



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ Μ/Υ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»



ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»

**«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΛΥΤΡΑ ΙΦΙΓΕΝΕΙΑ-ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ

Επιβλέπων : Ευάγγελος Μαρινάκης Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π., Τομέας Ηλεκτρικών
Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΜΒΡΙΟΣ 2024

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΙΦΙΓΕΝΕΙΑ-ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΛΥΤΡΑ

Επιβλέπων: Μαρινάκης Ευάγγελος Επικ. Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 22^η Οκτώβριου 2024.

Ευάγγελος Μαρινάκης

Ιωάννης Ψαρράς

Δημήτριος Ασκούνης

Καθηγητής Ε.Μ.Π

Καθηγητής Ε.Μ.Π

Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Οκτώβριος 2024

..... Ιφιγένεια Παρασκευή Κ.Λύτρα

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών,
Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Copyright © Λύτρα Ιφιγένεια Παρασκευή, 2024.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

**«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ
ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»**

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως κύριο στόχο να διερευνήσει σε βάθος τον ρόλο και τις προοπτικές των τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας, εστιάζοντας ιδιαίτερα στις μπαταρίες ιόντων λιθίου.

Το πρώτο κεφάλαιο θέτει το πλαίσιο της εργασίας, παρουσιάζοντας τους στόχους που επιδιώκει να επιτύχει και τη δομή και τη συμβολή της καθώς και τα αναμενόμενα αποτελέσματα και οφέλη της. Το δεύτερο κεφάλαιο αναλύει την σημασία της αποθήκευσης ενέργειας, τις βασικές αρχές που την καθιστούν κρίσιμη στον σύγχρονο κόσμο και επιπλέον, εξετάζει τις διεθνείς τάσεις και εφαρμογές αλλά και τις τεχνολογικές εξελίξεις και την έρευνα που έχει πραγματοποιηθεί στο συγκεκριμένο τομέα.

Το τρίτο κεφάλαιο περιγράφει και συγκρίνει επιγραμματικά τις διάφορες μεθόδους αποθήκευσης ενέργειας ενώ δίνει περισσότερη έμφαση στη μέθοδο αποθήκευσης που με συσσωρευτές Ιόντων Λιθίου και συγκεκριμένα σύνθεσης Λιθίου-Φωσφόρου-Σιδήρου. Στη συνέχεια, το τέταρτο κεφάλαιο εστιάζει στην τεχνική περιγραφή των μπαταριών ιόντων λιθίου και ενός ολοκληρωμένου συστήματος αποθήκευσης. Συγκεκριμένα, γίνεται ανάλυση των υλικών κατασκευής και των τεχνολογιών των κελιών καθώς και αναγωγή από το κελί (μοναδιαία συνιστώσα) μέχρι τη σύνδεση στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Το πέμπτο κεφάλαιο περιλαμβάνει τη συνολική οικονομική προκαταρκτική προσέγγιση για ένα σταθμό αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Συγκεκριμένα, γίνεται ανάλυση και παρουσιάζεται συνοπτικά οι κεφαλαιουχικές δαπάνες, γίνεται μελέτη των εσόδων λειτουργίας του σταθμού μέσω arbitrage όπου καθορίζονται τα κέρδη ανά έτος χρησιμοποιώντας ιστορικά δεδομένα από την αγορά ενέργειας της Ελλάδος.

Εν κατακλείδι, το κεφάλαιο 6 αποτελεί την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της μελέτης και παραθέτει τόσο τα συμπεράσματα όσο και τις μελλοντικές επεκτάσεις των όσων εξετάστηκαν στην εν λόγω διπλωματική εργασία.

Λέξεις Κλειδιά: Αποθήκευση Ηλεκτρικής Ενέργειας, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Μπαταρίες Ιόντων Λιθίου, Μελέτη Εσόδων.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

ΠΕΡΙΛΗΨΗ (EN)

The main objective of this thesis is to investigate in depth the role and prospects of energy storage technologies in Greece, focusing on lithium-ion batteries.

The first chapter sets the context of the thesis, presenting the specific objectives it seeks to achieve and the structure of the thesis and the results that are expected to be conducted.

The second chapter introduces the niche of energy storage, the key principles that make it critical in the modern world. In addition, international trends, and applications as well as technological developments and research that has been conducted in this field are examined.

The third chapter briefly describes and compares the various energy storage methods while placing more emphasis on the storage method using Lithium-Ion batteries, specifically Lithium-Phosphorus-Silicon composition.

Then, the fourth chapter focuses on the technical description of lithium-ion batteries and an integrated storage system. Specifically, an analysis of the materials of construction and cell technologies as well as a reduction from the cell (unitary component) to the connection to the grid is presented.

Chapter 5 includes the overall economic approach for an electricity storage station. In particular, the analysis and budgeting of the project is done, the study of the operating revenues of the station is conducted through arbitrage where the profits per year are determined using historical data from the Greek energy market.

In conclusion, chapter 6 is the presentation of the results of the study and lists both the conclusions and future extensions of what has been examined in this thesis.

Keywords: Electricity Storage, Renewable Energy Sources, Li-Ion Batteries, Revenue Study.

**«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ
ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»**

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Ευάγγελο Μαρινάκη για τη δυνατότητα που μου παρείχε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον και επίκαιρο θέμα, καθώς και για τις γνώσεις που αποκόμισα από εκείνον.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον επιστημονικό συνεργάτη του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου κ. Νικόλαο Αγγελόπουλο για τη συνεχή καθοδήγηση και την άμεση και ουσιαστική και πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε κατά τη διάρκεια εκπόνησης αυτής της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένεια μου και όσους με στήριξαν καθ' όλη τη διάρκεια της μεταπτυχιακής μου σταδιοδρομίας

**«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ
ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»**

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

| | |
|---|----|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ | 6 |
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ (EN) | 7 |
| ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ | 8 |
| ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ | 11 |
| ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ | 12 |
| ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ | 14 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – Στόχοι και Δομή της Πτυχιακής Εργασίας | 16 |
| 1.1 Στόχοι και συμβολή της Πτυχιακής Εργασίας | 16 |
| 1.2 Δομή της πτυχιακής εργασίας | 18 |
| 1.3 Αναμενόμενα Αποτελέσματα και Συμβολή | 20 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ | 23 |
| 2.1 Εισαγωγή στην Αποθήκευση Ενέργειας | 23 |
| 2.2 Ορισμοί και Νομοθετικό Πλαίσιο | 29 |
| 2.3 Διεθνείς τάσεις και εφαρμογές | 32 |
| 2.4 Νεότερες εξελίξεις, έρευνα και ανάπτυξη | 39 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ | 42 |
| 3.1 Ταξινόμηση Τεχνολογιών Αποθήκευσης | 42 |
| 3.2 Μηχανικοί Μέθοδοι Αποθήκευσης | 44 |
| 3.2.1 Αντλησιοταμίευση (Pumped Hydro) | 44 |
| 3.2.2 Αποθήκευση ενέργειας πεπιεσμένου αέρα (compressed air energy storage - CAES) | 46 |
| 3.2.3 Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας με στρεφόμενο σφόνδυλο (Flywheel Energy Storage System -FESS) | 48 |
| 3.3.1 Υπερπυκνωτές (Supercapacitors) | 50 |

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

| | |
|---|-----------|
| 3.3.2 Υπεραγώγιμη μαγνητική αποθήκευση ενέργειας (Super Conductive Energy Storage SMES)..... | 52 |
| 3.4 Θερμική Αποθήκευση (Thermal Energy Storage - TES) | 53 |
| 3.4.1 Αποθήκευση αισθητής θερμότητας SHS (Sensible Heat Storage) | 55 |
| 3.4.2 LHS (Latest Heat Storage)..... | 56 |
| 3.4.3 Θερμική Αποθήκευση με χημικές διαδικασίες (Thermochemical Energy Storage)..... | 56 |
| 3.5 Ηλεκτροχημικές μέθοδοι αποθήκευσης..... | 57 |
| 3.5.1 Μπαταρίες Ροής (Flow Batteries)..... | 57 |
| 3.5.2 Μπαταρίες (Batteries)..... | 59 |
| 3.6 Υδρογόνο (Hydrogen)..... | 65 |
| 3.6.2 Power to gas (P2G)..... | 68 |
| 3.7 Σύγκριση και πλεονεκτήματα των μπαταριών Ιόντων Λιθίου | 69 |
| 3.8 Τεχνολογικές Καινοτομίες στις τεχνολογίες αποθήκευσης..... | 72 |
| 3.9 Επιπτώσεις της πανδημίας Covid-19 στην αγορά αποθήκευσης ενέργειας | 73 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4– ΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΤΑΘΜΟΥ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ | 79 |
| 4.1 Ανάγκη Διείσδυσης Σταθμών Αποθήκευσης Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΑΗΕ) . | 79 |
| 4.2 Χαρακτηριστικά Μεγέθη μπαταριών Ιόντων Λιθίου σύνθεσης LFP | 81 |
| 4.2.1 Ανάλυση της χημικής σύνθεσης του κύτταρου (cell) μιας μπαταρίας LFP | 81 |
| 4.2.2 Χαρακτηριστικά μπαταριών Ιόντων Λιθίου (Li-Ion) σύνθεσης LFP..... | 84 |
| 4.2.3 Συνιστώσες ολοκληρωμένου συστήματος αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες Li-Ion LFP. | 88 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΣΤΑΘΜΟΥ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ | 93 |

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

| | |
|--|-----|
| 5.1 Ανάλυση των Κεφαλαιουχικών Δαπανών (CapEx) ενός σταθμού αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας με μπαταρίες Ιόντων – Λιθίου στην Ελλάδα..... | 93 |
| 5.2 Μηχανισμοί Αγοράς και Τρόποι Εσόδων..... | 102 |
| 5.3. Ταμειακές Ροές και Υπολογισμός Οικονομικών Δεικτών..... | 124 |
| 5.3.1 Ανάλυση Ταμειακών ροών επένδυσης..... | 124 |
| 5.3.2 Υπολογισμός ποσοστού προεξοφλημένης αποπληρωμής επένδυσης στα 10 χρόνια..... | 130 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΕΚΤΑΣΕΙΣ.... | 133 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 137 |

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

| | |
|---|-----|
| Πίνακας 1: Κατανομή Κεφαλαιουχικών Δαπανών για την εγκατάσταση και αδειοδότηση ενός σταθμού αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας με μπαταρίες ιόντων λιθίου στην Ελλάδα | 96 |
| Πίνακας 2: Μέρος συνόλου νόμων και μελετών που εξετάστηκαν για την επιλογή του μοντέλου εσόδων | 108 |
| Πίνακας 3: Συλλεχθέντα Δεδομένα τιμών Αγοράς Επόμενης Ημέρας για τον Νοέμβριο του 2020..... | 111 |
| Πίνακας 4:Συλλεχθέντα Δεδομένα Τιμών Αγοράς Επόμενης Ημέρας κατά το Μάιο του 2024..... | 111 |
| Πίνακας 5: Ταξινόμηση τιμών Αγοράς Επόμενης Ημέρας κατά αύξουσα σειρά..... | 112 |
| Πίνακας 6: Μέσος όρος ανά ώρα και αύξουσα ταξινόμηση των μέσων όρων | 113 |
| Πίνακας 7: Επιλογή συμφερούσων ωρών για πώληση και αγορά ενέργειας όταν ο σταθμός πραγματοποιεί ένα κύκλο φόρτισης. | 116 |
| Πίνακας 8: Ετήσια Έσοδα από τη λειτουργία arbitrage για ένα κύκλο την ημέρα. | 117 |

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

| | |
|--|-----|
| Πίνακας 9 : Έσοδα από τη λειτουργία arbitrage για όλα τα έτη λειτουργίας του σταθμού ισχύος 100MW..... | 119 |
| Πίνακας 10: Επιλογή συμφερούσων δώρων διαστημάτων για πώληση και αγορά ενέργειας όταν ο σταθμός πραγματοποιεί ένα κύκλο φόρτισης. | 120 |
| Πίνακας 11: Ετήσια έσοδα από τη λειτουργία arbitrage για δύο κύκλους ανά ημέρα. | 121 |
| Πίνακας 12: Δομή Κεφαλαίων | 124 |
| Πίνακας 13: Όροι πίστωσης Δανείου | 124 |
| Πίνακας 14: Πίνακας Αποπληρωμής Δανείου..... | 125 |
| Πίνακας 15: Δεδομένα, Αναμενόμενος Πληθωρισμός, Φορολογία, Λειτουργικά Έξοδα / Έτος | 125 |
| Πίνακας 16: Λειτουργικά έξοδα σταθμού αποθήκευσης για κάθε ένα από τα 20 χρόνια λειτουργίας του | 126 |
| Πίνακας 17: Κατάσταση Αποτελεσμάτων (Income statement)..... | 126 |
| Πίνακας 18: Ανάλυση Ταμειακών Ροών Σταθμού Αποθήκευσης για τα έτη 0 (περίοδος κατασκευής) έως 10. Μέρος 1 από 2 | 128 |
| Πίνακας 19: Ανάλυση Ταμειακών Ροών Σταθμού Αποθήκευσης για τα έτη 10 έως 20 (τέλος λειτουργίας). Μέρος 2 από 2 | 129 |
| Πίνακας 20: Υπολογισμοί προεξοφλημένης ταμειακής ροής για 10 χρόνια.(έτη, ταμειακή ροή, υπολογισμός προεξοφλημένης ταμειακής ροής) | 131 |

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

| | |
|--|----|
| Εικόνα 1: Εξέλιξη της Συνολικής Καθαρής Ζήτησης Ηλεκτρικής Ενέργειας (συμπεριλαμβανόμενης και της διεσπαρμένης παραγωγής) κατά την περίοδο 2000-2018 [33]..... | 25 |
| Εικόνα 2: Εν λειτουργία σταθμοί αποθήκευσης στην Ελλάδα, 2024 [29] | 28 |

**«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ
ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»**

| | |
|---|----|
| Εικόνα 3: Διεθνείς νέες προσθήκες σε χωρητικότητα ενέργειας ανά χώρα από το 2016 και προβλέψεις για το 2030 | 36 |
| Εικόνα 4: Εικόνα σταθμού αποθήκευσης με χρήση αντλησιοταμίευσης.[34] | 46 |
| Εικόνα 5: Σχεδιάγραμμα ροής σταθμού αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας [35]..... | 48 |
| Εικόνα 6: Δομή και συνιστώσες ενός συστήματος αποθήκευσης μέσω στρεφόμενου σφονδύλου [36]..... | 50 |
| Εικόνα 7: Διάγραμμα με εύρος πυκνότητας ισχύος-ενέργειας διαφόρων τεχνολογιών αποθήκευσης [1] | 51 |
| Εικόνα 8 : Απεικόνιση ενός συστήματος SMES [37]..... | 52 |
| Εικόνα 9: Σχηματική Απεικόνιση Συσσωρευτή Μολύβδου (Συσσωρευτής Μολύβδου (μπαταρία) - Electricalnews)..... | 60 |
| Εικόνα 10: Παγκόσμια διείσδυση μπαταριών ιόντων λιθίου από το 2004 μέχρι το 2023 | 70 |
| Εικόνα 11: Ροδογράμματα πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων των διάφορων χημικών συνθέσεων των μπαταριών ιόντων λιθίου..... | 71 |
| Εικόνα 12: Χαρακτηριστικά cell technology και απεικόνιση ενός cell..... | 83 |
| Εικόνα 13: Αντιστοιχία C rating και χρόνου. [26] | 86 |
| Εικόνα 14: Σύγκριση ποσοστιαίας χωρητικότητας – σε διάφορα στάδια αποφόρτισης μπαταριών LiFePO4 με άλλες συνθέσεις . [26]..... | 87 |
| Εικόνα 15: Ενδεικτική Απεικόνιση μιας συστοιχία μπαταριών ιόντων λιθίου [39].... | 89 |
| Εικόνα 16: Τομή ενός τυπικού κοντέινερ μπαταριών [27]..... | 90 |
| Εικόνα 17: Απεικόνιση ενός ολοκληρωμένου συστήματος αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας συμπεριλαμβανομένων των συνδέσεων DC,AC..... | 91 |
| Εικόνα 18: Διάγραμμα διακύμανσης τιμής λιθίου (CNY/T) κατά το τρέχον έτος,2024 | 99 |

**«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ
ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»**

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

| | |
|--|----|
| Διάγραμμα 1: Διάγραμμα Ροής Δομής Εργασίας..... | 22 |
| Διάγραμμα 2: Εύρος υπηρεσιών και εφαρμογών αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας [87]..... | 27 |
| Διάγραμμα 3: Αθροιστική εγκατάσταση αποθήκευσης ενέργειας από το 2015 μέχρι τη πρόβλεψη του 2030. (πηγή: BloombergNEF)..... | 35 |
| Διάγραμμα 4: Διεθνείς νέες προσθήκες σε χωρητικότητα ενέργειας ανά χώρα από το 2016 και προβλέψεις για το 2030 (πηγή: BloombergNEF)..... | 36 |
| Διάγραμμα 5: Παγκόσμια ζήτηση της αγοράς παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας από το 2016 έως το 2027..... | 36 |
| Διάγραμμα 6: Αριθμός μελετών που συνδέονται με MM και TN στο τομέα της ενέργειας (1970 – 2020). [64]..... | 40 |
| Διάγραμμα 7: Αριθμός Άρθρων και παραπομπών στα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας (2022-2022) [63]..... | 41 |
| Διάγραμμα 8: Εξέλιξη ερευνών για διάφορες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας (2006-2022) [63]..... | 41 |
| Διάγραμμα 9: Κατηγοριοποίηση τεχνολογιών αποθήκευσης [32]..... | 43 |
| Διάγραμμα 10: Προβλέψεις εγκατεστημένης χωρητικότητας TES σύμφωνα με το ευθυγραμμισμένο με τη συμφωνία του IRENA στο Παρίσι Transforming [56]..... | 53 |
| Διάγραμμα 11 :απεικόνιση της διαδικασίας φόρτισης και εκφόρτισης μιας μπαταρίας ιόντων-λιθίου. | 64 |
| Διάγραμμα 12: Προβλέψεις παραγωγής και ποσοστιαίας ενεργειακής κάλυψης από υδρογόνο μέχρι το 2050.[60]..... | 66 |
| Διάγραμμα 13: Τιμή λιθίου από το 2017 μέχρι σήμερα..... | 74 |
| Διάγραμμα 14: Τιμή κοβαλτίου από το 2020 μέχρι σήμερα..... | 75 |
| Διάγραμμα 15: Δίκτυο Εφοδιαστικής Αλυσίδας..... | 76 |

**«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ
ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»**

| | |
|---|-----|
| Διάγραμμα 16: Διάγραμμα εκθετικής μείωσης Capex Battery & Fixed Operation and Management [40] | 94 |
| Διάγραμμα 17: Διάγραμμα ροής καταμερισμού κεφαλαιουχικών δαπανών | 97 |
| Διάγραμμα 18: Διακύμανση Τιμή λιθίου κατά τα τελευταία 10 χρόνια [20] | 98 |
| Διάγραμμα 19: Εκθετική μείωση, με εξαίρεση το έτος 2022, συνιστωσών εξοπλισμού (κυψελών, πακέτων μπαταριών)από 2013-2023 | 100 |
| Διάγραμμα 20: Δυναμικό μείωσης του ενεργειακού κόστους των εγκατεστημένων συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες από το 2016 έως το 2030 [87]. | 101 |
| Διάγραμμα 21: Αναπαράσταση μεθοδολογίας εσόδων των επιλεχθέντων από τις δημοπρασίες ισχύος σταθμών αποθήκευσης. | 104 |
| Διάγραμμα 22: Απεικόνιση Βημάτων της συστηματικής ανασκόπησης της βιβλιογραφίας σε μια βάση δεδομένων [42]..... | 107 |
| Διάγραμμα 23: Ποσοστιαία κατάπτωση βαθμού αυτοεκφόρτισης μπαταρίας για 365 κύκλους το χρόνο..... | 118 |
| Διάγραμμα 24: Ποσοστιαία κατάπτωση βαθμού αυτοεκφόρτισης μπαταρίας για 730 κύκλους το χρόνο..... | 122 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – Στόχοι και Δομή της Πτυχιακής Εργασίας

1.1 Στόχοι και συμβολή της Πτυχιακής Εργασίας

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως κύριο στόχο να διερευνήσει σε βάθος τον ρόλο και τις προοπτικές των τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας στην Ελλάδα, εστιάζοντας ιδιαίτερα στις μπαταρίες ιόντων λιθίου. Μέσα από την τεχνική και οικονομική προσέγγιση ενός σταθμού αποθήκευσης, η εργασία επιδιώκει να αναδείξει τα πλεονεκτήματα και τις προκλήσεις που σχετίζονται με την ανάπτυξη και την ενσωμάτωση αυτών των τεχνολογιών.

Επιπλέον, η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως κύριο στόχο την εμπειριστατωμένη διερεύνηση του ρόλου και των προοπτικών των τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας στο σύγχρονο ενεργειακό τοπίο, με ιδιαίτερη έμφαση στην ελληνική αγορά.

Ειδικότερα, η εργασία στοχεύει να:

- Αναλύσει τις βασικές τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας, εξετάζοντας τα τεχνικά χαρακτηριστικά, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα κάθε τεχνολογίας, τον τρόπο λειτουργίας τους αλλά και τις κύριες εφαρμογές τους.
- Επικεντρωθεί στις μπαταρίες ιόντων λιθίου με ιδιαίτερη έμφαση στις μπαταρίες λιθιοφωσφορικού σιδήρου (LFP), αναλύοντας τη χημική τους σύνθεση, τα λειτουργικά τους χαρακτηριστικά, τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά τις βασικές ορολογίες και τις εφαρμογές τους στην αποθήκευση ενέργειας.
- Διερευνήσει την αναγκαιότητα διείσδυσης σταθμών αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΑΗΕ) τόσο διεθνώς αλλά ειδικότερα στο ελληνικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη την αυξανόμενη διείσδυση των ΑΠΕ και τις προκλήσεις που αυτή συνεπάγεται.
- Αναλύσει το υπάρχον νομοθετικό πλαίσιο των μπαταριών στην Ελλάδα και τις προοπτικές και δράσεις.
- Πραγματοποιήσει μια τεχνική προσέγγιση ενός σταθμού αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας με μπαταρίες ιόντων λιθίου, εξετάζοντας τις συνιστώσες του συστήματος, τα κριτήρια σχεδιασμού και τις βέλτιστες πρακτικές εγκατάστασης και λειτουργίας.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

- Εκπονήσει μια προκαταρκτική οικονομική προσέγγιση ενός τέτοιου σταθμού, εκτιμώντας τις κεφαλαιουχικές δαπάνες (CapEx), αναλύοντας τους μηχανισμούς αγοράς και τους τρόπους εσόδων, και αξιολογώντας την οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης υπό διαφορετικά σενάρια.
- Συγκρίνει τα πλεονεκτήματα των μπαταριών ιόντων λιθίου σε σχέση με άλλες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη τεχνικά, οικονομικά και περιβαλλοντικά κριτήρια, καθώς και την ειδική εφαρμογή της αποθήκευσης ενέργειας στο ελληνικό πλαίσιο.
- Συνάγει συμπεράσματα σχετικά με τις προοπτικές των τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας στην Ελλάδα και διατυπώσει προτάσεις για την περαιτέρω ανάπτυξη και αξιοποίησή τους, συμβάλλοντας έτσι στον ενεργειακό μετασχηματισμό της χώρας.

Η αποθήκευση ενέργειας αποτελεί ένα από τα βασικότερα ζητήματα της σύγχρονης ενεργειακής πολιτικής και τεχνολογικής ανάπτυξης, κυρίως λόγω της ανάγκης για υψηλότερη διείσδυση και χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας οι οποίες χαρακτηρίζονται από αβεβαιότητα και ευμεταβλητότητα παραγωγής.

Οι ήπιες ή αλλιώς ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια, έχουν αυξηθεί δραματικά τις τελευταίες δεκαετίες, ωστόσο παρουσιάζουν προκλήσεις λόγω της μεταβλητότητας στη παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, καθώς εξαρτώνται από τις καιρικές συνθήκες, όπως ηλιοφάνεια και άνεμος, καθιστώντας δύσκολη τη συνεχή και αξιόπιστη παροχή ενέργειας στο δίκτυο.

Για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων, η αποθήκευση ενέργειας παρέχει μια αποτελεσματική λύση, επιτρέποντας την αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας κατά τη διάρκεια περιόδων υπερπαραγωγής (πλεόνασμα παραγωγής σε σχέση με τη ζήτηση) και τη επαναχρησιμοποίηση της κατά τις περιόδους αυξημένης ζήτησης. Με αυτόν τον τρόπο, η αποθήκευση ενέργειας συμβάλλει στη σταθεροποίηση του ηλεκτρικού δικτύου, στη μείωση των διακυμάνσεων στη ζήτηση και στην αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με βέλτιστο τρόπο.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Οι εφαρμογές αποθήκευσης ενέργειας περιλαμβάνουν τόσο μεγάλες εγκαταστάσεις αποθήκευσης που μπορούν να αποτελέσουν κρίσιμο ρόλο στη λειτουργία και ασφάλεια του δικτύου αλλά και τη διαχείριση ενέργειας τόσο σε οικιακό επίπεδο όσο και σε βιομηχανική κλίμακα.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως κεντρικό αντικείμενο την παρουσίαση των ρόλων και προοπτικών των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας καθώς και της παράθεσης των οικονομικών πτυχών συγκεκριμένων τεχνολογιών αποθήκευσης στην Ελλάδα.

Ο σκοπός της μελέτης είναι η κατανόηση της αναγκαιότητας για εγκατάσταση συστημάτων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και η χρήση της ως ένας οδηγός για τις βασικές τεχνικές και οικονομικές ορολογίες στο συγκεκριμένο τομέα.

1.2 Δομή της πτυχιακής εργασίας

Η εργασία διαρθρώνεται σε έξι βασικά κεφάλαια:

Κεφάλαιο 1: Στόχοι της πτυχιακής εργασίας. - Θέτει το πλαίσιο της εργασίας και τη δομή της, παρουσιάζοντας τη σημασία της αποθήκευσης ενέργειας και τους ειδικότερους στόχους που επιδιώκει να επιτύχει.

Κεφάλαιο 2: Εισαγωγή Αποθήκευσης Ενέργειας - Παρέχει μια εισαγωγή στις βασικές έννοιες και τεχνολογίες της αποθήκευσης ενέργειας, εστιάζοντας στον ρόλο της στην ενσωμάτωση των ΑΠΕ και στην εξασφάλιση της ενεργειακής ασφάλειας αλλά και στη παρουσίαση της διεθνής κατάστασης και των ερευνών στο τομέα της αποθήκευσης.

Επιπλέον, παρουσιάζει την υπάρχουσα κατάσταση στη Ελλάδα και στη συνέχεια παραθέτει τους εθνικούς και ευρωπαϊκούς στόχους για την αποθήκευση και την ενεργειακή ανεξαρτησία σύμφωνα με το αναθεωρημένο εθνικό σχέδιο για την ενέργεια και το κλίμα (ΕΣΕΚ). Επίσης παραθέτει τις διεθνείς δράσεις και προοπτικές αλλά και μέρος των τεχνολογικών εξελίξεων και ερευνών.

Κεφάλαιο 3: Τεχνολογίες Αποθήκευσης – Αναλύει σε βάθος τις διαφορετικές τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας με ιδιαίτερη έμφαση στις μπαταρίες ιόντων λιθίου και παρουσιάζει τα βασικότερα πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα και τον τρόπο λειτουργίας τους.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Συγκεκριμένα παραθέτει τις τεχνολογίες αποθήκευσης, οι οποίες διακρίνονται σε Μηχανικές, Ηλεκτρομαγνητικές, Θερμικές και Ηλεκτροχημικές. Επίσης, παραθέτει επισκόπηση των νέων εξελίξεων και καινοτομιών στον τομέα την αποθήκευσης ενέργειας.

Κεφάλαιο 4: Τεχνική Ανάλυση Σταθμού Αποθήκευσης Ηλεκτρικής Ενέργειας

Παρουσιάζει τις τεχνικές προδιαγραφές ενός σταθμού αποθήκευσης ενέργειας που χρησιμοποιεί μπαταρίες ιόντων λιθίου LFP και εμβαθύνει στην τεχνική ανάλυση ενός σταθμού αποθήκευσης με μπαταρίες ιόντων λιθίου, εξετάζοντας τα χαρακτηριστικά μεγέθη, τη χημική σύνθεση, τις συνιστώσες του συστήματος και τα κριτήρια σχεδιασμού.

Τα βασικά σημεία του κεφαλαίου 4 περιλαμβάνουν:

- Δομή της μοναδιαίας συνιστώσας – κύτταρο LFP: Περιγραφή της δομής και των υλικών του κυττάρου LFP.
- Τεχνικά Χαρακτηριστικά Μπαταριών LFP: Ανάλυση της τεχνολογίας LFP, των χαρακτηριστικών τους, όπως η χωρητικότητα, ο χρόνος φόρτισης/εκφόρτισης, και η αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες.
- Αναγωγή από τη μοναδιαία συνιστώσα σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας.

Κεφάλαιο 5 : Οικονομική Προσέγγιση σταθμού αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας -

Επικεντρώνεται στην οικονομική προσέγγιση του σταθμού αποθήκευσης και περιλαμβάνει μεταξύ άλλων:

- Προσέγγιση ως προς τις Κεφαλαιουχικές Δαπάνες: Ανάλυση των αρχικών επενδύσεων για την κατασκευή και εγκατάσταση του σταθμού καθώς και των λειτουργικών δαπανών.
- Προκαταρκτική Μελέτη Εσόδων και Ταμειακής Ροής: Υπολογισμός των εσόδων από την πώληση αποθηκευμένης ενέργειας και ανάλυση της ταμειακής ροής για δύο λειτουργίες του σταθμού (1 κύκλος/ημέρα και 2 κύκλοι/ημέρα)

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

- Αξιολόγηση του ποσοστού προεξοφλημένης αποπληρωμής επένδυσης για τα 10 πρώτα χρόνια λειτουργίας του σταθμού με τον δείκτη της προεξοφλημένης περιόδου απόσβεσης (payback period).

Προσεγγίζει σε προκαταρκτικό στάδιο την οικονομική βιωσιμότητα ενός σταθμού αποθήκευσης, αναλύοντας τις κεφαλαιουχικές δαπάνες, τους μηχανισμούς αγοράς, τους τρόπους εσόδων. Σημειώνεται ότι ως μηχανισμός εσόδων έχει γίνει ανάλυση μόνο των εσόδων από την συμμετοχή του σταθμού στην αγορά επόμενης ημέρας του Ελληνικού χρηματιστηρίου ενέργειας χρησιμοποιώντας μακροπρόθεσμα ιστορικά δεδομένα τιμών ηλεκτρικής ενέργειας.

Κεφάλαιο 6 – Συμπεράσματα και Μελλοντικές προεκτάσεις

Τέλος, το κεφάλαιο 6 παραθέτει τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα της παρούσας πτυχιακής εργασίας όπου ουσιαστικά συνοψίζονται οι περιοχές μελέτης της εργασίας και παρουσιάζονται:

- Τα συνολικά Αποτελέσματα: Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από την τεχνική και οικονομική ανάλυση του σταθμού.
- Τα συμπεράσματα και Προτάσεις: Εξαγωγή προκαταρκτικών συμπερασμάτων και ανάγκη για περαιτέρω ανάλυση και έρευνα για την αποδοτικότητα και την βιωσιμότητα της επένδυσης.

Συνοψίζει τα βασικά ευρήματα της εργασίας, παρουσιάζει τα συμπεράσματα που προκύπτουν και προτείνει μελλοντικές ερευνητικές κατευθύνσεις.

1.3 Αναμενόμενα Αποτελέσματα και Συμβολή

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αναμένεται να προσφέρει μια αναλυτική προσέγγιση των τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας και να λειτουργήσει ως ένας οδηγός, με έμφαση στις μπαταρίες ιόντων λιθίου, αλλά και να αξιολογήσει σε αρχικό στάδιο την τεχνική και οικονομική τους βιωσιμότητα στο πλαίσιο της ελληνικής αγοράς.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Τα αναμενόμενα αποτελέσματα περιλαμβάνουν:

- Κατανόηση των βασικών τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας.
- Εμβάθυνση στις μπαταρίες ιόντων λιθίου, αναλύοντας τη χημεία, τη λειτουργία και τις εφαρμογές τους.
- Αξιολόγηση της αναγκαιότητας και των προοπτικών των ΣΑΗΕ στην Ελλάδα, λαμβάνοντας υπόψη την αυξανόμενη διείσδυση των ΑΠΕ και το υπάρχον νομοθετικό πλαίσιο.
- Τεχνική ανάλυση ενός σταθμού αποθήκευσης με μπαταρίες ιόντων λιθίου, συμπεριλαμβανομένων των κριτηρίων σχεδιασμού και των βέλτιστων πρακτικών.
- Παράθεση μελλοντικών διεθνών στόχων, παγκόσμιων τάσεων και τεχνολογικών εξελίξεων.
- Προκαταρκτική τεχνοοικονομική ανάλυση ενός σταθμού αποθήκευσης, αξιολογώντας σε αρχικό στάδιο την οικονομική του βιωσιμότητα και τους παράγοντες που την επηρεάζουν.
- Σύγκριση των μπαταριών ιόντων λιθίου με άλλες τεχνολογίες αποθήκευσης, λαμβάνοντας υπόψη τεχνικά, οικονομικά και περιβαλλοντικά κριτήρια.
- Συμπεράσματα και προτάσεις για την περαιτέρω ανάπτυξη και αξιοποίηση των τεχνολογιών αποθήκευσης στην Ελλάδα.

Η εργασία αυτή αναμένεται να συμβάλει στην κατανόηση του ρόλου της αποθήκευσης ενέργειας στην ενεργειακή μετάβαση της Ελλάδας και να λειτουργήσει ως οδηγός παρέχοντας χρήσιμες πληροφορίες για τους φορείς που δραστηριοποιούνται στον τομέα της ενέργειας.

Συνοψίζοντας, η παρούσα πτυχιακή εργασία συμβάλλει στην έρευνα και την ανάλυση των τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας, με έμφαση στις μπαταρίες ιόντων λιθίου, και στην αξιολόγηση του ρόλου τους στην ενεργειακή μετάβαση της Ελλάδας. Μέσα από την προσέγγισή της, η εργασία αναμένεται να παράσχει χρήσιμες γνώσεις και να συντελέσει στη λήψη αποφάσεων στον τομέα της ενέργειας.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Ακολουθεί ένα διάγραμμα ροής των κεφαλαίων της πτυχιακής εργασίας, το οποίο απεικονίζει τη δομή της εργασίας και τη σύνδεση των επιμέρους υποκεφαλαίων και κύριων περιοχών εστίασης της.

Το διάγραμμα συντελεί στην κατανόηση της λογικής ροής της πτυχιακής εργασίας και στην ανάδειξη των σχέσεων μεταξύ των διαφόρων θεμάτων που καλύπτονται.



Διάγραμμα 1: Διάγραμμα Ροής Δομής Εργασίας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

2.1 Εισαγωγή στην Αποθήκευση Ενέργειας

Ένας εκ των βασικότερων πυλώνων λειτουργίας του σύγχρονου μοντέλου οικονομικής ανάπτυξης σε παγκόσμιο επίπεδο αποτελεί η χρήση ενέργειας. Οι σύγχρονες κοινωνίες καταναλώνουν πολύ μεγάλες ποσότητες ενέργειας για την κάλυψη του συνόλου των αναγκών τους, τόσο σε επίπεδο μονάδας (π.χ. νοικοκυριά), όσο και σε μεγαλύτερες και πολυπλοκότερες δομές (επιχειρήσεις δημόσιου και ιδιωτικού τομέα, μέσα μαζικής μεταφοράς, βιομηχανία κ.λπ.).

Η συνεχής βελτίωση του βιοτικού επιπέδου είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την αύξηση της ενεργειακής ζήτησης. Στη σημερινή εποχή, το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας παράγεται κυρίως από Συμβατικές Πηγές Ενέργειας, δηλαδή θερμικές μονάδες που λειτουργούν με ορυκτούς πόρους, όπως για παράδειγμα το πετρέλαιο και τα παράγωγά του, τον άνθρακα, το φυσικό αέριο και τα ραδιενεργά ορυκτά. Η εντατική αξιοποίηση των συγκεκριμένων συμβατικών καυσίμων, τα οποία ουσιαστικά αποτελούν φυσικούς πόρους, που εντοπίζονται στον υπέδαφος και οι οποίοι όμως θεωρούνται εξαντλήσιμοι, λόγω της πολύ αργής αναπλήρωσής τους, πέραν από τον κίνδυνο της γρήγορης εξάντλησής τους, δημιουργούν σειρά περιβαλλοντικών προβλημάτων με αιχμή το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Στη φύση, πέραν των συμβατικών καυσίμων, διατίθεται μια πλειάδα άλλων πηγών ενέργειας, οι οποίες αξιοποιούνται από την αρχαιότητα για να καλύψουν διάφορες ενεργειακές ανάγκες, όπως ο άνεμος, ο ήλιος και το νερό κ.α. Αυτές οι μορφές ενέργειας ονομάζονται Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), επειδή συνδέονται με τον καθημερινό κύκλο της φύσης και πρακτικά θεωρούνται ανεξάντλητες. Όπως ορίζει η Οδηγία 2001/77/ΕΚ, Ανανεώσιμες πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), είναι οι μη ορυκτές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, δηλαδή η αιολική, η ηλιακή και η γεωθερμική ενέργεια, η ενέργεια κυμάτων, η παλιρροιακή ενέργεια, η υδραυλική ενέργεια, τα εκλυόμενα αέρια από χώρους υγειονομικής ταφής, από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και τα βιοαέρια.

Το ενδιαφέρον για την ευρύτερη αξιοποίηση των ΑΠΕ, καθώς και για την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδοτικών τεχνολογιών που δεσμεύουν το δυναμικό τους,

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

παρουσιάστηκε αρχικά μετά τις δύο πετρελαϊκές κρίσεις του 1973 και του 1979, ενώ παγιώθηκε αργότερα μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων. Σήμερα, λαμβάνοντας υπόψη τους επίσημους σχεδιασμούς των ανεπτυγμένων κρατών για την ενέργεια καταδεικνύεται η περαιτέρω και διευρυμένη αξιοποίηση των ΑΠΕ. Το κόστος των εφαρμογών ήπιων μορφών ενέργειας, μειώνεται συνεχώς τα τελευταία είκοσι χρόνια σαν αποτέλεσμα της διείσδυσης τους στην παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

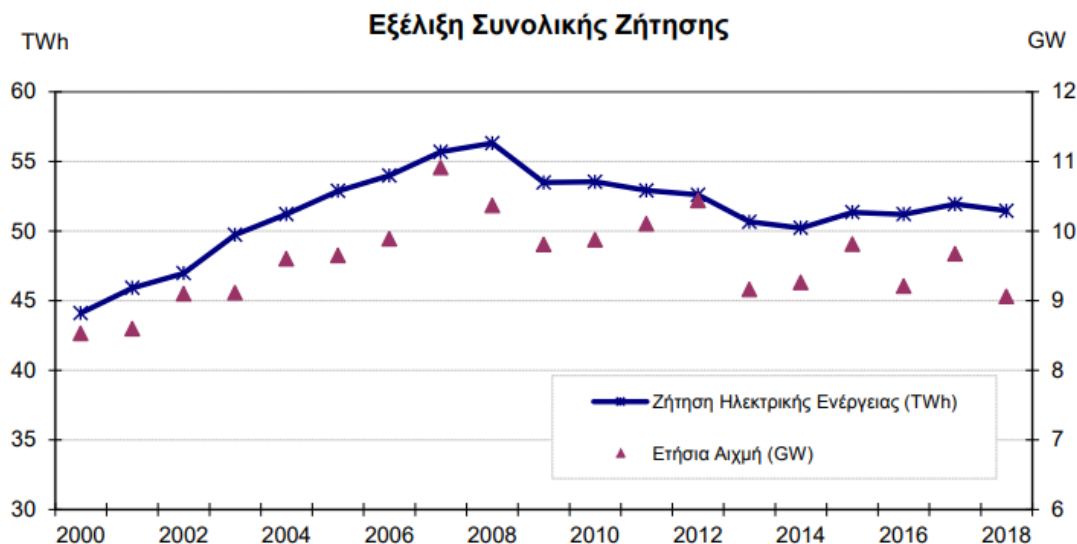
Τα βασικά πλεονεκτήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας συνοψίζονται ακολούθως. Οι ΑΠΕ συμβάλλουν στον περιορισμό της εξάρτησης των χωρών από εξαντλήσιμους ενεργειακούς πόρους, προσδίδοντας στις χώρες τη δυνατότητα:

1. Για βελτίωση της ενεργειακής ανεξαρτησίας τους.
2. Για ενίσχυση του εμπορικού ισοζυγίου, περιορίζοντας την εισαγωγή ενέργειας.
3. Για δημιουργία στρατηγικών αποθεμάτων στους εγχώριους ορυκτούς πόρους για την ασφάλεια τους και των επόμενων γενεών.
4. Οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, εξαιτίας της γεωγραφικής τους διασποράς, με αποτέλεσμα τη δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο και τη συνεπακόλουθη ανακούφιση των συστημάτων υποδομής και τον περιορισμό των απωλειών από τη μεταφορά ενέργειας.
5. Είναι ανεξάρτητες από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και πιο συγκεκριμένα των τιμών των συμβατικών καυσίμων. Προσφέρουν τη δυνατότητα ορθολογικής αξιοποίησης των ενεργειακών πόρων καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα των ενεργειακών αναγκών των χρηστών.
6. Συνεισφέρουν στην αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών με τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας και την προσέλκυση ανάλογων επενδύσεων.

Όσον αφορά την ρυθμό αύξησης διείσδυσης των ΑΠΕ, σύμφωνα με την μελέτη Επάρκειας Ισχύος του ΑΔΜΗΕ που δημοσιεύτηκε το Δεκέμβριο του 2019, στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζεται η εξέλιξη της Καθαρής Ζήτησης Ηλεκτρικής Ενέργειας του Συστήματος από το 2000 μέχρι το 2018. Συνεπώς, την περίοδο 2000 -

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

2008 υπήρξε συνεχής αύξηση της Συνολική καθαρής Ζήτησης, ενώ έκτοτε, παρατηρείται συνεχής μείωση, με εξαίρεση το 2015 και το 2017.



Εικόνα 1: Εξέλιξη της Συνολικής Καθαρής Ζήτησης Ηλεκτρικής Ενέργειας (συμπεριλαμβανόμενης και της διεσπαρμένης παραγωγής) κατά την περίοδο 2000-2018 [33]

Η ηλεκτροπαραγωγή από τις ΑΠΕ προσεγγίζει πλέον της 15 TWh ετησίως. Η εγκατεστημένη ισχύς των σταθμών ΑΠΕ έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια με αξιοσημείωτη την ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών σταθμών κατά την περίοδο 2011-2013 και με σταθερή αύξηση της ισχύος των αιολικών σταθμών για το σύνολο της περιόδου 2006 - 2016.

Ωστόσο, η παραγωγή από ΑΠΕ εξαρτάται από τα καιρικά φαινόμενα και περιορίζεται κυρίως τις ώρες που με ηλιοφάνεια (ήτοι 11:00π.μ.-15:00π.μ.). Τις ώρες υψηλής διείσδυσης από ΑΠΕ υπάρχει πλεονασμός ενέργειας σε σχέση με την ενεργειακή ζήτηση σε αντίθεση με τις βραδινές ώρες όπου υπάρχει υψηλή ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας αλλά χαμηλή παραγωγή από ΑΠΕ. Εύλογα λοιπόν κρίνεται απαραίτητη η δημιουργία ενός πλαισίου δομικών αλλαγών που αναμένεται να συντελέσουν στη ρύθμιση του ισοζυγίου παραγωγής-κατανάλωσης. Καθοριστική παράμετρος στο πλαίσιο αυτό αποτελεί η ανάπτυξη συστημάτων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Τα συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας θα είναι καθοριστικά για την οικονομία του συστήματος και τις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και για την ενίσχυση της διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στο ηλεκτροπαραγωγικό μείγμα της χώρας, αφού η διείσδυση όλο και περισσότερων έργων ηλιακής και αιολικής ενέργειας δημιουργούν ολοένα και περισσότερες απαιτήσεις ελέγχου της ετήσιας ενεργειακής παραγωγής (ανάγκες αντιστάθμισης μεταβλητότητας των ΑΠΕ). Τη λύση στο μείζον πρόβλημα των σταθμών παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ δηλαδή στη μη συνεχή, απρόβλεπτη παραγωγή ενέργειας και στην αδυναμία πρόβλεψη της παραγωγής τους λόγω των καιρικών συνθηκών την δίνουν οι σταθμοί με την δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας.

Η ανάγκη για περαιτέρω εξέλιξη και διείσδυση συστημάτων αποθήκευσης είναι ύψιστης σημασίας και οι εφαρμογές της αποθήκευσης μπορούν να εντοπιστούν σε διάφορους τομείς. Αναλυτικότερα, η αποθήκευση ενέργειας εκτός από τη λειτουργία arbitrage, μπορεί να υποστηρίξει τη ρύθμιση της συχνότητας και να διασφαλίσει με αυτό τον τρόπο ισορροπίες μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης. Επιπλέον, μπορεί να εξασφαλίσει επαρκώς εφεδρείες για την κάλυψη της ζήτησης (εφεδρική ισχύς).

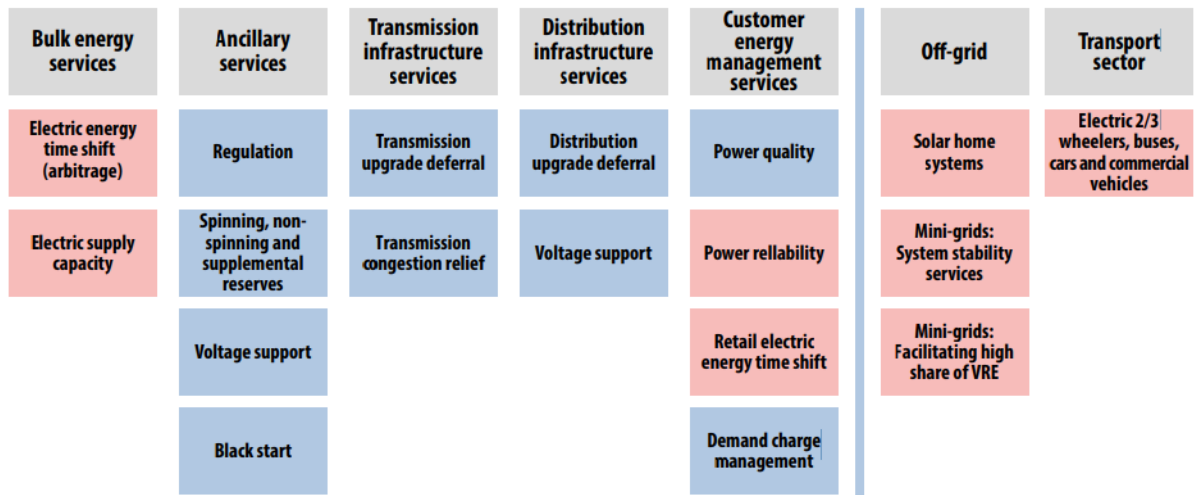
Οι επικουρικές υπηρεσίες αποθήκευσης ενέργειας μπορούν να συμβάλλουν στην σταθερότητα προσφέροντας υποστήριξη τάσης αλλά και στην ικανότητα επανεκκίνησης του συστήματος σε περίπτωση διακοπής ρεύματος. Επιπλέον, με στόχο τη μείωση των ρύπων στην ατμόσφαιρα, μπαταρίες χρησιμοποιούνται στις μεταφορές (αυτοκίνητα, ποδήλατα, λεωφορεία κ.λπ.) καθώς επίσης και σε νοικοκυριά όπου οι καταναλωτές μπορούν με εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πλαισίων και μπαταρίες να αποθηκεύσουν την ενέργεια που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά και να μειώσουν ή μηδενίσουν με αυτό τον τρόπο την εξάρτησή τους από το δίκτυο.

