



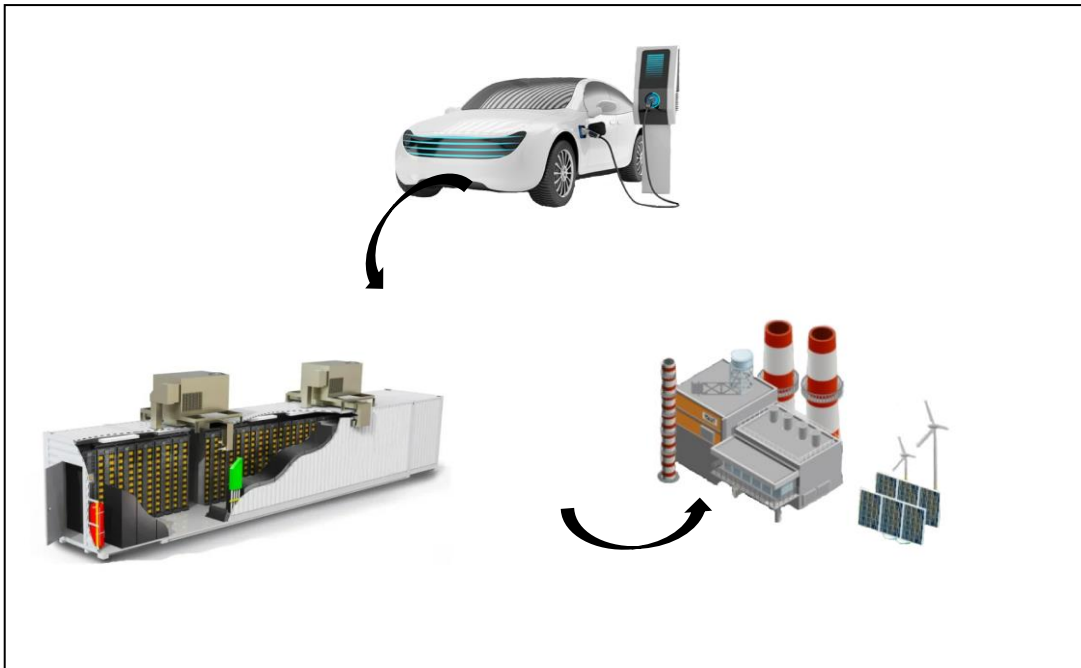
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ & ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

ΕΡΕΥΝΑ ΧΡΗΣΗΣ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΩΝ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ ΓΙΑ ΧΡΗΣΗ ΣΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ



Φοιτητής: Μπάμπα Γεωργία

ΑΜ: 262017009

Επιβλέπων Καθηγητής

Γεώργιος Βόκας

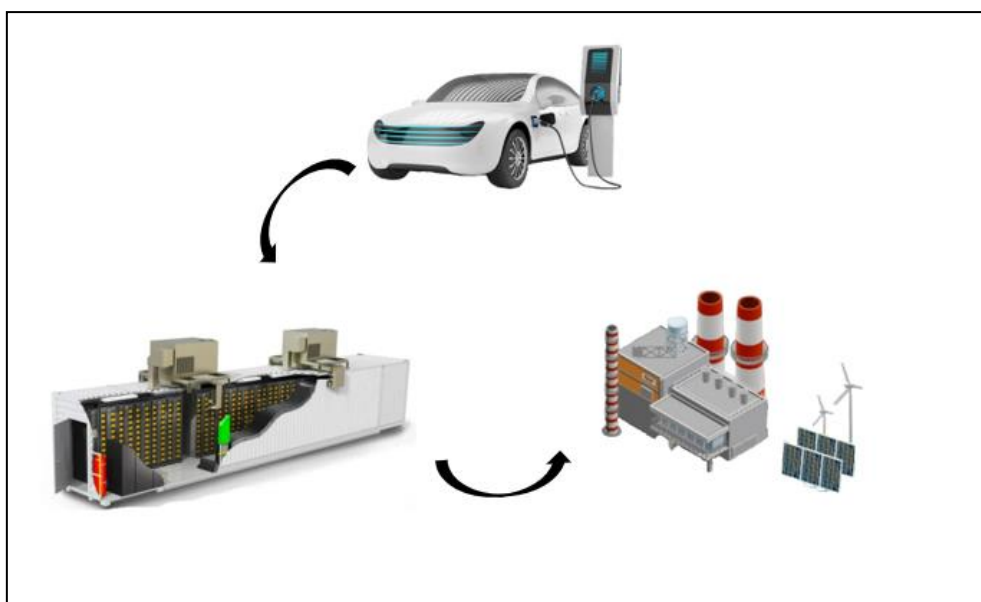
ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2024



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL & ELECTRONICS ENGINEERING

Diploma Thesis

SECOND LIFE EV BATTERIES AND UTILIZATION ON ESS FOR GRID SUPPORT AND STABILIZATION



Student: Georgia Baiba
Registration Number: 262017009

Supervisor

Georgios Vokas

ATHENS-EGALEO, FEBRUARY 2024

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

Γεώργιος Βόκας	Κωνσταντίνος Ψωμόπουλος	Κωνσταντίνος Καλκάνης
(Υπογραφή)	(Υπογραφή)	(Υπογραφή)

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και Γεωργία Μπάιμπα,
Φεβρουάριος, 2024**

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 τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Γεωργία Μπάιμπα του Δημητρίου, με αριθμό μητρώου 262017009 φοιτητής/τρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ,

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου.

Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι και έπειτα από αίτησή μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντος καθηγητή.»

Η Δηλούσα
Γεωργία Μπάιμπα

(Υπογραφή φοιτήτριας)

Την εργασία αυτή την αφιερώνω στην οικογένειά μου και στην πολυαγαπημένη μου γιαγιά.

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω το καθηγητή μου κ. Βόκα Γεώργιο για τη καθοδήγησή του και την υπομονή καθόλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας μου.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Κοντογιάννη Κωνσταντίνο για την άμεση βοήθειά του.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου για την αγάπη, την κατανόηση και υποστήριξή τους.

Περίληψη

Η αναγκαία εισχώρηση των ηλεκτροκίνητων στην παγκόσμια αυτοκινητοβιομηχανία, λόγω της έντονης κλιματικής αλλαγής, σε συνδυασμό με την ελλιπή έρευνα στα τεχνικά μέρη του, προκαλεί νέα άλυτα ζητήματα τα οποία τα διεθνή ερευνητικά ινστιτούτα, αναζητούν την επίλυσή τους. Ένα κύριο τμήμα του ηλεκτροκίνητου είναι η μπαταρία λιθίου, η οποία με την ολοκλήρωση του κύκλου ζωής της επιφέρει περιβαλλοντική και οικονομική επιβάρυνση. Καθώς, στην Ευρωπαϊκή Ένωση αναμένεται υψηλή ανάδειξη της ηλεκτροκίνητης βιομηχανίας έως το 2030, είναι άμεση η ανάγκη εύρεσης σωστού τρόπου διαχείρισης των συσσωρευτών.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία γίνεται ανάλυση του επίκαιρου αυτού θέματος, με προτεινόμενη λύση την επαναχρησιμοποίηση των συσσωρευτών σε εφαρμογές δικτύου. Το πρώτο κεφάλαιο, αναφέρεται στο ερευνητικό πρόβλημα καθώς και στα οφέλη της επαναχρησιμοποίησης. Το δεύτερο, εστιάζει στην ηλεκτρική ενέργεια καθώς και στους διάφορους τρόπους παραγωγής – συμβατική και διεσπαρμένη-, αναλύοντας τους διάφορους κανονισμούς και προβλήματα στα σύγχρονα δίκτυα. Το τρίτο κεφάλαιο, αναφέρεται στην αποθήκευση ενέργειας, ορίζοντας τις υπάρχουσες τεχνολογίες αποθήκευσης, τα πλεονεκτήματα αυτών, και τα νομοθετικά πλαίσια. Το επόμενο κεφάλαιο, εστιάζει σε μια συγκεκριμένη μορφή αποθήκευσης, τους συσσωρευτές, αναφέροντας τις διαφορές κατηγορίες, τις ιδιότητές τους καθώς και τη συνεισφορά αυτών σε διάφορες εφαρμογές του δικτύου. Το κεφάλαιο πέμπτο αναλύει τα τεχνικά μέρη του συστήματος αποθήκευσης το τρόπο σύνδεσης στο δίκτυο μέσης και υψηλής τάσης καθώς και πλήθος εφαρμογών που έχουν πραγματοποιηθεί. Το έκτο κεφάλαιο ερευνά το τρόπο επαναχρησιμοποίησης μπαταριών, τα οφέλη που αποκομίζονται με την διαδικασία αυτή και εφαρμογές που έχουν ολοκληρωθεί. Μέσω της βιβλιογραφικής ανασκόπησης καταγράφονται τα διάφορα αποτελέσματα της έρευνας αυτής τα οποία αναλύονται στο τελευταίο κεφάλαιο.

Λέξεις – κλειδιά

Ηλεκτροκίνητο, επαναχρησιμοποίηση μπαταριών, μπαταρίες δεύτερης γενιάς, εφαρμογές δικτύου.

Abstract

The necessary entry of electric vehicles into the global automotive industry, due to the intense climate change, combined with the incomplete research in its technical parts, causes new unsolved issues which the international research institutes are looking for their solution. A major part of the electric vehicle is the lithium battery, which at the end of its life cycle brings an environmental and financial burden. As, in the European Union, a high prominence of the electrified industry is expected until 2030, there is an immediate need to find a proper way to manage batteries. In this thesis, this topical issue is analyzed, with the proposed solution being the reuse of accumulators in network applications. This first chapter refers to the research problem as well as the benefits of reuse. The second one focuses on electricity as well as the various ways of production - conventional and distributed -, analyzing the various regulations and problems in modern networks. The third chapter refers to energy storage, defining the existing storage technologies, their advantages, and the legislative frameworks. The next chapter focuses on a specific form of storage, accumulators, mentioning their different categories, properties, and their contribution to various network applications. Chapter five analyzes the technical parts of the storage system, the way of connecting to medium and high voltage networks, as well as numerous applications that have been implemented. Chapter six investigates the reuse of batteries, the benefits derived from this process, and completed applications. Through the literature review, various results of this research are recorded, which are analyzed in the final chapter.

Keywords

Electrical vehicle, battery reuses, battery second life, network application.

Περιεχόμενα

Κατάλογος Πινάκων	12
Κατάλογος Εικόνων – Διαγραμμάτων	12
Εισαγωγή	18
Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας	18
Σκοπός και στόχοι.....	18
Μεθοδολογία	18
Καινοτομία.....	18
Δομή	18
1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : Κλιματική αλλαγή και υιοθέτηση των ηλεκτροκίνητων στην αυτοκινητοβιομηχανία.....	20
1.1 Μειονεκτήματα Ηλεκτροκίνητων	22
1.2 Σημαντικότητα επαναχρησιμοποίησης συσσωρευτών.....	24
1.3 Ορολογίες	26
1.4 Συμπεράσματα.....	27
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας και Κανονισμοί....	28
2.1 Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	28
2.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	29
2.3 Μικροδίκτυα	33
2.4 Έξυπνα Δίκτυα (Smart Grids).....	35
2.5 Χαρακτηριστικά Ηλεκτρικού Δικτύου Συμβατικής και Κατανεμημένης Παραγωγής	38
2.6 Πρότυπο EN50160	39
2.7 Προβλήματα δικτύου συμβατικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	39
2.8 Προβλήματα δικτύου κατανεμημένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	49
3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : Αποθήκευση Ενέργειας	50
3.1 Τεχνολογίες Αποθήκευσης.....	50
3.2 Πλεονεκτήματα συστημάτων αποθήκευσης στο δίκτυο.....	56
3.3 Σύγκριση κατηγοριών αποθήκευσης ενέργειας.....	57
3.4 Η αποθήκευση ενέργειας στην Ελλάδα	61
3.5 Πολιτικές και ρυθμιστικό πλαίσιο	62
4 Κεφάλαιο 4: Μπαταρίες.....	63
4.1 Χαρακτηριστικά μπαταριών	63
4.2 Κατηγορίες Μπαταριών.....	65
4.3 Σύγκριση μπαταριών	70
5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Συστήματα Αποθήκευσης μπαταριών.....	71
5.1 Τεχνικά μέρη συστήματος αποθήκευσης μπαταριών	72
5.2 Μπαταρίες Λιθίου	73
5.2.1 Γήρανση μπαταρίας	74
5.2.2 Σύνδεση Μπαταριών	75
5.3 Ηλεκτρονικά ισχύος.....	75
5.4 Μετασχηματιστής ανύψωσης.....	79
5.5 Βοηθητικά Συστήματα	79
5.5.1 Σύστημα διαχείρισης μπαταριών.....	80
5.5.2 Σύστημα διαχείρισης θερμοκρασίας	81
5.5.3 Σύστημα διαχείρισης ενέργειας.....	82

5.5.4	Σύστημα SCADA	82
5.5.5	Σύστημα Πυροπροστασίας.....	85
5.6	Τρόποι σύνδεσης στο δίκτυο.....	86
5.6.1	Υποσταθμοί ενέργειας και σύνδεση στο δίκτυο	87
5.6.2	Σύστημα αποθήκευσης ενέργειας	89
5.6.3	Διάγραμμα ροής	90
5.6.4	Σύνδεση στη Μέση Τάση	91
5.6.5	Σύνδεση στην Υψηλή Τάση	93
5.7	Δυνατότητες συστημάτων μπαταριών	98
5.8	Οφέλη σύνδεσης μπαταριών σε δίκτυο	98
5.9	Εφαρμογές μπαταριών σε Ευρώπη και Ελλάδα.....	100
5.9.1	Total, Γαλλία	100
5.9.2	RWE NORDRHEIN -WESTFALEN ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΟ	100
5.9.3	Siemens, Wunsiedel	102
5.9.4	Eneco, Jardelund	103
5.9.5	Acciona, Ισπανία	104
5.9.6	Fortum, Φιλανδία	105
5.9.7	Pivot Power, Ηνωμένο Βασίλειο	106
5.9.8	Tehachapi, Edison	107
5.9.9	Αυστραλία, Hornsdale.....	108
5.9.10	Βικτώρια, Neoen	109
5.9.11	Queensland, Vena Energy	109
5.9.12	Πτολεμαΐδα - Αρκαδία	110
6	Κεφάλαιο 6: Μπαταρίες δεύτερης γενιάς.....	112
6.1	Απόσυρση μπαταριών από τα ηλεκτροκίνητα	112
6.2	Μοντελοποίηση διάρκειας ζωής	112
6.3	Στάδιο ανακατασκευής.....	114
6.3.1	Αφαίρεση συσσωρευτή από το όχημα.....	115
6.3.2	Αξιολόγηση του συσσωρευτή	115
6.4	Οικονομική βιωσιμότητα	118
6.5	Περιβαλλοντικά οφέλη.....	118
6.6	Εφαρμογές με επαναχρησιμοποιούμενες μπαταρίες	119
6.6.1	ΕΦΑΡΜΟΓΗ NO1: BATTERY 2 ND LIFE GERMANY (BMW , BOSCH ENERGY STORAGE SOLUTIONS, VATTENFALL).....	121
6.6.2	ΕΦΑΡΜΟΓΗ NO2: GUW+ GERMANY (ALSTOM, ELPRO, M&P, TU DRESDEN , FRAUNHOFER IVI , USTRA)	122
6.6.3	ΕΦΑΡΜΟΓΗ NO3: ΣΤΑΘΜΟΣ ΓΡΗΓΟΡΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ , WOLFSBURG GERMANIA (VOLKSWAGEN).....	124
6.6.4	ΕΦΑΡΜΟΓΗ NO4: EUREF CAMPUS, ΒΕΡΟΛΙΝΑ GERMANIA (Audi The Mobility House EUREF Campus) Multi-use storage optimises energy supply (mobilityhouse.com)).....	126
6.6.5	ΕΦΑΡΜΟΓΗ NO5: Amsterdam Arena (Nissan , Eaton, Mobility House, BAM)	127
6.6.6	ΕΦΑΡΜΟΓΗ No6: Anubis, Ολλανδία (RWE και VDL BUS& Coach).....	128
6.6.7	ΕΦΑΡΜΟΓΗ NO7: LUNEN στη Γερμανία (Daimler, Remondis, Getec, και Mercedes Benz)	129
6.6.8	ΕΦΑΡΜΟΓΗ NO8: Σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με αντλία αποθήκευσης, Hengsteysee (RDWE και AUDI).....	131
6.6.9	ΕΦΑΡΜΟΓΗ NO 9: Έξυπνο σύστημα αποθήκευσης , Γερμανία (Renault, Mobility)	132
6.6.10	ΕΦΑΡΜΟΓΗ NO10: Everlingsen , Γερμανία (GETEC Energie Mercedes Benz Energy)	133

6.6.11	ΕΦΑΡΜΟΓΗ NO11: Ενεργειακό σύστημα, Γερμανία (JUNGHEINRICH ΚΑΙ TRIATHLON).....	134
6.6.12	ΕΦΑΡΜΟΓΗ NO12: SMART HUBS (Renault, Connected Energy, Moixa, Passive, Systems, Icax, Newcastle University, West Sussex County Council και Innovate UK).....	135
6.6.13	ΕΦΑΡΜΟΓΗ NO13: The Mobility House, Γαλλία (Renault , Mobility House και Nidec)	136
6.6.14	ΕΦΑΡΜΟΓΗ NO14: EMILAS από τους Fraunhofer ISE, DSG Energiekonzepte ,Deer , Beck Automation και VDE Renewables στη Γερμανία	137
6.6.15	ΕΦΑΡΜΟΓΗ NO15: FLUXLLICON , Γερμανία (RWTH Aachen, PEM Motion ConAC και DECRA)	138
6.6.16	ΕΦΑΡΜΟΓΗ NO16: EnBW- Heizkraftwerk, Γερμανία (Audi EnBW)	139
6.6.17	ΕΦΑΡΜΟΓΗ NO17: Σύστημα αποθήκευσης με μπαταρίες δεύτερης ζωής, Αυστρία (AVL List, AVL DiTest, Energie Steiermark, Saubermacher και Smart Power)	140
6.6.18	ΕΦΑΡΜΟΓΗ NO18: Smart Fossil Free Island στη Πορτογαλία (Renault, Empresa Electricidade da Madeira, The Mobility House και ABB)	141
6.6.19	ΕΦΑΡΜΟΓΗ NO19: Pioneer , Ιταλία (Aeroporto di Roma Enel X Fraunhofer ISE) ..	141
6.6.20	ΕΦΑΡΜΟΓΗ NO20: Thermal Power Station, Ισπανία (ENEL Group (Endesa), Nissan και Loccioni)	142
7	Συμπεράσματα	143
8	Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές.....	144

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1 Ενδεικτικό Κόστος απόκτησης ηλεκτρικού οχήματος

Πίνακας 2.1: Εξέλιξη μεριδίων ΑΠΕ ανά στόχο και τομέα μέχρι το 2030 (Πηγή: Εφημερίδα της Κυβερνήσεως)

Πίνακας 2.2: Εξέλιξη της προόδου μεριδίων ΑΠΕ ανά στόχο και τομέα μέχρι το 2030 (Πηγή: Εφημερίδα της Κυβερνήσεως)

Πίνακας 2.3 : Εξέλιξη εγκατεστημένης ισχύος μονάδων ΑΠΕ για ηλεκτροπαραγωγή (Πηγή: Εφημερίδα της Κυβερνήσεως)

Πίνακας 2.4 : Εξέλιξη ηλεκτροπαραγωγής από μονάδες ΑΠΕ (Πηγή: Εφημερίδα της Κυβερνήσεως)

Πίνακας 4.1:Σύγκριση μπαταριών (Πηγή: Handbook on Battery Energy Storage System (adb.org))

Κατάλογος Εικόνων – Διαγραμμάτων

Εικόνα 1.1: Πηγές εκπομπών αερίων (Πηγή: Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος 2022)

Εικόνα 1.2 : Κατανομή εκπομπών θερμοκηπίου στις μεταφορές (Πηγή: Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, 2022)

Εικόνα 1.3: Εκτίμηση κόστους ενός συστήματος αποθήκευσης σε EV μεσαίου μεγέθους

Εικόνα 2.1: Εγκατάσεις ΑΠΕ σε Ελλάδα (Πηγή: Γεωπληροφοριακός Χάρτης ,ΡΑΕ)

Εικόνα 2.2: Απεικόνιση διαταραχής συχνότητας σε δίκτυο

Εικόνα 2.3: Τυπική μορφή κρουστικής υπέρτασης

Εικόνα 2.4: Τυπική μορφή υπέρτασης με αποσβεννύμενη ταλάντωση

Εικόνα 2.5: Γραφική αναπαράσταση παροδικής υπέρτασης

Εικόνα 2.6: Παρουσία Συνεχούς Τάσης DC Offset (Πηγή: Μαρία – Ευσταθία Τσιούρβα, Αρμονικές και Ποιότητας Ισχύος)

Εικόνα 2.7: Θεμελιώδη Συχνότητα και Τρίτη Αρμονική (Πηγή: Μαρία – Ευσταθία Τσιούρβα, Αρμονικές και Ποιότητας Ισχύος)

Εικόνα 2.8: Ενδιάμεσες Αρμονικές (Πηγή: Μαρία – Ευσταθία Τσιούρβα, Αρμονικές και Ποιότητας Ισχύος)

Εικόνα 2.9: Notching(Πηγή: Μαρία – Ευσταθία Τσιούρβα, Αρμονικές και Ποιότητας Ισχύος)

Εικόνα 2.10 : Θόρυβος (Πηγή: Μαρία – Ευσταθία Τσιούρβα, Αρμονικές και Ποιότητας Ισχύος)

Εικόνα 2.11 : Ασυμμετρία Τάσης (Πηγή: Μαρία – Ευσταθία Τσιούρβα, Αρμονικές και Ποιότητας Ισχύος)

Εικόνα 2.12 : Μέτρηση βύθισης τάσης (α) Κυματομορφές Τάσης, (b) Η ενεργός τιμή της τάσης για κάθε φάση (Πηγή: Μαρία – Ευσταθία Τσιούρβα, Αρμονικές και Ποιότητας Ισχύος)

Εικόνα 3.1: Μορφές αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας (Πηγή: Διπλωματική Εργασία: Αποθήκευση Ηλεκτρικής Ενέργειας: Τεχνολογίες και ρυθμιστικό πλαίσιο, Οδυσσέας Χαλατσάκος)

Εικόνα 3.2: Διάταξη αντλησιοταμίευσης (Πηγή: Διπλωματική Εργασία, Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, Ιωάννου Παναγιώτη)

Εικόνα 3.3: Αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση πεπιεσμένου αέρα (Πηγή: Διπλωματική Εργασία: Αποθήκευση Ηλεκτρικής Ενέργειας: Τεχνολογίες και ρυθμιστικό πλαίσιο, Οδυσσέας Χαλατσάκος)

Εικόνα 3.4: Αποθήκευσης ενέργειας σε σφόνδυλους (Πηγή: Διπλωματική Εργασία Μελέτη των τεχνολογιών αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας και εκτίμηση των μελλοντικών εξελίξεων, Γεώργιος Γενετζάκης)

Εικόνα 3.5: Αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας με υδρογόνο (Πηγή: ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ & ΥΔΡΟΓΟΝΟ - ΜΑΚΡΙΝΟ ΜΕΛΛΟΝ... (vehicletech.blogspot.com))

Εικόνα 3.6: Μονάδες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας (Πηγή: RAE GeoPortal)

Εικόνα 3.7: Αιτήσεις προς εγκατάσταση συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας (2022-2023)

Εικόνα 5.1 : Δομή συστήματος αποθήκευσης (Πηγή: Διπλωματική Εργασία, Αποθήκευσης ενέργειας με χρήση μπαταριών στην υψηλή και μέση τάση, Σαντικός Γεώργιος)

Εικόνα 5.2: Δομή μπαταρίας λιθίου (Πηγή: 1b07362176bc231262866923649f56c158e9.pdf)

Εικόνα 5.3: Αρχή λειτουργία μπαταρίας λιθίου (Πηγή: Σαντικός Γεώργιος, Διπλωματική Εργασία)

Εικόνα 5.4 : Σχηματική αναπαράσταση της διαδρομής από κυψέλη μπαταρίας σε σύστημα αποθήκευσης ενέργειας

Εικόνα 5.5: Inverter τοποθετημένος σε container με μορφή ντουλάπας εσωτερικού χώρου(Πηγή: oegreenpower.com/commercial-industrial-energy-storage-system?gad_source=1&gclid=CjwKCAiAqY6tBhAtEiwAHeRopf3JL7W3cgBQqPKDpuukKDh49G oVKSE1i1JodHwwDLqmBPoAo_7dKhoCFpCQAvD_BwE)

Εικόνα 5.6: PCS σε αποκλειστικό container (Πηγή: Mobile Solar Container Solution | Mobile Solar | Statcon Energia)

Εικόνα 5.7 : PCS σε εξωτερικό χώρο (Πηγή: DC1500V Container Solution (kstar.com))

Εικόνα 5.8 : Εσωτερική δομή ενός Energy Storage Container (Πηγή: Battery Energy Storage Systems - Power Reserve - MPINarada)

Εικόνα 5.9: Δομή BESS (Πηγή: Components of Battery Management System for Li-ion battery (bacancysystems.com))

Εικόνα 5.10: Οθόνη SCADA : Διαχείριση συστήματος , όπου φαίνονται βασικές ρυθμίσεις (Πηγή: Διπλωματική Εργασία: Αποθήκευση ενέργειας με χρήση μπαταριών στην υψηλή και μέση τάση, Σαντικός Γεώργιος)

Εικόνα 5.11: Οθόνη SCADA: Πληροφορίες Συστήματος Μπαταριών, οι μετρήσεις για το συνολικό σύστημα (ρεύμα, ισχύς, τάση, θερμοκρασία) καθώς και επιλογή για πλοήγηση στα battery cluster (Πηγή: Διπλωματική Εργασία: Αποθήκευση ενέργειας με χρήση μπαταριών στην υψηλή και μέση τάση, Σαντικός Γεώργιος)

Εικόνα 5.12: Οθόνη SCADA: Πληροφορίες battery cluster 1, 2, 3, όπου φαίνονται σε λεπτομέρεια για τα τρία αυτά cluster, μετρήσεις τους (τάση, ένταση) και το SOC του καθενός (Πηγή: Διπλωματική Εργασία: Αποθήκευση ενέργειας με χρήση μπαταριών στην υψηλή και μέση τάση, Σαντικός Γεώργιος)

Εικόνα 5.13: Οθόνη SCADA: Γραφική επισκόπηση του συστήματος αποθήκευσης, συνήθως είναι η πρώτη εικόνα που βλέπει ο χειριστής, όπου γρήγορα φαίνεται η κατάσταση του συστήματος και πιθανές δυσλειτουργίες (Πηγή: Διπλωματική Εργασία: Αποθήκευση ενέργειας με χρήση μπαταριών στην υψηλή και μέση τάση, Σαντικός Γεώργιος)

Εικόνα 5.14: Σύνδεση συστήματος μπαταριών σε δίκτυο

Εικόνα 5.15: Σύστημα αποθήκευσης Total , Γαλλία (Πηγή: The most powerful battery energy storage system in France - Omexom)

Εικόνα 5.16: Σύστημα αποθήκευσης RWE Nordhein (Πηγή RWE starts construction of large-scale battery storage project at two locations in North Rhine-Westphalia)

Εικόνα 5.17: Σύστημα αποθήκευσης στο Wunsiedel, Βαυβαρία (Πηγή: Siemens and Fluence to build renewables-integrating 100MW/200MWh battery project in Germany - Energy-Storage.News)

Εικόνα 5.18 : Σύστημα αποθήκευσης Eneco, Jardelund (Πηγή: EnspireME (eneco.com))

Εικόνα 5.19: Σύστημα αποθήκευσης Eneco, Jardelund (Πηγή: EnspireME (eneco.com))

Εικόνα 5.20: Σύστημα αποθήκευσης Acciona, Ισπανία (Πηγή: ACCIONA starts up the first hybrid wind power storage plant in Spain using batteries)

Εικόνα 5.21: Σύστημα αποθήκευσης, Fortum Φινλανδία (Πηγή: Saft Li-ion energy storage will maintain the balance of power for Finland’s transition to a solar economy | Saft | Batteries to energize the world)

Εικόνα 5.22: Σύστημα αποθήκευσης, Pivot Power, Ηνωμένο Βασίλειο (Πηγή: Wärtsilä to deliver 100MW of energy storage for Pivot Power projects in the West Midlands, England to support renewable energy integration (wartsila.com))

Εικόνα 5.23: Σύστημα αποθήκευσης, Tehachapi Edison (Πηγή: Tehachapi Energy Storage Project - Wikipedia)

Εικόνα 5.24: Σύστημα αποθήκευσης στο Hornsdale της Αυστραλίας (Πηγή: Hornsdale battery has 'significant impact' on market | Windpower Monthly)

Εικόνα 5.25: Σύστημα μπαταριών Neoen, Βικτώρια (Πηγή: Neoen starts operating 300 MW Victorian Big Battery in Australia, one of the world’s largest batteries - Neoen)

Εικόνα 5.26: Σύστημα μπαταριών , Queensland Vena Energy (Πηγή: Vena Energy switches on Queensland’s largest battery - Vena Energy - Leading renewable energy company in the Asia-Pacific region)

Εικόνα 5.27: Σύστημα μπαταριών , Queensland Vena Energy (Πηγή: Vena Energy switches on Queensland’s largest battery - Vena Energy - Leading renewable energy company in the Asia-Pacific region)

Εικόνα 5.28: Συστήματα αποθήκευσης Πτολεμαΐδας και Αρκαδίας (Πηγή: Συστήματα Ενεργειακής Αποθήκευσης (BESS) | Eunice Group (eunice-group.com))

Εικόνα 6.1: Αφαίρεση του συσσωρευτή από το ηλεκτρικό όχημα Nissan Leaf. (Πηγή: EV battery rebuilds)

Εικόνα 6.2: Εφαρμογή αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες δεύτερης γενιάς στην Ευρώπη (Πηγή: VDE Renewable Energy)

Εικόνα 6.3: Σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στο Αμβούργο(Πηγή: Vattenfall, BMW and Bosch test second-life EV battery electricity storage in Hamburg for grid stabilization - Green Car Congress)

Εικόνα 6.4 : Κτίριο GUW+ (Πηγή : Aktuelles - GUW+ (guwplus.de))

Εικόνα 6.5 : Εσωτερικά του κτιρίου (Πηγή: Aktuelles - GUW+ (guwplus.de))

Εικόνα 6.6 : Συστήμα αποθήκευσης από μπαταρίες δεύτερης γενιάς (Πηγή: Aktuelles - GUW+ (guwplus.de))

Εικόνα 6.7 : Φορτιστής ηλεκτρικών λεωφορείων (Πηγή: Aktuelles - GUW+ (guwplus.de))

Εικόνα 6.8 : Σταθμοί φόρτισης στο Wolfsburg (Πηγή : Pilotprojekt gestartet: Schnellladesäulen in Wolfsburg aufgestellt | Volkswagen Newsroom (volkswagen-newsroom.com)

Εικόνα 6.9 : Μονάδα αποθήκευσης στο EUREF CAMPUS (Πηγή: Multi-use storage optimises energy supply (mobilityhouse.com))

Εικόνα 6.10: Σύστημα Αποθήκευσης Άμστερνταμ (Πηγή: Johan Crujff Arena | The 3 megawatt energy storage system in Johan...)

Εικόνα 6.11 : Σταθμοί φόρτισης λεωφορείων

Εικόνα 6.12 : Σταθμός αποθήκευσης ενέργειας στο Lunen (Πηγή: Energy Storage: 13 MWh second-use battery for grid stabilization in Lünen (pveurope.eu))

Εικόνα 6.13 : Κύκλος ζωής μπαταριών Mercedes (Πηγή: Mercedes-Benz Energy – Business segments.)

Εικόνα 6.14 : Εγκατάσταση αποθήκευσης μπαταριών τελευταίας τεχνολογίας στο Herdecke Βόρεια Ρηνανία-Βεστφαλία (Πηγή: State-of-the-art battery storage facility in Herdecke, North Rhine-Westphalia)

Εικόνα 6.15 : Έξυπνο σύστημα αποθήκευσης άνθρακα στο Elverlingsen της βόρειας Ρηνανίας-Βεστφαλίας (Πηγή: Turnkey storage containers provide cost savings (mobilityhouse.com))

Εικόνα 6.16: Everlingsen , Γερμανία (Πηγή: Mercedes-Benz Energy – Media.)

Εικόνα 6.17 : Σταθερό σύστημα μπαταριών στην Σαξονία(Πηγή: JT Energy Systems baut 25 MW-Second-Life-Speicher in Sachsen | electrive.net_)

Εικόνα 6.18 : Smart Hubs στη Μεγάλη Βρετανία (Πηγή: Renault stellt zwei Projekte mit Second-Life-Akkus vor | electrive.net)

Εικόνα 6.19 : The Mobility House (Πηγή: Renault stellt zwei Projekte mit Second-Life-Akkus vor | electrive.net)

Εικόνα 6.20 : Εγκατάσταση των έξι μπαταριών BMW i3 2ης ζωής ως αποθηκευτικό χώρο αποθήκευσης στο κλιματιζόμενο δωμάτιο μπαταριών, στο Weinsberg (Πηγή: Emilas)

Εικόνα 6.21: Πλήρως συναρμολογημένοι και έτοιμοι προς χρήση σταθμοί φόρτισης AC-DC στον χώρο κοινής χρήσης αυτοκινήτων πολυκατοικιών, στο Weinsberg.(Πηγή: Emilas)

Εικόνα 6.22:Σύστημα αποθήκευσης (Πηγή: „Fluxlicon“: PEM entwickelt Speicher aus alten E-Mobil-Akkus - RWTH AACHEN UNIVERSITY PEM - Deutsch (rwth-aachen.de))

Εικόνα 6.23: Σύστημα αποθήκευσης (Πηγή: Second-Life-Batterien als Stromspeicher | EnBW)

Εικόνα 6.24 : Σύστημα μπαταριών αποθήκευσης (Πηγή: Projekt SecondLife Batteries Green Energy Lab)

Εικόνα 6.25: Μπαταρίες δεύτερης γενιάς (Πηγή: Projekt SecondLife Batteries Green Energy Lab)

Διάγραμμα 1.1: Χαρακτηριστικά ενέργειας και ισχύς από τις βασικές μπαταρίες τεχνολογίας (Πηγή: A review of Battery Electric Vehicle technology and readiness level, Amin Mahmoudzadeh etc)

Διάγραμμα 2.1 : Εξέλιξη εγκατεστημένης ισχύος ΑΠΕ κατά την περίοδο 2017 – 2030. (Πηγή: Εφημερίδα της Κυβερνήσεως)

Διάγραμμα 3.1 : Σύγκριση τεχνολογιών αποθήκευσης ως προς την ωριμότητά τους (Πηγή: Διπλωματική Εργασία: Τεχνολογίες Αποθήκευσης και αποδοτικής μετατροπής του υδρογόνου ως μέσο αποθήκευσης ενέργειας με χρήση ΑΠΕ, Μετεντίδης Θεόφιλος)

Διάγραμμα 3.2 : Χωρητικότητα των διαφόρων τεχνολογιών αποθήκευσης (Πηγή: Διπλωματική Εργασία: Τεχνολογίες Αποθήκευσης και αποδοτικής μετατροπής του υδρογόνου ως μέσο αποθήκευσης ενέργειας με χρήση ΑΠΕ, Μετεντίδης Θεόφιλος)

Διάγραμμα 3.3: Βαθμός απόδοσης τεχνολογιών αποθήκευσης (Πηγή: Διπλωματική Εργασία, Συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, Ιωάννου Δημήτρης)

Διάγραμμα 3.4: Χρόνος ζωής και ποσοστό βαθμού απόδοσης (Πηγή: Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, Ιωάννου Δημήτρης)

Διάγραμμα 5.1: Μονογραμμικό διάγραμμα Υ/Σ Ενέργειας

Διάγραμμα 5.2: Μονογραμμικό Διάγραμμα συστήματος αποθήκευσης

Διάγραμμα 5.3: Διάγραμμα ροής

Διάγραμμα 5.4: Μονογραμμικό διάγραμμα σύνδεσης BESS σε νέο Υ/Σ

Διάγραμμα 5.5: Μονογραμμικό διάγραμμα σύνδεσης BESS με επέκταση σε υπάρχων Υ/Σ περίπτωση 1η

Διάγραμμα 5.6: Μονογραμμικό διάγραμμα σύνδεσης BESS με επέκταση σε υπάρχων Υ/Σ περίπτωση 2η

Διάγραμμα 5.7: Μονογραμμικό διάγραμμα σύνδεσης BESS σε νέο Υ/Σ

Διάγραμμα 5.8: Μονογραμμικό διάγραμμα σύνδεσης BESS με επέκταση σε υπάρχων Υ/Σ περίπτωση 1η

Διάγραμμα 5.9: Μονογραμμικό διάγραμμα σύνδεσης BESS με επέκταση σε υπάρχων Υ/Σ περίπτωση 2η

Διάγραμμα 5.10: Μονογραμμικό διάγραμμα σύνδεσης BESS με επέκταση σε υπάρχων Υ/Σ περίπτωση 3η

Εισαγωγή

Δεδομένη της έντονης κλιματικής αλλαγής που επικρατεί εδώ και αρκετά χρόνια παγκοσμίως, θεσπίστηκαν διάφορα πρωτόκολλα και συμφωνίες μεταξύ των κρατών, με σκοπό την βελτίωση αυτής της κατάστασης. Για τον λόγο αυτό, υιοθετήθηκαν από τις αυτοκινητοβιομηχανίες τα ηλεκτροκίνητα, τα οποία παρά τα διάφορα πλεονεκτήματά τους, μειονεκτούν εξαιτίας της μπαταρίας τους.

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας αποτελεί, η διερεύνηση της επαναχρησιμοποίησης των μπαταριών, σε διάφορες εφαρμογές δικτύου. Θα αναζητηθούν, οι απαραίτητες διαδικασίες για την επανένταξή τους καθώς και ο τρόπος σύνδεσής τους.

Σκοπός και στόχοι

Σκοπός και στόχος αυτής, είναι να εστιάσει στην σημαντικότητα της υιοθέτησης των συσσωρευτών, σε διάφορες εφαρμογές του δικτύου, καθώς και τα πλεονεκτήματά τους, λόγω της επαναχρησιμοποίησης.

Μεθοδολογία

Για την εκπόνηση της διπλωματικής αυτής χρησιμοποιήθηκε η βιβλιογραφική μέθοδος, με στοιχεία από διάφορες εφαρμογές που έχουν εκπονηθεί για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Καινοτομία

Η επαναχρησιμοποίηση των μπαταριών, αποτελεί μια καινοτόμα ιδέα, καθώς δεν έχει υιοθετηθεί πλήρως λόγω διαφόρων ελλείψεων σε δεδομένα.

Δομή

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια γενική εισαγωγή για την εισχώρηση των ηλεκτροκίνητων στην αυτοκινητοβιομηχανία. Αναδεικνύεται το πρόβλημα των μπαταριών των οχημάτων αυτών, προτείνοντας την επαναχρησιμοποίησή τους σε σταθερές εφαρμογές ως πολλά υποσχόμενη λύση.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, αναλύονται η συμβατική και η καταναεμημένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αναφέρονται οι αντίστοιχες νομοθεσίες, καθώς και τα διάφορα τεχνικά προβλήματα που αντιμετωπίζουν.

Στο τρίτο κεφάλαιο, αναλύονται τεχνικά οι διάφορες τεχνολογίες αποθήκευσης, με τα απαραίτητα νομοθετικά πλαίσια που έχουν θεσπιστεί καθώς και τα οφέλη εγκατάστασης τους σε εφαρμογές δικτύου.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, μέσω της σύγκρισης των τεχνολογιών αποθήκευσης αναδεικνύονται οι μπαταρίες ως οι πιο κατάλληλες για την εγκατάσταση σε εφαρμογές δικτύου. Παρουσιάζονται όλα τα πλεονεκτήματα αναφορικά με τις εφαρμογές αυτές καθώς και διάφορα παραδείγματα που έχουν ολοκληρωθεί. Επιπλέον, μέσω εικόνων

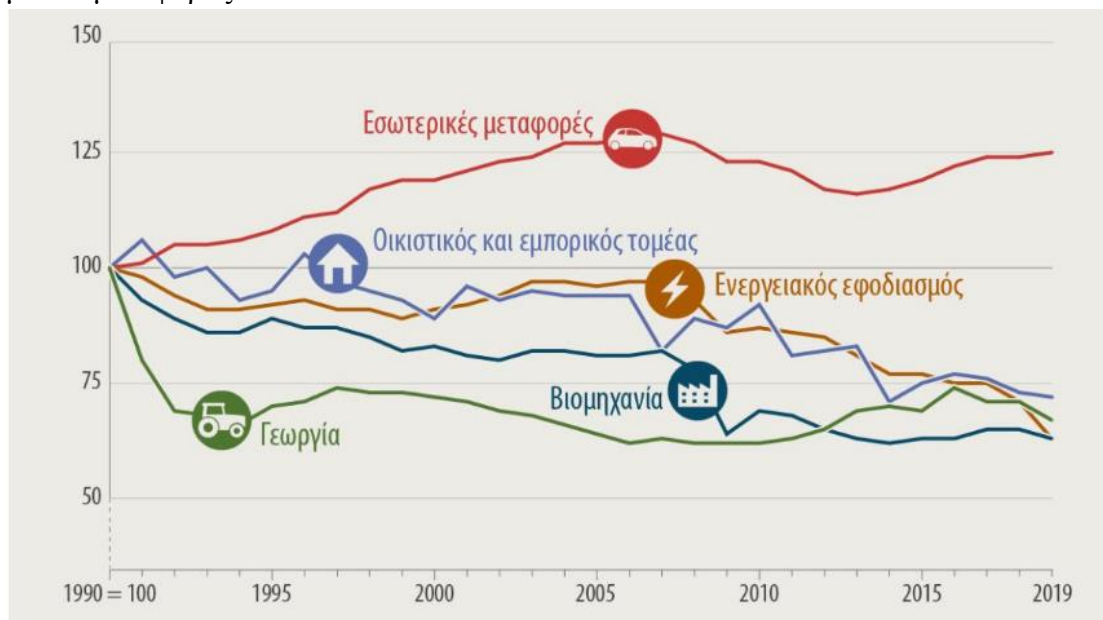
και κατάλληλων διαγραμμάτων παρουσιάζεται ο τρόπος και οι διαδικασίες σύνδεσης των μπαταριών αυτών στο δίκτυο.

Το πέμπτο κεφάλαιο αφορά την μπαταρίες δεύτερης ζωής. Εστιάζει στην απόσυρση των μπαταριών αυτών από τα ηλεκτροκίνητα καθώς και τον τρόπο επανένταξή τους μέσω κατάλληλων διαδικασιών ώστε να είναι εφικτή η επαναχρησιμοποίησή τους. Μέσω αντίστοιχων πειραμάτων και εφαρμογών που έχουν διεκπεραιωθεί εξάγονται τα αντίστοιχα συμπεράσματα.

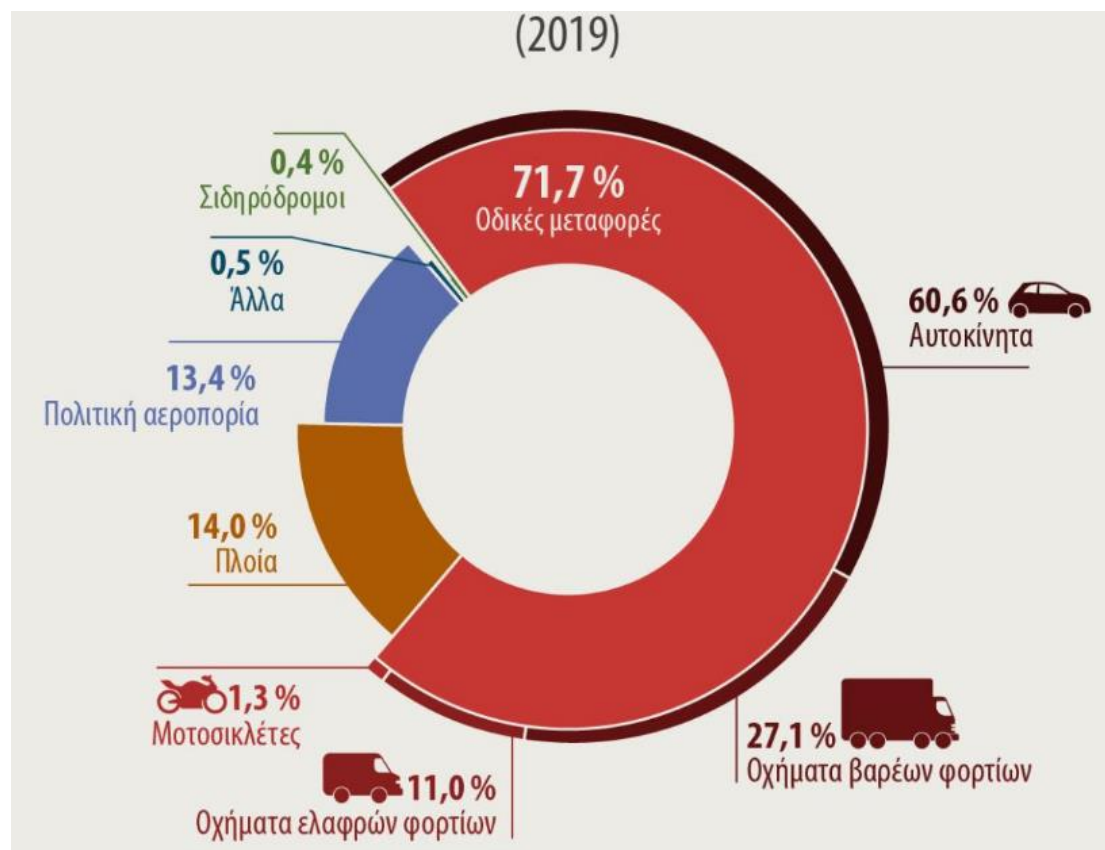
Τέλος παρατίθενται οι πηγές που βασίστηκε η σύνταξή της διπλωματικής και τα αντίστοιχα παραρτήματα.

1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : Κλιματική αλλαγή και υιοθέτηση των ηλεκτροκίνητων στην αυτοκινητοβιομηχανία

Το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής, που έχει δημιουργηθεί κυρίως από την αυξημένη εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα, συζητήθηκε πρώτη φορά στο συνέδριο της Στοκχόλμης, που έλαβε χώρα στις 5 έως 19 Ιουνίου το 1972. Έπειτα από μια σειρά συνεδριάσεων επί του θέματος, το 1997 θεσπίστηκε το Πρωτόκολλο του Κιότο και σε συνέχεια αυτού, το 2016 η συμφωνία του Παρισιού. Τα μέσα μαζικής μεταφοράς, όπως φαίνεται και στη παρακάτω εικόνα 1.1, εκπέμπουν το μεγαλύτερο ποσοστό διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Στη εικόνα 1.2 αναλύεται το ποσοστό εκπομπής κάθε μέσου μεταφοράς.



Εικόνα 1.1: Πηγές εκπομπών αερίων (Πηγή: Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος 2022)

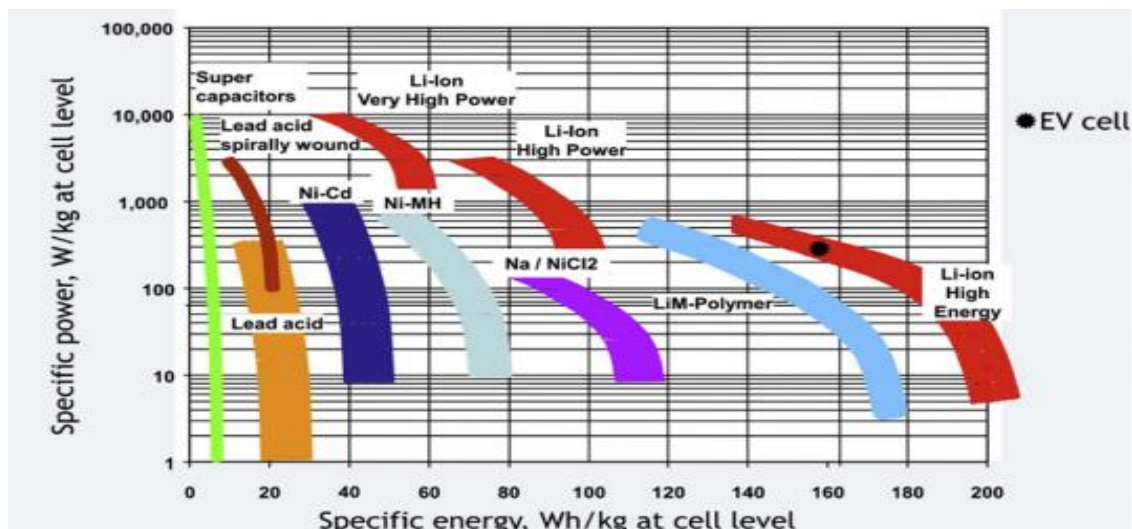


Εικόνα 1.2 : Κατανομή εκπομπών θερμοκηπίου στις μεταφορές (Πηγή: Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, 2022)

Με στόχο την βελτίωση της περιβαλλοντικής κατάστασης, οι βιομηχανίες οδηγήθηκαν στην έγχυση διαφόρων τεχνολογιών στον τομέα των οδικών μεταφορών, με τα ηλεκτροκίνητα να θεωρούνται η πιο αποτελεσματική και υποσχόμενη λύση. Τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- Μηδενική εκπομπή αερίων, βελτιώνοντας έτσι την τοπική ποιότητα του αέρα
- Υψηλή απόδοση
- Δυνατότητα φόρτισης σε νυχτερινές ώρες με χαμηλό κόστος ηλεκτρικής ενέργειας
- Υψηλό δυναμικό

Όλα αυτά τα καθιστούν τα πιο κατάλληλα αστικά μέσα μικρού και μεσαίου μεγέθους. Η λειτουργία τους, βασίζεται στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, που αποθηκεύεται στις επαναφορτιζόμενες συστοιχίες συσσωρευτών. Ο ηλεκτροκινητήρας, τροφοδοτείται από μια μπαταρία, η οποία αντικαθιστά το όχημα με κινητήρα εσωτερικής καύσης και το ρεζερβουάρ. Στο εμπόριο είναι διαθέσιμα διάφορα ήδη μπαταριών και η επιλογή τους βασίζεται στην σύγκριση της χωρητικότητάς τους, στην ισχύς τους, στον κύκλο ζωής τους, στην ημερολογιακή ζωή τους και στο κόστος ανά kWh. Μέσω του διαγράμματος 1.1, που παρεμβάλλεται στη συνέχεια, παρατηρείται ότι η χρήση των μπαταριών λιθίου, αποτελεί την καλύτερη επιλογή συγκριτικά με άλλα είδη μπαταριών.



