



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Αξιολόγηση συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας στην
ηλεκτροκίνηση με χρήση πολυκριτήριας ανάλυσης ελλιπούς
πληροφόρησης**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ανδρέας Φ. Χριστόπουλος

Επιβλέπων : Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2024



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Αξιολόγηση συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας στην
ηλεκτροκίνηση με χρήση πολυκριτήριας ανάλυσης ελλιπούς
πληροφόρησης**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ανδρέας Φ. Χριστόπουλος

Επιβλέπων : Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 29^η Φεβρουαρίου 2024.

.....
Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ιωάννης Ψαρράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ευάγγελος Μαρινάκης
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2024

.....
Ανδρέας Φ. Χριστόπουλος

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Ανδρέας Φ. Χριστόπουλος, 2024.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Η ενσωμάτωση συστημάτων αποθήκευσης μπαταριών σε ηλεκτρικά οχήματα έχει εμφανιστεί ως μια κρίσιμη στρατηγική για τη μείωση των προκλήσεων που σχετίζονται με την αποθήκευση ενέργειας, την αποδοτικότητα και τη βιωσιμότητα στον αυτοκινητοβιομηχανικό τομέα. Η παρούσα διπλωματική εργασία διερευνά την επιλογή βέλτιστων τεχνολογιών μπαταριών για ηλεκτρικά οχήματα αξιοποιώντας την πολυκριτηριακή ανάλυση μέσω της εφαρμογής μια επέκτασης της μεθοδολογίας VIKOR. Μέσω της αξιολόγησης πολλαπλών κριτηρίων, συμπεριλαμβανομένων των τεχνικών επιδόσεων, πτυχών υγείας, πτυχών ασφάλειας, περιβαλλοντικών επιπτώσεων και χαρακτηριστικών συμβατότητας, αυτή η μελέτη στοχεύει στην παροχή εισηγήσεων για την αναγνώριση των πιο κατάλληλων τύπων μπαταριών για εφαρμογές σε ηλεκτρικά οχήματα. Η μελέτη περιλαμβάνει διάφορα σενάρια για να αξιολογήσει την απόδοση διαφορετικών τεχνολογιών μπαταριών υπό διάφορες συνθήκες, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η πυκνότητα ενέργειας, η διάρκεια του κύκλου ζωής, τα χαρακτηριστικά ασφάλειας, η ανακύκλωση και η συμβατότητα με την υπάρχουσα υποδομή. Τα ευρήματα συμβάλλουν στην προαγωγή των μεθοδολογιών επιλογής τεχνολογίας μπαταριών για ηλεκτρικά οχήματα, βοηθώντας τους ενδιαφερόμενους φορείς να λαμβάνουν ενημερωμένες αποφάσεις για τη βελτίωση της απόδοσης του οχήματος, της βιωσιμότητας και της εμπειρίας του χρήστη.

Λέξεις-κλειδιά: Συστήματα Αποθήκευσης Μπαταριών, Ηλεκτρικά Οχήματα, Μέθοδος VIKOR, Τεχνολογίες Μπαταριών, Τεχνικά Κριτήρια, Πτυχές υγείας, Ασφάλεια, Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις, Συμβατότητα.

Abstract

The integration of battery storage systems in electric vehicles (EVs) has emerged as a pivotal strategy to mitigate challenges related to energy storage, efficiency, and sustainability in the automotive sector. This thesis investigates the selection of optimal battery technologies for EVs through a comprehensive analysis employing the VIKOR method. By evaluating multiple criteria including technical performance, health considerations, security aspects, environmental impact, and compatibility characteristics, this research aims to provide insights into identifying the most suitable battery types for EV applications. The study encompasses various scenarios to assess the performance of different battery technologies under diverse conditions, considering factors such as energy density, cycle life, safety features, recyclability, and compatibility with the existing infrastructure. The findings contribute to the advancement of battery technology selection methodologies for EVs, aiding stakeholders in making informed decisions towards enhancing vehicle performance, sustainability, and user experience.

Keywords: Battery Storage Systems, Electric vehicles, VIKOR method, Battery Technology, Technical Criteria, Health, Safety, Environmental Impact, Compatibility.

Ευχαριστίες

Πρώτα από όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Δημήτριο Ασκούνη καθηγητή Ε.Μ.Π. για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αλλά και την ευκαιρία που μου έδωσε να δουλέψω σε ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα μελέτης.

Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον κύριο Γιώργο Τραχανά για τις συμβουλές και την συνεχή στήριξη καθ' όλη τη διάρκεια της έρευνας και συγγραφής της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την υποστήριξη και την πίστη τους σε εμένα σε όλα τα χρόνια της πανεπιστημιακής μου φοίτησης.

Ακρωνύμια

BEV	Battery Electric Vehicle
EREV	Extended Range Electric Vehicle
EV	Electric Vehicle
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle
HEV	Hybrid Electric Vehicle
HO	Ηλεκτρικό Όχημα
MCDM	Multi Criteria Decision Making
NEV	Neighborhood Electric Vehicle
OEK	Όχημα Εσωτερικής Καύσης
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle
SOC	State of Charge
VIKOR	VilseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje
VRFB	Vanadium Redox Flow Battery

Πίνακας περιεχομένων

1. Εισαγωγή.....	14
2. Ηλεκτρικά Οχήματα.....	17
2.1 Ιστορική Εξέλιξη των Ηλεκτρικών Οχημάτων.....	17
2.2 Περιβάλλον και Ηλεκτρικά Οχήματα.....	19
2.3 Βασικά Μέρη ενός Ηλεκτρικού Οχήματος.....	21
2.4 Προτερήματα και Ελαττώματα Ηλεκτρικών Οχημάτων.....	22
2.4.1 Πλεονεκτήματα Ηλεκτρικών Οχημάτων.....	22
2.4.2 Μειονεκτήματα Ηλεκτρικών Οχημάτων.....	23
3. Κατηγορίες Ηλεκτρικών Οχημάτων.....	25
3.1 Τύποι Ηλεκτρικών Οχημάτων:.....	25
3.2.1 Ηλεκτρικά Οχήματα με Μπαταρία (BEVs).....	26
3.2.2 Επαναφορτιζόμενα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα με ηλεκτρική ενέργεια από εξωτερική πηγή(PHEVs):.....	29
3.2.3 Υβριδικά Ηλεκτρικά Οχήματα (HEVs).....	31
3.2.4 Οχήματα με Κυψέλες Υδρογόνου (FCEVs).....	33
3.2.5 Ηλεκτρικά Οχήματα με μονάδα επέκτασης της αυτονομίας τους (EREVs).....	35
3.2.6 Συνοικιακά Ηλεκτρικά Οχήματα(NEVs).....	37
4. Χαρακτηριστικά Μπαταριών Ηλεκτρικών Οχημάτων.....	39
4.1 Μπαταρίες Ηλεκτρικών Οχημάτων.....	39
4.2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά.....	40
4.2.1. Ενεργειακή Πυκνότητα.....	40
4.2.2 Πυκνότητα Ισχύος.....	41
4.2.3. Ειδική Ενέργεια.....	43
4.2.4 Ειδική Δύναμη.....	44
4.2.5 Διάρκεια Αποφόρτισης.....	46
4.2.6 Αποδοτικότητα Ενέργειας.....	48
4.2.7 Αυτοεκφόρτιση.....	50
4.2.8 Χρόνος Φόρτισης.....	52
4.3 Υγεία, Ασφάλεια και Περιβαλλοντικά Χαρακτηριστικά.....	54
4.3.1Κίνδυνος Πυρκαγιάς στις Μπαταρίες των Ηλεκτρικών Οχημάτων:.....	54
4.3.2 Υγειονομικά Θέματα που Σχετίζονται με τη Χρήση Τοξικών Υλικών στις Μπαταρίες των Ηλεκτρικών Οχημάτων.....	55
4.3.3 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις.....	56
4.4 Συμβατότητα Συστημάτων Αποθήκευσης σε Ηλεκτρικά Οχήματα.....	58
5. Τεχνολογίες Συστημάτων Αποθήκευσης Ηλεκτρικών Οχημάτων.....	60
5.1 Προηγμένες Τεχνολογίες Μπαταριών για Ηλεκτρικά Οχήματα.....	60
5.2.1 Μπαταρίες Ιόντων Λιθίου.....	60
5.2.2 Μπαταρίες Μολύβδου-Οξέος.....	62
5.2.3 Μπαταρίες Νατρίου-Νικελίου Χλωριδίου.....	63
5.2.4 Μπαταρίες Νικελίου-Μετάλλου Υδριδίου (NiMH).....	64
5.2.5 Μπαταρίες Νικελίου-Καδμίου (NiCd).....	65
5.2.6 Μπαταρία Νατρίου-Θείου (NaS).....	66
5.2.7 Μπαταρία VRFB.....	67
5.2.8 Κυψέλες Καυσίμου Υδρογόνου.....	68
5.2.9 Αποθήκευση Ενέργειας με Σφόνδυλους.....	69

5.2.10 Υπερπυκνωτές.....	71
5.2.11 Αποθήκευση Ενέργειας με Υπεραγωγική Μαγνητική Τεχνολογία (SMES).....	72
6. Πολυκριτηριακή Ανάλυση.....	74
6.1 Μέθοδος VIKOR.....	74
6.2 Μέθοδος VIKOR – Επεκτάσεις.....	76
6.2.1 Δομή.....	77
6.3 Μέθοδος VIKOR για βάρη με ελλιπή πληροφόρηση.....	78
7. Σενάρια.....	81
7.1 Εισαγωγή στο πρόβλημα.....	81
7.2.1 Σενάριο 1.....	83
7.2.2 Σενάριο 2.....	85
7.2.3 Σενάριο 3.....	87
7.2.4 Σενάριο 4.....	89
7.2.5 Σενάριο 5.....	90
8. Συμπεράσματα.....	93
9. Βιβλιογραφία.....	95

Πίνακας εικόνων

Εικόνα 1: Τόμας Έντισον με ηλεκτρικό όχημα [112].....	17
Εικόνα 2: Tesla Αυτοκίνητο [113].....	18
Εικόνα 3: Ηλεκτρικά οχήματα και Περιβάλλον [114].....	19
Εικόνα 4: BEV ηλεκτρικό όχημα [115].....	26
Εικόνα 5: Plug-in Ηλεκτρικό Όχημα [116]].....	28
Εικόνα 6: Υβριδικό Ηλεκτρικό Όχημα [115]].....	31
Εικόνα 7: Ηλεκτρικό Όχημα με κυψέλες υδρογόνου [115].....	33
Εικόνα 8: EREV [117]].....	35
Εικόνα 9: NEV [118]].....	36
Εικόνα 10: Τεχνικά Χαρακτηριστικά στον πίνακα απόφασης [119].....	81
Εικόνα 11: Χαρακτηριστικά ασφαλείας, υγείας και περιβάλλοντος στον πίνακα απόφασης[119].....	82
Εικόνα 12: Χαρακτηριστικά συμβατότητας στον πίνακα απόφασης [119].....	82

1. Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια, η παγκόσμια αυτοκινητοβιομηχανία έχει υποστεί μια σημαντική μεταστροφή που οφείλεται στους αυξημένους φόβους για την περιβαλλοντική βιωσιμότητα και την ανάγκη μείωσης της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα. Αυτή η μεταστροφή έχει ωθήσει την ανάπτυξη και την υιοθέτηση ηλεκτρικών οχημάτων (ΗΟ) ως μια υποσχόμενη λύση για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και την αντιμετώπιση των προκλήσεων της κλιματικής αλλαγής. Στον πυρήνα αυτής της επανάστασης βρίσκεται ο κρίσιμος ρόλος των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας, κυρίως των μπαταριών, που λειτουργούν ως η κύρια πηγή ενέργειας για τα ΗΟ.

Η υιοθέτηση ηλεκτρικών συστημάτων κίνησης στη μεταφορά φέρνει μια πληθώρα οφελών, από τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης έως τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης. Ωστόσο, η ευρεία αποδοχή και η ενσωμάτωση των ΗΟ στη βασική υποδομή μεταφορών εξαρτάται από την προσπέλαση διαφόρων τεχνολογικών, οικονομικών και κοινωνικών εμποδίων. Ανάμεσα σε αυτές τις προκλήσεις, η απόδοση και η αποτελεσματικότητα των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας εμφανίζονται ως κρίσιμοι παράγοντες της βιωσιμότητας των ΗΟ και της αποδοχής τους από τους καταναλωτές.

Η αναζήτηση προηγμένων τεχνολογιών μπαταριών για τις εφαρμογές των ΗΟ έχει οδηγήσει σε σημαντικά βήματα σε ζητήματα όπως η πυκνότητα ενέργειας, η διάρκεια ζωής τους και η μείωση του κόστους παραγωγής. Από τις παραδοσιακές μπαταρίες μολύβδου-οξέως έως τις προηγμένες χημείες λιθίου-ιόντων, το τοπίο των λύσεων αποθήκευσης ενέργειας για τα ΗΟ εξελίσσεται αλματωδώς, με συνεχείς προσπάθειες έρευνας και ανάπτυξης που στοχεύουν στη βελτίωση της απόδοσης και στην αντιμετώπιση των εγγενών περιορισμών.

Παράλληλα με τις τεχνολογικές εξελίξεις, η διαδικασία λήψης αποφάσεων σχετικά με την επιλογή και την ανάπτυξη των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας στη μεταφορά απαιτεί ένα συνεκτικό πλαίσιο αξιολόγησης που λαμβάνει υπόψη πολλαπλά κριτήρια και στόχους. Σε αυτό το πλαίσιο, οι Μέθοδοι Λήψης Αποφάσεων με Πολλαπλά Κριτήρια (MCDM) προσφέρουν ένα σύστημα προσέγγισης για την αξιολόγηση και την προτεραιοποίηση εναλλακτικών λύσεων βάσει ποικίλων κριτηρίων και αντιφατικών στόχων.

Μια τέτοια μέθοδος MCDM που έχει αποκτήσει αναγνώριση στον τομέα της επιλογής συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας είναι η μέθοδος VIKOR. Η VIKOR αναπτύχθηκε από τον S. Opricovic στις αρχές της δεκαετίας του '90 και παρέχει ένα δομημένο πλαίσιο για τη λήψη αποφάσεων υπό αβεβαιότητα, επιτρέποντας στους αποφασίζοντες να εντοπίζουν την πιο ευνοϊκή συμβιβαστική λύση από ένα σύνολο εναλλακτικών με αντιφατικά κριτήρια.

Η μέθοδος VIKOR ενσωματώνει αρχές πολυκριτηριακής βελτιστοποίησης και προγραμματισμού συμβιβασμού για να διευκολύνει την κατάταξη και την επιλογή εναλλακτικών βάσει της συνολικής τους απόδοσης σε πολλαπλά κριτήρια. Λαμβάνοντας υπόψη τόσο το μέγιστο συνολικό οφέλος όσο και το ελάχιστο μεμονωμένο κόστος, η VIKOR στοχεύει στην επίτευξη μιας ισορροπίας μεταξύ αντιφατικών στόχων και τον εντοπισμό της βέλτιστης συμβιβαστικής λύσης που ανταποκρίνεται καλύτερα στις προτιμήσεις και τις προτεραιότητες του αποφασίζοντα.

Στο πλαίσιο των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας για ηλεκτρικά οχήματα, η μέθοδος VIKOR προσφέρει ένα αξιόπιστο εργαλείο ανάλυσης για την αξιολόγηση και σύγκριση διαφόρων τεχνολογιών και διαμορφώσεων μπαταριών βάσει κριτηρίων όπως η πυκνότητα ενέργειας, η πυκνότητα ισχύος, το κόστος αγοράς, το περιβαλλοντικό αποτύπωμα και η τεχνολογική ωριμότητα. Μέσω της συστηματικής της προσέγγισης στη λήψη αποφάσεων, η μέθοδος VIKOR επιτρέπει στους εμπλεκόμενους φορείς στον τομέα των μεταφορών να κάνουν ενημερωμένες επιλογές που βελτιστοποιούν την απόδοση, την αποδοτικότητα κόστους και τη βιωσιμότητα στην υιοθέτηση ηλεκτρικών συστημάτων κίνησης.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, σκοπεύουμε να διερευνήσουμε τον ρόλο των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας, ειδικά των μπαταριών, στη δυνατότητα ευρείας υιοθέτησης από τις οδικές μεταφορές. Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο VIKOR ως εργαλείο λήψης αποφάσεων, σκοπεύουμε να αξιολογήσουμε και να προτεραιοποιήσουμε εναλλακτικές τεχνολογίες και διαμορφώσεις μπαταριών βάσει της απόδοσής τους σε πολλαπλά κριτήρια, συμβάλλοντας έτσι στην προαγωγή βιώσιμων λύσεων κινητικότητας στην εποχή της ηλεκτροκίνησης.

Επιδιώκοντας αυτήν την προϋπόθεση, η παρούσα εργασία στοχεύει να εμβαθύνει στον τομέα των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας για ηλεκτρικά οχήματα (HO) με τη χρήση της μεθόδου VIKOR για την ανάλυση και σύγκριση διαφόρων σεναρίων. Ειδικότερα, η έρευνα επικεντρώνεται στη δημιουργία πέντε διακριτών σεναρίων που καλύπτουν διάφορα συστήματα αποθήκευσης μπαταριών προσαρμοσμένα για ηλεκτρικά οχήματα. Μέσω αυστηρής αξιολόγησης και σύγκρισης με χρήση της μεθόδου VIKOR, αυτή η μελέτη επιδιώκει να προσδιορίσει τις πιο κατάλληλες και αποτελεσματικές λύσεις αποθήκευσης μπαταριών για HO.

Η επιλογή συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας για ηλεκτρικά οχήματα αντιπροσωπεύει μια κρίσιμη απόφαση, που επηρεάζεται από πολλά κριτήρια, συμπεριλαμβανομένων της πυκνότητας ενέργειας, της πυκνότητας ισχύος, της αποδοτικότητας σε σχέση με το κόστος, του αντίκτυπου στο περιβάλλον και της τεχνολογικής ωριμότητας. Διαμέσου της δημιουργίας και εξέτασης διαφορετικών σεναρίων, αυτή η έρευνα επιδιώκει να παράσχει σημαντικά συμπεράσματα για την επιλογή του βέλτιστου συστήματος αποθήκευσης ενέργειας για ηλεκτρικά οχήματα.

Συνολικά, η παρούσα εργασία έχει ως στόχο να συνεισφέρει στη διαρκή συζήτηση γύρω από τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας για ηλεκτρικά οχήματα, προσφέροντας πολύτιμες συμβουλές στη διαδικασία λήψης αποφάσεων μέσω της εφαρμογής της μεθόδου VIKOR. Μέσω της εξέτασης διαφορετικών σεναρίων και του καθορισμού των πιο βέλτιστων λύσεων, αυτή η έρευνα στοχεύει στην ενημέρωση πολιτικών, εμπλεκόμενων φορέων του κλάδου και ερευνητών στις προσπάθειές τους να επιταχύνουν την υιοθέτηση συστημάτων κίνησης ηλεκτρικών οχημάτων και να ανοίξουν το δρόμο για ένα πιο βιώσιμο μέλλον στις μεταφορές.

Πιο αναλυτικά η εργασία αποτελείται από τα ακόλουθα κεφάλαια:

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Κεφάλαιο 2: Γενική περιγραφή ηλεκτρικών οχημάτων

Κεφάλαιο 3: Τύποι ηλεκτρικών οχημάτων

Κεφάλαιο 4: Χαρακτηριστικά μπαταριών ηλεκτρικών οχημάτων

Κεφάλαιο 5: Προηγμένες Τεχνολογίες Μπαταριών για Ηλεκτρικά Οχήματα

Κεφάλαιο 6: Η μέθοδος VIKOR

Κεφάλαιο 7: Σενάρια – Πρακτικό Μέρος

Κεφάλαιο 8: Συμπεράσματα και μελλοντικές προεκτάσεις

2. Ηλεκτρικά Οχήματα

2.1 Ιστορική Εξέλιξη των Ηλεκτρικών Οχημάτων

Η έννοια των ηλεκτρικών οχημάτων (ΗΟ) δεν αποτελεί πρόσφατη καινοτομία, καθώς η ιστορία των ηλεκτρικών αυτοκινήτων χρονολογείται από τον 19ο αιώνα. Κατά τη διάρκεια αυτών των χρόνων, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έχουν εξελιχθεί από τις αρχές τους για να γίνουν ένας σημαντικός παράγοντας στο σύγχρονο αυτοκινητοβιομηχανικό τοπίο. Αυτό το ταξίδι χαρακτηρίζεται από τεχνολογικές εξελίξεις, αλλαγές στη δημόσια αντίληψη και περιβαλλοντικούς παράγοντες.

Η αρχή των ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να ανιχνευθεί στις αρχές του 19ου αιώνα. Το 1828, ο Ούγγρος μηχανικός Άνιος Έντλινκ δημιούργησε ένα μικροσκοπικό μοντέλο ενός απλού ηλεκτρικού αυτοκινήτου. Ωστόσο, δεν ήταν μέχρι τις δεκαετίες του 1830 και 1840 που εφευρέτες όπως ο Τόμας Ντέιβενπορτ και ο Ρόμπερτ Άντερσον κατασκεύασαν τα πρώτα πρακτικά ηλεκτρικά οχήματα.

Στα τέλη του 19ου αιώνα, παρατηρήθηκε η εμπορευματοποίηση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, κυρίως λόγω της απλότητάς τους και της έλλειψης εκπομπών. Το 1879, ο Τόμας Έντισον βελτίωσε ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο, εισάγοντας τη μπαταρία νικελίου-σιδήρου. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έγιναν δημοφιλή στις αστικές περιοχές για τη μετακίνηση σε μικρές αποστάσεις.

Εικόνα 1: Τόμας Έντισον με ηλεκτρικό όχημα [112]



Στις αρχές του 20ού αιώνα, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα είχαν καθιερωθεί, ιδίως μεταξύ πλουσίων αστικών κατοίκων. Εταιρείες όπως η Detroit Electric Car Company και η Baker Motor Vehicle Company παρήγαγαν ηλεκτρικά αυτοκίνητα με επιτυχία [1]. Ωστόσο, η εμφάνιση του εσωτερικού καυσίμου με κινητήρα εσωτερικής καύσης, με τις τεχνικές μαζικής παραγωγής του Χένρι Φορντ, οδήγησε σε μείωση της δημοτικότητας των ηλεκτρικών οχημάτων.

Η μέτρια περίοδος του 20ού αιώνα είδε τη μείωση της χρήσης ηλεκτρικών αυτοκινήτων, καθώς τα αυτοκίνητα με κινητήρα εσωτερικής καύσης κυριαρχούσαν την αγορά. Ωστόσο, οι ανησυχίες για τη ρύπανση του περιβάλλοντος και την εξάρτηση από το πετρέλαιο προκάλεσαν το ανανεωμένο ενδιαφέρον για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα στα τέλη του 20ού αιώνα.

Εικόνα 2: Tesla Αυτοκίνητο [113]



Στον 21ο αιώνα, οι προηγμένες τεχνολογικές εξελίξεις στις μπαταρίες, η αυξανόμενη περιβαλλοντική συνείδηση και οι ανησυχίες για την κλιματική αλλαγή οδήγησαν σε σημαντική αναβίωση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Εταιρείες όπως η Tesla διαδραμάτισαν καθοριστικό ρόλο στον ανασχηματισμό της εικόνας των ηλεκτρικών οχημάτων, προσφέροντας υψηλής απόδοσης ηλεκτρικά αυτοκίνητα που έλκουν ένα ευρύτερο κοινό καταναλωτών.

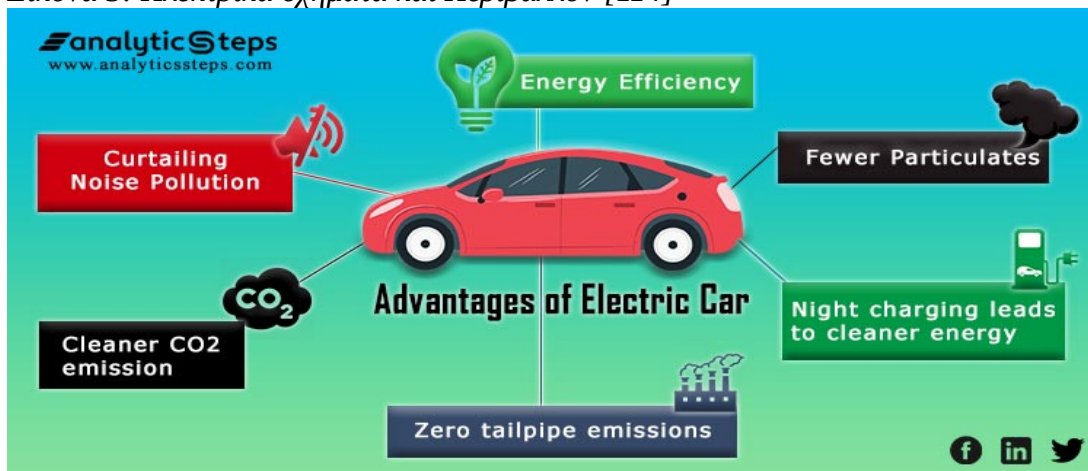
Κυβερνητικές πρωτοβουλίες σε όλο τον κόσμο, όπως φορολογικά κίνητρα, επιδοτήσεις και αυστηρότερα πρότυπα εκπομπών, ενίσχυσαν περαιτέρω την υιοθέτηση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Πολλές χώρες δεσμεύθηκαν να εξαλείψουν τα οχήματα με κινητήρες εσωτερικής καύσης στις επόμενες δεκαετίες, σηματοδοτώντας μια μετάβαση προς ένα πιο βιώσιμο αυτοκινητιστικό μέλλον [1-3].

2.2 Περιβάλλον και Ηλεκτρικά Οχήματα

Στην πορεία προς ένα βιώσιμο και οικολογικό μέλλον, τα ηλεκτρικά οχήματα (ΗΟ) έχουν εμφανιστεί ως μια μετασχηματιστική δύναμη, προσφέροντας μια πειστική λύση στις περιβαλλοντικές προκλήσεις που θέτουν τα παραδοσιακά οχήματα με εσωτερική καύση. Αυτή η αλλαγή παραδειγματίζεται από αρκετούς βασικούς παράγοντες που συνδέονται συνολικά με τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και το συνολικό θετικό αποτύπωμα στον πλανήτη.

Ένα από τα καθοριστικά χαρακτηριστικά των ηλεκτρικών οχημάτων είναι η ικανότητά τους να λειτουργούν με μηδενικές εκπομπές από την εξάτμιση. Σε αντίθεση με τα συμβατικά οχήματα που καίνε ορυκτά καύσιμα και εκπέμπουν βλαβερά ρυπογόνα στον αέρα, τα ηλεκτρικά οχήματα χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια για την κίνησή τους, εξαλείφοντας την άμεση εκπομπή ρυπογόνων ουσιών όπως το μονοξείδιο του άνθρακα, τα οξείδια του αζώτου και τα σωματίδια. Αυτό βελτιώνει όχι μόνο την ποιότητα του αέρα στις αστικές περιοχές, αλλά αντιμετωπίζει επίσης τα προβλήματα υγείας που σχετίζονται με ασθένειες του αναπνευστικού και της καρδιαγγειακής συστολής.

Εικόνα 3: Ηλεκτρικά οχήματα και Περιβάλλον [114]



Τα ευρύτερα περιβαλλοντικά οφέλη των ηλεκτρικών οχημάτων γίνονται πιο εμφανή, ιδίως όταν λαμβάνεται υπόψη η δυνατότητά τους να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Ενώ η ενεργειακή απόδοση των ηλεκτρικών οχημάτων συμβάλλει ουσιαστικά στη μείωση των εκπομπών, το μέγεθος αυτής της μείωσης επηρεάζεται σημαντικά από την πηγή της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται για τη φόρτιση. Όταν τα ηλεκτρικά οχήματα φορτίζονται με ηλεκτρισμό που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές, όπως ο αέρας, ο ήλιος ή το νερό, μειώνεται σημαντικά το ίχνος τους, συντελώντας στην παγκόσμια προσπάθεια καταπολέμησης της κλιματικής αλλαγής.

Τα ηλεκτρικά οχήματα, με κινητήρες που λειτουργούν με ηλεκτρική ενέργεια, επιδεικνύουν υψηλότερη ενεργειακή απόδοση σε σχέση με τα παραδοσιακά οχήματα με εσωτερική καύση. Οι συνεχείς εξελίξεις στην τεχνολογία των μπαταριών, εκτός από τη βελτίωση της αυτονομίας των ηλεκτρικών οχημάτων, συμβάλλουν στην αειφορία τους, ελαχιστοποιώντας τα περιβαλλοντικά αποτυπώματα που σχετίζονται με την κατασκευή και την απόρριψη των μπαταριών. Η εξέλιξη των προγραμμάτων ανακύκλωσης εξασφαλίζει την υπεύθυνη διαχείριση του τέλους ζωής των στοιχείων των ηλεκτρικών οχημάτων.

Η ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων στο οικοσύστημα των μεταφορών δεν είναι απομονωμένη, αλλά ανήκει σε ένα μεγαλύτερο αφήγημα - τη μετάβαση σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Καθώς το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας ενσωματώνει έναν αυξανόμενο αριθμό ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τα περιβαλλοντικά οφέλη των ηλεκτρικών οχημάτων συνεχίζουν να βελτιώνονται. Αυτή η μετάβαση αντιπροσωπεύει μια ολιστική προσέγγιση προς τη βιωσιμότητα, αναγνωρίζοντας την αμοιβαία σχέση της παραγωγής ενέργειας και των μεταφορών.

Η ευρεία υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων συνεισφέρει σημαντικά στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα, ιδίως σε πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές. Η μηδενική εκπομπή καυσαερίων κατά τη λειτουργία των ηλεκτρικών οχημάτων σημαίνει ότι δεν προσθέτουν βλαβερά ρυπογόνα στον αέρα, όπως μονοξείδιο του άνθρακα, οξείδια του αζώτου και σωματίδια που συχνά σχετίζονται με παθήσεις του αναπνευστικού συστήματος. Η μείωση των εκπομπών αυτών συνεισφέρει σημαντικά στην προστασία της υγείας του πληθυσμού και του περιβάλλοντος. Η χρήση ηλεκτρικών οχημάτων συμβάλλει στη μείωση των ασθενειών που συνδέονται με τη ρύπανση του αέρα, όπως οι πνευμονίες, οι αλλεργίες και οι καρδιαγγειακές παθήσεις. Επιπλέον, η μείωση των εκπομπών ρυπαντικών ουσιών έχει ευεργετικά αποτελέσματα στην ποιότητα του περιβάλλοντος και στη δημόσια υγεία, συμβάλλοντας στη δημιουργία ενός πιο βιώσιμου και υγιούς περιβάλλοντος για τις επόμενες γενιές.

Ενώ τα ηλεκτρικά οχήματα παράγουν μηδενικές εκπομπές κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους, για μια ολοκληρωμένη κατανόηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων απαιτείται η εξέταση ολόκληρου του κύκλου ζωής τους. Αυτό περιλαμβάνει την κατασκευή, τη μεταφορά και την απόρριψη. Η συνεχής έρευνα και ανάπτυξη στους τομείς της τεχνολογίας μπαταριών, σε συνδυασμό με αποτελεσματικές πρακτικές ανακύκλωσης, στοχεύει στην ελαχιστοποίηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος κατά τη διάρκεια ολόκληρου του κύκλου ζωής.

Συνολικά, τα ηλεκτρικά οχήματα αναδεικνύονται ως αντιπρόταση ελπίδας στην συνεχιζόμενη αναζήτηση για περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Η ικανότητά τους να μειώνουν τις εκπομπές CO₂, να βελτιώνουν την ποιότητα του αέρα και να συμβάλλουν στην παγκόσμια μετάβαση προς ανανεώσιμες πηγές ενέργειας τα καθιστούν κλειδί για την περιβαλλοντική εξέλιξη. Καθώς η τεχνολογία συνεχίζει να προχωρά και η κοινωνία υιοθετεί την υποχρέωση της βιώσιμης μεταφοράς, τα ηλεκτρικά οχήματα είναι προορισμένα να διαδραματίσουν ολοένα και πιο κεντρικό ρόλο στον σχεδιασμό ενός πιο καθαρού και πράσινου μέλλοντος για τον πλανήτη μας [4-6].

2.3 Βασικά Μέρη ενός Ηλεκτρικού Οχήματος

Ένα ηλεκτρικό όχημα συνίσταται από τα ακόλουθα μέρη:

- Ηλεκτρικός Κινητήρας:

Η καρδιά ενός ηλεκτρικού οχήματος, ο ηλεκτρικός κινητήρας, μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια από την μπαταρία σε μηχανική ενέργεια για να κινήσει τους τροχούς. Διάφοροι τύποι ηλεκτρικών κινητήρων, όπως οι κινητήρες επαγωγής ή οι μόνιμοι μαγνήτες, χρησιμοποιούνται σε ΗΟ.

- Μπαταρία:

Η μπαταρία αποθηκεύει την ηλεκτρική ενέργεια και την παρέχει στον ηλεκτρικό κινητήρα. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου είναι η πιο συνηθισμένη επιλογή για τα ΗΟ λόγω της υψηλής ενεργειακής πυκνότητας και αποδοτικότητας τους.

- Ηλεκτρικά Στοιχεία Ισχύος:

Τα ηλεκτρικά στοιχεία ισχύος διαχειρίζονται τη ροή ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ της μπαταρίας και του ηλεκτρικού κινητήρα. Στοιχεία όπως αντιστροφείς και μετατροπείς βοηθούν στον έλεγχο τάσης και ρεύματος, βελτιστοποιώντας την απόδοση.

- Σύστημα Φόρτισης:

Το σύστημα φόρτισης περιλαμβάνει τον ενσωματωμένο φορτιστή και τη θύρα φόρτισης. Επιτρέπει στο ΗΟ να επαναφορτίσει τη μπαταρία του από μια εξωτερική πηγή ισχύος, όπως ένας σταθμός φόρτισης ή μια οικιακή πρίζα.

- Σύστημα Διαχείρισης Θερμοκρασίας:

Τα ΗΟ απαιτούν ένα σύστημα διαχείρισης θερμοκρασίας για τον έλεγχο της θερμοκρασίας της μπαταρίας, εξασφαλίζοντας βέλτιστη απόδοση και μακροζωία.

- Ελεγκτής Ηλεκτρικού Οχήματος (EVC):

Ο Ελεγκτής Ηλεκτρικού Οχήματος διαχειρίζεται διάφορα στοιχεία, συμπεριλαμβανομένου του ηλεκτρικού κινητήρα και των ηλεκτρικών στοιχείων ισχύος. Ελέγχει τη συνολική λειτουργία του ΗΟ και εξασφαλίζει αποδοτική χρήση ενέργειας.

- Σύστημα Μετάδοσης:

Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά οχήματα, πολλά ΗΟ έχουν ένα κιβώτιο ταχυτήτων με μία ταχύτητα λόγω της ευρείας περιοχής ροπής των ηλεκτρικών κινητήρων. Ορισμένα μοντέλα ενδέχεται να ενσωματώνουν ακόμη κιβώτια πολλαπλών ταχυτήτων για λόγους απόδοσης.

- Σύστημα Ανάκτησης Ενέργειας κατά την Πέδηση:

Τα ΗΟ χρησιμοποιούν συχνά συστήματα ανάκτησης ενέργειας κατά την πέδηση, μετατρέποντας την κινητική ενέργεια πίσω σε ηλεκτρική ενέργεια κατά την πέδηση. Αυτή η ενέργεια επιστρέφεται στην μπαταρία, ενισχύοντας τη συνολική απόδοση.

- Λογισμικό Ηλεκτρικού Οχήματος:

Προηγμένο λογισμικό ελέγχει διάφορες πτυχές ενός ΗΟ, όπως η διαχείριση ενέργειας, το σύστημα ανάκτησης ενέργειας και οι λειτουργίες συνδεσιμότητας. Οι ενημερώσεις μέσω του αέρα επιτρέπουν στους κατασκευαστές να βελτιώνουν την απόδοση και να προσθέτουν νέα χαρακτηριστικά.

- Βοηθητικά Συστήματα:

Τα βοηθητικά συστήματα περιλαμβάνουν συστήματα όπως η ηλεκτρική υδραυλική τιμή, ο κλιματισμός και άλλα αξεσουάρ, όλα τροφοδοτούμενα από ηλεκτρισμό αντί για παραδοσιακούς μηχανισμούς που κινούνται από κινητήρες [7-10].

2.4 Προτερήματα και Ελαττώματα Ηλεκτρικών Οχημάτων

2.4.1 Πλεονεκτήματα Ηλεκτρικών Οχημάτων

Τα ηλεκτρικά οχήματα (ΗΟ) προσφέρουν πολλαπλά πλεονεκτήματα έναντι των παραδοσιακών οχημάτων με εσωτερική καύση (ΟΕΚ), από περιβαλλοντικά οφέλη έως βελτίωση της εμπειρίας οδήγησης και της ενεργειακής απόδοσης. Σε αυτή την ενότητα, παρατίθενται μερικά από τα βασικά πλεονεκτήματα των ηλεκτρικών οχημάτων, υποστηριζόμενα από αναφορές:

1. Περιβαλλοντικά Οφέλη:

- Μείωση των Εκπομπών του Θερμοκηπίου: Τα ΗΟ παράγουν μηδενικές εκπομπές, οδηγώντας σε σημαντική μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου σε σύγκριση με τα ΟΕΚ, ειδικά όταν φορτίζονται χρησιμοποιώντας ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

- Βελτίωση της Ποιότητας του Αέρα: Με την εξάλειψη εκπομπών εξάτμισης όπως τα αζωτούχα (NO_x) και τα σωματίδια (PM), τα ΗΟ συμβάλλουν στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα και της δημόσιας υγείας σε αστικές περιοχές.

- Μετριασμός της Κλιματικής Αλλαγής: Η ευρεία υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να συμβάλει στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής με τη μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα και τη μετάβαση σε πιο καθαρές πηγές ενέργειας [35-36].

2. Ενεργειακή Απόδοση:

- Υψηλότερη Ενεργειακή Απόδοση: Τα ΗΟ είναι πιο αποδοτικά ενεργειακά σε σχέση με τα ΟΕΚ λόγω της άμεσης μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας σε κίνηση χωρίς την ανάγκη κινητήρων καύσης. Τα ΗΟ έχουν συνήθως υψηλότερα ρεύματα απόδοσης και μικρότερη κατανάλωση ενέργειας ανά μίλι / χιλιόμετρο που διανύεται.

- Ανάκτηση Ενέργειας κατά το Φρενάρισμα: Τα ΗΟ χρησιμοποιούν τεχνολογία για την ανάκτηση και αποθήκευση κινητικής ενέργειας κατά το φρενάρισμα, βελτιώνοντας τη συνολική ενεργειακή απόδοση και επεκτείνοντας την αυτονομία της οδήγησης [37-38].