Επίσης, σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν προσβάσεις σε δίκτυα ηλεκτρισμού, με την εγκατάσταση συστημάτων αποθήκευσης (π.χ. μπαταρίες) αλλά και συστημάτων ΑΠΕ (π.χ. φωτοβολταϊκά ή μικρές ανεμογεννήτριες) θα μπορούσαν να ενισχύσουν τη συνεχή παροχή ενέργειας.

Στο ακόλουθο διάγραμμα, παρουσιάζονται το εύρος των υπηρεσιών που μπορούν να παρασχεθούν από την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας. Με κόκκινο χρώμα

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

αναπαρίστανται οι υπηρεσίες αποθήκευσης που υποστηρίζουν άμεσα την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Διάγραμμα 2: Εύρος υπηρεσιών και εφαρμογών αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας [87]

Ωστόσο, παρόλο που η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας αναγνωρίζεται ως προϋπόθεση για την απαλλαγή του τομέα της ενέργειας από τα συμβατικά καύσιμα, την περαιτέρω διείσδυση των ΑΠΕ, αλλά και για την εφαρμογή όλων των ανωτέρω υπηρεσιών, η διείσδυση της αποθήκευσης εξακολουθεί να αντιμετωπίζει νομικά και ρυθμιστικά εμπόδια και ανησυχίες σχετικά με τη σκοπιμότητα των επενδύσεων.

Σήμερα, λειτουργούν τέσσερις σταθμοί αποθήκευσης στην Ελλάδα, δύο σταθμοί αντλησιοταμίευσης στην ηπειρωτική χώρα (700 MW συνολικά) και δύο μικροί υβριδικοί σταθμοί αποθήκευσης ΑΠΕ σε μη διασυνδεδεμένα νησιά (3 MW). [29]

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»



Εικόνα 2: Εν λειτουργία σταθμοί αποθήκευσης στην Ελλάδα, 2024 [29]

Ο επικαιροποιημένος στόχος για μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) ~80% στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας, που έχει τεθεί στο υπό αναθεώρηση Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ), δεν μπορεί να επιτευχθεί χωρίς ουσιαστική αύξηση της αποθηκευτικής ικανότητας του συστήματος. Οι εκτιμήσεις ποικίλλουν, αλλά μια συνολική αποθηκευτική ικανότητα τουλάχιστον 4 GW και 15-20 GWh θεωρείται κατάλληλη για την υποστήριξη των αναγκών του συστήματος κατά την επόμενη δεκαετία.

Σήμερα, υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για επενδύσεις σε εγκαταστάσεις αποθήκευσης στην Ελλάδα. Τα αδειοδοτημένα έργα αποτελούνται κυρίως από συστήματα αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες ιόντων λιθίου (BESS), είτε αυτόνομα είτε ενσωματωμένα σε φωτοβολταϊκά (υβριδικοί σταθμοί).

Συγκεκριμένα, βάσει του μητρώου αδειών της Ρυθμιστικής Αρχής Αποβλήτων, Ενέργειας και Υδάτων (ΡΑΑΕΥ) τόσο τα συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΑΗΕ) όσο και τα υβριδικά έργα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) με συστήματα αποθήκευσης είναι πολλαπλάσια των προβλέψεων του υφιστάμενου Εθνικού Σχεδίου για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ). Αναλυτικότερα, οι άδειες αποθήκευσης με χρήση συσσωρευτών που έχουν εκδοθεί ξεπερνούν τα 40GW ισχύος και τις 100GWh αποθηκευτικής ικανότητας ενώ οι εκδοθείσες άδειες αποθήκευσης με χρήση αντλησιοταμίευσης είναι ίσες με 5,26GW ισχύος και 50GWh αποθηκευτικής ικανότητας.

Ωστόσο, όπως προαναφέρθηκε, πέραν των σταθμών συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 700MW, δεν υπάρχουν άλλοι εν λειτουργία σταθμοί αποθήκευσης με αποτέλεσμα το ελληνικό σύστημα ενέργειας να οδηγείται σε όλο και μεγαλύτερες περικοπές

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

παραγωγής από ΑΠΕ αλλά και σε μηδενικές ή αρνητικές τιμές χονδροεμπορικής τιμής ηλεκτρικής ενέργειας στην αγορά ενέργειας.

Εύλογα λοιπόν προκύπτει το συμπέρασμα ότι δημιουργούνται συνεχώς προκλήσεις στα επενδυτικά σχέδια για νέες μονάδες παραγωγής και η ανάγκη κατασκευής και εισαγωγής στο εθνικό σύστημα ενέργειας σταθμών αποθήκευσης είναι κρίσιμης σημασίας.

2.2 Ορισμοί και Νομοθετικό Πλαίσιο

Όπως προαναφέρθηκε, τα συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας θα είναι καθοριστικά για την οικονομία του συστήματος και τις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και για την ενίσχυση της διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στο ηλεκτροπαραγωγικό μείγμα της Χώρας. Το γεγονός αυτό προκύπτει αφού η διείσδυση όλο και περισσότερων έργων ηλιακής και αιολικής ενέργειας και εν γένει ΑΠΕ, δημιουργεί ολοένα και περισσότερες απαιτήσεις ελέγχου της ετήσιας ενεργειακής.

Με βάση το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το κλίμα (ΕΣΕΚ) που ολοκληρώθηκε το 2019 από το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ), τέθηκαν φιλόδοξοι στόχοι σχετικά με την εθνική ενεργειακή πολιτική μέχρι το έτος 2030. Μεταξύ άλλων, στους βασικούς στόχους του ΕΣΕΚ συγκαταλέγονται τα ακόλουθα:

1. η ενίσχυση της διείσδυσης της παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ σε μερίδιο που θα ξεπερνά το 35% την τελικής ακαθάριστης κατανάλωσης ενέργειας στη χώρα το έτος 2030,
2. η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου άνω του 56% σε σχέση με το 2005,
3. ο περιορισμός του ρυθμού αύξησης της κατανάλωσης ενέργειας μέσω της λήψης μέτρων και δράσεων για την ενίσχυση της ενεργειακής απόδοσης,
4. η εγχώρια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ να ξεπερνά το 61% της συνολικής εγχώριας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
5. η σταδιακή απόσυρση όλων των υφιστάμενων λιγνιτικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής μέχρι το 2023 και η τελική απεξάρτηση της ηλεκτροπαραγωγής από λιγνίτη μέχρι το 2028.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Η ανάγκη επίτευξης των παραπάνω στόχων μέχρι το 2030, ιδίως αναφορικά με τον διπλασιασμό της διείσδυσης της παραγωγής από ΑΠΕ, οδηγεί αναπόφευκτα σε ανάγκη εγκατάστασης σημαντικής ισχύος σταθμών αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας (ως εξής ΣΑΗΕ). Παράλληλα, η εγκατάσταση νέων ευέλικτων μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κρίνεται απολύτως αναγκαία ώστε να διασφαλιστεί η ασφάλεια λειτουργίας και η επάρκεια ισχύος του συστήματος.

Με βάση την οδηγία (ΕΕ) 2019/944 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 5ης Ιουνίου 2019 σχετικά με τους κοινούς κανόνες για την εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και της τροποποίηση της οδηγίας 2012/27/ΕΕ (άρθρο 2, παρ.59) ως αποθήκευση ενέργειας στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας ορίζεται: *«η αναβολή της τελικής χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας σε χρονική στιγμή μεταγενέστερη από αυτής της παραγωγής της ή η μετατροπή ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί, η αποθήκευση της εν λόγω ενέργειας, και η μεταγενέστερη εκ νέου μετατροπή της εν λόγω ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια ή τη χρήση σε διαφορετικό φορέα ενέργειας.»* ενώ ως εγκατάσταση αποθήκευσης ενέργειας στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας ορίζεται: *«μια εγκατάσταση όπου γίνεται η αποθήκευση της ενέργειας».*

Με βάση το Νόμο υπ' Αριθμ. 4951/2022 σταθμός αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας ορίζεται: *«το σύνολο των εγκαταστάσεων που συνδέονται με το Σύστημα Μεταφοράς το Δίκτυο Διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων των σταθμών αντλησιοταμίευσης και των υβριδικών σταθμών, και επιτελούν αποκλειστικά λειτουργία αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας».*

Ως εκ τούτου, αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας νοείται η διαδικασία κατά την οποία απορροφάτε ηλεκτρική ενέργεια από το σύστημα και σε μεταγενέστερο στάδιο εγχέεται (επαναποδίδεται) στο σύστημα. Είναι μια δραστηριότητα που εμφανίζεται από για πρώτη φορά τη δεκαετία του 1970 με την κατασκευή των πρώτων σταθμών αντλησιοταμίευσης μεγάλης κλίμακας. Η ραγδαία εξέλιξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η ταχύτατη ενσωμάτωσή τους στα ηλεκτρικά δίκτυα, έχουν οδηγήσει στην απότομη μεταβολή της συμπεριφοράς των ηλεκτρικών δικτύων και των συμβατικών μονάδων παραγωγής. Έχουν δημιουργηθεί ανάγκες που δεν περιλαμβάνουν μόνο την εξασφάλιση του ισοζυγίου της ζήτησης με την παραγωγή, αλλά και τις ανάγκες υποστήριξης των λειτουργικών μεγεθών του δικτύου, όπως είναι

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

η τάση και η συχνότητα (αποφόρτιση συχνότητας, σταθεροποίηση τάσης). Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας όχι μόνο δύνανται να ικανοποιήσουν αυτές τις ανάγκες αλλά αποτελούν ένα στοιχείο ευελιξίας περιορίζοντας τις διακυμάνσεις των τιμών στην ημερήσια και προ ημερήσια αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και καλύπτοντας τις μεταγενέστερες απαιτήσεις του συστήματος για επάρκεια ισχύος.

Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας είναι σημαντικά για την αύξηση της παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ καθώς όχι μόνο παρέχουν λύση στο μείζον πρόβλημα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας δηλαδή στη μη συνεχή, απρόβλεπτη παραγωγή ενέργειας και στην αδυναμία πρόβλεψη της παραγωγής τους λόγω των καιρικών συνθηκών αλλά δύνανται να παρέχουν λύση σε μεγάλο βαθμό στην έλλειψη χωρητικότητας του δικτύου για μεταφορά ενέργειας από σταθμούς ΑΠΕ μεγάλου μεγέθους. Το μέγεθος των συστημάτων αποθήκευσης καθορίζονται από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του σταθμού (ρυθμός φόρτισης και εκφόρτισης, ενεργειακή πυκνότητα) και το οικονομικό τους κόστος (κόστος κατασκευής, κόστος λειτουργίας, κόστος συντήρησης).

Σημειώνεται ότι μια από τις βασικές προκλήσεις των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας είναι η διατήρηση της συχνότητας στα 50Hz, καθώς και η ρύθμιση της τάσης στο επιθυμητό επίπεδο. Η σταθερότητα της συχνότητας συνδέεται με την εξισορρόπηση ανάμεσα στην παραγωγή και στη ζήτηση ενεργούς ισχύος, ενώ η ρύθμιση της τάσης συνδέεται με τον έλεγχο της άεργου ισχύος. Ένα σύστημα αποθήκευσης είναι ικανό να ελέγχει την έκχυση ενεργού και άεργου ισχύος

Η αγορά εξισορρόπησης διέπεται από τον κανονισμό (ΕΕ) 2017/2195 και την κείμενη νομοθεσία και ιδίως τους ν.4001/2011 και ν.4425/2016. Η αγορά εξισορρόπησης περιλαμβάνει την αγορά ισχύος εξισορρόπησης, την αγορά ενέργειας εξισορρόπησης και την εκκαθάριση αποκλίσεων.

Με βάση τον κανονισμό αγοράς εξισορρόπησης ως ισχύς εξισορρόπησης ορίζεται «η ποσότητα ισχύος που έχει συμφωνήσει να διατηρεί ένας Πάροχος υπηρεσιών εξισορρόπησης σε κάθε Περίοδο Κατανομής και σε σχέση με την οποία ο Πάροχος Υπηρεσιών Εξισορρόπησης έχει συμφωνήσει να υποβάλλει στον Διαχειριστή του ΕΣΜΗΕ προσφορές για αντίστοιχη ποσότητα Ενέργειας Εξισορρόπησης κατά τη διάρκεια της σύμβασης». Ως ενέργεια εξισορρόπησης ορίζεται «η ενέργεια που παρέχεται από

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Πάροχο Υπηρεσιών Εξισορρόπησης και χρησιμοποιείται από το Διαχειριστή του ΕΣΜΗΕ για να προβεί σε εξισορρόπηση, δηλαδή κάλυψη των ανισοζυγίων παραγωγής/ζήτησης».

Ένα σημαντικός στόχος των συστημάτων αποθήκευσης είναι η εξισορρόπηση της ηλεκτρικής ζήτησης και της προσφοράς από τις μονάδες ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι προφανές ότι με τη διείσδυση όλο και περισσότερων συστημάτων αποθήκευσης επιτρέπεται η αποτελεσματικότερη χρήση των ΑΠΕ κατά το ελάχιστο δυνατή χρήση των ορυκτών συμβατικών ρυπογόνων καυσίμων. Η βέλτιστη μέθοδος αποθήκευσης της ενέργειας για κάθε περίπτωση εξαρτάται από την ποσότητα της ενέργειας που πρέπει να αποθηκευτεί (ενεργειακή πυκνότητα του υλικού)-ο βασικότερος παράγοντας επιλογής του συστήματος αποθήκευσης, τη χρονική διάρκεια αποθήκευσης, τη μορφή της ενέργειας που απαιτείται για αποθήκευση και την απόδοση με την οποία ανακτάται η ενέργεια.

2.3 Διεθνείς τάσεις και εφαρμογές

Η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας έχει εξελιχθεί σε ένα κρίσιμο πεδίο της διεθνούς ενεργειακής στρατηγικής, καθώς διεθνώς αναζητούνται τρόποι διαχείρισης της αβεβαιότητας των ΑΠΕ και επίσης στόχοι για ενίσχυση της ευελιξίας των ηλεκτρικών δικτύων τους. Η μετάβαση προς ένα πιο βιώσιμο και αποδοτικό ενεργειακό μοντέλο, με αυξημένη διείσδυση των ΑΠΕ, απαιτεί την ανάπτυξη τεχνολογιών που θα επιτρέπουν την αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας για μελλοντική χρήση. Η αποθήκευση ενέργειας μπορεί να ρυθμίσει και εξισορροπήσει την προσφορά και τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, ενισχύοντας τη σταθερότητα του δικτύου και μεγιστοποιώντας την αξιοποίηση των ΑΠΕ.

Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που επηρεάζουν την διείσδυση των τεχνολογιών αποθήκευσης. Η ανάπτυξη των διάφορων τεχνολογιών αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας επηρεάζεται από πολιτικές, οικονομικές και τεχνολογικές παραμέτρους, και εν γένει από τις εθνικές και ευρωπαϊκές και παγκόσμιες στρατηγικές ενεργειακής μετάβασης. Επιπλέον, η οικονομική βιωσιμότητα των έργων αποθήκευσης, που εξαρτάται από το κόστος των τεχνολογιών, τις τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας και τους μηχανισμούς αγοράς, αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την ελκυστικότητα των επενδύσεων. Τέλος, η συνεχής τεχνολογική πρόοδος, που οδηγεί σε βελτιώσεις στην

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

απόδοση, το κόστος και την ασφάλεια των συστημάτων αποθήκευσης, αποτελεί κινητήρια δύναμη για την ευρύτερη διάδοσή τους.

Η αποθήκευση ενέργειας σήμερα βρίσκεται σε έντονη εξέλιξη και ανάπτυξη με τις προβλέψεις να δείχνουν σημαντική αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος τα επόμενα χρόνια. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τις εκθέσεις "1H 2023 Energy Storage Market Outlook" και "2H 2023 Energy Storage Market Outlook" του BloombergNEF", οι προβλέψεις για τις εγκαταστάσεις αποθήκευσης ενέργειας είναι ιδιαίτερα αισιόδοξες, με εκτιμήσεις για την εγκατάσταση 42GW/99GWh συνολικής χωρητικότητας μέχρι το τέλος του 2023.

Η Κίνα διατηρεί ηγετική θέση ως η μεγαλύτερη αγορά αποθήκευσης ενέργειας παγκοσμίως, με την εγκατεστημένη ισχύ της σε συστήματα αποθήκευσης να ξεπερνά τα 35GW στο πρώτο εξάμηνο του 2024 (εγκαταστάθηκαν 14,4GW το πρώτο εξάμηνο του 2024). Αυτό δείχνει την απίστευτη ταχύτητα με την οποία αναπτύσσεται η αγορά αποθήκευσης ενέργειας στην Κίνα, καθιστώντας την αδιαμφισβήτητα τον παγκόσμιο ηγέτη στον τομέα. Οι δημοπρασίες ισχύος και άλλες στρατηγικές του κράτους έχουν οδηγήσει σε αύξηση των έργων που βρίσκονται σε εξέλιξη, δημιουργώντας ένα ευνοϊκό περιβάλλον για την περαιτέρω ανάπτυξη της αγοράς. Επίσης, η Κίνα βρίσκεται σε πλεονεκτική θέση, καθώς είναι ο μεγαλύτερος παραγωγός μπαταριών (λιθίου, γραφίτη, χαλκού, σπάνιων γαιών) και έτσι κυριαρχεί στον τομέα.

Οι ΗΠΑ, που προβλέπεται στο τέλος του 2024 να έχουν εγκατεστημένη δυναμικότητα σε συστήματα αποθήκευσης στο ύψος των 15GW, ακολουθούν την Κίνα, με σημαντική ανάπτυξη στον τομέα των μπαταριών και ειδικότερα των μπαταριών ιόντων λιθίου. Αξιοσημείωτο, είναι ότι η Κίνα, μέσα στο πρώτο εξάμηνο του 2024, σχεδόν έφτασε την συνολική εγκατεστημένη ισχύ των ΗΠΑ, που ήταν περίπου 8GW στο τέλος του 2023. Κύριες αγορές για την ανάπτυξη συστημάτων αποθήκευσης στις ΗΠΑ, με σημαντικά έργα να βρίσκονται σε εξέλιξη αποτελούν η Καλιφόρνια και το Τέξας. Επίσης η Χιλή και η Αργεντινή είναι οι σημαντικότεροι εξαγωγείς λιθίου (70% του παγκόσμιου λιθίου) ενώ η Βραζιλία αποτελεί τον τέταρτο κατά σειρά κατάταξης εξαγωγέα γραφίτη. Οι ΗΠΑ είναι σήμερα (2024) ο τέταρτος μεγαλύτερος εισαγωγέας κοβαλτίου και ο πέμπτος μεγαλύτερος εισαγωγέας λιθίου και γραφίτη. Αντιπροσωπεύει το 14,2% της παγκόσμιας παραγωγής κυψελών μπαταριών. Λόγω του

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

εμπορικού της πολέμου με την Κίνα, η χώρα δίνει προτεραιότητα στην εγχώρια εξόρυξη και επεξεργασία και σε χώρες εταίρους όπως η Αφρική.

Ωστόσο, η αγορά των ΗΠΑ αντιμετωπίζει προκλήσεις, όπως οι καθυστερήσεις στην αδειοδότηση και τη σύνδεση στο δίκτυο. Παρά τις προκλήσεις αυτές, η μακροπρόθεσμη προοπτική για την αποθήκευση ενέργειας στις ΗΠΑ παραμένει θετική, με την κυβέρνηση να παρέχει σημαντική υποστήριξη για επενδύσεις ανάπτυξης τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας, με στόχο τη μείωση του κόστους και τη βελτίωση της απόδοσης.

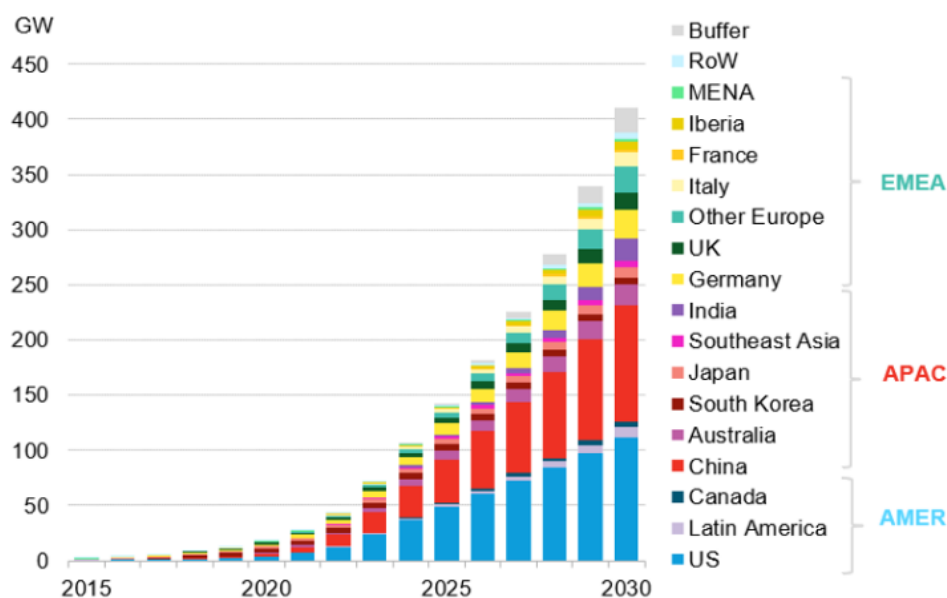
Η Ευρωπαϊκή Ένωση, με την εγκατεστημένη ισχύ σε συστήματα αποθήκευσης να εκτιμάται μεγαλύτερη των 10GW μέχρι το τέλος του πρώτου εξαμήνου του 2024, έχει θέσει φιλόδοξους στόχους για την κλιματική ουδετερότητα έως το 2050, με την αποθήκευση ενέργειας να διαδραματίζει κεντρικό ρόλο στην επίτευξη αυτών των στόχων. Η Ευρώπη επενδύει στην ανάπτυξη και την εγκατάσταση διαφόρων τεχνολογιών αποθήκευσης, όπως οι μπαταρίες, η αντλησιοταμίευση και το πράσινο υδρογόνο.

Η Γερμανία (με εγκατεστημένη ισχύ σε συστήματα αποθήκευσης μεγαλύτερη των 1,5GW μέχρι το τέλος του 2023), η Ιταλία (με εγκατεστημένη ισχύ σε συστήματα αποθήκευσης μεγαλύτερη των 1GW) μέχρι το τέλος του 2023 και το Ηνωμένο Βασίλειο (με εγκατεστημένη ισχύ σε συστήματα αποθήκευσης μεγαλύτερη των 0,8GW) είναι οι χώρες με τη μεγαλύτερη ανάπτυξη στον τομέα της αποθήκευσης ενέργειας στην Ευρώπη. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει επίσης θεσπίσει πολιτικές και κανονιστικά πλαίσια που προωθούν την ενσωμάτωση της αποθήκευσης ενέργειας στα ενεργειακά συστήματα των κρατών μελών.

Εκτός από την Κίνα, τις ΗΠΑ και την Ευρώπη, και άλλες περιοχές του κόσμου δείχνουν αυξανόμενο ενδιαφέρον για την αποθήκευση ενέργειας. Η Αυστραλία, η Ιαπωνία, η Νότια Κορέα και η Ινδία επενδύουν σε έργα αποθήκευσης ενέργειας, αναγνωρίζοντας τη σημασία τους για την ενσωμάτωση των ΑΠΕ και την ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας. Σημειώνεται επίσης ότι η Αυστραλία από το 2012 έχει αρχίσει να εκμεταλλεύεται τα τεράστια αποθέματα λιθίου, κοβαλτίου και νικελίου που διαθέτει. Σήμερα (2024) είναι σημαντικός εξαγωγέας νικελίου και μπορεί ακόμη να

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

αμφισβητήσει την κυριαρχία της Κίνας στις σπάνιες γαίες (rare earths), λόγω των αποθεμάτων της.



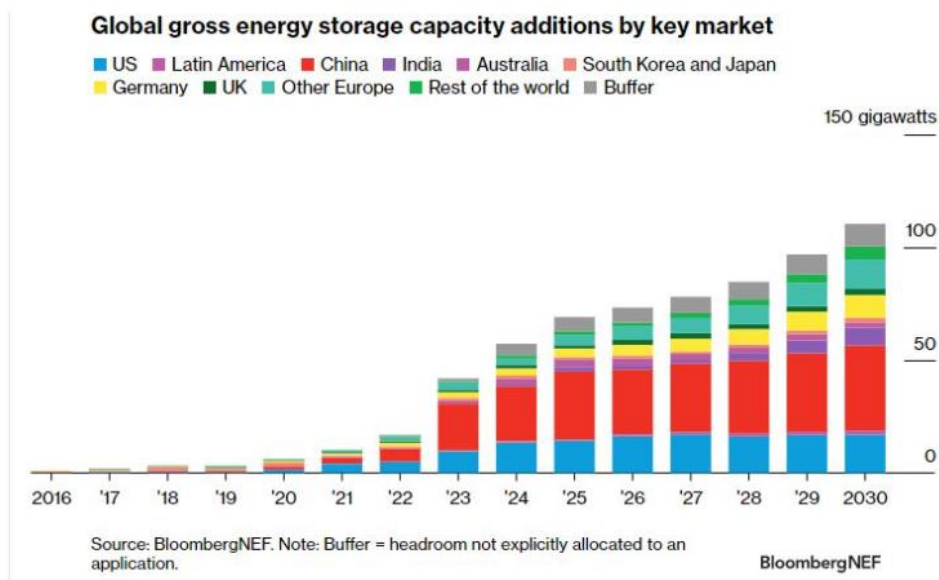
Διάγραμμα 3: Αθροιστική εγκατάσταση αποθήκευσης ενέργειας από το 2015 μέχρι τη πρόβλεψη του 2030. (πηγή: BloombergNEF)

Διεθνώς έχουν τεθεί φιλόδοξοι στόχοι για την ανάπτυξη και περαιτέρω διεύρυνση αποθήκευσης ενέργειας. Οι ΗΠΑ έχουν θέσει στόχο για 100 GW έως το 2030 ενώ Ευρωπαϊκή Ένωση επιδιώκει να επιτύχει 600 GW εγκατεστημένης ισχύος αποθήκευσης ενέργειας έως το 2030. Οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης ενέργειας σε όλο τον κόσμο αναμένεται να φτάσουν σωρευτικά τα 411 γιγαβάτ (ή 1.194 γιγαβατώρες) μέχρι το τέλος του 2030, σύμφωνα με πρόβλεψη της εταιρείας ερευνών BloombergNEF (BNEF).

Οι ΗΠΑ και η Κίνα προβλέπεται να παραμείνουν οι δύο μεγαλύτερες αγορές, αντιπροσωπεύοντας πάνω από το ήμισυ των παγκόσμιων εγκαταστάσεων αποθήκευσης μέχρι το τέλος της δεκαετίας. Η Ευρώπη, ωστόσο, πλησιάζει με μια σημαντική αύξηση της χωρητικότητας που τροφοδοτείται από την τρέχουσα ενεργειακή κρίση.

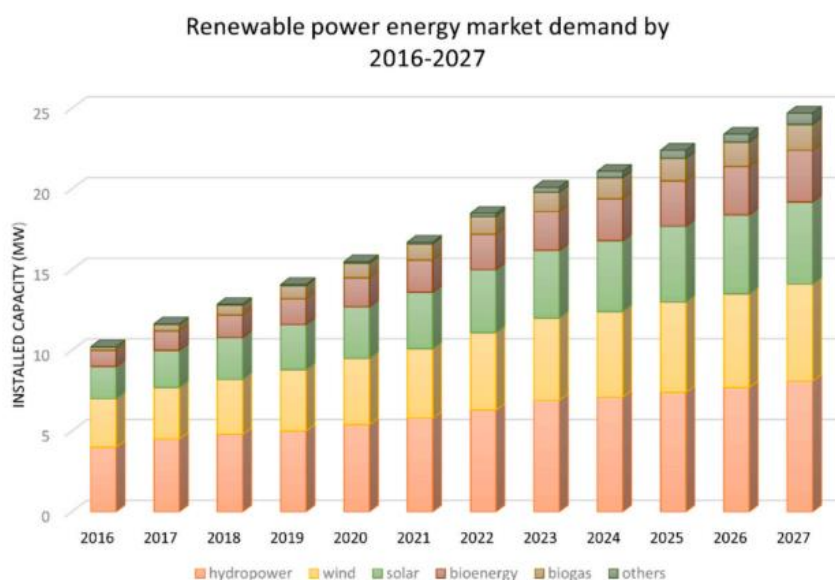
«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Ακολούθως, παρατίθεται η παγκόσμιες προσθήκες σε αποθήκευση ενέργειας για κάθε χώρα από το 2016 μέχρι τις προβλέψεις του 2030.



Διάγραμμα 4: Διεθνείς νέες προσθήκες σε χωρητικότητα ενέργειας ανά χώρα από το 2016 και προβλέψεις για το 2030 (πηγή: BloombergNEF)

Στο ακόλουθο διάγραμμα αναπαρίσταται γραφικά η παγκόσμια ζήτηση της αγοράς παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπου παρατηρείται ότι προβλέπεται να αυξηθεί με σύνθετο ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης από το 2016 έως το 2027



Διάγραμμα 5: Παγκόσμια ζήτηση της αγοράς παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας από το 2016 έως το 2027.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Για την κάλυψη της αυξανόμενης ζήτησης σε ενέργεια, σύμφωνα με πρόσφατη έκθεση του Bloomberg, οι αγορές αναζητούν όλο και περισσότερο την αποθήκευση ενέργειας για υπηρεσίες δυναμικότητας. Η Ιαπωνία, η Πολωνία, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Χιλή, οι νοτιοδυτικές ΗΠΑ και η Αυστραλία είναι νέες αγορές που ανοίγουν.

Στο μέτωπο της τεχνολογίας, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου που χρησιμοποιούν χημικές ενώσεις νικελίου-μαγγανίου-κοβαλτίου (NMC) χάνουν μερίδιο αγοράς λόγω του σχετικά υψηλότερου κόστους τους σε σύγκριση με τις μπαταρίες φωσφορικού σιδήρου λιθίου (LFP).

Άλλες αγορές έχουν επίσης ορίσει νέες πολιτικές για την προώθηση της αποθήκευσης. Η Νότια Κορέα θα διοργανώσει δημοπρασία για την αποθήκευση για να μειώσει την περικοπή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και δημοσίευσε νέα πολιτική για την ανάπτυξη του τομέα της αποθήκευσης. Η Αυστραλία και η Ιαπωνία εκτελούν νέες δημοπρασίες ισχύος οι οποίες στοχεύουν την εγκατάσταση αποθήκευσης ενέργειας.

Εν κατακλείδι, οι προοπτικές για την αποθήκευση ενέργειας είναι θετικές και φιλόδοξες, γεγονός που προκύπτει από την συνεχή τεχνολογική πρόοδο, την μείωση του κόστους, το συνεχές άνοιγμα νέων αγορών και την αυξανόμενη πολιτική υποστήριξη που αναμένεται να οδηγήσουν σε σημαντική αύξηση της διείσδυσης της αποθήκευσης ενέργειας παγκοσμίως τα επόμενα χρόνια. Η αποθήκευση ενέργειας θα διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο στην ενεργειακή μετάβαση, επιτρέποντας την αποτελεσματική αξιοποίηση των ΑΠΕ, την εξασφάλιση της ενεργειακής ασφάλειας και τη δημιουργία ενός πιο βιώσιμου ενεργειακού μέλλοντος.

Ωστόσο, παρά τις θετικές προβλέψεις, εξακολουθούν να υπάρχουν προκλήσεις στην αγορά αποθήκευσης ενέργειας. Για παράδειγμα, η αποθήκευση ενέργειας μεγάλης διάρκειας, που είναι απαραίτητη για την κάλυψη των αναγκών του συστήματος σε περιόδους χαμηλής παραγωγής από ΑΠΕ, χρήζει περαιτέρω μελέτη και ανάπτυξη. Η τεχνολογική ωριμότητα, το κόστος και η οικονομική βιωσιμότητα των τεχνολογιών μεγάλης διάρκειας αποτελούν σημαντικές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν.

Σημειώνεται ότι η αποθήκευση ενέργειας παρουσιάζει σημαντικές ευκαιρίες για την ανάπτυξη νέων επιχειρηματικών και καινοτόμων μοντέλων. Η ενσωμάτωση της αποθήκευσης ενέργειας στα ηλεκτρικά δίκτυα μπορεί να οδηγήσει σε νέες υπηρεσίες,

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

όπως η παροχή βοηθητικών υπηρεσιών στο δίκτυο, η διαχείριση της ζήτησης και το arbitrage ενέργειας.

Αναλυτικότερα, ακολούθως παρατίθεται κάποιες από τις κύριες εφαρμογές των τεχνολογιών αποθήκευσης όπως τα ηλεκτρικά δίκτυα, οι ΑΠΕ αλλά και οι μεταφορές.

Κύριες εφαρμογές αποθήκευσης ενέργειας αποτελούν:

- Τα ηλεκτρικά δίκτυα, όπου η αποθήκευση ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξισορρόπηση της προσφοράς και της ζήτησης, την παροχή βοηθητικών υπηρεσιών, τη διαχείριση της αιχμής ζήτησης και την ενίσχυση της σταθερότητας του δικτύου.
- Οι ΑΠΕ, όπου η αποθήκευση ενέργειας επιτρέπει την αποτελεσματική αξιοποίηση της παραγόμενης ενέργειας, αντιμετωπίζοντας την ευμεταβλητιότητα και τη δυσκολία προβλέψεων.
- Οι μεταφορές, όπου οι μπαταρίες χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο σε ηλεκτρικά οχήματα, συμβάλλοντας στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα στην ατμόσφαιρα.
- Τα κτίρια, όπου η αποθήκευση ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αυτοκατανάλωση της παραγόμενης ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα, τη μείωση του ενεργειακού κόστους και την ενίσχυση της ενεργειακής απόδοσης.

Εν κατακλείδι, η αποθήκευση ενέργειας αποτελεί έναν κρίσιμο παράγοντα για την επιτυχή μετάβαση προς ένα πιο βιώσιμο και αποδοτικό ενεργειακό μοντέλο. Οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας, όπως οι μπαταρίες ιόντων λιθίου, αναμένεται να διαδραματίσουν καθοριστικό ρόλο στην ενσωμάτωση των ΑΠΕ, στην εξασφάλιση της ενεργειακής ασφάλειας και στην ανάπτυξη νέων επιχειρηματικών μοντέλων στον ενεργειακό τομέα.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

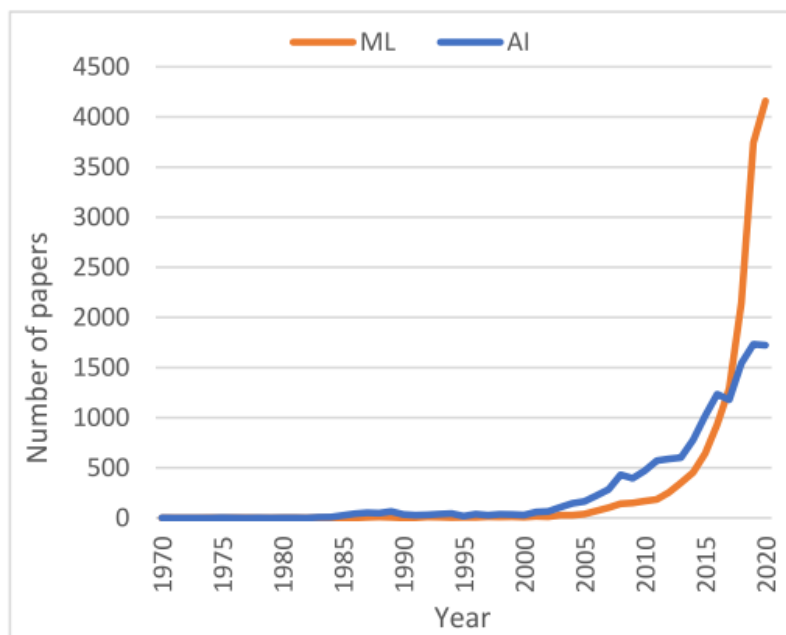
2.4 Νεότερες εξελίξεις, έρευνα και ανάπτυξη

Παράλληλα με τις τρέχουσες τάσεις και εφαρμογές στην αποθήκευση ενέργειας που εξετάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα, είναι σαφές ότι ο τομέας της αποθήκευσης ενέργειας χαρακτηρίζεται από συνεχή καινοτομία και ραγδαίες εξελίξεις. Νέες τεχνολογίες παρουσιάζονται και εξελίσσονται συνεχώς ενώ υφιστάμενες τεχνολογίες βελτιώνονται και εξελίσσονται. Επομένως, οι προοπτικές και οι προβλέψεις για το μέλλον της αποθήκευσης ενέργειας διαμορφώνονται και βελτιώνονται συνεχώς.

Σημειώνεται ότι, μία αξιοσημείωτη μορφή καινοτομίας στην αποθήκευση ενέργειας, όπως και σε πολλούς άλλους τομείς, αποτελεί η χρήση της τεχνητής νοημοσύνης (artificial intelligence) η οποία αναδεικνύεται σε ένα σημαντικό παράγοντα που συντελεί στη βελτίωση της απόδοσης και της διαχείρισης των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας. Για παράδειγμα, οι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να έχουν εφαρμογή στη πρόβλεψη της ζήτησης και της παραγωγής ενέργειας καθώς και στην βελτιστοποίηση της λειτουργίας τους. Επομένως, η τεχνητή νοημοσύνη στον τομέα της αποθήκευσης ενέργειας αναμένεται να φέρει σημαντικά οφέλη και να βελτιώσει την αποδοτικότητα, την αξιοπιστία αλλά και την οικονομική βιωσιμότητα των συστημάτων αποθήκευσης.

Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζονται η εκθετική αύξηση του αριθμού των μελετών στον τομέα της ενέργειας που σχετίζονται με μηχανική μάθηση (machine learning) και τεχνητή νοημοσύνη (artificial intelligence) από το 1970 μέχρι και το 2020.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

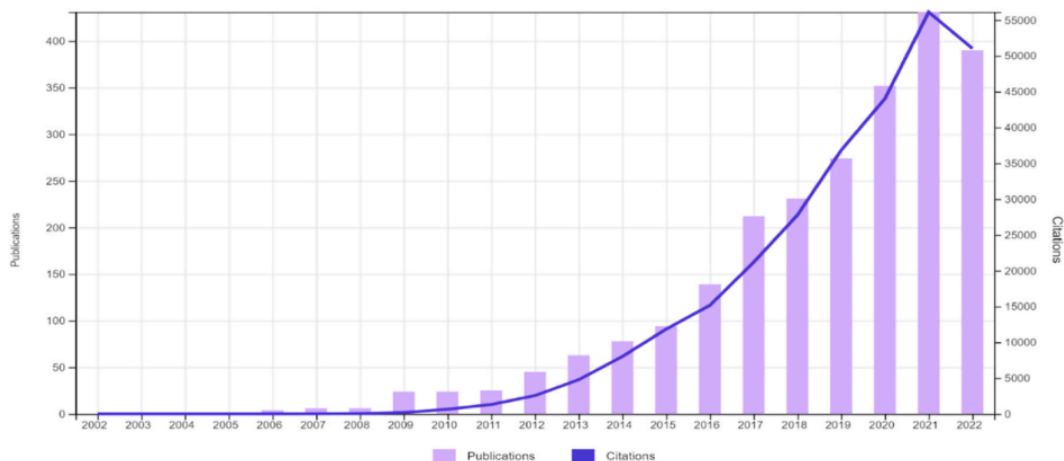


Διάγραμμα 6: Αριθμός μελετών που συνδέονται με ML και AI στο τομέα της ενέργειας (1970 – 2020). [64]

Ωστόσο, εκτός από τις μελέτες που έχουν διεκπεραιωθεί στο τομέα της ενέργειας σε σχέση με την τεχνική νοημοσύνη και τη μηχανική μάθηση, το ενδιαφέρον για ανάπτυξη και διείσδυση συστημάτων αποθήκευσης δεν εστιάζει μόνο εκεί αλλά αυξάνεται δραματικά με ποικίλλες μορφές κατά τη τελευταία δεκαετία.

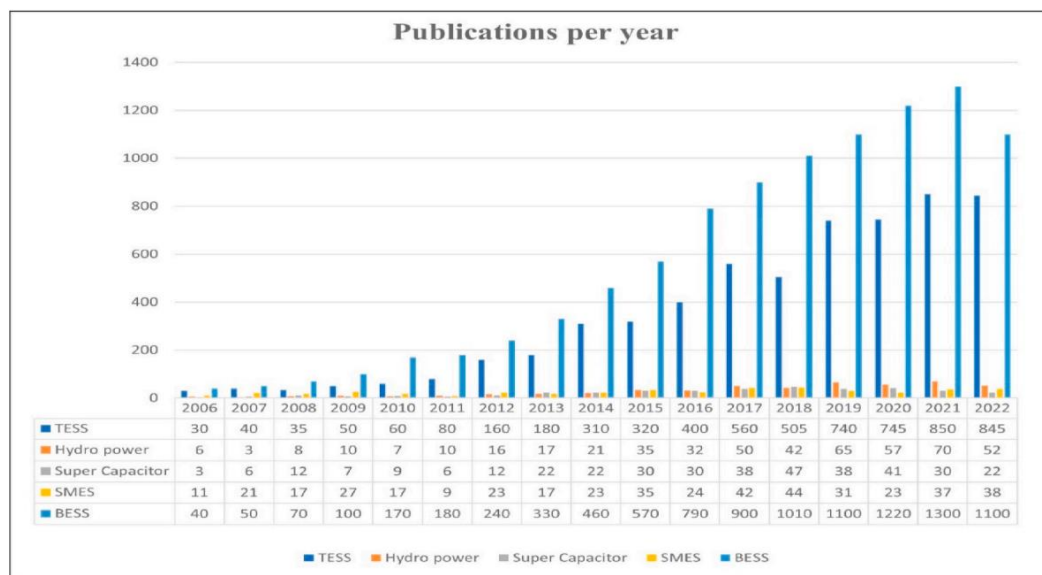
Στο ακόλουθο διάγραμμα παρατίθενται ο αριθμός των μελετών και των παραπομπών που αφορούν συγκεκριμένα τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας από όπου συμπεραίνεται ότι παρουσιάζεται ιδιαίτερα αυξανόμενο και έντονο ενδιαφέρον στον συγκεκριμένο τομέα (2002-2022).

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»



Διάγραμμα 7: Αριθμός Άρθρων και παραπομπών στα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας (2002-2022) [63]

Επιπροσθέτως, ακολούθως παρουσιάζεται η εξέλιξη του αριθμού των ερευνών ως προς τις διάφορες τεχνολογιών αποθήκευσης (θερμική, υδροηλεκτρική, υπερπυκνωτές, συσσωρευτές κλπ.) από το έτος 2006 μέχρι το έτος 2022.



Διάγραμμα 8: Εξέλιξη ερευνών για διάφορες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας (2006-2022) [63]

Συμπερασματικά, η συστηματική έρευνα διαμορφώνει και εξελίσσει το μέλλον της αποθήκευσης ενέργειας, που χαρακτηρίζεται από συνεχή καινοτομία και εξελίξεις, αλλά κάνει και αισθητό το ενδιαφέρον για επενδύσεις και την ανάγκη για περαιτέρω ανάπτυξη στο συγκεκριμένο τομέα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

3.1 Ταξινόμηση Τεχνολογιών Αποθήκευσης

Στο παρόν κεφάλαιο εξετάζονται οι διάφορες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας και αναλύονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τους αλλά και οι κύριες εφαρμογές τους. Σήμερα, υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας οι οποίες διακρίνονται ανάλογα με τη μορφή της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας σε μηχανικές, ηλεκτρομαγνητικές, θερμικές και ηλεκτροχημικές.

Ακολούθως παρατίθενται και στη συνέχεια αναλύονται οι διαφορετικές κατηγορίες τεχνολογιών αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας.

1. Μηχανικοί Μέθοδοι

Διακρίνεται στις τρεις ακόλουθες κατηγορίες :

1.1. Αντλησιοταμίευση (PHS / Pumped Hydro Storage)

1.2. Αποθήκευση ενέργειας πεπιεσμένου αέρα (CAES)

1.3. Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας με στρεφόμενο σφόνδυλο (FESS)

2. Ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι

Διακρίνεται στις δύο ακόλουθες κατηγορίες :

2.1 Υπερπυκνωτές

2.2 Υπεραγώγιμη μαγνητική αποθήκευση ενέργειας

3. Θερμική Αποθήκευση

Διακρίνεται στις τρεις ακόλουθες κατηγορίες :

3.1 Αποθήκευσης Αισθητής Θερμότητας (STES/Sensible Heat Storage)

3.2 Αποθήκευση Λανθάνουσας Θερμότητας (LTES/Latent Heat Storage)

3.3 Θερμική Αποθήκευση με χημικές διαδικασίες (Thermochemical Energy Storage)

4. Ηλεκτροχημικές μέθοδοι αποθήκευσης

Διακρίνεται στις ακόλουθες κατηγορίες :

4.2 Μπαταρίες Ροής (Flow batteries)

4.2.1 Μπαταρίες Βαναδίου Οξειδοαναγωγής (Vanadium redox)

4.2.2 Μπαταρίες Βρωμιούχου Ψευδάργυρου (Zinc bromine)

4.2.3 Πολυσουλφιδικές Βρωμιούχες μπαταρίες (Polysulfide bromine)

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

4.3 Μπαταρίες

4.3.1 Μπαταρίες μολυβδου – οξέος (Lead Acid)

4.3.2 Μπαταρίες Νατρίου – Θείου (NaS)

4.3.3 Μπαταρίες Οξειδοαναγωγικής ροής (Redox Flow)

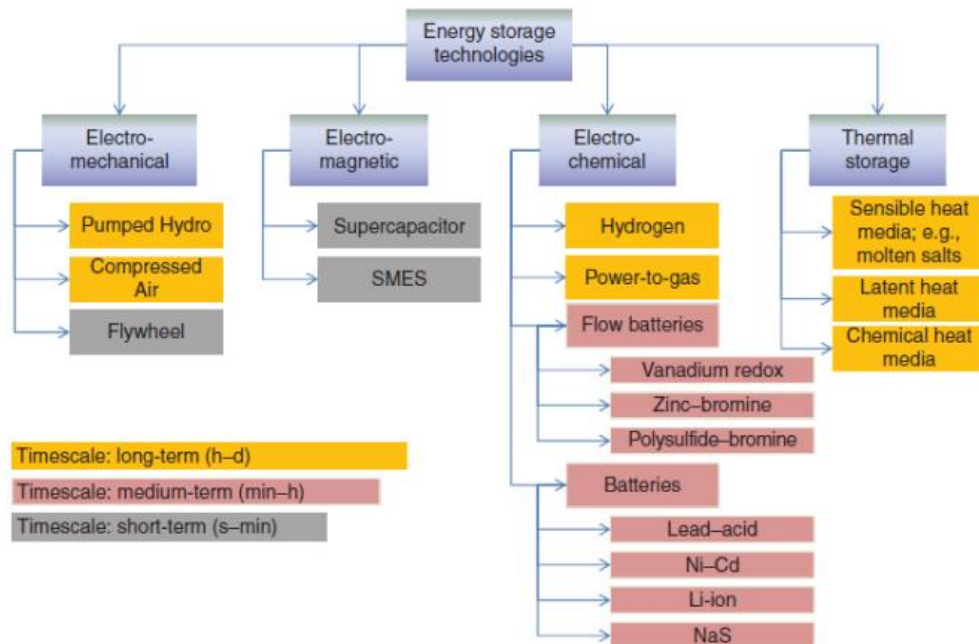
4.3.4 Μπαταρίες Ιόντων – Λιθίου (Li-Ion)

4.4 Υδρογόνο (Hydrogen Storage)

4.4.1 Κυψέλες καυσίμου (fuel cells)

4.4.2 Ενέργεια σε Αέριο (Power to gas)

Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζονται οι τεχνολογίες αποθήκευσης ταξινομημένες σε κατηγορίες ανάλογα με τη μορφή της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας, τα συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας ταξινομούνται σε συστήματα ηλεκτρομηχανικής, ηλεκτρομαγνητικής ηλεκτροχημικής και θερμικής αποθήκευσης.