Διάγραμμα 1.1: Χαρακτηριστικά ενέργειας και ισχύς από τις βασικές μπαταρίες τεχνολογίας (Πηγή: A review of Battery Electric Vehicle technology and readiness level, Amin Mahmoudzadeh etc)

1.1 Μειονεκτήματα Ηλεκτροκίνητων

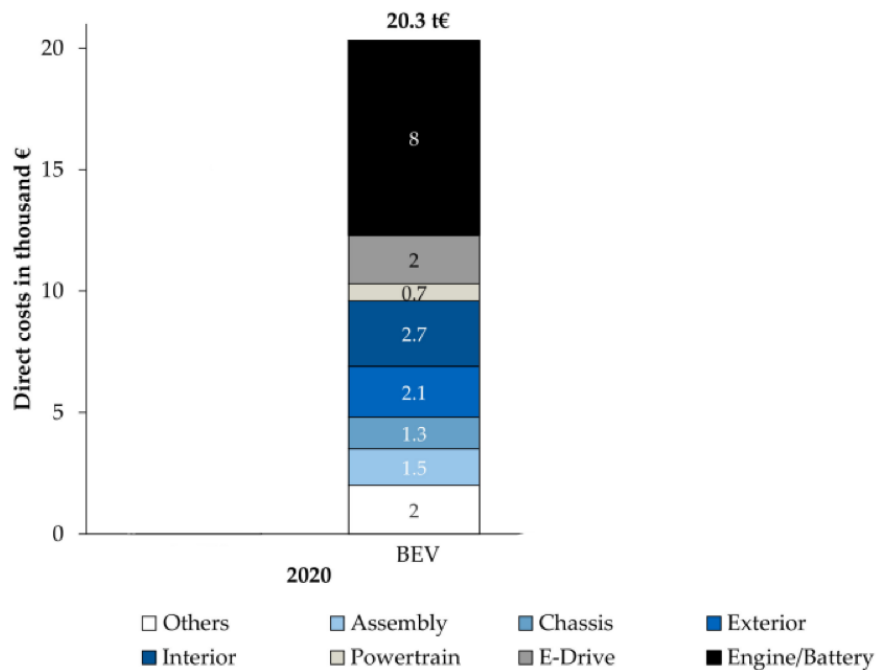
Παρόλο που τα ηλεκτροκίνητα προσφέρουν αρκετά πλεονεκτήματα, αντιμετωπίζουν σοβαρό πρόβλημα στην διείσδυσή τους στην αυτοκινητοβιομηχανία. Αυτό οφείλεται στο κόστος τους, στο το οποίο αποτελείται από την μπαταρία, την ηλεκτρική μηχανή, τον έλεγχο μηχανής, το σύστημα αναγεννητικής πέδησης, θερμομόνωση και ψύξη μπαταρίας. Σύμφωνα με τη παρακάτω εικόνα και τον πίνακα που παρατίθενται, το μεγαλύτερο κόστος οφείλεται στη μπαταρία.

Πίνακας 1.1 Ενδεικτικό Κόστος απόκτησης ηλεκτρικού οχήματος

	Μπαταρία	Ηλεκτρική Μηχανή	Ελεγκτής	Κόστος συμβατικού	Κόστος ηλεκτρικού
City car 80	4878€	1980€	1460€	15000€	23318€
Small family car 150	12653€	2700€	2000€	20000€	37353€
Large family car 500	45676€	4000€	2570€	30000€	82246€

Ο πίνακας βασίζεται από έρευνα που έχει γίνει σε άλλη διπλωματική εργασία. Οι τιμές των μπαταριών έχουν υπολογιστεί από τιμές εμπορίου, ενώ οι υπόλοιπες είναι προσεγγιστικές λόγω έλλειψης δεδομένων με εξαίρεση το σύστημα της

αναγεννητικής πέδησης και βελτιωμένης θερμομόνωσης που δεν μπορεί να υπολογιστεί. Το κόστος του συμβατικού οχήματος, συνυπολογίζεται για το σύστημα ψύξης μπαταρίας.



Εικόνα 1.3: Εκτίμηση κόστους ενός συστήματος αποθήκευσης σε EV

Σημαντικό μειονέκτημα αποτελεί και η περιβαλλοντική επιβάρυνση που οφείλεται στις μπαταρίες. Πιο συγκεκριμένα, η διαδικασία εξόρυξης λιθίου είναι αρκετά ρυπογόνα αλλά απαραίτητη για τη κατασκευή τους, ενώ κατά τη διάρκεια λειτουργίας τους και τη χρήση τους στα ηλεκτροκίνητα, επιβαρύνουν το αποτύπωμα του διοξειδίου του άνθρακα. Η παγκόσμια πρωτοβουλία για τη μετάβαση σε ηλεκτροκίνητα, θα αποφέρει τεράστιες ποσότητες των συσσωρευτών λιθίου (LIB) στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Κατά τη διάρκεια της χρήσης τους, χρησιμοποιούν επικίνδυνα και τοξικά στοιχεία, που επιφέρουν καταστροφικές περιβαλλοντικές συνέπειες εάν καταλήξουν σε αστικά στερεά απόβλητα. Πιο συγκεκριμένα, τα ιόντα χαλκού είναι τοξικά για τα περισσότερα είδη ζωντανών οργανισμών σε περίπτωση πρόσληψης στα εντεροκύτταρα. Επιπλέον, ο υδράργυρος και το κάδμιο είναι πιο προβληματικά καθώς βιοσυσσωρεύονται στο οικοσύστημα λόγω της μακράς βιολογικής ημιζωής τους. Ο υδράργυρος, ειδικότερα είναι ιδιαίτερα τοξικός για τα παιδιά, καθώς προκαλεί σοβαρές νευρολογικές, κινητικές και αναπτυξιακές διαταραχές έως και θάνατο, ενώ το κάδμιο είναι καρκινογόνο για το συκώτι και τα πνευμόνια των ανθρώπων.

Σοβαρό ζήτημα, αποτελεί και η περιβαλλοντική επιβάρυνση κατά την εξόρυξη του λιθίου, του βασικότερου συστατικού της μπαταρίας, που περιλαμβάνει αρκετά στάδια επεξεργασίας. Τα στάδια αυτά, απαιτούν μεγάλες ποσότητες αντιδραστήρων, όπου

είναι απαραίτητη η διαχείριση αποβλήτων, ενώ είναι ενεργειακά ακατάλληλες, συμβάλλοντας και στο κόστος. Το λίθιο δεν υφίσταται σε φυσική μορφή στο περιβάλλον, αλλά σε περιορισμένους πόρους και με εξαιρετικά χημικά αντιδραστική συμπεριφορά. Ίχνη χημικών ενώσεων που περιέχουν λίθιο παρατηρούνται σε περισσότερα πετρώματα, εδάφη, γεωθερμικές πηγές και υδάτινα σώματα.

Τα μέρη όπου διαχωρίζεται η εξόρυξη του λιθίου είναι δύο: στην εξόρυξη και στο κόμματι της επεξεργασίας, όπου το δεύτερο εξαρτάται από την τοποθεσία εξόρυξης. Οι περιβαλλοντικές ανησυχίες που έχουν αναπτυχθεί για την εξόρυξη λιθίου, αφορούν την ρύπανση του αέρα, των υδάτων και του εδάφους καθώς και την εξάντληση των υδάτινων πόρων σε κοινότητες περιοχών πλούσιες σε λίθιο. Κατά την διάρκεια επεξεργασίας του, χρειάζονται τοξικές χημικές ουσίες, οι οποίες καταλήγουν σε δεξαμενές αποθήκευσης αποβλήτων, σωρούς απορριμμάτων κατεργασίας, επεξεργασμένα νερά, λεκάνες εξάτμισης και μεταφερόμενα προϊόντα. Αυτά έχουν βλαβερές συνέπειες για τον ανθρώπινο οργανισμό, τη νευρική επικοινωνία, την οικολογία του εδάφους καθώς και για την υδρόβια ζωή. Λόγω σημαντικής έλλειψης δεδομένων, η περιβαλλοντολογική επιρροή λόγω εξόρυξης του λιθίου δεν μπορεί να προσδιορισθεί ακριβώς. Ωστόσο καθίσταται αναγκαία η εύρεση άμεσης λύσης για την αποφυγή εξόρυξής του, με την επέκταση της ζωής των μπαταριών μέσω της επαναχρησιμοποίησής τους στο δίκτυο, να είναι πολλά υποσχόμενη.

1.2 Σημαντικότητα επαναχρησιμοποίησης συσσωρευτών

Η δεύτερη ζωή των συσσωρευτών επικεντρώνεται στη τεχνική προσαρμογή τους και τη βέλτιστη λειτουργία τους ως σταθερό σύστημα αποθήκευσης. Είναι εξαιρετικά ωφέλιμη ως προς το περιβάλλον βελτιώνοντας ταυτόχρονα το αποτύπωμα διοξειδίου του άνθρακα του ηλεκτροκίνητου, πέρα από τη διάρκεια ζωής του οχήματος. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, οι μπαταρίες αποσύρονται από τα ηλεκτροκίνητα, ενώ έχουν στη διάθεσή τους 70 – 80% της αρχικής τους χωρητικότητας. Επομένως με την δεύτερη ζωή τους μπορούμε να εκμεταλλευτούμε τις δυνατότητές τους με εφαρμογή τους σε ηλεκτρικά δίκτυα, αποφεύγοντας ταυτόχρονα την κατασκευή νέων μπαταριών ή τη χρήση πιο ρυπογόνων λύσεων για εφοδιασμό των εφαρμογών αυτών, και καθυστερώντας το στάδιο ανακύκλωσης. Επιπροσθέτως, η χρήση των συσσωρευτών στα ηλεκτρικά δίκτυα είναι εξαιρετικά ωφέλιμη. Στα ηλεκτρικά δίκτυα έχουν παρατηρηθεί διάφορες διαταραχές στο πεδίο των συχνοτήτων με διαφορετικές συμπεριφορές αλληλεπίδρασης σε διαφορετικές συνιστώσες συχνότητας. Επιπλέον, χαρακτηρίζεται από τεράστιες απώλειες ισχύος, ενώ για ένα αξιόπιστο σύστημα είναι απαραίτητη η αδιάληπτη παροχή ενέργειας που πολλές φορές εκλείπει, λόγω αναγκαστικών διακοπών λειτουργίας μονάδων, διακοπές λειτουργίας σύντομης προειδοποίησης καθώς σε περιόδους συντήρησης. Με σωστό μηχανικό σχεδιασμό, οι μπαταρίες λιθίου μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν ως συγκροτήματα μπαταριών ανταγωνιστικής απόδοσης, ενώ προσδίδουν τα επιθυμητά χαρακτηριστικά που επιζητούν τα ηλεκτρικά δίκτυα. Οι συσσωρευτές, βελτιώνουν την απόδοση ενός δικτύου διανομής, εξοικονομούν ενέργεια, μειώνουν το κόστος διανομής, βελτιώνουν τη διαχείριση της ζήτησης και τη διαχείριση ή βελτίωση ποιότητας ισχύος σε ένα

δίκτυο διανομής. Οι μπαταρίες δηλαδή, μετριάζουν τα ζητήματα ποσότητας και ποιότητας ισχύος, το κόστος διανομής δικτύου, την μείωση απωλειών ισχύος καθώς και την σταθερότητα και αξιοπιστία του δικτύου.

Σημαντική είναι και η συμβολή τους στην ανάπτυξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), ένας κλάδος που αναπτύχθηκε ταυτόχρονα με την βιομηχανία των ηλεκτροκίνητων για την αντιμετώπιση τις κλιματικής κρίσης και η ανάδειξή τους βασίζεται σε αυτούς, καθώς η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στα συστήματα αυτά εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες. Η αποκεντρωμένη παραγωγή ενέργειας, μετριάζει τα προβλήματα στα δίκτυα μεταφοράς, τις απώλειες γραμμών, αλλά μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα στα δίκτυα διανομής, όπως υπερτάσεις καθώς και προβλήματα σταθερότητας σε όλο το σύστημα, λόγω της διαλείπουσας φύσης τους. απαιτώντας την ανάγκη για βοηθητικές υπηρεσίες στα δίκτυα διανομής. Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας μπαταριών έχουν αναγνωριστεί έως ένας σημαντικός καταλύτης για την ενσωμάτωση των ΑΠΕ, λόγω των χαρακτηριστικών τους. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι: η ευελιξία στην εξισορρόπηση προσφοράς και ζήτησης, η ευελιξία, η ασφάλεια και η ποιότητα που προσδίδει στα δίκτυα διανομής, εκτελώντας βοηθητικές υπηρεσίες, η ικανότητα λειτουργίας ως μονάδα σταθεροποίησης στο σύστημα ισχύος (αποσυνδέονται, καταναλώνουν και παράγουν ηλεκτρική ενέργεια). Ανάμεσα σε διαφορετικές επιλογές αποθήκευσης, πιο αποδοτικά φαίνεται να είναι τα συστήματα μπαταριών, καθώς λειτουργούν αποτελεσματικά, χωρίς να εκπέμπουν ρύπους, ενώ έχουν υψηλή ενέργεια και πυκνότητα ισχύος καθώς και ευελιξία με γρήγορους χρόνους απόκρισης.

Πιο συγκεκριμένα, στα αιολικά πάρκα, η ισχύς εξόδου, ωστόσο, είναι διακοπτόμενη καθώς είναι η συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου, το οποίο πρόβλημα μπορεί να λυθεί παρέχοντας δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας. Η τεχνολογία αποθήκευσης ενέργειας μπαταρίας επιτρέπει την αποθήκευση με χαμηλό κόστος ανά μονάδα ενέργειας ενώ παρέχει γρήγορη αντιστάθμιση ενεργού ισχύος, και βελτιώνει την απόδοση της αιολικής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, στα αιολικά πάρκα συνδέονται τα συστήματα μπαταριών με σκοπό την αντιστάθμιση άεργου ισχύος, για την εξομάλυνση της διακοπτόμενης παραγωγής αιολικής ενέργειας και για την ισχύ βελτίωση παράγοντα. Ένα σύστημα μπαταριών είναι ειδικά κατάλληλο για χρήση εξελιγμένης ποιότητας ισχύος συστήματα ελέγχου λόγω της φυσικά σταθερής σύνδεσης DC.

Ένας ακόμα κλάδος που απέκτησε παγκόσμιο ενδιαφέρον λόγω των πλεονεκτημάτων του, είναι τα μικροδίκτυα. Τα μικροδίκτυα χαρακτηρίζονται από ενισχυμένη αξιοπιστία καθώς τα φορτία γίνονται λιγότερα ευαίσθητα στις διακοπές δικτύου μεταφοράς, ενώ αξιοποιούν τις ΑΠΕ, που όπως προαναφέρθηκε είναι ένας κλάδος που επείγει να αναπτυχθεί. Ταυτόχρονα, ενισχύουν την αξιοπιστία, την αποτελεσματικότητα και τη ποιότητα των δικτύων διανομής, και εκπέμπουν λιγότερες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα. Απαραίτητος εξοπλισμός των μικροδικτύων είναι τα συστήματα

αποθήκευσης ενέργειας, καθώς βελτιώνουν της ποιότητας ισχύος και τη σταθερότητα του συστήματος, ενώ σε περίπτωση διαταραχής εξισορροπούν την ενέργεια.

Στις εφαρμογές που προαναφέρθηκαν, καθίσταται εφαρμόσιμη και πιο οικονομική λύση η χρήση συσσωρευτών στο δεύτερο κύκλος ζωής τους, καθώς καθυστερεί η παραγωγή νέων, με περιορισμός εξάντλησης των πηγών λιθίου, λιγότερους ρύπους καθώς και αξιοποίηση της υπόλοιπης χωρητικότητάς τους μετά την ολοκλήρωση της χρήσης τους στα ηλεκτροκίνητα.

1.3 Ορολογίες

Μικροδίκτυα: είναι αυτόνομα ηλεκτρικά συστήματα που μπορούν λειτουργούν χωρίς σύνδεση με το δίκτυο διανομής και αποτελούνται από καταναμημένη παραγωγή (ηλεκτροπαραγωγή μικρής κλίμακας), συστήματα αποθήκευσης ενέργειας και φορτία. Σύμφωνα με τον Lasseter, είναι μια προσέγγιση για την ενσωμάτωση των ΑΠΕ καταναμημένης ενέργειας σε μια ομάδα διασυνδεδεμένων φορτίων. Τα DC μικροδίκτυα, παρέχουν ισχύ συνεχούς ρεύματος και έχουν ευκολότερη διαχείριση και έλεγχο από τα ac.

Μικροδίκτυα πολυπαραγωγής: Τα μικροδίκτυα πολυπαραγωγής, έχουν την δυνατότητα να παρέχουν πολλαπλές εξόδους όπως ηλεκτρική ενέργεια, θερμότητα, κρύο, καύσιμα και καθαρό νερό.

Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας: Σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο αφορούν πηγές ενέργειας που προέρχονται από φυσικές διαδικασίες: Συγκεκριμένα είναι η αιολική από τον άνεμο, φωτοβολταϊκά και ηλιακή από τον ήλιο. Τα υδροηλεκτρικά από το νερό, η γεωθερμία και άλλες.

Ημερολογιακή γήρανση: μείωση απόδοσης μπαταρίας με την πάροδο του χρόνου.

Κύκλος γήρανσης: γήρανση μπαταρίας λόγω της χρήσης της

Σύστημα διαχείρισης μπαταριών: είναι το σύστημα που ανιχνεύει την εσωτερική κατάσταση μπαταριών.

Βοηθητικές Υπηρεσίες: Σύμφωνα με την EURELECTRIC, η Ένωση της βιομηχανίας Ηλεκτρικής ενέργειας ορίζει τις βοηθητικές υπηρεσίες ως όλες οι υπηρεσίες που απαιτούνται από τον ΔΣΜ ή τον ΔΣΔ για να διατηρούν την ακεραιότητα και τη σταθερότητα του συστήματος μεταφοράς ή διανομής καθώς και την ποιότητα ισχύος. Το Ευρωπαϊκό Δίκτυο Διαχειριστών Συστημάτων Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας, ορίζει τις βοηθητικές υπηρεσίες ως: το φάσμα των λειτουργιών που αναθέτουν οι ΔΣΜ ώστε να μπορούν να εγγυηθούν ασφάλεια συστήματος. Περιλαμβάνουν την δυνατότητα μαύρης εκκίνησης (εκκίνηση σε περίπτωση μπλακ άουτ), απόκριση συχνότητας (διατήρηση συχνότητας του συστήματος με αυτόματες και πολύ

γρήγορες απαντήσεις), γρήγορη ρεζέρβα (που μπορεί να προσφέρει πρόσθετη ενέργεια όταν χρειαστεί), παροχή έργου ισχύος και διάφορες άλλες υπηρεσίες.

Επικουρικές υπηρεσίες: Η Ομοσπονδιακή Επιτροπή Ρυθμίσεων για την Ενέργεια τις ορίζει: ως αυτές που είναι απαραίτητες για την υποστήριξη της μετάδοσης της ηλεκτρικής ενέργειας από τον πωλητή στον αγοραστή, δεδομένων των υποχρεώσεων των περιοχών ελέγχου και των υπηρεσιών διαβίβασης εντός αυτών των περιοχών για τη διατήρηση αξιοπιστίας λειτουργιών της διασυνδεδεμένης μετάδοσης στο σύστημα. Οι βοηθητικές υπηρεσίες που παρέχονται με την παραγωγή περιλαμβάνουν το ακόλουθο φορτίο, το αντιδραστικό ρύθμισης τάσης ισχύος, υπηρεσίες προστασίας συστήματος, υπηρεσία, αντιστάθμισης απωλειών, έλεγχος συστήματος, υπηρεσίες αποστολής φορτίου και υπηρεσίες ενεργειακής ανισορροπίας. Η Ένωση Βιομηχανίας Ηλεκτρικής Ενέργειας (EURELECTRIC) ορίζει τις βοηθητικές υπηρεσίες : όλες τις υπηρεσίες που απαιτούνται από τον διαχειριστή συστήματος μεταφοράς η διανομής που τους επιτρέπει να διατηρήσουν την ακεραιότητα και τη σταθερότητα της μετάδοσης ή της διανομής συστήματος και την ποιότητα ισχύος παραγωγή περιλαμβάνουν το ακόλουθο φορτίο, το αντιδραστικό ρύθμισης τάσης ισχύος, υπηρεσίες προστασίας συστήματος, υπηρεσία, αντιστάθμισης απωλειών, έλεγχος συστήματος, υπηρεσίες αποστολής φορτίου και υπηρεσίες ενεργειακής ανισορροπίας. Η Ένωση Βιομηχανίας Ηλεκτρικής Ενέργειας (EURELECTRIC) ορίζει τις βοηθητικές υπηρεσίες : όλες τις υπηρεσίες που απαιτούνται από τον διαχειριστή συστήματος μεταφοράς η διανομής που τους επιτρέπει να διατηρήσουν την ακεραιότητα και τη σταθερότητα της μετάδοσης ή της διανομής συστήματος και την ποιότητα ισχύος.

Διεσπαρμένη παραγωγή: Αφορά μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μικρής κλίμακας, εγκαταστημένες κοντά στο σημείο κατανάλωσης είτε συνδεδεμένες στο δίκτυο διανομής ή στην πλευρά σύνδεσης των καταναλωτών. Η ισχύς τους κυμαίνεται από μερικά kW έως 50MW.

1.4 Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό εξηγήθηκε η αναγκαιότητα της υιοθέτησης των ηλεκτροκίνητων στην αυτοκινητοβιομηχανία. Σημαντικό ζήτημα, αποτελεί η περιβαλλοντική επιβάρυνση του αποτυπώματος του διοξειδίου του άνθρακα και η ακρίβεια, που οφείλεται στις μπαταρίες λιθίου. Η επαναχρησιμοποίηση των μπαταριών στις εφαρμογές του ηλεκτρικού δικτύου, είναι η μια ιδανική λύση στο πρόβλημα αυτό, αλλά ταυτόχρονα ωφέλιμη όπως εξηγήθηκε στην ενότητα αυτή και θα αναλυθεί στις επόμενες.

2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας και Κανονισμοί

Η ηλεκτρική ενέργεια είναι μια μορφή ενέργειας που παράγεται από την κίνηση και την αλληλεπίδραση μεταξύ θετικών και αρνητικών ηλεκτρικών φορτίων, μέσα σε έναν αγωγό. Η κίνηση αυτή οφείλεται στη διαφορά δυναμικού στα άκρα του αγωγού. Είναι μια πολύ χρήσιμη μορφή ενέργειας, γιατί μπορεί εύκολα και αποδοτικά να μετατραπεί σε άλλες μορφές. Τα βασικά πλεονεκτήματα της είναι τα ακόλουθα:

- Είναι «καθαρή» και φιλική προς το περιβάλλον
- Μεταβάλλει εύκολα τα χαρακτηριστικά της
- Είναι άμεσα διαθέσιμη
- Μεταφέρεται εύκολα και αποδοτικά.

Τα πλεονεκτήματα αυτά, αποτέλεσαν καθοριστικό παράγοντα για την αυξανόμενη διείσδυσή στη κοινωνία για την ικανοποίηση των ανθρώπινων αναγκών και ιδιαίτερα σε αστικές περιοχές. Σήμερα, σε παγκόσμιο επίπεδο, η ηλεκτρική ενέργεια καλύπτει το 15% των συνολικών αναγκών με την Ελλάδα να καλύπτει το 2019, ενώ πριν 20 χρόνια η συμμετοχή της ήταν 11% περίπου και 15% αντίστοιχα. Ο μέσος ετήσιος ρυθμός αύξησης ήταν 3, 8% έναντι ρυθμού αύξησης 1, 7% με τον ρυθμό αυτό να προβλέπεται να αυξάνεται εντατικά στο μέλλον. Η ηλεκτρική ενέργεια είναι προσβάσιμη στον άνθρωπο από τους σταθμούς παραγωγής αυτή είναι κυρίως η οποία είναι διεσπαρμένης και συμβατικής παραγωγής οι οποίες αναλύονται στις επόμενες ενότητες.

2.1 Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας

Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας ορίζεται το σύνολο εγκαταστάσεων, του εξοπλισμού, των μέσων και όλων των υποδομών που απαιτούνται για την ασφαλή και ποιοτική εξυπηρέτηση των αναγκών ενός συνόλου καταναλωτών. Αποτελείται από τα εξής επιμέρους συστήματα : το σύστημα παραγωγής, το σύστημα μεταφοράς και το σύστημα διανομής. Το σύστημα παραγωγής περιλαμβάνει τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος με τους υποσταθμούς ανύψωσης τάσης για τη μεταφορά σε υψηλή τάση. Το σύστημα μεταφοράς περιλαμβάνει τα δίκτυα που διασυνδέουν τους σταθμούς παραγωγής μεταξύ τους και τους υποσταθμούς υποβιβασμού της τάσης σε μέση τάση προς τροφοδότηση των δικτύων διανομής, ενώ μεταφέρουν την ηλεκτρική ενέργεια σε μεγάλες ποσότητες και αποστάσεις στα κέντρα κατανάλωσης. Το σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνει τα δίκτυα διανομής μέσης και χαμηλής τάσης και του υποσταθμούς διανομής μέσω των οποίων η μέση η τάση υποβιβάζεται σε χαμηλή, ενώ τροφοδοτεί καταναλωτές μέσης και χαμηλής τάσης.

2.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Εξαιτίας των διαφόρων συνεδριάσεων και νομοσχεδίων που θεσπίστηκαν κατά τη διάρκεια των χρόνων για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, ενσωματώθηκαν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στο δίκτυο. Σύμφωνα με το εθνικό σχέδιο για την ενέργεια και το κλίμα, έχουν τεθεί οι εξής στόχοι:

- Μερίδιο συμμετοχής των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στο 60%
- Μερίδιο συμμετοχής των ΑΠΕ στην θέρμανση και ψύξη 40%
- Μερίδιο συμμετοχής των ΑΠΕ στο τομέα μεταφορών 14%

Στη συνέχεια επισυνάπτονται πίνακες που αναφέρονται το ποσοστό εξέλιξης των στόχων αυτών έως το 2030:

Πίνακας 2.1: Εξέλιξη μεριδίων ΑΠΕ ανά στόχο και τομέα μέχρι το 2030 (Πηγή: Εφημερίδα της Κυβερνήσεως)

Εξέλιξη μεριδίων ΑΠΕ	2020	2022	2025	2027	2030
Μερίδιο ΑΠΕ στην Ακαθάριστη Τελική Κατανάλωση Ενέργειας [%]	19,7%	23,4%	27,1%	29,6%	35%
Μερίδιο ΑΠΕ στην Τελική Κατανάλωση για Θέρμανση και Ψύξη [%]	30,6%	33,8%	36,8%	38,3%	42,5%
Μερίδιο ΑΠΕ στην Ακαθάριστη Κατανάλωση Ηλεκτρισμού [%]	29,2%	38,6%	46,8%	52,9%	61%
Μερίδιο ΑΠΕ στην Τελική Κατανάλωση για Μεταφορές [%]	6,6%	7,3%	10,1%	11,7%	19%

Πίνακας 2.2: Εξέλιξη της προόδου μεριδίων ΑΠΕ ανά στόχο και τομέα μέχρι το 2030 (Πηγή: Εφημερίδα της Κυβερνήσεως)

Εξέλιξη προόδου ως προς στο μερίδιο ενέργειας από ΑΠΕ για την επίτευξη του στόχου του 2030	2022	2025	2027	2030	
στην Ακαθάριστη Τελική Κατανάλωση Ενέργειας	31,8%	53,6%	68,5%	100%	
στην Τελική Κατανάλωση για Θέρμανση και Ψύξη	27,0%	52,3%	64,5%	100%	
στην Ακαθάριστη Κατανάλωση Ηλεκτρισμού	29,6%	55,4%	74,6%	100%	
στην Τελική Κατανάλωση για Μεταφορές	5,6%	28,3%	41,3%	100%	

Πίνακας 2.3 : Εξέλιξη εγκατεστημένης ισχύος μονάδων ΑΠΕ για ηλεκτροπαραγωγή (Πηγή: Εφημερίδα της Κυβερνήσεως)

Ηλεκτροπαραγωγή - Εγκατεστημένη Ισχύς [GW]	2020	2022	2025	2027	2030
Βιομάζα & Βιοαέριο	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3
Υ/Η (συμπ. μεικτών αντλητικών)	3,4	3,7	3,8	3,9	3,9
Αιολικά	3,6	4,2	5,2	6,0	7,0
Φ/Β	3,0	3,9	5,3	6,3	7,7
Ηλιοθερμικοί σταθμοί	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1
Γεωθερμία	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Σύνολο	10,1	11,9	14,6	16,4	19,0

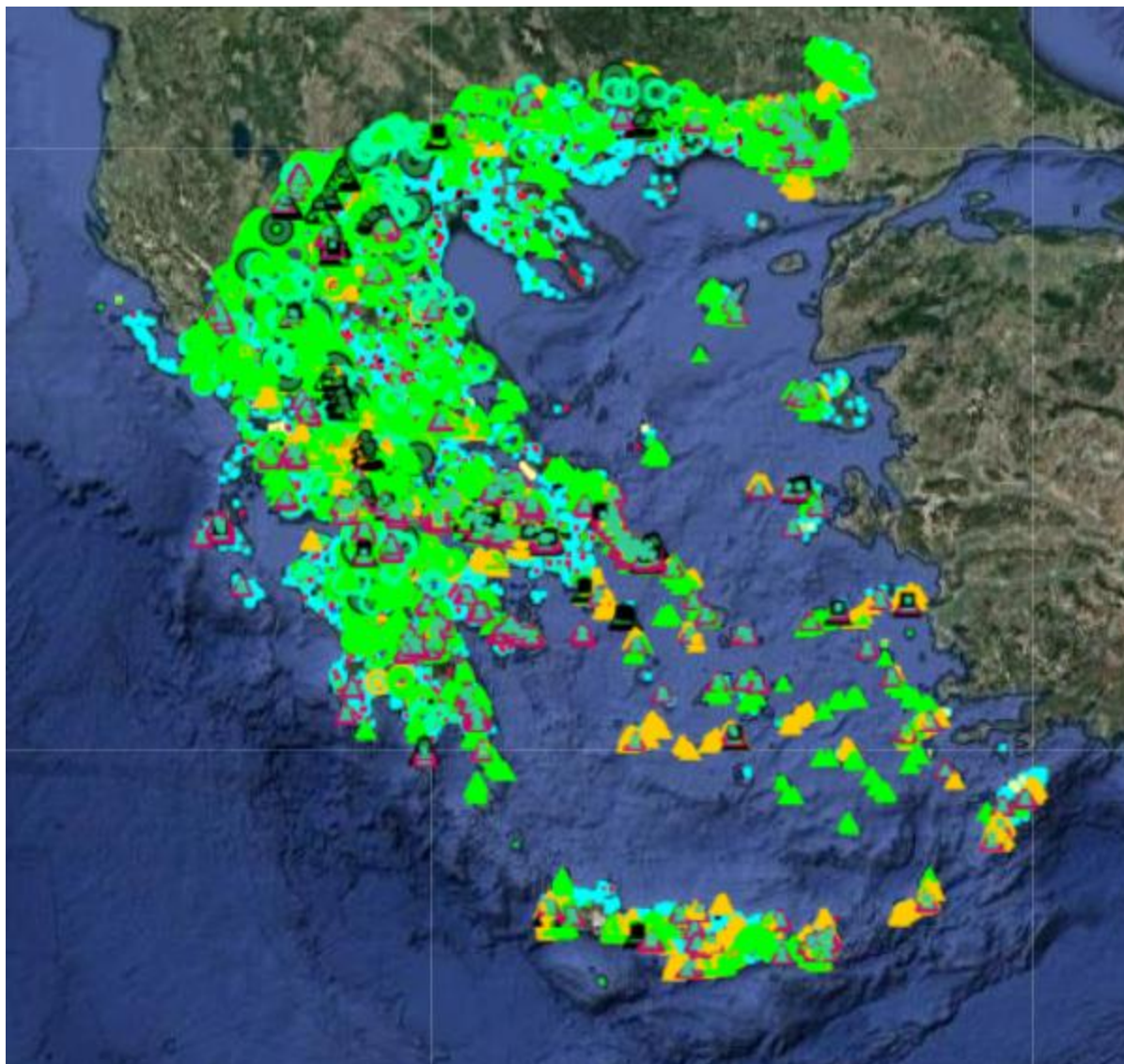
Πίνακας 2.4 : Εξέλιξη ηλεκτροπαραγωγής από μονάδες ΑΠΕ (Πηγή: Εφημερίδα της Κυβερνήσεως)

Ηλεκτροπαραγωγή [TWh]	2020	2022	2025	2027	2030
Βιομάζα & Βιοαέριο	0,4	0,5	0,8	1,0	1,6
Υ/Η	5,5	6,4	6,5	6,6	6,6
Αιολικά	7,3	10,1	12,6	14,4	17,2
Φ/Β	4,5	6,0	8,2	9,7	11,8
Ηλιοθερμικοί σταθμοί	0,0	0,0	0,3	0,3	0,3
Γεωθερμία	0,0	0,0	0,0	0,3	0,6
Σύνολο	17,7	23,0	28,4	32,2	38,1



Διάγραμμα 2.1 : Εξέλιξη εγκατεστημένης ισχύος ΑΠΕ κατά την περίοδο 2017 – 2030. (Πηγή: Εφημερίδα της Κυβερνήσεως)

Παρακάτω παρεμβάλεται η Εικόνα 2.1 όπου απεικονίζονται η υπάρχουσα κατάσταση των εγκαταστάσεων ΑΠΕ στην Ελλάδα. Με πράσινο χρώμα είναι οι σταθμοί που έχουν άδεια λειτουργία, με κίτρινο βρίσκονται σε αξιολόγηση, με σιέλ έχουν άδεια λειτουργίας και με κόκκινο έχουν απορριφθεί.



Εικόνα 2.1: Εγκατάσεις ΑΠΕ σε Ελλάδα (Πηγή: Γεωπληροφοριακός Χάρτης ,ΡΑΕ)

Συνοπτικά ορισμένα από τα βασικά πλεονεκτήματα των ΑΠΕ είναι τα εξής:

- Ανεξάντλητες πηγές ενέργειας: Βασικό πρόβλημα στη συμβατική παραγωγή ενέργειας είναι οι περιορισμένες πηγές ενέργειας των καυσίμων. Σε αντίθεση οι ΑΠΕ, χρησιμοποιούν φυσικές πηγές ενέργειας όπως το νερό, ήλιος, αέρας, συμβάλλοντας στον περιορισμό της εξάρτησης από τους εξαντλήσιμους συμβατικούς πόρους.
- Ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας: Παρέχοντας ενέργεια από φυσικούς πόρους προερχόμενους από το ίδιο το κράτος συμβάλλει στην ενεργειακή ανεξαρτησία από άλλα κράτη συνεισφέροντας ταυτόχρονα στην σταδιακή οικονομική ανάπτυξη.

- Κάλυψη τοπικών αναγκών: Οι ΑΠΕ μπορούν να σχεδιαστούν από την αρχή σύμφωνα με τις ανάγκες κάθε δικτύου ενισχύοντας την τοπική παραγωγή και μειώνοντας την ανάγκη για εκτεταμένα δίκτυα
- Επιλογή κατάλληλης μορφής ενέργειας: Έχοντας την δυνατότητα επιλογής σε ένα εύρος φυσικό πόρων, υπάρχει δυνατότητα επιλογής μορφής παραγωγής (αιολική, ηλιακή, υδροηλεκτρική) με την εκμετάλλευση του πλεονάσματος πόρου κάθε περιοχής καθώς και σχεδιασμού αυτών με βάση τις περιβαλλοντικές συνθήκες
- Χαμηλό λειτουργικό κόστος: Συγκριτικά με τους περισσότερους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής οι ΑΠΕ έχουν χαμηλότερα λειτουργικά κόστη
- Μικρή διάρκεια κατασκευής: Οι εγκαταστάσεις των ΑΠΕ είναι γρήγορες σε εφαρμογή επιτρέποντας την άμεση ανταπόκριση στα φορτία ζήτησης
- Αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος: Η γεωγραφική διάσπαρση των ΑΠΕ που αποτελεί πλεονάζων χαρακτηριστικό τους, μειώνει τις απώλειες μεταφοράς ενέργειας αυξάνοντας έτσι την αποδοτικότητα και εξυπηρετώντας τις ενεργειακές ανάγκες τοπικών και περιφερειακών περιοχών
- Ενίσχυση υποβαθμισμένων περιοχών: Λόγω της λειτουργικότητας τους ενισχύουν κατά πολύ το οικονομικό και κοινωνικό επίπεδο όλων των περιοχών, και των υποβαθμισμένων.
- Φιλικές προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο: Είναι φιλικές προς το περιβάλλον και η αξιοποίησή της λόγω αυτού τις εντάσσει πιο εύκολα στην κοινωνία

2.3 Μικροδίκτυα

Το μικροδίκτυο είναι ένα τοπικό ενεργειακό δίκτυο μικρής κλίμακας, που λειτουργεί αυτόνομα (dc) ή συνδέεται σε δίκτυα κοινής ωφέλειας (ac). Περιλαμβάνει τα στοιχεία που συναντώνται στα σύνθετα ενεργειακά δίκτυα, δηλαδή έχει τη δυνατότητα ελέγχου και διατηρεί την ισορροπία μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης. Επιπλέον, συνδυάζει μια πληθώρα πηγών ενέργειας, όπως φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, μονάδες συμπαραγωγής ηλεκτρισμού-θερμότητας (ΣΗΘ), μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς, σταθμούς βιομάζας και γεννήτριες diesel. Αυτό το καθιστά ιδανικό, για την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος σε απομακρυσμένες ή ανεπαρκώς αναπτυγμένες περιοχές που η σύνδεση με κεντρικό δίκτυο δεν είναι εφικτή. Μερικά από τα χαρακτηριστικά τους είναι τα εξής:

- Τοπικά δίκτυα: Η ενέργεια παράγεται κοντά στους καταναλωτές, διακρίνοντάς τα από τα μεγάλα κεντρικά δίκτυα. Με τον τρόπο αυτό, περιορίζονται οι απώλειες καθώς και το κόστος τους.
- Αυτόνομη λειτουργία: επιτρέπουν τον αδιάλειπτο εφοδιασμό των καταναλωτών με ηλεκτρική ενέργεια, ανεξάρτητα των καιρικών φαινομένων ή των βλαβών σε δίκτυα.
- Λειτουργία με ελεγκτή: Ο ελεγκτής διαχειρίζεται την λειτουργία των επιμέρους στοιχείων αυτού, καθιστώντας τα έξυπνα

Τα μικροδίκτυα, έχουν εισχωρήσει δυναμικά στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας εξαιτίας των συνδυασμών που μπορούν να εκτελέσουν, καθώς και λόγω των πλεονεκτημάτων που τα χαρακτηρίζονται κάποια από τα οποία είναι τα εξής:

- Αξιοπίστη και οικονομική ενέργεια: Τα μικροδίκτυα προσφέρουν καθαρή και αποδοτική ενέργεια καθιστώντας την αξιοπίστη, ενώ ταυτόχρονα το κόστος αυτής είναι χαμηλό
- Φιλικές ως προς το περιβάλλον: Οι εκπομπές θερμοκηπίου και σωματιδίων στα δίκτυα αυτά είναι αρκετά περιορισμένες, συμβάλλοντας στην περιβαλλοντική προστασία
- Συνδυασμός συμβατικής και διεσπαρμένης παραγωγής: Με την συμβολή προηγμένων συστημάτων ελέγχου συνδυάζουν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από κεντρικά δίκτυα με των ανανεώσιμων πηγών
- Βελτίωση ποιότητας τοπικού δικτύου: Συμβάλλουν στη λειτουργικότητα και τη σταθερότητα, δηλαδή την αξιοπιστία, των τοπικών δικτύων
- Μείωση συμφόρησης και φορτίων αιχμής: Μέσω της άμεσης ανταπόκρισής του στα φορτία ζήτησης συνεισφέρουν στην μείωση της συμφόρησης και των φορτίων αιχμής, βελτιώνοντας την απόδοση του δικτύου
- Βοηθητικές υπηρεσίες: Έχουν την ικανότητα παροχής βοηθητικών υπηρεσιών στα δίκτυο, όπως λειτουργία ως σύστημα αποθήκευσης
- Μείωση απωλειών και κόστους μεταφοράς: Η εγκατάστασή τους σε τοπικό δίκτυο μειώνει την απόσταση παραγωγής – κατανάλωσης μειώνοντας την απώλεια και το κόστος και ενισχύοντας την αξιοπιστία.
- Ενίσχυση τοπικών αγορών: Μέσω της αξιοποίησης των τοπικών ενεργειακών πόρων, ενισχύουν την βιωσιμότητα της ενεργειακής παραγωγής και την τοπική αγορά προωθώντας την τοπική οικονομία.

2.4 Έξυπνα Δίκτυα (Smart Grids)

Η έννοια του έξυπνου δικτύου, υιοθετήθηκε για την ενίσχυση των επιβαρυνόμενων λειτουργιών του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας με την βοήθεια αναπτυσσόμενων τεχνολογιών. Συνολικά μέσω διαφόρων ορισμών που έχουν δοθεί, από το Electric Power Research Institute (ERPI), το Γραφείο Μεταφοράς και διανομής Ενέργειας του Department Energy (DoE) των ΗΠΑ, την Ευρωπαϊκή Ένωση και το European Commission Task Force for Smart Grid , το έξυπνο δίκτυο ορίζεται ως ένα εξελιγμένο ηλεκτρικό δίκτυο, τα χαρακτηριστικά του οποίου είναι τα εξής:

- Επικοινωνία : αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ παραγωγού και καταναλωτή. Χαρακτηρίζεται από αξιοπιστία, ασφάλεια και αποδοτικότητα μέσω ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ κατανεμημένης παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας
- Ευελιξία καθώς μπορεί να ανταποκριθεί σε μελλοντικές απαιτήσεις της κοινωνίας σε ηλεκτρική ενέργεια
- Ευφυή συστήματα μέτρησης και παρακολούθησης της λειτουργίας
- Ενσωματώνει τη συμπεριφορά και τις δράσεις όλων των παραγόντων που βρίσκονται συνδεδεμένοι σε αυτό
- Είναι οικονομικά αποδοτικό και βιώσιμο σύστημα με χαμηλές απώλειες και υψηλής ποιότητας υπηρεσίες σε ένα ασφαλές και αξιόπιστο δίκτυο

Συνδυάζει τους έξυπνους μετρητές και τα συστήματα επικοινωνίας με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και πληροφοριακά συστήματα για τη συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων με σκοπό τη βέλτιστη λειτουργικότητά του.

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά που οφείλει να έχει το έξυπνο δίκτυο είναι:

- Αξιοπιστία και ευστάθεια : Είναι η ικανότητά του να εκτελεί τις απαιτούμενες λειτουργίες υπό δεδομένες συνθήκες για καθορισμένο χρονικό διάστημα. Επιπλέον, ερμηνεύει τη λειτουργική υγεία και το βαθμό μεταβλητότητας όλου του συστήματος παρουσιάζοντας τη κατάσταση υψηλής συνοχής, επαναληψιμότητας και φερεγγυότητας μετρήσεις και εκτιμήσεις. Το έξυπνο δίκτυο πρέπει να εγγυάται σταθερότητα της τάσης και του ρεύματος να περιορίζει τη ζήτηση αιχμής και τη μεταβλητότητα του φορτίου, με την εφαρμογή κατανεμημένης ηλεκτροπαραγωγής και αποθήκευση ενέργειας σε μεγάλες εκτάσεις και να αποκλείει διάφορα ανεπιθύμητα περιστατικά.

- **Μετρησιμότητα και ελεγχιμότητα :** Το έξυπνο δίκτυο εντοπίζει και διορθώνει λειτουργικές διαταραχές μέσω δυναμικών μετρήσεων και παρακολούθησες σε πραγματικό χρόνο. Παράλληλα, συλλέγονται δεδομένα, τα οποία στοχεύουν στην ανάλυση, διαχείριση, πρόβλεψη και αντίδραση στις διάφορες μεταβολές του δικτύου.
- **Ευελιξία και κλιμάκωση :** Με την κλιμάκωση εννοείται η λειτουργία της νησίδας του μικροδικτύου, να αποτελείται από πολλαπλά μικρά έξυπνα δίκτυα. Η ευελιξία επιτρέπει να παρέχει εναλλακτικές διαδρομές για τη ροή της ενέργειας και των δεδομένων, ενώ παρέχει επιλογές για να είναι εφικτός ο έλεγχος και η λειτουργία όποτε χρειάζεται.
- **Διαθεσιμότητα :** Ο βαθμός διαθεσιμότητας ενέργειας στα έξυπνα δίκτυα βασίζεται στη διαθεσιμότητα των δεδομένων που ανταλλάσσονται στο δίκτυο.
- **Ανθεκτικότητα :** Η ικανότητα του δικτύου να επαναπροσδιορίζεται και να ανακάμπτει από επιβλαβές συνθήκες. Η ανθεκτικότητα των έξυπνων δικτύων καθορίζει την αξιοπιστία του. Έχει την δυνατότητα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας με ασφάλεια και αξιοπιστία ανεξάρτητα των συνθηκών. Τα ευάλωτα στοιχεία του είναι οι γραμμές μεταφοράς και οι σταθμοί παραγωγής.
- **Δυνατότητα συντήρησης :** Η συντηρησιμότητα αντανακλά τη μακροβιότητα και τη αξιοπιστία του συστήματος. Αναδεικνύει την ικανότητα να εκτελεί αποτελεσματικά και αποδοτικά μια σειρά δράσεων συντήρησης, που είναι εύκολες οικονομικές και αποδοτικές.
- **Βιωσιμότητα :** Η άνοδος της ανησυχίας για το περιβάλλον αλλά και οι κίνδυνοι από τη ζήτηση αιχμής καθιστούν κρίσιμη απαίτηση για τη λειτουργία του έξυπνου δικτύου μεταφοράς τη βιωσιμότητα, η οποία παρουσιάζεται ως επάρκεια, αποδοτικότητα και φιλικότητα προς το περιβάλλον. Η αύξηση της ζήτησης για ηλεκτρική ενέργεια θα πρέπει να ικανοποιηθεί με την εφαρμογή προσιτών εναλλακτικών ενεργειακών πόρων, την αύξηση εξοικονόμησης ενέργειας μέσω της τεχνολογίας στη λειτουργία του συστήματος παροχής και μετριασμό της συμφόρησης δικτύου. Οι καινοτόμες τεχνολογίες που θα χρησιμοποιηθούν θα πρέπει να προκαλούν λιγότερη μόλυνση ή εκπομπές και να είναι ανεξαρτημένες από τον άνθρακα, λαμβάνοντας υπόψη τις περιβαλλοντικές και κλιματικές αλλαγές.

- Διαλειτουργικότητα : Η αποδοτικότητα και αποτελεσματικότητα της συνολικής επίδοσης του συστήματος θα εξαρτηθεί κατά κύριο λόγο από τη διαλειτουργικότητα που παρουσιάζει η υποδομή. Τα κατασκευαστικά στοιχεία του έξυπνου δικτύου προϋποθέτουν την ύπαρξη ενός συνόλου κοινών και διαλειτουργικών προτύπων για τη διασύνδεση τόσο της ενέργειας όσο και των επικοινωνιών. Αυτή η δυνατότητα απαιτείται κατά την ενσωμάτωση και σύγκλιση διαφόρων τεχνολογιών και πρωτοκόλλων επικοινωνιών, προκειμένου να γίνονται κατανοητά το ένα στο άλλο και να παρέχουν αδιάλειπτη μεταφορά ενέργειας και δεδομένων. Αδέξια αλληλεπίδραση και ενοποίηση μεταξύ των ποικιλόμορφων μερών θα επιβράδυνε το χρόνο απόκρισης και θα υποβάθμιζε τη λειτουργία του συνολικού συστήματος καθώς και την αποδοτικότητα.
- Ασφάλεια : Η έννοια της ασφάλειας απευθύνεται στις δυσλειτουργίες του συστήματος που οφείλονται σε ανθρώπινα αίτια, όπως εσκεμμένες επιθέσεις και μη εξουσιοδοτημένες τροποποιήσεις. Μια ασφαλής και σίγουρη συνδεσιμότητα μεταξύ προμηθευτών και καταναλωτών παρέχει προστασία για τις κρίσιμες εφαρμογές και τα δεδομένα αλλά και άμυνες ενάντια σε παραβιάσεις της ασφάλειας. Διάφορα υπάρχοντα μέτρα και εργαλεία ασφαλείας αποτελούν στοιχειώδεις απαιτήσεις για το έξυπνο δίκτυο, όπως τα συστήματα Firewall, τα συστήματα ανίχνευσης και αποτροπής εισβολών (IDS/IPS), τα εικονικά ιδιωτικά δίκτυα (virtual private network - VPN), τα εικονικά τοπικά δίκτυα (virtual local area network-VLAN) και ο έλεγχος πρόσβασης
- Βελτιστοποίηση : Η βελτιστοποίηση της λειτουργίας και των στοιχείων ενεργητικού του έξυπνου δικτύου είναι επιτακτική ανάγκη. Μπορεί να επιτευχθεί με τη βοήθεια των προηγμένων τεχνολογιών και των έξυπνων ηλεκτρικών συσκευών (Intelligent electronic devices - IEDs), καθώς και με ευφυή διαχείριση και αυτοματισμό, εξισορροπώντας ταυτόχρονα μια ποικιλομορφία μεταβλητών και tradeoffs. Το έξυπνο δίκτυο καλείται να βελτιστοποιηθεί σύμφωνα με όρους
 - α) αξιοπιστίας της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας,
 - β) αποδοτικότητας μετατροπής και χρήσης της ενέργειας,
 - γ) ποιότητας παραγωγής και διανομής ενέργειας,
 - δ) διαθεσιμότητας για τη μεταφορά ενέργειας και δεδομένων,
 - ε) αποτελεσματικότητας και ακρίβειας των δεδομένων και των επικοινωνιών,

- στ) χρονικής απόκρισης και διαχείρισης σφαλμάτων,
- ζ) οικονομικό κέρδος.