3. Εξοικονόμηση Κόστους:

- Χαμηλότερο Κόστος Καυσίμων: Τα ΗΟ έχουν γενικά χαμηλότερα λειτουργικά κόστη από τα ΟΕΚ λόγω του χαμηλότερου κόστους ηλεκτρισμού σε σύγκριση με τη βενζίνη ή το πετρέλαιο. Επιπλέον, τα ΗΟ απαιτούν λιγότερη συντήρηση καθώς έχουν λιγότερα κινούμενα μέρη και δεν απαιτούν αλλαγές λαδιών.

- Κυβερνητικά Κίνητρα: Πολλές κυβερνήσεις προσφέρουν οικονομικά κίνητρα, φορολογικές ελαφρύνσεις και επιδοτήσεις για την προώθηση της υιοθέτησης ηλεκτρικών οχημάτων, μειώνοντας περαιτέρω τα αρχικά έξοδα για τους καταναλωτές [39-40].

4. Τεχνολογική Πρόοδος:

- Καινοτομία και Πρόοδος: Η ανάπτυξη των ηλεκτρικών οχημάτων κινητοποιεί τις τεχνολογικές καινοτομίες στην τεχνολογία των μπαταριών, των ηλεκτρικών κινητήρων και της υποδομής φόρτισης, οδηγώντας σε πιο αποδοτικά και αξιόπιστα ΗΟ με τον χρόνο.

-Ενσωμάτωση με τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας: Τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να λειτουργήσουν ως μέσο ενσωμάτωσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια, στον τομέα των μεταφορών, προωθώντας την ενεργειακή ανεξαρτησία και την ανθεκτικότητα [40].

2.4.2 Μειονεκτήματα Ηλεκτρικών Οχημάτων

Παρόλο που τα ηλεκτρικά οχήματα (ΗΟ) προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα, υπάρχουν επίσης κάποια μειονεκτήματα. Παρακάτω, παρατίθενται μερικά από τα μειονεκτήματα που σχετίζονται με τα ηλεκτρικά οχήματα, μαζί με τις αντίστοιχες αναφορές:

1. Περιορισμένη Αυτονομία:

- Ένας από τους βασικούς προβληματισμούς για τους ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων είναι η περιορισμένη αυτονομία σε σύγκριση με τα παραδοσιακά οχήματα με εσωτερική καύση (ΟΕΚ). Αν και η αυτονομία των ΗΟ έχει βελτιωθεί με τις εξελίξεις στην τεχνολογία των μπαταριών, μερικά μοντέλα ΗΟ ακόμα έχουν περιορισμένη αυτονομία με μία μόνο φόρτιση, κάτι που μπορεί να προκαλέσει άγχος για την αυτονομία, ειδικά κατά τη διάρκεια των μακρινών ταξιδιών[41-42].

2. Προκλήσεις Υποδομής Φόρτισης:

- Η διαθεσιμότητα και η προσβασιμότητα της υποδομής φόρτισης παραμένουν σημαντικοί φραγμοί για την ευρεία υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων. Ενώ οι σταθμοί φόρτισης γίνονται όλο και πιο συνηθισμένοι, υπάρχουν ακόμα ανησυχίες για την επάρκεια της υποδομής φόρτισης, ειδικά σε αγροτικές ή λιγότερο πυκνοκατοικημένες περιοχές. Επιπλέον, ο χρόνος που απαιτείται για τη φόρτιση σε σύγκριση με την ανεφοδιασμό των ΟΕΚ συχνά αναφέρεται ως μειονέκτημα [43-44].

3. Υψηλό Αρχικό Κόστος:

- Τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν συνήθως υψηλότερο κόστος αγοράς σε σύγκριση με τα παραδοσιακά ΟΕΚ, κυρίως λόγω του κόστους της τεχνολογίας των μπαταριών. Αν και το συνολικό κόστος κατοχής μπορεί να είναι χαμηλότερο κατά τη διάρκεια ζωής του οχήματος λόγω της λειτουργίας και τη συντήρησης, η αρχική τιμή παραμένει σημαντικό εμπόδιο για πολλούς καταναλωτές [45-46].

4. Αποδόμηση και Ανακύκλωση Μπαταριών:

- Η αποδόμηση των μπαταριών με την πάροδο του χρόνου είναι ένας άλλος λόγος ανησυχίας για τους ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων, καθώς μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της αυτονομίας οδήγησης και της απόδοσης. Επιπλέον, η ανακύκλωση και η διάθεση των μπαταριών των ΗΟ δημιουργούν περιβαλλοντικές προκλήσεις, καθώς οι μπαταρίες ιόντων λιθίου περιέχουν υλικά που απαιτούν κατάλληλες μεθόδους χειρισμού και ανακύκλωσης [47-48].

5. Εξάρτηση από Σπάνια Μεταλλικά Στοιχεία:

- Οι μπαταρίες των ηλεκτρικών οχημάτων συνήθως βασίζονται σε σπάνια μεταλλικά στοιχεία όπως το λίθιο, το κοβάλτιο και το νικέλιο. Η εξόρυξη και η επεξεργασία αυτών των υλικών μπορεί να έχει περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις, συμπεριλαμβανομένης της καταστροφής του φυσικού περιβάλλοντος, της ρύπανσης του νερού και της εκμετάλλευσης εργατικού δυναμικού στις περιοχές εξόρυξης [48].

3. Κατηγορίες Ηλεκτρικών Οχημάτων

3.1 Τύποι Ηλεκτρικών Οχημάτων:

Τα ηλεκτρικά οχήματα (HO) υπάρχουν σε διάφορους τύπους, καθένας σχεδιασμένος για να εξυπηρετεί συγκεκριμένους σκοπούς και να αντιμετωπίζει διάφορες οδηγικές ανάγκες. Οι κύριοι τύποι ηλεκτρικών οχημάτων περιλαμβάνουν:

1. Ηλεκτρικά Οχήματα με Μπαταρία (BEVs):

- Τα BEVs είναι πλήρως ηλεκτρικά οχήματα που βασίζονται αποκλειστικά στην ηλεκτρική ενέργεια που αποθηκεύεται σε υψηλής χωρητικότητας μπαταρίες για την κίνησή τους.

- Δεν έχουν μηχανή εσωτερικής καύσης και παράγουν μηδενικές εκπομπές αερίων.
- Το εύρος(range) καθορίζεται από τη χωρητικότητα της μπαταρίας, και απαιτείται φόρτιση για την ανανέωση της μπαταρίας.

2. Ηλεκτρικά Οχήματα Plug-in Υβριδικά (PHEVs):

- Τα PHEVs συνδυάζουν έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης με έναν ηλεκτρικό κινητήρα και μια μεγαλύτερη μπαταρία.

- Μπορούν να λειτουργήσουν σε καθολική λειτουργία μόνο με ηλεκτρική ενέργεια για μικρότερες αποστάσεις και να χρησιμοποιήσουν τον κινητήρα εσωτερικής καύσης για μεγαλύτερες διαδρομές.

- Τα PHEVs μπορούν να φορτίζονται μέσω πρίζας, προσφέροντας ευελιξία στους χρήστες.

3. Υβριδικά Ηλεκτρικά Οχήματα (HEVs):

- Τα HEVs έχουν τόσο κινητήρα εσωτερικής καύσης όσο και ηλεκτρικό κινητήρα αλλά δεν μπορούν να συνδεθούν για φόρτιση.

- Ο ηλεκτρικός κινητήρας υποστηρίζει τον κινητήρα και ανακτά ενέργεια κατά τη πέδηση.

- Τα HEVs επιτυγχάνουν καλύτερη αποδοτικότητα καυσίμου από τα παραδοσιακά οχήματα εσωτερικής καύσης αλλά εξαρτώνται από τη βενζίνη για ενέργεια.

4. Ηλεκτρικά Οχήματα με Κυψέλες Καυσίμου (FCEVs):

- Τα FCEVs χρησιμοποιούν κυψέλες υδρογόνου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που κινεί τον ηλεκτρικό κινητήρα.

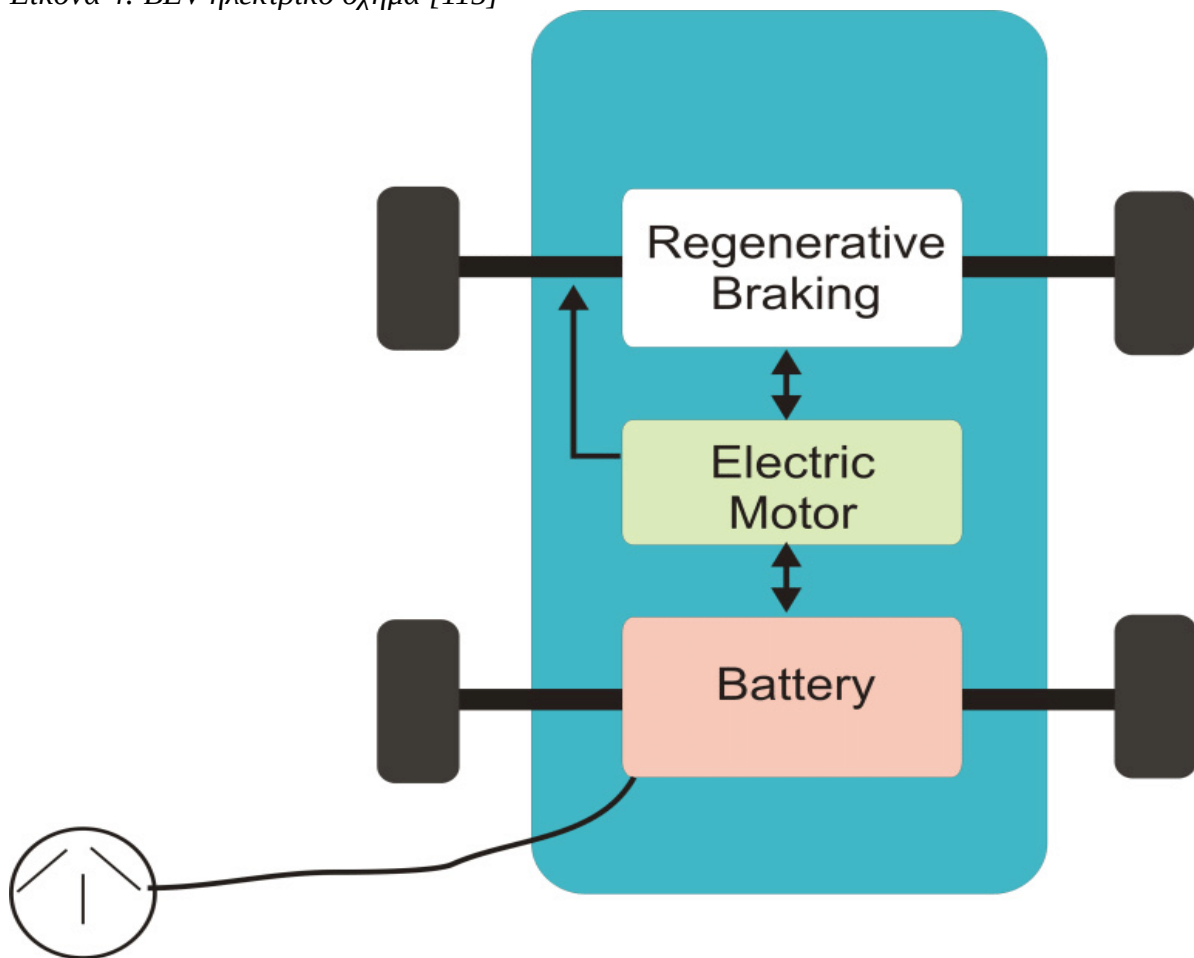
- Η μόνη εκπομπή από τα FCEVs είναι ατμός νερού, καθιστώντας τα μια καθαρή εναλλακτική λύση σε σχέση με τα παραδοσιακά οχήματα.

- Τα FCEVs είναι λιγότερο διαδεδομένα από άλλους τύπους HO και απαιτούν ένα δίκτυο υδρογονανθράκων.

5. Οχήματα για Επαγγελματική Χρήση (NEVs):

- Τα NEVs, επίσης γνωστά ως οχήματα χαμηλής ταχύτητας, σχεδιάστηκαν για τοπική, χαμηλής ταχύτητας μετακίνηση.
- Χρησιμοποιούνται συνήθως σε κατοικημένες περιοχές, γήπεδα γκολφ ή άλλα ελεγχόμενα περιβάλλοντα.
- Τα NEVs έχουν περιορισμένη εμβέλεια και δεν είναι κατάλληλα για χρήση στον αυτοκινητόδρομο [11-14].

Εικόνα 4: BEV ηλεκτρικό όχημα [115]



3.2.1 Ηλεκτρικά Οχήματα με Μπαταρία (BEVs)

Τα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία (BEVs) αποτελούν έναν τύπο ηλεκτρικού οχήματος που βασίζεται αποκλειστικά στην ηλεκτρική ενέργεια που αποθηκεύεται σε μπαταρίες υψηλής χωρητικότητας για την κίνησή του. Αντίθετα με τα υβριδικά οχήματα, τα BEVs δεν διαθέτουν μηχανή εσωτερικής καύσης και παράγουν μηδενικές εκπομπές αερίων κατά τη λειτουργία τους. Παρακάτω παρατίθενται τα βασικά χαρακτηριστικά των Ηλεκτρικών Οχημάτων με Μπαταρία:

1. Πηγή Ενέργειας:

Τα BEVs λειτουργούν με επαναφορτιζόμενες μπαταρίες λιθίου ή άλλες προηγμένες τεχνολογίες μπαταριών. Αυτές οι μπαταρίες αποθηκεύουν ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται για την κίνηση ενός ηλεκτρικού κινητήρα, παρέχοντας κίνηση στο όχημα.

2. Μηδενικές Εκπομπές:

Τα BEVs δεν παράγουν εκπομπές αερίων από την εξάτμιση, καθιστώντας τα φιλικά προς το περιβάλλον και συμβάλλοντας στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Αυτό το στοιχείο ευθυγραμμίζεται με τις προσπάθειες αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής και της βελτίωσης της ποιότητας του αέρα.

3. Εμβέλεια:

Η εμβέλεια οδήγησης ενός BEV καθορίζεται από την ενεργειακή χωρητικότητα της μπαταρίας του. Οι εξελίξεις στην τεχνολογία των μπαταριών έχουν οδηγήσει σε βελτιώσεις στο εύρος, μερικά σύγχρονα BEVs προσφέρουν εύρη αντίστοιχα με τα παραδοσιακά βενζινοκίνητα οχήματα.

4. Υποδομή Φόρτισης:

Τα BEVs πρέπει να φορτίζονται χρησιμοποιώντας ηλεκτρικούς σταθμούς φόρτισης. Η υποδομή φόρτισης έχει επεκταθεί παγκοσμίως, με επιλογές που κυμαίνονται από οικιακούς φορτιστές έως δημόσιους σταθμούς γρήγορης φόρτισης. Ο χρόνος φόρτισης ποικίλει ανάλογα με τον εξοπλισμό φόρτισης που χρησιμοποιείται.

5. Οικιακή Φόρτιση:

Πολλοί κάτοχοι BEV επιλέγουν να εγκαταστήσουν οικιακούς φορτιστές, επιτρέποντάς τους να φορτίζουν τα οχήματά τους κατά τη διάρκεια της νύχτας. Αυτό παρέχει έναν βολικό τρόπο φόρτισης και διασφαλίζει ότι το όχημα είναι έτοιμο για καθημερινή χρήση.

6. Απόδοση και Αποδοτικότητα:

Τα BEVs είναι γνωστά για την παροχή άμεσης ροπής, παρέχοντας ομαλή και γρήγορη επιτάχυνση. Συχνά έχουν λιγότερα κινούμενα μέρη από τα παραδοσιακά οχήματα, μειώνοντας έτσι το κόστος συντήρησης στον χρόνο.

7. Κυβερνητικά Κίνητρα:

Διάφορες κυβερνήσεις παρέχουν κίνητρα για να ενθαρρύνουν την υιοθέτηση των BEV, συμπεριλαμβανομένων φορολογικών εκπτώσεων, επιδοτήσεων και πρόσβασης στις λωρίδες κοινού μεταφορικού μέσου. Αυτά τα κίνητρα στοχεύουν στην προώθηση της χρήσης καθαρών και βιώσιμων μεταφορών.

8. Περιβαλλοντική Επίδραση:

Ενώ τα BEVs δεν παράγουν εκπομπές κατά τη λειτουργία, η περιβαλλοντική επίδραση επηρεάζεται από τις πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η μετάβαση σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ενισχύει περαιτέρω τα περιβαλλοντικά οφέλη των BEV.

9. Ανάπτυξη της Αγοράς:

Η αγορά των BEV αυξάνεται σταθερά, καθώς οι προόδοι στην τεχνολογία των μπαταριών, η αυξημένη ευαισθητοποίηση σχετικά με τα περιβαλλοντικά ζητήματα και οι ενεργές πολιτικές υποστήριξης οδηγούν στην υιοθέτηση τους. Μεγάλες αυτοκινητοβιομηχανίες επενδύουν σημαντικά στην ανάπτυξη των BEV.

10. Παράγοντες Κατανάλωσης:

Οι καταναλωτές που εξετάζουν τα BEV συνήθως αξιολογούν παράγοντες όπως το εύρος, η υποδομή φόρτισης και το συνολικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Καθώς η τεχνολογία συνεχίζει να εξελίσσεται, τα BEV γίνονται πιο προσιτά και ελκυστικά για ένα ευρύ φάσμα καταναλωτών.

Τα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία αντιπροσωπεύουν ένα σημαντικό βήμα προς μια βιώσιμη και μηδενικής εκπομπής κυκλοφορία, συμβάλλοντας στην αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών προκλήσεων που σχετίζονται με τα παραδοσιακά οχήματα με εσωτερική καύση [15-17].

Εικόνα 5: Plug-in Ηλεκτρικό Όχημα [116]



3.2.2 Επαναφορτιζόμενα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα με ηλεκτρική ενέργεια από εξωτερική πηγή(PHEVs):

Το όχημα υβριδικής φόρτισης (PHEVs) είναι ένας τύπος ηλεκτρικού οχήματος που συνδυάζει έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης με έναν ηλεκτροκινητήρα και μια επαναφορτιζόμενη μπαταρία, όπως τα υβριδικά. Τα PHEVs προσφέρουν την ευελιξία να λειτουργούν τόσο με ηλεκτρική ενέργεια όσο και με παραδοσιακά καύσιμα, παρέχοντας στους οδηγούς τη δυνατότητα εναλλαγής μεταξύ των λειτουργικών καταστάσεων. Η μεγάλη διαφορά από τα υπόλοιπα υβριδικά είναι ότι το μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται για την κίνησή τους παρέχεται από το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας για τη φόρτιση των συσσωρευτών τους. Εδώ είναι τα βασικά χαρακτηριστικά των PHEV:

1. Διπλή Πηγή Ενέργειας:

Τα PHEVs διαθέτουν τόσο εσωτερικό καύσιμο (συνήθως βενζίνη) όσο και επαναφορτιζόμενη μπαταρία. Αυτό το διπλό σύστημα επιτρέπει στο όχημα να κινείται τόσο με ηλεκτρική ενέργεια όσο και με κινητήρα εσωτερικής καύσης.

2. Εμβέλεια Ηλεκτρικής Κίνησης Μόνο:

Τα PHEVs έχουν ένα εύρος ηλεκτρικής κίνησης που αντιπροσωπεύει την απόσταση που το όχημα μπορεί να διανύσει αποκλειστικά με ηλεκτρική ενέργεια πριν ενεργοποιηθεί ο κινητήρας εσωτερικής καύσης. Αυτή η απόσταση ποικίλλει ανάμεσα στα διάφορα μοντέλα PHEV.

3. Επιλογές Φόρτισης:

Τα PHEVs μπορούν να φορτίζονται με το να συνδέονται σε ηλεκτρική πρίζα ή σε σταθμό φόρτισης, επιτρέποντας την επαναφόρτιση της μπαταρίας για λειτουργία αποκλειστικά με ηλεκτρική ενέργεια. Κάποια PHEVs χρησιμοποιούν επίσης τον τρόπο ανάκτησης ενέργειας από το φρενάρισμα για να ανακτήσουν ενέργεια και να φορτίσουν τη μπαταρία κατά τη διάρκεια της οδήγησης(regenerating braking).

4. Λειτουργικές Καταστάσεις Υβριδικού Συστήματος:

Τα PHEVs συνήθως προσφέρουν διάφορες λειτουργικές καταστάσεις οδήγησης, όπως αμιγώς ηλεκτρική κίνηση, υβριδική λειτουργία (χρησιμοποιώντας τόσο τον ηλεκτροκινητήρα όσο και τον κινητήρα εσωτερικής καύσης) και, μερικές φορές, λειτουργία που προτιμά την κίνηση με κινητήρα εσωτερικής καύσης για επιδόσεις σε αυτοκινητόδρομους.

5. Περιβαλλοντικά Πλεονεκτήματα:

Κατά τη λειτουργία σε λειτουργία μόνο με ηλεκτρική ενέργεια, τα PHEVs παράγουν μηδενικές εκπομπές αέριων καυσαερίων, συμβάλλοντας στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Η περιβαλλοντική επίδραση

εξαρτάται από τη συχνότητα της ηλεκτρικής οδήγησης και τις πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

6. Συνδυασμός Απόδοσης και Εύρους:

Τα PHEVs στοχεύουν στο να συνδυάσουν την καυσιμο-αποδοτικότητα της ηλεκτρικής ενέργειας για τις σύντομες διαδρομές με την εκτεταμένη εμβέλεια που παρέχεται από το εσωτερικό καύσιμο, αντιμετωπίζοντας το φαινόμενο της ανησυχίας για την απόσταση αυτονομίας που σχετίζεται με τα πλήρως ηλεκτρικά οχήματα.

7. Υποδομή Φόρτισης:

Τα PHEVs επωφελούνται από την υπάρχουσα υποδομή για τα παραδοσιακά βενζινοκίνητα οχήματα, ενώ επωφελούνται επίσης από την αυξανόμενη υποδομή φόρτισης για ηλεκτρικά οχήματα. Αυτή η διπλή δυνατότητα παρέχει στους οδηγούς ευελιξία στην επιλογή της πηγής ενέργειας.

8. Κυβερνητικά Κίνητρα:

Όπως και τα οχήματα με μπαταρία, τα PHEVs ενδέχεται να πληρούν τις προϋποθέσεις για κυβερνητικά κίνητρα, όπως φορολογικές εκπτώσεις ή επιδοτήσεις, με στόχο την προώθηση της υιοθέτησής τους και τη στήριξη πρωτοβουλιών για βιώσιμη μεταφορά.

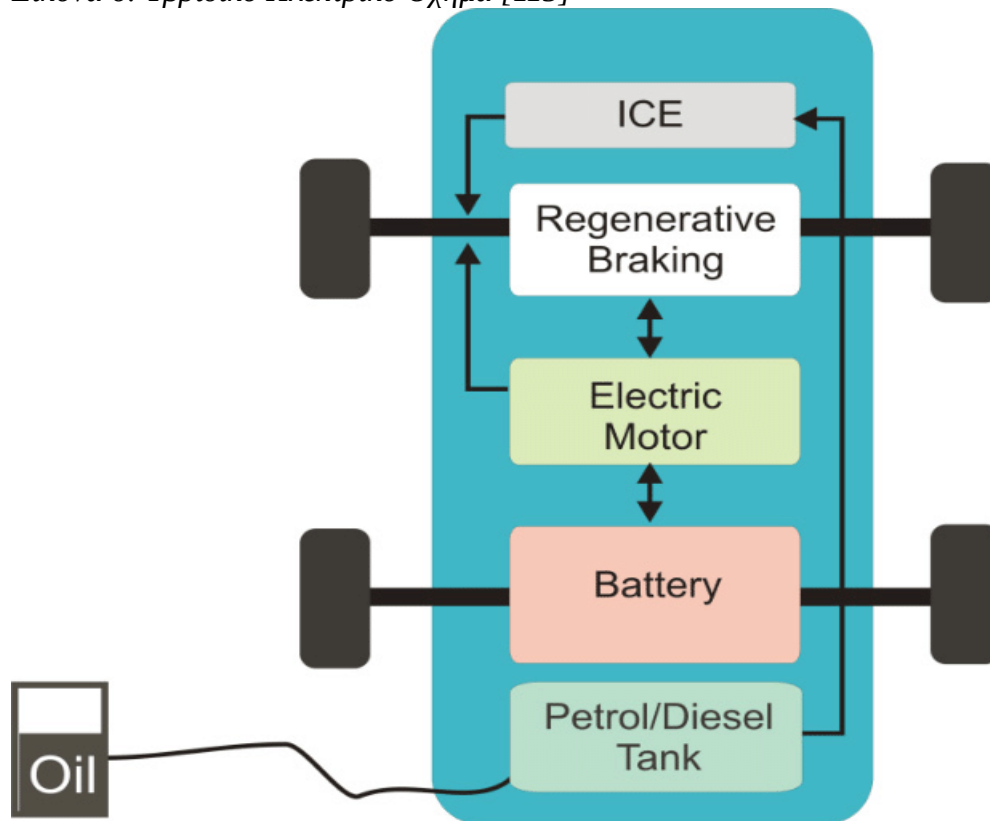
9. Παράγοντες Κατανάλωσης:

Οι καταναλωτές που εξετάζουν τα PHEVs συνήθως λαμβάνουν υπόψη παράγοντες όπως το ηλεκτρικό εύρος, τη διαθεσιμότητα υποδομής φόρτισης και το συνολικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Καθώς η τεχνολογία συνεχίζει να εξελίσσεται, τα PHEVs γίνονται πιο προσιτά και ελκυστικά για ένα ευρύ φάσμα καταναλωτών.

10. Ανάπτυξη της Αγοράς:

Η αγορά των PHEVs αυξάνεται καθώς οι αυτοκινητοβιομηχανίες παρουσιάζουν νέα μοντέλα με βελτιωμένη ηλεκτρική αυτονομία και εκσυγχρονισμένα χαρακτηριστικά. Οι προόδοι στην τεχνολογία των μπαταριών συμβάλλουν στη συνολική έλξη των PHEVs [15-17].

Εικόνα 6: Υβριδικό Ηλεκτρικό Όχημα [115]



3.2.3 Υβριδικά Ηλεκτρικά Οχήματα (HEVs)

Τα Υβριδικά Ηλεκτρικά Οχήματα (HEVs) είναι ένας τύπος οχήματος που συνδυάζει έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης με ένα ηλεκτρικό σύστημα κίνησης. Τα HEVs χρησιμοποιούν τόσο τα παραδοσιακά καύσιμα όσο και την ηλεκτρική ενέργεια για να βελτιώσουν την αποδοτικότητα καυσίμου και να μειώσουν τις εκπομπές. Παρακάτω, παρατίθενται τα κύρια χαρακτηριστικά και χαρακτηριστικά των Υβριδικών Ηλεκτρικών Οχημάτων:

1. Διπλή Πηγή Ενέργειας:

Τα HEVs συνδυάζουν έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης (συνήθως βενζίνη) με έναν ηλεκτροκινητήρα και μια μπαταρία. Η συνδυασμένη λειτουργία επιτρέπει στο όχημα να λειτουργεί είτε με τον κινητήρα εσωτερικής καύσης, είτε με τον ηλεκτροκινητήρα, είτε με μια συνδυασμένη λειτουργία και των δύο.

2. Ανάκτηση Ενέργειας από την Πέδηση (Regenerative Braking):

Τα HEVs χρησιμοποιούν την τεχνολογία ανάκτησης ενέργειας από την πέδηση, η οποία απορροφά και αποθηκεύει την ενέργεια που συνήθως χάνεται ως θερμότητα κατά το

φρενάρισμα. Αυτή η ανακτηθείσα ενέργεια χρησιμοποιείται στη συνέχεια για την επαναφόρτιση της μπαταρίας του οχήματος, συμβάλλοντας στην αυξημένη συνολική απόδοση.

3. Αυτόματη Διαχείριση Ενέργειας:

Τα HEVs χρησιμοποιούν προηγμένα συστήματα ελέγχου που διαχειρίζονται αυτόματα τις πηγές ενέργειας βάσει των συνθηκών οδήγησης. Το όχημα μπορεί να μεταβαίνει απρόσκοπτα μεταξύ ηλεκτρικής κίνησης και βενζινοκίνησης, βελτιώνοντας την αποδοτικότητα της κίνησης με καύσιμο και μειώνοντας τις εκπομπές.

4. Φόρτιση

Τα HEVs δεν έχουν τη δυνατότητα φόρτισης των μπαταριών τους από το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας διότι η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από τα ίδια τα οχήματα. Η επαναφόρτιση των μπαταριών γίνεται από την ενέργεια που παρέχει η μηχανή εσωτερικής καύσης καθώς και μέσω του συστήματος αναγεννητικής πέδησης.

5. Λειτουργία Μόνο με Ηλεκτρική Ενέργεια σε Χαμηλές Ταχύτητες:

Σε ορισμένα HEVs, ο ηλεκτροκινητήρας μπορεί να κινεί το όχημα σε χαμηλές ταχύτητες ή κατά την κίνηση στην πόλη. Αυτό το χαρακτηριστικό μειώνει την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές ρύπων σε αστικά περιβάλλοντα.

6. Απόδοση και Μείωση Εκπομπών:

Το διπλό σύστημα ισχύος στα HEVs βελτιώνει την αποδοτικότητα του καυσίμου, οδηγώντας σε μειωμένη κατανάλωση καυσίμου και μειωμένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σε σύγκριση με τα παραδοσιακά οχήματα με εσωτερικό καύσιμο. Τα HEVs είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά σε αστικές συνθήκες οδήγησης.

7. Περιορισμένη Αυτονομία Μόνο με Ηλεκτρική Ενέργεια:

Αντίθετα με τα Plug-in (PHEVs), τα HEVs έχουν περιορισμένη αυτονομία μόνο με ηλεκτρική ενέργεια. Εξαρτώνται κυρίως από τον κινητήρα εσωτερικής καύσης για μεγαλύτερες αποστάσεις, αλλά επωφελούνται από την ηλεκτρική υποστήριξη για τη βελτίωση της συνολικής απόδοσης.

8. Μικρότερο Μέγεθος Μπαταρίας:

Τα HEVs έχουν συνήθως μικρότερες μπαταρίες σε σύγκριση με τα PHEVs και τα Οχήματα Μπαταρίας Ηλεκτρικής Ενέργειας (BEVs). Η μπαταρία σχεδιάζεται για την υποστήριξη σύντομων εκτοξεύσεων ηλεκτρικής ενέργειας και όχι για την παροχή εκτεταμένης οδήγησης μόνο με ηλεκτρική ενέργεια.

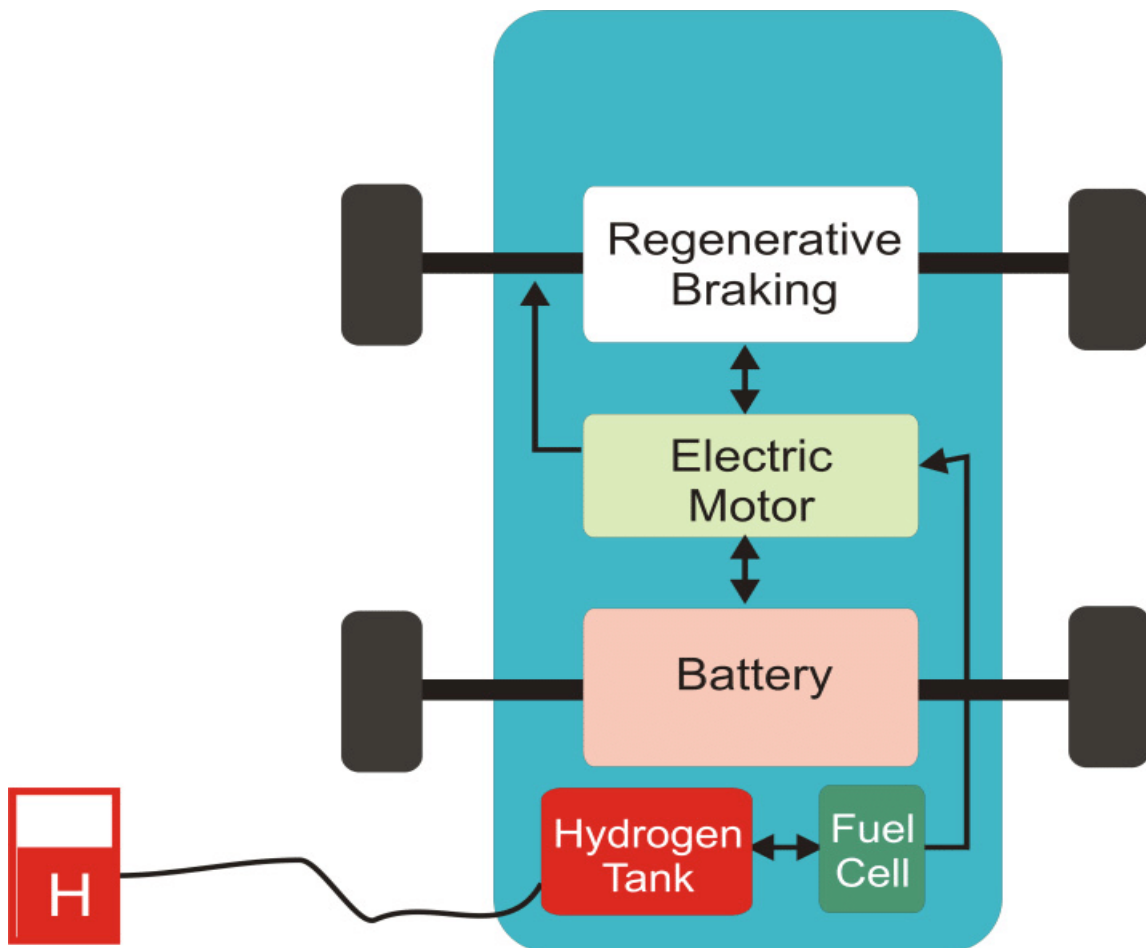
9. Ευρεία Υιοθέτηση:

Τα HEVs έγιναν δημοφιλή λόγω της ομαλής τους ενσωμάτωσης της ηλεκτρικής και της συμβατικής ισχύος, προσφέροντας βελτιωμένη αποδοτικότητα καυσίμου χωρίς την ανάγκη υποδομών φόρτισης.

10. Σκεπτικισμός του Καταναλωτή:

Οι καταναλωτές συχνά λαμβάνουν υπόψη τους παράγοντες όπως η αποδοτικότητα καυσίμου, τα πρότυπα οδήγησης και το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας όταν επιλέγουν HEVs. Η χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου και ο μειωμένος περιβαλλοντικός αντίκτυπος αποτελούν σημαντικούς παράγοντες που κινούν την υιοθέτηση των HEVs [15],[17-19].

Εικόνα 7: Ηλεκτρικό Όχημα με κυψέλες υδρογόνου [115]



3.2.4 Οχήματα με Κυψέλες Υδρογόνου (FCEVs)

Τα Οχήματα με Κυψέλες Υδρογόνου (FCEVs) είναι ένας τύπος ηλεκτρικού οχήματος που χρησιμοποιεί κυψέλες υδρογόνου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που κινεί έναν ηλεκτρικό κινητήρα. Αντίθετα με τα παραδοσιακά ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρίες που αποθηκεύουν ηλεκτρική ενέργεια, τα FCEVs παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα επιτόπου με την ηλεκτροχημική σύζευξη του υδρογόνου και του οξυγόνου από τον αέρα. Εδώ είναι τα βασικά χαρακτηριστικά και χαρακτηριστικά των Οχημάτων με Κυψέλες Υδρογόνου:

1. Κυψέλες Υδρογόνου:

Τα FCEVs είναι εξοπλισμένα με κυψέλες υδρογόνου, οι οποίες αποτελούνται από μια άνοδο και μια κάθοδο που χωρίζονται από μία μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίων. Το υδρογόνο τροφοδοτείται στην άνοδο, και το οξυγόνο από τον αέρα παρέχεται στην κάθοδο. Μέσω ηλεκτροχημικών αντιδράσεων, τα πρωτόνια του υδρογόνου και τα ηλεκτρόνια χωρίζονται, παράγοντας ηλεκτρισμό.

2. Μηδενικές Εκπομπές:

Το μοναδικό παραπροϊόν της ηλεκτροχημικής αντίδρασης στις κυψέλες καυσίμου είναι υδρατμός, καθιστώντας τα FCEVs περιβαλλοντικά φιλικά χωρίς εκπομπές από την εξάτμιση. Αυτό το χαρακτηριστικό συμβάλλει στις προσπάθειες για μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και της κλιματικής αλλαγής.

3. Γρήγορος Επανεφοδιασμός:

- Ο επανεφοδιασμός ενός οχήματος με υδρογόνο είναι συγκρίσιμος με τον ανεφοδιασμό ενός παραδοσιακού οχήματος με βενζίνη όσον αφορά τον χρόνο και την ευκολία. Τα FCEVs μπορούν να επαναφορτιστούν με υδρογόνο σε λίγα λεπτά, προσφέροντας γρήγορη ανακούφιση σε σύγκριση με τους μακρύτερους χρόνους φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων με μπαταρίες.

4. Μεγαλύτερη Αυτονομία:

Τα FCEVs προσφέρουν συνήθως μεγαλύτερες αυτονομίες σε σχέση με τα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρίες. Η ενεργειακή πυκνότητα του υδρογόνου και η αποδοτικότητα των κυψελών καυσίμου επιτρέπουν στα FCEVs να καλύπτουν μεγαλύτερες αποστάσεις με έναν μόνο χώρο υδρογόνου.

5. Ελαφρά και Αποδοτικά:

Οι κυψέλες υδρογόνου είναι σχετικά ελαφριές, συμβάλλοντας στη συνολική αποδοτικότητα και απόδοση των FCEVs. Η τεχνολογία επιτρέπει ένα καλό λόγο ισχύος προς βάρος, ενισχύοντας την εμπειρία οδήγησης.