Διάγραμμα 9: Κατηγοριοποίηση τεχνολογιών αποθήκευσης [32]

Με βάση το ανωτέρω διάγραμμα παρατηρείται ότι οι παραπάνω μέθοδοι αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να διαχωριστούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες αναφορικά με τον όγκο αποθήκευσης αλλά και με την εκάστοτε εφαρμογή τους.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

- ❖ διατάξεις βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης ενέργειας (timescale short term s-min). Τα εν λόγω συστήματα αποθήκευσης, χρησιμοποιούνται σε συστήματα που η παραγωγή λαμβάνει χώρα κοντά στην περιοχή της ζήτησης και έχουν την ικανότητα να ανταποκρίνονται στα αιτήματα για μικρά διαστήματα.
- ❖ διατάξεις μεσοπρόθεσμης αποθήκευσης ενέργειας (timescale medium term min - h). Μπορούν να ανταποκρίνονται σε διαστήματα ωρών. Στις διατάξεις μεσοπρόθεσμης αποθήκευσης ενέργειας περιλαμβάνονται οι μπαταρίες.
- ❖ διατάξεις μακροπρόθεσμης αποθήκευσης ενέργειας (timescale long term h-d). Χρησιμοποιούνται σε μεγάλες εγκαταστάσεις και έχουν την ικανότητα να αποθηκεύουν και να παρέχουν την ηλεκτρική ενέργεια για μεγάλες χρονικές περιόδους.

Στις ακόλουθες υπό ενότητες θα αναλυθούν συνοπτικά όλες οι προαναφερθείσες τεχνολογίες αποθήκευσης. Ιδιαίτερη έμφαση θα δοθεί στην ευρέως διαδεδομένη τεχνολογία αποθήκευσης, στις μπαταρίες και συγκεκριμένα στη κατηγορία μπαταριών ιόντων λιθίου οι οποίες επιλέγονται και χρησιμοποιούνται σε μεγάλα συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, τόσο στην Ελλάδα αλλά και διεθνώς, καθώς και σε υβριδικά χρονικά συστήματα και λειτουργούν σε συνεργασία με σταθμούς Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.

3.2 Μηχανικοί Μέθοδοι Αποθήκευσης

3.2.1 Αντλησιοταμίευση (Pumped Hydro)

Η αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας με αντλησιοταμίευση (Pumped Hydro Storage - PHS) ξεκίνησε τον 20ο αιώνα όταν άρχισαν να εκδηλώνονται και οι ανάγκες για διαχείριση ενέργειας και αποθήκευση. Συγκεκριμένα, τις πρώτες εφαρμογές αντλησιοταμίευσης αποτελούν οι ανεμιστήρες νερού και οι αντλίες νερού κυρίως για τις ανάγκες της ύδρευσης (μεταφορά νερού) και του τομέα της γεωργίας.

Κατά το 1920, η ανάπτυξη της υδροηλεκτρικής ενέργειας δημιούργησε νέους ορίζοντες. Για τις ανάγκες αποθήκευσης και τη διαχείριση της ζήτησης για ηλεκτρική ενέργεια δημιουργήθηκαν υδροηλεκτρικοί σταθμοί, στην αύξηση της αποτελεσματικότητας των οποίων συνέβαλε η τεχνολογική εξέλιξη και ο

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

εκσυγχρονισμός στον τομέα των αντλητικών συστημάτων και των υδροηλεκτρικών τεχνολογιών.

Σημαντικό σημείο στην διεύθυνση της χρήσης της αντλησιοταμίευσης αποτέλεσε η ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ηλιακή ενέργεια, αιολική ενέργεια κ.α.) ως αρχικού τρόπου για μεθόδους αποθήκευσης κατά τις περιόδους ζήτησης ή υπερπαραγωγής, με στόχο την ενίσχυση της βιωσιμότητας των ΑΠΕ.

Η τεχνολογία αποθήκευσης με αντλησιοταμίευση (PHS) είναι μια τεχνολογία αποθήκευσης ενέργειας που χρησιμοποιεί τη βαρητική ενέργεια του νερού για να αποθηκεύσει / απορροφήσει και να απελευθερώσει / εγχύσει ενέργεια όταν χρειαστεί. Είναι από τις πιο εδραιωμένες και αποτελεσματικές μεθόδους αποθήκευσης μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας. Για παράδειγμα, στην Ελλάδα, είναι εγκατεστημένοι οι αντλησιοταμιευτικοί υδροηλεκτρικοί σταθμοί Θησαυρού και Σφηκιάς, συνολικής ισχύος παραγωγής 699 MW, οι οποίοι λειτουργούν από τα τέλη της δεκαετίας 1990.

Όπως προαναφέρθηκε, σταθμοί αποθήκευσης με χρήση αντλησιοταμίευσης λειτουργούν επί περίπου έναν αιώνα ενώ τα τελευταία χρόνια αυξάνεται παγκοσμίως το ενδιαφέρον για την ανάπτυξη νέων εγκαταστάσεων, σχετιζόμενο κυρίως με τη μεγάλη ανάπτυξη των ΑΠΕ και τις ανάγκες αντιστάθμισης της μεταβλητότητάς τους.

Ένας σταθμός αποθήκευσης με χρήση αντλησιοταμίευσης για να λειτουργήσει απαιτούνται δύο ταμιευτήρες νερού με σημαντική υψομετρική διαφορά, οι οποίοι μπορεί να είναι φυσικοί, για παράδειγμα μία λίμνη ή ένα ποτάμι, ή τεχνητοί όπως μία λίμνη που δημιουργεί ένα υδροηλεκτρικό φράγμα. Ο σταθμός συνοπτικά αποτελείται από τον Άνω (ανωτέρω) ταμιευτήρα (συγκεκριμένου εμβαδού και χωρητικότητας) τον κάτω (χαμηλότερο) ταμιευτήρα, (συγκεκριμένου εμβαδού και χωρητικότητας), ένα αγωγό μεταφοράς νερού και ένα σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται μέσω άντλησης νερού από το κάτω (χαμηλότερο) ταμιευτήρα, ενώ για την επαναπόδοση της ενέργειας πραγματοποιείται η αντίστροφη διαδικασία.

Βασική λειτουργία αποτελεί η αποθήκευση ενέργειας (με τη μορφή δυναμικής υδραυλικής) στον άνω ταμιευτήρα προκειμένου να είναι δυνατή η επαναπροσφορά της στο δίκτυο όταν αυτή απαιτηθεί. Αυτό επιτυγχάνεται με άντληση ρευστού στον άνω

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

ταμιευτήρα, με λειτουργία συστοιχίας αντλιών, όταν υπάρχει περίσσεια ενέργειας στο δίκτυο και την προσφορά της αποθηκευμένης ενέργειας του άνω ταμιευτήρα στο δίκτυο με λειτουργία στροβίλου όταν αυτό απαιτηθεί.

Ακολούθως παρουσιάζεται ενδεικτική αποτύπωση της λειτουργίας ενός σταθμού αποθήκευσης με χρήση αντλησιοταμίευσης.



Εικόνα 3: Εικόνα σταθμού αποθήκευσης με χρήση αντλησιοταμίευσης.[34]

Ωστόσο, για την εγκατάσταση ενός σταθμού αποθήκευσης με τη χρήση αντλησιοταμίευσης απαιτούνται πολύ μεγάλες εκτάσεις και συγκεκριμένη γεωμορφολογία του εδάφους καθώς και υψηλό κόστος γεγονός που αποτρέπει την επιλογή τις συγκεκριμένης τεχνολογίας για νέες επενδύσεις σε σταθμούς αποθήκευσης καθώς νέες μέθοδοι αποθήκευσης (π.χ. μπαταρίες λιθίου) απαιτούν σημαντικά λιγότερη έκταση και ευελιξία στην γεωμορφολογία καθιστώντας την τεχνολογία τους πιο ελκυστική επιλογή.

3.2.2 Αποθήκευση ενέργειας πεπιεσμένου αέρα (compressed air energy storage - CAES)

Η τεχνολογία αποθήκευσης ενέργειας μέσω πεπιεσμένου αέρα άρχισε να αναπτύσσεται στις αρχές του 20^{ου} αιώνα όπου χρησιμοποιήθηκε σε μικρές κλίμακες για αποθήκευση ενέργειας σε εφαρμογές όπως τοπικά δίκτυα ηλεκτροδότησης. Αφορά κυρίως

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

εφαρμογές με μεγάλες ποσότητες ενέργειας η εγκατεστημένη ισχύς των οποίων κυμαίνεται από τα 50MW έως και πάνω από 300MW

Αυτή η τεχνολογία αποθήκευσης απαιτεί τη συλλογή αέρα από την ατμόσφαιρα, στην συνέχεια την συμπίεση του με κατάλληλους ηλεκτρικούς συμπιεστές και την αποθήκευση του πεπιεσμένου αέρα σε θάλαμο για παραγωγή ενέργειας όταν χρειάζεται. Ο αέρας θα διέρχεται από ένα μηχάνημα και θα μεταφέρεται στην ηλεκτρική γεννήτρια προς αξιοποίηση. Η μέθοδος χρησιμοποιεί ηλεκτρική ενέργεια εκτός ωρών αιχμής για να συμπιέσει και να αποθηκεύσει αέρα σε αεροστεγή υπόγεια σπήλαια. Όταν υπάρξει ανάγκη ο αποθηκευμένος αέρας απελευθερώνεται, θερμαίνεται και εκτονώνεται μέσω αεριοστροβίλου.

Το κυριότερο μειονέκτημα της συγκεκριμένης τεχνολογίας αποθήκευσης αποτελεί η διαχείριση της θερμικής ενέργειας, καθώς η συμπίεση του αέρα οδηγεί σε ανεπιθύμητη αύξηση της θερμοκρασίας που όχι μόνο μειώνει τη λειτουργική απόδοση αλλά μπορεί επίσης να οδηγήσει σε ζημιές μεγάλης κλίμακας.

Ο αέρας είναι θερμότερος μετά τη συμπίεση ενώ η επέκταση αφαιρεί τη θερμότητα. Εάν δεν προστεθεί επιπλέον θερμότητα, ο αέρας θα είναι πολύ πιο κρύος μετά την επέκταση ενώ εάν η θερμότητα που παράγεται κατά τη συμπίεση μπορεί να αποθηκευτεί και να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια της επέκτασης, η απόδοση της αποθήκευσης βελτιώνεται σημαντικά. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι με τους οποίους ένα σύστημα CAES μπορεί να αντιμετωπίσει τη θερμότητα. Η αποθήκευση αέρα μπορεί να είναι αδιαβατική, διαβητική, ισοθερμική ή σχεδόν ισοθερμική.

Η λειτουργία της συγκεκριμένης μεθόδου αποθήκευσης περιλαμβάνει:

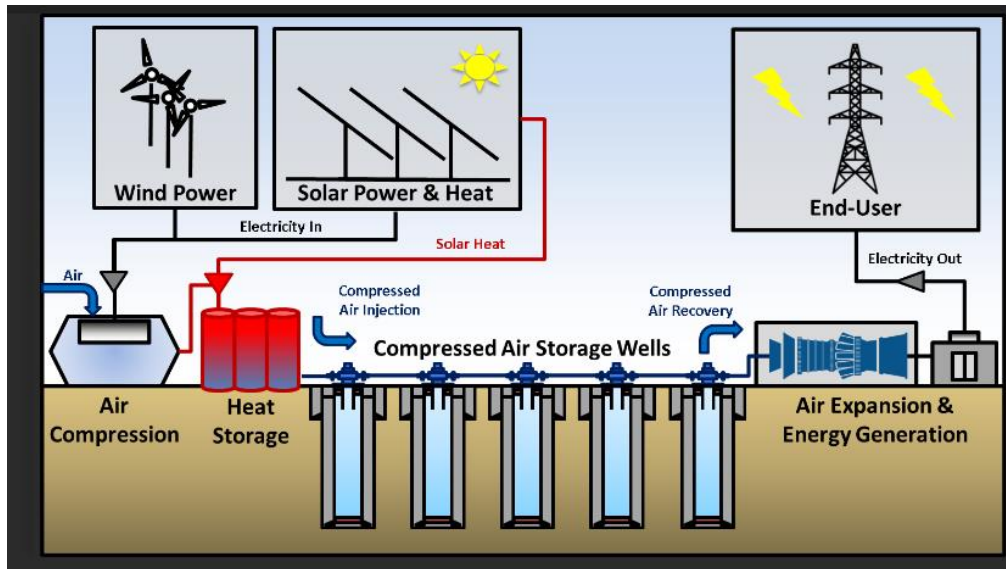
α) τη φάση πεπιεσμένου αέρα (δηλαδή τη φάση αποθήκευσης) όπου κατά τη διάρκεια των ωρών χαμηλής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας ή παραγωγής άνω του ορίου της ζήτησης, η περίσσεια ηλεκτρικού ρεύματος κινεί μια αντλία που πιέζει αέρα. Σε υπόγειες δεξαμενές μεγάλου μεγέθους αποθηκεύεται ο συμπιεσμένος αέρας ως δυναμικό ενέργειας.

β) τη φάση απελευθέρωσης (δηλαδή τη φάση έγχυσης στο δίκτυο) όπου κατά τη διάρκεια των ωρών υψηλής ζήτησης, συμπιεσμένος αέρας που έχει αποθηκευτεί απελευθερώνεται μέσω αεροδυναμικού συστήματος προς μια τουρμπίνα η οποία

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

μετατρέπει την ενέργεια σε ηλεκτρική και το ρεύμα εγχέεται στο εθνικό δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας (ΕΣΜΗΕ).

Ακολουθεί σχεδιάγραμμα ροής της λειτουργία ενός σταθμού αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας με τη μέθοδο του συμπιεσμένου αέρα.



Εικόνα 4: Σχεδιάγραμμα ροής σταθμού αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας με τη μέθοδο του συμπιεσμένου αέρα [35]

Εφαρμογές συστημάτων αποθήκευσης CAES συναντώνται σε τρία έργα διεθνώς συνολικής ισχύος 402MW. Ωστόσο, η συγκεκριμένη μέθοδος παρουσιάζει σημαντικά μειονεκτήματα όπως ότι για την εγκατάσταση ενός συστήματος αποθήκευσης μέσω συμπιεσμένου αέρα (CAES) απαιτεί συγκεκριμένη γεωμορφολογία, όπως υπόγειες κοιτάσεις αλάτων. Επίσης, αποτελούν μια επένδυση υψηλού κόστους σε σχέση με άλλες μεθόδους αποθήκευσης γεγονός που την καθιστά μια όχι και τόσο ελκυστική μέθοδο αποθήκευσης.

3.2.3 Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας με στρεφόμενο σφόνδυλο (Flywheel Energy Storage System -FESS)

Η τεχνολογία αποθήκευσης ενέργειας μέσω στρεφόμενου σφονδύλου (FESS) άρχισε να αναπτύσσεται τη δεκαετία του 1990 όπου η ιδέα του στρεφόμενου σφονδύλου ως μέσου αποθήκευσης ενέργειας μελετήθηκε λόγω της υψηλής ταχύτητας περιστροφής

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

και της διατήρησης της ενέργειας για συνεχόμενο μεγάλο χρονικό διάστημα των στρεφόμενων σφονδύλων.

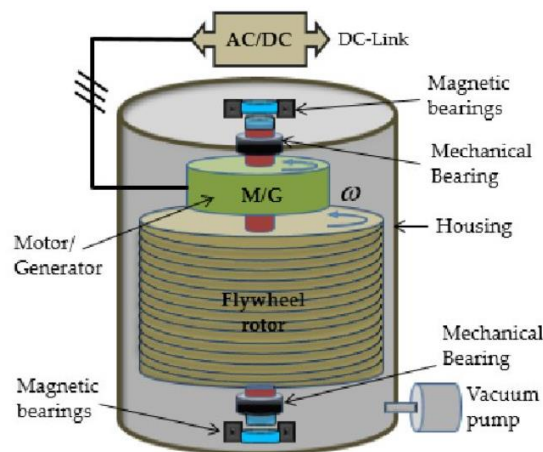
Η λειτουργία ενός συστήματος αποθήκευσης με στρεφόμενο σφόνδυλο βασίζεται στη στην αρχή της κινητικής ενέργειας. Διακρίνεται:

- ✓ στη φάση φόρτισης (φάση αποθήκευσης): όπου καθώς ο σφόνδυλος περιστρέφεται και επιταχύνεται, αυξάνεται η κινητική του ενέργεια και αποθηκεύεται. Όταν η ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας είναι χαμηλή και όταν παράγεται παραπάνω ηλεκτρικό ρεύμα από το απαιτούμενο τότε η επιπλέον ενέργεια χρησιμοποιείται για να επιταχύνει το σφόνδυλο.
- ✓ Φάση εκφόρτισης (απελευθέρωσης ενέργειας): όταν η ζήτηση είναι υψηλή και χρειάζεται περισσότερο ηλεκτρικό ρεύμα από το παραγόμενο τότε η αποθηκευμένη κινητική ενέργεια απελευθερώνεται με τη μορφή ηλεκτρικής. Η μετατροπή από κινητική ενέργεια του σφονδύλου σε ηλεκτρική γίνεται με γεννήτρια. Στη συνέχεια, το παραγόμενο ρεύμα εγχέεται στο δίκτυο για την κάλυψη της ζήτησης.

Ωστόσο, παρά το γεγονός ότι η ανωτέρω περιγραφόμενη τεχνολογία έχει υψηλή απόδοση και ευελιξία παρουσιάζει ιδιαίτερα υψηλό κόστος κατασκευής καθώς οι υλικές απαιτήσεις των σφονδύλων καθιστούν την τεχνολογία πιο δαπανηρή σε σχέση με άλλες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας. Επίσης η υποδομή για την εγκατάσταση ενός συστήματος FESS απαιτεί μεγάλη έκταση και το βάρος τους είναι ιδιαίτερα υψηλό με υλικά υψηλής αντοχής για την κατασκευή των σφονδύλων.

Ακολούθως παρατίθεται απεικόνιση της δομής και οι συνιστώσες ενός συστήματος αποθήκευσης μέσω στρεφόμενου σφονδύλου.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»



Εικόνα 5: Δομή και συνιστώσες ενός συστήματος αποθήκευσης μέσω στροφόμενου σφονδύλου [36]

3.3 Ηλεκτρομαγνητικοί Μέθοδοι Αποθήκευσης

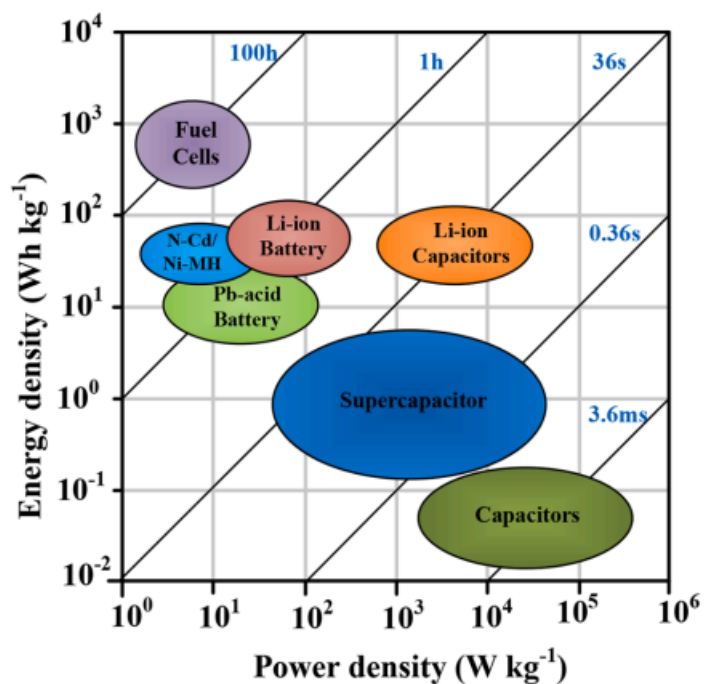
3.3.1 Υπερπυκνωτές (Supercapacitors)

Ως σύστημα μετατροπής και αποθήκευσης ενέργειας, οι υπερπυκνωτές έχουν λάβει εκτεταμένη προσοχή λόγω της υψηλότερης ενεργειακής πυκνότητας και της μεγάλης διάρκειας ζωής τους. Είναι ένα από τα βασικά νέα προϊόντα αποθήκευσης ενέργειας που αναπτύχθηκαν τον 21ο αιώνα. Επιπλέον οι υπερπυκνωτές παρουσιάζουν τα επιπλέον σημαντικά πλεονεκτήματα όπως υψηλή ειδική ισχύς, γρήγορο ρυθμό φόρτισης-εκφόρτισης και μεγάλη διάρκεια ζωής. Οι υπερπυκνωτές είναι ηλεκτροχημικοί πυκνωτές διπλού στρώματος (EDLC), οι οποίοι χρησιμοποιούν ένα συνδυασμό από πορώδεις διαχωριστές και ηλεκτρολύτες στην θέση του διηλεκτρικού.

Ωστόσο, η απόδοση των υπερπυκνωτών περιορίζεται από τα υλικά ηλεκτροδίων και τους ηλεκτρολύτες τους. Ταυτόχρονα, με την εφαρμογή των υπερπυκνωτών σε ηλεκτρικά οχήματα και συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τα ζητήματα θερμικής ασφάλειας έχουν γίνει όλο και πιο σημαντικά. Ένα κατάλληλο σύστημα θερμικής διαχείρισης μπορεί να ελέγξει τη θερμοκρασία της μονάδας υπερπυκνωτή κατά τη φόρτιση και την εκφόρτιση, γεγονός που είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της απόδοσης και της ασφάλειας του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας.

Όπως παρουσιάζεται ακολούθως, η πυκνότητα ισχύος της μεθόδου αποθήκευσης με υπερπυκνωτές είναι σημαντικά μεγαλύτερη από άλλες μορφές αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας με εξαίρεση της μεθόδου αποθήκευσης με συμβατικούς πυκνωτές.

**«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ
ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»**



Εικόνα 6: Διάγραμμα με εύρος πυκνότητας ισχύος-ενέργειας διαφόρων τεχνολογιών αποθήκευσης [1]

Λόγω των υψηλών πυκνοτήτων ισχύος και την ικανότητα ταχείας φόρτισης-εκφόρτισης, οι υπερπυκνωτές προτιμώνται σε πολλές εφαρμογές που πρέπει να απορροφήσουν ή να απελευθερώσουν τεράστια ποσά ενέργειας σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα. Οι υπερπυκνωτές χρησιμοποιούνται κυρίως στην αυτοκινητοβιομηχανία σε εφαρμογές όπως τα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία (BEV), τα υβριδικά οχήματα (HEV) με πρωτοπόρο στην κατασκευή ηλεκτρικών αυτοκινήτων που βασίζονται σε υπερπυκνωτές την Ρωσία το 1996. Άλλες σημαντικές εφαρμογές της αποθήκευσης μέσω υπερπυκνωτών αποτελούν τα αδιάλειπτα τροφοδοτικά γνωστά ως UPS. Ωστόσο, σημαντικά μειονεκτήματα αποτελούν ο σχετικά μεγάλος βαθμός απωλειών τους και το υψηλό τους οικονομικό κόστος.

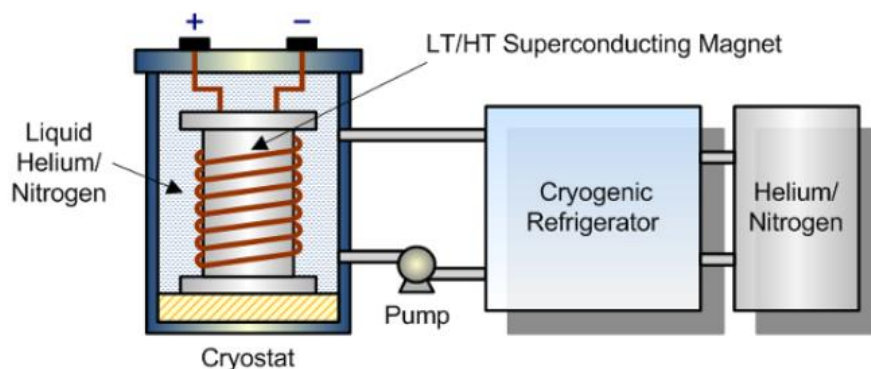
«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

3.3.2 Υπεραγώγιμη μαγνητική αποθήκευση ενέργειας (Super Conductive Energy Storage SMES)

Η συγκεκριμένη χρήση υπεραγώγιμων πηνίων για την αποθήκευση μαγνητικής ενέργειας εφευρέθηκε από τον M. Ferrier το 1970. Ένα σύστημα Υπεραγώγιμης μαγνητικής αποθήκευσης ενέργειας (SMES) περιλαμβάνει τρία μέρη: υπεραγώγιμο πηνίο, σύστημα κλιματισμού ισχύος και κρυογονικά ψυχόμενο ψυγείο. Μόλις το υπεραγώγιμο πηνίο φορτιστεί, το ρεύμα δεν θα διασπαστεί και η μαγνητική ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί επ' αόριστόν. Η αποθηκευμένη ενέργεια μπορεί να απελευθερωθεί πίσω στο δίκτυο με την εκφόρτιση του πηνίου. Τα συστήματα αυτά είναι εξαιρετικά αποδοτικά με την απόδοση της κυκλικής διαδρομής να είναι μεγαλύτερη από 95%.

Λόγω των ενεργειακών απαιτήσεων της ψύξης και του υψηλού κόστους του υπεραγώγιμου σύρματος, τα συγκεκριμένα συστήματα αποθήκευσης χρησιμοποιούνται σήμερα για αποθήκευση ενέργειας μικρής διάρκειας. Επιπλέον, η ενεργειακή του πυκνότητα, η αποδοτικότητα και ο υψηλός ρυθμός εκφόρτισης τα καθιστούν χρήσιμα συστήματα για την ενσωμάτωση στα σύγχρονα ενεργειακά δίκτυα. Οι εφαρμογές των εν λόγω συστημάτων μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής: συστήματα παροχής ενέργειας, συστήματα ελέγχου και συστήματα έκτακτης ανάγκης/εξασφαλίσεων.

Ακολούθως παρατίθεται ένα σύστημα SMES.



Εικόνα 7 : Απεικόνιση ενός συστήματος SMES [37]

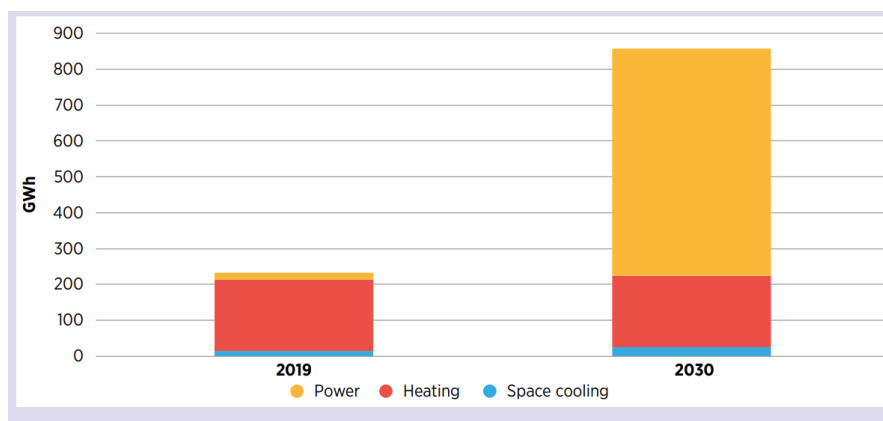
«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

3.4 Θερμική Αποθήκευση (Thermal Energy Storage - TES)

Η θερμική αποθήκευση ενέργειας (Thermal Energy Storage - TES) αναδεικνύεται σε έναν σημαντικό πυλώνα της σύγχρονης ενεργειακής μετάβασης, προσφέροντας μια ευέλικτη και αποδοτική λύση για την αποθήκευση ενέργειας. Η θερμική αποθήκευση αξιοποιεί τη θερμότητα ως μέσο αποθήκευσης ενέργειας, επιτρέποντας την αξιοποίησή της σε μεταγενέστερο χρόνο για διάφορες εφαρμογές, όπως η θέρμανση, η ψύξη, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και οι βιομηχανικές διεργασίες.

Τα θερμικά συστήματα αποθήκευσης χρησιμοποιούνται εκτενώς στην σταθεροποίηση της θερμοκρασίας σε οικιακούς χώρους, καθώς και σε θερμικές μονάδες παραγωγής. Αυτές οι μορφές αποθήκευσης ενέργειας πρέπει να συνδέονται με κάποια μορφή θερμοηλεκτρικής γεννήτριας είτε κάποια θερμική μηχανή (π.χ. ατμομηχανές, ατμοστρόβιλους κλπ.).

Ακολουθώς, παρατίθεται διάγραμμα με τις προβλέψεις κατά το έτος 2030 σε εγκατεστημένη ισχύ από συστήματα θερμικής αποθήκευσης.



Διάγραμμα 10: Προβλέψεις εγκατεστημένης χωρητικότητας TES σύμφωνα με το ευθυγραμμισμένο με τη συμφωνία του IRENA στο Παρίσι Transforming [56]

Οι τεχνολογίες θερμικής αποθήκευσης έχουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών σε διάφορους τομείς, όπως:

- **Ηλιακή θερμική ενέργεια:** Η θερμική αποθήκευση χρησιμοποιείται σε ηλιακά θερμικά συστήματα για να αποθηκεύσει την ηλιακή ενέργεια που συλλέγεται κατά τη διάρκεια της ημέρας, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

ή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια της νύχτας ή σε περιόδους συννεφιάς. Αυτό επιτρέπει τη συνεχή παροχή ενέργειας ακόμα και όταν ο ήλιος δεν λάμπει, αυξάνοντας την αξιοπιστία και την αποδοτικότητα των ηλιακών θερμικών συστημάτων.

- Βιομηχανικές διεργασίες: Η θερμική αποθήκευση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε βιομηχανικές διεργασίες για να αποθηκεύσει την πλεονάζουσα θερμότητα που παράγεται από τις διεργασίες αυτές, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί αργότερα ή σε άλλες διεργασίες που απαιτούν θερμότητα. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση του κόστους για τις βιομηχανίες.
- Θέρμανση και ψύξη κτιρίων: Η θερμική αποθήκευση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κτίρια για να αποθηκεύσει θερμότητα ή ψύξη, ώστε να μειωθεί η ανάγκη για συμβατικά συστήματα θέρμανσης και κλιματισμού. Αυτό μπορεί να βελτιώσει την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων και να μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.
- Εξισορρόπηση του ηλεκτρικού δικτύου: Η θερμική αποθήκευση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για να αποθηκεύσει την πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται σε περιόδους χαμηλής ζήτησης, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιόδους αιχμής ζήτησης. Αυτό μπορεί να βοηθήσει στην εξισορρόπηση του ηλεκτρικού δικτύου και να αποτρέψει τις διακοπές ρεύματος.
- Αποθήκευση θερμότητας σε οικιακές εφαρμογές: Η θερμική αποθήκευση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οικιακές εφαρμογές για την αποθήκευση θερμότητας από ηλιακούς συλλέκτες ή άλλες πηγές, όπως τζάκια ή σόμπες, για να παρέχει θέρμανση στο σπίτι κατά τη διάρκεια της νύχτας ή σε περιόδους χαμηλής ηλιοφάνειας.
- Αποθήκευση ψύξης: Η θερμική αποθήκευση μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση ψύξης, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κλιματισμό σε κτίρια ή για τη διατήρηση της θερμοκρασίας σε ψυγεία και καταψύκτες.

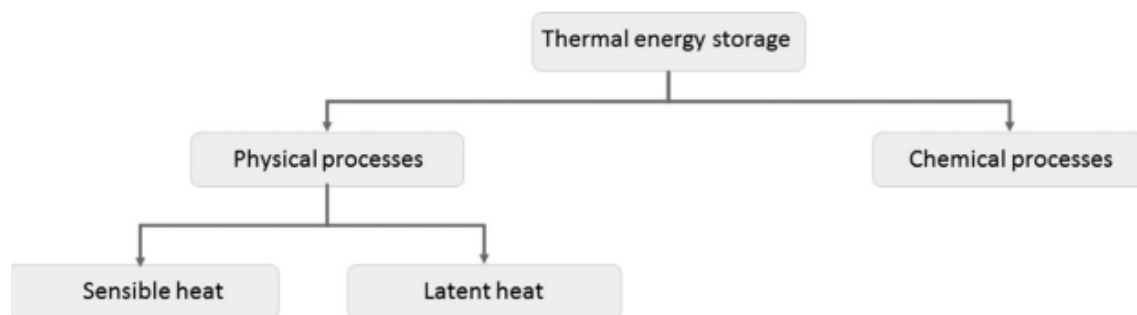
«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Οι τεχνολογίες θερμικής αποθήκευσης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση τη θερμοκρασία λειτουργίας, το υλικό αποθήκευσης και την εφαρμογή τους. Κάθε κατηγορία παρουσιάζει μοναδικά χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα, καθιστώντας την κατάλληλη για συγκεκριμένες εφαρμογές.

Διακρίνονται στις τρεις ακόλουθες κατηγορίες, εκ των οποίων οι δύο πρώτες είναι φυσικές διαδικασίες και η τελευταία χημική διεργασία:

- ✓ STES (Sensible Heat Storage)
- ✓ LTES (Latent Heat Storage)
- ✓ CTES (Reversible Chemical Reaction Heat Storage)

Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζονται οι ανωτέρω αναφερόμενοι μέθοδοι:



Σχήμα 1 : Μέθοδοι Θερμικής αποθήκευσης [38]

3.4.1 Αποθήκευση αισθητής θερμότητας SHS (Sensible Heat Storage)

Διακρίνονται σε ενεργητικά, δηλαδή είτε ξεχωριστές δεξαμενές που εμπεριέχουν το ζεστό και το παγωμένο υλικό αποθήκευσης είτε το ζεστό και το παγωμένο υλικό αποθήκευσης να βρίσκονται σε κοινή δεξαμενή και παθητικά συστήματα αποθήκευσης STES, όπου το μέσο αποθήκευσης είναι σταθερό και η θερμότητα μεταφέρεται μέσα από ένα μηχανισμό παθητικής μεταφοράς θερμότητας.

Η αποθήκευση αισθητής θερμότητας (SHS) είναι η πιο παραδοσιακή, ώριμη και ευρέως εφαρμοσμένη λύση θερμικής αποθήκευσης λόγω της απλής λειτουργίας της.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Ωστόσο, κύριο μειονέκτημά της αποτελεί η χαμηλή πυκνότητα αποθήκευσης ενέργειας που επιτυγχάνεται σε σύγκριση με τις άλλες δύο μορφές θερμικής αποθήκευσης. Στην αποθήκευση αισθητής θερμότητας, η μεταφορά ενέργειας (ως θερμότητα) από και προς το μέσο αποθήκευσης που μπορεί να είναι υγρό (νερό, πετρέλαιο κ.λπ.) ή στερεό (άμμος, βραχώδεις στρώσεις, τούβλα κ.λπ.) έχει ως αποτέλεσμα την αντίστοιχη μεταβολή (αύξηση ή μείωση) της θερμοκρασίας του μέσου.

Ένα από τα πλεονεκτήματα αυτού του τρόπου λειτουργίας είναι ότι η αποθήκευση και η απελευθέρωση της συσσωρευμένης θερμότητας (κύκλοι φόρτισης και εκφόρτισης) μπορεί να επαναλαμβάνεται χωρίς πρόβλημα. Επιπλέον, η μέθοδος αυτή εκμεταλλεύεται γενικά ορισμένες ιδιότητες του υλικού αποθήκευσης, όπως η υψηλή ειδική θερμότητα.

3.4.2 LHS (Latest Heat Storage)

Η αποθήκευση λανθάνουσας θερμότητας (LHS) είναι η μεταφορά θερμότητας ως αποτέλεσμα μιας αλλαγής φάσης που λαμβάνει χώρα σε ένα συγκεκριμένο στενό εύρος θερμοκρασιών στο σχετικό υλικό.

Υπάρχουν δύο συστήματα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας τα οποία διαφέρουν όσον αφορά τη μεταφορά θερμότητας: άμεση και έμμεση. Σε αυτή τη μέθοδο αποθήκευσης είναι δυνατή η αποθήκευση μεγάλης ποσότητας θερμότητας ανάλογα με τις ιδιότητες του επιλεγμένου υλικού

3.4.3 Θερμική Αποθήκευση με χημικές διαδικασίες (Thermochemical Energy Storage)

Είναι πιο αποδοτική σε σχέση με τις δύο προαναφερθείσες κατηγορίες. Πλεονεκτήματα της θερμοχημικής αποθήκευσης ενέργειας (TCES) είναι η υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, η υψηλή απόδοση και η υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας.

Επίσης, η θερμοχημική αποθήκευση ενέργειας επιτυγχάνεται μέσω μιας αναστρέψιμης χημικής αντίδρασης. Αυτός ο τύπος αποθήκευσης ενέργειας έχει την υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα από οποιοδήποτε TES. Παραδείγματα τέτοιων συστημάτων είναι οι αντλίες θερμότητας και τα συστήματα θέρμανσης σωληνώσεων.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

3.5 Ηλεκτροχημικές μέθοδοι αποθήκευσης

3.5.1 Μπαταρίες Ροής (Flow Batteries)

Οι μπαταρίες ροής, γνωστές και ως redox flow batteries, αποτελούν μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία αποθήκευσης ενέργειας που διακρίνεται για την ευελιξία, την μεγάλη διάρκεια ζωής και την ασφάλειά της. Σε αντίθεση με τις συμβατικές μπαταρίες, όπου τα ηλεκτρόδια είναι στερεά, στις μπαταρίες ροής τα ενεργά υλικά βρίσκονται σε υγρή μορφή, συνήθως σε δύο ξεχωριστές δεξαμενές.

Οι μπαταρίες ροής είναι ένας τύπος ηλεκτροχημικού συστήματος αποθήκευσης, ο οποίος αποτελείται από δύο χημικά συστατικά (ο ανολύτης – anolyte και ο καθολύτης – catholyte) διαλυμένα σε υγρό που διαχωρίζεται από μια μεμβράνη. Η φόρτιση και η εκφόρτιση των μπαταριών πραγματοποιείται με μεταφορά ιόντων από το ένα συστατικό στο άλλο μέσω της μεμβράνης.

Συγκεκριμένα, η λειτουργία των μπαταριών ροής βασίζεται στην αντίδραση οξειδοαναγωγής (redox) μεταξύ δύο ηλεκτρολυτών. Κατά τη φόρτιση, τα ιόντα μεταφέρονται από τον έναν ηλεκτρολύτη στον άλλο μέσω μιας μεμβράνης, ενώ κατά την εκφόρτιση η διαδικασία αντιστρέφεται.

Οι μπαταρίες ροής αποθηκεύουν ηλεκτρική ενέργεια στις δεξαμενές υγρού ηλεκτρολύτη που αντλείται μέσω ηλεκτροδίων για την εξαγωγή των ηλεκτρονίων. Κατά τη διάρκεια της περιόδου φόρτισης, ο σταθμός αποθήκευσης φορτίζει από το δίκτυο ή από σταθμούς ΑΠΕ. Η φόρτιση ουσιαστικά χρησιμοποιείται για την παροχή ηλεκτρονίων για την επαναφόρτιση του ηλεκτρολύτη. Ο ηλεκτρολύτης αποθηκεύεται στη δεξαμενή κατά τη διάρκεια της περιόδου αποθήκευσης. Κατά την περίοδο εκφόρτισης, ο υγρός ηλεκτρολύτης αντλείται μέσω ηλεκτροδίων για την εξαγωγή των ηλεκτρονίων και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι μπαταρίες ροής μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση τον τύπο των ηλεκτρολυτών που χρησιμοποιούν. Οι κύριες κατηγορίες περιλαμβάνουν:

- Μπαταρίες ροής βαναδίου (Vanadium Redox Flow Batteries - VRFBs): Οι VRFBs είναι οι πιο διαδεδομένες μπαταρίες ροής σήμερα, χρησιμοποιώντας ιόντα βαναδίου σε διαφορετικές καταστάσεις οξείδωσης ως ενεργά υλικά.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

- Μπαταρίες ροής ψευδαργύρου-βρωμίου (Zinc-Bromine Flow Batteries - ZBFBs): Οι ZBFBs χρησιμοποιούν ψευδάργυρο και βρώμιο ως ενεργά υλικά. Είναι πιο οικονομικές από τις VRFBs, αλλά έχουν χαμηλότερη ενεργειακή πυκνότητα και απαιτούν πιο προσεκτική διαχείριση λόγω της τοξικότητας του βρωμίου.
- Άλλες μπαταρίες ροής: Υπάρχουν και άλλες μπαταρίες ροής που βρίσκονται σε στάδιο ανάπτυξης, όπως οι μπαταρίες ροής με βάση το σίδηρο-χρώμιο, το υδρογόνο-βρώμιο και το οργανικό υλικό.

Οι μπαταρίες ροής υψηλής χωρητικότητας, οι οποίες διαθέτουν γιγαντιαίες δεξαμενές ηλεκτρολυτών, έχουν τη δυνατότητα αποθήκευσης μεγάλης ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, το μεγαλύτερο πρόβλημα για τη χρήση μπαταριών ροής είναι το υψηλό κόστος των υλικών που χρησιμοποιούνται σε αυτές, όπως το βανάδιο (vanadium redox flow batteries).

Η ενεργειακή χωρητικότητα είναι καθαρά συνάρτηση του μεγέθους της δεξαμενής και η ισχύς είναι συνάρτηση της επιφάνειας της ανόδου. Τα διαλύματα βαναδίου και σιδήρου και βρωμίου είναι οι πιο συνηθισμένοι ηλεκτρολύτες.

Οι μπαταρίες ροής είναι κατάλληλες για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, όπως:

- Αποθήκευση ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα: Λόγω της ευελιξίας τους στην κλιμάκωση και της μεγάλης διάρκειας ζωής τους, οι μπαταρίες ροής είναι ιδανικές για την αποθήκευση ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα, όπως σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ ή σε δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας.
- Εξισορρόπηση του ηλεκτρικού δικτύου: Οι μπαταρίες ροής μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξισορρόπηση της προσφοράς και της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο, αποθηκεύοντας την πλεονάζουσα ενέργεια σε περιόδους χαμηλής ζήτησης και παρέχοντάς την σε περιόδους αιχμής ζήτησης.
- Απομακρυσμένες περιοχές: Οι μπαταρίες ροής μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποθήκευση ενέργειας σε απομακρυσμένες περιοχές που δεν είναι συνδεδεμένες στο ηλεκτρικό δίκτυο, όπως νησιά ή απομονωμένες κοινότητες.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Ωστόσο, οι μπαταρίες ροής παρουσιάζουν σημαντικά μειονεκτήματα. Συγκεκριμένα, σε σύγκριση με τις μπαταρίες ιόντων λιθίου, οι μπαταρίες ροής έχουν χαμηλότερη ενεργειακή πυκνότητα, πράγμα που σημαίνει ότι απαιτούν μεγαλύτερο όγκο για την αποθήκευση της ίδιας ποσότητας ενέργειας. Επίσης οι μπαταρίες ροής χάνουν ένα μικρό ποσοστό της αποθηκευμένης ενέργειας με την πάροδο του χρόνου (υψηλός ρυθμός αυτοεκφόρτισης), ακόμα και όταν δεν χρησιμοποιούνται. Αυτό μπορεί να επηρεάσει την αποδοτικότητά τους σε εφαρμογές μακροχρόνιας αποθήκευσης.

Επίσης, εξακολουθούν να έχουν υψηλό κόστος από το κόστος ορισμένων άλλων τεχνολογιών αποθήκευσης, παρόλο που το κόστος τους έχει μειωθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Επιπλέον, αν και η τεχνολογία των μπαταριών ροής εξελίσσεται ραγδαία, η εμπορική τους διαθεσιμότητα είναι ακόμα περιορισμένη σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες αποθήκευσης

3.5.2 Μπαταρίες (Batteries)

Οι μπαταρίες, ή συσσωρευτές, αποτελούν μια από τις πιο διαδεδομένες και ευέλικτες τεχνολογίες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Η ικανότητά τους να μετατρέπουν τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική και αντίστροφα, τις καθιστά απαραίτητες σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, ακόμα και σε συστήματα αποθήκευσης ενέργειας μεγάλης κλίμακας. Ακολούθως, θα γίνει στοιχειώδη ανάλυση των τεχνολογιών ηλεκτρικών μπαταριών (μέθοδοι ηλεκτροχημικής αποθήκευσης) και των κύριων εφαρμογών τους.

Επιγραμματικά οι ηλεκτροχημικές μέθοδοι αποθήκευσης ενέργειας είναι οι ακόλουθοι:

- ✓ Μπαταρίες μολύβδου – οξέος (Lead Acid)
- ✓ Μπαταρίες Νατρίου – Θείου (NaS)
- ✓ Μπαταρίες Οξειδοαναγωγικής ροής (ZnBr)
- ✓ Μπαταρίες Νικελίου Καδμίου
- ✓ Μπαταρίες Ιόντων – Λιθίου (Li-Ion)

3.5.2.1 Μπαταρίες μολύβδου – οξέος (Lead Acid Battery Storage Systems)

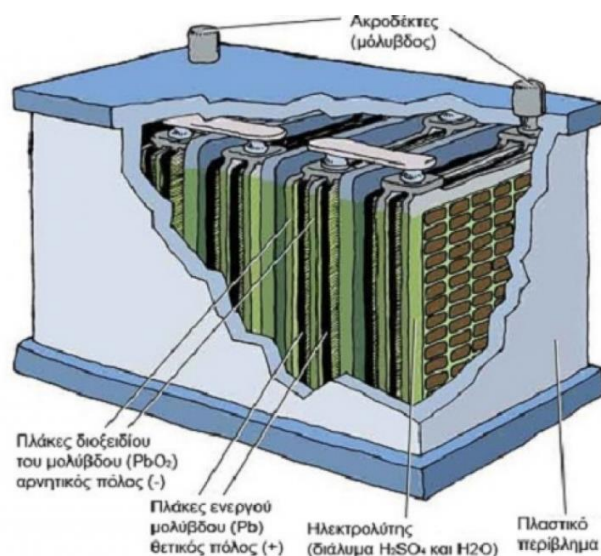
Οι μπαταρίες μολύβδου οξέος αποτελούν τον παλαιότερο τύπο επαναφορτιζόμενων μπαταριών, που πρωτοεφευρέθηκαν το 1859. Ο συγκεκριμένος τύπος μπαταριών είναι ιδανικός για εφαρμογές μακροπρόθεσμης αποθήκευσης ενέργειας καθώς έχουν μικρό

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

ποσοστό αυτοεκφόρτισης. Κατά την εκφόρτιση, ο μολύβδος στην άνοδο οξειδώνεται σε θειικό μολύβδο, ενώ το διοξείδιο του μολύβδου στην κάθοδο ανάγεται επίσης σε θειικό μολύβδο. Κατά τη φόρτιση, η διαδικασία αντιστρέφεται και τα ηλεκτρόδια επανέρχονται στην αρχική τους κατάσταση.

Οι μπαταρίες μολύβδου οξέος έχουν χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα, μέτρια απόδοση και υψηλές απαιτήσεις συντήρησης, έχουν επίσης μεγάλη διάρκεια ζωής και χαμηλό κόστος σε σύγκριση με άλλους τύπους μπαταριών. Επίσης, η παρουσία του μολύβδου απαιτεί ιδιαίτερο περιβαλλοντικό χειρισμό αυτών των μπαταριών, καθώς ο μολύβδος είναι τοξικός και σε πολλές περιπτώσεις έχει απαγορευτεί. Μια μπαταρία μολύβδου-οξέος αποτελείται από δύο βασικά στοιχεία: φύλλα μολύβδου (ένα αρνητικό και ένα θετικό) που χωρίζονται από λάστιχα και τυλίγονται σε σπирάλ. Και τα δύο ηλεκτρόδια βυθίζονται σε ηλεκτρολυτικό διάλυμα θειικού οξέος και νερού.