- Ψηφιοποίηση : Η παρακολούθηση και η διαχείριση του έξυπνου δικτύου γίνεται μέσω ψηφιακής πλατφόρμας. Μέσω αυτής, ο εκάστοτε χρήστης της εφαρμογής μπορεί να ενημερώνεται άμεσα για τη λειτουργικότητα του συστήματος και για πιθανά σφάλματα.

2.5 Χαρακτηριστικά Ηλεκτρικού Δικτύου Συμβατικής και Κατανεμημένης Παραγωγής

Σύμφωνα με την Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας της 18^η Οκτωβρίου του 2016 ορίζονται τα εξής:

A. Η ονομαστική τάση διακρίνεται σε τρία επίπεδα τα οποία είναι : η χαμηλή , η μέση και η υψηλή. Οι ονομαστικές τιμές ενεργού τιμής είναι μικρότερη του 1kV , μεταξύ 1kV και 36kV και μεγαλύτερη των 36kV αντίστοιχα. Χαρακτηρίζεται από εναλλασσόμενη και ημιτονοειδής μορφή και η ποιότητά της καθορίζεται από το πρότυπο EN50160 , που αναλύεται σε επόμενη ενότητα του κεφαλαίου.

B. Η συχνότητα δικτύου είναι ενιαία και ίση με τη συχνότητα λειτουργίας του συστήματος, για ολόκληρο το διασυνδεδεμένο δίκτυο. Η ονομαστικής της είμαι είναι 50Hz και τα όριά της εξαρτώνται από τους εκάστοτε κανονισμούς του κάθε δικτύου (διασυνδεδεμένων δικτύου και μη διασυνδεδεμένων νησιά). Για την Ελλάδα τα όριά της είναι τα εξής:

- 50Hz σε διασυνδεδεμένο δίκτυο με απόκλιση +/-4% , δηλαδή 47 – 52Hz κατά τη διάρκεια μίας εβδομάδας και

- 50Hz σε μη διασυνδεδεμένο δίκτυο με απόκλιση +/-15%, δηλαδή 42,5 – 57,5Hz κατά τη διάρκεια μίας εβδομάδας

Γ. Η ισχύς βραχυκυκλώσεως εξαρτάται από τα μέγιστα επίπεδα έντασης, κάθε επιπέδου τάσης, τον και τον τρόπο κατασκευής στο δίκτυο χαμηλής τάσης. Αναλυτικά τα διάφορα όρια είναι τα εξής:

Δίκτυο Χαμηλής Τάσης: 25 – 30kA υπόγεια και 15 – 25kA εναέρια.

Δίκτυο Μέσης Τάσης: 7,2kA στα 20kV και 9,5kA στα 15kV.

Δίκτυο Χαμηλής Τάσης: 31kA.

Σε απομακρυσμένα σημεία δικτύου η ένταση βραχυκυκλώσεως παρουσιάζεται σημαντικά μικρότερη από τα προαναφερόμενα μεγέθη.

Δ. Η ποιότητα ισχύος, χαρακτηρίζεται ως καλή ή κακή, ανάλογα τα σφάλματα και την λειτουργία των συσκευών του καταναλωτή. Τα όρια του καθορίζονται από το πρότυπο EN50160, το οποίο αναφέρεται σε επόμενη ενότητα του κεφάλαιο.

Ε. Η συνέχεια τροφοδότησης προσδιορίζεται από τη συχνότητα και τη διάρκεια των διακοπών τροφοδότησης. Στις καταστάσεις αυτές το όριο δικτύου – χρήστη ορίζει τη τάση να είναι μικρότερη από το 5% της ονομαστικής της. Τα όριά αυτής και της ποιότητας ισχύος, καθορίζονται από την Ρύθμιση Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας.

ΣΤ. Τα όρια Ποιότητας Ενέργειας αναφέρονται στη όρια τάσης δικτύου Χρηστών. Είναι ενιαία για ολόκληρο το Δίκτυο, ή για διάφορες ομάδες χρηστών.

Ζ. Η παροχή τάσης για το δημόσιο δίκτυο διακρίνεται στο τριφασικό δίκτυο με τρεις και τέσσερες γραμμές. Στην πρώτη περίπτωση είναι 230V μεταξύ των φάσεων και στην δεύτερη ίδια τιμή μεταξύ κάθε φάσης και ουδετέρου.

2.6 Πρότυπο EN50160

Το ευρωπαϊκό πρότυπο EN50160, εκδόθηκε το Νοέμβριο 1994 από την CENELEC, και προσδιορίζει την τα χαρακτηριστικά χαμηλής και μέσης τάσης που πρέπει να παρέχεται από τα δημόσια δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας. Επικεντρώνεται στη ποιότητα ενέργειας των δικτύων, αγνοώντας: καιρικές συνθήκες, εξωγενείς παράγοντες, βιομηχανικές ενέργειες, εμπλοκή τρίτων προσώπων και δημόσιων αρχών. Ορίζοντας διάφορους απαραίτητους ορισμούς, αναφέρεται στα χαρακτηριστικά της ποιότητας ισχύος, τα οποία διακρίνονται σε μετρήσιμα και σε αυτά που ορίζονται ενδεικτικά, με περιγραφικές τιμές. Επιπλέον, το πρότυπό αυτό ορίζει τα όρια τιμών κάθε χαρακτηριστικού για την παροχή αξιόπιστης ποιότητας ενέργειας.

2.7 Προβλήματα δικτύου συμβατικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Θεμελιώδη παράμετρος για την ορθή λειτουργία και αξιοπιστία του ηλεκτρικού δικτύου παραγωγής ενέργειας είναι η ποιότητα ισχύος. Η παράμετρος αυτή αναδεικνύει τα χαρακτηριστικά της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται κατά τη διάρκεια λειτουργίας του συστήματος. Συνδέεται άρρηκτα με την τάση, την ένταση και τη συχνότητα λειτουργίας και εμφανίζει πρόβλημα όταν υπάρχουν διαταραχές στα τρία αυτά στοιχεία, δηλαδή αποκλίσεις από τις ονομαστικές τους τιμές. Υπάρχουν δύο περιπτώσεις αποκλίσεων οι μικρές και οι μεγάλες:

Στις μικρές αποκλίσεις ανήκουν:

Φαινόμενα μόνιμης κατάστασης: Τα φαινόμενα αφορούν μικρές αποκλίσεις των ηλεκτρικών παραμέτρων από την ονομαστική τους τιμή. Προκαλούνται κυρίως από μικρές εναλλαγές του φορτίου, ανισορροπίες στις φάσεις του δικτύου ή εξωτερικές παρεμβολές. Η διάρκειά τους είναι μακράς διάρκειας, αλλά δεν επιβαρύνουν σημαντικά το σύστημα.

Αρμονικές τάσης – ρεύματος: Αφορούν τη ύπαρξη επιπλέον συχνοτήτων στο σύστημα, οι οποίες προέρχονται από ηλεκτρονικές συσκευές. Κύρια επίπτωσή τους είναι η επιβαρυνμένη απόδοση του συστήματος και οι παραμορφώσεις στις κυματομορφές της τάσεως και του ρεύματος.

Ασυμμετρίες: Χαρακτηρίζεται από ανισορροπία στις φάσεις του δικτύου και προκύπτει από ανισότητες φορτίου και προβλήματα εξοπλισμού με αποτέλεσμα την άνιση κατανομή ενέργειας.

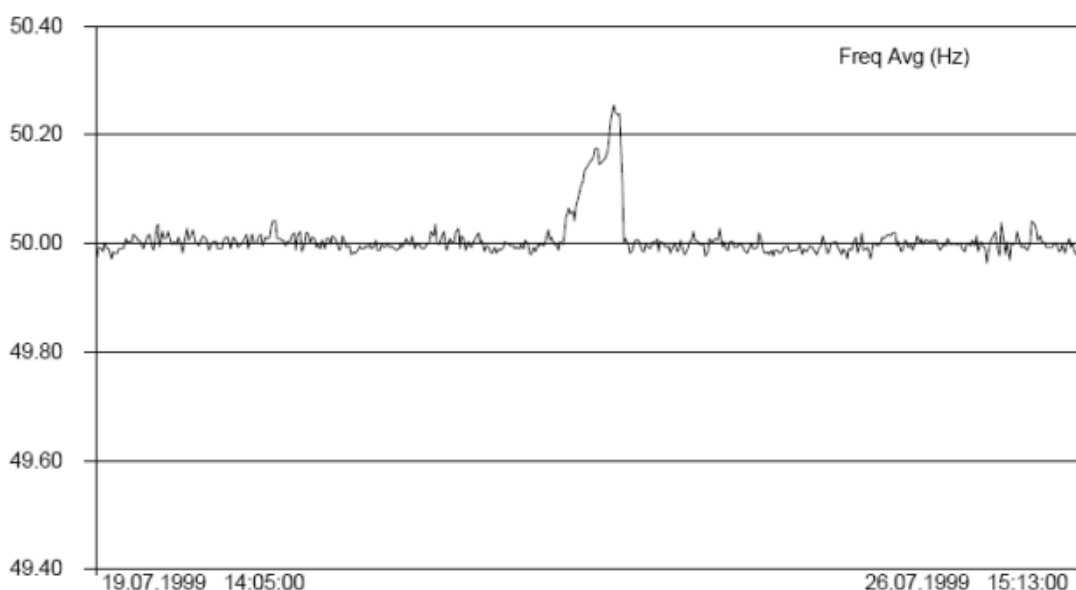
Στις μεγάλες αποκλίσεις ανήκουν:

Σφάλματα και διακοπτικές λειτουργίες: Πρόκειται για αποκλίσεις που οδηγούν σε μη λειτουργική συμπεριφορά του δικτύου, όπου συμπεριλαμβάνονται βραχυκυκλώματα ή υπερφορτώσεις προκαλώντας τμηματική διακοπή ενέργειας του δικτύου

Υπερτάσεις και βυθίσεις τάσης: Χαρακτηρίζονται από απότομη αύξηση και μείωση τάσης αντίστοιχα, από απότομες αλλαγές φορτίου επιφέροντας μόνιμες βλάβες στον εξοπλισμό.

Παρακάτω αναλύονται τα χαρακτηριστικά αυτά.

Διαταραχές Συχνότητας

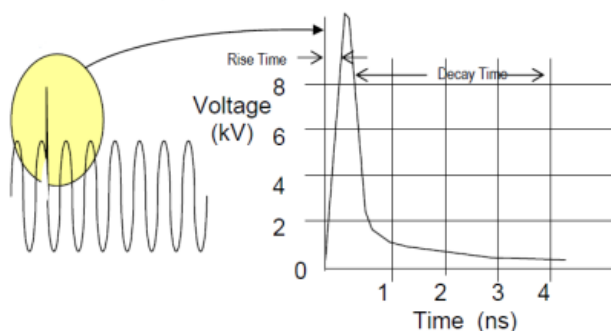


Εικόνα 2.2: Απεικόνιση διαταραχής συχνότητας σε δίκτυο

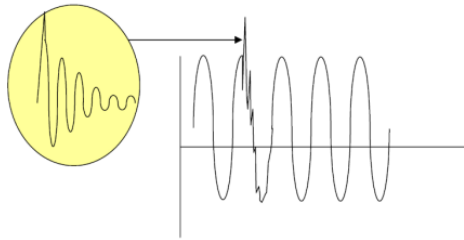
Η συχνότητα τροφοδοσίας αποτελεί σημαντική παράμετρος της ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς συμβάλλει σημαντικά στην αξιοπιστία του. Αποτελεί τη συχνότητα των ταλαντώσεων του εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο και η ονομαστική της τιμή ορίζεται στα 50Hz, στην Αμερική τυπικά 60 Hz. Σε περιπτώσεις όπου το δίκτυο χαρακτηρίζεται από ανισορροπία μεταξύ ζήτησης και παραγωγής, όπου αλλάζει η περιστροφική ταχύτητα των γεννητριών παρατηρούνται διαταραχές στη συχνότητα, με διακυμάνσεις της τάξης του 1 τοις εκατό εξαρτώμενες από το μέγεθος του συστήματος. Οι επιπτώσεις παραμένουν περιορισμένες, έως και αμελητέες με κυριότερες να εμφανίζονται στα απομονωμένα συστήματα.

Υπερτάσεις

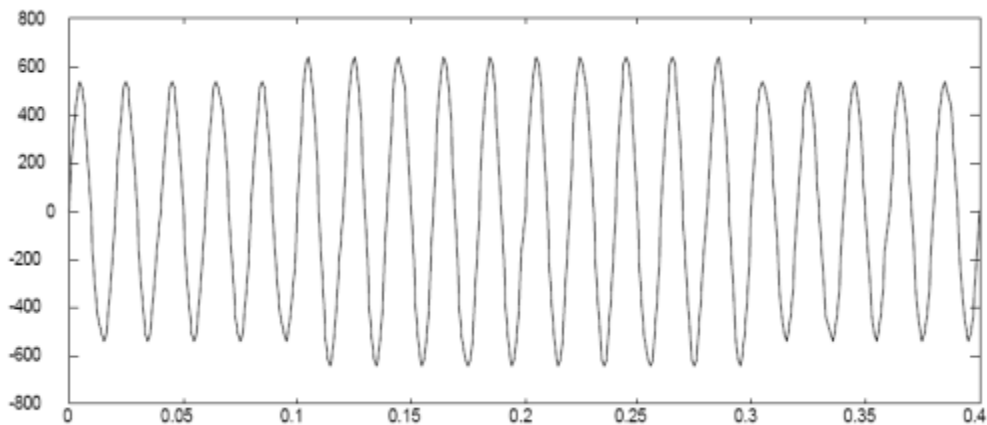
Υπέρταση ορίζεται η απότομη ανύψωση της τιμής τάσεως κατά 110% της ονομαστικής της, εξαιτίας εξωγενών παραγόντων. Πιο συγκεκριμένα, προκαλούνται κυρίως από κεραυνικά πλήγματα και παρασιτικές μεταβολές είτε από τον λανθασμένο χειρισμό ζεύξεων και αποζεύξεων. Ανάλογα τη χρονική τους διάρκεια, διακρίνονται σε δύο κατηγορίες τις μεταβατικές και παροδικές υπερτάσεις. Οι μεταβατικές υπερτάσεις χαρακτηρίζονται από βραχεία διάρκεια, κλίμακας microseconds έως milliseconds και διακρίνονται σε κρουστικές και με αποσβεννύμενη ταλάντωση. Η διαφορά των δύο αυτών κατηγοριών είναι στο ότι στις κρουστικές δεν παρατηρείται αλλαγή στη συχνότητα. Εξαιτίας αυτών προκαλείται σταδιακή διάλυση της μόνωσης του εξοπλισμού, διακοπές στη συσκευή, οικονομικές απώλειες είτε και απώλειες παραγωγής. Οι παροδικές τάσεις, διαρκούν σύντομο χρονικό διάστημα, μεγαλύτερο από τις μεταβατικές. Η ύπαρξή τους αποδίδεται σε μονοφασικά σφάλματα, ανάστροφη διάσπαση, αποσύνδεση μεγάλου φορτίου από δίκτυο ή σύνδεση μεγάλων σε χωρητικότητα πυκνωτών με σοβαρές επιπτώσεις στα δίκτυα.



Εικόνα 2.3: Τυπική μορφή κρουστικής υπέρτασης



Εικόνα 2.4: Τυπική μορφή υπέρτασης με αποσβεννύμενη ταλάντωση



Εικόνα 2.5: Γραφική αναπαράσταση παροδικής υπέρτασης

Χειρισμός ζεύξεων και αποζεύξεων του δικτύου

Όπως ήδη αναφέρθηκε, μια από τις κύριες αιτίες της εμφάνισης των υπερτάσεων είναι ο χειρισμός ζεύξης και αποζεύξης στα δίκτυα διανομής. Οι χειρισμοί αυτοί αναφέρονται σε συστοιχίες πυκνωτών, αυτόματους διακόπτες για εκκαθάριση σφαλμάτων είτε γραμμών διανομής σε περίπτωση συντήρησης ή ανακατασκευής. Οι υπερτάσεις προκαλούνται κατά τη διάρκεια ενεργοποίησης είτε αποσύνδεσης του πυκνωτή από το δίκτυο, καθώς η τάση δεν μπορεί να αλλάξει ακαριαία επομένως ανακάμπεται η τάση για μισό κύκλο ή περισσότερο.

Διακυμάνσεις τάσεις και flicker

Με την διακύμανση της τάσεως, εννοούμε την γρήγορη μεταβολή του μεγέθους της, και έχει ως αποτέλεσμα το τρεμόπαιγμα. Παρατηρείται κυρίως σε λάμπες, όπου η

συχνότητα κυμαίνεται από 1Hz έως 10Hz λόγω της μεταβολής της τάσης, και φαίνεται στο ανθρώπινο μάτι ως τρεμόπαιγμα. Οι διακυμάνσεις τάσης, επηρεάζουν τη ροή ισχύος του εξοπλισμού, καθώς και την απόδοσή τους. Σπάνια έχουν αντίκτυπο στο φορτίο, με εξαίρεση του φωτισμού. Προκαλείται κυρίως από τα εξής :

- Εξοπλισμός ή συσκευές που παρουσιάζουν συνεχείς γρήγορες διακυμάνσεις σε ρεύματα φορτίου
- Ηλεκτρικοί κλίβανοι. Είναι η πιο κοινή πηγή διακυμάνσεων τάσης στο σύστημα μεταφοράς και διανομής.
- Στατικοί μετατροπείς συχνότητας
- Κυκλομετατροπείς
- Ηλεκτροσυγκολλητές
- Μηχανισμοί κινητήρων με κυκλική λειτουργία
- Μεγάλες μηχανές (κατά την εκκίνηση) κ.α.

Για την αντιμετώπιση του φαινομένου αυτού, πρέπει κυρίως να αντιμετωπιστεί η διακύμανση της άεργου και ενεργού ισχύος, δηλαδή το πρόβλημα της απότομης κατανάλωσης. Προτεινόμενοι τρόποι για το περιορισμό του φαινομένου είναι οι εξής :

- Έλεγχος της ισχύος εισόδου στο τόξο
- Ενίσχυση δικτύου
- Ρυθμιστές του επιπέδου ισχύος
- Σειριακοί πυκνωτές

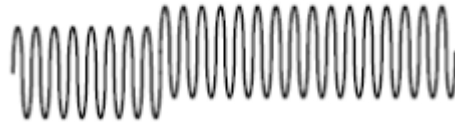
Παραμόρφωση Κυματομορφής

Με τον όρο παραμόρφωση σε μια κυματομορφή εννοούμε την απόκλιση από το ημιτονοειδές σχήμα που υπάρχει στην ιδανική μόνιμη κατάσταση. Κύριο χαρακτηριστικό είναι το φασματικό περιεχόμενο και διακρίνεται στους παρακάτω τύπους παραμόρφωσης:

1. Παρουσία συνεχούς τάσης

Το εναλλασσόμενο σύστημα διανομής ιδανικά χαρακτηρίζεται από το εκάστοτε εναλλασσόμενο ρεύμα. Ωστόσο σε ορισμένες περιπτώσεις συναντάται συνεχές ρεύμα και η ύπαρξή του οφείλεται σε βλάβη κατά τη μετατροπή της συνεχής σε εναλλασσόμενη τάση. Το ρεύμα αυτό καθίσταται ανεπιθύμητο καθώς επιβαρύνει

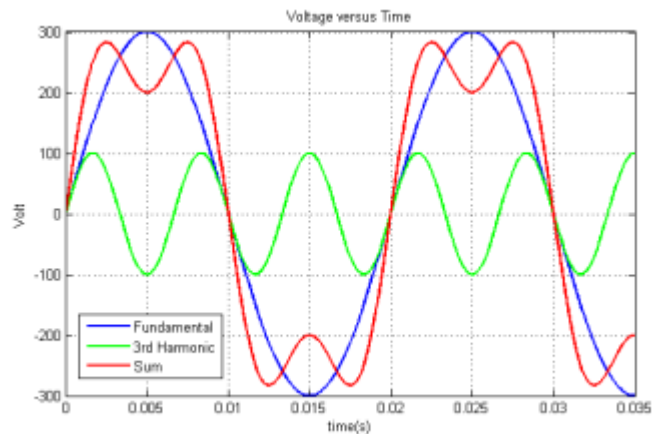
το σύστημα προκαλώντας κορεσμό σε μετασχηματιστή, δυσλειτουργία στον εξοπλισμό και αλλοίωση της κυματομορφής, επιβαρύνοντας έτσι την σταθερότητα του συστήματος. Η κατάσταση αυτή, επηρεάζει τελικά την αξιοπιστία του συστήματος, βασικό χαρακτηριστικό των συστημάτων.



Εικόνα 2.6: Παρουσία Συνεχούς Τάσης DC Offset (Πηγή: Μαρία – Ευσταθία Τσιούρβα, Αρμονικές και Ποιότητας Ισχύος)

2. Αρμονική παραμόρφωση

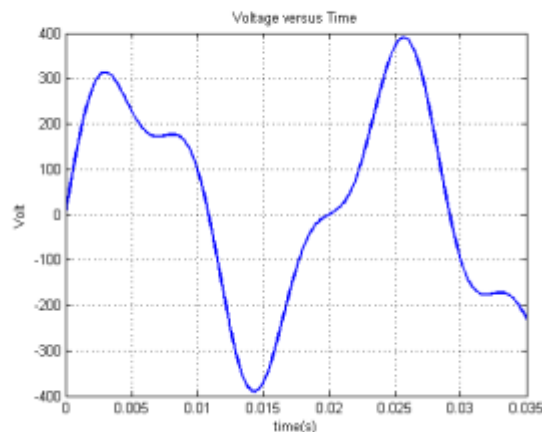
Η αρμονική παραμόρφωση προκαλείται από ημιτονοειδής τάσης και ρεύματα. Οι συχνότητες της τάσεως και του ρεύματος σε αυτήν την περίπτωση, είναι ακέραια πολλαπλάσια της ονομαστικής συχνότητας, δηλαδή των 50Hz και 60Hz για την Αμερική. Η αποτύπωσή τους γίνεται με τη χρήση παλμογράφου, όπου οι παραμορφωμένες κυματομορφές μπορούν να αναλυθούν στις θεμελιώδεις και στις αρμονικές συνιστώσες. Συνήθως προκαλείται από τη μη γραμμική συμπεριφορά συνδεδεμένων συσκευών και φορτίων του συστήματος. Οι επιπτώσεις των αρμονικών είναι αρκετά επιβλαβείς στο δίκτυο προκαλώντας διακοπές, οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν στη καταστροφή του εξοπλισμού είτε και σε σωματική βλάβη των ανθρώπινων οργανισμών.



Εικόνα 2.7: Θεμελιώδη Συχνότητα και Τρίτη Αρμονική (Πηγή: Μαρία – Ευσταθία Τσιούρβα, Αρμονικές και Ποιότητας Ισχύος)

3. Ενδιάμεσες αρμονικές

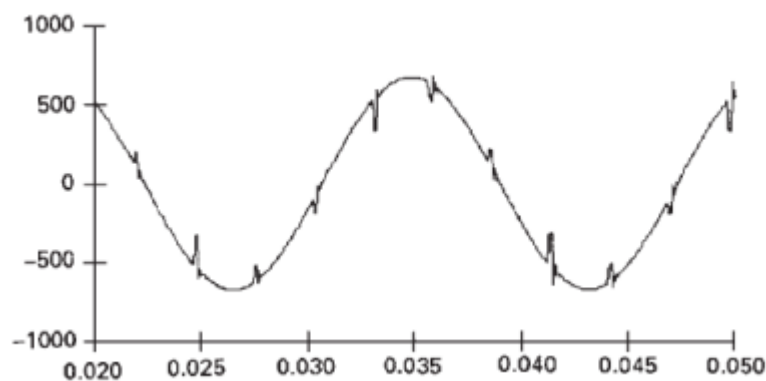
Οι ενδιάμεσες αρμονικές διαφέρουν με τις αρμονικές στο ότι δεν είναι ακέραια πολλαπλάσια της ονομαστικής συχνότητας. Διακρίνονται από την εμφάνιση διακριτών συχνοτήτων ή φασμάτων ευρείας ζώνης. Οι κυριότερες πηγές είναι οι στατικοί μετατροπείς συχνότητας, οι επαγωγικοί κλίβανοι και οι φούρνοι ηλεκτρικών τόξων. Σημαντική επίπτωση αυτών, αποτελεί το flicker στις οθόνες των υπολογιστών και στις λάμπες πυρακτώσεως. Η εμφάνισή τους επιβαρύνει τη θερμοκρασία του εξοπλισμού σε υψηλά επίπεδα, ενώ δημιουργεί παρεμβολές στην επικοινωνία.



Εικόνα 2.8: Ενδιάμεσες Αρμονικές (Πηγή: Μαρία – Ευσταθία Τσιούρβα, Αρμονικές και Ποιότητας Ισχύος)

4. Notching

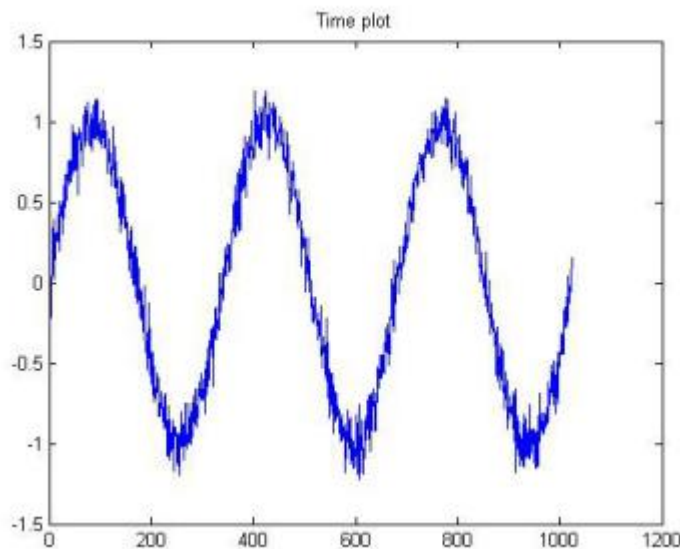
Μια ακόμη υποκατηγορία παραμόρφωσης κυματομορφής είναι οι εκπομπές notching, οι οποίες αφορούν την περιοδική διαταραχή της τάσης. Κύρια αίτια της εμφάνισής του είναι που η μεταγωγή του ρεύματος σε άλλη φάση, εμφανίζοντας αρκετά υψηλής συχνότητας. Η ύπαρξή τους επιβαρύνει τη μόνωση μετασχηματιστών και γεννητριών και σε αυξημένης ευαισθησίας τον εξοπλισμό μετρήσεων.



Εικόνα 2.9: Notching(Πηγή: Μαρία – Ευσταθία Τσιούρβα, Αρμονικές και Ποιότητας Ισχύος)

5. Θόρυβος

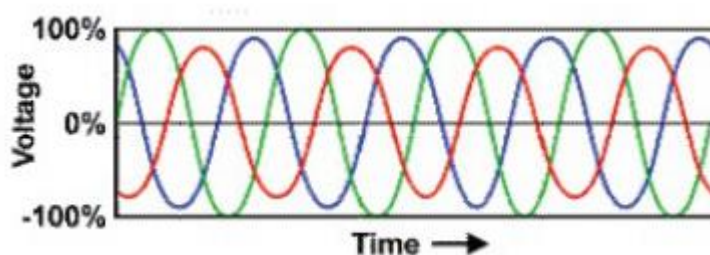
Ο θόρυβος στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, αφορά τα ανεπιθύμητα ηλεκτρικά σήματα με ευρυζωνικό φασματικό περιεχόμενο μικρότερο από 200kHz, τα οποία εμφανίζονται στην τάση ή το ρεύμα του συστήματος. Κύρια αίτια πρόκλησής του είναι τα ηλεκτρονικά ισχύος, κυκλώματα ελέγχου, εξοπλισμού ηλεκτρικού τόξου. Το πρόβλημα επιδεινώνεται σε περίπτωση ακατάλληλης γείωσης, καθώς αποτυγχάνετε η απομόνωσή του από το ηλεκτρικό σύστημα. Ο θόρυβος επηρεάζει κυρίως μικροϋπολογιστές και προγραμματιζόμενους ελεγκτές.



Εικόνα 2.10 : Θόρυβος (Πηγή: Μαρία – Ευσταθία Τσιούρβα, Αρμονικές και Ποιότητας Ισχύος)

6. Ασυμμετρία τάσης

Σε ένα λειτουργικό ιδανικό σύστημα οι φασικές τάσεις των τριών γραμμών είναι ίσες σε μέτρο και έχουν διαφορά φάση μεταξύ τους 120 μοίρες, ενώ σε περίπτωση που υπάρχει απόκλιση από τις μοίρες αυτές υπάρχει ασυμμετρία. Ασυμμετρία τάσης ορίζεται ως ο λόγος της συνιστώσας αρνητικής ή μηδενικής ακολουθίας προς τη συνιστώσα θετικής ακολουθίας της τάσης. Ασυμμετρία μπορεί να υπάρχει και στο ρεύμα όταν δεν είναι κατάλληλα κατανεμημένο στις τρεις φάσεις του δικτύου. Η κατάσταση ασυμμετρίας, προκαλεί κυρίως βλάβη σε τριφασικούς κινητήρες, λόγω θερμότητας στα τυλίγματα του κινητήρα με ρεύμα, η οποία αποδομεί τη μόνωση του κινητήρα, έχοντας καταστροφικές συνέπειες.



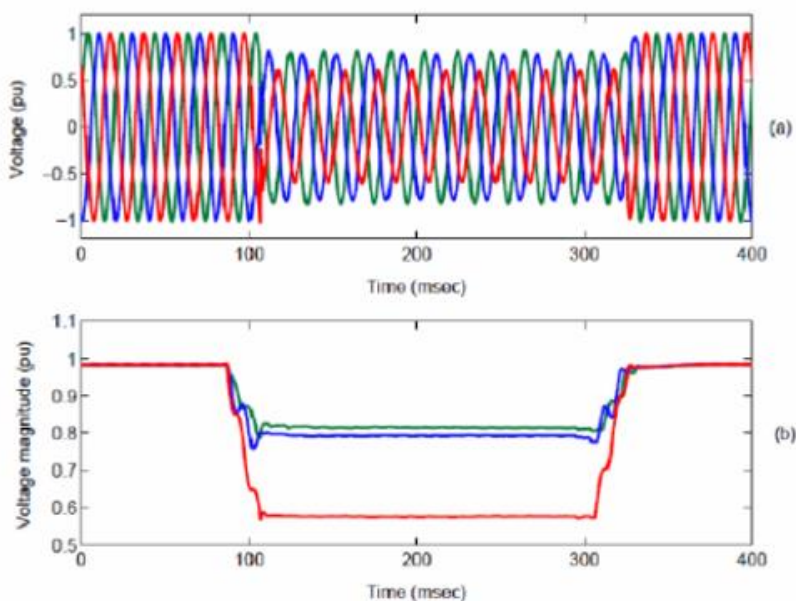
Εικόνα 2.11 : Ασυμμετρία Τάσης (Πηγή: Μαρία – Ευσταθία Τσιούρβα, Αρμονικές και Ποιότητας Ισχύος)

Διακοπές Τάσης

Ως διακοπή της τάσης ορίζεται η πτώση της ενεργού τιμής της κάτω από μια ορισμένη τιμή. Η τιμή αυτή είναι της τάξεως 1% , 5% ή 10% της ονομαστικής της. Εμφανίζεται κυρίως από σφάλματα του συστήματος ισχύος σε βλάβες του εξοπλισμού, που ενεργοποιούν τις διακοπτικές διατάξεις ή σε δυσλειτουργία των συστημάτων ελέγχου και η διάρκειά τους εξαρτάται από τον χρόνο λειτουργίας των συσκευών προστασίας του συστήματος.

Βυθίσεις Τάσης

Η βύθιση τάσης ορίζεται ως η παροδική μείωση της παρεχόμενης τάσης σε μια ορισμένη κατώτατη τιμή σε χρονικό διάστημα που δεν ξεπερνά το ένα λεπτό. Προκαλούνται κυρίως από σφάλματα δικτύου ή ρεύματα υψηλής τάξεως. Η βύθιση τάσης θεωρείται ανεπιθύμητη καθώς οδηγεί σε μείωσης ενέργειας που μεταφέρεται επηρεάζοντας με τον τρόπο αυτό την ποιότητα ισχύος.



Εικόνα 2.12 : Μέτρηση βύθισης τάσης (a) Κυματομορφές Τάσης, (b) Η ενεργός τιμή της τάσης για κάθε φάση (Πηγή: Μαρία – Ευσταθία Τσιούρβα, Αρμονικές και Ποιότητας Ισχύος)

Παρατεταμένες διακοπές τάσης

Παρατεταμένη διακοπή ορίζεται ως η διατήρηση της μηδενικής τιμής τάσης για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο του ενός λεπτού. Σε περίπτωση που το διάστημα αυτό ξεπεραστεί ή διακοπεί, πλέον θεωρείται μόνιμη και χρειάζεται ανθρώπινη παρέμβαση για την αποκατάσταση του συστήματος. Οι παρατεταμένες διακοπές τάσης είναι το σοβαρότερο και παλιότερο πρόβλημα ποιότητα ισχύος. Επηρεάζουν την ποιότητα ισχύος και καθορίζουν την ικανότητα του συστήματος να ανταπεξέλθει στη ζήτηση των καταναλωτών.

2.8 Προβλήματα δικτύου κατανεμημένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Η διεσπαρμένη παραγωγή ενέργεια αντιμετωπίζει αντίστοιχες δυσκολίες με τη συμβατική με κάποιες επιπλέον. Κύριο χαρακτηριστικό τους αποτελεί η παραγωγή ενέργειας από φυσικούς πόρους δηλαδή τον αέρα, τον ήλιο κ.α. και η εξάρτησή τους αποκλειστικά από αυτές. Επιπλέον ζήτημα στις ΑΠΕ λοιπόν, αποτελούν τα χρονικά διαστήματα που οι πηγές αυτές δεν είναι διαθέσιμες. Η κατάσταση αυτή προκαλεί συχνές διακοπές του δικτύου, ενώ πολλές φορές οι εγκαταστάσεις αδυνατούν να ικανοποιήσουν την ζήτηση φορτίου. Επομένως εκτός από τα προβλήματα που αναλύθηκαν στην προηγούμενη ενότητα προστίθενται και οι παρατεταμένες διακοπές.

Παρατεταμένες διακοπές

Σημαντικό χαρακτηριστικό του συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι η αξιοπιστία καθώς και η αδιάλειπτη παροχή προς τους καταναλωτές. Εξαιτίας της φύσεως της εγκατάστασης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αυτό αποτελεί πρόβλημα καθώς όπως έχει ήδη αναφερθεί η παραγωγή εξαρτάται από τους φυσικούς πόρους. Πολλές φορές αλλά και σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα ημερήσια αδυνατούν να προσφέρουν την ενέργεια αυτή δημιουργώντας σοβαρές επιπτώσεις στις δύο αυτές σημαντικές αξίες των συστημάτων παραγωγής.

3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : Αποθήκευση Ενέργειας

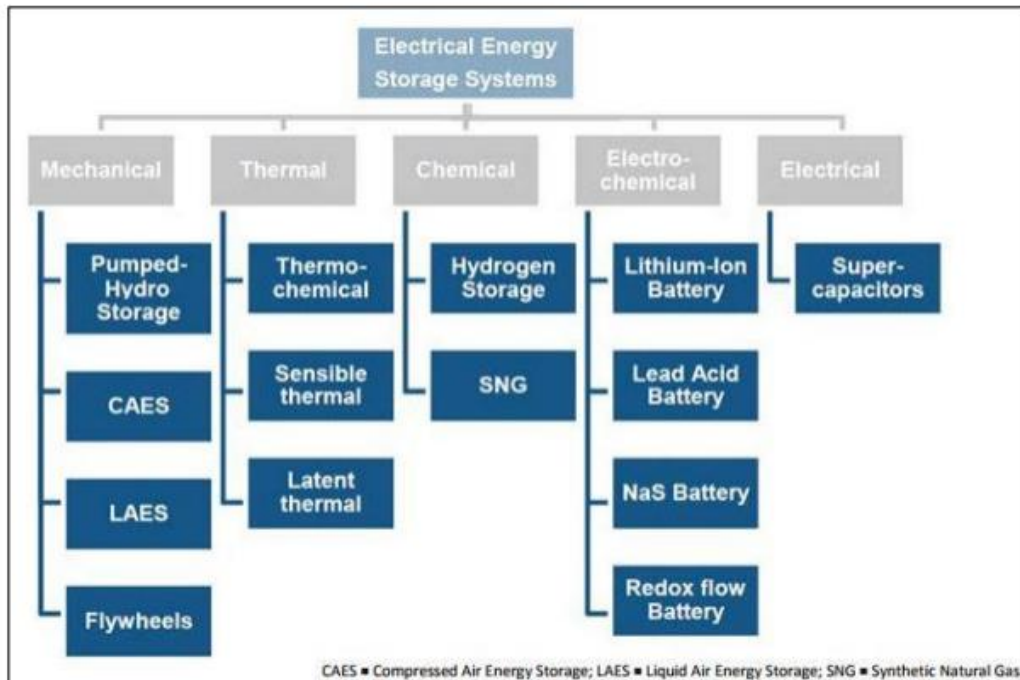
Σύμφωνα με την ανάλυση που έγινε στο προηγούμενο κεφάλαιο, συμβατική και διεσπαρμένη παραγωγή ενέργειας αντιμετωπίζουν σοβαρά προβλήματα, τα οποία χρήζουν άμεσης επίλυσης. Για την αντιμετώπιση των εν λόγω τεχνικών θεμάτων, η σύνδεση συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας στα δίκτυα. Ιδιαίτερη αύξηση των μονάδων αποθήκευσης παρατηρήθηκε, με τη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, καθώς όπως έχει ήδη αναφερθεί η αποθήκευση είναι απαραίτητη για την ορθή λειτουργία τους.

Μονάδα αποθήκευσης σε ένα σύστημα παραγωγής ενέργειας, είναι οποιαδήποτε εγκατάσταση, η οποία δύναται να αποθηκεύει ενέργεια, που παράγεται στο κυρίως ενεργειακό σύστημα, και να την αποδίδει στο σύστημα όποτε είναι απαραίτητο. Υπάρχουν διάφορες μορφές αποθήκευσης, οι οποίες ανήκουν είτε σε τεχνολογίες βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης, μεσοπρόθεσμης είτε μακροπρόθεσμης. Οι διατάξεις βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης, μπορούν να αποθηκεύσουν ενέργεια για λίγα δευτερόλεπτα, ως μερικά λεπτά, της μεσοπρόθεσμης για μερικά λεπτά ως ώρες και της μακροπρόθεσμης για αρκετές ώρες ως βδομάδες. Για την σύνδεση στο δίκτυο, χρησιμοποιούνται κυρίως μακροπρόθεσμης ή μεσοπρόθεσμης αποθήκευσης, οι οποίες προσφέρουν και ενίσχυση της παροχής στρεφόμενης εφεδρείας, διαχείριση παραγόμενης ισχύος, εξομάλυνση ζήτησης και πολλά άλλα οφέλη που αναλύονται σε επόμενα κεφάλαια.

Επιπλέον, σύμφωνα με τις εφαρμογές που χρησιμοποιούνται διακρίνονται σε χαμηλής και μέσης ισχύος μέγιστης ζήτησης σε αποκεντρωμένα δίκτυα και ποιοτικού ελέγχου ισχύος. Οι πρώτες δύο κατηγορίες αφορούν συστήματα μικρής κλίμακας με μορφές αποθήκευσης κινητικής χημικής ή υδρογόνου ή υπερπυκνωτές ή υπερπαραγωγούς. Οι υπόλοιπες κατηγορίες αναφέρονται σε μεγαλύτερα συστήματα με τις εξής μορφές αποθήκευσης: βαρυτική, θερμική, χημική ή συμπιεσμένου αέρα. Σε αυτά ανήκουν τα υδραυλικά συστήματα, οι συσσωρευτές, μπαταρίες ροής και συμπιεσμένου αέρα, τα οποία αναλύονται σε επόμενη ενότητα.

3.1 Τεχνολογίες Αποθήκευσης

Η ηλεκτρική ενέργεια, έχει το πλεονέκτημα να μεταβάλλει εύκολα τα χαρακτηριστικά της, για τον λόγο αυτό έχει την δυνατότητα να αποθηκευτεί σε διάφορες μορφές ενέργειας, όπως μηχανική, θερμική, χημική, ηλεκτροχημικής και ηλεκτρικής ενέργειας.



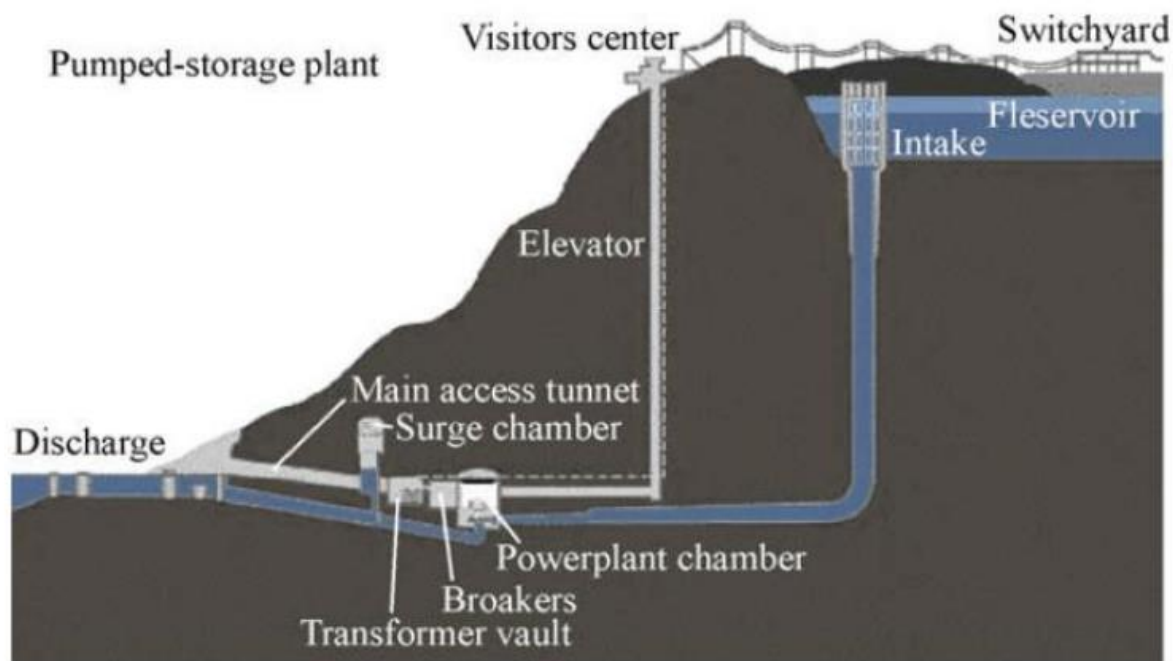
Εικόνα 3.1: Μορφές αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας (Πηγή: Διπλωματική Εργασία: Αποθήκευση Ηλεκτρικής Ενέργειας: Τεχνολογίες και ρυθμιστικό πλαίσιο, Οδυσσέας Χαλατσάκος)

Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, εμφανίστηκαν την δεκαετία του 1970 με την κατασκευή σταθμών αντλησιοταμίευσης, ενώ με την πάροδο του χρόνου εξελίχθηκαν και αναπτύχθηκαν διάφορες τεχνολογίες αποθήκευσης, όπως παρουσιάζονται παρακάτω:

1. Αντλησιοταμίευση

Η αντλησιοταμίευση είναι ένα σύστημα αποθήκευσης δυναμικής ενέργειας και συναντάται κυρίως σε υδροηλεκτρικά, και σε φωτοβολταϊκά ή ανεμογεννήτριες όπου ονομάζονται και υβριδικά. Η χωρητικότητά του είναι περίπου το 97% της χωρητικότητας των έργων αποθήκευσης παγκοσμίως, και συμβάλλουν σημαντικά στην διείσδυση των ΑΠΕ στο ηλεκτρικό δίκτυο. Είναι ευρέως διαδεδομένα λόγω των πλεονεκτημάτων τους που είναι τα εξής:

- Αποθηκεύουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας
- Χαρακτηρίζονται από ευελιξία εκκίνησης και τερματισμού
- Ανταποκρίνονται γρήγορα, παρακολουθούν τις μεταβολές του φορτίου, ομαλές ή απότομες να καλύπτουν τις αιχμές του ηλεκτρικού συστήματος
- Ρυθμίζουν την συχνότητα και διατηρούν την τάση του δικτύου σταθερή
- Έχουν οικονομική παραγωγή



Εικόνα 3.2: Διάταξη αντλιοσταμίου (Πηγή: Διπλωματική Εργασία, Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, Ιωάννου Παναγιώτη)

2. Συστήματα με πεπιεσμένο αέρα

Οι σταθμοί αποθήκευσης ενέργειας με πεπιεσμένο αέρα, αποθηκεύουν ενέργεια σε καταστάσεις περίσσειας και έχουν την δυνατότητα παραγωγής της σε περιόδους αιχμής. Έκαναν την εμφάνισή τους το 1870, ενώ ως σήμερα λειτουργούν μόνο δύο σταθμοί λόγω της ακριβής λειτουργίας και κατασκευής τους. Υπάρχουν διάφοροι σταθμοί αποθήκευσης ενέργειας με πεπιεσμένο αέρα, οι οποίοι διαφέρουν στο τρόπο συμπίεσης αέρα, το ποσοστό εκμετάλλευσης της ενέργειας που εκλύεται κατά τη συμπίεση αλλά και με το μέσο με το οποίο γίνεται η αναθέρμανση του αέρα για την παραγωγή ενέργειας από τον αποθηκευμένο πεπιεσμένο αέρα. Αυτοί είναι:

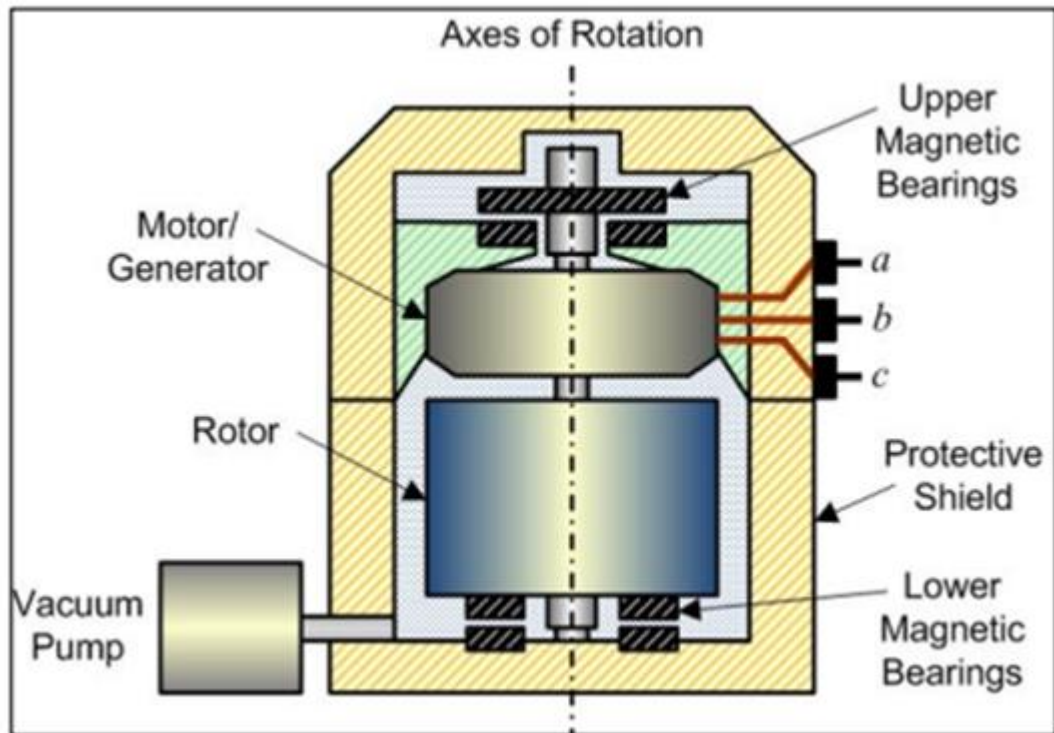
- 1) Διαβατικοί Σταθμοί CAES
- 2) Αδιαβατικοί Σταθμοί CAES
- 3) Προηγμένοι Αδιαβατικοί Σταθμοί CAES
- 4) Ισοθερμικοί Σταθμοί CAES



Εικόνα 3.3: Αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση πεπιεσμένου αέρα (Πηγή: Διπλωματική Εργασία: Αποθήκευση Ηλεκτρικής Ενέργειας: Τεχνολογίες και ρυθμιστικό πλαίσιο, Οδυσσέας Χαλατσάκος)

3. Σφόνδυλοι

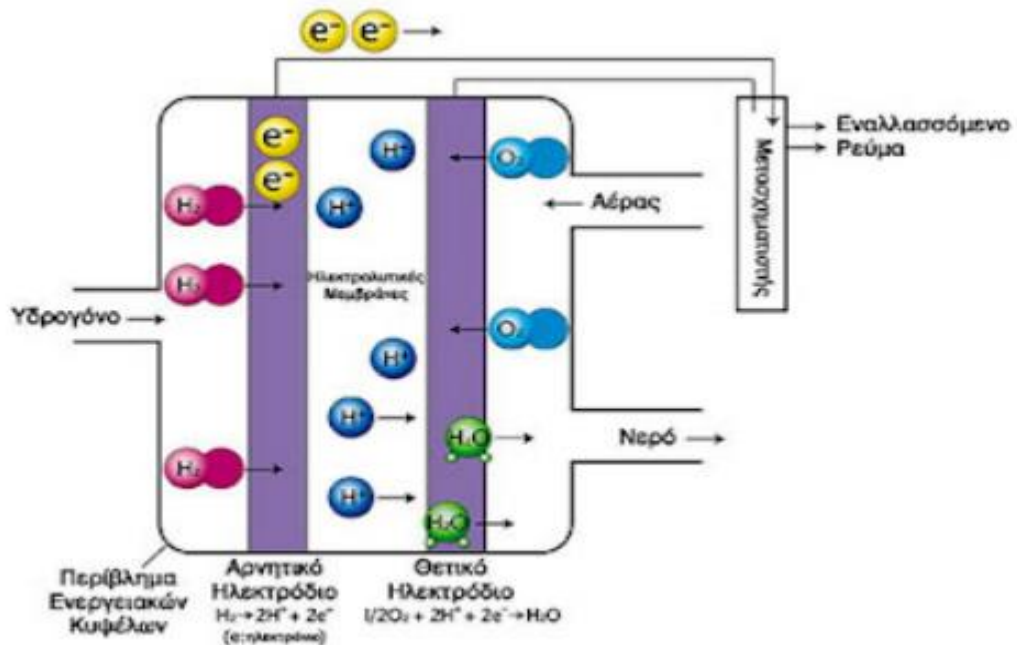
Οι σφόνδυλοι αποθηκεύουν την ηλεκτρική ενέργεια με τη μορφή κινητικής ενέργειας, και έχουν την ικανότητα τροφοδότησης του συστήματος για μικρό χρονικό διάστημα. Η ικανότητά τους αυτή, τα καθιστούν κατάλληλα για την διατήρηση της ποιότητας και της αξιοπιστίας της ισχύος του δικτύου, για τη ρύθμιση της ποιότητας της συχνότητας του δικτύου αλλά και για εφεδρεία κατά τη διάρκεια της εκκίνησης συμβατικών γεννητριών. Επιπλέον, έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, χωρίς ανάγκη συντήρησης, με αμελητέες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Ωστόσο, η εξέλιξή τους και η χρήση τους έχουν παραμείνει σε πρώιμο στάδιο λόγω της έλλειψης γνώσεων.