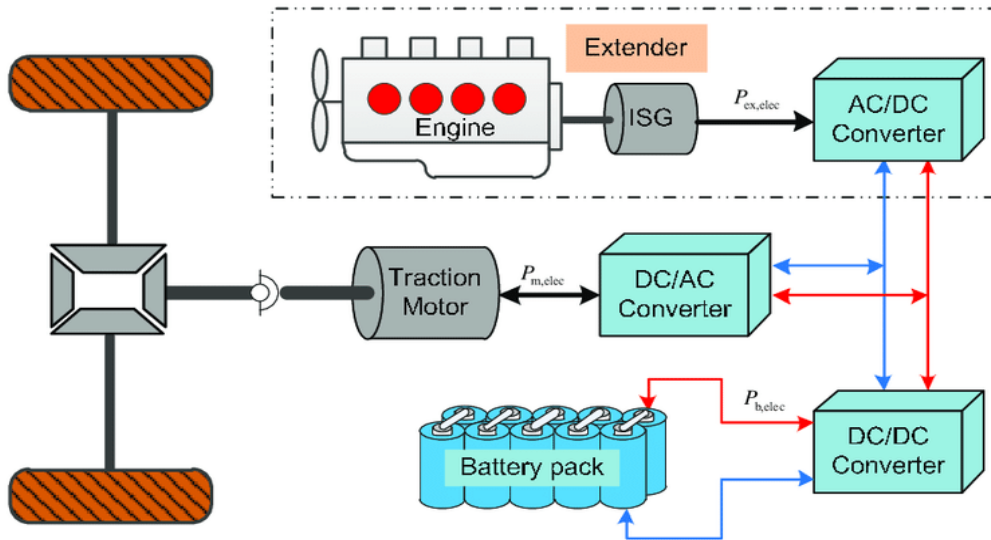
6. Προκλήσεις Υποδομής:

Η βασική πρόκληση για τα FCEVs εντοπίζεται στην περιορισμένη υποδομή για τον επανεφοδιασμό με υδρογόνο. Η δημιουργία ενός ευρέως και προσβάσιμου δικτύου σταθμών υδρογόνου είναι κρίσιμη για την ευρεία υιοθέτηση των FCEVs.

7. Παγκόσμιες Προσπάθειες και Επενδύσεις:

Διάφορες χώρες και αυτοκινητοβιομηχανίες επενδύουν στην ανάπτυξη και εφαρμογή των FCEVs ως μέρος της δέσμευσής τους για βιώσιμες μεταφορές. Κυβερνητικά κίνητρα και συνεργασίες υποστηρίζουν την ανάπτυξη της τεχνολογίας των FCEV [17, 18, 20].

Εικόνα 8: EREV [117]



3.2.5 Ηλεκτρικά Οχήματα με μονάδα επέκτασης της αυτονομίας τους (EREVs)

Τα οχήματα αυτά μοιάζουν πολύ με τα ηλεκτρικά οχήματα της κατηγορίας BEV καθώς κινούνται αποκλειστικά από τον ηλεκτροκινητήρα. Ωστόσο διαθέτουν συμπληρωματικά μια μονάδα θερμικού κινητήρα που χρησιμοποιείται αποκλειστικά για να φορτίζει τις μπαταρίες του οχήματος όταν υπάρχει ανάγκη. Τα EREVs σχεδιάζονται για να προσφέρουν τα οφέλη της ηλεκτρικής οδήγησης με μια επέκταση της αυτονομίας τους μέσω της προσθήκης ενός επιπρόσθετου κινητήρα εσωτερικής καύσης.

Κύρια χαρακτηριστικά των EREVs περιλαμβάνουν:

1. Σύστημα Ηλεκτρικής Κίνησης:

Τα EREVs είναι εξοπλισμένα με ένα σύστημα ηλεκτρικής κίνησης, περιλαμβάνοντας συνήθως έναν ηλεκτροκινητήρα και ένα μεγάλης χωρητικότητας πακέτο μπαταριών. Αυτό τους επιτρέπει να λειτουργούν αποκλειστικά με ηλεκτρική ενέργεια για ένα συγκεκριμένο εύρος, καθιστώντας τα οχήματα μηδενικών εκπομπών κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης.

2. Κινητήρας Εσωτερικής Καύσης:

Αντίθετα με τα παραδοσιακά υβριδικά, τα EREVs διαθέτουν έναν επιπρόσθετο κινητήρα εσωτερικής καύσης. Όταν η ηλεκτρική αυτονομία εξαντλείται, ο κινητήρας εσωτερικής

καύσης λειτουργεί ως γεννήτρια παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια, επεκτείνοντας τη συνολική αυτονομία του οχήματος.

3. Επέκταση της Αυτονομίας:

Η προσθήκη του εσωτερικού κινητήρα καύσης επιτρέπει στα EREVs να διανύουν μεγαλύτερες αποστάσεις σε σύγκριση με τα συμβατικά ηλεκτρικά οχήματα (HO). Αυτό τα καθιστά πιο κατάλληλα για χρήστες που έχουν ανησυχίες σχετικά με την υποδομή φόρτισης ή χρειάζονται να καλύψουν μεγαλύτερες αποστάσεις μεταξύ των σημείων φόρτισης.

4. Σύστημα Ανάκτησης Ενέργειας κατά την πέδηση:

Συχνά, τα EREVs χρησιμοποιούν συστήματα ανάκτησης ενέργειας κατά την πέδηση, τα οποία αιχμαλωτίζουν και μετατρέπουν την κινητική ενέργεια κατά την πέδηση σε ηλεκτρική ενέργεια για την επαναφόρτιση της μπαταρίας, βελτιώνοντας τη συνολική ενεργειακή απόδοση.

5. Ευελιξία:

Τα EREVs παρέχουν στους οδηγούς ευελιξία, επιτρέποντάς τους να μεταβαίνουν ανάμεσα σε ηλεκτρική και υβριδική λειτουργία. Αυτό τα καθιστά κατάλληλα για διάφορες συνθήκες οδήγησης και προτιμήσεις χρηστών.

Παρά τα πλεονεκτήματα, τα EREVs αντιμετωπίζουν και προκλήσεις, συμπεριλαμβανομένης της αυξημένης πολυπλοκότητας της ηλεκτρικής και καύσης συνιστωσών, με πιθανή αύξηση των απαιτήσεων συντήρησης [21-23].

Εικόνα 9: NEV [118]



3.2.6 Συνοικιακά Ηλεκτρικά Οχήματα(NEVs)

Τα Οχήματα Ηλεκτρικής Συνοικίας (NEVs) ανήκουν σε μια κατηγορία ηλεκτρικών οχημάτων σχεδιασμένη για τη μετακίνηση σε κοντινές αποστάσεις εντός γειτονιών, κοινοτήτων ή περιοχών όπως πανεπιστημιακά κάμπινγκ, βιομηχανικά συγκροτήματα κλπ. Παρακάτω παρατίθενται τα βασικά χαρακτηριστικά των Οχημάτων Ηλεκτρικής Συνοικίας:

1. Σκοπός και Σχεδιασμός:

Τα NEVs σχεδιάζονται κυρίως για την τοπική μετακίνηση, σύντομες διαδρομές και εργασίες εντός περιορισμένων περιοχών όπως κατοικημένες γειτονιές, κοινότητες συνταξιούχων, πανεπιστημιακά κάμπινγκ ή βιομηχανικά συγκροτήματα. Δεν προορίζονται για χρήση σε αυτοκινητόδρομους.

2. Περιορισμοί Ταχύτητας:

Τα NEVs έχουν περιορισμένη μέγιστη ταχύτητα, συνήθως περιορισμένη στα 25 μίλια ανά ώρα (40 χλμ/ώρα) για να ενισχύσουν την ασφάλεια σε περιορισμένες περιοχές. Αυτή η χαμηλότερη ταχύτητα τα καθιστά κατάλληλα για τοπικές μετακινήσεις και ταξίδια μικρής απόστασης.

3. Ηλεκτρική Ενέργεια:

Τα NEVs κινούνται με ηλεκτρικούς κινητήρες και εξοπλίζονται με επαναφορτιζόμενες μπαταρίες. Συμβάλλουν στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και των επιπέδων θορύβου στις τοπικές κοινότητες, καθώς παράγουν μηδενικές εκπομπές από την εξάτμιση.

4. Συμπαγές Μέγεθος:

Τα NEVs είναι συμπαγή και ελαφριά, κάτι που τα καθιστά ευέλικτα σε στενούς χώρους. Το μικρότερο τους μέγεθος συμβάλλει στην αποτελεσματικότητά τους για ταξίδια μικρής απόστασης και στην στάθμευση σε αστικά ή κατοικημένα περιβάλλοντα.

5. Χαρακτηριστικά Ασφαλείας:

Στα NEVs συνήθως περιλαμβάνονται χαρακτηριστικά ασφαλείας όπως ζώνες ασφαλείας, προβολείς, φλας και καθρέφτες, για να εξασφαλιστεί το καλό των επιβατών και άλλων που μοιράζονται τον δρόμο.

6. Νομικοί Περιορισμοί:

Η νομική κατηγοριοποίηση των NEVs ποικίλει ανά περιοχή. Σε ορισμένα μέρη είναι γνωστά ως οχήματα χαμηλής ταχύτητας (Low-Speed Vehicles - LSVs), και ισχύουν συγκεκριμένες κανονιστικές ρυθμίσεις για τη λειτουργία τους, συμπεριλαμβανομένου του πού μπορούν να κυκλοφορούν.

7. Υποδομή Φόρτισης:

Τα NEVs μπορούν να φορτιστούν χρησιμοποιώντας τυπικές ηλεκτρικές πρίζες, και η περιορισμένη τους αυτονομία τα καθιστά κατάλληλα για σύντομες διαδρομές. Η υποδομή φόρτισης που απαιτείται για τα NEVs είναι γενικά λιγότερο περίπλοκη από αυτή που απαιτείται για ηλεκτρικά οχήματα υψηλότερης ταχύτητας.

8. Μεταφορές Στην Κοινότητα:

Τα NEVs έχουν ρόλο στις λύσεις κοινοτικής μεταφοράς, παρέχοντας μια οικολογική εναλλακτική λύση για τη μετακίνηση σε μικρές αποστάσεις. Χρησιμοποιούνται συχνά σε κοινότητες συνταξιούχων, θέρετρα και σχεδιασμένα περιβάλλοντα με καθορισμένα μονοπάτια.

9. Περιβαλλοντικά Οφέλη:

Η χρήση των NEVs συμβάλλει στα τοπικά περιβαλλοντικά οφέλη με τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και της θορύβου. Ο ρόλος τους στην τοπική μεταφορά συμβαδίζει με τις βιώσιμες λύσεις κινητικότητας [24, 25].

4. Χαρακτηριστικά Μπαταριών Ηλεκτρικών Οχημάτων

4.1 Μπαταρίες Ηλεκτρικών Οχημάτων

Η μπαταρία αποτελεί ένα θεμελιώδες συστατικό των ηλεκτρικών οχημάτων (EVs), λειτουργώντας ως η κύρια πηγή ενέργειας για την κίνηση του οχήματος. Έχει κρίσιμο ρόλο στον προσδιορισμό της απόδοσης, της αυτονομίας, του χρόνου φόρτισης και της συνολικής εμπειρίας οδήγησης ενός EV. Αρκετοί παράγοντες υπογραμμίζουν τη σημασία της μπαταρίας στα ηλεκτρικά οχήματα:

- **Αυτονομία:** Η αυτονομία ενός EV αναφέρεται στην απόσταση που μπορεί να διανύσει με μία μόνο φόρτιση. Η χωρητικότητα της μπαταρίας επηρεάζει απευθείας την αυτονομία, με μεγαλύτερες μπαταρίες να επιτρέπουν μεγαλύτερες αποστάσεις οδήγησης. Η αγχωτική ανησυχία για την αυτονομία, δηλαδή ο φόβος να εξαντληθεί η ενέργεια πριν φτάσεις στον προορισμό, είναι ένας σημαντικός παράγοντας για τους ιδιοκτήτες EV. Επομένως, η μέγιστη αυτονομία μέσω αποδοτικού σχεδιασμού μπαταριών και διαχείρισης ενέργειας είναι κρίσιμη για την ευρεία υιοθέτηση των EV.
- **Απόδοση:** Η ικανότητα της μπαταρίας να παρέχει ενέργεια επηρεάζει την επιτάχυνση, τη μέγιστη ταχύτητα και τη συνολική απόδοση ενός ηλεκτρικού οχήματος. Οι υψηλής ισχύος μπαταρίες μπορούν να παρέχουν γρήγορη επιτάχυνση, προσφέροντας μια συναρπαστική εμπειρία οδήγησης. Καθώς τα EV ανταγωνίζονται τα οχήματα με εσωτερική καύση, η απόδοση παραμένει ένας κρίσιμος παράγοντας για την προσέλκυση των καταναλωτών στην ηλεκτρική κινητικότητα.
- **Υποδομή Φόρτισης:** Η υποδομή φόρτισης για τα EV εξαρτάται από την συμβατότητα και τις δυνατότητες της μπαταρίας. Οι τεχνολογίες γρήγορης φόρτισης επιτρέπουν στους ιδιοκτήτες EV να επαναφορτίζουν γρήγορα τα οχήματά τους, μειώνοντας το χρόνο αδράνειας και αυξάνοντας την ευκολία. Χαρακτηριστικά της μπαταρίας όπως η ταχύτητα φόρτισης και η συμβατότητα με διαφορετικές προδιαγραφές φόρτισης (π.χ. CHAdeMO, CCS, Tesla Supercharger (ref)) επηρεάζουν σημαντικά την πρακτικότητα και την προσβασιμότητα των δικτύων φόρτισης των EV.
- **Κόστος Ζωής:** Η μακροζωία και η ανθεκτικότητα της μπαταρίας επηρεάζουν το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας ενός ηλεκτρικού οχήματος. Η αποσύνθεση της μπαταρίας με την πάροδο του χρόνου επηρεάζει την αυτονομία και την απόδοση του οχήματος, απαιτώντας τελικά αντικατάσταση ή ανακατασκευή. Οι προσπάθειες για την ανάπτυξη οικολογικών χημικών σύνθεσης μπαταριών, τη βελτίωση των διαδικασιών κατασκευής και την εφαρμογή προγραμμάτων ανακύκλωσης είναι ουσιαστικές για την ελαχιστοποίηση της περιβαλλοντικής επίπτωσης των EV [30-34].

4.2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά

4.2.1. Ενεργειακή Πυκνότητα

Η ενεργειακή πυκνότητα είναι ένας κρίσιμος παράγοντας που επηρεάζει την απόδοση και την αυτονομία των ηλεκτρικών οχημάτων (HO). Αναφέρεται στην ποσότητα ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί σε έναν δεδομένο όγκο ή μάζα μιας μπαταρίας. Όσο υψηλότερη είναι η ενεργειακή πυκνότητα, τόσο περισσότερη ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί, με αποτέλεσμα μεγαλύτερες αποστάσεις οδήγησης και πιο αποδοτικά ηλεκτρικά οχήματα.

1. Σημασία της Ενεργειακής Πυκνότητας:

Η ενεργειακή πυκνότητα είναι καθοριστική παράμετρος στην ανάπτυξη των μπαταριών για ηλεκτρικά οχήματα. Επηρεάζει απευθείας την αυτονομία ενός HO κατά την μία φόρτιση, επηρεάζοντας την αποδοχή του κοινού και την πρακτικότητα της ηλεκτρικής κινητικότητας. Η υψηλή ενεργειακή πυκνότητα επιτρέπει στις μπαταρίες να αποθηκεύουν περισσότερη ενέργεια χωρίς σημαντική αύξηση στο βάρος ή τον όγκο, αντιμετωπίζοντας το πρόβλημα του περιορισμένου χώρου εντός ενός οχήματος.

2. Η Κυριαρχία των Ιόντων Λιθίου:

Προς το παρόν, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου (Li-ion) είναι η κυρίαρχη τεχνολογία αποθήκευσης ενέργειας σε ηλεκτρικά οχήματα λόγω της εξαιρετικής τους ενεργειακής πυκνότητας. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου προσφέρουν μια ευνοϊκή συνδυαστική επιλογή υψηλής ενεργειακής πυκνότητας, σχετικά χαμηλών ρυθμών αυτοεκφόρτισης και μια ώριμη υποδομή κατασκευής. Οι συνεχείς έρευνες και αναπτύξεις στοχεύουν στην ενίσχυση της ενεργειακής πυκνότητας των μπαταριών ιόντων λιθίου.

3. Εξελίξεις στη Χημεία των Μπαταριών:

Οι ερευνητές εξετάζουν νέες χημικές συνθέσεις και υλικά για να ώθησουν τα όρια της ενεργειακής πυκνότητας. Οι μπαταρίες με στερεά ηλεκτρολύτη, για παράδειγμα, υπόσχονται υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα και βελτιωμένη ασφάλεια σε σχέση με τις παραδοσιακές μπαταρίες ιόντων λιθίου με υγρό ηλεκτρολύτη. Οι καινοτομίες σε υλικά όπως οι ανόδοι από σιλικά και κάθοδοι υψηλής περιεκτικότητας σε νικέλιο συντελούν στην επίτευξη μεγαλύτερων χωρητικοτήτων αποθήκευσης ενέργειας.

4. Επίδραση στην Αυτονομία Οδήγησης:

Η ενεργειακή πυκνότητα των μπαταριών συνδέεται άμεσα με την αυτονομία οδήγησης των ηλεκτρικών οχημάτων. Η υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα σημαίνει ότι μπορεί να αποθηκευτεί περισσότερη ενέργεια στον ίδιο χώρο, επιτρέποντας στα ΗΟ να κινούνται σε μεγαλύτερες αποστάσεις με μία μόνο φόρτιση. Αυτό αντιμετωπίζει την ανησυχία για την "αγωνία της αυτονομίας" και ενισχύει το ενδιαφέρον για τα ηλεκτρικά οχήματα για καθημερινή χρήση.

5. Καταχωρήσεις και Προκλήσεις:

Η αύξηση της ενεργειακής πυκνότητας συχνά συνεπάγεται θυσίες, όπως οι πιθανές αυξήσεις του κόστους, προκλήσεις στη διαχείριση της θερμοκρασίας και προβληματισμούς ασφάλειας. Η επίτευξη της κατάλληλης ισορροπίας μεταξύ ενεργειακής πυκνότητας, ασφάλειας και κόστους παραμένει κρίσιμη πρόκληση για ερευνητές και κατασκευαστές.

6. Μελλοντικές Προοπτικές:

Καθώς η τεχνολογία προχωρά, η αναζήτηση υψηλότερης ενεργειακής πυκνότητας συνεχίζεται. Ενδεχόμενες τεχνολογίες, όπως οι μπαταρίες λιθίου-θείου και οι μπαταρίες με στερεά ηλεκτρολύτη, υπόσχονται να ξεπεράσουν τα όρια ενεργειακής πυκνότητας των υφισταμένων μπαταριών ιόντων λιθίου. Αυτές οι εξελίξεις είναι κρίσιμες για να καταστήσουν τα ηλεκτρικά οχήματα πιο ανταγωνιστικά με τα παραδοσιακά οχήματα με εσωτερική καύση [26, 27].

4.2.2 Πυκνότητα Ισχύος

Η πυκνότητα ισχύος είναι ένας κρίσιμος δείκτης στον κόσμο των μπαταριών ηλεκτρικών οχημάτων (ΗΟ), επηρεάζοντας τη δυνατότητα ενός ηλεκτρικού οχήματος να παρέχει γρήγορη επιτάχυνση και συνεχή υψηλή απόδοση. Αναφέρεται στην ποσότητα ενέργειας που μπορεί να παρέχει μια μπαταρία ανά μονάδα όγκου ή μάζας. Η υψηλή πυκνότητα ισχύος είναι κρίσιμη για την αντιμετώπιση των δυναμικών απαιτήσεων των ηλεκτρικών οχημάτων, εξασφαλίζοντας γρήγορη επιτάχυνση, αποτελεσματική μετατροπή ενέργειας και συνολική ικανοποίηση κατά την οδήγηση.

1. Ορισμός και Σημασία:

Η πυκνότητα ισχύος είναι το μέτρο του πόσο γρήγορα μπορεί να παρέχει ενέργεια μια μπαταρία. Είναι ιδιαίτερα σημαντική για τα ηλεκτρικά οχήματα, καθώς επηρεάζει άμεσα τη δυνατότητά τους να παρέχουν υψηλή απόδοση, ιδίως κατά τη διάρκεια της επιτάχυνσης και

απαιτητικών συνθηκών οδήγησης. Αλλά, η υψηλή πυκνότητα ισχύος επιτρέπει σε ένα ηλεκτρικό όχημα να μετατρέπει την αποθηκευμένη ενέργεια σε κίνηση με άμεσο τρόπο.

2. Επίδραση στην Επιτάχυνση:

Ένας από τους βασικούς τομείς όπου η πυκνότητα ισχύος διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο είναι στην επιτάχυνση. Τα ηλεκτρικά οχήματα είναι γνωστά για την άμεση ροπή και τη γρήγορη επιτάχυνσή τους, χαρακτηριστικά που επηρεάζονται άμεσα από την πυκνότητα ισχύος. Όσο υψηλότερη είναι η πυκνότητα ισχύος της μπαταρίας, τόσο γρηγορότερη είναι η αντίδραση στις εντολές επιτάχυνσης του οδηγού, παρέχοντας μια δυναμική και αποκριτική εμπειρία οδήγησης.

3. Ικανότητα Γρήγορης Φόρτισης:

Η πυκνότητα ισχύος επηρεάζει επίσης την ταχύτητα φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων. Οι μπαταρίες με υψηλή πυκνότητα ισχύος μπορούν να δέχονται και να παραδίδουν ενέργεια με γρηγορότερο ρυθμό, δυνατόν την ταχεία φόρτιση. Αυτό συμβάλλει όχι μόνο στη μείωση των χρόνων φόρτισης αλλά και στη βελτίωση της ευκολίας και της πρακτικότητας των ηλεκτρικών οχημάτων σε πραγματικά σενάρια χρήσης.

4. Αντιμετώπιση Προκλήσεων Μετατροπής Ενέργειας:

Ενώ η πυκνότητα ενέργειας επικεντρώνεται στη συνολική χωρητικότητα αποθήκευσης ενέργειας, η πυκνότητα ισχύος επικεντρώνεται στη δυνατότητα να απελευθερώσει αυτήν την ενέργεια γρήγορα. Η επίτευξη υψηλής πυκνότητας ισχύος συχνά συνεπάγεται την αντιμετώπιση προκλήσεων σχετικά με τη διάχυση της θερμότητας και την αποτελεσματική μετατροπή της αποθηκευμένης ενέργειας για να κινηθεί ο ηλεκτρικός κινητήρας. Οι εξελίξεις στην τεχνολογία των μπαταριών στοχεύουν στη βελτιστοποίηση αυτών των διαδικασιών για την επίτευξη βελτιωμένης πυκνότητας ισχύος.

5. Ισορροπία με την Πυκνότητα Ενέργειας:

Σημαντικό είναι να σημειωθεί ότι υπάρχει ένας συμβιβασμός μεταξύ πυκνότητας ισχύος και πυκνότητας ενέργειας. Ενώ η υψηλή πυκνότητα ισχύος επιτρέπει γρήγορες εκρήξεις ενέργειας για την επιτάχυνση, η υψηλή πυκνότητα ενέργειας εξασφαλίζει μεγαλύτερες αυτονομίες

Η ενεργειακή πυκνότητα σχετίζεται άμεσα με την αυτονομία οδήγησης των ηλεκτρικών οχημάτων. Η υψηλή ενεργειακή πυκνότητα σημαίνει ότι μπορεί να αποθηκευτεί περισσότερη ενέργεια στον ίδιο χώρο, επιτρέποντας στα ΗΟ να κινούνται σε μεγαλύτερες αποστάσεις με μία μόνο φόρτιση. Αυτό αντιμετωπίζει την ανησυχία για την "αγωνία της αυτονομίας" και ενισχύει το ενδιαφέρον για τα ηλεκτρικά οχήματα για καθημερινή χρήση.

6. Εγγραφές και Προκλήσεις:

Η αύξηση της ενεργειακής πυκνότητας συχνά συνεπάγεται θυσίες, όπως οι πιθανές αυξήσεις του κόστους, προκλήσεις στη διαχείριση της θερμοκρασίας και προβληματισμούς ασφάλειας. Η επίτευξη της κατάλληλης ισορροπίας μεταξύ ενεργειακής πυκνότητας, ασφάλειας και κόστους παραμένει κρίσιμη πρόκληση για ερευνητές και κατασκευαστές.

7. Μελλοντικές Προοπτικές:

Καθώς η τεχνολογία προχωρά, η αναζήτηση υψηλότερης ενεργειακής πυκνότητας συνεχίζεται. Ενδεχόμενες τεχνολογίες, όπως οι μπαταρίες λιθίου-θείου και οι μπαταρίες με στερεά ηλεκτρολύτη, υπόσχονται να ξεπεράσουν τα όρια ενεργειακής πυκνότητας των υφισταμένων μπαταριών ιόντων λιθίου. Αυτές οι εξελίξεις είναι κρίσιμες για να καταστήσουν τα ηλεκτρικά οχήματα πιο ανταγωνιστικά με τα παραδοσιακά οχήματα με εσωτερική καύση.

Συνοψίζοντας, η πυκνότητα ισχύος είναι ένας κρίσιμος παράγοντας που διαμορφώνει την οδηγική εμπειρία των ηλεκτρικών οχημάτων. Οι προόδοι στην τεχνολογία των μπαταριών που ενισχύουν την πυκνότητα ισχύος συμβάλλουν στην επιτάχυνση, την ταχεία φόρτιση και τη συνολική απόδοση, καθιστώντας τα ηλεκτρικά οχήματα πιο ελκυστικά για ένα ευρύ φάσμα καταναλωτών [28, 29]

4.2.3. Ειδική Ενέργεια

Η ειδική ενέργεια αποτελεί καθοριστικό μέτρο κατά την αξιολόγηση της απόδοσης των μπαταριών ηλεκτρικών οχημάτων (HO). Αναφέρεται στην ποσότητα ενέργειας που μια μπαταρία μπορεί να αποθηκεύσει ανά μονάδα μάζας. Αυτή η παράμετρος είναι κρίσιμη για τον προσδιορισμό της αυτονομίας ενός ηλεκτρικού οχήματος και επηρεάζει άμεσα τη συνολική του αποδοτικότητα και πρακτικότητα.

1. Ορισμός και Σημασία:

Η ειδική ενέργεια ορίζεται ως η ενέργεια που αποθηκεύεται σε μια μπαταρία ανά μονάδα μάζας. Πρόκειται για καθοριστική παράμετρο στον τομέα των μπαταριών ηλεκτρικών οχημάτων, καθώς επηρεάζει άμεσα την αυτονομία οδήγησης. Όσο υψηλότερη είναι η ειδική ενέργεια, τόσο περισσότερη ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί στην μπαταρία, επιτρέποντας στο όχημα να διανύει μεγαλύτερες αποστάσεις πριν από την ανάγκη για επαναφόρτιση.

2. Αυτονομία και Αποδοτικότητα:

Η αυτονομία ενός ηλεκτρικού οχήματος συνδέεται στενά με την ειδική ενέργεια της μπαταρίας του. Μια μπαταρία με υψηλή ειδική ενέργεια μπορεί να αποθηκεύσει περισσότερη ενέργεια για μια δεδομένη μάζα, επεκτείνοντας την απόσταση που το όχημα μπορεί να διανύσει πριν από την ανάγκη επαναφόρτισης. Αυτός είναι ένας κρίσιμος παράγοντας για την αποδοχή των καταναλωτών και την ευρεία υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων.

3. Κατανομή με την Πυκνότητα Ισχύος:

Ενώ η ειδική ενέργεια επικεντρώνεται στη συνολική χωρητικότητα αποθήκευσης ενέργειας ανά μονάδα μάζας, είναι σημαντικό να σημειωθεί ο συμβιβασμός μεταξύ αυτής και της πυκνότητας ισχύος. Η πυκνότητα ισχύος επικεντρώνεται στη δυνατότητα να απελευθερώσει ενέργεια γρήγορα, επηρεάζοντας την επιτάχυνση και τις υψηλές επιδόσεις των ηλεκτρικών οχημάτων. Η επίτευξη της κατάλληλης ισορροπίας μεταξύ ειδικής ενέργειας και

πυκνότητας ισχύος είναι ουσιώδης για το σχεδιασμό μπαταριών που ικανοποιούν διάφορες ανάγκες οδήγησης.

4. Ρόλος στην Τεχνολογική Εξέλιξη των Μπαταριών:

Οι εξελίξεις στην τεχνολογία των μπαταριών, όπως η βελτίωση των υλικών ηλεκτρόδιου και του συνολικού σχεδιασμού της μπαταρίας, διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην ενίσχυση της ειδικής ενέργειας. Οι ερευνητές και οι κατασκευαστές εργάζονται συνεχώς για την ανάπτυξη υλικών που προσφέρουν υψηλότερη πυκνότητα ενέργειας, επιτρέποντας την αύξηση της ειδικής ενέργειας χωρίς να θυσιάζονται άλλα ουσιώδη χαρακτηριστικά απόδοσης.

5. Προκλήσεις και Καινοτομίες:

Η αύξηση της ειδικής ενέργειας αντιμετωπίζει προκλήσεις που σχετίζονται με τα χρησιμοποιούμενα υλικά, ανησυχίες για την ασφάλεια και τη διαχείριση της θερμικής ενέργειας. Καινοτομίες στη χημεία των μπαταριών, όπως η ανάπτυξη νέων υλικών και σχεδιασμών, στοχεύουν στο να ξεπεράσουν αυτές τις προκλήσεις. Για παράδειγμα, η μετάβαση σε προηγμένα υλικά, συμπεριλαμβανομένων στερεών ηλεκτρολυτών, υπόσχεται να ενισχύσει την ειδική ενέργεια ενώ αντιμετωπίζει ζητήματα ασφάλειας και απόδοσης.

6. Αποδοχή του Καταναλωτή και Υιοθέτηση στην Αγορά:

Η ειδική ενέργεια των μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων επηρεάζει άμεσα την αντίληψη των καταναλωτών για τα ηλεκτρικά οχήματα. Οι μεγαλύτερες αποστάσεις οδήγησης μεταξύ φορτίσεων καθιστούν τα ηλεκτρικά οχήματα πιο ελκυστικά για ένα ευρύ φάσμα καταναλωτών. Καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται και η ειδική ενέργεια αυξάνεται, τα ηλεκτρικά οχήματα γίνονται πιο ανταγωνιστικά με τα παραδοσιακά οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης όσον αφορά την άνεση και τη χρηστικότητα.

7. Προοπτικές Μελλοντικής Εξέλιξης:

Η επίδιωξη υψηλότερης ειδικής ενέργειας παραμένει κεντρικό θέμα στην έρευνα και ανάπτυξη των μπαταριών. Οι συνεχείς προσπάθειες στοχεύουν στο να ωθήσουν τα όρια της πυκνότητας ενέργειας, επιτρέποντας στα ηλεκτρικά οχήματα να επιτυγχάνουν ακόμα μεγαλύτερες αποστάσεις οδήγησης με μία μόνο φόρτιση [49-53].

4.2.4 Ειδική Δύναμη

Η ειδική δύναμη αποτελεί κρίσιμη παράμετρο κατά την αξιολόγηση των ικανοτήτων των μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων. Σε αντίθεση με την ειδική ενέργεια, η οποία επικεντρώνεται στην αποθήκευση ενέργειας ανά μονάδα μάζας, η ειδική δύναμη σχετίζεται με τη δυνατότητα μιας μπαταρίας να απελευθερώνει ενέργεια γρήγορα. Αυτό το μέτρο είναι κρίσιμο για την επίτευξη αποτελεσματικής επιτάχυνσης και υψηλής απόδοσης οδήγησης στα ηλεκτρικά οχήματα.

1. Ορισμός και Σημασία:

Η ειδική δύναμη ορίζεται ως η ισχύς εξόδου ανά μονάδα μάζας και μετριέται σε βατ-χιλιόγραμμα (W/kg). Υποδεικνύει πόσο γρήγορα μια μπαταρία μπορεί να απελευθερώσει ενέργεια σε σχέση με το βάρος της. Στο πλαίσιο των ηλεκτρικών οχημάτων, υψηλή ειδική δύναμη επιτρέπει για γρήγορη επιτάχυνση και συνεχή παροχή υψηλής ισχύος, ενισχύοντας τη συνολική εμπειρία οδήγησης.

2. Ρόλος στην Επιτάχυνση και την Υψηλή Απόδοση Οδήγησης:

Η ειδική δύναμη διαδραματίζει έναν κεντρικό ρόλο στον προσδιορισμό των ικανοτήτων επιτάχυνσης των ηλεκτρικών οχημάτων. Η ικανότητα να απελευθερώνει γρήγορα ενέργεια είναι κρίσιμη για την επίτευξη γρήγορης επιτάχυνσης, καθιστώντας τα ηλεκτρικά οχήματα ανταγωνιστικά με τα παραδοσιακά οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης όσον αφορά την απόδοση. Η υψηλή ειδική δύναμη εξασφαλίζει επίσης συνεπή παροχή ισχύος κατά τη διάρκεια σεναρίων υψηλής απόδοσης οδήγησης.

3. Αντισταθμίσεις με την Ειδική Ενέργεια:

Ενώ η ειδική δύναμη τονίζει τη γρήγορη απελευθέρωση ενέργειας, είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη η αντισταθμιστική σχέση με την ειδική ενέργεια. Η ειδική ενέργεια επικεντρώνεται στη συνολική χωρητικότητα αποθήκευσης ενέργειας ανά μονάδα μάζας και είναι κρίσιμη για την επίτευξη μεγάλων αποστάσεων οδήγησης. Η εύρεση της κατάλληλης ισορροπίας μεταξύ ειδικής δύναμης και ειδικής ενέργειας είναι κρίσιμη για τον σχεδιασμό μπαταριών που καλύπτουν διάφορες ανάγκες οδήγησης.

4. Χημεία Μπαταριών και Συναφείς Παράγοντες:

Η επίτευξη υψηλής ειδικής δύναμης συνεπάγεται συχνά τη βελτιστοποίηση της χημείας και του σχεδιασμού της μπαταρίας. Η επιλογή υλικών ηλεκτροδίων, ηλεκτρολυτών και συνολικής αρχιτεκτονικής της μπαταρίας επηρεάζει τα χαρακτηριστικά της ειδικής δύναμης. Προηγμένα υλικά, όπως αυτά που χρησιμοποιούνται σε μπαταρίες λιθίου-ίόν υψηλής ισχύος, συμβάλλουν στην ενίσχυση της ειδικής δύναμης διατηρώντας παράλληλα τη συνολική απόδοση της μπαταρίας.

5. Θερμική Επίδραση:

Η υψηλή ειδική δύναμη μπορεί να δημιουργήσει θερμότητα κατά τη διάρκεια γρήγορων κύκλων φόρτισης και εκφόρτισης. Αποτελεσματικά συστήματα διαχείρισης θερμικής είναι απαραίτητα για τη διάχυση της θερμότητας και τη διατήρηση της μπαταρίας εντός του βέλτιστου εύρους θερμοκρασίας. Η διαχείριση των θερμικών θεμάτων εξασφαλίζει τη μακροζωία και την ασφάλεια της μπαταρίας διατηρώντας ταυτόχρονα υψηλή ειδική δύναμη υπό διάφορες συνθήκες λειτουργίας.

6. Επίδραση στην Αντίληψη του Καταναλωτή:

Η ειδική δύναμη των μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων επηρεάζει άμεσα τον τρόπο με τον οποίο οι καταναλωτές αντιλαμβάνονται την οδηγική απόδοση των ηλεκτρικών οχημάτων. Τα οχήματα με γρήγορες δυνατότητες επιτάχυνσης και υψηλή ειδική δύναμη αντιλαμβάνονται συχνά ως πιο ευχάριστα στην οδήγηση, συμβάλλοντας στη συνολική έλξη των ηλεκτρικών οχημάτων στην αγορά.

7. Εξελίξεις στην Τεχνολογία των Μπαταριών:

Οι συνεχείς προσπάθειες έρευνας και ανάπτυξης επικεντρώνονται στην προώθηση των τεχνολογιών των μπαταριών για την επίτευξη υψηλότερης ειδικής δύναμης χωρίς να θυσιάζονται άλλα κρίσιμα χαρακτηριστικά. Καινοτομίες σε υλικά ηλεκτροδίων, συνθέσεις ηλεκτρολυτών και σχεδιασμός κυττάρων συνεισφέρουν στο να ξεπεραστούν τα όρια της ειδικής δύναμης, επιτρέποντας στα ηλεκτρικά οχήματα να επιτυγχάνουν ακόμα μεγαλύτερη επιτάχυνση και απόδοση.

8. Μελλοντικές Προοπτικές:

Η επιδίωξη υψηλότερης ειδικής δύναμης παραμένει κεντρικός στόχος στην εξέλιξη των μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων. Καθώς η τεχνολογία συνεχίζει να προχωρά, αναμένεται να δημιουργηθούν μπαταρίες με ακόμα υψηλότερη ειδική δύναμη, ξεπερνώντας τις διακρίσεις στην απόδοση μεταξύ ηλεκτρικών και συμβατικών οχημάτων.

Συνοψίζοντας, η ειδική δύναμη αποτελεί κρίσιμο μέτρο στις μπαταρίες των ηλεκτρικών οχημάτων, επηρεάζοντας την επιτάχυνση, την οδηγική απόδοση και την ικανοποίηση του καταναλωτή. Η εύρεση ισορροπίας μεταξύ ειδικής δύναμης και ειδικής ενέργειας είναι κρίσιμη για τον σχεδιασμό μπαταριών που καλύπτουν τις ποικίλες ανάγκες των χρηστών ηλεκτρικών οχημάτων. [49, 51].

4.2.5 Διάρκεια Αποφόρτισης

Η διάρκεια αποφόρτισης, επίσης γνωστή ως αυτονομία της μπαταρίας του ηλεκτρικού οχήματος (HO), αποτελεί ένα κρίσιμο στοιχείο που επηρεάζει την πρακτικότητα και τη χρηστικότητα των ηλεκτρικών οχημάτων. Αναφέρεται στο χρονικό διάστημα που ένα HO μπορεί να λειτουργεί με μία φόρτιση της μπαταρίας πριν απαιτηθεί να ξαναφορτιστεί. Αυτή η μετρική είναι ουσιώδης για την αντιμετώπιση ανησυχιών σχετικά με την αυτονομία και τη συνολική ευκολία των ηλεκτρικών οχημάτων.

1. Ορισμός και Μέτρηση:

Η διάρκεια αποφόρτισης εκφράζεται συνήθως σε μίλια ή χιλιόμετρα που ένα ηλεκτρικό όχημα μπορεί να διανύσει με μία πλήρη φόρτιση της μπαταρίας. Σχετίζεται άμεσα με την αποθηκευτική ικανότητα ενέργειας της μπαταρίας και την αποτελεσματικότητα του ηλεκτρικού κινητήρα. Μεγαλύτερες διάρκειες αποφόρτισης σημαίνουν εκτεταμένες αυτονομίες οδήγησης, αντιμετωπίζοντας έτσι ένα από τα κύρια ζητήματα που απασχολούν τους πιθανούς αγοραστές ηλεκτρικών οχημάτων.

2. Παράγοντες που Επηρεάζουν τη Διάρκεια Αποφόρτισης:

Πολλοί παράγοντες επηρεάζουν τη διάρκεια αποφόρτισης των μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων:

- Χωρητικότητα της Μπαταρίας: Η συνολική χωρητικότητα αποθήκευσης ενέργειας του πακέτου μπαταριών είναι ένας θεμελιώδης παράγοντας. Οι μπαταρίες υψηλότερης χωρητικότητας μπορούν να αποθηκεύουν περισσότερη ενέργεια, παρέχοντας έτσι μεγαλύτερες διάρκειες αποφόρτισης.