Ακολουθώς παρατίθεται σχηματική απεικόνιση ενός συσσωρευτή μολύβδου.



Εικόνα 8: Σχηματική Απεικόνιση Συσσωρευτή Μολύβδου ([Συσσωρευτής Μολύβδου \(μπαταρία\) - Electricalnews](#))

Οι μπαταρίες μολύβδου οξέος είναι δυνητικά επικίνδυνες και εγκυμονούν τους κινδύνους καθώς το θειικό οξύ στον ηλεκτρολύτη είναι διαβρωτικό.

Ορισμένα χαρακτηριστικά τους σε σύγκριση με άλλες μπαταρίες είναι η σχετικά μικρή διάρκεια ζωής τους ενώ η φόρτιση των μπαταριών μπορεί να διαρκέσει αρκετά. Επίσης ο αριθμός των κύκλων φόρτισης/εκφόρτισης που μπορούν να αντέξουν οι μπαταρίες

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

μολύβδου-οξέος είναι περιορισμένος σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει τη συνολική διάρκεια ζωής τους.

Επιπλέον, οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος απαιτούν τακτική συντήρηση, όπως έλεγχο της στάθμης του ηλεκτρολύτη για να διασφαλιστεί η βέλτιστη απόδοση και η μακροζωία τους.

3.5.2.2 Μπαταρίες Νατρίου – Θείου (NaS)

Οι μπαταρίες νατρίου-θείου (NaS) αποτελούν μια τεχνολογία αποθήκευσης ενέργειας υψηλής θερμοκρασίας που βασίζεται στην ηλεκτροχημική αντίδραση μεταξύ τηγμένου νατρίου και θείου.

Οι μπαταρίες NaS λειτουργούν σε υψηλές θερμοκρασίες (συνήθως μεταξύ 300-350°C), όπου το νάτριο και το θείο βρίσκονται σε υγρή κατάσταση. Κατά την εκφόρτιση, τα ιόντα νατρίου μετακινούνται από την άνοδο (τηγμένο νάτριο) μέσω ενός στερεού ηλεκτρολύτη προς την κάθοδο (τηγμένο θείο), όπου αντιδρούν με το θείο για να σχηματίσουν πολυσουλφίδια του νατρίου. Κατά τη φόρτιση, η διαδικασία αντιστρέφεται και τα ιόντα νατρίου επιστρέφουν στην άνοδο.

Στα πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης τεχνολογίας περιλαμβάνονται η μεγάλη διάρκεια ζωής (συνήθως 15-20 χρόνια) με πολλούς κύκλους φόρτισης εκφόρτισης, η γρήγορη απόκρισή τους σε μεταβατικά φαινόμενα και η μεγάλη απόδοσή τους που φτάνει το 90%.

Παρά το υψηλό αρχικό κόστος, οι μπαταρίες NaS έχουν χαμηλό κόστος κύκλου ζωής λόγω της μεγάλης διάρκειας ζωής τους και της χαμηλής ανάγκης για συντήρηση.

Από τη άλλη, το κύριο μειονέκτημά τους είναι η πολύ υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας τους που αγγίζει τους 350 βαθμούς Κελσίου, πράγμα που απαιτεί ειδικά συστήματα θέρμανσης και θερμομόνωσης, αυξάνοντας την πολυπλοκότητα και το κόστος του συστήματος. Επίσης οι εν λόγω μπαταρίες έχουν σχετικά αργή απόκριση σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες, πράγμα που μπορεί να τις κάνει λιγότερο κατάλληλες για εφαρμογές που απαιτούν γρήγορη παροχή ή απορρόφηση ενέργειας. Τέλος, τα υλικά που χρησιμοποιούνται στις μπαταρίες NaS, ιδιαίτερα το τηγμένο νάτριο και το θείο, είναι διαβρωτικά και απαιτούν ειδικά υλικά κατασκευής και προσεκτική διαχείριση.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Οι μπαταρίες θείου–νατρίου (NaS) βρίσκουν πολλές εφαρμογές σε ηλεκτρικά δίκτυα και συστήματα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

3.5.2.3 Μπαταρίες Νικελίου Καδμίου (NiCd)

Οι μπαταρίες νικελίου καδμίου, γνωστές και ως συσσωρευτές νικελίου καδμίου, είναι ένας τύπος επαναφορτιζόμενης μπαταρίας που χρησιμοποιείται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών αν και έχουν χάσει έδαφος έναντι των μπαταριών ιόντων λιθίου σε πολλές εφαρμογές, εξακολουθούν να αποτελούν μια αξιόπιστη και αποδοτική επιλογή για συγκεκριμένες χρήσεις που απαιτούν υψηλή απόδοση. Αυτές οι μπαταρίες χαρακτηρίζονται από την υψηλή ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας και τη μεγάλη διάρκεια ζωής τους.

Οι μπαταρίες NiCd λειτουργούν με βάση την ηλεκτροχημική αντίδραση μεταξύ υδροξειδίου του νικελίου στην κάθοδο και καδμίου στην άνοδο, με υδροξείδιο του καλίου ως ηλεκτρολύτη. Κατά την εκφόρτιση, το υδροξείδιο του νικελίου ανάγεται σε οξείδιο του νικελίου, ενώ το κάδμιο οξειδώνεται σε υδροξείδιο του καδμίου. Κατά τη φόρτιση, η διαδικασία αντιστρέφεται και τα ηλεκτρόδια επανέρχονται στην αρχική τους κατάσταση.

Ένα από τα πλεονεκτήματα των μπαταριών νικελίου καδμίου είναι η ικανότητά τους να παρέχουν σταθερό ρεύμα σε όλη τη διάρκεια ζωής τους. Αυτό τα καθιστά ιδανικά για συσκευές που απαιτούν σταθερή παροχή ρεύματος, όπως ασύρματα τηλέφωνα ή φορητό ιατρικό εξοπλισμό. Επίσης, οι μπαταρίες NiCd μπορούν να λειτουργήσουν σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών, από -20°C έως 50°C , καθιστώντας τες κατάλληλες για εφαρμογές σε ακραίες συνθήκες. Επιπλέον, οι μπαταρίες NiCd έχουν χαμηλό ρυθμό αυτοεκφόρτισης, πράγμα που σημαίνει ότι μπορούν να αποθηκευτούν για μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς να χάσουν σημαντικό μέρος της φόρτισής τους.

Ωστόσο, κάποια βασικά μειονεκτήματα τους είναι η υψηλή τοξικότητα του καδμίου λόγω της οποίας απαγορεύονται σε αρκετές χώρες η χρήση τους. Συγκεκριμένα, το κάδμιο είναι ένα τοξικό βαρύ μέταλλο και η απόρριψη μπαταριών NiCd μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Επίσης, εκτός από το μεγάλο τους βάρος σε σχέση με άλλες μπαταρίες έχουν και χαμηλότερη ενεργειακή πυκνότητα σε σύγκριση

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

με τις μπαταρίες ιόντων λιθίου, πράγμα που σημαίνει ότι απαιτούν μεγαλύτερο όγκο και βάρος για την αποθήκευση της ίδιας ποσότητας ενέργειας.

Οι μπαταρίες NiCd χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, όπως τόσο σε ασύρματα ηλεκτρικά εργαλεία (όπως πριόνια και κατσαβίδια), λόγω της υψηλής απόδοσής τους σε υψηλά ρεύματα εκφόρτισης και της αντοχής τους σε ακραίες θερμοκρασίες όσο σε ορισμένες ιατρικές συσκευές όπως φορητοί αναπνευστήρες και απινιδωτές, λόγω της αξιοπιστίας και της μεγάλης διάρκειας ζωής τους.

Επίσης, οι μπαταρίες NiCd χρησιμοποιούνται σε επαγγελματικό φωτισμό, όπως προβολείς και φώτα έκτακτης ανάγκης, λόγω της υψηλής απόδοσής τους και της αντοχής τους σε ακραίες συνθήκες.

3.5.2.4 Μπαταρίες Ιόντων – Λιθίου (Li-Ion)

Η τεχνολογία των επαναφορτιζόμενων μπαταριών ιόντων λιθίου, οι οποίες έχουν επιλεχθεί να μελετηθούν εκτενέστερα στη μελετώμενη εργασία λόγω της πλέον διαδεδομένης εφαρμογής σε μεγάλα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, έχει τις ρίζες της στην τεχνολογία των μη επαναφορτιζόμενων μπαταριών, που χρησιμοποιούσαν μεταλλικά στοιχεία λιθίου στο αρνητικό ηλεκτρόδιο.

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου εντοπίζονται σε ποικίλες εφαρμογές όπως :

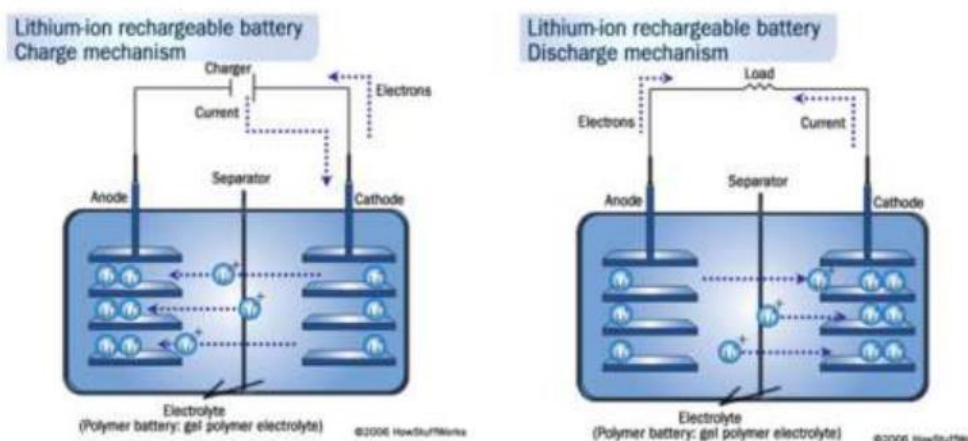
- ✓ Φορητές συσκευές (κινητά τηλέφωνα, έξυπνα τηλέφωνα, φορητούς υπολογιστές, ταμπλέτες υπολογιστών, κονσόλες, ηλεκτρονικά τσιγάρα κ.α.)
- ✓ Συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας
- ✓ Ηλεκτρικά εργαλεία (ασύρματα τριβεία, πριόνια κ.α.)
- ✓ Ηλεκτρικά οχήματα (ηλεκτρικά αυτοκίνητα, υβριδικά οχήματα, ηλεκτρικά αμαξίδια κ.α.).
- ✓ Εφαρμογές τηλεπικοινωνιών

Η αντίδραση που λαμβάνει χώρα στις μπαταρίες ιόντων λιθίου αναπαρίσταται στο διάγραμμα 11. Τα δύο ηλεκτρόδια έχουν συνήθως επίπεδη δομή προκειμένου να διευκολύνεται η μετακίνηση των ιόντων λιθίου μεταξύ τους. Κατά τη διαδικασία της φόρτισης μεταφέρονται ιόντα λιθίου από το θετικό στο αρνητικό ηλεκτρόδιο μέσω του

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

διαχωριστή και ταυτόχρονα υπάρχει ροή ηλεκτρονίων από το εξωτερικό κύκλωμα κατά την ίδια φορά. Κατά την εκφόρτιση της μπαταρίας η διαδικασία αντιστρέφεται.

Ακολουθώς, παρατίθεται η διαδικασία φόρτισης και εκφόρτισης μιας μπαταρίας ιόντων-λιθίου.



Διάγραμμα 11 : απεικόνιση της διαδικασίας φόρτισης και εκφόρτισης μιας μπαταρίας ιόντων-λιθίου.

Ένας συσσωρευτής είναι μία χημική πηγή ρεύματος που δύναται κατόπιν μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας σε χημική να την αποθηκεύει και να μπορεί να την αποδώσει σε εξωτερικό κύκλωμα όταν χρειαστεί. Ανάλογα με την τάση παραγωγής που επιθυμείτε ένας συσσωρευτής σχηματίζεται από ένα ή περισσότερα ηλεκτρικά στοιχεία συνδεδεμένα σε σειρά ή παράλληλα. Μια μπαταρία ιόντων λιθίου αποτελείται από τέσσερα κύρια μέρη: κάθοδο, άνοδο, ηλεκτρολύτη και διαχωριστή.

Το ηλεκτρικό στοιχείο αποτελείται από δύο αγωγικές πλάκες (ηλεκτρόδια), φτιαγμένες από διαφορετικά μέταλλα και βυθισμένες σε ένα δοχείο με υγρό (ηλεκτρολύτη). Τα ηλεκτρόδια αντιδρούν χημικά με τον ηλεκτρολύτη όπου περιλαμβάνεται η μεταφορά ηλεκτρονίων από το ένα ηλεκτρόδιο στο άλλο μέσω ενός εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος/φορτίου.

Δηλαδή, η σύνδεση των ηλεκτροδίων σε εξωτερικό ηλεκτρικό κύκλωμα προκαλεί σε αυτό διέλευση ρεύματος (εκφόρτιση της ηλεκτρικής μπαταρίας). Η εκφορτισμένη ηλεκτρική μπαταρία φορτίζεται όταν περάσει από αυτήν συνεχές ρεύμα (DC) από άλλη πηγή, ενώ ταυτόχρονα αντίστροφες χημικές διεργασίες μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε χημική.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Το κάθε στοιχείο αποτελείται από τα παρακάτω:

- Το ηλεκτρόδιο ανόδου ή αρνητικό ηλεκτρόδιο, το οποίο παραχωρεί ηλεκτρόνια στο εξωτερικό κύκλωμα και οξειδώνεται κατά τη διάρκεια της ηλεκτροχημικής αντίδρασης.
- Το ηλεκτρόδιο καθόδου ή θετικό ηλεκτρόδιο, το οποίο δέχεται ηλεκτρόνια από το εξωτερικό κύκλωμα
- Τον ηλεκτρολύτη (συνήθως σε υγρή μορφή), ο οποίος παρέχει το μέσο για τη μεταφορά του φορτίου, με τη μορφή ιόντων, μέσα στο στοιχείο ανάμεσα στην άνοδο και την κάθοδο.

3.6 Υδρογόνο (Hydrogen)

Το υδρογόνο υπάρχει σε αφθονία στον πλανήτη και αποτελεί σημαντικό ενεργειακό στοιχείο στη σύγχρονη βιομηχανία καθώς παρουσιάζει ενδιαφέρον σε ερευνητικό αλλά και σε βιομηχανικό επίπεδο, διότι πρόκειται για ένα «καθαρό» καύσιμο, το οποίο δεν παράγει ρύπους και έχει πολλαπλά πλεονεκτήματα.

Η παραγωγή υδρογόνου μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορες μεθόδους, καθεμία με τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Οι κύριες μέθοδοι παραγωγής υδρογόνου περιλαμβάνουν:

- Μεταρρύθμιση με ατμό φυσικού αερίου (Steam Methane Reforming - SMR): Αυτή είναι η πιο κοινή μέθοδος παραγωγής υδρογόνου σήμερα, αλλά παράγει σημαντικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂).
- Ηλεκτρόλυση νερού: Η ηλεκτρόλυση χρησιμοποιεί ηλεκτρική ενέργεια για να διασπάσει το νερό σε υδρογόνο και οξυγόνο. Όταν η ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από ΑΠΕ, η ηλεκτρόλυση μπορεί να παράγει "πράσινο" υδρογόνο με μηδενικές εκπομπές άνθρακα.
- Πυρόλυση βιομάζας και αποβλήτων: Η πυρόλυση χρησιμοποιεί υψηλές θερμοκρασίες για να διασπάσει τη βιομάζα ή τα απόβλητα σε υδρογόνο και άλλα προϊόντα. Αυτή η μέθοδος μπορεί να συμβάλει στη μείωση των αποβλήτων και την παραγωγή ανανεώσιμου υδρογόνου.

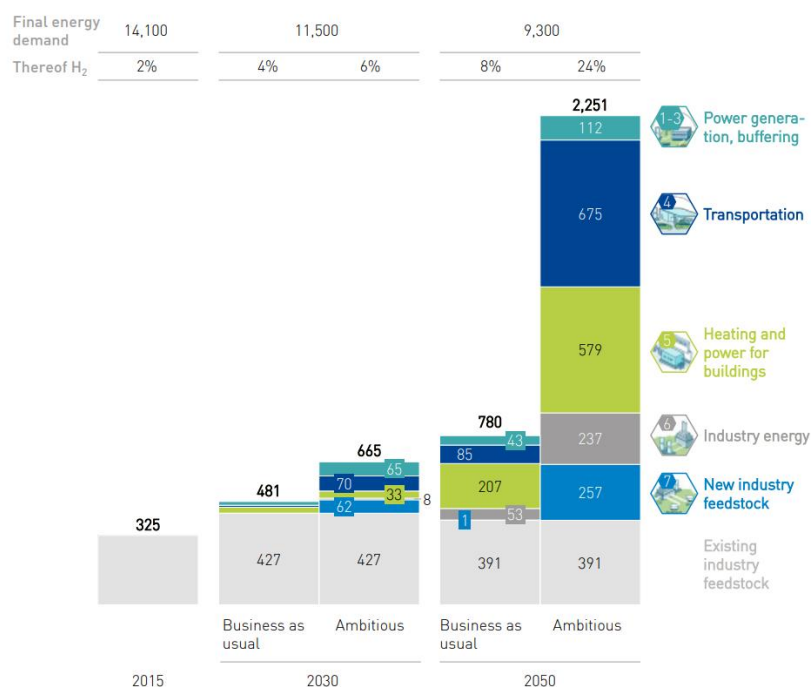
«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

- Άλλες μέθοδοι: Υπάρχουν και άλλες μέθοδοι παραγωγής υδρογόνου, όπως η φωτοκαταλυτική διάσπαση του νερού και η βιολογική παραγωγή υδρογόνου, που βρίσκονται ακόμα σε ερευνητικό στάδιο.

Ωστόσο, το πρόβλημα με το υδρογόνο είναι ότι δεν συναντάται ελεύθερο στη φύση αλλά συνδυασμό με άλλα στοιχεία από τα οποία θα πρέπει να διαχωριστεί για την αξιοποίηση του.

Η ανακάλυψη των θετικών ιδιοτήτων του υδρογόνου κατέστησε δυνατή την παραγωγή, αποθήκευση, μεταφορά και διανομή του. Το υδρογόνο έχει επίσης τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί σε κυψέλες καυσίμου για τη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας εξασφαλίζοντας αδιάλειπτη και μεγάλης κλίμακας λειτουργία. [25]

Σύμφωνα με την έκθεση International Trade and Green hydrogen της IRENA, εκτιμάται ότι το υδρογόνο και τα παράγωγά του θα είναι ικανά να ικανοποιήσουν ένα σημαντικό ποσοστό (24%) της τελικής ενεργειακής ζήτησης το 2050 (βλ. ακόλουθο διάγραμμα). Το μεγαλύτερο μέρος αυτού του υδρογόνου και των παραγώγων του θα πρέπει να είναι ανανεώσιμα, προκειμένου να επιτευχθεί κλιματική ουδετερότητα στο συνολικό ενεργειακό σύστημα συνολικά (IRENA, 2023a).



Διάγραμμα 12: Προβλέψεις παραγωγής και ποσοστιαίας ενεργειακής κάλυψης από υδρογόνο μέχρι το 2050. [60]

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Σήμερα, η παγκόσμια παραγωγή υδρογόνου - περίπου 95 μεγατόνοι υδρογόνου ετησίως (MtH₂/έτος) - προέρχεται σχεδόν αποκλειστικά από ορυκτά καύσιμα. Το υδρογόνο που παράγεται από ορυκτά καύσιμα χρησιμοποιείται κυρίως σε βιομηχανίες όπως το πετρέλαιο διύλισης, παραγωγής λιπασμάτων και άλλα.

3.6.1 Κυψέλες καυσίμου (*fuel cells*)

Οι κυψέλες καυσίμου ανήκουν στα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας με τη μορφή του υδρογόνου. Μέσω της ηλεκτρόλυσης του υδρογόνου από το οξυγόνο, οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να μετατρέψουν την ενέργεια που είναι αποθηκευμένη σε αυτές σε ηλεκτρική ενέργεια και σε θερμότητα. Μελλοντικά θεωρείται ότι με την κατάλληλη εξέλιξη της τεχνολογίας μπορούν να αντικαταστήσει πλήρως την παρουσία των ορυκτών καυσίμων κυρίως στο τομέα της μεταφοράς.

Σε αντίθεση με τις μπαταρίες που παρουσιάζουν μειονεκτήματα που αφορούν το βάρος τους αλλά και την αυτονομία τους οι κυψέλες καυσίμου, έχουν την δυνατότητα άπειρων κύκλων λειτουργίας καθώς δεν σταματάει η λειτουργία τους όσο τροφοδοτούνται με οξυγόνο και υδρογόνο.

Όσον αφορά τη δομή της, η κάθε κυψέλη αποτελείται από δύο πλάκες (ηλεκτρόδια) που χωρίζονται από μια μεμβράνη πολλών επιπέδων, η οποία έχει το ρόλο του ηλεκτρολύτη. Το υδρογόνο τροφοδοτεί το αρνητικό ηλεκτρόδιο και καθώς έρχεται σε επαφή με τον καταλύτη, διαχωρίζεται σε θετικά φορτισμένα ιόντα υδρογόνου και σε ηλεκτρόνια.

Τα ηλεκτρόνια που απελευθερώνονται μεταφέρονται μέσω εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος προς το θετικό ηλεκτρόδιο με αποτέλεσμα την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Τα θετικά φορτισμένα ιόντα του υδρογόνου (πρωτόνια) διαπερνούν τη μεμβράνη και ενώνονται με το οξυγόνο για την παραγωγή νερού. Από την παραπάνω διαδικασία, εκλύεται θερμότητα και νερό.

Η ενεργειακή απόδοση των κυψελών καυσίμου μπορεί να φτάσει στο 60% ενώ τα συστήματα ορυκτών καυσίμων έχουν απόδοση περίπου 34%. Οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, λαμβάνοντας την περίσσεια ενέργεια από συστήματα ΑΠΕ αποθηκεύοντας την σε χημική μορφή και όταν το δίκτυο είναι ασθενές να μετατρέπουν τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Σε ένα σύστημα παραγωγής ενέργειας οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να:

1. Παράγουν ηλεκτρική ενέργεια σε απομακρυσμένες περιοχές
2. Βοηθούν το δίκτυο ή να καλύπτουν τις αιχμές ζήτησης
3. Λειτουργούν σαν υβριδικά συστήματα μαζί με άλλες ΑΠΕ, παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια όταν οι υπόλοιπες πηγές δεν καλύπτουν τη ζήτηση
4. Λειτουργούν σαν εφεδρείες σε περιπτώσεις βλάβης

3.6.2 Power to gas (P2G)

Το Power-to-gas (P2G) είναι μια τεχνολογία που μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια στη μορφή ενός αέριου καυσίμου. Τα περισσότερα συστήματα P2G χρησιμοποιούν τη μέθοδο ηλεκτρόλυσης για την παραγωγή υδρογόνου. Το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατευθείαν ή σε περαιτέρω στάδια (γνωστά ως συστήματα P2G δύο σταδίων) μπορούν να μετατρέψουν το υδρογόνο σε μεθάνιο ή υγραέριο. Υπάρχουν επίσης συστήματα P2G ενός σταδίου για την παραγωγή μεθανίου. Το αέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως χημική πρώτη ύλη ή να μετατραπεί ξανά σε ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας συμβατικές γεννήτριες, όπως αεριοστρόβιλοι.

Η μετατροπή ενέργειας σε αέριο επιτρέπει την αποθήκευση και μεταφορά της ενέργειας από την ηλεκτρική ενέργεια με τη μορφή συμπιεσμένου αερίου, συχνά χρησιμοποιώντας την υπάρχουσα υποδομή για τη μακροπρόθεσμη μεταφορά και αποθήκευση φυσικού αερίου. Η P2G θεωρείται συχνά η πιο υποσχόμενη τεχνολογία για την εποχιακή αποθήκευση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Κάποια παραδείγματα είναι:

✓ Power to Hydrogen (Μετατροπή ενέργειας σε υδρογόνο)

Τα σύγχρονα συστήματα Power to Gas εκκινούν με τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας για τη διάσπαση του νερού σε υδρογόνο και οξυγόνο μέσω ηλεκτρόλυσης. Σε ένα σύστημα "από ενέργεια σε υδρογόνο", το υδρογόνο που προκύπτει χρησιμοποιείται για να διοχετευθεί στο δίκτυο φυσικού αερίου ή χρησιμοποιείται στις μεταφορές ή στη βιομηχανία αντί να χρησιμοποιείται για την παραγωγή άλλου τύπου αερίου.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

✓ Power to methane

Ένα σύστημα μετατροπής ενέργειας σε μεθάνιο συνδυάζει υδρογόνο από ένα σύστημα μετατροπής ενέργειας σε υδρογόνο με διοξείδιο του άνθρακα για την παραγωγή μεθανίου χρησιμοποιώντας μια αντίδραση μεθανοποίησης. Η πρώτη βιομηχανικής κλίμακας μονάδα Power-to-Methane υλοποιήθηκε από την ETOGAS για την Audi AG στο Werlte της Γερμανίας. Η μονάδα με ηλεκτρική ισχύ εισόδου 6 MW χρησιμοποιεί CO₂ από μια μονάδα βιοαερίου αποβλήτων και διαλείπουσα ανανεώσιμη ενέργεια για την παραγωγή συνθετικού φυσικού αερίου (SNG), το οποίο διοχετεύεται απευθείας στο τοπικό δίκτυο φυσικού αερίου.

3.7 Σύγκριση και πλεονεκτήματα των μπαταριών Ιόντων Λιθίου

Όπως προαναφέρθηκε οι μπαταρίες ιόντων λιθίου Li-ion είναι ασφαλής, ανθεκτικές και ενεργειακά πυκνές.

Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες μπαταριών ιόντων λιθίου όπως:

- ✓ NCA (Λιθίου-Νικελίου-Κοβαλτίου-Αλουμινίου/Lithium-Nickel-Cobalt-Aluminum)
- ✓ NMC (Λιθίου-Νικελίου-Μαγγανίου-Κοβαλτίου/Lithium-Nickel-Manganese-Cobalt)
- ✓ LMO (Λιθίου-Μαγγανίου-Οξειδίου /Lithium-Manganese-Oxide)
- ✓ LTO (Λιθίου-Τιτανίου /Lithium Titanate)
- ✓ LFP (Λιθίου-Σιδήρου-Φωσφορικού Άλατος /Lithium-Iron Phosphate)
- ✓ κ.α.

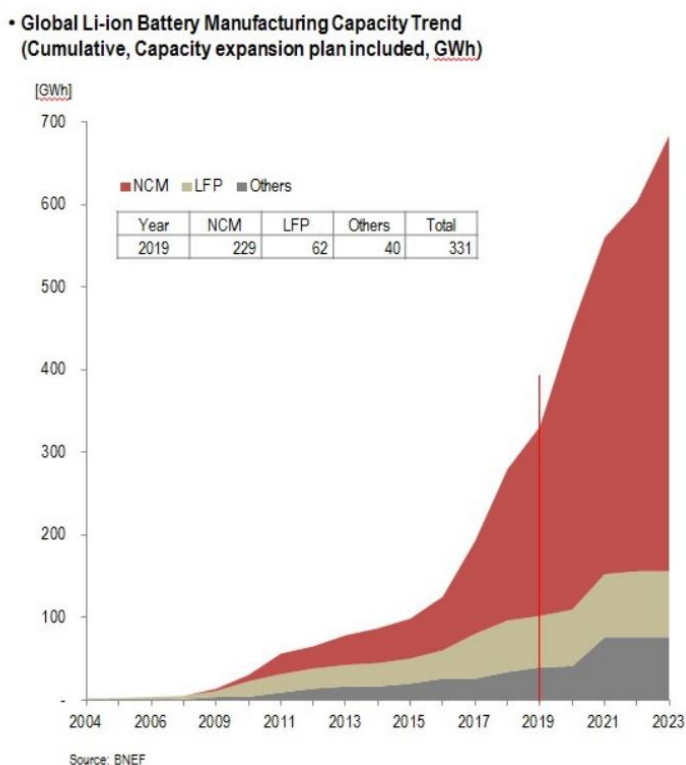
Ωστόσο, εδραιωμένες σήμερα σε μεγάλα συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας είναι οι μπαταρίες ιόντων λιθίου σύνθεσης LFP (δηλαδή λιθίου-σιδήρου-φωσφόρου) και οι μπαταρίες NMC (δηλαδή Νικελίου-Μαγγανίου-Κοβαλτίου) καθώς παρουσιάζουν τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα και εντοπίζονται στις περισσότερες εφαρμογές (ηλεκτρικά οχήματα, συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας).

Συγκεκριμένα, στο πλαίσιο της παγκόσμιας αγοράς μπαταριών, σύμφωνα με το Bloomberg New Energy Finance, η παραγωγική ικανότητα μπαταριών NCM

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

καταλαμβάνει το 69% της συνολικής παραγωγικής ικανότητας μπαταριών ιόντων λιθίου γεγονός που οφείλεται στην υψηλή ενεργειακή πυκνότητα τους.

Στη ακόλουθη εικόνα παρουσιάζεται η χωρητικότητα ανά χημική σύνθεση μπαταριών ιόντων λιθίου από το έτος 2004 μέχρι το έτος 2023.



Εικόνα 9: Παγκόσμια διεύθυνση μπαταριών ιόντων λιθίου από το 2004 μέχρι το 2023

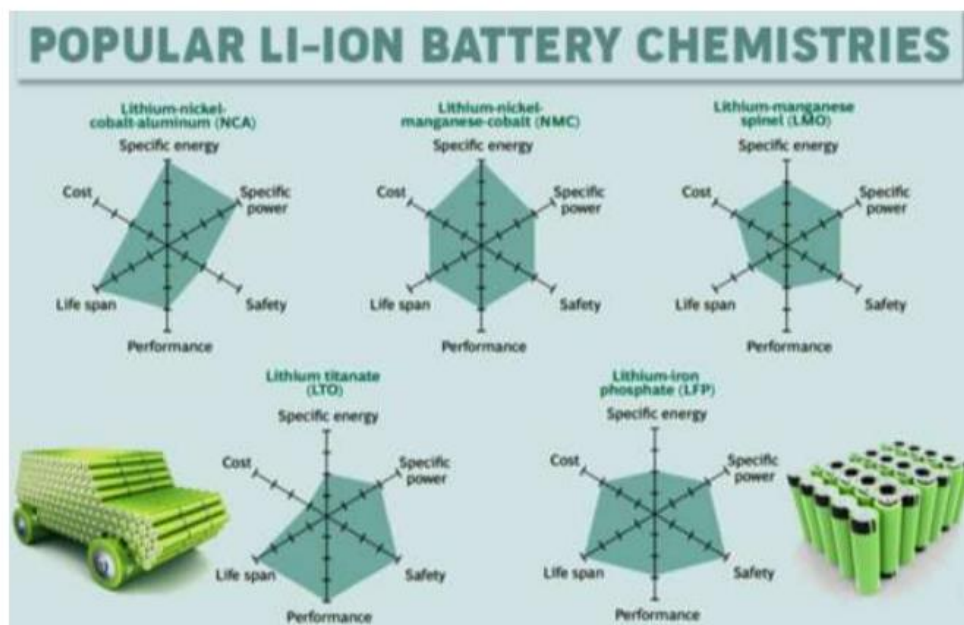
Οι LFP χρησιμοποιούν φωσφορικό λίθιο ως υλικό καθόδου ενώ οι NMC χρησιμοποιούν λίθιο μαγγάνιο και κοβάλτιο ως υλικό καθόδου. Η διαφορετική σύνθεση στο υλικό καθόδου επηρεάζει σημαντικούς παράγοντες όπως το κόστος, η απόδοση και η διάρκεια ζωής. Για παράδειγμα, οι μπαταρίες NMC παρουσιάζουν υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα και είναι γρηγορότερη απόδοση φόρτισης σε συνθήκες κρύου. Ωστόσο είναι πιο ακριβές λόγω του κοβάλτιου και έχουν μικρότερο κύκλο ζωής (περίπου 800) από τις LFP (πάνω από 6000) ενώ παρουσιάζουν υψηλότερο κίνδυνο θερμικής διαφυγής. Επίσης, οι LFP είναι πιο φιλικές προς το περιβάλλον.

Ωστόσο, σε μεγάλα συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας λόγω περιβαλλοντικών συνθηκών αλλά και χαμηλότερου κόστους επιλέγονται συνήθως οι μπαταρίες ιόντων λιθίου σύνθεσης LFP. Η μπαταρία LFP (LiFePo₄ -Λίθιο, Φώσφορος,

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Ψευδάργυρος) προσφέρει εξαιρετική ασφάλεια και μεγάλη διάρκεια ζωής, γεγονός που την καθιστά ιδιαίτερα κατάλληλη για ειδικές εφαρμογές και μεγάλες εγκαταστάσεις που απαιτούν ρεύματα υψηλού φορτίου και αντοχής.

Εν κατακλείδι, στην ακόλουθη εικόνα παρουσιάζονται με μορφή ροδογραμμμάτων τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των διάφορων κατηγοριών μπαταριών ιόντων λιθίου.



Εικόνα 10: Ροδογράμματα πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων των διάφορων χημικών συνθέσεων των μπαταριών ιόντων λιθίου.

Συμπερασματικά οι μπαταρία λιθίου LFP προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα.

Τα βασικά προτερήματα της είναι τα ακόλουθα:

- Υψηλή αποδοτικότητα,
- Υψηλή ενεργειακή πυκνότητα,
- Μειωμένο λειτουργικό κόστος,
- Μεγάλη διάρκεια ζωής σε σύγκριση με άλλων υλικών μπαταρίες,
- Η ενέργεια που απαιτείται για την κατασκευή μπαταριών LFP δεν απαιτεί σημαντικά μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

➤ Η τεχνολογία μπαταρίας LFP είναι ανθεκτική, καλύτερα διαχειρίσιμη και πιο φιλική προς το περιβάλλον σε σχέση με άλλων ειδών τεχνολογίες μπαταριών.

3.8 Τεχνολογικές Καινοτομίες στις τεχνολογίες αποθήκευσης

Όπως παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, ο αριθμός των μελετών, άρθρων, αναφορών αλλά και δημοσιεύσεων στο τομέα της αποθήκευσης ενέργειας αυξάνεται ραγδαία. Ένα μεγάλο μέρος τους στοχεύει στη βελτίωση και εξέλιξη υπάρχουσών τεχνολογιών αποθήκευσης αλλά και στην παρουσίαση καινοτομιών στις υπάρχουσες αλλά και σε πρωτοεμφανιζόμενες τεχνολογίες που υπόσχονται να φέρουν επανάσταση στον τρόπο που αποθηκεύεται και χρησιμοποιείται η ενέργεια σήμερα.

Κάποιες από αυτές τις νέες εξελίξεις εντοπίζονται στον τομέα των μπαταριών και συγκεκριμένα των μπαταριών ιόντων λιθίου που κυριαρχούν στην σημερινή αγορά. Οι έρευνες που πραγματοποιούνται τις μπαταρίες ιόντων λιθίου εστιάζουν στην ανάπτυξη μπαταριών με ακόμη υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, ταχύτερη φόρτιση και χαμηλότερο κόστος. Επίσης, σε μπαταρίες με βάση άλλα μέταλλα, όπως το μαγνήσιο και το ψευδάργυρο, αποτελούν μερικές από τις πιο ελπιδοφόρες τεχνολογίες που βρίσκονται σε εξέλιξη.

Επιπλέον, πολλές έρευνες εστιάζουν στη μέθοδο αποθήκευσης με αντλησιοταμίευση για αποθήκευση ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα. Η έρευνα επικεντρώνεται στην αύξηση της απόδοσης, της ευελιξίας και της ανταπόκρισης των συστημάτων, καθώς και στην ανάπτυξη νέων σχεδιαστικών προσεγγίσεων, όπως η υβριδική αντλησιοταμίευση που συνδυάζει την αντλησιοταμίευση με άλλες τεχνολογίες, όπως οι μπαταρίες με στόχο τη βελτιστοποίηση της απόδοσης αλλά και για ακόμη μεγαλύτερη ευελιξία.

Παράλληλα, η θερμική αποθήκευση διερευνά νέα υλικά και μεθόδους για την αύξηση της ενεργειακής πυκνότητας και τη βελτιστοποίηση της απόδοσης, δίνοντας έμφαση στην ανάπτυξη συστημάτων θερμοχημικής αποθήκευσης που υπόσχονται υψηλή πυκνότητα ενέργειας και μακροχρόνια λειτουργία.

Τέλος, αξιοσημείωτη είναι η εξέλιξη του υδρογόνου όπου η παραγωγή, η αποθήκευση και η χρήση του υδρογόνου ως ενεργειακού φορέα γνωρίζουν σημαντική πρόοδο. Οι έρευνες εστιάζουν στην εύρεση οικονομικότερων και αποδοτικότερων αλλά

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

ταυτόχρονα και βιώσιμων μεθόδων παραγωγής πράσινου υδρογόνου από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, καθώς και σε νέα καινοτόμα υλικά και τεχνολογίες με στόχο την ασφαλή και αποδοτική αποθήκευση και μεταφορά του υδρογόνου.

3.9 Επιπτώσεις της πανδημίας Covid-19 στην αγορά αποθήκευσης ενέργειας

Η πανδημία COVID-19 και ο πόλεμος στην Ουκρανία προκάλεσε σημαντικές αναταραχές στην παγκόσμια οικονομία, επηρεάζοντας και τον τομέα της αποθήκευσης ενέργειας. Οι διαταραχές στην εφοδιαστική αλυσίδα, οι αυξήσεις στις τιμές των πρώτων υλών και η αβεβαιότητα στην αγορά δημιούργησαν προκλήσεις αλλά και ευκαιρίες για τον κλάδο.

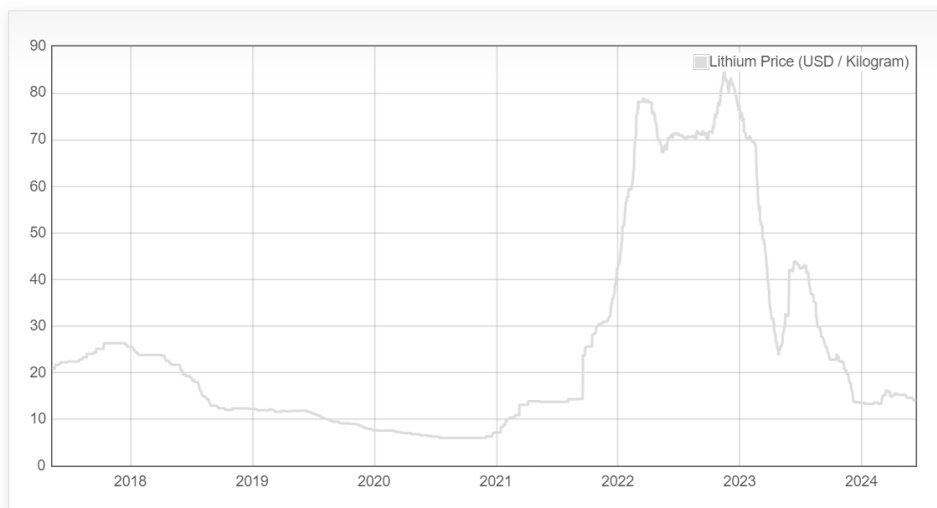
Συγκεκριμένα, η πανδημία και ο πόλεμος οδήγησαν σε σημαντική αύξηση στις τιμές των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή μπαταριών και άλλων συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας. Το λίθιο, το κοβάλτιο, το νικέλιο και το μαγγάνιο είναι μερικά από τα μέταλλα που επηρεάστηκαν περισσότερο.

Αναλυτικότερα όσο αφορά την τιμή του λιθίου παρατηρήθηκε δραματική αύξηση κατά την διάρκεια της πανδημίας. Το γεγονός αυτό οφείλεται σε διάφορους παράγοντες με κυριότερο την αυξημένη ζήτηση. Συγκεκριμένα, κατά την πανδημία προωθούνταν κυβερνητικές πολιτικές για την πράσινη ανάπτυξη και υπήρχε έντονο ενδιαφέρον για βιώσιμες λύσεις με αποτέλεσμα η ζήτηση σε ηλεκτρικά οχήματα και συστήματα αποθήκευσης μεσαίας και μεγάλης κλίμακας να αυξηθεί ραγδαία. Επίσης, οι περιορισμοί στις μετακινήσεις προκάλεσαν έντονες καθυστερήσεις στην παραγωγή και την μεταφορά λιθίου περιορίζοντας την προσφορά και αυξάνοντας τις τιμές. Επίσης, η πανδημία οδήγησε σε αύξηση του κόστους παραγωγής λιθίου, λόγω της αύξησης των τιμών της ενέργειας και των μεταφορικών, καθώς και της έλλειψης εργατικού δυναμικού.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Στο ακόλουθο διάγραμμα παρατηρείται η ραγδαία αύξηση της τιμής του λιθίου κατά τη διάρκεια της πανδημίας.

Lithium Prices for the Last 10 Years



Διάγραμμα 13: Τιμή λιθίου από το 2017 μέχρι σήμερα

Ένα ακόμη συστατικό κατασκευής μπαταριών που επηρεάστηκε σημαντικά από την πανδημία αποτελεί το κοβάλτιο. Η πανδημία προκάλεσε περιορισμούς στην παραγωγή κοβαλτίου σε χώρες που είναι κύριοι παραγωγοί κοβαλτίου παγκοσμίως (π.χ. Κονγκό). Επίσης, η αυξημένη ζήτηση για μπαταρίες με κύριο συστατικό το κοβάλτιο οδήγησε σε αύξηση των τιμών.

Στο ακόλουθο διάγραμμα παρατηρείται η ραγδαία αύξηση της τιμής του κοβαλτίου κατά τη διάρκεια της πανδημίας.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»



Διάγραμμα 14: Τιμή κοβαλτίου από το 2020 μέχρι σήμερα

Εν γένει, η πανδημία COVID-19, σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες, όπως ο πόλεμος στην Ουκρανία, οδήγησε σε σημαντική αύξηση στις τιμές των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή μπαταριών και άλλων συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας με αποτελέσματα να υπάρχει σημαντική επιρροή στην οικονομική βιωσιμότητα αλλά και στα χρονοδιαγράμματα των έργων.

Επίσης, προκάλεσαν σημαντικές διαταραχές στην εφοδιαστική αλυσίδα, με καθυστερήσεις στις παραδόσεις, ελλείψεις σε εξαρτήματα και αυξημένα μεταφορικά κόστη. Αυτό επηρέασε την παραγωγή και την εγκατάσταση συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας, καθυστερώντας την υλοποίηση έργων και αυξάνοντας το κόστος τους.

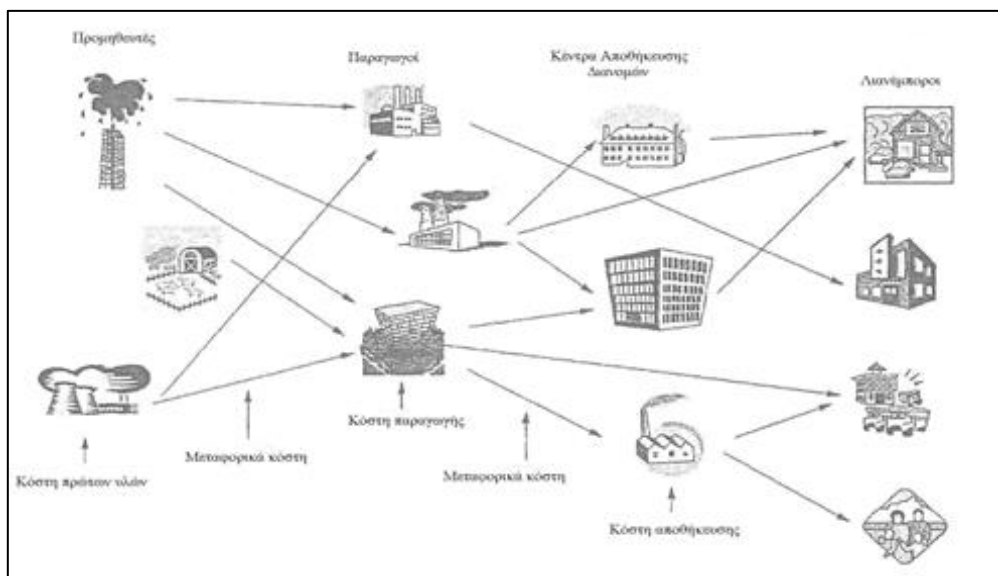
Αναλυτικότερα, οι αναγκαστικοί εγκλεισμοί (Lockdown) και οι απαραίτητοι περιορισμοί στις μετακινήσεις οδήγησαν σε αυξημένη ζήτηση για ποίκιλλα προϊόντα και υπηρεσίες με αποτέλεσμα σημαντικές καθυστερήσεις σε παραδόσεις πρώτων υλών αλλά και εξαρτημάτων και συνιστωσών συστημάτων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας.

Επιπλέον, η διακοπή λειτουργίας και παραγωγής σε συγκεκριμένες περιοχές, παράλληλα με την αυξημένη ζήτηση, ήταν ακόμη ένας παράγοντας που οδήγησε σε σημαντικές ελλείψεις σε κρίσιμα εξαρτήματα, όπως μπαταρίες λιθίου.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Εν κατακλείδι οι διαταραχές και οι επιρροές στην εφοδιαστική αλυσίδα τόσο στον τομέα της αποθήκευσης ενέργειας όσο και σε πολλούς άλλους τομείς λόγω της πανδημίας και του πολέμου είναι ιδιαίτερα σημαντικές.

Γενικότερα, στο ακόλουθο διάγραμμα παρατίθεται μια συνήθης αναπαράσταση της εφοδιαστικής αλυσίδας ως ένα δίκτυο. Όπως φαίνεται η εφοδιαστική αλυσίδα ή δίκτυο εφοδιασμού (Logistics Network) αποτελείται από προμηθευτές, κέντρα παραγωγής, διάφορες μορφές αποθήκευσης του εξοπλισμού, σημεία διανομής ακόμη και σημεία λιανικής πώλησης.



Διάγραμμα 15: Δίκτυο Εφοδιαστικής Αλυσίδας

Οι κόμβοι στο δίκτυο αναπαριστούν επιχειρήσεις (facilities), οι οποίες συνδέονται με βέλη που δηλώνουν μεταφορά φυσικών προϊόντων και υπηρεσιών, και έτσι αποτελούν μια σύντομη περιγραφή της εφοδιαστικής αλυσίδας. Μεταξύ των εγκαταστάσεων του δικτύου ανταλλάσσονται προϊόντα (πρώτες ύλες), προϊόντα υπό εξέλιξη, τελικά προϊόντα (χρηματικές αξίες και πληροφορία). Υπάρχουν δύο κατευθύνσεις ροών, η downstream, (από τους προμηθευτές προς την τελική κατανάλωση) και η upstream, (από την κατανάλωση προς τους προμηθευτές).

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Επίσης εκτός από τις διαταραχές στη παραγωγή και στην εφοδιαστική αλυσίδα, κατά τη διάρκεια της πανδημίας υπήρξε αυξημένη ζήτηση για ενέργεια από ΑΠΕ ενώ ταυτόχρονα σε πολλές χώρες μειώθηκε η κατανάλωση ενέργειας λόγω των περιορισμών στη βιομηχανική παραγωγή. Η ανάγκη για εξισορρόπηση της παραγωγής και της ζήτησης και ο έλεγχος της αστάθειας των ΑΠΕ αύξησε την ανάγκη για ανάπτυξη συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας. Έτσι, η πανδημία κατέδειξε την ανάγκη για αξιοποίηση της εγχώριας παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές, την ενεργειακή ασφάλεια και την απεξαρτοποίηση από εξωτερικές πηγές ενέργειας.

