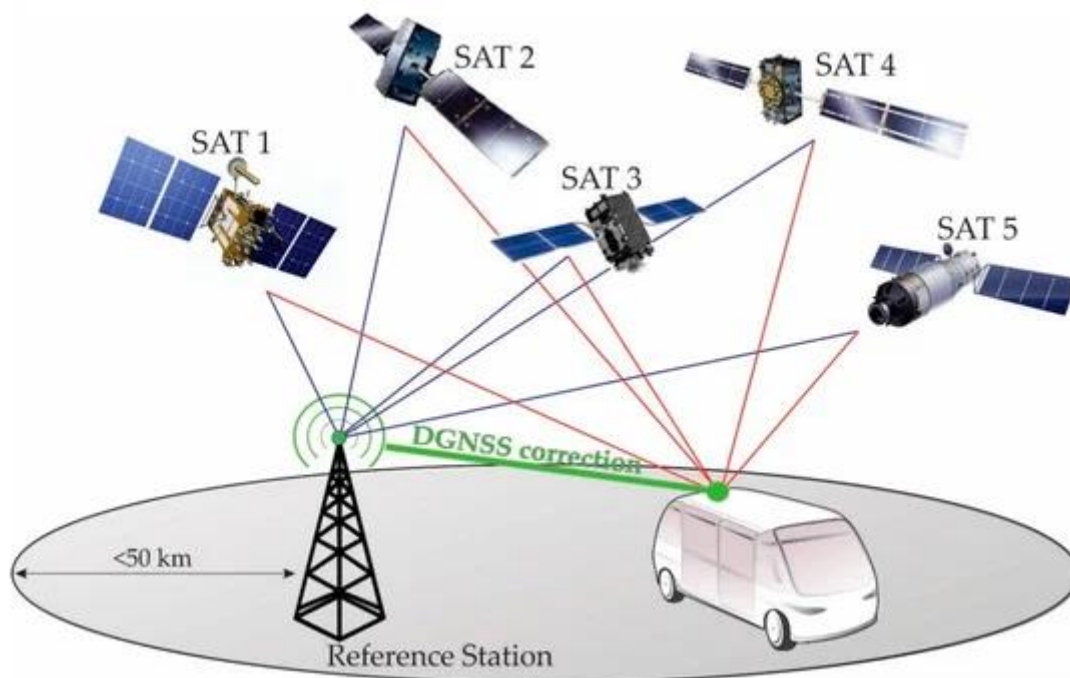


Εικόνα 52 Σύστημα βιντεοκάμερας



Εικόνα 53 Ο Μηχανισμός ταξινόμησης αντικειμένων

Το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο Global navigation satellite system (GNSS) είναι το παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης (GPS), το οποίο χρησιμοποιεί ένα κινηματικό εργαλείο διόρθωσης σε πραγματικό χρόνο (RTK) για να τοποθετήσει το AV με μέγιστη ακρίβεια (Εικόνα 56). Το GNSS παρέχει ακρίβεια που μπορεί να αποκλίνει κατά μερικά μέτρα, αν και το ADS απαιτεί ακρίβεια πολλών εκατοστών. Αυτή η ακρίβεια επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός σταθμού βάσης. Το GNSS μετρά την απόσταση από τους δορυφόρους και τον σταθμό βάσης, επιτυγχάνοντας έτσι τον εντοπισμό θέσης με μέγιστη ακρίβεια για το AV. Η μεταφορά των διαφορικών διορθώσεων GNSS/RTK από τους σταθμούς βάσης αναφοράς στο AV πραγματοποιείται μέσω κινητών επικοινωνιών ή Διαδικτύου (3G/4G/5G) [149].



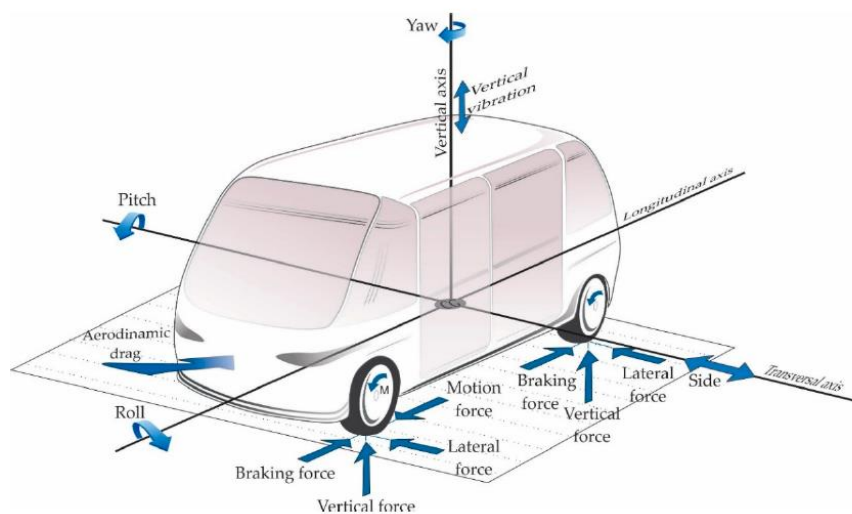
Εικόνα 54 Αισθητήρας GNSS/RTK

.3.5. Αδρανειακή Μονάδα Μέτρησης

Ο αισθητήρας αδρανειακής μονάδας μέτρησης (IMU) (Εικόνα 57 [149]) περιλαμβάνει ένα επιταχυνσιόμετρο τριών αξόνων και ένα γυροσκόπιο τριών αξόνων και προορίζεται να μετρήσει την επιτάχυνση του AV και να καθορίσει τη θέση και τον προσανατολισμό του.

Όταν ένα όχημα βρίσκεται σε κίνηση, μπορεί να εκτελεί γραμμικές και περιστροφικές κινήσεις γύρω από κάθε έναν από τους τρεις άξονες: πλάγιο, διαμήκη και κάθετο (βήμα, κύλιση και εκτροπή). Οι αδρανειακές μετρήσεις, οι οποίες μπορούν να γίνουν χωρίς αναφορά σε εξωτερικό σημείο, περιλαμβάνουν γραμμική επιτάχυνση, γωνιακή ταχύτητα και γωνιακή επιτάχυνση. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αύξηση ή τη βελτίωση των εξωτερικών μετρήσεων, όπως οι συντεταγμένες GPS .

Το IMU είναι μια συσκευή που περιέχει ένα επιταχυνσιόμετρο που μετρά ένα διάνυσμα δύναμης για το σώμα, ένα γυροσκόπιο που μετρά το διάνυσμα της αδρανειακής γωνιακής ταχύτητας και ένα μαγνητόμετρο που μετρά το διάνυσμα του μαγνητικού πεδίου γύρω από τη συσκευή. Αυτοί οι τρεις αισθητήρες είναι τοποθετημένοι έτσι ώστε οι άξονες μέτρησής τους να αποτελούν ο καθένας ξεχωριστά ορθογώνια συστήματα, με αποτέλεσμα έξι βαθμούς ελευθερίας. Ένα IMU προσφέρει βασικές πληροφορίες για το όχημα στο οποίο είναι τοποθετημένο (επιτάχυνση, περιστροφή και προσανατολισμός) [149].



Εικόνα 55 Αισθητήρας IMU

6.4 Νομικό πλαίσιο

Δεν υπάρχουν σαφείς κανονισμοί στην Ευρώπη σχετικά με την έγκριση, την εγγραφή και την καταχώριση υπηρεσιών AV σε δημόσιους δρόμους που προορίζονται για τρ. Κατασκευαστές AV (ιδιαίτερα εκείνων που ταξινομούνται ως Level 3/Επίπεδο 4) χρησιμοποιήστε την οδηγία 2007/46/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 5ης Σεπτεμβρίου 2007, το οποίο θεσπίζει ένα πλαίσιο για την έγκριση οχημάτων και ρυμουλκούμενων, καθώς και των συστημάτων, εξαρτήματα και χωριστές τεχνικές μονάδες που προορίζονται για τέτοια οχήματα.

Η διαδικασία έγκρισης είναι διαφορετική ανάλογα με τη χώρα λόγω του γεγονότος ότι τα AV είναι ειδικά οχήματα για τα οποία ορισμένες χώρες έχουν συγκεκριμένους κανονισμούς, ενώ άλλες χορηγούν εξαιρέσεις ή προσωρινές έγκριση για πειραματικούς σκοπούς. Τα κράτη της Ευρωπαϊκής Ένωσης που έχουν υιοθετήσει νομοθεσία για τα AV και επιτρέπουν τη χρήση αυτών των οχημάτων για δοκιμές είναι τα ακόλουθα: Αυστρία, Βέλγιο, Φινλανδία, Γαλλία, Γερμανία, Ελλάδα, Ιταλία, Λουξεμβούργο, Κάτω Χώρες, Ισπανία και Σουηδία.

6.5 Κοινωνικές Επιπτώσεις

Ο κοινωνικός αντίκτυπος στην εφαρμογή οποιαδήποτε νέας τεχνολογίας πρέπει να αξιολογηθεί ως προς την αποτελεσματικότητά της και τα πλεονεκτήματα που προσφέρει στην κοινωνία. Κάθε κοινωνία την ίδια στιγμή θα πρέπει να προετοιμαστεί για αυτές τις νέες τεχνολογίες, πρώτα να τις αποδεχτεί και μετά να τις χρησιμοποιεί.

Η αυτόνομη οδήγηση θα έχει θετικό ή αρνητικό αντίκτυπο στην κοινωνία. Τα πλεονεκτήματα αυτής της τεχνολογίας είναι προφανή αλλά εφόσον υπάρχουν άνθρωποι που εμπλέκονται άμεσα, αυτοί οι άνθρωποι πρέπει να μάθουν να αποδέχονται ότι ένας υπολογιστής θα λαμβάνει αποφάσεις στη θέση του. Έτσι, οι κατασκευαστές οχημάτων πρέπει να παρουσιάζουν έγκυρα και διαφανή σενάρια αποφάσεων και κινδύνου σε όλους όσους ενδιαφέρονται, με απώτερο σκοπό να κατανοήσουν πώς λαμβάνονται οι σχετικές αποφάσεις. Το βασικό στοιχείο σε αυτή τη διαδικασία αποδοχής είναι η διαφάνεια.

Ένα γενικό διάγραμμα που παρουσιάζει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των κοινωνικών επιπτώσεων είναι

παρουσιάζεται παρακάτω. Τα πλεονεκτήματα της αντικατάστασης των κλασικών μέσων μεταφοράς με στόλο των

Τα αυτόνομα λεωφορεία μπορούν να αποφέρουν σημαντικά οφέλη όπως:

- Μείωση κυκλοφοριακής συμφόρησης
- Λειτουργία 24h/ημέρα
- Μείωση περιβαλλοντικής ρύπανσης
- Αξιοπιστία δρομολογίων

Τα μειονεκτήματα της αντικατάστασης των κλασικών μέσων μεταφοράς με ένα στόλο αυτόνομων λεωφορείων είναι τα παρακάτω:

- Εξοικονόμηση οδηγών (συνήθως ένας μεγάλος στόλος πόλης έχει περισσότερους από 1000 οδηγούς).
- Αυξημένο κόστος συντήρησης και αναβάθμισης του στόλου.
- Καθυστέρηση απόκρισης σε περίπτωση δυσλειτουργίας [149]

Κεφάλαιο 7- Εισαγωγή ηλεκτρικών λεωφορείων Αθήνα (ΟΑΣΑ)

Εισαγωγή

Για τον αστικό ιστό της Αθήνας αποτελεί προτεραιότητα η διαχείριση του περιβαλλοντικού αντίκτυπου των ΜΜΜ (Μέσων Μαζικής Μεταφοράς). Αυτό γίνεται με την εφαρμογή απαραίτητων μέτρων πρόληψης που έχουν σαν απώτερο σκοπό την προστασία του περιβάλλοντος και των φυσικών πόρων και την όσο δυνατόν μικρότερη επίδραση στο περιβάλλον.