- Αποτελεσματικότητα του Οχήματος: Η αποτελεσματικότητα του ηλεκτρικού κινητήρα και άλλων συστημάτων του οχήματος επηρεάζει τον τρόπο με τον οποίο η αποθηκευμένη ενέργεια μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια, επηρεάζοντας έτσι τη συνολική αυτονομία.

- Συνθήκες Οδήγησης: Παράγοντες όπως η ταχύτητα οδήγησης, το έδαφος και η εξωτερική θερμοκρασία μπορούν να επηρεάσουν την αποτελεσματικότητα του ηλεκτρικού κινητήρα και, κατ' επέκταση, τη διάρκεια αποφόρτισης.

3. Ελάφρυνση του Φόβου Εύρους:

Η διάρκεια αποφόρτισης απευθύνεται απευθείας στο φαινόμενο που είναι γνωστό ως "φόβος εύρους," που αναφέρεται στον φόβο ενός ηλεκτρικού οχήματος να εξαντληθεί η μπαταρία πριν φτάσει στον προορισμό του. Η βελτίωση της διάρκειας αποφόρτισης συμβάλλει στην ελάφρυνση του φόβου εύρους, καθιστώντας τα ηλεκτρικά οχήματα πιο ελκυστικά για ένα ευρύτερο κοινό.

4. Τεχνολογικές Καινοτομίες:

Οι συνεχείς εξελίξεις στην τεχνολογία των μπαταριών συμβάλλουν σημαντικά στην επέκταση της διάρκειας αποφόρτισης. Καινοτομίες στη χημεία των μπαταριών, τα υλικά και τον σχεδιασμό συμβάλλουν στην υψηλότερη πυκνότητα ενέργειας, επιτρέποντας μεγαλύτερες διάρκειες οδήγησης χωρίς ανάλογη αύξηση στο μέγεθος ή το βάρος της μπαταρίας.

5. Υποδομή Φόρτισης:

Η διαθεσιμότητα και η προσβασιμότητα της υποδομής φόρτισης επηρεάζει επίσης την αντίληψη της διάρκειας αποφόρτισης. Καθώς η υποδομή φόρτισης συνεχίζει να επεκτείνεται, οι οδηγοί έχουν περισσότερες πιθανότητες να βρουν βολικούς σταθμούς φόρτισης, μειώνοντας τους φόβους σχετικά με την έλλειψη ενέργειας κατά τη διάρκεια μιας διαδρομής.

6. Αντιστάθμιση με τη Φορτιστική Ταχύτητα:

Ενώ η επέκταση της διάρκειας αποφόρτισης είναι κρίσιμη, συχνά υπάρχει συμβιβασμός με την ταχύτητα φόρτισης. Ταχύτερες τεχνολογίες φόρτισης, όπως οι γρήγοροι φορτιστές, στοχεύουν στο να μειώσουν τον χρόνο που απαιτείται για την επαναφόρτιση, βελτιώνοντας έτσι τη συνολική χρηστικότητα των ηλεκτρικών οχημάτων.

7. Συμπεριφορά και Προσδοκίες του Χρήστη:

Η διάρκεια αποφόρτισης επηρεάζεται από τη συμπεριφορά και τις προσδοκίες του χρήστη. Η κατανόηση των τυπικών μοτίβων οδήγησης και η παροχή ακριβών πληροφοριών σχετικά με τη διάρκεια αποφόρτισης βοηθούν τους χρήστες να προγραμματίσουν αποτελεσματικά

τις διαδρομές τους, συμβάλλοντας σε μια θετική εμπειρία ιδιοκτησίας ενός ηλεκτρικού οχήματος.

8. Μελλοντικές Εξελίξεις:

Καθώς η τεχνολογία των ηλεκτρικών οχημάτων συνεχίζει να εξελίσσεται, αναμένεται ότι οι μελλοντικές εξελίξεις θα επικεντρωθούν στο να σπάσουν τα όρια της διάρκειας αποφόρτισης. Η έρευνα σε νέες χημείες μπαταριών, υλικά και τεχνολογίες φόρτισης στοχεύει στο να παρέχει στα ηλεκτρικά οχήματα ακόμα μεγαλύτερες αυτονομίες, καθιστώντας τα πιο ανταγωνιστικά έναντι των παραδοσιακών οχημάτων με εσωτερική καύση.

Συνοπτικά, η διάρκεια αποφόρτισης είναι μια κρίσιμη μετρική που επηρεάζει την πρακτικότητα και την αποδοχή των ηλεκτρικών οχημάτων. Βελτιώσεις στην τεχνολογία των μπαταριών, σε συνδυασμό με προόδους στην υποδομή φόρτισης, συμβάλλουν στην αντιμετώπιση των προκλήσεων που σχετίζονται με την περιορισμένη διάρκεια αποφόρτισης, καθιστώντας τα ηλεκτρικά οχήματα πιο εφικτά και ελκυστικά για ένα ευρύτερο κοινό. [49, 51].

4.2.6 Αποδοτικότητα Ενέργειας

Η αποδοτικότητα της ενέργειας είναι ένας κρίσιμος παράγοντας στις μπαταρίες ηλεκτρικών οχημάτων (HO), καθώς επηρεάζει άμεσα τη συνολική απόδοση, την αυτονομία και τη βιωσιμότητα των ηλεκτρικών οχημάτων. Η αποδοτικότητα των διαδικασιών μετατροπής ενέργειας μέσα στην μπαταρία και το ηλεκτρικό σύστημα κίνησης παίζει καίριο ρόλο στον προσδιορισμό του πόσο αποτελεσματικά η αποθηκευμένη ενέργεια μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια για την κίνηση του οχήματος.

1. Διαδικασίες Μετατροπής:

Η αποδοτικότητα ενέργειας στις μπαταρίες των ηλεκτρικών οχημάτων περιλαμβάνει πολλές διαδικασίες μετατροπής:

- Αποδοτικότητα Φόρτισης: Η αποδοτικότητα μετατροπής εξωτερικής ηλεκτρικής ενέργειας (κατά τη φόρτιση) σε χημική ενέργεια που αποθηκεύεται στη μπαταρία.

- Αποδοτικότητα Αποθήκευσης: Η ικανότητα της μπαταρίας να διατηρεί την αποθηκευμένη ενέργεια χωρίς σημαντικές απώλειες στον χρόνο.

- Αποδοτικότητα Αποφόρτισης: Η αποδοτικότητα μετατροπής της αποθηκευμένης χημικής ενέργειας πίσω σε ηλεκτρική ενέργεια κατά τη λειτουργία του οχήματος.

2. Παράγοντες που Επηρεάζουν την Αποδοτικότητα:

Πολλοί παράγοντες επηρεάζουν την αποδοτικότητα ενέργειας των μπαταριών των HO:

- Χημεία της Μπαταρίας: Διάφορες χημείες μπαταριών επιδεικνύουν διάφορα επίπεδα αποδοτικότητας. Οι εξελίξεις στις τεχνολογίες των μπαταριών στοχεύουν στη βελτίωση της συνολικής απόδοσης με τη βελτίωση της πυκνότητας ενέργειας και τη μείωση της εσωτερικής αντίστασης.

- Θερμοκρασία: Η απόδοση της μπαταρίας εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Οι ακραίες θερμοκρασίες μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά την αποδοτικότητα μετατροπής ενέργειας.

- Συμπεριφορά Κύκλωσης: Οι επαναλαμβανόμενοι κύκλοι φόρτισης και αποφόρτισης επηρεάζουν την αποδοτικότητα της μπαταρίας με τον χρόνο. Τα συστήματα διαχείρισης μπαταριών (ΣΔΜ) έχουν ρόλο στην βελτιστοποίηση της συμπεριφοράς των κυκλωμάτων.

3. Ανακτητική Πέδηση:

Μια δυνατότητα που συνεισφέρει στην αποδοτικότητα ενέργειας στα ΗΟ είναι το ανακτητικό φρενάρισμα. Αυτή η τεχνολογία ανακτά και αποθηκεύει την κινητική ενέργεια κατά το φρενάρισμα, μετατρέποντάς την πίσω σε ηλεκτρική ενέργεια για την επαναφόρτιση της μπαταρίας. Το ανακτητικό φρενάρισμα βελτιώνει τη συνολική αποδοτικότητα με τη μείωση των απωλειών ενέργειας κατά την επιβράδυνση.

4. Σύστημα Διαχείρισης Μπαταριών (ΣΔΜ):

Το ΣΔΜ έχει κρίσιμο ρόλο στη βελτιστοποίηση της αποδοτικότητας ενέργειας. Παρακολουθεί και διαχειρίζεται διάφορες πτυχές της λειτουργίας της μπαταρίας, συμπεριλαμβανομένων των ρυθμών φόρτισης, ρυθμών αποφόρτισης και ελέγχου της θερμοκρασίας. Το ΣΔΜ βοηθά στον προληπτικό έλεγχο προβλημάτων όπως η υπερφόρτιση και εξασφαλίζει την βέλτιστη χρήση της ενέργειας.

5. Συνδυασμός με το Ηλεκτρικό Σύστημα Κίνησης:

Η αποδοτική μετατροπή ενέργειας επεκτείνεται πέρα από τη μπαταρία στο ηλεκτρικό σύστημα κίνησης. Οι ηλεκτρικοί κινητήρες και οι ηλεκτρονικοί ελεγκτές ισχύος πρέπει να λειτουργούν με υψηλή αποδοτικότητα για να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες ενέργειας κατά τη μεταφορά ισχύος.

6. Επίδραση στη Μέγιστη Απόσταση Κίνησης:

Η υψηλή αποδοτικότητα ενέργειας συνδέεται θετικά με την επέκταση της απόστασης κίνησης. Οχήματα με αποδοτικά συστήματα μετατροπής ενέργειας μπορούν να διανύουν μεγαλύτερες αποστάσεις με μία μόνο φόρτιση, αντιμετωπίζοντας έτσι τις ανησυχίες σχετικά με το φόβο της έλλειψης φόρτισης.

7. Βιώσιμη Μεταφορά:

Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στις μπαταρίες των ΗΟ συνάδει με τους ευρύτερους στόχους της βιώσιμης μεταφοράς. Η αποδοτική χρήση ενέργειας συμβάλλει στη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και στη μείωση της εξάρτησης από μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

8. Μελλοντικές Εξελίξεις:

Οι συνεχείς έρευνες στον τομέα στοχεύουν στην ανάπτυξη νέων υλικών και τεχνολογιών για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των μπαταριών ηλεκτρικών οχημάτων. Καινοτομίες στον σχεδιασμό των μπαταριών, στη διαχείριση της θερμοκρασίας και στις προηγμένες μεθόδους φόρτισης στοχεύουν στη βελτιστοποίηση της συνολικής απόδοσης του συστήματος.

Καταλήγοντας, η βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης στις μπαταρίες των ηλεκτρικών οχημάτων αποτελεί πολυπλοκού χαρακτήρα πρόκληση που περιλαμβάνει την προαγωγή της τεχνολογίας των μπαταριών, τη διαχείριση της θερμοκρασίας, το ανακτητικό φρενάρισμα και την ολοκληρωμένη λειτουργία με το ηλεκτρικό σύστημα κίνησης. Οι συνεχείς προσπάθειες έρευνας και ανάπτυξης στοχεύουν στη βελτίωση της απόδοσης των ηλεκτρικών οχημάτων, καθιστώντας τα ανταγωνιστικές και βιώσιμες εναλλακτικές λύσεις σε σχέση με τα παραδοσιακά οχήματα με εσωτερική καύση [49, 51].

4.2.7 Αυτοεκφόρτιση

Η αυτοεκφόρτιση είναι ένα φαινόμενο στις μπαταρίες των ηλεκτρικών οχημάτων (HO), κατά το οποίο η μπαταρία χάνει τη φόρτισή της με την πάροδο του χρόνου, ακόμα και όταν δεν χρησιμοποιείται. Αυτή η σταδιακή εκφόρτιση μπορεί να επηρεάσει τη συνολική απόδοση και την αυτονομία των ηλεκτρικών οχημάτων. Η κατανόηση των παραγόντων που συμβάλλουν στην αυτοεκφόρτιση και η εφαρμογή στρατηγικών για την ελαχιστοποίηση αυτών των απωλειών είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση της βέλτιστης απόδοσης της μπαταρίας.

1. Αιτίες Αυτοεκφόρτισης:

-Χημικές Αντιδράσεις: Εσωτερικές χημικές αντιδράσεις μέσα στην μπαταρία, ιδίως στους ηλεκτρόδιους και το ηλεκτρολύτη, συμβάλλουν στην αυτοεκφόρτιση. Αυτές οι αντιδράσεις μπορούν να συμβούν ακόμα και όταν η μπαταρία δεν παρέχει ενέργεια.

- Ακαθαρσίες και Ρύποι: Η παρουσία ακαθαρσιών ή ρύπων στα συστατικά της μπαταρίας μπορεί να επιταχύνει την αυτοεκφόρτιση, διευκολύνοντας μη επιθυμητές χημικές αντιδράσεις.

- Ευαισθησία στη Θερμοκρασία: Η αυτοεκφόρτιση εξαρτάται συχνά από τη θερμοκρασία. Οι υψηλές θερμοκρασίες μπορούν να επιταχύνουν τις χημικές διαδικασίες που οδηγούν σε αυξημένες τιμές αυτοεκφόρτισης.

2. Ρυθμός Αυτοεκφόρτισης:

Ο ρυθμός αυτοεκφόρτισης ποικίλλει ανάμεσα σε διάφορες χημείες μπαταριών. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου, που χρησιμοποιούνται συχνά σε ηλεκτρικά οχήματα, εμφανίζουν γενικά χαμηλούς ρυθμούς αυτοεκφόρτισης σε σύγκριση με παλαιότερες τεχνολογίες μπαταριών όπως αυτές με βάση το νικέλιο.

3. Επίδραση στη Διάρκεια Ζωής της Μπαταρίας:

Η συχνή αυτοεκφόρτιση μπορεί να συντελέσει στη μείωση της χωρητικότητας της μπαταρίας με την πάροδο του χρόνου, μειώνοντας έτσι τη συνολική διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Η διαχείριση της αυτοεκφόρτισης είναι ουσιώδης για τη μέγιστη διάρκεια ζωής των μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων.

4. Στρατηγικές Ελαχιστοποίησης:

- Συστήματα Διαχείρισης Μπαταρίας (ΣΔΜ): Τα ΣΔΜ έχουν κρίσιμο ρόλο στην παρακολούθηση και διαχείριση της αυτοεκφόρτισης. Βεβαιώνουν ότι η μπαταρία παραμένει εντός των βέλτιστων επιπέδων τάσης, ελαχιστοποιώντας τις περιττές χημικές αντιδράσεις.

- Έλεγχος Θερμοκρασίας: Η διατήρηση κατάλληλου εύρους θερμοκρασίας βοηθάει στη μείωση των ρυθμών αυτοεκφόρτισης. Τα συστήματα διαχείρισης θερμότητας εμποδίζουν την έκθεση της μπαταρίας σε ακραίες θερμοκρασίες που μπορούν να επιταχύνουν την αυτοεκφόρτιση.

- Συντήρηση Κατάστασης Φόρτισης (SOC): Η διατήρηση της μπαταρίας σε μέτρια επίπεδα κατάστασης φόρτισης όταν δεν χρησιμοποιείται βοηθά στην ελαχιστοποίηση της αυτοεκφόρτισης. Η αποθήκευση της μπαταρίας σε πλήρη φόρτιση για εκτεταμένα χρονικά διαστήματα μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερους ρυθμούς αυτοεκφόρτισης.

- Έλεγχος Ποιότητας: Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας κατασκευής, η ελαχιστοποίηση των ακαθαρσιών και η διασφάλιση της υψηλότερης ποιότητας υλικών μπορεί να συμβάλει στη μείωση του κινδύνου μη επιθυμητών χημικών αντιδράσεων που οδηγούν στην αυτοεκφόρτιση.

5. Πρακτικές Συνέπειες:

- Συνθήκες Αποθήκευσης: Οι ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων πρέπει να είναι προσεκτικοί στις συνθήκες αποθήκευσης, ιδίως κατά τη διάρκεια περιόδων μεγάλης αδράνειας. Η αποθήκευση του οχήματος σε ένα δροσερό και ξηρό περιβάλλον, και σε μέτρια κατάσταση φόρτισης, μπορεί να βοηθήσει στην ελαχιστοποίηση της αυτοεκφόρτισης.

- Πρότυπα Χρήσης: Η τακτική χρήση και φόρτιση του ηλεκτρικού οχήματος συμβάλλει στη διατήρηση της υγείας της μπαταρίας. Εκτεταμένες περίοδοι αδράνειας μπορούν να οδηγήσουν σε υψηλότερους ρυθμούς αυτοεκφόρτισης.

6. Μελλοντικές Εξελίξεις:

Οι τρέχουσες έρευνες επικεντρώνονται στην ανάπτυξη τεχνολογιών μπαταριών με ακόμα χαμηλότερους ρυθμούς αυτοεκφόρτισης. Οι καινοτομίες στα υλικά των ηλεκτροδίων, στη σύνθεση του ηλεκτρολύτη και στον συνολικό σχεδιασμό της μπαταρίας στοχεύουν στην αντιμετώπιση των προκλήσεων της αυτοεκφόρτισης στις μπαταρίες των ηλεκτρικών οχημάτων.

Καταλήγοντας, η διαχείριση της αυτοεκφόρτισης είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση της απόδοσης και της μακροζωίας των μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων. Η εφαρμογή αποτελεσματικών στρατηγικών αντιμετώπισης, σε συνδυασμό με τις προόδους στην τεχνολογία των μπαταριών, συμβάλλει στην συνολική βιωσιμότητα και αξιοπιστία των ηλεκτρικών οχημάτων [49, 54].

4.2.8 Χρόνος Φόρτισης

Ο χρόνος φόρτισης των μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων (HO) είναι ένας κρίσιμος παράγοντας που επηρεάζει την υιοθέτηση και τη βολικότητα της ηλεκτρικής κινητικότητας. Αναφέρεται στο χρονικό διάστημα που απαιτείται για την αναπλήρωση της ενέργειας της μπαταρίας από μια εκφορτισμένη κατάσταση σε ένα επιθυμητό επίπεδο. Αρκετοί παράγοντες επηρεάζουν τους χρόνους φόρτισης, και διάφορες τεχνολογίες φόρτισης στοχεύουν στη μείωση αυτών των χρόνων για μια πιο αποτελεσματική και πρακτική εμπειρία φόρτισης.

1. Παράγοντες που Επηρεάζουν τον Χρόνο Φόρτισης:

- Χωρητικότητα της Μπαταρίας: Η χωρητικότητα της μπαταρίας του HO, μετρημένη σε κιλοβατώρες (kWh), επηρεάζει απευθείας τον χρόνο φόρτισης. Οι μπαταρίες υψηλής χωρητικότητας χρειάζονται συνήθως περισσότερο χρόνο για τη φόρτισή τους.

- Ισχύς Φόρτισης: Η ισχύς φόρτισης, μετρημένη σε κιλοβατώρες (kW), αναπαριστά πόσο γρήγορα παραδίδεται ενέργεια στην μπαταρία. Οι σταθμοί φόρτισης με υψηλή ισχύ μπορούν να μειώσουν τους χρόνους φόρτισης.

- Υποδομή Φόρτισης: Ο τύπος της υποδομής φόρτισης παίζει κρίσιμο ρόλο. Οι σταθμοί φόρτισης ποικίλλουν από τις συνηθισμένες οικιακές πρίζες (Επίπεδο 1) μέχρι αφιερωμένους σταθμούς φόρτισης (Επίπεδο 2) και γρήγορους φορτιστές (Επίπεδο 3 ή DC fast chargers).

- Κατάσταση Φόρτισης της Μπαταρίας (SOC): Οι χρόνοι φόρτισης δεν είναι γραμμικοί. Συνήθως είναι πιο γρήγοροι όταν η μπαταρία έχει χαμηλή κατάσταση φόρτισης. Καθώς η μπαταρία πλησιάζει στην πλήρη χωρητικότητα, ο ρυθμός φόρτισης μειώνεται συνήθως για την προστασία της μπαταρίας.

2. Τύποι Φόρτισης:

- Επίπεδο 1 (120V AC): Είναι η πιο αργή επιλογή φόρτισης και χρησιμοποιείται συνήθως με συνηθισμένες οικιακές πρίζες. Είναι κατάλληλη για τη φόρτιση κατά τη διάρκεια της νύχτας αλλά μπορεί να απαιτήσει πολύ χρόνο για την πλήρη φόρτιση.

- Επίπεδο 2 (240V AC): Συνηθίζεται σε οικιακούς σταθμούς φόρτισης και ορισμένους δημόσιους φορτιστές. Παρέχει ταχύτερους χρόνους φόρτισης από το Επίπεδο 1 και είναι κατάλληλο για καθημερινές ανάγκες φόρτισης.

- Επίπεδο 3 (DC Fast Charging): Οι υψηλής ισχύος DC fast chargers βρίσκονται συνήθως σε δημόσιους σταθμούς φόρτισης. Μπορούν να φορτίσουν ένα HO σε ποσοστό 80% ή

περισσότερο σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα, καθιστώντας τους ιδανικούς για ταξίδια μεγάλων αποστάσεων.

3. Προκλήσεις της Γρήγορης Φόρτισης:

- Παραγωγή Θερμότητας: Η γρήγορη φόρτιση δημιουργεί θερμότητα, η οποία μπορεί να επηρεάσει τη διάρκεια ζωής και την απόδοση της μπαταρίας. Συστήματα διαχείρισης μπαταρίας είναι ουσιώδης για την αντιμετώπιση των θερμο-σχετικών θεμάτων.

- Συμβατότητα της Μπαταρίας: Δεν είναι όλα τα ΗΟ συμβατά με υψηλής ισχύος DC fast charging. Οι δυνατότητες φόρτισης του οχήματος και η διαθεσιμότητα των γρήγορων φορτιστών πρέπει να είναι συμβατές για αποδοτική φόρτιση.

4. Μελλοντικές Εξελίξεις:

- Υπερ-Γρήγορη Φόρτιση: Η τρέχουσα έρευνα επικεντρώνεται στην ανάπτυξη τεχνολογιών υπερ-γρήγορης φόρτισης που μπορούν να μειώσουν σημαντικά τους χρόνους φόρτισης. Αυτό περιλαμβάνει προόδους στα υλικά των μπαταριών, στα συστήματα ψύξης και στην υποδομή φόρτισης.

- Ασύρματη Φόρτιση: Οι τεχνολογίες ασύρματης φόρτισης στοχεύουν στην απλοποίηση της διαδικασίας φόρτισης. Τα οχήματα που είναι εξοπλισμένα με ασύρματες δυνατότητες φόρτισης μπορούν να φορτίζονται απλώς παρκάροντας πάνω σε ένα πρότυπο φορτιστικό χαλί.

5. Πρακτικές Επιπτώσεις:

- Προσβασιμότητα του Δικτύου Φόρτισης: Η διαθεσιμότητα και η προσβασιμότητα των σταθμών φόρτισης επηρεάζουν σημαντικά την πρακτικότητα των ΗΟ. Η διεύρυνση της υποδομής φόρτισης είναι ζωτική για την ευρεία υιοθέτηση των ΗΟ.

- Συμπεριφορά του Χρήστη: Η συμπεριφορά του χρήστη, όπως οι συνήθειες φόρτισης και οι προτιμήσεις, επηρεάζουν τη συνολική εμπειρία φόρτισης. Η κατανόηση και η προσαρμογή στις ανάγκες του χρήστη είναι απαραίτητες για την προώθηση της χρήσης των ΗΟ.

6. Συμπέρασμα:

Η βελτιστοποίηση των χρόνων φόρτισης είναι κρίσιμη για τη βελτίωση της χρηστικότητας και της αποδοχής των ηλεκτρικών οχημάτων. Η πρόοδος στην υποδομή φόρτισης, την τεχνολογία των μπαταριών και τα πρότυπα φόρτισης συμβάλλουν σε μια πιο βολική και αποτελεσματική εμπειρία φόρτισης, καθιστώντας την ηλεκτρική κινητικότητα βιώσιμη και ελκυστική για τους καταναλωτές [55].

4.3 Υγεία, Ασφάλεια και Περιβαλλοντικά Χαρακτηριστικά

4.3.1 Κίνδυνος Πυρκαγιάς στις Μπαταρίες των Ηλεκτρικών Οχημάτων:

Οι μπαταρίες ηλεκτρικών οχημάτων, ειδικά εκείνες βασισμένες σε τεχνολογία ιόντων λιθίου, έχουν προκαλέσει προβληματισμό λόγω των ανησυχιών σχετικά με τον κίνδυνο πυρκαγιάς. Ενώ οι πυρκαγιές σε ηλεκτρικά οχήματα είναι σπάνιες, η κατανόηση των παραγόντων που συμβάλλουν σε αυτά τα περιστατικά είναι κρίσιμη για τη βελτίωση των μέτρων ασφαλείας. Περιλαμβάνουν:

1. Χημεία της Μπαταρίας:

- Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου χρησιμοποιούνται συνήθως σε ηλεκτρικά οχήματα λόγω της υψηλής ενεργειακής τους πυκνότητας. Ωστόσο, ο εύφλεκτος χαρακτήρας του ηλεκτρολύτη σε αυτές τις μπαταρίες δημιουργεί δυνητικό κίνδυνο πυρκαγιάς σε περίπτωση ζημιάς ή δυσλειτουργίας της μπαταρίας.

2. Θερμική Εξάρτηση:

- Η θερμική εξάρτηση είναι ένα σπάνιο αλλά σοβαρό φαινόμενο όπου η θερμοκρασία μέσα σε μια μπαταρία αυξάνεται ακατάστατα. Αυτό μπορεί να προκληθεί από παράγοντες όπως ελαττώματα κατασκευής, φυσικές ζημιές, υπερφόρτωση ή έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες. Κατά τη διάρκεια της θερμικής εξάρτησης, ο ηλεκτρολύτης μπορεί να αποσυνθέσει, απελευθερώνοντας θερμότητα και αέρια που μπορεί να οδηγήσουν σε πυρκαγιά.

3. Ατύχημα με κρούση:

- Σοβαρές συγκρούσεις ή τρυπήματα στο πακέτο μπαταριών μπορεί να θέσουν σε κίνδυνο την ακεραιότητα των κυψελών, αυξάνοντας τον κίνδυνο θερμικής εξάρτησης και πυρκαγιάς. Τα πακέτα μπαταριών σχεδιάζονται με χαρακτηριστικά ασφαλείας για να αντέχουν τις συγκρούσεις, αλλά ακραία ατυχήματα εξακολουθούν να αποτελούν κίνδυνο.

4. Υπερφόρτιση και Γρήγορη Φόρτιση:

- Η υπερφόρτιση ενός ηλεκτρικού οχήματος μπαταρίας μπορεί να προκαλέσει υπερβολική θέρμανση, αυξάνοντας τον κίνδυνο θερμικής εξάρτησης. Η γρήγορη φόρτιση, παρά το γενικά ασφαλές χαρακτήρα της, μπορεί να προκαλέσει επιπρόσθετη θέρμανση και ένταση στην μπαταρία, ειδικά αν η διαδικασία φόρτισης δεν διαχειρίζεται σωστά.

5. Ελαττώματα Κατασκευής:

- Ελαττώματα στη διαδικασία κατασκευής, όπως προβλήματα με τη συναρμολόγηση των κυψελών ή του συστήματος διαχείρισης της μπαταρίας, μπορούν να αυξήσουν τον κίνδυνο πυρκαγιάς. Απαιτούνται αυστηρά μέτρα ελέγχου ποιότητας για την ελαχιστοποίηση των κινδύνων.

6. Συστήματα Διαχείρισης Μπαταριών (BMS):

- Κρίσιμο στοιχείο για την ασφάλεια των ηλεκτρικών οχημάτων, τα συστήματα διαχείρισης μπαταριών παρακολουθούν και διαχειρίζονται τη θερμοκρασία, την τάση και την κατάσταση φόρτισης των μεμονωμένων κυψελών για να αποτρέψουν ακραίες συνθήκες και να εξασφαλίσουν τη συνολική σταθερότητα της μπαταρίας.

7. Έκτακτη Ανταπόκριση:

- Η αντιμετώπιση του κινδύνου πυρκαγιάς περιλαμβάνει την ανάπτυξη αποτελεσματικών πρωτοκόλλων εκτάκτου ανάγκης. Οι πρώτοι ανταποκριτές χρειάζεται να έχουν εξειδικευμένη εκπαίδευση και εξοπλισμό για να αντιμετωπίσουν πιθανές πυρκαγιές σε μπαταρίες ηλεκτρικών οχημάτων. Οι υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης πρέπει να γνωρίζουν τις ξεχωριστές προκλήσεις που παρουσιάζουν τα ηλεκτρικά οχήματα.

8. Προληπτικά Μέτρα:

- Οι κατασκευαστές μπαταριών και οι σχεδιαστές οχημάτων υλοποιούν διάφορα προληπτικά μέτρα, όπως συστήματα διαχείρισης θερμοκρασίας, υλικά ανθεκτικά στη φωτιά και βελτιωμένες δομικές σχεδιαστικές λύσεις για την περιορισμένη εξάπλωση πιθανών πυρκαγιών [56-58].

4.3.2 Υγειονομικά Θέματα που Σχετίζονται με τη Χρήση Τοξικών Υλικών στις Μπαταρίες των Ηλεκτρικών Οχημάτων

Η αυξανόμενη δημοφιλία των ηλεκτρικών οχημάτων (ΗΟ) θέτει ανησυχίες σχετικά με πιθανά υγειονομικά θέματα που σχετίζονται με τη χρήση ορισμένων τοξικών υλικών στις μπαταρίες τους. Ενώ τα ηλεκτρικά οχήματα συμβάλλουν στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη οι επιπτώσεις στην υγεία κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής αυτών των μπαταριών. Εδώ παρουσιάζονται τα κύρια σημεία που πρέπει να ληφθούν υπόψη:

1. Τοξικά Υλικά στις Μπαταρίες:

- Κοβάλτιο: Το κοβάλτιο, ένα κρίσιμο συστατικό σε πολλές μπαταρίες ιόντων λιθίου, συνδέεται με θέματα υγείας. Η μακροχρόνια έκθεση σε υψηλά επίπεδα κοβαλτίου μπορεί να προκαλέσει αναπνευστικά προβλήματα, προβλήματα καρδιάς και δερματολογικά προβλήματα.

- Νικέλιο: Το νικέλιο, άλλο συνήθες στοιχείο σε μπαταρίες ΗΟ, μπορεί να προκαλέσει αλλεργίες του δέρματος και αναπνευστικά προβλήματα. Η μακροχρόνια έκθεση μπορεί να συντελέσει σε πιο σοβαρά προβλήματα υγείας.

2. Εξόρυξη και Εξαγωγή:

- Επαγγελματικοί Κίνδυνοι για την Υγεία: Η εξόρυξη υλικών όπως το κοβάλτιο και το νικέλιο περιλαμβάνει επιχειρήσεις εξόρυξης, που μπορεί να εκθέσουν τους εργαζόμενους σε σκόνες και επιβλαβείς ουσίες. Οι εργάτες μπορεί να αντιμετωπίσουν προβλήματα αναπνευστικής και μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στην υγεία λόγω αυτών των εκθέσεων.

3. Κατασκευαστική Διαδικασία:

- Εκθέσεις σε Χημικά: Οι διαδικασίες κατασκευής των μπαταριών μπορεί να περιλαμβάνουν τη χρήση χημικών και διαλυτικών. Οι εργαζόμενοι σε εγκαταστάσεις παραγωγής μπαταριών μπορεί να εκτίθενται σε χημικά, με αντίκτυπο στο αναπνευστικό και το δέρμα, εάν δεν ληφθούν κατάλληλα μέτρα ασφαλείας.

4. Τέλος Ζωής και Ανακύκλωση:

- Επικίνδυνες Ουσίες: Η ανακύκλωση και η διάθεση των μπαταριών μπορεί να συνιστούν κινδύνους για την υγεία, εάν δεν διαχειρίζονται σωστά. Η απελευθέρωση επικίνδυνων ουσιών κατά τη διάρκεια των διαδικασιών αποσυναρμολόγησης και ανακύκλωσης μπορεί να επηρεάσει την υγεία των εργαζομένων και των περιοχών γύρω.

5. Έκθεση της Κοινότητας:

- Κοντινή Επαφή με Εγκαταστάσεις Παραγωγής: Οι κοινότητες που ζουν κοντά σε εγκαταστάσεις κατασκευής μπαταριών ή ανακύκλωσης μπορεί να εκτίθενται σε αέριες ρυπαντικές ουσίες. Οι προσπάθειες για τη μείωση των εκπομπών και ο έλεγχος των βιομηχανικών διαδικασιών είναι ουσιαστικές για την προστασία της υγείας της κοινότητας.

6. Παγκόσμια Προβλήματα Εφοδιαστικής Αλυσίδας:

- Ηθικά Ζητήματα: Η εξόρυξη ορισμένων υλικών, ιδιαίτερα σε περιοχές με χαλαρούς κανονισμούς περί περιβαλλοντικής και εργατικής προστασίας, προκαλεί ηθικά ζητήματα. Θέματα ανθρωπίνων δικαιωμάτων, όπως παιδική εργασία και ανθυγιεινές συνθήκες εργασίας, συνδέονται με ορισμένες εξορυκτικές δραστηριότητες.

7. Έρευνα και Ευαισθητοποίηση:

- Περιορισμένες Μελέτες με Μακροχρόνια Προβληματική: Οι μακροχρόνιες επιπτώσεις στην υγεία από την έκθεση σε συγκεκριμένα τοξικά υλικά στις μπαταρίες των ηλεκτρικών οχημάτων είναι συνεχές αντικείμενο έρευνας. Απαιτούνται συνολικές μελέτες για την αξιολόγηση των υγειονομικών κινδύνων που συνδέονται με τον πλήρη βιοκύκλο ζωής αυτών των μπαταριών [59].

4.3.3 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

Η ευρεία υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων (ΗΟ) έχει φέρει στο προσκήνιο τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται με την παραγωγή, τη χρήση και την απόρριψη των μπαταριών τους. Η κατανόηση αυτών των πτυχών είναι κρίσιμη για την αξιολόγηση της συνολικής βιωσιμότητας της ηλεκτρικής κινητικότητας. Εδώ είναι τα κύρια σημεία που σχετίζονται με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των μπαταριών ΗΟ:

1. Εξόρυξη Πρώτων Υλών:

- Εξόρυξη Λιθίου, Κοβαλτίου και Νικελίου: Η εξόρυξη των πρώτων υλών για τις μπαταρίες ΗΟ, όπως το λίθιο, το κοβάλτιο και το νικέλιο, συνήθως περιλαμβάνει πρακτικές εξόρυξης με περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η μη ελεγχόμενη εξόρυξη μπορεί να οδηγήσει σε υλοτομία, αποδιοργάνωση του εδάφους και ρύπανση των υδάτων.

2. Διαδικασία Κατασκευής:

- Παραγωγή με Υψηλή Ενέργεια: Η διαδικασία κατασκευής των μπαταριών ΗΟ απαιτεί πολύ ενέργεια, απαιτώντας σημαντική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Η περιβαλλοντική επίπτωση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις κατασκευής. Η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορεί να μειώσει το οικολογικό αποτύπωμα.

3. Διαχείριση Στο Τέλος της Ζωής:

- Προκλήσεις Ανακύκλωσης: Παρόλο που γίνονται προσπάθειες για την ανακύκλωση των μπαταριών ΗΟ, υπάρχουν προκλήσεις λόγω της σύνθετης χημείας των μπαταριών και των προβλημάτων ασφαλείας. Η ανάπτυξη αποδοτικών μεθόδων ανακύκλωσης είναι ουσιώδης για τη μείωση της περιβαλλοντικής επίπτωσης της απόρριψης χρησιμοποιημένων μπαταριών.

4. Αποτύπωμα Άνθρακα κατά τη Διάρκεια της Χρήσης:

- Πηγή Ηλεκτρικής Ενέργειας του Δικτύου: Το συνολικό οικολογικό αποτύπωμα κατά τη διάρκεια της φάσης χρήσης εξαρτάται από την πηγή ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται για τη φόρτιση των ΗΟ. Εάν η ενέργεια προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές, το οικολογικό αποτύπωμα μειώνεται σημαντικά σε σύγκριση με την ενέργεια που παράγεται από ορυκτά καύσιμα.

5. Ανάλυση του Κύκλου Ζωής:

- Ολοκληρωμένη Αξιολόγηση: Η ανάλυση του κύκλου ζωής λαμβάνει υπόψη τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την εξόρυξη των πρώτων υλών, την κατασκευή, τη χρήση και την απόρριψη. Η αξιολόγηση του συνολικού κύκλου ζωής παρέχει μια ολιστική εικόνα της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας των μπαταριών των ΗΟ.

6. Καινοτομίες και Βιώσιμες Πρακτικές :

- Έρευνα και Ανάπτυξη: Η συνεχής έρευνα επικεντρώνεται στην ανάπτυξη μπαταριών με λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι καινοτομίες, όπως οι μπαταρίες με στερεά

ηλεκτρολυτικά, στοχεύουν στη μείωση της εξάρτησης από σπάνια και περιβαλλοντικά ευαίσθητα υλικά.

7. Δεύτερη Ζωή(second life):

- Αποθήκευση Σταθερής Ενέργειας: Οι χρησιμοποιημένες μπαταρίες ΗΟ που δεν είναι πλέον κατάλληλες για οχήματα μπορούν να βρουν δεύτερη ζωή σε συστήματα αποθήκευσης σταθερής ενέργειας. Η επαναχρησιμοποίηση των μπαταριών για την αποθήκευση ενέργειας συμβάλλει σε βιώσιμες πρακτικές επεκτείνοντας τη χρήσιμη ζωή τους.

8. Κυβερνητικές Πολιτικές και Κανονιστικά Πλαίσια:

- Περιβαλλοντικά Πρότυπα: Κυβερνήσεις παγκοσμίως εφαρμόζουν κανονισμούς και πρότυπα για την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των ΗΟ και των συστατικών τους. Αυτό περιλαμβάνει κατευθυντήριες γραμμές για την υπεύθυνη πηγή προμήθειας πρώτων υλών και πρακτικές ανακύκλωσης.

9. Ευαισθητοποίηση Καταναλωτών και Συμπεριφορά:

- Βιώσιμες Επιλογές: Η ευαισθητοποίηση και οι επιλογές των καταναλωτών έχουν ρόλο στην περιβαλλοντική επίπτωση των ΗΟ. Η υποστήριξη κατασκευαστών με βιώσιμες πρακτικές και η επιλογή καθαρών πηγών ενέργειας μπορούν να συμβάλλουν. Η αντιμετώπιση της περιβαλλοντικής επίπτωσης των μπαταριών ηλεκτρικών οχημάτων απαιτεί πολυποίκιλη προσέγγιση που περιλαμβάνει τεχνολογικές εξελίξεις, κανονιστικά πλαίσια και συνειδητές αποφάσεις των καταναλωτών. Οι διαρκείς προσπάθειες σε έρευνα, ανάπτυξη και βιώσιμες πρακτικές θα είναι καθοριστικές για τη διασφάλιση ενός πιο πράσινου μέλλοντος για την ηλεκτρική κινητικότητα [60-65].