Εκτός από τις σημαντικές επιρροές της πανδημίας στην αγορά αποθήκευσης ενέργειας εξίσου μεγάλης σημασίας ήταν και οι επιπτώσεις του πολέμου στην Ουκρανία, όπου παρουσιάστηκε τεράστια αύξηση των τιμών ενέργειας και ειδικότερα στο τομέα του φυσικού αερίου όπου ένα μεγάλο ποσοστό του φυσικού αερίου εξάγεται από τη Ρωσία προς πολλές ευρωπαϊκές χώρες. Έτσι προκλήθηκε ενεργειακή κρίση και ανάγκη για ενεργειακή μετάβαση προς ΑΠΕ γεγονός που καθιστά την ανάπτυξη συστημάτων αποθήκευσης ιδιαίτερα κρίσιμη.

Παράλληλα, η ενεργειακή κρίση, αβεβαιότητα αλλά και η ανάγκη για μείωση της εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα οδήγησε σε επιτάχυνση της ανάπτυξης συστημάτων και τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας προκειμένου να σταθεροποιούνται τα ηλεκτρικά δίκτυα αλλά και για τον έλεγχο της ισχύος όποτε χρειάζεται.

Επίσης ο πόλεμος, επέφερε αβεβαιότητα ως προς τις πηγές πρώτων υλών για αποθήκευση γεγονός που ώθησε πολλές επιχειρήσεις και επενδυτικούς φορείς σε αναζήτηση εναλλακτικών προμηθευτών με αποτέλεσμα τη μείωση της εξάρτησης από περιοχές με πολιτικές εντάσεις και αστάθεια στις τιμές.

Ωστόσο, παρά τις προαναφερόμενες σημαντικές επιρροές και προκλήσεις, η πανδημία και ο πόλεμος στην Ουκρανία δημιούργησαν εκτός από διαταραχές και ευκαιρίες στον τομέα της αποθήκευσης ενέργειας. Για παράδειγμα, όπως προαναφέρθηκε, η αυξημένη ενεργειακή ανασφάλεια αλλά και η ανάγκη για ενεργειακή ανεξαρτησία οδήγησαν σε μεγαλύτερο ενδιαφέρον για αποθήκευση ενέργειας, ιδιαίτερα σε συνδυασμό με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Επιπλέον, η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και η μείωση του κόστους τους αναμένεται να ενισχύσουν περαιτέρω την υιοθέτηση της αποθήκευσης ενέργειας.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Συμπερασματικά, η πανδημία COVID-19 και ο πόλεμος στην Ουκρανία επηρέασαν σημαντικά τον τομέα της αποθήκευσης ενέργειας ενώ η αύξηση στις τιμές των πρώτων υλών και η αβεβαιότητα στην αγορά έκαναν απαραίτητη την περαιτέρω προσαρμογή αλλά και καινοτομία από τον κλάδο. Οι επιπτώσεις τους ανέδειξαν ότι τα ενεργειακά συστήματα ήταν ιδιαίτερα εύθραυστα και χρειάζονται μεγαλύτερη ικανότητα αποθήκευσης με στόχο την ενεργειακή ασφάλεια και αυτονομία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4– ΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΤΑΘΜΟΥ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

4.1 Ανάγκη Διείσδυσης Σταθμών Αποθήκευσης Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΑΗΕ)

Όπως προαναφέρθηκε, μετά τα αποτελέσματα πολλών ερευνών, στόχος των περισσότερων Εθνών της Ευρώπης αποτελεί η επίτευξη των στόχων που έθεσε το Εθνικό Συνέδριο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) το 2019 για την ταχεία ανάπτυξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας με κυριότερο στόχο μεταξύ άλλων η εγχώρια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ να ξεπερνά το 61% της συνολικής εγχώριας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, για την επίτευξη των στόχων είναι απαραίτητη η διείσδυση των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας αφού συντελούν στη δημιουργία ενός ευέλικτου και αξιόπιστου συστήματος δικτύου καθώς οι ΑΠΕ χαρακτηρίζονται από αβεβαιότητα. Για αυτόν τον λόγο, είναι απαραίτητες οι συνεχείς προσαρμογές στην παραγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος έτσι ώστε να επιτευχθούν σωστές προβλέψεις αναφορικά με την ζήτηση των καταναλωτών.

Ουσιαστικά, όταν η παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ είναι περισσότερη από την κατανάλωση ενέργειας όπως τις πρωινές ώρες που υπάρχει μεγάλη ηλιοφάνεια και οι απαιτήσεις για ρεύμα είναι πολύ μικρότερες από τις βραδινές ώρες, η περισσευούμενη – πλεόνασμα ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τροφοδοσία συστημάτων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Από την άλλη πλευρά, κατά τη διάρκεια της νύχτας όπου τα φωτοβολταϊκά συστήματα δεν λειτουργούν ή τα αιολικά δεν παράγουν ικανοποιητική ποσότητα ηλεκτρικού ρεύματος, η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την προσφορά. Όσο αυξάνεται λοιπόν το ποσοστό χρήσης των ΑΠΕ στο δίκτυο, ελαττώνεται η ευστάθεια του. Με την κατασκευή σταθμών αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, δίνεται η δυνατότητα η περίσσεια ενέργεια που δεν καταναλώνεται, να αποθηκεύεται σε άλλη μορφή. Έτσι το δίκτυο, μπορεί να απορροφήσει μεγάλες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, οι οποίες σε περίπτωση που δεν υπήρχαν οι σταθμοί αποθήκευσης, δεν θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Επιπλέον, τα συστήματα αποθήκευσης συμβάλουν δηλαδή στην παροχή επικουρικών υπηρεσιών ή εφεδρείας ενέργειας οι οποίες διακρίνονται σε:

- ✓ Ρύθμιση της συχνότητας για αυτόνομες μονάδες
- ✓ Έλεγχο της τάσης του δικτύου
- ✓ Επανεκκίνηση του συστήματος
- ✓ Μεταξύ των οφελών της αποθήκευσης ενέργειας στη μεταφορά και διανομή είναι η ευστάθεια του συστήματος.
- ✓ Η αποθήκευση ενέργειας παρέχει επίσης τη δυνατότητα για κάλυψη του δικτύου σε περιπτώσεις διακοπών ρεύματος αλλά και για τη μείωση της παραγόμενης ενέργειας που καταναλώνεται στις ώρες αιχμής, που το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλό.

Τη μεγαλύτερη δυναμική παγκοσμίως έχουν αποκτήσει τα συστήματα αποθήκευσης με συσσωρευτές, καθώς οι σταθμοί αυτοί χαρακτηρίζονται από μεγάλη ταχύτητα απόκρισης, ευκολία εγκατάστασης, χαμηλές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, αλλά και από συνεχώς μειούμενο επενδυτικό κόστος εγκατάστασης και αγοράς εξοπλισμού, όπως θα αναλυθεί σε επόμενο ενότητα.

Η πιο συχνά εφαρμοζόμενη χημική σύνθεση μπαταριών που επιλέγεται σε εγκαταστάσεις μικρής αλλά και μεγάλης κλίμακας είναι οι μπαταρίες λιθίου σύνθεσης LFP.

Επιγραμματικά, οι μπαταρίες σύνθεσης LFP προσφέρουν τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα. Τα βασικότερα είναι τα ακόλουθα:

- ✓ Υψηλή αποδοτικότητα
- ✓ Υψηλή ενεργειακή πυκνότητα Μεγάλη διάρκεια ζωής σε σύγκριση με άλλων υλικών μπαταρίες.
- ✓ Η ενέργεια που απαιτείται για την κατασκευή μπαταριών LFP δεν απαιτεί σημαντικά μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας.
- ✓ Η τεχνολογία μπαταρίας LFP είναι ανθεκτική και,
- ✓ Η τεχνολογία μπαταρίας LFP είναι καλύτερα διαχειρίσιμη και πιο φιλική προς το περιβάλλον σε σχέση με άλλων ειδών τεχνολογίες μπαταριών.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Στις ακόλουθες ενότητες του κεφαλαίου 4 θα παρατεθούν και θα αναλυθούν οι τεχνικές προδιαγραφές ενός συστήματος αποθήκευσης με μπαταρίες ιόντων-λιθίου σύνθεσης LFP, τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους, αλλά και οι συνιστώσες που απαρτίζουν ένα ολοκληρωμένο σύστημα αλλά και ο τρόπος λειτουργίας τους.

4.2 Χαρακτηριστικά Μεγέθη μπαταριών Ιόντων Λιθίου σύνθεσης LFP

4.2.1 Ανάλυση της χημικής σύνθεσης του κύτταρου (cell) μιας μπαταρίας LFP

Σε αυτή την ενότητα θα περιγράψουν τα συνήθη υλικά που απαρτίζουν το κύτταρο ή κελί της μπαταρίας Ιόντων Λιθίου της χημικής σύνθεσης Λιθίου – Φωσφόρου – Σιδήρου (LFP ή LiFePO_4) αλλά και τα χαρακτηριστικά του κυττάρου και του περιβλήματος (case) της.

Αναλυτικότερα, όπως προαναφέρθηκε το κύριο ενεργό υλικό στη μπαταρία LFP είναι ο λιθιοφωσφικός σίδηρος. Η μπαταρία LFP χαρακτηρίζεται από υψηλή ενεργειακή πυκνότητα και μεγάλη διάρκεια ζωής καθώς η σύνθεση αυτή είναι σταθερή χημικά και ασφαλής σε υψηλές θερμοκρασίες. Η σύνθεση LiFePO_4 (λιθιοφωσφικός σίδηρος) αποτελεί το θετικό ηλεκτρόδιο και αναφέρεται στο υλικό που χρησιμοποιείται για την άνοδο και την κάθοδο της μπαταρίας. Η σύνθεση αυτή δεν αποτελεί μόνο τον πυρήνα της τεχνολογίας αλλά και το υλικό που επιτρέπει τη ροή των ιόντων λιθίου μεταξύ των εκτελέσεων ανόδου και καθόδου κατά τη φόρτιση και εκφόρτιση της μπαταρίας.

Ένα ακόμη βασικό υλικό που απαρτίζει μια τυπική μπαταρίας LFP αποτελεί ο άνθρακας ή ο γραφίτης. Τα υλικά αυτά χρησιμοποιούνται ως αρνητικό ηλεκτρόδιο στη μπαταρία LFP. Ο ρόλος τους είναι μεγάλης σημασίας καθώς συντελούν στην αποθήκευση και απελευθέρωση της ενέργειας κατά των διαδικασιών φόρτισης και εκφόρτισης.

Η ένωση των ενεργών υλικών της μπαταρίας με στόχο της διατήρηση της διάταξης αλλά και της σωστής λειτουργίας της γίνεται με το συνδετικό υλικό. Το συνδετικό υλικό αποτελεί ένα ακόμη υλικό με υψηλή αντοχή σε πολλαπλούς κύκλους φόρτισης και εκφόρτισης. Ο τύπος συνδετικού υλικού μπορεί να ποικίλει ανάλογα με την εφαρμογή, το κόστος αλλά και τις απαιτήσεις απόδοσης.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Στις περισσότερες εφαρμογές συναντώνται τα PVDF (πολυμερή ισοπρεπενίου) και το πολυαμίδιο ή νάιλον (polyamide), επειδή παρέχουν σταθερότητα για τους κύκλους ζωής της μπαταρίας. Λιγότερο συχνά χρησιμοποιούμενο συνδετικό υλικό αποτελεί ο πολυεστέρας (polyester), υλικό το οποίο χαρακτηρίζεται από αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες.

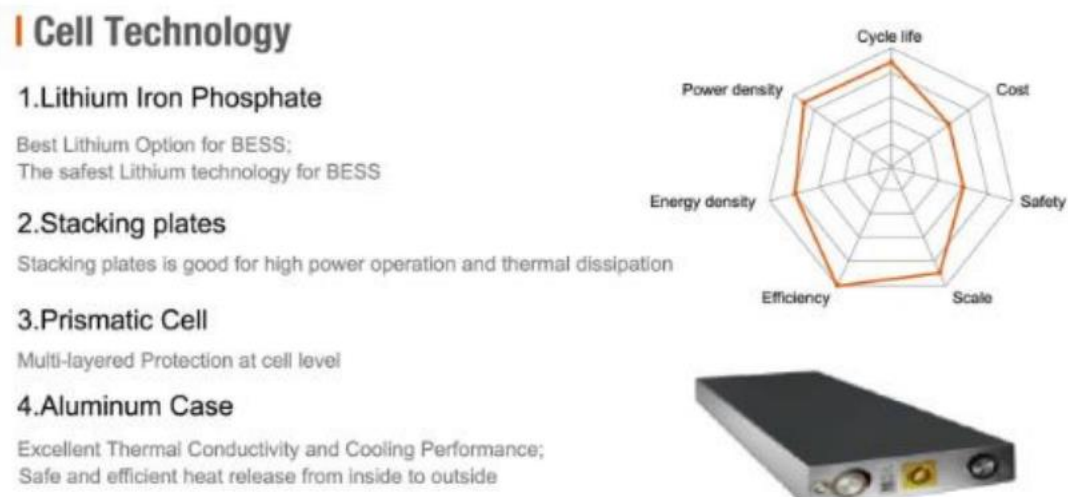
Ιδιαίτερα σημαντικό στοιχείο στη κατασκευή της μπαταρίας αποτελεί το αγώγιμο πλέγμα που θα επιλεγεί, καθώς διαδραματίζει ρόλο υψίστης σημασίας στη μεταφορά του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα στο κελί της μπαταρίας. Υπάρχουν διάφορα υλικά κατασκευής αγώγιμου πλέγματος με πιο διαδεδομένο υλικό τον χαλκό λόγω της υψηλής του αγωγιμότητας αλλά και της διαβρωτικής αντοχής αλλά και το αλουμίνιο λόγω υψηλής αγωγιμότητας και ελαφρότητας ενώ άλλα υλικά κατασκευής αγώγιμου πλέγματος αποτελούν το νικέλιο και το ανοξείδωτο ατσάλι. Το αγώγιμο πλέγμα εκτός από την υψηλή αγωγιμότητα και την σταθερότητα που το χαρακτηρίζει μπορεί να λειτουργήσει και ως μεταφορές θερμότητας γεγονός που συντελεί στην βελτίωση της ψύξης και της απόδοσης της μπαταρίας.

Τέλος, το υλικό που επιτρέπει τη μεταφορά των ιόντων λιθίου από την άνοδο προς της κάθοδο κατά τη φόρτιση αλλά και από την κάθοδο προς την άνοδο κατά την διαδικασία εκφόρτισης είναι ο ηλεκτρολύτης ή ηλεκτρολυτικό υλικό. Ο ηλεκτρολύτης συνήθως έχει τη μορφή ενός ηλεκτρολυτικού διαλύματος ή στερεού ηλεκτρολύτη. Στη μορφή διαλύματος ο ηλεκτρολύτης διαλύεται σε ένα διαλύτη (π.χ. νερό, οργανικά διαλύματα) και έτσι δημιουργείται ένα ηλεκτρολυτικό διάλυμα, συνήθως υγρό που επιτρέπει με ευκολία τη μεταφορά ιόντων λιθίου στο εσωτερικό της μπαταρίας κατά τους κύκλους λειτουργίας της (φόρτισης εκφόρτιση). Αντίθετα, στον στερεό ηλεκτρολύτη χρησιμοποιούνται συνήθως ηλεκτρολυτικά πολυμερή που χαρακτηρίζονται από θερμική σταθερότητα. Όπως είναι λογικό, η στερεά μορφή ελαττώνει τη πιθανότητα διαρροής κατά τη διάρκεια λειτουργίας. Ωστόσο, στην εφαρμογή επιλέγονται συνήθως υγροί ηλεκτρολύτες λόγω της ευκολία χρήσης τους καθώς μπορούν να ενσωματωθούν σε πολλούς τύπους μπαταριών, αλλά και του χαμηλότερου κόστους σε σύγκριση με τα στερεά ηλεκτρολυτικά υλικά.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Εν κατακλείδι, τα ανωτέρω περιγραφόμενα υλικά συνεργάζονται και συντελούν ένα ολοκληρωμένο κύτταρο μπαταριών ιόντων λιθίου σύνθεσης LFP.

Στην ακόλουθη εικόνα παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά ενός κυττάρου μπαταρίας ιόντων λιθίου σύνθεσης LFP.



Εικόνα 11: Χαρακτηριστικά cell technology και απεικόνιση ενός cell.

Αναλυτικότερα, όπως προαναφέρθηκε η σύνθεση LFP (LiFePO_4) αποτελεί τον πυρήνα, το θετικό ηλεκτρόδιο, ουσιαστικά το υλικό ανόδου και καθόδου της μπαταρίας. Η διάταξη πλακών (stacking plates) αναφέρεται στη δομή στο εσωτερικό του κυττάρου, όπου οι θετικές και αρνητικές πλάκες της μπαταρίας συνδέονται μεταξύ τους.

Το πρισματικό κελί αναφέρεται στο σχήμα του κυττάρου όπου τα κύτταρα έχουν πλακίδια που συνδέονται παράλληλα μεταξύ τους. Τέλος, το κελί της μπαταρίας περιβάλλεται από αλουμίνιο, για προστασία και διάχυση της θερμότητας. Τα κελιά της μπαταρίας μπορούν να συνδεθούν σε σειρά ή παράλληλα για να συνθέσουν μια ολοκληρωμένη μπαταρία. Ο τρόπος σύνδεσης των κελιών διαφέρει ανάλογα την κατασκευαστική εταιρεία μπαταριών.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

4.2.2 Χαρακτηριστικά μπαταριών Ιόντων Λιθίου (Li-Ion) σύνθεσης LFP

Κρίσιμο παράγοντα για την κατανόηση του τρόπου λειτουργίας της μπαταρίας είναι η αποσαφήνιση των χαρακτηριστικών και μεγεθών που είναι σημαντικά για την αξιολόγηση και επιλογή των μπαταριών Li-ION LFP.

Τα σημαντικότερα από αυτά τα χαρακτηριστικά μεγέθη αποτελούν:

1. Η ενέργεια ή χωρητικότητα της μπαταρίας (energy/capacity). Πρόκειται για τη συνολική ποσότητα ενέργειας που μπορεί η μπαταρία να αποθηκεύσει κατά τη φόρτιση της αλλά και να απελευθερώσει κατά την εκφόρτιση της. Η ενέργεια ή χωρητικότητα αποτελεί διαφορετικό μέγεθος από την εγκατεστημένη ή ονομαστική ισχύ της μπαταρίας η οποία αφορά το σύνολο της ονομαστικής ισχύος όλων των επιμέρους εγκαταστημένων μπαταριών ενός σταθμού. Για παράδειγμα, μια μπαταρία συνολικής ισχύος 100MW θα μπορούσε να έχει δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας της τάξης των 200MWh.

Μονάδα μέτρησης για τη χωρητικότητα ενέργειας αποτελεί το Wh (βατόριο) ενώ για την ισχύ το Watt (W, βατ).

2. Η απόδοση (efficiency) ή ρυθμός απόδοσης (rate of efficiency %) αναφέρεται στην αποδοτικότητα ή στο ποσοστό αποδοτικότητας της μετατροπής της αποθηκευμένης ενέργειας σε χρήσιμη/ωφέλιμη ενέργεια για το δίκτυο. Η απόδοση διακρίνεται σε απόδοση φόρτισης (rate of charge %), σε απόδοση εκφόρτισης (rate of discharge %) και σε απόδοση πλήρους κύκλου φόρτισης εκφόρτισης (Full circle efficiency %). Τυπικά, οι κατασκευαστικές μπαταριών δίνουν τιμές για απόδοση φόρτισης γύρω στο 96%, για απόδοση εκφόρτισης 96% και για απόδοση πλήρους κύκλου 92%. Όσο μεγαλύτερη είναι η απόδοση φόρτισης ή εκφόρτισης τόσο περισσότερη ενέργεια αποθηκεύεται στη μπαταρία ή εγχέεται στο δίκτυο.
3. Ο ρυθμός αυτοεκφόρτισης που ορίζεται το ποσοστό της απώλειας χωρητικότητας της μπαταρίας με τη πάροδο του χρόνου λόγω των κύκλων που πραγματοποιεί κατά τη λειτουργία της. Τυπικά δίνεται βαθμός αυτοεκφόρτισης της τάξεως του 3% / χρόνο. Ωστόσο, ο βαθμός εκφόρτισης εξαρτάται από τους κύκλους φόρτισης/εκφόρτισης που έχει επιλεγεί ως τρόπος λειτουργίας της μπαταρίας δηλαδή 1H, 2H ή 4H. Σημειώνεται ότι για να είναι μια μπαταρία

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

αποδοτική θα πρέπει ο ρυθμός απόδοσης να είναι άνω του 60%. Για αυτό το λόγο πολλές φορές κατά το 10-12 έτος λειτουργίας ενός σταθμού αποθήκευσης ο εξοπλισμός των μπαταριών αντικαθίστανται με νέο για την αναπλήρωση της χαμένης απόδοσης ή ακόμη προστίθενται νέες μπαταρίες προκειμένου να υπάρχει αναπλήρωση της χαμένης ενέργειας και η μπαταρία να λειτουργεί όπως θα λειτουργούσε κατά τα αρχικά έτη (BOL – Begin of Life).

4. Η ειδική πυκνότητα ενέργειας της μπαταρίας αντικατοπτρίζει την ποσότητα ενέργειας που μπορεί να αποθηκεύσει η μπαταρία ανά μονάδα βάρους. Μονάδα μέτρησης (Wh/kg). Αποτελεί κρίσιμο χαρακτηριστικό καθώς επηρεάζει το μέγεθος και την αυτονομία της μπαταρίας. Μεγαλύτερη πυκνότητα ενέργειας σημαίνει ότι μπορεί να αποθηκευτεί περισσότερη ενέργεια σε μικρότερο βάρος. Για τις μπαταρίας Li-ION οι τιμές της ειδικής ενεργειακής πυκνότητας κυμαίνονται από 100 έως 250 Wh/kg.
5. Η Διάρκεια ζωής (Battery Life) των μπαταριών ορίζεται συνήθως ως ο αριθμός των κύκλων φόρτισης και εκφόρτισης της μπαταρίας πριν η απόδοση της μειωθεί τόσο όσο η μπαταρία να μην είναι αποδοτική. Όπως προαναφέρθηκε, με τη πάροδο του χρόνου μετά από ένα μέγεθος αριθμού πλήρων κύκλων της μπαταρίας ο ρυθμός απόδοσης της μειώνεται σε σημείο που η μπαταρία πλέον δεν είναι αποδοτική. Ωστόσο, σημαντικό παράγοντα στη διάρκεια ζωής της μπαταρίας αποτελεί η επιλογή του βαθμού εκφόρτισης - DOD (depth of discharge), ο οποίος υποδεικνύει το ποσοστό της μπαταρίας που έχει αποφορτιστεί σε σχέση με τη συνολική χωρητικότητα της μπαταρίας. Για παράδειγμα, αν μία μπαταρία έχει χωρητικότητα 10kWh και αποφορτίζει κατά το κύκλο εκφόρτισης 9KWh τότε το ποσοστό DOD είναι 90%. Η αυτό-εκφόρτιση επηρεάζει τη διάρκεια της ζωής μιας σύγχρονης μπαταρίας Li-ion. Ο πολλαπλασιασμός του χρόνου ζωής της μπαταρίας (στο βάθος του κύκλου) επί την χωρητικότητα δίνει τη συνολική ενέργεια που παράχθηκε κατά τη διάρκεια της ζωής της.
6. Χαρακτηριστικό επίσης μέγεθος ενός συσσωρευτή αποτελεί και το SOC - βαθμός φόρτισης (state of charge). Στην πραγματικότητα το SOC είναι ακριβώς το αντίθετο από το DOD (depth of discharge). Δηλαδή, όταν το DOD είναι στο

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

100%, το SOC είναι στο 0%. όταν το DoD είναι στο 40%, το SoC είναι στο 60%.

7. Ένα ακόμη χαρακτηριστικό μέγεθος για τη λειτουργία της μπαταρίας αποτελεί το C-Rate, ένας όρος που αναφέρεται στο ποσοστό φόρτισης ή εκφόρτισης της μπαταρίας σε σχέση με την χωρητικότητα της. Για παράδειγμα, C-Rate ίσο με 1 σημαίνει ότι η μπαταρία θα φορτίζεται ή θα εκφορτίζεται σε μία ώρα δηλαδή αν μια μπαταρία έχει χωρητικότητα 100MWh με C-Rate = 1C θα αποδίδει 100MW σε μία ώρα.

Στην ακόλουθη εικόνα παρατίθεται οι βασικές αντιστοιχίες C rating και χρόνου.

| C Rating | Time |
|----------------------|----------|
| 30C | 2 mins |
| 20C | 3 mins |
| 10C | 6 mins |
| 5C | 12 mins |
| 2C | 30 mins |
| 1C | 1 hour |
| 0.5C or C/2 | 2 hours |
| 0.2C or C/5 | 5 hours |
| 0.1C or C/10 | 10 hours |
| 0.05C or C/20 | 20 hours |

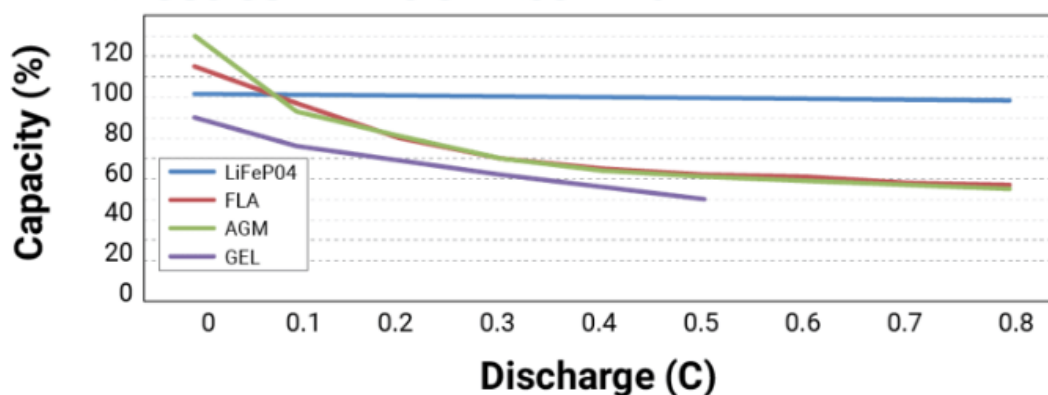
Εικόνα 12: Αντιστοιχία C rating και χρόνου. [26]

Όπως παρουσιάζεται ακολούθως οι μπαταρίες ιόντων λιθίου σύνθεσης LiFePo4 μπορούν να αντιμετωπίσουν πολύ μεγαλύτερες αποφόρτισης C-Rate σε σχέση με άλλες συνθέσεις μπαταριών.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

CAPACITY OF LiFePO4 vs. LEAD ACID AT VARIOUS CURRENTS OF DISCHARGE

POWERPSONIC
TRUSTED SAFETY SOLUTIONS



Εικόνα 13: Σύγκριση ποσοστιαίας χωρητικότητας – σε διάφορα στάδια αποφόρτισης μπαταριών LiFePO4 με άλλες συνθέσεις. [26]

Υπάρχουν και άλλοι ιδιαίτερα σημαντικοί παράγοντες για την επιλογή της κατάλληλης μπαταρίας LFP όπως η διαχείριση και η συντήρηση, το κόστος, η ασφάλεια αλλά και η περιβαλλοντική επίδραση. Το κόστος αναφέρεται στην αρχική αγοραστική τιμή αλλά και στο συνολικό κόστος του εξοπλισμού καθόλη τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας (περίπου 20 έτη). Ωστόσο, το κόστος μεταβάλλεται και από όλους παράγοντες οι οποίοι πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν, όπως η διαμόρφωση του εδάφους αλλά και η ηλεκτρική διασύνδεση του σταθμού αποθήκευσης με μπαταρίες με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

Επίσης σημαντικό ρόλο έχουν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των μπαταριών στο περιβάλλον. Η σύνθεση της μπαταρίας LFP είναι ιδιαίτερα φιλική προς το περιβάλλον λόγω και του λιθίου αλλά και λόγω του μεγέθους τους. Για αυτό το λόγο επιλέγονται κατά κόρον σε εφαρμογές μεγάλης ισχύος και σε περιοχές που γειτνιάζουν με έντονη βλάστηση. Ωστόσο, τόσο οι κατασκευαστικές εταιρείες μπαταριών αλλά και οι φορείς των μπαταριών οφείλουν να λαμβάνουν τα προβλεπόμενα μέτρα ασφαλείας (π.χ. θερμική διαχείριση) προκειμένου το ενδεχόμενο της οποιας περιβαλλοντικής βλάβης να μηδενιστεί.

Τέλος, στην επιλογή της κατάλληλης μπαταρίας θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν και η ευκολία εγκατάστασης και συντήρησης, γεγονός που στη περίπτωση των μπαταριών

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

ιόντων λιθίου LFP είναι ιδιαίτερα εύκολο διότι οι μπαταρίες βρίσκονται εντός τυπικών κοντέινερ.

Όλα τα ανωτέρω χαρακτηριστικά και μεγέθη χρησιμοποιούνται για να αξιολογηθεί και να επιλεγεί η κατάλληλη μπαταρία ιόντων λιθίου LFP για συγκεκριμένες εφαρμογές και χρήσεις.

4.2.3 Συνιστώσες ολοκληρωμένου συστήματος αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες Li-Ion LFP.

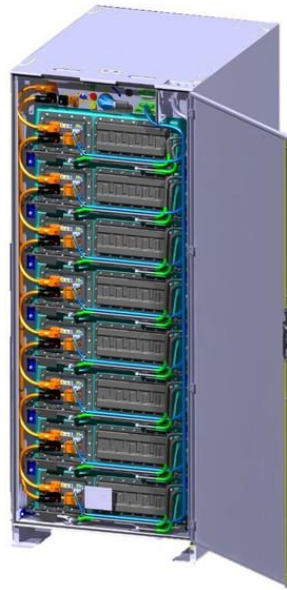
Οι μπαταρίες λιθίου-φωσφορικού σιδήρου (LiFePO₄ ή LFP) χρησιμοποιούνται ευρέως λόγω της αυξημένης ασφάλειας, της μακράς διάρκειας ζωής και της σταθερότητας θερμοκρασίας καθώς και λόγω της υψηλής θερμική σταθερότητα, χαμηλός κίνδυνος ανάφλεξης και της μεγάλης διάρκειας ζωής.

Συνήθως, ο σχεδιασμός των μπαταριών υπόκειται σε συγκεκριμένες προδιαγραφές και κανονισμούς όπως για παράδειγμα UN 38.3 , UN 3481, UN 3091, UL 1642, IEC 62619 που καλύπτουν τις μη επαναφορτιζόμενες αλλά και τις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες ιόντων λιθίου.

4.2.3.1 Συστοιχία μπαταριών (*battery rack*)

Οι συστοιχίες μπαταριών (*battery racks*) συνδυάζουν πολλές μονάδες μπαταρίας (*battery cells*) για αυξημένη χωρητικότητα και ευκολότερη διαχείριση. Οι συστοιχίες μπαταριών προσαρμόζονται σε ράφια για αποτελεσματική χρήση χώρου και διαχείριση θερμότητας. Κατά βάση οι μονάδες μπαταριών περιέχουν ένα σύστημα ελέγχου της μπαταρίας (*battery management system / BMS*) που διασφαλίζει τη σωστή λειτουργία τις κάθε συστοιχίας μπαταριών.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»



Εικόνα 14: Ενδεικτική Απεικόνιση μιας συστοιχία μπαταριών ιόντων λιθίου [39]

4..2.3.2 Κοντέινερ Μπαταρίας Ιόντων Λιθίου

Οι συστοιχίες μπαταριών ιόντων λιθίου φιλοξενούνται και προστατεύονται σε μια δομή που ονομάζεται κοντέινερ μπαταριών (battery container). Το κοντέινερ μπαταρίας είναι συνήθως κατασκευασμένο αλουμίνιο ή χάλυβα ή ενισχυμένο με πλαστικό προκειμένου να προσφέρει υψηλή αντοχή και προστασία. Είναι κατασκευασμένο έτσι ώστε να αντέχει σε διάφορες περιβαλλοντικές συνθήκες όπως ακραίες θερμοκρασίας, υγρασία κλπ.

Η ασφάλεια είναι ύψιστης σημασίας στον σχεδιασμό των κοντέινερ για αυτό συνήθως περιλαμβάνουν προστατευτικές λειτουργίες όπως πυροπροστασία με σύστημα πυρόσβεσης και ανίχνευσης καπνού καθώς και συστήματα κλιματισμού και αερισμού για θερμική διαχείριση και αποφυγή υπερθέρμανσης αλλά και ηλεκτρική μόνωση ώστε να εξασφαλίζεται ότι δεν υπάρχουν βραχυκυκλώματα ή διαρροές.

Επίσης τα κοντέινερ είναι εξοπλισμένο με συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου που επιτρέπουν τη διαχείριση και την εποπτεία των συνθηκών λειτουργίας των μπαταριών που περιλαμβάνουν.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Βασικές λειτουργίες των συστημάτων αυτών αποτελούν:

- ✓ Παρακολούθηση τάσης, ρεύματος, θερμοκρασίας, και κατάστασης φόρτισης (state of charge /SOC) κάθε μονάδας μπαταρίας.
- ✓ Ισορροπία των μονάδων μπαταριών για βέλτιστη απόδοση.
- ✓ Ασφάλεια, αποτρέποντας υπερφόρτιση και βαθιά εκφόρτιση.
- ✓ Επικοινωνία με Ενσωμάτωση συστημάτων παρακολούθησης και διαχείρισης ενέργειας, καθώς και με διεπαφές για απομακρυσμένη παρακολούθηση και έλεγχο αλλά και με συναγερμούς διάγνωσης βλάβης και καταγραφής ιστορικών γεγονότων.

Στην ακόλουθη εικόνα παρατίθεται η τομή ενός τυπικού κοντέινερ μπαταριών.



Εικόνα 15: Τομή ενός τυπικού κοντέινερ μπαταριών [27]

Συνοψίζοντας, τα κοντέινερ μπαταρίας είναι ιδιαίτερα σημαντικά για την ασφάλεια, την απόδοση και τη μακροζωία ενός συστήματος αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες ιόντων λιθίου καθώς εξασφαλίζουν την ασφαλή λειτουργία των μπαταριών, και επιτρέπουν την ευέλικτη αναβάθμιση και διαχείριση του συστήματος.

4.2.3.3 Αναγωγή από το κελί μέχρι τη σύνδεση στο ηλεκτρικό δίκτυο

Όπως προαναφέρθηκε το κελί αποτελεί τη βασική μονάδα αποθήκευσης ενέργειας ενώ πολλαπλά κελιά συνδέονται σε σειρά ή παράλληλα για να σχηματίσουν μια συστοιχία

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

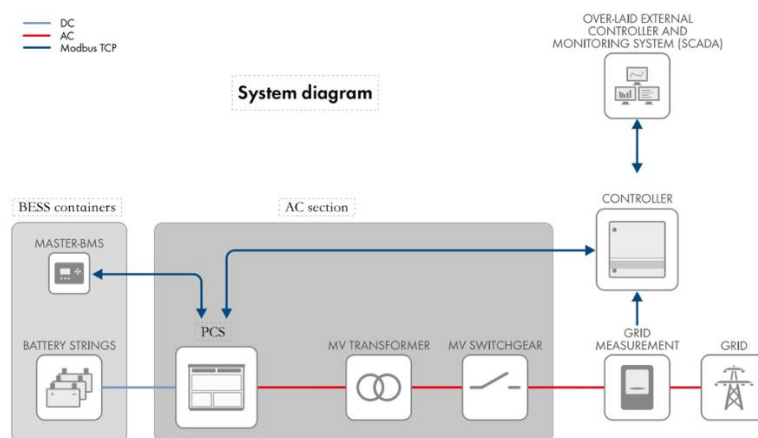
κελιών. Πολλαπλές συστοιχίες κελιών παρέχουν μια οργανωμένη και ασφαλή δομή ενώ ενδεχομένως περιλαμβάνουν και συστήματα ψύξης, αισθητήριες αλλά και άλλες απαραίτητες υποδομές για τη παρακολούθηση και διαχείριση της θερμοκρασίας, τάσης, κατάσταση φόρτισης του κάθε κελιού.

Οι συστοιχίες τοποθετούνται μέσα σε ένα κοντέινερ το οποίο τους παρέχει ασφάλεια και προστασία από περιβαλλοντικούς παράγοντες και άλλες ζημιές ενώ περιλαμβάνουν επιπλέον συστήματα ελέγχου και διαχείρισης.

Στη συνέχεια, τα κοντέινερ συνδέονται με καλώδια χαμηλής τάσης με κατάλληλους μετατροπείς ισχύος (inverters) που μετατρέπουν το συνεχές ρεύμα (DC) που παράγεται από τις μπαταρίες σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC). Το εναλλασσόμενο ρεύμα χαμηλής τάσης μεταφέρεται από τους μετατροπείς στους μετασχηματιστές ανύψωσης (step up transformers) μέσω καλωδίων κατάλληλης διατομής.

Οι μετασχηματιστές ανύψωσης αυξάνουν την τάση σε κατάλληλα επίπεδα (συνήθως μέση τάση) μια διαδικασία που είναι απαραίτητη για να μεταφερθεί αποτελεσματικά η ενέργεια σε μεγάλες αποστάσεις.

Περνώντας από διάφορα συστήματα προστασίας και απομόνωσης (διακόπτες μέσης τάσης, ασφάλειες, γείωση και αντικεραυνικής προστασία) το σύστημα συνδέεται με το ηλεκτρικό δίκτυο της χώρας μέσω κάποιου υποσταθμού που γειτνιάζει με την περιοχή που λαμβάνει χώρα το σύστημα αποθήκευσης. Αυτό περιλαμβάνει τη διασύνδεση με το δίκτυο διανομής.



Εικόνα 16: Απεικόνιση ενός ολοκληρωμένου συστήματος αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας συμπεριλαμβανομένων των συνδέσεων DC, AC.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Συνοψίζοντας, τα στοιχεία της μπαταρίας (κελιά, συστοιχίες κελιών) τα οποία συνδέονται καταλλήλως για την κατασκευή συστημάτων μεγαλύτερης χωρητικότητας (συγκεκριμένο αριθμό κοντέινερ ώστε να επιτυγχάνεται η προσδοκώμενη χωρητικότητα), συνδέονται μέσω καλωδίων στο σύστημα μετατροπής ισχύος (PCS, Power Convert System) και σε άλλες συσκευές μέτρησης και ελέγχου (controller, external controller, scada), ώστε να αποτελέσουν ένα ανεξάρτητο σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να συνδεθεί στο δίκτυο. Η μονάδα είναι πλήρως αυτοματοποιημένη και μπορεί να λειτουργήσει χωρίς προσωπικό ή με απομακρυσμένο έλεγχο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΣΤΑΘΜΟΥ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

5.1 Ανάλυση των Κεφαλαιουχικών Δαπανών (CapEx) ενός σταθμού αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας με μπαταρίες Ιόντων – Λιθίου στην Ελλάδα.

Με τον όρο CapEx (Capital Expendure – Κεφαλαιουχικές Δαπάνες) αντιπροσωπεύονται τα κεφάλαια που χρησιμοποιεί μια εταιρεία ή επενδυτικός φορέας για να αποκτήσει, αναβαθμίσει, εγκαταστήσει, κατασκευάσει ή διατηρήσει υλικά περιουσιακά στοιχεία όπως κτίρια, εξοπλισμό ή τεχνολογία. Οι κεφαλαιουχικές δαπάνες συχνά χρησιμοποιούνται σε μακροπρόθεσμες επενδύσεις και αντιπαραβάλλονται με τις λειτουργικές δαπάνες (OpEx – operation expenditures).

Οι κεφαλαιουχικές δαπάνες (CapEx) μπορεί να είναι μια εφάπαξ δαπάνη (π.χ. αγορά γης) ή να συσσωρεύονται με την πάροδο του χρόνου ως μέρος ενός έργου (π.χ. ανάπτυξη ενός κτιρίου σε αυτή τη γη). Οι κεφαλαιουχικές δαπάνες συχνά χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της λειτουργικής αποδοτικότητας, την αύξηση των εσόδων μακροπρόθεσμα ή για την πραγματοποίηση βελτιώσεων στα υπάρχοντα περιουσιακά στοιχεία μιας εταιρείας. [14].

Σε ένα σταθμό αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας οι κεφαλαιουχικές δαπάνες αντιπροσωπεύουν τις επενδύσεις που απαιτούνται για την αγορά, την εγκατάσταση, της συντήρηση του εξοπλισμού, τις υποδομές ηλεκτρικού, δικτύου, τις υποδομές οδικού δικτύου για τη μεταφορά του εξοπλισμού, την αδειοδότηση του σταθμού.

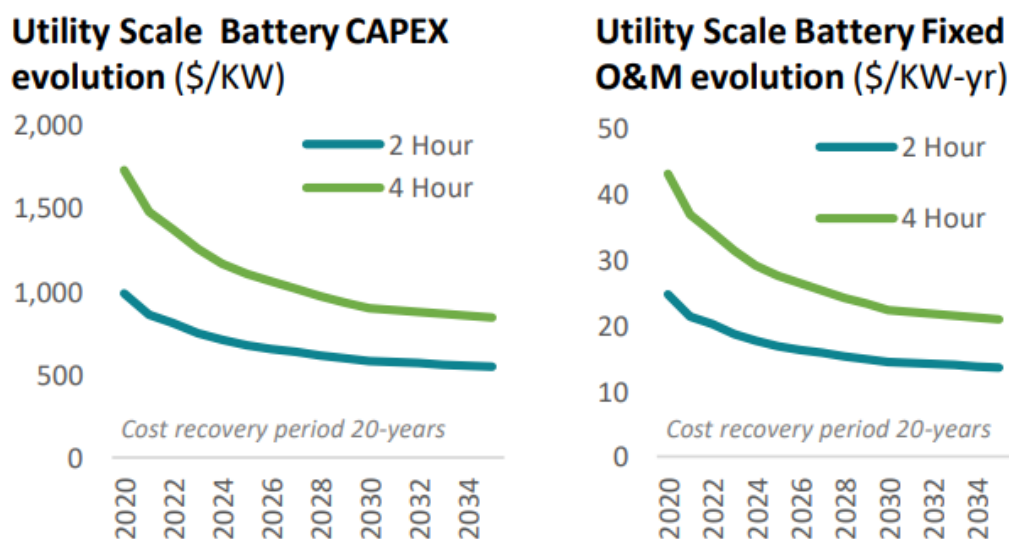
Όπως λοιπόν είναι φανερό το κόστος των κεφαλαιουχικών δαπανών (CapEx) για ένα σταθμό αποθήκευσης με μπαταρίες ιόντων λιθίου μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με πολλούς παράγοντες όπως για παράδειγμα η τρέχουσα τιμή αγοράς μπαταριών (τιμή λιθίου), το μέγεθος του έργου (μεγάλη ή μικρή εγκατεστημένη ισχύς), η τοποθεσία του γεωγραφικά, αν έχει πρόσβαση στο οδικό δίκτυο της περιοχής αλλά και άλλες ειδικές απαιτήσεις της εκάστοτε εγκατάστασης.

Τόσο διεθνώς όσο και στην Ελλάδα, διακεκριμένες εταιρείες ανάλυσης όπως National Renewable Energy Laboratory, η Bloomberg NEF και η Aurora αλλά και

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

δημοσιογραφικά site όπως το Energy Press δημοσιεύουν μελέτες και δεδομένα με τις διακυμάνσεις των τιμών στην αγορά αποθήκευσης ενέργειας.

Σύμφωνα με πρόσφατη ανάρτηση της National Renewable Energy Laboratory – NREL στα ακόλουθα δύο διαγράμματα παρατίθεται η πρόβλεψη της εξέλιξης των τιμών κεφαλαιουχικών δαπανών αλλά και των λειτουργικών δαπανών ενός σταθμού αποθήκευσης για χρονική διάρκεια 15 ετών (2020 – 2034). Παρατηρείται λοιπόν ότι προβλέπεται να μειωθεί εκθετικά το ύψος των εν λόγω κεφαλαιουχικών δαπανών την επόμενη δεκαετία.



Διάγραμμα 16: Διάγραμμα εκθετικής μείωσης Capex Battery & Fixed Operation and Management [40]

Τόσο σύμφωνα με τα ανωτέρω όσο και με το μεγαλύτερο μέρος των πηγών που συλλέχθηκαν και εξετάστηκαν κατά το τρέχον έτος, η τιμή του συνόλου των κεφαλαιουχικών δαπανών για την εγκατάσταση ενός σταθμού αποθήκευσης με μπαταρίες ιόντων λιθίου στην Ελλάδα εκτιμάται περίπου στα 500.000 ευρώ ανά μεγαβάτ εγκατεστημένης ισχύος.

Για παράδειγμα, οι κεφαλαιουχικές δαπάνες ενός σταθμού αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας εγκατεστημένης ισχύος 100MW (κλίμακας δικτύου / utility scale) υπολογίζονται περίπου 50.000.000 ευρώ.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Στις εν λόγω κεφαλαιουχικές δαπάνες περιλαμβάνεται εκτός από το κόστος των μπαταριών, των μετατροπέων, των συστημάτων διαχείρισης μπαταριών (BMS), των συστημάτων πυρασφάλειας και ψύξης, των κτιριακών εγκαταστάσεων, των εργασιών πολιτικού μηχανικού και της σύνδεσης στο δίκτυο και το κόστος αγοράς νέων μπαταριών κατά το 10-12 έτος λειτουργίας του σταθμού λόγω της χαμμένης αποδοτικότητας από τους κύκλους φόρτισης και εκφόρτισης.

Για την ανάλυση και κατανομή του ανωτέρω κόστους κεφαλαιουχικών δαπανών ο πίνακας 1 παρουσιάζει την ταξινόμηση των δαπανών σε επιμέρους βασικές κατηγορίες εξοπλισμού, συνόδων έργων και αδειοδότησης του σταθμού.

Συγκεκριμένα, ο εν λόγω πίνακας παραθέτει ενδεικτικά το ποσοστό επί του συνόλου των δαπανών για κάθε κατηγορία καθώς και το αντίστοιχο κόστος σε ευρώ για τη επένδυση της τάξης των περίπου 500 χιλιάδων ευρώ ανά μεγαβάτ.

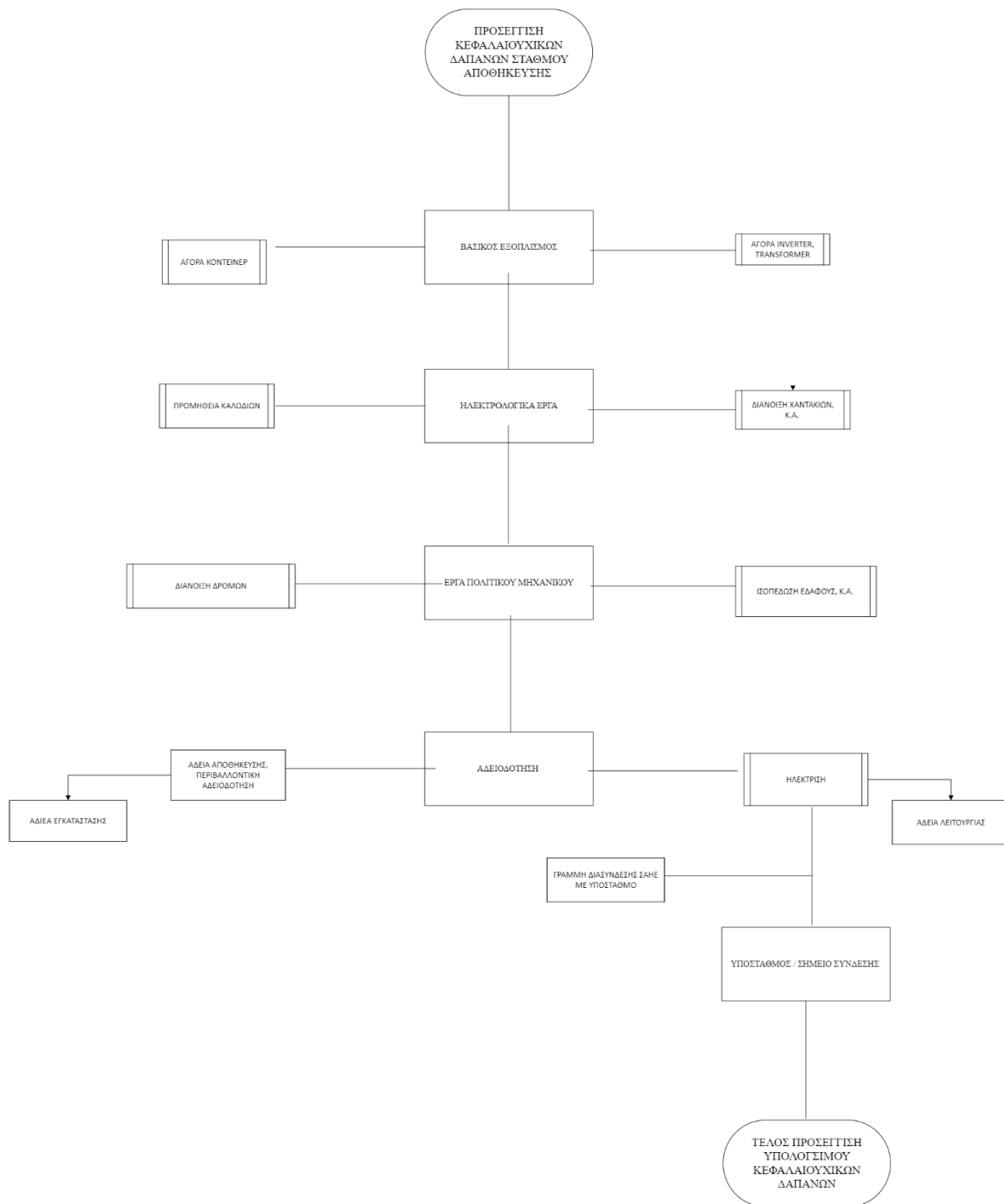
**«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ
ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»**

| ΒΑΣΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ | | | |
|-------------------------------------|--------------------------------|----------------------|------------------|
| ΕΙΔΟΣ | ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΠΙ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΟΥ | ΚΟΣΤΟΣ EUR/MW | ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ |
| ΚΟΝΤΕΙΝΕΡ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ | 45% | 225.000-270.000 | 247.500 |
| ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ ΧΤ/ΜΤ | 10% | 50.000-60.000 | 55.000 |
| ΣΡ/ΣΡ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ | 10% | 50.000-60.000 | 55.000 |
| ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΩΝ | 2% | 10.000-12.000 | 11.000 |
| ΚΛΕΙΣΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΚΑΜΕΡΩΝ CCTV | 3% | 15.000-18.000 | 16.500 |
| ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ SCADA | 2% | 10.000-12.000 | 11.000 |
| ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΑ ΕΡΓΑ | | | |
| ΕΙΔΟΣ | ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΠΙ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΟΥ | ΚΟΣΤΟΣ EUR/MW | ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ |
| DC ΧΤ ΚΑΛΩΔΙΑ | 10% | 50.000-60.000 | 55.000 |
| AC ΧΤ ΚΑΛΩΔΙΑ | | | |
| AC ΜΤ ΚΑΛΩΔΙΑ | | | |
| ΚΑΛΩΔΙΑ ΓΕΙΩΣΗΣ | | | |
| ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΚΑΛΩΔΙΩΝ / ΚΑΝΑΛΙΑ | | | |
| ΕΡΓΑ ΠΟΛΙΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ | | | |
| ΕΙΔΟΣ | ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΠΙ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΟΥ | ΚΟΣΤΟΣ EUR/MW | ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ |
| ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΙΣΟΠΕΔΩΣΗ ΓΗΣ | 15% | 75.000-90.000 | 82.500 |
| ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ | | | |
| ΔΡΟΜΟΙ | | | |
| ΧΑΝΤΑΚΙΑ | | | |
| ΤΑΦΡΟΙ | | | |
| ΠΕΡΙΦΡΑΞΗ | | | |
| ΘΕΜΕΛΙΑ ΚΟΝΤΕΙΝΕΡ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ | | | |
| ΘΕΜΕΛΙΑ ΛΟΠΙΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ | | | |
| ΑΔΕΙΟΔΟΤΗΣΗ ΕΡΓΟΥ | | | |
| ΑΔΕΙΟΔΟΤΗΣΗ ΕΡΓΟΥ | 3% | | 16.500 |
| ΣΥΝΟΛΟ | | | |
| ΣΥΝΟΛΟ | 100% | 400.000-600.000 | 500.000 |

Πίνακας 1: Κατανομή Κεφαλαιουχικών Δαπανών για την εγκατάσταση και αδειοδότηση ενός σταθμού αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας με μπαταρίες ιόντων λιθίου στην Ελλάδα

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Ακολουθως παρατίθεται ένα ενδεικτικό διάγραμμα σύνδεσης χρονικής αλληλουχίας όλων των κεφαλαιουχικών δαπανών του σταθμού.



Διάγραμμα 17: Διάγραμμα ροής καταμερισμού κεφαλαιουχικών δαπανών

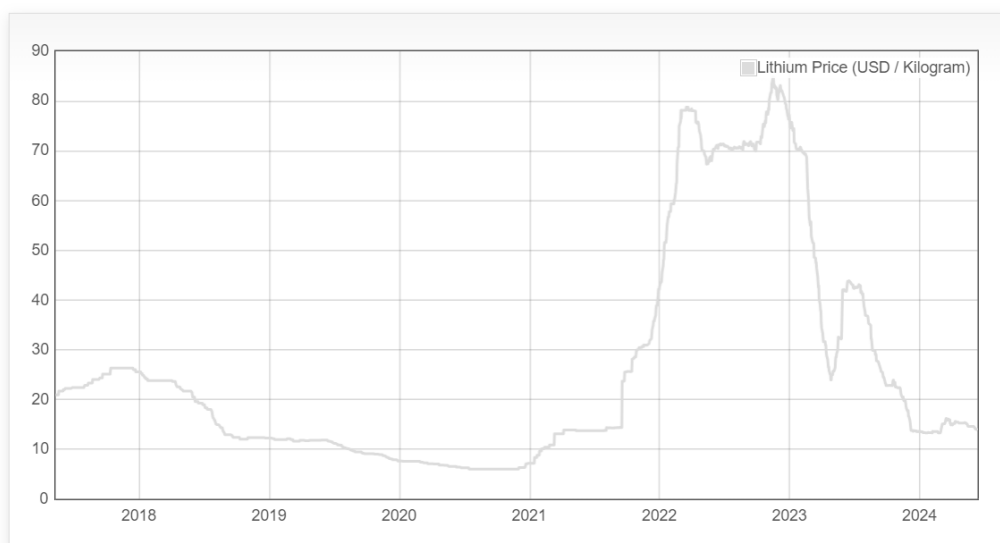
«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Ωστόσο, οι εκτιμήσεις του παραπάνω πίνακα δεν είναι δυνατό να είναι ακριβείς αλλά μόνο να προσεγγιστούν σε ένα βαθμό με βάσει τη σημερινά δεδομένα καθώς μπορούν να επηρεαστούν από ποικίλους παράγοντες όπως οι τιμές τις αγοράς, αλλά και οι τοπικές συνθήκες και απαιτήσεις του έργου (π.χ. δυσχέρεια σύνδεσης με το δίκτυο, έλλειψη οδικού δικτύου). Ειδικότερα, το κόστος των υλικών και της γης μπορεί να διαφέρει ανάλογα με την τοποθεσία αλλά και το κόστος σύνδεσης στο δίκτυο μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με την απόσταση από το σημείο σύνδεσης και τις απαιτήσεις του. Επίσης, το κόστος των μπαταριών ποικίλλει ανάλογα με τη χημεία, την ενεργειακή πυκνότητα και τη διάρκεια ζωής τους αλλά και τις τρέχουσες πολιτικές κοινωνικές και οικονομικές εξελίξεις.

Για παράδειγμα, αν λάβουμε υπόψιν την τιμή του λιθίου κατά το τρέχον έτος (ακόλουθα διαγράμματα) είναι σημαντικά μειωμένη σε σχέση με τα 3 τελευταία χρόνια. Συμπερασματικά οι συνολικές κεφαλαιουχικές δαπάνες ενός σταθμού κατά το έτος 2024 θα είναι σημαντικά μειωμένες σε σχέση με το 2022 ή το 2023 λόγω του μειωμένου κόστους στην αγορά εξοπλισμού που αποτελεί το πιο κρίσιμο παράγοντα στις συνολικές δαπάνες (ποσοστό 45% στο πίνακα καταμερισμού του CaPex).

Ακολούθως παρατίθεται διάγραμμα διακύμανσης της τιμής του λιθίου τα τελευταία 10 χρόνια.

Lithium Prices for the Last 10 Years



Διάγραμμα 18: Διακύμανση Τιμή λιθίου κατά τα τελευταία 10 χρόνια [20]

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Ακολούθως, παρατίθεται διάγραμμα διακύμανσης της τιμής του λιθίου κατά το τρέχον έτος.

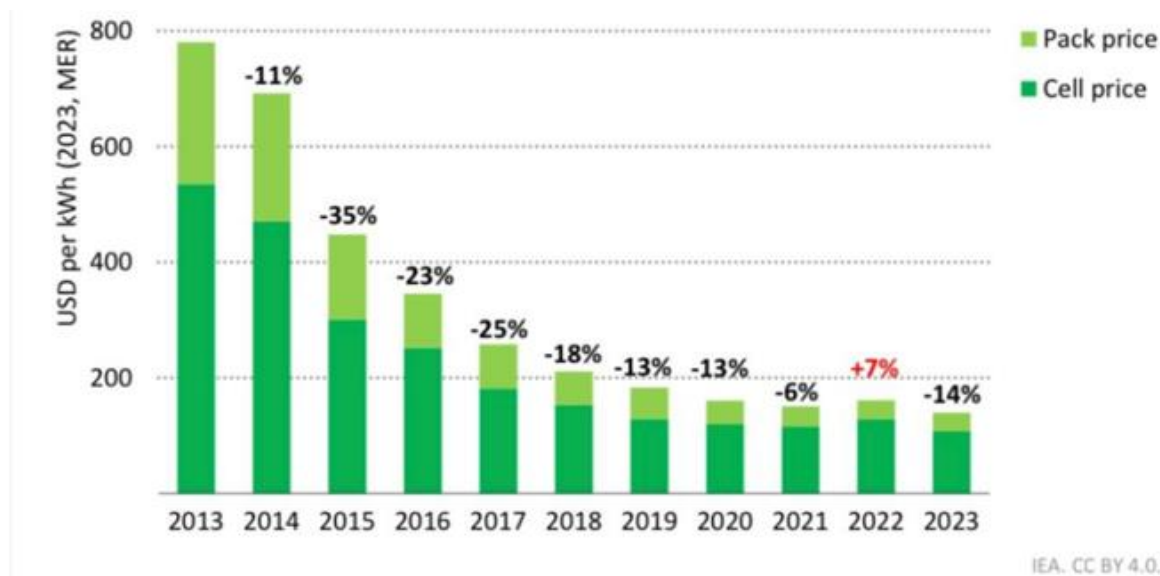


Εικόνα 17: Διάγραμμα διακύμανσης τιμής λιθίου (CNY/T) κατά το τρέχον έτος, 2024

Πιο αναλυτικά, βάσει πρόσφατων αναλύσεων της εταιρείας Aurora, η τιμή του CAPEX των μπαταριών ιόντων λιθίου στην Ελλάδα έχει μειωθεί κατά 6%, σε σχέση με το προηγούμενο δμηνο. Συγκεκριμένα η Aurora αναφέρει ότι «Οι αυτόνομες μπαταρίες 2h, οι οποίες θα συμμετάσχουν απευθείας στις αγορές ενέργειας (Merchant batteries) το 2025 ή το 2026, θα μπορούσαν να εξασφαλίσουν αποδόσεις (IRR) οι οποίες κυμαίνονται στο 9%-10%. Γεγονός που οφείλεται στη μείωση του Capex κατά 6%.»

Στο ακόλουθο διάγραμμα βάσει πρόσφατης ανάρτησης της International Energy Agency (IEA, CC BY 4.0) παρατίθεται η εκθετική μείωση των τιμών σε κυψέλες αλλά και συστοιχίες μπαταριών από το 2013 μέχρι το 2023 με εξαίρεση το 2022 (επιπτώσεις πανδημίας Covid-19).

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»



Διάγραμμα 19: Εκθετική μείωση, με εξαίρεση το έτος 2022, συνιστωσών εξοπλισμού (κυβελών, πακέτων μπαταριών) από 2013-2023

Επιπλέον, με βάση την παρουσίαση του καθηγητή του Αριστοτέλειου Πανεπιστήμιου Θεσσαλονίκης κ. Παντελή Μπίσκα στο «Renewable and Storage Forum» που πραγματοποιήθηκε το Νοέμβριο του 2023 παρουσιάστηκαν τιμές κεφαλαιουχικών δαπανών στην Ελλάδα στο ύψος των 250.000 ευρώ ανά MWh.

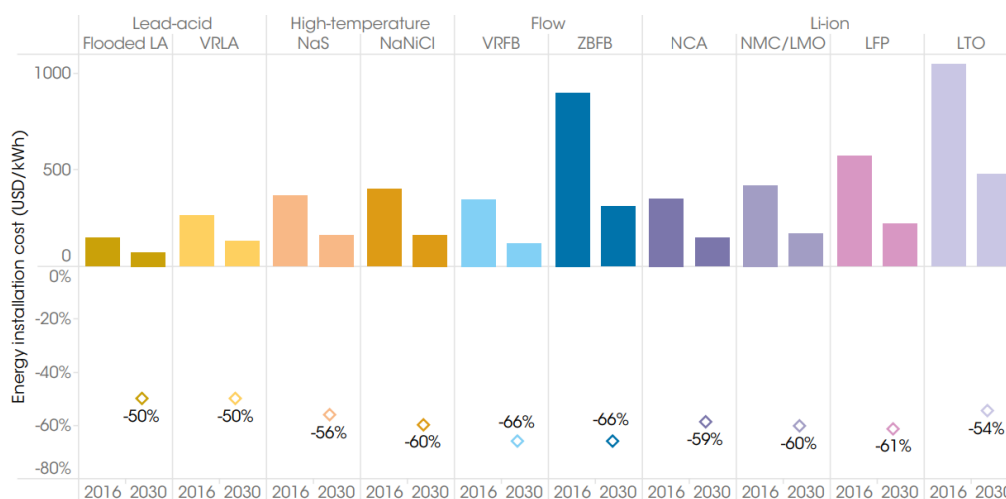
Επιπλέον, στην έκθεση του International Renewable Energy Agency (IRENA) με τίτλο «Electricity Storage and Renewables, Costs and Markets [87]», αναφέρεται ότι το συνολικό κόστος εγκατάστασης των μπαταριών ιόντων λιθίου θα μπορούσε να μειωθεί κατά επιπλέον 54-61% έως το 2030 σε σταθερές εφαρμογές. Εξίσου σημαντική προβλέπεται να είναι και η μείωση του κόστους εγκατάστασης άλλων τεχνολογιών αποθήκευσης όπου π.χ. αντλησιοταμίευσης υδροηλεκτρικής ενέργειας η οποία είναι η μεγαλύτερη μεμονωμένη πηγή αποθηκευτικής ικανότητας ηλεκτρικής ενέργειας σήμερα, και αποτελεί μια ώριμη τεχνολογία που προβλέπεται να υπάρξει μικρή δυνατότητα μείωσης του συνολικού κόστους εγκατάστασης.

Πιο συγκεκριμένα, το κόστος των μπαταριών ιόντων λιθίου μειώθηκε κατά 73% από το 2010 μέχρι το 2016 στο τομέα των μεταφορών ενώ σε σταθερά συστήματα αποθήκευσης το κόστος εγκατάστασης είναι υψηλότερο σε σχέση με εκείνο στα

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

ηλεκτρικά οχήματα λόγω των δυσκολιών στους κύκλους φόρτισης/εκφόρτισης που απαιτούν ακριβότερες μπαταρίες αλλά και συστήματα διαχείρισης και υλικά.

Στο ακόλουθο διάγραμμα αναπαρίσταται το δυναμικό μείωσης του ενεργειακού κόστους των εγκατεστημένων συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες από το 2016 έως το 2030.



Διάγραμμα 20: Δυναμικό μείωσης του ενεργειακού κόστους των εγκατεστημένων συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες από το 2016 έως το 2030 [87]

Εύκολα, προκύπτει το συμπέρασμα ότι οι κεφαλαιουχικές δαπάνες για ένα σταθμό αποθήκευσης στην Ελλάδα δεν μπορούν να καθοριστούν επακριβώς, καθώς μπορεί κατά ένα μεγάλο ποσοστό (45%) να εξαρτώνται από την εκάστοτε κατασκευαστική μπαταριών.

Ωστόσο στην εν λόγω εργασία θα ληφθεί υπόψιν ένα δυσμενές σενάριο (500.000 eur/MW) ως προς τις κεφαλαιουχικές δαπάνες καθώς η τιμή των κεφαλαιουχικών δαπανών και του κόστους αγοράς εξοπλισμού αναμένεται να μειωθεί πολύ στο άμεσο μέλλον.

Επίσης, αξίζει να αναφερθεί, ότι το Bloomberg New Energy Finance (BNEF) προβλέπει περαιτέρω δραματική μείωση του κόστους των μπαταριών ιόντων λιθίου. Συγκεκριμένα, προβλέπεται ότι έως το 2025, η τιμή θα μπορούσε να πέσει κάτω από 100 δολάρια ανά kWh. Αυτή η πρόβλεψη αντικατοπτρίζει τις συνεχείς βελτιώσεις στην

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

τεχνολογία των μπαταριών, τις οικονομίες κλίμακας στην παραγωγή και τις βελτιώσεις στην αποδοτικότητα της κατασκευής. Τέλος, η επίτευξη κόστους κάτω από 100 δολάρια ανά kWh θεωρείται σημαντικό ορόσημο, καθώς ενισχύει την οικονομική βιωσιμότητα των ηλεκτρικών οχημάτων και υποστηρίζει την ευρύτερη υιοθέτηση ανανεώσιμων λύσεων αποθήκευσης ενέργειας. Χαμηλότερα κόστη ανά kWh επιτρέπουν μεγαλύτερη χωρητικότητα αποθήκευσης ενέργειας, μακροβιότερους κύκλους ζωής της μπαταρίας και γενικά πιο βιώσιμη χρήση ενέργειας σε διάφορους τομείς. [15]

5.2 Μηχανισμοί Αγοράς και Τρόποι Εσόδων

Όπως προαναφέρθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, εθνικό στόχο αποτελεί η επίτευξη των στόχων που έθεσε το Εθνικό Συνέδριο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) και η αναθεώρηση του για την ταχεία ανάπτυξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας με κυριότερο στόχο μεταξύ άλλων η εγχώρια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ να ξεπερνά το 80% της συνολικής εγχώριας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, η ηλιακή αλλά και η αιολική ενέργεια και εν γένει οι ΑΠΕ χαρακτηρίζονται κατά αβεβαιότητα κατά την παραγωγή ενέργειας καθώς αυτή κυμαίνεται σε ημερήσια, εποχιακή βάση (ηλιακή ακτινοβολία) ή ανάλογα με την ένταση, ροπή, διάτμηση του ανέμου). Όπως αναλύθηκε, καθοριστικό παράγοντα στη παροχή ενέργειας κατά τη ζήτηση διαδραματίζει η αποθήκευση ενέργειας αφού συντελεί και συμβάλλει στη δημιουργία ενός ευέλικτου και αξιόπιστου συστήματος δικτύου.

Από την 1η Νοεμβρίου 2020 η ελληνική χονδρική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας έχει μετασχηματιστεί προκειμένου να συμμορφωθεί με την Ευρωπαϊκή Ενεργειακή Νομοθεσία που οδηγεί προς την ανάπτυξη μιας ενιαίας ευρωπαϊκής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας (3η EE Energy Package).

Συγκεκριμένα η 1^η Νοεμβρίου του 2020 αποτελεί την ημερομηνία έναρξης λειτουργίας μοντέλου στόχου (target model). Στο πλαίσιο αυτό, έχουν δημιουργηθεί νέες διακριτές αγορές, και συγκεκριμένα οι προθεσμιακές αγορές, η αγορά επόμενης ημέρας, η ενδοημερήσια αγορά και η αγορά εξισορρόπησης σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας την αποτελεσματικότερη διασυννοριακή ροή ενέργειας μεταξύ των κρατών μελών, ώστε

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

οι τιμές της αγοράς να συγκλίνουν όσο το δυνατόν περισσότερο μεταξύ των διαφόρων χωρών.

Το Ελληνικό Χρηματιστήριο Ενέργειας (HEEX) είναι σήμερα ο Διαχειριστής της Ενεργειακής Αγοράς, της Αγοράς Επόμενης Ημέρας και της Αγοράς Προημερήσιας & Ενδοημερήσιας Συναλλαγών που συμμορφώνονται με τις διατάξεις του Ευρωπαϊκού Μοντέλου Στόχου), ενώ διαχειριστής για την Αγοράς Εξισορρόπησης είναι ο ΑΔΜΗΕ σύμφωνα με τα αναφερόμενα στο νόμο υπ' αριθμ. 4425/2016 (Α' 185), όπως ισχύει.

Με γνώμονα την επίτευξη των στόχων του ΕΣΕΚ και την ενίσχυση της διείσδυσης των σταθμών αποθήκευσης, κατά το έτος 2024 το Υπουργείο Ενέργειας (ΥΠΕΝ) της Ελλάδος διεκπεραίωσε τους δύο (2) πρώτους διαγωνισμούς συνολικής ισχύος 400MW για τον πρώτο και 300MW για τον δεύτερο, επενδυτικής ενίσχυσης 200 χιλιάδων ευρώ ανά MW εγκατεστημένης ισχύος και 100 χιλιάδων ευρώ ανά μεγαβάτ εγκατεστημένης ισχύος αντίστοιχα, για μεμονωμένους σταθμούς αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Το ανωτέρω αποτελεί ένα εκ των προβλεπόμενων μοντέλων εσόδων, όπου το σύστημα θα καθορίσει το ποσό επιχορήγησης υποστηρίζοντας τη διαφορά αγοράς και πώλησης μέσω ενός σταθερού μοντέλου αποζημίωσης.

Το πρόγραμμα συνολικά αποτελείται από τρεις ξεχωριστές δημοπρασίες, με δυναμικότητα 400 MW, 300 MW και 200 MW (συνολικά 900MW). Συνολικά, θα αντληθούν 341 εκατ. ευρώ από το ταμείο της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την ανάκαμψη μετά την πανδημία, το οποίο εγκρίθηκε πέρυσι από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή.

Κατά τη φάση της κατασκευής, όλα τα έργα που θα κερδίσουν θα λάβουν εφάπαξ πληρωμή 200.000 ευρώ ανά MW, η οποία χρησιμεύει ως επιδότηση κεφαλαιουχικών δαπανών. Πηγές της αγοράς αναφέρουν ότι η επιδότηση αυτή μπορεί να καλύψει περίπου το 40% του κόστους κατασκευής του έργου μπαταρίας σε τρέχουσες τιμές.

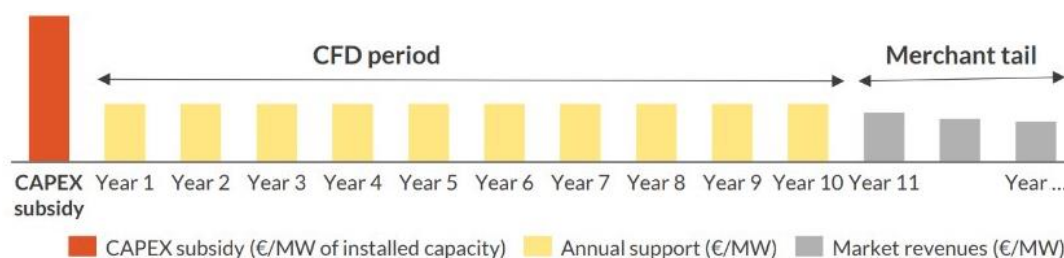
Επιπλέον, στα νικητήρια έργα θα χορηγηθούν συμβάσεις για τη διαφορά (contracts for differences / CfDs) που εγγυώνται ένα συγκεκριμένο εισόδημα για τα πρώτα 10 χρόνια λειτουργίας του. Για την πρώτη δημοπρασία αποθήκευσης ενέργειας, η ρυθμιστική αρχή (ΡΑΑΕΥ) έχει ορίσει ανώτατη τιμή στις συμβάσεις για τη διαφορά τα 115.000 χιλιάδες ευρώ ανά μεγαβάτ (MW) ετησίως ενώ σε πρόσφατη ανάρτηση για τον 3^ο

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

διαγωνισμό που απευθύνεται σε σταθμούς αποθήκευσης τετράωρης διάρκειας, έχει οριστεί ανώτατη τιμή τα 145.000 χιλιάδες ευρώ ανά μεγαβάτ ετησίως.

Ως αποτέλεσμα, τα έργα που θα κερδίσουν πρέπει να συμμετέχουν στην αγορά ενέργειας, όπως η ελληνική αγορά χονδρικής εμπορίας ηλεκτρικής ενέργειας και η δευτερεύουσα αγορά υπηρεσιών εξισορρόπησης. Κάθε χρόνο, η κυβέρνηση θα αξιολογεί τα κέρδη των έργων από την αγορά. Εάν τα κέρδη είναι χαμηλότερα από την τιμή του CfD, οι επενδυτές θα λάβουν μια συμπληρωματική πληρωμή για τη γεφύρωση της διαφοράς. Αντίθετα, εάν τα κέρδη υπερβαίνουν την τιμή CfD, το πλεόνασμα πρέπει να επιστραφεί στο κράτος.

Στο ακόλουθο διάγραμμα που δημοσίευσε κατά το Σεπτέμβριο του 2024 η ερευνητική εταιρεία Aurora αναπαρίσταται η ως άνω περιγραφόμενη μεθοδολογία εσόδων των σταθμών αποθήκευσης που θα συμμετέχουν και θα επιλεγθούν από τις δημοπρασίες ισχύος.



Διάγραμμα 21: Αναπαράσταση μεθοδολογίας εσόδων των επιλεγθέντων από τις δημοπρασίες ισχύος σταθμών αποθήκευσης.

Ωστόσο, σύμφωνα με τελευταίες εξελίξεις, στον τομέα της αποθήκευσης ενέργειας στην Ελλάδα, με πληροφορίες που συλλέχθηκαν από τις πηγές όπως το Bloomberg, η Aurora, και το Energy Press, το Υπουργείο Ενέργειας εξετάζει την τροποποίηση του σχήματος, προκρίνοντας την ανακατανομή των διαθέσιμων πόρων, ώστε να στηριχθούν στις κεφαλαιουχικές τους δαπάνες οι σταθμοί αποθήκευσης. [41]

Παρά το γεγονός ότι δεν έχει δημοσιευθεί νέα σχετική νομοθεσία παρά μόνο σχέδιο νόμου προς ψήφιση από το Υπουργείο Ενέργειας, που παρουσιάζει ότι ένα μέρος των των σταθμών αποθήκευσης (2GW), ανεξαρτήτως οικονομικής ενίσχυσης, θα

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

συμμετάσχει απευθείας στην αγορά ενέργειας με καθολική προτεραιότητα σε κάθε στάδιο αδειοδότησης.

Σε κάθε περίπτωση, πέρα από ένα μέρος σταθμών αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας που θα επιλεγθούν από τη δημοπρασία του ΥΠΕΝ (900MW), το μεγαλύτερο μέρος των σταθμών αποθήκευσης θα πρέπει να αναζητήσει διαφορετικό μοντέλο εσόδων. Η συσχέτιση αυτή, η οποία ενισχύεται όσο αυξάνεται η διείσδυση των ΑΠΕ, επιτρέπει στους σταθμούς αποθήκευσης να συμβάλλουν στην αποσυμφόρηση των δικτύων που εξυπηρετούν υψηλά επίπεδα παραγωγής ΑΠΕ, αυξάνοντας τον διαθέσιμο ηλεκτρικό χώρο των περιοχών αυτών για την υποδοχή πρόσθετης ενέργειας από ΑΠΕ.

Συγκεκριμένα, εκτός από τη συμμετοχή στις δημοπρασίες, οι σταθμοί αποθήκευσης προβλέπεται να μπορούν να συμμετέχουν απευθείας στις αγορές του Χρηματιστηρίου Ενέργειας και στην Αγορά Εξισορρόπησης του ΑΔΜΗΕ όπου πιστεύεται ότι θα καλύψουν το μεγαλύτερο μέρος των αναγκών εξισορρόπησης.

Άλλες επικουρικές υπηρεσίες από τις οποίες προβλέπεται ότι ο σταθμός θα αντλεί έσοδα είναι η ρύθμιση της συχνότητας, η στρεφόμενη εφεδρεία για προσωρινή υποστήριξη παραγωγής, ο έλεγχος της τάσης του δικτύου αλλά και η επανεκκίνηση του συστήματος. Μεταξύ των οφελών της αποθήκευσης ενέργειας στη μεταφορά και διανομή είναι η ευστάθεια του συστήματος.

Επομένως, με βάση όλα τα παραπάνω οι σταθμοί αποθήκευσης θα μπορούν να υποβάλλουν προσφορές στην Αγορά Επόμενης Ημέρας και στην ενδοημερήσια Αγορά, ενώ θα μπορούν επίσης να υποβάλλουν προσφορές στην Αγορά Εξισορρόπησης, είτε ως Υπεύθυνοι Εξισορρόπησης (BRPs, χωρίς να προσφέρουν υπηρεσίες εξισορρόπησης) είτε ως Πάροχοι Υπηρεσιών Εξισορρόπησης (BSPs). Ωστόσο για τον υπολογισμό των εσόδων από την αγορά εξισορρόπησης που προβλέπεται να καταλαμβάνει μεγάλο μέρος των συνολικών εσόδων του σταθμού θα πρέπει μεταξύ άλλων να υπολογιστούν και να προβλεφθούν οι τιμές εφεδρείας ανά τύπο και κατεύθυνση εφεδρείας αλλά και οι ανοδικές και καθοδικές τιμές ενέργειας εξισορρόπησης.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Επιπλέον, σε κάποιες ευρωπαϊκές χώρες (Ηνωμένο Βασίλειο, Ιταλία, Γαλλία) εξετάζεται ως επιπλέον μοντέλο εσόδων οι Μηχανισμοί Αποζημίωσης Ισχύος (CRMs / Capacity Renumeration Mechanisms). Τα καθεστώτα αυτά χορηγούν συνήθως λειτουργικές ενισχύσεις με βάση τη δυναμικότητα των σταθμών (€/MW, εγκατεστημένη ισχύς, συμβολή στην επάρκεια κ.λπ.) μέσω ανταγωνιστικών διαδικασιών, και η υποχρέωση παροχής καθώς και η χορηγούμενη ενίσχυση είναι χρονικά περιορισμένη. Ωστόσο ένα αντίστοιχο μοντέλο για σταθμούς αποθήκευσης στην Ελλάδα δεν έχει ακόμη αποσαφηνιστεί παρόλο που η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας εξετάζει τη δυνατότητα συμμετοχής των σταθμών αποθήκευσης στον Μηχανισμό Αποζημίωσης Ισχύος που σχεδιάζει, αλλά η τελική απόφαση δεν έχει ακόμα ληφθεί.

Τέλος, ως εναλλακτικό μοντέλο εσόδων εξετάζεται η δυνατότητα σύναψης εταιρικού Συμφωνητικού ισχύος / PPA (Power Purchase Agreement) με κάποιο βιομηχανικό καταναλωτή ή διμερής σύμβαση πώλησης ενέργειας.

Συνολικά, για τον καθορισμό των συνολικών εσόδων ενός σταθμού αποθήκευσης, χρειάζεται να δημιουργηθεί ένα μοντέλο με αντικειμενική συνάρτηση τη μεγιστοποίηση των εσόδων του σταθμού αποθήκευσης από τη συμμετοχή του σε όλες τις παραπάνω αγορές (χονδρική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, αγορά επόμενης ημέρας, αγορά εξισορρόπησης, μηχανισμοί αποζημίωσης ισχύος, κρατικές επιδοτήσεις), παρέχοντας όλα τα δυνατά προϊόντα για βέλτιστη λειτουργία του σταθμού αποθήκευσης σε όλες τις αγορές, παρεχόμενες εφεδρείες, παρεχόμενη ενέργεια εξισορρόπησης, έσοδα από όλες τις παραπάνω πηγές, καθώς και λειτουργικό κόστος.

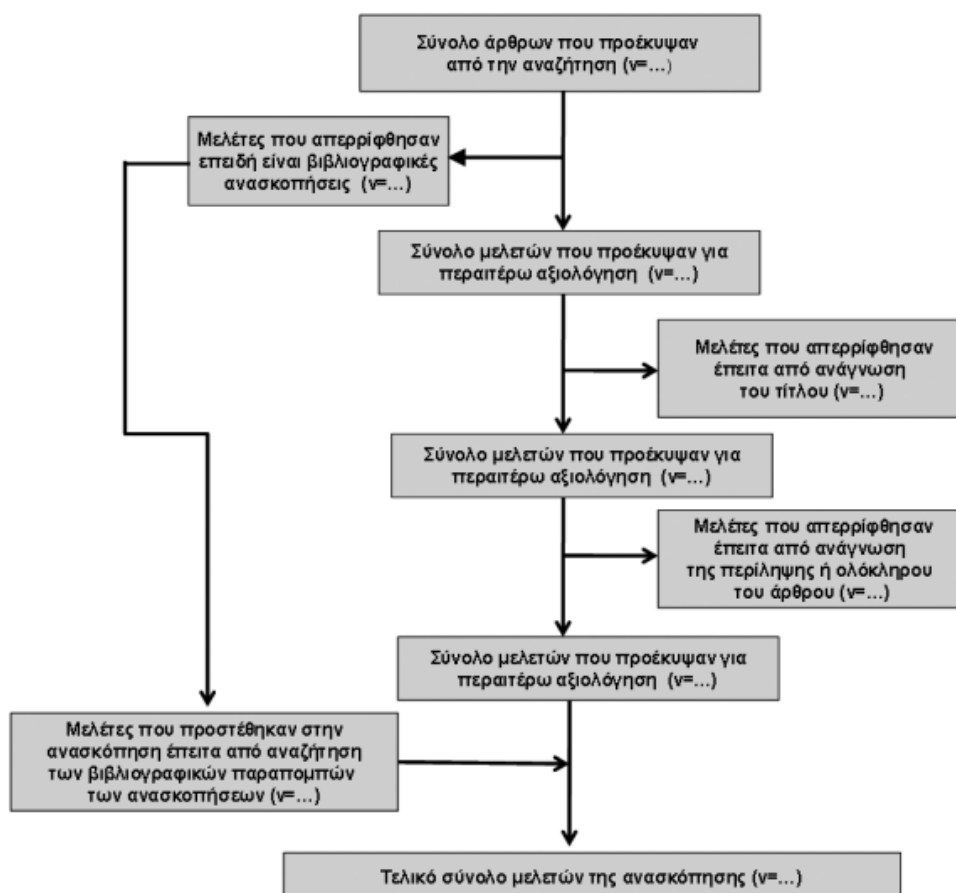
Στη παρούσα εργασία ως μηχανισμός εσόδων του σταθμού θα ληφθεί υπόψιν μόνο η συμμετοχή του σταθμού στην Αγορά Επόμενης Ημέρας. Επομένως, θεωρώντας ότι δεν θα συμπεριληφθούν οι υπόλοιποι μηχανισμοί εσόδων εύλογα προκύπτει το συμπέρασμα ότι τα αποτελέσματα των ταμειακών ροών που θα παρουσιαστούν σε επόμενες υποενότητες δεν αναμένεται να είναι ιδιαίτερα ευνοϊκά για την υλοποίησή της επένδυσης του σταθμού αποθήκευσης.

Αναλυτικότερα, για τη συμμετοχή του στην αγορά επόμενης ημέρας προβλέπεται ο σταθμός αποθήκευσης να πραγματοποιεί λειτουργία arbitrage δηλαδή να απορροφά ενέργεια κατά τις ώρες χαμηλής τιμής εκκαθάρισης, οι οποίες γενικά συμπίπτουν με

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

περιόδους υψηλής παραγωγής ΑΠΕ (Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας), και να εγχείει ενέργεια κατά τις ώρες υψηλής τιμής εκκαθάρισης, κατά τις οποίες η παραγωγή ΑΠΕ είναι γενικά περιορισμένη.

Για την εξαγωγή συμπερασμάτων και την επιλογή του συγκεκριμένου μηχανισμού εσόδων του σταθμού αποθήκευσης στη συγκεκριμένη εργασία συλλέχθηκε ένα σύνολο πηγών με τη μέθοδο της ανασκόπησης. Ακολούθως, παρουσιάζονται τα βήματα της ανασκόπησης της βιβλιογραφίας που λήφθηκαν προκειμένου να προχωρήσουμε στη μεθοδολογία.



Διάγραμμα 22: Απεικόνιση Βημάτων της συστηματικής ανασκόπησης της βιβλιογραφίας σε μια βάση δεδομένων [42]

Ενδεικτικά κάποιες από τις πηγές (επιστημονικά άρθρα, νομοθεσίες, εκθέσεις) που συλλέχθηκαν και αποτελούν το τελικό σύνολο των μελετών της ανασκόπησης είναι οι ακόλουθες.

**«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ
ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»**

Πίνακας 2: Μέρος συνόλου νόμων και μελετών που εξετάστηκαν για την επιλογή του μοντέλου εσόδων

| ΤΙΤΛΟΣ | ΘΕΜΑ | ΜΕΘΕΔΟΛΟΓΙΑ / ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ |
|--|--|--|
| N. 4951/2022 | Συμμετοχή σταθμών Αποθήκευσης στην αγορά ενέργειας | Τα συστήματα αποθήκευσης επιτρέπεται να συμμετέχουν σε όλα τις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας (Day-Ahead Market - DAM, Intra-day Market - IDM, αγορά εξισορρόπησης), η οποία περιλαμβάνει την παροχή υπηρεσιών εξισορρόπησης και ενέργειας arbitrage. |
| N.4920/2022 | Χρηματοδότηση Σταθμών Αποθήκευσης | Ο νόμος αυτός επιτρέπει κρατικές ενισχύσεις και επιχορηγήσεις για τη στήριξη της χρηματοδότησης των έργων αποθεματοποίησης. Αυτό περιλαμβάνει επενδυτικές επιδοτήσεις και λειτουργικές ενισχύσεις μέσω διαγωνισμούς ή άμεση στήριξη έργων. |
| Directive 2019/944 (EU) | Οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης. | Οδηγία της ΕΕ που θέτει το έδαφος και τη βάση για την υλοποίηση έργων αυτόνομης και υβριδικής αποθήκευσης ενέργειας με συσσωρευτές, μαζί με τους υποστηρικτικούς μηχανισμούς που θα συμβάλουν στη μεγάλη εξάπλωση. Περιγράφεται επίσης ο συνολικός στόχος για την έγχυση BESS σε κλίμακα ΕΕ. |
| The value of arbitrage for energy storage: Evidence from European electricity markets | Εκτίμηση του βέλτιστου μεγέθους των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας όσον αφορά την αξία του αρμπιτράζ | Long-term arbitrage (Μακροπρόθεσμο arbitrage) με ιστορικά δεδομένα) |
| Optimized Power and Capacity Configuration Strategy of a Grid-Side Energy Storage System for Peak Regulation | Ανάλυση σχέσης μεταξύ των οικονομικών δεικτών ενός συστήματος αποθήκευσης ενέργειας και της διαμόρφωσής του και διατυπώνεται η αντικειμενική συνάρτηση βελτιστοποίησης | MATLAB for optimization |
| IRENA STORAGE | ΠΗΓΗ IRENA S TORAGE 2.0 | Συμμετοχή στη αγορά άλλων ευρωπαϊκών χωρών |

Ως μεθοδολογία για τη πηγή εσόδων του εν λόγω σταθμού αποθήκευσης επιλέχθηκε η Long-term arbitrage (time signals) όπως αναλύεται στο άρθρο *The value of arbitrage for energy storage: Evidence from European electricity markets*, του Δημήτριου Ζαφειράκη που δημοσιεύτηκε τον Δεκέμβριο του 2016. Σε αυτή τη στρατηγική χρησιμοποιούνται μακροπρόθεσμα ιστορικά δεδομένα για να προσδιοριστούν τα

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

χρονικά σημεία αγοράς και πώλησης κατά τη διάρκεια της ημέρας/εβδομάδας/έτους και να τα εφαρμοστούν για τα επόμενα έτη λειτουργίας.

Η λειτουργία arbitrage στον εν λόγω σταθμό αποθήκευσης αναφέρεται στην απορρόφηση ενέργειας τις ώρες χαμηλής τιμής αγοράς δηλαδή τις ώρες υψηλής παραγωγής (οι σταθμοί θα αγοράζουν ενέργεια), απορροφώντας ενέργεια κυρίως από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας καθώς θα είναι οι ώρες υψηλής παραγωγής ΑΠΕ, και θα εγχέει την αποθηκευμένη ενέργειά του τις ώρες που θα υπάρχει ζήτηση, δηλαδή τις ώρες που η τιμή θα είναι υψηλή (ώρες αιχμής όπου οι σταθμοί αποθήκευσης θα πωλούν την αποθηκευμένη ενέργεια για να εκμεταλλευτούν τη διαφορά τιμής). Επομένως, επιλέγεται ο εν λόγω σταθμός να μεταφέρει (απορροφώντας και εγχέοντας) ενέργεια επί της ημερήσιας καμπύλης φορτίου λειτουργώντας σύμφωνα με το όρο “arbitrage” δηλαδή να εκμεταλλεύεται τη διαφορά τιμής εντός της ημερήσιας διακύμανσης.

Ο σταθμός ακολουθώντας αυτή τη στρατηγική χρησιμοποιεί μακροπρόθεσμα ιστορικά δεδομένα για να προσδιοριστούν τα χρονικά σημεία αγοράς ενέργειας αλλά και πώληση της αποθηκευμένης ενέργειας κατά τη διάρκεια μια ημέρας και προκειμένου να εφαρμοστούν μακροπρόθεσμα σε βάθος χρόνου και κατά επέκταση στο βάθος 20ετίας όπου θα είναι η διάρκεια ζωής του σταθμού. Το γεγονός αυτό προκύπτει διότι η εκτίμηση και η πρόβλεψη των τιμών ηλεκτρικής ενέργειας για 20 χρόνια είναι αδύνατη και φέρει υψηλό ποσοστό αβεβαιότητας.

Επομένως, για την εκτίμηση των εσόδων και των εξόδων του σταθμού και κατ'επέκταση του κέρδους έχουν συλλεχθεί τα δεδομένα τιμών της αγοράς επόμενης ημέρας από το Χρηματιστήριο Ενέργειας από την έναρξη του μοντέλου στόχου δηλαδή από την 1/11/2020 μέχρι σήμερα ήτοι 31/05/24 προς επεξεργασία έχοντας, ενδεικτικά για τον Νοέμβριο του 2020 (πίνακας 3) και τον Μάιο 2024 (πίνακας 4), την παρακάτω μορφή.

Σημειώνεται ότι η αγορά επόμενης ημέρας είναι η αγορά με τη μεγαλύτερη ρευστότητα ωστόσο οι τιμές που καθορίζονται σε αυτήν δεν αντικατοπτρίζουν κατά το πλείστο τους παράγοντες που διαμορφώνουν την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας και κατά επέκταση την οικονομική βιωσιμότητα των επενδύσεων σε σταθμούς αποθήκευσης. Συγκεκριμένα σύμφωνα με την Aurora Energy Research κατά την παρουσίασή του στο

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

πρόσφατο συνέδριο της SolarPlaza (Αθήνα, Σεπτέμβριος 2024), οι μπαταρίες μπορούν να αποκομίσουν έσοδα από την συμμετοχή τους στην αγορά επόμενης ημέρας, ωστόσο κατά πολύ περισσότερο από την συμμετοχή τους στην αγορά εξισορρόπησης και τα capacity markets με τον εσωτερικό βαθμό απόδοσης των έργων να κυμαίνεται από 6% έως 9% για τα αυτόνομα συστήματα αποθήκευσης δίωρης διάρκειας, και να συναρτάται στενά με το ύψος των κεφαλαιουχικών δαπανών (CaPex). Πιο συγκεκριμένα, κατά την εν λόγω παρουσίαση αλλά και σε άλλες παρουσιάσεις συμμετεχόντων στο συνέδριο, αναφέρεται ότι το τοπίο ως προς τους μηχανισμούς εσόδων από την αγορά βρίσκεται ακόμη από διερεύνηση.

Σε κάθε περίπτωση, η ικανότητα αποτελεσματικής ενεργοποίησης των σταθμών αποθήκευσης στην αγορά αυτή είναι κρίσιμη για την επίτευξη του αναμενόμενου συστημικού οφέλους από τη λειτουργία τους, καθώς και για τη διασφάλιση της βιωσιμότητας των επενδύσεων αυτών.

Ακολούθως παρατίθενται ενδεικτικά οι τιμές αγοράς επόμενης ημέρας για κάθε ώρα για τον Νοέμβριο 1/11/2020 και τον Μάιο 2024.

Τα δεδομένα των 4 περίπου ετών (από 1/11/2020 μέχρι σήμερα ήτοι 31/05/24), ταξινομήθηκαν κατά αύξουσα σειρά με αποτέλεσμα να προκύψει ο παρακάτω πίνακας (ενδεικτικά για τις πρώτες μέρες του 11/2020) για το σύνολο των δεδομένων.

Ενδεικτικά ακολούθως παρατίθενται τα αποτελέσματα της ταξινόμησης.

Πίνακας 5: Ταξινόμηση τιμών Αγοράς Επόμενης Ημέρας κατά αύξουσα σειρά

| | PRICE RANKING FROM LOW TO HIGH | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|--------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
| 01/11/2020 | 20 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 8 | 11 | 17 | 5 | 2 | 3 | 4 | 1 | 6 | 10 | 18 | 24 | 21 | 23 | 22 | 19 | 9 | 7 |
| 02/11/2020 | 2 | 3 | 1 | 4 | 5 | 8 | 16 | 9 | 10 | 11 | 7 | 12 | 13 | 6 | 14 | 18 | 20 | 24 | 21 | 22 | 23 | 19 | 17 | 15 |
| 03/11/2020 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 14 | 19 | 16 | 15 | 17 | 20 | 12 | 9 | 10 | 11 | 18 | 24 | 23 | 22 | 21 | 13 | 8 | 1 |
| 04/11/2020 | 8 | 4 | 3 | 2 | 5 | 7 | 18 | 19 | 16 | 15 | 9 | 10 | 11 | 12 | 14 | 20 | 21 | 23 | 24 | 22 | 17 | 13 | 6 | 1 |
| 05/11/2020 | 3 | 8 | 4 | 2 | 6 | 11 | 20 | 21 | 22 | 18 | 16 | 15 | 12 | 9 | 10 | 13 | 17 | 24 | 23 | 19 | 14 | 7 | 5 | 1 |
| 06/11/2020 | 6 | 4 | 3 | 2 | 1 | 7 | 15 | 19 | 20 | 18 | 14 | 11 | 10 | 8 | 12 | 16 | 21 | 22 | 23 | 24 | 17 | 13 | 9 | 5 |
| 07/11/2020 | 13 | 11 | 3 | 2 | 4 | 9 | 7 | 15 | 16 | 14 | 10 | 8 | 5 | 1 | 6 | 17 | 21 | 22 | 24 | 23 | 20 | 19 | 18 | 12 |
| 08/11/2020 | 9 | 4 | 2 | 1 | 3 | 5 | 16 | 13 | 8 | 11 | 12 | 10 | 6 | 7 | 15 | 21 | 24 | 23 | 22 | 20 | 19 | 18 | 17 | 14 |
| 09/11/2020 | 6 | 4 | 2 | 1 | 3 | 7 | 9 | 17 | 18 | 16 | 15 | 14 | 11 | 10 | 12 | 20 | 24 | 23 | 22 | 21 | 19 | 13 | 8 | 5 |
| 10/11/2020 | 6 | 4 | 2 | 1 | 3 | 7 | 15 | 19 | 18 | 16 | 12 | 11 | 8 | 10 | 13 | 17 | 20 | 24 | 23 | 22 | 21 | 14 | 9 | 5 |
| 11/11/2020 | 5 | 6 | 3 | 1 | 2 | 8 | 10 | 16 | 17 | 14 | 13 | 15 | 12 | 11 | 18 | 19 | 21 | 23 | 24 | 22 | 20 | 9 | 7 | 4 |
| 12/11/2020 | 5 | 6 | 4 | 1 | 2 | 3 | 7 | 9 | 15 | 10 | 12 | 11 | 14 | 13 | 17 | 19 | 21 | 24 | 22 | 23 | 20 | 18 | 16 | 8 |
| 13/11/2020 | 7 | 4 | 5 | 1 | 2 | 6 | 14 | 19 | 16 | 13 | 12 | 11 | 8 | 9 | 15 | 18 | 20 | 23 | 22 | 21 | 24 | 17 | 10 | 3 |
| | 17 | 13 | 9 | 4 | 3 | 7 | 12 | 15 | 14 | 11 | 5 | 6 | 8 | 1 | 10 | 18 | 21 | 22 | 23 | 24 | 20 | 19 | 16 | 2 |
| | 8 | 6 | 3 | 2 | 1 | 4 | 13 | 14 | 15 | 10 | 11 | 9 | 7 | 5 | 12 | 17 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 19 | 18 | 16 |
| | 5 | 3 | 2 | 1 | 4 | 6 | 8 | 18 | 15 | 16 | 12 | 11 | 9 | 10 | 14 | 17 | 20 | 24 | 23 | 21 | 22 | 19 | 13 | 7 |
| | 6 | 4 | 1 | 2 | 3 | 7 | 9 | 11 | 17 | 19 | 16 | 12 | 14 | 15 | 18 | 20 | 22 | 24 | 23 | 21 | 13 | 10 | 8 | 5 |
| | 6 | 4 | 2 | 1 | 3 | 7 | 10 | 17 | 19 | 16 | 14 | 13 | 11 | 9 | 15 | 18 | 21 | 22 | 23 | 24 | 20 | 12 | 8 | 5 |

Για παράδειγμα την 01/11/2020 κατά την δέκατη τρίτη (13) ώρα της ημέρας σημειώνεται η χαμηλότερη τιμή (eur/mwh) από όλο το εικοσιτετράωρο.

Με βάση τους δύο παραπάνω πίνακες υπολογίστηκαν οι μέσοι όροι των τιμών ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε ώρα κάθε ημέρας του συνόλου των δεδομένων καθώς και η αντίστοιχη αύξουσα ταξινόμηση των εν λόγω τιμών.

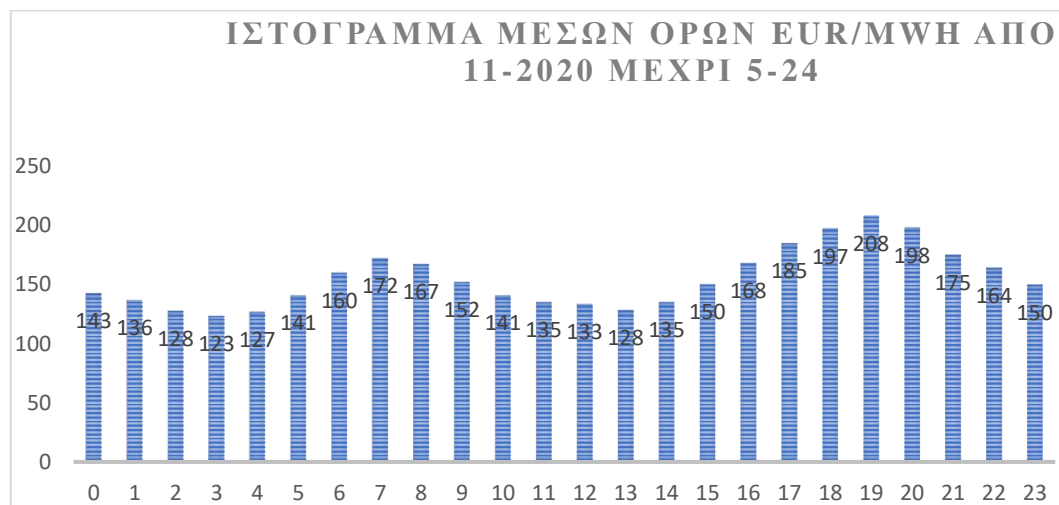
«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Από όπου προέκυψαν τα ακόλουθα αποτελέσματα:

Πίνακας 6: Μέσος όρος ανά ώρα και αύξουσα ταξινόμηση των μέσων όρων

| HOUR OF A DAY | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| INTEGER VERAGE PER HOUR OF DAY FROM 1-11-20 UNTIL TODAY 30-5-24 | 143 | 136 | 128 | 123 | 127 | 141 | 160 | 172 | 167 | 152 | 141 | 135 | 133 | 128 | 135 | 150 | 168 | 185 | 197 | 208 | 198 | 175 | 164 | 150 |
| AVERAGE RANKING PER HOUR | 11 | 8 | 3 | 1 | 2 | 10 | 15 | 19 | 17 | 14 | 9 | 7 | 5 | 4 | 6 | 13 | 18 | 21 | 22 | 24 | 23 | 20 | 16 | 12 |

Όπου η 1^η γραμμή του ανωτέρω πίνακα παραθέτει την εκάστοτε ώρα της ημέρας (0-23), η 2^η γραμμή παραθέτει την ακέραια τιμή κατά μέσο όρο για κάθε ώρα της ημέρας και η 3^η γραμμή παραθέτει την αντίστοιχη αύξουσα ταξινόμηση των τιμών της 2^{ης} γραμμής. Ακολούθως, παρατίθενται και το ιστόγραμμα των τιμών όπου ο χ άξονας αντικατοπτρίζει τις ώρες της ημέρας και ο ψ άξονας τις τιμές ηλεκτρικές ενέργειας. Στις κορυφές κάθε ιστού (ώρας) παρατίθενται οι αντίστοιχη τιμή ηλεκτρικής ενέργειας.



Διάγραμμα 16: Ιστόγραμμα Μέσων Τιμών όλων των χρονικών δεδομένων

Με στόχο των καθορισμό των ωρών έγχυσης και απορρόφησης του σταθμού αποθήκευσης και εν γένει τον υπολογισμό των εσόδων και εξόδων του σταθμού κρίθηκε απαραίτητο να οριστούν ως δεδομένα για την ανάλυση η ισχύς του σταθμού, η αποθηκευτική ικανότητα, ο αριθμός των κύκλων φόρτισης και εκφόρτισης του σταθμού και η διάρκεια φόρτισης και εκφόρτισης.

Ορίζονται για τον υπολογισμό των εσόδων και εξόδων τα παρακάτω:

$$P_{nom}, \text{ονομαστική ισχύς} = 100\text{MW}$$

$$Cap, \text{αποθηκευτική ικανότητα} = 200\text{MWh}$$

$$C_{rate} = 0,5C$$

$$\text{Διάρκεια Φόρτισης/Εκφόρτισης} = 2 \text{ ώρες}$$

$$\text{Κύκλοι/Ημέρα} = 1 \text{ ή } 2^*,$$

*Θα συγκριθούν τα έσοδα από δύο διαφορετικές λειτουργίες του σταθμού, όπου ο σταθμός θα πραγματοποιεί 1 κύκλο φόρτισης / εκφόρτισης μέσα στην ημέρα και όπου ο σταθμός 2 κύκλους φόρτισης / εκφόρτισης μέσα στην ημέρα. Συγκρίνοντας τις δύο ανωτέρω λειτουργίες θα επιλεγεί εκείνη από αυτές που αποφέρει περισσότερα έσοδα στον σταθμό.

Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν χρησιμοποιούμε την ώρα/ώρες της ελάχιστης τιμής ως σήμα αγοράς και την ώρα/ώρες της μέγιστης τιμής ως σήμα πώλησης, θεωρώντας ότι η εκμετάλλευση των μακροπρόθεσμων δεδομένων θα μπορούσε να αυξήσει την ισχύ των σημάτων.

Με γνώμονα το παραπάνω κατασκευάστηκε η ακόλουθη αντικειμενική συνάρτηση για τον υπολογισμό των εσόδων του 1^{ου} έτους λειτουργίας του σταθμού που η μεγιστοποίηση της οδηγεί στον βέλτιστο καθορισμό των ωρών που θα πρέπει να φορτίζει και να εκφορτίζει ο σταθμός αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας.

$$K_i = P_{nom} * ([- (\Sigma \text{Αγορας } t) * \text{Μέρα } i] + [(\Sigma \text{Πώλησης } t) * \text{Μέρα } i]) \quad (1)$$

Όπου,

$i = 1, 2, 3, \dots, 365$ οι μέρες ενός έτους

P_{nom} , η ονομαστική ισχύς του σταθμού

K = έσοδα σταθμού

Σ Αγοράς, Σύνολο Τιμών ενέργειας όπου είναι συμφέρουσα για αγορά

Σ Πώλησης, Σύνολο Τιμών ενέργειας όπου είναι συμφέρουσα για πώληση

Όπως προαναφέρθηκε θα συγκριθούν τα έσοδα του σταθμού από 2 διαφορετικές λειτουργίες ως προς τον αριθμό των κύκλων φόρτισης / εκφόρτισης (1, 2). Συγκεκριμένα θα υπολογιστούν τα έσοδα από λειτουργία arbitrage για τις 2 λειτουργίες και θα επιλεγεί αυτός που μεγιστοποιεί τα έσοδα.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Ακολουθεί ο υπολογισμός των εσόδων για διάστημα 20 ετών λειτουργίας του σταθμού :

- A) Για Ένας (1) κύκλος φόρτισης /εκφόρτισης ανά ημέρα λειτουργίας

- B) Για Δύο (2) κύκλους φόρτισης /εκφόρτισης ανά ημέρα λειτουργίας

Α) Ένας (1) κύκλος φόρτισης /εκφόρτισης ανά ημέρα λειτουργίας

Σε αυτή τη περίπτωση ο σταθμός θα πραγματοποιεί ένα κύκλο φόρτισης εκφόρτισης σε διάστημα 2 διαδοχικών ωρών ανά ημέρα. Έτσι με βάση τον πίνακα 5 (Μέσος Όρος τιμών, Ταξινόμηση) και τη λειτουργία arbitrage θα επιλέγει το κατάλληλο δίωρο διάστημα όπου ο σταθμός θα εκφορτίζει / αντιστοιχεί σε πώληση (θα εγγέει ενέργεια στο δίκτυο) και το κατάλληλο δίωρο διάστημα όπου ο σταθμός θα φορτίζει /αντιστοιχεί σε αγορά (θα απορροφά ενέργεια από το δίκτυο).

Ο πίνακας 5 διαμορφώνεται ως εξής:

Πίνακας 7: Επιλογή συμφερούσων ωρών για πώληση και αγορά ενέργειας όταν ο σταθμός πραγματοποιεί ένα κύκλο φόρτισης.

| ΩΡΕΣ ΗΜΕΡΑΣ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
|--|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|------|-----|-----|-----|
| ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΤΙΜΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΟ 1-11-20 UNTIL TODAY 30-5-24 | 143 | 136 | 128 | 123 | 127 | 141 | 160 | 172 | 167 | 152 | 141 | 135 | 133 | 128 | 135 | 150 | 168 | 185 | 197 | 208 | 198 | 175 | 164 | 150 |
| ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΑΥΞΟΥΣΑΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ | 11 | 8 | 3 | 1 | 2 | 10 | 15 | 19 | 17 | 14 | 9 | 7 | 5 | 4 | 6 | 13 | 18 | 21 | 22 | 24 | 23 | 20 | 16 | 12 |
| ΜΕΓΑΤΑΤ ΣΤΑΘΜΟΥ ΑΝΑ ΩΡΑ | 0 | 0 | 0 | 50 | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50 | 50 | 0 | 0 | 0 |
| ΣΥΝΟΛΟ ΕΞΟΔΩΝ Η ΕΞΟΔΩΝ / ΗΜΕΡΑ | 0 | 0 | 0 | 6150 | 6350 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10400 | 9900 | 0 | 0 | 0 |

Όπου η 1^η γραμμή του ανωτέρω πίνακα παραθέτει την εκάστοτε ώρα της ημέρας (0-23), η 2^η γραμμή παραθέτει την ακέραια τιμή κατά μέσο όρο για κάθε ώρα της ημέρας και η 3^η γραμμή παραθέτει την αντίστοιχη αύξουσα ταξινόμηση των τιμών της 2^{ης} γραμμής. Όπως παρατηρείται έχουν επιλεγθεί (με κόκκινο χρώμα στη 2^η γραμμή) οι δύο διαδοχικές ώρες (03:00-04:00 και 04:00-05:00) με την χαμηλότερη τιμή ηλεκτρικής ενέργειας 123 eur/MWh και 127 eur/MWh αντίστοιχα. Οι δύο αυτές ώρες αντικατοπτρίζουν το χρονικό διάστημα κατά το οποίο ο σταθμός θα απορροφά ενέργεια (θα αγοράζει) από το σύστημα

Αντίστοιχα, έχουν επιλεγθεί (με πράσινο χρώμα στη 2^η γραμμή) οι δύο διαδοχικές ώρες (19:00-20:00 και 20:00-21:00) με την υψηλότερη τιμή ηλεκτρικής ενέργειας 208 eur/MWh και 198 eur/MWh αντίστοιχα. Οι δύο αυτές ώρες αντικατοπτρίζουν το χρονικό διάστημα κατά το οποίο ο σταθμός θα εγγέει ενέργεια (την αποθηκευμένη ενέργεια του) στο σύστημα.

Η 4^η σειρά παραθέτει τα μεγαβάτ ανά ώρα που θα εγγέεται ή θα απορροφούνται από το σύστημα. Σημειώνεται ότι έχει θεωρηθεί στη λίστα δεδομένων ότι ο σταθμός έχει ονομαστική ισχύ 100MW.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Η 5^η σειρά παραθέτει το σύνολο των εξόδων με κόκκινο χρώμα (αγορά ενέργειας για αποθήκευση) και το σύνολο των εσόδων με εσόδων με πράσινο χρώμα (πώληση ενέργειας που έχει αποθηκευτεί). Τα ύψος των εσόδων ή εξόδων υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας την τιμή ηλεκτρικής ενέργειας (γραμμή 2) με τα μεγαβάτ του σταθμού ανά ώρα (γραμμή 4).

Επομένως χρησιμοποιώντας την (1) προκύπτει ότι :

Πίνακας 8: Ετήσια Έσοδα από τη λειτουργία arbitrage για ένα κύκλο την ημέρα.

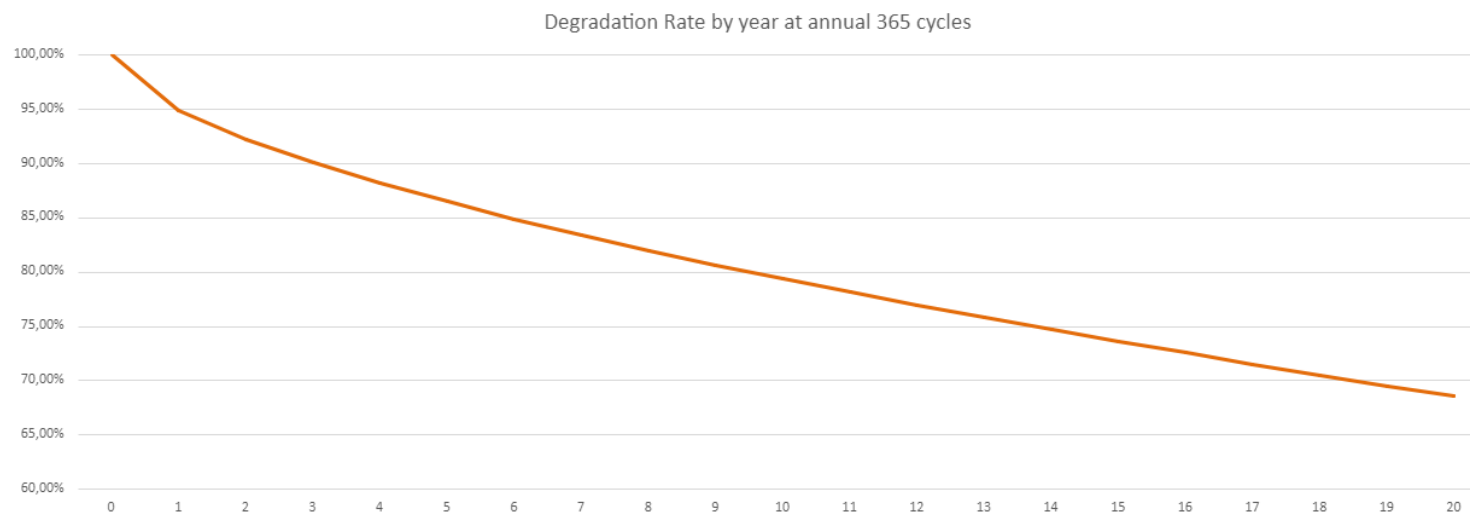
| ΕΤΗΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ARBITRAGE ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΙΣΧΥΟΣ 100 MW ΜΕ ΕΝΑ ΠΛΗΡΗ ΚΥΚΛΟ ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ | |
|--|-------------------|
| ΕΞΟΔΑ ΑΠΟ ΑΓΟΡΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ / ΕΤΟΣ | 4.380.000,00 ΕΥΡΩ |
| ΕΣΟΔΑ ΑΠΟ ΠΩΛΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ /ΕΤΟΣ | 7.113.120,00 ΕΥΡΩ |
| ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΩΝ ΔΥΟ ΠΑΡΑΠΑΝΩ | 2.733.120,00 ΕΥΡΩ |

Όπου τα έξοδα για 1MW αντιστοιχούν στο μέρος Σ Αγοράς $i * \text{Μέρα } i * \text{Βφόρτισης της (1)}$ και τα έσοδα στο μέρος Σ Πώλησης $i * \text{Μέρα } i * \text{Βεκφόρτισης της (1)}$

Επομένως, σύμφωνα με την (1) το $K = \text{έσοδα σταθμού (Έσοδα από πώληση - Έξοδα από αγορά) ονομαστικής ισχύος 100MW που πραγματοποιεί ένα πλήρη κύκλο φόρτισης/ εκφόρτισης την ημέρα υπολογίζονται ίσα με 2.733.120 EUR για το 1^ο έτος λειτουργίας του σταθμού. Για να υπολογίσουμε το K για τα υπόλοιπα έτη λειτουργίας του σταθμού θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν ο βαθμός αυτοεκφόρτισης (degradation rate) των μπαταριών όταν πραγματοποιούν 1 πλήρη κύκλο ανά ημέρα.$

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η ποσοστιαία κατάπτωση του βαθμού αυτοεκφόρτισης ενός σταθμού αποθήκευσης που πραγματοποιεί ένα κύκλο φόρτισης ανά ημέρα.



Διάγραμμα 23: Ποσοστιαία κατάπτωση βαθμού αυτοεκφόρτισης μπαταρίας για 365 κύκλους το χρόνο.

Λαμβάνοντας υπόψιν διάγραμμα 6 και τον πίνακα 7 προκύπτουν ακολούθως τα έσοδα από την αγορά επόμενης ημέρας με τη λειτουργία arbitrage για τα σύνολο 20 έτη λειτουργίας του σταθμού.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Σημειώνεται ότι κατά το 10^ο έτος θα γίνει αντικατάσταση των μπαταριών για την αντιστάθμιση της αποδοτικότητας του σταθμού.

Πίνακας 9 : Έσοδα από τη λειτουργία arbitrage για όλα τα έτη λειτουργίας του σταθμού ισχύος 100MW.

| ΕΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΤΑΘΜΟΥ | ΒΑΘΜΟΣ ΑΥΤΟΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ | ΕΣΟΔΑ |
|--------------------------|-----------------------|------------------------|
| 0 | 100.00% | 2,733,120.00 € |
| 1 | 94.95% | 2,595,097.44 € |
| 2 | 92.29% | 2,522,396.45 € |
| 3 | 90.12% | 2,463,087.74 € |
| 4 | 88.23% | 2,411,431.78 € |
| 5 | 86.51% | 2,364,422.11 € |
| 6 | 84.92% | 2,320,965.50 € |
| 7 | 83.43% | 2,280,242.02 € |
| 8 | 82.03% | 2,241,978.34 € |
| 9 | 80.69% | 2,205,354.53 € |
| 10 | 79.40% | 2,170,097.28 € |
| 11 | 100.00% | 2,733,120.00 € |
| 12 | 94.95% | 2,595,097.44 € |
| 13 | 92.29% | 2,522,396.45 € |
| 14 | 90.12% | 2,463,087.74 € |
| 15 | 88.23% | 2,411,431.78 € |
| 16 | 86.51% | 2,364,422.11 € |
| 17 | 84.92% | 2,320,965.50 € |
| 18 | 83.43% | 2,280,242.02 € |
| 19 | 82.03% | 2,241,978.34 € |
| 20 | 80.69% | 2,205,354.53 € |
| ΣΥΝΟΛΟ ΕΣΟΔΩΝ | | 50,446,289.09 € |

Εν κατακλείδι, υπολογίστηκε ότι τα έσοδα του σταθμού ισχύος 100MW που λειτουργεί με arbitrage και πραγματοποιεί ένα κύκλο φόρτισης /εκφόρτισης ανά ημέρα μετά το πέρας των 20 ετών λειτουργίας θα είναι ίσα με 50.446.289,00 εκ. ευρώ.

B) Δύο (2) κύκλοι φόρτισης /εκφόρτισης ανά ημέρα λειτουργίας

Σε αυτή τη περίπτωση ο σταθμός θα πραγματοποιεί ένα δύο (2) κύκλους φόρτισης εκφόρτισης σε διάστημα δύο (2) διαδοχικών ωρών ανά ημέρα. Έτσι, με βάση τον πίνακα 5 (Μέσος Όρος τιμών, Ταξινόμηση) των μακροπρόθεσμων δεδομένων τιμών επόμενης ημέρας και τη λειτουργία arbitrage θα επιλεγούν τα κατάλληλα δύο δίωρα διαστήματα όπου ο σταθμός θα εκφορτίζει / αντιστοιχεί σε πώληση (θα εγγεί ενέργεια στο δίκτυο) και τα κατάλληλα δύο δίωρα διαστήματα όπου ο σταθμός θα φορτίζει /αντιστοιχεί σε αγορά (θα απορροφά ενέργεια από το δίκτυο).

Ο πίνακας 5 διαμορφώνεται ως εξής:

Πίνακας 10: Επιλογή συμφερονσών δίωρων διαστημάτων για πώληση και αγορά ενέργειας όταν ο σταθμός πραγματοποιεί ένα κύκλο φόρτισης.

| ΩΡΕΣ ΗΜΕΡΑΣ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
|---|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|------|-----|-----|-----|
| ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΤΙΜΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΟ 1-11-20 UNTIL TODAY 30-5-2 | 143 | 136 | 128 | 123 | 127 | 141 | 160 | 172 | 187 | 152 | 141 | 135 | 133 | 128 | 135 | 150 | 168 | 185 | 197 | 208 | 198 | 175 | 164 | 150 |
| ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΑΥΞΟΥΣΑΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ | 11 | 8 | 3 | 1 | 2 | 10 | 15 | 19 | 17 | 14 | 9 | 7 | 5 | 4 | 6 | 13 | 18 | 21 | 22 | 24 | 23 | 20 | 16 | 12 |
| ΜΕΓΑΤΑΤ ΣΤΑΘΜΟΥ ΑΝΑ ΩΡΑ | 0 | 0 | 0 | 50 | 50 | 0 | 0 | 50 | 50 | 0 | 0 | 0 | 50 | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50 | 50 | 0 | 0 | 0 |
| ΣΥΝΟΛΟ ΕΣΟΔΩΝ Η ΕΞΟΔΩΝ / ΗΜΕΡΑ | 0 | 0 | 0 | 6150 | 6350 | 0 | 0 | 8600 | 8350 | 0 | 0 | 0 | 6650 | 6400 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10400 | 9900 | 0 | 0 | 0 |

Όπου, η 1^η γραμμή του ανωτέρω πίνακα παραθέτει την εκάστοτε ώρα της ημέρας (0-23), η 2^η γραμμή παραθέτει την ακέραια τιμή κατά μέσο όρο για κάθε ώρα της ημέρας και η 3^η γραμμή παραθέτει την αντίστοιχη αύξουσα ταξινόμηση των τιμών της 2^{ης} γραμμής. Όπως παρατηρείται έχουν επιλεγθεί (με κόκκινο χρώμα στη 2^η γραμμή) τα δύο δίωρα διαστήματα (03:00-04:00 και 04:00-05:00 και 12:00-13:00 και 13:00-14:00) με την χαμηλότερη τιμή ηλεκτρικής ενέργειας 123 eur/MWh, 127 eur/MWh και 133 eur/MWh, 128 eur/MWh αντίστοιχα. Τα δύο αυτά δίωρα χρονικά διαστήματα αντικατοπτρίζουν τα χρονικά διαστήματα κατά το οποίο ο σταθμός θα απορροφά ενέργεια (θα αγοράζει) από το σύστημα

Αντίστοιχα, έχουν επιλεγθεί (με πράσινο χρώμα στη 2^η γραμμή) τα δύο δίωρα χρονικά διαστήματα (07:00-08:00, 08:00-09:00 και 19:00-20:00, 20:00-21:00) με την υψηλότερη τιμή ηλεκτρικής ενέργειας 172 eur/MWh, 187eur/MWh και 208 eur/MWh, 198 eur/MWh αντίστοιχα. Τα δύο δίωρα χρονικά διαστήματα αντικατοπτρίζουν τα χρονικά διαστήματα κατά το οποίο ο σταθμός θα εγγεί ενέργεια (την αποθηκευμένη ενέργεια του) στο σύστημα.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Η 4^η σειρά παραθέτει τα μεγαβάτ ανά ώρα που θα εγχέεται η θα απορροφούνται από το σύστημα (σημ. ότι έχει θεωρηθεί στη λίστα δεδομένων ότι ο σταθμός έχει ονομαστική ισχύ 100MW). Η 5^η σειρά παραθέτει το σύνολο των εξόδων με κόκκινο χρώμα (αγορά ενέργειας για αποθήκευση) και το σύνολο των εσόδων με πράσινο χρώμα (πώληση ενέργειας που έχει αποθηκευτεί). Τα ύψος των εσόδων ή εξόδων υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας την τιμή ηλεκτρικής ενέργειας (γραμμή 2) με τα μεγαβάτ του σταθμού ανά ώρα (γραμμή 4).

Επομένως χρησιμοποιώντας την (1) προκύπτει ότι :

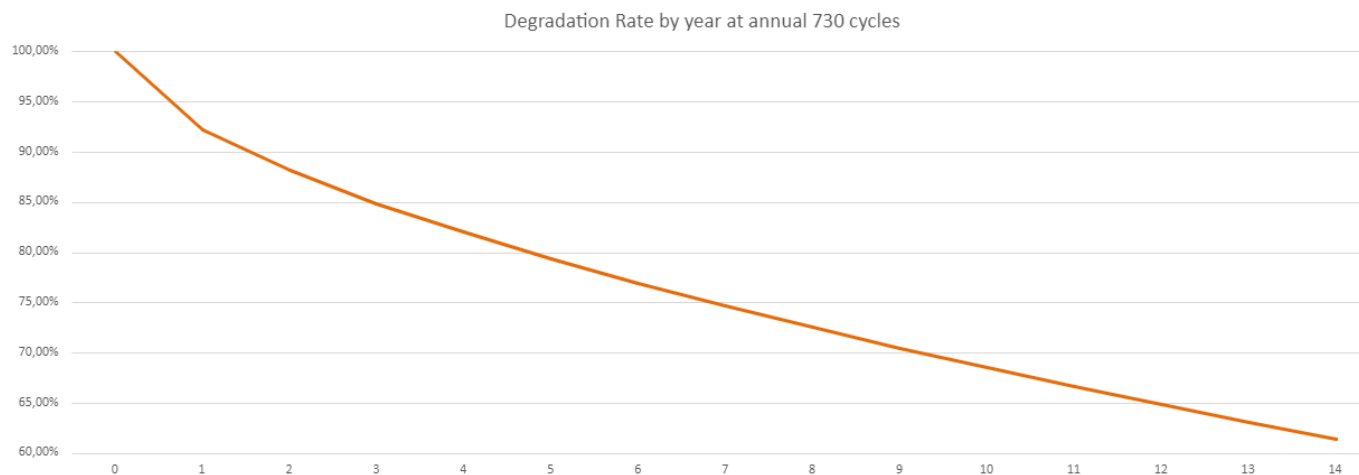
Πίνακας 11: Ετήσια έσοδα από τη λειτουργία arbitrage για δύο κύκλους ανά ημέρα.

| ΕΤΗΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ARBITRAGE ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΙΣΧΥΟΣ 100 MW ΜΕ ΔΥΟ ΠΛΗΡΕΙΣ ΚΥΚΛΟΥΣ ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ | |
|--|--------------------|
| ΕΞΟΔΑ ΑΠΟ ΑΓΟΡΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ / ΕΤΟΣ | 8.952.720,00 ΕΥΡΩ |
| ΕΣΟΔΑ ΑΠΟ ΠΩΛΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ /ΕΤΟΣ | 13.052.400,00 ΕΥΡΩ |
| ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΩΝ ΔΥΟ ΠΑΡΑΠΑΝΩ | 4.099.680,00 ΕΥΡΩ |

Όπου τα έξοδα για 100MW αντιστοιχούν στο μέρος Σ Αγοράς $i * \text{Μέρα } i * \text{Βφόρτισης της (1)}$ και τα έσοδα στο μέρος Σ Πώλησης $i * \text{Μέρα } i * \text{Βεκφόρτισης της (1)}$.

Επομένως, σύμφωνα με την (1) το $K = \text{έσοδα σταθμού (Εσοδα από πώληση - Έξοδα από αγορά) ονομαστικής ισχύος 100MW που πραγματοποιεί ένα πλήρη κύκλο φόρτισης/ εκφόρτισης την ημέρα υπολογίζονται ίσα με 4.099.680 EUR για το 1^ο έτος λειτουργίας του σταθμού. Για να υπολογίσουμε το K για τα υπόλοιπα έτη λειτουργίας του σταθμού θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν ο βαθμός αυτοεκφόρτισης (degradation rate) των μπαταριών όταν πραγματοποιούν 2 πλήρεις κύκλους ανά ημέρα. Στο ακόλουθο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η ποσοστιαία κατάπτωση του βαθμού αυτοεκφόρτισης ενός σταθμού αποθήκευσης που πραγματοποιεί 2 κύκλου φόρτισης ανά ημέρα.$

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»



Διάγραμμα 24: Ποσοστιαία κατάπτωση βαθμού αυτοεκφόρτισης μπαταρίας για 730 κύκλους το χρόνο.

Με βάση το διάγραμμα 7 και τον πίνακα 7 προκύπτουν ακολούθως τα έσοδα από την αγορά επόμενης ημέρας με τη λειτουργία arbitrage για τα σύνολο 20 έτη λειτουργίας του σταθμού.

Σημειώνεται ότι κατά το 10^ο έτος θα γίνει αντικατάσταση των μπαταριών για την αντιστάθμιση της αποδοτικότητας του σταθμού.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

| ΕΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΤΑΘΜΟΥ | ΒΑΘΜΟΣ ΑΥΤΟΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ | ΕΣΟΔΑ |
|--------------------------|-----------------------|-----------------|
| 0 | 100.00% | 4,099,680.00 € |
| 1 | 92.29% | 3,783,594.67 € |
| 2 | 88.23% | 3,617,147.66 € |
| 3 | 84.92% | 3,481,448.26 € |
| 4 | 82.03% | 3,362,967.50 € |
| 5 | 79.40% | 3,255,145.92 € |
| 6 | 76.98% | 3,155,933.66 € |
| 7 | 74.71% | 3,062,870.93 € |
| 8 | 72.56% | 2,974,727.81 € |
| 9 | 70.51% | 2,890,684.37 € |
| 10 | 68.55% | 2,810,330.64 € |
| 11 | 100.00% | 4,099,680.00 € |
| 12 | 92.29% | 3,783,594.67 € |
| 13 | 88.23% | 3,617,147.66 € |
| 14 | 84.92% | 3,481,448.26 € |
| 15 | 82.03% | 3,362,967.50 € |
| 16 | 79.40% | 3,255,145.92 € |
| 17 | 76.98% | 3,155,933.66 € |
| 18 | 74.71% | 3,062,870.93 € |
| 19 | 72.56% | 2,974,727.81 € |
| 20 | 70.51% | 2,890,684.37 € |
| ΣΥΝΟΛΟ ΕΣΟΔΩΝ | | 70,178,732.21 € |

Εν κατακλείδι, υπολογίστηκε ότι τα έσοδα του σταθμού ισχύος 100MW που λειτουργεί με arbitrage και πραγματοποιεί δύο κύκλο φόρτισης /εκφόρτισης ανά ημέρα μετά το πέρας των 20 ετών λειτουργίας του και με αντικατάσταση εξοπλισμού κατά το 10 έτος λειτουργίας θα είναι ίσα με 70.178.732,21 εκ. ευρώ.

Επομένως, συγκρίνοντας τα έσοδα από τη λειτουργία arbitrage του σταθμού πραγματοποιώντας ένα (1) πλήρη κύκλο ανά ημέρα και δύο (2) πλήρεις κύκλους ανά ημέρα, επιλέγεται ότι ο σταθμός θα λειτουργεί πραγματοποιώντας δύο (2) πλήρεις κύκλους / ημέρα έχοντας στο βάθος 20ετίας λειτουργίας του συνολικά έσοδα από arbitrage που ισούνται με 70.178.732,21 εκ ευρώ.

5.3. Ταμειακές Ροές και Υπολογισμός Οικονομικών Δεικτών

5.3.1 Ανάλυση Ταμειακών ροών επένδυσης

Για την αξιολόγηση της οικονομικής βιωσιμότητας του σταθμού αποθήκευσης με μπαταρίες ιόντων λιθίου κρίσιμο παράγοντα αποτελεί το επιχειρηματικό σχέδιο. Η ανάλυση των ταμειακών ροών (cash flow) αποσκοπεί στην κατανόηση της ροής των εσόδων και εξόδων του έργου κατά τα 20 έτη λειτουργίας του. Με αυτό το τρόπο εκτιμάται η οικονομική βιωσιμότητα του σταθμού αποθήκευσης.

Για την ανάλυση των ταμειακών ροών του σταθμού αποθήκευσης λήφθηκαν τα ακόλουθα δεδομένα:

| ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΑΗΕ | |
|--------------------------------|--------|
| ΙΣΧΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥ | 100MW |
| ΠΛΗΡΕΙΣ ΚΥΚΛΟΙ ΗΜΕΡΗΣΙΩΣ | 2 |
| ΑΠΟΘΗΚΕΥΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ | 200MWh |
| ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ / ΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ | 2h |

Επίσης, όσον αφορά τις κεφαλαιουχικές δαπάνες του σταθμού (συνολικό κόστος εγκατάστασης και εξοπλισμού του σταθμού, κόστη για μπαταρίες, μετατροπείς ισχύος, κοντέινερ, και άλλες υποδομές) όπως αυτές ορίστηκαν και αναλύθηκαν στο διάγραμμα 3, λήφθηκαν υπόψιν τα ακόλουθα δεδομένα.

| ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ | |
|---|------------|
| ΚΕΦΑΛΑΙΟΥΧΙΚΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ (ευρώ) | 50.000.000 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟΥΧΙΚΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ /MW (ευρώ / μεγαβάτ) | 500.000 |

Για την εν λόγω επένδυση και την ανάλυση ταμειακών ροών ως προς τη δομή κεφαλαίων και τους όρους πίστωσης του δανείου λήφθηκαν υπόψιν τα ακόλουθα δεδομένα.

Πίνακας 12: Δομή Κεφαλαίων

| ΔΟΜΗ ΚΕΦΑΛΑΙΩΝ | |
|----------------|------|
| ΙΔΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΑ | 0% |
| ΔΑΝΕΙΟ | 100% |

Πίνακας 13: Όροι πίστωσης Δανείου

| ΟΡΟΙ ΠΙΣΤΩΣΗΣ | |
|---------------------------|----------------|
| ΕΠΙΤΟΚΙΟ | 0.02 |
| ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΔΑΝΕΙΟΥ | 10 |
| ΔΟΣΗ ΔΑΝΕΙΟΥ | € 5,566,326.39 |
| ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΚΑΤΑΒΟΛΗΣ ΔΟΣΗΣ | ΕΤΗΣΙΩΣ |

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζεται η αποπληρωμή του δανείου και παρατίθενται η ετήσια δόση, οι τόκοι αλλά και το υπόλοιπο του δανείου μετά τη καταβολή της ετήσιας δόσης.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Πίνακας 14: Πίνακας Αποπληρωμής Δανείου

| ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗΣ ΔΑΝΕΙΟΥ | | | | |
|-----------------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| ΕΤΟΣ | ΔΟΣΗ | ΚΕΦΑΛΑΙΟ | ΤΟΚΟΙ | ΥΠΟΛΟΙΠΟ |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 50,000,000 |
| 1 | € 5,566,326.39 | € 4,566,326.39 | € 1,000,000.00 | € 45,433,673.61 |
| 2 | € 5,566,326.39 | € 4,657,652.92 | € 908,673.47 | € 40,776,020.69 |
| 3 | € 5,566,326.39 | € 4,750,805.98 | € 815,520.41 | € 36,025,214.71 |
| 4 | € 5,566,326.39 | € 4,845,822.10 | € 720,504.29 | € 31,179,392.61 |
| 5 | € 5,566,326.39 | € 4,942,738.54 | € 623,587.85 | € 26,236,654.07 |
| 6 | € 5,566,326.39 | € 5,041,593.31 | € 524,733.08 | € 21,195,060.75 |
| 7 | € 5,566,326.39 | € 5,142,425.18 | € 423,901.22 | € 16,052,635.58 |
| 8 | € 5,566,326.39 | € 5,245,273.68 | € 321,052.71 | € 10,807,361.89 |
| 9 | € 5,566,326.39 | € 5,350,179.16 | € 216,147.24 | € 5,457,182.74 |
| 10 | € 5,566,326.39 | € 5,457,182.74 | € 109,143.65 | € 0.00 |
| 11 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 |
| 12 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 |
| 13 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 |
| 14 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 |
| 15 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 |
| 16 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 |
| 17 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 |
| 18 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 |
| 19 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 |
| 20 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 |

Όσον αφορά τα λειτουργικά έξοδα του σταθμού τα οποία περιλαμβάνουν το κόστος συντήρησης και άλλες δαπάνες λειτουργίας λήφθηκαν υπόψιν τα ακόλουθα:

Πίνακας 15: Δεδομένα, Αναμενόμενος Πληθωρισμός, Φορολογία, Λειτουργικά Έξοδα / Έτος

| | |
|--|--------|
| ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟΣ ΕΤΗΣΙΟΣ ΠΛΗΘΩΡΙΣΜΟΣ | 1% |
| ΦΟΡΟΛΟΓΙΑ | 10% |
| ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΕΞΟΔΑ ΑΝΑ ΕΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ | 500000 |

Έτσι υπολογίστηκαν τα ετήσια λειτουργικά έξοδα για κάθε ένα από τα είκοσι έτη λειτουργίας του σταθμού αποθήκευσης θεωρώντας ότι ο ετήσιος αναμενόμενος πληθωρισμός θα είναι 1%. Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται προσεγγιστικά τα συνολικά λειτουργικά έξοδα του σταθμού αποθήκευσης ισχύος 100MW για κάθε ένα από τα είκοσι έτη λειτουργίας του.

Πίνακας 16: Λειτουργικά έξοδα σταθμού αποθήκευσης για κάθε ένα από τα 20 χρόνια λειτουργίας του

| ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΕΞΟΔΑ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| ΕΤΟΣ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΕΞΟΔΑ | € 500,000.00 | € 505,000.00 | € 510,050.00 | € 515,150.50 | € 520,302.01 | € 525,505.03 | € 530,760.08 | € 536,067.68 | € 541,428.35 | € 546,842.64 | € 552,311.06 | € 557,834.17 | € 563,412.52 | € 569,046.64 | € 574,737.11 | € 580,484.48 | € 586,289.32 | € 592,152.22 | € 598,073.74 | € 604,054.48 |

Όπως παρουσιάζεται στον ανωτέρω πίνακα τα λειτουργικά έξοδα του σταθμού που περιλαμβάνουν κατά το πλείστο το κόστος συντήρησης του σταθμού και άλλες δαπάνες λειτουργίας παρουσιάζουν μια σταθερή και αυξανόμενη τάση που καθορίζεται από τον ετήσιο πληθωρισμό αλλά και εξαρτάται και από τις ανάγκες του σταθμού.

Επομένως, σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία ο υπολογισμός εσόδων και εξόδων βασίστηκε στα έσοδα από arbitrage δηλαδή στα έσοδα που προκύπτουν από την αγορά και πώληση ενέργειας στην αγορά επόμενης ημέρας του χρηματιστηρίου ενέργειας όπου χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα τιμών από το 2020 μέχρι το 2024 καθώς και στο υπολογισμό των λειτουργικών εξόδων και του αρχικού κεφαλαίου επένδυσης (κεφαλαιουχικές δαπάνες)

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζεται η κατάσταση αποτελεσμάτων χρήσης για τον σταθμό αποθήκευσης ενέργειας όπου απεικονίζονται τα ετήσια έσοδα (έσοδα από arbitrage), τα ετήσια έξοδα, (λειτουργικά έξοδα, τόκοι μακροπροθέσμων δανείων, φόροι εσόδων) και καθαρά κέρδη (καθαρά έσοδα) του σταθμού για ένα χρονικό διάστημα 20 ετών.

Πίνακας 17: Κατάσταση Αποτελεσμάτων (Income statement)

| ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ (INCOME STATEMENT) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| ΕΤΟΣ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| ΚΑΘΑΡΕΣ ΠΙΛΗΣΕΙΣ ΑΠΟ ARBITRAGE ΜΕ ΡΥΘΜΟ ΑΥΤΟΚΕΦ | 4,099,680.00 € | 3,783,594.67 € | 3,617,147.66 € | 3,481,448.26 € | 3,362,967.50 € | 3,255,145.92 € | 3,155,933.66 € | 3,062,870.93 € | 2,974,727.81 € | 2,890,684.37 € | 4,099,680.00 € | 3,783,594.67 € | 3,617,147.66 € | 3,481,448.26 € | 3,481,448.26 € | 3,362,967.50 € | 3,255,145.92 € | 3,155,933.66 € | 3,062,870.93 € | 2,974,727.81 € |
| ΜΕΙΟΝ –ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΕΞΟΔΑ | € 500,000.00 | € 505,000.00 | € 510,050.00 | € 515,150.50 | € 520,302.01 | € 525,505.03 | € 530,760.08 | € 536,067.68 | € 541,428.35 | € 546,842.64 | € 552,311.06 | € 557,834.17 | € 563,412.52 | € 569,046.64 | € 574,737.11 | € 580,484.48 | € 586,289.32 | € 592,152.22 | € 598,073.74 | € 604,054.48 |
| ΕΣΟΔΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ | 3,599,680.00 € | 3,278,594.67 € | 3,107,097.66 € | 2,966,297.76 € | 2,842,665.50 € | 2,729,640.89 € | 2,625,173.59 € | 2,526,803.25 € | 2,433,299.46 € | 2,343,841.73 € | 3,547,368.94 € | 3,225,760.50 € | 3,053,735.15 € | 2,912,401.62 € | 2,906,711.15 € | 2,782,483.03 € | 2,668,856.60 € | 2,563,781.45 € | 2,464,797.19 € | 2,370,673.33 € |
| ΜΕΙΟΝ – ΤΟΚΟΙ ΜΑΚΡΟΠΡΟΘΕΣΜΩΝ ΔΑΝΕΙΩΝ | € 1,000,000.00 | € 908,673.47 | € 815,520.41 | € 720,504.29 | € 623,587.85 | € 524,733.08 | € 423,901.22 | € 321,052.71 | € 216,147.24 | € 109,143.65 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 |
| ΕΣΟΔΑ ΠΡΙΝ ΦΟΡΩΝ | 2,599,680.00 € | 2,369,921.20 € | 2,291,577.25 € | 2,245,793.46 € | 2,219,077.65 € | 2,204,907.81 € | 2,201,272.37 € | 2,205,750.54 € | 2,217,152.22 € | 2,234,698.08 € | 3,547,368.94 € | 3,225,760.50 € | 3,053,735.15 € | 2,912,401.62 € | 2,906,711.15 € | 2,782,483.03 € | 2,668,856.60 € | 2,563,781.45 € | 2,464,797.19 € | 2,370,673.33 € |
| ΜΕΙΟΝ –ΦΟΡΟΣ ΕΣΟΔΩΝ | 259,968.00 € | 236,962.12 € | 229,157.73 € | 224,679.35 € | 221,907.76 € | 220,490.78 € | 220,127.24 € | 220,575.05 € | 221,715.22 € | 223,469.81 € | 180,801.96 € | 313,294.28 € | 285,319.80 € | 272,387.41 € | 262,009.66 € | 254,635.31 € | 247,810.11 € | 241,930.77 € | 236,753.09 € | 232,155.67 € |
| ΚΑΘΑΡΑ ΕΣΟΔΑ | 2,339,712.00 € | 2,132,929.08 € | 2,062,419.53 € | 2,021,214.12 € | 1,997,169.88 € | 1,984,417.03 € | 1,981,145.14 € | 1,985,175.49 € | 1,995,437.00 € | 2,011,228.27 € | 3,366,566.98 € | 2,912,466.22 € | 2,768,415.35 € | 2,640,014.21 € | 2,644,101.49 € | 2,527,847.71 € | 2,421,046.49 € | 2,321,850.68 € | 2,228,044.10 € | 2,138,517.46 € |

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Στην συνέχεια, λαμβάνοντας υπόψη όλες τις ανωτέρω αναλύσεις, δημιουργήθηκε ο πίνακας ταμειακών ορών.

Συγκεκριμένα, η ανάλυση των ταμειακών ροών για τη διάρκεια ζωής του έργου (π.χ. 20 έτη) έγινε λαμβάνοντας υπόψη:

- ✓ Τους πίνακες με τα ετήσια έσοδα από τη λειτουργία arbitrage με τη συμμετοχή του σταθμού στην αγορά επόμενης ημέρας του χρηματιστηρίου ενέργειας
- ✓ Τους πίνακες με τα ετήσια λειτουργικά έξοδα
- ✓ Τα Καθαρά Ετήσια Έσοδα (Net Annual Income) υπολογίστηκαν αφαιρώντας τα λειτουργικά έξοδα από τα έσοδα όπως παρουσιάζεται στον πίνακα με τα αποτελέσματα χρήσης.
- ✓ Το EBITDA ("Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation, and Amortization,") δηλαδή "Κέρδη πριν από Τόκους, Φόρους, Απόσβεση και Αποσβέσεις." Είναι ένα χρηματοοικονομικό μέτρο που χρησιμοποιείται για να εκτιμήσει την κερδοφορία και την οικονομική απόδοση μιας επιχείρησης, εστιάζοντας μόνο στις κύριες δραστηριότητες της επιχείρησης και εξαιρώντας στοιχεία που δεν σχετίζονται άμεσα με την κύρια λειτουργία της.
- ✓ Τέλος, υπολογίστηκαν οι Ταμειακές Ροές (Cash Flows) για κάθε έτος λαμβάνοντας υπόψη τα καθαρά ετήσια έσοδα και τις επενδυτικές δαπάνες.

Πίνακας 18: Ανάλυση Ταμειακών Ροών Σταθμού Αποθήκευσης για τα έτη 0 (περίοδος κατασκευής) έως 10. Μέρος 1 από 2

| ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΑΜΕΙΑΚΩΝ ΡΟΩΝ | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| ΕΤΟΣ | 0 / Περίοδος Κατασκευής | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| ΤΑΜΕΙΑΚΕΣ ΕΙΣΡΟΕΣ | | | | | | | | | | | |
| ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ | | | | | | | | | | | |
| ΠΩΛΗΣΕΙΣ | 0 | 4,099,680.00 € | 3,783,594.67 € | 3,617,147.66 € | 3,481,448.26 € | 3,362,967.50 € | 3,255,145.92 € | 3,155,933.66 € | 3,062,870.93 € | 2,974,727.81 € | 2,890,684.37 € |
| ΣΥΝΟΛΟ ΠΟΣΟΥ ΑΠΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ | 0 | 4,099,680.00 € | 3,783,594.67 € | 3,617,147.66 € | 3,481,448.26 € | 3,362,967.50 € | 3,255,145.92 € | 3,155,933.66 € | 3,062,870.93 € | 2,974,727.81 € | 2,890,684.37 € |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ | 0 | | | | | | | | | | |
| ΔΑΝΕΙΣΜΕΝΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ | 50,000,000 | | | | | | | | | | |
| ΔΑΝΕΙΟ | 50,000,000 | | | | | | | | | | |
| ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥΧΙΚΗ ΔΑΠΑΝΗ | 50,000,000 | 4,099,680.00 € | 3,783,594.67 € | 3,617,147.66 € | 3,481,448.26 € | 3,362,967.50 € | 3,255,145.92 € | 3,155,933.66 € | 3,062,870.93 € | 2,974,727.81 € | 2,890,684.37 € |
| ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΤΑΜΕΙΑΚΕΣ ΕΙΣΡΟΕΣ | | | | | | | | | | | |
| ΕΚΡΟΕΣ ΜΕΤΡΗΤΩΝ | 50,000,000 | | | | | | | | | | |
| ΑΡΧΙΚΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗ | | € 500,000.00 | € 505,000.00 | € 510,050.00 | € 515,150.50 | € 520,302.01 | € 525,505.03 | € 530,760.08 | € 536,067.68 | € 541,428.35 | € 546,842.64 |
| ΣΥΝΟΛΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΔΑΠΑΝΩΝ | | | | | | | | | | | |
| ΕΒΙΤΔΑ | -50,000,000 | 3,599,680.00 € | 3,278,594.67 € | 3,107,097.66 € | 2,966,297.76 € | 2,842,665.50 € | 2,729,640.89 € | 2,625,173.59 € | 2,526,803.25 € | 2,433,299.46 € | 2,343,841.73 € |
| ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗ ΔΑΝΕΙΟΥ | | | | | | | | | | | |
| ΤΟΚΟΣ | | € 1,000,000.00 | € 908,673.47 | € 815,520.41 | € 720,504.29 | € 623,587.85 | € 524,733.08 | € 423,901.22 | € 321,052.71 | € 216,147.24 | € 109,143.65 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ | | € 4,566,326.39 | € 4,657,652.92 | € 4,750,805.98 | € 4,845,822.10 | € 4,942,738.54 | € 5,041,593.31 | € 5,142,425.18 | € 5,245,273.68 | € 5,350,179.16 | € 5,457,182.74 |
| ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΟΣΟ ΓΙΑ ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗ ΔΑΝΕΙΟΥ / ΔΟΣΗ | | € 5,566,326.39 | € 5,566,326.39 | € 5,566,326.39 | € 5,566,326.39 | € 5,566,326.39 | € 5,566,326.39 | € 5,566,326.39 | € 5,566,326.39 | € 5,566,326.39 | € 5,566,326.39 |
| ΦΟΡΟΣ ΕΙΣΟΔΗΜΑΤΟΣ | | 259,968.00 € | 236,992.12 € | 229,157.73 € | 224,579.35 € | 221,907.76 € | 220,490.78 € | 220,127.24 € | 220,575.05 € | 221,715.22 € | 223,469.81 € |
| ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΕΚΡΟΕΣ | -50,000,000 | € 6,326,294.39 | € 6,308,318.51 | € 6,305,534.12 | € 6,306,056.24 | € 6,308,536.16 | € 6,312,322.20 | € 6,317,213.71 | € 6,322,969.12 | € 6,329,469.97 | € 6,336,638.84 |
| ΚΑΘΑΡΗ ΤΑΜΕΙΑΚΗ ΡΟΗ | -50,000,000 | -2,226,614.39 € | -2,524,723.84 € | -2,688,386.45 € | -2,824,607.98 € | -2,945,668.66 € | -3,057,176.28 € | -3,161,280.04 € | -3,260,098.20 € | -3,354,742.16 € | -3,445,954.47 € |
| ΣΩΡΕΥΤΙΚΗ ΚΑΘΑΡΗ ΤΑΜΕΙΑΚΗ ΡΟΗ | -50,000,000 | -52,226,614.39 € | -54,751,338.23 € | -57,439,724.69 € | -60,264,332.67 € | -63,209,901.33 € | -66,267,077.61 € | -69,428,357.65 € | -72,688,455.85 € | -76,043,198.01 € | -79,489,152.48 € |

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Πίνακας 19: Ανάλυση Ταμειακών Ροών Σταθμού Αποθήκευσης για τα έτη 10 έως 20 (τέλος λειτουργίας). Μέρος 2 από 2

| ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΑΜΕΙΑΚΩΝ ΡΟΩΝ | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| ΕΤΟΣ | 0 / Περίοδος Κατασκευής | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| ΤΑΜΕΙΑΚΕΣ ΕΙΣΡΟΕΣ | | | | | | | | | | | |
| ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ | | | | | | | | | | | |
| ΠΩΛΗΣΕΙΣ | 0 | 4,099,680.00 € | 3,783,594.67 € | 3,617,147.66 € | 3,481,448.26 € | 3,481,448.26 € | 3,362,967.50 € | 3,255,145.92 € | 3,155,933.66 € | 3,062,870.93 € | 2,974,727.81 € |
| ΣΥΝΟΛΟ ΠΟΣΟΥ ΑΠΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ | 0 | 4,099,680.00 € | 3,783,594.67 € | 3,617,147.66 € | 3,481,448.26 € | 3,481,448.26 € | 3,362,967.50 € | 3,255,145.92 € | 3,155,933.66 € | 3,062,870.93 € | 2,974,727.81 € |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ | 0 | | | | | | | | | | |
| ΔΑΝΕΙΣΜΕΝΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ | 50,000,000 | | | | | | | | | | |
| ΔΑΝΕΙΟ | 50,000,000 | | | | | | | | | | |
| ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥΧΙΚΗ ΔΑΠΑΝΗ | 50,000,000 | 4,099,680.00 € | 3,783,594.67 € | 3,617,147.66 € | 3,481,448.26 € | 3,481,448.26 € | 3,362,967.50 € | 3,255,145.92 € | 3,155,933.66 € | 3,062,870.93 € | 2,974,727.81 € |
| ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΤΑΜΕΙΑΚΕΣ ΕΙΣΡΟΕΣ | | | | | | | | | | | |
| ΕΚΡΟΕΣ ΜΕΤΡΗΤΩΝ | 50,000,000 | | | | | | | | | | |
| ΑΡΧΙΚΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗ | | € 552,311.06 | € 557,834.17 | € 563,412.52 | € 569,046.64 | € 574,737.11 | € 580,484.48 | € 586,289.32 | € 592,152.22 | € 598,073.74 | € 604,054.48 |
| ΣΥΝΟΛΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΔΑΠΑΝΩΝ | | | | | | | | | | | |
| ΕΒΙΤΔΑ | -50,000,000 | 3,547,368.94 € | 3,225,760.50 € | 3,053,735.15 € | 2,912,401.62 € | 2,906,711.15 € | 2,782,483.03 € | 2,668,856.60 € | 2,563,781.45 € | 2,464,797.19 € | 2,370,673.33 € |
| ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗ ΔΑΝΕΙΟΥ | | | | | | | | | | | |
| ΤΟΚΟΣ | | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ | | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 |
| ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΟΣΟ ΓΙΑ ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗ ΔΑΝΕΙΟΥ / ΔΟΣΗ | | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 | € 0.00 |
| ΦΟΡΟΣ ΕΙΣΟΔΗΜΑΤΟΣ | | 180,801.96 € | 313,294.28 € | 285,319.80 € | 272,387.41 € | 262,609.66 € | 254,635.31 € | 247,810.11 € | 241,930.77 € | 236,753.09 € | 232,155.87 € |
| ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΕΚΡΟΕΣ | -50,000,000 | € 733,113.02 | € 871,128.45 | € 848,732.31 | € 841,434.05 | € 837,346.77 | € 835,119.79 | € 834,099.43 | € 834,082.99 | € 834,826.83 | € 836,210.34 |
| ΚΑΘΑΡΗ ΤΑΜΕΙΑΚΗ ΡΟΗ | -50,000,000 | 3,366,566.98 € | 2,912,466.22 € | 2,768,415.35 € | 2,640,014.21 € | 2,644,101.49 € | 2,527,847.71 € | 2,421,046.49 € | 2,321,850.68 € | 2,228,044.10 € | 2,138,517.46 € |
| ΣΩΡΕΥΤΙΚΗ ΚΑΘΑΡΗ ΤΑΜΕΙΑΚΗ ΡΟΗ | -50,000,000 | -76,122,585.50 € | -73,210,119.28 € | -70,441,703.92 € | -67,801,689.72 € | -65,157,588.23 € | -62,629,740.52 € | -60,208,694.02 € | -57,886,843.35 € | -55,658,799.25 € | -53,520,281.79 € |

5.3.2 Υπολογισμός ποσοστού προεξοφλημένης αποπληρωμής επένδυσης στα 10 χρόνια.

Στη παρούσα μελέτη λήφθηκε υπόψιν το σενάριο όπου ο σταθμός αποθήκευσης αντλεί έσοδα μόνο από την αγορά επόμενης ημέρας πραγματοποιώντας λειτουργία arbitrage, εκμεταλλευόμενος τη διαφορά των τιμών της επόμενης ημέρας για να πραγματοποιήσει εντολές αγοράς με απορρόφηση ενέργειας και πώλησης με έγχυση ενέργειας στο δίκτυο.

Ωστόσο, με μοναδικό μηχανισμό εσόδων τη συμμετοχή του σταθμού στην αγορά επόμενης ημέρας, ήταν αναμενόμενο να μη φέρει τα επιθυμητά οικονομικά αποτελέσματα καθώς θα έπρεπε να έχουν συμπεριληφθεί και άλλες πηγές άντλησης εσόδων όπως η συμμετοχή του σταθμού στην αγορά εξισορρόπησης με παροχή υπηρεσιών εξισορρόπησης ή δέσμευση ισχύος για περιόδους έκτακτης ανάγκης ή ακόμη και συμμετοχή σε διαγωνισμούς ισχύος. Είναι απαραίτητη λοιπόν η συμπερίληψη στο τεchnοοικονομικό μοντέλο και άλλες πηγών άντλησης εσόδων πέραν της συμμετοχής του σταθμού στην αγορά επόμενης ημέρας με λειτουργία arbitrage.

Σε κάθε περίπτωση με τη βοήθεια του δείκτη προεξοφλημένης περιόδου απόσβεσης (discounted payback period) μπορεί να υπολογιστεί η ποσοστιαία απόσβεση στα 10 πρώτα χρόνια λειτουργίας του σταθμού λαμβάνοντας υπόψιν μόνο τη συμμετοχή του στην αγορά επόμενης ημέρας.

Ο συγκεκριμένος δείκτης υπολογίζει τον χρόνο που απαιτείται για να ανακτηθεί η αρχική επένδυση λαμβάνοντας υπόψη την προεξόφληση των ταμειακών ροών και είναι πιο ακριβής από τον απλό δείκτη περιόδου απόσβεσης γιατί λαμβάνει υπόψη την αξία του χρήματος στον χρόνο.

Ουσιαστικά, περίοδος απόσβεσης είναι η χρονική περίοδος που απαιτείται για να ανακτηθεί η αρχική επένδυση σε ένα έργο ή μια επιχείρηση μέσω των καθαρών ταμειακών ροών που παράγονται από αυτήν την επένδυση. Αντιπροσωπεύει τον χρόνο που χρειάζεται για να καλυφθούν οι αρχικές δαπάνες και να φανεί ότι η επένδυση είναι βιώσιμη.

Ο υπολογισμός της προεξοφλημένης αξίας κάθε ταμειακής ροής έγινε σύμφωνα με την εξίσωση:

$$\text{Προεξοφλημένη Ταμειακή Ροή} = \frac{\text{Ταμειακή ροή}}{(1 + \text{Προεξοφλητικό Επιτόκιο})^t}$$

Όπου το προεξοφλητικό επιτόκιο θεωρείται ίσο με 2% και t είναι τα έτη λειτουργίας του σταθμού.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Από όπου χρησιμοποιώντας την ανωτέρω εξίσωση υπολογίζονται οι προεξοφλημένες ταμειακές ροές ανά έτος.

Πίνακας 20: Υπολογισμοί προεξοφλημένης ταμειακής ροής για 10 χρόνια. (έτη, ταμειακή ροή, υπολογισμός προεξοφλημένης ταμειακής ροής)

| | | |
|----|--------------|--------------------------------------|
| 1 | 3,599,680.00 | $\frac{3,599,680.00}{(1+0.02)^1}$ |
| 2 | 3,278,594.67 | $\frac{3,278,594.67}{(1+0.02)^2}$ |
| 3 | 3,107,097.66 | $\frac{3,107,097.66}{(1+0.02)^3}$ |
| 4 | 2,966,297.76 | $\frac{2,966,297.76}{(1+0.02)^4}$ |
| 5 | 2,842,665.50 | $\frac{2,842,665.50}{(1+0.02)^5}$ |
| 6 | 2,729,640.89 | $\frac{2,729,640.89}{(1+0.02)^6}$ |
| 7 | 2,625,173.59 | $\frac{2,625,173.59}{(1+0.02)^7}$ |
| 8 | 2,526,803.25 | $\frac{2,526,803.25}{(1+0.02)^8}$ |
| 9 | 2,433,299.46 | $\frac{2,433,299.46}{(1+0.02)^9}$ |
| 10 | 2,343,841.73 | $\frac{2,343,841.73}{(1+0.02)^{10}}$ |

Για τον υπολογισμό της περιόδου απόσβεσης για τα 10 πρώτα χρόνια προστέθηκαν οι προεξοφλημένες ταμειακές ροές από το έτος 1 έως το έτος 10. Στη συνέχεια διαιρέθηκε η σωρευτική προεξοφλημένη ταμειακή ροή με το αρχικό ποσό της επένδυσης και πολλαπλασιάστηκε επί τοις εκατό για να βρεθεί το ποσοστό.

Αναλυτικότερα, ακολούθως παρουσιάζεται ο υπολογισμός του ποσοστού αποπληρωμένης επένδυσης στα 10 χρόνια.

Ποσοστό προεξοφλημένη Αποπληρωμένης Επένδυσης στα 10 χρόνια

$$= \left(\frac{\text{Σωρευτική προεξοφλημένη Ταμειακή Ροή στα 10 χρόνια}}{\text{Αρχική Επένδυση}} \right) \times 100 = \frac{25.748.018,29}{50.000.000} \times 100 = 51,49\%$$

Έτσι, μετά από 10 χρόνια, έχει αποπληρωθεί το 51,49% της αρχικής επένδυσης των 50.000.000 €.

Το 51,49% υποδηλώνει ότι μετά από 10 χρόνια λειτουργίας του σταθμού αποθήκευσης, έχει ανακτηθεί περίπου το μισό της αρχικής επένδυσης των 50,000,000€. Έτσι καταδεικνύεται ότι η επένδυση δεν είναι βιώσιμη με μοναδικό μηχανισμό εσόδων τη συμμετοχή του σταθμού στην αγορά επόμενης ημέρας.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Το γεγονός ότι η επένδυση δεν έχει αποσβεστεί πλήρως υποδεικνύει θα πρέπει να συμπεριληφθούν και άλλες πηγές εσόδων και στρατηγικές για να βελτιωθεί η κερδοφορία και η βιωσιμότητά της. Αυτό περιλαμβάνει τη συμμετοχή και άλλων αγορών από όπου μπορεί να αντλεί έσοδα καθώς και κρατικές επιδοτήσεις στις κεφαλαιουχικές δαπάνες του σταθμού αποθήκευσης για στήριξη.

Συνολικά, η περιορισμένη στρατηγική του σταθμού αποθήκευσης που στηρίζεται αποκλειστικά στην αγορά επόμενης ημέρας δεν παρέχει μια βιώσιμη βάση για μακροχρόνια επιτυχία καθώς θα έπρεπε να εξεταστεί και η συμμετοχή του σταθμού και σε άλλες αγορές ενέργειας πέραν της αγοράς επόμενης ημέρας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΕΚΤΑΣΕΙΣ

Στο πλαίσιο της παρούσας πτυχιακής εργασίας διερευνήθηκαν σε βάθος ο ρόλος και οι προοπτικές των τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας στην Ελλάδα, εστιάζοντας ιδιαίτερα στις μπαταρίες ιόντων λιθίου. Μέσα από την τεχνική και οικονομική προσέγγιση ενός σταθμού αποθήκευσης, η εργασία επιδιώκει να αναδείξει τα πλεονεκτήματα και τις προκλήσεις που σχετίζονται με την ανάπτυξη και την ενσωμάτωση αυτών των τεχνολογιών.

Επιπλέον, η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως κύριο στόχο την εμπειριστατωμένη διερεύνηση του ρόλου και των προοπτικών των τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας στο σύγχρονο ενεργειακό τοπίο, με ιδιαίτερη έμφαση στην ελληνική αγορά, καθώς και τη δημιουργία ενός πρωταρχικού μοντέλου υπολογισμού εσόδων του σταθμού με στόχο την εκτίμηση της οικονομικής βιωσιμότητας δίνοντας έμφαση στην ανάγκη για μελλοντικές προεκτάσεις και περαιτέρω έρευνα.

Η εργασία έλαβε υπόψη το υπάρχον νομοθετικό πλαίσιο της Ελλάδος, τα τεχνικά χαρακτηριστικά του σταθμού αποθήκευσης με χρήση συσσωρευτών ιόντων λιθίου ως τεχνολογία αποθήκευσης ενώ αναλύθηκαν και συγκρίθηκαν οι διάφορες κατηγορίες αποθήκευσης ενέργειας. Επίσης, αναλύθηκε η τεχνική περιγραφή του σταθμού με στόχο τη κατανόηση όλων των συνιστωσών που περιλαμβάνει και την περιγραφή από τη μοναδιαία συνιστώσα ως το συνολικό ολοκληρωμένο σύστημα αποθήκευσης. Τα παραπάνω κατέδειξαν απαραίτητη την επιπλέον διεύρυνση της αποθήκευσης ενέργειας και συγκεκριμένα των μπαταριών προκειμένου να επιτευχθούν οι Εθνικοί στόχοι αλλά και οι στόχοι της Ευρωπαϊκής Ένωσης, καθώς επίσης υποδείχθηκαν όλες οι προκλήσεις και οι ευκαιρίες για την εφαρμογή και εγκατάσταση τέτοιων τεχνολογιών.

Στο κεφάλαιο 2 της παρούσας μελέτης παρουσιάστηκε το νομοθετικό πλαίσιο που διέπει του σταθμούς αποθήκευσης το οποίο μεταξύ άλλων περιλαμβάνει εθνικούς στόχους για απεξαρτοποίηση από τα ορυκτά καύσιμα με μεγαλύτερα διείσδυση ΑΠΕ, κανονισμούς αδειοδότησης, περιβαλλοντικές διατάξεις αλλά και χρηματοδοτικά κίνητρα.

Στη συνέχεια, στο κεφάλαιο 3 αναλύθηκαν οι κύριες κατηγορίες των τεχνολογιών αποθήκευσης ενώ επιλέχθηκαν να αναλυθούν και να περιγράψουν τόσο τεχνικά όσο και οικονομικά οι πιο ελκυστικές προς εγκατάσταση λόγω κόστους και περιβαλλοντικού αντίκτυπου, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου σύνθεσης λιθίου φωσφορικού σιδήρου (LFP).

Επιπλέον, η εργασία παρουσίασε την υπάρχουσα κατάσταση στη Ελλάδα αλλά και τους εθνικούς και ευρωπαϊκούς και παγκόσμιους στόχους για την αποθήκευση και την ενεργειακή ανεξαρτησία αλλά και την τρέχουσα παγκόσμια κατάσταση. Ειδικότερα, παρουσίασε τις διεθνείς δράσεις, τάσεις και προοπτικές αλλά και μέρος των τεχνολογικών εξελίξεων, καινοτομιών και ερευνών.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Στη συνέχεια στο κεφάλαιο 4 πραγματοποιήθηκε η τεχνική περιγραφή και ο τεχνικός σχεδιασμός του σταθμού αποθήκευσης με μπαταρίες ιόντων λιθίου σύνθεσης LFP όπου περιεγράφηκε η χημική σύνθεση του κυττάρου της μπαταρίας LFP, τα χαρακτηριστικά μεγέθη των μπαταριών αλλά και η ανάλυση από τη μοναδιαία συνιστώσα του κυττάρου ως ένα ολοκληρωμένο σύστημα αποθήκευσης.

Τέλος, το κεφάλαιο 5 επικεντρώθηκε στην προκαταρκτική οικονομική προσέγγιση ενός συστήματος αποθήκευσης με μπαταρίες ιόντων λιθίου, εγκαταστημένης ισχύος 100MW. Αρχικά, ορίστηκαν, κατηγοριοποιήθηκαν και προσεγγίστηκαν οι κεφαλαιουχικές δαπάνες του σταθμού δηλαδή όλες οι αρχικές επενδυτικές δαπάνες για την αγορά εξοπλισμού και την εγκατάσταση του σταθμού συμπεριλαμβανομένων και των έργων υποδομής. Ενώ, στη συνέχεια παρουσιάστηκαν και προσεγγίστηκαν οι μηχανισμοί από τους οποίους προβλέπεται να έχει έσοδα ο σταθμός και ανέλυσε περαιτέρω τον μηχανισμό εσόδων χρησιμοποιώντας μακροπρόθεσμα δεδομένα από τις τιμές αγοράς της επόμενης ημέρας.

Επίσης, αναλύθηκαν και συγκρίθηκαν δύο διαφορετικοί τρόποι λειτουργίας του σταθμού δηλαδή πραγματοποιώντας 1 ή 2 κύκλους φόρτισης και εκφόρτισης ανά ημέρα από τους οποίους επιλέχθηκαν οι 2 κύκλοι φόρτισης εκφόρτισης καθώς επέφεραν περισσότερα έσοδα. Έπειτα, για την εκτίμηση της βιωσιμότητας του έργου, υπολογιστήκαν οι ταμειακές ροές του σταθμού καθώς και το ποσοστό αποπληρωμής της επένδυσης στα 10 πρώτα χρόνια λειτουργίας του σταθμού.

Ωστόσο, όπως αναφέρεται στο κεφάλαιο 5 η προκαταρκτική οικονομική ανάλυση, με μοναδικό μηχανισμό εσόδων τη συμμετοχή του σταθμού στην αγορά επόμενης ημέρας, ήταν αναμενόμενο να μη φέρει τα επιθυμητά οικονομικά αποτελέσματα καθώς θα έπρεπε να έχουν συμπεριληφθεί και άλλες πηγές άντλησης εσόδων όπως η συμμετοχή του σταθμού στην αγορά εξισορρόπησης με παροχή υπηρεσιών εξισορρόπησης ή δέσμευση ισχύος για περιόδους έκτακτης ανάγκης ή ακόμη και συμμετοχή σε διαγωνισμούς ισχύος. Είναι απαραίτητη λοιπόν η συμπερίληψη στο τεχνοοικονομικό μοντέλο και άλλες πηγών άντλησης εσόδων πέραν της συμμετοχής του σταθμού στην αγορά επόμενης ημέρας με λειτουργία arbitrage.

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 4 η επιλογή της τιμής Eur/MWh, ως δεδομένο για τις κεφαλαιουχικές δαπάνες του σταθμού που επιλέχθηκε, αποτελεί ένα δυσμενές σενάριο και ενδεχομένως υπερεκτιμά τις δαπάνες για τη κατασκευή και τη σύνδεση στο δίκτυο λόγω έλλειψης συγκεκριμένων στοιχείων για την Ελλάδα. Η ανάλυση δεν περιέλαβε σενάρια με μειωμένες κεφαλαιουχικές δαπάνες παρόλο που μεγάλο μέρος των πηγών ανέφερε ότι οι κεφαλαιουχικές δαπάνες αναμένεται να μειωθούν σημαντικά τα επόμενα χρόνια και θα μπορούσαν να δείξουν διαφορετική εικόνα για την οικονομική βιωσιμότητα του έργου.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Επιπλέον, η χρήση μακροπρόθεσμων δεδομένων αγοράς χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η εποχικότητα φέρει σημαντικές προκλήσεις και περιορισμούς που πρέπει να ληφθούν υπόψη καθώς δεν αντικατοπτρίζουν πραγματικές συνθήκες αγοράς αφού μπορεί να παρουσιάζουν σημαντικές διακυμάνσεις που δεν αντανακλούν σε πραγματικές συνθήκες και τα απρόβλεπτα γεγονότα στην αγορά ενέργειας.

Επίσης, στα μακροπρόθεσμα δεδομένα δεν αποτυπώνονται πλήρως παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν τις τιμές όπως διακυμάνσεις στη ζήτηση ή στη προσφορά οι καιρικές συνθήκες που μπορεί για παράδειγμα να μεταβάλλουν σημαντικά τη παραγωγή των ΑΠΕ. Σημαντικό είναι επίσης να σημειωθεί ότι τα ιστορικά δεδομένα δεν μπορούν να προβλέψουν τεχνολογικές καινοτομίες ή αλλαγές σε ενεργειακές πολιτικές και ρυθμιστικές αλλαγές (π.χ. περιορισμούς έγχυσης απορρόφησης κατά τις ώρες αιχμής κ.α.) που επηρεάζουν τις τιμές ηλεκτρικής ενέργειας.

Εν κατακλείδι, η χρήση μακροπρόθεσμων δεδομένων από τις τιμές ηλεκτρικής ενέργειας από τα αποτελέσματα της αγοράς επόμενης ημέρας παρέχει μια βάση αλλά δεν είναι επαρκής από μόνη της για την πλήρη αξιολόγηση της βιωσιμότητας ενός σταθμού αποθήκευσης ενέργειας.

Συνοψίζοντας η εν λόγω εργασία αποτελεί μια σημαντική βάση και ένα οδηγό για την κατανόηση και αξιολόγηση των τεchnοοικονομικών παραμέτρων που αφορούν ένα σταθμό αποθήκευσης με συσσωρευτές ιόντων λιθίου στην Ελλάδα. Ωστόσο, υπάρχουν αρκετές περιοχές για περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη, που μπορούν να ενισχύσουν και να επεκτείνουν τα συμπεράσματα της παρούσας μελέτης.

Συγκεκριμένα, μια πιθανή προέκταση είναι η διερεύνηση εναλλακτικών μηχανισμών εσόδων. Όπως προαναφέρθηκε, θα προτεινόταν να δημιουργηθεί ένα μοντέλο με αντικειμενική συνάρτηση τη μεγιστοποίηση των κερδών του σταθμού αποθήκευσης από τη συμμετοχή του σε όλες τις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας (χονδρική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, αγορά επόμενης ημέρας, αγορά εξισορρόπησης, μηχανισμοί αποζημίωσης ισχύος, κρατικές επιδοτήσεις), παρέχοντας όλα τα δυνατά προϊόντα για βέλτιστη λειτουργία του σταθμού αποθήκευσης σε όλες τις αγορές, παρεχόμενες εφεδρείες, παρεχόμενη ενέργεια εξισορρόπησης, με έσοδα από όλες τις παραπάνω πηγές.

Ένας σημαντικός τομέας για περαιτέρω έρευνα είναι η βελτίωση της προσέγγισης που χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση των εσόδων από τον σταθμό αποθήκευσης ενέργειας. Τα έσοδα στην παρούσα εργασία υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας μακροπρόθεσμα δεδομένα και μέσους όρους τιμών από το 2020 έως σήμερα.

Ωστόσο, αυτή η μέθοδος μπορεί να φέρει πολύ μεγάλη αβεβαιότητα και να πρέπει να εξεταστεί μία πιο ακριβής προσέγγιση. Για παράδειγμα, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν μοντέλα πρόβλεψης τιμών τα

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

οποία αντί να βασίζονται σε ιστορικά δεδομένα να λαμβάνουν υπόψη παράγοντες όπως οι τάσεις, οι μεταβολές στις τιμές των καυσίμων ή να χρησιμοποιηθούν ιστορικά δεδομένα για να προβλεφθούν οι τιμές για τα επόμενα έτη με κάποιο αλγόριθμο μηχανικής μάθησης ή τεχνητής νοημοσύνης. Επίσης θα μπορούσε να γίνει ανάλυση ευαισθησίας στις προβλέψεις και με διαφορετικά σενάρια να εξεταστούν οι πιθανές εξελίξεις στις τιμές και να κριθεί με σαφή τρόπο και πιο ρεαλιστικά αν η εν λόγω επένδυση θα μπορούσε να είναι βιώσιμη.

Συμπερασματικά, οι προαναφερθείσες μελλοντικές προεκτάσεις προσφέρουν μια ευρεία βάση για την περαιτέρω ανάπτυξη και εξέλιξη της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Με περαιτέρω ανάλυση, θα μπορούσαν να προκύψουν θετικά αποτελέσματα που θα ενισχύσουν τη βιωσιμότητα των σταθμών αποθήκευσης ενέργειας, καθιστώντας τους πιο ελκυστικούς από οικονομική άποψη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] «Super capacitors for energy storage: Progress, applications and challenges», Ravindranath Tagore Yadlapalli a, RamaKoteswara Rao Alla a, Rajani Kandipati b, Anuradha Kotapati Journal of Energy Storage 49 (2022) 104194) [Ηλεκτρονικό] Available:ev-bee.com Super capacitors for energy storage: Progress, applications and challenges - ScienceDirect.
- [2] «EV & Charging Technologies | EVbee |The First Mobile and Fast Charging Station in Turkey» [Ηλεκτρονικό] Available: ev-bee.com).
- [3] «This is why NCM is the preferable Cathode material for Li-ion batteries - LG Battery Blog Europe» [Ηλεκτρονικό] Available: (lghomebatteryblog.eu).
- [4] «Energy Storage in Power Systems», F. Diaz- Gonzalez, A. Sumper, and O. Gomis-Bellmunt, Wiley, 2016.
- [5] «Fundamentals and concepts» Ibrahim Dincer, Dogan Erdemir, in Heat Storage Systems for Buildings, 2021.
- [6] «Energy Storage Technologies» Ebenezer Nyarko Kumi, in Pumped Hydro Energy Storage for Hybrid Systems, 2023.
- [7] «What Is a Battery C Rating & How Do I Calculate C Rate - Power Sonic» [Ηλεκτρονικό] Available: (power-sonic.com).
- [8] «The value of arbitrage for energy storage: Evidence from European electricity markets», Dimitrios Zafirakis, Kontstantinos Chalvatzis, Giovanni Baiocchi, Georgios Daskalakis, 2016 , [Ηλεκτρονικό] Available: The value of arbitrage for energy storage: Evidence from European electricity markets - ScienceDirect.
- [9] «Business models design space for electricity storage systems: Case study of the Netherlands», S.A.R. Mir Mohammadi Kooshknow, C.B. Davis,2020, Science Direct.
- [10] «Characteristics of LiFePo4 and Li-Ion Batteries during the process of charging and Discharging for Recommendation Solar Power Energy Storage», Khairunnisa' 1, Siti Mita Mafturoh1, May 2023.
- [11] «Evaluation of a data driven stochastic approach to optimize the participation of a wind and storage power plant in day-ahead and reserve markets», Research Gate, 2018.
- [12] «Optimized Power and Capacity Configuration Strategy of a Grid-Side Energy Storage System for Peak Regulation», Feng Guo, Jian Li, Ghi Zhang, July 2023, Ηλεκτρονικό] Available: (1) (PDF)

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

Optimized Power and Capacity Configuration Strategy of a Grid-Side Energy Storage System for Peak Regulation (researchgate.net).

- [13] «Electricity Storage Valuation Framework» 2020 IRENA STORAGE, [Ηλεκτρονικό] Available: Electricity Storage Valuation Framework 2020 (irena.org).
- [14] «Ανάλυση της λειτουργίας αποθηκευτικών σταθμών σε περιβάλλον αγορών», Χαϊκάλης, Μαρίνος, Παπαθανασίου Σταύρος, 2023 [Ηλεκτρονικό] Available: Artemis: Ανάλυση της λειτουργίας αποθηκευτικών σταθμών σε περιβάλλον αγορών (ntua.gr).
- [15] [Ηλεκτρονικό] Available: Δημοσιογραφικό ενημερωτικό portal για την ενέργεια | energypress.gr.
- [16] Ε. Χ. Ε. Α.Ε, «Κανονισμός Λειτουργίας της Αγοράς Επόμενης Ημέρας & Ενδοημερήσιας Αγοράς,» Mar 2023. [Ηλεκτρονικό] Available: www.enexgroup.gr.
- [17] [Ηλεκτρονικό] Available: www.rae.gr.
- [18] [Ηλεκτρονικό] Available: www.admie.gr.
- [19] [Ηλεκτρονικό] Available: Ηλεκτρονικό Περιβαλλοντικό Μητρώο | ΥΠΕΝ (ypen.gr)
- [20] [Ηλεκτρονικό] Available: www.dailymetalprice.com.
- [21] «What Are the Types of CapEx (Capital Expenditures)?» [Ηλεκτρονικό] Available: investopedia.com).
- [22] [Ηλεκτρονικό] Available: www.eesi.org.
- [23] [Ηλεκτρονικό] Available: www.bloomberg.com.
- [24] [Ηλεκτρονικό] Available: www.eren.com.
- [25] Μέθοδοι παραγωγής αποθήκευσης και χρήσης υδρογόνου, Κακαράντζας Νικόλας, 2020.
- [26] «What Is A Battery C Rating & How Do I Calculate C Rate - Power Sonic» [Ηλεκτρονικό] Available: www.power-sonic.com).
- [27] «Battery energy storage system (BESS) container, BESS container -- A total solution for mobile battery energy storage» TLS Offshore Containers & TLS Energy (tls-containers.com).
- [28] «Greece launches 1 GW storage tender» Ilias Tsagas, July 2023 [Ηλεκτρονικό] Available: Greece launches 1 GW storage tender – pv magazine International (pv-magazine.com).
- [29] «Electricity Storage in: State of play & near-term outlook [Ηλεκτρονικό] Available: ELECTRA (cigre.org).
- [30] «Powering the Nordic Market with Battery-based Energy Storage» [Ηλεκτρονικό] Available: fluenceenergy.com).

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

- [31] «Battery storage in Greece – the dawn of a promising new market» Παναγιώτης Κεφαλάς [Ηλεκτρονικό] Available: Battery storage in Greece – the dawn of a promising new market | ENERGOPRESS.
- [32] «Energy Storage in Power Systems» Wiley, F. Diaz- Gonzalez, A. Sumper, and O. Gomis-Bellmunt, 2016.
- [33] Μελέτη Επάρκειας Ισχύος 2020-2030, ΑΔΜΗΕ [Ηλεκτρονικό] Available: Μελέτες | ΑΔΜΗΕ (admie.gr).
- [34] [Ηλεκτρονικό] Available: www.wikipedia.com
- [35] [Ηλεκτρονικό] Available: www.technologycatalogue.com
- [36] «Analysis of Standby Losses and Charging Cycles in Flywheel Energy Storage Systems», Mustafa E. Amiryar and Keith R. Pullen, July 2020.
- [37] [Ηλεκτρονικό] Available: <http://www.eseslab.com/ESsensePages/SMES-page>.
- [38] «Latent thermal energy storage technologies and applications: A review», Hussam Jouharaa, *, Alina _ Zabnienska-Gora a , Navid Khordehgaha , Darem Ahmada , Tom Lipinski, August 2020 [Ηλεκτρονικό] Available: Latent thermal energy storage technologies and applications: A review - ScienceDirect.
- [39] «Battery container» [Ηλεκτρονικό] Available: CATL's Innovative Liquid Cooling LFP BESS Performs Well Under UL 9540A Test (newswire.ca).
- [40] «CapEX and Fixed O&M prizes» [Ηλεκτρονικό] Available: www.NREL.com
- [41] [Ηλεκτρονικό] Available: www.energypress.com
- [42] «Μεθοδολογία της συστηματικής ανασκόπησης και Μετά Ανάλυσης, Ευριδίκη Πατελάρου» Ηρώ Μπροκαλάκη, 2010 [Ηλεκτρονικό]. Available: get_pdf-123.pdf (uop.gr).
- [43] «ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΑΓΟΡΑΣ ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΗΣΗΣ v12,» ΑΔΜΗΕ, Dec 2022
- [44] Σ. Ευάγγελος, «ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΤΩΝ ΑΠΕ ΣΤΙΣ ΑΓΟΡΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ,» ΕΜΠ, Αθήνα, Oct 2022.
- [45] «EnEx» [Ηλεκτρονικό]. Available : <https://www.enexgroup.gr/web/guest/day-ahead-market-figures>.
- [46] 2H 2023 Energy Storage Market Outlook του BloombergNEF, Helen Kou [Ηλεκτρονικό]. Available: 2H 2023 Energy Storage Market Outlook | BloombergNEF (bnf.com).
- [47] Key Considerations for utility scale energy storage procurements March 2023, Morgan Lewis Kou [Ηλεκτρονικό]. Available: Key Considerations for Utility-Scale Energy Storage Procurements – Publications (morganlewis.com).

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

- [48] World Energy Outlook 2023, International Energy Agency [Ηλεκτρονικό]. Available: World Energy Outlook 2023 (iea.blob.core.windows.net).
- [49] Top 10 Energy Storage Trends in 2023 January 2023 [Ηλεκτρονικό]. Available: Top 10 Energy Storage Trends in 2023 | Bloomberg NEF (bnef.com).
- [50] 1H 2023 Energy Storage Market Outlook του Bloomberg NEF, [Ηλεκτρονικό]. Available 1H 2023 Energy Storage Market Outlook | Bloomberg NEF (bnef.com).
- [51] World's energy storage market storage market triples in 2023 – Bloomberg NEF [Ηλεκτρονικό] Available: World's energy storage market triples in 2023 - BNEF (renewablesnow.com).
- [52] New global battery energy storage systems capacity doubles in 2023, IEA says, Author Euan Sadden [Ηλεκτρονικό]. Available: New global battery energy storage systems capacity doubles in 2023, IEA says | S&P Global Commodity Insights (spglobal.com).
- [53] Global installed energy storage capacity by scenario, 2023 and 2030 [Ηλεκτρονικό]. Available: Global installed energy storage capacity by scenario, 2023 and 2030 – Charts – Data & Statistics - IEA.
- [54] International Renewable Energy Agency (IRENA). (2022). Innovation landscape for energy storage.
- [55] U.S. Department of Energy. (2023). Energy Storage Grand Challenge Roadmap.
- [56] IEA-ETSAP and IRENA. (2022). Thermal Energy Storage Technology Brief.
- [57] Gielen, D., & Saygin, D. (2017). Innovation landscape brief: Thermal energy storage. International Renewable Energy Agency (IRENA).
- [58] Energy Storage Association. (2021). Thermal Energy Storage.
- [59] Cabeza, L. F. (2015). Advances in thermal energy storage technologies for solar thermal applications—A review.
- [60] Hydrogen Europe. (2023). Hydrogen Roadmap Europe: A sustainable pathway for the European energy transition.
- [61] European Commission. (2020). A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe.
- [62] Babu, K.R. Vasudevan, V.K. Ramachandaramurthy, S.B. Sani, S. Chemud, R. M. Lajim, A comprehensive review of hybrid energy storage systems: converter Topologies, control strategies and prospects, IEEE Access 8 (2020) 148702–148721, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3015919>.

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

- [63] Comprehensive review of energy storage systems technologies, objectives, challenges, and future trends, Dina A. Elalfy a, Eid Gouda a, Mohamed Fawzi Kotb a, Vladimír Bureš b*, Bishoy E. Sedhom, Science Direct 2024.
- [64] Artificial intelligence and machine learning in energy systems: A bibliographic perspective, Ashkan Entezari, Alireza Aslani *, Rahim Zahedi, Younes Noorollahi, 2023.
- [65] "The impact of COVID-19 on the energy storage industry" (2020) - International Renewable Energy Agency (IRENA).
- [66] "The impact of the war in Ukraine on the energy transition" (2022) - International Energy Agency (IEA).
- [67] "Supply chain disruptions and the energy transition" (2023) – BloombergNEF.
- [68] Recent advancement in energy storage technologies and their applications, Science Direct, Mahroza Kanwal Khan, Mohsin Raza, Muhammad Shahbaz, Umar Farooq, Muhammad Usman Akram,2024.
- [69] [Ηλεκτρονικό]. Available: https://eclass.aegean.gr/modules/document/file.php/211164/Logistics%2001_new.doc
- [70] Predictive analytics for prolonging lithium-ion battery lifespan through informed storage conditions, Shalini Dwivedi, Aparna Akula, Michael Pecht,2024
- [71] National Renewable Energy Laboratory (NREL), [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.nrel.gov/>
- [72] Energy Storage Association, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://energystorage.org/>
- [73] U.S. Department of Energy, Office of Electricity [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.energy.gov/oe>
- [74] "A review of flywheel energy storage systems: State of the art and future prospects" (2023)
- [75] "Supercapacitors: Materials, systems, and applications" (2018)
- [76] "Recent progress and future trends in superconducting magnetic energy storage" (2023)
- [77] "Flow Batteries: Current Status and Trends" (2015)
- [78] "Lithium-ion batteries: A review of battery chemistries, electrode materials and challenges" (2019)
- [79] "Lead-acid batteries: A review of technologies, markets, and environmental impacts" (2022)
- [80] "Green hydrogen: A review of production, storage, transport, and applications" (2021)
- [81] "Hydrogen storage: A review of materials and technologies" (2022)
- [82] "Power-to-gas: A review of technologies and applications" (2019)

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

- [83] Techno-economic assessment of power-to-gas systems: A review" (2021)
- [84] Recent advances and prospects in energy storage technologies: A comprehensive review (2023)
- Luo, X., et al. Energy Storage Materials, 54, 102742.
- [85] Supply chain disruptions and the energy transition" (2023) – BloombergNEF
- [86] A review on the performance improvement of nickel–cadmium batteries through the use of additives" (2020) - A. Sharma, A.K. Thakur, A. Karak, R.K. Singh Raman. Journal of Energy Storage, 32, 101945
- [87] Electricity Storage and Renewables, Cost and Markets to 2030, IRENA 2017
- [88] How to build a state-of-the-art battery energy storage market? Challenges, opportunities, and future directions- Merve Bulut, Evrencan Ozcan, Turkey, 2024
- [89] Prescriptive Analytics for optimal multi-use battery energy storage systems operation: State of the art and research directions, -Martin Haug, Chiara Bordin, Sambheet Mishra, Julien Moisan, Norway, 2023. [Ηλεκτρονικό]. Available: main.pdf (sciencedirectassets.com)
- [90] State of the art of lithium-ion battery material potentials: An analytical evaluations, issues, and future research directions-Sayern M. Abu, M.A. Hannan, M.S. Hossain Lipu, M. Mannan, Pin Jern Ker, M.J. Hossain, T.M. Indra Mahlia, Australia 2007
- [91] Advances of lithium-ion batteries anode materials – A review, Md. Helal Hossain, Mohammad Asaduzzaman Chowdhury, Nayem Hossain, Md. Aminul Islam, Md Hosne Mobarak, [Ηλεκτρονικό]. Available: Advances of lithium-ion batteries anode materials€”A review (sciencedirectassets.com)
- [92] Renewable-storage sizing approaches for centralized and distributed renewable energy—A state-of-the-art review, Yuekuan Zhou, [Ηλεκτρονικό]. Available: Renewable-storage sizing approaches for centralized and distributed renewable energy—A state-of-the-art review (sciencedirectassets.com)
- [93] Current status of research on hydrogen generation, storage, and transportation technologies: A state-of-the-art review towards sustainable energy, _Gaurav Sharma a , Ashok Kumar Dewangan a,* , Ashok Kumar Yadav b,* , Aqueel Ahmad [Ηλεκτρονικό]. Available: Current status of research on hydrogen generation, storage and transportation technologies: A state-of-the-art review towards sustainable energy (sciencedirectassets.com)
- [94] Energy storage planning in electric power distribution networks – A stateof-the-art review Hedayat Sabooria , Reza Hemmatia , Seyyed Mohammad Sadegh Ghiasib , Shahab Dehghan, Iran

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

- 2017 [Ηλεκτρονικό]. Available: Energy storage planning in electric power distribution networks – A state-of-the-art review (sciencedirectassets.com)
- [95] Lithium in thermal energy storage: A state-of-the-art review Luisa F. Cabeza, Andrea Gutierrez, Camila Barreneche, Svetlana Ushak, Ángel G. Fernández , A. Inés Fernández, Mario Grágeda, Barcelona Spain 2014 [Ηλεκτρονικό]. Available: Lithium in thermal energy storage_ A state-of-the-art review (sciencedirectassets.com)
- [96] Recent challenges and development of technical and technoeconomic aspects for hydrogen storage, insights at different scales; A state of art review, Ali Saberi Mehr, Andrew D. Phillips, Michael P. Brandon, Mary T. Pryce, James G. Carton d , Ireland 2024 [Ηλεκτρονικό]. Available: Recent challenges and development of technical and technoeconomic aspects for hydrogen storage, insights at different scales; A state of art review (sciencedirectassets.com)
- [97] Hydrogen production via electrolysis: State-of-the-art and research needs in risk and reliability analysis, Ahmad Al-Douri, Katrina M. Growth, 2024, USA, [Ηλεκτρονικό]. Available: Hydrogen production via electrolysis: State-of-the-art and research needs in risk and reliability analysis (sciencedirectassets.com)
- [98] A State-of-The-Art Review on the Latest trends in Hydrogen production, storage, and transportation techniques Fazil Qureshi, Mohammad Yusuf, Mohd Arham Khan, Hussameldin Ibrahim, Bernard Chukwuemeka Ekeoma, Hesam Kamyab, Mohammed M. Rahman, Ashok Kumar Nadda, Shreeshivadasan Chelliapan, India 2023, [Ηλεκτρονικό]. Available: A State-of-The-Art Review on the Latest trends in Hydrogen production, storage, and transportation techniques (sciencedirectassets.com)
- [99] Large-vsacle hydrogen production and storage technologies: Current status and future directions A.G. Olabi, Adel saleh bahri, Aasim Ahmed Abdelghafar, Ahmad Baroutaji, Enas Taha Sayed, Abdul Hai Alami, Hegazy Rezk, Mohammad Ali Abdelkareem, 2021, UK, [Ηλεκτρονικό]. Available: Large-vsacle hydrogen production and storage technologies: Current status and future directions (sciencedirectassets.com)
- [100] Hydrogen production for energy: An overview Furat Dawood, Martin Anda, G.M. Shafiullah College of Science, [Ηλεκτρονικό]. Available: Hydrogen production for energy: An overview (sciencedirectassets.com)
- [101] Technoeconomic parametric analysis of PV-battery systems Kaveh Rajab Khalilpour, Anthony Vassallo, Australia, 2016 [Ηλεκτρονικό]. Available: Technoeconomic parametric analysis of PV-battery systems (sciencedirectassets.com)

«ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»

- [102] Electrochemical Systems for Renewable Energy Conversion and Storage: Focus on Flow Batteries and Regenerative Fuel Cells Fengjia Xie, Xuming Zhang, Zhefei Pa, 2024 [Ηλεκτρονικό]. Available: Electrochemical Systems for Renewable Energy Conversion and Storage: Focus on Flow Batteries and Regenerative Fuel Cells (sciencedirectassets.com)
- [103] Innovative energy management strategy of battery and fuel cell buses charging station Alaaeldin M. Abdelshafy, Omar Samir, Ahmed Elnozahy, Alaa F.M. Ali, 2024, [Ηλεκτρονικό]. Available: Innovative energy management strategy of battery and fuel cell buses charging station (sciencedirectassets.com)