Για την πόλη της Αθήνας ο ΟΑΣΑ (Οργανισμός Αστικών Συγκοινωνιών Αθηνών) προχώρησε στην αγορά 140 ηλεκτρικών οχημάτων Yutong E12 της εταιρείας Τα ηλεκτρικά λεωφορεία Yutong E12 έχουν φέρει μια νέα εποχή στις δημόσιες συγκοινωνίες της Αθήνας. Αυτά τα σύγχρονα και φιλικά προς το περιβάλλον οχήματα, που εντάχθηκαν στον στόλο του Οργανισμού Αστικών Συγκοινωνιών Αθηνών (ΟΑΣΑ), αποτελούν ένα σημαντικό βήμα προς την ηλεκτροκίνηση και την μείωση των ρύπων στην πόλη.

Επιπρόσθετα προκειμένου να βελτιωθεί στο μέγιστο βαθμό το περιβαλλοντικό αποτύπωμα, έχει αρχίσει η σταδιακή απόσυρση όλων των παλαιότερων οχημάτων τεχνολογίας Euro I, η οποία αναμένεται να ολοκληρωθεί έως το 2025.

Απώτερος στόχος είναι η τελική μετάβαση σε οχήματα μηδενικών εκπομπών και χαμηλού θορύβου, υιοθετώντας οδηγίες της ΕΕ που διασφαλίζουν βιώσιμη αστική κινητικότητα και προστασία του περιβάλλοντος, με χρονοδιάγραμμα εφαρμογής δεκαπέντε χρόνια. [152] [153]

Γιατί επιλέχθηκε η εταιρεία Yutong

Το Yutong E12 είναι ένα από τα πιο εμπορικά μοντέλα της μάρκας στην ευρωπαϊκή αγορά και κυκλοφορεί στους δρόμους των σκανδιναβικών χωρών για σχεδόν έξι χρόνια. Είναι εξοπλισμένο με σύγχρονο κινητήρα μόνιμου μαγνήτη απόδοσης 288 ίππων και 1200 Nm ροπής και τροφοδοτείται από μπαταρία ιόντων λιθίου χωρητικότητας 374 kWh, η οποία μπορεί να φορτιστεί σε μόλις 3,5 ώρες στα 150 kW ή 60 kW σε 7 ώρες, εξασφαλίζοντας ότι η μέγιστη αυτονομία πλεύσης ενός λεωφορείου 18,5 τόνων είναι 370 χιλιόμετρα (χωρίς κλιματισμό, 290 χιλιόμετρα με κλιματισμό). Διαθέτει ηλεκτρικά ρυθμιζόμενη ανάρτηση αέρα με υδραυλικά διπλά αμορτισέρ SACHS, με σύστημα ανύψωσης Bosch και ηλεκτρικά υποβοηθούμενα υδραυλικά στηρίγματα. [154]

Ακολουθούν τα συγκριτικά πλεονεκτήματα των Yutong E12.

- Τεχνολογία αιχμής: Τα λεωφορεία Yutong είναι εξοπλισμένα με τις πιο σύγχρονες τεχνολογίες, όπως μπαταρίες υψηλής απόδοσης, ηλεκτρικούς κινητήρες τελευταίας γενιάς και συστήματα αναγέννησης ενέργειας.
- Φίλικα προς το περιβάλλον: Μηδενικές εκπομπές ρύπων, χαμηλότερος θόρυβος και βελτιωμένη ποιότητα αέρα στις αστικές περιοχές.
- Άνεση επιβατών: Τα λεωφορεία προσφέρουν άνετες θέσεις, κλιματισμό, χώρο για ΑΜΕΑ και συχνά δωρεάν Wi-Fi.
- Ασφάλεια: Είναι εξοπλισμένα με όλα τα απαραίτητα συστήματα ασφαλείας για μια ομαλή και ασφαλή διαδρομή.

Τεχνικά Χαρακτηριστικά Λεωφορείου		
Λεωφορείο (ZK6128BEVG)	Διαστάσεις	12170*2550*3250mm
	Εσωτερικό ύψος	2450 mm
	Μέγιστη ταχύτητα (km/h)	80km/h
	Μετατόχιο (εμπρός/πίσω) (mm)	2153/1874mm
	Γωνία οπίσθιου/εμπρόσθιου προβόλου	7°/7°
	Μέγιστη δυνατότητα κλίσης	17%
	Συνολικό βάρος	18600kg
	Διάμετρος μέγιστου κύκλου στροφής	23,804 m
	Χωρητικότητα επιβατών	
	Θέσεις καθημένων επιβατών	35
	Θέσεις ορθίων επιβατών	40
	Θέσεις ΑΜΕΑ	1
Κινητήρας (TZ368XS1TB38)	Μέγιστη καθαρή ισχύς	350 kW
	Μέγιστη διαρκής ισχύς 30 λεπτών	230 kW
	Ονομαστική ισχύς	215 kW
	Μέγιστη ροπή	3200Nm
	Πρότυπο εκπομπών	Μηδενικές εκπομπές
	Κατανάλωση κατά SORT	0,72kWh/km (E-sort2)
Πλαίσιο	Σύστημα ανάρτησης	Ανάρτηση με 2 αερόσουστες εμπρός και 4 αερόσουστες πίσω, συμπεριλαμβανομένου ECAS
	Εμπρός άξονας	ZFRL82EC, ανεξάρτητη ανάρτηση, δισκόφρενα
	Πίσω άξονας	ZF AV133, δισκόφρενα
Συσσωρευτές κίνησης	Ενεργειακή χωρητικότητα	350,07 kwh
	Ονομαστική ισχύς	312,98 kw
	Μέγιστη ισχύς	463,68 kw
	Ονομαστική αυτονομία	206,6 km

Εικόνα 56 Τεχνικά χαρακτηριστικά Yutong E12 [189]

Τεχνικά Χαρακτηριστικά Φορτιστών					
Μονάδες αργής φόρτισης	Εύρος τάσης εισόδου	400VAC±15% (50 Hz ή 60 Hz)			
	Εύρος τάσης εξόδου	150~1000VDC			
	Ισχύς εξόδου	180 kw			
	Αριθμός συνδέσμων φόρτισης	2			
	Αριθμός συνδέσμων που μπορούν να φορτίσουν ταυτόχρονα	2			
	Χρόνος φόρτισης (DOC 12% έως 100%)	3,9 h			
	Μέγιστο ρεύμα εξόδου του μεμονωμένου συνδέσμου φόρτισης	200 A			
	Μέση απόδοση	≥94%			
	Συντελεστής ισχύος	≥0,99			
	Θόρυβος	≤65dB			
	Προστασία	IP55			
	Αποδεκτή θερμοκρασία περιβάλλοντος	-30 - 55			
	Πρότυπο σύνδεσης DC	DIN70121 OCPP 1.6 j IEC 61851			
	Σύνδεση δικτύου	4G/3G/2G/10/100 base-T Ethernet			
	Κινητές μονάδες ταχυφόρτισης	Ισχύς εξόδου	180 kw		
Αριθμός συνδέσμων φόρτισης		1			
Αριθμός συνδέσμων που μπορούν να φορτίσουν ταυτόχρονα		1			
Χρόνος φόρτισης (≥50 kwh)		0,5 h			
Πλήθος φορτίσεων (αυτονομία)		3			
Σύστημα Κλιματισμού (Ψύξη-Θέρμανση)					
Ισχύς ψύξη - θέρμανσης	36000 kcal/h - 42kw	Τάση	380-750v	Ψυκτικό μέσο	R407c
Όγκος αέρα συμπύκνωσης	10000 m3/h	Όγκος αέρα εξαίτησης	8000 m3/h	Όγκος καθαρού αέρα	2000 m3/h

Εικόνα 57 Τεχνικά χαρακτηριστικά φορτιστών Yutong E12 [189]

Εγγυήσεις		
Λεωφορείου	85	Μήνες
Συσσωρευτών κίνησης λεωφορείων	99	Μήνες
Αντισκωριακής προστασίας αμαξώματος	216	Μήνες
Φορτιστή αργής φόρτισης	145	Μήνες
Ταχυφορτιστή κινητής μονάδας	145	Μήνες
Πλαισίου ρυμούλκησης κινητής μονάδας	72	Μήνες

Ευφύες Σύστημα Παρακολούθησης / Διαχείρισης [ITS] Λεωφορείων	
Διαχείριση στόλου	Επισκόπηση στόλου
	Ζωντανή παρακολούθηση
	Επισκόπηση διαδρομής
	Διαχείριση πόρων
Διαχείριση φόρτισης	Παρακολούθηση φορτιστών
	Αρχείο φόρτισης
	Στατιστικά φόρτισης
Σύστημα πλήρους αναφοράς	Έκθεση κατανάλωσης ενέργειας
	Παράμετροι πλήρους αναφοράς
	Χιλιομετρική απόδοση περιόδου
	Θερμοκρασία συσσωρευτών κατά τη λειτουργία, τάση, SOC, απόδοση.
	Αναφορά οδηγικής συμπεριφοράς
Έξυπνο σύστημα παρακολούθησης συντήρησης	

Εικόνα 58 Ευφύες Σύστημα παρακολούθησης Λεωφορείων Yutong E12 [189] [100]



Συστήματα Ασφαλείας Λεωφορείου

- ✓ Σύστημα πυρανίχνευσης, στα σημεία υψηλής τάσης του οχήματος, με αυτόματη ενεργοποίηση μέσω πυρόσβεσης ξηράς κόνεως. Επιπρόσθετη δυνατότητα πυρόσβεσης με χρήση διακοπών από τον χώρο οδήγησης.
- ✓ Σύστημα προστασίας των συσσωρευτών του οχήματος με άζωτο υψηλής καθαρότητας, για έλεγχο της συγκέντρωσης οξυγόνου προς αποφυγή καύσης και έκρηξης.
- ✓ Δομική προστασίας έναντι υψηλής θερμοκρασίας έως 1300°C, στα racks των συσσωρευτών, από συνθετικό υλικό, πυράντοχο χαρτί mica καθώς και προστατευτικό κάλυμμα ASC με υλικά πολλαπλών στρώσεων.
- ✓ Rack συσσωρευτών εφοδιασμένο με βαλβίδα αντιαεκρηκτικού τύπου για αντιμετώπιση ακραίων περιπτώσεων.
- ✓ Θωράκιση χώρου rack συσσωρευτών με μπάρες προστασίας σύγκρουσης.
- ✓ Υδροψυκτική προστασία συσσωρευτών.
- ✓ Δύο πυροσβεστήρες 6 kg στον χώρο των επιβατών.
- ✓ Κάμερες ελέγχου επιβίβασης - αποβίβασης επιβατών καθώς και κάμερα οπισθοπορείας οχήματος.
- ✓ Επτά έξοδοι κινδύνου επιβατών.
- ✓ Σύστημα περιορισμού ταχύτητας.
- ✓ Σύστημα ηλεκτρονικού ελέγχου ευστάθειας(EBS & ESC).
- ✓ Σύστημα προειδοποίησης σύγκρουσης πεζών & οχημάτων (FCW - UFCW - PCW).
- ✓ Διακόπτες ασφαλείας οχήματος.

Εικόνα 59 Συστήματα ασφαλείας λεωφορείου Yutong E12 [189]

Επέκταση Στόλου

Τα σχέδια του ΟΑΣΑ για την επέκταση του στόλου των ηλεκτρικών λεωφορείων είναι φιλόδοξα και αποσκοπούν στην περαιτέρω βελτίωση της ποιότητας των αστικών συγκοινωνιών και στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της Αθήνας.