4.4 Συμβατότητα Συστημάτων Αποθήκευσης σε Ηλεκτρικά Οχήματα

Η συμβατότητα των συστημάτων αποθήκευσης σε ηλεκτρικά οχήματα (ΗΟ) παίζει κεντρικό ρόλο στην αποτελεσματικότητα, την αξιοπιστία και τη συνολική απόδοση αυτών των οχημάτων. Τα συστήματα αποθήκευσης, κυρίως οι μπαταρίες ιόντων λιθίου, πρέπει να πληρούν διάφορα τεχνικά, περιβαλλοντικά και οικονομικά κριτήρια για να διασφαλιστεί η απρόσκοπτη ενσωμάτωσή τους στο οικοσύστημα των ΗΟ. Εδώ είναι τα κύρια στοιχεία σχετικά με τη συμβατότητα των συστημάτων αποθήκευσης σε ηλεκτρικά οχήματα:

1. Χημεία και Απόδοση της Μπαταρίας:

- Κυριαρχία των Μπαταριών Ιόντων Λιθίου: Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου έχουν γίνει ο προτιμώμενος τύπος για τα ΗΟ λόγω της υψηλής πυκνότητας ενέργειας, της ισχύος εξόδου και της σχετικά ώριμης τεχνολογίας.

- Εναλλακτικές Τεχνολογίες: Η έρευνα εξετάζει εναλλακτικές χημείες μπαταριών, όπως οι μπαταρίες στερεάς κατάστασης και οι μπαταρίες λιθίου-θείου, με στόχο τη βελτίωση της απόδοσής τους και τη μείωση του περιβαλλοντικού τους αποτυπώματος.

2. Υποδομή Φόρτισης:

- Πρότυπα Φόρτισης: Η συμβατότητα των συστημάτων αποθήκευσης επεκτείνεται στην υποδομή φόρτισης. Η τυποποίηση των συνδέσμων φόρτισης (π.χ. CCS, CHAdeMO) διευκολύνει την καθολική πρόσβαση σε σταθμούς φόρτισης.

- Γρήγορη Φόρτιση: Οι πρόοδοι στις τεχνολογίες γρήγορης φόρτισης συμβάλλουν στην πρακτικότητα των ΗΟ, μειώνοντας τους χρόνους φόρτισης και ενισχύοντας την ευκολία για τους χρήστες.

3. Υλικά και Αειφορία των Πόρων:

- Υλικά: Η διαθεσιμότητα υλικών όπως το λίθιο, το κοβάλτιο και το νικέλιο, τα οποία είναι κρίσιμα για την κατασκευή των μπαταριών, προκαλεί ανησυχίες για την αειφορία των πόρων. Πρωτοβουλίες ανακύκλωσης και έρευνα εναλλακτικών υλικών στοχεύουν στην αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων.

- Κυκλική Οικονομία: Η εφαρμογή αρχών κυκλικής οικονομίας, συμπεριλαμβανομένων αποδοτικών διαδικασιών ανακύκλωσης, συμβάλλει στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και στην προώθηση της αποτελεσματικότητας των πόρων.

4. Συστήματα Διαχείρισης Μπαταριών (ΣΔΜ):

- Βελτιστοποίηση Απόδοσης: Τα ΣΔΜ εξασφαλίζουν τη βέλτιστη απόδοση μέσω της παρακολούθησης και διαχείρισης πτυχών της λειτουργίας της μπαταρίας, συμπεριλαμβανομένης της θερμοκρασίας, του φορτίου και των κύκλων φόρτισης και εκφόρτισης.

- Επέκταση Διάρκειας Ζωής: Οι προηγμένες τεχνολογίες ΣΔΜ συμβάλλουν στην επέκταση της διάρκειας ζωής των μπαταριών αποτρέποντας προβλήματα όπως η υπερφόρτιση και η υποφόρτιση.

5. Ενσωμάτωση στο Σχεδιασμό του Οχήματος:

- Σκέψεις για Χώρο και Βάρος: Τα συστήματα αποθήκευσης πρέπει να ενσωματώνονται απρόσκοπτα στον σχεδιασμό του οχήματος, λαμβάνοντας υπόψη περιορισμούς χώρου και κατανομής βάρους για το βέλτιστο χειρισμό και απόδοση [49, 51, 66-69].

5. Τεχνολογίες Συστημάτων Αποθήκευσης Ηλεκτρικών Οχημάτων

5.1 Προηγμένες Τεχνολογίες Μπαταριών για Ηλεκτρικά Οχήματα

Τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν κερδίσει σημαντικό χλωρο έδρα τα τελευταία χρόνια λόγω της δυνατότητάς τους να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και της μη εξάρτησή τους από τα ορυκτά καύσιμα. Κεντρικό στοιχείο της επιτυχίας των ηλεκτρικών οχημάτων είναι οι προηγμένες τεχνολογίες μπαταριών, οι οποίες έχουν σημειώσει εντυπωσιακή πρόοδο για να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις της σύγχρονης μεταφοράς. Αυτή η εργασία παρέχει μια επισκόπηση των διαφόρων τεχνολογιών μπαταριών που χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρικά οχήματα, επισημαίνοντας τα χαρακτηριστικά τους, τα πλεονεκτήματά τους και τις προκλήσεις τους.

5.2.1 Μπαταρίες Ιόντων Λιθίου

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου έχουν εμφανιστεί ως η κυρίαρχη τεχνολογία αποθήκευσης ενέργειας για τα ηλεκτρικά οχήματα (ΗΟ) λόγω της υψηλής πυκνότητας ενέργειας, της αποδοτικότητας και του σχετικά ελαφρού σχεδιασμού τους. Αυτές οι μπαταρίες έχουν κρίσιμο ρόλο στην τροφοδότηση του ηλεκτρικού κινητήρα και διάφορων συστημάτων εντός του οχήματος.

Χημική Σύνθεση:

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου χρησιμοποιούν ως ηλεκτρολύτη άλας λιθίου σε οργανικό διαλύτη. Το θετικό ηλεκτρόδιο (κάθοδος) αποτελείται συνήθως από λιθωμένο οξείδιο μετάλλου (LiMeO_2) όπως οξείδια λιθίου κοβαλτίου (LiCoO_2), οξείδια μαγγανίου λιθίου (LiMn_2O_4) ή φωσφορικό λιθίου (LiFePO_4), ενώ το αρνητικό ηλεκτρόδιο (άνοδος) είναι συνήθως κατασκευασμένο από γραφίτη.

Πλεονεκτήματα

1. Πυκνότητα Ενέργειας:

Ένα από τα κρίσιμα πλεονεκτήματα των μπαταριών ιόντων λιθίου είναι η υψηλή πυκνότητα ενέργειας, που τους επιτρέπει να αποθηκεύουν σημαντική ποσότητα ενέργειας σε έναν συμπαγή και ελαφρύ σχεδιασμό. Αυτό είναι ουσιώδες για την επέκταση της αυτονομίας των ΗΟ.

2. Πυκνότητα Ισχύος:

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου επίσης εκδηλώνουν υψηλή πυκνότητα ισχύος, επιτρέποντας γρήγορη φόρτιση και εκφόρτιση. Αυτός ο χαρακτηρισμός είναι κρίσιμος για την παροχή γρήγορης επιτάχυνσης και απόδοσης που αναμένεται σε ένα ηλεκτρικό όχημα.

3. Αυτοεκφόρτιση

Οι μπαταρίες λιθίου έχουν χαμηλή αυτοεκφόρτιση, που σημαίνει ότι διατηρούν τη φόρτισή τους για μεγάλο χρονικό διάστημα όταν δεν χρησιμοποιούνται.

4. Διάρκεια Ζωής Κύκλου:

Η διάρκεια ζωής των μπαταριών λιθίου-ιόντος αναφέρεται στον αριθμό των κύκλων φόρτισης-εκφόρτισης που μπορούν να υποστούν διατηρώντας αποδεκτή απόδοση. Οι προόδοι στη χημεία και την κατασκευή οδήγησαν σε βελτιώσεις στη διάρκεια ζωής, συμβάλλοντας στη μακροζωία των ΗΟ.

5. Βάρος και Μέγεθος

Οι μπαταρίες λιθίου έχουν μικρότερο βάρος, καθώς το λίθιο είναι ελαφρύτερο σε σχέση με τα μέταλλα των άλλων μπαταριών. Επίσης είναι μικρότερες σε μέγεθος.

6. Απουσία φαινομένου μνήμης, που σημαίνει ότι, δεν υπάρχει επίδραση των προηγούμενων φορτίσεων-εκφορτίσεων στην απόδοση της μπαταρίας.

7. Ταχύτητα Φόρτισης:

Οι μπαταρίες λιθίου-ιόντος μπορούν να φορτιστούν σχετικά γρήγορα, ειδικά με την ανάπτυξη τεχνολογιών γρήγορης φόρτισης. Οι υποδομές για γρήγορη φόρτιση επιτρέπουν την άνετη επαναφόρτιση των ΗΟ και ενθαρρύνουν την υιοθέτηση της ηλεκτροκίνησης.

Μειονεκτήματα

1. Κοστολόγηση:

Οι μπαταρίες λιθίου έχουν υψηλό κόστος παραγωγής και κατασκευής. Συνεχείς έρευνες και τεχνολογικές εξελίξεις στοχεύουν στη μείωση του κόστους των μπαταριών ιόντων λιθίου, καθιστώντας τα ηλεκτρικά οχήματα πιο προσιτά και ανταγωνιστικά σε σχέση με τα παραδοσιακά οχήματα εσωτερικής καύσης.

2. Κίνδυνοι Ασφαλείας

Λόγω ευφλεκτότητας του ηλεκτρολύτη σε περίπτωση υπερθέρμανσης μπορεί να πάρει φωτιά όπως επίσης και σε περίπτωση διαρροής του υγρού του ηλεκτρολύτη δημιουργείται υδροφορικό οξύ, παράγωγο πολύ επικίνδυνο καθώς είναι από τα πλέον διαβρωτικά οξέα.

3. Διαχείριση Θερμοκρασίας:

Η κατάλληλη διαχείριση θερμοκρασίας είναι κρίσιμη για τη βέλτιστη απόδοση και ασφάλεια των μπαταριών ιόντων λιθίου. Συστήματα ψύξης ή θέρμανσης ενσωματώνονται

στα ΗΟ για τον έλεγχο της θερμοκρασίας της μπαταρίας και την αποτροπή προβλημάτων όπως η υπερθέρμανση.

Είναι συγκριτικά λιγότερο ανθεκτικές και απαιτούν προστασία από υπερφόρτιση, υπερθέρμανση και πλήρη εκφόρτιση. [49, 51, 70-72].

5.2.2 Μπαταρίες Μολύβδου-Οξέος

Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος, παρά τον παραδοσιακό τους χαρακτήρα, έχουν βρει εφαρμογές σε ορισμένα ηλεκτρικά οχήματα λόγω του κόστους τους και της αξιοπιστίας τους. Ενώ δεν χρησιμοποιούνται τόσο συχνά σε σύγχρονα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, εξακολουθούν να έχουν ρόλο σε συγκεκριμένες εφαρμογές. Παρακάτω, παρατίθεται είναι μια επισκόπηση των μπαταριών μολύβδου-οξέος στα ΗΟ:

1. Χημεία:

Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος χρησιμοποιούν μια χημική αντίδραση μεταξύ διοξειδίου του μολύβδου (θετικό ηλεκτρόδιο), (sponge) σφουγγαρισμένου μολύβδου (αρνητικό ηλεκτρόδιο) και θεικού οξέος (ηλεκτρολύτη). Αυτή η ηλεκτροχημική διαδικασία παράγει ηλεκτρική ενέργεια.

2. Πυκνότητα Ενέργειας:

Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος έχουν γενικά χαμηλότερη πυκνότητα ενέργειας σε σχέση με πιο προηγμένες τεχνολογίες όπως οι μπαταρίες ιόντων λιθίου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την περιορισμένη αποθηκευτική ικανότητα, επηρεάζοντας την αυτονομία των ηλεκτρικών οχημάτων.

3. Πυκνότητα Ισχύος:

Ενώ οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος προσφέρουν μέτρια πυκνότητα ισχύος, ενδέχεται να μην παρέχουν τη γρήγορη επιτάχυνση και την απόδοση που συνδέεται με υψηλής ισχύος ηλεκτρικά οχήματα. Η εφαρμογή τους είναι συχνά σε ΗΟ χαμηλής ταχύτητας ή χαμηλής ισχύος.

4. Διάρκεια Ζωής Κύκλου:

Η διάρκεια ζωής των μπαταριών μολύβδου-οξέος είναι περιορισμένη σε σύγκριση με νεότερες τεχνολογίες. Ενδέχεται να υποστούν μειωμένη ικανότητα κρατήματος φόρτισης μετά από έναν συγκεκριμένο αριθμό κύκλων φόρτισης-εκφόρτισης.

5. Ταχύτητα Φόρτισης:

Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος έχουν συνήθως μεγαλύτερους χρόνους φόρτισης σε σχέση με νεότερες τεχνολογίες. Η διαδικασία φόρτισης είναι σχετικά αργή, πράγμα που μπορεί να αποτελεί ανάγκη για χρήστες που χρειάζονται γρήγορη επαναφόρτιση.

6. Βάρος και Μέγεθος:

Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος είναι βαριές και μεγαλύτερες από ορισμένες εναλλακτικές τεχνολογίες, επηρεάζοντας το συνολικό βάρος και μέγεθος του ηλεκτρικού οχήματος. Αυτό μπορεί να επηρεάσει την αποδοτικότητα και την οδηγική συμπεριφορά.

7. Προβληματισμοί Κόστους:

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα των μπαταριών μολύβδου-οξέος είναι το χαμηλότερο κόστος τους σε σχέση με πιο προηγμένες εναλλακτικές. Αυτό τις καθιστά ελκυστικές για συγκεκριμένες εφαρμογές όπου το κόστος είναι κρίσιμος παράγοντας [73-77].

5.2.3 Μπαταρίες Νατρίου-Νικελίου Χλωριδίου

Οι μπαταρίες νατρίου-νικελίου χλωριδίου (Na-NiCl₂), γνωστές και ως μπαταρίες ZEBRA (Zero Emission Battery Research Activity), αντιπροσωπεύουν μια κατηγορία υψηλής θερμοκρασίας επαναφορτιζόμενων μπαταριών που έχουν ανακαλυφθεί για χρήση σε ηλεκτρικά οχήματα. Παρακάτω, παρατίθεται μια επισκόπηση των μπαταριών νατρίου-νικελίου χλωριδίου σε ΗΟ:

1. Χημεία:

Οι μπαταρίες νατρίου-νικελίου χλωριδίου λειτουργούν με βάση μια αντιστρέψιμη ηλεκτροχημική αντίδραση μεταξύ νατρίου και χλωριδίου νικελίου. Αυτές οι μπαταρίες λειτουργούν συνήθως σε υψηλές θερμοκρασίες (περίπου 270-350°C) για να βελτιώσουν την απόδοσή τους.

2. Πυκνότητα Ενέργειας:

Οι μπαταρίες Na-NiCl₂ προσφέρουν σχετικά υψηλή πυκνότητα ενέργειας, παρέχοντας αξιοπρεπή αποθηκευτική ικανότητα για τα ηλεκτρικά οχήματα. Αυτό συμβάλλει σε μεγαλύτερο εύρος οδήγησης πριν από την ανάγκη επαναφόρτισης.

3. Πυκνότητα Ισχύος:

Η πυκνότητα ισχύος των μπαταριών νατρίου-νικελίου χλωριδίου είναι μέτρια. Ενώ μπορεί να μην ανταποκρίνονται στις δυνατότητες γρήγορης επιτάχυνσης ορισμένων άλλων τεχνολογιών, προσφέρουν αρκετή ισχύ για πολλές εφαρμογές ηλεκτρικών οχημάτων.

4. Διάρκεια Ζωής Κύκλου:

Αυτές οι μπαταρίες έχουν γενικά καλή διάρκεια ζωής κύκλου, ικανές να αντέχουν έναν σημαντικό αριθμό κύκλων φόρτισης-εκφόρτισης χωρίς σημαντική μείωση της απόδοσής τους. Αυτή η ανθεκτικότητα συμβάλλει στη μακροχρόνια αξιοπιστία τους.

5. Ταχύτητα Φόρτισης:

Οι ταχύτητες φόρτισης για τις μπαταρίες Na-NiCl₂ επηρεάζονται από την υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας τους. Η διαδικασία φόρτισης μπορεί να απαιτεί περισσότερο χρόνο σε σύγκριση με ορισμένες μπαταρίες χαμηλότερης θερμοκρασίας.

6. Διαχείριση Θερμοκρασίας:

Η υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας προκαλεί προκλήσεις για την αποτελεσματική διαχείριση της θερμοκρασίας. Ωστόσο, συμβάλλει επίσης στην βελτιωμένη απόδοση και αποτελεσματικότητα υπό συγκεκριμένες συνθήκες.

7. Προβληματισμοί Κόστους:

Οι μπαταρίες νατρίου-νικελίου χλωριδίου τείνουν να έχουν υψηλότερο κόστος εκκίνησης λόγω του συγκεκριμένου τους σχεδιασμού και υλικών. Ωστόσο, η έρευνα και ανάπτυξη μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των δαπανών στο μέλλον [78-81].

5.2.4 Μπαταρίες Νικελίου-Μετάλλου Υδριδίου (NiMH)

Οι μπαταρίες νικελίου-μετάλλου υδριδίου (NiMH) χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρικά οχήματα, προσφέροντας μια εναλλακτική λύση στις παραδοσιακές μπαταρίες μολύβδου-οξέος και ανοίγοντας τον δρόμο για πιο προηγμένες τεχνολογίες ιόντων λιθίου. Εδώ είναι μια επισκόπηση των μπαταριών NiMH σε ηλεκτρικά οχήματα:

1. Χημεία:

Οι μπαταρίες NiMH λειτουργούν με βάση την ηλεκτροχημική αντίδραση μεταξύ του οξειδίου νικελίου (NiOOH) και ενός μετάλλου υδριδίου. Αυτές οι μπαταρίες αποφεύγουν τη χρήση τοξικών υλικών όπως το κάδμιο, καθιστώντας τις πιο φιλικές προς το περιβάλλον σε σύγκριση με τις προκατόχους τους.

2. Πυκνότητα Ενέργειας:

Οι μπαταρίες NiMH έχουν υψηλότερη πυκνότητα ενέργειας σε σύγκριση με τις μπαταρίες μολύβδου-οξέος, παρέχοντας καλύτερη ισορροπία μεταξύ βάρους και αποθηκευτικής ικανότητας. Αυτό συμβάλλει στη βελτίωση της αυτονομίας των ηλεκτρικών οχημάτων.

3. Πυκνότητα Ισχύος:

Η πυκνότητα ισχύος των μπαταριών NiMH είναι μέτρια, επιτρέποντας ικανοποιητική απόδοση σε διάφορες συνθήκες οδήγησης. Παρόλο που δεν μπορεί να ανταγωνιστεί την υψηλή πυκνότητα ισχύος των μπαταριών ιόντων λιθίου, παρέχει αξιόπιστη ισχύ.

4. Διάρκεια Ζωής Κύκλου:

Οι μπαταρίες NiMH εμφανίζουν καλή διάρκεια κύκλου ζωής, ικανές να αντέχουν έναν σημαντικό αριθμό κύκλων φόρτισης-εκφόρτισης. Αυτή η ανθεκτικότητα συμβάλλει στην καταλληλότητά τους για εφαρμογές ηλεκτρικών οχημάτων.

5. Ταχύτητα Φόρτισης:

Οι μπαταρίες NiMH μπορούν να φορτίζονται με μέτρια ταχύτητα, και οι εξελίξεις στην τεχνολογία της φόρτισης έχουν βελτιώσει τους χρόνους επαναφόρτισης τους. Ωστόσο, συνήθως χρειάζονται περισσότερο χρόνο για να φορτιστούν σε σύγκριση με ορισμένες εναλλακτικές λιθίου.

6. Κοστολόγηση:

Ένα από τα πλεονεκτήματα των μπαταριών NiMH είναι το σχετικά χαμηλό τους κόστος σε σύγκριση με ορισμένες προηγμένες εναλλακτικές όπως οι μπαταρίες ιόντων λιθίου. Αυτή η οικονομική αποδοτικότητα τις καθιστά ελκυστικές για ορισμένες εφαρμογές, ειδικά στα πρώτα στάδια ανάπτυξης των ηλεκτρικών οχημάτων.

7. Ευαισθησία στη Θερμοκρασία:

Οι μπαταρίες NiMH είναι ευαίσθητες στις μεταβολές της θερμοκρασίας, και η απόδοσή τους μπορεί να επηρεαστεί σε ακραίες συνθήκες. Η κατάλληλη διαχείριση της θερμοκρασίας είναι κρίσιμη για τη διατήρηση της αποτελεσματικότητας και του χρόνου ζωής τους [82, 83].

5.2.5 Μπαταρίες Νικελίου-Καδμίου (NiCd)

Οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου (NiCd) ήταν ανάμεσα στις πρώτες επαναφορτιζόμενες μπαταρίες που χρησιμοποιήθηκαν σε ηλεκτρικά οχήματα. Παρόλο που η δημοτικότητά τους έχει υποχωρήσει υπέρ πιο προηγμένων τεχνολογιών όπως οι μπαταρίες ιόντων λιθίου, έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην αρχική ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης. Εδώ είναι μια επισκόπηση των μπαταριών NiCd σε ηλεκτρικά οχήματα:

1. Χημεία:

Οι μπαταρίες NiCd λειτουργούν με βάση την ηλεκτροχημική αντίδραση μεταξύ του οξειδίου υδροξειδίου νικελίου (NiOOH) ως θετικού ηλεκτροδίου και του καδμίου (Cd) ως αρνητικού ηλεκτροδίου. Αυτές οι μπαταρίες ξεχωρίζουν για την αντοχή τους και την ικανότητά τους να αντέχουν ένα μεγάλο αριθμό κύκλων φόρτισης-εκφόρτισης.

2. Πυκνότητα Ενέργειας:

Οι μπαταρίες NiCd έχουν μέτρια πυκνότητα ενέργειας, παρέχοντας μια ισορροπία μεταξύ βάρους και αποθηκευτικής ικανότητας. Ενώ η πυκνότητα ενέργειάς τους είναι χαμηλότερη από ορισμένες νεότερες τεχνολογίες, ήταν ανταγωνιστικές κατά τη διάρκεια της εποχής τους.

3. Πυκνότητα Ισχύος:

Οι μπαταρίες NiCd προσφέρουν καλή πυκνότητα ισχύος, επιτρέποντας ικανοποιητική απόδοση σε διάφορες συνθήκες οδήγησης. Η ικανότητά τους να παρέχουν σταθερή ισχύ συνέβαλε στη χρήση τους σε ηλεκτρικά οχήματα.

4. Διάρκεια Ζωής Κύκλου:

Ένα από τα πλεονεκτήματα των μπαταριών NiCd είναι η μακρά διάρκεια ζωής τους. Μπορούν να αντέξουν έναν σημαντικό αριθμό κύκλων φόρτισης-εκφόρτισης, καθιστώντας τις αξιόπιστες για εφαρμογές όπου απαιτείται συχνή επαναφόρτιση.

5. Φαινόμενο Μνήμης:

Οι μπαταρίες NiCd είναι επιρρεπείς στο φαινόμενο μνήμης, ένα φαινόμενο όπου η μπαταρία "θυμάται" το βάθος εκφόρτισης και μειώνει σταδιακά την χωρητικότητά της. Ωστόσο, αυτό το φαινόμενο έχει μειωθεί σε νεότερα σχέδια των NiCd.

6. Ανοχή στη Θερμοκρασία:

Οι μπαταρίες NiCd μπορούν να λειτουργούν σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών, καθιστώντας τις κατάλληλες για διάφορες συνθήκες περιβάλλοντος. Η ανοχή στη θερμοκρασία αυτή συνέβαλε στη χρήση τους σε πρώιμα ηλεκτρικά οχήματα.

7. Περιβαλλοντική Επίπτωση:

Ένα μειονέκτημα των μπαταριών NiCd είναι η χρήση του καδμίου, ένα βαρέο μέταλλο που είναι τοξικό. Το κάδμιο προκαλεί περιβαλλοντικές ανησυχίες, και η μετάβαση σε πιο περιβαλλοντικά φιλικές τεχνολογίες οδήγησε σε μείωση της χρήσης των μπαταριών NiCd [68, 73, 77, 82, 83].

5.2.6 Μπαταρία Νατρίου-Θείου (NaS)

Η μπαταρία νατρίου-θείου (NaS) είναι ένας τύπος επαναφορτιζόμενης μπαταρίας υψηλής θερμοκρασίας που έχει βρει εφαρμογές σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένων των ηλεκτρικών οχημάτων. Παρακάτω παρατίθεται μια επισκόπηση των μπαταριών NaS και της χρήσης τους σε ΗΟ:

1. Χημεία:

Η μπαταρία NaS λειτουργεί με βάση την αντιστρέψιμη ηλεκτροχημική αντίδραση μεταξύ νατρίου (Na) και θείου (S). Συνήθως αποτελείται από στερεό βήτα-αλουμίνιο ως ηλεκτρολυτικό, λιωμένο νάτριο ως άνοδο, και βήτα"-αλουμίνιο ως ηλεκτρολυτικό με θείο ως κάθοδο. Αυτό το υψηλής θερμοκρασίας σχέδιο επιτρέπει αποτελεσματικές ηλεκτροχημικές αντιδράσεις.

2. Πυκνότητα Ενέργειας:

Οι μπαταρίες NaS προσφέρουν σχετικά υψηλή πυκνότητα ενέργειας, καθιστώντας τις κατάλληλες για ηλεκτρικά οχήματα. Η υψηλή πυκνότητα ενέργειας επιτρέπει την αποθήκευση μεγάλης ποσότητας ενέργειας σε σχετικά συμπαγή χώρο.

3. Θερμοκρασία Λειτουργίας:

Ένα χαρακτηριστικό των μπαταριών NaS είναι η ανάγκη για υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας, συνήθως στο εύρος των 300 έως 350 βαθμών Κελσίου. Αυτή η υψηλή θερμοκρασία είναι απαραίτητη για την αποτελεσματική κίνηση των ιόντων νατρίου εντός του κελιού.

4. Διάρκεια Ζωής Κύκλου:

Οι μπαταρίες NaS έχουν καλή διάρκεια ζωής κύκλου, ικανές να αντέχουν έναν σημαντικό αριθμό κύκλων φόρτισης-εκφόρτισης. Αυτή η ανθεκτικότητα συμβάλλει στην καταλληλότητά τους για συγκεκριμένες εφαρμογές ΗΟ.

5. Πυκνότητα Ισχύος:

Οι μπαταρίες NaS εμφανίζουν ικανοποιητική πυκνότητα ισχύος, επιτρέποντάς τους να παρέχουν την απαιτούμενη ισχύ για την κίνηση του ηλεκτρικού οχήματος. Ωστόσο, η απόδοσή τους μπορεί να επηρεαστεί από την ανάγκη για υψηλές θερμοκρασίες.

6. Συνεχιζόμενες Έρευνες:

Οι μπαταρίες NaS συνεχίζουν να εξελίσσονται, και οι έρευνες επικεντρώνονται στη βελτίωση της απόδοσης, της ασφάλειας και της δυνατότητας εφαρμογών σε ηλεκτρικά οχήματα [84-87].

5.2.7 Μπαταρία VRFB

Η μπαταρία VRFB είναι ένας τύπος επαναφορτιζόμενης μπαταρίας που χρησιμοποιεί λύσεις ηλεκτρολύτη βασισμένες σε βανάδιο για την αποθήκευση ενέργειας. Ενώ οι VRFB χρησιμοποιούνται περισσότερο για εφαρμογές αποθήκευσης ενέργειας σταθερού τύπου, έχουν γίνει εξερευνησεις για την πιθανή τους χρήση σε ηλεκτρικά οχήματα. Παρακάτω, παρατίθεται μια επισκόπηση των μπαταριών VRFB:

1. Χημεία:

Οι VRFB χρησιμοποιούν τις χημικές αντιδράσεις των ιόντων βαναδίου (V^{2+}/V^{3+} και V^{4+}/V^{5+}) στις λύσεις ηλεκτρολύτη. Αντίθετα από τις συμβατικές μπαταρίες, οι VRFB αποθηκεύουν ενέργεια σε μορφή υγρών ηλεκτρολυτών που ρέουν μέσω των στοιβών κυψέλων κατά τη φόρτιση και την εκφόρτιση.

2. Πυκνότητα Ενέργειας:

Οι VRFB έχουν συνήθως χαμηλότερη πυκνότητα ενέργειας σε σχέση με άλλες τεχνολογίες μπαταριών, πράγμα που μπορεί να περιορίσει τη χρήση τους σε ηλεκτρικά οχήματα. Η επικέντρωση στην αποθήκευση σταθερής ενέργειας οφείλεται κυρίως στην κλιμακούμενη τους φύση και τη μεγάλη διάρκεια ζωής.

3. Δυνατότητα Κλιμάκωσης:

Ένα από τα σημαντικά πλεονεκτήματα των VRFB είναι η δυνατότητα κλιμάκωσής τους. Η διάκριση μεταξύ συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας και παραγωγής ισχύος επιτρέπει την ανεξάρτητη κλιμάκωση της ισχύος και της χωρητικότητας ενέργειας. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι επωφελές για τις εφαρμογές δικτύου, αλλά μπορεί να παρουσιάσει προκλήσεις στον περιορισμένο χώρο των ηλεκτρικών οχημάτων.

4. Διάρκεια Ζωής Κύκλου:

Οι VRFB έχουν μεγάλη διάρκεια κύκλου ζωής, καθιστώντας τις κατάλληλες για εφαρμογές όπου αναμένονται συχνοί κύκλοι φόρτισης-εκφόρτισης. Η δυνατότητα αποσύζευξης ισχύος και χωρητικότητας συμβάλει στην καταλληλότητά τους για συγκεκριμένες εφαρμογές ΗΟ.

5. Προκλήσεις στα ΗΟ:

Ενώ οι VRFB προσφέρουν πλεονεκτήματα όσον αφορά την κλιμακούμενη κατασκευή και την διάρκεια κύκλου ζωής, η σχετικά χαμηλή πυκνότητα ενέργειας και η μεγαλύτερη φυσική κατάληψη μπορεί να τις καθιστούν λιγότερο κατάλληλες για τις απαιτήσεις σχεδιασμού μιας ηλεκτρικής οχήματος. Επιπλέον, το βάρος των υγρών ηλεκτρολυτών μπορεί να επηρεάσει το συνολικό βάρος και την απόδοση του οχήματος.

6. Συνεχιζόμενες Έρευνες:

Συνεχείς έρευνες στοχεύουν στην αντιμετώπιση των προκλήσεων και την εξέταση πιθανών βελτιώσεων στην τεχνολογία των VRFB. Περιλαμβάνουν προσπάθειες για τη βελτίωση της πυκνότητας ενέργειας, τη μείωση του βάρους και τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού για την ολοκλήρωση σε ηλεκτρικά οχήματα [88-91].

5.2.8 Κυψέλες Καυσίμου Υδρογόνου

Οι κυψέλες καυσίμου υδρογόνου αντιπροσωπεύουν μια εναλλακτική τεχνολογία για την ενίσχυση της ηλεκτρικής ενέργειας σε ηλεκτρικά οχήματα, μετατρέποντας το υδρογόνο σε ηλεκτρικό ρεύμα μέσω ενός ηλεκτροχημικού επεξεργασίας. Παρακάτω, παρατίθεται μια επισκόπηση των υδρογόνου κυψελών καυσίμου σε ΗΟ:

1. Χημεία:

Οι κυψέλες καυσίμου υδρογόνου λειτουργούν με την αρχή των ηλεκτροχημικών αντιδράσεων μεταξύ υδρογόνου και οξυγόνου. Το υδρογόνο εισέρχεται στον άνοδο, και το οξυγόνο από τον αέρα παρέχεται στην κάθοδο. Μέσω του μεμβράνης ανταλλαγής

πρωτονίων (PEM) ή αλκαλικού ηλεκτρολύτη, τα άτομα υδρογόνου διαιρούνται σε πρωτόνια και ηλεκτρόνια. Τα πρωτόνια διασχίζουν τη μεμβράνη, ενώ τα ηλεκτρόνια δημιουργούν ηλεκτρικό ρεύμα, παράγοντας ενέργεια.

2. Πλεονεκτήματα:

- Μηδενικές Εκπομπές: Το μόνο παραπροϊόν των οχημάτων με κυψέλες καυσίμου υδρογόνου είναι ατμός νερού, συμβάλλοντας σε μηδενικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στο περιβάλλον.

- Γρήγορος Ανεφοδιασμός: Οι σταθμοί ανεφοδιασμού υδρογόνου προσφέρουν γρήγορους χρόνους ανεφοδιασμού, συγκρίσιμους με τα παραδοσιακά οχήματα με βενζίνη.

- Μεγάλη Εμβέλεια: Τα οχήματα με κυψέλες καυσίμου υδρογόνου μπορούν να επιτύχουν μεγάλες αποστάσεις, καθιστώντας τα κατάλληλα για διάφορες εφαρμογές.

3. Προκλήσεις:

- Υποδομή: Η έλλειψη εκτεταμένης υποδομής υδρογόνου είναι μια σημαντική πρόκληση που περιορίζει την ευρεία υιοθέτηση των οχημάτων με κυψέλες καυσίμου υδρογόνου.

- Προκλήσεις Παραγωγής: Η παραγωγή του υδρογόνου συνήθως περιλαμβάνει διαδικασίες που απαιτούν πολύ ενέργεια, και η δημιουργία βιώσιμων μεθόδων παραγωγής είναι κρίσιμη.

- Κόστος: Τα οχήματα με κυψέλες καυσίμου υδρογόνου μπορεί να είναι ακριβά σε σχέση με άλλα ΗΟ, κυρίως λόγω του υψηλού κόστους της τεχνολογίας των κυψελών καυσίμου.

4. Εφαρμογές:

- Οχήματα Στόλου: Οι κυψέλες καυσίμου χρησιμοποιούνται σε ορισμένες εφαρμογές στόλου, όπως λεωφορεία και φορτηγά, όπου οι μεγάλες αποστάσεις και ο γρήγορος χρόνος επανεφοδιασμού είναι προνόμια.

- Ιδιωτικά Οχήματα: Οι κατασκευαστές αυτοκινήτων αναπτύσσουν ιδιωτικά οχήματα που κινούνται με κυψέλες καυσίμου υδρογόνου, προσφέροντας εναλλακτική λύση στα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρίες.

5. Συνεχείς Έρευνες:

Οι συνεχείς έρευνες επικεντρώνονται στη βελτίωση της αποδοτικότητας και στη μείωση του κόστους της τεχνολογίας των κυψελών καυσίμου. Καινοτομίες στα υλικά, στις μεθόδους παραγωγής και στην αποθήκευση είναι κλειδιά θέματα έρευνας [92-96].

5.2.9 Αποθήκευση Ενέργειας με Σφόνδυλους

Η αποθήκευση ενέργειας με σφόνδυλους είναι μια καινοτόμος τεχνολογία που χρησιμοποιεί ένα περιστρεφόμενο σφόνδυλο, ή ροδέλα, για την αποθήκευση και απελευθέρωση

ενέργειας. Ενώ χρησιμοποιείται κυρίως σε εφαρμογές δικτύου και άλλα σταθερά συστήματα, υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για την πιθανή χρήση της σε ηλεκτρικά οχήματα. Παρακάτω, παρατίθεται μια επισκόπηση της τεχνολογίας των σφονδύλων:

1. Αρχή Λειτουργίας:

Η αποθήκευση ενέργειας με σφόνδυλο λειτουργεί με βάση την αρχή της κινητικής ενέργειας. Όταν παρέχεται ενέργεια, η ροδέλα επιταχύνεται και αποθηκεύει την ενέργεια στην περιστροφική της κίνηση. Αντίστροφα, όταν χρειάζεται ενέργεια, η ροδέλα επιβραδύνεται, μετατρέποντας την κινητική ενέργεια πίσω σε ηλεκτρική ενέργεια.

2. Πλεονεκτήματα:

- Υψηλή Πυκνότητα Ισχύος: Οι ροδέλες μπορούν να επιτύχουν υψηλή πυκνότητα ισχύος, καθιστώντας τις κατάλληλες για εφαρμογές που απαιτούν γρήγορη ανταλλαγή ενέργειας.

- Μεγάλη Διάρκεια Κύκλου Ζωής: Σε σύγκριση με ορισμένες τεχνολογίες μπαταριών, οι σφόνδυλοι μπορούν να έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής κύκλου, παρέχοντας ανθεκτικότητα σε πολλούς κύκλους φόρτισης και εκφόρτισης.

- Γρήγορη Απόκριση: Οι ροδέλες μπορούν να ανταποκριθούν γρήγορα σε αλλαγές στη ζήτηση ενέργειας, παρέχοντας γρήγορη και δυναμική υποστήριξη.

3. Προκλήσεις:

- Πυκνότητα Ενέργειας: Ένα από τα βασικά προβλήματα είναι η σχετικά χαμηλή πυκνότητα ενέργειας σε σύγκριση με ορισμένες τεχνολογίες μπαταριών. Αυτό μπορεί να περιορίσει το συνολικό ποσό ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί σε ένα συμπαγές χώρο.

- Μηχανικές Καταπονήσεις: Οι υψηλές περιστροφικές ταχύτητες των ροδελών μπορεί να προκαλέσουν μηχανικές καταπονήσεις, απαιτώντας ανθεκτικά υλικά και σχεδιαστική καινοτομία.

- Κόστος: Το κόστος κατασκευής ροδελών με ακρίβεια μπορεί να αποτελέσει περιοριστικό παράγοντα, αν και γίνονται προσπάθειες για την αντιμετώπισή του.

4. Εφαρμογές:

- Ανακτητικό Φρενάρισμα: Οι σφόνδυλοι μπορούν να απορροφούν και να αποθηκεύουν ενέργεια κατά το ανακτητικό φρενάρισμα σε ΗΟ, απελευθερώνοντας την κατά τη διάρκεια της επιτάχυνσης.

- Εφεδρική Ενέργεια: Οι σφόνδυλοι μπορούν να λειτουργήσουν ως πηγές εφεδρικής ενέργειας για να παρέχουν επιπλέον ενέργεια όταν απαιτείται.

5. Συνεχιζόμενη Έρευνα:

Η συνεχής έρευνα επικεντρώνεται στη βελτίωση της πυκνότητας ενέργειας, της αποδοτικότητας και της οικονομικότητας της τεχνολογίας των ροδελών για διάφορες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένων των ηλεκτρικών οχημάτων [97-101].

5.2.10 Υπερπυκνωτές

Οι υπερπυκνωτές, επίσης γνωστοί ως υπερηλεκτροχημικοί πυκνωτές ή ηλεκτροχημικοί πυκνωτές, είναι συσκευές αποθήκευσης ενέργειας που γεφυρώνουν το χάσμα μεταξύ των παραδοσιακών πυκνωτών και των μπαταριών. Ενώ έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως σε διάφορες εφαρμογές, η ενσωμάτωσή τους σε ηλεκτρικά οχήματα κερδίζει προσοχή για συγκεκριμένες λειτουργίες. Παρακάτω, παρατίθεται μια επισκόπηση των υπερπυκνωτών:

1. Αρχή Λειτουργίας:

Οι υπερπυκνωτές αποθηκεύουν ενέργεια μέσω του ηλεκτροστατικού διαχωρισμού των φορτίων, παρόμοια με τους παραδοσιακούς πυκνωτές. Ωστόσο, χρησιμοποιούν ένα υλικό με υψηλή επιφάνεια και πόρους για ηλεκτρόδια και ένα ηλεκτρολύτη για να επιτύχουν σημαντικά υψηλότερη χωρητικότητα σε σύγκριση με τους κανονικούς πυκνωτές.

2. Πλεονεκτήματα:

- **Υψηλή Πυκνότητα Ισχύος:** Οι υπερπυκνωτές ξεχωρίζουν στην παροχή υψηλής ισχύος, καθιστώντας τους κατάλληλους για εφαρμογές που απαιτούν γρήγορους κύκλους φόρτισης και εκφόρτισης.

- **Μεγάλη Διάρκεια Ζωής Κύκλου:** Συνήθως έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής κύκλου σε σύγκριση με τις μπαταρίες, αντέχοντας ένα υψηλό αριθμό κύκλων φόρτισης και εκφόρτισης χωρίς σημαντική επιδείνωση.

- **Γρήγορη Φόρτιση και Εκφόρτιση:** Οι υπερπυκνωτές μπορούν να φορτίζονται και να εκφορτίζονται γρήγορα, καθιστώντας τους ιδανικούς για το ανακτητικό φρενάρισμα και τη γρήγορη αποθήκευση και απελευθέρωση ενέργειας.

3. Προκλήσεις:

- **Χαμηλή Πυκνότητα Ενέργειας:** Ένας από τους κύριους περιορισμούς είναι η σχετικά χαμηλή πυκνότητα ενέργειας σε σύγκριση με τις μπαταρίες. Αυτό μπορεί να περιορίσει τη χρήση τους ως κύρια αποθήκευση ενέργειας σε ηλεκτρικά οχήματα για χρήσεις μεγάλων αποστάσεων.

- **Όρια Τάσης:** Οι υπερπυκνωτές έχουν χαμηλότερα όρια τάσης σε σχέση με τις μπαταρίες, απαιτώντας προσεκτική ενσωμάτωση για να πληρούν τις απαιτήσεις τάσης των ηλεκτρικών οχημάτων.

4. Εφαρμογές σε ΗΟ:

- Ανακτητικό Φρενάρισμα: Οι υπερπυκνωτές μπορούν να αιχμαλωτίζουν και να αποθηκεύουν ενέργεια κατά το ανακτητικό φρενάρισμα και να την απελευθερώνουν γρήγορα κατά την επιτάχυνση, βελτιώνοντας τη συνολική αποδοτικότητα της ενέργειας.

- Υποστήριξη Ισχύος Αιχμής: Μπορούν να παρέχουν υποστήριξη ισχύος αιχμής κατά τη διάρκεια καταστάσεων υψηλής ζήτησης, μειώνοντας το άγχος στο κύριο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας (π.χ. μπαταρίες).

- Υβριδικά Συστήματα: Οι υπερπυκνωτές μπορούν να ενσωματωθούν σε υβριδικά συστήματα, συνεργαζόμενοι με μπαταρίες για τον βέλτιστο χειρισμό της διαχείρισης ενέργειας.

5. Συνεχιζόμενη Έρευνα:

Η συνεχής έρευνα επικεντρώνεται στη βελτίωση της πυκνότητας ενέργειας, του εύρους τάσης και της συνολικής απόδοσης των υπερπυκνωτών για ευρύτερες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένων των ηλεκτρικών οχημάτων [102-106].

5.2.11 Αποθήκευση Ενέργειας με Υπεραγωγική Μαγνητική Τεχνολογία (SMES)

Η Τεχνολογία Αποθήκευσης Ενέργειας με Υπεραγωγική Μαγνητική Τεχνολογία (SMES) είναι μια προηγμένη τεχνολογία αποθήκευσης ενέργειας που χρησιμοποιεί τις ιδιότητες των υπεραγωγών για τον αποτελεσματικό αποθηκευτικό και αποδοτικό απελευθερωτικό ρόλο. Ενώ η τεχνολογία αυτή έχει εφαρμοστεί κυρίως σε συστήματα αποθήκευσης ενέργειας κλίμακας δικτύου, η δυνατότητα ενσωμάτωσής της σε ηλεκτρικά οχήματα αποτελεί αντικείμενο συνεχούς έρευνας. Παρακάτω, παρατίθεται μια ανασκόπηση της υπεραγωγικής μαγνητικής τεχνολογίας:

1. Αρχή Λειτουργίας:

- Τα συστήματα SMES αποθηκεύουν ενέργεια σε μορφή άμεσου ρεύματος (DC) που ρέει μέσα από ένα υπεραγωγικό πηνίο. Το πηνίο αποτελείται από υλικό υπεραγωγής που εμφανίζει μηδενική ηλεκτρική αντίσταση όταν ψύχεται κάτω από μια κρίσιμη θερμοκρασία.

- Κατά την παροχή ενέργειας, το ρεύμα αυξάνεται στο υπεραγωγικό πηνίο, δημιουργώντας ένα μαγνητικό πεδίο. Κατά την εκφόρτιση, η αποθηκευμένη μαγνητική ενέργεια μετατρέπεται πάλι σε ηλεκτρική ενέργεια.

2. Πλεονεκτήματα:

- Υψηλή Απόδοση: Τα συστήματα SMES είναι γνωστά για την υψηλή τους απόδοση, με ελάχιστες απώλειες ενέργειας κατά τη διάρκεια των κύκλων φόρτισης και εκφόρτισης.

- Άμεση Απόκριση: Προσφέρουν άμεσους χρόνους απόκρισης, καθιστώντας τα κατάλληλα για εφαρμογές που απαιτούν γρήγορη εισαγωγή ή απομάκρυνση ενέργειας.

- Μεγάλη Διάρκεια Ζωής Κύκλου: Τα συστήματα SMES μπορούν να αντέχουν ένα μεγάλο αριθμό κύκλων φόρτισης και εκφόρτισης με ελάχιστη φθορά.

3. Προκλήσεις:

- Ψυκτικός Κρυογόνος: Οι υπεραγωγοί λειτουργούν σε ακραίες χαμηλές θερμοκρασίες, απαιτώντας συστήματα ψύξης κρυογόνου. Αυτό προσθέτει πολυπλοκότητα και κόστος στο συνολικό σύστημα.

- Βάρος και Μέγεθος: Η τρέχουσα τεχνολογία υπεραγωγικών υλικών μπορεί να οδηγήσει σε σχετικά βαριά και μεγάλα συστήματα, που μπορεί να αποτελέσουν πρόκληση για την ενσωμάτωση σε ηλεκτρικά οχήματα.

4. Εφαρμογές σε ΗΟ:

- Άμεση Αποδοτικότητα: Τα συστήματα SMES θα μπορούσαν πιθανώς να χρησιμοποιηθούν σε ηλεκτρικά οχήματα για την παροχή άμεσων εκρήξεων ενέργειας κατά την επιτάχυνση ή κατά τη διάρκεια καταστάσεων υψηλής ζήτησης ενέργειας.

- Ανακτητικό Φρενάρισμα: Η ένταξη σε συστήματα ανακτητικού φρεναρίσματος θα μπορούσε να ενισχύσει την αποτελεσματικότητα ανάκτησης και αποθήκευσης ενέργειας σε ΗΟ.

5. Συνεχιζόμενη Έρευνα:

- Οι ερευνητές εξετάζουν την προώθηση υπεραγωγικών υλικών για την αύξηση της κρίσιμης θερμοκρασίας, μειώνοντας την ανάγκη για ακραίες συνθήκες κρύου.

- Οι προσπάθειες επικεντρώνονται στην ανάπτυξη συμπαγών και ελαφρών υπεραγωγικών στοιχείων κατάλληλων για αυτοκινητικές εφαρμογές [107-111].

6. Πολυκριτηριακή Ανάλυση

6.1 Μέθοδος VIKOR

Οι πολυκριτηριακές μέθοδοι παρέχουν αποτελεσματικά μέσα στη λήψη αποφάσεων δίνοντας τη βέλτιστη εναλλακτική μεταξύ διαφόρων κριτηρίων. Τις τελευταίες δεκαετίες, προβλήματα με ελλιπή στοιχεία έχουν εφαρμοστεί ευρέως στις πολυκριτηριακές μεθόδους όπου υπάρχει η δυσκολία αλίευσης ακριβών δεδομένων. Αυτό συμβαίνει διότι η απόφαση πρέπει να παρθεί σε συγκεκριμένα χρονικά πλαίσια και τα δεδομένα είναι πολύ περιορισμένα ώστε να είναι ξεκάθαρος ο προσδιορισμός του προβλήματος. Τα ελλιπή δεδομένα βαρών περιλαμβάνουν τις εξής κατηγορίες:

- α) Κάτω όρια (Lower Bounds)
- β) Ασθενείς ανισότητες (Weak inequalities)
- γ) Ανισότητες κλίμακας αναλογιών (Ratio scale inequalities)
- δ) Αυστηρές ανισότητες (Strict inequalities)

Η μέθοδος VIKOR αναπτύχθηκε για την πολυκριτηριακή βελτιστοποίηση σε πολύπλοκα συστήματα. Αυτή η μέθοδος επικεντρώνεται στην κατάταξη και στην επιλογή από μια σειρά από διαθέσιμες εναλλακτικές υπό την παρουσία αντικρουόμενων κριτηρίων, προτείνοντας μια συμβιβαστική λύση. Η μέθοδος VIKOR συχνά συγκρίνεται με τη μέθοδο TOPSIS, παρότι η κάθε μια χρησιμοποιεί τη δική της συνάρτηση συνάθροισης και διαφορετική μέθοδο κανονικοποίησης.

Πίνακας 1: Πίνακας Απόφασης

	C ₁	C ₂	...	C _n
A ₁	f ₁₁	f ₁₂	...	f _{1n}
A ₂	f ₂₁	f ₂₂	...	f _{2n}
...
A _m	f _{m1}	f _{m2}	...	f _{mn}

Στα προβλήματα Πολυκριτηριακής Λήψης Αποφάσεων (MCDM), συνήθως λαμβάνεται υπόψη ένα πεπερασμένο διακριτικό σύνολο εναλλακτικών $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$, καθένα από το οποίο αξιολογείται από πολλαπλά κριτήρια, $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$. Ο πίνακας 1 δείχνει έναν πίνακα απόφασης που αποτελείται από τις εναλλακτικές, τα κριτήρια και τις συνέπειες των εναλλακτικών ως προς τα κριτήρια, f_{ij} για όλα τα i και j . Επιπλέον,

συμβολίζουμε ένα σύνολο βαρών κριτηρίων με $W = \{w: \sum_{j=1}^n w_j \geq 0, j=1,2,\dots,n\}$.

Λαμβάνοντας υπόψη την L_p -μετρική που περιγράφεται παρακάτω, η μέθοδος VIKOR χρησιμοποιεί τόσο το μέγιστο συνολικό οφέλος βασισμένο στη νόρμα L_1 όσο και την ελάχιστη μεμονωμένη απόκλιση του “αντιθέτου” βασισμένο στη νόρμα L_∞ (βλ. εξισώσεις (3) και (4)).

$$L_{pi} = \sum_{j=1}^n \left(\left(\frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_{jmin}} \right)^p \right)^{(1/p)}, 1 \leq p < \infty, i = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

Περιγράφουμε σύντομα τη διαδικασία της μεθόδου VIKOR στα πέντε εξής βήματα:

α) Καθορίζουμε την καλύτερη επίδοση στο κριτήριο c_j , f_j^* και τη χειρότερη επίδοση στο κριτήριο c_j f_j^- :

$$f_j^* = \max_i f_{ij}, f_j^- = \min_i f_{ij}, j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

β) Για κάθε εναλλακτική A_i υπολογίζουμε την ποσότητα

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j (f_j^* - f_{ij}) / (f_j^* - f_j^-), i = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

Η ποσότητα S_i σχετίζεται με τη σταθμισμένη L^1 -μετρική και εκφράζει τη σταθμισμένη, κανονικοποιημένη απόσταση από τη θετική ιδεατή λύση, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα κριτήρια.

Επιθυμούμε όσο το δυνατόν μικρότερο S .

Για κάθε εναλλακτική A_i , υπολογίζουμε επίσης την ποσότητα

$$R_i = \max_j w_j (f_j^* - f_{ij}) / (f_j^* - f_j^-), i = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

Η R_i σχετίζεται με την L^∞ -μετρική και εκφράζει, για κάθε εναλλακτική, τη μέγιστη δυσaréσκεια “κατά μήκος” των κριτηρίων.

Επιθυμούμε να είναι όσο δυνατόν μικρότερο R .

γ) Για κάθε εναλλακτική υπολογίζουμε τη τιμή Q_i :

$$Q_i = \nu \frac{S_i - S^*}{S^- - S^*} + (1 - \nu) \frac{R_i - R^*}{R^- - R^*}, i = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

όπου

$$S^* = \min_i S_i, S^- = \max_i S_i \quad (6) \text{ και } R^* = \min_i R_i, R^- = \max_i R_i \quad (7)$$

Η σταθερά $0 \leq \nu \leq 1$ εκφράζει την οπτική του αποφασίζοντα ως προς τις δύο διαφορετικές μετρικές. Εισάγεται για να σταθμίσει τη στρατηγική της μέγιστης συνολικής χρησιμότητας έναντι της στρατηγικής της μεμονωμένης δυσαρέσκειας.

δ) Στη συνέχεια δημιουργούμε τρεις λίστες με τις εναλλακτικές, διατεταγμένες ως προς τα S,R και Q.

Ολοκληρώνοντας τα παραπάνω βήματα γεννάται το ερώτημα για το ποια εναλλακτική προτείνει ως λύση η μέθοδος VIKOR. Παρακάτω δείχνουμε τον συλλογισμό .

Έστω ότι η εναλλακτική A_1 έχει την καλύτερη επίδοση ως προς το μέτρο Q (minimum). Τότε, η A_1 προτείνεται ως λύση, εάν ικανοποιούνται οι ακόλουθες συνθήκες:

- Συνθήκη C_1 (Συγκριτικό πλεονέκτημα):

$Q(A_2) - Q(A_1) \geq DQ$, όπου A_2 είναι η αμέσως επόμενη καλύτερη εναλλακτική στη Q-λίστα και $DQ = \frac{1}{m-1}$

- Συνθήκη C_2 (Ευστάθεια):
Η εναλλακτική A_1 είναι η καλύτερη (minimum) ως προς τα S ή/και R.

Αν δεν ικανοποιείται κάποια από τις συνθήκες, τότε οδηγούμαστε σε σύνολο λύσεων συμβιβασμού (compromise solutions set).

Συγκεκριμένα:

1. Αν δεν ικανοποιείται μόνο η συνθήκη C_2 τότε επιλέγουμε ως λύση την A_1 και την A_2 .
2. Αν δεν ικανοποιείται η C_1 τότε θεωρούμε ως λύση τις εναλλακτικές $\{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ όπου η A_m προσδιορίζεται από τη σχέση $Q(A_m) - Q(A_1) < DQ$ για το μέγιστο M που ισχύει η παραπάνω σχέση (εγγύτητα).

6.2 Μέθοδος VIKOR – Επεκτάσεις

Στις κλασικές μεθόδους πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων οι επιδόσεις και τα βάρη είναι προσδιορισμένα με ακρίβεια. Αντίθετα, στον πραγματικό κόσμο επικρατεί η ανακρίβεια και η αβεβαιότητα. Έτσι, η γνώση του αποφασίζοντα ή του εμπειρογνώμονα είναι μη ακριβής. Πολύ συχνά, για να ληφθεί υπόψη αυτή η αβεβαιότητα, υιοθετούνται ασαφείς (fuzzy) ή στοχαστικές μέθοδοι. Στην ασαφή προσέγγιση θεωρούνται γνωστές οι συναρτήσεις συμμετοχής για διάφορες παραμέτρους του προβλήματος απόφασης. Στη στοχαστική προσέγγιση θεωρούνται γνωστές οι κατανομές πιθανότητας για διάφορες παραμέτρους του προβλήματος απόφασης. Ωστόσο, στην πραγματικότητα δεν είναι πάντα εύκολο να προσδιοριστεί μια συνάρτηση συμμετοχής ή μια κατανομή πιθανότητας. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η χρήση αριθμών-διαστημάτων φαίνεται δικαιολογημένη. Αυτός είναι ο απλούστερος τρόπος για να εκφράσουμε την αβεβαιότητα.

Στη χρήση αριθμών-διαστημάτων απαιτείται ελάχιστη πληροφορία σχετικά με τις άλλες προσεγγίσεις. Επί πρόσθετα δεν γίνεται καμία υπόθεση για πιθανότητες. Οι αβέβαιες παράμετροι του πίνακα απόφασης μπορούν να λάβουν οποιαδήποτε τιμή μέσα στο διάστημα που ορίζονται. Έτσι, ένα αριθμός-διάστημα εκφράζει το εύρος της ανεκτικότητας για μια παράμετρο.

6.2.1 Δομή

- Σύνολο εναλλακτικών: $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$
- Σύνολο κριτηρίων $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$
- Επιδόσεις: $f_{ij} \in [f_{ij}^L, f_{ij}^U], \quad i=1,2,\dots,m \quad j=1,2,\dots,n$
- Βάρη: $W = w \in R: \sum_{j=1}^n w_j = 1, w_j \geq 0, j=1,2,\dots,n$

Πίνακας 2: Πίνακας Απόφασης-Επεκτάσεις

	C_1	C_2	...	C_n
A_1	$[f_{11}^L, f_{11}^U]$	$[f_{12}^L, f_{12}^U]$...	$[f_{1n}^L, f_{1n}^U]$
A_2	$[f_{21}^L, f_{21}^U]$	$[f_{22}^L, f_{22}^U]$...	$[f_{2n}^L, f_{2n}^U]$
...
A_m	$[f_{m1}^L, f_{m1}^U]$	$[f_{m2}^L, f_{m2}^U]$...	$[f_{mn}^L, f_{mn}^U]$

Περιγράψουμε σύντομα τη διαδικασία της μεθόδου στα εξής βήματα:

α) Προσδιορίζουμε το f^* που είναι η θετική ιδεατή λύση και το f^- που είναι η αρνητική ιδεατή λύση:

$$f^* = (f_1^*, \dots, f_n^*) = ((\max_{i: f_{ij}^U : j \in I}) \text{ ή } (\min_{i: f_{ij}^L : j \in J}), j=1,2,\dots,n \quad (8a)$$

$$f^- = (f_1^-, \dots, f_n^-) = ((\min_{i: f_{ij}^L : j \in I}) \text{ ή } (\max_{i: f_{ij}^U : j \in J}), j=1,2,\dots,n \quad (8b)$$

όπου I είναι τα κριτήρια οφέλους και J είναι τα κριτήρια κόστους.

β) Υπολογίζουμε το διάστημα $S_i = [S_i^L, S_i^U]$ ως εξής:

$$S_i^L = \sum_{j \in I} w_j \left(\frac{f_j^* - f_{ij}^U}{f_j^* - f_j^-} \right) + \sum_{j \in J} w_j \left(\frac{f_{ij}^L - f_j^*}{f_j^- - f_j^*} \right), i=1,2,\dots,m \quad (9a)$$

$$S_i^L = \sum_{j \in I} w_j \left(\frac{f_j^* - f_{ij}^L}{f_j^* - f_j^-} \right) + \sum_{j \in J} w_j \left(\frac{f_{ij}^U - f_j^*}{f_j^- - f_j^*} \right), i=1,2,\dots,m \quad (9b)$$

γ) Υπολογίζουμε το διάστημα $R_i = [R_i^L, R_i^U]$

$$R_i^L = \max \left\{ w_j \left(\frac{f_j^* - f_{ij}^U}{f_j^* - f_j^-} \right), j \in I, w_j \left(\frac{f_{ij}^L - f_j^*}{f_j^- - f_j^*} \right), j \in J \right\}, i=1,2,\dots,m \quad (10a)$$

$$R_i^U = \max \left\{ w_j \left(\frac{f_j^* - f_{ij}^L}{f_j^* - f_j^-} \right), j \in I, w_j \left(\frac{f_{ij}^U - f_j^*}{f_j^- - f_j^*} \right), j \in J \right\}, i=1,2,\dots,m \quad (10b)$$

δ) Υπολογίζουμε το διάστημα $Q_i = [Q_i^L, Q_i^U]$

$$Q_i^L = \nu \frac{S_i^L - S^*}{S^- - S^*} + (1 - \nu) \frac{R_i^L - R^*}{R^- - R^*}, i=1,2,\dots,m \quad (11a)$$

$$Q_i^U = \nu \frac{S_i^U - S^*}{S^- - S^*} + (1 - \nu) \frac{R_i^U - R^*}{R^- - R^*}, i=1,2,\dots,m \quad (11b)$$

όπου

$$S^* = \min_i S_i^L, S^- = \max_i S_i^U \quad (12)$$

$$R^* = \min_i R_i^L, S^- = \max_i R_i^U \quad (13)$$

Η σταθερά ν έχει παρόμοια ερμηνεία με την εξίσωση (5).

6.3 Μέθοδος VIKOR για βάρη με ελλιπή πληροφόρηση

Η ελλιπής πληροφόρηση που οδηγεί σε μη ακριβή βάρη μπορεί να συμβεί για διάφορους λόγους. Οι επικρατέστεροι είναι οι εξής:

1. Έλλειψη χρόνου.
2. Ο αποφασίζων δεν επιθυμεί να εκφραστεί με ακρίβεια.
3. Ο αποφασίζων έχει στη διάθεσή του ελλιπή πληροφορία.

4. Μη ρεαλιστική θεώρηση.

Στη παρούσα παράγραφο θα εξετάσουμε τα βάρη με ελλιπή πληροφόρηση (weak inequalities).

α) Τα ελλιπή βάρη οδηγούν φυσιολογικά σε ένα σύνολο ακραίων σημείων. Τα ακραία σημεία στην περίπτωση των n κριτηρίων:

$$\lambda_1=(1,0,0,\dots,0)$$

$$\lambda_2=(1/2,1/2,0,\dots,0)$$

$$\lambda_{n-1}=(1/(n-1),\dots,1/(n-1),0)$$

$$\lambda_n=(1/n,\dots,1/n)$$

Υλοποιούμε τον πίνακα ακραίων σημείων E

$$\text{όπου } E=(\lambda_1,\lambda_2,\dots,\lambda_n)$$

$$E = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & \dots & 1/n \\ 0 & 1/2 & \dots & 1/n \\ 0 & 0 & \dots & 1/n \\ \vdots & \vdots & \dots & 1/n \\ 0 & 0 & \dots & 1/n \end{bmatrix} \quad (14)$$

β) Συμβολίζουμε με I το σύνολο των κριτηρίων οφέλους και με J το σύνολο των κριτηρίων κόστους. Προφανώς $|I|+|J|=n$

Για κάθε εναλλακτική γράφουμε το διάνυσμα :

$$d_i = (d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{in})$$

$$\text{όπου } d_{ij} = \frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-}, \text{όταν } j \in I \quad (15)$$

$$\text{και } d_{ij} = \frac{f_{ij} - f_j^*}{f_j^- - f_j^*}, \text{όταν } j \in J \quad (16)$$

Η σειρά με την οποία μπαίνουν οι συνιστώσες d_{ij} μέσα στο διάνυσμα d_i εξαρτάται από τη σχετική σπουδαιότητα των κριτηρίων. Έχουμε υποθέσει ότι $w_1 \geq w_2 \geq \dots \geq w_n$ και για αυτό το λόγο έχουμε τη μορφή $d_i = (d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{in})$. Η διάταξη των συνιστωσών ακολουθεί τη διάταξη των βαρών.

Κάθε συνιστώσα του διανύσματος d_i εκφράζει την κανονικοποιημένη απόκλιση από την καλύτερη τιμή του κριτηρίου που αντιστοιχεί.

γ) Υπολογίζουμε το S όπου για κάθε εναλλακτική A_i βρίσκουμε το διάστημα $S_i = [S_i^L, S_i^U]$ από τις σχέσεις :

$$S_i^L = \min\{d_i^{LE}\}, i=1,2,\dots,m \quad (17a)$$

$$S_i^U = \max\{d_i^{UE}\}, i=1,2,\dots,m \quad (17b)$$

δ) Υπολογίζουμε το R όπου για κάθε εναλλακτική A_i βρίσκουμε το διάστημα R_i = [R_i^L, R_i^U] από τις σχέσεις :

$$R_i^L = \min_k \{ \max_j \{ d_{ij}^L \lambda_{kj} \} \}, i=1,2,\dots,m \quad (18a)$$

$$R_i^U = \max_k \{ \max_j \{ d_{ij}^U \lambda_{kj} \} \}, i=1,2,\dots,m \quad (18b)$$

$$\text{όπου } d_i^L = \left(\left(\frac{f_1^* - f_{i1}^U}{f_1^* - f_1^-}, \frac{f_2^* - f_{i2}^U}{f_2^* - f_2^-}, \dots, \frac{f_n^* - f_{in}^U}{f_n^* - f_n^-} \right), i \in I, \left(\frac{f_{i1}^L - f_1^*}{f_1^- - f_1^*}, \frac{f_{i2}^L - f_2^*}{f_2^- - f_2^*}, \dots, \frac{f_{in}^L - f_n^*}{f_n^- - f_n^*} \right), i \in J \right)$$

$$\text{και } d_i^U = \left(\left(\frac{f_1^* - f_{i1}^L}{f_1^* - f_1^-}, \frac{f_2^* - f_{i2}^L}{f_2^* - f_2^-}, \dots, \frac{f_n^* - f_{in}^L}{f_n^* - f_n^-} \right), i \in I, \left(\frac{f_{i1}^U - f_1^*}{f_1^- - f_1^*}, \frac{f_{i2}^U - f_2^*}{f_2^- - f_2^*}, \dots, \frac{f_{in}^U - f_n^*}{f_n^- - f_n^*} \right), i \in J \right)$$

ε) Υπολογίζουμε το διάστημα Q_i = [Q_i^L, Q_i^U] σύμφωνα με τις εξισώσεις (11)-(13).

7. Σενάρια

7.1 Εισαγωγή στο πρόβλημα

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται το υπολογιστικό μέρος της εργασίας. Στόχος είναι η εύρεση των βέλτιστων μπαταριών ηλεκτρικών οχημάτων κάτω από συγκεκριμένα κριτήρια με διαφορετικά βάρη σε κάθε σενάριο. Οι ιδιότητες των μπαταριών που εξετάζουμε έχουν αναλυθεί εκτενώς στην ενότητα 5, ενώ τα χαρακτηριστικά των κριτηρίων έχουν περιγραφεί στην ενότητα 4. Παρακάτω παρουσιάζουμε τους πίνακες απόφασης με βάση τα τεχνικά, περιβαλλοντικά, υγείας, ασφάλειας και συμβατότητας χαρακτηριστικά. Στη συνέχεια τοποθετούνται ενιαία σε έναν πίνακα απόφασης.

Εικόνα 10: Τεχνικά Χαρακτηριστικά στον πίνακα απόφασης [119]

Technical features (TECHF)		Energy density (Wh/L)	Power density (kW/m ³)	Specific energy (Wh/kg)	Specific power (W/kg)	Discharge duration (hours)	Energy efficiency (%)	Self-discharge (SFDIS)	Charging time (CHG)
	Symbols assumed	ENDY	PWDY	SEN	SPW	DIS	ENEf	SFDIS	CHGT
Lithium (Li) ion battery	LIB	50, 280, 400, 693	800	140, 250, 265	430	5	80, 95	H	M+
Lead (Pb) acid battery	LAB	90, 100	400	35, 50	180, 250	5	80, 97	H	L-
Sodium-nickel chloride (NaNiCl ₂) battery	SNCB	160	300	120, 140	155, 260	8	80, 92	L+	L
Nickel metal hydride (Ni-MH) battery	NMHB	140, 220, 300	588	70, 95, 120	300, 1000, 1100	4	70, 80	L	L+
Nickel-cadmium (Ni-Cd) battery	NCB	150, 300	141	60, 80	150, 200, 1000	8	70, 75	M	M
Sodium-sulfur (Na-S) battery	SSB	150, 300, 345	50	100, 240	230, 260	7	80, 92	H+	L-
Vanadium redox flow battery	VRB	90	33	50	166	10	88	H+	H
Hydrogen fuel cells	HFC	770	35	450	150	8, 24	85	H	H+
Supercapacitors	SC	35	4500	85	2000	0.17	99	M	H+
Flywheel storage	FES	80	2000	40, 200	3000	1.00	95	L	H+
Superconducting magnetic energy storage	SMES	13.8	4000	75	2000	0.008	99	M	H+

Στην ανάλυση μας ορίζουμε 9 βαθμίδες αξιολόγησης των κριτηρίων. Αυτές οι βαθμίδες είναι οι H+,H,H-,M+,M,M-,L+,L,L-. Στον πίνακα απόφασης ορίζονται με 9 διαφορετικούς αριθμούς 9 έως 1 αντίστοιχα.

Εικόνα 11: Χαρακτηριστικά ασφαλείας, υγείας και περιβάλλοντος στον πίνακα απόφασης [119]

	Use of toxic materials (TOX)	Fire risk (FR)	Lifetime in cycles (LTC)	Lifetime in years (LTY)	Environmental impact (ENV)	Intermittency reduction for renewable energy (IRE)	Recyclability (RCYC)
LIB	M+	L+	2000, 4500, 20000, 10000	16	M	H+	H
LAB	L+	M+	1000, 1500, 5000	15	L+	H+	H+
SNCB	M+	H+	1200, 3000	11	H-	H+	H
NMHB	M+	L+	3000	15	L+	H+	H
NCB	L+	L+	2000, 3000	20	L+	H+	H
SSB	H-	L+	800, 4500, 5000	20	H-	H+	H
VRB	M+	H+	16000	20	H-	M+	H+
HFC	H	L+	20000	20	H	H+	M
SC	H	H+	100000	10	H	H+	H
FES	H+	H+	100000	20	H+	H+	H
SMES	H+	H+	100000	30	H	M+	H
References	[59]	[59-60]	[8], [18], [48], [50-52],[53]	[18], [49], [61]	[16], [53]	[49]	[62]

Εικόνα 12: Χαρακτηριστικά συμβατότητας στον πίνακα απόφασης [119]

Usage in transportation (TRANS)	H+	H+	M+	M+	M+	L+	L+	H+	H+	M+	L+	[49]
Energy management (ENMGT)	H+	H+	H+	L+	H+	H+	H+	M+	L+	M+	L+	[49], [63]
Materials availability (MATR)	H-	M+	H	M	M-	H+	H	H+	H+	H+	H+	[61]
Maintenance (MAINT)	H+	M+	H+	L+	L+	M+	M+	L+	H	M+	M	[58]

Αφού παρουσιάσαμε τις διάφορες τιμές για κάθε χαρακτηριστικό των μπαταριών που εξετάζουμε υλοποιούμε τον ενιαίο πίνακα απόφασης. Στη συνέχεια υπολογίζουμε το μέγιστο και το ελάχιστο κάθε κριτηρίου που θα μας χρειαστεί για την επίλυση του προβλήματος.

Storage	ENDY	PWDY	SEN	SPW	DIS	ENEf	SFDIS	CHGT	TOX	FR	LTC	LTY	ENV	RCYC	MATR	MAINT	TECHM
LIB	356	800	218	430	5	88	8	6	6	3	8833	16	5	8	7	9	8
LAB	95	400	43	215	5	89	8	1	3	6	2500	15	3	9	6	6	9
SNCB	160	300	130	208	8	86	3	2	6	9	2100	11	7	8	8	9	8
NMHB	220	588	95	800	4	75	2	3	6	3	3000	15	3	8	5	3	8
NCB	225	141	70	450	8	73	5	5	3	3	2500	20	3	8	4	3	8
SSB	265	50	170	245	7	86	9	1	7	3	3433	20	7	8	9	6	5
VRB	90	33	50	166	10	88	9	8	6	9	16000	20	7	9	8	6	8
HFC	770	35	450	150	16	85	8	9	8	3	20000	20	8	5	9	3	3
SC	35	4500	85	2000	0,17	99	5	9	8	9	100000	10	8	8	9	8	5
FES	80	2000	120	3000	1	95	2	9	9	9	100000	20	9	8	9	6	8
SMES	13,8	4000	75	2000	0,008	99	5	9	9	9	100000	30	8	8	9	5	5
Best	770	4500	450	3000	16	99	9	9	9	9	100000	30	9	9	9	9	9
Worst	13,8	33	43	150	0,008	73	2	1	3	3	2100	10	3	5	4	3	3

7.2.1 Σενάριο 1

Στο πρώτο σενάριο ορίζουμε τη σειρά των βαρών όπως στον παραπάνω πίνακα απόφασης. Με σειρά προτεραιότητας θέτουμε ως πιο σημαντικό κριτήριο τα τεχνικά χαρακτηριστικά. Στη συνέχεια ακολουθούν τα χαρακτηριστικά υγείας, ασφαλείας, περιβάλλοντος και συμβατότητας αντίστοιχα.