Εικόνα 3.4: Αποθήκευση ενέργειας σε σφόνδουλος (Πηγή: Διπλωματική Εργασία Μελέτη των τεχνολογιών αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας και εκτίμηση των μελλοντικών εξελίξεων, Γεώργιος Γενετζάκης)

4. Αποθήκευση με χημικά μέσα

Η αποθήκευση ενέργειας με χημικά μέσα, γίνεται κυρίως μέσω υδρογόνου και μέσω σύνθετου φυσικού αερίου. Μια τυπική μονάδα αποθήκευσης υδρογόνου αποτελείται από έναν ηλεκτρολύτη, μια δεξαμενή αποθήκευσης υδρογόνου και κάποιο μέσο καύσης (κυψέλη καυσίμου) ως πηγή θερμότητας. Το υδρογόνο αποθηκεύεται σε υγρή μορφή, με χαμηλή θερμοκρασία είτε σε αέρια μορφή σε υψηλή πίεση. Το συνθετικό φυσικό αέριο, αποθηκεύεται σε μεγαλύτερη πυκνότητα ενέργειας από το υδρογόνο, ωστόσο υποβάλλεται σε επιπλέον διεργασία για την παραγωγή και αποθήκευσή του με αποτέλεσμα να είναι λιγότερο αποδοτικό, λόγω αυξημένων απωλειών.



Εικόνα 3.5: Αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας με υδρογόνο (Πηγή: ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ & ΥΔΡΟΓΟΝΟ - ΜΑΚΡΙΝΟ ΜΕΛΛΟΝ... (vehiclestech.blogspot.com))

5. Αποθήκευση με ηλεκτροχημικά μέσα

Στο σύστημα αποθήκευσης περιλαμβάνεται η νέα τεχνολογία μπαταριών ροής καθώς και οι δευτερογενείς συσσωρευτές. Αναφορικά με τις δευτερογενείς μπαταρίες πιο διαδεδομένες είναι οι εξής:

- Μπαταρίες ιόντων – λιθίου
- Μπαταρίες μολύβδου – οξέος
- Μπαταρίες νικελίου – καδμίου και νικελίου μετάλλου υδριδίου
- Μπαταρίες θείου νατρίου

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου, χαρακτηρίζονται από υψηλή πυκνότητα ενέργειας, μεγάλο κύκλο φόρτισης – εκφόρτισης και ιδανικό χρόνο εκφόρτισης, τα οποία τις καθιστούν ανταγωνιστικές στην αγορά και στη χρήση διάφορων τεχνολογιών με μόνο μειονέκτημα το κόστος αγοράς τους.

Οι μπαταρίες μολύβδου οξέος πλεονεκτούν λόγω το κόστους τους, ωστόσο περιορίζονται στη χρήση εξαιτίας της μικρής πυκνότητας ενέργειας και της περιορισμένης χωρητικότητάς τους.

Οι μπαταρίες νικελίου καδμίου κατατάσσονται σε μέτρια ποιότητας μπαταρίες συγκριτικά με τις υπόλοιπες, ωστόσο αποφεύγονται λόγω του καδμίου που εμπεριέχουν το οποίο είναι πολύ τοξικό στοιχείο.

Οι μπαταρίες θείου νατρίου πλεονεκτούν στην μεγάλη διάρκεια ζωής, στη γρήγορη απόκριση σε μεταβατικά φαινόμενα και στην απόδοσή τους, καθιστώντας τις ιδανικές για χρήση σε αιολικά πάρκα, υδροηλεκτρικούς, θερμικούς και σταθμούς συνδυασμένου κύκλου.

Οι μπαταρίες ροής έχουν την δυνατότητα επαναφόρτισης από δύο χημικά υλικά τα οποία είναι διαλυμένα σε υγρά συστατικά. Εξαιτίας της δυνατότητάς τους να εκφορτίζονται με μεγάλο ρεύμα, της χωρητικότητάς τους και της ισχύς τους, είναι ιδανικές για μεγάλης κλίμακας εφαρμογές στο ηλεκτρικό δίκτυο.

6. Αποθήκευση με ηλεκτρικά μέσα

Οι υπερπυκνωτές, οι οποίοι είναι πυκνωτές με μεγαλύτερη ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας και μεγαλύτερο χρόνο εκφόρτισης με μεγαλύτερη ισχύ, είναι η μοναδική ηλεκτρική μέθοδος αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Η μεγάλη διάρκεια ζωής τους, ο πάρα πολύ υψηλός βαθμός απόδοσης, η ταχύτατη απόκριση σε συνδυασμό με την πολύ υψηλή πυκνότητα ισχύος τα καθιστούν ιδανικές για τη χρήση τους σε εφαρμογές με υψηλή ποιότητα ισχύος και σταθεροποίηση της τάσης λειτουργίας.

3.2 Πλεονεκτήματα συστημάτων αποθήκευσης στο δίκτυο

Η ένταξη των συστημάτων αποθήκευσης στο δίκτυο, ξεκίνησε με σκοπό την αποκατάστασή τους σε τεχνικά σημεία που υστερούν, αλλά και λόγω των πλεονεκτημάτων που προσφέρουν λόγω των ιδιοτήτων τους. Πιο συγκεκριμένα τα συστήματα αποθήκευσης προσφέρουν τα εξής :

1. Αποθήκευση

Βασική ιδιότητα των συστημάτων, είναι η αποθήκευση ενέργειας, η μορφή της οποίας καθορίζεται από την τεχνολογία που χρησιμοποιείται ενώ επιστρέφει στο δίκτυο πάντα με ηλεκτρική. Αυτό το πλεονέκτημά τους, εξυπηρετεί και τις συμβατικές εγκαταστάσεις, αλλά κυρίως τη διεσπαρμένη παραγωγή ενέργειας. Στην περίπτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, κατά τις ώρες χαμηλής ζήτησης η ενέργεια αποθηκεύεται στις εγκαταστάσεις αποθήκευσης και προσφέρεται πάλι κατά τη διάρκεια περιόδων αιχμής, ή σε περιπτώσεις που δεν μπορεί να καλυφθεί το φορτίο.

2. Μαύρη Εκκίνηση

Σε περιπτώσεις ολικής διακοπής του συστήματος παραγωγής, τα συστήματα αποθήκευσης έχουν την δυνατότητα κάλυψης φορτίου για μερικά λεπτά (ανάλογα την κλίμακα εγκατάστασης), είτε παρέχουν την απαραίτητη ενέργεια σε μονάδες του συστήματος παραγωγής για τη εκκίνησή τους και το συγχρονισμό τους με το δίκτυο.

3. Ρύθμιση συχνότητας

Αφορά την διατήρηση της τάσης στα επιθυμητά όρια κατά τη διάρκεια απότομων μεταβολών του ηλεκτρικού φορτίου. Έχει άρρηκτη σχέση με την ικανότητα αποθήκευσης, η οποία εξισορροπεί τη ζήτηση και έτσι αποφεύγονται διακυμάνσεις στη συχνότητα. Αυτές οι εφαρμογές χρειάζονται υψηλές πυκνότητες ισχύος και τεχνολογίες με υψηλό βαθμό απόδοσης και διάρκεια ζωής, ενώ αποκαθιστούν την αστάθεια και αξιοπιστία του συστήματος.

4. Έλεγχος τάσης

Σημαντικός είναι και ο έλεγχος τάσης, ο οποίος μέσω των συστημάτων αποθήκευσης είναι εφικτός μέσω της εξισορρόπησης με έγχυση άεργου ισχύος. Έτσι με την βοήθεια το συστημάτων, χαρακτηρίζονται από συνεχή ροή κατά μήκος του δικτύου, ρυθμίζεται και η συχνότητα επομένως και αξιοπιστία, ενώ ακολουθούν τα πρότυπα που ορίζουν τα όρια της τάσεως.

5. Διαχείριση συμφόρησης και αναβολή αναβάθμισης

Η συμφόρηση είναι ένα φαινόμενο που προκαλείται σε περιπτώσεις που η κατάσταση του συστήματος υστερεί και προκαλεί περικοπής ροής και σε ορισμένες περιπτώσεις αυξημένα κόστη ενέργειας. Ειδικότερα, το φαινόμενο αυτό παρατηρείται έντονα στη Ευρωπαϊκή ένωση, καθώς η διεύθυνση των ΑΠΕ επέφερε θέματα αναφορικά με την ζήτηση. Τα συστήματα αποθήκευσης, έχουν την ικανότητα να διαχειρίζονται συμφόρηση των δικτύων, αλλά και αναβάλουν την αναβάθμιση του συστήματος μεταφοράς και του δικτύου διανομής. Η αποθήκευση, βελτιώνει την απόδοση του συστήματος μεταφοράς και μειώνει σημαντικά τα κόστη της ενέργειας. Παράλληλα, καλύπτουν τη ζήτηση φορτίου σε περιόδους αιχμής, και ως αποτέλεσμα παρατείνουν την διάρκεια ζωής των δικτύων.

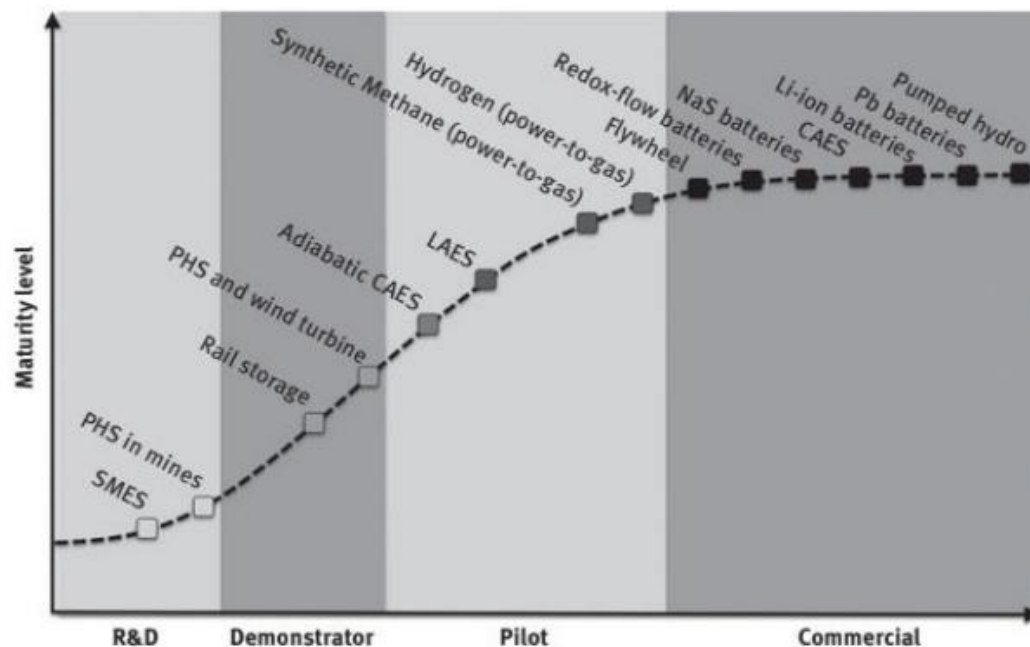
3.3 Σύγκριση κατηγοριών αποθήκευσης ενέργειας

Οι διάφορες τεχνολογίες που αναλύσαμε, διακρίνονται από διαφορετικά χαρακτηριστικά, τα οποία σε συνδυασμό με τις τεχνολογικές απαιτήσεις της κάθε εγκατάστασης, έχουν καθοριστικό ρόλο στην επιλογή τους. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι η τεχνική ωριμότητα, το μέγεθος, η πυκνότητα ισχύος και ενέργειας, το κόστος

επένδυσης και του όλου κύκλου ζωής, η διάρκεια κύκλου ζωής, οι απαιτήσεις λειτουργίας και συντήρησης, ο βαθμός απόδοσης κύκλου φόρτισης / εκφόρτισης, ο ρυθμός αυτοεκφόρτισης, ο χρόνος φόρτισης, εκφόρτισης και απόκρισης, θέματα ασφαλείας και οι περιβαλλοντικές ανησυχίες και ορισμένα από αυτά αναλύονται στο παρών κεφάλαιο.

1. Τεχνολογική Ωριμότητα

Με τον όρο αυτό εννοούμε, το στάδιο εξέλιξης των τεχνολογιών, δηλαδή το περιθώριο για μελλοντική ανάπτυξη και εξέλιξη.



Διάγραμμα 3.1 : Σύγκριση τεχνολογιών αποθήκευσης ως προς την ωριμότητά τους (Πηγή: Διπλωματική Εργασία: Τεχνολογίες Αποθήκευσης και αποδοτικής μετατροπής του υδρογόνου ως μέσο αποθήκευσης ενέργειας με χρήση ΑΠΕ, Μετεντίδης Θεόφιλος)

Ανάλυση διαγράμματος:

Στην κατηγορία των ανεπτυγμένων τεχνολογιών (commercial) ανήκουν: Αντλησιοταμίαση και μπαταρίες μολύβδου οξέος, μπαταρίες ιόντων λιθίου, συστήματα πεπιεσμένου αέρα, μπαταρία νατρίου θείου, μπαταρία ροής και σφόνδυλοι

Στην κατηγορία των συστημάτων που έχουν αναπτυχθεί (pilot) ανήκουν: Συστήματα αποθήκευσης με υδρογόνο, συνθετικό μεθάνιο, αποθήκευση με υγρό αέρα και αδιαβατική με συμπιεσμένου αέρα.

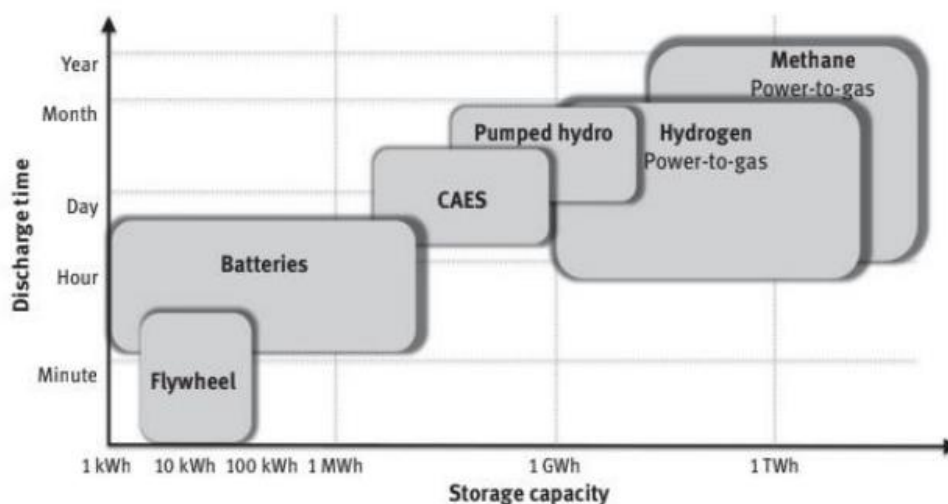
Στην κατηγορία της κατασκευής (demonstrator) ανήκουν: Υδροηλεκτρική αποθήκευση με ανεμογεννήτριες και αποθήκευση σιδηροτροχιών

Στη τελευταία κατηγορία ανήκουν η αντλησιοταμίευση σε ορυχεία και υπεραγωγίμη αποθήκευση μαγνητικής ενέργειας

Όλες αυτές οι κατηγορίες χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές μεγάλης κλίμακας, με εξαίρεση την τελευταία που χρειάζονται ακόμα έρευνα.

2. Πυκνότητα ενέργειας και ισχύος

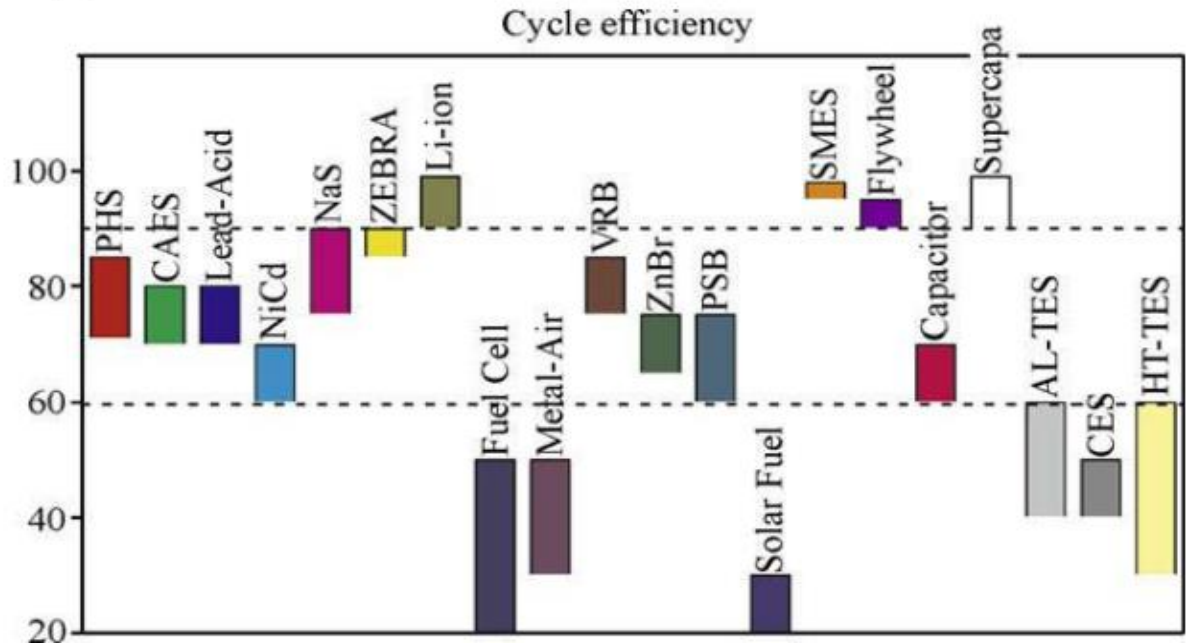
Το ποσοστό αποθήκευσης ενέργειας είναι από τα πιο σημαντικά σε μια τεχνολογία αποθήκευσης, Αποτελεί το κυριότερο σημείο σύγκρισης μεταξύ των τεχνολογιών και η τελική επιλογή προσαρμόζεται σύμφωνα με τις απαιτήσεις της εγκατάστασης.



Διάγραμμα 3.2 : Χωρητικότητα των διαφόρων τεχνολογιών αποθήκευσης (Πηγή: Διπλωματική Εργασία: Τεχνολογίες Αποθήκευσης και αποδοτικής μετατροπής του υδρογόνου ως μέσο αποθήκευσης ενέργειας με χρήση ΑΠΕ, Μετεντίδης Θεόφιλος)

3. Βαθμός απόδοσης

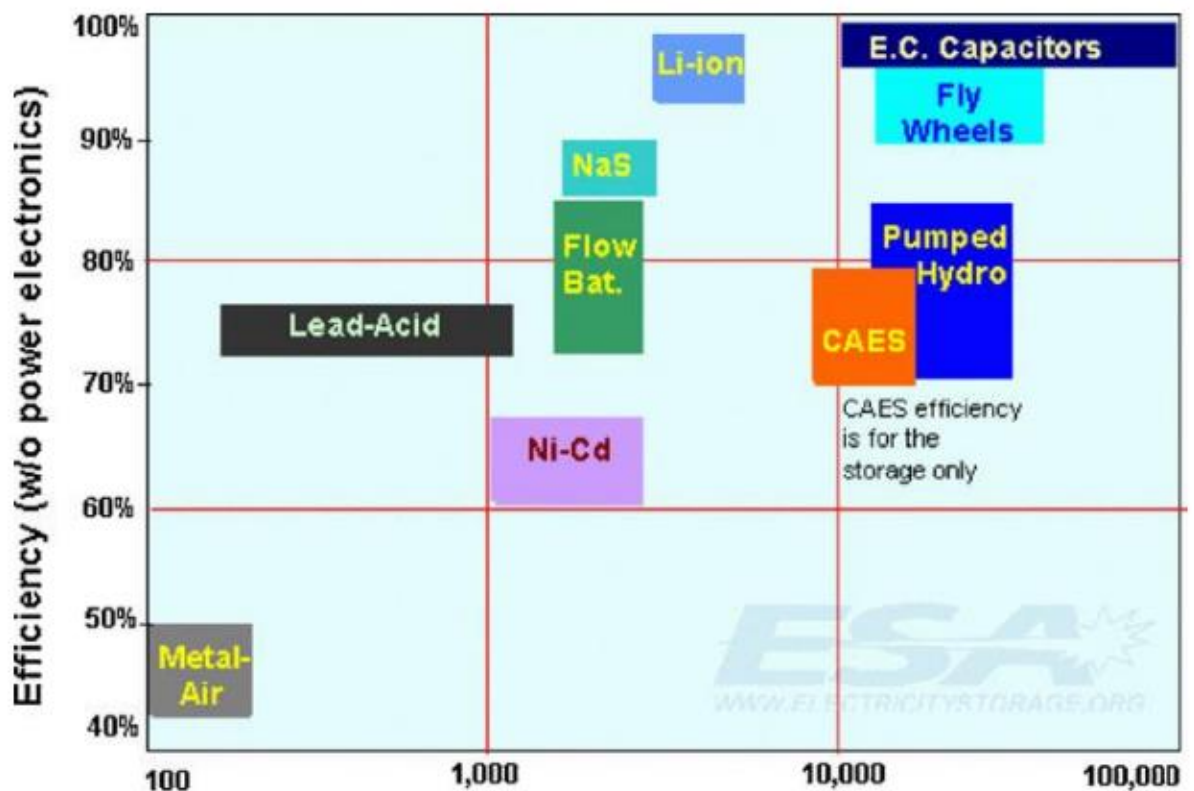
Ο βαθμός απόδοσης της τεχνολογίας αποθήκευσης αφορά το ποσοστό ενέργειας που αποδίδει στο σύστημα, σε σχέση με αυτό που λαμβάνει και είναι ακόμα ένας βασικός παραγόντας για επιλογής για τις εφαρμογές. Με βάση την απόδοση οι τεχνολογίες διακρίνονται σε πολύ υψηλού επιπέδου (β.α. > 90%), υψηλού (β.α.: 60% - 90%) και χαμηλού (β.α. 20% - 50 %). Στη πρώτη κατηγορία ανήκουν : υπερπηνία, σφόνδυλοι, υπερπυκνωτές και μπαταρίες λιθίου ιόντος, στη δεύτερη: αντλησιοταμίευση , συστήματα πεπιεσμένου αέρα, όλες οι μπαταρίες εκτός λιθίου ιόντος, και μετάλλου αέρα, και στη τελευταία: κυψέλες υδρογόνου και μετάλλου αέρα.



Διάγραμμα 3.3: Βαθμός απόδοσης τεχνολογιών αποθήκευσης (Πηγή: Διπλωματική Εργασία, Συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, Ιωάννου Δημήτρης)

4. Διάρκεια κύκλου ζωής

Βασικό στοιχείο αποτελεί η διάρκεια κύκλου ζωής, όπου ένας κύκλος ισοδυναμεί με μια ολοκληρωμένη φόρτιση και εκφόρτιση του συστήματος

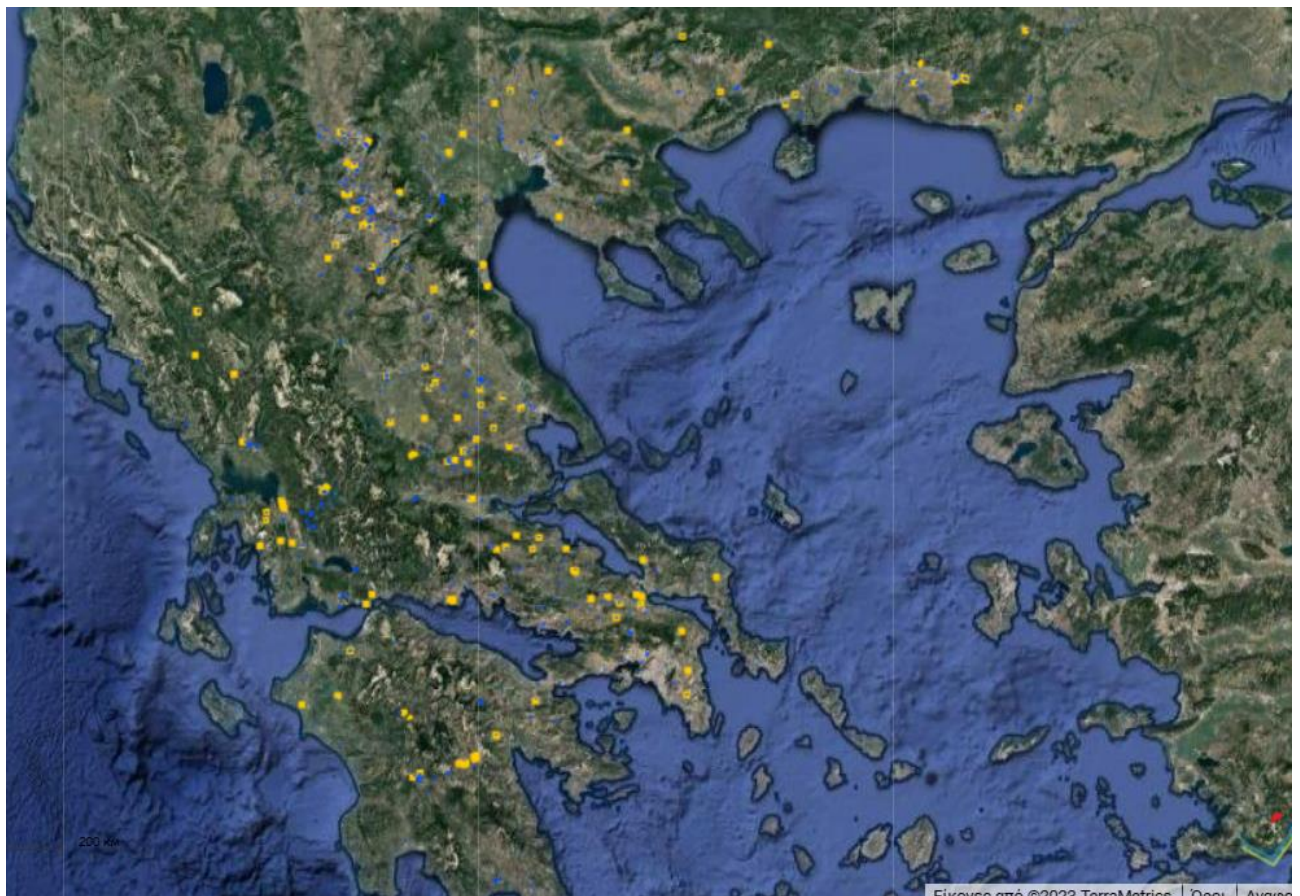


Διάγραμμα 3.4: Χρόνος ζωής και ποσοστό βαθμού απόδοσης (Πηγή: Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, Ιωάννου Δημήτρης)

Όπως απεικονίζεται και στο διάγραμμα μεγαλύτερο κύκλο ζωής εμφανίζουν τα συστήματα αντλησιοταμίευσης, συστήματα πεπιεσμένου αέρα και σφόνδυλοι, ενώ ο μικρότερος παρατηρείται στου μετάλλου αέρα.

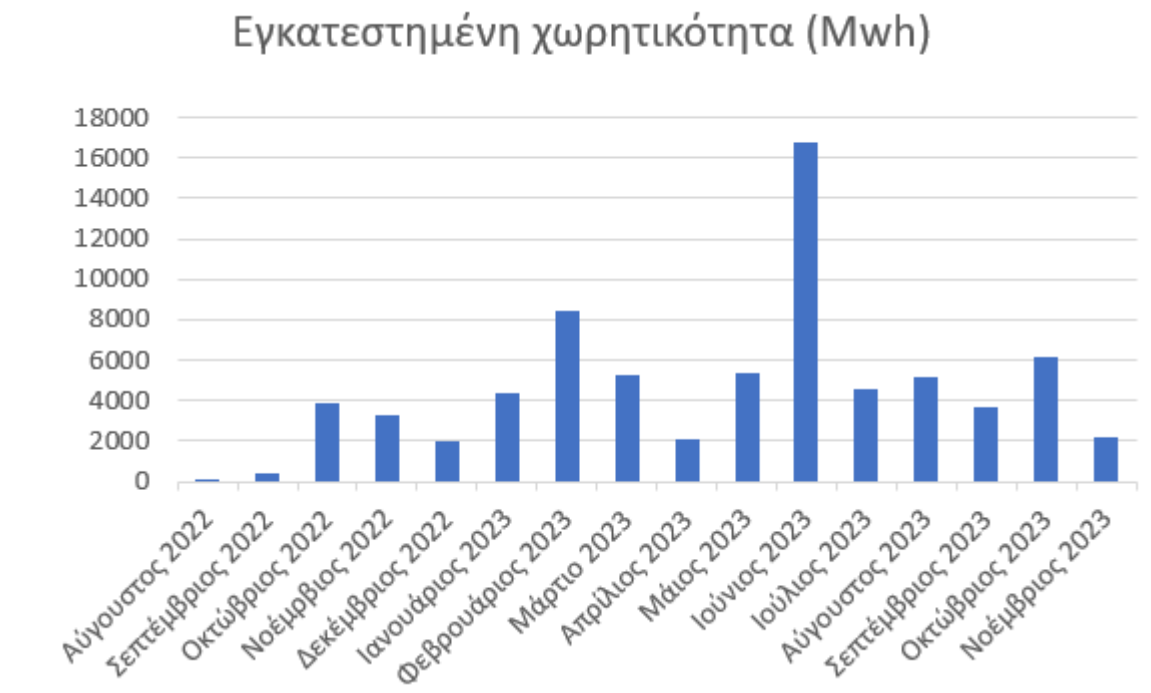
3.4 Η αποθήκευση ενέργειας στην Ελλάδα

Οι τεχνολογίες των μονάδων αποθήκευσης στην Ελλάδα έως σήμερα διακρίνονται σε μονάδες καθαρής αποθήκευσης και κατανεμημένων υβριδικών και αντλησιοταμίευσης. Με την καθαρή αποθήκευση εννοείται η μονάδα συσσωρευτών και με την υβριδική οι συσσωρευτές μαζί με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, κύριος λόγος της ανάπτυξης των συστημάτων αποθήκευσης. Σύμφωνα με τα πιο πρόσφατα δεδομένα, τον Ιανουάριο το 2023 έχουν δοθεί άδειες σε 311 διαφορετικά έργα με συνολική ισχύς 19,5 MW και χωρητικότητα 58,6 MW. Στο παρακάτω χάρτη φαίνονται τα διάφορα συστήματα αποθήκευσης που έχουν άδεια παραγωγής(μπλέ χρώμα) είτε βρίσκονται σε διαδικασία αξιολόγησης (κίτρινο χρώμα):



Εικόνα 3.6: Μονάδες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας (Πηγή: [RAE GeoPortal](#))

Επιπλέον, στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται οι διάφορες αιτήσεις για συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας τον Αύγουστο του 2022 έως και τα Νοέμβριο του 2023.



Εικόνα 3.7: Αιτήσεις προς εγκατάσταση συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας (2022-2023)

Το διάγραμμα αυτό δημιουργήθηκε σύμφωνα με τα δεδομένα αιτήσεων αποθήκευσης της ΡΑΕ.

3.5 Πολιτικές και ρυθμιστικό πλαίσιο

Το πιο πρόσφατο νομοσχέδιο που εφαρμόζεται στην Ελλάδα διακρίνει τα συστήματα αποθήκευσης ως εξής :

1. Μεμονωμένους σταθμούς αποθήκευσης, για τα οποία η άδεια αποθήκευσης χορηγείται σύμφωνα με τις απαιτήσεις που υφίστανται για ειδικά έργα ΑΠΕ
2. Έργα αποθήκευσης συνδυασμένα σε σταθμούς ΑΠΕ

Η κάθε κατηγορία απαιτεί ειδικές άδειες για την λειτουργία της.

Η πρώτη κατηγορία σύμφωνα με το άρθρο 69 του νόμου 4951/2022 απαιτεί άδεια σύμφωνα με τον Κανονισμό Αδειών Αποθήκευσης, από νομικό πρόσωπο σύμφωνα με το άρθρο 135 Α που χορηγείται από την ΡΑΑΕΥ με διάρκεια 25 ετών με παράταση για ίσο χρονικό διάστημα.

Η δεύτερη κατηγορία εντάσσεται στην κατηγορία ειδικών έργων, και διακρίνεται σε εγκαταστάσεις που απορροφούν ενέργεια από το δίκτυο και σε αυτές που δεν απορροφούν. Για τους σταθμούς που δεν απορροφούν ενέργεια από το δίκτυο, παρά μόνο για εξυπηρέτηση βοηθητικών καταναλώσεων, λαμβάνουν βεβαίωση παραγωγού

και οι κάτοχοί τους οφείλουν να συνάπτουν τις απαραίτητες συμβάσεις λειτουργικής ενίσχυσης είτε να συμμετάσχουν στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας. Αναφορικά με τις εγκαταστάσεις που απορροφούν ενέργεια από το δίκτυο, λαμβάνουν Βεβαίωση Παραγωγού Ειδικών Έργων ΑΠΕ, χωρίς τη δυνατότητα σύναψης συμβάσεων λειτουργικής ενίσχυσης, αλλά με συμμετοχή στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας. Οι εν λόγω σταθμοί, σύμφωνα με την Βεβαίωση των Ειδικών έργων, δεν μπορούν να υπερβαίνουν την μέγιστη ισχύ έγχυσης των ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ. Εξάιρεση αποτελεί η υπέρβαση κατά 5% με μικρή συχνότητα, όπως προβλέπεται από τον Κανονισμό Βεβαιώσεων.

4 Κεφάλαιο 4: Μπαταρίες

Σύμφωνα με τη διαγράμματα και τις πληροφορίες που αναφέρονται στο κεφάλαιο της αποθήκευσης ενέργειας, κύριος τρόπος αποθήκευσης είναι η αντλησιοταμίευση και οι μπαταρίες. Ωστόσο, λόγω του κόστους σε συνδυασμό με τον χώρο που χρειάζονται τα συστήματα αντλησιοταμίευσης, οι μπαταρίες αποτελούν την πιο υποσχόμενη λύση για τη εγκατάσταση συστημάτων αποθήκευσης στα δίκτυα.

Η μπαταρία ορίζεται σήμερα, ως μια ηλεκτροχημική συσκευή αποθήκευσης που μετατρέπει τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική. Απαρτίζεται από δύο μεταλλικές αγώγιμες πλάκες (ηλεκτρόδια), βυθισμένες σε ένα δοχείο, το οποίο περιέχει ένα αγώγιμο υγρό, που καλείται ηλεκτρολύτης. Τα ηλεκτρόδια αντιδρούν χημικά με τον ηλεκτρολύτη μεταφέροντας ηλεκτρόνια μεταξύ τους, μέσω ενός εξωτερικού ηλεκτρικού φορτίου ή κυκλώματος, προκαλώντας δηλαδή διέλευση ρεύματος (εκφόρτιση μπαταρίας).

4.1 Χαρακτηριστικά μπαταριών

Κυριότερα χαρακτηριστικά των μπαταριών είναι τα εξής:

Χωρητικότητα: Είναι η ονομαστική ενέργεια με την ολοκλήρωση πλήρης φόρτισης η οποία γίνεται υπό συγκεκριμένες συνθήκες. Καθορίζεται από το υλικό κατασκευής της ανόδου και καθόδου, το ρεύμα εκφόρτισης και τη θερμοκρασία.

Τάση: Είναι η διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων της μπαταρίας, δηλαδή η δυνατότητα μεταφοράς ρεύματος σε εξωτερικό κύκλωμα. Υπάρχουν δύο ειδών τάσης η ισορροπίας ή ανοιχτού κυκλώματος και η υπό φορτίου ή κλειστού κυκλώματος. Η πρώτη εξαρτάται από τη συγκέντρωση του ηλεκτρολύτη και της θερμοκρασίας και μετριέται όταν δεν υπάρχει ροή ρεύματος στη μπαταρία. Η υπό φορτίο, είναι εξαρτημένη από το ρεύμα, τη στάθμη φόρτισης καθώς και από άλλα χαρακτηριστικά της μπαταρίας όπως η διάρκεια ζωής ή ο χρόνος αποθήκευσης.

Στάθμη φόρτισης: Η στάθμη φόρτισης (SOC) υποδηλώνει τη δυνατότητα χωρητικότητας που μπορεί να προσφέρει μια μπαταρία σε μια συγκεκριμένη στιγμή. Διακρίνονται δύο ειδών στάθμης φόρτισης, η σχετική που αφορά μετρούμενη χωρητικότητα και η πρακτική που αφορά τη πρακτική χωρητικότητα.

Βάθος εκφόρτισης: Το βάθος εκφόρτισης (DoD) μιας μπαταρίας καθορίζει το κλάσμα της ενέργειας που εξάγεται κατά τη λειτουργία της μπαταρίας. Το βάθος εκφόρτισης αποτελεί κύριο κριτήριο για την επιλογή μπαταριών σε διάφορες εφαρμογές, καθώς εκδηλώνει τη διάρκεια ζωής της.

Κύκλος ζωής: Αφορά την διαδικασία φόρτισης και εκφόρτισης κατά τη διάρκεια λειτουργίας της μπαταρίας. Εξαρτάται από το βάθος εκφόρτισης και αποτελεί σημαντικό κριτήριο για μια εγκατάσταση αποθήκευσης.

Κατάσταση υγείας: Είναι ο λόγος της μετρούμενης με της πραγματικής χωρητικότητας. Αφορά την ικανότητα της μπαταρίας να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της εφαρμογής.

Χρόνος εκφόρτισης: Είναι η διάρκεια εκφόρτισης της μπαταρίας, ίση με τη διαθέσιμη χωρητικότητα προς τη μέγιστη ισχύ και αναφέρεται συνήθως ως C-Rate ή E- Rate. Εξαρτάται από το βάθος εκφόρτισης (DoD) και τις λειτουργικές συνθήκες του συστήματος, Όταν αναφερόμαστε ως C-Rate εννοούμε το ρυθμό με τον οποίο μια μπαταρία εκφορτίζεται σε σχέση με τη μέγιστη χωρητικότητα, ενώ το E-Rate περιγράφει την ισχύ εκφόρτισης.

Αποδοτικότητα: Η αποδοτικότητα μιας μπαταρίας είναι ο λόγος μεταξύ της μεταδιδόμενης ενέργειας και της αποθηκευμένης ενέργειας εντός ορισμένου χρονικού διαστήματος.

Αξιοπιστία: Η αξιοπιστία ενός συστήματος αποθήκευσης ενέργειας αφορά την εγγύηση αποτελεσματικότητας του συστήματος όταν κληθεί να λειτουργήσει, δηλαδή εάν ακολουθεί τις προδιαγραφές του.

Λειτουργικοί περιορισμοί: Αυτό το χαρακτηριστικό ενός συστήματος αποθήκευσης σχετίζεται κυρίως με την ασφάλεια ή με άλλες συνθήκες λειτουργίας όπως τη θερμοκρασία, την πίεση, κλπ.

Αυτοεκφόρτιση: Ονομάζεται η απώλεια φορτίου σε κατάσταση ανοικτού κυκλώματος και εξαρτάται από την θερμοκρασία, ενώ σχετίζεται με τον χρόνο ζωής της μπαταρίας.

Ειδική ενέργεια και πυκνότητα: Η ειδική ενέργεια αφορά το βάρος της μπαταρίας, ενώ η πυκνότητα τον όγκο της.

Εσωτερική αντίσταση: Η εσωτερική αντίσταση προσδιορίζει την ικανότητα του φορτίου να χειρίζεται τα φορτία μέσω της ισχύς εξόδου. Η εσωτερική αντίσταση είναι πρέπει να είναι χαμηλότερη από την συνδεδεμένη συσκευή, για την αποφυγή της πτώσης τάσης. Εξαρτάται από τον τρόπο χρήσης της μπαταρίας, τη στάθμη φόρτισης καθώς και το στάδιο εκφόρτισης.

Ειδικό βάρος: Αντιπροσωπεύει το δείκτη στάθμης φόρτισης της μπαταρίας

Ειδική ισχύς: Είναι η ικανότητα φόρτισης, δηλαδή τη ποσότητα ρεύματος που μπορεί να τροφοδοτήσει η μπαταρία.

4.2 Κατηγορίες Μπαταριών

Με το πέρασμα του χρόνου αναπτύχθηκαν διάφορα είδη μπαταριών από τα οποία αξιoσημείωτα είναι :

ΜΠΑΤΑΡΙΑ ΑΡΓΥΡΟΥ – ΚΑΔΜΙΟΥ

Δημιουργήθηκε από τον Waldemar lunger, και εφαρμόστηκε στη Στοκχόλμη το 1900 σε αυτοκίνητο που ταξίδεψε 150χιλιόμετρα. Περιορίστηκε λόγω του κόστους του και αντικαταστάθηκε με τις μπαταρίες νικελίου – σιδήρου.

ΜΠΑΤΑΡΙΑ ΝΙΚΕΛΙΟΥ - ΣΙΔΗΡΟΥ

Ο Thomas Edison επηρεασμένος, από την αγορά των ηλεκτρικών οχημάτων κατασκεύασε την πρώτη μπαταρία ξηρού τύπου με ηλεκτρόδια νικελίου σιδήρου. Στην συνέχεια η εταιρεία Electric Storage Battery Company, ανέπτυξε μία μπαταρία μεγαλύτερης χωρητικότητας, με χρήση νέου τύπου οξειδίου στις πλάκες και μικρότερου βάρους, για τα ηλεκτρικά taxi cabs.

ΜΠΑΤΑΡΙΑ ΝΙΚΕΛΙΟΥ – ΚΑΔΜΙΟΥ

ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Μπάιμπα Γεωργία

Η μπαταρία νικελίου – καδμίου εισήλθε στην αγορά το 1910, στη Σουηδία, ενώ στην Αμερική το 1946. Σημαντικό χαρακτηριστικό ήταν η ανθεκτικότητα με πολύ καλύτερη πυκνότητα ενέργειας σε σχέση με άλλες μπαταρίες που είχαν κατασκευασθεί. Βασικό πλεονέκτημά της ήταν το υψηλό κόστος, που αποτέλεσε το λόγο περιορισμού χρήσης της. Το 1932, ο Ackermann και ο Slecht, κατάφεραν να αυξήσουν την διάρκεια ζωής τους και το ρεύμα φορτίου, επινοώντας την πορώδη πλάκα του πόλου της μπαταρίας. Σήμερα η εταιρεία Waldemar, ονομάζεται Saft AB και κατασκευάζει μπαταρίες νικελίου-καδμίου κορυφαίας ποιότητας.

ΜΠΑΤΑΡΙΑ ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

Ο Georges Leclanche, κατασκεύασε μπαταρία με ξηρό στοιχείο και επαναφορτιζόμενα στοιχεία. Είχε ψευδάργυρο και μείγμα διοξειδίου του άνθρακα – διοξειδίου του μαγγανίου για τα ηλεκτρόδια του, ενώ χλωριούχο αμμώνιο για ηλεκτρολύτη. Η μπαταρία παρήγαγε ηλεκτρική ενέργεια όταν η άνοδος ψευδαργύρου άρχισε να χάνει τα ηλεκτρόνια κατά τη διάρκεια μιας χημική διαδικασίας, της οξειδωσις. Εάν η μπαταρία συνδεθεί με ένα εξωτερικό κύκλωμα, το ηλεκτρικό φορτίο που δημιουργείται από αυτά τα ηλεκτρόνια θα διεξάγεται από τον ηλεκτρολύτη προς την κάθοδο διοξειδίου του άνθρακα-μαγγανίου. Από εκεί, τα ηλεκτρόνια μεταφέρθηκαν εξωτερικά, ενεργοποιώντας οποιαδήποτε συσκευή συνδεόταν με την μπαταρία.

ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΜΟΛΥΒΔΟΥ ΑΣΒΕΣΤΙΟΥ

Οι μπαταρίες μόλυβδου-ασβεστίου έχουν φθηνότερο κόστος κατασκευής, μικρότερο ποσοστό αυτοεκφόρτισης, λιγότερη ανάγκη συντήρησης και προτιμώνται από τους κατασκευαστές έως και σήμερα. Κατασκευάστηκαν από τους EU. B. Thomas και W. Haring στα εργαστήρια της Bell Labs. Η μπαταρία έχει σκελετό πλάκας από μείγμα μόλυβδου – ασβεστίου, και χρησιμοποιείται σαν μπαταρία υποστήριξης στο αμερικάνικο τηλεφωνικό δίκτυο

ΜΠΑΤΑΡΙΑ ΜΟΛΥΒΔΟΥ ΣΕΛΗΝΙΟΥ

Η κατασκευή των πλακών τους γίνεται από μείγμα μόλυβδου – σεληνίου, ενώ τα μεταλλικά τους κράματα στη βελτιωμένη τους έκδοση δίνουν μεγαλύτερη αντοχή στο σκελετό των πλακών με αποτέλεσμα να έχουν μεγαλύτερο πάχος και να υποστηρίζουν μεγαλύτερη ποσότητα οξειδίου. Συνεπώς, η βελτίωση των μεταλλικών κραμάτων της

συνεισφέρει στην αύξηση του μέσου όρους ζωής της καθώς και των ηλεκτροχημικών επιδόσεών της, και την ικανότητα βαθιάς εκφόρτισης

Οι σύγχρονες μπαταρίες, ανάλογα τον τρόπο σχεδίασής τους χωρίζονται σε δύο κατηγορίες τις δευτερεύουσες και τις πρωτεύουσες. Οι πρωτεύουσες (ή αλλιώς κύριες) έχουν μια χρήση και αφού εξαντληθούν ανακυκλώνονται είτε απορρίπτονται. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι μπαταρίες από ψευδάργυρο, αλκαλικές, από ασήμι, οξείδιο, αέρα ψευδαργύρου και μερικές από λίθιο. Οι δευτερεύουσες, έχουν την δυνατότητα επαναφόρτισης έως και χίλιες φορές ανάλογα τη χρήση τους. Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει μπαταρίες οξέος μόλυβδου, νικέλιο και κάδμιο, υδρίδιο μετάλλου νικελίου και ιόντων λιθίου.

ΠΡΩΤΕΥΟΥΣΕΣ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ

Δεν έχουν την δυνατότητα ηλεκτρικής επαναφόρτισης και όταν επαναφορτιστούν μια φορά απορρίπτονται. Πολλά πρωτεύοντα στοιχεία στο οποία ο ηλεκτρολύτης περιέχεται σε ένα απορροφητικό ή διαχωριστικό υλικό ονομάζονται « ξηρά στοιχεία». Η πρωτεύουσα μπαταρία είναι μια βολική, συνήθως οικονομική, ελαφριά πηγή συσκευασμένης ενέργειας για φορητές ηλεκτρονικές και ηλεκτρικές συσκευές φωτισμό, παιχνίδια και μια σειρά από άλλες εφαρμογές. Στα πλεονεκτήματα αυτών των μπαταριών είναι η καλή διάρκεια ζωής, υψηλή ενεργειακή πυκνότητα σε χαμηλούς έως μέτριους ρυθμούς αποφόρτισης, και χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης.

ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΥ

Ο ψευδάργυρος, έχοντας σταθερό ηλεκτρικό δυναμικό, χρησιμοποιείται ως υλικό ανόδων για τις μπαταρίες. Μειονέκτημα των μπαταριών αυτών ήταν η χαμηλή διάρκεια ζωής τους.

ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΑΛΚΑΛΙΚΕΣ (1959)

Το 1955, ο Eveready (τόρα γνωστός ως Energizer) καθώς και άλλοι μηχανικοί, αναζητούσαν τρόπο για την επέκταση ζωής των μπαταριών ψευδαργύρου, υποστηρίζοντας ότι οι αλκαλικές έχουν τις προοπτικές αυτές πάρα το υψηλό τους

κόστος στην αγορά. Έτσι εφηύραν μια νέα αλκαλική μπαταρία που αποτελούνταν από μια κάθοδο διοξειδίου του μαγγανίου και μια κονιοποιημένη άνοδο ψευδαργύρου με ένα αλκαλικό ηλεκτρολύτη. Οι αλκαλικές μπαταρίες εμφανίστηκαν στην αγορά το 1959 και εξακολουθούν να αντιπροσωπεύουν το 80 % των κατασκευασμένων μπαταριών και πάνω από δέκα δισεκατομμύρια μεμονωμένες μονάδες που παράγονται παγκοσμίως το 2011.

ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΑΠΟ ΑΕΡΑ ΨΕΥΔΡΑΡΓΥΡΟΥ

Οι μπαταρίες ψευδάργυρου – αέρα έχουν χαμηλό κόστος και ικανοποιητική απόδοση. Η λειτουργία τους βασίζεται σε οξυγόνο που χρησιμοποιούν από τον αέρα.

ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΛΙΘΙΟΥ (1970)

Το λίθιο χαρακτηρίζεται από χαμηλή πυκνότητα και από ισχυρό ηλεκτροχημικό δυναμικό, κάνοντάς το ιδανικό υλικό για την κατασκευή μπαταριών. Το 1912 ξεκίνησαν οι πειραματισμοί για την κατασκευή μπαταριών λιθίου ενώ το 1970 διείσδυσαν στην αγορά. Σημαντικό τους μειονέκτημα, είναι η ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών με κίνδυνο πυρκαγιάς.

ΔΕΥΤΕΡΕΟΥΣΕΣ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ

Έχουν την δυνατότητα ηλεκτρικής επαναφόρτισης, μετά από την αποφόρτισή τους, στην αρχική τους κατάσταση με τη διαδικασία ροής ρεύματος μέσα από αυτές στην αντίθετη όμως κατεύθυνση από αυτή του ρεύματος αποφόρτισης. Είναι συσκευές αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας και είναι επίσης γνωστές σαν μπαταρίες αποθήκευσης ή συσσωρευτές. Οι εφαρμογές των δευτερευουσών μπαταριών χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες :

- Ως σύστημα αποθήκευσης ενέργειας που είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένη και φορτίζεται από μια κύρια πηγή ενέργειας και μεταφέρει την ενέργειά της στο φορτίο όταν της ζητηθεί. Κάποιες εφαρμογές της είναι σε συστήματα αυτοκινήτων και αεροπλάνων, υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα και συστήματα στάσιμης ενεργειακής αποθήκευσης για την ηλεκτρική χρήση ανύψωσης φορτίου.

- Χρησιμοποιείται ή εκφορτίζεται σαν μια πρωτεύουσα μπαταρία, αντί όμως να απορρίπτεται μετά τη χρήση της, αυτή επαναφορτίζεται. Οι συγκεκριμένες μπαταρίες έχουν αρκετές εφαρμογές όπως σε φορητές ηλεκτρονικές καταναλώσεις, ηλεκτρικά εργαλεία, ηλεκτρικά οχήματα για μείωση του κόστους καθώς μπορούν να επαναφορτιστούν αντί να αντικατασταθούν και σε εφαρμογές όπου η άντληση ενέργειας είναι πέρα από τα όρια μιας πρωτεύουσας μπαταρίας.

Οι δευτερεύουσες μπαταρίες πέρα από την ικανότητά τους να επαναφορτίζονται έχουν υψηλή πυκνότητα ισχύος, υψηλό ρυθμό αποφόρτισης, επίπεδες καμπύλες αποφόρτισης και καλές επιδόσεις σε χαμηλές θερμοκρασίες. Οι ενεργειακές τους πυκνότητες είναι γενικά χαμηλότερες από αυτές των πρωτευουσών μπαταριών και η κατακράτηση φορτίου είναι επίσης φτωχότερη από ότι στις περισσότερες μπαταρίες μπορεί να ανακτηθεί με την επαναφόρτιση.

ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΜΟΛΥΒΔΟΥ ΟΞΕΟΣ (1859)

Εφευρέθηκε από τον Γάλλο Gaston Plante, και είναι ο παλαιότερος τύπος επαναφορτιζόμενης μπαταρίας. Χαρακτηρίζεται από χαμηλή αναλογία ενέργειας προς βάρος και χαμηλή αναλογία ενέργειας προς όγκο. Η ικανότητα παροχής υψηλών ρευμάτων υπέρτασης σημαίνει ότι οι κυψέλες διατηρούν μια σχετικά μεγάλη αναλογία ισχύος προς βάρος. Αυτά τα χαρακτηριστικά, μαζί με το χαμηλό κόστος, τα καθιστούν ελκυστικά για χρήση σε οχήματα για να παρέχουν το υψηλό ρεύμα που απαιτείται από τους κινητήρες εκκίνησης αυτοκινήτων.

ΜΠΑΤΑΡΙΑ ΝΙΚΕΛΙΟΥ ΚΑΔΜΙΟΥ (1899)

Ο Σουηδός Waldmar Jungner, εφηύρε το νικέλιο μπαταρία καδμίου, μια επαναφορτιζόμενη μπαταρία που είχε νικέλιο και ηλεκτρόδια καδμίου σε διάλυμα υδροξειδίου του καλίου η πρώτη μπαταρία χρησιμοποιεί αλκαλικό ηλεκτρολύτη. Τα πρώτα μοντέλα ήταν στιβαρά και είχαν σημαντικά καλύτερη ενεργειακή πυκνότητα από τις μπαταρίες μολύβδου οξέος, αλλά πιο ακριβό. Μπορεί να υποφέρουν από μνήμη και να επαναφορτιστούν και να αποφορτιστούν στην ίδια κατάσταση φόρτισης εκατοντάδες φορές.

ΜΠΑΤΑΡΙΑ ΝΙΚΕΛΙΟΥ ΜΕΤΑΛΛΟΥ ΥΔΡΙΔΙΟΥ (1980)

Προς τα τέλη της δεκαετίας του 1980, ο Stanford R. Ovshinsky εφηύρε το Μπαταρία NiMH, μια παραλλαγή του NiCd, που αντικατέστησε το ηλεκτρόδιο καδμίου με μια από κράμα που απορροφά υδρογόνο. Μπαταρίες NiMH τείνουν να έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από τις μπαταρίες NiCd (και τη διάρκεια ζωής τους συνεχίζουν να αυξάνονται καθώς οι κατασκευαστές πειραματίζονται με νέα κράματα) και Δεδομένου ότι το κάδμιο είναι τοξικό, οι μπαταρίες NiMH είναι λιγότερο επιβλαβείς για το περιβάλλον.

ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ ΙΟΝΤΩΝ ΛΙΘΙΟΥ (1990)



Η μπαταρία πολυμερούς ιόντων λιθίου κυκλοφόρησε το 1996. Αυτές οι μπαταρίες συγκρατούν τον ηλεκτρολύτη τους σε στερεό σύνθετο πολυμερές αντί για υγρό διαλύτη και τα ηλεκτρόδια και οι διαχωριστές είναι συγγενείς μεταξύ τους. Αυτή η διαφορά επιτρέπει στην μπαταρία να περικλείεται σε ένα εύκαμπτο περιτύλιγμα αντί για ένα άκαμπτο μεταλλικό περίβλημα, που σημαίνει ότι τέτοιες μπαταρίες μπορούν να διαμορφωθούν ειδικά για να ταιριάζουν σε μια συγκεκριμένη συσκευή. Έχουν επίσης υψηλότερο ενεργειακή πυκνότητα από τις κανονικές μπαταρίες ιόντων λιθίου. Αυτά τα πλεονεκτήματα την έχουν κάνει μια επιλογή μπαταρίας για κινητά τηλέφωνα, φορητούς υπολογιστές και τάμπλετ.

4.3 Σύγκριση μπαταριών

Οι τεχνολογίες μπαταριών διακρίνονται με βάση τη πυκνότητα ενέργειας, την αποδοτικότητα φόρτισης – εκφόρτισης, διάρκεια ζωής και περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Στο παρακάτω διάγραμμα συγκρίνονται κάποιες από τις κατηγορίες αυτές όπου παρατηρούμε ότι οι λιθίου είναι οι πιο εύχρηστες μπαταρίες για διάφορες εφαρμογές καθώς χαρακτηρίζονται από:

- Μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση
- Μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης
- Μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και
- Είναι πιο φιλικές ως προς το περιβάλλον

Πίνακας 4.1: Σύγκριση μπαταριών (Πηγή: [Handbook on Battery Energy Storage System \(adb.org\)](http://Handbook on Battery Energy Storage System (adb.org)))

	Energy density (kW/kg)	Round Trip Efficiency (%)	Life Span (years)	Eco-friendliness
Li-ion 	1st 150–250	1st 95	1st 10–15	1st Yes
NaS 	2nd 125–150	2nd 75–85	2nd 10–15	2nd No
Flow 	3rd 60–80	3rd 70–75	4th 5–10	4th No
Ni-Cd 	4th 40–60	4th 60–80	3rd 10–15	3rd No
Lead Acid 	5th 30–50	5th 60–70	5th 3–6	5th No

5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Συστήματα Αποθήκευσης μπαταριών

Για τη σύνδεση των μπαταριών στο δίκτυο χρειάζεται η κατάλληλη μελέτη και σχεδιασμός της εγκατάστασης του συστήματος. Στο κεφάλαιο αναλύονται τα μέρη που αποτελείται ένα σύστημα αποθήκευσης, ο τρόπος σύνδεσης στο δίκτυο, τα οφέλη που προσφέρονται στα δίκτυα και θα γίνουν αναφορές σε υπάρχων συστήματα.

5.1 Τεχνικά μέρη συστήματος αποθήκευσης μπαταριών

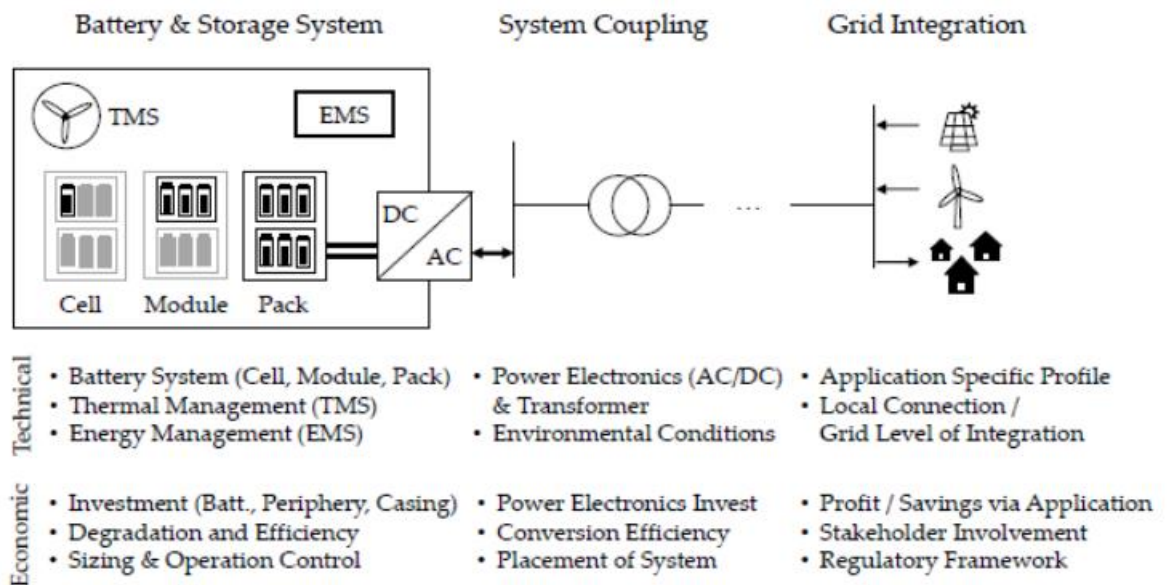
Το σύστημα μπαταριών αποτελείται από τεχνικά και οικονομικά στοιχεία. Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζονται τα στοιχεία αυτά με μια σχηματική απεικόνιση τυπικής σύνδεσης του δικτύου.

Τα τεχνικά μέρη είναι:

- Σύστημα μπαταριών
- Θερμική διαχείριση
- Ενεργειακή διαχείριση
- Ηλεκτρονικά ισχύος
- Μετασχηματιστής
- Περιβαλλοντικές συνθήκες
- Περιοχή σύνδεση και επίπεδο τάσης
- Προφίλ εφαρμογής.

Τα οικονομικά στοιχεία που είναι εξίσου σημαντικά για το σχεδιασμό της εγκατάστασης είναι:

- Μέγεθος Επένδυσης (Συσσωρευτές, Περιφερειακά, Συσκευασία και Εγκατάσταση)
- Βαθμός Απόδοσης και Γήρανση Υλικού
- Διαστασιολόγηση και Βέλτιστη Λειτουργία
- Μέγεθος Επένδυσης (Ηλεκτρονικά Ισχύος)
- Απόδοση Μετατροπής
- Βέλτιστη Τοποθέτηση Συστήματος
- Κερδοφορία Συστήματος
- Προδιαγραφή και Νομοθετικό Πλαίσιο
- Ύπαρξη πολλών Μετόχων

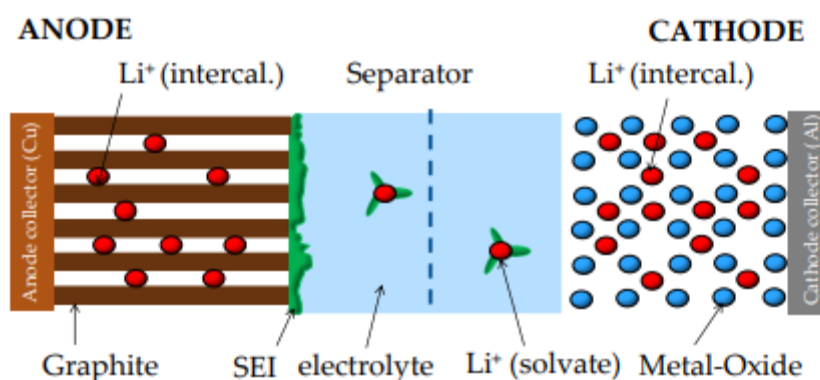


Εικόνα 5.1 : Δομή συστήματος αποθήκευσης (Πηγή: Διπλωματική Εργασία, Αποθήκευση ενέργειας με χρήση μπαταριών στην υψηλή και μέση τάση, Σαντικός Γεώργιος)

Για την πλήρη κατανόηση της εγκατάστασης του συστήματος αναλύονται όλα τα μέρη αυτή στη συνέχεια του κεφαλαίου.

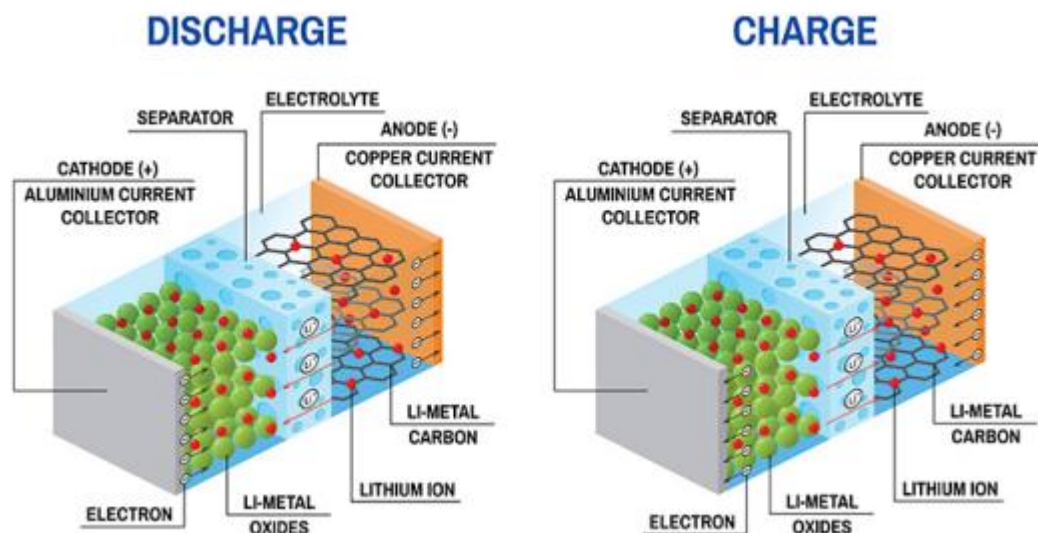
5.2 Μπαταρίες Λιθίου

Βασικότερο μέρος του συστήματος αποτελεί η μπαταρία, το μέσο αποθήκευσης. Σημαντική είναι η ανάλυση του στοιχείου αυτού για την κατανόηση της λειτουργίας του αλλά και της κατάλληλης σύνδεσης και εγκατάστασής στο σύστημα για την μέγιστη απόδοση και την βέλτιστη χρήση του. Από τα διάφορα είδη μπαταριών χρησιμοποιούνται κυρίως οι μπαταρίες λιθίου σε τέτοια συστήματα λόγω των χαρακτηριστικών τους. Η μπαταρία λιθίου είναι ένας τύπος επαναφορτιζόμενης μπαταρίας που αποτελείται από δύο ηλεκτρόδια, την άνοδο και την κάθοδο, τον ηλεκτρολύτη και τον διαχωριστή. Το ηλεκτρόδιο ανόδου είναι από οξειδίο του κοβάλτιου λιθίου, με ειδική χωρητικότητα ($3,86 \text{ Ah g}^{-1}$) και χαμηλό δυναμικό ηλεκτροδίου ενώ το ηλεκτρόδιο καθόδου από γραφίτη, συνδυασμένα με φθοριούχα μέταλλα ή οξειδία και βυθισμένα στον οργανικό ηλεκτρολύτη.



Εικόνα 5.2: Δομή μπαταρίας λιθίου (Πηγή: [1b07362176bc231262866923649f56c158e9.pdf](https://www.researchgate.net/publication/312628669/figure/fig/1/figure-pdf/1b07362176bc231262866923649f56c158e9.pdf))

Η αρχή λειτουργίας μια κυψέλης λιθίου βασίζεται στην αρχή φόρτισης και εκφόρτισής της. Τη περίοδο φόρτισης, τα άτομα λιθίου στην κάθοδο ιονίζονται σε ιόντα λιθίου και ηλεκτρόνια και μετακινούνται σε δομή πλέγματος προς την άνοδο όπου συνθέτουν άτομα λιθίου. Κατά την εκφόρτιση γίνεται η αντίστοιχη διαδικασία από την κάθοδο προς την άνοδο. Η μετακίνηση από την άνοδος προς την κάθοδο, πραγματοποιείται με τον ηλεκτρολύτη, ο οποίος επιτρέπει την ιονική μετακίνηση σε συνδυασμό με τα στοιχεία υλοποίησης των ηλεκτροδίων. Ο διαχωριστής, ο οποίος είναι ένας στερεός ηλεκτρολύτης, προστατεύει την άνοδο από την άμεση έκθεση του στον ηλεκτρολύτη, για την αποφυγή απώλειας χωρητικότητας.



Εικόνα 5.3: Αρχή λειτουργία μπαταρίας λιθίου (Πηγή: Σαντικός Γεώργιος, Διπλωματική Εργασία)

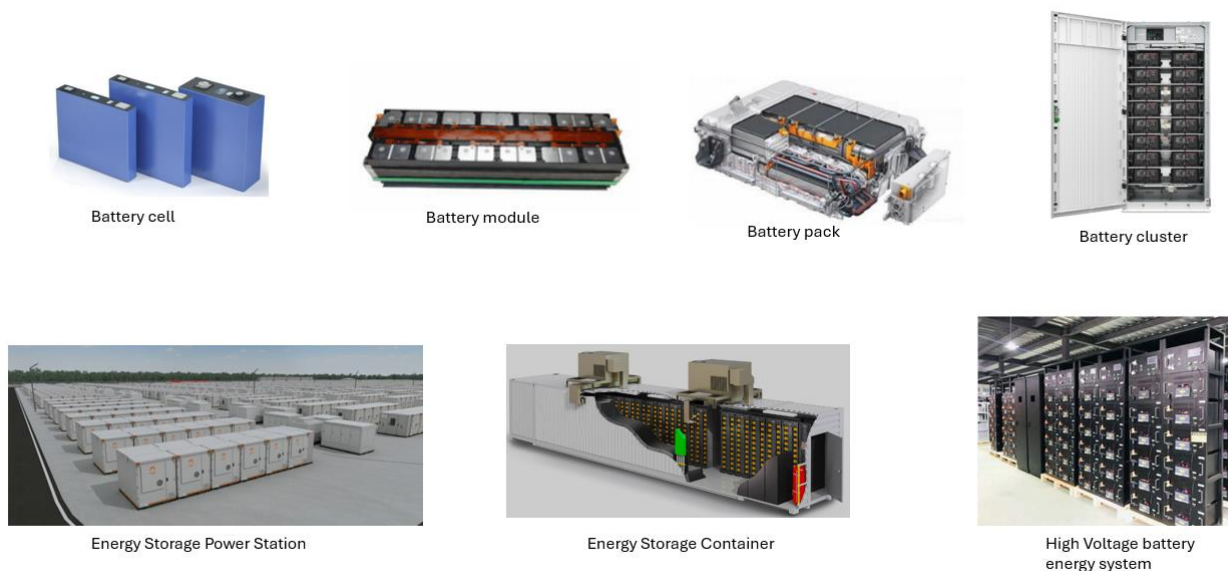
5.2.1 Γήρανση μπαταρίας

Η γήρανση είναι ένα αναπόφευκτο φαινόμενο που εμφανίζεται σε όλες τις μπαταρίες και τις ηλεκτροχημικές συσκευές, και προκαλεί δυσμενείς επιπτώσεις. Στις μπαταρίες παρατηρείται, με τις αλλαγές των χαρακτηριστικών τους όπως η χωρητικότητα, η αντίσταση και εντοπίζεται εύκολα με την παρακολούθηση της κατάστασης της υγείας της μπαταρίας (SOH). Με τη μέτρηση της SOH, υπολογίζεται το ποσοστό υποβάθμισης της μπαταρίας, δηλαδή της γήρανσης. Υπάρχουν δύο είδη γήρανση, η ημερολογιακή και η γήρανση λόγω κύκλων φόρτισης. Ο ρυθμός ημερολογιακής γήρανση, είναι άρρηκτος συνδεδεμένος με θερμοκρασία της μπαταρίας κυρίως, αλλά και με άλλες παραμέτρους όπως το SOC. Αναφορικά με τον ρυθμό γήρανσης λόγω κύκλων φόρτισης, συνδέεται με την εκφόρτιση και εκφόρτιση της εκάστοτε μπαταρίας. Κάθε ολοκληρωμένη φόρτιση – εκφόρτιση, δηλαδή ένας κύκλος

λειτουργίας, χαρακτηρίζεται από ξεχωριστό βάθος κύκλου και εύρος SOC, έχοντας διαφορετική επίδραση στη γήρανση. Σημαντικός είναι και ο ρυθμός φόρτισης και εκφόρτισης που και αυτός επηρεάζει ανάλογα τη γήρανση της μπαταρίας. Γενικά η γήρανση, δηλαδή η διάρκεια ζωής μπαταρίας, βρίσκεται ακόμα σε ερευνητικό στάδιο, για αυτό και δεν υπάρχουν αρκετές πληροφορίες.

5.2.2 Σύνδεση Μπαταριών

Αναφορικά με τη διασύνδεση των κυψελών, οι επιλογές είναι δύο σειριακά ή παράλληλα. Αυτό εξαρτάται από το εάν θέλει να αυξηθεί η τάση ή η χωρητικότητα του συστήματος αντίστοιχα. Σε σταθερές εφαρμογές του συστήματος, συνδέονται παράλληλα πολλαπλές κυψέλες, συντελώντας μια μονάδα, και έπειτα πολλαπλές μονάδες συνδέονται παράλληλα για την σύνδεση των πακέτων. Για την αύξηση της τάσης σε ένα επιθυμητό επίπεδο ώστε να μπορεί να συνδεθεί με το δίκτυο, συνδυάζονται τα πακέτα συντελώντας clusters, τα οποία σε συνδυασμό με τα απαραίτητα συστήματα που αναλύονται σε συνέχεια αποτελούν τοποθετούνται στα Energy Storage Containers. Τέλος για την σύνδεση σε ακόμα μεγαλύτερα επίπεδα τάσης, το οποίο εξαρτάται από την εκάστοτε εγκατάσταση του BESS συνδέονται παράλληλα τα Container μεταξύ τους. Η σειριακή ή παράλληλη σύνδεση των κυψελών/μονάδων/πακέτων/ cluster/ container, γίνεται με βάση την μέγιστη αξιοπιστία καθώς και την συνεχή λειτουργία του συστήματος σε περίπτωση βλάβης.



Εικόνα 5.4 : Σχηματική αναπαράσταση της διαδρομής από κυψέλη μπαταρίας σε σύστημα αποθήκευσης ενέργειας

5.3 Ηλεκτρονικά ισχύος

Οι μετατροπείς, αποτελούν την γέφυρα σύνδεσης του συστήματος αποθήκευσης με το ηλεκτρικό δίκτυο μετατρέποντας την συνεχή σε εναλλασσόμενη τάση, ενώ

καθορίζουν την φόρτιση και εκφόρτιση της μπαταρίας. Όπως και οι συσσωρευτές, μπορούν να συνδεθούν είτε σε σειρά είτε παράλληλα, δηλαδή είτε σε κάθε container ή σε έναν ζυγό DC τάσης, που αντιστοιχούν συστοιχίες μπαταριών αντίστοιχα. Συγκριτικά με αυτές τις δύο συνδέσεις, παρόλο που η παράλληλη είναι πιο οικονομική προτιμάται η σειριακή για λόγους αξιοπιστίας και ευκολίας ως προς τη αντικατάσταση βλάβης. Στη σειριακή σύνδεση, δίνεται η δυνατότητα αποσύνδεσης μια συγκεκριμένης μονάδας σε περίπτωση βλάβης ή κάποιας αντικατάστασης, που συνεπάγει ότι δεν επηρεάζεται η συνολική απόδοση του συστήματος. Ο μετατροπέας που χρησιμοποιείται στις εγκαταστάσεις αυτές είναι ο αμφίδρομος μετατροπέας PCS. Μετατρέπει το συνεχές σε εναλλασσόμενο ρεύμα και αντίστροφα για την φόρτιση την παροχή ενέργειας σε δίκτυο ή την αποθήκευση ενέργειας στο σύστημα μπαταριών αντίστοιχα. Εκτός από τη λειτουργία αυτή, περιέχει φίλτρα αρμονικών, μειώνοντας τις αρμονικές του ρεύματος, συγχρονίζεται με τη συχνότητα του δικτύου, έχει γρήγορο χρόνο απόκρισης και έχει τη δυνατότητα δυναμικού ελέγχου του συντελεστή ισχύος. Οι μετατροπείς έχουν τρία είδη συνδέσεων: το μονό , το διπλό στάδιο και οι πολυεπίπεδες τοπολογίες. Στο μονό στάδιο, μόνο ένας μετατροπέας ισχύος χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της φόρτισης και εκφόρτιση του συστήματος αποθήκευσης και ταυτόχρονα να συνδεθεί στο δίκτυο AC. Για τα τριφασικά συστήματα, συνίσταται τριφασικός αμφίδρομος μετατροπέας. Στο διπλό στάδιο, χρησιμοποιούνται δύο μετατροπείς ισχύος: ένας μετατροπέας DC/DC για τον έλεγχο της φόρτισης και εκφόρτισης των συστημάτων αποθήκευσης και ένας μετατροπέας DC/AC για διασύνδεση με το δίκτυο AC. Το στάδιο DC/DC ενισχύει την τάση DC στο κατάλληλο επίπεδο, έτσι ώστε το στάδιο του μετατροπέα μπορεί να συνδεθεί απευθείας με το δίκτυο χαμηλής τάσης . Οι πολυεπίπεδες τοπολογίες χρησιμοποιούνται συνήθως για εφαρμογές υψηλής τάσης. Αυτές οι τοπολογίες επιτρέπουν τη σύνθεση μιας επιθυμητής τάσης AC από πολλά επίπεδα τάσεων συνεχούς ρεύματος και μειώνει το μπλοκάρισμα τάσης των διακοπών ρεύματος.



Εικόνα 5.5: Inverter τοποθετημένος σε container με μορφή ντουλάπας εσωτερικού χώρου(Πηγή: oegreenpower.com/commercial-industrial-energy-storage-system?gad_source=1&gclid=CjwKCAiAqY6tBhAtEiwAHeRopf3JL7W3cgBQgPKDpuukKDh49GoVKSE1i1JodHwwDLqmBPoAo_7dKhoCFPcQAvD_BwE)



Εικόνα 5.6: PCS σε αποκλειστικό container (Πηγή: [Mobile Solar Container Solution | Mobile Solar | Statcon Energiaa](#))



Εικόνα 5.7 : PCS σε εξωτερικό χώρο (Πηγή: [DC1500V Container Solution \(kstar.com\)](#))

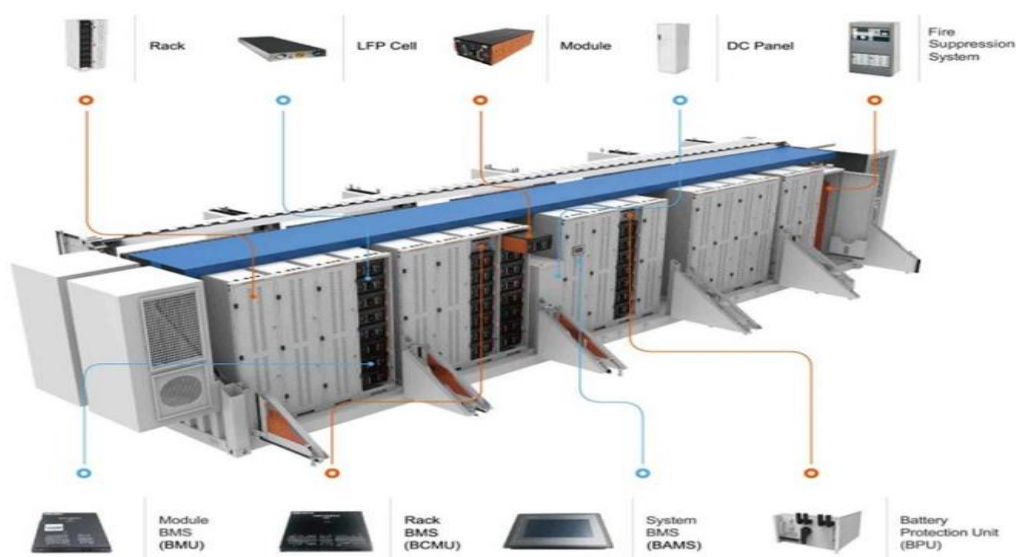
Απαραίτητα βοηθητικά συστήματα των ηλεκτρονικών ισχύος είναι οι πίνακες DC και AC. Ο πίνακας DC αναλαμβάνει το δευτερεύον σύστημα που λειτουργεί με DC τάση και ο πίνακας AC για το βοηθητικό δίκτυο AC. Και οι δύο πίνακες, είναι απαραίτητοι για τη διανομή και την προστασία των καλωδίων και των υποσυστημάτων, μέσω του κατάλληλου ραγούλικού, σχεδίαση και αυτοματισμούς. Επιπλέον, επικοινωνούν με στο σύστημα SCADA για την ενημέρωση του χρήστη αναφορικά με πιθανά σφάλματα και σήματα στο υλικό των πινάκων.

5.4 Μετασχηματιστής ανύψωσης

Ο μετασχηματιστής τοποθετείται μετά το Container, για την προσαρμογή του επιπέδου τάσης στο επιθυμητό του δικτύου, ανάλογα χαμηλής, μέσης ή υψηλή τάσης εξασφαλίζοντας τη σωστή κατανομή ενέργειας και την αξιοπιστία του συστήματος. Αυτή η σύνδεση επιτυγχάνεται με την μετατροπή του επιπέδου τάσης στο επιθυμητό μέσω του Μετασχηματιστή (Μ/Σ) Ανύψωσης. Στην συνέχεια αν χρειάζεται περεταίρω ανύψωση η τάση για να συνδεθεί πχ. στην ΥΤ, τότε χρειάζεται Μ/Σ Ισχύος.

5.5 Βοηθητικά Συστήματα

Σε ένα Energy Storage Container, περιέχονται αρκετά βοηθητικά συστήματα τα οποία σκοπός τους είναι η επιτήρηση και η σωστή λειτουργία του Συστήματος Μπαταριών. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η δομή του συστήματος.



Εικόνα 5.8 : Εσωτερική δομή ενός Energy Storage Container (Πηγή: [Battery Energy Storage Systems - Power Reserve - MPINarada](#))

Πιο συγκεκριμένα τα συστήματα αυτά είναι:

1. Σύστημα διαχείρισης μπαταριών
2. Σύστημα διαχείρισης θερμοκρασίας
3. Σύστημα διαχείρισης ενέργειας
4. Σύστημα SCADA
5. Σύστημα πυροπροστασίας

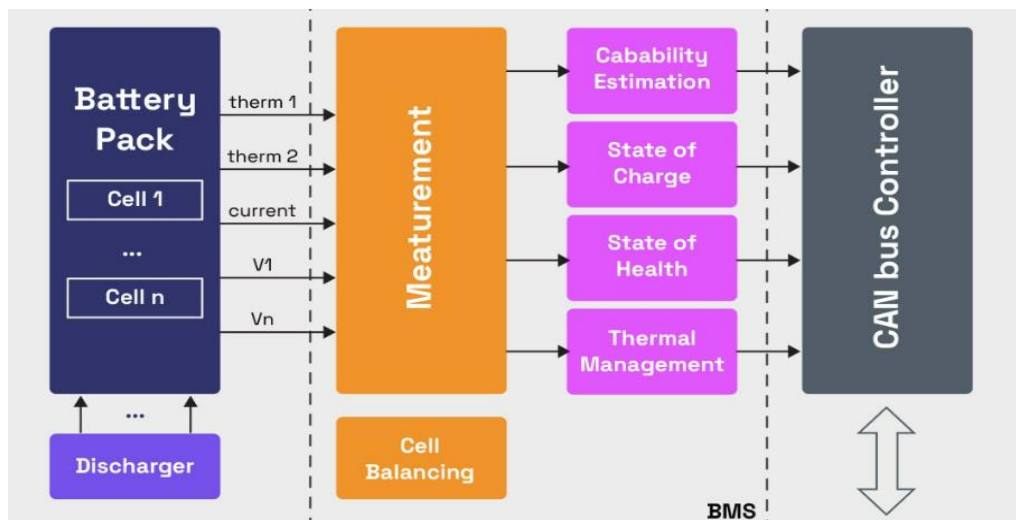
Τα οποία αναλύονται στη συνέχεια.

5.5.1 Σύστημα διαχείρισης μπαταριών

Το σύστημα μπαταριών, αποτελείται από τα μέρη που αναλύσαμε στην παραπάνω ενότητα και τα μέρη αυτά πρέπει να παρακολουθούνται για τη επιβεβαίωση της ορθής λειτουργίας του συστήματος. Το σύστημα εποπτείας είναι ενσωματωμένο στο Container, και ονομάζεται σύστημα ελέγχου και παρακολούθησης μπαταριών ή BMS. Μέσω των αισθητηρίων μπορεί και έχει τις εξής δυνατότητες:

- Για την αποφυγή βλάβης του συστήματος, εντοπίζει τη τάση και το ρεύμα λειτουργίας των κυψελών αλλά και τη συνολική του συστήματος.
- Περιλαμβάνει το σύστημα επιτήρησης θερμοκρασίας της κυψέλης και του συστήματος
- Επιβλέπει τη κατάσταση υγείας της μπαταρίας, δηλαδή του SOC
- Σύστημα ασφαλείας για πρόληψη βραχυκυκλωμάτων, σφαλμάτων γείωσης και θερμικής διαφυγής
- Εξασφαλίζει μεταφορά δεδομένων και προστατεύει το σύστημα αποθήκευσης από ανεπιθύμητη χρήση

Το BMS αποτελείται από τρία επίπεδα: τη μονάδα ελέγχου και παρακολούθησης μπαταριών, τη μονάδα ελέγχου και παρακολούθησης cluster μπαταριών και το σύστημα ελέγχου και παρακολούθησης μπαταριών.



Εικόνα 5.9: Δομή BESS (Πηγή: [Components of Battery Management System for Li-ion battery \(bacancysystems.com\)](http://Components of Battery Management System for Li-ion battery (bacancysystems.com)))

Η BMU συνδέεται σε κάθε battery Pack, συλλέγοντας τα απαραίτητα δεδομένα για τη θερμοκρασία, τάση, ρεύμα κ.α. των μπαταριών. Τα δεδομένα αυτά και τα σήματα που αφορούν τα clusters που στέλνονται στο BCMU κάθε BMU και από εκεί στο BMS κάθε Energy Storage Container. Τέλος, οι πληροφορίες αυτές μεταφέρονται στα συστήματα EMS και SCADA όπου μπορεί να της διαχειριστή ο ιδιοκτήτης της εγκατάστασης.

5.5.2 Σύστημα διαχείρισης θερμοκρασίας

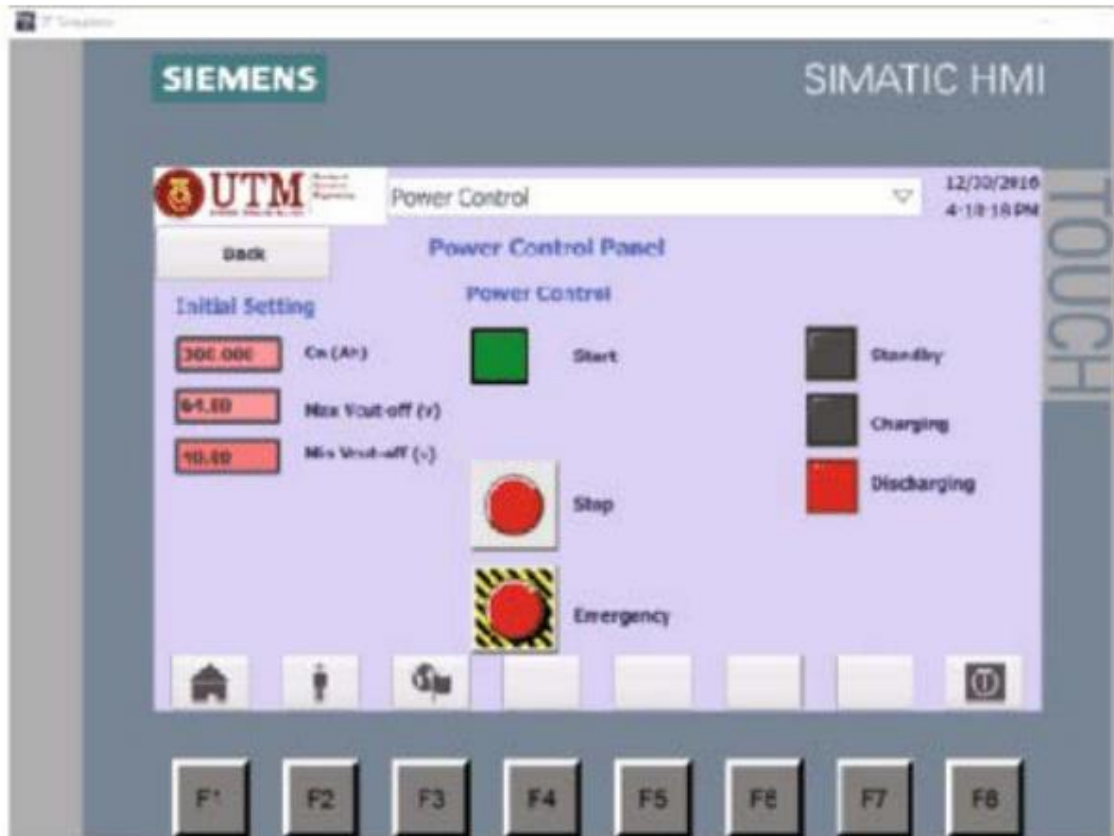
Το Σύστημα διαχείρισης θερμοκρασίας το οποίο είναι ενσωματωμένο στο Container, παρακολουθεί και διατηρεί τη θερμοκρασία του συστήματος. Αποτελείται από το Battery – TMS και το System S-TMS , το οποίο καθορίζει τη θερμοκρασία των μπαταριών και του συστήματος αντίστοιχα. Πιο συγκεκριμένα το BTMS, ελέγχει τη θερμοκρασία των κυψελών σύμφωνα με τις προδιαγραφές των κατασκευαστών και του πακέτου. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η θερμοκρασία επηρεάζει τη γήρανση των κυττάρων, άρα με το B-TMS ρυθμίζεται η λειτουργικότητα της μπαταρίας στα πλαίσια της ασφάλειας αλλά και διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Το σύστημα αυτό, περιλαμβάνει και το σύστημα ψύξης το οποίο μπορεί να είναι με αέρα, υγρή ψύξη ή ψυκτικό υγρό. Στις σταθερές εφαρμογές, συνηθίζεται η χρήση αερόψυξης, ή και κλιματισμού. Το S-TMS αφορά την ορθή λειτουργία ολόκληρου του Container και συνδυάζεται με όλα τα συστήματα που αφορούν την θέρμανση, αερισμό, κλιματισμό για την διατήρηση της θερμοκρασίας στο επιθυμητό επίπεδο. Οι πληροφορίες για τη λειτουργία αποστέλλονται μέσω δίαυλου επικοινωνίας στο σύστημα EMS, και από εκεί στο σύστημα SCADA για την μετάδοση της κατάστασης λειτουργίας του για την εποπτεία του συστήματος, όσο και για την μεταφορά σημάτων ως προς την ψύξη για σήμανση στην οθόνη επιτήρησης.

5.5.3 Σύστημα διαχείρισης ενέργειας

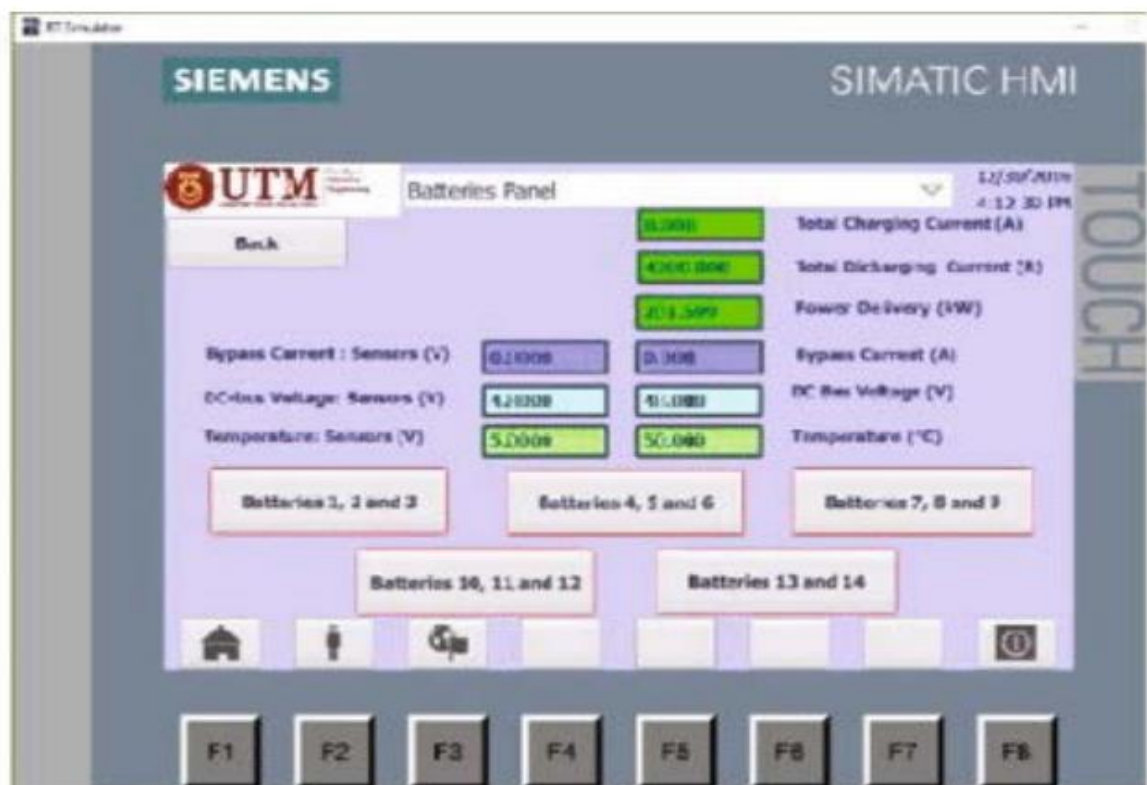
Το Σύστημα Διαχείρισης της Ενέργειας (EMS), είναι το σύστημα το οποίο είναι υπεύθυνο την βέλτιστη λειτουργία όλου του συστήματος και αφορά τη διαχείριση της ροής ισχύος και η διανομή από και προς τα battery clusters. Επικοινωνεί με σύστημα διαχείρισης θερμοκρασίας και μπαταριών και συλλέγει πληροφορίες για την θερμοκρασία του συστήματος και μπαταριών καθώς και την κατάσταση και συνθήκες λειτουργίες του συστήματος αντίστοιχα. και εποπτεύει τις θερμοκρασίες του συστήματος και των μπαταριών. Επιπλέον, επικοινωνεί και με όλες τις συσκευές του συστήματος, συλλέγοντας πληροφορίες για την κατάσταση λειτουργίας τους, της υγείας τους και της μεταξύ τους επικοινωνία. Όλες τις πληροφορίες αυτές, τις αποστέλλει στο σύστημα SCADA για την διαχείριση και την εποπτεία από τον χειριστή.

5.5.4 Σύστημα SCADA

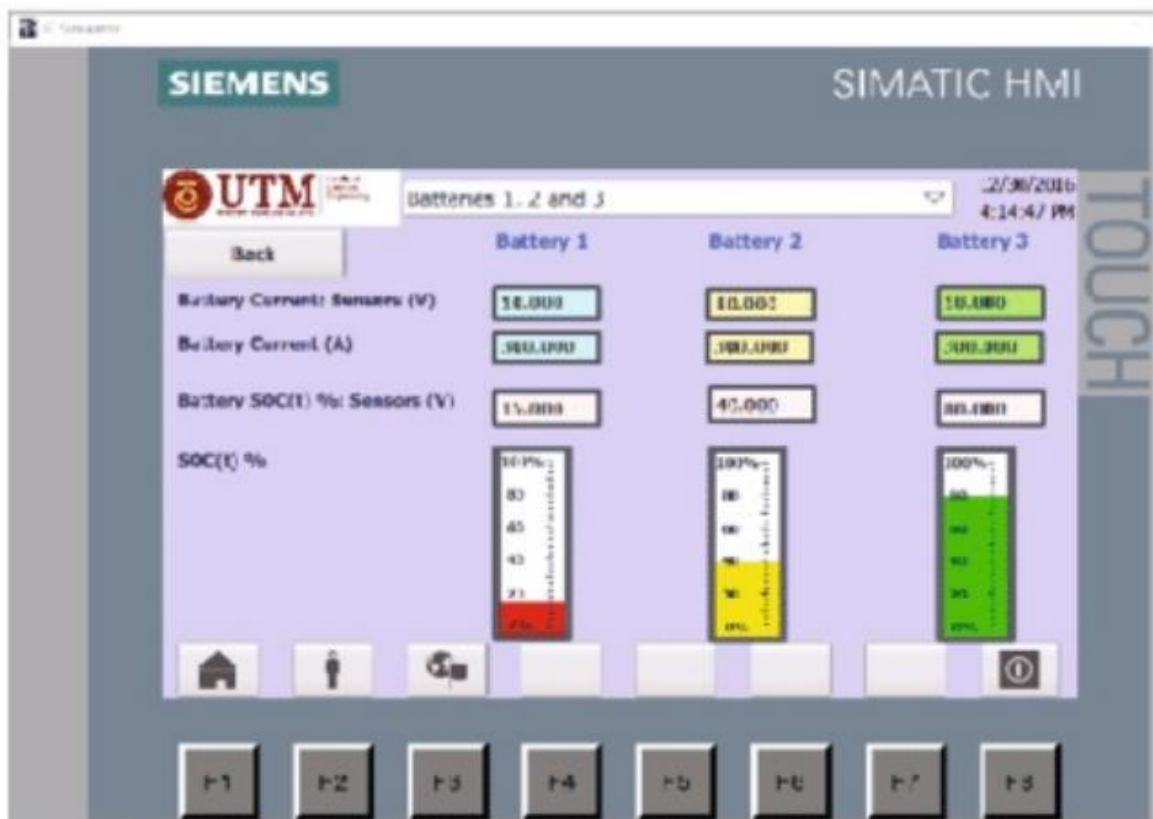
Το σύστημα SCADA, είναι το σύστημα εποπτείας και διεπαφής με τον άνθρωπο/χρήστη, το οποίο συλλέγει όλες τις πληροφορίες του συστήματος. Αποτελείται από οθόνες, στις οποίες φαίνονται τα δεδομένα και σημαντικές πληροφορίες λειτουργικής κατάστασης των συσκευών του συστήματος. Οι πληροφορίες αυτές απεικονίζονται με σήματα και γραφήματα. Ο χρήστης μέσω της οθόνης, έχει την δυνατότητα να διαχειριστεί και να εκτελέσει ενέργειες που επηρεάζουν το σύστημα, έχει πρόσβαση σε χειρισμούς διακοπτικών στοιχείων (Αποζεύκτες, Διακόπτες κλπ.) καθώς και δυνατότητα ελέγχου σφάλματος ή δυσλειτουργίας του συστήματος.