Συγκεκριμένα, ο ΟΑΣΑ:

- Συνεχίζει τις προμήθειες: Ο Οργανισμός έχει ήδη προχωρήσει σε σημαντικές προμήθειες ηλεκτρικών λεωφορείων, όπως αυτά της Yutong, και αναμένεται να υπάρξουν και νέες προμήθειες στο άμεσο μέλλον.
- Επέκταση του δικτύου φόρτισης: Παράλληλα με την αύξηση του στόλου, ο ΟΑΣΑ επενδύει στην ανάπτυξη ενός εκτεταμένου δικτύου σταθμών φόρτισης για τα ηλεκτρικά λεωφορεία, ώστε να εξασφαλίζεται η απρόσκοπτη λειτουργία τους.
- Ολοκληρωμένη στρατηγική: Ο ΟΑΣΑ έχει καταρτίσει μια ολοκληρωμένη στρατηγική για την ηλεκτροκίνηση των αστικών συγκοινωνιών, η οποία περιλαμβάνει όχι μόνο την προμήθεια νέων οχημάτων, αλλά και την αναβάθμιση των υποδομών και την εκπαίδευση του προσωπικού.
- Συνεργασίες: Ο Οργανισμός συνεργάζεται με διάφορους φορείς, όπως την Ευρωπαϊκή Ένωση, την Κυβέρνηση και την τοπική αυτοδιοίκηση, για την εξασφάλιση της απαραίτητης χρηματοδότησης και υποστήριξης.

Τα οφέλη της επέκτασης του στόλου των ηλεκτρικών λεωφορείων είναι πολλαπλά:

- Βελτίωση της ποιότητας του αέρα: Μείωση των εκπομπών ρύπων και βελτίωση της ποιότητας του αέρα στην Αθήνα.
- Μείωση του θορύβου: Τα ηλεκτρικά λεωφορεία είναι πολύ πιο ήσυχα από τα συμβατικά, βελτιώνοντας την ποιότητα ζωής των κατοίκων.
- Ενίσχυση της βιώσιμης κινητικότητας: Προώθηση των δημόσιων συγκοινωνιών και ενθάρρυνση της χρήσης πιο φιλικών προς το περιβάλλον μέσων μεταφοράς.
- Ενίσχυση της εικόνας της Αθήνας: Η Αθήνα καθίσταται μια πιο σύγχρονη και βιώσιμη πόλη. [153]

Το Μέλλον των Δημόσιων Αστικών Συγκοινωνιών (ΟΑΣΑ)

Ο ΟΑΣΑ βρίσκεται σε μια μεταβατική περίοδο, με στόχο να διαμορφώσει το μέλλον των δημόσιων συγκοινωνιών στην Αθήνα. Η μετάβαση αυτή χαρακτηρίζεται από την ένταξη νέων τεχνολογιών και την υιοθέτηση πιο βιώσιμων πρακτικών, με στόχο την παροχή ποιοτικών υπηρεσιών μεταφοράς και την βελτίωση της ποιότητας ζωής των

π

ο

Η έλευση των ηλεκτρικών λεωφορείων Yutong σηματοδοτεί μια νέα εποχή για τις δημόσιες συγκοινωνίες στην Αθήνα. Αυτή η πρωτοβουλία αποτελεί ένα σημαντικό βήμα προς την δημιουργία πιο καθαρών, πιο ήσυχων και πιο βιώσιμων πόλεων.

ώ

Κεντρικοί άξονες του νέου σχεδιασμού:

- **Ηλεκτροκίνηση:** Η σταδιακή αντικατάσταση των συμβατικών λεωφορείων με ηλεκτρικά αποτελεί προτεραιότητα. Αυτό θα συμβάλει στην μείωση των εκπομπών ρύπων, στη μείωση του θορύβου και στην εξοικονόμηση ενέργειας.
- **Έξυπνες Πόλεις:** Ο ΟΑΣΑ επενδύει σε τεχνολογίες αιχμής, όπως συστήματα γεωπληροφορικής, εφαρμογές για κινητά και αναλυτικά δεδομένα, για να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα των υπηρεσιών της και να προσφέρει στους επιβάτες μια πιο εξατομικευμένη εμπειρία.
- **Διαλειτουργικότητα:** Η ενίσχυση της διασύνδεσης μεταξύ των διαφόρων μέσων μαζικής μεταφοράς (λεωφορεία, μετρό, τραμ) αποτελεί κεντρικό στόχο. Αυτό θα διευκολύνει τις μετακινήσεις των πολιτών και θα ενθαρρύνει τη χρήση των δημόσιων συγκοινωνιών.
- **Προσβασιμότητα:** Ο ΟΑΣΑ δίνει ιδιαίτερη έμφαση στην παροχή υπηρεσιών που είναι προσβάσιμες σε όλους τους πολίτες, ανεξαρτήτως των ιδιαίτερων αναγκών τους.
- **Βελτιστοποίηση των δρομολογίων:** Ο ΟΑΣΑ επιδιώκει να βελτιστοποιήσει τα δρομολόγια των λεωφορείων, ώστε να μεγιστοποιηθεί η αποτελεσματικότητα της ηλεκτροκίνησης. Αυτό περιλαμβάνει τη μελέτη των ροών επιβατών, τη βελτίωση της συχνότητας των δρομολογίων και τη δημιουργία πιο έξυπνων συστημάτων διαχείρισης του στόλου.
- **Συμμετοχή των Πολιτών:** Ο ΟΑΣΑ αναγνωρίζει τη σημασία της συμμετοχής των πολιτών στη διαμόρφωση των πολιτικών για τις δημόσιες συγκοινωνίες. Για αυτό το λόγο, πραγματοποιούνται έρευνες και διαβουλεύσεις με τους πολίτες, ώστε να κατανοηθούν καλύτερα οι ανάγκες τους και να διαμορφωθούν. [153]

Συμπέρασμα

Η εισαγωγή των ηλεκτρικών λεωφορείων στην Αθήνα αποτελεί ένα σημαντικό βήμα προς ένα πιο βιώσιμο και φιλικό προς το περιβάλλον μέλλον. Ο ΟΑΣΑ με τις πρωτοβουλίες της, συμβάλλει στην αναβάθμιση των αστικών συγκοινωνιών και στην αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών προκλήσεων της πόλης.

Το μέλλον των δημόσιων συγκοινωνιών στην Αθήνα είναι πολλά υποσχόμενο. Με τη δέσμευση της ΟΑΣΑ για την υλοποίηση ενός σύγχρονου και βιώσιμου συστήματος μεταφοράς, οι πολίτες θα μπορούν να απολαμβάνουν πιο ποιοτικές, οικονομικές και φιλικές προς το περιβάλλον μετακινήσεις. [153]

Κεφάλαιο 8- Συμπεράσματα-Προκλήσεις–Μελλοντική έρευνα

Προκλήσεις και περιορισμοί

Η εφαρμογή ενός ολοκληρωμένου ηλεκτρικού συστήματος συγκοινωνίας με λεωφορεία περιλαμβάνει πολλές προκλήσεις. Η πρώτη πρόκληση είναι το ζήτημα του ενεργειακού εφοδιασμού διότι τα ηλεκτρικά λεωφορεία απαιτούν υψηλή ενεργειακή ζήτηση, ειδικά στις μεγάλες πόλεις. Όλες οι πόλεις δεν έχουν το ίδιο όφελος από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι, η ικανοποίηση της ενεργειακής ζήτησης ενός πλήρως ηλεκτρικού συστήματος μεταφοράς με λεωφορεία θα είναι μια μεγάλη πρόκληση όσον αφορά το πεδίο της ενέργειας. Μια άλλη πρόκληση είναι η υψηλή τιμή αγοράς των πλήρως ηλεκτρικών λεωφορείων σε σύγκριση με τα συμβατικά ή τα υβριδικά. Οι δήμοι και οι κυβερνήσεις των πόλεων θα πρέπει να είναι πεπεισμένοι για την αποτελεσματικότητα της εισαγωγής ηλεκτρικών λεωφορείων ώστε να στραφούν σε ένα τόσο υψηλό κόστους σύστημα συγκοινωνίας, και αυτός είναι ο λόγος που πολλές πόλεις δεν έχουν αποφασίσει να χρησιμοποιήσουν ηλεκτρικά λεωφορεία. Τελευταίο αλλά όχι ασήμαντο είναι ο περιορισμός της εμβέλειας των ΕΒ, και οι ερευνητές προσπαθούν να το λύσουν αυτό το πρόβλημα προτείνοντας διαφορετικές τεχνολογίες φόρτισης ή δημιουργώντας λεωφορεία που θα έχουν την δυνατότητα να καλύπτουν μεγαλύτερες αποστάσεις. Ωστόσο, τέτοιες λύσεις είναι δαπανηρές για τις εταιρείες που παράγουν συγκοινωνιακό έργο. Κατά συνέπεια, εξακολουθεί να υπάρχει τεράστιος όγκος έρευνας που πρέπει να γίνει για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα πιο βιώσιμα.

Μια άλλη ομάδα προκλήσεων είναι οι προκλήσεις επιχειρησιακού σχεδιασμού. Αυτή μπορεί να συσχετιστεί με την διάρκεια επαναφόρτισης, την υποβάθμιση της μπαταρίας και τη χαμηλή απόδοση των φορτιστών παντογράφου. Η διαδικασία ανεφοδιασμού των συμβατικών λεωφορείων δεν διαρκεί πολύ και υπάρχει η δυνατότητα να γίνεται κάθε ώρα. Η διαδικασία επαναφόρτισης του ηλεκτρικού λεωφορείου είναι μια μακροχρόνια διαδικασία που πρέπει να γίνεται σε ώρες εκτός αιχμής για να εξισορροπηθεί το φορτίο στο δίκτυο διανομής. Οι μπαταρίες ΕΒ θα υποβαθμίζονται αργά με την πάροδο του χρόνου, ανάλογα με τη συχνότητα και τον τύπο φόρτισης που χρησιμοποιείται. Μια μπαταρία ηλεκτρικού λεωφορείου θεωρείται ότι έχει φτάσει στο τέλος της ωφέλιμης ζωής της όταν φτάσει στο 80% της

χωρητικότητα της ή χάνει το 5% της φόρτισής της ανά ώρα μη χρήσης Σε γενικές γραμμές, η περίοδος εγγύησης των μπαταριών EB είναι 8–12 ετών. Αυτή η διάρκεια ζωής είναι πολύ μικρότερη από αυτή των συμβατικών λεωφορείων. Οι χαμηλές θερμοκρασίες θα επηρεάσουν τη φόρτιση της μπαταρίας κυρίως λόγω της χρήσης θέρμανσης, η οποία επηρεάζει σημαντικά την ποσότητα φόρτισης που χρησιμοποιείται, μειώνοντας την εμβέλεια έως και 41%. Επομένως, η χωρητικότητά φόρτισης θα πρέπει να διατηρείται πάνω από 20% για να μειωθεί ο κίνδυνος ακινητοποίησης το χειμώνα.