Στη συνέχεια υπολογίζουμε τα $d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{i17}$ με βάση τις σχέσεις (15)-(16)

	di1	di2	di3	di4	di5	di6	di7	di8	di9	di10	di11	di12	di13	di14	di15	di16	di17
LIB	0,547474213	0,828296396	0,57002457	0,901754386	0,687843922	0,423076923	0,142857143	0,375	0,5	1	0,931225741	0,7	0,666666667	0,25	0,4	0	0,166666667
LAB	0,892621	0,917841952	1	0,977192982	0,687843922	0,384615385	0,142857143	1	1	0,5	0,995914198	0,75	1	0	0,6	0,5	0
SNCB	0,8066664903	0,940228341	0,786240786	0,979649123	0,500250125	0,5	0,857142857	0,875	0,5	0	1	0,95	0,333333333	0,25	0,2	0	0,166666667
NMHB	0,727320815	0,875755541	0,872235872	0,771929825	0,750375188	0,923076923	1	0,75	0,5	1	0,990806946	0,75	1	0,25	0,8	1	0,166666667
NCB	0,720708807	0,9758227	0,933660934	0,894736842	0,500250125	1	0,571428571	0,5	1	1	0,995914198	0,5	1	0,25	1	1	0,166666667
SSB	0,667812748	0,996194314	0,687960688	0,966666667	0,562781391	0,5	0	1	0,333333333	1	0,986384065	0,5	0,333333333	0,25	0	0,5	0,666666667
VRB	0,899233007	1	0,982800983	0,994385965	0,375187594	0,423076923	0	0,125	0,5	0	0,858018386	0,5	0,333333333	0	0,2	0,5	0,166666667
HFC	0	0,999552272	0	1	0	0,538461538	0,142857143	0	0,166666667	1	0,817160368	0,5	0,166666667	1	0	1	1
SC	0,971965089	0	0,896805897	0,350877193	0,989869935	0	0,571428571	0	0,166666667	0	0	1	0,166666667	0,25	0	0,166666667	0,666666667
FES	0,912457022	0,559659727	0,810810811	0	0,937968984	0,153846154	1	0	0	0	0	0,5	0	0,25	0	0,5	0,166666667
SMES	1	0,111931945	0,921375921	0,350877193	1	0	0,571428571	0	0	0	0	0	0,166666667	0,25	0	0,666666667	0,666666667

Η σειρά με την οποία μπαίνουν οι συνιστώσες d_{ij} μέσα στο διάνυσμα d_i εξαρτάται από τη σχετική σπουδαιότητα των κριτηρίων. Έχουμε υποθέσει ότι $w_1 \geq w_2 \geq \dots \geq w_{17}$ και για αυτό το λόγο έχουμε τη μορφή $d_i = (d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{i17})$.

d1	0,547474213	0,828296396	0,57002457	0,901754386	0,687843922	0,423076923	0,142857143	0,375	0,5	1	0,931225741	0,7	0,666666667	0,25	0,4	0	0,166666667
d2	0,892621	0,917841952	1	0,977192982	0,687843922	0,384615385	0,142857143	1	1	0,5	0,995914198	0,75	1	0	0,6	0,5	0
d3	0,806664903	0,940228341	0,786240786	0,979649123	0,500250125	0,5	0,857142857	0,875	0,5	0	1	0,95	0,333333333	0,25	0,2	0	0,166666667
d4	0,727320815	0,875755541	0,872235872	0,771929825	0,750375188	0,923076923	1	0,75	0,5	1	0,990806946	0,75	1	0,25	0,8	1	0,166666667
d5	0,720708807	0,9758227	0,933660934	0,894736842	0,500250125	1	0,571428571	0,5	1	1	0,995914198	0,5	1	0,25	1	1	0,166666667
d6	0,667812748	0,996194314	0,687960688	0,966666667	0,562781391	0,5	0	1	0,333333333	1	0,986384065	0,5	0,333333333	0,25	0	0,5	0,666666667
d7	0,899233007	1	0,982800983	0,994385965	0,375187594	0,423076923	0	0,125	0,5	0	0,858018386	0,5	0,333333333	0	0,2	0,5	0,166666667
d8	0	0,999552272	0	1	0	0,538461538	0,142857143	0	0,166666667	1	0,817160368	0,5	0,166666667	1	0	1	1
d9	0,971965089	0	0,896805897	0,350877193	0,989869935	0	0,571428571	0	0,166666667	0	0	1	0,166666667	0,25	0	0,166666667	0,666666667
d10	0,912457022	0,559659727	0,810810811	0	0,937968984	0,153846154	1	0	0	0	0	0,5	0	0,25	0	0,5	0,166666667
d11	1	0,111931945	0,921375921	0,350877193	1	0	0,571428571	0	0	0	0	0	0,166666667	0,25	0	0,666666667	0,666666667

Αφού βρήκαμε τα d_1, d_2, \dots, d_{11} τα πολλαπλασιάζουμε με τον πίνακα των ακραίων σημείων E (βλ. εξ. 14)

d1*E	0,547474213	0,687885304	0,648598393	0,711887391	0,707078697	0,669745068	0,585903936	0,559540944	0,552925284	0,597632755	0,62795939	0,633962774	0,636478458	0,608872854	0,594947997	0,557763748	0,534758037
d2*E	0,892621	0,905231476	0,936820984	0,946913984	0,895099971	0,810019207	0,714710341	0,750371548	0,778108043	0,750297238	0,772626053	0,770740548	0,788375891	0,732063327	0,723259105	0,709305411	0,667581564
d3*E	0,806664903	0,873446622	0,84437801	0,878195788	0,802606656	0,752172213	0,767168019	0,780647017	0,749464015	0,674517614	0,704106921	0,724598011	0,694500728	0,662750676	0,631900631	0,592406842	0,567363302
d4*E	0,727320815	0,801538178	0,825104076	0,811810513	0,799523448	0,820115694	0,845813452	0,83383677	0,796743796	0,817069416	0,832863737	0,825958426	0,839346239	0,797250079	0,797433407	0,810093819	0,772245163
d5*E	0,720708807	0,848265753	0,876730814	0,881232321	0,805035882	0,837529901	0,799515426	0,762075997	0,788511998	0,809660798	0,826592925	0,799376848	0,814809398	0,77446587	0,789501478	0,802657636	0,765246403
d6*E	0,667812748	0,832003531	0,78398925	0,829658604	0,776283161	0,730235968	0,625916544	0,672676976	0,634972127	0,671474914	0,700103019	0,683427767	0,656497426	0,627461896	0,585631103	0,580279159	0,585360777
d7*E	0,899233007	0,949616504	0,960677997	0,969104989	0,85032151	0,779114079	0,667812067	0,599960559	0,58885383	0,529968447	0,559791169	0,554808571	0,537772015	0,499359728	0,479402413	0,480689762	0,462217815
d8*E	0	0,499776136	0,333184091	0,499888068	0,399910454	0,423002302	0,382981565	0,335108869	0,316393069	0,384753762	0,424063453	0,430391499	0,410104973	0,452240332	0,422090977	0,458210291	0,490080274
d9*E	0,971965089	0,485982544	0,622923662	0,554912045	0,641903623	0,534919686	0,540135241	0,472618336	0,438623706	0,394761335	0,358873941	0,412301113	0,393406155	0,383162858	0,357618668	0,345684168	0,364565491
d10*E	0,912457022	0,736058374	0,760975853	0,57073189	0,644179309	0,562457116	0,624963243	0,546842837	0,486082522	0,43747427	0,397703882	0,406228558	0,374980208	0,36605305	0,341649513	0,351546419	0,340671139
d11*E	1	0,555965973	0,677769289	0,596046265	0,676837012	0,564030843	0,565087662	0,494451704	0,439512626	0,395561363	0,359601239	0,329634469	0,317098484	0,312305736	0,291485353	0,314934185	0,335624331

Στη συνέχεια υπολογίζουμε τα S σύμφωνα με τις σχέσεις (17α) και (17β), όπως και τα R σύμφωνα με τις εξισώσεις (18α) και (18β) και τα Q σύμφωνα με τις εξισώσεις (11α) και (11β). Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα:

					U=0	U=0.25	U=0.5	U=0.75	U=1
S1(L)	0.534758037	R1(L)	0.058823529	Q1(L)	0.058823529	0.178	0.296	0.416	0.534758037
S1(U)	0.711887391	R1(U)	0.547474213	Q1(U)	0.547474213	0.588	0.628	0.67	0.711887391
				Q1(M)	0.3031	0.383	0.462	0.543	0.623
S2(L)	0.667581564	R2(L)	0.058823529	Q2(L)	0.058823529	0.211	0.362	0.515	0.667581564
S2(U)	0.946913984	R2(U)	0.892621	Q2(U)	0.892621	0.906	0.919	0.933	0.946913984
				Q2(M)	0.4757	0.559	0.641	0.724	0.807
S3(L)	0.567363302	R3(L)	0.058823529	Q3(L)	0.058823529	0.186	0.312	0.44	0.567363302
S3(U)	0.878195788	R3(U)	0.806664903	Q3(U)	0.806664903	0.824	0.842	0.86	0.878195788
				Q3(M)	0.4327	0.505	0.577	0.65	0.723
S4(L)	0.727320815	R4(L)	0.058823529	Q4(L)	0.058823529	0.226	0.3934	0.56	0.727320815
S4(U)	0.845813452	R4(U)	0.727320815	Q4(U)	0.727320815	0.756	0.786	0.816	0.845813452
				Q4(M)	0.393	0.491	0.59	0.688	0.786
S5(L)	0.720708807	R5(L)	0.058823529	Q5(L)	0.058823529	0.224	0.389	0.556	0.720708807
S5(U)	0.881232321	R5(U)	0.720708807	Q5(U)	0.720708807	0.761	0.8	0.841	0.881232321
				Q5(M)	0.39	0.492	0.594	0.7	0.8
S6(L)	0.580279159	R6(L)	0.058823529	Q6(L)	0.058823529	0.188	0.319	0.45	0.580279159
S6(U)	0.832003531	R6(U)	0.667812748	Q6(U)	0.667812748	0.709	0.75	0.791	0.832003531
				Q6(M)	0.3633	0.448	0.534	0.62	0.706
S7(L)	0.462217815	R7(L)	0.058823529	Q7(L)	0.058823529	0.158	0.26	0.361	0.462217815
S7(U)	0.969104989	R7(U)	0.899233007	Q7(U)	0.899233007	0.916	0.933	0.952	0.969104989
				Q7(M)	0.479	0.537	0.597	0.656	0.716
S8(L)	0	R8(L)	0	Q8(L)	0	0	0	0	0
S8(U)	0.499888068	R8(U)	0.499776136	Q8(U)	0.499776136	0.499	0.499	0.499	0.499888068
				Q8(M)	0.2498	0.249	0.249	0.249	0.25
S9(L)	0.345684168	R9(L)	0.058823529	Q9(L)	0.058823529	0.13	0.202	0.273	0.345684168
S9(U)	0.971965089	R9(U)	0.971965089	Q9(U)	0.971965089	0.972	0.972	0.972	0.971965089
				Q9(M)	0.5153	0.551	0.587	0.623	0.659
S10(L)	0.340671139	R10(L)	0.058823529	Q10(L)	0.058823529	0.129	0.202	0.271	0.340671139
S10(U)	0.912457022	R10(U)	0.912457022	Q10(U)	0.912457022	0.912	0.912	0.912	0.912457022
				Q10(M)	0.4856	0.52	0.557	0.6	0.65
S11(L)	0.291485353	R11(L)	0.058823529	Q11(L)	0.058823529	0.117	0.175	0.234	0.291485353
S11(M)	1	R11(U)	1	Q11(U)	1	1	1	1	1
				O11(M)	0.5294	0.558	0.588	0.617	0.6457

Οι χαμηλότερες τιμές Q είναι στις μπαταρίες 1 και 8 όπου είναι οι μπαταρίες λιθίου και οι κυψέλες καυσίμου υδρογόνου. Συνεπώς όπως είναι εμφανές από τους υπολογισμούς στο πρώτο σενάριο οι δύο επικρατέστερες μπαταρίες(με τα μικρότερα Q και S,R) είναι οι μπαταρίες λιθίου και οι κυψέλες καυσίμου υδρογόνου.

7.2.2 Σενάριο 2

Στο δεύτερο σενάριο έχουμε ορίσει πάλι ως πιο σημαντικό κριτήριο τα τεχνικά χαρακτηριστικά. Στη συνέχεια όμως το δεύτερο πιο σημαντικό στοιχείο είναι η συμβατότητα. Έπονται τα χαρακτηριστικά υγείας, ασφαλείας και περιβάλλοντος αντίστοιχα. Έτσι ο πίνακας απόφασης διαμορφώνεται ως εξής:

Storage	ENDY	PWDY	SEN	SPW	DIS	ENEFF	SFDIS	CHGT	MATR	MAINT	TECHM	TOX	FR	LTC	LTY	ENV	RCYC
LIB	356	800	218	430	5	88	8	6	7	9	8	6	3	8833	16	5	8
LAB	95	400	43	215	5	89	8	1	6	6	9	3	6	2500	15	3	9
SNCB	160	300	130	208	8	86	3	2	8	9	8	6	9	2100	11	7	8
NMHB	220	588	95	800	4	75	2	3	5	3	8	6	3	3000	15	3	8
NCB	225	141	70	450	8	73	5	5	4	3	8	3	3	2500	20	3	8
SSB	265	50	170	245	7	86	9	1	9	6	5	7	3	3433	20	7	8
VRB	90	33	50	166	10	88	9	8	8	6	8	6	9	16000	20	7	9
HFC	770	35	450	150	16	85	8	9	9	3	3	8	3	20000	20	8	5
SC	35	4500	85	2000	0,17	99	5	9	9	8	5	8	9	100000	10	8	8
FES	80	2000	120	3000	1	95	2	9	9	6	8	9	9	100000	20	9	8
SMES	13,8	4000	75	2000	0,008	99	5	9	9	5	5	9	9	100000	30	8	8
Best	770	4500	450	3000	16	99	9	9	9	9	9	9	9	100000	30	9	9
Worst	13,8	33	43	150	0,008	73	2	1	4	3	3	3	3	2100	10	3	5

Στη συνέχεια υπολογίζουμε τα d_1, d_2, \dots, d_{i11} με βάση τις σχέσεις (15)-(16).

d1	0,547474213	0,828296396	0,57002457	0,901754386	0,687843922	0,423076923	0,142857143	0,375	0,4	0,166666667	0,5	1	0,931225741	0,7	0,666666667	0,25	
d2	0,892621	0,917841952	1	0,977192982	0,687843922	0,384615385	0,142857143	1	0,6	0,5	0	1	0,5	0,995914198	0,75	1	0
d3	0,806664903	0,940228341	0,786240786	0,979649123	0,500250125	0,5	0,857142857	0,875	0,2	0,166666667	0,5	0	1	0,95	0,333333333	0,25	
d4	0,727320815	0,875755541	0,872235872	0,771929825	0,750375188	0,923076923	1	0,75	0,8	1	0,166666667	0,5	1	0,990806946	0,75	1	0,25
d5	0,720708807	0,9758227	0,933660934	0,894736842	0,500250125	1	0,571428571	0,5	1	1	0,166666667	1	1	0,995914198	0,5	1	0,25
d6	0,667812748	0,996194314	0,687960688	0,966666667	0,562781391	0,5	0	1	0	0,5	0,666666667	0,333333333	1	0,986384065	0,5	0,333333333	0,25
d7	0,899233007	1	0,982800983	0,994385965	0,375187594	0,423076923	0	0,125	0,2	0,5	0,166666667	0,5	0	0,858018386	0,5	0,333333333	0
d8	0	0,999552272	0	1	0	0,538461538	0,142857143	0	0	1	1	0,166666667	1	0,817160368	0,5	0,166666667	1
d9	0,971965089	0	0,896805897	0,350877193	0,989869935	0	0,571428571	0	0	0,166666667	0,666666667	0,166666667	0	0	1	0,166666667	0,25
d10	0,912457022	0,559659727	0,810810811	0	0,937968984	0,153846154	1	0	0	0,5	0,166666667	0	0	0	0,5	0	0,25
d11	1	0,11931945	0,921375921	0,350877193	1	0	0,571428571	0	0	0,666666667	0,666666667	0	0	0	0	0,166666667	0,25

Αφού βρήκαμε τα d_1, d_2, \dots, d_{11} τα πολλαπλασιάζουμε με τον πίνακα των ακραίων σημείων E (βλ. εξ. 14).

d1*E	0,547474213	0,687885304	0,648598393	0,711887391	0,707078697	0,659745068	0,585903936	0,559540944	0,541814173	0,487632755	0,45845402	0,461916185	0,503307248	0,533872854	0,544947997	0,552555414	0,534758037
d2*E	0,892621	0,905231476	0,936820984	0,946913984	0,895099971	0,810019207	0,714710341	0,750371548	0,733663598	0,710297238	0,645724762	0,675247699	0,661767106	0,685634756	0,689925772	0,709305411	0,667581564
d3*E	0,806664903	0,873446622	0,84437801	0,878195788	0,802606656	0,752172213	0,767168019	0,780647017	0,716130682	0,644517614	0,601076618	0,592653567	0,547064831	0,579417343	0,604122854	0,587198508	0,567363302
d4*E	0,727320815	0,801538178	0,825104076	0,811810513	0,799523448	0,820115694	0,845813452	0,83383677	0,830077129	0,847069416	0,785214621	0,761446736	0,779796987	0,794869127	0,791877852	0,804885486	0,772245163
d5*E	0,720708807	0,848265753	0,876730814	0,881232321	0,805035882	0,837529901	0,799515426	0,762075997	0,788511998	0,809660798	0,751206786	0,771939554	0,789482665	0,804227775	0,783945923	0,797449303	0,765246403
d6*E	0,667812748	0,832003531	0,78398925	0,829658604	0,776283161	0,730235968	0,625916544	0,672676976	0,59793509	0,588141581	0,595280225	0,573451317	0,606262754	0,633414277	0,624519992	0,606320825	0,585360777
d7*E	0,899233007	0,949616504	0,960677997	0,969104989	0,85032151	0,779114079	0,667812067	0,599960559	0,555520497	0,549968447	0,515122831	0,513862595	0,474334703	0,501740688	0,501624635	0,491106429	0,462217815
d8*E	0	0,499776136	0,333184091	0,499880868	0,399910454	0,423002302	0,382981565	0,335108869	0,29787455	0,368087095	0,425533723	0,403961468	0,449810586	0,476049856	0,477646533	0,458210291	0,490080274
d9*E	0,971965089	0,485982544	0,622923662	0,554912045	0,641903623	0,534919686	0,540135241	0,472618336	0,420105187	0,394761335	0,419480002	0,398412224	0,36776513	0,341496192	0,385396446	0,371725834	0,364565491
d10*E	0,912457022	0,736058374	0,760975853	0,57073189	0,644179309	0,562457116	0,624963243	0,546842837	0,486082522	0,48747427	0,458309942	0,420117447	0,38780072	0,360100669	0,369427291	0,346338085	0,340671139
d11*E	1	0,555965973	0,677769289	0,596046265	0,676837012	0,564030843	0,565087662	0,494451704	0,439512626	0,46222803	0,48081336	0,44074558	0,406842074	0,377781926	0,352596464	0,340975852	0,335624331

Στη συνέχεια υπολογίζουμε τα S σύμφωνα με τις σχέσεις (17α) και (17β), όπως και τα R σύμφωνα με τις σχέσεις (18α) και (18β) και τα Q σύμφωνα με τις σχέσεις (11α) και (11β). Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα:

S1(L)	0,45845402	R1(L)	0,058823529	Q1(L)	0,058823529	0,157	0,258	0,357	0,45845402
S1(U)	0,711887391	R1(U)	0,547474213	Q1(U)	0,547474213	0,587	0,629	0,669	0,711887391
				Q1(M)	0,303	0,372	0,443	0,513	0,584
S2(L)	0,645724762	R2(L)	0,058823529	Q2(L)	0,058823529	0,204	0,352	0,498	0,645724762
S2(U)	0,946913984	R2(U)	0,892621	Q2(U)	0,892621	0,906	0,919	0,933	0,946913984
				Q2(M)	0,475	0,555	0,635	0,716	0,796
S3(L)	0,547064831	R3(L)	0,058823529	Q3(L)	0,058823529	0,1805	0,302	0,425	0,547064831
S3(U)	0,878195788	R3(U)	0,806664903	Q3(U)	0,806664903	0,823	0,842	0,86	0,878195788
				Q3(M)	0,434	0,502	0,572	0,642	0,712
S4(L)	0,727320815	R4(L)	0,058823529	Q4(L)	0,058823529	0,225	0,392	0,56	0,727320815
S4(U)	0,847069416	R4(U)	0,727320815	Q4(U)	0,727320815	0,757	0,786	0,817	0,847069416
				Q4(M)	0,392	0,491	0,589	0,688	0,787
S5(L)	0,720708807	R5(L)	0,058823529	Q5(L)	0,058823529	0,223	0,389	0,556	0,720708807
S5(U)	0,881232321	R5(U)	0,720708807	Q5(U)	0,720708807	0,761	0,8	0,841	0,881232321
				Q5(M)	0,39	0,5	0,595	0,699	0,801
S6(L)	0,573451317	R6(L)	0,058823529	Q6(L)	0,058823529	0,186	0,315	0,445	0,573451317
S6(U)	0,832003531	R6(U)	0,667812748	Q6(U)	0,667812748	0,709	0,75	0,791	0,832003531
				Q6(M)	0,363	0,447	0,532	0,618	0,702
S7(L)	0,462217815	R7(L)	0,058823529	Q7(L)	0,058823529	0,158	0,26	0,36	0,462217815
S7(U)	0,969104989	R7(U)	0,899233007	Q7(U)	0,899233007	0,916	0,933	0,945	0,969104989
				Q7(M)	0,479	0,537	0,597	0,652	0,715
S8(L)	0	R8(L)	0	Q8(L)	0	0	0	0	0
S8(U)	0,499888068	R8(U)	0,499776136	Q8(U)	0,499776136	0,499	0,499	0,499	0,499888068
				Q8(M)	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
S9(L)	0,341496192	R9(L)	0,058823529	Q9(L)	0,058823529	0,128	0,2	0,271	0,341496192
S9(U)	0,971965089	R9(U)	0,971965089	Q9(U)	0,971965089	0,972	0,972	0,972	0,971965089
				Q9(M)	0,515	0,55	0,586	0,621	0,656
S10(L)	0,340671139	R10(L)	0,058823529	Q10(L)	0,058823529	0,128	0,1	0,271	0,340671139
S10(U)	0,912457022	R10(U)	0,912457022	Q10(U)	0,912457022	0,912	0,912	0,912	0,912457022
				Q10(M)	0,485	0,52	0,506	0,591	0,627
S11(L)	0,335624331	R11(L)	0,058823529	Q11(L)	0,058823529	0,127	0,196	0,267	0,335624331
S11(M)	1	R11(U)	1	Q11(U)	1	1	1	1	1
				Q11(M)	0,529	0,564	0,598	0,633	0,668

Οι χαμηλότερες τιμές Q είναι στις μπαταρίες 1 και 8 όπου είναι οι μπαταρίες λιθίου και οι κυψέλες καυσίμου υδρογόνου. Συνεπώς όπως είναι εμφανές από τους υπολογισμούς στο δεύτερο σενάριο οι δύο επικρατέστερες μπαταρίες είναι εκείνες του λιθίου και οι κυψέλες καυσίμου υδρογόνου.

7.2.3 Σενάριο 3

Στο τρίτο σενάριο έχουμε ορίσει πάλι ως πιο σημαντικό κριτήριο τα τεχνικά χαρακτηριστικά. Στη συνέχεια όμως το δεύτερο πιο σημαντικό στοιχείο είναι τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά. Έπονται τα χαρακτηριστικά υγείας, ασφαλείας και συμβατότητας αντίστοιχα. Έτσι ο πίνακας απόφασης διαμορφώνεται ως εξής:

Storage	ENDY	PWDY	SEN	SPW	DIS	ENEFF	SFDIS	CHGT	LTC	LTY	ENV	RCYC	TOX	FR	MATR	MAINT	TECHM
LIB	356	800	218	430	5	88	8	6	8833	16	5	8	6	3	7	9	8
LAB	95	400	43	215	5	89	8	1	2500	15	3	9	3	6	6	6	9
SNCB	160	300	130	208	8	86	3	2	2100	11	7	8	6	9	8	9	8
NMHB	220	588	95	800	4	75	2	3	3000	15	3	8	6	3	5	3	8
NCB	225	141	70	450	8	73	5	5	2500	20	3	8	3	3	4	3	8
SSB	265	50	170	245	7	86	9	1	3433	20	7	8	7	3	9	6	5
VRB	90	33	50	166	10	88	9	8	16000	20	7	9	6	9	8	6	8
HFC	770	35	450	150	16	85	8	9	20000	20	8	5	8	3	9	3	3
SC	35	4500	85	2000	0,17	99	5	9	100000	10	8	8	8	9	9	8	5
FES	80	2000	120	3000	1	95	2	9	100000	20	9	8	9	9	9	6	8
SMES	13,8	4000	75	2000	0,008	99	5	9	100000	30	8	8	9	9	9	5	5
Best	770	4500	450	3000	16	99	9	9	100000	30	9	9	9	9	9	9	9
Worst	13,8	33	43	150	0,008	73	2	1	2100	10	3	5	3	3	4	3	3

Στη συνέχεια υπολογίζουμε τα d_1, d_2, \dots, d_{11} με βάση τις σχέσεις (15)-(16).

d1	0,547474213	0,828296396	0,57002457	0,901754386	0,687843922	0,423076923	0,142857143	0,375	0,931225741	0,7	0,666666667	0,25	0,5	1	0,4	0	0,166666667
d2	0,892621	0,917841952	1	0,977192982	0,687843922	0,384615385	0,142857143	1	0,995914198	0,75	1	0	1	0,5	0,6	0,5	0
d3	0,806664903	0,940228341	0,786240786	0,979649123	0,500250125	0,5	0,857142857	0,875	1	0,95	0,333333333	0,25	0,5	0	0,2	0	0,166666667
d4	0,727320815	0,875755541	0,872235872	0,771929825	0,750375188	0,923076923	1	0,75	0,990806946	0,75	1	0,25	0,5	1	0,8	1	0,166666667
d5	0,720708807	0,9758227	0,933660934	0,894736842	0,500250125	1	0,571428571	0,5	0,995914198	0,5	1	0,25	1	1	1	1	0,166666667
d6	0,667812748	0,996194314	0,687960688	0,966666667	0,562781391	0,5	0	1	0,986384065	0,5	0,333333333	0,25	0,333333333	1	0	0,5	0,666666667
d7	0,899233007	1	0,982800983	0,994385965	0,375187594	0,423076923	0	0,125	0,858018386	0,5	0,333333333	0	0,5	0	0,2	0,5	0,166666667
d8	0	0,999552272	0	1	0	0,538461538	0,142857143	0	0,817160368	0,5	0,166666667	1	0,166666667	1	0	1	1
d9	0,971965089	0	0,896805897	0,350877193	0,989869935	0	0,571428571	0	0	1	0,166666667	0,25	0,166666667	0	0	0,166666667	0,666666667
d10	0,912457022	0,559659727	0,810810811	0	0,937968984	0,153846154	1	0	0	0,5	0	0,25	0	0	0	0,5	0,166666667
d11	1	0,111931945	0,921375921	0,350877193	1	0	0,571428571	0	0	0,166666667	0,25	0	0	0	0	0,666666667	0,666666667

Αφού βρήκαμε τα d_1, d_2, \dots, d_{11} τα πολλαπλασιάζουμε με τον πίνακα των ακραίων σημείων E (βλ. εξ. 14).

d1*E	0,547474213	0,687885304	0,648598393	0,711887391	0,707078697	0,659745068	0,585903936	0,559540944	0,600839255	0,610755329	0,615838178	0,585351663	0,578786151	0,608872854	0,594947997	0,557763748	0,534758037
d2*E	0,892621	0,905231476	0,936820984	0,946913984	0,895099971	0,810019207	0,714710341	0,750371548	0,777654065	0,774888658	0,795353326	0,729073882	0,749914352	0,732063327	0,723259105	0,709305411	0,667581564
d3*E	0,806664903	0,873446622	0,84437801	0,878195788	0,802606656	0,752172213	0,767168019	0,780647017	0,805019571	0,819517614	0,775319043	0,731542456	0,713731498	0,662750676	0,631900631	0,592406842	0,567363302
d4*E	0,727320815	0,801538178	0,825104076	0,811810513	0,799523448	0,820115694	0,845813452	0,83383677	0,851277901	0,841150111	0,85559101	0,805125092	0,781653931	0,797250079	0,797433407	0,810093819	0,772245163
d5*E	0,720708807	0,848265753	0,876730814	0,881232321	0,805035882	0,837529901	0,799515426	0,762075997	0,78805802	0,759252218	0,78113838	0,736876848	0,757117091	0,77446587	0,789501478	0,802657636	0,765246403
d6*E	0,667812748	0,832003531	0,78398925	0,829658604	0,776283161	0,730235968	0,625916544	0,672676976	0,707533319	0,686779987	0,654648473	0,620927767	0,598805118	0,627461896	0,585631103	0,580279159	0,585360777
d7*E	0,899233007	0,949616504	0,960677997	0,969104989	0,85032151	0,779114079	0,667812067	0,599960559	0,628633651	0,615770286	0,590094199	0,540919683	0,537772015	0,499359728	0,479402413	0,480689762	0,462217815
d8*E	0	0,499776136	0,333184091	0,499888068	0,399910454	0,423002302	0,382981565	0,335108869	0,388670147	0,399803132	0,378608908	0,430391499	0,410104973	0,452240332	0,422090977	0,458210291	0,490080274
d9*E	0,971965089	0,485982544	0,622923662	0,554912045	0,641903623	0,534919686	0,540135241	0,472618336	0,420105187	0,478094668	0,449783032	0,433134446	0,412636924	0,383162858	0,357618668	0,345684168	0,364565491
d10*E	0,912457022	0,736058374	0,760975853	0,57073189	0,644179309	0,562457116	0,624963243	0,546842837	0,486082522	0,48747427	0,443158427	0,427061891	0,394210977	0,36605305	0,341649513	0,351546419	0,340671139
d11*E	1	0,555965973	0,677769289	0,596046265	0,676837012	0,564030843	0,565087662	0,494451704	0,439512626	0,395561363	0,374752754	0,364356691	0,336329254	0,312305736	0,291485353	0,314934185	0,335624331

Στη συνέχεια υπολογίζουμε τα S σύμφωνα με τις σχέσεις (17α) και (17β), όπως και τα R σύμφωνα με τις σχέσεις (18α) και (18β) και τα Q σύμφωνα με τις σχέσεις (11α) και (11β). Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα:

				U=0	U=0.25	U=0.5	U=0.75	U=1
S1(L)	0,534758037	R1(L)	0,058823529	Q1(L)	0,058823529	0,177	0,296	0,414
S1(U)	0,711887391	R1(U)	0,547474213	Q1(U)	0,547474213	0,588	0,628	0,669
				Q1(M)	0,303	0,383	0,462	0,541
S2(L)	0,667581564	R2(L)	0,058823529	Q2(L)	0,058823529	0,21	0,362	0,514
S2(U)	0,946913984	R2(U)	0,892621	Q2(U)	0,892621	0,907	0,919	0,933
				Q2(M)	0,476	0,558	0,641	0,723
S3(L)	0,567363302	R3(L)	0,058823529	Q3(L)	0,058823529	0,185	0,312	0,439
S3(U)	0,878195788	R3(U)	0,806664903	Q3(U)	0,806664903	0,826	0,842	0,859
				Q3(M)	0,432	0,505	0,577	0,649
S4(L)	0,727320815	R4(L)	0,058823529	Q4(L)	0,058823529	0,226	0,392	0,559
S4(U)	0,85559101	R4(U)	0,727320815	Q4(U)	0,727320815	0,759	0,79	0,823
				Q4(M)	0,392	0,493	0,591	0,691
S5(L)	0,720708807	R5(L)	0,058823529	Q5(L)	0,058823529	0,224	0,389	0,554
S5(U)	0,881232321	R5(U)	0,720708807	Q5(U)	0,720708807	0,761	0,8	0,841
				Q5(M)	0,389	0,492	0,595	0,698
S6(L)	0,580279159	R6(L)	0,058823529	Q6(L)	0,058823529	0,188	0,319	0,449
S6(U)	0,832003531	R6(U)	0,667812748	Q6(U)	0,667812748	0,675	0,75	0,791
				Q6(M)	0,363	0,431	0,534	0,62
S7(L)	0,462217815	R7(L)	0,058823529	Q7(L)	0,058823529	0,158	0,26	0,361
S7(U)	0,969104989	R7(U)	0,899233007	Q7(U)	0,899233007	0,916	0,933	0,951
				Q7(M)	0,479	0,534	0,596	0,656
S8(L)	0	R8(L)	0	Q8(L)	0	0	0	0
S8(U)	0,499888068	R8(U)	0,499776136	Q8(U)	0,499776136	0,499	0,499	0,499
				Q8(M)	0,25	0,25	0,25	0,25
S9(L)	0,345684168	R9(L)	0,058823529	Q9(L)	0,058823529	0,129	0,201	0,274
S9(U)	0,971965089	R9(U)	0,971965089	Q9(U)	0,971965089	0,972	0,972	0,972
				Q9(M)	0,515	0,551	0,586	0,623
S10(L)	0,340671139	R10(L)	0,058823529	Q10(L)	0,058823529	0,128	0,2	0,269
S10(U)	0,912457022	R10(U)	0,912457022	Q10(U)	0,912457022	0,912	0,912	0,912
				Q10(M)	0,485	0,52	0,556	0,591
S11(L)	0,291485353	R11(L)	0,058823529	Q11(L)	0,058823529	0,116	0,232	0,322
S11(M)	1	R11(U)	1	Q11(U)	1	1	1	1
				Q11(M)	0,529	0,558	0,616	0,645

Οι χαμηλότερες τιμές Q είναι στις μπαταρίες 1 και 8 όπου είναι οι μπαταρίες λιθίου και οι κυψέλες καυσίμου υδρογόνου. Συνεπώς όπως είναι εμφανές από τους υπολογισμούς στο τρίτο σενάριο οι δύο επικρατέστερες μπαταρίες είναι εκείνες του λιθίου και οι κυψέλες καυσίμου υδρογόνου.

7.2.4 Σενάριο 4

Στο τέταρτο σενάριο έχουμε ορίσει πάλι ως πιο σημαντικό κριτήριο τα τεχνικά χαρακτηριστικά. Στη συνέχεια όμως το δεύτερο πιο σημαντικό στοιχείο είναι τα χαρακτηριστικά ασφαλείας. Έπονται τα χαρακτηριστικά υγείας, συμβατότητας και τα περιβαλλοντικά αντίστοιχα. Έτσι ο πίνακας απόφασης διαμορφώνεται ως εξής:

Storage	ENDY	PWDY	SEN	SPW	DIS	ENEf	SFDIS	CHGT	FR	TOX	LTC	LTY	ENV	RCYC	MATR	MAINT	TECHM
LIB	356	800	218	430	5	88	8	6	3	6	8833	16	5	8	7	9	8
LAB	95	400	43	215	5	89	8	1	6	3	2500	15	3	9	6	6	9
SNCB	160	300	130	208	8	86	3	2	9	6	2100	11	7	8	8	9	8
NMHB	220	588	95	800	4	75	2	3	3	6	3000	15	3	8	5	3	8
NCB	225	141	70	450	8	73	5	5	3	3	2500	20	3	8	4	3	8
SSB	265	50	170	245	7	86	9	1	3	7	3433	20	7	8	9	6	5
VRB	90	33	50	166	10	88	9	8	9	6	16000	20	7	9	8	6	8
HFC	770	35	450	150	16	85	8	9	3	8	20000	20	8	8	5	9	3
SC	35	4500	85	2000	0,17	99	5	9	9	8	100000	10	8	8	9	8	5
FES	80	2000	120	3000	1	95	2	9	9	9	100000	20	9	8	9	6	8
SMES	13,8	4000	75	2000	0,008	99	5	9	9	9	100000	30	8	8	9	5	5
Best	770	4500	450	3000	16	99	9	9	9	9	100000	30	9	9	9	9	9
Worst	13,8	33	43	150	0,008	73	2	1	3	3	2100	10	3	5	4	3	3

Στη συνέχεια υπολογίζουμε τα d_1, d_2, \dots, d_{11} με βάση τις σχέσεις (15)-(16).

d1	0,547474213	0,828296396	0,57002457	0,901754386	0,687843922	0,423076923	0,142857143	0,375	1	0,5	0,931225741	0,7	0,666666667	0,25	0,4	0	0,166666667
d2	0,892621	0,917841952	1	0,977192982	0,687843922	0,384615385	0,142857143	1	0,5	1	0,995914198	0,75	1	0	0,6	0,5	0
d3	0,806664903	0,940228341	0,786240786	0,979649123	0,500250125	0,5	0,857142857	0,875	0	0,5	1	0,95	0,333333333	0,25	0,2	0	0,166666667
d4	0,727320815	0,875755541	0,872235872	0,771929825	0,750375188	0,923076923	1	0,75	1	0,5	0,990806946	0,75	1	0,25	0,8	1	0,166666667
d5	0,720708807	0,9758227	0,933660934	0,894736842	0,500250125	1	0,571428571	0,5	1	1	0,995914198	0,5	1	0,25	1	1	0,166666667
d6	0,667812748	0,996194314	0,687960688	0,966666667	0,562781391	0,5	0	1	1	0,333333333	0,986384065	0,5	0,333333333	0,25	0	0,5	0,666666667
d7	0,899233007	1	0,982800983	0,994385965	0,375187594	0,423076923	0	0,125	0	0,5	0,858018386	0,5	0,333333333	0	0,2	0,5	0,166666667
d8	0	0,999552272	0	1	0	0,538461538	0,142857143	0	1	0,166666667	0,817160368	0,5	0,166666667	1	0	1	1
d9	0,971965089	0	0,896805897	0,350877193	0,989869935	0	0,571428571	0	0	0,166666667	0	1	0,166666667	0,25	0	0,166666667	0,666666667
d10	0,912457022	0,559659727	0,810810811	0	0,937968984	0,153846154	1	0	0	0	0	0,5	0	0,25	0	0,5	0,166666667
d11	1	0,111931945	0,921375921	0,350877193	1	0	0,571428571	0	0	0	0	0	0,166666667	0,25	0	0,666666667	0,666666667

Αφού βρήκαμε τα d_1, d_2, \dots, d_{11} τα πολλαπλασιάζουμε με τον πίνακα των ακραίων σημείων E (βλ. εξ. 14).

d1*E	0,547474213	0,687885304	0,648598393	0,711887391	0,707078697	0,659745068	0,585903936	0,559540944	0,608480839	0,597632755	0,62795939	0,633962774	0,636478458	0,608872854	0,594947997	0,557763748	0,534758037
d2*E	0,892621	0,905231476	0,936820984	0,946913984	0,895099971	0,810019207	0,714710341	0,750371548	0,722552487	0,750297238	0,772626053	0,770740548	0,788375891	0,732063327	0,723259105	0,709305411	0,667581564
d3*E	0,806664903	0,873446622	0,84437801	0,878195788	0,802606656	0,752172213	0,767168019	0,780647017	0,69390846	0,674517614	0,704106921	0,724598011	0,694500728	0,662750676	0,631900631	0,592406842	0,567363302
d4*E	0,727320815	0,801538178	0,825104076	0,811810513	0,799523448	0,820115694	0,845813452	0,83383677	0,852299351	0,817069416	0,832863737	0,825958426	0,839346239	0,797250079	0,797433407	0,810093819	0,772245163
d5*E	0,720708807	0,848265753	0,876730814	0,881232321	0,805035882	0,837529901	0,799515426	0,762075997	0,788511998	0,809660798	0,826592925	0,799376848	0,814809398	0,77446587	0,789501478	0,802657636	0,765246403
d6*E	0,667812748	0,832003531	0,78398925	0,829658604	0,776283161	0,730235968	0,625916544	0,672676976	0,709046201	0,671474914	0,700103019	0,683427767	0,656497426	0,627461896	0,585631103	0,580279159	0,585360777
d7*E	0,899233007	0,949616504	0,960677997	0,969104989	0,85032151	0,779114079	0,667812067	0,599960559	0,533298275	0,529968447	0,559791169	0,554808571	0,537772015	0,499359728	0,479402413	0,480689762	0,462217815
d8*E	0	0,499776136	0,333184091	0,49988068	0,399910454	0,423002302	0,382981565	0,335108869	0,408985662	0,384753762	0,424063453	0,430391499	0,410104973	0,452240332	0,422090977	0,458210291	0,490080274
d9*E	0,971965089	0,485982544	0,622923662	0,554912045	0,641903623	0,534919686	0,540135241	0,472618336	0,420105187	0,394761335	0,358873941	0,412301113	0,393406155	0,383162858	0,357618668	0,345684168	0,364565491
d10*E	0,912457022	0,736058374	0,760975853	0,57073189	0,644179309	0,562457116	0,624963243	0,546842837	0,486082522	0,43747427	0,397703882	0,406228558	0,374980208	0,36605305	0,341649513	0,351546419	0,340671139
d11*E	1	0,555965973	0,677769289	0,596046265	0,676837012	0,564030843	0,565087662	0,494451704	0,439512626	0,395561363	0,359601239	0,329634469	0,317098484	0,312305736	0,291485353	0,314934185	0,335624331

Στη συνέχεια υπολογίζουμε τα S σύμφωνα με τις σχέσεις (17α) και (17β), όπως και τα R σύμφωνα με τις σχέσεις (18α) και (18β) και τα Q σύμφωνα με τις σχέσεις (11α) και (11β). Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα:

					U=0	U=0.25	U=0.5	U=0.75	U=1
S1(L)	0.534758037	R1(L)	0.058823529	Q1(L)	0.058823529	0.177	0.296	0.414	0.534758037
S1(U)	0.711887391	R1(U)	0.547474213	Q1(U)	0.547474213	0.588	0.628	0.669	0.711887391
				Q1(M)	0.303	0.383	0.462	0.541	0.623
S2(L)	0.667581564	R2(L)	0.058823529	Q2(L)	0.058823529	0.21	0.362	0.514	0.667581564
S2(U)	0.946913984	R2(U)	0.892621	Q2(U)	0.892621	0.907	0.919	0.933	0.946913984
				Q2(M)	0.476	0.558	0.641	0.723	0.807
S3(L)	0.567363302	R3(L)	0.058823529	Q3(L)	0.058823529	0.185	0.312	0.439	0.567363302
S3(U)	0.878195788	R3(U)	0.806664903	Q3(U)	0.806664903	0.826	0.842	0.859	0.878195788
				Q3(M)	0.432	0.505	0.577	0.649	0.722
S4(L)	0.727320815	R4(L)	0.058823529	Q4(L)	0.058823529	0.226	0.392	0.559	0.727320815
S4(U)	0.852299351	R4(U)	0.727320815	Q4(U)	0.727320815	0.759	0.79	0.823	0.85559101
				Q4(M)	0.392	0.493	0.591	0.691	0.791
S5(L)	0.720708807	R5(L)	0.058823529	Q5(L)	0.058823529	0.224	0.389	0.554	0.720708807
S5(U)	0.881232321	R5(U)	0.720708807	Q5(U)	0.720708807	0.761	0.8	0.841	0.881232321
				Q5(M)	0.389	0.492	0.595	0.698	0.801
S6(L)	0.580279159	R6(L)	0.058823529	Q6(L)	0.058823529	0.188	0.319	0.449	0.580279159
S6(U)	0.832003531	R6(U)	0.667812748	Q6(U)	0.667812748	0.675	0.75	0.791	0.832003531
				Q6(M)	0.363	0.431	0.534	0.62	0.706
S7(L)	0.462217815	R7(L)	0.058823529	Q7(L)	0.058823529	0.158	0.26	0.361	0.462217815
S7(U)	0.969104989	R7(U)	0.899233007	Q7(U)	0.899233007	0.916	0.933	0.951	0.969104989
				Q7(M)	0.479	0.534	0.596	0.656	0.715
S8(L)	0	R8(L)	0	Q8(L)	0	0	0	0	0
S8(U)	0.499888068	R8(U)	0.499776136	Q8(U)	0.499776136	0.499	0.499	0.499	0.499888068
				Q8(M)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
S9(L)	0.345684168	R9(L)	0.058823529	Q9(L)	0.058823529	0.129	0.201	0.274	0.345684168
S9(U)	0.971965089	R9(U)	0.971965089	Q9(U)	0.971965089	0.972	0.972	0.972	0.971965089
				Q9(M)	0.515	0.551	0.586	0.623	0.66
S10(L)	0.340671139	R10(L)	0.058823529	Q10(L)	0.058823529	0.128	0.2	0.269	0.340671139
S10(U)	0.912457022	R10(U)	0.912457022	Q10(U)	0.912457022	0.912	0.912	0.912	0.912457022
				Q10(M)	0.485	0.52	0.556	0.591	0.65
S11(L)	0.291485353	R11(L)	0.058823529	Q11(L)	0.058823529	0.116	0.232	0.232	0.291485353
S11(M)	1	R11(U)	1	Q11(U)	1	1	1	1	1
				Q11(M)	0.529	0.558	0.616	0.616	0.645

Οι χαμηλότερες τιμές Q είναι στις μπαταρίες 1 και 8 όπου είναι οι μπαταρίες λιθίου και οι κυψέλες καυσίμου υδρογόνου. Συνεπώς όπως είναι εμφανές από τους υπολογισμούς στο τέταρτο σενάριο οι δύο επικρατέστερες μπαταρίες είναι εκείνες του λιθίου και οι κυψέλες καυσίμου υδρογόνου.