Εικόνα 5.10: Οθόνη SCADA : Διαχείριση συστήματος , όπου φαίνονται βασικές ρυθμίσεις (Πηγή: Διπλωματική Εργασία: Αποθήκευση ενέργειας με χρήση μπαταριών στην υψηλή και μέση τάση, Σαντικός Γεώργιος)



Εικόνα 5.11: Οθόνη SCADA: Πληροφορίες Συστήματος Μπαταριών, οι μετρήσεις για το συνολικό σύστημα (ρεύμα, ισχύς, τάση, θερμοκρασία) καθώς και επιλογή για πλοήγηση στα battery cluster (Πηγή: Διπλωματική Εργασία: Αποθήκευση ενέργειας με χρήση μπαταριών στην υψηλή και μέση τάση, Σαντικός Γεώργιος)



Εικόνα 5.12: Οθόνη SCADA: Πληροφορίες battery cluster 1, 2, 3, όπου φαίνονται σε λεπτομέρεια για τα τρία αυτά cluster, μετρήσεις τους (τάση, ένταση) και το SOC του καθενός (Πηγή: Διπλωματική Εργασία: Αποθήκευση ενέργειας με χρήση μπαταριών στην υψηλή και μέση τάση, Σαντικός Γεώργιος)



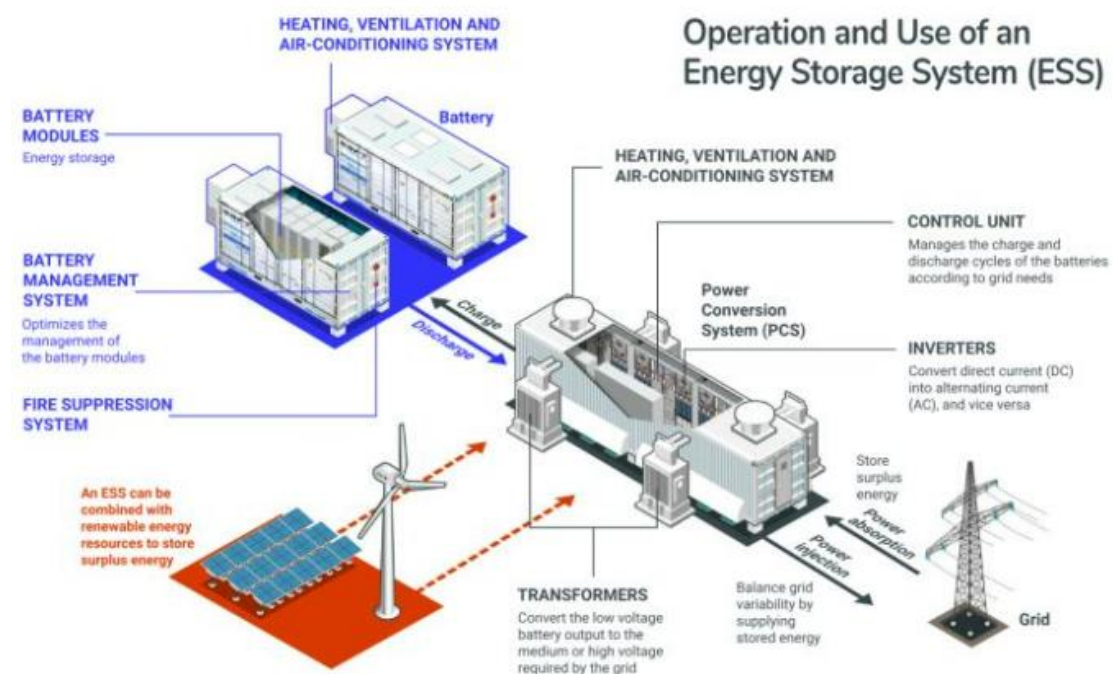
Εικόνα 5.13:Οθόνη SCADA: Γραφική επισκόπηση του συστήματος αποθήκευσης, συνήθως είναι η πρώτη εικόνα που βλέπει ο χειριστής, όπου γρήγορα φαίνεται η κατάσταση του συστήματος και πιθανές δυσλειτουργίες(Πηγή: Διπλωματική Εργασία: Αποθήκευση ενέργειας με χρήση μπαταριών στην υψηλή και μέση τάση, Σαντίκος Γεώργιος)

5.5.5 Σύστημα Πυροπροστασίας

Το Σύστημα Πυροπροστασίας, είναι το σύστημα το οποίο είναι υπεύθυνο για την ανίχνευση φωτιάς ή/και καπνού μέσα στο Energy Storage Container. Αποτελείται από δύο βασικά τμήματα, την πυρανίχνευση και την πυρόσβεση. Η πυρανίχνευση δουλεύει σαν ένα κλασικό σύστημα πυρανίχνευσης, με τους ανιχνευτές καπνού ή φωτιάς, με ότι τεχνολογία διαλέξει ο κατασκευαστής ή ότι έχει απαιτηθεί από την προδιαγραφή του έργου. Η πυρόσβεση έχει και αυτή δύο συνιστώσες. Έχει το κομμάτι της πυρόσβεσης με Διοξείδιο του Άνθρακα (CO₂) το οποίο εφαρμόζεται όπου υπάρχει φωτιά με αίτιο τον ηλεκτρισμό. Επίσης έχει το κομμάτι της πυρόσβεσης με νερό/ νεφέλωμα/ αφρό, το οποίο αφορά φωτιές που έχουν προκληθεί από άλλα αίτια πέραν του ηλεκτρισμού.

5.6 Τρόποι σύνδεσης στο δίκτυο

Η σύνδεση με το Δίκτυο Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας ή με το Δίκτυο Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας, είναι βασικό σημείο της σχεδίασης των στατικών εφαρμογών των Συστημάτων Αποθήκευσης Ενέργειας. Η σύνδεση του BESS στο δίκτυο, επιτρέπει την φόρτιση του συστήματος μέσω αυτού και την απόδοση της αποθηκευμένης ενέργειας σε περιόδους ζήτησης προς αυτό. Εκτός από τα διάφορα μέρη του συστήματος που έχουμε ήδη αναφέρει, για τη σύνδεση στο δίκτυο άκρως απαραίτητα είναι οι μετατροπείς και ο μετασχηματιστής ισχύος. Οι μετατροπείς, είναι υπεύθυνοι για την μετατροπή της συνεχούς τάσης του συστήματος σε εναλλασσόμενο και ο μετασχηματιστής για την ανύψωση της τάση αυτής στο επίπεδο του δικτύου. Οι τρόποι σύνδεσης στο δίκτυο ποικίλλουν και εξαρτώνται από το επίπεδο τάσης του δικτύου, τα στάδια μετατροπής σε κάθε μονάδα και την κατανομή φορτίου μεταξύ των ηλεκτρονικών ισχύος. Το BESS, έχει την δυνατότητα να ενσωματωθεί σε υπάρχων σύστημα ή να δημιουργηθεί νέα μονάδα για την ένταξή του. Σε κάθε περίπτωση αναλύονται οι απώλειες του συστήματος, το οποίο καθορίζει την αποδοτικότητά του και συνεπώς τη γήρανση του υλικού.

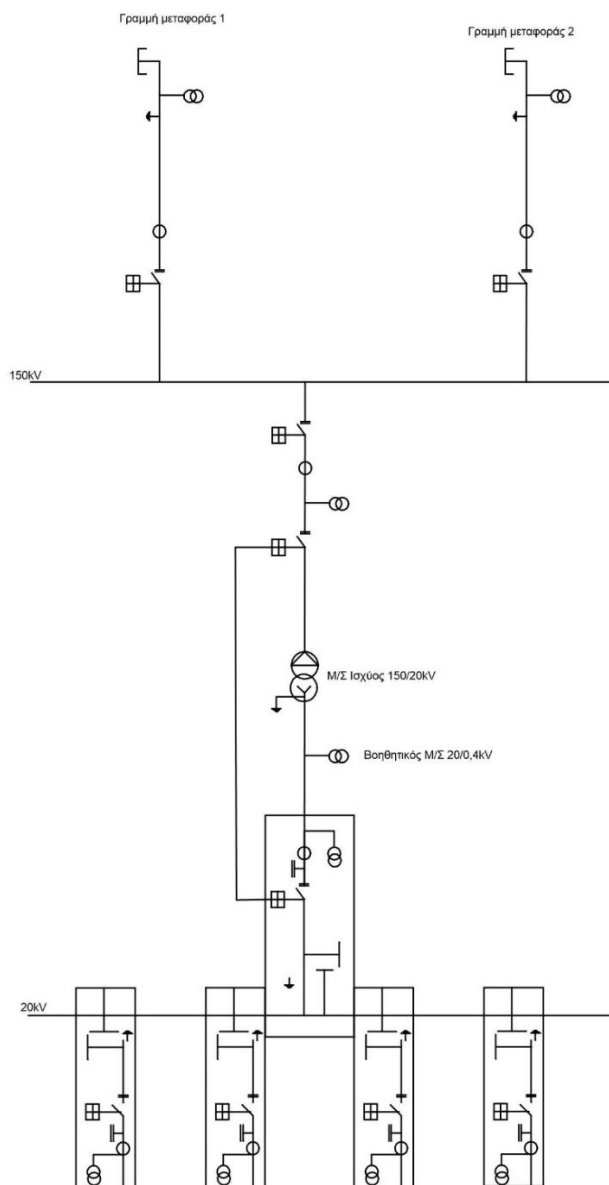


Εικόνα 5.14: Σύνδεση συστήματος μπαταριών σε δίκτυο

5.6.1 Υποσταθμοί ενέργειας και σύνδεση στο δίκτυο





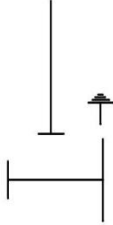
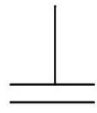
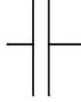
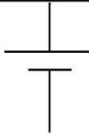

Τρόπος σύνδεσης στο δίκτυο μεταφοράς και διανομής είναι οι υποσταθμοί ενέργειας. Όπως ήδη αναφέρθηκε, η υψηλή και μέση τάση απαιτούν μετασχηματισμό του επιπέδου τάσης στο κατάλληλο επίπεδο. Οι υποσταθμοί περιλαμβάνουν τον διακόπτη φορτίου Μέσης ή Υψηλής Τάσης, συστήματα διαχείρισης ενέργειας και ασφάλειες μέσης ή υψηλής τάσης. Όπως απεικονίζεται και στο παραπάνω μονογραμμικό σχέδιο ο υποσταθμός αποτελείται από τα εξής:

- Γραμμές μεταφοράς: Η 1 συνδέεται στο δίκτυο και η 2 στο ζυγό υψηλής τάσης
- Μετασχηματιστή ισχύος για την μετατροπή της τάσης
- Ζυγό Μέσης Τάσης, 20kV όπου συνδέονται φορτία παραγωγής ή τροφοδότησης
- Πεδία μέσης τάσης που διακρίνονται σε παραγωγή και κατανάλωσης
- Βοηθητικός Μ/Σ για τροφοδοσία καταναλώσεων του Υ/Σ (φωτισμός, συστήματα προστασίας, τηλεεποπτείας κ.α.)
- Κάθε γραμμή φέρει τις απαραίτητες ασφαλιστικές διατάξεις που αφορούν τη διακόπτη ρεύματος σε περίπτωση σφάλματος, την απομόνωση του συστήματος, προστασία από φαινόμενο κεραυνού και τη βελτίωση του συντελεστή ισχύος μέσω των πυκνωτών.



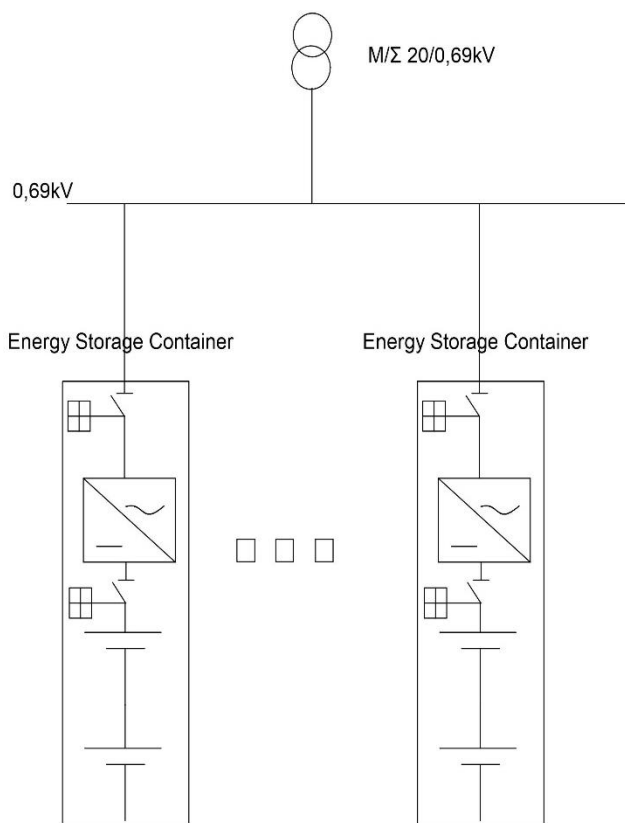
Διάγραμμα 5.1: Μονογραμμικό διάγραμμα Υ/Σ Ενέργειας

ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΜΟΝΟΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

	Γειωτής
	Αυτόματης διακόπτης ισχύος
	Πυκνωτής ζεύξης
	Μετασχηματιστής ισχύος
	Αποζευκτογειωτής
	Συστοιχία πυκνωτών αντιστάθμισης
	Χωρητικός καταμεριστής
	Battery Cluster
	PCS- INVERTER DC/AC

5.6.2 Σύστημα αποθήκευσης ενέργειας

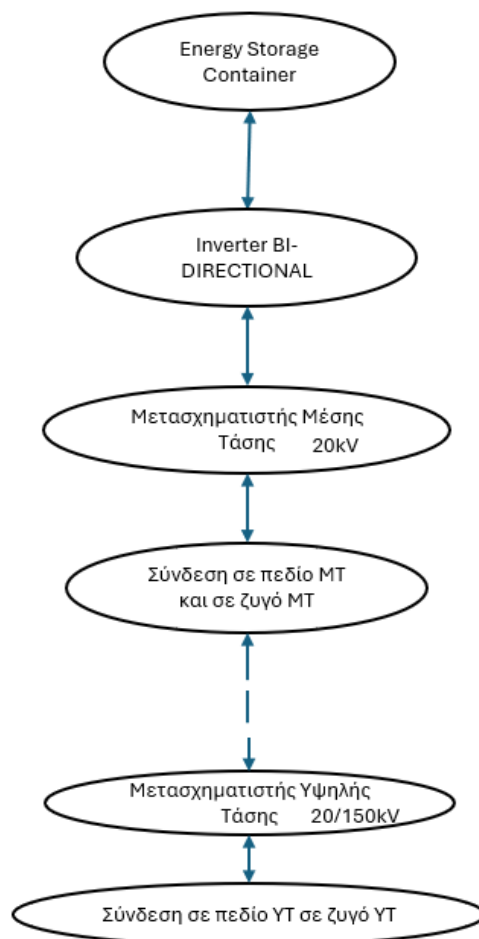
Το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας αποτελείται από τα Energy Storage Container. Μέσα σε αυτά τοποθετούνται όλες οι μπαταρίες με την κατάλληλη συνδεσμολογία ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή τάση. Κάθε πακέτο μπαταριών (battery cluster), αντιστοιχεί σε ένα διακόπτη απομόνωσης, ώστε να απομονωθεί μόνο το συγκεκριμένο σε περίπτωση βλάβης. Έπειτα εγκαθίσταται ο αμφίδρομος μετατροπέας για την μετατροπή της συνεχούς και εναλλασσόμενης τάσης και αντίστροφα. Για την απομόνωση όλου του Energy Storage Container τοποθετείται ακόμα ένας διακόπτης. Οι διακόπτες αυτοί τοποθετούνται για την προστασία του συστήματος από σφάλματα είτε για την συντήρηση που πιθανόν να χρειάζεται. Έπειτα για την ανύψωση της τάσης τοποθετείται ο Μετασχηματιστής ανύψωσης. Το σύστημα αυτό απεικονίζεται στο μονογραμμικό διάγραμμα 5.2



Διάγραμμα 5.2: Μονογραμμικό Διάγραμμα συστήματος αποθήκευσης

5.6.3 Διάγραμμα ροής

Το εν λόγω διάγραμμα ροής αφορά την σύνδεση μπαταριών στο δίκτυο. Πρωτάρχικο στάδιο της σύνδεσης αποτελεί το στάδιο παράλληλης ή σειριακής σύνδεσης των μπαταριών. Όπως προαναφέρθηκε, στην ανάλυση συστήματος μπαταριών, πρώτα συνδεούνται μεταξύ τους οι κυψέλες συντελώντας τις μονάδες, οι μονάδες δημιουργούν τα πακέτα και τα πακέτα τοποθετούνται στα Energy Storage Containers. Τα Container συνδεούνται και αυτά μεταξύ τους για την ανύψωση τάσης στα επιθυμητά όρια. Κάθε Container αποτελείται από τα βοηθητικά συστήματα που έχουν επίσης αναλυθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο. Αναφορικά τα συστήματα αυτά είναι το σύστημα διαχείρισης μπαταριών, σύστημα διαχείριση θερμοκρασίας, σύστημα ενέργειας καθώς και το σύστημα πυροπροστασίας. Επιπλέον μέσα στο Container, τοποθετούνται οι μετατροπείς για την μετατροπή της τάσης από εναλλασσόμενη σε συνεχή. Σημαντικό εξάρτημα είναι και ο βοηθητικός μετασχηματιστής ο οποίος αφορά την ικανοποίηση των αναγκών του container. Για την σύνδεση σε μέση ή υψηλή τάση είναι απαραίτητη η παρουσία του μετασχηματιστή ανύψωσης σε 20kV και 150kV αντίστοιχα.



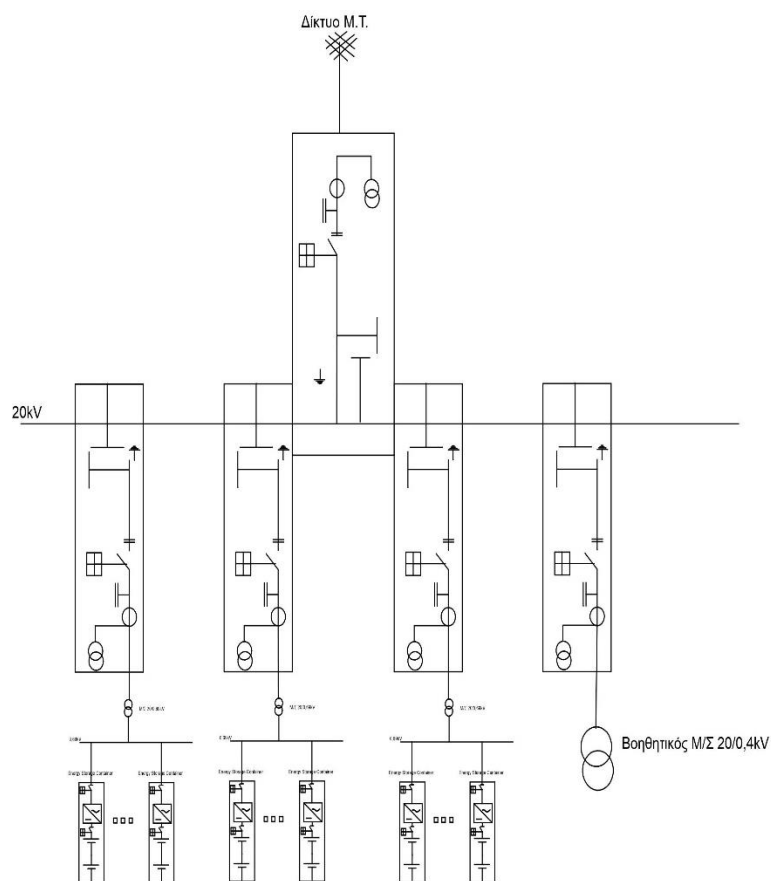
Διάγραμμα 5.3: Διάγραμμα ροής

5.6.4 Σύνδεση στη Μέση Τάση

Για τη σύνδεση ενός συστήματος στην ΜΤ, θα πρέπει η έξοδος του να είναι σε ίδιο επίπεδο τάσης με το δίκτυο, δηλαδή στα 20kV. Συνεπώς στη σχεδίαση του συστήματος όταν σχεδιάζεται ο Μ/Σ εξόδου Συστήματος αποθήκευσης, ο Ζυγός ΜΤ και το δίκτυο να είναι στην ίδια τάση, ώστε να μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους.

5.6.4.1 Σύνδεση συστήματος αποθήκευσης σε υπάρχων Υποσταθμό Μέσης Τάσης

Αφορά αυτόνομα συστήματα αποθήκευσης όπου χρειάζεται να δημιουργηθεί νέος υποσταθμός για τη σύνδεση στο δίκτυο. Τα energy storage containers συνδέονται στον μετασχηματιστή ανύψωσης, ώστε η τάση να φθάσει το επιθυμητό επίπεδο των 20kV και να συνδεθεί με το ζυγό μέσης τάσης, δηλαδή το πεδίο μέσης τάσης. Έπειτα μέσω του Incomer οδηγούνται προς το Δίκτυο. Με τον Incomer εννοείται οι ασφαλιστικές διατάξεις, ο βοηθητικός μετασχηματιστής, ο μετασχηματιστής ανύψωσης και η γείωση της μέσης τάσης. Μέρους του συστήματος είναι και ο βοηθητικός μετασχηματιστής που ικανοποιεί τις απαιτήσεις του Υ/Σ. Η διάταξη αυτή είναι ιδανική για τα συστήματα μεσαίου μεγέθους και αρκετά αποδοτική λόγω του σχεδιασμού της. Οι απώλειες περιορίζονται καθώς εξοπλισμός του συστήματος είναι όσο το δυνατόν πιο περιορισμένος για την αποφυγή τους. Κατά κύριο λόγο απώλειες παρατηρούνται στο σύστημα και στον Βοηθητικό Μετασχηματιστή.

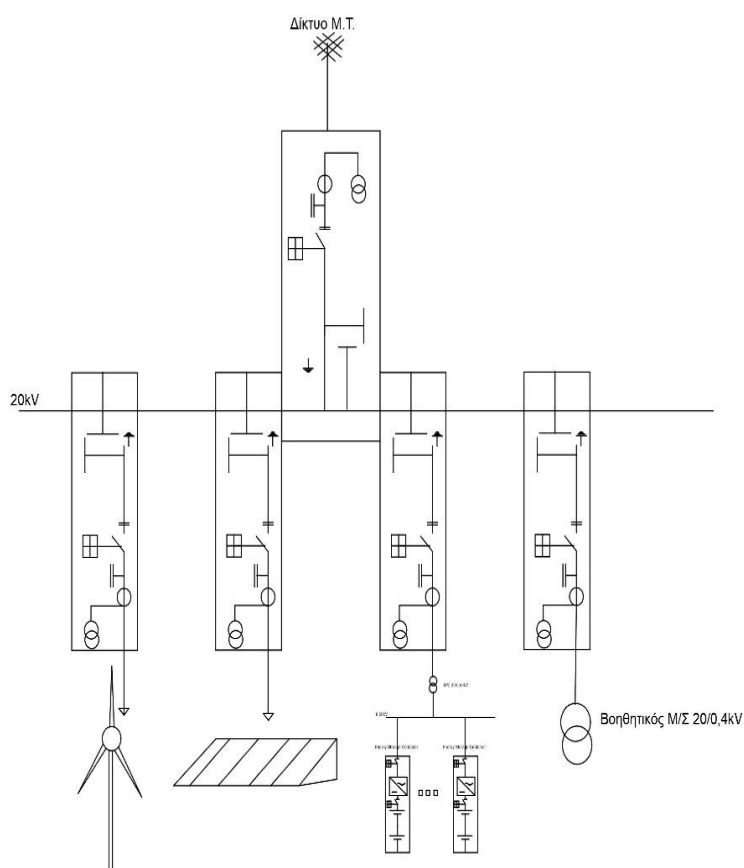


Διάγραμμα 5.4: Μονογραμμικό διάγραμμα σύνδεσης BESS σε νέο Υ/Σ

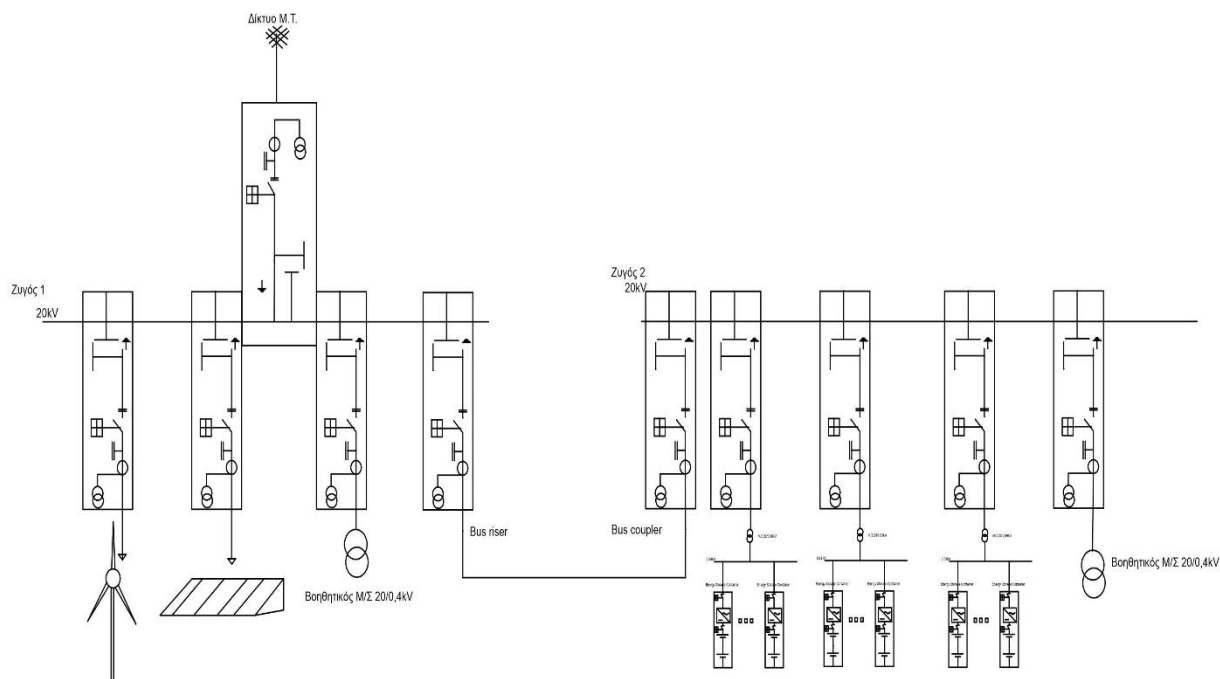
5.6.4.2 Σύνδεση συστήματος αποθήκευσης σε νέο Υποσταθμό Μέσης Τάσης

Στην περίπτωση που στη περιοχή εγκατάστασης του συστήματος αποθήκευσης υφίσταται Υ/Σ με τον απαραίτητο χώρο για την ένταξη του, τότε υπάρχουν δύο περιπτώσεις σύνδεσης

Στη πρώτη περίπτωση πραγματοποιείται επέκταση στον Υ/Σ αυτόν και ενσωμάτωση του BESS στο υπάρχον σύστημα. Η επέκταση πραγματοποιείται στο σύστημα και με την προσθήκη νέων πεδίων, αυξάνοντας τον ζυγό Μέσης Τάσης. Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται στον Incomer του Δικτύου, καθώς πρέπει να μπορεί να διαχειριστεί την ενέργει και του συστήματος αποθήκευσης αλλά και του υπάρχον συστήματος, ειδάλλως χρειάζεται να διαστασιολογηθεί κατάλληλα. Υπάρχει και ο βοηθητικός μετασχηματιστής που παρέχει βοηθητικές υπηρεσίες στον υποσταθμό όπως προαναφέρθηκε.



Διάγραμμα 5.5: Μονογραμμικό διάγραμμα σύνδεσης BESS με επέκταση σε υπάρχων Υ/Σ περίπτωση 1^η



Διάγραμμα 5.6: Μονογραμμικό διάγραμμα σύνδεσης BESS με επέκταση σε υπάρχων Υ/Σ περίπτωση 2^η

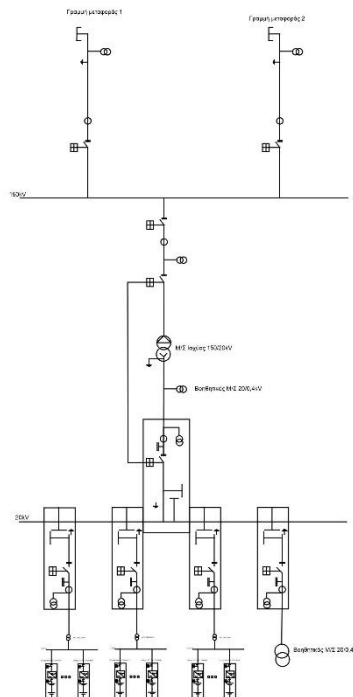
Η δεύτερη περίπτωση αφορά καταστάσεις όπου ο χώρος της ΜΤ είτε το κτίριο δεν επαρκούν χωρικά για την πραγματοποίηση της επέκτασης. Επομένως η επέκταση πραγματοποιείται σε νέο κτίριο/αίθουσα με δικό της ζυγό, ο ζυγός 2 ο οποίος περιλαμβάνει το σύστημα αποθήκευσης με τον βοηθητικό μετασχηματιστή. Ο ζυγός 1, ο υπάρχων ζυγός της εγκατάστασης, συνδέεται μέσω του Bus Coupler και Bus Riser με τον ζυγό 2. Ο Bus Coupler και Riser είναι διακόπτες που συνδέουν τους δύο ζυγούς. Η υπόλοιπη εγκατάσταση παραμένει ίδια με τον περίπτωση 1. Μία τέτοια τοπολογία διάταξης θα ταίριαζε καλύτερα σε ένα BESS μεσαίου προς μεγάλο μέγεθος.

5.6.5 Σύνδεση στην Υψηλή Τάση

Για τη σύνδεση ενός συστήματος στην ΥΤ, θα πρέπει η έξοδος του να είναι σε ίδιο επίπεδο τάσης με το δίκτυο, δηλαδή στα 150kV. Συνεπώς στη σχεδίαση του συστήματος όταν σχεδιάζεται ο Μ/Σ εξόδου Συστήματος αποθήκευσης, ο Ζυγός ΥΤ και το δίκτυο να είναι στην ίδια τάση, ώστε να μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους.

5.6.5.1 Σύνδεση BESS σε Νέο Υ/Σ ΥΤ

Αφορά αυτόνομα συστήματα αποθήκευσης όπου χρειάζεται να δημιουργηθεί νέος υποσταθμός για τη σύνδεση στο δίκτυο. Τα energy containers συνδέονται στον μετασχηματιστή ανύψωσης, ώστε η τάση να φθάσει το επιθυμητό επίπεδο των 20kV και να συνδεθεί με το ζυγό μέσης τάσης, δηλαδή το πεδίο μέσης τάσης. Έπειτα μέσω του Incomer οδηγούνται προς το μετασχηματιστή ισχύος και στον ζυγό ΥΤ. Έπειτα συνδέονται με τις γραμμές μεταφοράς και από εκεί στο δίκτυο. Μέρους του συστήματος είναι και ο βοηθητικός μετασχηματιστής που ικανοποιεί τις ιδιοκαταναλώσεις του Υ/Σ.



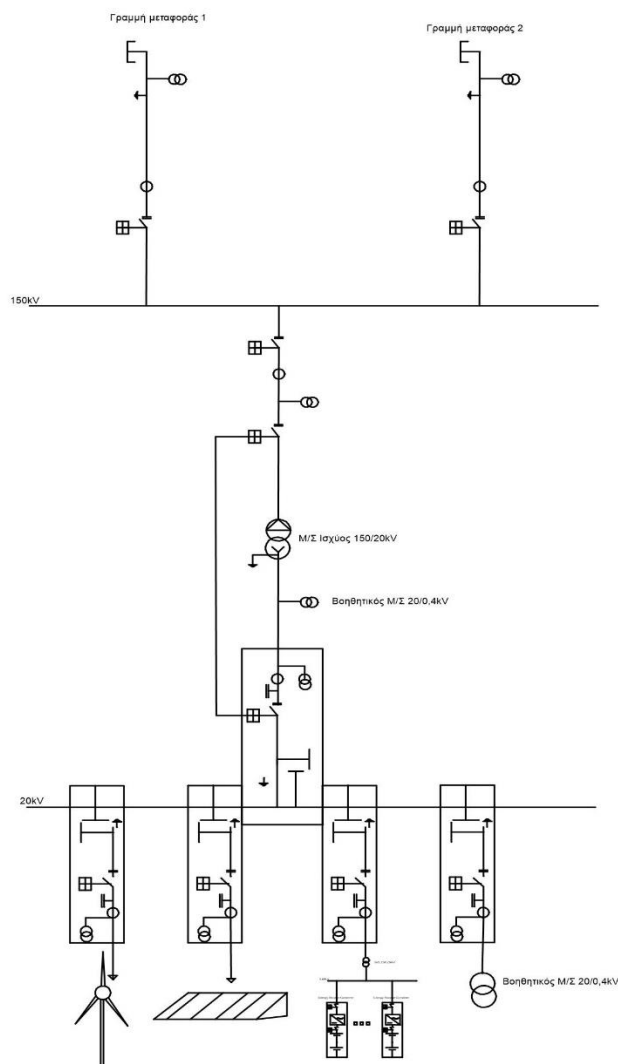
Διάγραμμα 5.7: Μονογραμμικό διάγραμμα σύνδεσης BESS σε νέο Υ/Σ

Αποδοτικά η διάταξη αυτή είναι ικανοποιητική εξυπηρετώντας κυρίως συστήματα αποθήκευσης μεγάλης κλίμακας. Αναφορικά με τις απώλειές τους προέρχονται κυρίως από τον Μ/Σ ισχύος.

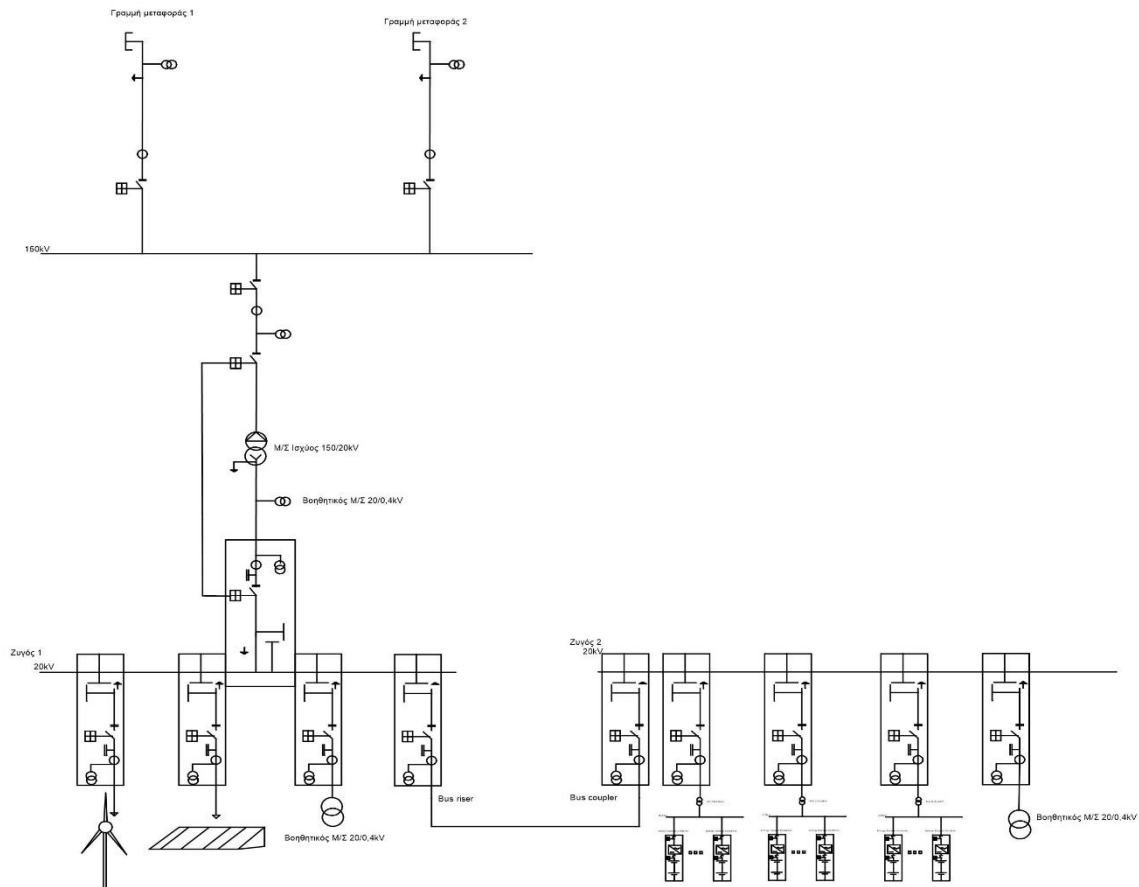
5.6.5.2 Σύνδεση BESS σε Υπάρχων Υ/Σ ΥΤ

Όπως και στην Μέση Τάση έτσι και στην Υψηλή υπάρχουν δύο περιπτώσεις σύνδεσης σε περιοχές όπου είναι υφιστάμενος Υ/Σ ΥΤ με τον κατάλληλο χώρο για την ένταξή του

Στη πρώτη περίπτωση πραγματοποιείται επέκταση στον Υ/Σ αυτόν και ενσωμάτωση του BESS στο υπάρχον σύστημα. Η επέκταση πραγματοποιείται στο σύστημα και με την προσθήκη νέων πεδίων, αυξάνοντας τον ζυγό Μέσης Τάσης. Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται στον Incomer του Δικτύου, καθώς πρέπει να μπορεί να διαχειριστεί την ενέργει και του συστήματος αποθήκευσης αλλά και του υπάρχον συστήματος, ειδάλως χρειάζεται να διαστασιοποιηθεί κατάλληλα. Η υπόλοιπη διάταξη είναι ακριβώς ίδια με την εγκατάσταση νέου Υ/Σ Υ.Τ. Αποδοτικά η περίπτωση είναι ικανοποιητική με τις μόνες απώλειες από τον Μ/Σ ισχύος μόνο από το σύστημα αποθήκευσης. Μία τέτοια τοπολογία διάταξης θα ταίριαζε καλύτερα σε ένα BESS μεσαίου και μεγάλου μεγέθους

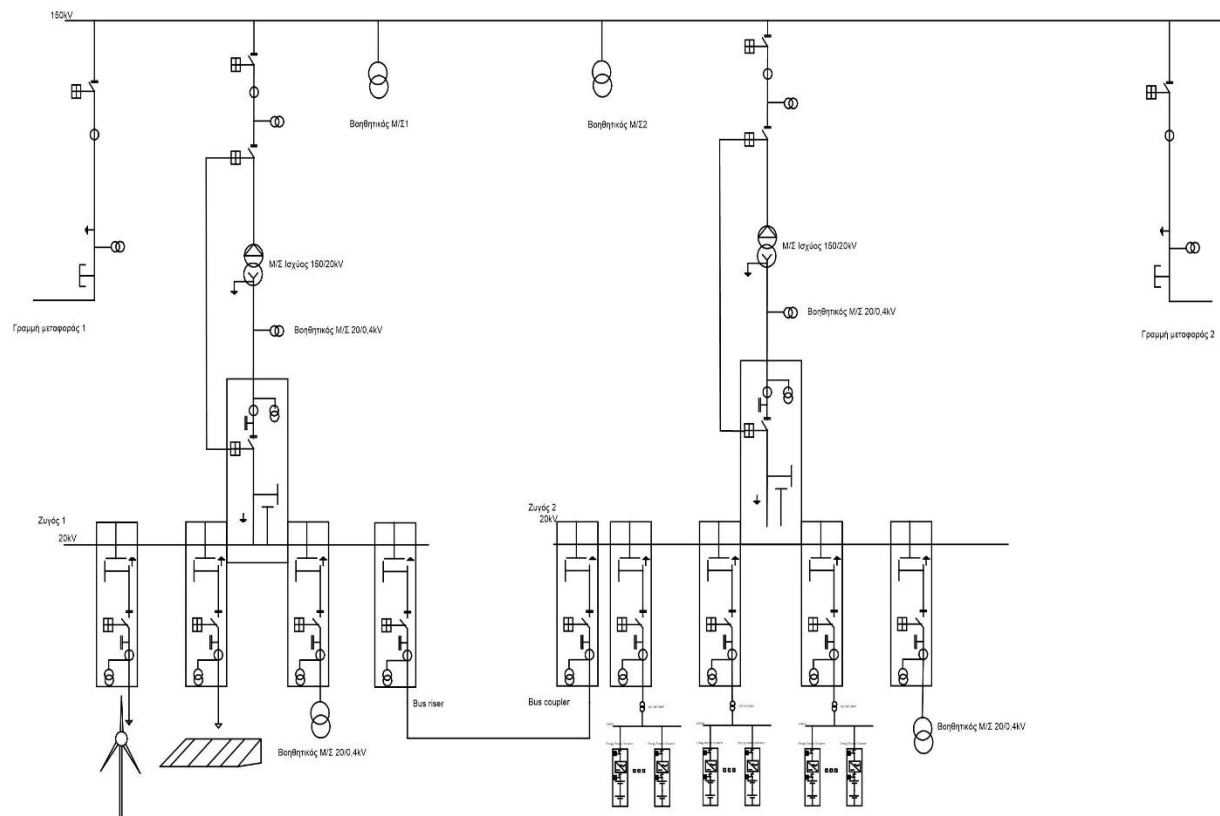


Διάγραμμα 5.8: Μονογραμμικό διάγραμμα σύνδεσης BESS με επέκταση σε υπάρχων Υ/Σ περίπτωση 1η



Διάγραμμα 5.9: Μονογραμμικό διάγραμμα σύνδεσης BESS με επέκταση σε υπάρχων Υ/Σ περίπτωση 2η

Η δεύτερη περίπτωση αφορά καταστάσεις όπου ο χώρος της ΜΤ είτε το κτίριο δεν επαρκούν χωρικά για την πραγματοποίηση της επέκτασης. Επομένως η επέκταση πραγματοποιείται σε νέο κτίριο/αίθουσα με δικό της ζυγό, ο ζυγός 2. Ο ζυγός 1, ο υπάρχων ζυγός της εγκατάστασης, συνδέεται μέσω του Bus Coupler και Bus Riser με τον ζυγό 2. Η υπόλοιπη εγκατάσταση παραμένει ίδια με τον περίπτωση 1. Μία τέτοια τοπολογία διάταξης θα ταίριαζε καλύτερα σε ένα BESS μεσαίου προς μεγάλου μεγέθους. Η απόδοση είναι αρκετά καλή με απώλειες μόνο από τον βοηθητικό μετασχηματιστή 2.



Διάγραμμα 5.10: Μονογραμμικό διάγραμμα σύνδεσης BESS με επέκταση σε υπάρχων Υ/Σ περίπτωση 3η

Στην τρίτη περίπτωση το BESS τοποθετείται σε έναν Υ/Σ ΥΤ με επέκταση, όπου το σύστημα περιέχει δικό του ζυγό ΜΤ και Μ/Σ ισχύος . Η ενέργεια οδηγείται στο Δίκτυο με πολλούς τρόπους, αλλά ο κυριότερος είναι μέσω του καινούργιου Incomer2 και σε συνέχεια μέσω του Μ/Σ2 . Ο Ζυγός 2 όπως και πριν έχει τα δικά του πεδία ΜΤ και ο Νέος Μ/Σ2 Ισχύος. Τέλος υπάρχει ο νέος ΒΜ/Σ2 του Ζυγού 2. Για την τροφοδότηση του Υ/Σ χρησιμοποιούνται εναλλακτικές παροχές που της χειρίζεται ο παραγωγός από τον πίνακα ac, μέσω της διαθέσιμης μεταγωγής. Μία τέτοια τοπολογία διάταξης θα ταίριαζε καλύτερα σε ένα BESS μεσαίου και μεγάλου μεγέθους.

5.7 Δυνατότητες συστημάτων μπαταριών

Τα συστήματα μπαταριών είναι αρκετά διαδεδομένα και αναμένεται να επεκταθούν περισσότερο τα επόμενα χρόνια λόγω των ιδιοτήτων τους. Αναλυτικά οι δυνατότητές τους είναι οι εξής:

- Παροχή ηλεκτρικής ενέργειας: Το σύστημα έχει τη δυνατότητα αποθήκευσης περίσσειας ενέργειας με χρήση για την κάλυψη μεγάλων ενεργειακών απαιτήσεων
- Άμεση ανταπόκριση σε διαταραχές τάσης και συχνότητας με μεγάλη ταχύτητα, δυνατότητα εξισορρόπησης μέσω του μετατροπέα του συστήματος
- Αποθεματικό: Μπορεί να παράγει μεγάλες ποσότητες ενέργειας και ισχύος
- Έγχυση άεργου ισχύος καθώς λειτουργεί ως πυκνωτής
- Ισορροπία δικτύου μέσω του μετατροπέα με την αποθήκευση και χρήση αποθηκευμένης ενέργειας όταν χρειάζεται

5.8 Οφέλη σύνδεσης μπαταριών σε δίκτυο

Οι δυνατότητες των συστημάτων αποθήκευσης προσφέρουν πλήθος οφελών στο δίκτυο τα οποία είναι σημαντικά και καθοριστικά για την εξέλιξή τους. Τα οποία είναι τα εξής:

Load Leveling: Έχουν την δυνατότητα να αποθηκεύουν ενέργεια. Η ιδιότητά τους αυτή, μπορεί να εκμεταλλευτεί αποθηκεύοντας την ενέργεια αυτή κατά τη διάρκεια φθηνής παραγωγής, και χρησιμοποίηση της σε περιόδους αιχμής όπου η ενέργεια είναι ακριβή από τον παραγωγό. Αποτελεί σημαντικό πλεόνασμα για τη ανάπτυξη εγκατάστασης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα δίκτυα επιλύοντας το βασικότερο πρόβλημά τους. Στην περίπτωση αυτή αποθηκεύει την περίσσεια ενέργειας κατά τη διάρκεια αιχμής και την προσφέρει στο δίκτυο σε περιόδους που οι φυσικοί πόροι δεν είναι διαθέσιμοι ή δεν μπορούν να καλύψουν το φορτίο ζήτησης.

Transmission Voltage Regulation: Στα δίκτυα πολλές αρκετές φορές παρατηρείται διαφοροποιήσεις στη τιμή των τάσεων, καθιστώντας μη αξιόπιστα και πολλές φορές επικίνδυνα. Με τη χρήση των συστημάτων αποθήκευσης η τάση μπορεί να διατηρηθεί σε συγκεκριμένα όρια διακύμανσης κατά τη μεταφορά αλλά και τη διανομή μέσω της έγχυσης άεργου ισχύος. Αυτό συμβαίνει καθώς τα συστήματα μπαταριών έχουν την δυνατότητα να λειτουργούν ως πυκνωτές (4^ο τεταρτημόριο),

διορθώνοντας τον παράγοντα ισχύος, ενώ μειώνει τις απώλειες ισχύος και βελτιώνει τη σταθερότητα του δικτύου.

Power Quality Improvement: Σημαντική υπόθεση στο δίκτυο είναι η ποιότητα ισχύος που καθορίζει την αξιοπιστία του συστήματος, ενώ ταυτόχρονα συνδέεται άρρηκτα με τη τάση. Όπως αναφέρθηκε και το Transmission Voltage Regulation, τα συστήματα έχουν την δυνατότητα ρύθμιση τάσης. Αυτό πραγματοποιείται μέσω της εξομάλυνση απότομων βυθίσεων και αιχμών τάσης, βελτιώνοντας έτσι εντός μικρής διάρκειας την ισχύς.

Spinning Reserve: Είναι από τις πιο σημαντικές ιδιότητες των συστημάτων, η αποθήκευση. Διατηρεί μέρος παραγωγής ισχύος από τις μονάδες η οποία παρέχεται σε έκτακτες ανάγκες όπως η περιόδους αιχμής φορτίου ή βλάβης του δικτύου.

Black start: Η αποθηκευμένη ενέργεια στα συστήματα μπορεί να δοθεί σε περιπτώσεις ολικής αποκοπής του δικτύου. Μερικές μονάδες παραγωγής από τους σταθμούς παραγωγής χρειάζονται μια συγκεκριμένη ποσότητα ενέργειας για την επανεκκίνηση τους.

Transmission & Distribution System Stability: Αφορά τη διατήρηση της ευστάθειας του συστήματος μεταφοράς και διανομής και την αποτροπή της κατάρρευσης του. Για την εφαρμογή αυτή απαιτείται ισχύς μεγαλύτερη των 100 MW για χρονική διάρκεια μερικών δευτερολέπτων, η οποία μπορεί να δοθεί από τα συστήματα αποθήκευσης.

Frequency Control: Είναι ο έλεγχος για τη διατήρηση της συχνότητας στην ονομαστική της τιμή. Στην περίπτωση αυτή το σύστημα προσφέρει ενεργό ισχύ στο δίκτυο, για να αποτρέψει την εξάπλωση της διαταραχής.

Generation Capacity Deferral: Είναι η αναβολή της αύξησης της συνολικά εγκατεστημένης ισχύος των μονάδων παραγωγής, με την τροφοδότηση της αιχμής του φορτίου από διατάξεις αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Η εφαρμογή αυτή απαιτεί 10 – 100 MW για 2 - 4 ώρες.

Transmission & Distribution Facility Deferral: Είναι η αναβολή της εγκατάστασης νέων γραμμών μεταφοράς και διανομής, τροφοδοτώντας την αιχμή φορτίου μέσω μη υπερφορτωμένων γραμμών από αποθηκευτικές διατάξεις ηλεκτρικής ενέργειας.

Renewable Energy Management: Χρήση αποθηκευμένης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές για κάλυψη της ζήτησης.

5.9 Εφαρμογές μπαταριών σε Ευρώπη και Ελλάδα

Η εκτεταμένη αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) αποτελεί θεμελιώδες στοιχείο της ευρωπαϊκής ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής στην πορεία προς την κλιματική ουδετερότητα. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με τα διάφορα τεχνικά ζητήματα σε εγκαταστάσεις συμβατικής παραγωγής, συνοδεύεται με την αύξηση ανάγκης αποθήκευσης. Στην Ευρώπη έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές εγκαταστάσεις αποθήκευσης και κάποιες από αυτές αναλύονται στη συνέχεια.