Η μετάβαση από ένα συμβατικό σύστημα λεωφορείων σε ένα πλήρως ηλεκτρικό θέτει σημαντικές προκλήσεις για τις πόλεις που δεν διαθέτουν την απαιτούμενη υποδομή. Αντίθετα, για μικρότερες πόλεις που στοχεύουν να βελτιώσουν η να δημιουργήσουν ένα νέο σύστημα, μπορεί να είναι εφικτή η συνεργασία μεταξύ των φορέων εκμετάλλευσης αμαξοστασίων και παροχών ενέργειας ,λαμβάνοντας πάντα υπόψη τον αντίκτυπο των φορτίων φορτιστή στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπρόσθετα, ο αντίκτυπος της εγκατάστασης φορτιστών παντογράφου αποτελεί πρόκληση για τις εταιρείες παροχής συγκοινωνιακού έργου, και τους πολεοδόμους. Η ασφάλεια είναι ένα άλλο δύσκολο ζήτημα με τη χρήση φορτιστών υψηλής τάσης για Παρόλο που δεν υπάρχουν τεκμηριωμένοι τραυματισμοί ή θάνατοι που συνδέονται με την υποδομή φόρτισης, είναι σημαντικό αυτά τα συστήματα να υποβάλλονται σε τακτικές επιθεωρήσεις και επιθεωρήσεις για την μείωση των πιθανών κινδύνων.

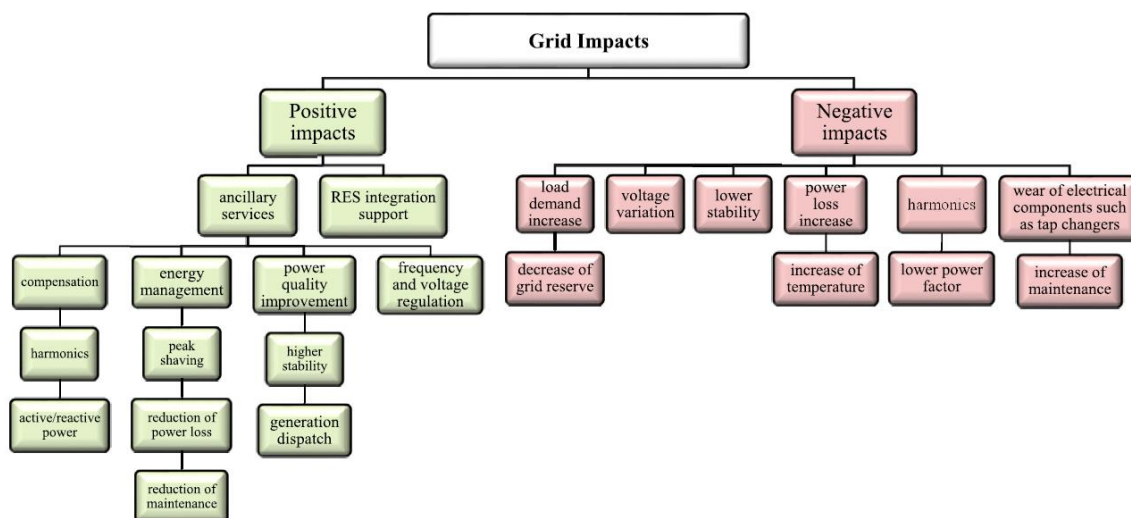
Ένα σημαντικό εμπόδιο για την ανάπτυξη των ηλεκτρικών λεωφορείων στις αστικές περιοχές παγκοσμίως είναι η περιορισμένη ικανότητά παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η ζήτηση ενός εξολοκλήρου ηλεκτρικού συστήματος διαμετακόμισης μπορεί να υπερβαίνει αυτό που μπορούν να προσφέρουν οι γεννήτριες ενέργειας και η μετάβαση από μια υποδομή που εξαρτάται από το πετρέλαιο σε μια υποδομή που βασίζεται στην ηλεκτρική ενέργεια θα απαιτήσει χρόνο. Κατά συνέπεια πολλές πόλεις επιλέγουν μια σταδιακή μετάβαση από τα συμβατικά λεωφορεία στα ηλεκτρικά. Συχνά οι εταιρίες παροχής συγκοινωνιακού έργου επέλεξαν να εφαρμόσουν αρχικά υβριδικά λεωφορεία ,με απώτερο σκοπό να τα αντικαταστήσουν με πλήρως ηλεκτρικά με την πάροδο του χρόνου.

Η ταχεία αύξηση της χρήσης EB θα επιβάλει σημαντικές απαιτήσεις στο ηλεκτρικό δίκτυο, επηρεάζοντας τη λειτουργία των επιχειρήσεων κοινής ωφελείας και των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Αν και είναι εφικτή η επέκταση της χωρητικότητας ,αυτή η διαδικασία θα απαιτούσε σημαντικό χρόνο και οικονομικούς πόρους για να ολοκληρωθεί. Ως εκ τούτου, η δημιουργία καινοτόμων στρατηγικών για τη μείωση της έντονης καταπόνησης του δικτύου με τη φόρτιση του στόλου είναι ένα κρίσιμο πρόβλημα [156] [157] [158]. Οι τεχνικές έξυπνης συντονισμένης φόρτισης θα πρέπει να θεωρούνται ως ένας από τους πιο σημαντικούς στόχους που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Επιπλέον, οι εταιρείες δημόσιας συγκοινωνίας πρέπει να αξιολογήσουν τον τρόπο αλληλεπίδρασης του δικτύου και των συστημάτων λεωφορείων. Μια άλλη ελκυστική περιοχή μελέτης είναι το θέμα των αλληλεπιδράσεων από το λεωφορείο στο δίκτυο (B2G) [159]. Για παράδειγμα, οι εταιρείες των δημόσιων μεταφορών μπορούν να πουλήσουν ενέργεια πίσω στο

δίκτυο ,εκμεταλλεύομενοι τις αλλαγές στην τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας εντός της ημέρας.

Η ενοποίηση των υποδομών φόρτισης E-bus επιφέρει θετικές και αρνητικές επιπτώσεις στο ηλεκτρικό δίκτυο. [160]

Η εικόνα 62 παρέχει μια περίληψη των μειονεκτημάτων και των πλεονεκτημάτων στην φόρτιση e-bus και την επίπτωση στο ηλεκτρικό δίκτυο.



Εικόνα 60 Θετικές και αρνητικές επιπτώσεις από την εισαγωγή φορτιστών E-bus στα τρέχοντα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας.

ΘΕΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Τα ηλεκτρικά λεωφορεία σε λειτουργία [161] B2G μπορούν να προσφέρουν επικουρικά υπηρεσίες στο δίκτυο, ενίσχυση της σταθερότητας, ρύθμιση συχνότητας, και υποστήριξη τάσης. Επιπρόσθετα μπαταρίες ηλεκτρικών λεωφορείων, όταν συνδυάζονται με αμφίδρομους φορτιστές, έχουν τη δυνατότητα παροχής ενεργής και άεργης ισχύος.

Στρατηγική ανάπτυξη υποδομής φόρτισης ηλεκτρονικών λεωφορείων, σε συνδυασμό με λύσεις διαχείρισης δικτύου, μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της συνολικής απώλειας ισχύος και των απαιτήσεων για συντήρηση.

Τα ηλεκτρικά λεωφορεία, όταν ενσωματωθούν σε συστήματα έξυπνου δικτύου, μπορούν διευκολύνουν την αποτελεσματική αποστολή παραγωγής ενέργειας, επιτρέποντας καλύτερη ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) στο δίκτυο.

Αρκετά από τα παραπάνω πλεονεκτήματα φανερώνουν την δυνατότητα των ηλεκτρικών λεωφορείων να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στις αστικές συγκοινωνίες αλλά και συμμετέχουν ενεργά στην ενίσχυση της συνολικής ανθεκτικότητας και βιωσιμότητας των ηλεκτρικών δικτύων [162] [163] [164] [165]

2) ΑΡΝΗΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Η εισαγωγή σημαντικού αριθμού ηλεκτρονικών λεωφορείων στο δίκτυο μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές αυξήσεις στη ζήτηση φορτίου, δυνητικά καταπονώντας τα τοπικά δίκτυα διανομής.

Η φόρτιση των ηλεκτρονικών λεωφορείων μπορεί να εξαντλήσει το απόθεμα της χωρητικότητας του δικτύου αφήνοντας λιγότερη ευελιξία για την αντιμετώπιση περιπτώσεων απρόβλεπτης ζήτησης.

Η υψηλή ζήτηση που σχετίζεται με την ταχεία φόρτιση μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένες απώλειες ισχύος στα δίκτυα διανομής, μπορεί να οδηγήσει σε υψηλές θερμοκρασίες και να μειωθεί διάρκεια ζωής του εξοπλισμού, όπως μετασχηματιστές, γραμμές μεταφοράς και προστατευτικές συσκευές διανομής ως αποτέλεσμα της υπερβολικής θερμότητας που προκαλείται από υπερφόρτωση.

Μεταξύ των μεθόδων φόρτισης, η φόρτιση κατά την διάρκεια της διαδρομής και η εν κίνηση φόρτιση, έχει μεγαλύτερη επιρροή στο ηλεκτρικό δίκτυο σε σύγκριση με την φόρτιση στο αμαξοστάσιο. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι το βασικό φορτίο του δικτύου είναι σημαντικά χαμηλότερο τη νύχτα και η συνολική ισχύς που απαιτείται για τη φόρτιση της μπαταρίας είναι χαμηλότερη όταν οι μπαταρίες φορτίζονται συνεχώς. Η φόρτιση στο αμαξοστάσιο είναι πιο πιθανό να βρίσκεται χωροταξικά κοντά σε ένα κεντρικό κόμβο παροχής, το οποίο οδηγεί σε λιγότερες απώλειες και σταθερότερη τάση [165].

Οι παραπάνω αρνητικές επιπτώσεις μας επισημάνουν την σημασία στον αρχικό σχεδιασμό, στις στρατηγικές διαχείρισης ηλεκτρικού δικτύου, στην υιοθέτηση προηγμένων τεχνολογιών για την αντιμετώπιση των προκλήσεων που συνδέονται με την ενσωμάτωση των ηλεκτρονικών λεωφορείων στα αστικά δίκτυα μεταφορών.

Μελλοντική έρευνα

Η ανάγκη για μελλοντική έρευνα θα πρέπει να επικεντρωθεί σε πεδία όπως

ο προγραμματισμός και τα χρονοδιάγραμμα των ηλεκτρικών λεωφορείων, σχεδιασμός τοποθεσίας υποδομής ταχείας φόρτισης και επιπτώσεις στο ηλεκτρικό δίκτυο. [155]

Ο προγραμματισμός φόρτισης των ηλεκτρικών λεωφορείων θα πρέπει να διερευνηθεί για διαφορετικούς τύπους λεωφορείων με τεχνολογία φόρτισης μικτού τύπου, όπως η

φόρτιση στο αμαξοστάσιο και η γρήγορη-ευκαιριακή φόρτιση. Επιπρόσθετα, για να τροποποιηθεί δυναμικά το καθημερινό πρόγραμμα φόρτισης, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η παρακολούθηση των πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο των ΕΒ, όπως η κατάσταση φόρτισης (SoC-state of charge) των μπαταριών, οι συνθήκες κυκλοφορίας, η επιβατική κίνηση της λεωφορειακής γραμμής κατά τη διάρκεια της ημέρας, η καθυστέρηση των λεωφορείων ,απαιτείται περαιτέρω έρευνα.

Η βελτιστοποίηση τοποθεσίας της υποδομής φόρτισης και η διαχείριση φόρτισης θεωρούνταν συχνά ως μεμονωμένα ερευνητικά θέματα. Τα BEB συνήθως φορτίζονται μόλις φτάσουν στο σταθμό φόρτισης και επομένως δεν λαμβάνονται υπόψη σε καμία διαχείριση φόρτισης. Η ανάγκη να υπάρχει καλύτερη εικόνα της τεχνολογίας φόρτισης που ταιριάζει καλύτερα στις ανάγκες μιας συγκεκριμένης πόλης και του τρόπου λειτουργίας ενός μεγάλου στόλου BEB σε αυτήν, είναι θέματα που πρέπει να συνδυαστούν σε ένα μεγάλο πρόβλημα προγραμματισμού, καθώς μια λογική στρατηγική φόρτισης μπορεί να βελτιώσει την προγράμματα προγραμματισμού λεωφορείων και τη θέση των φορτιστών. Επιπρόσθετα, θα πρέπει να συμπεριληφθούν πολλαπλοί τύποι οχημάτων, πολλαπλές ιδέες φόρτισης, πολλαπλές στρατηγικές διαχείρισης φόρτισης, πολλαπλά αμαξοστάσια, διασύνδεση BEB , κυκλοφοριακές και καιρικές συνθήκες για να αποκτηθεί ένα βελτιστοποιημένο σχέδιο λειτουργίας για ολόκληρο τον στόλο BEB. Αυτό είναι κάτι που θα πρέπει να απασχολήσει σε μελλοντικές έρευνες. Όλη αυτή η γκάμα των θεμάτων προσθέτει πολυπλοκότητα και δυσκολία στη διαδικασία βελτιστοποίησης, γεγονός που καθιστά πιο δύσκολη την εύρεση της βέλτιστης λύσης. Επομένως, οι μεταερευνητικές τεχνικές, όπως έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί στο [167] [168] [169], θα παίξουν σημαντικό ρόλο στην επίλυση προβλημάτων προγραμματισμού λεωφορείων. [109]

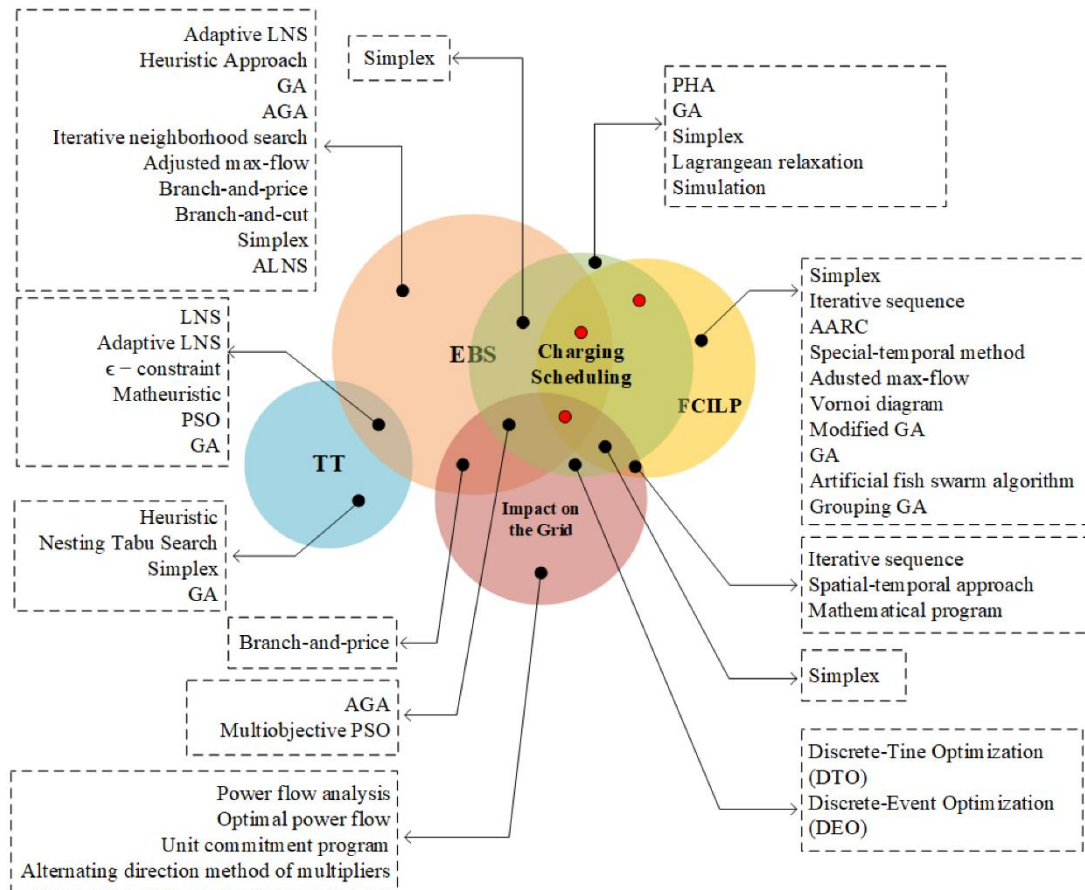
Σε πραγματικές -καθημερινές συνθήκες, μπορεί κάποιες απρόβλεπτες καταστάσεις όπως καιρικές συνθήκες, συνθήκες οδήγησης, μπορεί να επηρεάσουν την ποσότητα ενέργειας που χρησιμοποιούν τα BEB [170]. Επιπλέον, η εκτίμηση της κατανάλωσης ενέργειας των ΕΒ περιλαμβάνει μια απρόβλεπτη ανακρίβεια λόγω της αβεβαιότητας σχετικά με τον όγκο των επιβατών. Αυτό θα επηρεάσει τη διαδικασία προγραμματισμού των ΕΒ και τη διαδικασία επαναφόρτισής τους. Επομένως, η αβέβαιη κατανάλωση ενέργειας των ΕΒ ,απαιτεί τα πιο ακριβή μοντέλα πρόβλεψης κατανάλωσης ενέργειας για να υπάρξει βελτίωση στον προγραμματισμό των λεωφορείων και του προγραμματισμού φόρτισής τους. Η προσθήκη περισσότερων στρατηγικών φόρτισης και επιλογών μερικής φόρτισης μπορεί να ενισχύσει περαιτέρω την αποτελεσματικότητα λειτουργίας του συστήματος BEB. Ως αποτέλεσμα, μελλοντικές μελέτες θα μπορούσαν να διερευνήσουν μια υβριδική στρατηγική που συνδυάζει διάφορες τεχνικές φόρτισης και να εξετάσουν περαιτέρω τη δυνατότητα μερικής φόρτισης στο κεντρικό τερματικό σε φορτιστές μικτού τύπου.

Η διερεύνηση των επιπτώσεων του σχεδιασμού θέσης του φορτιστή για την επέκταση ή την τροποποίηση του σχεδιασμού του δικτύου θα πρέπει να αποτελεί πεδίο διερεύνησής. Σαν συμπέρασμα, οι επιπτώσεις των τοποθεσιών υποδομής ταχείας -ευκαιριακής φόρτισης θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη από την άποψη του σχεδιασμού του δικτύου λεωφορείων. Επιπρόσθετα, λειτουργικά χαρακτηριστικά όπως οι συνθήκες κυκλοφορίας, η κατανάλωση ενέργειας, τα χρονοδιαγράμματα

φόρτισης και η στρατηγική τιμολόγησης χρόνου χρήσης θα μπορούσαν να ληφθούν υπόψη σε μελλοντική έρευνα [171]

Η εικόνα 63 μας φανερώνει διαφορετικές προσεγγίσεις λύσεων για την αντιμετώπιση του προγραμματισμού ηλεκτρικών λεωφορείων, του χρονοδιαγράμματος, του προγραμματισμού φόρτισης, του σχεδιασμού τοποθεσίας της υποδομής ταχείας φόρτισης και των επιπτώσεών τους στο δίκτυο.

Οι κόκκινες κουκκίδες δείχνουν ότι η ενοποίηση αυτών των ερευνητικών περιοχών δεν έχει μελετηθεί ακόμη. Σημειώστε ότι αρκετές άλλες δυνατότητες για την ενσωμάτωση αυτών των προβλημάτων δεν φαίνονται σε αυτό το σχήμα και δεν έχουν διερευνηθεί. Ο κύριος σκοπός αυτού του σχήματος είναι να δείξει τις μεθόδους για την επίλυση της ολοκλήρωσης τέτοιων προβλημάτων μεταξύ τους. Όπως παρουσιάζεται στο σχήμα, μερικές εργασίες εξέτασαν τέτοια προβλήματα βελτιστοποίησης με ακριβείς προσεγγίσεις λύσεων. Έτσι, η εστίαση στην ανάπτυξη ακριβών μεθόδων για την επίλυση αυτών των προβλημάτων θα ήταν ένας άλλος ερευνητικός στόχος για μελλοντικές μελέτες. Ένα άλλο σημείο αυτού του σχήματος είναι να δείξει την πιθανή μελλοντική κατεύθυνση για έρευνα σε αυτό το πεδίο. Για γμα, ο προγραμματισμός ηλεκτρικών λεωφορείων, το FCILP (Fast charging) και οι επιπτώσεις στο δίκτυο δεν έχουν ακόμη διερευνηθεί. Αυτό το πεδίο θα μπορούσε να είναι ένας ενδιαφέρον τομέας έρευνας στο μέλλον.



Εικόνα 61 Ενσωμάτωση προβλημάτων βελτιστοποίησης EB και δυνατότητες μελλοντικών μελετών [155]

Κάποιες επιπλέον προκλήσεις για μελλοντική έρευνα θα μπορούσαν να αφορούν:
φαρμογή έξυπνης φόρτισης

Η εφαρμογή σε πραγματικό χρόνο της έξυπνης φόρτισης σε αμαξοστάσια δεν είναι εύκολη υπόθεση. Απαιτεί ένα αποτελεσματικό κεντρικό σύστημα πληροφορικής και ελέγχου που μπορεί να επικοινωνεί με τους διάφορους ενδιαφερόμενους και την υποδομή φόρτισης. Το τελευταίο επιτυγχάνεται με το πρωτόκολλο ανοιχτού σημείου φόρτισης (OCCP) [172]. Το σύστημα πληροφορικής συγκεντρώνει όλες τις κρίσιμες πληροφορίες, όπως τις απαιτήσεις φόρτισης κάθε BEB (χρόνος άφιξης και αναχώρησης, απαιτούμενο εύρος κ.λπ.), πληροφορίες σχετικά με το δίκτυο (διαθέσιμη ισχύς, περιορισμοί ρεύματος, ακριβείς προβλέψεις φορτίου και παραγωγής ΑΠΕ κ.λπ.) και το καθεστώς τιμολόγησης ηλεκτρικής ενέργειας. Στη συνέχεια, οι πληροφορίες που συγκεντρώθηκαν χρησιμοποιούνται για τη βελτιστοποίηση ενός προγράμματος φόρτισης πολλαπλών περιόδων. Οι τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης (AI) [173], θα διαδραματίσουν ουσιαστικό ρόλο στη δημιουργία ενός βελτιστοποιημένου προγράμματος σε εύλογο χρόνο υπολογισμού. Επιπλέον, υπάρχει μια αναπόφευκτη τάση για την υλοποίηση ψηφιακών

συστημάτων, που βασίζονται στο cloud, για τα οποία οι στρατηγικές βελτιστοποίησης είναι OnLine με μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο.

όρτιση Smart Green Depot

Για να μειωθεί ακόμα περισσότερο ο αντίκτυπος της φόρτισης των BEB στο δίκτυο και το ενεργειακό κόστος για τον φορέα εκμετάλλευσης λεωφορείων, RES εγκατασταθούν στις εγκαταστάσεις του αμαξοστασίου λεωφορείων και να σχηματίσουν ένα μικροδίκτυο μαζί με την αρθρωτή υποδομή φόρτισης. Έτσι, η ενέργεια μπορεί να παραχθεί, να αποθηκευτεί και να καταναλωθεί τοπικά χωρίς την ανάγκη του δικτύου. Ωστόσο, για να ελέγχεται σωστά μια τέτοια αποθήκη μικροδικτύου και να παρέχεται βέλτιστη ροή ισχύος μεταξύ των διαφορετικών εξαρτημάτων, απαιτείται ένα έξυπνο σύστημα διαχείρισης ενέργειας (EMS). Αυτό έχει ήδη μελετηθεί στο [174] [175], αλλά πρόσθετες ερευνητικές προσπάθειες σε αυτόν τον τομέα μπορούν να ενθαρρύνουν τους φορείς εκμετάλλευσης λεωφορείων να εφαρμόσουν έξυπνη πράσινη χρέωση αποθήκης.

ωρίδες αποκλειστικής διέλευσης ηλεκτρικού λεωφορείου (e-BRT) [176]

Ένας τρόπος για να μειωθεί η πιθανότητα καθυστερήσεων για τα BEB είναι με την εισαγωγή συστημάτων ταχείας διέλευσης ηλεκτρικών λεωφορείων (e-BRT) στις πόλεις. Ένα (e-)BRT, που ονομάζεται επίσης λεωφορειακός δρόμος ή διέλευση, έχει οριστεί ως μια ταχεία μορφή μεταφοράς που συνδυάζει την ποιότητα της σιδηροδρομικής διέλευσης με την ευελιξία των λεωφορείων [177] [178] [179], Συνδυάζει σταθμούς, οχήματα, υπηρεσίες, διαδρομές τρεξίματος και στοιχεία έξυπνου συστήματος μεταφορών (ITS) σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα χαμηλού κόστους. Το (e-)BRT παρέχει γρήγορες, άνετες και οικονομικά αποδοτικές υπηρεσίες σε χωρητικότητα σε επίπεδο μετρό. Περιέχει χαρακτηριστικά από το τραμ ή το μετρό, είναι πιο αξιόπιστο, βολικό και ταχύτερο από τα κανονικά δρομολόγια λεωφορείων και δεν υποφέρει από τις διάφορες αιτίες καθυστερήσεων που μαστίζουν τα τακτικά δρομολόγια λεωφορείων. Έτσι, το (e-)BRT εκπληρώνει τη θέση μεταξύ των συμβατικών συστημάτων μεταφοράς λεωφορείων και των αστικών σιδηροδρομικών συστημάτων όπως το μετρό και στοχεύει στη δημιουργία ενός υψηλής ποιότητας δικτύου ταχείας μεταφοράς βασισμένο σε λεωφορεία με χωρητικότητα διέλευσης επιβατών σε επίπεδο μετρό, αλλά όχι μόνο οικονομικά αποδοτικό, αλλά και φιλικό προς το περιβάλλον [180]. Ένα τυπικό σύστημα e-BRT έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: αποκλειστικό δικαίωμα διέλευσης, ευθυγράμμιση λεωφορείων, επιβίβαση σε επίπεδο πλατφόρμας. Ωστόσο, για την εφαρμογή ενός e-BRT απαιτούνται σημαντικές άλλες επενδύσεις εκτός από την υποδομή φόρτισης. Για να γίνουν τα συστήματα e-BRT πιο αποδεκτά από το κοινό, πρέπει να είναι ασφαλή και φιλικά προς τον χρήστη, πράσινα και αποτελεσματικά, οικονομικά και να εφαρμόζουν την τελευταία λέξη της τεχνολογίας στις μεταφορές, συμπεριλαμβανομένων αυτοματοποιημένων ή χωρίς οδηγό ηλεκτρονικών οχημάτων, και γρήγορη μεταφορά ενέργειας κατά τη φόρτιση. Από την άλλη πλευρά, για να είναι εφικτό ένα σύστημα e-BRT από την άποψη του ηλεκτρικού δικτύου, η τάση θα

πρέπει να είναι προς την ανάπτυξη δυναμικής ασύρματης φόρτισης. Αυτή η υποδομή φόρτισης έχει το πλεονέκτημα ότι απαιτεί φόρτιση πολύ χαμηλής ταχύτητας, η οποία είναι απαραίτητη μόνο για την παροχή της ενέργειας που απαιτείται από τα συστήματα έλξης και τα βοηθητικά συστήματα μέσα στο λεωφορείο. Έτσι, πολλαπλοί φορτιστές μπορούν να είναι ενεργοί ταυτόχρονα χωρίς αδικαιολόγητη υπερφόρτωση της χωρητικότητας του δικτύου. Επιπρόσθετα όταν οι διάδρομοι BRT υπάρχουν ήδη στις πόλεις, η δυναμική ασύρματη φόρτιση φαίνεται επίσης να είναι η πιο ανταγωνιστική λύση φόρτισης.

Συμπεράσματα

Σε αυτή τη διπλωματική εργασία, πραγματοποιήθηκε μια διερεύνηση διαφόρων τύπων τεχνολογιών ηλεκτρικών λεωφορείων όπως υβριδικά, κυψέλες καυσίμου και μπαταρία. Η διαδικασία μετασχηματισμού από τα σημερινά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία στα ηλεκτρικά λεωφορεία προϋποθέτει έναν ευρύτερο σχεδιασμό που θα αφορά διαφορετικές στρατηγικές φόρτισης, πολλές τεχνολογίες φόρτισης, τεχνολογίες κινητήρων και διαφορετικοί τύποι μπαταριών

Η επισκόπηση πραγματοποιήθηκε με ανασκόπηση βιβλιογραφικής έρευνας. Μέσω μιας ολοκληρωμένης εξέτασης της υπάρχουσας βιβλιογραφίας. Πραγματοποιήθηκε ανάλυση των λειτουργικών χαρακτηριστικών των ηλεκτρικών λεωφορείων, η οποία περιλαμβάνει οικονομικές, περιβαλλοντικές, λειτουργικές πτυχές ενεργειακής απόδοσης. Το ηλεκτρικό λεωφορείο μπαταρίας με ανανεώσιμη / καθαρή πηγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι σίγουρα η καλύτερη λύση σε ότι αφορά του ρύπου. Ωστόσο, όσον αφορά το προφίλ συμβατικής παραγωγής ενέργειας σε διάφορες χώρες, τα περιβαλλοντικά οφέλη του ηλεκτρικού λεωφορείου με μπαταρία εξαρτώνται από την ποσότητα των αερίων του θερμοκηπίου που εκπέμπονται κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα ηλεκτρικά οχήματα είναι ιδιαίτερα προσαρμοσμένα στο περιβάλλον και μπορούν να αποτελέσουν μια καλή εναλλακτική λύση στα οχήματα μεταφοράς ντίζελ για τη μείωση των περιβαλλοντικών ρύπων. Το ποσό της μείωσης της ρύπανσης ποικίλλει ανάλογα με την πηγή ηλεκτρικής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα κυμαίνεται για την ηλιακή πηγή 80 έως 90 τοις εκατό, το φυσικό αέριο 25 έως 50 τοις εκατό και τον άνθρακα 10 τοις εκατό. Η μέτρηση των επιπέδων ηχορύπανσης των ηλεκτρικών και πετρελαιοκίνητων λεωφορείων στις αστικές περιοχές σταθερής ταχύτητας είναι 5 και 9 dB σε λογαριθμική κλίμακα αντίστοιχα. Εκτός από αυτά τα πλεονεκτήματα, το κόστος ζωής (life time cost) (12 χρόνια) ενός ηλεκτρικού λεωφορείου είναι περίπου 12,5% μικρότερο από το κόστος ενός λεωφορείου ντίζελ. Επομένως, μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα ότι τα ηλεκτρικά λεωφορεία θα έχουν καλύτερες μακροπρόθεσμες αποδόσεις.

Η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών μπαταριών για ηλεκτρικά οχήματα οδηγεί σε καινοτομίες στην αποθήκευση ενέργειας, η οποία θα βρίσκει εφαρμογή πέρα από τον τομέα των μεταφορών. Η πρόοδος στην τεχνολογία των μπαταριών θα μπορούσε να οδηγήσει στη δημιουργία πιο αποδοτικών και οικονομικών λύσεων αποθήκευσης ενέργειας για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια.

Επιπλέον, η υιοθέτηση ηλεκτρικών οχημάτων θα επηρεάσει επίσης τη βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου καθώς μειώνει τη ζήτηση για ορυκτά καύσιμα που χρησιμοποιούνται στις μεταφορές. Αυτή η στροφή προς τα ηλεκτρικά οχήματα θα δημιουργήσει νέες προκλήσεις και ευκαιρίες στον κλάδο της ενέργειας, απαιτώντας μια ολοκληρωμένη κατανόηση της σχέσης μεταξύ των ηλεκτρικών οχημάτων και των σχετικών με την ενέργεια τομέων.

Σημαντικό να αναφερθεί η πρόοδος που έχει σημειωθεί στον τομέα της τεχνολογίας αυτόνομων οχημάτων (AV). Η πλήρως αυτόνομη οδήγηση αναμένεται να επιφέρει βελτιώσεις στην ασφάλεια, τη χωρητικότητα του δρόμου, την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές [182] [183] [184]. Τα αυτόνομα λεωφορεία για δημόσιες μεταφορές επιβατών χρησιμοποιούν συνεχώς εξελισσόμενη τεχνολογία που σίγουρα χρειάζεται χρόνια δοκιμών για να αντικαταστήσει τα δημόσια μέσα μαζικής μεταφοράς μεγάλης κλίμακας χρησιμοποιώντας παραδοσιακά λεωφορεία. Ωστόσο, η αποδοχή από το επιβατικό κοινό και το νομικό πλαίσιο οδήγησης χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης.

Βιβλιογραφία

- D. Fagnant και K. P. a. n. f. a. v. O. b. a. p. r. T. R. P. A. P. P. 2. 7. 1. [S. J. Kockelman, «Preparing a nation for autonomous vehicles: Opportunities, barriers and policy recommendations.,» pp. 167-181, 2015.
- D. J. F. a, «Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations,» *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 19 July 2013, Revised 2 April 2015, Accepted 5 April 2015, Available online 15 May 2015, Version of Record 15 May 2015..
- K. K. D.J., «The travel and environmental implications of shared autonomous vehicles, using agent-based model scenarios,» *ResearchGate*, p. 1–13, January 2019.
- K. K. S. M. K.M. και Kara M. Kockelman, Ph.D., P.E., «Benefits and Costs of Ride-Sharing in Shared Automated Vehicles across Austin, Texas: Opportunities for Congestion Pricing.,» *ResearchGate*, p. 548–556, January 2019.
- J. A. Manzollia, João Pedro Trovão και Carlos Henggeler Antunes , «A review of electric bus vehicles research topics – Methods and trends,» *science Direct*, τόμ. Volume 159, p. 159, May 2022.
- E. A. Nanaki*, «Climate change mitigation and deployment of electric vehicles in urban areas (Renewable Energy),» *elsevier*, τόμ. 99, pp. 1153-1160, August 2016.
- *. H. T. a. Martin Densing a και Georg Bäuml , «Conditions for the successful deployment of electric vehicles e A global energy(Energy),» *ELSEVIER*, p. 137, 2012.
- N. Rietmann, Beatrice Hügler και , «Forecasting the trajectory of electric vehicle sales and the consequences for worldwide CO2 emissions,» *ELSEVIER*, τόμ. Volume 261, 10 July 2020.
- J. A. M. a, João Pedro Trovão και Carlos Henggeler Antunes, «A review of electric bus vehicles research topics – Methods and trends,» *ELSEVIER*, τόμ. Volume 159, May 2022,.
- B. v. d. Zwaan και F. j. Ilkka Keppo, «How to decarbonize the transport sector?Energy Policy,» *ELSEVIER*, τόμ. Volume 61, October 2013.
- M. 2. a. R. Brigitte Wolking 1, «Evaluating Health Co-Benefits of Climate Change Mitigation in Urban Mobility,» *International Journal of*

Environmental Research and Public Health, τόμ. Volume 15 , αρ. Issue

S. L. Hesham Alghodhaifi, «Autonomous Vehicle Evaluation: A Comprehensive Survey on Modeling and Simulation Approaches,» *Research Gate*, November 2021.

F. Green, «The logic of fossil fuel bans,» *nature climate change*, 14 May 2018.

J. G. I. Burch, «Survey of global activity to phase out internal combustion engine vehicles,» *Center of Climate Protection*, τόμ. vol. 14, February (2018).

M. J. N. Haneen Khreis, «Car free cities: Pathway to healthy urban living,» *Environment International* , September 2016.

T. Stojanovski, «Urban Form and Mobility Choices: Informing about Sustainable Travel Alternatives, Carbon Emissions and Energy Use from Transportation in Swedish Neighbourhoods,» *Stockholm, Sweden*, 21 January 2019.

I. P. F. T. H. A. Jônatas Augusto Manzol, «Scenario-Based Multi-criteria Decision Analysis for Rapid Transit Systems Implementation in an Urban Context,» *Research Gate*, December 2020.

H. K. Michael Glotz-Richter, «Electrification of Public Transport in Cities (Horizon 2020 ELIPTIC Project),» 2016, .

F. M. Mario Pagliaro, «Electric Bus: A Critical Overview on the Dawn of Its Widespread Uptake,» March 2019.

N. C. a. B. O. V. C. Iclodean, «Autonomous Shuttle Bus for Public Transportation,» *Department of Automotive Engineering and Transports, Technical University of ClujNapoca*, 2020.

K. M. K. 1. a. M. M. N. Quarles, ««Costs and Benefits of Electrifying and Automating,»» 2020.

V. C. S. K. M. a, «Autonomous buses: Intentions to use, passenger,» 2021.

A. C. Susan A. Shaheen, «Is It Time for a Public Transit Renaissance?: Navigating Travel Behavior, Technology, and Business Model Shifts in a Brave New World,» *Journal of Public Transportation* , California, Berkeley, 2018.

F. J. M. T. G. ., Payam Nejat, «A global review of energy consumption, CO2 emissions and policy in the residential sector (with an overview of the top ten CO2 emitting countries),» *Renewable and Sustainable Energy Reviews(ELSEVIER)*, 2015.

L. Mathieu, «Marketplace, economic, technology, environmental and policy,» *Transport & Environment*, November 2018.

A. H. A. Rolf Hagman, «Emissions from Euro 6/VI vehicles. Test programme phase 2.,» *Institute of Transport Economics*, 2013.

«CIVITAS Forum Conference 2017,» 2017. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://civitas.eu/forum2017>.

S. H. L. E. Kayhan Alamatsaz, «Electric Bus Scheduling and Timetabling, Fast Charging Infrastructure Planning, and Their Impact on the Grid: A Review,» 2022.

E. A. F. Observatory., «European Alternative Fuels Observatory,» 17 4 2022. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://alternative-fuels->

Electric Buses Arrive on Time—*Transport & Environment.*, «Electric Buses Arrive on Time—*Transport & Environment.*,» 17 4 2022. [Ηλεκτρονικό]. Available:

«<https://www.bozankaya.com.tr/en/home/>,» [Ηλεκτρονικό].

oach,» [Ηλεκτρονικό].

«<https://chariot-electricbus.com/products/>,» [Ηλεκτρονικό].

«<https://www.skodagroup.com/products/electric-buses/>,» [Ηλεκτρονικό].

«<https://www.solarisbus.com/en/vehicles/zero-emissions/urbino-electric/>,» [Ηλεκτρονικό].

«<https://www.ursus.com/en/product-category/buses/>,» [Ηλεκτρονικό].

«<https://bydeurope.com/pdp-bus-coach/>,» [Ηλεκτρονικό].

M. e. al, «Electric buses: A review of alternative powertrains. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*,» 2016.

M. M. F. M. Mark R. Ferguson, «On the Electrification of Canada's Vehicular Fleets: National-scale analysis shows that mindsets matter,» 9/2019.

K. M. K. M. Neil Quarles, «Costs and Benefits of Electrifying and Automating Bus Transit Fleets,» 2020.

M. Mohamed και P. K. Mark Ferguson, «What hinders adoption of the e
I

F. Tong και P. Jaramillo, «Comparison of life cycle greenhouse gases from natural gas pathways for medium and heavy-duty vehicles,» 2015.

E. Leslie, P. Matthew και Matthew, «Fuel Cell Buses in U.S. Transit Fleets,» National Renewable Energy Laboratory: Golden, 2016.

A. Lajunen και Lipman, «Lifecycle cost assessment and carbon dioxide emissions of diesel, natural gas, hybrid electric, fuel cell hybrid and electric transit buses,» 2016.

W

. Nuttall και A. Bakenne, «Hydrogen Infrastructures. In Fossil Fuel

B. Nykvist και M. Nilsson, «Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles,» 2015.

L. Zhaocai, S. Ziqi και H. Yi, «Economic Analysis of On-Route Fast Charging for Battery Electric Buses: Case Study in Utah,» 2019.

C. Csiszár, B. Csonka, D. Földes, E. Wirth και T. Lovas, «Urban public charging station locating method for electric vehicles based on land use approach,» 2019.

B. Csonka και C. Csiszár, «Determination of charging infrastructure

I

^

Y. He, Z. Song και Z. Liu, «Fast-charging station deployment for battery electric bus systems considering electricity demand charges,» 2019.

A. Kunith, R. Mendeleevitch και D. Goehlich, «Electrification of a city bus network—An optimization model for cost-effective placing of charging infrastructure and battery sizing of fast-charging electric bus systems.,» 2017.

R. Wei, X. Liu, Y. Ou και S. Kiavash Fayyaz, «Optimizing the spatio-temporal deployment of battery electric bus system,» 2018.

M. Xylia, S. Leduc, P. Patrizio, S. Silveira και F. Kraxner, «Developing a dynamic optimization model for electric bus charging infrastructure,» 2017.

G. D. F. G. M. Paulo J. G. Ribeiro, «Public Transport Decarbonization: An Exploratory Approach to Bus Electrification,» 2024.

H. Gunter και Koch, «Electrification of Public Transport in Cities,» 2022.

Z. Soomauroo, P. Blechinger και F. Creutzig, « Electrifying Public Transit Benefits Public Finances in Small Island Developing States,» 2023.

- Ş. Yıldırım και B. Yıldız, «Electric Bus Fleet Composition and Scheduling,» 2021.
- F. Fei, W. Sun, R. Iacobucci και J. Schmöcker, «Exploring the Profitability of Using Electric Bus Fleets for Transport and Power Grid Services,» 2023.
- M. Valentini, V. Conti και S. Orchi, «Software to Verify the Feasibility of Urban Bus Line Electrification,» 2022.
- M. Xylia, S. Leduc, P. Patrizio, F. Kraxner και S. Silveira, «Locating Charging Infrastructure for Electric Buses in Stockholm,» 2017.
- M. Xylia, S. Leduc, P. Patrizio, S. Silveira και F. Kraxner, «Developing a Dynamic Optimization Model for Electric Bus Charging Infrastructure,» 2017.
- N. Qin, A. Gusrialdi, R. Paul Brooker και A. T-Raissi, «Numerical Analysis of Electric Bus Fast Charging Strategies for Demand Charge Reduction,» 2016.
- T. Liu και A. Ceder, «Battery-Electric Transit Vehicle Scheduling with Optimal Number of Stationary Chargers,» 2020.
- R. Caponi, A. Monforti Ferrario, L. Del Zotto και E. Bocci, «Hydrogen Refueling Stations and Fuel Cell Buses Four Year Operational Analysis under Real-World Conditions,» 2023.
- Z. Ye, N. Yu, R. Wei και X. Liu, «Decarbonizing Regional Multi-Model Transportation System with Shared Electric Charging Hubs.,» 2022.
- M. Rupp, C. Rieke, N. Handschuh και I. Kuperjans, «Economic and Ecological Optimization of Electric Bus Charging Considering Variable Electricity Prices and CO₂eq Intensities,» 2020.
- B. Ke, C. Chung και Y. Chen, «Minimizing the Costs of Constructing an All Plug-in Electric Bus Transportation System,» 2016.
- A. Kunith, R. Mendeleevitch και D. Goehlich, «Electrification of a City Bus Network—An Optimization Model for Cost-Effective Placing of Charging Infrastructure and Battery Sizing of Fast-Charging Electric Bus Systems,» 2017.
- Association of state Road Transport Undertakings (INSTITUTE FOR TRANSPORTATION AND DEVELOPEMENT POLICY), «E-BUS BASICS (A GUIDE FOR A TRANSITION TO ELECTRIC BUSES),» 2023.
- «<https://www.giro.ca/en-us/>,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.giro.ca/en-us/our-solutions/hastus-software/>.

[
H

[Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.unescwa.org/sd-glossary/well->

[Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.zemo.org.uk/work-with-us/buses->

A. Lajunen και Lipman, «Lifecycle Cost Assessment and Carbon Dioxide Emissions of Diesel, Natural Gas, Hybrid Electric, FuelCell Hybrid and Electric Transit Buses,» 2016.

L. Nurhadi, S. Borén και H. Ny, «A Sensitivity Analysis of Total Cost of Ownership for Electric Public Bus Transport Systems in Swedish Medium Sized Cities,» 2014.

L. Luu, E. Riva Sanseverino, M. Cellura, H. Nguyen, T. Nguyen και H. Nguyen, «Comparative Life Cycle Impact Assessment of Electric and Conventional Bus in Vietnam,» 2022.

K. Jwa και O. Lim, «Comparative Life Cycle Assessment of Lithium-Ion Battery Electric Bus and Diesel Bus from Well to Wheel,» 2018.

F. Tong, C. Hendrickson, A. Biehler, P. Jaramillo και S. Seki, «Life Cycle Ownership Cost and Environmental Externality of Alternative Fuel Options for Transit Buses,» 2017.

Y. Wang, Y. Huang, J. Xu και N. Barclay, «Optimal Recharging Scheduling for Urban Electric Buses: A Case Study in Davis,» 2017.

A. Estrada Poggio, J. Balest, A. Zubaryeva και W. Sparber, «Monitored Data and Social Perceptions Analysis of Battery Electric and Hydrogen Fuelled Buses in Urban and Suburban Areas,» 2023.

A. Estrada Poggio, J. Balest, A. Zubaryeva και W. Sparber, «Monitored Data and Social Perceptions Analysis of Battery Electric and Hydrogen Fuelled Buses in Urban and Suburban Areas.,» 2023.

B. Lin και R. Tan, «Are People Willing to Pay More for New Energy Bus Fares?,» 2017.

K.-h. Yu, «Policy drivers for electrifying public transport vehicles in Hong Kong,» 2013.

M. Abbasi, «Study of Electric Buses and Their Impact on the Environment in Urban Networks,» 2018.

R. H.-C. P. W. K. & T. A. Chapman, «Towards zero carbon? Constrained policy action in two New Zealand cities,» 2017.

R. G. R. F. K. Moataz Mohamed, «Electric Buses: A Review of Alternative Powertrains,» 2016.

TRANSPORT RESEARCH REPORT, Transport and Economic Research Institute, «ELECTRIC BUS,» 2017.

Transformative Urban Mobility initiative, «What Are the Basic Structures of E-Buses?,» 2024.

[Ηλεκτρονικό]. Available: www.digsilent.de/en/electromagnetic-

[Ηλεκτρονικό]. Available: wikipedia.org/wiki/EMTP.

[Ηλεκτρονικό]. Available: www.wiley-

I. Buchmann, «Discharging at high and low temperatures.,» 2016.

M. Mahmoud, R. Garnett, M. Ferguson και P. Kanaroglou, «Electric b

»

«linkedin,» [Ηλεκτρονικό]. Available:

www.linkedin.com/pulse/materials-core-electric-bus-construction-o7huf/.

O. M. H. .. R. ., G. ., E. B. O. H. Boud Verbrugge, «Smart Integration of Electric Buses in Cities: A Technological Review,» 2021.

E. v. o. e. b. p. m. u. c. d. cycles, «Halmeaho, T.; Rahkola, P.; Tammi, K.; Pippuri, J.; Pellikka, A.; Manninen, A.; Ruotsalainen, S.,» 2017.

M. O. W. M. Jiuyu Du, «Technological direction prediction for battery electric bus under influence of China's new subsidy scheme,» 2019.

ZeEUS project, 2016(Pauline Bruge (UITP), Umberto Guida (UITP), Marta Van den Bergh – Goralczyk (UITP)), «An overview of electric,» 2016.

D. Göhlich, T.-A. Fay, D. Jefferies, E. Lauth, A. Kunith και X. Zhang, «Design of urban electric bus systems,» 2018.

«

w

X. Sun, Z. Li, X. Wang και C. Li, « A Review. Energies,» 2019.

S. Chakraborty, H.-N. Vu, M. Hasan, D.-D. Tran, M. El Baghdadi και O. Hegazy, «DC-DC Converter Topologies for Electric Vehicles, Plug-in Hybrid Electric Vehicles and Fast Charging Stations: State of the Art and Future Trends,» 2019.

H. Basma, C. Mansour, M. Haddad, M. Nemer και P. Stabat, «Comprehensive energy modeling methodology for battery electric buses,» 2020.

M. Rogge, S. Wollny και D. Sauer, «Fast Charging Battery Buses for the Electrification of Urban Public Transport—A Feasibility Study

Focusing on Charging Infrastructure and Energy Storage Requirements,» 2015.

M. Gallet, T. Massier και T. Hamacher, «Estimation of the energy demand of electric buses based on real-world data for large-scale public transport networks,» 2018.

Z. Gao, Z. Lin, T. LaClair, C. Liu, J.-M. Li, A. Birky και J. Ward, «Battery capacity and recharging needs for electric buses in city transit service,» 2017.

H. asma, C. Mansour, M. Haddad, M. Nemer και P. Stabat,

«

©

N. El-Taweel, A. Zidan και Farag, «Novel Electric Bus Energy Consumption Model Based on Probabilistic Synthetic Speed Profile Integrated With HVAC,» 2021.

Fast Charging of Electric Vehicles, 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available:

Ebusco. Ebusco and Rocsys Are Working Together to Automate Bus Depots, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.ebusco.com/ebusco-and-rocsys-are-working-together-to-automate-bus-depots>.

Alstom. SRS: Innovative, Safe and Automatic Charging for Trams and

E

I

L. Sun, D. Ma και Tang, « A review of recent trends in wireless power transfer technology and its applications in electric vehicle wireless charging,» 2018.

Y. Jang, «Survey of the operation and system study on wireless charging electric vehicle systems,» 2018.

M. Rogge, E. van der Hurk, A. Larsen και D. Sauer, «Electric bus fleet size and mix problem with optimization of charging infrastructure,» 2018.

A. A. S. M. S. Ahmed A. S. Mohamed, «A Comprehensive Overview of Inductive Pad in Electric Vehicles Stationary Charging,» 2020.

Z. Bi, L. Song, R. De Kleine, C. Mi και G. Keoleian, «Plug-in vs. wireless charging: Life cycle energy and greenhouse gas emissions for an electric bus system,» 2015.

A. Lajunen, «ifecycle costs and charging requirements of electric buses with different charging methods,» 2018.

D. Jefferies και D. Göhlich, «A Comprehensive TCO Evaluation Method for Electric Bus Systems Based on Discrete-Event Simulation Including Bus Scheduling and Charging Infrastructure Optimisation,» 2020.

L. Rubino, C. Capasso και O. Veneri, «Review on plug-in electric vehicle charging architectures integrated with distributed energy sources for sustainable mobility.,» 2017.

J. Huber και J. Kolar, «Applicability of Solid-State Transformers in Today's and Future Distribution Grids,» 2019.

J. Huber και J. Kolar, «Applicability of Solid-State Transformers in Today's and Future Distribution Grids,» 2019.

D. Ronanki, A. Kelkar και S. Williamson, «Extreme Fast Charging Technology—Prospects to Enhance Sustainable Electric Transportation,» 2019.

D. Ronanki και S. Williamson, «Modular multilevel converters for transportation electrification: Challenges and opportunities,» 2018.

[
H

S. Rivera και B. Wu, «Electric Vehicle Charging Station with an Energy Storage Stage for Split-DC Bus Voltage Balancing.,» 2017.

[
H

[Ηλεκτρονικό]. Available:

S. Habib, M. Khan, F. Abbas και Tang, «Assessment of electric vehicles concerning impacts, charging infrastructure with unidirectional and bidirectional chargers, and power flow comparisons,» 2018.

H. Tu, H. Feng, S. Srdic και S. Lukic, «Extreme Fast Charging of Electric Vehicles: A Technology Overview,» 2019.

[Ηλεκτρονικό]. Available: <https://gr.benweilight.com/info/what-is-total->

[Ηλεκτρονικό]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Vehicle-to-grid>.

[
H

A. Matallana, E. Ibarra, I. López, J. Andreu, J. Garate, X. Jorda και J. Rebollo, «Power module electronics in HEV/EV applications: New trends in wide-bandgap semiconductor technologies and design aspects,» 2019.

Global Green Growth Institute, «Electric Buses in India: Technology, Policy and Benefits,» 2015.

M. DeLuchi, «Emissions of greenhouse gases from the use of transportation fuels and electricity».

Union of Concerned Scientists and The Greenlining Institute, «How Electric Buses and Trucks Can Create Jobs and Improve Public Health in California».

Grütter, Jürg, and A. G. Grütter Consulting, «Real world performance of

A. a. T. L. Lajunen, «Lifecycle cost assessment and carbon dioxide emissions of diesel, natural gas, hybrid electric, fuel cell hybrid and electric transit buses,» 2016.

P. Smolnicki, «Connected & Automated Urban Mobility, Zombie Cars and Kitchen Knives,» USA, 2017.

S. I. Chien, «Fully Autonomous Buses: A Literature Review and Future,» 2019.

G. J. Pastor, «The case for automated-guideway transit,» 1988.

SAE, «SAE International, Taxonomy and Definitions for Terms Related,» 2016.

H. G. a. H. Zemlin, «Development status of automated guideway transit (AGT) systems in,» Michigan ,, 1980.

S. International, «Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems,» Warrendale,, 2016.

P. B. I. K. & Associates, «Transit Capacity and Quality of Service Manual, Transit,» Washington, 2013.

R. Bishop, «Intelligent vehicle applications worldwide,» 2000.

J. M. a. J. L. C.-Y. Chan, «Smart buses, smart intersection shine at Washington IVI,» 2003.

J. M. a. J. L. C.-Y. Chan, «Smart buses, smart intersection shine at Washington IVI,» 2003.

N. C. a. B. O. V. Calin Iclodean *, «Autonomous Shuttle Bus for Public Transportation:,» *Department of Automotive Engineering and Transports, Technical University of Cluj-Napoca*, 6 June 2020.

K. M. K. 1. a. M. M. N. Quarles, «Costs and Benefits of Electrifying and Automating,» 2020.

Z. L. X. W. κ. L. X. Sun, «A Review. Energies,» 2020.

[Ηλεκτρονικό]. Available:

«www.oasa.gr,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.oasa.gr/>.

«<https://en.yutong.com/>,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://en.yutong.com/>.

S. H. L. E. Kayhan Alamatsaz, «Electric Bus Scheduling and Timetabling, Fast Charging Infrastructure Planning, and Their Impact on the Grid: A Review,» 2022.

M. Mohamed, H. Farag, N. El-Taweel και M. Ferguson, «Simulation of electric buses on a full transit network: Operational feasibility and grid impact analysis.,» 2017.

M. Dietmannsberger, M. Schumann, M. Meyer και D. Schulz, «Modelling the electrification of bus depots using real data: Consequences for the distribution grid and operational requirements,» Berlin, Germany, 2017.

Z. Wu, F. Guo, J. Polak και G. Strbac, «Evaluating grid-interactive e
I
[Ηλεκτρονικό]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Vehicle-to-grid>.

L. S. Ashkezari, H. J. Kaleybar και M. Brenna, «Electric Bus Charging Infrastructures: Technologies, Standards, and Configurations,» 2024.

[
H

D. McCarthy and P. Wolfs, «The HV system impacts of large scale electric vehicle deployments in a metropolitan area,» 2022.

M. F. S. E. F. E.-S. a. A. Z. E. Akhavan-Rezai, «‘Uncoordinated charging impacts of electric vehicles on electric,» 2023.

M. S. K. R. a. K. Selvajothi, «Investment analysis for optimal,» 2022.

D. R. S. L. a. F. L. D. Stahleder, «Grid impact assessment of high power E-bus charging methods with seasonal load,» 2020.

J. P. M. K. K. P. P. M. M. B. K. Zagrajek, «Impact of electric bus charging on,» 2020.

T. Uslu και O. Kaya, «Location and capacity decisions for electric bus charging stations considering waiting times,» 2021.

M. Rogge, E. Van der Hurk, A. Larsen και D. Sauer, «Electric bus fleet size and mix problem with optimization of charging infrastructure,» 2018.

Z. Bi, L. Song, R. De Kleine, C. Mi και G. Keoleian, «Plug-in vs. wireless charging: Life cycle energy and greenhouse gas emissions for an electric bus system,» 2015.

Y. Chen, Y. Zhang και R. Sun, «Data-driven estimation of energy consumption for electric bus under real-world driving conditions,» 2021.

B. D. L. P. Hao Hu, «A joint optimisation model for charger locating and electric bus charging scheduling considering opportunity fast charging and uncertainties,» 2022.

[Ηλεκτρονικό]. Available:

[Ηλεκτρονικό]. Available:

S. Arif, T. Lie, B. Seet και S. Ayyadi, «A novel and cost-efficient energy management system for plug-in electric bus charging depot owners,» 2021.

P. Zhuang και H. Liang, «Stochastic Energy Management of Electric Bus Charging Stations with Renewable Energy Integration and B2G Capabilities,» 2021.

«wiki.org,» [Ηλεκτρονικό]. Available:

D. Rodriguez και F. Targa, «Value of accessibility to Bogotá's bus rapid transit system,» 2004.

T. 2.Deng και J. Nelson, 2011.

D. Hensher και T. Golob, «Bus rapid transit systems: A comparative,» 2008.

J. Manzolli, J. Trovão και C. Antunes, «Scenario-Based Multi-criteria decision analysis for rapid transit systems implementation in an urban context,» 2021.

.-M. M. Y. Li, «Data-driven health estimation and lifetime prediction of lithium-ion batteries: A review».

D. 1.Fagnant και K. Kockelman, «Preparing a nation for autonomous vehicles: Opportunities, barriers and policy recommendations,» 2015.

D. Fagnant και K. Kockelman, «The travel and environmental implications of shared autonomous vehicles, using agent-based model scenarios,» 2014.

K. Gurusurthy, K. Kockelman και M. Simoni, « Benefits and Costs of Ride-Sharing in Shared Automated Vehicles across Austin, Texas: Opportunities for Congestion Pricing. ,» 2019.

N. C. Onat, «Conventional, hybrid, plug-in hybrid or electric vehicles? State-based comparative carbon and energy footprint analysis in the United States,» 2014.

J. & L. J. Lowry, «Electric vehicle technology explained (Second).,» 2012.

S. S. R. & S. A. Mekhilef, «Comparative study of different fuel cell,» 2012.

N. Brandon, «Fuel Cells. In Encyclopedia of Energy,» 2004.

«

w