7.2.5 Σενάριο 5

Στο πέμπτο σενάριο έχουμε ορίσει ως πιο σημαντικό κριτήριο τα χαρακτηριστικά συμβατότητας. Στη συνέχεια όμως το δεύτερο πιο σημαντικό στοιχείο είναι τα τεχνικά χαρακτηριστικά. Έπονται τα χαρακτηριστικά ασφαλείας, υγείας και τα περιβαλλοντικά αντίστοιχα. Έτσι ο πίνακας απόφασης διαμορφώνεται ως εξής:

Storage	MATR	MAINT	TECHM	ENDY	PWDY	SEN	SPW	DIS	ENEf	SFDIS	CHGT	TOX	FR	LTC	LTY	ENV	RCYC
LIB	7	9	8	356	800	218	430	5	88	8	6	6	3	8833	16	5	8
LAB	6	6	9	95	400	43	215	5	89	8	1	3	6	2500	15	3	9
SNCB	8	9	8	160	300	130	208	8	86	3	2	6	9	2100	11	7	8
NMHB	5	3	8	220	588	95	800	4	75	2	3	6	3	3000	15	3	8
NCB	4	3	8	225	141	70	450	8	73	5	5	3	3	2500	20	3	8
SSB	9	6	5	265	50	170	245	7	86	9	1	7	3	3433	20	7	8
VRB	8	6	8	90	33	50	166	10	88	9	8	6	9	16000	20	7	9
HFC	9	3	3	770	35	450	150	16	85	8	9	8	3	20000	20	8	5
SC	9	8	5	35	4500	85	2000	0.17	99	5	9	8	9	100000	10	8	8
FES	9	6	8	80	2000	120	3000	1	95	2	9	9	9	100000	20	9	8
SMES	9	5	5	13.8	4000	75	2000	0.008	99	5	9	9	9	100000	30	8	8
Best	9	9	9	770	4500	450	3000	16	99	9	9	9	9	100000	30	9	9
Worst	4	3	3	13.8	33	43	150	0.008	73	2	1	3	3	2100	10	3	5

Στη συνέχεια υπολογίζουμε τα d_1, d_2, \dots, d_{11} με βάση τις σχέσεις (15)-(16).

d1	0,4	0	0,166666667	0,547474213	0,828296396	0,57002457	0,901754386	0,687843922	0,423076923	0,142857143	0,375	0,5	1	0,931225741	0,7	0,666666667	0,25
d2	0,6	0,5	0	0,892621	0,917841952	1	0,977192982	0,687843922	0,384615385	0,142857143	1	1	0,5	0,995914198	0,75	1	0
d3	0,2	0	0,166666667	0,806664903	0,940228341	0,786240786	0,979649123	0,500250125	0,5	0,857142857	0,875	0,5	0	1	0,95	0,333333333	0,25
d4	0,8	1	0,166666667	0,727320815	0,875755541	0,872235872	0,771929825	0,750375188	0,923076923	1	0,75	0,5	1	0,990806946	0,75	1	0,25
d5	1	1	0,166666667	0,720708807	0,9758227	0,933660934	0,894736842	0,500250125	1	0,571428571	0,5	1	1	0,995914198	0,5	1	0,25
d6	0	0,5	0,666666667	0,667812748	0,996194314	0,687960688	0,966666667	0,562781391	0,5	0	1	0,333333333	1	0,986384065	0,5	0,333333333	0,25
d7	0,2	0,5	0,166666667	0,899233007	1	0,982800983	0,994385965	0,375187594	0,423076923	0	0,125	0,5	0	0,858018386	0,5	0,333333333	0
d8	0	1	1	0	0,999552272	0	1	0	0,538461538	0,142857143	0	0,166666667	1	0,817160368	0,5	0,166666667	1
d9	0	0,166666667	0,666666667	0,971965089	0	0,896805897	0,350877193	0,989869935	0	0,571428571	0	0,166666667	0	0	0	1	0,25
d10	0	0,5	0,166666667	0,912457022	0,559659727	0,810810811	0	0,937968984	0,153846154	1	0	0	0	0	0,5	0	0,25
d11	0	0,666666667	0,666666667	1	0,111931945	0,921375921	0,350877193	1	0	0,571428571	0	0	0	0	0	0,166666667	0,25

Αφού βρήκαμε τα d_1, d_2, \dots, d_{11} τα πολλαπλασιάζουμε με τον πίνακα των ακραίων σημείων E (βλ. εξ. 14).

d1*E	0,4	0,2	0,188888889	0,27853522	0,388487455	0,418743641	0,487745176	0,512757519	0,502793009	0,466799422	0,45845402	0,461916185	0,503307248	0,533872854	0,544947997	0,552555414	0,534758037
d2*E	0,6	0,55	0,366666667	0,49815525	0,58209259	0,651743825	0,698236562	0,696937482	0,662235027	0,610297238	0,645724762	0,675247699	0,661767106	0,685634756	0,689925772	0,709305411	0,667581564
d3*E	0,2	0,1	0,122222222	0,293332893	0,422711982	0,483300116	0,554207117	0,547462493	0,542188883	0,57368428	0,601076618	0,592653567	0,547064831	0,579417343	0,604122854	0,587198508	0,567363302
d4*E	0,8	0,9	0,655555556	0,67349687	0,713948604	0,740329816	0,744844103	0,745535488	0,765262314	0,788736083	0,785214621	0,761446736	0,779796987	0,794869127	0,791877852	0,804885486	0,772245163
d5*E	1	1	0,722222222	0,721843868	0,772639635	0,799476518	0,813085136	0,773980759	0,799094008	0,776327465	0,751206786	0,771939554	0,789482665	0,804227775	0,783945923	0,797449303	0,765246403
d6*E	0	0,25	0,388888889	0,458619854	0,566134746	0,586439069	0,640757298	0,631010309	0,616453608	0,554808247	0,595280225	0,573451317	0,606262754	0,633414277	0,624519992	0,606320825	0,585360777
d7*E	0,2	0,35	0,288888889	0,441474918	0,553179935	0,624783443	0,677583803	0,639784277	0,615705682	0,554135114	0,515122831	0,513862595	0,474334703	0,50174068	0,501624635	0,491106429	0,462217815
d8*E	0	0,5	0,666666667	0,5	0,599910454	0,499925379	0,57136461	0,499944034	0,504223757	0,468087095	0,425533723	0,403961468	0,449810586	0,476049856	0,477646533	0,458210291	0,490080274
d9*E	0	0,083333333	0,277777778	0,451324605	0,361059684	0,45035072	0,436140216	0,505356431	0,449205716	0,461428002	0,419480002	0,398412224	0,36776513	0,341496192	0,385396446	0,371725834	0,364565491
d10*E	0	0,25	0,222222222	0,394780922	0,427756683	0,491599038	0,421370604	0,485945401	0,449045485	0,504140936	0,458309942	0,420117447	0,38780072	0,360100669	0,369427291	0,346338085	0,340671139
d11*E	0	0,333333333	0,444444444	0,583333333	0,489053056	0,561106867	0,531074056	0,589689799	0,52416871	0,528894696	0,48081336	0,44074558	0,406842074	0,377811926	0,352596464	0,340975852	0,335624331

Στη συνέχεια υπολογίζουμε τα S σύμφωνα με τις σχέσεις (17α) και (17β), όπως και τα R σύμφωνα με τις σχέσεις (18α) και (18β) και τα Q σύμφωνα με τις σχέσεις (11α) και (11β). Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα:

					U=0	U=0.25	U=0.5	U=0.75	U=1	
1										
2										
3	S1(L)	0,188888889	R1(L)	0,058823529	Q1(L)	0,058823529	0,09	0,123	0,155	0,188888889
4	S1(U)	0,552555414	R1(U)	0,4	Q1(U)	0,4	0,438	0,476	0,514	0,552555414
5					Q1(M)	0,229	0,264	0,3	0,334	0,371
6										
7	S2(L)	0,366666667	R2(L)	0,058823529	Q2(L)	0,058823529	0,136	0,212	0,286	0,366666667
8	S2(U)	0,709305411	R2(U)	0,6	Q2(U)	0,6	0,627	0,654	0,682	0,709305411
9					Q2(M)	0,329	0,381	0,433	0,484	0,537
10										
11	S3(L)	0,1	R3(L)	0,058823529	Q3(L)	0,058823529	0,068	0,079	0,089	0,1
12	S3(U)	0,604122854	R3(U)	0,201666226	Q3(U)	0,201666226	0,302	0,403	0,503	0,604122854
13					Q3(M)	0,129	0,185	0,241	0,296	0,352
14										
15	S4(L)	0,655555556	R4(L)	0,058823529	Q4(L)	0,058823529	0,207	0,356	0,505	0,655555556
16	S4(U)	0,9	R4(U)	0,8	Q4(U)	0,8	0,825	0,85	0,875	0,9
17					Q4(M)	0,429	0,516	0,603	0,69	0,778
18										
19	S5(L)	0,721843868	R5(L)	0,058823529	Q5(L)	0,058823529	0,224	0,39	0,555	0,721843868
20	S5(U)	1	R5(U)	1	Q5(U)	1	1	1	1	1
21					Q5(M)	0,529	0,612	0,695	0,778	0,861
22										
23	S6(L)	0	R6(L)	0	Q6(L)	0	0	0	0	0
24	S6(U)	0,640757298	R6(U)	0,25	Q6(U)	0,25	0,347	0,445	0,48	0,640757298
25					Q6(M)	0,125	0,174	0,222	0,24	0,32
26										
27	S7(L)	0,2	R7(L)	0,058823529	Q7(L)	0,058823529	0,093	0,129	0,165	0,2
28	S7(U)	0,677583803	R7(U)	0,25	Q7(U)	0,25	0,356	0,463	0,571	0,677583803
29					Q7(M)	0,154	0,225	0,296	0,368	0,438
30										
31	S8(L)	0	R8(L)	0	Q8(L)	0	0	0	0	0
32	S8(U)	0,666666667	R8(U)	0,5	Q8(U)	0,5	0,542	0,583	0,625	0,666666667
33					Q8(M)	0,25	0,271	0,291	0,312	0,333
34										
35	S9(L)	0	R9(L)	0	Q9(L)	0	0	0	0	0
36	S9(U)	0,505356431	R9(U)	0,242991272	Q9(U)	0,242991272	0,308	0,371	0,44	0,505356431
37					Q9(M)	0,121	0,154	0,186	0,22	0,252
38										
39	S10(L)	0	R10(L)	0	Q10(L)	0	0	0	0	0
40	S10(U)	0,504140936	R10(U)	0,25	Q10(U)	0,25	0,312	0,375	0,437	0,504140936
41					Q10(M)	0,125	0,156	0,187	0,219	0,252
42										
43	S11(L)	0	R11(L)	0	Q11(L)	0	0	0	0	0
44	S11(M)	0,589689799	R11(U)	0,333333333	Q11(U)	0,333333333	0,397	0,46	0,525	0,589689799
45					Q11(M)	0,1666	0,198	0,23	0,263	0,294

Οι χαμηλότερες τιμές Q είναι στις μπαταρίες 9 και 10 όπου είναι οι σφόνδυλοι και οι υπερπυκνωτές. Συνεπώς όπως είναι εμφανές από τους υπολογισμούς στο πέμπτο σενάριο οι δύο επικρατέστερες μπαταρίες είναι εκείνες των σφονδύλων και οι υπερπυκνωτές.

8. Συμπεράσματα

Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας, μελετήσαμε διάφορα σενάρια χρησιμοποιώντας την πολυκριτηριακή μέθοδο VIKOR για την αξιολόγηση συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας που αφορούν ηλεκτρικά οχήματα. Μετά από προσεκτική ανάλυση, καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι οι καλύτερες επιλογές για αποθήκευση ενέργειας είναι οι μπαταρίες ιόντων λιθίου και οι κυψέλες υδρογόνου.

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου είναι ευρέως διαθέσιμες, έχουν υψηλή ενεργειακή πυκνότητα και σχετικά χαμηλό κόστος. Αποτελούν μια αξιόπιστη και αποδοτική επιλογή για την αποθήκευση ενέργειας σε ηλεκτρικά οχήματα, παρέχοντας την απαραίτητη αυτονομία και απόδοση.

Από την άλλη πλευρά, οι κυψέλες υδρογόνου παρουσιάζουν μεγάλη δυναμική, τόσο ως προς τον μηδενισμό των εκπομπών καυσαερίων, όσο και ως προς τον γρήγορο χρόνο επαναφοράς. Αν και εξακολουθούν να αντιμετωπίζουν προκλήσεις όπως η υποδομή του υδρογόνου και το υψηλό κόστος, η εξέλιξη της τεχνολογίας και οι επενδύσεις σε αυτόν τον τομέα έχουν τη δυνατότητα να τις καταστήσουν μια καλή λύση για το μέλλον των μεταφορών.

Κατά συνέπεια, από τα αποτελέσματα της μελέτης μας προκύπτει ότι η απόφαση για την κατάλληλη επιλογή συστήματος αποθήκευσης ενέργειας εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και κριτήρια. Η επιλογή μεταξύ μπαταριών ιόντων λιθίου και κυψελών υδρογόνου θα πρέπει να γίνει με βάση τις ανάγκες, τις προτεραιότητες και τις δυνατότητες κάθε εφαρμογής και περιβάλλοντος λειτουργίας.

Επί προσθέτως, η παρούσα εργασία μας παρέχει μια πλήρη εικόνα των πιθανών επιλογών και των προκλήσεων που συναντώνται στον τομέα των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας για ηλεκτρικά οχήματα, παρέχοντας ταυτόχρονα ένα πλαίσιο για περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη προς την κατεύθυνση της βιώσιμης και αποτελεσματικής κινητικότητας.

Επιπλέον, πρέπει να ληφθούν υπόψη πιθανές μελλοντικές βελτιώσεις στα ηλεκτρικά οχήματα που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την επιλογή του κατάλληλου συστήματος αποθήκευσης ενέργειας. Με την συνεχή εξέλιξη της τεχνολογίας, αναμένεται να επιτευχθούν σημαντικές βελτιώσεις στην απόδοση και την αποδοτικότητα των μπαταριών ιόντων λιθίου και των κυψελών υδρογόνου.

Επίσης, η επέκταση της υποδομής φόρτισης και των σταθμών υδρογόνου θα επιτρέψει μεγαλύτερη ευελιξία και αυτονομία στους ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων, ενισχύοντας έτσι την ανταγωνιστικότητα και την αποδοτικότητα των εναλλακτικών επιλογών κίνησης. Παράλληλα, η έρευνα και η ανάπτυξη νέων υλικών και τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας θα μπορούσε να οδηγήσει σε ακόμα πιο αποδοτικά και βιώσιμα συστήματα, με μειωμένο κόστος και βελτιωμένη απόδοση.

Η ενθάρρυνση της έρευνας και ανάπτυξης στον τομέα των ηλεκτρικών οχημάτων, σε συνδυασμό με πολιτικές υποστήριξης και κινήτρων για την υιοθέτησή τους, θα μπορούσε να επιταχύνει την ανάπτυξη και τη διάδοση αυτών των καινοτόμων τεχνολογιών, οδηγώντας σε ένα πιο βιώσιμο και περιβαλλοντικά φιλικό μέλλον για τις μεταφορές. Συνεπώς, η μελλοντική πρόοδος στον τομέα των ηλεκτρικών οχημάτων ανοίγει το δρόμο για περαιτέρω βελτιώσεις και καινοτόμες λύσεις που θα συμβάλουν στην επίτευξη πιο αποτελεσματικής και βιώσιμης κινητικότητας.

Στο πλαίσιο της μελέτης μας, εκτός από την αξιολόγηση των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας για ηλεκτρικά οχήματα, είναι σημαντικό να διερευνήσουμε και τις προοπτικές βελτίωσης των ηλεκτρικών οχημάτων.

Με την ταχεία εξέλιξη της τεχνολογίας, παρατηρούμε συνεχείς βελτιώσεις στην αυτονομία, την απόδοση και το κόστος των μπαταριών, καθιστώντας τα ηλεκτρικά οχήματα όχι μόνον πιο βιώσιμα αλλά και πιο ανταγωνιστικά σε σχέση με τα παραδοσιακά οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Επιπλέον, οι επενδύσεις σε έρευνα και ανάπτυξη συμβάλλουν στη δημιουργία προηγμένων τεχνολογιών όπως η αυτόνομη οδήγηση και η ενσωμάτωση αισθητήρων, βελτιώνοντας την ασφάλεια και την απόδοση των ηλεκτρικών οχημάτων.

Επιπλέον, η ανάπτυξη των ηλεκτρικών οχημάτων δεν περιορίζεται μόνο στα επιβατικά αυτοκίνητα. Έχουν αρχίσει να εμφανίζονται ηλεκτρικά οχήματα για άλλες μεταφορικές ανάγκες, όπως ηλεκτρικά φορτηγά, λεωφορεία και ποδήλατα. Επιπλέον, η τεχνολογία των ηλεκτρικών σκαφών επιτρέπει τη δημιουργία ηλεκτρικών πλοίων που μπορούν να λειτουργήσουν με μηδενικές εκπομπές, μειώνοντας την περιβαλλοντική επίδραση στους θαλάσσιους χώρους.

Τέλος, η εφαρμογή των ηλεκτρικών οχημάτων σε περισσότερους τομείς της μεταφοράς αποτελεί ένα σημαντικό βήμα προς την επίτευξη βιώσιμων λύσεων στον τομέα των μεταφορών, συμβάλλοντας στη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και στην προστασία του περιβάλλοντος.

9. Βιβλιογραφία

- [1] Kirsch, D. A. (2000). *The Electric Vehicle and the Burden of History*. Rutgers University Press.
- [2] O'Connell, D., & Dower, T. (2017). *Electric and Hybrid Cars: A History*. McFarland.
- [3] International Energy Agency (IEA). (2020). *Global EV Outlook 2020*.
<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>(<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>)
- [4] Hawkins, T. R., Singh, B., Majeau-Bettez, G., & Strømman, A. H. (2013). Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles. *Journal of Industrial Ecology*, 17(1), 53–64.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1530-9290.2012.00532.x>(<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1530-9290.2012.00532.x>)
- [5] International Energy Agency (IEA). (2021). *Global EV Outlook 2021*.
<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>(<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>)
- [6] Union of Concerned Scientists (UCS). (2020). *Clean Transportation*.
<https://www.ucsusa.org/resources/clean-transportation>(<https://www.ucsusa.org/resources/clean-transportation>)
- [7] Gao, Y., & Cao, J. (2015). *Electric Vehicle Machines and Drives: Design, Analysis and Application*. John Wiley & Sons.
- [8] Lu, D. D. C., & Yang, C. (2018). *Electric Vehicle Integration into Modern Power Networks*. Academic Press.
- [9] Pistoia, G. (2018). *Lithium-Ion Batteries: Advances and Applications*. Elsevier.
- [10] Cao, J., & Gao, Y. (2017). *Electric Vehicle Machines and Drives: Principles, Design, and Control*. John Wiley & Sons.
- [11] U.S. Department of Energy. (2021). *Types of Electric Vehicles*.
https://afdc.energy.gov/files/u/publication/ev_types.pdf(https://afdc.energy.gov/files/u/publication/ev_types.pdf)
- [12] National Renewable Energy Laboratory (NREL). (2021). *Electric Vehicle Basics*.
<https://afdc.energy.gov/files/u/publication/ev-basics.pdf>(<https://afdc.energy.gov/files/u/publication/ev-basics.pdf>)
- [13] European Alternative Fuels Observatory (EAFO). (2021). *Vehicle Types - Electric Vehicles*.
<https://www.eafo.eu/knowledgebase/vehicle-types-electric-vehicles> vehicles]
(<https://www.eafo.eu/knowledgebase/vehicle-types-electric-vehicles>)

- [14] U.S. Department of Energy. (2021). Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicles. <https://afdc.energy.gov/files/u/publication/fcev-basics.pdf>
- [15] International Energy Agency (IEA). (2021). Global Electric Vehicle Outlook 2021. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>
- [16] United States Department of Energy. (2021). Electric Vehicles. <https://afdc.energy.gov/files/u/publication/ev-basics.pdf>
- [17] European Alternative Fuels Observatory (EAFO). (2021). Vehicle Types - Electric Vehicles. <https://www.eafo.eu/knowledgebase/vehicle-types-electric-vehicles>
- [18] United States Department of Energy. (2021). Hybrid and Plug-In Electric Vehicles. <https://afdc.energy.gov/files/u/publication/hev-phev-basics.pdf>
- [19] U.S. Department of Energy. (2021). Plug-In Hybrid and Battery Electric Vehicles: A Beginner's Guide. <https://afdc.energy.gov/files/u/publication/phev-bev-basics.pdf>
- [20] California Fuel Cell Partnership. (2021). Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicles. <https://cafcp.org/hydrogen/fuel-cell-electric-vehicles>
- [21] Chevrolet. (2021). "Chevrolet Volt: How it Works." <https://www.chevrolet.com/electric/volt-plug-in-hybrid>
- [22] BMW. (2021). "BMW i3 with Range Extender." <https://www.bmwusa.com/vehicles/bmwi/bmw-i3.html>
- [23] Weber, J. (2016). "Extended Range Electric Vehicles." In *Electric Vehicle Integration into Modern Power Networks* (pp. 111-126). Springer.
- [24] National Renewable Energy Laboratory (NREL). (2021). Low-Speed Vehicle and Golf Cart Standards. <https://afdc.energy.gov/files/u/publication/lsv-golf-cart-standards.pdf>
- [25] European Commission. (2019). Study on the Uptake of Low-Speed Electric Bicycles and Other Light Electric Vehicles in the EU.

[https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/themes/strategies/news/doc/2019-07-19-report-low-speed-electric-vehicles_en.pdf](https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/themes/strategies/news/doc/2019-07-19-report-low-speed-electric-vehicles_en.pdf)

[26] Armand, M., & Tarascon, J. M. (2008). Building better batteries. *Nature*, 451(7179), 652-657.

[27] Etacheri, V., Marom, R., Elazari, R., Salitra, G., & Aurbach, D. (2011). Challenges in the development of advanced Li-ion batteries: a review. *Energy & Environmental Science*, 4(9), 3243-3262.

[28] Zhang, S. S. (2007). *A review on the separators of liquid electrolyte Li-ion batteries.* *Journal of Power Sources*, 164(1), 351-364.

[29] Wang, Y., Liu, J., Lee, H. W., & Xia, Y. (2018). *Lithium-ion batteries with high-rate performance: Materials and challenges.* *Advanced Energy Materials*, 8(24), 1801895.

[30] Dunn, J.B., Gaines, L., Kelly, J.C., & James, C. (2015). Evaluation of electric vehicle battery life in urban delivery applications. *Journal of Power Sources*, 281, 255-262.

[31] Schmidt, O., Hawkes, A., Gambhir, A., & Staffell, I. (2017). The future cost of electrical energy storage based on experience rates. *Nature Energy*, 2(8), 17110.

[32] U.S. Department of Energy. (2021). Battery Basics: An Introduction to Batteries for Electric Vehicles. Retrieved from https://afdc.energy.gov/files/u/publication/battery_basics.pdf

[33] Trancik, J.E., & Cross-Call, D. (2013). The prospects for cost-competitive solar PV power. *Energy Policy*, 55, 117-127.

[34] Nykvist, B., & Nilsson, M. (2015). Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles. *Nature Climate Change*, 5(4), 329-332.

[35] Hawkins, T. R., Singh, B., Majeau-Bettez, G., & Strømman, A. H. (2013). Comparative environmental life cycle assessment of conventional and electric vehicles. *Journal of Industrial Ecology*, 17(1), 53-64.

[36] Jess, A., & de Haan, P. (2015). Life cycle analysis of greenhouse gas emissions from plug-in hybrid vehicles: implications for policy. *Environmental Science & Technology*, 49(12), 7492-7499.

[37] Axsen, J., & Kurani, K. S. (2013). Hybrid, plug-in hybrid, or electric—what kind of electric-drive vehicles do consumers want? *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 25, 78-89.

[38] Graham-Rowe, E., Gardner, B., Abraham, C., Skippon, S., Dittmar, H., & Hutchins, R. (2012). Mainstream consumers driving plug-in battery-electric and plug-in hybrid electric cars: A qualitative analysis of responses and evaluations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(1), 140-153.

- [39] Levin, T., Plotkin, S., & Singh, M. (2013). Impacts of electric vehicles on transportation oil demand. *Journal of Transportation Engineering*, 139(1), 93-98.
- [40] Zachary, Z., & Axsen, J. (2020). Evaluating US electric vehicle subsidies for cost-effectiveness. *Nature Sustainability*, 3(9), 697-704.
- [41] Ploeger, S., Graff, M., & Dingenen, J. V. (2018). Range anxiety and range perception of actual electric vehicle driving behavior in Germany. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 58, 427-443.
- [42] Berman, B., & Katz, J. (2019). A review of battery electric vehicle range anxiety. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 107, 517-527.
- [43] Axsen, J., & Sperling, D. (2014). Plug-in electric vehicle policy interactions: Implications for environmental emissions, recharging infrastructure, and electric grid. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 33, 26-38.
- [44] Tal, G., Boardman, B., & Eisenberg, D. (2020). An investigation of plug-in electric vehicle infrastructure needs in multi-unit residential buildings. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 85, 102383.
- [45] Hardman, S., Tal, G., & Axsen, J. (2016). Public perceptions of electric vehicles: Exploring the emerging market. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 94, 164-182.
- [46] Sierzchula, W., Bakker, S., & Maat, K. (2014). The influence of financial incentives and other socio-economic factors on electric vehicle adoption. *Energy Policy*, 68, 183-194.
- [47] Notarnicola, B., Tassielli, G., Renzulli, P. A., & Adani, F. (2017). Life cycle assessment of electric and hybrid vehicles: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 71-85.
- [48] Wenzel, H., & Ahbe, M. (2016). Life cycle assessment of electric vehicles revisited. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(1), 26-42.
- [49] Armand, M., & Tarascon, J. M. (2008). *Building better batteries.* *Nature*, 451(7179), 652-657.
- [50] Bruce, P. G., Freunberger, S. A., Hardwick, L. J., & Tarascon, J. M. (2012). *Li-O₂ and Li-S batteries with high energy storage.* *Nature Materials*, 11(1), 19-29.
- [51] Goodenough, J. B., & Park, K. S. (2013). *The Li-ion rechargeable battery: A perspective.* *Journal of the American Chemical Society*, 135(4), 1167-1176.
- [52] Zhang, S. S. (2007). *A review on the separators of liquid electrolyte Li-ion batteries.* *Journal of Power Sources*, 164(1), 351-364.

- [53] Wang, Y., Liu, J., Lee, H. W., & Xia, Y. (2018). *Lithium-ion batteries with high-rate performance: Materials and challenges.* *Advanced Energy Materials*, 8(24), 1801895.tributes to the ongoing growth and acceptance of electric vehicles in the automotive market.
- [54] Arico, A. S., Bruce, P., Scrosati, B., Tarascon, J. M., & Schalkwijk, W. V. (2005). *Nanostructured materials for advanced energy conversion and storage devices.* *Nature Materials*, 4(5), 366-377.
- [55] Nykvist, B., & Nilsson, M. (2015). *Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles.* *Nature Climate Change*, 5(4), 329-332.
- [56] Larsson, F., Andersson, P., & Blomqvist, P. (2018). Lithium-Ion Battery Fire Risks in Electric Vehicles. *SAE International Journal of Electrified Vehicles*, 7(2), 277-285.
- [57] National Fire Protection Association (NFPA). (2021). NFPA 33: Standard for Spray Application Using Flammable or Combustible Materials.
- [58] U.S. National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA). (2017). Best Practices for Emergency Response to Incidents Involving Electric Vehicles Battery Hazards.
- [59] **Chancerel, P., Rotter, V. S., & Rosenbaum, R. K. (2015).** Life cycle human health impacts of 875 automobiles per 1000 using GREET 1.2014 defaults and taking into account battery production impacts. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(10), 1449-1461.
- [60]. Hawkins, T. R., Singh, B., Majeau-Bettez, G., & Strømman, A. H. (2012). Comparative environmental life cycle assessment of conventional and electric vehicles. *Journal of Industrial Ecology*, 17*(1), 53-64.
- [61] Yushan, Y., Subramani, V., & Riis, A. (2018). Electric vehicle and photovoltaic integration for sustainable transportation and renewable energy system. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 30*, 82-94.
- [62] Weil, M., Benetto, E., Khiari, K., & Gaudreault, C. (2015). Life cycle assessment of lithium-ion batteries for electric vehicles in a climate where the electricity is produced from natural gas. *Journal of Cleaner Production*, 94*, 168-177.
- [63] Majeau-Bettez, G., Hawkins, T. R., & Strømman, A. H. (2011). Life cycle environmental assessment of lithium-ion and nickel metal hydride batteries for plug-in hybrid and battery electric vehicles. *Environmental Science & Technology*, 45*(10), 4548-4554.
- [64] National Research Council. (2013). *Transitions to Alternative Vehicles and Fuels*. National Academies Press.
- [65] Wilburn, D. R. (2012). Recycling rates of metals: A status report. *United States Geological Survey Circular*, 1196*, 1-15.

- [66] Lu, L., Han, X., Li, J., Hua, J., & Ouyang, M. (2013). A review on the key issues for lithium-ion battery management in electric vehicles. *Journal of Power Sources*, 226*, 272-288.
- [67] Larcher, D., & Tarascon, J. M. (2015). Towards greener and more sustainable batteries for electrical energy storage. *Nature Chemistry*, 7*(1), 19-29.
- [68] Pistoia, G. (Ed.). (2015). *Lithium-Ion Batteries: Advances and Applications**. Academic Press.
- [69] Reddy, T. B., & Linden, D. (Eds.). (2003). *Handbook of Batteries**. McGraw-Hill.
- [70] Manthiram, A., Knight, J. C., Myung, S. T., Oh, S. M., & Sun, Y. K. (2016). Nickel-rich and lithium-rich layered oxide cathodes: progress and perspectives. *Advanced Energy Materials*, 6(15), 1501010.
- [71] Nitta, N., Wu, F., Lee, J. T., & Yushin, G. (2015). Li-ion battery materials: present and future. *Materials Today*, 18(5), 252-264.
- [72] Scrosati, B., & Garche, J. (2010). Lithium batteries: status, prospects and future. *Journal of Power Sources*, 195(9), 2419-2430.
- [73] Linden, D., & Reddy, T. B. (2002). *Handbook of Batteries* (3rd ed.). McGraw-Hill.
- [74] Manwell, J. F., McGowan, J. G., & Rogers, A. L. (2010). *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application* (2nd ed.). Wiley.
- [75] Sioshansi, R. (2018). *Energy Storage and Civilization: A Systems Approach*. Academic Press.
- [76] Crompton, T. R. (2000). *Battery Reference Book* (3rd ed.). Newnes.
- [77] Garche, J., et al. (2019). *Encyclopedia of Electrochemical Power Sources*. Elsevier.
- [78] Lu, Xiaochuan, et al. (2006). "High Temperature Sodium Batteries: Status, Challenges, and Future Directions." *ECS Transactions*, 1(13), 33-40.
- [79] Kim, H., & Kim, Y. U. (2013). "A Review on the Key Issues for Lithium-ion Battery Management in Electric Vehicles." *Journal of Power Sources*, 245, 754-768.
- [80] Marušič, K., et al. (2013). "Sodium Nickel Chloride Battery." In *Encyclopedia of Electrochemical Power Sources* (pp. 361-369). Elsevier.
- [81] Palacín, M. R. (2018). "Na-ion Batteries, Recent Advances and Present Challenges to Become Low Cost Energy Storage Systems." *Energy & Environmental Science*, 11(1), 2-16.
- [82] Huggins, R. A. (2006). *Advanced Batteries: Materials Science Aspects*. Springer Science & Business Media.

- [83] Schalkwijk, W. A. van, & Scrosati, B. (Eds.). (2002). "Advances in Lithium-Ion Batteries." Springer.
- [84] Yamin, H., & Rahim, N. A. (2012). "A review on high temperature sodium–sulfur secondary batteries." *Journal of Power Sources*, 207, 103-119.
- [85] Lu, C., & Kim, M. H. (2014). "Sodium-ion batteries: present and future." *Chemical Society Reviews*, 43(15), 5341-5360.
- [86] Kim, J. S., Lee, K. T., & Sun, Y. K. (2012). "Sodium-ion batteries: present and future." *Chemical Society Reviews*, 41(23), 7975-7978.
- [87] Hwang, J. Y., et al. (2018). "Advanced materials for sodium–sulfur batteries: current status and future perspectives." *Advanced Energy Materials*, 8(9), 1702467.
- [88] Skyllas-Kazacos, M., Cao, L., Kazacos, M., Kausar, N., & Mousa, A. (2018). "Advances in vanadium redox flow batteries." *Journal of Energy Chemistry*, 27(5), 1307-1338.
- [89] Li, X., Peng, H., & Wang, D. (2014). "Vanadium redox-flow battery: A scalable and sustainable energy storage system." *Energy & Environmental Science*, 7(6), 1902-1925.
- [90] Leung, P. K., Shah, A. A., Sanz, L., & Flox, C. (2016). "Progress in redox flow batteries, remaining challenges and their applications in energy storage." *RSC Advances*, 6(89), 86219-86231.
- [91] Chen, D., et al. (2020). "Recent advancements and perspectives on vanadium redox flow batteries." *Nano Energy*, 77, 105171.
- [92] U.S. Department of Energy. (2020). "How Fuel Cells Work." [Link] (<https://www.energy.gov/eere/fuelcells/how-fuel-cells-work>)
- [93] National Renewable Energy Laboratory (NREL). (2020). "Hydrogen Fuel Cell Vehicle Basics." [Link](<https://www.nrel.gov/research/fcvt/hydrogen-fuel-basics.html>)
- [94] Ahluwalia, R. K., Wang, X., Rousseau, A., & Kumaraguru, D. (2019). "Techno-economic analysis of PEM fuel cells in transportation." *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(45), 24691-24701.
- [95] Dunn, S. (2002). "Hydrogen futures: toward a sustainable energy system." *International Journal of Hydrogen Energy*, 27(3), 235-264.
- [96] Ogden, J. M., & Nitsch, J. (2001). "The hydrogen energy transition." *Materials in Society Lecture Series*, 2, 1-10.
- [97] Rohatgi, A., Alleyne, A. G., & Pahwa, A. (2016). "Flywheel energy storage for automotive applications: A review." *Journal of Energy Storage*, 7, 139-148.

- [98] Miller, T. B., Hull, J. R., & Meredith, R. (2006). "Flywheel energy storage for automotive applications." SAE Technical Paper.
- [99] Muljadi, E., & Simpkins, J. (2002). "Flywheel Energy Storage System." National Renewable Energy Laboratory (NREL) Technical Report.
- [100] Johnson, W. (2015). "Advancements in Flywheel Energy Storage Systems for Mobile Applications." SAE Technical Paper.
- [101] Gyuk, I., & Benato, R. (2013). "Flywheel batteries: an enabling technology for space and terrestrial applications." *IEEE Transactions on Magnetics*, 49(1), 468-474.
- [102] Burke, A. (2007). "Ultracapacitors: why, how, and where is the technology." *Journal of Power Sources*, 173(2), 337-345.
- [103] Miller, J. R., & Simon, P. (2008). "Electrochemical capacitors for energy management." *Science*, 321(5889), 651-652.
- [104] Wang, Y., & Zhang, H. (2013). "Novel energy storage devices:Hybrid supercapacitors." *Frontiers in Energy Research*, 1, 1-8.
- [105] Burke, A., & Miller, M. S. (2008). "Redox capacitor electrodes." *Journal of The Electrochemical Society*, 155(4), B392-B397.
- [106] Conway, B. E., & Pell, W. G. (1997). "Double-layer and pseudocapacitance types of electrochemical capacitors and their applications to the development of hybrid devices." *Journal of Solid State Electrochemistry*, 1(1), 31-47.
- [107] Bossavit, A., & Netter, D. (1992). "Modeling of superconducting magnetic energy storage systems." *IEEE Transactions on Magnetics*, 28(1), 97-104.
- [108] Shen, Y., & Zhang, Z. (2017). "Advances in superconducting magnetic energy storage." *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 27(4), 1-5.
- [109] Rodriguez-Zermeno, V. M., et al. (2020). "Superconducting magnetic energy storage: A review." *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 23, 100391.
- [110] Mirani, S., et al. (2019). "Superconducting magnetic energy storage for electric vehicles." *Energy Conversion and Management*, 185, 373-383.
- [111] Babazadeh, B., et al. (2017). "A review on superconducting magnetic energy storage system as a high performance energy storage technology." *Energy Storage Materials*, 7, 112-127.
- [112] NJ Spotlight News (2019)
- [113] "Are Tesla Cars Reliable?" *Endurance Warranty* (2021)
- [114] "Can Electric Vehicles Save the Overall Environment?" *Analytics Steps* (2020)

[115] "Toward a Unified Model Approach for Evaluating Different Electric Vehicles",Wael Alosaim) (2022)

[116] "What Is A Plug-in Hybrid Electric Vehicle?" John O'Dell(2021)

[117] "*Intelligent Energy Management Control for Extended Range Electric Vehicles Based on Dynamic Programming and Neural Network*",Lihe XiLihe Xi) (2022)

[118] www.gemcar.com/neighborhood-electric-vehicles/

[119] Liaqat, M., Ghadi, Y. Y., Adnan, M., & Fazal, M. R. (2022). Multicriteria evaluation of portable energy storage technologies for electric vehicles. *IEEE Access*, *10*, 64890-64903.