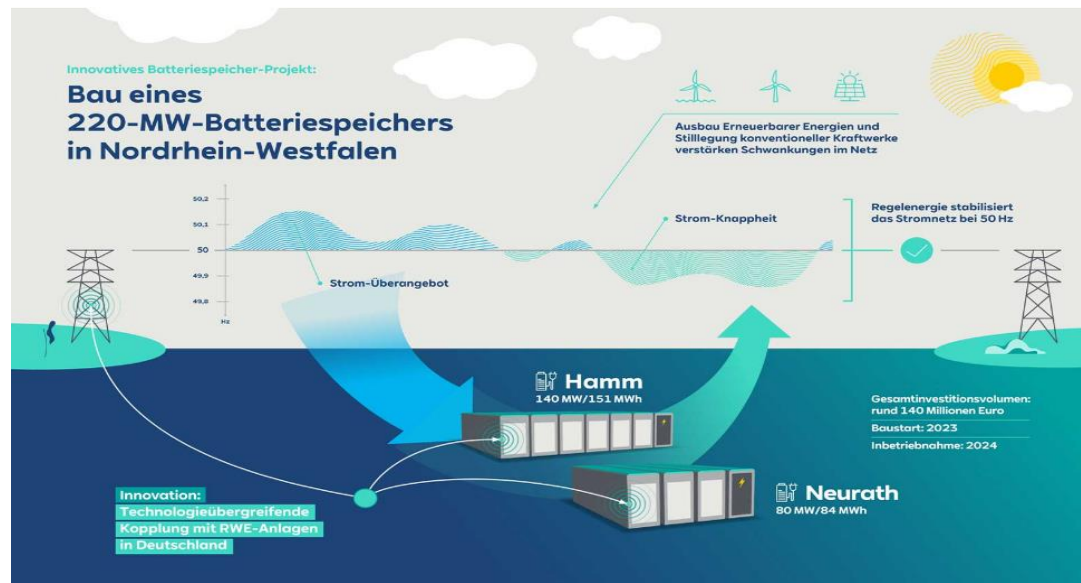
5.9.1 Total, Γαλλία



Εικόνα 5.15: Σύστημα αποθήκευσης Total , Γαλλία (Πηγή: [The most powerful battery energy storage system in France - Omexom](#))

Το έργο αυτό ξεκίνησε το Μάρτιο του 2020, στο Mardyck στο Flandres Center της Γαλλίας. Το σύστημα αποτελείται από μπαταρίες λιθίου, με δυνατότητα χωρητικότητας 25MWh και ισχύος 25MW. Χρησιμοποιείται για την παροχή υπηρεσιών άμεσων εφεδρειών για την υποστήριξη σταθερότητας του δικτύου καθώς για την ρύθμιση της συχνότητας αυτού.

5.9.2 RWE NORDRHEIN -WESTFALEN ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΟ



Εικόνα 5.16: Σύστημα αποθήκευσης RWE Nordhein (Πηγή RWE starts construction of large-scale battery storage project at two locations in North Rhine-Westphalia)

Η RWE ανέλαβε τη κατασκευή συστημάτων αποθήκευσης 80 MW έκτασης 7.500 m², στο Neurath και 140 MW έκτασης 14.000 m² στο Hamm της Γερμανίας με χωρητικότητα 84MWh και 151MWh αντίστοιχα. Η εγκατάσταση θα περιλαμβάνει 690 block μπαταριών ιόντων λιθίου και έχει προγραμματιστεί να παρέχει ενέργεια εξισορρόπησης για τη σταθεροποίηση του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας από το δεύτερο εξάμηνο του 2024. Η λειτουργία θα είναι η εξής: θα αποθηκεύει την πλεονάζουσα ενέργεια από το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και θα τροφοδοτεί το σύστημα όποτε χρειάζεται. Η εγκατάσταση θα είναι επίσης εικονικά δικτυωμένη με σταθμούς παραγωγής ενέργειας RWE στη Γερμανία, γεγονός που θα επιτρέψει τον έλεγχο του εάν οι μονάδες αποθήκευσης λειτουργούν μόνες τους ή σε συνδυασμό με άλλους σταθμούς παραγωγής ενέργειας για την παροχή ενέργειας εξισορρόπησης.

5.9.3 Siemens, Wunsiedel



Εικόνα 5.17: Σύστημα αποθήκευσης στο Wunsiedel, Βαυβαρία (Πηγή: [Siemens and Fluence to build renewables-integrating 100MW/200MWh battery project in Germany - Energy-Storage.News](#))

Στο Wunsiedel της Βαυαρίας, η Siemens σχεδιάζει μια μπαταρία ισχύος 200MW και χωρητικότητας 200MWh. Η λειτουργία της βασίζεται στην αποθήκευση της πλεονάζουσας ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές κατά της περιόδους αιχμής και την προσφορά αυτής στο δίκτυο για κάλυψη σε περιόδους αιχμής.

5.9.4 Eneco, Jardelund



Εικόνα 5.18 : Σύστημα αποθήκευσης Eneco, Jardelund (Πηγή: [EnspireME \(eneco.com\)](http://EnspireME(eneco.com)))



Εικόνα 5.19: Σύστημα αποθήκευσης Eneco, Jardelund (Πηγή: [EnspireME \(eneco.com\)](http://EnspireME(eneco.com)))

Η Eneco, σε συνεργασία με την Mitsubishi Corporation, ανέπτυξε ένα σύστημα αποθήκευσης στο Jardelund της Γερμανίας. Αποτελείται περίπου από 10.000 μπαταρίες ιόντων λιθίου, με δυνατότητα ισχύος 48MW και χωρητικότητας 50MWh. Σκοπός της εφαρμογής αυτής είναι η διατήρηση του δικτύου σε ισορροπία με σταθερή συχνότητα, καθώς λόγω των πολλών ανεμογεννητριών προκαλούνται προβλήματα συμφόρησης.

5.9.5 Acciona, Ισπανία



Εικόνα 5.20: Σύστημα αποθήκευσης Acciona, Ισπανία (Πηγή: ACCIONA starts up the first hybrid wind power storage plant in Spain using batteries)

Στην Ισπανία, η Acciona εγκατέστησε δύο συστήματα μπαταριών ιόντων λιθίου της Samsung, το ένα παρέχει 1 MW/390 kWh και το άλλο παράγει 0,7 MW/700 kWh, συνδεδεμένο σε ανεμογεννήτρια 3 MW και στο δίκτυο. Το σύστημα αυτό βρίσκεται στο Barasoain (Ναβάρρα, βόρεια Ισπανία), με τοποθετημένα τα συστήματα σε χωριστά δοχεία. Το ένα (1MW/0,39MWh) είναι σύστημα ταχείας απόκρισης ισχύος που διατηρεί την ισχύ σε 1 MW για 20 λεπτά, και το άλλο (0,7 MW/700 kWh) είναι σύστημα αργής απόκρισης με μεγαλύτερη αυτονομία που μπορεί να διατηρήσει 0,7 MW για 1 ώρα. Συνδέονται με ανεμογεννήτρια 3MW και αποθηκεύουν την ενέργεια όταν απαιτείται. Η εγκατάσταση διαθέτει επίσης τρεις άλλες μονάδες: μία για κυψέλες και αναλυτές μέσης τάσης, μία για μετατροπείς/φορτιστές και έναν μετασχηματιστή και μία τρίτη για τον εξοπλισμό ελέγχου και παρακολούθησης. Με την εγκατάσταση αυτή βελτιώνεται η ποιότητα ενέργειας του δικτύου και εξισορροπείται η ζήτηση φορτίου.

5.9.6 Fortum, Φιλανδία



Εικόνα 5.21: Σύστημα αποθήκευσης, Fortum Φιλανδία (Πηγή:Saft Li-ion energy storage will maintain the balance of power for Finland’s transition to a solar economy | Saft | Batteries to energize the world)

Η Fortum στη Φιλανδία εγκατέστησε ένα σύστημα αποθήκευσης μπαταριών λιθίου Saft , μεγάλης κλίμακας στο εργοστάσιο ηλεκτροπαραγωγής Suomenoja. Έχει ονομαστική ισχύς 2MW και χωρητικότητα 1MWh, και χρησιμοποιείται για ρύθμιση συχνότητας και εξομάλυνση της παραγωγής. Επιπλέον χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της άεργου ισχύος στο δίκτυο καθώς και για την υποστήριξη του σταθμού ηλεκτροπαραγωγής. Το σύστημα αποτελείται από 6664 κύτταρα ιόντων λιθίου τοποθετημένα σε ένα ενιαίο δοχείο Intensium Max 20 ποδιών. Τα κύτταρα είναι συνδεδεμένα σε 17 μονάδες, κάθε μία από τις οποίες διαθέτει ένα ανεξάρτητο σύστημα παρακολούθησης και ασφάλειας το BMS, που καταγράφει τα χαρακτηριστικά του συστήματος. Επιπλέον απαρτίζεται από τρεις μετατροπείς ισχύος Schneider ESS Box 2040 kVA και το σύστημα HVAC που διατηρεί τη βέλτιστη θερμοκρασία λειτουργίας. Ολόκληρο το σύστημα μετατροπής μπαταρίας και ισχύος μπορεί να ελεγχθεί εξ αποστάσεως από την κεντρική αίθουσα ελέγχου του Fortum είτε από το σύστημα ελεγκτή μπαταρίας.

5.9.7 Pivot Power, Ηνωμένο Βασίλειο



Εικόνα 5.22: Σύστημα αποθήκευσης, Pivot Power, Ηνωμένο Βασίλειο (Πηγή: Wärtsilä to deliver 100MW of energy storage for Pivot Power projects in the West Midlands, England to support renewable energy integration (wartsila.com))

Η Pivot Power, μια εταιρεία Ανανεώσιμων πηγών ενέργειας υλοποίησε σε συνεργασία με τον όμιλο τεχνολογίας Wärtsilä ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας 100 MW στο Ηνωμένο Βασίλειο. Η Wärtsilä θα υποστηρίξει τα δύο πρώτα έργα στο Cowley στην Οξφόρδη και στο Kemsley στο Κεντ με ευέλικτες εγγυήσεις απόδοσης. Τα έργα αυτά παρέχουν ευέλικτη χωρητικότητα και αξιοπιστία για την υποστήριξη της αυξημένης υποδομής παραγωγής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και φόρτισης EV. Η εγκατάσταση θα γίνει σε δύο τοποθεσίες στην πόλη του Κόβεντρι και στον δήμο Sandwell, στα περίχωρα του Μπέρμιγχα, προσφέροντας από 50MW στα έργα που αναφέρθηκαν. Το έργο αυτό, υποστηρίζει την ανάπτυξη ενός δικτύου φόρτισης EV υψηλής ισχύος που παρέχει ισχύ σε βασικές τοποθεσίες σε όλη την πόλη και θα μοιράζεται μια σύνδεση με το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής τάσης, συμβάλλοντας στην ενίσχυση της αξιοπιστίας του δικτύου του Ηνωμένου Βασιλείου.

5.9.8 Tehachapi, Edison



Εικόνα 5.23: Σύστημα αποθήκευσης, Tehachapi Edison (Πηγή: Tehachapi Energy Storage Project - Wikipedia)

Η Tehachapi, εγκατέστησε ένα σύστημα αποθήκευσης μπαταριών λιθίου στη Νότια Καλιφόρνια, Edison στον υποσταθμό Monolith σε συνδυασμό με ένα αιολικό πάρκο ισχύος 4500 MWe. Αποτελείται από 608.832 μπαταρίες ιόντων λιθίου που περικλείονται σε 10.872 μονάδες των 56 κυψελών η καθεμία και στη συνέχεια στοιβάζονται σε 604 racks. Ένας αμφίδρομος μετατροπέας ή σύστημα μετατροπής ισχύος (PCS) παρέχει τη μετατροπή DC σε AC κατά την εκφόρτιση της μπαταρίας και τη μετατροπή AC σε DC για τη φόρτιση της μπαταρίας. Όλο το σύστημα είναι εγκατεστημένο σε ένα κτίριο 590 τετραγωνικών μέτρων, και μπορεί να παρέχει ενέργεια 8MW και χωρητικότητα 32MWh, δηλαδή έχει τη δυνατότητα τροφοδότησης μεταξύ 1.600 και 2.400 σπίτια για τέσσερις ώρες.

5.9.9 Αυστραλία, Hornsdale



Εικόνα 5.24: Σύστημα αποθήκευσης στο Hornsdale της Αυστραλίας (Πηγή: Hornsdale battery has 'significant impact' on market | Windpower Monthly)

Το Hornsdale Power Reserve, είναι ένα σύστημα μπαταριών ιόντων λιθίου της Tesla, εγκατεστημένο στη Νότια Αυστραλία στο αιολικό πάρκο Hornsdale των 309 MWe της Neoen κοντά στο Τζέιμσταουν. Έχει τη δυνατότητα παραγωγής 150MW ενέργειας και χωρητικότητα 194 MWh, όπου περίπου τα 70MW παρέχεται στο δίκτυο για την παροχή σταθερότητας και ασφαλείας και βοηθητικές υπηρεσίες ελέγχου συχνότητας. Ολοκληρώθηκε το 2017 και από τότε παρέχει αδιάλειπτα απόκριση συχνότητας και βοηθητικές υπηρεσίες σε όλη τη νοτιοανατολική Αυστραλία.

5.9.10 Βικτώρια, Neoen



Εικόνα 5.25: Σύστημα μπαταριών Neoen, Βικτώρια (Πηγή: Neoen starts operating 300 MW Victorian Big Battery in Australia, one of the world’s largest batteries - Neoen)

Η Neoen ανέλαβε την κατασκευή της βικτωριανής μπαταρίας με χαρακτηριστικά 300 MW/450 MWh στη Βικτώρια της Αυστραλίας. Η μπαταρία προσφέρει 250 MW επιπλέον χωρητικότητας αιχμής στο δίκτυο, ενώ διασφαλίζει τη σταθερότητά του συμβάλλοντας στην περαιτέρω ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επιπλέον προσφέρει άμεση ανταπόκριση σε έκτακτες καταστάσεις των δικτύων σε συνδυασμό με άλλες βοηθητικές υπηρεσίες.

5.9.11 Queensland, Vena Energy



Εικόνα 5.26: Σύστημα μπαταριών , Queensland Vena Energy (Πηγή: Vena Energy switches on Queensland’s largest battery - Vena Energy - Leading renewable energy company in the Asia-Pacific region)



Εικόνα 5.27: Σύστημα μπαταριών , Queensland Vena Energy (Πηγή: Vena Energy switches on Queensland’s largest battery - Vena Energy - Leading renewable energy company in the Asia-Pacific region)

Η Vena Energy, εγκατέστησε στο Queensland, κοντά στο Lakeland, νότια του Cooktown, ένα σύστημα μπαταριών ιόντων λιθίου χωρητικότητας 100MW με δυνατότητες αποθήκευσης έως 150MWh με την δυνατότητα τροφοδότησης 57000 μεσαίων νοικοκυριών. Συνδέεται με τον υποσταθμό Wandoan South της Powerlink, ενώ ενισχύει την εγκατεστημένη αιολική ενέργεια της περιοχής.

5.9.12 Πτολεμαΐδα - Αρκαδία





Εικόνα 5.28: Συστήματα αποθήκευσης Πτολεμαΐδας και Αρκαδίας (Πηγή: Συστήματα Ενεργειακής Αποθήκευσης (BESS) | Eunice Group (eunice-group.com))

Στην Ελλάδα έχουν εγκατασταθεί αρκετά συστήματα αποθήκευσης και επρόκειτο να εγκατασταθούν και άλλα. Τα μεγαλύτερα έργα αποθήκευσης είναι εγκατεστημένα στην Πτολεμαΐδα και στην Αρκαδία. Τα δύο έργα αυτά έχουν ισχύς 250MW και χωρητικότητας 1000MWh. Αποτελούνται από 3150 συστοιχίες μπαταριών τοποθετημένες σε container, όπου τοποθετούνται και μετατροπείς ισχύος και ο λοιπός βοηθητικός εξοπλισμός του συστήματος, μετασχηματιστή ανόδου και τον υποσταθμό για σύνδεση στο δίκτυο. Με τη σύνδεσή τους στο δίκτυο, εξασφαλίζουν την ασφάλεια, ευελιξία σταθερότητα των υφιστάμενων δικτύων, καθώς και την προοπτική εγκατάστασης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

6 Κεφάλαιο 6: Μπαταρίες δεύτερης γενιάς

Τα τελευταία χρόνια, έχουν πραγματοποιηθεί αρκετά συμβούλια και υπογραφεί συμφωνίες, από όλες τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, με σκοπό τη βελτίωση της περιβαλλοντικής κατάστασης εστιάζοντας στον περιορισμό των εκπομπών αερίων του διοξειδίου του άνθρακα. Ο τομέας μεταφορών, αποτελεί κυρίαρχος παράγοντας στη συμβολή των εκπομπών αυτών (μεταξύ άλλων ρύπων με επικίνδυνες επιπτώσεις για το κλίμα και τη ζωή και έτσι προτάθηκε ως πολλά υποσχόμενη λύση η σταδιακή αντικατάστασή τους με τα ηλεκτροκίνητα. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου (Li-ion) που αποσύρονται από τα ηλεκτρικά οχήματα στο τέλος του κύκλου ζωής τους (EV) αποστέλλονται σε χώρους υγειονομικής ταφής ή ανακύκλωσης, ενώ χαρακτηρίζονται από 80% της αρχικής τους χωρητικότητας. Οι σταθερές εφαρμογές συνήθως έχουν χαμηλές απαιτήσεις τους με απώλεια κραδασμών και επιβαρυσμένων καιρικών συνθηκών. Αυτό τις καθιστά ιδανική επιλογή για την επαναχρησιμοποίηση των μπαταριών αυτών σε αυτές τις εφαρμογές, με προσεγγιστική διάρκεια δεύτερης ζωής έως και 10 χρόνια.

6.1 Απόσυρση μπαταριών από τα ηλεκτροκίνητα

Όπως έχει ήδη αναλυθεί σε προηγούμενη ενότητα, ένα χαρακτηριστικό των μπαταριών λιθίου είναι η γήρανση της μπαταρίας. Η γήρανση είναι ένα αναπόφευκτο φαινόμενο που εμφανίζεται σε όλες τις ηλεκτροχημικές συσκευές προκαλώντας δυσμενείς επιπτώσεις. Στις μπαταρίες παρατηρείται, με τις αλλαγές των χαρακτηριστικών τους όπως η χωρητικότητα, η αντίσταση. Εξαιτίας της γήρανσης λοιπόν, η χωρητικότητα της μπαταρίας των ηλεκτροκίνητων με το πέρασμα των χρόνων μειώνεται και όταν φθάσει στο 80% , περίπου σε 10 χρόνια χρήσης , αποσύρονται.

6.2 Μοντελοποίηση διάρκειας ζωής

Όπως ήδη αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, η γήρανση είναι ένα φαινόμενο της μπαταρίας που χρειάζεται να μελετηθεί αρκετά ακόμα, καθώς υπάρχουν ελλιπής πληροφορίες. Ωστόσο ανά τα χρόνια, έγιναν αρκετές προσεγγίσεις από διάφορους επιστήμονες, και κάποιες από αυτές είναι οι εξής:

Οι Debnath, θεώρησαν ένα μοντέλο γήρανσης που εξαρτάται από το DoD, το C-rate, τη θερμοκρασία, τον αριθμό των κύκλων και τον χρόνο αποθήκευσης για τις πρώτες προσομοιώσεις ζωής που πραγματοποιήθηκαν. Το μοντέλο που εξετάστηκε για την ανάλυσή τους, εξηγεί την εξασθένηση της χωρητικότητας λόγω γήρανσης σε ορισμένες συνθήκες αναφοράς και αυξάνει ή μειώνει το ρυθμό εξασθένησης χωρητικότητας ανάλογα με το πώς ποικίλλει κάθε παράγοντας γήρανσης βάση των

συνθηκών αναφοράς. Στη συνέχεια, για το δεύτερο μέρος της ζωής, βασίστηκαν σε μια διαφορετική εξίσωση για την εξασθένηση της χωρητικότητας κατά τη διάρκεια του συμπλέγματος μικρότερων παραγόντων γήρανσης (καθώς η θερμοκρασία και ο ρυθμός C θεωρούνται είναι λιγότερο απαιτητικές σε εφαρμογές αποθήκευσης ενέργειας που συνδέονται με το δίκτυο). Ωστόσο, προκειμένου να αντιπροσωπεύουν ταχύτερο ρυθμό υποβάθμισης, επιτάχυναν τον ρυθμό εξασθένησης της χωρητικότητας πολλαπλασιάζοντας τη γήρανση 3, 3%/έτος συντελεστής επιτάχυνσης, λαμβάνοντας υπόψη ότι ο ρυθμός υποβάθμισης θα ήταν υψηλότερες όσο θεωρούνται οι απώλειες λιθίου στη διάρκεια ζωής του αυτοκινήτου και μεγαλύτερη όσο γερνούν τα κύτταρα. Η έλλειψη πειραματικής απόδειξης ή δοκιμών επικύρωσης εμποδίζει την αξιολόγηση της καταλληλότητας μιας τέτοιας προσέγγισης.

Με παρόμοιο τρόπο, ο Sathre εξέτασε επίσης το ποσοστό γήρανσης κατά τη διάρκεια της δεύτερης ζωής της μπαταρίας, και παρουσίασαν εξισώσεις για τον υπολογισμό της εξασθένησης της χωρητικότητας καθ’ όλη την διάρκεια της ζωής της μπαταρίας. Ωστόσο, σε αυτή την περίπτωση, κατέληξαν σε αβέβαια αποτελέσματα, και αξιολόγησε την ευαισθησία των οφελών που θα μπορούσαν να προκύψουν από μπαταρία δεύτερης ζωής εάν χρησιμοποιείται ανάλογα με την απόδοση γήρανσης τους.

Ο Wieland, αξιολόγησε τη γήρανση της μπαταρίας δεύτερης ζωής με μοντέλο διάρκειας ζωής που βασίζεται στη Fuzzy Logic, και θεώρησε πιο αργό ρυθμό γήρανσης λόγω ηπιότερων συνθηκών λειτουργίας του ρυθμού C και της θερμοκρασίας.

Ως εκ τούτου, τα μοντέλα διάρκειας ζωής διαθέσιμο για τη γήρανση πρώτης ζωής θα μπορούσαν να ισχύουν και για τη γήρανση δεύτερης ζωής. Σε κάθε περίπτωση, υπάρχουν ακόμη περαιτέρω πειραματικά δεδομένα που απαιτείται να υιοθετήσει οποιοδήποτε μοντέλο διάρκειας ζωής μπαταρίας ως ουσιαστική προσέγγιση για πρόβλεψη γήρανσης μπαταρίας δεύτερης ζωής. Λαμβάνοντας υπόψη και προβλέποντας, την αποτυχία της μπαταρίας (γήρανση γόνατος) εξακολουθεί να παραμένει ζωτικής σημασίας για τη σωστή εκτίμηση της απόδοσης γήρανσης της μπαταρίας δεύτερης ζωής. Εξαρτώμενη από το επίπεδο SOH μετατόπισης από την πρώτη στη δεύτερη ζωή και την πρώτη χρήση της ιστορίας του, η απόδοση γήρανσης που βιώνεται στη δεύτερη ζωή μπορεί να ποικίλλει σημαντικά.

6.3 Στάδιο ανακατασκευής

Η επαναχρησιμοποίηση των αποσυρόμενων μπαταριών από ηλεκτρικά οχήματα απαιτεί ειδικούς ελέγχους αξιολόγησης λόγω της κατάστασης των κυττάρων τους. Η ανακατασκευή τους περιλαμβάνει διάφορα στάδια και μεθόδους που χρησιμοποιούνται είτε αναπτύσσονται με στόχο την βελτίωσή τους. Αυτοί είναι:

- Διάσπαση και έλεγχος: Στόχος είναι η αποσυναρμολόγηση να είναι ρομποτική, αλλά δεν έχει επιτευχθεί ακόμα αυτό εξαιτίας των υψηλών απαιτήσεων σε μηχανικούς και ηλεκτροχημικούς ελέγχους, καθώς δεν υπάρχει προς το παρόν διαθέσιμο ρομπότ με υψηλό βαθμό αναγνώρισης και πλήρως ρυθμιζόμενη διαδικασία ελέγχου.
- Διαλογή και ταξινόμηση: Χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης για τον έλεγχο κατάστασης και μέτρηση μεγεθών των μπαταριών. Μέθοδοι για τις μετρήσεις αυτές είναι :
 - α) Νευρωνικό δίκτυο: Η τεχνική αυτή εμφανίζει λιγότερο από 4% σφάλμα ελέγχου για μεγάλα δείγματα αποσυρμένων κυττάρων και μετράει τη τάση και τη χωρητικότητα.
 - β) Μέθοδοι: ηλεκτρικής αντίστασης, δοκιμές χωρητικότητας και χαρακτηριστικών παραμέτρων ισοδύναμου κυκλώματος: αναγνωρίζουν κατεστραμμένες μπαταρίες
 - γ) Χρήση τεχνολογίας υψηλής ισχύος ή χρήση μοντέλου μηχανικής μάθησης: αναγνωρίζουν και ταξινομούν τις μπαταρίες με βάση τις δοκιμές ισχύος και αντίστασης
- δ) Χρήση συσκευής για τον εντοπισμό αποσυρμένων μπαταριών μέσω πληροφοριών που αποθηκεύονται σε ένα σύστημα διαχείρισης μπαταριών
- Δοκιμή μπαταριών με ακουστικά κύματα: Τα ακουστικά κύματα είναι μια μέθοδο παθητικής μέτρησης της κατάστασης υγείας της μπαταρίας. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται από πιεζοηλεκτρικό αισθητήρα για την ανίχνευση μικρών απελευθερώσεων. Για τον προσδιορισμό της κατάστασης υγείας οι μετρήσεις που συλλέγονται καθορίζονται από τις ιδιότητες της μπαταρίας (συχνότητα, χρόνος ανόδου κ.α.). Η μέθοδος αυτή τείνει να αναπτυχθεί για την πρόβλεψη του υπολειπόμενου χρόνου ζωής της μπαταρίας κατά τη διάρκεια πειραμάτων επιτάχυνσης γήρανσης.
- Ηλεκτροχημική Φασματοσκοπία Αναδιαμονής Ενέργειας και Διαφορικής Τάσης Αυξημένης Χωρητικότητας: Στη μέθοδο αυτή περιλαμβάνεται η μοντελοποίηση της υποβάθμισης της μπαταρίας

- Προγνωστική βάση δεδομένων: Βασίζεται στα δεδομένα της μπαταρίας, χωρητικότητα, αντίσταση, κατάσταση υγείας, με σκοπό τη πρόβλεψη της υπολειπόμενης διάρκειας ζωής.

6.3.1 Αφαίρεση συσσωρευτή από το όχημα

Πρωταρχικό στάδιο αποτελεί η αφαίρεση του συστήματος μπαταριών από το ηλεκτρικό όχημα. Με την αφαίρεση του καλύμματος του οχήματος, γίνεται η εύρεση των καλωδιώσεων των συσσωρευτών υψηλής τάσης για την μέτρηση τάσης του πριν την αποσυναρμολόγηση. Με τη χρήση του κατάλληλου ανυψωτικού μηχανήματος αφαιρείται ο συσσωρευτής από το όχημα.



Εικόνα 6.1: Αφαίρεση του συσσωρευτή από το ηλεκτρικό όχημα Nissan Leaf. (Πηγή: EV battery rebuilds)

6.3.2 Αξιολόγηση του συσσωρευτή

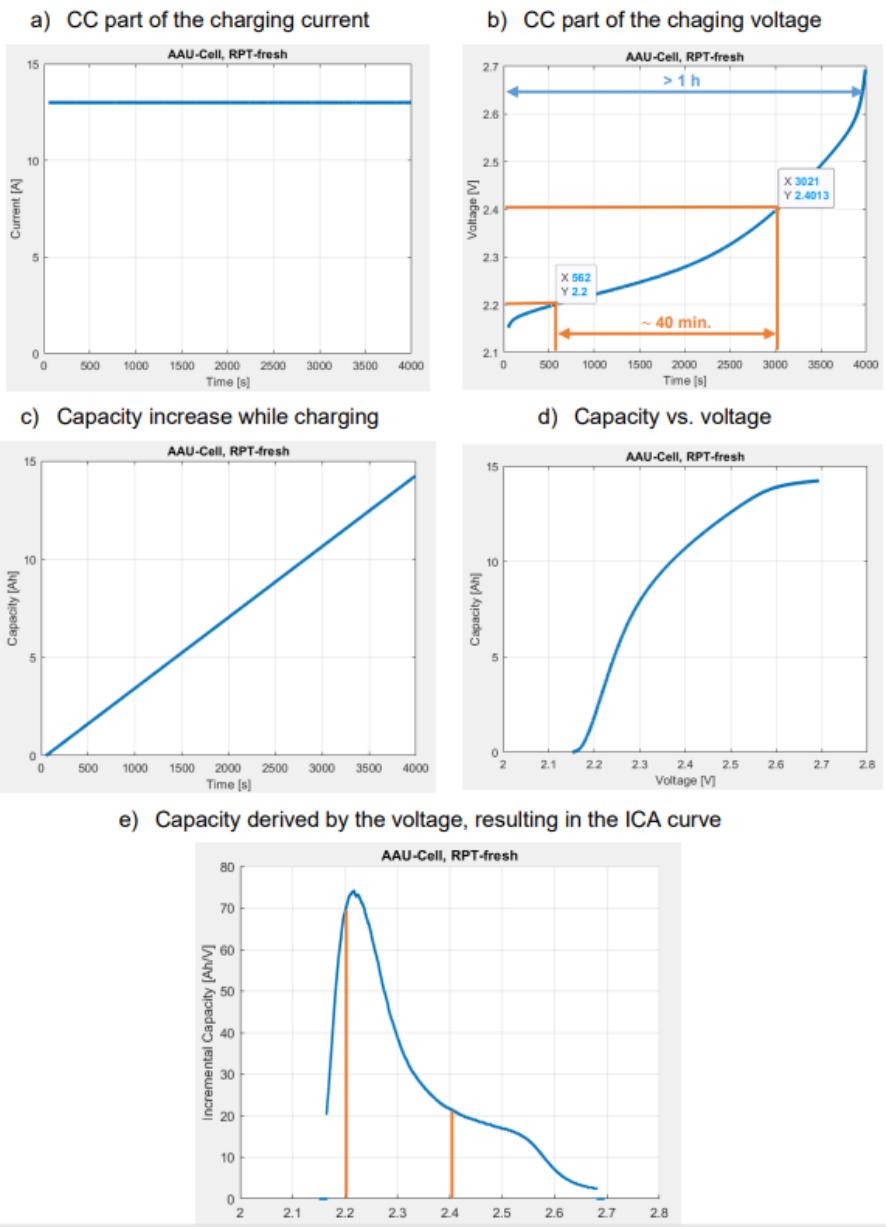
Η αξιολόγηση αφορά τον προσδιορισμό όλων των χαρακτηριστικών της αποσπώμενης μπαταρίας. Αρχικός έλεγχος είναι οπτικός με την επιθεώρηση των τμημάτων του συσσωρευτή για τμήματα που έχουν εμφανή βλάβη, δηλαδή εάν υπάρχει κάποια διόγκωση ή παραμόρφωση. Ο πρακτικός έλεγχος γίνεται με τη σύνδεση του συσσωρευτή με κατάλληλο μηχάνημα μέσω ειδικού καλωδίου. Μέσω του μηχανήματος αυτού γίνονται οι εξής μετρήσεις:

1. Μέτρηση χωρητικότητας : Η διαδικασία μέτρησης γίνεται με την εκφόρτιση της μπαταρίας με σταθερό ρεύμα με βήμα σταθερή τάσης μία ώρα στο ανώτερο ονομαστικό όριο. Η μέτρηση αυτή διαρκεί περίπου 4 ώρες. Η εκφόρτιση και

φόρτιση της μπαταρίας ακολουθεί το πρωτόκολλο SNL, δηλαδή η φόρτιση πραγματοποιείται στο 100% ενώ η εκφόρτιση έως μια καθορισμένη τιμής SOC.

2. Λειτουργίες κύκλου: Η διαδικασία αυτή απαιτεί την χρήση κυκλοποιητή ισχύος δύο καναλιών όπου οι μετρήσεις ελέγχονται παρακολουθούνται και καταγράφονται κάθε δευτερόλεπτο
3. Μέτρηση ρεύματος: Απαιτεί τη χρήση αντίστασης τύπου DC
4. Μέτρηση θερμοκρασίας: Η μέτρηση πραγματοποιείται με τη χρήση αυτοκόλλητων θερμοστοιχείων τύπου T με μόνωση ταινία και εφαρμόζεται σε τοιχώματα κυψέλης ή μονάδας

Έπειτα απαραίτητη είναι η μέτρηση του SOH της κάθε κυψέλης και η αντίστοιχη ομαδοποίηση με βάση αυτή. Για τον προσδιορισμό του SOH (κατάσταση υγείας), η ICA ανέπτυξε μια μέθοδο. Γνωρίζοντας τη τάση, το ρεύμα και το χρόνο εξάγεται η χωρητικότητα. Στο τμήμα που εφαρμόζεται σταθερό ρεύμα, δημιουργείται μια καμπύλη, γνωστή ως καμπύλη ICA, και έπειτα βάσει αυτής δημιουργείται η καμπύλη χωρητικότητας. Τέλος για την πρόβλεψη της κατάστασης υγείας, χρησιμοποιείται ως δείκτης οι συντεταγμένες κορυφής ή οι συντεταγμένες της περιοχής κάτω από την κορυφή. Παρακάτω, απεικονίζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα των καμπυλών αυτών.



Το τελικό στάδιο ανακατασκευής περιλαμβάνει την συγκόλληση των ομαδοποιημένων κυβελών σε μια μονάδα. Το στάδιο επαναχρησιμοποίησης αποτελεί μια δύσκολη διαδικασία λόγω των ελλειπών δεδομένα συγκριτικά με τα πραγματικά δεδομένα διάρκειας ζωής. Τα δεδομένα των μπαταριών εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες όπως η θερμοκρασία, ο τρόπος λειτουργίας των βοηθητικών υπηρεσιών του (ψύξη, θέρμανση κ.α.) και από το προφίλ του οδηγού (τρόπος οδήγησης, χρήση). Επομένως, η εκτίμηση των χαρακτηριστικών του πρώτου κύκλου ζωής τους είναι κυρίως προσεγγιστική.

Σύμφωνα με τις μετρήσεις αυτές, οι μπαταρίες που έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά ομαδοποιούνται και συνδυάζονται για την εγκατάστασή τους σε εφαρμογές.

Μελλοντικά η βελτίωση της μεθόδου αυτής προβλέπει την αξιολόγηση της επίδρασης επίδραση του ποσοστού αστοχίας των κυττάρων στη φάση ανακατασκευής, με σκοπό

τεχνικών ανακαλύψεων σε σχέση με την υποβάθμιση της μπαταρίας και τη χημικής κατάστασης της υγείας.

6.4 Οικονομική βιωσιμότητα

Σύμφωνα, με διάφορες έρευνες που έχουν γίνει αποδεικνύεται ότι η χρήση μπαταριών δεύτερης γενιάς μπορεί να είναι μια κερδοφόρα επένδυση, σε λιγότερο απαιτητικές εφαρμογές. Πραγματοποιήθηκε η πρώτη προσέγγιση στο θέμα της δεύτερης χρήσης μπαταρίας από την Κοινοπραξία Προηγμένων Μπαταριών των ΗΠΑ (USABC), όπου ο Pinsky μελέτησε την τεχνοοικονομική βιωσιμότητα της χρήσης δεύτερης ζωής. Σύγκρινε μπαταρίες δεύτερης γενιάς με πρώτης, λαμβάνοντας υπόψη τέσσερις διαφορετικές σταθερές εφαρμογές στην αγορά των Η.Π.Α., καταλήγοντας στο ότι οι θεωρούμενες μπαταρίες δεύτερης ζωής έχουν την ίδια απόδοση με τις νέες. Λίγα χρόνια αργότερα, οι Cready παρουσίασε, σύμφωνα με τις συνθήκες της αγοράς των ΗΠΑ, μια μελέτη του κόστους από τη συλλογή έως τη μεταπώληση των ανακαινισμένων μπαταριών δεύτερης ζωής. Αν και κατέληξε σε αβέβαια συμπεράσματα για τη διάρκεια ζωής των μπαταριών, ισχυρίστηκαν ότι το κόστος κτήσης των αποσυρθέντων μπαταριών EV και οι εργασίες δοκιμών θα αντιπροσωπεύουν περίπου το 70% του συνολικού κόστους μπαταρίας δεύτερης ζωής. Σύμφωνα με πρόσφατη μελέτη του Bloomberg New Energy Finance, η παγκόσμια αγορά μπαταριών δεύτερης ζωής θα μπορούσε να φτάσει 26 GWh έως το 2025. Η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης τόσο των μπαταριών απεικονίζει μια μεγάλη ευκαιρία όχι μόνο για την αυτοκινητοβιομηχανία αλλά και για άλλους παράγοντες του κλάδου..

6.5 Περιβαλλοντικά οφέλη

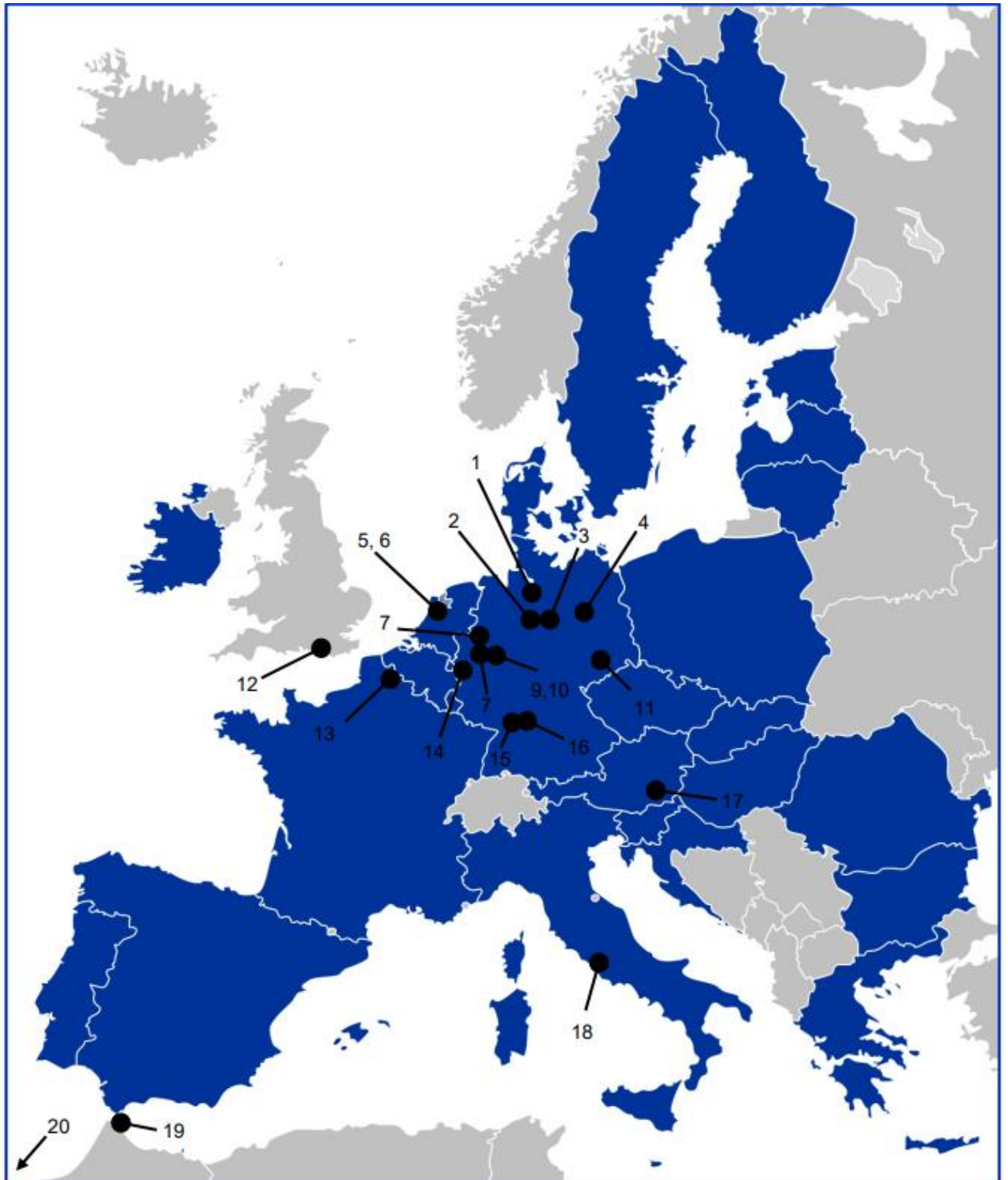
Βασικό πλεονέκτημα της επαναχρησιμοποίησης μπαταριών λιθίου αποτελεί το περιβαλλοντικό όφελός τους, καθώς καθυστερούν το στάδιο της ανακύκλωσης αλλά και την κατασκευή νέων μπαταριών. Στη κατασκευή νέων μπαταριών, η περιβαλλοντική επιβάρυνση αφορά κυρίως το στάδιο της εξόρυξης του λιθίου. Η εξόρυξη του λιθίου, περιλαμβάνει αρκετά στάδια επεξεργασίας, συμπεριλαμβανόμενη της εξάτμισης, επιλεκτική προσρόφηση/ εκρόφηση, ηλεκτροδιάλυση ή/και καθίζηση διαφόρων προσμίξεων. Τα στάδια αυτά, απαιτούν μεγάλες ποσότητες αντιδραστήρων, όπου είναι απαραίτητη η διαχείριση αποβλήτων και είναι ενεργειακά ακατάλληλες, συμβάλλοντας στο κόστος καθώς και στην περιβαλλοντική επιβάρυνση κατά τη διάρκεια εξόρυξης του λιθίου. Το λίθιο δεν υφίσταται στη φυσική του μορφή στο περιβάλλον, με περιορισμένους πόρους και εξαιρετικά χημικά αντιδραστική συμπεριφορά. Ίχνη χημικών ενώσεων που περιέχουν λίθιο παρατηρούνται σε περισσότερα πετρώματα, εδάφη, γεωθερμικές πηγές και υδάτινα σώματα. Συγκεκριμένα σε εδάφη, μπορεί να βρεθεί σε αλυκές άλμης και σε γρανιτικό τύπο πετρώματος που ονομάζεται πεγκματίτης. Τα μέρη όπου διαχωρίζεται η εξόρυξη του λιθίου είναι δύο: στην εξόρυξη και στο κόμματι της επεξεργασίας, όπου το δεύτερο εξαρτάται από την τοποθεσία εξόρυξης. Οι περιβαλλοντικές ανησυχίες που έχουν αναπτυχθεί για την εξόρυξη λιθίου, αφορούν την ρύπανση του αέρα, των υδάτων και

του εδάφους καθώς και την εξάντληση των υδάτινων πόρων σε κοινότητες περιοχών πλούσιο σε λίθιο. Κατά την διάρκεια επεξεργασίας του , χρειάζονται τοξικές χημικές ουσίες, οι οποίες καταλήγουν σε δεξαμενές αποθήκευσης αποβλήτων , σωρούς απορριμμάτων κατεργασίας, επεξεργασμένα νερά , λεκάνες εξάτμισης και μεταφερόμενα προϊόντα. Αυτά έχουν βλαβερές συνέπειες για τον ανθρώπινο οργανισμό , τη νευρική επικοινωνία την οικολογία του εδάφους καθώς και για την υδρόβια ζωή. Λόγω σημαντικής έλλειψης δεδομένων, η περιβαλλοντολογική επιρροή λόγω εξόρυξης του λιθίου δεν μπορεί να προσδιορισθεί ακριβώς. Ωστόσο η επέκταση της ζωής των μπαταριών μέσω της επαναχρησιμοποίησης, είναι μια μέθοδο για την καθυστέρηση δημιουργίας νεών.

Το επόμενο στάδιο με την ολοκλήρωση του πρώτου κύκλου ζωής των μπαταριών, εάν δεν υπήρχε της επαναχρησιμοποίησης, είναι η ανακύκλωση. Η ανακύκλωση των μπαταριών λιθίου διακρίνεται σε φυσικές (προεργασία) και χημικές (δευτεροβάθμια επεξεργασία). Παρά τη πληθώρα πλεονεκτημάτων που την ορίζει, η διαδικασία αυτή παρουσιάζει αρκετά προβλήματα. Αρχικά, κυριότερο πρόβλημα αποτελεί η μη εξαπλωμένη αυτοκινητοβιομηχανία των ηλεκτροκίνητων, με αποτέλεσμα την συλλογή μπαταριών διαφορετικών τύπων, γεγονός το οποίο καθιστά την ανακύκλωση δύσκολη. Για τον λόγο αυτό είναι δυνατή η ανάκτηση κρίσιμων πρώτων υλών. Επιπλέον, στη μηχανική διαδικασία ανακύκλωσης δεν μπορούν να ανακτηθούν όλες οι ουσίες καθώς είναι αρκετά δύσκολος ο διαχωρισμός των χημικών στοιχείων. Τέλος η διαδικασία αυτή, απαιτεί υψηλά επίπεδα ενέργειας, γεγονός που καθιστά την επαναχρησιμοποίηση ένα χρήσιμο στάδιο πριν την ανακύκλωση.

6.6 Εφαρμογές με επαναχρησιμοποιούμενες μπαταρίες

Τα τελευταία χρόνια πολλές χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχουν σκοπό να υλοποιήσουν ή έχουν ήδη πραγματοποιήσει διάφορες εφαρμογές με χρήση μπαταριών δεύτερης γενιάς.. Στο παρακάτω χάρτη φαίνονται οι χώρες αυτές:



Εικόνα 6.2: Εφαρμογές αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες δεύτερης γενιάς στην Ευρώπη (Πηγή: VDE Renewable Energy)

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΧΑΡΤΗ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ :

6.6.1 ΕΦΑΡΜΟΓΗ NO1: BATTERY 2ND LIFE GERMANY (BMW , BOSCH ENERGY STORAGE SOLUTIONS, VATTENFALL)



Εικόνα 6.3: Σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στο Αμβούργο(Πηγή: [Vattenfall, BMW and Bosch test second-life EV battery electricity storage in Hamburg for grid stabilization - Green Car Congress](#))

Το έργο αυτό ολοκληρώθηκε το 2016, με δυνατότητα χωρητικότητας 2,8MWh στο Hamburg της Γερμανίας με 2600 μπαταρίες δεύτερης γενιάς και χρόνο λειτουργίας 10 χρόνια. Οι μπαταρίες αυτές προέρχονται από 100 ηλεκτροκίνητα BMW, οι οποίες ολοκλήρωσαν το πρώτο κύκλο ζωής τους. Επρόκειτο για ένα σύστημα αποθήκευσης, όπου οι κύριες εφαρμογές του είναι : λειτουργία ως αποκεντρωμένος σταθμός ηλεκτροπαραγωγής αθροίζοντας την παραγωγή, εξομάλυνση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η εξισορρόπηση της σταθερότητας του δικτύου. Επιπλέον χρησιμοποιείται για προσωρινή αποθήκευση ισχύος στην περιοχή του HafenCity του Αμβούργου, καθώς και για προσωρινή αποθήκευση σε φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις του σταθμού τηλεθέρμανσης HafenCity του Vattenfall μεγιστοποιείται σε προσωρινή αποθήκευση ενέργειας κατά ηλιόλουστες περιόδους με χαμηλή ζήτηση.

6.6.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΝΟ2: G UW+ GERMANY (ALSTOM, ELPRO, M&P, TU DRESDEN , FRAUNHOFER IVI , USTRA)



Εικόνα 6.4 : Κτίριο G UW+ (Πηγή : Aktuelles - G UW+ (guwplus.de))



Εικόνα 6.5 : Εσωτερικά του κτιρίου (Πηγή: Aktuelles - G UW+ (guwplus.de))



Εικόνα 6.6 : Σύστημα αποθήκευσης από μπαταρίες δεύτερης γενιάς (Πηγή: Aktuelles - G UW+ (guwplus.de))



Εικόνα 6.7 : Φορτιστής ηλεκτρικών λεωφορείων (Πηγή: Aktuelles - G UW+ (guwplus.de))

ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&Μ, Διπλωματική Εργασία, Μπάιμπα Γεωργία

Η εφαρμογή αυτή αφορά την συνεχή παροχή ενέργειας από το κτίριο G UW+ , το οποίο συνδέει την υπάρχουσα υποδομή για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας των ελαφρών σιδηροδρομικών οχημάτων και τραμ με σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών λεωφορείων. Το κτίριο αυτό είναι 300m², και εμπεριέχει δύο μετασχηματιστές και 28 μπαταρίες δεύτερης γενιάς με σύστημα ψύξης και αφαίρεσης καπνού, μετατροπέα συσκότισης και σύστημα αερισμού του κτιρίου. Το σύστημα αποθήκευσης ,έχει την δυνατότητα να αποθηκεύει το φορτίο αιχμής κατά τη περίοδο φόρτισης των λεωφορείων, την οποία ενέργεια παρέχει όποτε καθίσταται απαραίτητο. Επιπλέον, παρέχονται υπηρεσίες δικτύου, ενώ ελέγχονται σενάρια συσκότισης στη παροχή ενέργειας. Η εφαρμογή αυτή ξεκίνησε το Σεπτέμβριο του 2018, ενώ οι εργασίες ξεκίνησαν το Φεβρουάριο του 2021, στο αμαξοστάσιο Döhren στο Ανόβερο και τέθηκε σε λειτουργία το Νοέμβριο του 2023.

6.6.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΝΟ3: ΣΤΑΘΜΟΣ ΓΡΗΓΟΡΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ , WOLFSBURG ΓΕΡΜΑΝΙΑ (VOLKSWAGEN)



Εικόνα 6.8 : Σταθμοί φόρτισης στο Wolfsburg (Πηγή : Pilotprojekt gestartet: Schnellladesäulen in Wolfsburg aufgestellt | Volkswagen Newsroom (volkswagen-newsroom.com)

Η ομάδα της Volkswagen, δρομολόγησε το 2020, τη δημιουργία σταθμών γρήγορης φόρτισης σε όλη την περιοχή του Wolfsburg της Γερμανίας, οι οποίες πιο συγκεκριμένα φαίνονται στην Εικόνα και είναι οι εξής:

1. Mozartstrasse/γωνία Franz-Liszt-Strasse 6, 38442 Wolfsburg | Fallersleben
2. Vogtlandweg 4, 38440 Wolfsburg | Laagberg
3. Autostadt, Stadtbrücke, 38440 Wolfsburg | Χώρος στάθμευσης μικρής διάρκειας μπροστά από το σπίτι εξυπηρέτησης
4. Σταθμός e-Mobility, Braunschweiger Straße 10, 38440 Wolfsburg | Κέντρο της πόλης
5. Εμπόριο δομικών υλικών Bauking, Karl-Ferdinand-Braun-Ring 2, 38448 Wolfsburg | Vorsfelde
6. real Markt, Hehlinger Straße 21, 38446 Wolfsburg | Nordsteimke
7. Klausenerstraße 10, 38444 Wolfsburg | Detmerode
8. ALDI market, Alte Schulstraße 30, 38448 Wolfsburg | Wendschott
9. Brackstedter Mühle, Zum Kühlen Grunde 2, 38448 Wolfsburg | Brackstedt

Οι σταθμοί αυτοί είναι μόνιμα συνδεδεμένοι στο δίκτυο και έχουν την δυνατότητα κανονικής φόρτισης (AC), αλλά και γρήγορης φόρτισης (DC) έως και 100kW. Οι τοποθεσίες καθορίστηκαν από τη Volkswagen Group Components, τη πόλης του Wolfsburg και τη Wolfsburg Wirtschaft και Marketing GmbH (WMG) Τρεις επιπλέον σταθμοί, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ευέλικτα σε κοινό σχεδιασμό, όπως σε εκδηλώσεις.

Με την ανάπτυξη των σταθμών αυτών, προσφέρεται ένα λειτουργικό δίκτυο σημείων φόρτισης, που μπορεί να εγκατασταθεί σε μόνιμο δίκτυο ή ανεξάρτητα από αυτό, ανάλογα τις ανάγκες, ενώ μελλοντικά η λειτουργία τους προορίζεται για σταθμούς αποθήκευσης ενέργειας. Ταυτόχρονα, οι μπαταρίες δεύτερης γενιάς αποκτούν δεύτερο κύκλο ζωής, ενώ επιτρέπουν την αποσύνδεση από το δίκτυο, εξυπηρετώντας την ανάγκη φόρτισης σε περιόδους αιχμής του δικτύου.

6.6.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΝΟ4: EUREF CAMPUS, ΒΕΡΟΛΙΝΑ ΓΕΡΜΑΝΙΑ
(Audi The Mobility House EUREF Campus) [Multi-use storage optimises energy supply \(mobilityhouse.com\)](https://www.mobilityhouse.com))



Εικόνα 6.9 : Μονάδα αποθήκευσης στο EUREF CAMPUS (Πηγή: Multi-use storage optimises energy supply (mobilityhouse.com))

Το έργο αυτό δημιουργήθηκε το 2019, στη πανεπιστημιούπολη EUREF, ως μονάδα αποθήκευσης πολλαπλών χρήσεων. Επρόκειτο για ένα σύστημα αποθήκευσης 1,6 MWh, με μπαταρίες δεύτερης ζωής της audi. Στόχος αυτού είναι η δημιουργία ενός έξυπνου δικτύου με σκοπό την ενεργειακή μετάβαση. Στα πλαίσια αυτού δημιουργήθηκε ένα λογισμικό που προσαρμόζει την συμπεριφορά φόρτισης και εκφόρτισης του συστήματος.

6.6.5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ Ν05: Amsterdam Arena (Nissan , Eaton, Mobility House, BAM)



Εικόνα 6.10: Σύστημα Αποθήκευσης Άμστερνταμ (Πηγή: Johan Cruijff Arena | The 3 megawatt energy storage system in Johan...)

Η επιχείρηση αυτή ξεκίνησε το 2018 από τους Nissan , Eaton , Mobility House και BAM, στο ποδοσφαιρικό στάδιο στο Άμστερνταμ της Ολλανδίας. Αφορά το μεγαλύτερο ευρωπαϊκό σύστημα αποθήκευσης ενέργειας που χρησιμοποιεί μπαταρίες δεύτερης ζωής και νέες μπαταρίες ηλεκτρικών οχημάτων σε εμπορικό κτίριο. Το σύστημα είναι 3MW , και αποτελείται από 148 μπαταρίες Nissan Leaf, και μονάδες μετατροπής. Δημιουργήθηκε για την αντικατάσταση των γεννητριών ντίζελ στις συναυλίες του Arena, εξισορροπώντας τα peaks κατά τη διάρκεια των συναυλιών. Εναλλακτικά, θα μπορούσαν να λειτουργήσουν ως σταθμός αποθήκευσης ενέργεια των φωτοβολταϊκών της Arena.

6.6.6 ΕΦΑΡΜΟΓΗ Νο6: Anubis, Ολλανδία (RWE και VDL BUS&Coach)



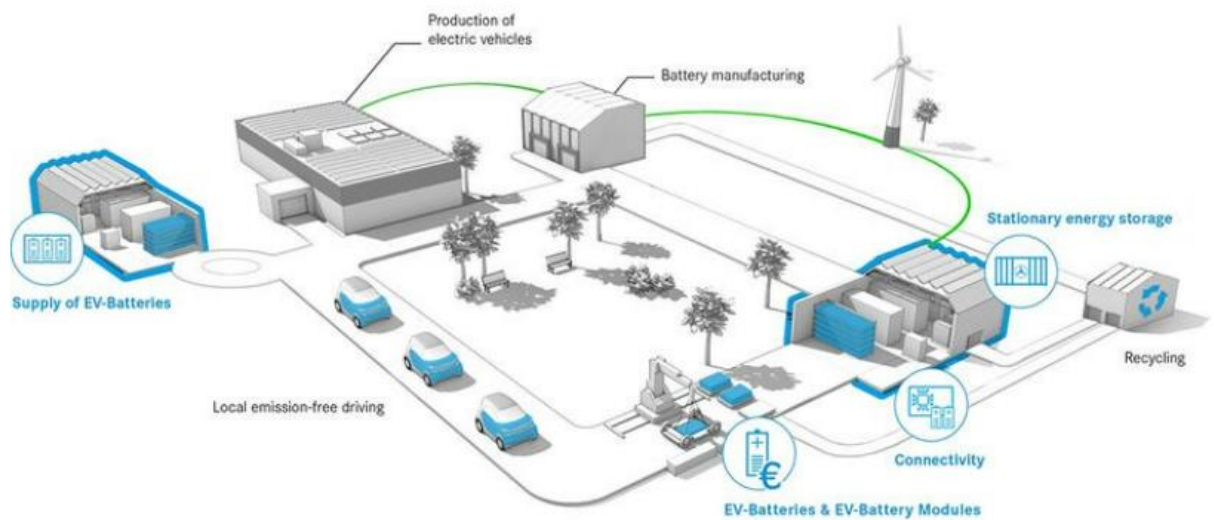
Εικόνα 6.11 : Σταθμοί φόρτισης λεωφορείων

Το έργο "Anubis", αποσκοπεί στη χρήση μπαταριών από ηλεκτρικών λεωφορείων μετά το πρώτο κύκλο ζωής τους. Αφορά ένα σταθερό σύστημα αποθήκευσης ενέργειας εγκατεστημένο σε εργοστάσιο ηλεκτροπαραγωγής, που αποσκοπεί στη σταθερότητα του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας και στην ανακούφισή του εξισορροπώντας την προσφορά και ζήτηση ενέργειας . Επιπλέον, αποτελεί έναν τρόπο παράτασης ζωής των μπαταριών, μειώνοντας τη χρήση φυσικών πόρων και στη παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα.

6.6.7 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΝΟ7: LUNEN στη Γερμανία (Daimler, Remondis, Getec, και Mercedes Benz)



Εικόνα 6.12 : Σταθμός αποθήκευσης ενέργειας στο Lunen (Πηγή: Energy Storage: 13 MWh second-use battery for grid stabilization in Lünen (pveurope.eu))



Εικόνα 6.13 : Κύκλος ζωής μπαταριών Mercedes (Πηγή: Mercedes-Benz Energy – Business segments.)

Το έργο αυτό ξεκίνησε το 2016, ως σταθερός σταθμός αποθήκευσης στο Lunen της Γερμανίας. Η χωρητικότητα του είναι 13MWh και συνδυάζει πάνω από 1000 χρησιμοποιούμενες μπαταρίες με κατάλληλα συστήματα έξυπνων ηλεκτροκίνητων. Οι μπαταρίες αυτές είναι πιστοποιημένες, καθώς και τα εξαρτήματα, με το σύστημα ελέγχου της μπαταρίας για την τυποποίηση της διεπαφής για τον έλεγχο και τη λειτουργία τους. Το σύστημα ελέγχου τους διασφαλίζει τη βέλτιστη κατάσταση μπαταρίας με τακτική φόρτιση και εκφόρτιση. Η εφαρμογή αυτή αποτελεί βελτίωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των ηλεκτρικών οχημάτων και συμβάλλει στο να καταστεί ηλεκτροκίνηση οικονομικά αποδοτική. Επιπλέον, σταθεροποιεί το δίκτυο, εξομαλύνει τις διακυμάνσεις, επιταχύνει τον ενεργειακό μετασχηματισμό και εξαλείφει το κόστος επέκτασης του δικτύου και κατασκευής νέων σταθμών παραγωγής ενέργειας.

6.6.8 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΝΟ8: Σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με αντλία αποθήκευσης, Hengsteysee (RDWE και AUDI)



Εικόνα 6.14 : Εγκατάσταση αποθήκευσης μπαταριών τελευταίας τεχνολογίας στο Herdecke Βόρεια Ρηνανία-Βεστφαλία (Πηγή: State-of-the-art battery storage facility in Herdecke, North Rhine-Westphalia)

Το έργο αυτό ξεκίνησε στις αρχές του 2018, και επρόκειτο για ένα σύστημα αποθήκευσης στο χώρο του σταθμού παραγωγής ενέργειας με αντλία στη λίμνη Hengsteysee στο Herdecke. Αποτελείται από τρία συστήματα, το κάθε ένα έχει μονάδες μπαταριών, έναν μετατροπέα και έναν μετασχηματιστή. Υπάρχουν 552 μονάδες μπαταριών, όπου η κάθε μία έχει 100 επαναχρησιμοποιημένες μπαταρίες λιθίου από την αυτοκινητοβιομηχανία. Οι μπαταρίες μπορούν να αποθηκεύσουν περίπου 7 μεγαβατώρες ενέργειας και να την τροφοδοτήσουν ξανά στο δίκτυο για περίπου μία ώρα. Η εφαρμογή αυτή βοηθά, στην εξισορρόπηση της κυμαινόμενης τροφοδοσίας από συστήματα ηλιακής και αιολικής ενέργειας και έτσι σταθεροποιεί το δίκτυο.

6.6.9 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΝΟ 9: Έξυπνο σύστημα αποθήκευσης , Γερμανία (Renault, Mobility)

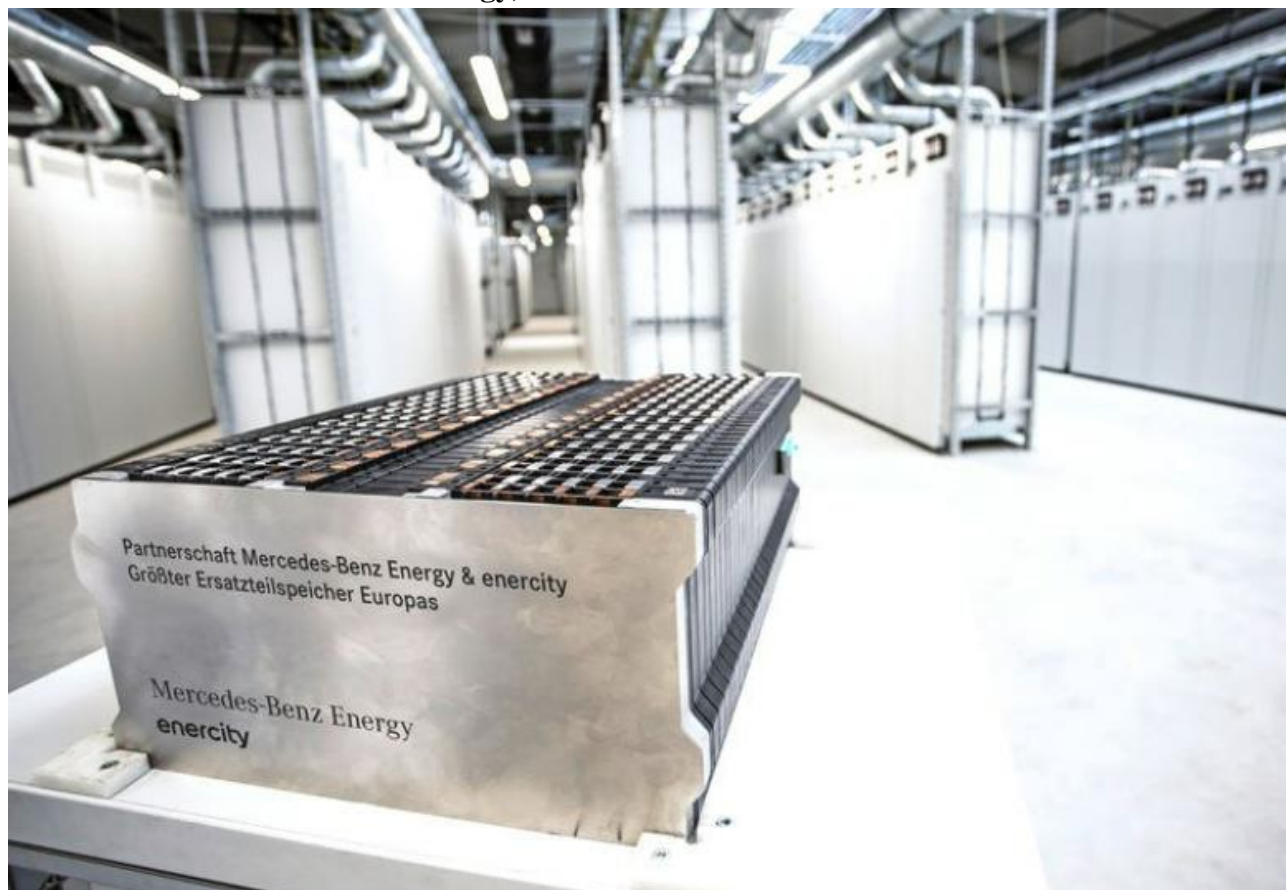


Εικόνα 6.15 : Έξυπνο σύστημα αποθήκευσης άνθρακα στο Elverlingsen της βόρειας Ρηνανίας-Βεστφαλίας (Πηγή: Turnkey storage containers provide cost savings (mobilityhouse.com))

Το σύστημα αυτό, είναι το πρώτο σύστημα σταθερής αποθήκευσης από μπαταρίες που έχουν αφαιρεθεί από ηλεκτροκίνητα. Δημιουργήθηκε το 2020, από τους Renault και Mobility House σε πρώην εργοστάσιο ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα στο Elverlingsen της βόρειας Ρηνανίας-Βεστφαλίας. Αποτελείται από 72 μπαταρίες δεύτερης γενιάς σε ένα δοχείο, ενώ σε διαφορετικό είναι τοποθετημένοι οι μετατροπείς τους και έχει χωρητικότητα αποθήκευσης 3Mwh.

Με τη σταθερή αποθήκευση, προωθείται η κίνηση στον κόσμο της ενέργειας προς ένα αποκεντρωμένο σύστημα που χρησιμοποιεί κυρίως ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, το οποίο είναι επιρρεπές σε μεγάλες διακυμάνσεις καθώς βασίζεται σε καιρικές συνθήκες για την παραγωγή ενέργειας. Τα σταθερά συστήματα αποθήκευσης εξισορροπούν αυτές τις διακυμάνσεις, γεγονός που αυξάνει την ευελιξία του ηλεκτρικού δικτύου. Επιπλέον αυξάνεται η διάρκεια ζωής των πρώην μπαταριών ηλεκτρικών αυτοκινήτων — και επομένως βελτιώνει το αποτύπωμά τους CO₂.

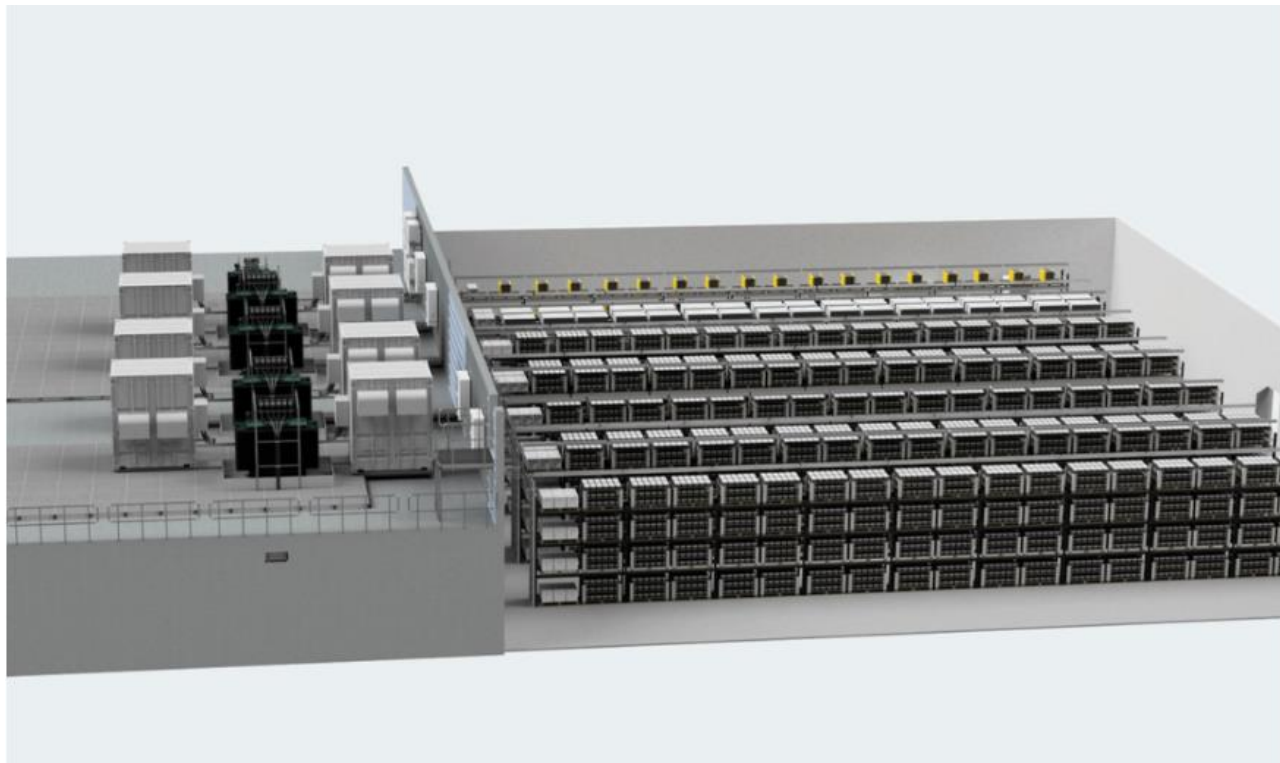
6.6.10 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΝΟ10: Everlingsen , Γερμανία (GETEC Energie Mercedes Benz Energy)



Εικόνα 6.16: Everlingsen , Γερμανία (Πηγή: Mercedes-Benz Energy – Media.)

Το σύστημα αυτό υλοποιήθηκε από τους Daimler, The Mobility House, Genetec Energie και Mercedes Benz Energy. Αποτελείται από 1920 μονάδες μπαταριών στο εργοστάσιο Everlingsen στη Νότια Βεσφαλία με σκοπό να αποτελέσουν ένα κατάστημα ανταλλακτικών για μπαταρίες τρίτης γενιάς, και μπορούν να καλύψουν έως και 600 οχήματα. Συνολικά 3240 μονάδες μπαταρίες έχουν δεσμευτεί με το σκοπό αυτό, από τις οποίες οι 1800 έχουν συνδυαστεί και με σταθερό σύστημα αποθήκευσης και έχουν προκριθεί για την παροχή πρωτογενών λειτουργικών αποθεμάτων.

6.6.11 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΝΟ11: Ενεργειακό σύστημα, Γερμανία (JUNGHEINRICH ΚΑΙ TRIATHLON)



Εικόνα 6.17 : Σταθερό σύστημα μπαταριών στην Σαξονία(Πηγή: JT Energy Systems baut 25 MW-Second-Life-Speicher in Sachsen | electrive.net_)

Η JT Energy Systems, μια κοινοπραξία μπαταριών μεταξύ Jungheinrich και Triathlon ανέλαβε τη κατασκευή ενός σταθερού συστήματος μπαταριών το φθινόπωρο του 2022. Το σύστημα αυτό, με μέγιστη ισχύ 25 μεγαβάτ, αποτελείται από μπαταρίες δεύτερης γενιάς ανυψωτικών μηχανημάτων και αυτοκινητοβιομηχανίας. Χρησιμοποιείται για αποθήκευσης ενέργειας από ΑΠΕ, καθώς και σταθεροποίηση ζήτησης σε περιόδους αιχμής προσφέροντας την ενέργεια αυτή.

6.6.12 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΝΟ12: SMART HUBS (Renault, Connected Energy, Moixa, Passive, Systems, Icax, Newcastle University, West Sussex County Council και Innovate UK)



Εικόνα 6.18 : Smart Hubs στη Μεγάλη Βρετανία (Πηγή: Renault stellt zwei Projekte mit Second-Life-Akkus vor | electrive.net)

Το έργο Smart Hubs, ξεκίνησε το 2019, με χωρητικότητα 360 kWh με μπαταρίες δεύτερης ζωής από ηλεκτροκίνητα της Renault. Ενσωματωμένες μαζί με άλλες τεχνολογίες, αποτελούν ένα τοπικό ενεργειακό οικοσύστημα, παρέχοντας ενέργειας οικονομική και αξιόπιστη για χρήση κοινωνικών κατοικιών, μεταφορών, υποδομών, ιδιωτικών κατοικιών και τοπικών επιχειρήσεων. Περιλαμβάνει την εγκατάσταση πολλών συστημάτων E-STOR με μπαταρίες σε βιομηχανικούς και εμπορικούς χώρους σε τοποθεσίες εξοπλισμένες με ηλιακές μονάδες και φορτιστές για να μειώσουν το ενεργειακό κόστος και να βελτιστοποιήσουν τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Εκτός από αυτό, προβλέπεται να δημιουργηθεί ένα έργο αποτελούμενο από 1000 μπαταρίες δεύτερης ζωής με δυνατότητα αποθήκευσης 14,5 MWh, το οποίο θα παρέχει ενέργεια στα νοικοκυριά.

6.6.13 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΝΟ13: The Mobility House, Γαλλία (Renault , Mobility House και Nidec)



Εικόνα 6.19 : The Mobility House (Πηγή: Renault stellt zwei Projekte mit Second-Life-Akkus vor | electrive.net)

Στο εργοστάσιο της Renault στο Douai της Γαλλίας, τοποθετήθηκαν κοντέινερ, με μπαταρίες δεύτερες και πρώτης γενιάς με τον εξής σκοπό: Σε περιόδους χαμηλής ζήτησης οι μπαταρίες αυτές φορτίζονται, ενώ σε περιόδους αιχμής ενισχύουν με ενέργεια το δίκτυο για την εξασφάλιση της αξιοπιστίας του δικτύου.

6.6.14 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΝΟ14: EMILAS από τους Fraunhofer ISE, DSG Energiekonzepte ,Deer , Beck Automation και VDE Renewables στη Γερμανία



Εικόνα 6.20 : Εγκατάσταση των έξι μπαταριών BMW i3 2ης ζωής ως αποθηκευτικό χώρο αποθήκευσης στο κλιματιζόμενο δωμάτιο μπαταριών, στο Weinsberg (Πηγή: Emilas)



Εικόνα 6.21: Πλήρως συναρμολογημένοι και έτοιμοι προς χρήση σταθμοί φόρτισης AC-DC στον χώρο κοινής χρήσης αυτοκινήτων πολυκατοικιών, στο Weinsberg.(Πηγή: Emilas)

Το έργο αυτό ξεκίνησε τον Ιούλιο το 2021, από τους Fraunhofer ISE, DSG Energiekonzepte, Beck Automation και VDE Renewables σε μια νεόδμητη συνοικία με μονοκατοικίες και πολυκατοικίες στο Weinsberg. Αποτελείται από υποδομές φόρτισης στους υπόγειους ή υπαίθριους χώρους, με μονάδες αποθήκευσης μπαταριών δεύτερης γενιάς χωρητικότητας 194kWh. Ο σταθμός αυτός διαχειρίζεται τα τοπικά φορτία, ενώ έχει την δυνατότητα τροφοδότησης του ηλεκτρικού δικτύου.

6.6.15 ΕΦΑΡΜΟΓΗ NO15: FLUXLLICON , Γερμανία (RWTH Aachen, PEM Motion ConAC και DECRA)



Εικόνα 6.22: Σύστημα αποθήκευσης (Πηγή: „Fluxllicon“: PEM entwickelt Speicher aus alten E-Mobil-Akkus - RWTH AACHEN UNIVERSITY PEM - Deutsch (rwth-aachen.de))

Το έργο αυτό ενδέχεται να ολοκληρωθεί τον Αύγουστο του 2024, με σκοπό την εύρεσης μελλοντικής κυκλικής οικονομίας στην κινητικότητα. Πιλωτικά θα δημιουργηθεί ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας από μπαταρίες δεύτερης γενιάς, με σκοπό την ενσωμάτωση ανενώσιμων πηγών ενέργειας καθώς και γρήγορη φόρτιση για ταχύτερη και πιο οικονομική ρύθμιση των επιλογών φόρτισης. Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων γίνεται μέσω μίας εγκατάστασης στο Άαχεν με χωρητικότητα 1MWh, με μεταφορά δεδομένων μέσω αξιόπιστης πλατφόρμας.

6.6.16 ΕΦΑΡΜΟΓΗ NO16: EnBW- Heizkraftwerk, Γερμανία (Audi EnBW)



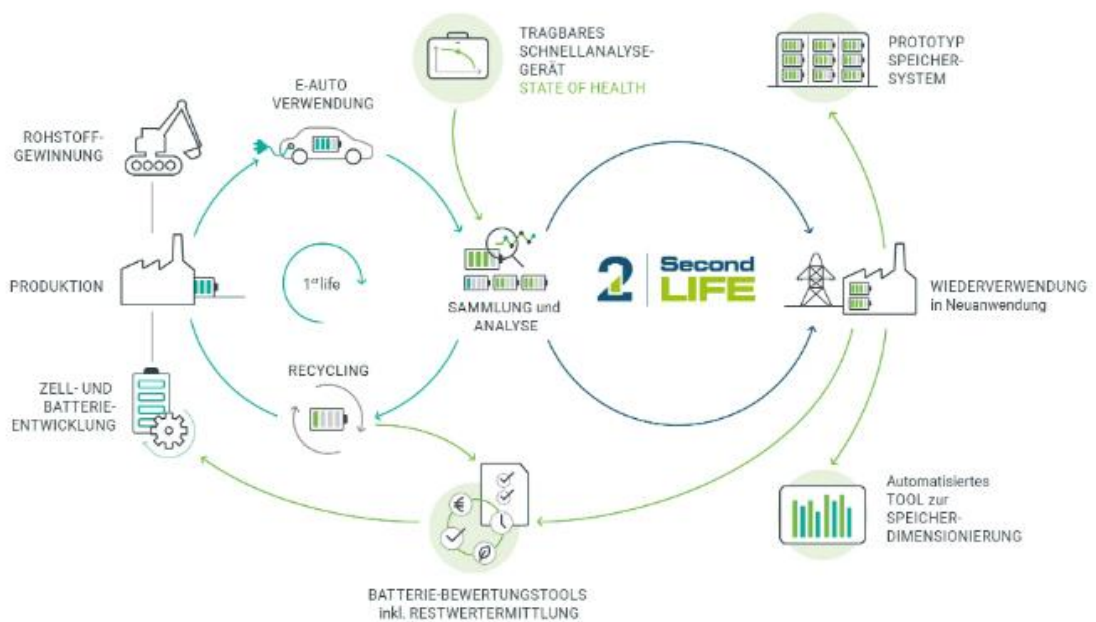
Εικόνα 6.23: Σύστημα αποθήκευσης (Πηγή: Second-Life-Batterien als Stromspeicher | EnBW)

Η Audi σε συνεργασία με την EnBW στα πλαίσια της δεύτερης ζωής των μπαταριών των ηλεκτροκίνητων, υλοποίησε το 2022 ένα σύστημα αποθήκευσης το Helborn της Γερμανίας. Αποτελείται από 12 μπαταρίες, προερχόμενες από το ηλεκτρικό όχημα Audi e-tron με υψηλές χωρητικότητες, συνδυασμένες σε ένα δοχείο αποθήκευσης ενέργειας, με γρήγορη αντικατάσταση. Η ενέργεια τους φθάνει έως 1 MW και έχουν την ικανότητα να παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια σε νοικοκυριά.

6.6.17 ΕΦΑΡΜΟΓΗ NO17: Σύστημα αποθήκευσης με μπαταρίες δεύτερης ζωής, Αυστρία (AVL List, AVL DiTest, Energie Steiermark, Saubermacher και Smart Power)



Εικόνα 6.24 : Σύστημα μπαταριών αποθήκευσης (Πηγή: Projekt SecondLife Batteries Green Energy Lab)



Εικόνα 6.25: Μπαταρίες δεύτερης γενιάς (Πηγή: [Projekt SecondLife Batteries Green Energy Lab](#))

Το έργο αυτό ολοκληρώθηκε το Μάρτιο του 2022, με σκοπό την ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο δίκτυο ή την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας και αφορά ένα σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας μεγάλης κλίμακας που αποτελείται εξ ολοκλήρου από παλιές μπαταρίες ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Μέσω της εγκατάστασης αυτής είναι καλύπτεται το φορτίο αιχμής, βελτιώνεται η εσωτερική ισχύς, σταθεροποιείται το δίκτυο και έχει τη δυνατότητα ηλεκτροδότηση κατά τη διάρκεια της συσκότισης. Επιπλέον καθυστερεί η διαδικασία της κατασκευής νέων μπαταριών και μειώνεται το κόστος παροχής δικτύου μέσω χαμηλότερων κορυφών φορτίου. Για την κατασκευή του έργου αυτού, οι μπαταρίες αξιολογήθηκαν αναφορικά με την κατάστασή τους, μέσω μιας κινητής συσκευής ταχείας ανάλυσης, ενώ μέσω ενός λογισμικού υπολογίζεται η υπολειμματική αξία που περιλαμβάνει όλα τα στάδια της διαδικασίας (πρώτη διάρκεια ζωής, επισκευή, δεύτερη ζωή, ανακύκλωση).

6.6.18 ΕΦΑΡΜΟΓΗ NO18: Smart Fossil Free Island στη Πορτογαλία (Renault, Empresa Electricidade da Madeira, The Mobility House και ABB)

Το Πόρτο Σάντο επιθυμεί να απαγορεύσει οριστικά τα ορυκτά καύσιμα με την υιοθέτηση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων και των έξυπνων δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό θα υλοποιηθεί μέσω της ενσωμάτωσης των αποσυρμένων μπαταριών των ηλεκτροκίνητων στα δίκτυα για προσωρινή απομόνωση τάσης, αποθήκευση ηλιακής και αιολικής ενέργειας και παροχή ενέργειας σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων. Εώς τώρα είναι εγκαταστημένες 11 μπαταρίες δεύτερης γενιάς, με δυνατότητα ισχύος 132 kW και buffer 4 MW η οποία θα συνδεθεί το δίκτυο τον Σεπτέμβριο. Επιπλέον τα ηλεκτροκίνητα απελευθερώνουν πράσινη ηλεκτρική ενέργεια πίσω στο δίκτυο σε περιόδους υψηλής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και υψηλού φορτίου δικτύου, με αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και ταυτόχρονη μείωση υποδομής (Vehicle to grid (V2G)).

6.6.19 ΕΦΑΡΜΟΓΗ NO19: Pioneer , Ιταλία (Aeroporti di Roma Enel X Fraunhofer ISE)

Το έργο αυτό αφορά την εγκατάσταση αποθήκευσης ενέργειας από μπαταρίες δεύτερης γενιάς , με χωρητικότητα 10Mwh, εγκατεστημένο σε ένα ηλιακό πάρκο ισχύς 30MW, στο αεροδρόμιο Fiumicino της Ρώμης. Οι μπαταρίες θα χρησιμοποιηθούν για την αποθήκευση της περίσσειας ενέργειας που παράγεται από το ηλιακό εργοστάσιο και θα καλύπτουν τυχόν απογευματινές αιχμές ζήτησης ενέργειας στο αεροδρόμιο. Επιπλέον συμβάλλουν στην αύξηση της διάρκειας ζωής της μπαταρίας, με στόχο την κυκλική οικονομία της αλυσίδας εφοδιασμού, η οποία καθιστά δυνατή την περαιτέρω μείωση του αποτυπώματος CO₂ μπαταριών με την ίδια χωρητικότητα αποθήκευσης, χάρη στην περαιτέρω χρήση τους.

6.6.20 ΕΦΑΡΜΟΓΗ NO20: Thermal Power Station, Ισπανία (ENEL Group (Endesa), Nissan και Loccioni)

Το καινοτόμο έργο αυτό ξεκίνησε το 2019, από τους Enel Group, Nissan, Loccioni στη Μελίγια της Ισπανίας, με σκοπό τη βελτίωση της σταθερότητας του δικτύου μέσω από σταθμό αποθήκευσης με μπαταρίες δεύτερης γενιάς ηλεκτροκίνητων Nissan. Έχει ισχύ 4MW, με δυνατότητα παραγωγής 1,7 MWH, και ικανότητα τροφοδότησης δικτύου ως 15 λεπτά, αρκετός χρόνος για την επαναφοιρά τους συστήματος και την επανεκκίνηση παροχής του ρεύματος. Μέσω του συστήματος αυτού, αποφεύγονται συμβάτα απόρριψης φορτίου, να βελτιωθεί η αξιοπιστία του δικτύου και να διασφαλιστεί η συνέχεια της υπηρεσίας δικτύου στον τοπικό πληθυσμό

7 Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αναλύθηκε η αναγκαιότητα επαναχρησιμοποίησης των μπαταριών, η διαδικασία επαναχρησιμοποίησης και τα οφέλη χρήσης τους σε εφαρμογές δικτύου. Ήδη στην Ευρώπη, όπως αναφέρθηκε, έχουν κατασκευαστεί αρκετά συστήματα αποθήκευσης, που είναι αποδοτικά και ευνοϊκά ως προς τα δίκτυα, αλλά και ως προς την ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ενώ τα επόμενα έτη αναμένεται περαιτέρω ανάπτυξη των έργων αυτών.

Κύρια συμπεράσματα της έρευνας αυτής είναι τα εξής;

- Οι μπαταρίες δεύτερης γενιάς είναι σχεδόν εξίσου αποδοτικές και ωφέλιμες όσο νέες. Ωστόσο η επαναχρησιμοποίηση πλεονεκτεί σε περιβαλλοντικά, οικονομικά και τεχνικά οφέλη.
- Σε περιβαλλοντικό επίπεδο, η επαναχρησιμοποίηση μπαταριών μειώνει την ανάγκη για παραγωγή νέων, με αποτέλεσμα να μειώνεται η εκμετάλλευση φυσικών πόρων και οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου. Αυτό συμβάλλει στη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα και στην προστασία του περιβάλλοντος.
- Η επαναχρησιμοποίηση μπαταριών εξοικονομεί πόρους, καθώς η αγορά μεταχειρισμένων μπαταριών κοστίζει λιγότερο από νέων.
- Για την επαναχρησιμοποίηση απαιτείται κατάλληλη αξιολόγηση για την ομαδοποίηση των μπαταριών με όμοια χαρακτηριστικά. Η διαδικασία αυτή προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία, καθώς οι μονάδες αυτές μπορούν να αντικατασταθούν και να συνδυαστούν πιο αποτελεσματικά. Επιπλέον, με την κατάλληλη διαστασιολόγηση στο συνδυασμό των μονάδων αυτών, επιτυγχάνεται μεγαλύτερη απόδοση, αποτελεσματικότητα και βιωσιμότητα στη χρήση ενέργειας.
- Η εισχώρηση των μπαταριών στα δίκτυα ενισχύουν την ανάδειξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οι οποίες είναι και αυτές φιλικές ως προς το περιβάλλον συγκριτικά με την συμβατική παραγωγή. Αυτό συμβαίνει, καθώς εξισορροπούν το φορτίο ζήτησης.
- Η διαδικασία γήρανσης απαιτεί περαιτέρω έρευνα. Η διαδικασία επαναχρησιμοποίησης βασίζεται στον προσδιορισμό χαρακτηριστικών της έπειτα από γήρανση που έχει υποστεί με το τέλος χρήσης στα ηλεκτροκίνητα. Ο καλύτερος προσδιορισμός αυτού του παράγοντα θα ωφελούσε σε σωστότερη διαστασιολόγηση συστημάτων καθώς και τον υπολογισμό διάρκειας ζωής.

8 Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές

1. H. Hesse, M. Schimpe, D. Kucevic, και A. Jossen, ‘Lithium-Ion Battery Storage for the Grid—A Review of Stationary Battery Storage System Design Tailored for Applications in Modern Power Grids’, *Energies*, τ. 10, τχ. 12, σ. 2107, Δεκεμβρίου 2017, doi: [10.3390/en10122107](https://doi.org/10.3390/en10122107)
2. V. Fernão Pires, E. Romero-Cadaval, D. Vinnikov, I. Roasto, και J. F. Martins, ‘Power converter interfaces for electrochemical energy storage systems – A review’, *Energy Conversion and Management*, τ. 86, σσ. 453–475, Οκτωβρίου 2014, doi: [10.1016/j.enconman.2014.05.003](https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.05.003).
3. P. Keil κ.ά., ‘Calendar Aging of Lithium-Ion Batteries: I. Impact of the Graphite Anode on Capacity Fade’, *J. Electrochem. Soc.*, τ. 163, τχ. 9, σσ. A1872–A1880, 2016, doi: [10.1149/2.0411609jes](https://doi.org/10.1149/2.0411609jes)
4. B. Dunn, H. Kamath, και J.-M. Tarascon, ‘Electrical Energy Storage for the Grid: A Battery of Choices’, *Science*, τ. 334, τχ. 6058, σσ. 928–935, Νοεμβρίου 2011, doi: [10.1126/science.1212741](https://doi.org/10.1126/science.1212741).
5. ‘IRENA_Electricity_Storage_Costs_2017.pdf’.
6. M. Schimpe, M. E. Von Kuepach, M. Naumann, H. C. Hesse, K. Smith, και A. Jossen, ‘Comprehensive Modeling of Temperature-Dependent Degradation Mechanisms in Lithium Iron Phosphate Batteries’, *J. Electrochem. Soc.*, τ. 165, τχ. 2, σσ. A181–A193, 2018, doi: [10.1149/2.1181714jes](https://doi.org/10.1149/2.1181714jes).
7. S. Vazquez, S. M. Lukic, E. Galvan, L. G. Franquelo, και J. M. Carrasco, ‘Energy Storage Systems for Transport and Grid Applications’, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, τ. 57, τχ. 12, σσ. 3881–3895, Δεκεμβρίου 2010, doi: [10.1109/TIE.2010.2076414](https://doi.org/10.1109/TIE.2010.2076414)
8. L. Canals Casals, B. Amante García, και L. V. Cremades, ‘Electric vehicle battery reuse: Preparing for a second life’, *JTEM*, τ. 10, τχ. 2, σ. 266, Μαΐου 2017, doi: [10.3926/jiem.2009](https://doi.org/10.3926/jiem.2009)
9. ‘21977-0317-2_CS+Fortum_EN_P.pdf’
10. Αριστείδης Καπόλος: Ηλεκτροχημική αποθήκευση ενέργειας επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Πολυτεχνική σχολή, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών
11. Storage Technologies Green Tank Report
12. J. Ehnberg, O. Lennerhag, E. Hillberg, A. Perez, A. Mutule, και I. Zikmanis, ‘Categorisation of Ancillary Services for Providers’, *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, τ. 56, τχ. 1, σσ. 3–20, Φεβρουαρίου 2019, doi: [10.2478/lpts-2019-0001](https://doi.org/10.2478/lpts-2019-0001)
13. Γενετζάκης Γεώργιος, Μελέτη των τεχνολογιών αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας και εκτίμηση των μελλοντικών εξελίξεων, Πολυτεχνείο Κρήτης Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
14. Γαλανάκης Ι. Δημήτριος, Battery Energy Storage, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Ενεργειακά Συστήματα
15. Ελένη Α. Δαρίδου, Μελέτη τοπικών ελέγχων ρύθμισης τάσης σε δίκτυα διανομής με υψηλή διείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής, Εθνικό Μετσόβιο

- Πολυτεχνείο Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος
16. ΡΑΕ, Κώδικας Διαχείρισης του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΕΔΔΗΕ)
 17. Γεώργιος Σταυρακάκης, Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών Τ.Ε.
 18. Οδυσσέας Χαλατσάκος, Αποθήκευση Ηλεκτρικής Ενέργειας: Τεχνολογίες και ρυθμιστικό πλαίσιο, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης Νομική Σχολή & Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΔΠΜΣ «ΔΙΚΑΙΟ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ»
 19. Σαββάκης Πέτρος, Σχεδίαση και ανάπτυξη ψηφιακού δίδυμου συσσωρευτή ενέργειας ηλεκτροκίνητου οχήματος, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Σχολή Μηχανικών, Τμήμα Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής
 20. Ιωάννου Δημήτρης, Συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής
 21. Μαρία – Ευσταθία Τσιούρβα, Αρμονικές και Ποιότητα Ισχύος, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Τομέας Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας
 22. Κωνσταντίνος Δ. Παγώνης, Επίδραση των ηλεκτρικών οχημάτων στα μεγέθη ενός μικροδικτύου με αυξημένη διείσδυση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος
 23. J. Xie και Y.-C. Lu, ‘A retrospective on lithium-ion batteries’, *Nat Commun*, τ. 11, τχ. 1, σ. 2499, Μαΐου 2020, doi: [10.1038/s41467-020-16259-9](https://doi.org/10.1038/s41467-020-16259-9)
 24. Αγγελική Σαγάνη, Η ανάγκη αποθήκευσης ενέργειας – μέθοδοι αποθήκευσης και εφαρμογές, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Ρευστών
 25. Σαντικός Γεώργιος, Αποθήκευση Ενέργειας με χρήση μπαταριών στην υψηλή και μέση τάση, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας»
 26. Y. Zhao κ.ά., ‘A Review on Battery Market Trends, Second-Life Reuse, and Recycling’, *Sustainable Chemistry*, τ. 2, τχ. 1, σσ. 167–205, Μαρτίου 2021, doi: [10.3390/suschem2010011](https://doi.org/10.3390/suschem2010011)
 27. Γεώργιος Δαμιανάκος, Βέλτιστος Προγραμματισμός Χειρισμών Αποθηκευτικών Μέσων Ιόντων Λιθίου με Ελαχιστοποίηση της Γήρανσης, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος
 28. ‘Καραφώτης Παναγιώτης (2023 Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ)) Συμβολή στην αξιοπιστία και την ποιότητα ισχύος των δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας’. Ημερομηνία πρόσβασης: 4 Φεβρουάριος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://freader.ekt.gr/eadd/index.php?doc=53715&lang=el#p=92>
 29. ‘Αρχή Παραγωγής Ισχύος Μπαταρίας Λιθίου - Μπαταρία - Γνώση’. Ημερομηνία πρόσβασης: 4 Φεβρουάριος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή

- μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://gr.jingsun-power.com/info/lithium-battery-power-generation-principle-81703311.html>
30. ‘fek_a_204_2022.pdf’. Ημερομηνία πρόσβασης: 4 Φεβρουάριος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: https://www.e-forosimv.gr/docs/fek_a_204_2022.pdf
 31. ‘Wärtsilä to deliver 100MW of energy storage for Pivot Power projects in the West Midlands, England to support renewable energy integration’, Wartsila.com. Ημερομηνία πρόσβασης: 4 Φεβρουάριος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.wartsila.com/media/news/19-07-2021-wartsila-to-deliver-100mw-of-energy-storage-for-pivot-power-projects-in-the-west-midlands-england-to-support-renewable-energy-integration-3360589>
 32. ‘Pivot Power, an EDF Renewables company, places order with Wärtsilä for 100 MW of energy storage in UK’, Wartsila.com. Ημερομηνία πρόσβασης: 4 Φεβρουάριος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.wartsila.com/media/news/25-02-2020-pivot-power-an-edf-renewables-company-places-order-with-wartsila-for-100-mw-of-energy-storage-in-uk-3206775>
 33. ‘Tehachapi Energy Storage Project’, *Wikipedia*. 13 Νοέμβριος 2023. Ημερομηνία πρόσβασης: 4 Φεβρουάριος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Tehachapi_Energy_Storage_Project&oldid=1184938805
 34. ‘News Release (21 Apr, 2015): Toshiba to Supply Lithium-ion Battery Energy Storage System For Freque | News | Toshiba’. Ημερομηνία πρόσβασης: 4 Φεβρουάριος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.global.toshiba/ww/news/corporate/2015/04/pr2101.html>
 35. ‘ACCIONA starts up the first hybrid wind power storage plant in Spain using batteries’. Ημερομηνία πρόσβασης: 5 Φεβρουάριος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: https://www.acciona.com/updates/news/acciona-starts-up-first-hybrid-wind-power-storage-plant-spain-using-batteries/?_adin=02021864894
 36. ‘EnspireME’. Ημερομηνία πρόσβασης: 5 Φεβρουάριος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.eneco.com/wat-wedoen/duurzame-bronnen/EnspireME/>
 37. ‘RWE starts construction of large-scale battery storage project at two locations in North Rhine-Westphalia’. Ημερομηνία πρόσβασης: 5 Φεβρουάριος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.rwe.com/en/press/rwe-generation/2023-05-31-rwe-starts-construction-of-large-scale-battery-storage-project/>
 38. ‘Total to Build the Largest Battery-based Energy Storage Project in France’, TotalEnergies.com. Ημερομηνία πρόσβασης: 5 Φεβρουάριος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://totalenergies.com/media/news/press-releases/total-build-largest-battery-based-energy-storage-project-france>
 39. ‘Hornsedale battery has 'significant impact' on market | Windpower Monthly’. Ημερομηνία πρόσβασης: 5 Φεβρουάριος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο:

- <https://www.windpowermonthly.com/article/1520406/hornsdale-battery-significant-impact-market>
40. ‘Vena Energy commissions 100-MW/150-MWh battery in Queensland’, Renewablesnow.com. Ημερομηνία πρόσβασης: 5 Φεβρουάριος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://renewablesnow.com/news/vena-energy-commissions-100-mw150-mwh-battery-in-queensland-795708/>
 41. Vena Energy switches on Queensland’s largest battery - Vena Energy - Leading renewable energy company in the Asia-Pacific region’. Ημερομηνία πρόσβασης: 5 Φεβρουάριος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.venaenergy.com/news/vena-energy-switches-on-queenslands-largest-battery/>
 42. ‘Συστήματα Ενεργειακής Αποθήκευσης (BESS)’, Eunice Group. Ημερομηνία πρόσβασης: 5 Φεβρουάριος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://eunice-group.com/el/projects/eunice-bess-gr/>
 43. ‘Αποθήκευση Ηλεκτρισμού’, Rae Website. Ημερομηνία πρόσβασης: 5 Φεβρουάριος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.rae.gr/ilektrismos/apothikeysi-ilektrismou/>
 44. S. Μα κ.ά., ‘Temperature effect and thermal impact in lithium-ion batteries: A review’, *Progress in Natural Science: Materials International*, τ. 28, τχ. 6, σσ. 653–666, Δεκεμβρίου 2018, doi: [10.1016/j.pnsc.2018.11.002](https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2018.11.002).
 45. ‘ypomnhma_RAE.pdf’. Ημερομηνία πρόσβασης: 5 Φεβρουάριος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: https://www.rae.gr/wp-content/uploads/2022/05/ypomnhma_RAE.pdf
 46. ‘Deal confirms zero-emissions target for new cars and vans in 2035 | Επικαιρότητα | Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο’. Ημερομηνία πρόσβασης: 5 Φεβρουάριος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.europarl.europa.eu/news/el/press-room/20221024IPR45734/deal-confirms-zero-emissions-target-for-new-cars-and-vans-in-2035>
 47. ‘Εκπομπές CO2: Πόσο 'καθαρά' είναι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα; (γράφημα) | Επικαιρότητα | Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο’. Ημερομηνία πρόσβασης: 5 Φεβρουάριος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.europarl.europa.eu/news/el/headlines/society/20190313STO31218/ekpompes-co2-poso-kathara-einai-ta-ilektrika-autokinita-grafima>
 48. Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ανά χώρα και τομέα (γράφημα) | Επικαιρότητα | Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο’. Ημερομηνία πρόσβασης: 5 Φεβρουάριος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.europarl.europa.eu/news/el/headlines/society/20180301STO98928/ekpompes-aerion-tou-thermokiapiou-ana-chora-kai-tomea-grafima>
 49. Ε. Δουση*, ‘Η Διάσκεψη της Στοκχόλμης’, Η ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ. Ημερομηνία πρόσβασης: 5 Φεβρουάριος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.kathimerini.gr/world/1018293/i-diaskepsi-tis-stokcholmis/> ΦΕΚ-Β-4893.2019.pdf. Ημερομηνία πρόσβασης: 5 Φεβρουάριος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://ypen.gov.gr/wp-content/uploads/2020/11/%CE%A6%CE%95%CE%9A-%CE%92-4893.2019.pdf>

50. Τζάτσης Αλέξανδρος, Επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση συσσωρευτών: Προκλήσεις και μελλοντικές προοπτικές, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Σχολή Μηχανικών, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών