



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

# Τεχνοοικονομική Μοντελοποίηση Υβριδικών Έργων Ενέργειας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΝΕΚΤΑΡΙΟΣ ΜΕΛΑΝΘΙΟΥ

Επιβλέπων: Χάρης Δούκας

Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2021





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

# Τεχνοοικονομική Μοντελοποίηση Υβριδικών Έργων Ενέργειας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΝΕΚΤΑΡΙΟΣ ΜΕΛΑΝΘΙΟΥ

**Επιβλέπων:** Χάρης Δούκας

Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 16<sup>η</sup> Ιουλίου 2021.

.....

Χ. Δούκας

Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Ι. Φαρράς

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Δ. Ασκούνης

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2021

.....

## **ΝΕΚΤΑΡΙΟΣ ΜΕΛΑΝΘΙΟΥ**

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

Copyright © Νεκτάριος Μελανθίου, 2021  
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

## Περίληψη

Η διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στο δίκτυο μας όλο και αυξάνεται, με σκοπό την τήρηση των στόχων που τέθηκαν για την ενέργεια και το κλίμα. Η μεταβλητότητα των πηγών αυτών προκαλεί προβλήματα στο δίκτυο, όπως επίσης και η μεγάλη τους διείσδυση δυσκολεύει ολοένα και περισσότερο την επένδυση σε αυτά, λόγω μεγάλου ανταγωνισμού και αδυναμίας του δικτύου να τα απορροφήσει. Στην διπλωματική αυτή θα μελετήσουμε τους τρόπους με τους οποίους μπορούμε να αντιμετωπίσουμε αυτά τα προβλήματα χρησιμοποιώντας την αποθήκευση ενέργειας. Θα αξιολογήσουμε τις επενδύσεις σε σταθμούς αποθήκευσης μπαταριών, καθώς επίσης και την υβριδοποίηση φωτοβολταϊκών σταθμών, συνδυάζοντάς τους με μονάδες αποθήκευσης από μπαταρίες. Θα αξιολογήσουμε κατά πόσο η υβριδοποίηση αποτελεί λύση στο πρόβλημα της περικοπής ενέργειας που προκαλείται λόγω αδυναμίας του δικτύου να απορροφήσει όλη την ανανεώσιμη ενέργεια που παράγεται, συγκρίνοντας την επένδυση ενός υβριδικού πάρκου έναντι ενός απλού φωτοβολταϊκού. Η μοντελοποίηση μας έδειξε ότι, η επένδυση σε ένα σταθμό αποθήκευσης με σκοπό την εμπορία ενέργειας δεν μπορεί ακόμα να καταστεί βιώσιμη, ενώ η υβριδοποίηση βελτιώνει την απόδοση ενός φωτοβολταϊκού πάρκου, μόνο όμως για μεγάλα ποσοστά περικοπής.

**Λέξεις κλειδιά:** μπαταρίες, φωτοβολταϊκά, αποθήκευση, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, εμπόριο ενέργειας, ενέργεια, εφαρμογές, υποστήριξη δικτύου, δίκτυο, υβριδικό, υβριδοποίηση, περικοπές ενέργειας, τεχνοοικονομική μοντελοποίηση, ενεργειακές κοινότητες, εικονικός ενεργειακός συμψηφισμός, προώθηση, αποτίμηση, συσσωρευτές, υβριδικά πάρκα, επένδυση, επικουρικές υπηρεσίες, ιόντων λιθίου, τιμολόγηση, κόστος.



## Abstract

The penetration of Renewable Energy Sources in our network is increasing, in order to meet the energy and climate target goals. The variability of these sources causes some problems in the network, and their large penetration makes it increasingly difficult to invest in them as well, due to high competition and inability of the network to absorb them. In the current thesis we will study the ways in which we can deal with these problems using energy storage. We will evaluate the investments in battery storage stations, as well as the hybridization of photovoltaic stations by combining them with battery storage units. We will evaluate if hybridization is the solution to the problem of energy curtailment caused by the inability of the grid to absorb all the renewable energy produced, comparing the investment of a hybrid park to a simple photovoltaic one. Our modelling showed that, the investment in a battery storage station for arbitrage trading is not viable at the moment, while hybridization can improve the economic performance of a photovoltaic plant, but only for high percentages of curtailment.

**Keywords:** batteries, photovoltaics, storage, renewable energy, energy trade, energy, applications, network support, grid, hybrid, hybridization, curtailment, techno-economic modeling, energy communities, virtual net metering, support scheme, promotion, investment, hybrid parks, ancillary services, lithium-ion, pricing, cost.





## Ευχαριστίες

Αρχίζοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Αν. Καθηγητή κ. Χάρη Δούκα για την ανάθεση της παρούσας διπλωματικής, κάτω από την επίβλεψη του οποίου και πραγματοποιήθηκε, στα πλαίσια των ερευνητικών δραστηριοτήτων του Εργαστηρίου Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Χρήστο Στεφανάτο, βοηθό ερευνητή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και απόφοιτο της σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών, κάτω από την συνεπίβλεψη του οποίου προχώρησε η διπλωματική μου εργασία και ο οποίος πρόσφερε πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση για την ολοκλήρωση της.

Κλείνοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους ανθρώπους στη ζωή μου που στάθηκαν δίπλα μου και με στήριξαν σε αυτήν την προσπάθεια ολοκλήρωσης τόσο της διπλωματικής μου εργασίας, όσο και του κύκλου σπουδών μου.

Η εργασία αφιερώνεται στην οικογένειά μου, στην οποία οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ, αφού ήταν πάντα στο πλευρό μου, με στήριζαν σε κάθε μου προσπάθεια και χάρη σε αυτούς βρίσκομαι σήμερα εδώ.



# Πίνακας Περιεχομένων

Πίνακας Εικόνων .....	17
Πίνακας Πινάκων.....	19
Πίνακας Γραφημάτων .....	21
1. Εισαγωγή.....	23
1.1 Προβλήματα λόγω διεύθυνσης ΑΠΕ .....	23
1.2 Αντικείμενο διπλωματικής.....	23
1.3 Γενική προσέγγιση προβλήματος.....	23
1.4 Δομή Διπλωματικής .....	24
2. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας .....	25
2.1 Στόχοι ΑΠΕ .....	25
2.1.1 Συμφωνία του Παρισιού 2015 .....	25
2.1.2 Πλαίσιο Ευρωπαϊκής Ένωσης για την Ενέργεια και το Κλίμα .....	26
2.1.3 Εθνικοί Στόχοι Ελλάδας για την Ενέργεια και το Κλίμα .....	27
2.2 Τρόποι Αποτίμησης έργων ΑΠΕ.....	29
2.2.1 Συμφωνία Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (PPA).....	29
2.2.2 Σταθερές Εγγυημένες Τιμές (FiT) .....	29
2.2.3 Εγγυημένες διαφορικές τιμές (FiP) .....	30
2.2.4 Ενεργειακός Συμφητισμός.....	30
2.2.5 Μονάδες Ανανεώσιμης Ενέργειας και Μονάδες Άνθρακα .....	31
2.3 Είδη Εγκαταστάσεων .....	31
2.3.1 Behind the meter (BTM) .....	31
2.3.2 Front of the Meter (FTM).....	32
3. Τρόποι Προώθησης ΑΠΕ.....	33
3.1 Πρόγραμμα Εξοικονομώ – Αυτονομώ.....	33
3.2 Ειδικό πρόγραμμα Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών στέγης .....	34

3.3 Ενεργειακές Κοινότητες.....	34
3.3.1 Γιατί δημιουργήθηκαν .....	34
3.3.2 Τι είναι .....	35
3.3.3 Χαρακτηριστικά Ενεργειακής Κοινότητας .....	35
3.3.4 Οικονομικά κίνητρα και μέτρα στήριξης των Ενεργειακών Κοινοτήτων .....	36
3.3.5 Ενεργειακοί Συνεταιρισμοί σε Ελλάδα και Ευρώπη .....	37
3.3.5.1 Ενεργειακές Κοινότητες στην Ελλάδα .....	37
3.3.5.2 Ενεργειακές Κοινότητες στην Ευρώπη.....	40
3.4 Εικονικός Ενεργειακός Συμψηφισμός .....	43
3.4.1 Τι είναι ο Εικονικός Ενεργειακός Συμψηφισμός.....	43
3.4.2 Χαρακτηριστικά Σταθμών Παραγωγής .....	44
3.4.3 Δικαίωμα ένταξης .....	45
3.4.4 Δικαίωμα μετάβασης από άλλα προγράμματα .....	45
3.4.5 Όρια Ισχύος σταθμών παραγωγής .....	45
4. Αποθήκευση Ενέργειας.....	47
4.1 Γιατί είναι απαραίτητη η αποθήκευση ενέργειας.....	47
4.2 Μέθοδοι Αποθήκευσης Ενέργειας .....	48
4.2.1 Μηχανικές Μέθοδοι.....	48
4.2.1.1 Αντλησιοταμίευση (PHS) .....	48
4.2.1.2 Συμπιεσμένος αέρας (CAES).....	49
4.2.1.3 Σφόνδυλοι (Flywheels) .....	50
4.2.2 Θερμικές Μέθοδοι .....	51
4.2.2.1 Αποθήκευση σε τήγμα άλατος (MSES).....	51
4.2.2.2 Υγροποιημένος αέρας (LAES) .....	52
4.2.2.3 Άντληση Θερμότητας (PHES).....	53
4.2.2.4 Αποθήκευση Θερμότητας Γενικά .....	54
4.2.3 Χημικές Μέθοδοι.....	55
4.2.3.1 Κυψέλες Καυσίμου .....	55

4.2.3.2 Συνθετικό Φυσικό Αέριο (SNG).....	56
4.2.4 Ηλεκτρικές και Μαγνητικές Μέθοδοι .....	57
4.2.4.1 Υπερπυκνωτές (Supercapacitors).....	57
4.2.4.2 Υπεραγώγιμη Μαγνητική Αποθήκευση Ενέργειας (SMES) .....	57
4.2.5 Ηλεκτροχημικές Μέθοδοι.....	58
4.2.5.1 Συσσωρευτές (Μπαταρίες) .....	58
5. Μονάδες Αποθήκευσης Ενέργειας με Μπαταρίες.....	67
5.1 Εφαρμογές Μονάδας Αποθήκευσης .....	67
5.1.1 Επικουρικές Υπηρεσίες .....	67
5.1.1.1 Υποστήριξη Συχνότητας .....	68
5.1.1.2 Υποστήριξη Τάσης.....	73
5.1.1.3 Αποκατάσταση Συστήματος .....	74
5.1.1.4 Διαχείριση Συμφόρησης .....	74
5.1.2 Εφαρμογές για μεμονωμένους χρήστες.....	75
5.1.2.1 Αδιάλειπτη Παροχή Ηλεκτρικού Ρεύματος.....	75
5.1.2.2 Ιδιοκατανάλωση ανανεώσιμης ενέργειας .....	76
5.1.2.3 Διαχείριση Άεργου Ισχύος .....	76
5.1.2.4 Διαχείριση Ζήτησης .....	76
5.1.2.5 Διαχείριση Κόστους Ενέργειας.....	77
5.1.3 Εμπόριο Ενέργειας.....	77
5.1.3.1 Παράδειγμα Εμπορίου Ενέργειας .....	78
5.1.3.2 Παραδείγματα Αγορών .....	79
5.1.4 Υβριδοποίηση Φωτοβολταϊκού Πάρκου .....	80
5.1.4.1 Περικοπή Ανανεώσιμης Ενέργειας.....	80
5.1.4.2 Οικονομικό Αντίκτυπο Curtailment.....	83
5.1.4.3 Παραδείγματα Υβριδοποίησης .....	83
5.2 Νομικές Χρεώσεις και Εξαιρέσεις .....	86
5.2.1 Χρεώσεις.....	86

5.2.2	Εξαιρέσεις.....	87
5.3	Ευκαιρίες στην αγορά της Γερμανίας .....	87
5.4	Νομοθετικά πλαίσια για Αποθήκευση Ενέργειας .....	88
5.4.1	Ηνωμένο Βασίλειο.....	89
5.4.2	Ολλανδία.....	89
5.4.3	Ισπανία.....	89
5.4.4	Ιταλία .....	90
5.4.5	Ελλάδα.....	90
5.5	Κατασκευαστές μπαταριών.....	92
6.	Υβριδικά Συστήματα .....	93
6.1	Τι είναι.....	93
6.2	Οικιακά/Εμπορικά Υβριδικά Συστήματα.....	94
6.2.1	Σύστημα με Απλό Υβριδικό Μετατροπέα .....	95
6.2.2	Σύστημα με Υβριδικό Μετατροπέα πολλαπλών λειτουργιών.....	96
6.2.3	Σύστημα Αποθήκευσης Ενέργειας Μπαταριών .....	96
6.2.4	Σύστημα συνδεδεμένο στην πλευρά του εναλλασσόμενου ρεύματος.....	97
6.2.5	Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα .....	98
6.3	Υβριδικά Πάρκα.....	100
6.3.1	Συνδεδεμένα στην πλευρά Συνεχούς Ρεύματος .....	100
6.3.2	Συνδεδεμένα στην πλευρά του Εναλλασσόμενου Ρεύματος.....	100
6.3.3	Σύγκριση μεταξύ των δύο τρόπων σύνδεσης .....	101
6.4	Είναι η υβριδοποίηση η πιο συμφέρουσα λύση; .....	103
6.4.1	Οφέλη Υβριδοποίησης Πάρκων .....	104
6.4.2	Μειονεκτήματα Υβριδοποίησης Πάρκων.....	105
6.4.3	Συμπέρασμα.....	106
7.	Τεχνοοικονομική Μοντελοποίηση.....	107
7.1	Σταθμός Αποθήκευσης Ενέργειας.....	107
7.1.1	Σύστημα Αποθήκευσης με Μπαταρίες Ιόντων Λιθίου.....	107

7.1.2	Λειτουργία Μπαταριών Ιόντων-Λιθίου.....	109
7.1.3	Διάρκεια Ζωής Μπαταρίας.....	110
7.1.4	Κόστος Σταθμού Αποθήκευσης.....	112
7.1.5	Λειτουργία Σταθμού Αποθήκευσης.....	117
7.1.6	Μοντελοποίηση Σταθμού Αποθήκευσης.....	118
7.1.6.1	Χαρακτηριστικά Σταθμού Αποθήκευσης .....	118
7.1.6.2	Απόδοση για το έτος 2020 .....	119
7.1.6.3	Απόδοση για το έτος 2030 .....	121
7.1.6.4	Σύγκριση Επενδύσεων Σταθμού Αποθήκευσης.....	124
7.1.7	Συμπεράσματα.....	124
7.2	Φωτοβολταϊκό Πάρκο .....	125
7.2.1	Λειτουργία Φωτοβολταϊκού Πάρκου .....	125
7.2.2	Μοντελοποίηση Φωτοβολταϊκού Πάρκου .....	125
7.2.2.1	Χαρακτηριστικά Φωτοβολταϊκού πάρκου.....	125
7.2.2.2	Απόδοση Φωτοβολταϊκού πάρκου χωρίς curtailment .....	127
7.2.2.3	Απόδοση Φωτοβολταϊκού πάρκου με curtailment.....	128
7.2.2.4	Σύγκριση Επενδύσεων Φωτοβολταϊκού Πάρκου .....	129
7.2.3	Συμπεράσματα.....	129
7.3	Υβριδικός Σταθμός: Φωτοβολταϊκά – Μπαταρίες.....	130
7.3.1	Λειτουργία Υβριδικού Πάρκου .....	130
7.3.2	Μοντελοποίηση Υβριδικού Πάρκου .....	130
7.3.2.1	Χαρακτηριστικά Υβριδικού πάρκου.....	130
7.3.2.2	Απόδοση Υβριδικού πάρκου.....	131
7.3.2.3	Σύγκριση απόδοσης ανάλογα με το curtailment .....	132
7.3.3	Συμπεράσματα.....	132
8.	Συμπεράσματα .....	135
	Παράρτημα.....	137

I. Μέσες Τιμές από EPEX SPOT MARKET της Γερμανίας και υπολογισμός μέσου κέρδους, για ολόκληρο το 2020. ....	137
II. Υπολογισμοί Σταθμού Αποθήκευσης Ενέργειας 2020 χωρίς δάνειο .....	149
III. Υπολογισμοί Σταθμού Αποθήκευσης Ενέργειας 2030 χωρίς δάνειο.....	150
IV. Υπολογισμοί Σταθμού Αποθήκευσης Ενέργειας 2030 με δάνειο.....	151
V. Υπολογισμοί Φωτοβολταϊκού Σταθμού με δάνειο χωρίς περικοπές.....	152
VI. Υπολογισμοί Φωτοβολταϊκού Σταθμού με δάνειο και περικοπή 16%.....	153
VII. Υπολογισμοί Υβριδικού Πάρκου με δάνειο και περικοπή 16%.....	154
Βιβλιογραφία.....	155



## Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1: Συστήματα Μπροστά & Πίσω από τον μετρητή .....	31
Εικόνα 2: Διάγραμμα Σταθμού Αποθήκευσης με Αντλησιοταμίευση .....	49
Εικόνα 3: Διάγραμμα Σταθμού Αποθήκευσης Συμπιεσμένου Αέρα .....	50
Εικόνα 4: Διάγραμμα Συστήματος Αποθήκευσης Σφονδύλου υψηλής ταχύτητας .....	51
Εικόνα 5: Διάγραμμα Σταθμού Αποθήκευσης με Τήγμα Άλατος .....	52
Εικόνα 6: Σταθμός Αποθήκευσης Υγροποιημένου Αέρα (Σταθμός αποθήκευσης κρυογονικής ενέργειας).....	53
Εικόνα 7: Διάγραμμα Αποθήκευσης με Αντληση Θερμότητας.....	54
Εικόνα 8: Ηλιακό Θερμοσίφωνο .....	55
Εικόνα 9: Κυψέλη Καυσίμου.....	56
Εικόνα 10: Διάγραμμα Παραγωγής Συνθετικού Φυσικού Αερίου .....	56
Εικόνα 11: Διάγραμμα Υπερπυκνωτή .....	57
Εικόνα 12: Διάγραμμα Υπεραγωγίμης Μαγνητικής Αποθήκευσης .....	58
Εικόνα 13: Ηλεκτροχημικό κελί μπαταρίας .....	59
Εικόνα 14: Αρχές Φόρτισης Μπαταρίας Μολύβδου Οξέος (Lead Acid).....	60
Εικόνα 15: Αρχές Φόρτισης Μπαταρίας Νικελίου-Υδριδίου Μετάλλου (NiMH).....	61
Εικόνα 16: Αρχές Φόρτισης Μπαταρίας Νατρίου-Θείου (NaS) .....	62
Εικόνα 17: Αρχές Φόρτισης Μπαταρίας Χλωριούχου Νατρίου-Νικελίου (Na/NiCl <sub>2</sub> ) .....	63
Εικόνα 18: Αρχές Φόρτισης Μπαταρίας Ροής (Flow).....	64
Εικόνα 19: Αρχές Φόρτισης Μπαταρίας Ιόντων Λιθίου (Li-Ion).....	65
Εικόνα 20: Σταθμός Αποθήκευσης Ενέργειας 100MW με Tesla Powerpack στη Νότια Αυστραλία .....	67
Εικόνα 21: Υβριδικό Πάρκο με Φωτοβολταϊκά και Μπαταρίες .....	93
Εικόνα 22: Υβριδικό Σύστημα Απλού Υβριδικού Μετατροπέα.....	95
Εικόνα 23: Tesla Powerwall .....	96
Εικόνα 24: Υβριδικό Σύστημα συνδεδεμένο στην πλευρά του Εναλλασσόμενου Ρεύματος .....	97
Εικόνα 25: Τρόποι Διασύνδεσης Υβριδικών Πάρκων.....	100
Εικόνα 26: Συστήματα Σταθμού Αποθήκευσης Ενέργειας με Μπαταρίες.....	107
Εικόνα 27: Από κελί μπαταρίας σε μονάδα αποθήκευσης .....	108
Εικόνα 28: Διάγραμμα Λειτουργίας Μπαταρίας Ιόντων Λιθίου .....	110



## Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 1: Εθνικοί Στόχοι Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας μέχρι το 2030.....	28
Πίνακας 2: Όρια Ισχύος σταθμών στο ΜΔΝ.....	46
Πίνακας 3: Σύγκριση καταλληλόλητας τεχνολογιών μπαταρίας για κάθε εφαρμογή.....	65
Πίνακας 4: Αποτελέσματα Διαγωνισμού για Αποθεματικό Έλεγχο FCR του Διαχειριστή Συστήματος Μεταφοράς EnBW TNG στη Γερμανία.....	72
Πίνακας 5: Αποτελέσματα Διαγωνισμού για Αποθεματικό Έλεγχο aFRR του Διαχειριστή Συστήματος Μεταφοράς EnBW TNG στη Γερμανία.....	73
Πίνακας 6: Ποσοστά, αιτίες και τρόποι αντιμετώπισης περικοπής Φωτοβολταϊκής ενέργειας σε αγορές-κλειδιά ανά το παγκόσμιο.....	83
Πίνακας 7: Πιθανά Έσοδα ανά Εφαρμογή ενός Συστήματος Αποθήκευσης Ενέργειας Μπαταριών στην αγορά της Γερμανίας.....	88
Πίνακας 8: Παραγωγή Μπαταριών το έτος 2019.....	92
Πίνακας 9: Παραγωγή Μπαταριών το έτος 2023.....	92
Πίνακας 10: Οικονομική Ανάλυση Υβριδικού Πάρκου διάρκειας 4 ωρών διάφορων συνδυασμών.....	103
Πίνακας 11: Εκτιμήσεις κόστους για Υβριδικό Σύστημα Φωτοβολταϊκού-Μπαταρίας.....	114
Πίνακας 12: Εκτιμήσεις Κόστους Σταθμού Αποθήκευσης Μπαταριών Ιόντων Λιθίου (Τεχνολογία LFP), για τα έτη 2020 και 2030.....	115
Πίνακας 13: Χαρακτηριστικά Σταθμού Αποθήκευσης.....	118
Πίνακας 14: Συνθήκες Λειτουργίας Σταθμού Αποθήκευσης.....	119
Πίνακας 15: Κόστη Σταθμού Αποθήκευσης Μπαταριών Ιόντων Λιθίου για το έτος 2020.....	119
Πίνακας 16: Χαρακτηριστικά Εμπορίου Ενέργειας 2020.....	119
Πίνακας 17: Χαρακτηριστικά Επένδυσης Σταθμού Αποθήκευσης Μπαταριών Ιόντων Λιθίου για το έτος 2020 χωρίς δανειοδότηση.....	120
Πίνακας 18: Κόστη Σταθμού Αποθήκευσης Μπαταριών Ιόντων Λιθίου για το έτος 2030.....	122
Πίνακας 19: Χαρακτηριστικά Εμπορίου Ενέργειας 2030.....	122
Πίνακας 20: Χαρακτηριστικά Επένδυσης Σταθμού Αποθήκευσης Μπαταριών Ιόντων Λιθίου για το έτος 2030 χωρίς δανειοδότηση.....	122
Πίνακας 21: Χαρακτηριστικά Επένδυσης Σταθμού Αποθήκευσης Μπαταριών Ιόντων Λιθίου για το έτος 2030 με δανειοδότηση.....	123
Πίνακας 22: Σύγκριση Επενδύσεων Σταθμού Αποθήκευσης.....	124
Πίνακας 23: Χαρακτηριστικά Φωτοβολταϊκού Πάρκου.....	125
Πίνακας 24: Κόστη Φωτοβολταϊκού Πάρκου.....	126

Πίνακας 25: Χαρακτηριστικά Επένδυσης Φωτοβολταϊκού Πάρκου με Δανειοδότηση.....	127
Πίνακας 26: Σύγκριση Επενδύσεων Φωτοβολταϊκού Πάρκου.....	129
Πίνακας 27: Χαρακτηριστικά Επένδυσης Υβριδικού Πάρκου με Δανειοδότηση.....	131

## Πίνακας Γραφημάτων

Γράφημα 1: Λειτουργία Υποστήριξης Συχνότητας .....	70
Γράφημα 2: Παράδειγμα Λειτουργίας Υποστήριξης Συχνότητας FCR βάση Διαφοράς Συχνότητας .....	71
Γράφημα 3: Παράδειγμα Εμπορίου Ενέργειας .....	78
Γράφημα 4: Τιμές Ενέργειας στην αγορά Day Ahead.....	79
Γράφημα 5: Τιμές Ενέργειας στην αγορά Intraday .....	79
Γράφημα 6: Παράδειγμα Curtailment.....	81
Γράφημα 7: Παράδειγμα Υβριδοποίησης (1) .....	84
Γράφημα 8: Παράδειγμα Υβριδοποίησης (2) .....	85
Γράφημα 9: Οικονομική Ανάλυση Υβριδικού Πάρκου 60MW/240MWh για διάφορους τρόπους ανάπτυξης.....	102
Γράφημα 10: Αναλογία της κατάστασης φόρτισης και της θερμοκρασίας λειτουργίας σε σχέση με την αναμενόμενη διάρκεια λειτουργίας μιας μπαταρίας .....	111
Γράφημα 11: Επίδραση του επιπέδου του βάθους εκφόρτισης της μπαταρίας στον αριθμό κύκλων για μέση θερμοκρασία 25°C .....	112
Γράφημα 12: Κοστολόγηση Σταθμού Αποθήκευσης Ενέργειας με Μπαταρίες ισχύος 60MW.....	113
Γράφημα 13: Σταθμισμένο κόστος ενέργειας ως συνάρτηση του C-rate για T=25 χρόνια.....	114
Γράφημα 14: Ενέργεια από τον σταθμό αποθήκευσης προς το δίκτυο .....	120
Γράφημα 15: ΚΠΑ του Σταθμού Αποθήκευσης για το έτος 2020 χωρίς δανειοδότηση.....	121
Γράφημα 16: ΚΠΑ του Σταθμού Αποθήκευσης για το έτος 2030 χωρίς δανειοδότηση.....	123
Γράφημα 17: ΚΠΑ του Σταθμού Αποθήκευσης για το έτος 2030 με δανειοδότηση .....	124
Γράφημα 18: Παραγόμενη Ενέργεια από το Φωτοβολταϊκό Πάρκο.....	126
Γράφημα 19: ΚΠΑ του Φωτοβολταϊκού Πάρκου χωρίς curtailment .....	127
Γράφημα 20: ΚΠΑ του Φωτοβολταϊκού Πάρκου με curtailment .....	128
Γράφημα 21: Χαμένη Ενέργεια λόγω Curtailment.....	128
Γράφημα 22: IRR Φωτοβολταϊκού Πάρκου ανάλογα με το curtailment .....	129
Γράφημα 23: ΚΠΑ του Υβριδικού Πάρκου .....	131
Γράφημα 24: Σύγκριση IRR Υβριδικού & Φωτοβολταϊκού Πάρκου ανάλογα με το curtailment ..	132



# 1. Εισαγωγή

## 1.1 Προβλήματα λόγω διείσδυσης ΑΠΕ

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) έχουν γίνει ένα αναπόσπαστο κομμάτι της ζωής μας, αφού αποτελούν μονόδρομο προς την απανθρακοποίηση των δικτύων ενέργειας ανά το παγκόσμιο. Ωστόσο, με την μεγάλη διείσδυση των ΑΠΕ στο δίκτυο εγείρονται πολλά ερωτήματα και προβληματισμοί ως προς τη βιωσιμότητα των επενδύσεων σε αυτά, αλλά και την αξιοπιστία του δικτύου. Λόγω της φύσης των ανανεώσιμων πηγών αυτών, το δίκτυο ενέργειας αντιμετωπίζει προκλήσεις στη διατήρηση της αξιοπιστίας του στα ίδια επίπεδα με την αξιοπιστία των συμβατικών μονάδων. Ακόμα, λόγω του μεγάλου ανταγωνισμού για την ανάπτυξη έργων ΑΠΕ, οι επενδύσεις αντιμετωπίζουν ολοένα και περισσότερες προκλήσεις όσον αφορά την αποδοτικότητά τους. Η αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών είναι καίριας σημασίας, αφού η σημαντικότητα της αξιοπιστίας του δικτύου είναι πολύ μεγάλη και πρέπει να διασφαλιστεί, όπως επίσης και οι προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι σταθμοί ΑΠΕ, οι οποίες μπορεί να προκαλέσουν μείωση στο ενδιαφέρον των επενδυτών για την ανάπτυξή τους.

## 1.2 Αντικείμενο διπλωματικής

Η παρούσα διπλωματική θα επικεντρωθεί στον τομέα της αποθήκευσης ενέργειας, στις εφαρμογές δηλαδή που βρίσκει μια αποθηκευτική μονάδα τόσο ως προς το δίκτυο, όσο και ως προς τις μονάδες παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας. Ο λόγος που επικεντρωνόμαστε στην αποθήκευση ενέργειας, είναι διότι αποτελεί μια από τις σημαντικότερες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την επίλυση των προβλημάτων που δημιουργούνται από την μεγάλη διείσδυση των ΑΠΕ. Η αποθήκευση αποτελεί λύση τόσο για την αξιοπιστία του δικτύου όσο και για την αντιμετώπιση των δυσκολιών των επενδύσεων, επιτρέποντας την διείσδυση περισσότερων μονάδων ΑΠΕ αφού αντιμετωπίζει το κύριο πρόβλημά τους, δηλαδή την μεταβλητότητα, καθώς δίνει τη δυνατότητα στο δίκτυο να απορροφά ολοένα και περισσότερη ενέργεια από αυτές.

## 1.3 Γενική προσέγγιση προβλήματος

Αρχικά, θα μελετήσουμε τις αιτίες των προβλημάτων που προκαλούνται από τη μεγάλη διείσδυση των ΑΠΕ και θα βρούμε εφαρμογές των σταθμών αποθήκευσης με τις οποίες αντιμετωπίζονται τα προβλήματα αυτά. Θα μελετήσουμε πως ένας σταθμός αποθήκευσης μπορεί να συμβάλει στην ενίσχυση της αξιοπιστίας του δικτύου αλλά και στην προώθηση της ανάπτυξης των ΑΠΕ, μειώνοντας τα προβλήματα που αντιμετωπίζει μια επένδυση σε αυτά. Στη συνέχεια θα μελετήσουμε την αντιμετώπιση του προβλήματος περικοπών ενέργειας των φωτοβολταϊκών σταθμών, κάνοντας χρήση ενός σταθμού αποθήκευσης για την υβριδοποίηση μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.

## 1.4 Δομή Διπλωματικής

Στο *Κεφάλαιο 2* της διπλωματικής μας, γίνεται μια αναφορά στους στόχους που τέθηκαν από την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) αλλά και την Ελλάδα συγκεκριμένα, αναφέρουμε τους τρόπους αποτίμησης των επενδύσεων στις ΑΠΕ και κλείνουμε με αναφορά στα είδη εγκαταστάσεων που υπάρχουν. Στο *Κεφάλαιο 3* θα αναφέρουμε τρόπους με τους οποίους γίνεται η προώθηση έργων ΑΠΕ, τόσο μικρού όσο και μεγάλου σκέλους. Στο *Κεφάλαιο 4* θα εξηγήσουμε τη σημαντικότητα της αποθήκευσης ενέργειας, θα αναλύσουμε μερικές μεθόδους αποθήκευσης και θα αναφέρουμε μερικούς τομείς που μπορεί να βρίσκει εφαρμογή η κάθε μέθοδος. Το *Κεφάλαιο 5* είναι κυρίως αφοσιωμένο στην αγορά της Γερμανίας, η οποία είναι αρκετά εξελιγμένη στον τομέα της αποθήκευσης και για την οποία θα μελετήσουμε εις βάθος τις διαθέσιμες υπηρεσίες που μπορεί να προσφέρει μια μονάδα αποθήκευσης, καθώς και τις νομοθεσίες αυτών. Στο *Κεφάλαιο 6* θα ασχοληθούμε με την υβριδοποίηση συνδυάζοντας την τεχνολογία των φωτοβολταϊκών και των μπαταριών, αναλύοντας πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τόσο στις μικρού, όσο και στις μεγάλου σκέλους εγκαταστάσεις. Κλείνοντας, στο *Κεφάλαιο 7* θα αξιολογήσουμε τρεις διαφορετικούς τύπους επενδύσεων μεγάλου σκέλους. Αρχικά, θα αξιολογήσουμε την επένδυση σε σταθμό αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες, η οποία θα έχει ως έσοδο την εφαρμογή του εμπορίου ενέργειας. Στη συνέχεια, θα αξιολογήσουμε την επένδυση σε ένα φωτοβολταϊκό πάρκο, δίνοντας έμφαση στο πόσο επηρεάζει η περικοπή ενέργειας στην απόδοση του έργου και τέλος, συνδυάζοντας τις δύο προηγούμενες τεχνολογίες θα αξιολογήσουμε την επένδυση σε ένα υβριδικό πάρκο, όπου ο σταθμός αποθήκευσης θα είναι υπεύθυνος για την αντιμετώπιση των περικοπών ενέργειας που δέχεται το φωτοβολταϊκό σύστημα.



## 2. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλύσουμε τους στόχους που τέθηκαν όσον αφορά τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, τόσο σε Ευρωπαϊκό όσο και σε Εθνικό επίπεδο, τους τρόπους αποτίμησης τους αλλά και τους τρόπους με τους οποίους προωθείται η συμμετοχή στα έργα αυτά. Τέλος, θα κάνουμε μια αναφορά στα δύο είδη εγκαταστάσεων που υπάρχουν και θα δώσουμε μερικά παραδείγματα αυτών.

### 2.1 Στόχοι ΑΠΕ

Προκειμένου να επιλυθεί το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής από το οποίο απειλείται ο πλανήτης μας, η μετάβαση στην καθαρή ενέργεια έχει πλέον γίνει μια διεθνώς αναγνωρισμένη και απαραίτητη ανάγκη. Ο δρόμος για την αντιμετώπιση αυτής της απειλής πραγματοποιείται μέσω μιας σειράς μέτρων και πολιτικών, συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αλλά και της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης στην παραγωγή προϊόντων και υπηρεσιών, των μεταφορών και της στέγασης, με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας. Στο υποκεφάλαιο αυτό θα δούμε τους στόχους που τέθηκαν για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, τόσο για την Ευρώπη όσο και για την Ελλάδα συγκεκριμένα.

#### 2.1.1 Συμφωνία του Παρισίου 2015

Η συμφωνία του Παρισίου είναι η πρώτη παγκόσμια, νομικά δεσμευτική συμφωνία που αφορά την αλλαγή του κλίματος, η οποία εγκρίθηκε στη διάσκεψη του Παρισίου για το κλίμα (COP21) τον Δεκέμβριο του 2015. Αποτελεί μια γέφυρα μεταξύ των σημερινών πολιτικών και την επίτευξη κλιματικής ουδετερότητας πριν το τέλος του αιώνα [1], δηλαδή μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (ΑτΘ) όσο το δυνατόν περισσότερο αλλά και αντιστάθμιση τυχόν υπόλοιπων εκπομπών, επιτυγχάνοντας έτσι ισορροπία καθαρών μηδενικών εκπομπών [2].

Η συμφωνία καθορίζει ένα παγκόσμιο πλαίσιο με σκοπό την αποφυγή των επικίνδυνων κλιματικών αλλαγών, περιορίζοντας την υπερθέρμανση του πλανήτη κάτω από 2 °C και συνεχίζοντας τις προσπάθειες για περιορισμό στους 1.5 °C σε σχέση με τα προ-βιομηχανικά επίπεδα. Για να τεθεί σε ισχύ η συμφωνία, έπρεπε τουλάχιστον 55 χώρες που αντιπροσωπεύουν το 55% των παγκόσμιων εκπομπών, να καταθέσουν τα έγγραφα επικύρωσής τους. Η Ευρωπαϊκή Ένωση και τα κράτη μέλη της που συγκαταλέγονται μεταξύ των 190 μερών της συμφωνίας, επικύρωσαν τη συμφωνία επίσημα στις 5 Οκτωβρίου του 2016, θέτοντας την έτσι σε ισχύ στις 4 Νοεμβρίου του 2016.

Συγκεκριμένα, οι κυβερνήσεις συμφώνησαν στα εξής:

- Μακροπρόθεσμος στόχος η διατήρηση της αύξησης της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας κάτω από 2 °C σε σχέση με τα προ-βιομηχανικά επίπεδα.

- Στόχευση σε περιορισμό της αύξησης στους 1.5 °C, κάτι το οποίο θα μείωνε σημαντικά τους κινδύνους και τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.
- Ανάγκη για κορύφωση των παγκόσμιων εκπομπών το συντομότερο δυνατό, αναγνωρίζοντας ότι αυτό θα πάρει περισσότερο χρόνο για τις αναπτυσσόμενες χώρες.
- Πραγματοποίηση ραγδαίων μειώσεων στη συνέχεια σύμφωνα με την καλύτερη διαθέσιμη επιστήμη, ώστε να επιτευχθεί ισορροπία μεταξύ εκπομπών και αφαιρέσεων κατά το δεύτερο μισό του αιώνα.

Οι χώρες έχουν υποβάλει ολοκληρωμένα εθνικά σχέδια δράσης για το κλίμα ως συμβολή στους στόχους της συμφωνίας. Οι στόχοι αυτοί δεν είναι αρκετοί για να επιτευχθούν οι συμφωνημένοι στόχοι θερμοκρασίας, αλλά η συμφωνία ανιχνεύει τον δρόμο για περαιτέρω δράση.

### **2.1.2 Πλαίσιο Ευρωπαϊκής Ένωσης για την Ενέργεια και το Κλίμα**

Στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας (European Green Deal), η Επιτροπή πρότεινε τον Σεπτέμβριο του 2020 την αύξηση του στόχου μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου το 2030, σε τουλάχιστον 55% σε σύγκριση με το 1990. Η Ευρωπαϊκή Ένωση εξετάζει τις ενέργειες που απαιτούνται σε όλους τους τομείς, συμπεριλαμβανομένης της ενεργειακής απόδοσης και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Με σκοπό την υλοποίηση και την επίτευξη των αυξημένων στόχων, έχει ξεκινήσει η διαδικασία υποβολής λεπτομερών νομοθετικών προτάσεων μέχρι τον Ιούλιο του 2021 [3]. Αυτό θα επιτρέψει στην Ευρωπαϊκή Ένωση να κινηθεί προς μια κλιματικά ουδέτερη οικονομία, υλοποιώντας τις δεσμεύσεις της βάσει της Συμφωνίας του Παρισιού, ενημερώνοντας την Εθνικά καθορισμένη συνεισφορά της.

Οι Βασικοί στόχοι για το 2030 είναι:

- Μειώσεις τουλάχιστον 40% στις εκπομπές ΑτΘ από τα επίπεδα του 1990.
- Τουλάχιστον 32% μερίδιο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
- Τουλάχιστον 32.5% βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης.

Και τα τρία κομμάτια της νομοθεσίας για το κλίμα θα ανανεωθούν, με σκοπό την εφαρμογή του προτεινόμενου στόχου μείωσης των εκπομπών ΑτΘ κατά 55% με την επιτροπή να υποβάλει τις προτάσεις έως τον Ιούλιο του 2021 όπως προαναφέραμε.

Ωστόσο, από πρόσφατα στοιχεία φαίνεται ότι τα τελευταία χρόνια ο ρυθμός αύξησης της ανανεώσιμης ενέργειας στην Ευρώπη επιβραδύνεται, ειδικά σε βιομηχανικές χώρες όπως η Γερμανία. Επομένως, οι φιλόδοξοι στόχοι της ΕΕ θα είναι δύσκολο να εφαρμοστούν εάν δεν λάβει αυστηρότερα μέτρα σε ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο και δεν υιοθετήσει πιο αποφασιστικές και αποτελεσματικές ενεργειακές πολιτικές [4].

Μακροπρόθεσμα, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει σαν στόχο την κλιματική ουδετερότητα έως το 2050, δηλαδή μια οικονομία με καθαρές μηδενικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου. Ο στόχος αυτός βρίσκεται στο επίκεντρο της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας (European Green Deal) και συμφωνεί με τη δέσμευση της ΕΕ για παγκόσμια δράση για το κλίμα βάσει της Συμφωνίας του Παρισιού [5].

### 2.1.3 Εθνικοί Στόχοι Ελλάδας για την Ενέργεια και το Κλίμα

Το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ) της Ελλάδας έχει δημιουργήσει ένα Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ), όπου τίθενται ποσοτικοποιημένοι και κοστολογημένοι στόχοι στους οποίους έχουν καθοριστεί και ενδιάμεσα χρονικά ορόσημα, επιτρέποντας έτσι την παρακολούθηση της πορείας επίτευξής τους. Οι στόχοι που έχουν τεθεί εξαρτώνται άμεσα από την επιτυχή υιοθέτηση και λειτουργία ενός συνδυασμού μέτρων και πολιτικών [6].

Στο ΕΣΕΚ, οι στόχοι που έχουν καθοριστεί είναι σημαντικά πιο φιλόδοξοι τόσο σε σχέση με το παλιό ΕΣΕΚ που παρουσιάστηκε τον Ιανουάριο του 2019, όσο και σε σχέση με τους κεντρικούς Ευρωπαϊκούς Στόχους που τέθηκαν στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης οι οποίοι αναφέρθηκαν και πιο πάνω.

Συγκεκριμένα, οι στόχοι του ΕΣΕΚ για το 2030 είναι:

- Μειώσεις των ΑτΘ τουλάχιστον 42% σε σχέση με το 1990 και πάνω από 56% σε σχέση με το 2005.
- Τουλάχιστον 35% μερίδιο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ακαθάριστη Τελική Κατανάλωση Ενέργειας.
- Βελτίωση τουλάχιστον 38% της ενεργειακής απόδοσης στην τελική κατανάλωση.
- Μερίδιο 61-64% ΑΠΕ στην Ακαθάριστη Τελική Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας
- Τελική Κατανάλωση Ενέργειας 16.1-16.5 Μtoe
- Μερίδιο Λιγνίτη στην Ηλεκτροπαραγωγή 0% (Πλήρης Απολιγνιτοποίηση)

Αναλυτικότερα, για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας οι στόχοι που τέθηκαν φαίνονται στον πιο κάτω πίνακα.

<b>Στόχοι Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας</b>					
	2020	2022	2025	2027	2030
<b>Εξέλιξη Μεριδίων ΑΠΕ</b>					
Ακαθάριστη Τελική Κατανάλωση Ενέργειας	19.7%	23.4% (31.8%)	27.1% (53.6%)	29.6% (68.5%)	35.0% (100%)

Τελική Κατανάλωση για Θέρμανση και Ψύξη	30.6%	33.8% (27.0%)	36.8% (52.3%)	38.3% (64.5%)	42.5% (100%)
Ακαθάριστη Κατανάλωση Ηλεκτρισμού	29.2%	38.6% (29.6%)	46.8% (55.4%)	52.9% (74.6%)	61.0% (100%)
Τελική Κατανάλωση για Μεταφορές	6.6%	7.3% (5.6%)	10.1% (28.3%)	11.7% (41.3%)	19.0% (100%)
<b>Εξέλιξη Εγκατεστημένης Ισχύος Μονάδων ΑΠΕ για Ηλεκτροπαραγωγή (GW)</b>					
Βιομάζα & Βιοαέριο	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3
Υ/Η (συμπ. Μεικτών αντλητικών)	3.4	3.7	3.8	3.9	3.9
Αιολικά	3.6	4.2	5.2	6.0	7.0
Φωτοβολταϊκά	3.0	3.9	5.3	6.3	7.7
Ηλιοθερμικοί Σταθμοί	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1
Γεωθερμία	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
ΣΥΝΟΛΟ	10.1	11.9	14.6	16.4	19.0
<b>Εξέλιξη Ηλεκτροπαραγωγής από μονάδες ΑΠΕ (TWh)</b>					
Βιομάζα & Βιοαέριο	0.4	0.5	0.8	1.0	1.6
Υ/Η (συμπ. Μεικτών αντλητικών)	5.5	6.4	6.5	6.6	6.6
Αιολικά	7.3	10.1	12.6	14.4	17.2
Φωτοβολταϊκά	4.5	6.0	8.2	9.7	11.8
Ηλιοθερμικοί Σταθμοί	0.0	0.0	0.3	0.3	0.3
Γεωθερμία	0.0	0.0	0.0	0.3	0.6
ΣΥΝΟΛΟ	17.7	23.0	28.4	32.2	38.1
<b>Συμμετοχή των ΑΠΕ για την κάλυψη θερμικών αναγκών στην τελική κατανάλωση (ktoe)</b>					
Βιοενέργεια	1,035	1,060	1,087	1,086	1,142
Ηλιακά	296	303	312	326	411
Θερμότητα Περιβάλλοντος, Γεωθερμία	431	590	715	792	906
ΣΥΝΟΛΟ	1,761	1,952	2,115	2,204	2,460
<b>Συμμετοχή των ΑΠΕ στον τομέα των μεταφορών (ktoe)</b>					
Βιοκαύσιμα	228	238	283	287	371
Ηλεκτρική Ενέργεια από ΑΠΕ	5	11	27	46	94
ΣΥΝΟΛΟ	233	249	310	333	465

Πίνακας 1: Εθνικοί Στόχοι Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας μέχρι το 2030

Πηγή: [6]

## **2.2 Τρόποι Αποτίμησης έργων ΑΠΕ**

Στο υποκεφάλαιο αυτό θα αναλύσουμε περιληπτικά τους τρόπους αποτίμησης των έργων παραγωγής ενέργειας, κάτι που αποτελεί σημαντικό παράγοντα στη βιωσιμότητα των επενδύσεων αφού ο κάθε τρόπος αποτίμησης έχει τα δικά του οφέλη και ρίσκα.

### **2.2.1 Συμφωνία Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (PPA)**

Η συμφωνία αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας (Power Purchase Agreement – PPA) είναι συχνά μια μακροπρόθεσμη συμφωνία προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας η οποία γίνεται μεταξύ δύο μερών, συνήθως μεταξύ ενός παραγωγού ηλεκτρικής ενέργειας και ενός πελάτη [7]. Συγκεκριμένα, στην περίπτωση για παράδειγμα ενός φωτοβολταϊκού πάρκου, ο παραγωγός είναι ο ιδιοκτήτης του πάρκου και ο πελάτης είναι το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας όπου και καταναλώνεται η παραγόμενη ενέργεια.

Στη συμφωνία αυτή καθορίζονται οι όροι όπως η ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που θα παρασχεθεί, οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας αυτής μετά από διαπραγμάτευση αλλά και οι κυρώσεις για μη συμμόρφωση. Δεδομένου ότι η συμφωνία τύπου PPA είναι διμερή, μπορεί να λάβει πολλές μορφές και συνήθως προσαρμόζεται στην κάθε εφαρμογή ξεχωριστά και η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να παρέχεται φυσικά ή σε ισολογισμό. Η τιμή αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να συνδέεται με την τιμή χονδρικής της ηλεκτρικής ενέργειας στην περιοχή είτε να είναι σταθερή.

Οι παραγωγοί ενέργειας πρέπει να παρέχουν προβλέψεις για την επόμενη μέρα ή/και ώρα στον αγοραστή όσον αφορά την ενέργεια που μπορεί να παρέχουν. Σε περίπτωση παρέκκλισης από τις παρεχόμενες προβλέψεις μπορεί να υπάρχουν ποινικές ρήτρες [8]. Στη φύση τους οι ανανεώσιμες πηγές όπως η ηλιακή και η αιολική έχουν μεταβαλλόμενη παραγωγή εξαρτώμενη από τη διαθεσιμότητα πόρων, κάτι που καθιστά την πρόβλεψη πιο δύσκολη

### **2.2.2 Σταθερές Εγγυημένες Τιμές (FiT)**

Τα τιμολόγια σταθερής εγγυημένης τιμής (Feed-in-Tariff – FiT) θεωρούνται απαραίτητα για την προώθηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα αρχικά στάδια της ανάπτυξής τους, όπου η παραγωγή ενέργειας δεν είναι εφικτή από οικονομική άποψη [9]. Τα τιμολόγια αυτά συνήθως είναι συνήθως μακροπρόθεσμες συμφωνίες και συνδέονται με το κόστος παραγωγής της εν λόγω ενέργειας. Οι εγγυημένες τιμές και οι μακροπρόθεσμες συμβάσεις προστατεύουν τους παραγωγούς ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αφαιρώντας το ρίσκο της διακύμανσης της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας της αγοράς, ενθαρρύνοντας έτσι τις επενδύσεις και την ανάπτυξη έργων που διαφορετικά δεν θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν, γι' αυτό και χρησιμοποιήθηκε ως μηχανισμός για την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας [8]. Αφού τα τιμολόγια σταθερής εγγυημένης τιμής μπορεί να είναι υψηλά δεδομένου της προώθησης των επενδύσεων σε ΑΠΕ, μπορούν να συσχετιστούν επίσης με

υψηλά κόστη για τους τελικούς καταναλωτές, δημιουργώντας έτσι στρεβλώσεις στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.

Σε μια συμφωνία σταθερής εγγυημένης τιμής, οι υπηρεσίες ηλεκτρικής ενέργειας υποχρεούνται από τη νομοθεσία να αγοράσουν τη πλήρη ποσότητα ανανεώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τις μονάδες αυτές σε σταθερή τιμή, η οποία διαφέρει ανάλογα με την τεχνολογία που χρησιμοποιείται (ανανεώσιμη πηγή) στο έργο, την τοποθεσία του έργου αλλά και την παρουσία άλλων επιδοτήσεων σε αυτό.

### **2.2.3 Εγγυημένες διαφορικές τιμές (FiP)**

Η συμφωνία εγγυημένης διαφορικής τιμής (feed-in-premium – FiP) είναι μια πρόσθετη αποζημίωση που προστίθεται στα έσοδα που λαμβάνουν τα πάρκα παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας μέσω της συμμετοχής τους στην αγορά χονδρικής (wholesale) ηλεκτρικής ενέργειας. Ουσιαστικά, το FiP αυξάνει τα έσοδα του πάρκου από τη πώληση ενέργειας στην αγορά χονδρικής, ώστε να επιτευχθεί η συμφωνημένη τιμή αναφοράς. Σπάνια μπορεί να τύχει το FiP να είναι αρνητικό, μειώνοντας έτσι τα έσοδα σε περιπτώσεις υψηλής τιμής ενέργειας και αποτρέποντας τα υπερβολικά κέρδη στους παραγωγούς.

Στην Ελλάδα το FiP ισχύει από το 2016, όπου το 2017 έγιναν οι πρώτες δημοπρασίες για αιολικά και φωτοβολταϊκά πάρκα με ανταγωνιστικές προσφορές βάση έργου, οι οποίες επιβλέπονται και οργανώνονται από την Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ). Οι συμβάσεις feed-in-premium είναι διάρκειας 20 ετών για όλες τις τεχνολογίες ΑΠΕ, με εξαίρεση τις θερμοηλεκτρικές εγκαταστάσεις στις οποίες έχουν διάρκεια 25 ετών [8].

### **2.2.4 Ενεργειακός Συμψηφισμός**

Ο ενεργειακός συμψηφισμός (net metering) είναι ο συμψηφισμός της ενέργειας που εγχέεται στο δίκτυο από μια εγκατάσταση ΑΠΕ, με την ενέργεια που απορρόφησε η εγκατάσταση του αυτοπαραγωγού από το δίκτυο. Η εγκατάσταση ΑΠΕ πρέπει να συνδέεται στο Δίκτυο μέσω της παροχής της εγκατάστασης κατανάλωσης με την οποία συμψηφίζεται η παραγωγή.

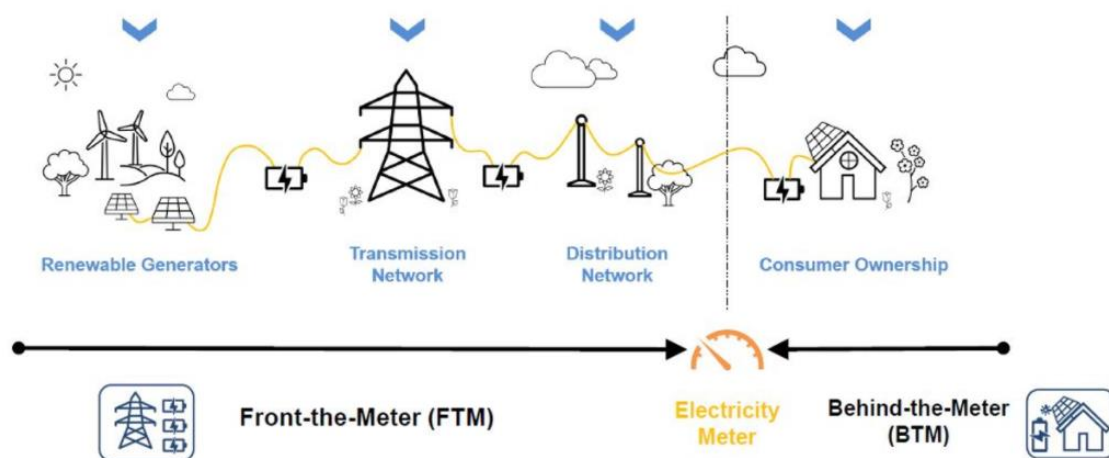
Σκοπός του ενεργειακού συμψηφισμού είναι η παροχή της δυνατότητας πλήρους αξιοποίησης της εγκατάστασης ΑΠΕ χωρίς να είναι απαραίτητος ο ταυτοχρονισμός παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας, αφού με τον ενεργειακό συμψηφισμό θα «καταναλώνει» την παραγόμενη ενέργεια από την εγκατάσταση ΑΠΕ όταν την χρειάζεται και όχι μόνο όταν παράγει, απορροφώντας την πίσω από το δίκτυο στο οποίο εκχύθηκε εξ' αρχής.

## 2.2.5 Μονάδες Ανανεώσιμης Ενέργειας και Μονάδες Άνθρακα

Οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις, οι εταιρίες παραγωγής ενέργειας και οι αεροπορικές εταιρίες στην Ευρώπη, υπόκεινται σε ανώτατα όρια εκπομπών. Αν μια εταιρία είναι αναγκασμένη να ξεπεράσει τα επιτρεπόμενα, δωρεάν όρια, πρέπει να αγοράσει μονάδες ανανεώσιμης ενέργειας από την κυβέρνηση ή από εταιρίες οι οποίες έχουν διαθέσιμο όριο εκπομπών. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή και οι ενεργειακοί οργανισμοί των κρατών μελών έχουν την δυνατότητα κατανομής πρόσθετων δωρεάν δικαιωμάτων εκπομπών σε εταιρίες οι οποίες πραγματοποιούν επενδύσεις που προωθούν τις ΑΠΕ και τη βιωσιμότητα. Έτσι, οι εταιρίες που αναλαμβάνουν έργα καθαρής ενέργειας μπορούν πέρα από τα έσοδα πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας (σε περίπτωση πάρκων ανανεώσιμης ενέργειας) να έχουν και επιπλέον έσοδα από την πώληση μονάδων ανανεώσιμης ενέργειας, οι οποίες μπορούν να λάβουν την μορφή πιστοποιητικών ανανεώσιμης ενέργειας (Renewable Energy Certificates – REC), μονάδων άνθρακα ή άλλων εμπορεύσιμων πιστοποιητικών [8].

## 2.3 Είδη Εγκαταστάσεων

Στο υποκεφάλαιο αυτό θα αναφέρουμε περιληπτικά τα είδη εγκαταστάσεων που υπάρχουν, καθώς και μερικά παραδείγματα και εφαρμογές τους.



Εικόνα 1: Συστήματα Μπροστά & Πίσω από τον μετρητή

Πηγή: [10]

### 2.3.1 Behind the meter (BTM)

Ο όρος «πίσω από τον μετρητή» («behind the meter») αναφέρεται σε συστήματα παραγωγής ή αποθήκευσης ενέργειας τα οποία παρέχουν ενέργεια άμεσα στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις. Η ενέργεια αυτή είναι ξεχωριστή από το δίκτυο και δεν χρειάζεται να περάσει από τον μετρητή για να χρησιμοποιηθεί, έτσι βρίσκονται πίσω από τον μετρητή [11].

## Παραδείγματα

- Καταναλωτές

Το πιο απλό παράδειγμα είναι οι απλοί καταναλωτές ενέργειας, όπου οι εγκαταστάσεις τους λαμβάνουν ενέργεια η οποία περνά από ένα μετρητή ενέργειας με σκοπό την κοστολόγησή του.

- Prosumers

Οι prosumers είναι μεμονωμένοι καταναλωτές ενέργειας, οι οποίοι παράγουν ενέργεια για να καλύψουν τη δική τους ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας με αυτοκατανάλωση ή να τροφοδοτήσουν την περίσσεια ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο [12]. Η πιο κοινή τεχνολογία αυτοπαραγωγής ενέργειας είναι τα φωτοβολταϊκά και οι κοινές τεχνολογίες αποθήκευσης περιλαμβάνουν τεχνολογίες όπως οι μπαταρίες (σταθερές μπαταρίες, ηλεκτρικά οχήματα) αλλά και θερμική αποθήκευση (λέβητες ζεστού νερού).

- Παραγωγή και Αποθήκευση Ενέργειας

Τα πάρκα παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας, ή αλλιώς «υβριδικά» πάρκα ή «υβριδικά» συστήματα (όπως π.χ. οικιακά υβριδικά σε prosumers) γενικότερα, είναι μια πολύ χρήσιμη εφαρμογή κατά την οποία το σύστημα αποθήκευσης καθώς και το σύστημα παραγωγής βρίσκονται πίσω από τον ίδιο μετρητή. Η εφαρμογή αυτή θα μελετηθεί στη συνέχεια αναλυτικά.

### 2.3.2 Front of the Meter (FTM)

Ο όρος «μπροστά από τον μετρητή» («front of the meter») σημαίνει εκτός τοποθεσίας, μακριά από την εγκατάσταση κατανάλωσης ενέργειας. Τα συστήματα «front of the meter» παρέχουν ενέργεια σε τοποθεσίες μακριά από την τοποθεσία τους, η οποία πρέπει να περάσει από έναν μετρητή για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας που θεωρούνται μπροστά από τον μετρητή, σημαίνει ότι η ενέργεια που παρέχουν πρέπει να περάσει από ένα μετρητή για να χρησιμοποιηθεί [11].

## Παραδείγματα

- Το δίκτυο μεταφοράς και διανομής

Ολόκληρο το δίκτυο μεταφοράς και διανομής αλλά και οι μονάδες παραγωγής ενέργειας του δικτύου (π.χ. συμβατικές μονάδες παραγωγής ή ΑΠΕ) βρίσκονται μπροστά από τον μετρητή.

- Μονάδες Αποθήκευσης Ενέργειας

Οι μονάδες αποθήκευσης ενέργειας που ελέγχονται από τους διαχειριστές του συστήματος, μπορούν επίσης να θεωρηθούν ως μονάδες που βρίσκονται μπροστά από τον μετρητή.



### **3. Τρόποι Προώθησης ΑΠΕ**

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφέρουμε μερικούς τρόπους με τους οποίους γίνεται μια προώθηση της συμμετοχής στην ανάπτυξη έργων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, τόσο σε οικιακά όσο και σε έργα μεγάλου σκέλους, όπως επίσης και προώθηση ενεργειακών αναβαθμίσεων στον κτηριακό τομέα.

#### **3.1 Πρόγραμμα Εξοικονομώ – Αυτονομώ**

Το πρόγραμμα «Εξοικονομώ – Αυτονομώ» είναι ένα νέο πρόγραμμα της Ελλάδας που αφορά την αυτονόμηση αλλά και την ενεργειακή αναβάθμιση των κατοικιών, για το οποίο οι πρώτες υποβολές αιτήσεων ξεκίνησαν τις 11.12.20. Το πρόγραμμα αυτό αποτελεί τον διάδοχο του προγράμματος «Εξοικονόμηση κατ' Οίκον» και για τον σχεδιασμό του λήφθηκε υπόψη μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για την εξοικονόμηση ενέργειας όσον αφορά τον κτηριακό τομέα, με συνολικό προϋπολογισμό 900 εκατομμύρια ευρώ [13].

Οι στόχοι του προγράμματος είναι:

- Καθαρότερο περιβάλλον
- Μείωση των ρύπων που είναι υπεύθυνοι για την επιδείνωση του φαινομένου του θερμοκηπίου
- Μείωση των κτηριακών ενεργειακών αναγκών
- Βελτιωμένες καθημερινές συνθήκες ζωής των πολιτών που χρησιμοποιούν τα κτήρια
- Εξοικονόμηση κόστους των πολιτών

#### **Πως λειτουργεί;**

Το πρόγραμμα «Εξοικονομώ – Αυτονομώ» θα παρέχει κίνητρα με σκοπό τις παρεμβάσεις για ενίσχυση της ενεργειακής αυτονομίας αλλά και την εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια του οικιακού τομέα, πετυχαίνοντας έτσι μειωμένες ενεργειακές ανάγκες αλλά και καταναλώσεις συμβατικών καυσίμων, υπό το πλαίσιο της μετάβασης σε «Εξυπνο σπίτι».

#### **Κριτήρια**

Το πρόγραμμα αφορά μόνο συγκεκριμένα κτήρια και ιδιοκτήτες με συγκεκριμένα εισοδήματα. Συγκεκριμένα, τα κτήρια πρέπει να διαθέτουν οικοδομική άδεια ή κάποιο άλλο νομιμοποιητικό έγγραφο, καθώς πρέπει να χρησιμοποιούνται και σαν κύρια κατοικία. Όσον αφορά τα οικονομικά κριτήρια, θα υπάρχουν πέντε κατηγορίες κινήτρων, όπου οι ωφελούμενοι θα εντάσσονται ανάλογα με τα εισοδήματά τους. Στις λιγνιτικές περιοχές δίνεται επιπλέον κίνητρο ως «ρήτρα δίκαιης μετάβασης».

## **Χρηματοδότηση**

Η χρηματοδότηση του προγράμματος γίνεται από εθνικούς πόρους αλλά και από τους πόρους του Ευρωπαϊκού Ταμείου Περιφερειακής Ανάπτυξης (ΕΤΠΑ), όπου η χορήγηση κινήτρων γίνεται με επιχορήγηση άμεσης ενίσχυσης, αλλά και με δάνειο επιδοτώντας το επιτόκιο από το Ταμείο «Εξοικονομώ II».

### **3.2 Ειδικό πρόγραμμα Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών στέγης**

Το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ) της Ελλάδας, επεξεργάζεται νέο σχέδιο Κοινής Υπουργικής Απόφασης (ΚΥΑ) μαζί με το Υπουργείο Οικονομικών, Ανάπτυξης και Επενδύσεων, έχοντας ως στόχο τη διεύρυνση των δυνατοτήτων στήριξης των φωτοβολταϊκών στις στέγες αλλά και των φωτοβολταϊκών εδάφους μέχρι 6kWp [14].

#### **Κριτήρια**

Το πρόγραμμα θα υποστηρίζει φωτοβολταϊκά συστήματα μέχρι 6kWp με παραγωγή ενέργειας η οποία θα εγχέεται στο δίκτυο, τα οποία θα εγκαθίστανται επί των κτιρίων ή επί εδάφους και θα είναι συνδεδεμένα με την παροχή οικιακής χρήσης. Τα φωτοβολταϊκά θα μπορούν να ανήκουν σε φυσικά πρόσωπα, όχι όμως σε επιτηδευματίες.

#### **Τιμολόγηση**

Η τιμή αναφοράς (Τ.Α.) για τα οικιακά συστήματα θα ανέλθει στα 87 ευρώ ανά Μεγαβατώρα, σύμφωνα με προηγούμενη σχετική υπουργική απόφαση του Μάρτιου το 2020 [15]. Με βάση την τιμή αυτή αναφοράς και για ένα φωτοβολταϊκό σύστημα 6kWp, υπολογίζεται ότι οικονομικό όφελος ανά έτος θα ανέρχεται στα 700-750€ και αντίστοιχα η απόσβεση της επένδυσης σε 8 με 9 έτη περίπου.

Συγκριτικά, οι ιδιώτες οι οποίοι εγκαθιστούν φωτοβολταϊκά συστήματα, τα οποία όμως δεν βρίσκονται στη γη τους, η τιμή αναφοράς είναι 63 ευρώ ανά Μεγαβατώρα, ενώ όσον αφορά τις ενεργειακές κοινότητες και τους αγρότες η τιμή αναφοράς είναι 65 ευρώ ανά Μεγαβατώρα [15].

### **3.3 Ενεργειακές Κοινότητες**

#### **3.3.1 Γιατί δημιουργήθηκαν**

Σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες οι ενεργειακοί συνεταιρισμοί αναπτύσσονται ήδη εδώ και πολλά χρόνια. Η Ελλάδα, θέλοντας κι αυτή να συμμετάσχει στην παγκόσμια προσπάθεια για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και ακολουθώντας την ευρωπαϊκή ενεργειακή πολιτική, θέσπισε το νόμο 4513 τον Ιανουάριο του 2018 για τις Ενεργειακές Κοινότητες, κάνοντας έτσι διαθέσιμο ένα ακόμη σημαντικό εργαλείο, το οποίο έχει ως κύριο σκοπό την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και την επίτευξη των στόχων που τέθηκαν όπως εξηγήθηκε στο κεφάλαιο 2.

### 3.3.2 Τι είναι

Η Ενεργειακή Κοινότητα (ΕΚΟΙΝ) είναι ένας νέος τύπος αστικού συνεταιρισμού αποκλειστικού σκοπού, ο οποίος έχει ως στόχο την προώθηση της Κοινωνικής και Αλληλέγγυας Οικονομίας και Καινοτομίας στον ενεργειακό τομέα, μέσω της δραστηριοποίησης στον τομέα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), της Συμπααραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (ΣΗΘΥΑ), της διανομής και προμήθειας ενέργειας αλλά και της ορθολογικής χρήσης της, της ενεργειακής αποδοτικότητας, της διαχείρισης ζήτησης και παραγωγής ενέργειας καθώς και των βιώσιμων μεταφορών της.

Στόχος της ΕΚΟΙΝ είναι η προαγωγή της ενεργειακής αειφορίας, η αντιμετώπιση της ενεργειακής φτώχειας, η βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας, η προώθηση της καινοτομίας στον ενεργειακό τομέα, η αντιμετώπιση της ενεργειακής ένδειας αλλά και η ενίσχυση αυτάρκειας και ασφάλειας σε νησιωτικούς δήμους.

Χαρακτηριστικά των Ενεργειακών Κοινοτήτων είναι ο τοπικός τους χαρακτήρας, το δημοκρατικό μοντέλο λειτουργίας τους καθώς και η έμφαση τους στην κάλυψη των αναγκών αντί του κέρδους, προσφέροντας έτσι κοινωνικά, οικονομικά αλλά και περιβαλλοντικά οφέλη. Οι Ενεργειακές Κοινότητες συμβάλλουν στη διεσπαρμένη παραγωγή της Ελλάδας, καθώς και στην προώθηση του συμμετοχικού ρόλου των τοπικών κοινωνιών και αλλά και των καταναλωτών στον ενεργειακό σχεδιασμό της Ελλάδας [4].

### 3.3.3 Χαρακτηριστικά Ενεργειακής Κοινότητας

- **Δικαίωμα Συμμετοχής**

Σε μια Ενεργειακή Κοινότητα μπορούν να συμμετέχουν φυσικά ή νομικά πρόσωπα, καθώς και Οργανισμοί Τοπικής Αυτοδιοίκησης (Ο.Τ.Α.) α' και β' βαθμού. Τα φυσικά πρόσωπα πρέπει να έχουν πλήρη δικαιοπρακτική ικανότητα, οι Ο.Τ.Α. α' βαθμού πρέπει να είναι της ίδιας περιφέρειας όπως και η έδρα της Ενεργειακής Κοινότητας ή επιχειρήσεις αυτών, καθώς και οι Ο.Τ.Α. β' βαθμού πρέπει να βρίσκονται εντός των διοικητικών ορίων των οποίων βρίσκεται η έδρα της Ενεργειακής Κοινότητας.

- **Εντοπιότητα**

Για να εξασφαλιστεί το κριτήριο της εντοπιότητας, υπάρχει η απαίτηση πάνω από το 50% μελών να σχετίζονται με τον τόπο στον οποίο βρίσκεται η έδρα της Ενεργειακής Κοινότητας. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται η συμμετοχή των πολιτών, των μικρομεσαίων επιχειρήσεων αλλά και των Φορέων Τοπικής Αυτοδιοίκησης σε μια Ενεργειακή Κοινότητα, σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο

- **Τύποι Ενεργειακών Κοινοτήτων**

Οι Ενεργειακές Κοινότητες διαχωρίζονται σε δύο τύπους: Κερδοσκοπική και Μη Κερδοσκοπική. Οι τύποι αυτοί διαφοροποιούνται μεταξύ τους όσον αφορά τη δυνατότητα διανομής πλεονασμάτων στα μέλη της, το οποίο ισχύει μόνο για τα μέλη των κερδοσκοπικών Ενεργειακών Κοινοτήτων, τη σύνθεση αλλά και τον ελάχιστο αριθμό των μελών τους. Ο κερδοσκοπικός ή μη κερδοσκοπικός χαρακτήρας μιας Ενεργειακής Κοινότητας παραμένει καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας της.

- **Συνεταιριστικές Μεριδες και Δικαιώματα Ψήφου**

Κάθε μέλος κατέχει υποχρεωτικά μια συνεταιριστική μερίδα, έχοντας όμως τη δυνατότητα να κατέχει μία ή περισσότερες προαιρετικές συνεταιριστικές μερίδες πέραν της υποχρεωτικής, με ανώτατο όριο συμμετοχής στο συνεταιριστικό κεφάλαιο το 20%. Εξαιρέση είναι οι Ο.Τ.Α. οι οποίοι μπορούν να συμμετέχουν στο συνεταιριστικό κεφάλαιο με μεγαλύτερα ποσοστά. Κάθε μέλος, άσχετα με το ποσοστό συμμετοχής στο συνεταιριστικό κεφάλαιο, συμμετέχει στη γενική συνέλευση με μία μόνο ψήφο. Βάση αυτών των κανονισμών, παρατηρούμε ότι έχουν τεθεί κάποια νομοθετικά όρια με σκοπό τη δημοκρατική διακυβέρνηση της Ενεργειακής Κοινότητας.

- **Αντικείμενο Δραστηριότητας**

Οι Ενεργειακές Κοινότητες έχουν ένα πολύ ευρύ φάσμα όσον αφορά τις δραστηριότητες που μπορούν να ασχοληθούν (υποχρεωτικά), οι οποίες περιτριγυρίζονται γύρω από την Ενέργεια και την Ενεργειακή αναβάθμιση της χώρας. Μερικά παραδείγματα είναι η ανάπτυξη έργων ΑΠΕ εντός της περιφέρειας που βρίσκεται η έδρα της Ενεργειακής Κοινότητας, αλλά και η παροχή ενεργειακών υπηρεσιών υπό μορφή Επιχείρησης Ενεργειακών Υπηρεσιών (ΕΕΥ).

Η Ενεργειακή Κοινότητα έχει επίσης τη δυνατότητα, χωρίς να υποχρεούται, να δραστηριοποιείται και σε άλλα θέματα όπως για παράδειγμα η ενημέρωση, η εκπαίδευση και η ευαισθητοποίηση των πολιτών για θέματα ενεργειακής αειφορίας, υποστήριξη ευάλωτων καταναλωτών και αντιμετώπιση της ενεργειακής ένδειας.

### **3.3.4 Οικονομικά κίνητρα και μέτρα στήριξης των Ενεργειακών Κοινοτήτων**

Με σκοπό την προώθηση της ανάπτυξης των Ενεργειακών Κοινοτήτων στην Ελλάδα, ο νόμος προβλέπει και κάποια οικονομικά κίνητρα και μέτρα υποστήριξης, τα οποία ευνοούν τις Ενεργειακές Κοινότητες δίνοντάς τους κάποια πλεονεκτήματα σε σχέση με τον ανταγωνισμό.

Μερικά παραδείγματα αυτών είναι η ένταξη των Ενεργειακών Κοινοτήτων σε προγράμματα χρηματοδότησης από εθνικούς ή Ευρωπαϊκούς πόρους, η ειδική μεταχείριση ή εξαιρέση από ανταγωνιστικές διαδικασίες υποβολής προσφορών για σταθμούς ΑΠΕ, ειδικοί όροι, προνομιακές

χρεώσεις, αλλά και μεγαλύτερη διάρκεια χρήσης των υπηρεσιών Φο.Σ.Ε.Τε.Κ. αλλά και προτεραιότητα στις αιτήσεις άδειας παραγωγής στην Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ).

Ακόμα, σύμφωνα με το νόμο 4513/18, υπάρχει η δυνατότητα εγκατάστασης σταθμών ΑΠΕ, Σ.Η.Θ.Υ.Α. και Υβριδικών Σταθμών από τις Ενεργειακές Κοινότητες, με σκοπό την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των μελών της αλλά και ευάλωτων καταναλωτών ή πολιτών που ζουν κάτω από το όριο της φτώχειας, όπου ο σταθμός πρέπει να βρίσκεται εντός της περιφέρειας στην οποία βρίσκεται η έδρα της [16].

Μια Ενεργειακή Κοινότητα έχει επίσης τη δυνατότητα χρήσης ενεργειακού συμψηφισμού, δηλαδή συμψηφισμού παραγόμενης ενέργειας από το σταθμό παραγωγής με την καταναλισκόμενη ενέργεια από την εγκατάσταση κατανάλωσης ενός αυτοπαραγωγού. Ο σταθμός παραγωγής πρέπει να βρίσκεται σε ίδιο ή γειτονικό χώρο με την εγκατάσταση κατανάλωσης και να συνδέεται στο δίκτυο διανομής μέσω της ίδιας παροχής με την εγκατάσταση.

Επιπλέον, έχει τη δυνατότητα χρήσης του εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού ο οποίος λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο, με τη διαφορά όμως ότι δεν χρειάζεται ο σταθμός παραγωγής να βρίσκεται σε ίδιο ή γειτονικό χώρο με την εγκατάσταση κατανάλωσης ή να συνδέεται στο δίκτυο διανομής μέσω της ίδιας παροχής. Η μέγιστη εγκατεστημένη ισχύς για σταθμούς ΑΠΕ και Σ.Η.Θ.Υ.Α. με εφαρμογή του εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού είναι το 1MW και εξαιρούνται από την υποχρέωση λήψης άδειας παραγωγής. Αυτό δίνει την ευκαιρία σε πολίτες που δεν έχουν τον απαραίτητο χώρο στις εγκαταστάσεις κατανάλωσής τους να εγκαταστήσουν σταθμό παραγωγής ενέργειας ώστε να κάνουν απλό ενεργειακό συμψηφισμό, να επενδύσουν σε εγκαταστάσεις ΑΠΕ. Περισσότερα για τον εικονικό ενεργειακό συμψηφισμό θα αναφερθούν στο υποκεφάλαιο 3.7.

### **3.3.5 Ενεργειακοί Συνεταιρισμοί σε Ελλάδα και Ευρώπη**

Οι ενεργειακές κοινότητες, όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι διαδεδομένες σε όλη την Ευρώπη. Στο κεφάλαιο αυτό θα μελετήσουμε διάφορα παραδείγματα ενεργειακών κοινοτήτων τόσο στην Ελλάδα όσο και στην Ευρώπη και θα παρουσιάσουμε κάποια χαρακτηριστικά τους.

#### **3.3.5.1 Ενεργειακές Κοινότητες στην Ελλάδα**

Στην Ελλάδα, μέχρι τον Αύγουστο του 2020 έχουν καταχωρηθεί στο σύνολο 409 Ενεργειακές Κοινότητες, σύμφωνα με την έρευνα [17], με τις περισσότερες καταχωρήσεις να γίνονται κατά το 2<sup>ο</sup> εξάμηνο του 2019.

Το 4% των Ενεργειακών Κοινοτήτων έχει συνεταιριστικό κεφάλαιο το οποίο υπερβαίνει τα 100.000 ευρώ, το 35% έχει συνεταιριστικό κεφάλαιο μεταξύ 10.000 ευρώ και 100.000 ευρώ, ενώ το υπόλοιπο 61% έχει συνεταιριστικό κεφάλαιο μικρότερο των 10.000 ευρώ [17].

- **Μινώα Ενεργειακή Κοινότητα - MINOAN ENERGY Ενεργειακή Κοινότητα**

Η ενεργειακή κοινότητα Μινώα ιδρύθηκε τον Οκτώβριο του 2019 με έδρα την Κρήτη. Τα ιδρυτικά μέλη της κοινότητας είναι 38 ενώ τα ενεργά μέλη της υπερβαίνουν ήδη τα 200 με τάση μεγάλης αύξησης του αριθμού τους. Ασχολείται με την ανάπτυξη μιας ευρείας γκάμας έργων ενέργειας όπως είναι οι εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων, τα αιολικά πάρκα, τα υβριδικά έργα Α.Π.Ε. και η αποθήκευση ενέργειας. Τα μέλη της κοινότητας αποτελούνται από αγρότες, νοικοκυριά, πολίτες αστικών περιοχών, την περιφερειακή αρχή της Κρήτης, τρεις δήμους καθώς και συνεταιρισμούς. Στην διαρκή ανάπτυξη της Ενεργειακής Κοινότητας συμβάλουν και μια ομάδα από επιστήμονες και εμπειρογνώμονες, οι οποίοι συμμετέχουν σε κοινοπραξίες οι οποίες κάνουν αιτήσεις για συμμετοχή σε έργα Εξοικονόμησης Ενέργειας. Για την στήριξη της ανάπτυξης του συνεταιρισμού στα αρχικά του στάδια έχουν επίσης σχηματιστεί 4 ομάδες, οι οποίες είναι υπεύθυνες για την Εκπαίδευση, τα Διοικητικά, την Προώθηση & Επικοινωνία καθώς και τα Τεχνικά καθήκοντα [18].

- **Ενεργειακή Κοινότητα Atlas**

Η ενεργειακή κοινότητα Atlas ιδρύθηκε το 2020 με έδρα την Θεσσαλία. Στόχος της ενεργειακής κοινότητας είναι η αντιμετώπιση της ενεργειακής φτώχειας σε ορεινές περιοχές της κεντρικής Ελλάδας καθώς και η ανάπτυξη έργων ΑΠΕ, τα οποία θα συνεισφέρουν στην ανάπτυξη του αγροδιατροφικού τομέα βοηθώντας αγρότες, συνεταιρισμούς και επιχειρήσεις αυτού. Αυτή την περίοδο αναπτύσσει ένα χαρτοφυλάκιο έργων και υπηρεσιών, τα οποία περιλαμβάνει την αποθήκευση ενέργειας, την παραγωγή καθαρής ενέργειας, την ενεργειακή απόδοση καθώς και την ανάπτυξη ανθρώπινου δυναμικού. Είναι ενεργή σε δράσεις όπως την παραγωγή καθαρής ενέργειας, αφού παράγει, αποθηκεύει και ιδιοκαταναλώνει ενέργεια παραγόμενη από ανανεώσιμες πηγές στην Κεντρική Ελλάδα, την αντιμετώπιση της ενεργειακής φτώχειας μέσω συλλογικής ιδιοκατανάλωσης και βελτιώσεων ενεργειακής απόδοσης κτιρίων, την ευαισθητοποίηση των τοπικών κοινοτήτων για την ενεργειακή αειφορία και την δημιουργία ισχυρών δεσμών με την κοινότητα καθώς και την συμβολή στην ενεργειακά αποδοτική και βιώσιμη γεωργία, διατηρώντας τους φυσικούς πόρους και ελαχιστοποιώντας το κόστος [19].

- **Hyperion Energy Community**

Η ενεργειακή κοινότητα Hyperion ιδρύθηκε το 2020 και με έδρα την Αθήνα. Στόχος της είναι η εφαρμογή του εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού με σκοπό των παραγωγή καθαρού ηλεκτρισμού για νοικοκυριά και μικρές επιχειρήσεις στην Αθήνα, καθώς και την ανάπτυξη εργαλείων και υπηρεσιών, έχοντας ως σκοπό την αντιμετώπιση της ενεργειακής φτώχειας σε αστικές περιοχές.

Στόχος της είναι η ανάπτυξη, δοκιμή και πιστοποίηση υπηρεσιών, μοντέλων και έργων τα οποία μπορούν να αναπαραχθούν σε άλλες περιοχές της Ελλάδας αλλά και στα Βαλκάνια. Στο φωτοβολταϊκό έργο το οποίο βρίσκεται υπό ανάπτυξη, συμμετέχουν 36 μέλη και έχει ισχύ 180kWp. Έχει τη δυνατότητα τροφοδότησης πάνω από 50 σπίτια και μικρές επιχειρήσεις αφού μπορεί να παράγει και να προμηθεύει 264.500kWh καθαρής ηλιακής ενέργειας για περίοδο 25 χρόνων.

- **Ένωση Αγρινίου**

Η Ένωση Αγρινίου ιδρύθηκε το 1930 από τους συνεταιρισμούς καπνοπαραγωγών και ελαιοπαραγωγών οι οποίοι δραστηριοποιούνταν στο νομό Αιτωλοακαρνανίας. Η ένωση έχει κάνει επιτυχημένες εμπορικές δραστηριότητες στον αγροδιατροφικό τομέα, λαμβάνοντας επίσης την στρατηγική απόφαση ενασχόλησης με έργα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η ένωση έχει ήδη αναπτύξει 17 ενεργειακές κοινότητες, από τις οποίες οι 10 θα οικοδομήσουν αιολικά πάρκα με ισχύ 168MW τα οποία θα συμπεριλαμβάνουν 1750 οικογένειες. Η αρχική επένδυση ανέρχεται στα 220 εκατομμύρια ευρώ με ετήσιο όφελος 45 εκατομμύρια ευρώ για την τοπική κοινότητα. Οι υπόλοιπες 7 κοινότητες θα οικοδομήσουν φωτοβολταϊκά έργα με ισχύ 126MW τα οποία θα συμπεριλαμβάνουν 500 οικογένειες. Η αρχική επένδυση ανέρχεται στα 93 εκατομμύρια ευρώ με ετήσιο όφελος 14 εκατομμύρια ευρώ για την τοπική κοινότητα. Τα φωτοβολταϊκά έργα κατά την περίοδο κατασκευής τους θα παρέχουν 900 θέσεις εργασίας, ενώ μετά την ολοκλήρωσή τους θα παρέχουν 90 μόνιμες θέσεις [20].

- **Ενεργειακή Κοινότητα Collective Energy**

Η ενεργειακή κοινότητα Collective Energy ιδρύθηκε τις 15/01/2020 με έδρα την Περιφέρεια Αττικής. Ανάμεσα στα ιδρυτικά της μέλη βρίσκονται και ερευνητές που έχουν υψηλή εξειδίκευση και εκτενή εμπειρία όσον αφορά στην προετοιμασία και την υλοποίηση ερευνητικών προγραμμάτων, τόσο σε εθνικό όσο και σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Μέρος της Ενεργειακής Κοινότητας είναι και η μη κερδοσκοπική επιχείρηση «School of Earth», η οποία έχει χρόνια εμπειρίας στον τομέα ανάπτυξης επιμορφωτικών προγραμμάτων και δραστηριοτήτων με σκοπό την ευαισθητοποίηση πάνω σε σύγχρονα οικολογικά και κοινωνικά ζητήματα.

Στόχος της ενεργειακής κοινότητας είναι η συμβολή στην ανάπτυξη βιώσιμων και δίκαιων ενεργειακών λύσεων για τα μέλη της αλλά και την ενεργειακή κοινότητα, όπως επίσης και η μετατροπή της σε ενεργό «πυρήνα», τα μέλη του οποίου θα ενεργούν, πειραματίζονται και συνεργάζονται για ένα κοινό σκοπό. Το πρώτο έργο ενεργειακού καταμερισμού της ενεργειακής κοινότητας είναι στη διαδικασία δημιουργίας του. Η ενεργειακή κοινότητα έχει ως στόχο τη δοκιμή του μοντέλου Ενεργειακών Κοινοτήτων μικρού μεγέθους, το οποίο αναφέρεται σε μικρό αριθμό μελών, περίπου πλήθους μεταξύ 5 και 20. Στον τομέα της έρευνας, υψίστης σημασίας για την

ενεργειακή κοινότητα είναι ο σχεδιασμός, η δοκιμή, η αξιολόγηση και ο έλεγχος εγκυρότητας των ειδικών τεχνολογικών εργαλείων και μεθοδολογιών, όπως επίσης και η άντληση πολύτιμων πληροφοριών. Στόχος της ενεργειακής κοινότητας είναι να μοιραστεί τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις έρευνες με άλλες ενεργειακές κοινότητες, όπως επίσης και η εκπαίδευση και μετάδοση της γνώσης.

- **Ενεργειακή Κοινότητα Promitheus**

Η ενεργειακή κοινότητα Promitheus ιδρύθηκε τον Φεβρουάριο του 2020 με έδρα μια απομακρυσμένη περιοχή της Περιφέρειας Ηπείρου. Είναι η πρώτη και η μόνη μέχρι στιγμής ενεργειακή κοινότητα στην Ελλάδα η οποία συμμορφώνεται με το νόμο 4430/2016 περί Κοινωνικής και Αλληλεγγύης Οικονομίας (ΚΑΛΟ), οπότε αποτελεί ενεργειακή κοινότητα αλλά και οργανισμό ΚΑΛΟ ταυτόχρονα. Σχεδιάζει την πρώτη της Φωτοβολταϊκή εγκατάσταση ισχύος 500kWp, έχοντας ως στόχο την παραγωγή και πώληση καθαρής ενέργειας με σκοπό την υποστήριξη ατόμων με αναπηρίες και ευάλωτων ομάδων της περιοχής. Επίσης, ως στόχο έχει τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη υπηρεσιών με σκοπό την υποστήριξη του τομέα του βιώσιμου τουρισμού στην Περιφέρεια Ηπείρου.

### **3.3.5.2 Ενεργειακές Κοινότητες στην Ευρώπη**

Στην Ευρώπη οι ενεργειακές κοινότητες είχαν ήδη αρχίσει να αναπτύσσονται πριν ακόμα θεσπιστεί νόμος για ενεργειακές κοινότητες στην Ελλάδα. Πιο κάτω βλέπουμε μερικά παραδείγματα ΕΚΟΙΝ.

#### **Coopernico**

Η ενεργειακή κοινότητα Coopernico ιδρύθηκε στην Πορτογαλία από 16 πολίτες με διαφορετικό επαγγελματικό υπόβαθρο, οι οποίοι είχαν ως κοινή ανησυχία την αειφόρο ανάπτυξη. Τα μέλη της σήμερα ανέρχονται στα 2026 και ο συνεταιρισμός έχει ήδη αναπτύξει 15 φωτοβολταϊκά έργα από τα οποία τα 3 είναι ακόμη ενεργά. Από τα τελευταία 3 έχει ήδη ολοκληρώσει ένα έργο, με ένα δεύτερο να βρίσκεται υπό κατασκευή και ένα να πρόκειται να υλοποιηθεί [21].

Το πρώτο φωτοβολταϊκό έργο, το οποίο έχει ολοκληρωθεί και άρχισε τη λειτουργία του τον Μάη του 2020, αποτελείται από 4 φωτοβολταϊκά συστήματα σε διαφορετικά κτίρια. Αυτά τα 4 συστήματα έχουν ισχύ 169.5kWp και παράγουν ενέργεια 265MWh το χρόνο, η οποία αντιστοιχεί σε 101 οικογένειες. Το αρχικό κόστος επένδυσης ήταν 116.500 ευρώ και από το έργο μειώνονται οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά 169,4 τόνους τον χρόνο. Το δεύτερο φωτοβολταϊκό έργο, το οποίο είναι έργο αυτοκατανάλωσης και βρίσκεται υπό κατασκευή, βρίσκεται στην οροφή του κτιρίου του Συνδέσμου Κοινωνικής Αλληλεγγύης «PONTAO», είναι ισχύς 24,3kWp και παράγει ενέργεια 38.874MWh τον χρόνο η οποία αντιστοιχεί σε 14 οικογένειες. Το αρχικό κόστος επένδυσης ήταν



22.000 ευρώ και από το έργο μειώνονται οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά 24,9 τόνους τον χρόνο. Το τρίτο φωτοβολταϊκό έργο, βρίσκεται στον σχεδιασμό του και εκτιμάται ότι η συνολική επένδυση του θα είναι 60.570 ευρώ. Το έργο είναι ισχύς 110,4kW και θα παράγει ενέργεια 162.185kWh το χρόνο, η οποία αντιστοιχεί σε 62 οικογένειες. Η μείωση του διοξειδίου του άνθρακα εκτιμάται ότι θα είναι 103,8 τόνοι τον χρόνο [21].

- **Jurascic**

Η ενεργειακή κοινότητα Jurascic ιδρύθηκε το 2016 στη Γαλλία και σε αυτήν, μέχρι και το έτος 2020 συμμετέχουν 650 πολίτες. Σκοπός της ενεργειακής κοινότητας Jurascic είναι η οργάνωση επενδύσεων από τους πολίτες και η προσφορά μιας θέσης στη διαχείριση των έργων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στις τοπικές κοινότητες [22]. Συνεργάζεται με εταιρίες, κοινότητες, επενδυτές φυσικά πολίτες.

Έχει αναπτύξει ή συμμετάσχει ήδη σε 2 έργα παραγωγής ενέργειας, εκ των οποίων το ένα είναι αιολικό και το άλλο φωτοβολταϊκό έργο. Το αιολικό έργο είναι μια ανεμογεννήτρια ισχύς 3MW κόστους 5 εκατομμυρίων ευρώ στην οποία συμμετέχει με μερίδιο και η Ενεργειακή Κοινότητα Jurascic, η οποία ανεμογεννήτρια είναι μέρος ενός μεγαλύτερου αιολικού πάρκου 6 ανεμογεννητριών της πόλης Chamole. Στο έργο συμμετέχουν 650 άτομα τα οποία έχουν επενδύσει 650.500 ευρώ σε μετοχικό κεφάλαιο, ενώ τα υπόλοιπα καλύφθηκαν από τραπεζικό δάνειο. Το έργο υπολογίζεται να καλύπτει την ανάγκη 2000 νοικοκυριών σε ηλεκτρική ενέργεια, εξαιρουμένου της θέρμανσης με ηλεκτρισμό. Το φωτοβολταϊκό έργο είναι ένα έργο το οποίο αρχικά εγκαταστάθηκε το 2011, όπου το 2017 η ενεργειακή κοινότητα εξαγόρασε το έργο και τώρα ανήκει στους πολίτες της περιοχής Courlans. Το πάρκο είναι ισχύς 108.3kWp και σε αυτό συμμετέχουν 20 CREIC (Citizen Renewable Energies Investment Clubs) [22].

- **Som Energia**

Η ενεργειακή κοινότητα Som Energia βρίσκεται στην Ισπανία και ιδρύθηκε το 2010 και ασχολείται με τον τομέα των φωτοβολταϊκών, των αιολικών καθώς και της βιομάζας. Ο συνεταιρισμός παρέχει υπηρεσίες παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, συλλογικών αγορών φωτοβολταϊκών για αυτοπαραγωγή, συμμετοχή σε έργα παραγωγής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και δυνατότητα αυτοπαραγωγής μέσω αγοράς μεριδίων από έργα ΑΠΕ.

Μέσω του προγράμματος «Generation kWh», οι συμμετέχοντες έχουν τη δυνατότητα να συνεισφέρουν ένα χρηματικό ποσό αγοράζοντας ενεργειακές μερίδες (1 μερίδα = €100), ανάλογα με την ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιούν. Στη συνέχεια, τα χρήματα αυτά χρησιμοποιούνται για προώθηση νέων έργων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας διάφορων τεχνολογιών. Η ενεργειακή

κοινότητα Som Energia εγγυάται την επιστροφή της συνεισφοράς εντός 25 ετών, δηλαδή εντός της διάρκειας της σύμβασης, με μηδενικό τόκο. Κατά τη διάρκεια της σύμβασης, οι συμμετέχοντες ανάλογα με τις ενεργειακές μερίδες που έχουν στη διάθεσή τους, δικαιούνται ποσοστό της παραγόμενης ενέργειας σε τιμή κόστους, η οποία μεταφράζεται σαν εξοικονόμηση στο λογαριασμό ηλεκτρικής ενέργειας.

Το συγκεκριμένο πρόγραμμα είχε θέσει ως στόχο την συνεισφορά από τους ενδιαφερόμενους ποσού ύψους 4,5 εκατομμυρίων ευρώ με σκοπό την ανάπτυξη νέων ΑΠΕ. Ο στόχος αυτός έχει ήδη επιτευχθεί και έχουν ήδη ολοκληρωθεί δύο νέα έργα ΑΠΕ με ένα τρίτο να βρίσκεται στη διαδικασία ανάπτυξης. Τα έργα αυτά κάνουν χρήση φωτοβολταϊκών και θα μετρούν συνολικά παραγωγή ενέργειας η οποία θα καλύπτει περίπου 3882 νοικοκυριά. Το πρόγραμμα μετράει 4610 άτομα μέχρι σήμερα, τα οποία έχουν συνεισφέρει 4.548.900 ευρώ και παράγει 7.773.130 kWh πράσινης ενέργειας ετησίως [23].

Μια άλλη ενέργεια που γίνεται από την ενεργειακή κοινότητα, είναι η μαζική αγορά και εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε στέγες των κτιρίων ή σε βεράντες των ενδιαφερόμενων με σκοπό την αυτοπαραγωγή, διοργανώνοντας διαγωνισμούς για ανάθεση των έργων σε μια αξιόπιστη εταιρία μελέτης, συμβουλών εκτέλεσης, νομιμοποίησης και θέσης σε λειτουργία των κοινών εγκαταστάσεων αγοράς. Ουσιαστικά παρέχει ένα μοντέλο «Με το κλειδί στο χέρι» για την κάθε εγκατάσταση. Μέχρι τώρα μετράει 953 εγκαταστάσεις σε λειτουργία, εγκατεστημένης ισχύς 2,859kWp και παραγωγής ενέργειας 4.15GWh ετησίως. Ο συνεταιρισμός διαθέτει διάφορα έργα παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, όπου παράγονται επί του παρόντος 18.5GWh ενέργειας ετησίως, τα οποία αντιστοιχούν σε περίπου 7,400 σπίτια με μέσο όρο 2,500kWh/έτος το κάθε σπίτι. Ο συνεταιρισμός έχει ήδη προγραμματισμένα άλλα 3 έργα παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ τα οποία έχουν συνολικά εκτιμώμενη παραγόμενη ενέργεια 96.55GWh ετησίως, 11.75GWh από φωτοβολταϊκή ενέργεια (2 έργα) και 84.80GWh από αιολική ενέργεια (1 έργο). Τέλος, παρέχεται η επιλογή συμβολαίου με το πρόγραμμα «Light», σύμφωνα με το οποίο η ενεργειακή κοινότητα παράγει η ίδια με δικές τις εγκαταστάσεις παραγωγής από ΑΠΕ ή αγοράζει από πιστοποιημένους παραγωγούς ΑΠΕ, το σύνολο της ενέργειας που έχουν καταναλώσει οι συμμετέχοντες στο πρόγραμμα αυτό, προωθώντας έτσι έργα παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ [24].

- **Edinburgh Community Solar Co-op (ECSC)**

Η ενεργειακή κοινότητα ECSC ιδρύθηκε το 2013 με έδρα το Εδιμβούργο. Συνεργάζεται με το Συμβούλιο του Εδιμβούργου με σκοπό την ανάπτυξη ενός σχεδίου, το οποίο δίνει τη δυνατότητα στον συνεταιρισμό να εγκαταστήσει φωτοβολταϊκά σε κτίρια της πόλης. Οι στέγες αυτές επιλέχθηκαν με βάση τον προσανατολισμό και τη λειτουργία τους στη κοινότητα με ιδιαίτερη

έμφαση κυρίως σε στέγες σχολείων και κοινοτικών κέντρων. Μέχρι σήμερα έχουν γίνει φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις σε 24 κτίρια του Εδιμβούργου, όπου τα κέρδη επιστρέφονται τόσο στα μέλη της ενεργειακής κοινότητας, όσο και στην κοινότητα την ίδια. Η ενεργειακή κοινότητα αποτελείται από περισσότερο από 540 μέλη και οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις είναι συνολικής ισχύς 1.38MW και παράγουν ενέργεια περίπου 1.1GWh το χρόνο [25].

- **Brixton Energy**

Η ενεργειακή κοινότητα Brixton Energy έχει την έδρα της στο Νότιο Λονδίνο. Έχει ήδη ολοκληρώσει 3 έργα παραγωγής ενέργειας με τη χρήση των φωτοβολταϊκών. Το κάθε έργο είναι εγγεγραμμένο σαν ξεχωριστός συνεταιρισμός ο οποίος ανήκει αποκλειστικά στα μέλη του έργου, τα οποία μπορούν να έγιναν μέλη σε αυτό αγοράζοντας μερίδιο ξεκινώντας από το ποσό των 250 λιρών. Οι πωλήσεις των μεριδίων αυτών ήταν υπεύθυνες για την χρηματοδότηση των έργων.

Το έργο Brixton Solar 1 ολοκληρώθηκε τον Μάρτιο του 2012, με το οποίο εγκαταστάθηκαν εκατοντάδες τετραγωνικά μέτρα από φωτοβολταϊκά πλαίσια στην οροφή του Elmore House, με ισχύ 37.24kWp. Στο έργο ανταποκρίθηκαν 103 επενδυτές, από τους οποίους σχεδόν οι μισοί ήταν από την περιοχή του Brixton. Το έργο Brixton Solar 2 ολοκληρώθηκε το 2013, όπου τοποθετήθηκαν φωτοβολταϊκά σε 5 συγκροτήματα κατοικιών του Styles Gardens ισχύος 45kWp και τέλος, το Brixton Solar 3 του 2014, όπου φωτοβολταϊκά πλαίσια ισχύος 52kWp εγκαταστάθηκαν σε 4 κτίρια στο Roupell Park Estate. Η ενέργεια που παράγεται από αυτά τα έργα πωλείται πρώτα σε χρήστες των κτιρίων αυτών, ενώ η περίσσεια ενέργεια πωλείται στο Εθνικό Δίκτυο. Οι επενδυτές των έργων λαμβάνουν επιτόκιο 3% και 20% των κερδών από τα έργα επιστρέφεται στο Κοινοτικό Ταμείο Ενεργειακής Απόδοσης και δαπανάται σε τοπικές πρωτοβουλίες οι οποίες έχουν ως στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας στην τοπική περιοχή [26].

### **3.4 Εικονικός Ενεργειακός Συμψηφισμός**

Όπως αναφέραμε, ένα μέτρο στήριξης των Ενεργειακών Κοινοτήτων είναι η δυνατότητα χρήσης του εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού (Virtual Net Metering), ένα χρήσιμο εργαλείο το οποίο μπορεί να συμψηφίζει την παραγόμενη με την καταναλισκόμενη ενέργεια, παρόλο που δεν είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο μέσω της ίδιας παροχής.

#### **3.4.1 Τι είναι ο Εικονικός Ενεργειακός Συμψηφισμός**

Ο εικονικός ενεργειακός συμψηφισμός είναι ο συμψηφισμός της παραγόμενης ενέργειας από τη μονάδα παραγωγής, με την καταναλισκόμενη ενέργεια από τους συμμετέχοντες στο σχέδιο αυτό, όπως π.χ. τα μέλη μιας Ενεργειακής Κοινότητας που λαμβάνουν μέρος στον εικονικό ενεργειακό συμψηφισμό, αλλά και ευάλωτους καταναλωτές ή πολίτες που ζουν κάτω από το όριο της φτώχειας.

Ο συμψηφισμός χαρακτηρίζεται εικονικός αφού ο σταθμός παραγωγής δε συνδέεται ηλεκτρικά με καμία από τις προς συμψηφισμό παροχές κατανάλωσης. Το μεγάλο θετικό είναι ότι ο συγκεκριμένος συμψηφισμός καθίσταται δυνατός χωρίς να είναι απαραίτητο οι εγκαταστάσεις των καταναλωτών να βρίσκονται στον ίδιο ή γειτονικό χώρο με την μονάδα παραγωγής, παρά μόνο η μονάδα παραγωγής να βρίσκεται στην ίδια Περιφερειακή Ενότητα με την έδρα της Ενεργειακής Κοινότητας.

Η βασική διαφορά μεταξύ εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού και του εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού από αυτοπαραγωγό, είναι ότι στον εικονικό ενεργειακό συμψηφισμό από αυτοπαραγωγό, ο ίδιος ο αυτοπαραγωγός (φυσικό ή νομικό πρόσωπο) έχει στο όνομά του τόσο το σταθμό παραγωγής, όσο και τις προς συμψηφισμό παροχές κατανάλωσης, σε αντίθεση με τον εικονικό ενεργειακό συμψηφισμό από Ενεργειακές Κοινότητες, όπου φορέας του σταθμού παραγωγής είναι η Ενεργειακή Κοινότητα, ενώ των εγκαταστάσεων κατανάλωσης τα μέλη της, όπως επίσης και ευάλωτοι καταναλωτές ή πολίτες που ζουν κάτω από το όριο της φτώχειας εφόσον συμπεριληφθούν στο προσάρτημα της Σύμβασης Εικονικού Ενεργειακού Συμψηφισμού Ενεργειακής Κοινότητας (Σ.Ε.Ε.Σ.Ε.Κ.).

### **3.4.2 Χαρακτηριστικά Σταθμών Παραγωγής**

Ο σταθμός παραγωγής ενέργειας δεν είναι υποχρεωτικό να βρίσκεται στον ίδιο ή γειτονικό χώρο με τις εγκαταστάσεις κατανάλωσης, όμως εξακολουθούν να υπάρχουν κάποιοι περιορισμοί για το που μπορεί να τοποθετηθεί. Οι τεχνολογίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί, οι σταθμοί βιομάζας/βιορευστών, οι σταθμοί βιοαερίου, μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί, σταθμοί Σ.Η.Θ.Υ.Α. καθώς και σταθμοί μικρών ανεμογεννητριών.

Στο διασυνδεδεμένο σύστημα, ο σταθμός παραγωγής πρέπει να βρίσκεται στην ίδια Περιφέρεια με τις παροχές κατανάλωσης προς συμψηφισμό. Ειδικά για τις Ενεργειακές Κοινότητες που έχουν έδρα εντός της Περιφέρειας Αττικής, ο σταθμός παραγωγής μπορεί να εγκατασταθεί εντός γειτονικής περιφέρειας, υπό την προϋπόθεση ότι συνδέεται στο Διασυνδεδεμένο Δίκτυο. Στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά (ΜΔΝ), ο σταθμός παραγωγής πρέπει να εγκαθίσταται στο ίδιο ηλεκτρικό σύστημα και στο ίδιο δίκτυο διανομής με τις εγκαταστάσεις κατανάλωσης, εντός της περιφέρειας στην οποία βρίσκεται η έδρα της Ενεργειακής Κοινότητας [27].

Η κάθε Ενεργειακή Κοινότητα έχει δικαίωμα να εγκαταστήσει περισσότερο από ένα σταθμούς παραγωγής, της ίδιας ή διαφορετικής τεχνολογίας, με σκοπό τον συμψηφισμό της παραγόμενης ενέργειας με τις συνολικές καταναλώσεις των εγκαταστάσεων προς συμψηφισμό.

### **3.4.3 Δικαίωμα ένταξης**

Δικαίωμα ένταξης στον εικονικό ενεργειακό συμψηφισμό έχουν τα φυσικά ή/και νομικά πρόσωπα τα οποία είναι μέλη της Ενεργειακής Κοινότητας. Δικαίωμα ένταξης έχουν επίσης και οι ευάλωτοι καταναλωτές ή πολίτες που ζουν κάτω από το όριο της φτώχειας, ανεξάρτητα του αν είναι μέλη ή όχι της Ενεργειακής Κοινότητας, εφόσον αυτή τους έχει συμπεριλάβει στο προσάρτημα της Σύμβασης Εικονικού Ενεργειακού Συμψηφισμού Ενεργειακής Κοινότητας (Σ.Ε.Ε.Σ.Ε.Κ.). Επιπλέον, για κάθε σταθμό παραγωγής, τόσο η παροχή του σταθμού παραγωγής όσο και οι παροχές των καταναλώσεων προς συμψηφισμό που αντιστοιχούν στο σταθμό παραγωγής, πρέπει να εκπροσωπούνται υποχρεωτικά από τον ίδιο προμηθευτή ενέργειας.

### **3.4.4 Δικαίωμα μετάβασης από άλλα προγράμματα**

Δικαίωμα συμμετοχής έχουν και παροχές κατανάλωσης οι οποίες συμμετέχουν σε κάποιο άλλο καθεστώς συμψηφισμού εφόσον μεταβιβάσουν την παροχή τους στο πρόγραμμα του εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού μέσω ΕΚΟΙΝ. Στις περιπτώσεις αυτές συνάπτεται νέα Σύμβαση Εικονικού Ενεργειακού Συμψηφισμού (Σ.Ε.Ε.Σ.) για το υπολειπόμενο χρονικό διάστημα της 25ετίας της αρχικής Σύμβασης Συμψηφισμού.

Δεν επιτρέπεται η συνύπαρξη κανενός άλλου συστήματος αυτοπαραγωγής με σύστημα εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού και δεν επιτρέπεται η συμμετοχή ή η ένταξη μιας παροχής κατανάλωσης σε περισσότερα από ένα συστήματα ενεργειακού ή εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού.

### **3.4.5 Όρια Ισχύος σταθμών παραγωγής**

Οι περιορισμοί που υφίστανται στην ισχύ του σταθμού παραγωγής μιας Ενεργειακής Κοινότητας εξαρτώνται από το σύστημα στο οποίο είναι συνδεδεμένος ο σταθμός παραγωγής. Στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα, οι σταθμοί παραγωγής μπορούν να έχουν ισχύ μέχρι 20kW ή μέχρι το άθροισμα της συμφωνημένης ισχύος του συνόλου των καταναλώσεων προς συμψηφισμό, εφόσον υπερβαίνει τα 20kW. Ωστόσο, η μέγιστη ισχύς του σταθμού παραγωγής δε μπορεί να υπερβαίνει το 1MW. Ειδικά για σταθμούς μικρών ανεμογεννητριών, η εγκατεστημένη ισχύς δε μπορεί να ξεπερνά το όριο των 60kW. Στο Μη Διασυνδεδεμένο Σύστημα, οι σταθμοί παραγωγής μπορούν να έχουν ισχύ μέχρι 10kW και ειδικά για την Κρήτη μέχρι 20kW ή μέχρι το άθροισμα της συμφωνημένης ισχύος του συνόλου των καταναλώσεων προς συμψηφισμό εφόσον αυτό υπερβαίνει τα 10kW ή 20kW αντίστοιχα [4].

Η μέγιστη ισχύς του σταθμού παραγωγής σε κάθε περίπτωση όμως δε μπορεί να υπερβαίνει τα όρια που φαίνονται στον πιο κάτω πίνακα.

<b>Αυτόνομο Νησιώτικο Σύστημα</b>	<b>Μέγιστο όριο ισχύος σταθμού</b>
<b>Κρήτη</b>	500 kW
<b>Ρόδος</b>	500 kW
<b>Κως (Σύμπλεγμα)</b>	300 kW
<b>Λέσβος (Σύμπλεγμα)</b>	300 kW
<b>Θήβα (Σύμπλεγμα)</b>	200 kW
<b>Χίος (Σύμπλεγμα)</b>	200 kW
<b>Σάμος (Σύμπλεγμα)</b>	200 kW
<b>Λοιπά Συμπλέγματα</b>	100 kW

*Πίνακας 2: Όρια Ισχύος σταθμών στο ΜΔΝ*

Πηγή: [4]

Συγκεκριμένα, για τους σταθμούς Κρήτης και Ρόδου με εγκατεστημένη ισχύ άνω των 100kW και στα υπόλοιπα ΜΔΝ με εγκατεστημένη ισχύ άνω των 50kW, ισχύουν οι κανόνες ένταξης και λειτουργίας του Κώδικα ΜΔΝ (άρθρο 206). Δηλαδή, ο Διαχειριστής μπορεί να επιβάλει τον περιορισμό της ενεργού ισχύος εξόδου των σταθμών παραγωγής (curtailment, βλ. Κεφ. 5.1.4.1) ή ακόμα και τη διακοπή λειτουργίας τους και για τον λόγο αυτό οι σταθμοί πρέπει να διαθέτουν εξοπλισμό τηλεπίβλεψης και τηλελέγχου σύμφωνα με τις απαιτήσεις του Διαχειριστή ΜΔΝ [4].

## 4. Αποθήκευση Ενέργειας

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλύσουμε τη σημαντικότητα της αποθήκευσης ενέργειας, θα εξηγήσουμε περιληπτικά μερικές μεθόδους αποθήκευσης ενέργειας αλλά και το πού βρίσκει εφαρμογή η κάθε τεχνολογία. Τέλος, θα συγκρίνουμε συγκεκριμένα τις διάφορες τεχνολογίες μπαταριών που υπάρχουν, ανάλογα με την καταλληλότητά τους για συγκεκριμένες εφαρμογές οι οποίες θα αναλυθούν σε επόμενο κεφάλαιο.

### 4.1 Γιατί είναι απαραίτητη η αποθήκευση ενέργειας

Για την επίτευξη των στόχων της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το κλίμα και την ενέργεια, οι οποίοι αναφέρονται στο Κεφ. 2, όπως και για την μετάβαση σε ένα σύστημα χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, είναι απαραίτητη η μεγάλη διείσδυση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιώντας Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Αυτό συνεπάγεται με πρόσθετη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας πιθανότατα χρησιμοποιώντας μεταβαλλόμενες πηγές ενέργειας, όπως είναι η ηλιακή και αιολική.

Η αποθήκευση ενέργειας έχει εφαρμογές στις μεταφορές (ηλεκτροκίνηση), αλλά και στο ηλεκτρικό δίκτυο με το οποίο και θα ασχοληθούμε. Η μεταβλητότητα των ανανεώσιμων αυτών πηγών οδηγεί σε ανησυχίες σχετικά με την αξιοπιστία ενός δικτύου το οποίο αντλεί μεγάλες ποσότητες ενέργειας από αυτές τις πηγές [28]. Λόγω της μεταβλητότητας των ηλιακών και αιολικών ανανεώσιμων πηγών και ταυτόχρονα της μεγάλης τους διείσδυσης στο ηλεκτρικό δίκτυο, μπορεί να υπάρξουν διακυμάνσεις στη συχνότητα του δικτύου λόγω αναντιστοιχίας, καθώς οι σταθμοί παραγωγής θα τείνουν να μεταβάλουν την παραγωγή τους, ώστε να αντιστοιχιστεί η παραγωγή ενέργειας με τη ζήτηση αυτής. Μερικές τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας μπορούν να συμβάλουν στην εξάλειψη του προβλήματος αυτού, επαναφέροντας δηλαδή τη συχνότητα του δικτύου στη συνήθη τιμή της όπως θα δούμε παρακάτω.

Το ηλεκτρικό δίκτυο είναι ένα περίπλοκο σύστημα, στο οποίο η ζήτηση και η προσφορά ενέργειας πρέπει να ταυτίζονται κάθε στιγμή. Μια χρήσιμη ιδιότητα της αποθήκευσης ενέργειας είναι η ταχεία απόκριση, αφού οι περισσότερες τεχνολογίες αποθήκευσης έχουν την δυνατότητα ταχείας εκφόρτισης ενέργειας προς το δίκτυο, σε αντίθεση με τις συμβατικές μονάδες οι οποίες έχουν μεγαλύτερο χρόνο απόκρισης. Αυτή η ταχεία απόκριση είναι σημαντική όσον αφορά την σταθερότητα του δικτύου σε περιπτώσεις που προκύπτουν ξαφνικές αυξομειώσεις στη ζήτηση ή/και στην παραγωγή ενέργειας.

Ακόμα, η αποθήκευση ενέργειας είναι απαραίτητη για τη βέλτιστη ενσωμάτωση των ΑΠΕ στο ηλεκτρικό δίκτυο, αφού σε περίπτωση προβλήματος του δικτύου ή σε περίπτωση ανεπαρκούς

παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ, εξασφαλίζει διαρκή παροχή ενέργειας εκφορτίζοντας την αποθηκευμένη ενέργεια στο δίκτυο, με σκοπό τη κάλυψη της ζήτησης. Ταυτόχρονα, με τη χρήση της αποθήκευσης ενέργειας μειώνονται οι περικοπές των σταθμών που λειτουργούν με ΑΠΕ, αφού η τυχόν παραπανίσια παραγόμενη ανανεώσιμη ενέργεια θα αποθηκεύεται αντί να περικόπτεται. Οι αποθηκευτικοί σταθμοί συνεισφέρουν επίσης και στην επάρκεια ισχύος όσον αφορά τα διασυνδεδεμένα νησιωτικά συστήματα με περιορισμένη ικανότητα διασύνδεσης, αλλά παρέχουν και αποθεματικό στα πλήρως διασυνδεδεμένα νησιά.

Από πολλούς Διαχειριστές Συστημάτων Μεταφοράς, η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιείται ως εναλλακτική λύση για αντιμετώπιση των προβλημάτων συμφόρησης στο δίκτυο, των οποίων η συνήθης αντιμετώπιση ήταν είτε η αναβάθμιση των υφιστάμενων γραμμών μεταφοράς, είτε η ενίσχυσή τους με κατασκευή νέων γραμμών. Αυτό διότι, σε αρκετές περιπτώσεις η αναβάθμιση των γραμμών δεν είναι πάντα εφικτή τεχνικά, ενώ η κατασκευή των γραμμών μπορεί να καθίσταται πρακτικά αδύνατη αντιμετωπίζοντας περιβαλλοντικούς περιορισμούς. Η χρήση αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να αποβεί και οικονομικότερη σε σχέση με τις υπόλοιπες λύσεις.

## **4.2 Μέθοδοι Αποθήκευσης Ενέργειας**

Στις μέρες μας υπάρχουν πολλοί τρόποι αποθήκευσης ενέργειας υπό διάφορες μορφές, όπως για παράδειγμα η ηλεκτρική, η μηχανική αλλά και η χημική ενέργεια. Πιο κάτω θα δούμε τους διάφορους τρόπους αποθήκευσης ενέργειας και θα εξηγήσουμε περιληπτικά τον τρόπο λειτουργίας τους, αλλά και τους τομείς όπου βρίσκουν εφαρμογές.

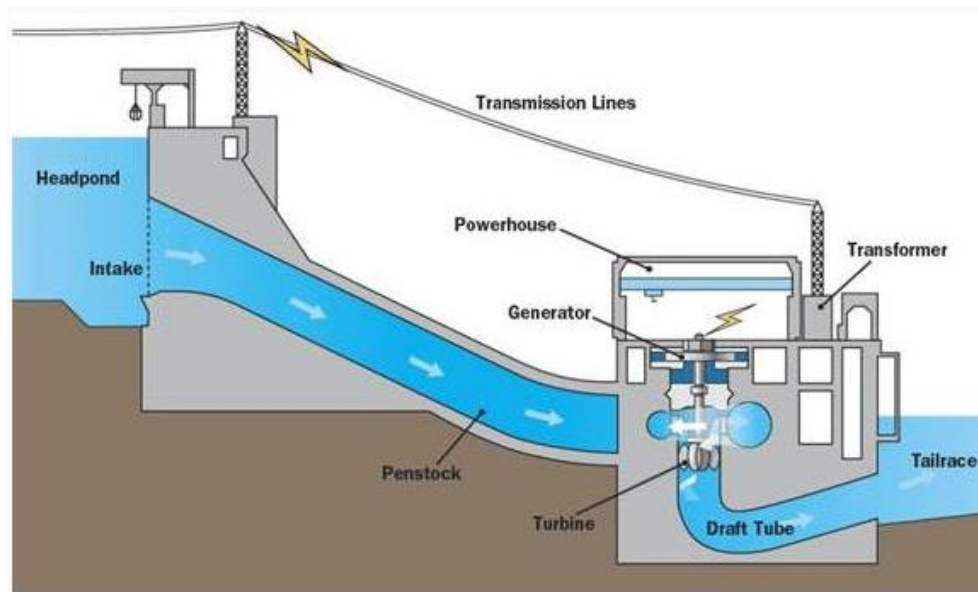
### **4.2.1 Μηχανικές Μέθοδοι**

#### **4.2.1.1 Αντλησιοταμίευση (PHS)**

Μια εγκατάσταση αποθήκευσης ενέργειας η οποία χρησιμοποιεί την τεχνολογία άντλησης νερού, περιλαμβάνει δύο ταμιευτήρες οι οποίοι βρίσκονται σε διαφορετικό υψόμετρο. Κατά την φόρτιση, το νερό μεταφέρεται από τον κάτω ταμιευτήρα προς τον πάνω ταμιευτήρα, κάνοντας χρήση έτσι της περίσσειας ενέργειας με σκοπό τη χρήση της σε μεταγενέστερο στάδιο, όπου και θα χρειάζεται. Κατά την εκφόρτιση, παράγεται ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύοντας το νερό από τον πάνω ταμιευτήρα στους στρόβιλους. Οι ίδιοι στρόβιλοι λειτουργούν ως αντλίες στην περίπτωση της φόρτισης και μεταφέρουν το νερό στον πάνω ταμιευτήρα. Οι εγκαταστάσεις αντλησιοταμίευσης σχεδιάζονται για αποθήκευση μεγάλης κλίμακας, αφού η δυναμικότητά τους κυμαίνεται μεταξύ 100MW και 3000MW. Η αντλησιοταμίευση αποτελεί το 85% του παγκόσμιου δυναμικού αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας σήμερα [29]. Έχουν σαν πλεονεκτήματα το γεγονός ότι μπορούν να φτάσουν σε ονομαστική ισχύ σε σύντομο χρονικό διάστημα και έχουν μικρό κόστος συντήρησης. Τα μειονεκτήματά τους είναι το υψηλό κόστος για εγκατάσταση, καθώς και η τοπική επίδρασή τους στο



οικοσύστημα. Βρίσκει εφαρμογές στην υποστήριξη δικτύου, στην ημερήσια αλλά και στην εποχιακή αποθήκευση.

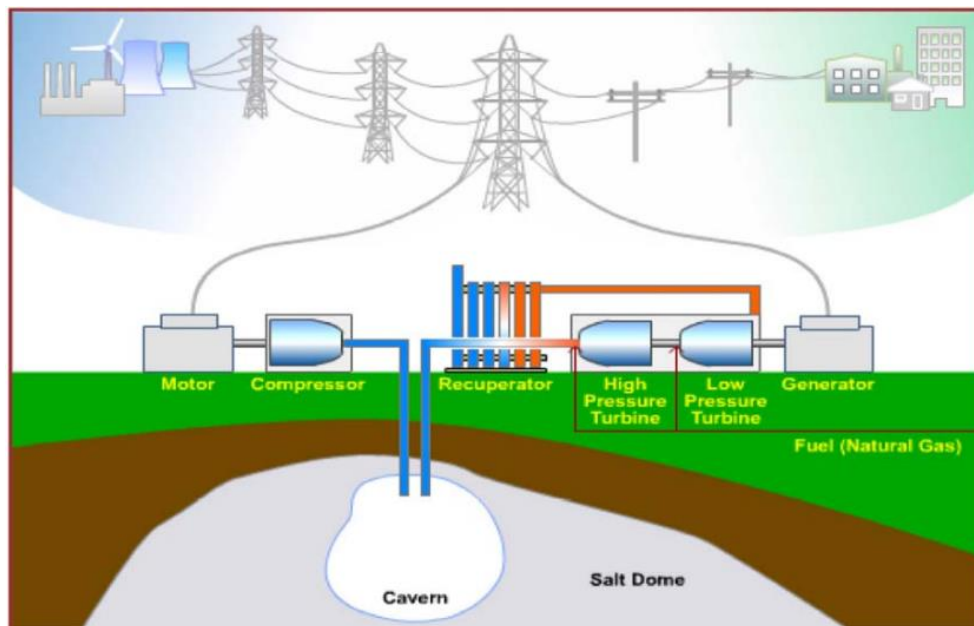


Εικόνα 2: Διάγραμμα Σταθμού Αποθήκευσης με Αντλιοσταμείωση

Πηγή: [30]

#### 4.2.1.2 Συμπιεσμένος αέρας (CAES)

Οι μονάδες αποθήκευσης ενέργειας από πεπιεσμένο αέρα είναι σε μεγάλο βαθμό ισοδύναμες με τις μονάδες αντλιοσταμείωσης όσον αφορά τις εφαρμογές τους [31]. Η συγκεκριμένη αποθήκευση ενέργειας κάνει χρήση υπόγειων σπηλαίων αντί δύο ταμιευτήρες διαφορετικών επιπέδων. Κατά τη φόρτιση, ο ατμοσφαιρικός αέρας ή άλλο αέριο μετά την συμπίεση του μπορεί να αποθηκευτεί σε υπόγεια, υπό υψηλή πίεση. Κατά την εκφόρτιση, το αέριο απελευθερώνεται και διαστέλλεται εντός του στροβίλου, με σκοπό την περιστροφή του και άρα την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αντίστοιχες εφαρμογές υψηλής απόδοσης που θα μπορούσαν να αποθηκεύσουν και την θερμότητα που ελκύεται κατά τη διάρκεια της συμπίεσης βρίσκονται στο στάδιο ανάπτυξης. Έχουν σαν μειονέκτημα το γεγονός ότι κατά τη λειτουργία τους εκπέμπονται επιβλαβή αέρια. Η αποθήκευση με συμπιεσμένο αέρα βρίσκει εφαρμογές στην υποστήριξη δικτύου, την ημερήσια αλλά και την εποχιακή αποθήκευση.

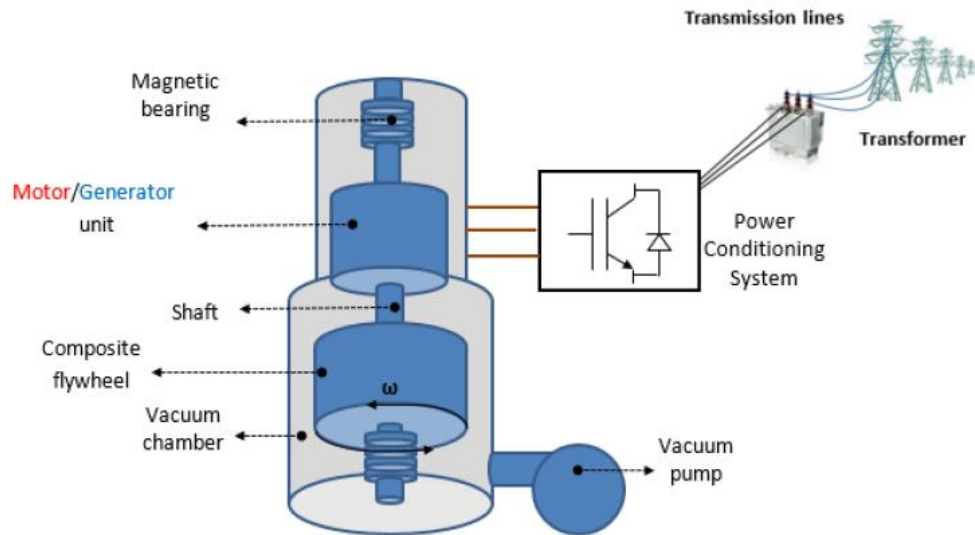


Εικόνα 3: Διάγραμμα Σταθμού Αποθήκευσης Συμπιεσμένου Αέρα

Πηγή: [32]

#### 4.2.1.3 Σφόνδυλοι (Flywheels)

Η διάταξη αποθήκευσης του σφονδύλου αποτελείται από ένα σφόνδυλο και μια ενσωματωμένη ηλεκτρική συσκευή, η οποία λειτουργεί είτε ως κινητήρας ώστε να περιστρέψει το σφόνδυλο και να αποθηκεύσει ενέργεια, είτε ως γεννήτρια για να περιστραφεί από τον σφόνδυλο και να παράξει ενέργεια. Η ενέργεια αποθηκεύεται μηχανικά υπό τη μορφή κινητικής ενέργειας και μπορεί να ανακτηθεί με την επιβράδυνση του δρομέα του σφονδύλου με επιβραδυνόμενη στρεπτική ροπή, ώστε η ηλεκτρική συσκευή να ανακτήσει την κινητική ενέργεια. Ο ρότορας της μηχανής περιστρέφεται σε ένα περίβλημα σχεδόν μηδενικής τριβής μέσα σε κενό, ώστε να μειωθεί η οπισθέλκουσα και να διατηρηθεί η αποδοτικότητα του συστήματος. Η γεννήτρια συνδέεται στο δίκτυο μέσω ηλεκτρονικών ισχύος [33]. Ένας ηλεκτροκινητήρας περιστρέφει με πολύ υψηλή ταχύτητα τον δρομέα, με έως και 100,000 στροφές ανά λεπτό (ΣΑΛ) περίπου. Οι σφόνδυλοι, βάση της ταχύτητάς τους κατηγοριοποιούνται σε σφονδύλους χαμηλής ταχύτητας, δηλαδή μέχρι 10,000 ΣΑΛ και υψηλής ταχύτητας, δηλαδή μέχρι περίπου 100,000 ΣΑΛ. Χρησιμοποιούνται για παροχή σύντομων ριπών ενέργειας και είναι κατάλληλοι για βραχυπρόθεσμη αποθήκευση υψηλής ισχύος. Δεν χρησιμοποιούνται για μεσοπρόθεσμη ή μακροπρόθεσμη αποθήκευση αφού παρουσιάζουν απώλεια περίπου 15% της αποθηκευμένης ενέργειας μετά το πέρας μιας ώρας εξαιτίας των απωλειών τριβής [29]. Είναι φιλικό προς το περιβάλλον όμως έχουν τα μειονεκτήματα της ανάγκης τακτικής επιθεώρησης για έγκαιρη συντήρηση, με σκοπό την αποφυγή επικίνδυνων ατυχημάτων, καθώς και το μεγάλο αρχικό κόστος εγκατάστασης. Βρίσκουν εφαρμογές στην υποστήριξη δικτύου σε εφαρμογές που απαιτούν ταχεία απόκριση, στις οδικές μεταφορές καθώς και στην αεροπορία/ναυτιλία.



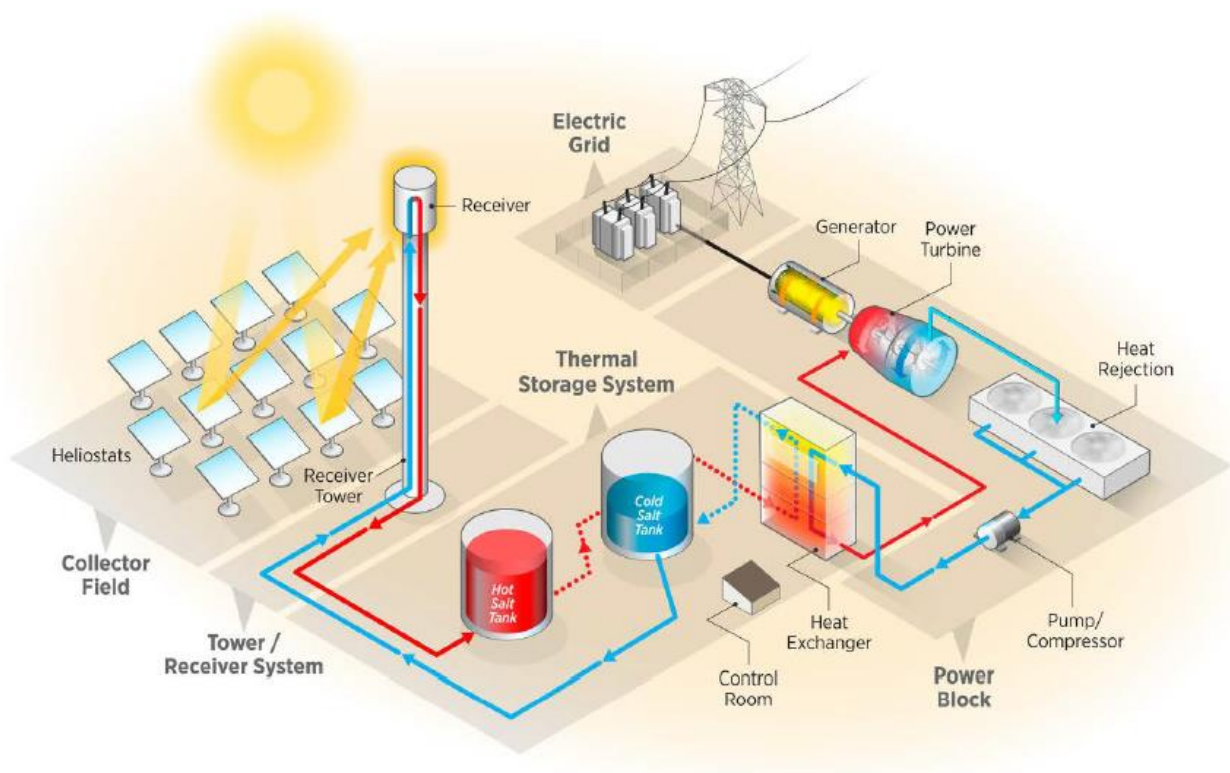
Εικόνα 4: Διάγραμμα Συστήματος Αποθήκευσης Σφονδύλου υψηλής ταχύτητας

Πηγή: [34]

## 4.2.2 Θερμικές Μέθοδοι

### 4.2.2.1 Αποθήκευση σε τήγμα άλατος (MSES)

Χρησιμοποιώντας ηλεκτρική ή ηλιακή ενέργεια γίνεται η θέρμανση της δεξαμενής που περιέχει το τήγμα άλατος, το οποίο θερμαίνεται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες προτού σταλεί στη δεξαμενή αποθήκευσης ή σε γεννήτρια ατμού. Εκεί, με σκοπό την παραγωγή ενέργειας γίνεται η υπερθέρμανση ατμού ο οποίος τροφοδοτείται στον στρόβιλο και παράγεται ηλεκτρική ενέργεια. Το τήγμα άλατος διατηρείται σε μονωμένη δεξαμενή ώστε να παρέχεται η απαραίτητη χωρητικότητα αποθήκευσης. Είναι αξιόπιστη επιλογή για την αποθήκευση ΑΠΕ και μια ευέλικτη και οικονομικά αποδοτική προσθήκη στις υπάρχουσες υποδομές [35]. Η τεχνολογία αυτή αποτελεί το 75% της παγκόσμιας δυναμικότητας θερμικής αποθήκευσης σήμερα και βρίσκει εφαρμογές στην υποστήριξη δικτύου αλλά και στην ημερήσια αποθήκευση. Πιο κάτω φαίνεται ένα διάγραμμα στο οποίο γίνεται χρήση της ηλιακής ενέργειας με σκοπό τη θέρμανση του τήγματος άλατος.

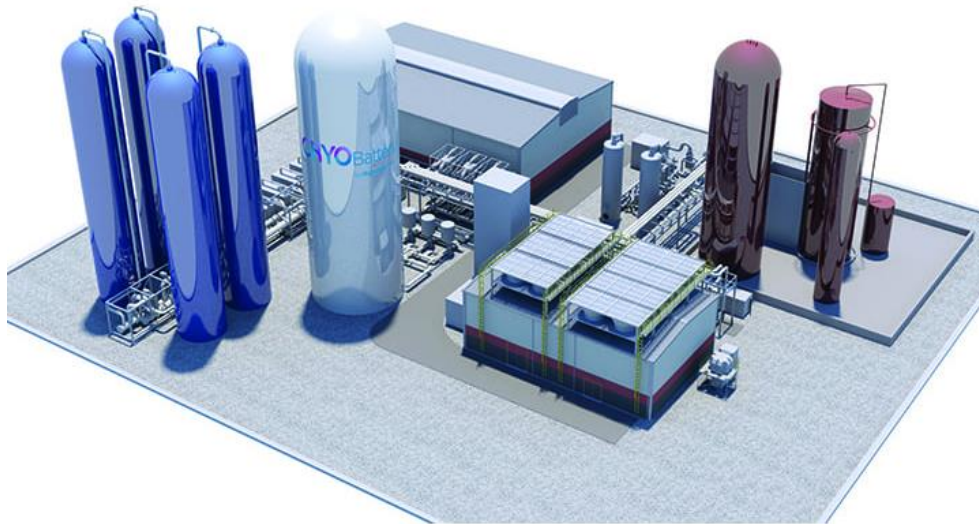


Εικόνα 5: Διάγραμμα Σταθμού Αποθήκευσης με Τήγμα Άλατος

Πηγή: [36]

#### 4.2.2.2 Υγροποιημένος αέρας (LAES)

Για την φόρτιση του συστήματος, χρησιμοποιείται ένας υγροποιητής αέρα ο οποίος χρησιμοποιώντας ηλεκτρική ενέργεια αντλεί αέρα από το περιβάλλον, τον οποίο καθαρίζει, ψύχει σε θερμοκρασίες υπό το μηδέν έως ότου υγροποιηθεί και τον αποθηκεύει σε μια μονωμένη δεξαμενή χαμηλής πίεσης, η οποία λειτουργεί ως αποθήκη ενέργειας. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για την αποθήκευση έχει ήδη αναπτυχθεί παγκοσμίως για τη μαζική αποθήκευση υγρού αζώτου, οξυγόνου και ΥΦΑ και οι δεξαμενές που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία έχουν τη δυνατότητα διατήρησης αποθηκευμένης ενέργειας της τάξης της GWh, αφού τα 700 λίτρα αέρα περιβάλλοντος γίνονται περίπου 1 λίτρο υγρού αέρα. Όταν απαιτείται ηλεκτρική ενέργεια στο σύστημα, ο υγρός αέρας αντλείται από τη δεξαμενή και υπερθερμαίνεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, παράγοντας έτσι ένα αέριο υψηλής πίεσης το οποίο χρησιμοποιείται για την κίνηση ενός στροβίλου [37]. Η αποθήκευση με υγροποιημένο αέρα ανήκει στην κατηγορία της αποθήκευσης κρυογονικής (cryogenic) ενέργειας. Η συγκεκριμένη μορφή αποθήκευσης ενέργειας αποτελεί μια φθηνή μορφή αποθήκευσης, αφού οι μονάδες κατασκευάζονται χρησιμοποιώντας τυπικά βιομηχανικά στοιχεία. Το κύριο τους μειονέκτημα είναι η χαμηλή απόδοση, η οποία βρίσκεται σε επίπεδα πιο χαμηλά του 50%, σε σύγκριση με τους συσσωρευτές που έχουν αποδόσεις 75-90%. Βρίσκει εφαρμογές στην υποστήριξη δικτύου και στην ημερήσια αποθήκευση.

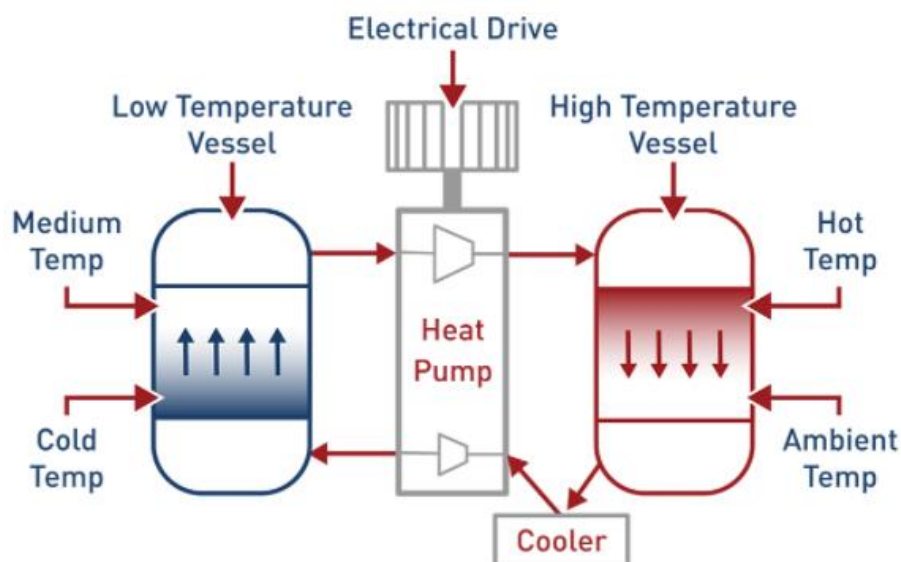


Εικόνα 6: Σταθμός Αποθήκευσης Υγροποιημένου Αέρα (Σταθμός αποθήκευσης κρυογονικής ενέργειας)

Πηγή: [38]

#### 4.2.2.3 Αντληση Θερμότητας (PHES)

Στην αποθήκευση ενέργειας με άντληση θερμότητας, η ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται για την οδήγηση μιας μηχανής αποθήκευσης, η οποία είναι συνδεδεμένη σε δύο μεγάλες θερμικές αποθήκες. Στην αποθήκευση ενέργειας, η ηλεκτρική ενέργεια οδηγεί μια αντλία θερμότητας η οποία αντλεί θερμότητα από την «ψυχρή αποθήκευση» προς την «θερμή αποθήκευση», παρόμοια με τη λειτουργία ενός ψυγείου. Στην ανάκτηση ενέργειας, η αντλία θερμότητας αντιστρέφεται και γίνεται θερμική μηχανή, αντλώντας θερμότητα από τη «θερμή αποθήκευση» και παράγει μηχανικό έργο με το οποίο οδηγεί μια γεννήτρια παραγωγής ενέργειας. Η PHES μπορεί να βοηθήσει αγορές οι οποίες απαιτούν χρόνους απόκρισης στην περιοχή των λεπτών και πάνω. Χρησιμοποιεί χαλίκι ως μέσο αποθήκευσης οπότε προσφέρει μια λύση αποθήκευσης πολύ χαμηλού κόστους. Το μέγεθος των εγκαταστάσεων κυμαίνεται μεταξύ 2-5MW ανά μονάδα και έχει τη δυνατότητα κάλυψης όλων των αγορών που αντιμετωπίζονται επί του παρόντος από την αντλησιοταμίευση [39].



Εικόνα 7: Διάγραμμα Αποθήκευσης με Άντληση Θερμότητας

Πηγή: [40]

#### 4.2.2.4 Αποθήκευση Θερμότητας Γενικά

Υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες για αποθήκευση θερμότητας. Για παράδειγμα, οι οικιακοί ηλεκτρικοί θερμαντήρες νερού, έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν για αποθήκευση ενέργειας, αφού η θερμότητα αποθηκεύεται σε μονωμένη δεξαμενή νερού, δίνοντας τη δυνατότητα στα νοικοκυριά να αποθηκεύσουν ενέργεια για λίγες ώρες. Μια άλλη μορφή αποθήκευσης θερμικής ενέργειας είναι η αποθήκευση σε τάφρο, όπου χρησιμοποιείται αντλία θερμότητας η οποία συνδέεται με γεώτρηση, με σκοπό την αποθήκευση θερμότητας υπόγεια, κάνοντας εποχιακή αποθήκευση και σε μεγάλη κλίμακα. Τέλος, υπάρχει δυνατότητα ψυχρής αποθήκευσης κάνοντας χρήση ψυχρού νερού ή πάγου. Μια κοινή ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος αποθήκευσης είναι τα ηλιακά συστήματα θέρμανσης νερού για κτίρια, τα οποία αποτελούνται από δύο μέρη: τον ηλιακό συλλέκτη και μια δεξαμενή αποθήκευσης. Ο πιο κοινός συλλέκτης ονομάζεται συλλέκτης επίπεδης πλάκας που είναι τοποθετημένος στην οροφή και βλέπει προς τον ήλιο. Μικροί σωλήνες περνούν μέσα από τον συλλέκτη μεταφέροντας το υγρό (νερό ή άλλο υγρό) για θέρμανση. Καθώς η θερμότητα συσσωρεύεται στον συλλέκτη, θερμαίνει το υγρό που περνά μέσα από τους σωλήνες και η δεξαμενή αποθήκευσης συγκρατεί το ζεστό υγρό. Το πιο απλό παράδειγμα είναι ο ηλιακός θερμοσίφωνας που έχουμε στα σπίτια μας για την θέρμανση του νερού.



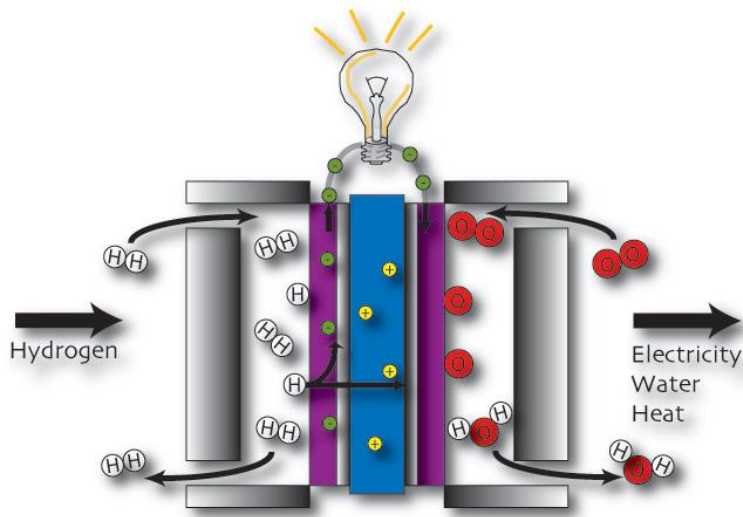
*Εικόνα 8: Ηλιακό Θερμοσίφωνο*

Πηγή: [41]

### **4.2.3 Χημικές Μέθοδοι**

#### **4.2.3.1 Κυψέλες Καυσίμου**

Οι κυψέλες καυσίμου κάνουν μετατροπή του υδρογόνου σε ηλεκτρική ενέργεια, αφού προκαλούν την αντίδρασή του με το οξυγόνο του αέρα. Μπορούν να δράσουν και ως ηλεκτρολύτες, κάνοντας χρήση ηλεκτρικής ενέργειας για διάσπαση του νερού. Πρόκειται περισσότερο για τεχνολογία μετατροπής ενέργειας παρά αποθήκευσης, όμως επιτρέπει την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας υπό μορφή αερίου, αφού το υδρογόνο μπορεί να αποθηκευτεί για μήνες, να διοχετευτεί στο δίκτυο αερίου ή να μετατραπεί σε φυσικό αέριο. Μερικές φορές χρησιμοποιούνται σαν καύσιμα και υδρογονάνθρακες όπως για παράδειγμα το φυσικό αέριο ή και αλκοόλες όπως η μεθανόλη. Οι κυψέλες αποτελούνται από την άνοδο, την κάθοδο και τον ηλεκτρολύτη, ο οποίος επιτρέπει μεταξύ της ανόδου και της καθόδου, την μεταφορά ηλεκτρονίων, παράγοντας έτσι ηλεκτρικό ρεύμα. Δεδομένου ότι η μετατροπή του καυσίμου σε ενέργεια πραγματοποιείται μέσω ηλεκτροχημικής διαδικασίας και όχι καύσης, η διαδικασία δεν ρυπαίνει και είναι αποτελεσματική, έως και τρεις φορές πιο αποτελεσματική σε σχέση με την παραδοσιακή καύση του καυσίμου [42]. Βρίσκει εφαρμογές στην υποστήριξη του δικτύου, σε οικιακές εφαρμογές, στην ημερήσια και εποχιακή αποθήκευση αλλά και στην αεροπορία/ναυτιλία. Το «πράσινο υδρογόνο» μπορεί να συσχετιστεί με την αποθήκευση ανανεώσιμης ενέργειας, δεδομένου ότι για την παραγωγή του απορρόφησε ενέργεια η οποία προήλθε από ανανεώσιμες πηγές, όταν η παραγωγή ξεπερνούσε τη ζήτηση.

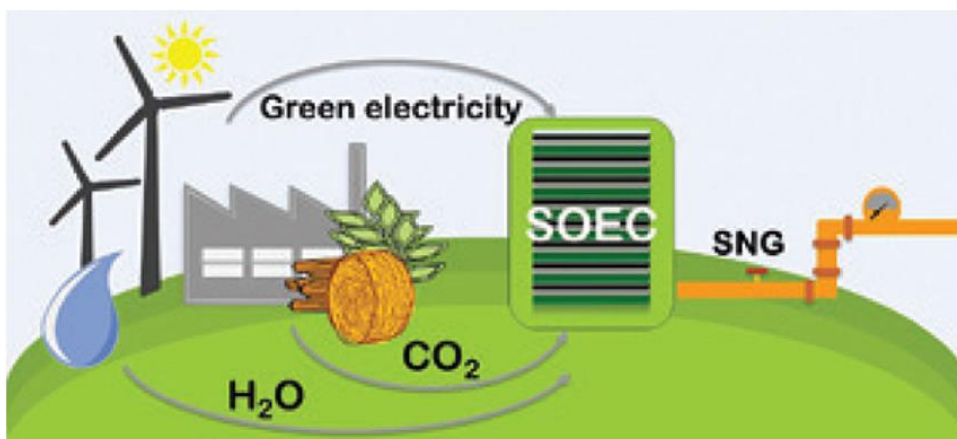


Εικόνα 9: Κοψέλη Κασίμου

Πηγή: [43]

#### 4.2.3.2 Συνθετικό Φυσικό Αέριο (SNG)

Ο όρος συνθετικό φυσικό αέριο, γνωστό και ως υποκατάστατο φυσικό αέριο, περιγράφει μια ποικιλία εναλλακτικών φυσικών αερίων τα οποία έχουν όσο το δυνατό ίδιες ιδιότητες και σύνθεση με το φυσικό αέριο. Τα εναλλακτικά αυτά φυσικά αέρια μπορούν να παραχθούν από άνθρακα, βιομάζα (bio-SNG ή biogas) ή να συντηχθούν χρησιμοποιώντας πλεόνασμα ανανεώσιμης ενέργειας (e-gas/syngas) [44]. Το SNG μπορεί να είναι υποκατάστατο χαμηλού άνθρακα ή ακόμα και υποκατάστατο μηδενικού άνθρακα για τα ορυκτά καύσιμα, ανάλογα με το αρχικό καύσιμο που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή του. Χάρη στη σύνθεσή του, έχει τη δυνατότητα να αναμιχθεί και να χρησιμοποιηθεί εναλλακτικά με το φυσικό αέριο σε όλες τις εφαρμογές. Για την αποθήκευση, το υγροποιημένο ή συμπιεσμένο SNG μπορεί να μεταφερθεί ή να αποθηκευτεί στο δίκτυο αερίου.



Εικόνα 10: Διάγραμμα Παραγωγής Συνθετικού Φυσικού Αερίου

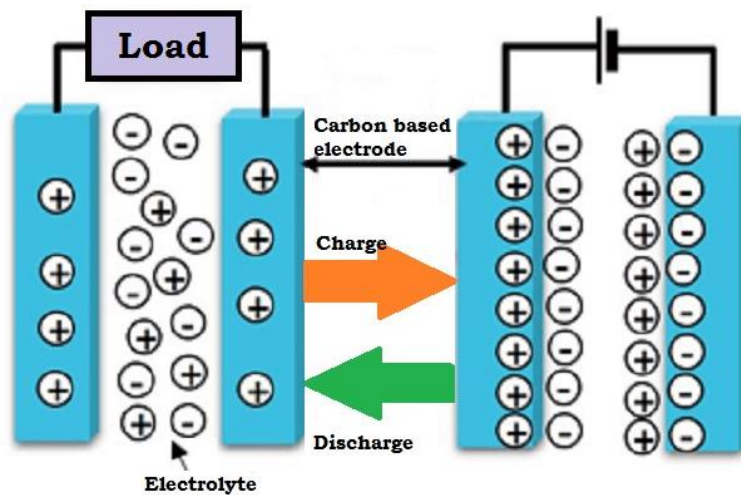
Πηγή: [45]



## 4.2.4 Ηλεκτρικές και Μαγνητικές Μέθοδοι

### 4.2.4.1 Υπερπυκνωτές (Supercapacitors)

Οι υπερπυκνωτές είναι η τεχνολογία αποθήκευσης που γεφυρώνει το χάσμα μεταξύ μπαταριών και συμβατικών πυκνωτών, αφού μπορούν να αποθηκεύουν περισσότερη ενέργεια από τους πυκνωτές και να την παρέχουν σε υψηλότερη ισχύ εξόδου από τις μπαταρίες. Τα χαρακτηριστικά τους αυτά, σε συνδυασμό με την υψηλή δυνατότητα σε κύκλους, καθιστούν την συγκεκριμένη τεχνολογία ως μια ελκυστική μέθοδο αποθήκευσης [46]. Ο υπερπυκνωτής αποτελείται από δύο στρώματα αγώγιμου υλικού και ανάμεσά τους ένα στρώμα μόνωσης. Η ηλεκτρική ενέργεια αποθηκεύεται με τη συγκέντρωση ηλεκτρικού φορτίου μεταξύ των αγώγιμων στρωμάτων. Χρησιμοποιούνται για βραχυπρόθεσμη αποθήκευση, αφού εκλύουν και αποθηκεύουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας πολύ γρήγορα. Έχουν το πλεονέκτημα της ταχείας φόρτισης και εκφόρτισης λόγω του ότι δεν υπάρχει ενδιάμεση μετατροπή ενέργειας σε άλλες μορφές. Οι υπερπυκνωτές χρειάζονται ελάχιστη συντήρηση και χρησιμοποιούνται και στα συστήματα πέδησης και επιτάχυνσης των αυτοκινήτων. Χρησιμοποιούνται ήδη σε πολλές εφαρμογές, είτε σε συνδυασμό με άλλες συσκευές αποθήκευσης (κυρίως μπαταρίες), είτε ως αυτόνομες πηγές ενέργειας. Βρίσκουν εφαρμογές στην υποστήριξη δικτύου καθώς και στην αεροπορία/ναυτιλία.



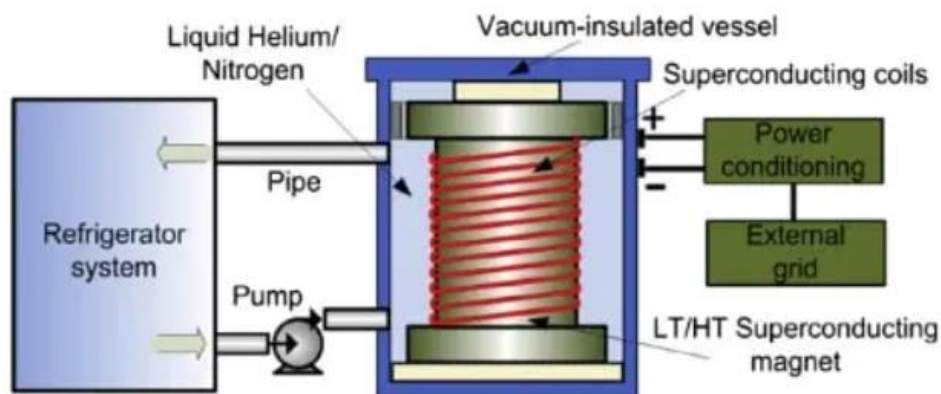
Εικόνα 11: Διάγραμμα Υπερπυκνωτή

Πηγή: [47]

### 4.2.4.2 Υπεραγώγιμη Μαγνητική Αποθήκευση Ενέργειας (SMES)

Η Υπεραγώγιμη Μαγνητική Αποθήκευση Ενέργειας, αποθηκεύει ενέργεια υπό τη μορφή μαγνητικού πεδίου σε ένα υπεραγώγιμο πηνίο. Για να μην υπάρχει αντίσταση στο εσωτερικό του πηνίου και να διατηρείται η υπεραγωγιμότητά του, αυτό ψύχεται σε χαμηλές θερμοκρασίες. Κατά την εκφόρτιση, η μαγνητική ενέργεια του πηνίου μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Έχουν υψηλές αποδόσεις έως και 97% και ταχείες αποκρίσεις λίγων χιλιοστών του δευτερολέπτου. Η διάρκεια ζωής τους είναι πολλών

χιλιάδων κύκλων, όμως η δυσκολία στην κατασκευή αλλά και το υψηλό κόστος του εξοπλισμού που απαιτείται για τη διατήρηση της υπεραγωγιμότητας, όπως και τα περιβαλλοντικά ζητήματα λόγω του υψηλού μαγνητικού πεδίου, δεν επέτρεψαν στη συγκεκριμένη μορφή αποθήκευσης την έντονη διάδοσή τους αφού υπάρχουν μόνο 100MW αποθήκευσης περίπου σε λειτουργία. Χρησιμοποιείται στον περιορισμό των διακυμάνσεων τάσης του δικτύου αλλά και στην ενίσχυσή του. Ακόμα, βρίσκει εφαρμογές στη σταθεροποίηση του δικτύου σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας με σκοπό την προστασία ευαίσθητων ηλεκτρικών συσκευών [48].



Εικόνα 12: Διάγραμμα Υπεραγωγίμης Μαγνητικής Αποθήκευσης

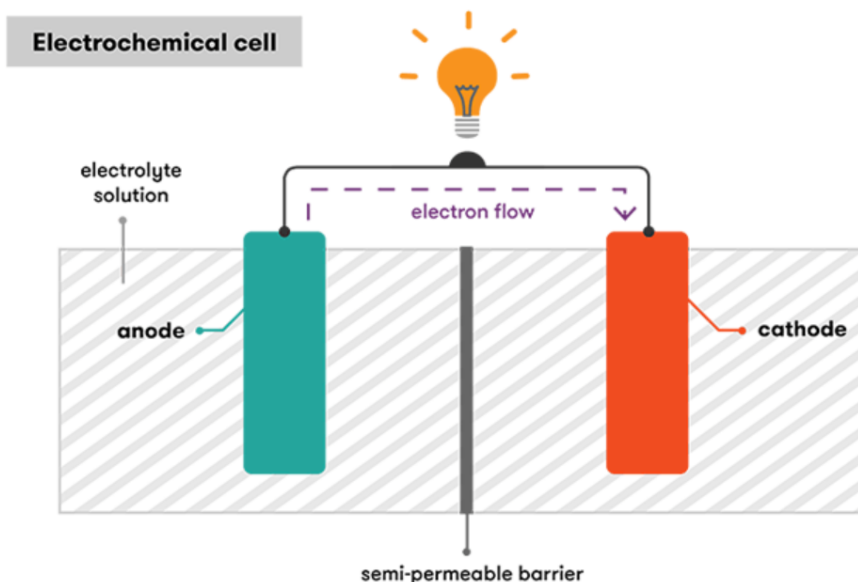
Πηγή: [49]

## 4.2.5 Ηλεκτροχημικές Μέθοδοι

Τα ηλεκτροχημικά συστήματα αποθήκευσης εκτιμάται ότι είναι από τους βασικούς τεχνολογικούς παράγοντες αποθήκευσης, οι οποίοι θα επιτρέψουν την μετάβαση από τα τρέχοντα κεντρικά δίκτυα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε κατανεμημένα, με αυξανόμενη διείσδυση μεταβαλλόμενων και μη-προγραμματιζόμενων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως την αιολική και τη φωτοβολταϊκή ενέργεια, αλλά και με πιο έξυπνη διαχείριση ενεργειακών ροών με έξυπνα δίκτυα και καταναλωτές-παραγωγούς (prosumers) [50].

### 4.2.5.1 Συσσωρευτές (Μπαταρίες)

Στην παρούσα διπλωματική θα ασχοληθούμε με τους συσσωρευτές ως μέσο αποθήκευσης και συγκεκριμένα με τους συσσωρευτές ιόντων λιθίου, τόσο σε σταθμούς αποθήκευσης όσο και σε υβριδικά συστήματα. Οι συσσωρευτές λειτουργούν με αποθήκευση χημικής ενέργειας, η οποία μετατρέπεται σε ηλεκτρική όταν χρειάζεται. Υπάρχουν διάφορα ήδη συσσωρευτών τα οποία θα αναλύσουμε στη συνέχεια. Οι μπαταρίες αποτελούνται γενικά από τρία βασικά στοιχεία: την άνοδο, την κάθοδο και τον ηλεκτρολύτη. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ένας διαχωριστής για να αποτρέψει την επαφή μεταξύ ανόδου και καθόδου εάν δεν επαρκεί ο ηλεκτρολύτης.

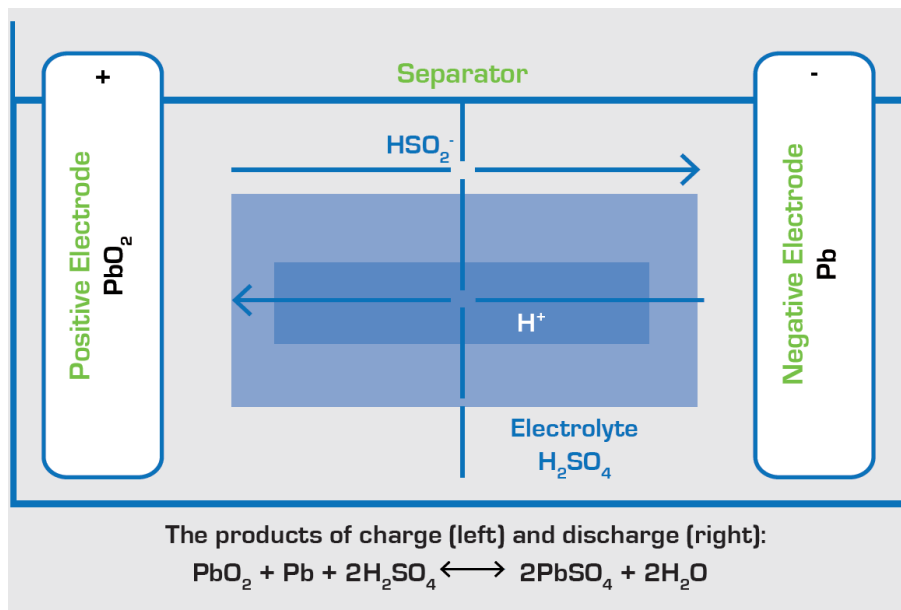


Εικόνα 13: Ηλεκτροχημικό κελί μπαταρίας

Πηγή: [51]

- **Μπαταρίες Μολύβδου-Οξέος (Lead Acid)**

Οι συγκεκριμένοι συσσωρευτές αποτελούν τον κοινό πλέον τύπο επαναφορτιζόμενων συσσωρευτών, οι οποίοι χρησιμοποιούνται ευρέως σε συμβατικά οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης, όμως δεν χρησιμοποιούνται εξίσου στα ηλεκτρικά οχήματα. Είναι πιο φθηνοί σε σχέση με τους συσσωρευτές ιόντων λιθίου αλλά έχουν το μειονέκτημα της χαμηλής απόδοσης και της μικρότερης διάρκειας ζωής σε σχέση με άλλους συσσωρευτές. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, οι συσσωρευτές μολύβδου-οξέος των αυτοκινήτων ανακυκλώνονται σε ποσοστό 99%. Βρίσκονται επίσης στο στάδιο ανάπτυξης βελτιωμένες εκδόσεις αυτού του είδους συσσωρευτών. Το σύστημα αποτελείται από το θετικό ηλεκτρόδιο που αποτελείται από διοξείδιο μολύβδου ( $PbO_2$ ) και το αρνητικό ηλεκτρόδιο που περιέχει σπογγώδη μολύβδο ( $Pb$ ). Και τα δύο ηλεκτρόδια είναι βυθισμένα σε υδατικό ηλεκτρολύτη θεικού οξέος που συμμετέχει στις αντιδράσεις φόρτισης/εκφόρτισης [52]. Γενικά, βρίσκουν χρήσεις σε σχεδόν όλες τις εφαρμογές εκτός από μικρά φορητά και κινητά συστήματα. Βρίσκουν χρήσεις όπως σε υπηρεσίες υποστήριξης δικτύου, στις οδικές μεταφορές, στην αεροπορία/ναυτιλία, όπως επίσης και στην ημερήσια και εποχιακή αποθήκευση.

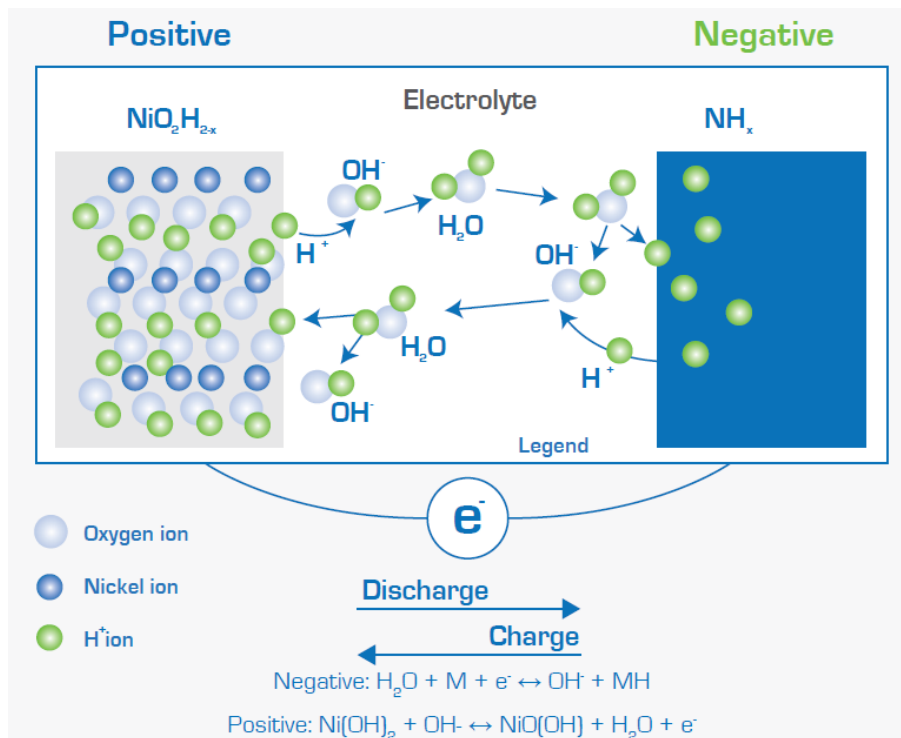


Εικόνα 14: Αρχές Φόρτισης Μπαταρίας Μολύβδου Οξέος (Lead Acid)

Πηγή: [52]

- **Μπαταρίες Νικελίου-Υδριδίου Μετάλλου (NiMH)**

Οι συσσωρευτές αυτοί βασίζονται σε ηλεκτροχημικές αντιδράσεις φόρτισης/εκφόρτισης που εμφανίζονται μεταξύ ενός θετικού ηλεκτροδίου (κάθοδος) που περιέχει το οξύ-υδροξείδιο του νικελίου ως ενεργό υλικό και ένα αρνητικό ηλεκτρόδιο (άνοδος) που αποτελείται από κράμα απορρόφησης υδρογόνου. Τα δύο αυτά ηλεκτρόδια διαχωρίζονται από μια διαπερατή μεμβράνη που επιτρέπει την ροή ηλεκτρονίων και ιόντων μεταξύ τους και βυθίζεται σε έναν ηλεκτρολύτη που αποτελείται από υδατικό υδροξείδιο του καλίου, το οποίο δεν υφίσταται σημαντικές αλλαγές κατά τη λειτουργία. Βρίσκει εφαρμογές στις οδικές μεταφορές (υβριδικά οχήματα), στους σιδηρόδρομους αλλά και στην υποστήριξη δικτύου [53].

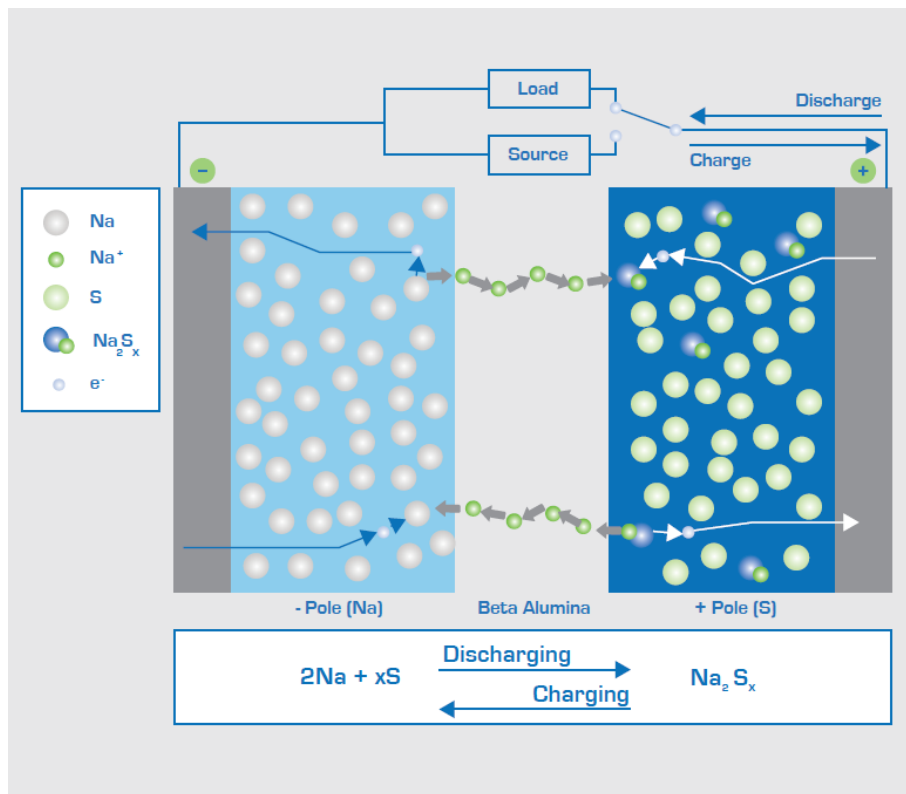


Εικόνα 15: Αρχές Φόρτισης Μπαταρίας Νικελίου-Υδριδίου Μετάλλου (NiMH)

Πηγή: [53]

#### • Μπαταρίες Νατρίου-Θείου (NaS)

Τα ενεργά υλικά στις μπαταρίες νατρίου-θείου είναι το λιωμένο θείο (S) ως θετικό ηλεκτρόδιο (κάθοδος) και το λιωμένο νάτριο (Na) ως αρνητικό ηλεκτρόδιο (άνοδος). Τα ηλεκτρόδια αυτά διαχωρίζονται από ένα στερεό κεραμικό, μια αλουμίνα νατρίου, το οποίο χρησιμεύει και επίσης ως ηλεκτρολύτης. Το κεραμικό αυτό επιτρέπει τη διέλευση μόνο σε θετικά φορτισμένα ιόντα νατρίου. Κατά την εκφόρτιση, τα ηλεκτρόνια απομακρύνονται από το μέταλλο νατρίου, οδηγώντας σε σχηματισμό των ιόντων νατρίου που στη συνέχεια μετακινούνται μέσω του ηλεκτρολύτη στο θετικό θάλαμο ηλεκτροδίων. Τα ηλεκτρόνια τα οποία απομακρύνονται από το μέταλλο νατρίου κινούνται μέσα στο κύκλωμα και στη συνέχεια επιστρέφουν στην μπαταρία στο θετικό ηλεκτρόδιο, όπου και παραλαμβάνονται από το λιωμένο θείο για να σχηματίσουν πολυσουλφίδιο. Τα θετικά φορτισμένα ιόντα νατρίου που κινούνται στον θάλαμο θετικών ηλεκτροδίων ισορροπούν τη ροή φορτίου των ηλεκτρονίων. Κατά τη φόρτιση η διαδικασία αυτή αντιστρέφεται [54]. Οι συσσωρευτές νατρίου-θείου χρησιμοποιούνται για υπηρεσίες δικτύου εδώ και 20 χρόνια και οι θερμοκρασίες που λειτουργούν είναι μεταξύ 300 και 350 βαθμούς κελσίου ρυθμιζόμενοι από τους ανεξάρτητους θερμοαντήρες του συστήματος, γεγονός που τους κάνει ακατάλληλους για οικιακές εφαρμογές. Βρίσκουν χρήση σε υπηρεσίες υποστήριξης δικτύου, σε οικιακά και εμπορικά κτίρια αλλά, στην ημερήσια αποθήκευση αλλά και στη βελτιστοποίηση παραγωγής ανανεώσιμων πηγών [55].

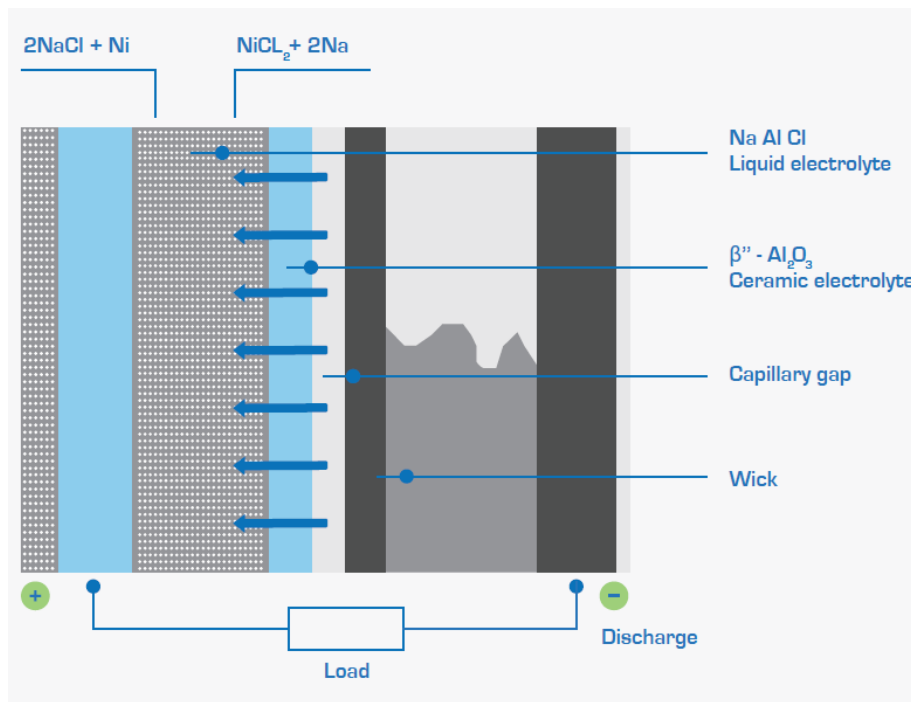


Εικόνα 16: Αρχές Φόρτισης Μπαταρίας Νατρίου-Θείου (NaS)

Πηγή: [55]

- **Μπαταρίες Χλωριούχου Νατρίου-Νικελίου (Na/NiCl<sub>2</sub>)**

Η συγκεκριμένη τεχνολογία διαθέτει ένα θετικό ηλεκτρόδιο (κάθοδος) που αποτελείται κυρίως από νικέλιο (Ni) και χλωριούχο νάτριο (NaCl) και ένα αρνητικό ηλεκτρόδιο (άνοδος) που συνήθως κατασκευάζεται από νάτριο (Na). Τα ηλεκτρόδια διαχωρίζονται από ένα κεραμικό τοίχωμα β-αλουμίνας το οποίο δρα ως ηλεκτρολύτης και επιτρέπει την αγωγή ιόντων νατρίου μεταξύ της ανόδου και της καθόδου αλλά απομονώνει τα ηλεκτρόνια. Η θερμοκρασία της μπαταρίας διατηρείται μεταξύ 270 °C και 350 °C από τους ανεξάρτητους θερμαντήρες του συστήματος, ώστε να διατηρούνται τα ηλεκτρόδια σε λιωμένη κατάσταση. Βρίσκουν εφαρμογή στην υποστήριξη δικτύου και σε εφαρμογές μικροδικτύων και απομονωμένων δικτύων [56].

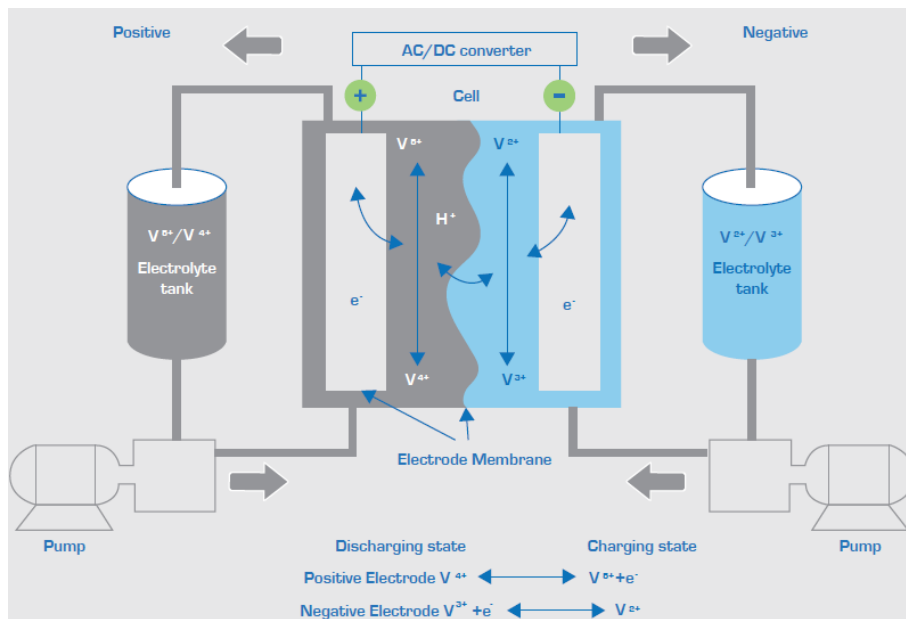


Εικόνα 17: Αρχές Φόρτισης Μπαταρίας Χλωριούχου Νατρίου-Νικελίου (Na/NiCl<sub>2</sub>)

Πηγή: [56]

- **Μπαταρίες Οξειδοαναγωγής (Redox Flow)**

Διαθέτουν μια θετικά και μια αρνητικά φορτισμένη δεξαμενή (υγροί ηλεκτρολύτες), οι οποίες διαχωρίζονται με μια μεμβράνη ηλεκτροδίων. Μεταξύ των δεξαμενών, υπάρχει μια διαφορά χημικής οξείδωσης, όπου παράγεται ροή ιόντων και ηλεκτρική ενέργεια διαμέσου της μεμβράνης. Υπό συνθήκες φόρτισης και εκφόρτισης η μεμβράνη αυτή επιτρέπει σε επιλεγμένα ιόντα να περάσουν και να ολοκληρώσουν τις χημικές αντιδράσεις. Είναι σχεδιασμένοι για αποθήκευση μεγάλης κλίμακας στο δίκτυο και έχει τη δυνατότητα να αποθηκεύει μεγάλες ποσότητες ενέργειας πιο αποτελεσματικά σε σχέση με αρκετές άλλες τεχνολογίες. Η ισχύς καθορίζεται από την ενεργή επιφάνεια της μεμβράνης (μέγεθος στοιβάς ηλεκτροχημικών στοιχείων) και από τη διαχείριση υδραυλικών αντλιών, ενώ η ενεργειακή ικανότητα εξαρτάται από την ποσότητα ηλεκτρολυτών που χρησιμοποιούνται αλλά και την ικανότητα των δεξαμενών [57]. Υπάρχει η δυνατότητα αύξησης της χωρητικότητας προσθέτοντας επιπλέον ποσότητα φθηνού ηλεκτρολύτη στις εγκαταστάσεις. Γενικά, οι συσσωρευτές αυτοί έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής σε σχέση με άλλες τεχνολογίες συσσωρευτών, όμως έχουν μικρότερη πυκνότητα. Η τεχνολογία αυτή βρίσκει χρήσεις σε υπηρεσίες υποστήριξης δικτύου και στην ημερήσια αποθήκευση [29].



Εικόνα 18: Αρχές Φόρτισης Μπαταρίας Ροής (Flow)

Πηγή: [57]

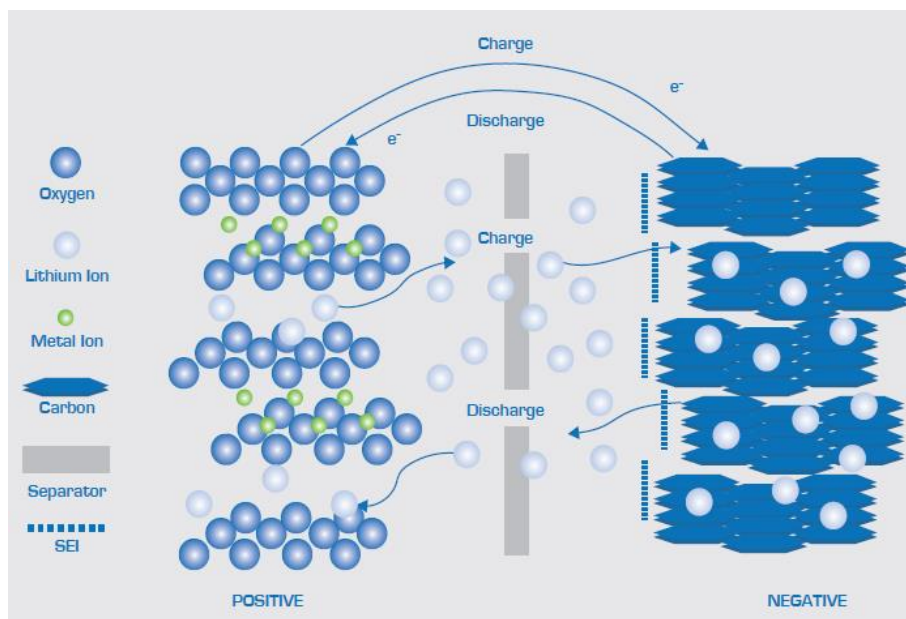
- **Μπαταρίες Ιόντων Λιθίου (Li-ion)**

Οι συσσωρευτές της τεχνολογίας ιόντων λιθίου είναι η πλέον κοινώς χρησιμοποιούμενη πηγή ενέργειας για τα ηλεκτρικά οχήματα. Ο συγκεκριμένος τύπος συσσωρευτών χρησιμοποιείται σε μεγάλο ποσοστό και στα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας. Είναι μια ταχέως εξελισσόμενη τεχνολογία, όπου η πυκνότητα ενέργειας και ισχύος τους όλο και μεγαλώνει. Στην συγκεκριμένη τεχνολογία υπάρχουν πολλές παραλλαγές, χρησιμοποιώντας διαφορετικά ηλεκτρόδια και ηλεκτρολύτες, όπου σε ορισμένα υλικά ηλεκτροδίων απαιτούν τη χρήση περιορισμένων ή δαπανηρών φυσικών πόρων, όπως για παράδειγμα το κοβάλτιο. Είναι ακριβότεροι σε σχέση με τους μολύβδου-οξέος, όμως λόγω της ταχέως εξελισσόμενης τεχνολογίας τους έχουν μεγάλο ρυθμό μείωσης του κόστους τους.

Το σύστημα αποτελείται από ένα θετικό ηλεκτρόδιο (κάθοδος) που περιέχει κάποιο λιθιωμένο μεταλλικό οξείδιο και ένα αρνητικό ηλεκτρόδιο (άνοδο) που είναι κατασκευασμένο από υλικό άνθρακα ή ενώσεις παρεμβολής (intercalation compounds). Τα ηλεκτρόδια διαχωρίζονται από πορώδη πολυμερή υλικά τα οποία επιτρέπουν τη ροή ηλεκτρονίων και ιόντων μεταξύ τους και είναι βυθισμένα σε έναν ηλεκτρολύτη που αποτελείται από άλατα λιθίου (π.χ. LiPF<sub>6</sub>) και διαλυμένα οργανικά υγρά. Κατά την φόρτιση, τα άτομα λιθίου στην κάθοδο γίνονται ιόντα και μεταναστεύουν μέσω του ηλεκτρολύτη προς την άνοδο άνθρακα όπου και συνδυάζονται μαζί με τα εξωτερικά ηλεκτρόνια και εναποτίθενται μεταξύ των στρωμάτων άνθρακα ως άτομα λιθίου [58]. Κατά την εκφόρτιση, η διαδικασία που περιγράψαμε αντιστρέφεται. Βρίσκουν χρήσεις στις υπηρεσίες υποστήριξης δικτύου, στην αεροπορία/ναυτιλία, στις οδικές μεταφορές, σε οικιακά και εμπορικά



κτίρια, στην ημερήσια και εποχιακή αποθήκευση αλλά και στη βελτιστοποίηση παραγωγής ανανεώσιμων πηγών. Στο Κεφ. 7 θα γίνει πιο αναλυτική μελέτη για την συγκεκριμένη μέθοδο.



Εικόνα 19: Αρχές Φόρτισης Μπαταρίας Ιόντων Λιθίου (Li-Ion)

Πηγή: [58]

## Σύγκριση Μπαταριών

Πιο κάτω φαίνεται ένας πίνακας ο οποίος συγκρίνει τις πιο πάνω τεχνολογίες συσσωρευτών ως προς κάποιες εφαρμογές, οι πλείστες εκ των οποίων θα μελετηθούν στο επόμενο κεφάλαιο αναλυτικά. Ο πίνακας αυτός μπορεί να μας δώσει μια ιδέα για το ποιες τεχνολογίες μπαταριών είναι οι πιο κατάλληλες για την κάθε εφαρμογή και μας δίνει την δυνατότητα να καταλάβουμε πόσο ευρύ φάσμα χρήσης έχει η κάθε τεχνολογία.

Εφαρμογή	Lead Acid	NiMH	NaS	NaNiCl <sub>2</sub>	Redox Flow	Li-Ion
Μετατόπιση Χρόνου	●	●	●	●	●	●
Ενσωμάτωση ΑΠΕ	●	●	●	●	●	●
Αναβολή Επενδύσεων Δικτύου	●	●	●	●	●	●
Πρωτεύουσα Ρύθμιση	●	●	●	●	●	●
Δευτερεύουσα Ρύθμιση	●	●	●	●	●	●
Τριτεύουσα Ρύθμιση	●	●	●	●	●	●
Εκκίνηση Συστήματος Ισχύος	●	●	●	●	●	●
Υποστήριξη Τάσης	●	●	●	●	●	●
Ποιότητα Ισχύος	●	●	●	●	●	●

● Κατάλληλο ● Λιγότερο Κατάλληλο ● Καθόλου Κατάλληλο

Πίνακας 3: Σύγκριση καταλληλότητας τεχνολογιών μπαταρίας για κάθε εφαρμογή

Πηγή: [50]

Είναι φανερό ότι οι συσσωρευτές έχουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών για τις οποίες είναι κατάλληλες. Από την τελευταία γραμμή όμως συμπεραίνουμε ότι οι μπαταρίες παρουσιάζουν μια αδυναμία στην υποστήριξη της ποιότητας ισχύος, αφού όπως είναι φανερό καμιά τεχνολογία δεν είναι πλήρως κατάλληλη για την εφαρμογή αυτή, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν χρησιμοποιούνται για τον σκοπό αυτό. Όπως είδαμε και πιο πάνω, κάθε τεχνολογία έχει τα θετικά και τα αρνητικά της, τα οποία πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στην απόφαση σχετικά με το ποια τεχνολογία είναι πιο ιδανική για την κάθε εφαρμογή.

## 5. Μονάδες Αποθήκευσης Ενέργειας με Μπαταρίες

Στο κεφάλαιο αυτό, θα μελετήσουμε την αγορά της Γερμανίας όσον αφορά τις διαθέσιμες υπηρεσίες που μπορεί να παρέχει μια αποθηκευτική μονάδα μπαταριών, οι οποίες αποφέρουν οικονομικό όφελος, αλλά και τις νομοθεσίες που υπάρχουν για αυτές. Ο λόγος που μελετούμε την αγορά της Γερμανίας είναι διότι είναι αρκετά εξελιγμένη στον τομέα της αποθήκευσης ενέργειας και μπορούμε να αντλήσουμε αρκετές πληροφορίες και συμπεράσματα από την αγορά της. Ακόμα, θα δούμε σε διάφορες χώρες το πώς αντιμετωπίζουν βάση νομοθεσιών τους σταθμούς αποθήκευσης και τέλος, θα κάνουμε μια αναφορά στους κατασκευαστές των μπαταριών ιόντων λιθίου.



*Εικόνα 20: Σταθμός Αποθήκευσης Ενέργειας 100MW με Tesla Powerpack στη Νότια Αυστραλία*

Πηγή: [59]

### 5.1 Εφαρμογές Μονάδας Αποθήκευσης

Πιο κάτω θα δούμε τις εφαρμογές που μπορεί να έχει μια μονάδα αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες στις οποίες αντιστοιχεί ένα οικονομικό όφελος, καθώς και το πώς εφαρμόζονται νομοθετικά οι υπηρεσίες αυτές σύμφωνα με τα δεδομένα της Γερμανίας.

#### 5.1.1 Επικουρικές Υπηρεσίες

Οι επικουρικές υπηρεσίες (Ancillary Services) είναι οι υπηρεσίες που παρέχονται στο δίκτυο, με σκοπό την ομαλή λειτουργία και αξιοπιστία του δικτύου. Ειδικά σε συστήματα με αυξημένη

διείσδυση ΑΠΕ, μπορεί να χρειάζονται επιπλέον επικουρικές υπηρεσίες για να διαχειριστούν την μεταβλητότητα και αβεβαιότητα αυτού του είδους παραγωγής ενέργειας.

#### **5.1.1.1 Υποστήριξη Συχνότητας**

Με σκοπό την διατήρηση του ευρωπαϊκού δικτύου στα 50Hz, οι Διαχειριστές του Συστήματος Μεταφοράς (ΔΣΜ) (αντίστοιχος ΑΔΜΗΕ στην Ελλάδα), πρέπει να ισορροπούν την τροφοδοσία ενέργειας στο δίκτυο με την απορρόφηση ενέργειας από αυτό, σε οποιαδήποτε στιγμή. Για να ισορροπεί το δίκτυο, οι ΔΣΜ βασίζονται τρεις μορφές αποθεματικού ελέγχου, οι οποίες προηγουμένως ονομάζονταν αποθεματικά πρωτογενούς, δευτερογενούς και τριτογενούς ανισορροπίας, όμως σήμερα ονομάζονται αποθεματικό περιορισμού συχνότητας (FCR), αποθεματικό αυτόματης αποκατάστασης συχνότητας (aFRR) και αποθεματικό μη αυτόματης αποκατάστασης συχνότητας (mFRR), αντίστοιχα.

Σύμφωνα με τις απαιτήσεις και τους ορισμούς της Ομοσπονδιακής Υπηρεσίας Δικτύου από το 2011, οι Γερμανικοί ΔΣΜ προμηθεύονται τις ανάγκες τους για ενέργεια όσον αφορά τις διάφορες μορφές αποθεματικού ελέγχου, σε μια διαφανή και χωρίς διακρίσεις αγορά. Οι συναλλαγές γίνονται από την ηλεκτρονική πλατφόρμα [60]. Οι σταθμοί αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες είναι σε θέση να παρέχουν αυτού του είδους τα αποθεματικά, αφού έχουν ταχείες αποκρίσεις που μπορούν να καλύψουν όλα τα είδη αποθεματικού. Σύμφωνα με το νόμο για την Ενεργειακή Βιομηχανία (έκδοση EnWG 2015), η εμπορία για τον αποθεματικό έλεγχο γίνεται με τη μορφή δημόσιας ανταγωνιστικής υποβολής προσφορών – δημοπρασίας (public competitive bidding) με τη γενική μέθοδο ανάθεσης πληρωμής ως προσφοράς (general award method of pay-as-bid) και επιπρόσθετα, στις περιπτώσεις δευτερογενούς και τριτογενούς αποθεματικού, η εμπορία γίνεται με ανάλογα με την αξία, δηλαδή τη ταξινόμηση με βάση την αύξουσα τιμή της ενέργειας (merit order) [61].

- **Αποθεματικό Περιορισμού Συχνότητας (FCR)**

Το αποθεματικό περιορισμού συχνότητας (Frequency Containment Reserve – FCR) ή αλλιώς πρωτογενές αποθεματικό, είναι το αποθεματικό το οποίο μπορεί να ενεργοποιηθεί αυτόματα μετά από λίγα δευτερόλεπτα ανισορροπίας στο σύστημα, σταθεροποιώντας τις διαταραχές συχνότητας στο δίκτυο υψηλής τάσης [62]. Οι συμμετέχοντες κάνουν προσφορά στην αγορά, προσφέροντας ένα ορισμένο ποσό χωρητικότητας ισχύος, η οποία όταν γίνει αποδεκτή και ενεργοποιηθεί πρέπει η ισχύς να τεθεί σε πλήρη λειτουργία εντός 30 δευτερολέπτων [63] και η χωρητικότητα πρέπει να είναι διαθέσιμη για τουλάχιστον 15 λεπτά [64].

- **Αυτόματο Αποθεματικό Αποκατάστασης Συχνότητας (aFRR)**

Το αυτόματο αποθεματικό αποκατάστασης συχνότητας (automatic Frequency Restoration Reserve – aFRR) ή αλλιώς δευτερογενές αποθεματικό, είναι υπεύθυνο να εξισορροπήσει την διαφορά μεταξύ

φορτίου και παραγωγής ενέργειας, σε περίπτωση που δεν εξισορροπηθεί από το αποθεματικό περιορισμού συχνότητας (FCR). Για τον λόγο αυτό, το aFRR αντικαθιστά το FCR μετά από σύντομο χρονικό διάστημα, ώστε να διατηρήσει αυτό την ισορροπία και όχι το FCR το οποίο είναι πιο γρήγορο και χρήσιμο σε στιγμιαίες μεταβολές, ώστε να είναι σε θέση το FCR να καλύψει μετέπειτα μεταβολές συχνότητας που χρειάζονται γρήγορη παρέμβαση. Όταν ενεργοποιηθεί η συμφωνία, υποχρεώνει τον προμηθευτή της ηλεκτρικής ενέργειας να παρέχει το αποθεματικό αυτό πλήρως ενεργοποιημένο εντός 15 λεπτών [63]. Η αγορά αυτή προσφέρει μεγάλες διαφορές στις τιμές, οι οποίες είναι ευνοϊκές για την παραγωγή εσόδων από την εμπορία ηλεκτρικής ενέργειας [65].

- **Μη Αυτόματο Αποθεματικό Αποκατάστασης Συχνότητας (mFRR)**

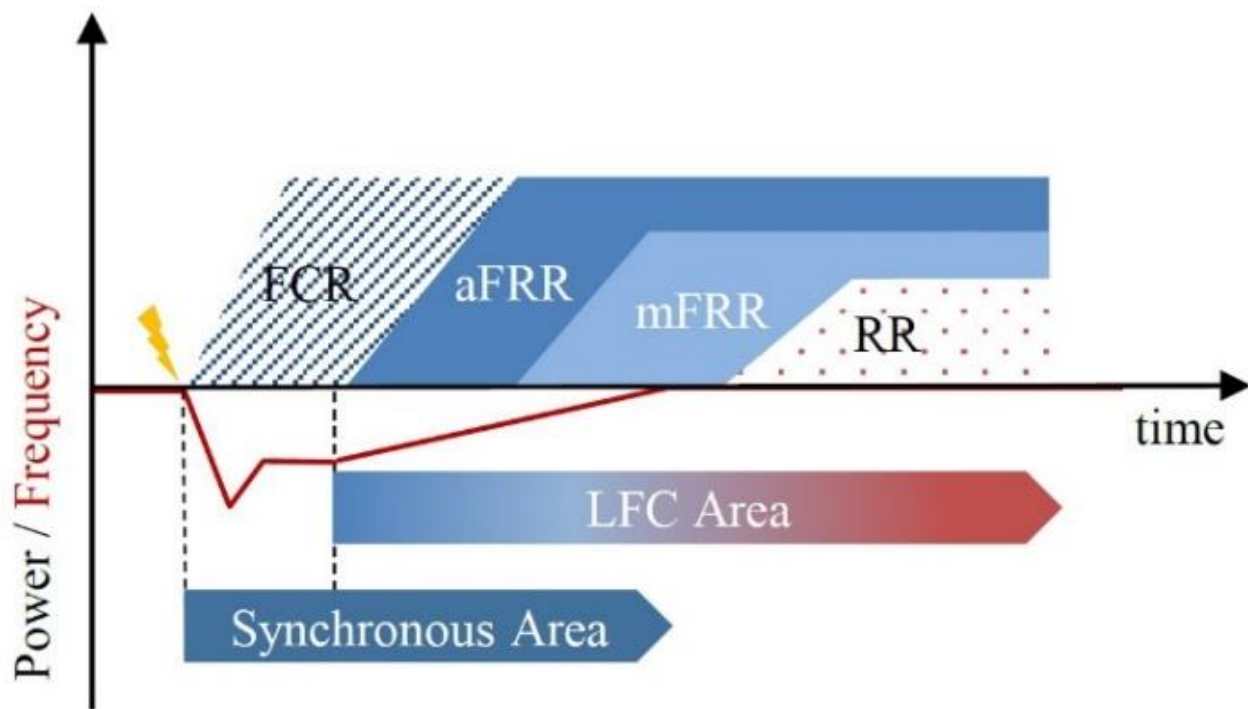
Αν μετά από τα πιο πάνω αποθεματικά εξακολουθεί να μην υπάρχει αντιστοιχία μεταξύ φορτίου και παραγωγής ενέργειας, τότε ενεργοποιείται το χειροκίνητο αποθεματικό αποκατάστασης συχνότητας (manual Frequency Restoration Reserve – mFRR) ή αλλιώς τριτογενές αποθεματικό. Το αποθεματικό αυτό πρέπει να λειτουργήσει εντός 15 λεπτών από την στιγμή που ενεργοποιείται η συμφωνία και χρησιμοποιείται κυρίως για μεγαλύτερες περιόδους ανισορροπίας στη συχνότητα του δικτύου. Η αγορά αυτή γενικά απαιτεί μεγάλες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ δεν προσφέρει ιδιαίτερα χρηματικά κίνητρα και είναι σχετικά αδιαφανής [65].

### **Διαφορές Αποθεματικών**

Οι κύριες διαφορές μεταξύ των τριών αποθεματικών ελέγχων, είναι ο χρόνος και η περίοδος υποβολής προσφορών, η χρονική περίοδος του αποθεματικού, τα κριτήρια ανάθεσης τους καθώς και η αμοιβή τους. Επίσης, τα θετικά και αρνητικά αποθεματικά αποκατάστασης συχνότητας (FRR) γίνονται με ξεχωριστές προσφορές, ενώ το αποθεματικό περιορισμού συχνότητας (FCR) για έγχυση ή απορρόφηση ισχύος διασφαλίζεται με μια μόνο προσφορά. Η προσφορά για πρωτογενές αποθεματικό μπορεί να γίνει σε συνδυασμό με διάφορες τεχνικές μονάδες (pooling).

### **Λειτουργία Υποστήριξης Συχνότητας**

Πιο κάτω μπορούμε να δούμε το γράφημα στο οποίο φαίνεται η τυποποιημένη ιεραρχία κατά την οποία γίνεται η Ρύθμιση Συχνότητας-Φορτίου (Load-Frequency Control – LFC), ακολουθώντας τον Κώδικα Δικτύου σχετικά με τον Έλεγχο Συχνότητας-Φορτίου του ENTSO-E. Η διαδικασία που περιγράψαμε γίνεται στη σύγχρονη περιοχή (Synchronous Area), όπου ενεργοποιούνται με τη σειρά τα αποθεματικά FCR, aFRR και mFRR.



Γράφημα 1: Λειτουργία Υποστήριξης Συχνότητας

Πηγή: [66]

Η αποδοτικότητα της υποστήριξης συχνότητας βασίζεται στο μέγεθος της αγοράς, τις συνθήκες πρόσβασης για την κάθε μορφή αποθεματικού, δηλαδή τα κριτήρια προ-επιλογής, καθώς και τη διάρκεια και τη ποσότητα της αντίστοιχης ενέργειας. Σύμφωνα με τους κανόνες του Εγχειριδίου Λειτουργίας ENTSO-E, πρωτογενές αποθεματικό συνολικής ισχύς 3000MW πρέπει να παρέχεται στο σύγχρονο διασυνδεδεμένο σύστημα της ηπειρωτικής Ευρώπης [67].

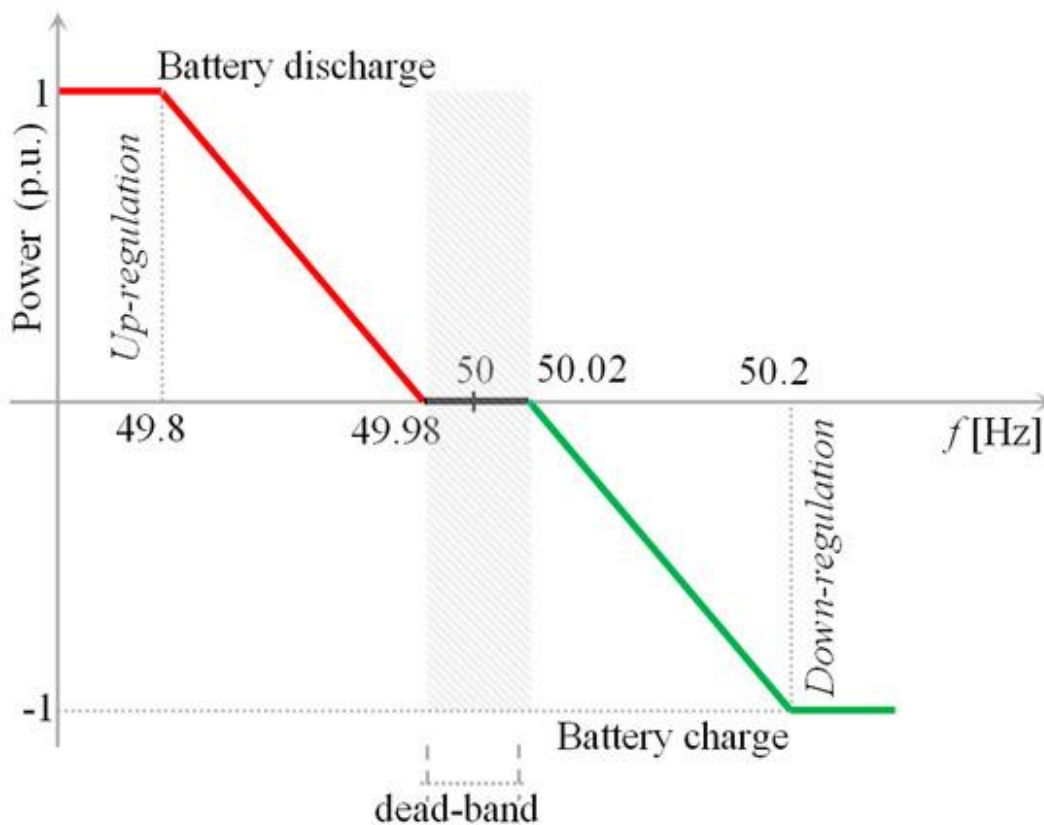
Συνολικά η ζήτηση, ειδικά για δευτερογενές και τριτογενές αποθεματικό, έχει μειωθεί τα τελευταία χρόνια στη Γερμανία. Αυτό μπορεί να οφείλεται στη συγχώνευση πρώην μεμονωμένων ΔΣΜ, με την οποία οι ανισοροπίες ισχύος των επιμέρους περιοχών ελέγχου συμψηφίζονται, επομένως για αντιστάθμιση με τη χρήση αποθεματικού μένει μόνο το υπόλοιπο. Δεν υπάρχει σαφής τάση τιμών για όλες τις μορφές αποθεματικού ελέγχου, υπάρχει όμως μια τάση μείωσης των τιμών, ειδικά για δευτερογενές και τριτογενές αποθεματικό, ωστόσο οι εν μέρει σημαντικές διακυμάνσεις αποδεικνύουν ότι η εξέλιξη των τιμών στις αγορές αποθεματικών είναι πιο ασταθές παρά τις τιμές στις αγορές ενέργειας (spot markets) [61]. Η συχνότητα αγοράς και το ποσό ενέργειας ποικίλλουν σε μεγάλο βαθμό μεταξύ των μορφών αποθεματικού, καθώς η ενέργεια ελέγχου απαιτείται σταδιακά, σύμφωνα με την ανισοροπία συχνότητας.

Η πρόσβαση σε πρωτογενές αποθεματικό γίνεται συνεχώς, ανάλογα με τις διακυμάνσεις της συχνότητας στο διασυνδεδεμένο σύστημα. Η μόνιμη αυτή διακύμανση στη συχνότητα εξισορροπείται συνήθως από ολόκληρο το διασυνδεδεμένο ευρωπαϊκό δίκτυο και γι' αυτό οι ειδικοί

εκτιμούν ότι η ζήτηση για πρωτογενές αποθεματικό είναι χαμηλή [61]. Για το δευτερογενές αποθεματικό η κατάσταση είναι συγκρίσιμη, αφού οι υψηλές και μεγάλες ζητήσεις για ενέργεια είναι σπάνιες, κάτι που κάνει τις προσφορές με υψηλές τιμές να είναι προσβάσιμες μόνο σποραδικά και τους υποψήφιους με μέτρια ή χαμηλή τιμή να είναι αρκετά ενεργοί, όμως υπάρχει μια μόνιμη δραστηριότητα από τη πλευρά της αγοράς. Όσον αφορά το τριτογενές αποθεματικό (mFRR), η αγορά χαρακτηρίζεται από σχετικά χαμηλή δραστηριότητα και κατά συνέπεια, ακόμη και οι πάροχοι με χαμηλές τιμές ενέργειας ελέγχου είναι αδρανείς την κύρια ώρα.

### Παράδειγμα Λειτουργίας FCR

Στο γράφημα που ακολουθεί μπορούμε να δούμε τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί η Ρύθμιση Συχνότητας από ένα σταθμό αποθήκευσης με την χρήση του FCR. Η συχνότητα μας μεταβάλλεται ανάλογα με την διαφορά που υπάρχει μεταξύ παραγωγής ενέργειας και απορρόφησης ενέργειας στο δίκτυο, η οποία μεταφράζεται σε μεταβολή της συχνότητας.



Γράφημα 2: Παράδειγμα Λειτουργίας Υποστήριξης Συχνότητας FCR βάση Διαφοράς Συχνότητας

Πηγή: [68]

Όταν η συχνότητα μας κυμαίνεται στα όρια της νεκρής-ζώνης (dead-band), δηλαδή σε συχνότητα  $50\text{Hz} \pm 20\text{mHz}$  (στο Ευρωπαϊκό δίκτυο), τότε οι μπαταρίες μας δεν κάνουν απολύτως τίποτα, δηλαδή δεν απορροφούν ενέργεια από και δεν εκχέουν ενέργεια προς το δίκτυο. Στην περίπτωση που η συχνότητα μας έχει απόκλιση μεταξύ  $[-200, -20]\text{mHz}$  από την ονομαστική μας συχνότητα, δηλαδή

τα 50Hz, σημαίνει ότι έχουμε περισσότερο φορτίο παρά παραγωγή ενέργειας και τότε οι μπαταρίες εκφορτίζονται και εκχέουν ενέργεια προς το δίκτυο, ανάλογα με τη απόκλιση της συχνότητάς μας. Αν η απόκλιση ξεπεράσει τα -200mHz από την ονομαστική συχνότητα, τότε οι μπαταρίες μας εκφορτίζονται στην ονομαστική τους ισχύ (1α.μ.). Ομοίως, αν η απόκλιση συχνότητας κυμανθεί μεταξύ [+20, +200]mHz από την ονομαστική μας συχνότητα, σημαίνει ότι έχουμε περισσότερη παραγωγή ενέργειας παρά φορτίο και οι μπαταρίες μας φορτίζονται από το δίκτυο, απορροφώντας δηλαδή ενέργεια, ανάλογα με την απόκλιση. Αντίστοιχα, όταν η απόκλιση ξεπεράσει τα 200mHz από την ονομαστική συχνότητα, τότε οι μπαταρίες φορτίζονται με την ονομαστική τους ισχύ (1α.μ.).

### Παραδείγματα Προσφορών

Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα του διαγωνισμού για αποθεματικό έλεγχο που προέκυψαν μεταξύ 1<sup>ης</sup> Αυγούστου 2005 και 1<sup>ης</sup> Δεκεμβρίου 2007, για τον Διαχειριστή Συστήματος Μεταφοράς EnBW TNG.

- Frequency Containment Reserve (FCR)

<b>Frequency Containment Reserve (FCR)</b>			
<b>Περίοδος Διαγωνισμού</b>	<b>Διαφημιζόμενη Υπηρεσία [MW]</b>	<b>Μέση Τιμή Απόδοσης [€/kW]</b>	<b>Οριακή Τιμή Ισχύος* [€/kW]</b>
<b>EnBW TNG</b>			
<b>01.08.05 - 31.01.06</b>	<b>±73</b>	<b>68.92</b>	-
<b>01.02.06 - 30.06.06</b>	<b>±71</b>	<b>51.57</b>	53.30
<b>01.07.06 - 30.11.06</b>	<b>±71</b>	<b>50.49</b>	50.90
<b>01.12.06 - 31.05.07</b>	<b>±71</b>	<b>67.05</b>	74.88
<b>01.06.07 - 30.11.07</b>	<b>±71</b>	<b>62.61</b>	66.00

Πίνακας 4: Αποτελέσματα Διαγωνισμού για Αποθεματικό Έλεγχο FCR του Διαχειριστή Συστήματος Μεταφοράς EnBW TNG στη Γερμανία

Πηγή: [69]

- Automatic Frequency Restoration Reserve (aFRR)

<b>Automatic Frequency Restoration Reserve (aFRR)</b>			
<b>Περίοδος Διαγωνισμού</b>	<b>Διαφημιζόμενη Υπηρεσία [MW]</b>	<b>Μέση Τιμή Απόδοσης [€/kW]</b>	<b>Οριακή Τιμή Ισχύος* [€/kW]</b>
<b>EnBW TNG</b>			
<b>01.08.05 - 31.01.06</b>	<b>720</b>	<b>48.00</b>	-
<b>01.08.05 - 31.01.06</b>	<b>-390</b>	<b>25.03</b>	-



<b>01.02.06 - 30.06.06</b>	<b>720</b>	<b>39.70</b>	48.00
<b>01.02.06 - 30.06.06</b>	<b>-390</b>	<b>21.07</b>	27.00
<b>01.07.06 - 30.11.06</b>	<b>720</b>	<b>36.53</b>	45.93
<b>01.07.06 - 30.11.06</b>	<b>-390</b>	<b>23.43</b>	27.87
<b>01.12.06 - 31.05.07</b>	<b>720</b>	<b>46.83</b>	55.70
<b>01.12.06 - 31.05.07</b>	<b>-390</b>	<b>29.97</b>	35.00
<b>01.06.07 - 30.11.07</b>	<b>720</b>	<b>44.76</b>	47.70
<b>01.06.07 - 30.11.07</b>	<b>-390</b>	<b>24.23</b>	35.00

*Πίνακας 5: Αποτελέσματα Διαγωνισμού για Αποθεματικό Έλεγχο aFRR του Διαχειριστή Συστήματος Μεταφοράς EnBW TNG στη Γερμανία*

Πηγή: [69]

Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η μέση τιμή απόδοσης του αποθεματικού περιορισμού συχνότητας (FCR) είναι πιο υψηλή από τη μέση τιμή απόδοσης του αυτόματου αποθεματικού αποκατάστασης συχνότητας (aFRR). Ωστόσο, η αγορά του aFRR είναι μια τάξη μεγέθους μεγαλύτερη από την αγορά του FCR.

\*Η οριακή τιμή ισχύος αντιπροσωπεύει το οριακό κόστος αγοράς και πώλησης ενέργειας εντός των χονδρικών αγορών ηλεκτρικής ενέργειας.

### **5.1.1.2 Υποστήριξη Τάσης**

Με σκοπό την σταθερή λειτουργία του δικτύου, η τάση πρέπει να παραμένει μεταξύ κάποιων αποδεκτών ορίων. Για να επιτευχθεί αυτό, εφόσον η τάση εξαρτάται από την τυπολογία του δικτύου και τα τοπικά επίπεδα έγχυσης και απορρόφησης ενέργειας, οι διαχειριστές του συστήματος μεταφοράς και διανομής βασίζονται σε επικουρικές υπηρεσίες υποστήριξης τάσης. Η υποστήριξη τάσης μπορεί να επιτευχθεί και με τοπική αντιστάθμιση άεργου ισχύος, κάτι το οποίο ένας σταθμός αποθήκευσης είναι σε θέση να κάνει χρησιμοποιώντας έναν μετατροπέα και τα αντίστοιχα ηλεκτρονικά ισχύος.

Η ελκυστικότητα αυτής της επικουρικής υπηρεσίας εξαρτάται από την ύπαρξη χρηματικών αποζημιώσεων. Οι αμοιβές για τέτοιες υπηρεσίες παρέχονται μόνο στην Υψηλή Τάση (YT) και στην Υπερυψηλή Τάση (YYT) με διμερή συμβόλαια από τους αντίστοιχους ΔΣΜ, οι οποίοι καθορίζουν ξεχωριστά τις τιμές. Τα λεφτά που δαπανούνται για την αντιστάθμιση τάσης μέσω άεργου ισχύος, είναι σχετικά λίγα σε σχέση με τα λεφτά που δαπανούνται συνολικά για την αντιστάθμιση της τάσης, αφού σύμφωνα με την Ομοσπονδιακή Υπηρεσία Δικτύου της Γερμανίας Bundesnetzagentur (BNetzA), οι δαπάνες για αντιστάθμιση τάσης μέσω άεργου ισχύος στη Γερμανία, κυμαίνονται σε διψήφιο αριθμό εκατομμυρίων τα τελευταία χρόνια [61].

### 5.1.1.3 Αποκατάσταση Συστήματος

Μετά από πλήρη ή μερική διακοπή λειτουργίας του δικτύου, η διαδικασία ενεργοποίησης του συστήματος ονομάζεται αποκατάσταση συστήματος. Για την επαναφορά του συστήματος, χρειάζεται η ενεργοποίηση των μονάδων παραγωγής ενέργειας οι οποίες δεν χρειάζονται εξωτερική υποστήριξη (black-start units), όπως δηλαδή ένας σταθμός μπαταριών. Χρειάζεται επίσης η ενεργοποίηση γραμμών μεταφοράς και διανομής, καθώς και ο συγχρονισμός των υποσυστημάτων, τα οποία ένας σταθμός αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας με μπαταρίες είναι σε θέση να κάνει. Επίσης, έχει τη δυνατότητα παροχής εφεδρικής ενέργειας, ώστε να γεφυρώσει μια μικρή διακοπή ρεύματος.

Η δυνατότητα ενεργοποίησης χωρίς εξωτερική υποστήριξη (black start capability) δεν αναφέρεται με σαφήνεια στο κώδικα του δικτύου, οπότε οι απαιτήσεις γι' αυτή την υπηρεσία συμφωνούνται μεταξύ των διαχειριστών και τον αντίστοιχο ιδιοκτήτη του σταθμού αποθήκευσης που παρέχει την υπηρεσία αυτή [61].

### 5.1.1.4 Διαχείριση Συμφόρησης

Παρόλο που το σύστημα παροχής ενέργειας της Γερμανίας έχει υποστεί ένα μεγάλο μετασχηματισμό, δεν ισχύει το ίδιο και για τις υποδομές του δικτύου. Για τη διασφάλιση της σταθερότητας του συστήματος, εφαρμόζονται δύο μέθοδοι αντιμετώπισης της συμφόρησης.

Η *πρώτη μέθοδος* είναι η ανακατανομή παραγωγής ενέργειας των μονάδων και λαμβάνει χώρα σε βραχυπρόθεσμες συμφορήσεις. Στην μέθοδο αυτή, ο διαχειριστής του δικτύου προσαρμόζει την τροφοδοσία ενέργειας από συγκεκριμένες εγκαταστάσεις παραγωγής ή αποθήκευσης, παρεμβαίνοντας άμεσα στη διαδικασία σχεδιασμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας των συγκεκριμένων εγκαταστάσεων. Ουσιαστικά, ο σταθμός παραγωγής ενέργειας κοντά στο σημείο συμφόρησης μειώνει την παραγωγή του, όπου αντίστοιχα ένας σταθμός παραγωγής (ή αποθήκευσης) που δεν επηρεάζει το σημείο συμφόρησης, καλύπτει την επιπλέον ζήτηση αυξάνοντας την δική του παραγωγή. Οι σταθμοί αποθήκευσης ενέργειας θα μπορούσαν να βρίσκονται τοποθετημένοι σε κόμβους του δικτύου, μειώνοντας έτσι την συμφόρηση και γλυτώνοντας τις απότομες αλλαγές φορτίου στους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας. Η επιλογή των γεννητριών στις οποίες θα γίνει η παρέμβαση βασίζεται στην τοποθεσία τους στο δίκτυο, στη μορφή παραγωγής ενέργειας και στο μέγεθος που έχουν, το οποίο καθορίζει εάν ο επαναπροσδιορισμός θα γίνει βάσει κόστους (cost-based) ή βάσει αγοράς (market-based).

Σύμφωνα με τον νόμο για την Ενεργειακή Βιομηχανία (έκδοση EnWG 2015), οι φορείς εκμετάλλευσης μονάδων αποθήκευσης ή παραγωγής ενέργειας, με ονομαστική ισχύ η οποία είναι τουλάχιστον 10MW σε όλα τα επίπεδα δικτύου, είναι υποχρεωμένοι να συμμετέχουν στη διαχείριση

συμφόρησης βάσει κόστους [61]. Στην περίπτωση αυτή, η αποζημίωση και η αμοιβή για την υπηρεσία βασίζονται στο οριακό ωριαίο κόστος (marginal hourly cost) στην αγορά ενέργειας EPEX-SPOT του προηγούμενου μήνα. Οι υπόλοιπες μονάδες μπορούν να διαπραγματευτούν χωρίς περιορισμούς την συμμετοχή και την αμοιβή τους για ενεργή διαχείριση συμφόρησης. Αν οι αμοιβές αυτές όμως πρόκειται να καλυφθούν από τις χρεώσεις δικτύου, πρέπει να διασφαλιστεί ότι δεν είναι υπερβολικές. Μια προσέγγιση για τα οφέλη αυτής της υπηρεσίας μπορεί να προκύψει από το οριακό κόστος (marginal cost) των συμβατικών σταθμών παραγωγής ενέργειας [61].

Η *δεύτερη μέθοδος* είναι η εφεδρική χωρητικότητα ενέργειας, η οποία χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις μακροπρόθεσμων συμφορήσεων. Όταν εξαντληθεί το δυναμικό της πρώτης μεθόδου από όλους τους διαθέσιμους ενεργειακούς πόρους της αγοράς, οι ΔΣΜ προκειμένου να αποφευχθούν ακραία σημεία συμφόρησης, μπορούν να βασιστούν στις πρόσθετες δυνατότητες εφοδιασμού ενέργειας, δηλαδή τις εφεδρικές χωρητικότητες ενέργειας. Η πρακτική αυτή εφαρμόζεται από το χειμώνα του 2012 και κατοχυρώνεται από το νόμο EnWG της έκδοσης του 2015 [61].

Μια μονάδα αποθήκευσης με μπαταρίες έχει τη δυνατότητα προσφοράς αυτής της επιπλέον εφεδρικής χωρητικότητας ενέργειας, για την ανάπτυξη της οποίας όμως παίζουν καθοριστικό ρόλο οι συστημικές απαιτήσεις του νομοθέτη. Στον Κανονισμό Εφεδρικού Σταθμού (ResKV), οι ΔΣΜ έχουν την δυνατότητα να συνάψουν συμφωνίες για νέες μονάδες παραγωγής ενέργειας, οι οποίες θα χρησιμοποιούνται ως εφεδρικοί σταθμοί και θα υποχρεούνται να μένουν εκτός της αγοράς ενέργειας, ώστε να αποφευχθούν οι στρεβλώσεις στην αγορά ή το σύστημα. Στο τέλος της χρήσης των νέων μονάδων, μπορούν είτε να λειτουργούν ως σταθμοί εξυπηρέτησης του δικτύου για τους ΔΣΜ ή να αποσυναρμολογηθούν και να πωληθούν [61].

### **5.1.2 Εφαρμογές για μεμονωμένους χρήστες**

Πέραν των επικουρικών υπηρεσιών για το δίκτυο, οι σταθμοί αποθήκευσης με μπαταρίες βρίσκουν κι άλλες εφαρμογές όπως η εξυπηρέτηση μεμονωμένων χρηστών. Πιο κάτω θα δούμε μερικά παραδείγματα.

#### **5.1.2.1 Αδιάλειπτη Παροχή Ηλεκτρικού Ρεύματος**

Οι βιομηχανικές εταιρείες επηρεάζονται πολύ από την ποιότητα ισχύος και τις διακοπές ρεύματος. Ένα σύστημα Αδιάλειπτης Παροχής Ηλεκτρικού Ρεύματος (Uninterruptible Power Supply – UPS), με τη χρήση μπαταριών ή και συνδυασμό μπαταριών-γεννήτριας (ντίζελ ή φυσικού αερίου) μπορεί να παρέχει την τελική ποιότητα ισχύος που απαιτείται, καθώς και παροχή ενέργειας χωρίς διακοπές. Το χρηματικό όφελος για ένα σύστημα UPS μπορεί να γίνει μέσω δύο προσεγγίσεων. Η πρώτη προσέγγιση είναι μέσω της βελτιωμένης αξιοπιστίας των υπηρεσιών και κατά συνέπεια τις μειωμένες οικονομικές απώλειες που σχετίζονται με τις διακοπές ρεύματος, η οποία χρησιμοποιήθηκε και για

τον υπολογισμό του οφέλους της εφαρμογής αυτής. Η δεύτερη προσέγγιση είναι η τιμή που κοστολογούνται τα συστήματα UPS.

#### **5.1.2.2 Ιδιοκατανάλωση ανανεώσιμης ενέργειας**

Μια πολύ ελκυστική εφαρμογή της αποθήκευσης ενέργειας, είναι η δυνατότητα αποθήκευσης της ενέργειας που παράχθηκε από ανανεώσιμες πηγές, με σκοπό την κατανάλωση της σε περιόδους υψηλής ζήτησης. Δηλαδή, η παραγόμενη ανανεώσιμη ενέργεια θα καταναλώνεται όταν χρειάζεται, αντί να πουλιέται αναγκαστικά στο δίκτυο σε περίπτωση που δεν καταναλώνεται έναντι χαμηλότερου ποσού απ' ό,τι το κόστος αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την παραγωγή ενέργειας με τη χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων, αφού υπάρχει ένα χάσμα πέντε με έξι ωρών μέσα στη μέρα μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης, όπου η μέγιστη παραγωγή γίνεται το μεσημέρι αλλά η μέγιστη κατανάλωση γίνεται το απόγευμα. Αυτή είναι μια ενδιαφέρουσα εφαρμογή, τόσο για οικιακά συστήματα όσο και για συστήματα πιο μεγάλης κλίμακας, όπως εμπορικούς παραγωγούς φωτοβολταϊκών συστημάτων. Η εφαρμογή αυτή γίνεται όλο και πιο ελκυστική, καθώς το κόστος παραγωγής ενέργειας από φωτοβολταϊκά και οι τιμές πώλησης της ενέργειας αυτής έχουν μειωθεί, ενώ το κόστος αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται. Ωστόσο, η ελκυστικότητα της εφαρμογής αυτής επηρεάζεται και από τους κανονισμούς για τα τέλη ηλεκτρικής ενέργειας, όπου για παράδειγμα, λόγω της τροποποίησης EEG (γερμανικός νόμος για τις ΑΠΕ) το 2014 στη Γερμανία, τα πρόσφατα εγκατεστημένα συστήματα με ισχύ άνω των 10kW ή παραγωγής 10.000kWh/χρόνο πρέπει να πληρώσουν μερικά πρόσθετα τέλη ηλεκτρικής ενέργειας για ιδιοκατανάλωση [61].

#### **5.1.2.3 Διαχείριση Άεργου Ισχύος**

Οι μονάδες παραγωγής καθώς και οι διαχειριστές του δικτύου είναι συνήθως υποχρεωμένοι να παρέχουν φαινόμενη ισχύ, σύμφωνα με τη συγκεκριμένη ζήτηση ενεργού και άεργου ισχύος του τελικού χρήστη. Στο βιομηχανικό τμήμα όμως, το 50% της ενεργού ενέργειας μπορεί να ληφθεί χωρίς χρέωση ως άεργος ενέργεια, το οποίο αντιστοιχεί σε συντελεστή ισχύος ίσο με  $\cos\phi=0.89$  [61]. Όπως αναφέρθηκε και στην Υποστήριξη Τάσης πιο πάνω, ένας σύστημα αποθήκευσης με μπαταρίες είναι σε θέση να παρέχει υπηρεσίες σαν αυτή με τη χρήση μετατροπέα και ηλεκτρονικών ισχύος. Οι τιμές εξαρτώνται και πάλι από τις διαπραγματεύσεις.

#### **5.1.2.4 Διαχείριση Ζήτησης**

Η εξομάλυνση αιχμών φορτίου (peak load shaving) γίνεται συνήθως με ανάκληση των διαδικασιών που εκτελούνται τη στιγμή της αιχμής. Οπότε, η μετατόπιση φορτίου (load-shift) μέσω του συστήματος αποθήκευσης, εκτός από οικονομικά οφέλη, παρέχει και οφέλη που σχετίζονται με την παραγωγή, αφού οι επιχειρήσεις δεν θα χρειάζεται να σταματούν την εκτέλεση των διαδικασιών αλλά αντ' αυτού θα τροφοδοτούνται ενέργεια από το σύστημα αποθήκευσης και άρα δεν θα απορροφούν

ενέργεια από το δίκτυο. Η ενέργεια που εκφορτίστηκε μπορεί να ανακτηθεί σε μετέπειτα χρόνο (time-shift) από το δίκτυο.

Οι τιμές για τους βιομηχανικούς πελάτες με μέτρηση χωρητικότητας (capacity metering) και φορτίου (load metering) υπόκεινται σε συμβάσεις παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, ανάλογα με το επίπεδο της τάσης, αλλά και την ετήσια ζήτηση μέγιστης τάσης. Αυτό συνήθως χωρίζεται σε δύο περιπτώσεις: >2.500 ώρες/χρόνο με υψηλή τιμή ισχύος και χαμηλή τιμή ενέργειας και <2.500 ώρες/χρόνο με χαμηλή τιμή ισχύος και υψηλή τιμή ενέργειας [61]. Η δεύτερη σύμβαση έχει μεγάλο ενδιαφέρον για τη διαχείριση ζήτησης με χρήση αποθήκευσης και μπορεί να έχει διαφορετικά επίπεδα τιμών σε περιφερειακό επίπεδο. Το οικονομικό όφελος ενός συστήματος αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες που λειτουργεί ως διαχειριστής ζήτησης, εξαρτάται από την ετήσια περίοδο χρήσης. Συνήθως, οι δυνατότητες εξοικονόμησης κόστους είναι υψηλές όταν οι αιχμές φορτίου έχουν μικρές διάρκειες.

#### **5.1.2.5 Διαχείριση Κόστους Ενέργειας**

Οι προμηθευτές ενέργειας, σύμφωνα με το νόμο για την Ενεργειακή Βιομηχανία (έκδοση EnWG 2015), είναι υποχρεωμένοι να προσφέρουν τιμολόγια τα οποία είναι εξαρτόμενα από το φορτίο (load-variable) και την ώρα της ημέρας (daytime dependent). Τα τιμολόγια αυτά εξαρτώνται γενικά από την τελική κατανάλωση ενέργειας και είναι χωρισμένα κατά προσέγγιση σε βιομηχανικά και οικιακά. Δεν υπάρχει σαφής νομοθεσία και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα για τους καταναλωτές με ζήτηση ενέργειας μικρότερη από 100.000kWh/χρόνο, να υπάρχουν μόνο τυποποιημένα τιμολόγια τα οποία εξαρτώνται μόνο από το φορτίο (load dependent) ή την ώρα της ημέρας (daytime dependent). Αντίθετα, για τους καταναλωτές μεγάλης κλίμακας (όπως π.χ. ένας σταθμός αποθήκευσης), τα τιμολόγια είναι διαπραγματεύσιμα ξεχωριστά και εξαρτώνται κυρίως από τα μεμονωμένα πρότυπα κατανάλωσης τους [61]. Έτσι, ένας σταθμός αποθήκευσης μπορεί να εκμεταλλευτεί τη διαφορά μεταξύ των τιμολογίων μεταξύ των τελικών χρηστών και του σταθμού. Αυτή η εφαρμογή είναι παρόμοια με το Εμπόριο Ενέργειας που θα δούμε στη συνέχεια.

#### **5.1.3 Εμπόριο Ενέργειας**

Η Ευρωπαϊκή διαδικασία ελευθέρωσης του ενεργειακού τομέα (European liberalization of the energy sector), επιτρέπει σε όλα τα ενδιαφερόμενα μέρη να συμμετέχουν στο εμπόριο ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω της αγορών ανταλλαγής ισχύος (power exchange markets). Ειδικά για τους σταθμούς αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, παρέχεται η δυνατότητα βραχυπρόθεσμης εμπορίας ενέργειας εντός 1-2 ημερών στις αγορές EPEX SPOT, δηλαδή τις αγορές Ευρωπαϊκής Ανταλλαγής Ισχύος (European Power Exchange).

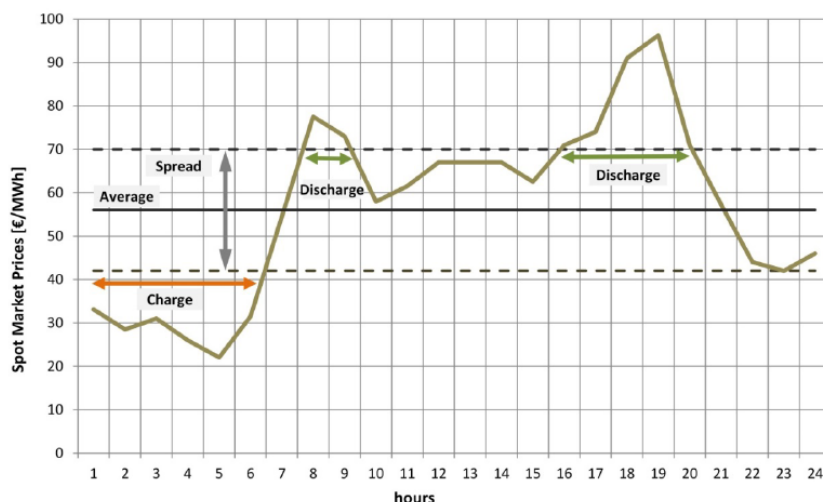
Στην αγορά της προηγούμενης μέρας (day-ahead market), η εμπορία ενέργειας σε καθημερινή στατική δημοπρασία (static auction) είναι δυνατή με 24ωρες συμβάσεις, οι οποίες γίνονται για μεμονωμένες

ώρες ή και ομάδες διαφόρων ωρών. Ο ελάχιστος όγκος ισχύος για το συμβόλαιο είναι τα 0.1MW για διάρκεια 30 και 60 λεπτών. Αντίθετα, η ενδοημερήσια αγορά (intraday market) είναι οργανωμένη ως μια συνεχής δημοπρασία, η οποία ξεκινά από τις 3 μ.μ. για την επόμενη ημέρα και κλείνει 30 λεπτά πριν την φυσική παράδοση της ενέργειας. Στην ενδοημερήσια αγορά, οι συναλλαγές είναι συμβόλαια 15, 30 και 60 λεπτών με ελάχιστο όγκο ισχύος 0.1MW [70].

Ουσιαστικά, οι μονάδες αποθήκευσης εκμεταλλεύονται την εμπορία ενέργειας, αγοράζοντας ενέργεια σε χαμηλή τιμή και πουλώντας την αργότερα σε ψηλότερη. Η ελκυστικότητα της εμπορίας ενέργειας εξαρτάται από τον όγκο των συναλλαγών, τις διαφορές μεταξύ των τιμών αλλά και το πόσο συχνά εμφανίζονται οι διαφορές αυτές. Και στις δύο αγορές έχουμε συνεχώς αυξανόμενο όγκο συναλλαγών, οι αυξήσεις του οποίου επηρεάζονται κυρίως από αλλαγές στο νομικό πλαίσιο και από την εξέλιξη των ΑΠΕ, αφού σύμφωνα με το διάταγμα για Εθνικό Σχέδιο Εξισορρόπησης (AuhsIMechV), η ηλεκτρική ενέργεια η οποία αμείβεται με τον νόμο για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (έκδοση EEG 2014), μπορεί να πωληθεί μόνο μέσω των δύο προαναφερθέντων αγορών (day-ahead & intraday) [61]. Και στις δύο αυτές αγορές, υπάρχει πιο συχνή εμφάνιση ακραίων μεμονωμένων τιμών, το οποίο αποτελεί κίνητρο για διαχρονικές συναλλαγές με σκοπό την εκμετάλλευση των διαφορών στην τιμή (arbitrage trading). Τα περιθώρια μεταξύ των τιμών όμως έχουν μειωθεί, γεγονός το οποίο περιορίζει τις ευκαιρίες εσόδων στην αγορά αυτή. Στην παρούσα διπλωματική θα μελετήσουμε στη συνέχεια αυτού του είδους την εφαρμογή ως τρόπο παραγωγής εισοδήματος για τον σταθμό αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες.

### 5.1.3.1 Παράδειγμα Εμπορίου Ενέργειας

Στην εικόνα που ακολουθεί μπορούμε να παρατηρήσουμε μια απλή τακτική φόρτισης και εκφόρτισης μπαταριών, εκμεταλλευόμενοι τη διασπορά της τιμής της ενέργειας.



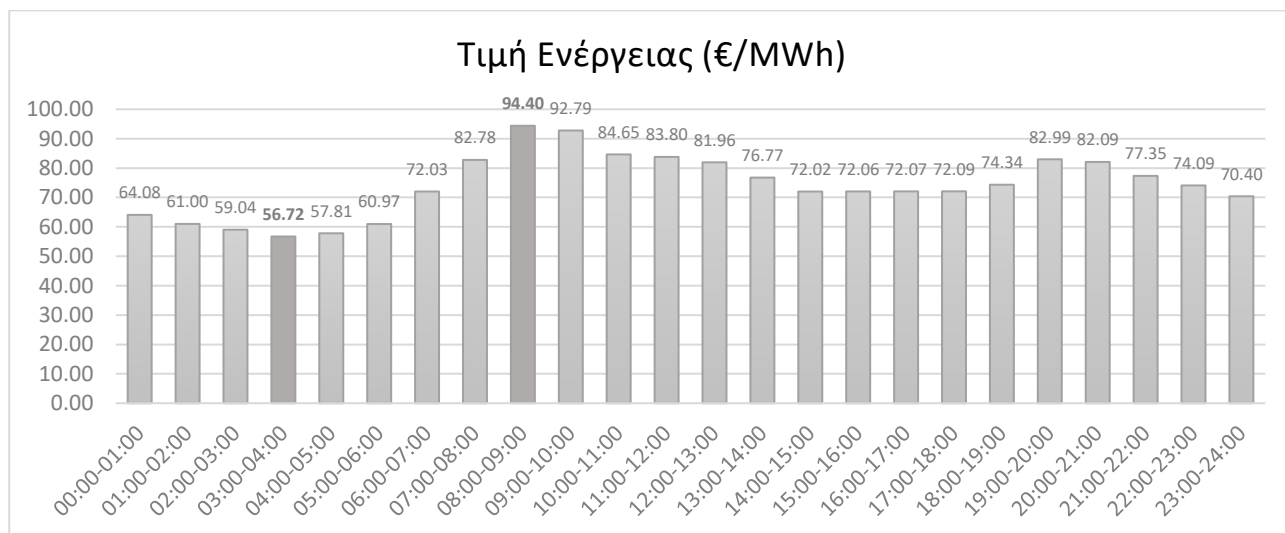
Γράφημα 3: Παράδειγμα Εμπορίου Ενέργειας

Πηγή: [71]

### 5.1.3.2 Παραδείγματα Αγορών

Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε κάποιες πραγματικές τιμές ενέργειας της Ευρωπαϊκής Αγοράς ενέργειας EPEX-SPOT (Αγορά ηλεκτρικής ενέργειας για την Αυστρία, Βέλγιο, Γαλλία, Γερμανία, Μεγάλη Βρετανία, Λουξεμβούργο, Ολλανδία και Ελβετία). Τα δεδομένα που ακολουθούν πάρθηκαν από την επίσημη ιστοσελίδα της αγοράς EPEX SPOT [72] και οι τιμές που θα παρουσιάσουμε ισχύουν για τις συναλλαγές έγιναν τις 11/04/21 στην αγορά CH, για προσφορές των 60 λεπτών.

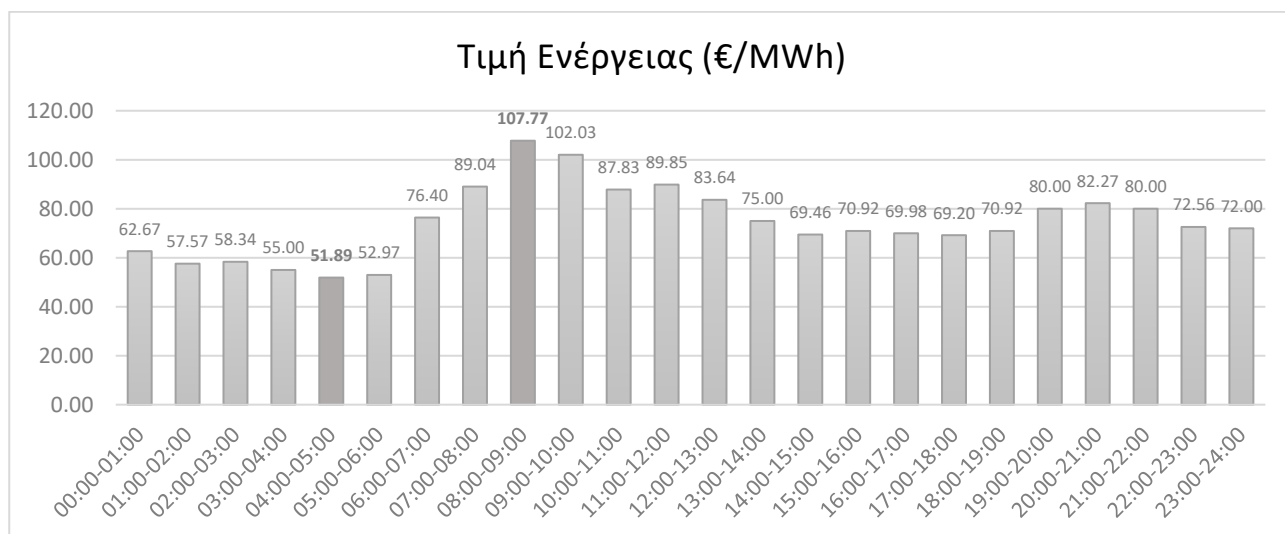
- **Day Ahead Market**



Γράφημα 4: Τιμές Ενέργειας στην αγορά Day Ahead

Παρατηρούμε ότι το μέγιστο όφελος από την αγοραπωλησία ενέργειας μπορεί να εξασφαλιστεί αγοράζοντας ενέργεια μεταξύ 03:00-04:00 (€56.72) και πουλώντας την μεταξύ 08:00-09:00 (€94.40).

- **Intraday Market**



Γράφημα 5: Τιμές Ενέργειας στην αγορά Intraday

Ομοίως, παρατηρούμε ότι το μέγιστο όφελος από την αγοραπωλησία ενέργειας μπορεί να εξασφαλιστεί αγοράζοντας ενέργεια μεταξύ 04:00-05:00 (€51.89) και πουλώντας την μεταξύ 08:00-09:00 (€107.77). Από τα παραπάνω γραφήματα, είναι εύκολο να συμπεράνουμε πως ένας σταθμός αποθήκευσης ενέργειας μπορεί να παράξει εισόδημα από την εκμετάλλευση της διαφοράς στις τιμές της ενέργειας, αγοράζοντας την ενέργεια σε χαμηλή τιμή και πουλώντας την σε υψηλότερη.

## **5.1.4 Υβριδοποίηση Φωτοβολταϊκού Πάρκου**

### **5.1.4.1 Περικοπή Ανανεώσιμης Ενέργειας**

Η διείσδυση των φωτοβολταϊκών στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται μέρα με την ημέρα, όπου κάτω υπό τις παρούσες πολιτικές εκτιμάται ότι το παγκόσμιο φωτοβολταϊκό δυναμικό, από τα 435 TWh που παράχθηκαν το 2017 θα φτάσει να παράγει μέχρι και 1334 TWh μέχρι το 2025 και μέχρι 2956 TWh μέχρι το 2040, ενώ με καινούριες πολιτικές η ενέργεια που θα παράγεται από τα φωτοβολταϊκά θα φτάσει σε ακόμη υψηλότερα επίπεδα [73]. Σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (International Energy Agency – IEA), τα Φωτοβολταϊκά είναι μία από τις πιο ραγδαία αναπτυσσόμενες τεχνολογίες και αναμένεται να γίνει η δεύτερη μεγαλύτερη εγκατεστημένη πηγή ενέργειας, με εγκατεστημένη ισχύ να ξεπερνά την αιολική τα επόμενα χρόνια, την υδροηλεκτρική εντός 15 ετών, αλλά και την ενέργεια από άνθρακα πριν το 2040 [74].

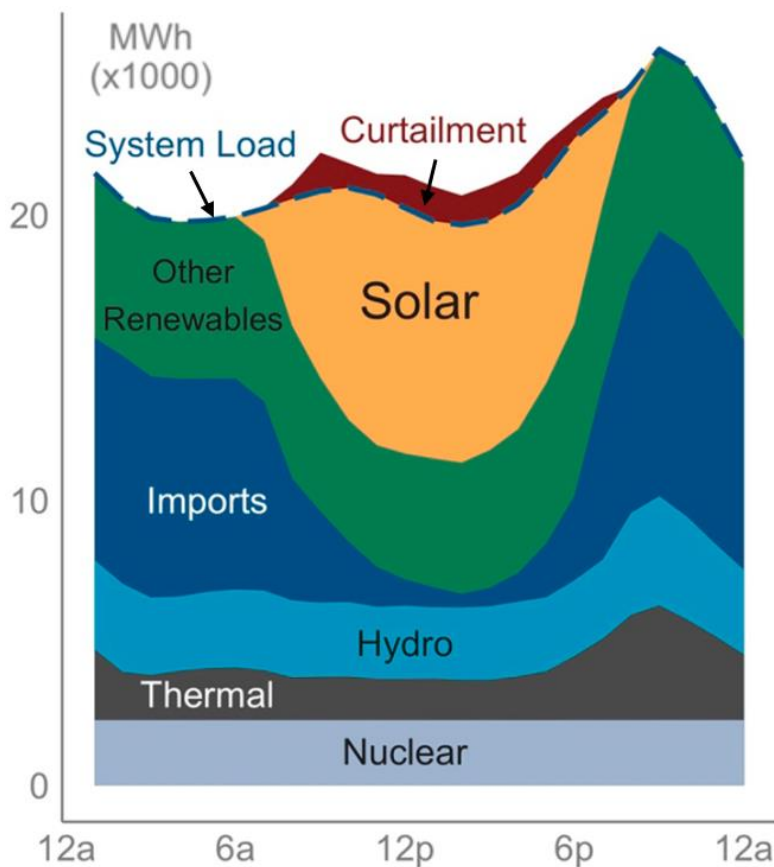
Αναπόφευκτο είναι όμως το γεγονός ότι, καθώς η Φωτοβολταϊκή ενέργεια αυξάνει τα μερίδια της στο δίκτυο και λόγω του ότι η παραγωγή της δεν είναι ελεγχόμενη αφού εξαρτάται από το ηλιακό δυναμικό, μερική διαθέσιμη φωτοβολταϊκή ενέργεια θα περικόπτεται από το δίκτυο και δεν θα χρησιμοποιείται αφού δεν θα υπάρχει αντιστοιχία φορτίου-παραγωγής σε περίπτωση ολικής χρησιμοποίησής της. Σε αντίθεση με τις μονάδες παραγωγής που χρησιμοποιούν καύσιμα, στις οποίες η περικομμένη ενέργεια αντιστοιχεί σε καύσιμα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή ενέργειας σε μετέπειτα στάδιο, η αχρησιμοποίητη φωτοβολταϊκή ενέργεια αντιπροσωπεύει ένα διαθέσιμο ηλιακό δυναμικό και άρα ανανεώσιμη ηλεκτρική ενέργεια, η οποία χάνεται για πάντα.

Ο όρος «curtailment», δηλαδή «περικοπή», είναι ο βιομηχανικός όρος που αντιπροσωπεύει την περικοπή της διαθέσιμης ανανεώσιμης ενέργειας. Η περικοπή της ενέργειας αυτής στην περίπτωση των φωτοβολταϊκών γίνεται με παρέμβαση στους αναστροφείς ενέργειας, είτε ρυθμίζοντάς τους έτσι ώστε η ενέργεια που εκχέουν προς το δίκτυο να είναι μικρότερη από την μέγιστη ενέργεια που θα μπορούσαν να δώσουν, είτε με την ολική αποσύνδεσή τους από το δίκτυο σε ακραίες περιπτώσεις. Οι λόγοι περικοπής της φωτοβολταϊκής ενέργειας είναι είτε τεχνικοί είτε οικονομικοί. Οι περισσότερες φωτοβολταϊκές περικοπές προέρχονται από κάποιο περιορισμό του συστήματος ο οποίος εμποδίζει το ηλεκτρικό δίκτυο να απορροφήσει περισσότερη Φωτοβολταϊκή ενέργεια.



## Παράδειγμα Curtailment

Στην πιο κάτω εικόνα παρουσιάζεται ένα πραγματικό συμβάν περικοπής φωτοβολταϊκής ενέργειας στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ, τον μήνα Μάιο του 2018. Η παραγωγή ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά ξεκίνησε στις 6 π.μ., όπου οι ευέλικτοι σταθμοί παραγωγής άρχισαν να χαμηλώνουν την παραγωγή τους ή βγήκαν εντελώς εκτός λειτουργίας, με σκοπό να αφήσουν χώρο στη παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά. Κάποιες μη ευέλικτες γεννήτριες ωστόσο δεν μπορούν να χαμηλώσουν σημαντικά την παραγωγή τους, τουλάχιστον βραχυπρόθεσμα, ή ακόμα και να βγουν εντελώς εκτός λειτουργίας. Αυτό οφείλεται σε μηχανικούς περιορισμούς του σταθμού ή στο γεγονός ότι η παραγωγή ενέργειας από αυτές της γεννήτριες παρέχει βασικές υπηρεσίες αξιοπιστίας δικτύου. Λόγω της μεγάλης παραγωγής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά, καταλήξαμε να έχουμε «υπερπροσφορά», όπου δηλαδή η συνολική παραγωγή του συστήματος άρχισε να ξεπερνάει το φορτίο, ακόμη και μετά τις περικοπές που έγιναν από το σύστημα στους ευέλικτους σταθμούς. Με σκοπό λοιπόν τη διατήρηση της ισορροπίας στο σύστημα, έπρεπε να γίνει περικοπή φωτοβολταϊκής ενέργειας συνολικά ίσης με 12,000MWh, η οποία αναπαρίσταται από την κόκκινη περιοχή (curtailment) στο πάνω μέρος, ώστε να υπάρξει αντιστοιχία μεταξύ φορτίου και παραγωγής ενέργειας.



Γράφημα 6: Παράδειγμα Curtailment

Πηγή: [75]

## Αιτίες περικοπής

Οι περικοπές ενέργειας οφείλονται κατά κύριο λόγο σε δύο είδη αναντιστοιχίας μεταξύ της φωτοβολταϊκής παραγωγής και του φορτίου. Η *πρώτη αναντιστοιχία*, είναι η συχνή χρονική αναντιστοιχία μεταξύ του πότε είναι διαθέσιμη η φωτοβολταϊκή παραγωγή και του πότε είναι διαθέσιμο το φορτίο να την απορροφήσει. Η χρονική αναντιστοιχία φαίνεται και στο πιο πάνω γράφημα, όπου η μέγιστη έξοδος της φωτοβολταϊκής παραγωγής σημειώθηκε το μεσημέρι, όταν η ζήτηση ήταν πολύ χαμηλή για να την απορροφήσει ολόκληρη. Αυτή επιδεινώνεται και από τα φωτοβολταϊκά συστήματα που βρίσκονται «πίσω από τον μετρητή», τα οποία μειώνουν το καθαρό φορτίο καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, μικραίνοντας έτσι το φορτίο που μπορεί να απορροφήσει την φωτοβολταϊκή ενέργεια από τους μεγάλους φωτοβολταϊκούς σταθμούς (utility-scale). Η *δεύτερη αναντιστοιχία*, είναι η γεωγραφική αναντιστοιχία. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα βρίσκονται συνήθως σε ηλιόλουστες και ξηρές περιοχές, ενώ οι περιοχές που μπορούν να απορροφήσουν την παραγόμενη ενέργεια βρίσκονται αλλού. Αυτό διότι για την ανάπτυξη ενός φωτοβολταϊκού πάρκου λαμβάνονται υπόψη τα κόστη της γης, αλλά και διότι στο κέντρο όπου βρίσκονται τα περισσότερα φορτία, δεν υπάρχει διαθέσιμη γη για μεγάλη ανάπτυξη. Η αναντιστοιχία αυτή προκύπτει σε περιοχές όπου η πλούσια ηλιακή ακτινοβολία βρίσκεται μακριά από τα κεντρικά φορτία και όταν υπάρχει περιορισμένη χωρητικότητα μετάδοσης στο δίκτυο που συνδέει τις δύο περιοχές [75]. Όσο το μερίδιο των φωτοβολταϊκών στην παραγωγή ενέργειας συνεχίζει να αυξάνεται, θα αυξάνεται και η περικοπή της ενέργειας αυτής. Ενδεικτικό παράδειγμα είναι η Καλιφόρνια, όπου η περικοπή φωτοβολταϊκής ενέργειας διπλασιάστηκε από το 2018 ως το 2019 [76].

## Περικοπή Ενέργειας σε αγορές-κλειδιά ανά το παγκόσμιο

Στη συνέχεια, παραθέτουμε ένα πίνακα ο οποίος παρουσιάζει τα ποσοστά περικοπής φωτοβολταϊκής ενέργειας σε αγορές-κλειδιά ανά το παγκόσμιο, τους λόγους περικοπής της ενέργειας αυτής, καθώς και τρόπους μετριασμού του προβλήματος αυτού.

Τοποθεσία	Φωτοβολταϊκό ποσοστό ενέργειας	Περικομμένη Φωτοβολταϊκή Ενέργεια το 2018 (MWh)	Ποσοστό Φωτοβολταϊκής Ενέργειας που δέχτηκε περικοπή	Αιτία Περικοπής	Τρόπος μετριασμού του προβλήματος
Χιλή	6%	150,000	6%	Γεωγραφική αναντιστοιχία ΦΒ πάρκου/φορτίου	Επέκταση γραμμών μετάδοσης
Κίνα	2%	5,490,000	3%	Γεωγραφική αναντιστοιχία ΦΒ πάρκου/φορτίου	Επέκταση γραμμών μετάδοσης
Γερμανία	7%	116,470	0.3%	Συμφόρηση δικτύου	Απαιτήσεις αποζημίωσης

<b>Καλιφόρνια ΗΠΑ</b>	13%	432,000	1.5%	Υπερπροσφορά στο σύστημα	Εξισορρόπηση της επέκτασης της αγοράς σε όλο το σύστημα
<b>Τέξας</b>	1%	270,000	8.4%	Γεωγραφική αναντιστοιχία ΦΒ πάρκου/φορτίου	Επέκταση γραμμών μετάδοσης
<b>Αριζόνα</b>	4%	17,100	2.9%	Υπερπροσφορά στην περιφερειακή αγορά	<b>Αποθήκευση Ενέργειας</b>
<b>Χαβάη</b>	2%	4,100	2.7%	Τοπική υπερπροσφορά	<b>Αποθήκευση Ενέργειας</b>

Πίνακας 6: Ποσοστά, αιτίες και τρόποι αντιμετώπισης περικοπής Φωτοβολταϊκής ενέργειας σε αγορές-κλειδιά ανά το παγκόσμιο

Πηγή: [75]

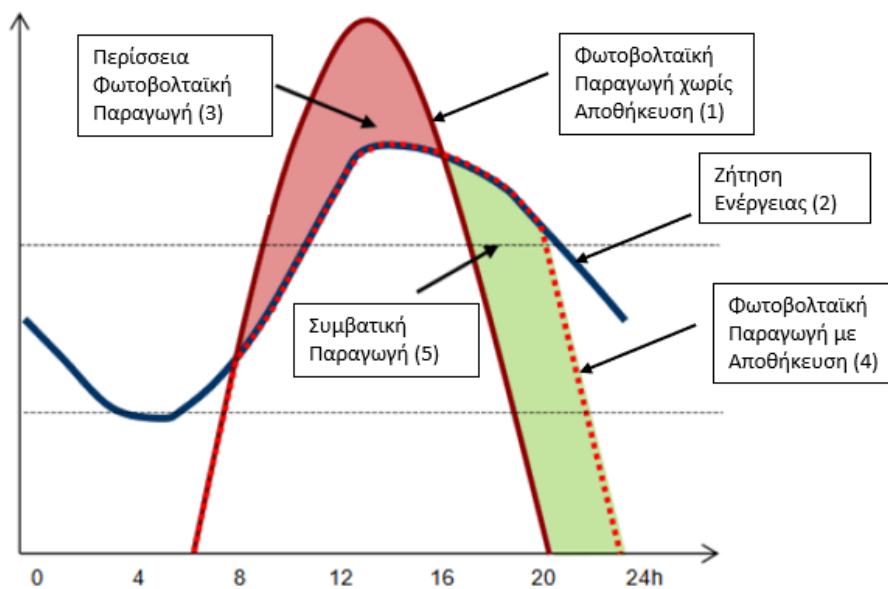
Παρατηρούμε ότι στην περίπτωση της υπερπροσφοράς, τόσο στην περιφερειακή όσο και στην τοπική αγορά, ο τρόπος μετριασμού του προβλήματος είναι η αποθήκευση ενέργειας.

#### 5.1.4.2 Οικονομικό Αντίκτυπο Curtailment

Η περικοπή της ενέργειας των φωτοβολταϊκών σταθμών επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τις επενδύσεις σε αυτά και θα μπορούσε να εμποδίσει την μελλοντική ανάπτυξη Φωτοβολταϊκών σταθμών. Ως αποτέλεσμα, οι διάφορες πρακτικές του δικτύου και της αγοράς αποθαρρύνουν τις περικοπές, όπως βοηθητικά προγράμματα για αντιστάθμιση των σταθμών παραγωγής για περιορισμένη παραγωγή και απαγόρευση διασύνδεσης συστημάτων αν πρόκειται να οδηγήσουν σε περικοπές. Τα καταναμημένα φωτοβολταϊκά πίσω από τον μετρητή, δηλαδή τα οικιακά/εμπορικά συστήματα που είναι μικρού σκέλους, δεν ελέγχονται από τους χειριστές του δικτύου και άρα δεν υπόκεινται σε περιορισμό. Εξάιρεση αυτού είναι η Γερμανία, όπου ο Γερμανικός Νόμος για τις ΑΠΕ απαιτεί την εγκατάσταση καταναμημένου Φωτοβολταϊκού συστήματος με μετατροπείς που επιτρέπουν στους χειριστές του δικτύου να επέμβουν στα συστήματα αυτά ανάλογα με τις ανάγκες του δικτύου [75].

#### 5.1.4.3 Παραδείγματα Υβριδοποίησης

1. Πιο κάτω βλέπουμε ένα γράφημα στο οποίο φαίνεται η καμπύλη φορτίου και παραγωγής φωτοβολταϊκού με αποθήκευση (υβριδικό) αλλά και χωρίς αποθήκευση (σκέτο φωτοβολταϊκό) ενέργειας.



Γράφημα 7: Παράδειγμα Υβριδοποίησης (1)

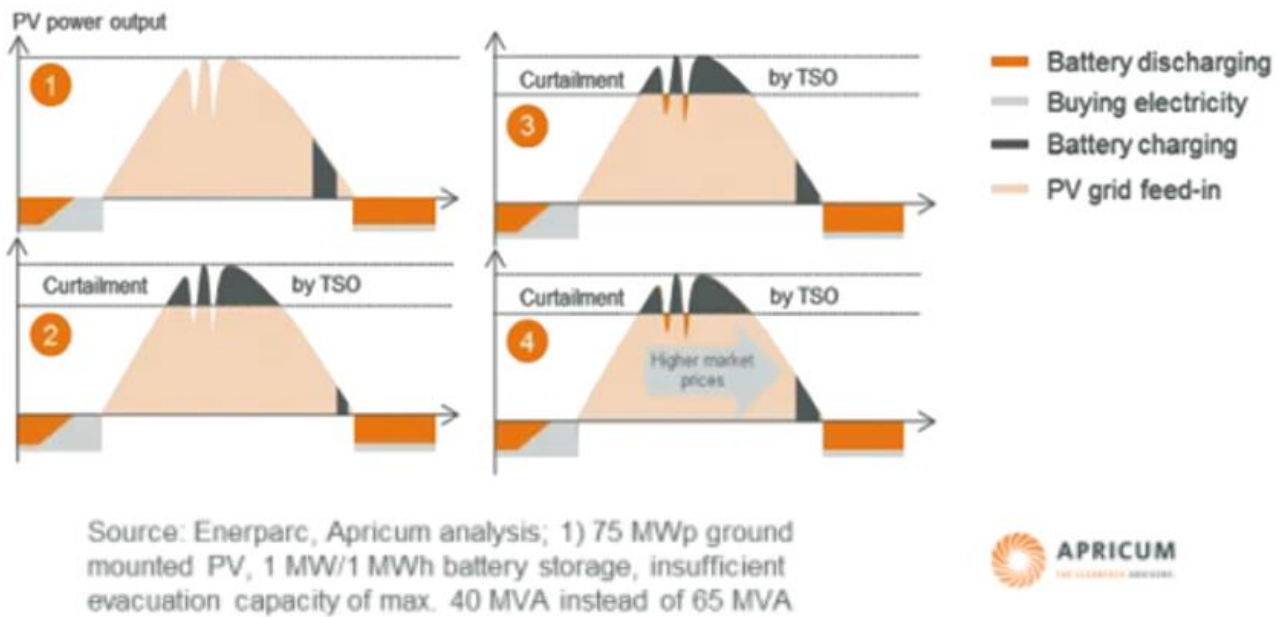
Πηγή: [77]

Η κόκκινη συνεχής γραμμή (1) αντιστοιχεί στην παραγωγή του ΦΒ μας χωρίς αποθήκευση, η οποία δεν ακολουθεί το φορτίο (2) και δημιουργείται η κόκκινη περιοχή (3) η οποία αντιστοιχεί στην περίσσεια φωτοβολταϊκή ενέργεια που θα χαθεί λόγω curtailment.

Η κόκκινη διακεκομμένη γραμμή (4) αντιστοιχεί στην παραγωγή του ΦΒ μας με αποθήκευση, όπου η κόκκινη περιοχή (3) θα αντιστοιχεί πλέον σε αποθήκευση ενέργειας και η παραγόμενη φωτοβολταϊκή ενέργεια θα αξιοποιείται πλήρως, εκφορτίζοντας την αποθηκευμένη από πριν ενέργεια με σκοπό την πλήρη κάλυψη του φορτίου για όσο χρονικό διάστημα καθίσταται δυνατό.

Η πράσινη περιοχή (5) είναι η παραγωγή ενέργειας από συμβατικούς σταθμούς, η οποία στην περίπτωση απλού φωτοβολταϊκού λαμβάνει χώρα για να καλύψει το επιπλέον φορτίο, ενώ στην περίπτωση της υβριδοποίησης του σταθμού, δηλαδή συνδυασμός φωτοβολταϊκού και αποθήκευσης, δεν χρειάζεται αφού το φορτίο θα καλυφτεί από την αποθηκευμένη ανανεώσιμη ενέργεια και άρα θα γίνει πλήρης αξιοποίηση της φωτοβολταϊκής ενέργειας του πάρκου μας.

2. Μια αποθηκευτική μονάδα, μπορεί να εκμεταλλευτεί την ενέργεια από μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση η οποία βρίσκεται στον ίδιο χώρο, απορροφώντας ενέργεια και αξιοποιώντας την με διάφορους τρόπους. Πιο κάτω θα δούμε σαν παράδειγμα μια ανάλυση που έγινε από την APRICUM, στην οποία μελετήθηκε ένα φωτοβολταϊκό πάρκο με ισχύ 75MWp και σύστημα μπαταριών 1MW/1MWh.



Γράφημα 8: Παράδειγμα Υβριδοποίησης (2)

Πηγή: [78]

Η ανάλυση χωρίζεται σε 4 περιπτώσεις:

1. Χωρίς περιορισμό παραγωγής (curtailment) του φωτοβολταϊκού. Στην περίπτωση αυτή, οι μπαταρίες φορτίζονται κατά τη διάρκεια της ημέρας απορροφώντας κάποια ενέργεια που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά, με σκοπό την τροφοδότηση των εγκαταστάσεων του πάρκου το βράδυ.
2. Ίδια με την περίπτωση 1, αλλά τώρα και με περιορισμό παραγωγής του φωτοβολταϊκού (curtailment). Στην περίπτωση αυτή, η ενέργεια που διαφορετικά θα πήγαινε χαμένη από τον περιορισμό της παραγωγής, απλά δεν εκχέεται στο δίκτυο και αντ' αυτού φορτίζει τις μπαταρίες.
3. Ίδια περίπτωση με το 2, με την διαφορά ότι τώρα έχουμε και διαχείριση ενεργού ισχύος. Δηλαδή, μπορούμε να τροφοδοτήσουμε ενέργεια το δίκτυο συνδυάζοντας την παραγωγή του φωτοβολταϊκού με την αποθηκευμένη ενέργεια των μπαταριών, λειτουργώντας σαν «συμβατικός» σταθμός για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, παρέχοντας σταθερή ισχύ.
4. Ίδια περίπτωση με το 3, με τη διαφορά ότι τώρα πουλάμε την αποθηκευμένη ενέργεια σε χρονική στιγμή όπου οι τιμές ενέργειας είναι υψηλότερες.

Το σύστημα αποθήκευσης προστέθηκε διότι λόγω της συμφόρησης του υποσταθμού στον οποίο ήταν συνδεδεμένο το φωτοβολταϊκό σύστημα, προκαλείτο μείωση της απόδοσης του φωτοβολταϊκού συστήματος κατά 20% μέγιστο. Ο λόγος που γινόταν αυτό, είναι οι περικοπές που γίνονταν στην παραγωγή του φωτοβολταϊκού σταθμού με σκοπό την αποφυγή της υπερφόρτωσης του υποσταθμού ή και του δικτύου γενικότερα. Με τη χρήση των μπαταριών, οι περικοπές παραγωγής

αντικαθίστανται με φόρτιση των μπαταριών και πώληση ή χρήση της ενέργειας αυτής σε μεταγενέστερο στάδιο. Ωστόσο, στο συγκεκριμένο παράδειγμα τα αναμενόμενα οφέλη δεν υλοποιήθηκαν και η υβριδοποίηση θεωρήθηκε πρόκληση για τον ιδιοκτήτη της εγκατάστασης. Με χρήση πρόσθετων ροών εσόδων όπως η παροχή επικουρικών υπηρεσιών, πιθανών να επιτευχθεί οικονομική βιωσιμότητα [78].

Γενικά, το curtailment μπορεί να προκύψει και στα αιολικά πάρκα ή γενικά στα πάρκα με μη ελεγχόμενη παραγωγή, στα οποία η προσθήκη σταθμού αποθήκευσης θα φέρει παρόμοια αποτελέσματα με τα φωτοβολταϊκά υβριδικά πάρκα. Στην παρούσα διπλωματική θα μελετήσουμε μόνο τα φωτοβολταϊκά υβριδικά πάρκα.

## **5.2 Νομικές Χρεώσεις και Εξαιρέσεις**

Στο υποκεφάλαιο αυτό, θα δούμε τις νομικές χρεώσεις που υφίστανται στους σταθμούς παραγωγής ενέργειας, καθώς και τις εξαιρέσεις που υπάρχουν για τα πάρκα αποθήκευσης με σκοπό την προώθησή τους.

### **5.2.1 Χρεώσεις**

Ένας σημαντικός παράγοντας ο οποίος επηρεάζει την αποδοτικότητα των εφαρμογών ενός σταθμού αποθήκευσης με μπαταρίες, είναι οι νομικές χρεώσεις για την κατανάλωση ενέργειας, οι οποίες στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας των κατοικιών ανέρχονται σε ποσοστό πάνω του 50% της τελικής τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας [79]. Οι χρεώσεις αυτές αποτελούνται από χρεώσεις δικτύου, φόρους ηλεκτρικής ενέργειας, τέλη άδειας, την εισφορά (levy) για τον νόμο περί ΑΠΕ της Γερμανίας (EEG), την υπεράκτια εισφορά σύμφωνα με τον νόμο για την Ενεργειακή Βιομηχανία (έκδοση EnWG 2015), την εισφορά συμπαραγωγής και τις εισφορές σύμφωνα με το νόμο StromNEV (Κανονισμοί που διέπουν τις χρεώσεις ενεργειακού δικτύου της Γερμανίας, βασιζόμενοι στον EnWG) αλλά και την διάταξη AbLaV (Διάταξη για Διακοπτόμενα Φορτία της Γερμανίας) [61].

Οι ηλεκτρικές συσκευές αποθήκευσης ενέργειας θεωρούνται τελικοί καταναλωτές όσον αφορά την απορρόφηση ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο (για αποθήκευσή της). Αυτό υποστηρίζεται από το επιχείρημα ότι η διαδικασία μετατροπής της ενέργειας (από ηλεκτρική σε χημική στην περίπτωση των μπαταριών), καταναλώνει ενέργεια και άρα έχουμε απώλειες απόδοσης. Ωστόσο, όσον αφορά τα ηλεκτρικά συστήματα αποθήκευσης, υπάρχουν μερικές εξαιρέσεις για τις χρεώσεις δικτύου, την εισφορά EEG και τον φόρο ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίες μαζί με τον ΦΠΑ, αποτελούν τις υψηλότερες επιβαρύνσεις.

## 5.2.2 Εξαιρέσεις

- **Χρεώσεις Δικτύου**

Σύμφωνα με τον νόμο StromNEV, οι χρεώσεις δικτύου μπορούν να μειωθούν για συστήματα αποθήκευσης και άλλους άτυπους καταναλωτές. Οι χρεώσεις δικτύου μπορούν να μειωθούν έως και 20%, εάν το μέγιστο φορτίο (max load) αποκλίνει ουσιαστικά από την αιχμή φορτίου (peak load). Μεμονωμένες χρεώσεις δικτύου είναι δυνατόν να καθοριστούν για καταναλωτές με υψηλή ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, με δυνατότητα μείωσης έως και 10%. Σύμφωνα με τον EnWG, τα συστήματα που τίθενται σε λειτουργία από τον Αύγουστο του 2011 και για τα επόμενα 15 χρόνια, δεν υποχρεούνται να πληρώνουν χρεώσεις δικτύου για περίοδο 20 χρόνων για ηλεκτρική ενέργεια η οποία αποθηκεύεται στο σύστημα τους, με προϋπόθεση την ανατροφοδότηση της στον ίδιο κόμβο δικτύου [80].

- **Εισφορά EEG**

Στο νόμο περί ΑΠΕ της Γερμανίας (EEG), υπάρχει μια εξαίρεση όσον αφορά την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας, με την οποία δεν εφαρμόζεται η ανάγκη για πληρωμή της εισφοράς EEG, εάν η ηλεκτρική ενέργεια που αποθηκεύεται πρόκειται να ανατροφοδοτηθεί στο δίκτυο [80]. Αν δεν γίνει ανατροφοδότηση της ενέργειας, τότε μπορεί να θεωρηθεί αυτοκατανάλωση και ο ΔΣΜ μπορεί να απαιτήσει για αυτοκατανάλωση ενέργειας πάνω από 10.000 kWh/χρόνο εισφορά EEG 45% (ποσοστό που ισχύει από το 2017) [61].

- **Φόρος Ηλεκτρικής Ενέργειας**

Σύμφωνα με την Ομοσπονδιακή Κυβέρνηση, οι μπαταρίες μπορούν να θεωρηθούν μέρος του δικτύου εφοδιασμού και συνεπώς δεν πρέπει να καταβληθεί φόρος ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης, σύμφωνα με τον νόμο περί φορολογίας ηλεκτρικής ενέργειας (StromStG), εάν η ηλεκτρική ενέργεια μεταφερθεί από μια μονάδα ΑΠΕ απευθείας στην αποθήκευση, δηλαδή χωρίς να χρησιμοποιηθεί το δημόσιο δίκτυο (όπως για παράδειγμα σε υβριδικό πάρκο με φωτοβολταϊκά και μπαταρίες), οι φόροι ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να παραλειφθούν.

## 5.3 Ευκαιρίες στην αγορά της Γερμανίας

Πιο κάτω θα παρουσιάσουμε ένα πίνακα, στον οποίο αναγράφονται τα πιθανά εισοδήματα που μπορεί να αποφέρει η κάθε εφαρμογή που περιγράψαμε πιο πάνω, εκτός της υβριδοποίησης. Οι τιμές αυτές είναι προσεγγιστικές και προέκυψαν μετά από μελέτη της αγοράς της Γερμανίας σύμφωνα με το [61].

Εφαρμογή	Έσοδα	Μέγεθος Αγοράς
<b>Επικουρικές Υπηρεσίες</b>		
<b>Υποστήριξη Συχνότητας</b>		
FCR	21.7-23.4 €/MWh	578 MW
aFRR +	6.0-7.5 €/MWh	2,053 MW
aFRR -	3.0-4.0 €/MWh	2,027 MW
mFRR +	0.6-1.0 €/MWh	2,044 MW
mFRR -	1.8-2.7 €/MWh	2,146 MW
<b>Υποστήριξη Τάσης</b>	0.6-8.7 €/MVarh	-
<b>Αποκατάσταση Συστήματος</b>	6.85 €/MWh	85MW (προσεγγιστικά)
<b>Διαχείριση Συμφόρησης</b>		
Ανακατανομή Παραγωγής Ενέργειας	9.75-47.54 €/MWh	16,000 GWh
<b>Εφαρμογές για μεμονωμένους χρήστες</b>		
<b>UPS</b>	952 €/MWh	-
<b>Αυτοπρομήθεια ΑΠΕ</b>		
Νοικοκυριά	149-189 €/MWh	-
Βιομηχανία	30.3-74.3 €/MWh	-
<b>Διαχείριση Αεργου Ισχύος</b>	13 €/MVarh	-
<b>Διαχείριση Ζήτησης</b>	15 €/MWh	-
<b>Διαχείριση Κόστους Ενέργειας</b>		
Νοικοκυριά	9-98 €/MWh	-
Βιομηχανία	3.5 €/MWh	-
<b>Άλλες Εφαρμογές</b>		
<b>Εμπόριο Ενέργειας</b>		
Day-ahead market	<b>31.6-35.1 €/MWh</b>	264 TWh
Intraday market		38 TWh

Πίνακας 7: Πιθανά Έσοδα ανά Εφαρμογή ενός Συστήματος Αποθήκευσης Ενέργειας Μπαταριών στην αγορά της Γερμανίας

Πηγή: [61]

Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η πιο κερδοφόρα εφαρμογή για σταθμούς μεγάλου σκέλους είναι το εμπόριο ενέργειας, το οποίο και θα μελετήσουμε στη συνέχεια.

## 5.4 Νομοθετικά πλαίσια για Αποθήκευση Ενέργειας

Η είσοδος των τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας στο δίκτυο βρίσκεται ακόμα στα αρχικά της στάδια. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την έλλειψη νομοθετικών πλαισίων που απευθύνονται αποκλειστικά στην αποθήκευση ενέργειας, αφού οι περισσότερες χώρες της Ευρώπης δεν έχουν δημιουργήσει καινούριες νομοθεσίες ειδικά για αυτήν.

Πιο κάτω, θα δούμε μερικά παραδείγματα χωρών σχετικά με το πως αντιμετωπίζουν νομοθετικά μέχρι στιγμής την αποθήκευση ενέργειας.



### 5.4.1 Ηνωμένο Βασίλειο

Στην Μεγάλη Βρετανία, η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας δεν ορίζεται ξεχωριστά στο νομοθετικό της πλαίσιο. Αυτή τη στιγμή, όσον αφορά την αδειοδότηση, η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας θεωρείται σαν παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και η αδειοδότηση προκύπτει βάσει του νόμου περί ηλεκτρικής ενέργειας 1989 (Electricity Act 1989) [81]. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα έργα με ισχύ μεγαλύτερη των 100MW να πρέπει να διαθέτουν άδεια παραγωγής. Οι κάτοχοι άδειας παραγωγής έχουν ορισμένες υποχρεώσεις, όπως η συμμόρφωση με των Κώδικα Δικτύου (Grid Code).

Παρόλο που το Υπουργείο Επιχειρήσεων, Ενέργειας & Βιομηχανικής Στρατηγικής (“BEIS”) και η Ρυθμιστική Αρχή για τις αγορές φυσικού αερίου και ηλεκτρικής ενέργειας της Μεγάλης Βρετανίας (Ofgem) ήταν υποστηρικτικοί και αναγνωρίζουν τα οφέλη και την ευελιξία που προσφέρει η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας, δεν υπάρχει συγκεκριμένη νομοθεσία ή ρύθμιση για την αποθήκευση επί του παρόντος [81]. Ως αποτέλεσμα, η ανάπτυξη ενός βιώσιμου επιχειρηματικού μοντέλου είναι πιο περίπλοκη σε σχέση με τις τεχνολογίες ανανεώσιμης παραγωγής. Για να καταστεί ένα επιχειρηματικό μοντέλο βιώσιμο, μπορεί να απαιτείται ο συνδυασμός πολλαπλών ροών εσόδων.

### 5.4.2 Ολλανδία

Η Ολλανδία δεν έχει συγκεκριμένη νομοθεσία για την αποθήκευση ενέργειας. Ο νομοθέτης είχε συντάξει ένα νομοσχέδιο το οποίο συνδυάζει και βελτιώνει τον ισχύοντα νόμο για την ηλεκτρική ενέργεια και το φυσικό αέριο, γνωστό και ως “STROOM”, το οποίο προέβλεπε περισσότερο χώρο για έρευνα και ανάπτυξη, μεταξύ άλλων, και των έργων αποθήκευσης ενέργειας. Ωστόσο, το νομοσχέδιο απορρίφθηκε και το Υπουργείο Οικονομικών συντάσσει ξανά ένα νομοσχέδιο για διευκόλυνση πειραματικών έργων αποθήκευσης. Το Υπουργείο Οικονομικών θέλει στη συνέχεια να προσαρμόσει την ολλανδική νομοθεσία, ανάλογα με τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από τα έργα έρευνας και ανάπτυξης [82].

### 5.4.3 Ισπανία

Η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας δεν ρυθμίζεται ξεχωριστά στο ισπανικό νομοθετικό πλαίσιο. Όσον αφορά την αδειοδότηση, αυτή τη στιγμή θεωρείται σαν παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και η αδειοδότηση προκύπτει βάση του νόμου περί ηλεκτρικής ενέργειας 2013 (Electricity Act 2013) [83]. Ως αποτέλεσμα, τα έργα αποθήκευσης ενέργειας που εξαρτώνται από υδροηλεκτρικούς σταθμούς, πρέπει να διαθέτουν εξουσιοδότηση ή άδεια για την άσκηση της δραστηριότητάς τους. Η κατοχή άδειας παραγωγής θέτει κάποιες υποχρεώσεις στον κάτοχό της, όπως η συμμόρφωση με τον κανονισμό ασφαλείας, η έκδοση πληροφοριών στις δημόσιες αρχές, η πληρωμή των διόδων του ηλεκτρικού συστήματος και η εκκένωση της παραγόμενης ενέργειας. Ωστόσο, υπάρχει κάποια χρηματοδότηση για ερευνητικούς και αναπτυξιακούς σκοπούς, όπως η υποστήριξη που παρέχεται

από την Ευρωπαϊκή Ένωση μέσω του προγράμματος FEDER της Ευρωπαϊκής Περιφέρειας Ανάπτυξης, η οποία παρέχεται στην έρευνα της “Red Eléctrica Española” [83].

#### **5.4.4 Ιταλία**

Στην Ιταλία, παρόλο που η αγορά αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας αναπτύσσεται με γρήγορους ρυθμούς, το νομοθετικό πλαίσιο δεν καλύπτει πλήρως όλα τα κύρια χαρακτηριστικά αυτής της αγοράς. Μέχρι πριν λίγα χρόνια, η νομοθεσία αναφερόταν μόνο στην άντληση υδροηλεκτρικών και καμία άλλη μορφή αποθήκευσης ενέργειας. Η μεγάλη ανάπτυξη και είσοδος των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων αύξησε τους κινδύνους που αντιμετώπιζε το ιταλικό δίκτυο. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη του νομοθετικού διατάγματος αρ.28/2011, το οποίο δηλώνει ότι ο ΔΣΜ μπορεί να αναπτύξει συστήματα αποθήκευσης, με σκοπό την αύξηση της παραγωγής από διακοπτόμενες πηγές ενέργειας [84]. Ακόμα, ο ΔΣΜ μπορεί να έχει τη δυνατότητα ανάπτυξης και διαχείρισης καταναμημένων εγκαταστάσεων αποθήκευσης με τη χρήση μπαταριών. Το ίδιο μπορεί να γίνει και από τους Διαχειριστές Συστήματος Διανομής (ΔΣΔ) στα δικά τους δίκτυα. Η νομοθεσία που περιγράφεται πιο πάνω αποτελεί το κύριο νομοθετικό πλαίσιο στην Ιταλία όσον αφορά τον τομέα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Ακόμα, μια βοηθητική νομοθεσία υιοθετήθηκε από την Ιταλική Ρυθμιστική Αρχή για το Φυσικό αέριο και το Νερό (“AEEG”), η οποία παρέχει το νομικό πλαίσιο για την αποθήκευση ενέργειας που συνδέεται με το δίκτυο από μη ρυθμιζόμενα υποκείμενα, όπως οι παραγωγοί ενέργειας ή οι τελικοί χρήστες [84].

#### **5.4.5 Ελλάδα**

Στην Ελλάδα δεν υπάρχει ρυθμιστικό πλαίσιο για εγκαταστάσεις κεντρικής αποθήκευσης ενέργειας. Για τον λόγο αυτό, η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ), με απόφαση της ολομέλειάς της, προχώρησε σε ερμηνευτική εγκύκλιο με την οποία ορίζει ότι η αδειοδότηση τέτοιου είδους έργων μπορεί να γίνει με βάση τον Κανονισμό του 2000, που αφορά τις μονάδες παραγωγής ρεύματος.

Ωστόσο, το Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας (ΥΠΠΕΝ) έχει συγκροτήσει ειδική Επιτροπή, η οποία έχει ως σκοπό την επεξεργασία προτάσεων για νέο θεσμικό πλαίσιο αλλά και ένα καθεστώς στήριξης, όσον αφορά τον τομέα της αποθήκευσης ενέργειας. Η Επιτροπή έχει δεσμευτεί στην υποβολή του πορίσματός της μέχρι τις 15 Μαΐου του 2021 και έχει ως στόχο ένα ολοκληρωμένο σχέδιο, το οποίο θα καταγράφει τις απαιτούμενες παρεμβάσεις που πρέπει να γίνουν, με σκοπό την λειτουργία των σταθμών αποθήκευσης αλλά και την επιχειρηματική εκμετάλλευσή τους. Οι παρεμβάσεις θα αφορούν τα θέματα αδειοδότησης και τους κανόνες συμμετοχής των αποθηκευτικών σταθμών στις αγορές ενέργειας. Εξετάζεται επίσης και η ανάγκη ειδικού πλαισίου στήριξης, το οποίο θα καθορίζει επιπλέον αποζημίωση, πέραν της αποζημίωσης που θα έχουν τα έργα αυτά από την αγορά. Το πλαίσιο αυτό πρέπει να εγκριθεί σε κάθε περίπτωση από την Κομισιόν [85].

Το ρυθμιστικό αυτό πλαίσιο θα αφορά τους σταθμούς αποθήκευσης εντός σταθμού παραγωγής (υβριδικά) ή σταθμούς αποθήκευσης «πίσω από τον μετρητή» (των καταναλωτών), το πλαίσιο αδειοδότησης και τη συμμετοχή τους στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας. Ακόμα, θα καθορίζει το πλαίσιο αδειοδότησης καθώς και το πλαίσιο λειτουργίας των σταθμών αποθήκευσης στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά (ΜΔΝ). Πιο συγκεκριμένα, η επιτροπή έχει αναλάβει να εξετάσει όλο το εύρος της δραστηριότητας αποθήκευσης και να εντοπίσει τα θεσμικά κενά που προκύπτουν, προτείνοντας ρυθμιστικές και νομοθετικές παρεμβάσεις. Οι παρεμβάσεις αυτές θα φροντίζουν την:

- Συμμετοχή αποθηκευτικών μονάδων στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας
  - Ως Ανεξάρτητοι συμμετέχοντες
  - Μέσω εκπροσώπησης
- Σχέση των αποθηκευτικών σταθμών με τη χρήση των δικτύων
- Στήριξη των επενδύσεων μέσω συμμετοχής στους εκάστοτε μηχανισμούς ισχύος
- Απαλλαγή των σταθμών αποθήκευσης από τις δυσμενείς και καταχρηστικές χρεώσεις και λοιπούς περιορισμούς ανάπτυξης και δραστηριοποίησης, αντίστοιχα με τις πολιτικές άλλων χωρών της ΕΕ
- Συμβατότητα του νομοθετικού και ρυθμιστικού πλαισίου με τις κοινοτικές οδηγίες και κανονισμούς
- Ένταξη των σταθμών αποθήκευσης στον ίδιο χαρτοφυλάκιο μαζί με τις μονάδες ΑΠΕ, με σκοπό την δραστηριοποίησή τους από κοινού στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας
- Αποτελεσματική αξιοποίηση και εγκατάσταση διεσπαρμένων αποθηκευτικών μονάδων σε εγκαταστάσεις χρηστών
- Ενσωμάτωση αποθηκευτικών διατάξεων πίσω από τον μετρητή (BTM), σε σταθμούς παραγωγής ΑΠΕ
- Ανάπτυξη σταθμών αποθήκευσης στα ΜΔΝ

## 5.5 Κατασκευαστές μπαταριών

Όσον αφορά τον κατασκευαστικό τομέα των μπαταριών, ο κυρίαρχος κατασκευαστής είναι η Κίνα. Αυτό οφείλεται στο πλεονέκτημα που έχει η Κίνα έναντι των άλλων χωρών, όπως για παράδειγμα το φτηνό εργατικό δυναμικό, αλλά και τα μεγάλα αποθέματα λιθίου που έχει. Συγκεκριμένα, το 2018 η Κίνα παρήγαγε 8.000 μετρικούς τόνους λιθίου, σχεδόν 10 φορές την παραγωγή λιθίου στις ΗΠΑ. Τα αποθέματα λιθίου της Κίνας έχουν φτάσει το ένα εκατομμύριο μετρικούς τόνους, το οποίο αντιστοιχεί σε σχεδόν 30 φορές τα επίπεδα των ΗΠΑ [86]. Το 2008, παράχθηκαν 6GWh μπαταριών παγκοσμίως, από τα οποία το 97% αντιστοιχούσε στην κινέζικη παραγωγή [87]. Το 2019, υπήρξαν περίπου 365GWh παγκοσμίως, τα οποία παράχθηκαν ως εξής:

<b>Παραγωγή 365GWh – 2019</b>	
<b>Κατασκευαστής</b>	<b>Ποσοστό</b>
Κίνα	75%
ΗΠΑ	9%
Ευρώπη	5%
Νότια Κορέα	7%

Πίνακας 8: Παραγωγή Μπαταριών το έτος 2019

Πηγή: [87]

Το 2023, εκτιμάται ότι θα υπάρξει παραγωγή ίση με 1230GWh παγκοσμίως με την εξής κατανομή:

<b>Παραγωγή 1230GWh - 2023</b>	
<b>Κατασκευαστής</b>	<b>Ποσοστό</b>
Κίνα	65%
ΗΠΑ	10%
Ευρώπη	10%
Υπόλοιπος Κόσμος	7%

Πίνακας 9: Παραγωγή Μπαταριών το έτος 2023

Πηγή: [87]

## 6. Υβριδικά Συστήματα

Στο κεφάλαιο αυτό θα μελετήσουμε τα υβριδικά συστήματα που χρησιμοποιούν την τεχνολογία των φωτοβολταϊκών και των μπαταριών. Θα μελετήσουμε τόσο τα οικιακά/εμπορικά συστήματα (μικρού σκέλους), όσο και τα συστήματα μεγάλου σκέλους (utility scale). Θα εξηγήσουμε τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της υβριδοποίησης στα μικρού σκέλους συστήματα καθώς θα αναφέρουμε και τους τρόπους σύνδεσης που υπάρχουν για τα υβριδικά πάρκα (utility scale) και τα πλεονεκτήματα αυτών. Τέλος, θα αναφέρουμε τα μειονεκτήματα ή πλεονεκτήματα που έχει η υβριδοποίηση σε πάρκα μεγάλου σκέλους, δηλαδή η διασύνδεση των φωτοβολταϊκών με τις μπαταρίες έναντι της ανάπτυξης δύο ξεχωριστών έργων.



Εικόνα 21: Υβριδικό Πάρκο με Φωτοβολταϊκά και Μπαταρίες

Πηγή: [88]

### 6.1 Τι είναι

Όπως έχει προαναφερθεί, η αποθήκευση ενέργειας αποτελεί πλέον αναγκαία τεχνολογία η οποία θα συνεισφέρει πολύ στην ενεργειακή μετάβαση των ηλεκτρικών δικτύων, βοηθώντας στην διείσδυση των ΑΠΕ στην παραγωγή ενέργειας. Με σκοπό λοιπόν την χρήση αποθήκευσης ενέργειας σε συνδυασμό με την παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ, έχουν αναπτυχθεί τα υβριδικά συστήματα.

Με τον όρο υβριδικά, συνήθως εννοείται η παραγωγή ενέργειας από δύο πηγές, όπως αιολική και ηλιακή ενέργεια, είτε ο συνδυασμός πολλαπλών πηγών παραγωγής ενέργειας ή αποθήκευσης, τα οποία ήταν είτε τοποθετημένα στον ίδιο χώρο, είτε «εικονικά διασυνδεδεμένα». Στην παρούσα διπλωματική θα ασχοληθούμε με τον συνδυασμό παραγωγής ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα, αλλά και την αποθήκευση χρησιμοποιώντας ως μέσο την τεχνολογία των συσσωρευτών.

Το υβριδικό φωτοβολταϊκό σύστημα (hybrid solar system) παράγει ενέργεια σαν ένα κανονικό φωτοβολταϊκό σύστημα, αλλά χρησιμοποιεί και μπαταρίες με σκοπό την αποθήκευση ενέργειας για μετέπειτα χρήση ή για άλλες εφαρμογές όπως είδαμε στο Κεφ. 5. Η ικανότητα της αποθήκευσης ενέργειας μπορεί να δώσει τη δυνατότητα λειτουργίας του συστήματος και ως αυτόνομο, χωρίς δηλαδή χρήση του ηλεκτρικού δικτύου, κάτι το οποίο εξαρτάται όμως από άλλους παράγοντες όπως θα δούμε στη συνέχεια.

Υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες υβριδικών συστημάτων. Οι κατηγορίες αυτές είναι τα οικιακά/εμπορικά φωτοβολταϊκά μικρού συνήθως σκέλους, τα οποία είναι συνδεδεμένα σε κάποια εγκατάσταση όπως π.χ. μια οικία ή ένα κτίριο με γραφεία, ενώ η άλλη κατηγορία είναι το υβριδικό πάρκο, το οποίο είναι μεγάλου σκέλους (utility-scale).

## **6.2 Οικιακά/Εμπορικά Υβριδικά Συστήματα**

Τα οικιακά/εμπορικά υβριδικά συστήματα μπορούν να χωριστούν σε 4 γενικές κατηγορίες, ανάλογα με τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούν ως προς τους μετατροπείς, καθώς και τον τρόπο διασύνδεσης του συστήματος. Γενικά, το υβριδικό φωτοβολταϊκό σύστημα που θα μελετήσουμε στην παρούσα διπλωματική, αποτελείται από τα εξής βασικά στοιχεία:

- Φωτοβολταϊκά πάνελ

Απορροφούν την ενέργεια από τον ήλιο, η οποία λόγω του φωτοβολταϊκού φαινομένου παράγει συνεχές ρεύμα. Για να καταστεί δυνατό να τροφοδοτήσει τα φορτία μιας εγκατάστασης ή να εγχυθεί στο δίκτυο, χρειάζεται να μετατραπεί σε εναλλασσόμενο ρεύμα. Η μετατροπή αυτή γίνεται με τη βοήθεια του μετατροπέα. Σε σπάνιες περιπτώσεις έχουμε και φορτία συνεχούς ρεύματος όπου δεν χρειάζεται η μετατροπή.

- Συσσωρευτές (Μπαταρίες)

Οι συσσωρευτές που χρησιμοποιούνται είναι κατά κύριο λόγο είναι μπαταρίες ιόντων-λιθίου, τις οποίες θα αναλύσουμε και στην παρούσα διπλωματική, ωστόσο χρησιμοποιούνται κι άλλες τεχνολογίες μπαταριών. Είναι επαναφορτιζόμενες και η χωρητικότητά τους μετρείται σε κιλοβατώρες (kWh). Οι συσσωρευτές φορτίζονται και εκφορτίζονται με συνεχές ρεύμα, οπότε και

σε αυτήν την περίπτωση χρειάζεται ένας μετατροπέας για τη φόρτιση από το δίκτυο ή την έγχυση ενέργειας στο δίκτυο/εγκατάσταση.

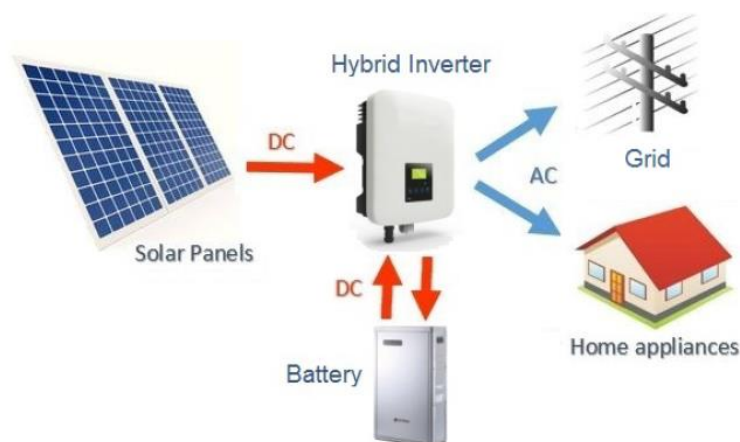
- Μετατροπείς

Όπως προαναφέρθηκε, ο μετατροπέας χρησιμοποιείται για τη μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο με σκοπό την τροφοδότηση φορτίων ή και την παροχή ενέργειας στο δίκτυο. Χρησιμοποιείται φυσικά και για το αντίθετο, δηλαδή για μετατροπή από εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές, με σκοπό την φόρτιση των μπαταριών.

Τα συστήματα αυτά μπορεί να είναι μικρού μεγέθους, όπως για παράδειγμα για οικιακές εγκαταστάσεις ή επιχειρήσεις, αλλά και μεγάλου σκέλους, δηλαδή τα υβριδικά πάρκα. Πιο κάτω θα δούμε τα διάφορα συστήματα που υπάρχουν στην αγορά, όσον αφορά τις οικιακές και εμπορικές εγκαταστάσεις. Παρόμοιες τεχνολογίες και συνδεσμολογίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στις εγκαταστάσεις μεγάλου σκέλους.

### 6.2.1 Σύστημα με Απλό Υβριδικό Μετατροπέα

Ο απλός υβριδικός μετατροπέας (hybrid inverter) λειτουργεί σαν ένας κανονικός μετατροπέας, με τη διαφορά όμως ότι παρέχει την δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας σε συσσωρευτές, είτε για αποθήκευση ενέργειας την οποία δεν θα απορροφούσε το δίκτυο, είτε για αυτοκατανάλωση σε μετέπειτα στάδιο. Διαθέτει έναν μετατροπέα για τα φωτοβολταϊκά και ένα μετατροπέα για τις μπαταρίες συνδυασμένα σε ένα ενιαίο υβριδικό μετατροπέα, καθώς έχει και τη δυνατότητα φόρτισης των μπαταριών. Διαθέτει επίσης και λογισμικό το οποίο μπορεί να προγραμματιστεί ώστε να προσδιορίσει την πιο αποτελεσματική χρήση της διαθέσιμης ενέργειας. Το κυριότερο αρνητικό του είναι ότι δεν επιτρέπει την απομόνωση της εγκατάστασης από το δίκτυο ώστε να λειτουργεί αυτόνομα σε περιπτώσεις βλάβης του δικτύου.



Εικόνα 22: Υβριδικό Σύστημα Απλού Υβριδικού Μετατροπέα

## 6.2.2 Σύστημα με Υβριδικό Μετατροπέα πολλαπλών λειτουργιών

Ο υβριδικός μετατροπέας πολλαπλών λειτουργιών (multi-mode hybrid inverter), λειτουργεί το ίδιο όπως ο απλός υβριδικός μετατροπέας, με τη διαφορά ότι παρέχεται και η δυνατότητα αυτόνομης λειτουργίας του συστήματος. Υπό κανονικές συνθήκες, τροφοδοτεί την εγκατάσταση, φορτίζει τις μπαταρίες και η επιπλέον ενέργεια τροφοδοτείται στο δίκτυο. Σε περίπτωση βλάβης στο δίκτυο, ο μετατροπέας θα πάει αυτόματα σε λειτουργία αυτονομίας, τροφοδοτώντας την εγκατάσταση από τη διαθέσιμη ενέργεια που βρίσκεται αποθηκευμένη στις μπαταρίες.

## 6.2.3 Σύστημα Αποθήκευσης Ενέργειας Μπαταριών

Το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας μπαταριών (Battery Energy Storage System – BESS) είναι διάσημος τρόπος ανάπτυξης υβριδικών εγκαταστάσεων. Γενικά, ένα πιο μοντέρνο σύστημα αποτελείται από το συνδυασμό ενός υβριδικού μετατροπέα μαζί με ένα σύστημα μπαταριών, σε ένα ενιαίο σύστημα. Αυτό το σύστημα μπορεί να τοποθετηθεί εκ νέου σε μια εγκατάσταση με υπάρχον φωτοβολταϊκό σύστημα, ώστε να το μετατρέψει σε υβριδικό.

Η εγκατάσταση μπορεί να γίνει με δύο τρόπους:

- Ένα σύστημα μπαταρίας AC το οποίο αποτελείται από μετατροπέα και σύστημα μπαταριών, το οποίο ενώνεται στον πίνακα διανομής όπου ενώνεται και ο μετατροπέας των φωτοβολταϊκών, για υβριδοποίηση συνήθως ήδη υπάρχον εγκατάστασης.
- Σε ένα σύστημα όλα-σε-ένα (all-in-one) το οποίο εμπεριέχει μαζί με το πιο πάνω σύστημα (μπαταριά AC) και έναν απλό μετατροπέα για τα φωτοβολταϊκά.

Πιο κάτω φαίνεται ένα από τα πιο σύγχρονα παραδείγματα, ένα σύστημα BESS της Tesla, το οποίο ανήκει στην πρώτη κατηγορία και χρησιμοποιείται για οικιακές/εμπορικές εγκαταστάσεις.



Εικόνα 23: Tesla Powerwall

Πηγή: [90]



## 6.2.4 Σύστημα συνδεδεμένο στην πλευρά του εναλλασσόμενου ρεύματος

Πριν την ανάπτυξη της τεχνολογίας των υβριδικών μετατροπέων ώστε να έχουν μια προσιτή τιμή, τα περισσότερα υβριδικά συστήματα αποτελούνταν από δύο διαφορετικούς μετατροπείς, οι οποίοι δούλευαν μαζί σχηματίζοντας έναν σύστημα συνδεδεμένο στη μεριά του εναλλασσόμενου ρεύματος (AC coupled system). Αυτό αποτελείτο από έναν απλό μετατροπέα για το φωτοβολταϊκό σύστημα, καθώς και ένα μετατροπέα πολλαπλών χρήσεων (multi-mode inverter).

Ο μετατροπέας πολλαπλών χρήσεων λειτουργούσε ως μετατροπέας των μπαταριών με τη δυνατότητα φόρτισής τους, καθώς είχε και ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης ενέργειας, στο οποίο χρησιμοποιούσε ένα προγραμματιζόμενο λογισμικό με σκοπό την βελτιστοποίηση της ενεργειακής χρήσης. Επίσης, είχε τον έλεγχο της σύνδεσης με το δίκτυο για εισαγωγή και εξαγωγή ενέργειας και μπορούσε να ξεκινήσει αυτόματα την εφεδρική γεννήτρια αν και εφόσον χρειαζόταν.

Τέτοια προχωρημένα συστήματα χρησιμοποιούνται σε αυτόνομες και υβριδικές εγκαταστάσεις οι οποίες χρειάζονται υψηλό επίπεδο διαχείρισης ισχύος. Το λογισμικό που χρησιμοποιείτο στους μετατροπείς πολλαπλών χρήσεων, καθιστούσε δυνατή την διαχείριση ενέργειας για εφαρμογές όπως εξομάλυνση των αιχμών της ζήτησης (peak shaving), καταγραφή δεδομένων (data logging) και λειτουργίες με PLC μέσω αναλογικών εισόδων/εξόδων και ρελέ ελέγχου.



Εικόνα 24: Υβριδικό Σύστημα συνδεδεμένο στην πλευρά του Εναλλασσόμενου Ρεύματος

Πηγή: [89]

## 6.2.5 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα

Στο υποκεφάλαιο αυτό θα μελετήσουμε τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα ενός υβριδικού συστήματος οικιακού/εμπορικού σκέλους.

### Πλεονεκτήματα

- **Οικονομικά**

Πολλές κυβερνήσεις και διαχειριστές δικτύων έχουν μειώσει την τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας από τους παραγωγούς ΑΠΕ, στους οποίους συγκαταλέγονται και τα νοικοκυριά ή οι εμπορικές εγκαταστάσεις με φωτοβολταϊκή εγκατάσταση. Αυτό σημαίνει ότι σε ένα κανονικό φωτοβολταϊκό σύστημα ενός νοικοκυριού, αφού οι περισσότεροι άνθρωποι λείπουν από τα σπίτια τους κατά τη διάρκεια της ημέρας που έχουμε παραγωγή ενέργειας από το φωτοβολταϊκό σύστημα και άρα χάνουν την δυνατότητα αυτοκατανάλωσης, η ενέργεια αυτή τροφοδοτείται αναγκαστικά στο δίκτυο έναντι χαμηλού ποσού (όταν δεν υπάρχει η δυνατότητα ενεργειακού συμψηφισμού – net metering).

Με τη χρήση όμως ενός υβριδικού φωτοβολταϊκού συστήματος, η περίσσεια παραγόμενη ενέργεια κατά τη διάρκεια της ημέρας θα αποθηκευτεί στις μπαταρίες και θα καταναλωθεί όταν και εφόσον χρειαστεί, χωρίς να είναι απαραίτητη η πώληση της ενέργειας αυτής στο δίκτυο έναντι χαμηλού ποσού. Στις περιπτώσεις όμως που το φωτοβολταϊκό σύστημα ανήκει σε μια επιχείρηση, η μετάβαση σε ένα υβριδικό σύστημα λαμβάνοντας υπόψη το επιπλέον κόστος του, δεν είναι τόσο συμφέρουσα λύση. Εφόσον οι επιχειρήσεις ως επί το πλείστον λειτουργούν κατά τη διάρκεια της ημέρας, ένα απλό φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελεί πιο οικονομική λύση αφού η περισσότερη ή ακόμα και όλη η ενέργεια που παράγεται από το σύστημα αυτοκαταναλώνεται από την επιχείρηση.

Επίσης, σε μερικές χώρες του κόσμου η τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος δεν χωρίζεται απλά σε ημερήσια και νυχτερινή όπως στην Ελλάδα, αλλά είναι μεταβλητή ανάλογα με τη ζήτηση που υπάρχει. Σε κάθε περίπτωση όμως, με τη χρήση μπαταριών μπορεί να γίνει αξιοποίηση της χαμηλής τιμής της ενέργειας είτε κατά τη νυχτερινή χρέωση (Ελλάδα) είτε κατά τις ώρες χαμηλής ζήτησης, φορτίζοντας εκείνες τις ώρες τις μπαταρίες και αξιοποιώντας την αποθηκευμένη αυτή ενέργεια σε ώρες αιχμής, όπου το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλότερο.

- **Δικτύου – Περιβάλλοντος**

Σε περιόδους αιχμής της ζήτησης ενέργειας, όσον αφορά τις οικιακές εγκαταστάσεις, οι καταναλωτές που κάνουν χρήση αποθήκευσης ενέργειας μπορούν να απορροφούν την ενέργεια που χρειάζονται από τις μπαταρίες τους αντί του δικτύου. Αυτό αποφορτίζει το δίκτυο και άρα μπορεί να αποφευχθεί η ένταξη επιπλέον συμβατικών μονάδων παραγωγής ενέργειας με σκοπό την κάλυψη της επιπλέον

ζήτησης, το οποίο με τη σειρά του οδηγεί σε ένα δίκτυο με χαμηλότερη εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου και άρα ένα βήμα πιο κοντά στην επίτευξη των στόχων για τις ΑΠΕ.

- **Αυτονομία**

Σε μερικά υβριδικά συστήματα παρέχεται η δυνατότητα αυτόνομης λειτουργίας της εγκατάστασης, χωρίς δηλαδή χρήση του δικτύου ενέργειας. Αυτό προσφέρει τη δυνατότητα κατανάλωσης ενέργειας ακόμα και όταν το δίκτυο ενέργειας έχει υποστεί κάποια βλάβη.

### **Μειονεκτήματα**

- **Οικονομικά**

Τα υβριδικά συστήματα κοστίζουν περισσότερο από τα απλά φωτοβολταϊκά συστήματα. Αυτό οφείλεται κυρίως στο υψηλό κόστος των μπαταριών αλλά και στο μεγαλύτερο κόστος εγκατάστασης. Το υψηλότερο κόστος συνεπάγεται και με μεγαλύτερη περίοδο για απόσβεση της επένδυσης ή ακόμα και αδυναμία απόσβεσής της.

- **Μπαταρίες**

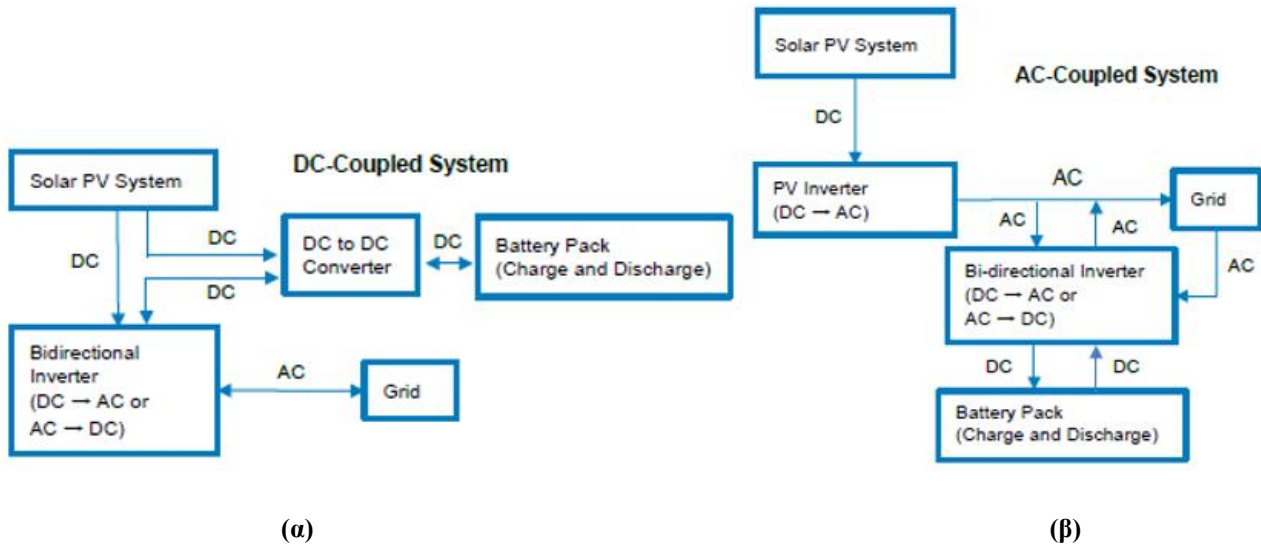
Οι μπαταρίες έχουν διάρκεια ζωής μικρότερη από αυτή των φωτοβολταϊκών, κάτι το οποίο εξαρτάται φυσικά και από τη χρήση τους αλλά και άλλους παράγοντες όπως θα δούμε στη συνέχεια. Στην περίπτωση αυτή όμως, συνεπάγεται ότι θα χρειαστεί νέα επένδυση σε καινούριο σύστημα (πλην των φωτοβολταϊκών) για να εξακολουθεί το σύστημα να έχει την δυνατότητα αποθήκευσης. Ακόμα, οι μπαταρίες εξελίσσονται ραγδαία και είναι πιθανό μετά από το πέρας της ζωής της πρώτης μπαταρίας να μην υπάρχει νέα συμβατή μπαταρία με το ήδη υπάρχον σύστημα.

- **Αυτονομία**

Όσον αφορά τις οικιακές εγκαταστάσεις, η ισχύς των μπαταριών αλλά και η δυνατότητα του μετατροπέα μπορεί να περιορίζουν το είδος των συσκευών που παραμένουν ενεργές ή το πλήθος των συσκευών που δουλεύουν ταυτόχρονα.

## 6.3 Υβριδικά Πάρκα

Πιο πάνω μελετήσαμε τους τρόπους σύνδεσης ενός υβριδικού συστήματος κυρίως για οικιακή ή/και εμπορικά χρήση. Στη συνέχεια, θα μελετήσουμε τους τρόπους διασύνδεσης ενός υβριδικού πάρκου, δηλαδή μιας υβριδικής εγκατάστασης μεγάλου σκέλους (utility-scale).



Εικόνα 25: Τρόποι Διασύνδεσης Υβριδικών Πάρκων

Πηγή: [91]

### 6.3.1 Συνδεδεμένα στην πλευρά Συνεχούς Ρεύματος

Ο ένας τρόπος σύνδεσης ενός υβριδικού πάρκου, είναι η σύνδεση της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης και των μπαταριών στην πλευρά Συνεχούς Ρεύματος (ΣΡ) (DC-Coupled System), δηλαδή πριν τον μετατροπέα που οδηγεί στο δίκτυο (βλέπε εικόνα 31α). Όπως μπορούμε να διακρίνουμε, η σύνδεση αποτελείται από το φωτοβολταϊκό σύστημα (Solar PV System), έναν μετατροπέα ΣΡ-ΣΡ (DC to DC Converter) (για φόρτιση/εκφόρτιση - charge controller), ο οποίος ενώνεται στις μπαταρίες (Battery Pack), καθώς και ένα μετατροπέα δύο κατευθύνσεων (Bidirectional Inverter), ο οποίος είτε στέλνει ενέργεια στο δίκτυο (Grid) με την μετατροπή του ρεύματος από συνεχές σε εναλλασσόμενο, είτε απορροφά ενέργεια από το δίκτυο με σκοπό τη φόρτιση των μπαταριών, με την μετατροπή του ρεύματος από εναλλασσόμενο σε συνεχές. Επιπλέον, οι μπαταρίες έχουν και τη δυνατότητα φόρτισης απευθείας από το φωτοβολταϊκό σύστημα με συνεχές ρεύμα.

### 6.3.2 Συνδεδεμένα στην πλευρά του Εναλλασσόμενου Ρεύματος

Ο άλλος τρόπος σύνδεσης του υβριδικού πάρκου, είναι αντίστοιχα η σύνδεση της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης και των μπαταριών στην πλευρά του Εναλλασσόμενου Ρεύματος (ΕΡ) (AC-Coupled System) (βλέπε εικόνα 31β). Το σύστημά μας τώρα αποτελείται από το φωτοβολταϊκό σύστημα (Solar PV System) και τις μπαταρίες (Battery Pack) όμοια με πριν, αλλά και από δύο μετατροπείς. Ο πρώτος μετατροπέας είναι ο μετατροπέας του φωτοβολταϊκού συστήματος (PV inverter) ο οποίος

χρησιμοποιείται για την έγχυση ενέργειας στο δίκτυο ή στις μπαταρίες, μετατρέποντας το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο. Ο δεύτερος μετατροπέας, είναι ένας μετατροπέας δύο κατευθύνσεων (Bi-directional Inverter), ο οποίος κάνει μετατροπή του εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές, με σκοπό να φορτίσει τις μπαταρίες απορροφώντας ενέργεια είτε απευθείας από το φωτοβολταϊκό σύστημα (μετά τον πρώτο μετατροπέα), είτε από το δίκτυο. Έχει επίσης τη δυνατότητα μετατροπής του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο, εκχέοντας ενέργεια από τις μπαταρίες προς το δίκτυο.

### **6.3.3 Σύγκριση μεταξύ των δύο τρόπων σύνδεσης**

Για τους δύο πιο πάνω τρόπους, θα γίνει μια σύγκριση όσον αφορά τα πλεονεκτήματα που έχει ο κάθε τρόπος έναντι του άλλου.

#### **Πλεονεκτήματα σύνδεσης στην πλευρά ΣΡ (DC-Coupled System)**

1. Χρήση μόνο ενός μετατροπέα δύο κατευθύνσεων, οπότε έχει μειωμένα κόστη για τον μετατροπέα, τις καλωδιώσεις του καθώς και την φύλαξή του.
2. Η φόρτιση των μπαταριών μπορεί να γίνει απευθείας από το φωτοβολταϊκό σύστημα χωρίς την μετατροπή του ρεύματος από εναλλασσόμενο σε συνεχές, όπως την περίπτωση του συστήματος που είναι συνδεδεμένο στην πλευρά ΕΡ. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα λιγότερες απώλειες μετατροπής και άρα καλύτερη απόδοση. Εντούτοις, όσο πιο πολύ εξελίσσονται τα ηλεκτρονικά ισχύος που χρησιμοποιούν οι μετατροπείς, τόσο πιο μικρή γίνεται αυτή η διαφορά στην απόδοση.
3. Επειδή η σύνδεση γίνεται στην πλευρά του ΣΡ και η μπαταρία συνδέεται απευθείας στο φωτοβολταϊκό σύστημα, η ενέργεια η οποία θα απορριπτόταν (clipped energy) από τον μετατροπέα και δεν θα πήγαινε στο δίκτυο, τώρα μπορεί να απορροφηθεί από τις μπαταρίες, κάτι το οποίο μπορεί να βελτιώσει την απόδοση της εγκατάστασής [92].

#### **Πλεονεκτήματα σύνδεσης στην πλευρά ΕΡ (AC-Coupled System)**

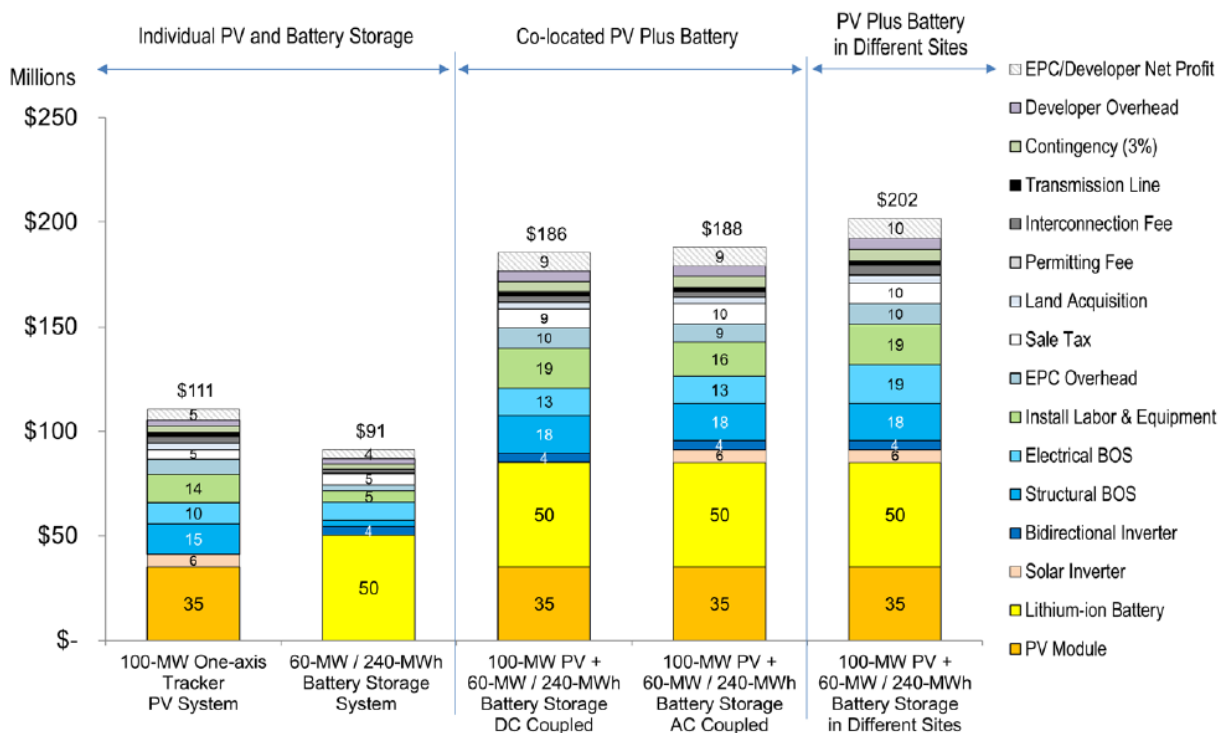
1. Τα ράφια των μπαταριών (battery racks) δεν είναι συνδεδεμένα άμεσα με το φωτοβολταϊκό σύστημα. Για τον λόγο αυτό, τα συστήματα των μπαταριών μπορούν να χρησιμοποιήσουν μεγαλύτερα ράφια και άρα να έχουν μειωμένο αριθμό συστημάτων θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού – Heating, Ventilation and Air Conditioning (HVAC) αλλά και πυρόσβεσης στα κιβώτια με τις μπαταρίες. Αυτό μειώνει ταυτόχρονα και τα κόστη εγκατάστασης σε σχέση με την σύνδεση στην πλευρά ΣΡ.
2. Η αναβάθμιση ενός ήδη υπάρχοντος απλού φωτοβολταϊκού συστήματος σε υβριδικό, δηλαδή προσθέτοντας σύστημα αποθήκευσης με μπαταρίες, είναι πιο πρακτική με την σύνδεση των δύο συστημάτων στην πλευρά του ΕΡ. Αυτό γιατί η αναβάθμιση με σύνδεση των συστημάτων στη πλευρά του ΣΡ, απαιτεί να αντικατασταθεί ο μετατροπέας του φωτοβολταϊκού

συστήματος, με ένα μετατροπέα δύο κατευθύνσεων, το οποίο προσθέτει κόστος αντικατάστασης του μετατροπέα και κόστος νέας συνδεσμολογίας (rewiring) και πιθανότατα μεγαλύτερο συνολικό κόστος σε σχέση με την σύνδεση στη πλευρά EP. Επιπλέον, η σύνδεση στην πλευρά του EP επιτρέπει την ξεχωριστή αναβάθμιση των δύο συστημάτων, αφού είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους.

3. Το φωτοβολταϊκό σύστημα και το σύστημα των μπαταριών είναι ξεχωριστά, οπότε οι εγκαταστάτες μπορούν να έχουν μεγαλύτερη ευελιξία για το που μπορούν να τοποθετήσουν το σύστημα των μπαταριών, δηλαδή μακριά από το φωτοβολταϊκό σύστημα και άρα πιο εύκολα προσβάσιμο, κάνοντας έτσι την συντήρηση του συστήματος πιο εύκολη και πιο γρήγορη. Αντιθέτως, με την σύνδεση στη πλευρά του ΣΡ όπου οι μπαταρίες πρέπει να εγκατασταθούν δίπλα από τον μετατροπέα, απαιτείται από συνεργείο συντήρησης να εισέλθει στο χώρο με το φωτοβολταϊκό σύστημα κι έτσι η συντήρηση γίνεται πιο δύσκολη και χρονοβόρα.

### Κοστολόγηση ανά συνδυασμό

Οι πιθανοί τρόποι συνδυασμού αυτών των δύο τεχνολογιών έχουν αναλυθεί ως προς το κόστος τους στο πιο κάτω γράφημα, όπου μελετήθηκε ένα Φωτοβολταϊκό πάρκο ισχύος 100MWp σε συνδυασμό με ένα Πάρκο Αποθήκευσης ισχύος 60MW και διάρκειας 4 ωρών (240MWh).



Γράφημα 9: Οικονομική Ανάλυση Υβριδικού Πάρκου 60MW/240MWh για διάφορους τρόπους ανάπτυξης

Πηγή: [91]

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε, ο πιο οικονομικός συνδυασμός των δύο τεχνολογιών, είναι η τοποθέτηση τους στον ίδιο χώρο και η σύνδεσή τους στην πλευρά Συνεχούς Ρεύματος (Co-located PV Plus Battery, DC Coupled). Τα τελικά κόστη παρουσιάζονται πιο συνοπτικά και στον πιο κάτω πίνακα.

Τοποθέτηση	Ίδιος Χώρος		Διαφορετικός Χώρος
Τρόπος Σύνδεσης	Πλευρά ΣΡ	Πλευρά ΕΡ	Μη Συνδεδεμένα
Κόστος	\$186,000,000	\$188,000,000	\$202,000,000

Πίνακας 10: Οικονομική Ανάλυση Υβριδικού Πάρκου διάρκειας 4 ωρών διάφορων συνδυασμών

Οπότε, για μια επένδυση σε ένα καινούριο υβριδικό πάρκο και όχι για μια αναβάθμιση ενός ήδη υπάρχον ΦΒ πάρκου, το πλεονέκτημα της ευκολίας της σύνδεσης στην πλευρά ΕΡ αναβαθμίζοντας ένα ΦΒ πάρκο σε υβριδικό δεν μας είναι χρήσιμο, άρα καταλήγουμε ότι η σύνδεση των δύο τεχνολογιών στην πλευρά ΣΡ σε ίδιο χώρο είναι όντως ο πιο οικονομικός τρόπος σύνδεσης. Ωστόσο, πρέπει να λάβουμε υπόψη κι άλλους παράγοντες, όπως τους λειτουργικούς περιορισμούς της υβριδοποίησης οι οποίοι θα αναλυθούν στη συνέχεια, ανάλογα με τις εφαρμογές που επιθυμούμε να έχει ο σταθμός αποθήκευσής μας.

#### 6.4 Είναι η υβριδοποίηση η πιο συμφέρουσα λύση;

Καθώς η τιμή των μπαταριών συνεχίζει να μειώνεται και ταυτόχρονα η είσοδος μεταβαλλόμενων ανανεώσιμων πηγών στο δίκτυο συνεχίζει να αυξάνεται, τα υβριδικά πάρκα τα οποία συνδυάζουν τις δύο αυτές τεχνολογίες έχουν αρχίσει να κάνουν πιο συχνή την εμφάνισή τους.

Η τεχνολογία των συσσωρευτών που χρησιμοποιείται στα πάρκα αυτά, είναι υπεύθυνη για την υποστήριξη κυρίως του δικτύου σε περιπτώσεις όπου χρειάζεται στήριξη από τεχνολογίες αποθήκευσης, όπως εξηγήθηκε πιο πάνω. Με λίγα λόγια, υποστηρίζουν το δίκτυο με σκοπό την κάλυψη της ζήτησης ή την αποθήκευση της παραπάνω ενέργειας, με πρωταρχικό σκοπό την σταθερότητα και αξιοπιστία του δικτύου και ταυτόχρονα τη διευκόλυνση διείσδυσης των ΑΠΕ στο δίκτυο.

Με τον συνδυασμό αυτό, τα υβριδικά πάρκα έχουν την δυνατότητα να μοιάζουν πιο πολύ με συμβατικούς σταθμούς, έχοντας την δυνατότητα παραγωγής ενέργειας σε ώρες που δεν έχει ήλιο (φωτοβολταϊκά) ή δεν φυσάει αέρας (αιολικά). Η τοποθέτηση των δύο αυτών τεχνολογιών στον ίδιο χώρο όμως δεν αποτελεί πάντα την ιδανική λύση.

Πιο κάτω θα περιγράψουμε τα θετικά και τα αρνητικά των υβριδικών πάρκων, έναντι της υλοποίησης σαν δύο ξεχωριστά πάρκα, δηλαδή ένα φωτοβολταϊκό πάρκο και ένα πάρκο αποθήκευσης με μπαταρίες σαν ξεχωριστές εγκαταστάσεις.

## 6.4.1 Οφέλη Υβριδοποίησης Πάρκων

Η υβριδοποίηση ενός πάρκου μπορεί να έχει διάφορα οφέλη. Αυτά εξαρτώνται από τις πολιτικές της χώρας, την οικονομική απόδοση αλλά και από άλλους παράγοντες όπως θα δούμε στη συνέχεια.

- **Πολιτικές Χώρας**

Για παράδειγμα, στην Αμερική, σύμφωνα με την τρέχουσα ομοσπονδιακή πολιτική, η πίστωση φόρου επενδύσεων (Investment Tax Credit – ITC) παρέχει μια πίστωση του φόρου εισοδήματος έως και 30% του κόστους των μπαταριών, αν οι μπαταρίες φορτίζονται εξ ολοκλήρου από την φωτοβολταϊκή εγκατάσταση, ενώ παρέχεται πίστωση 22.5% σε περίπτωση που οι μπαταρίες φορτίζονται κατά 75% από τη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση. Εντούτοις, αυτό το μεγάλο κίνητρο για υβριδοποίηση θα μειωθεί από 30% σε 10% μέχρι το 2022 και μπορεί μέχρι να εξαλειφθεί τελείως, αν παρόμοιο κίνητρο δοθεί και στα πάρκα αποθήκευσης [93].

- **Κατασκευαστικές και Λειτουργικές συνέργειες**

Οι κατασκευαστικές συνέργειες περιλαμβάνουν την κοινή αδειοδότηση και χωροθέτηση, κοινό ηλεκτρικό εξοπλισμό αλλά και γενικό εξοπλισμό του πάρκου, καθώς και κοινή συμφωνία διασύνδεσης. Μελέτες [91] υποστηρίζουν ότι τα αρχικά κόστη ενός υβριδικού πάρκου (φωτοβολταϊκά και μπαταρίες), μπορεί να είναι λιγότερα κατά 8% σε σχέση με τα συνολικά αρχικά κόστη δύο ξεχωριστών πάρκων.

- **Κόστη και Χρόνος**

Τα υβριδικά πάρκα μπορούν να μειώσουν τα κόστη συναλλαγών (transaction costs) για την εξασφάλιση μιας συμφωνίας απορρόφησης ενέργειας, αφού η διαπραγμάτευση ενός μόνο συμβολαίου αντί δύο ξεχωριστών μπορεί να μειώσει τον διοικητικό φόρτο (administrative burden). Ομοίως, δημιουργώντας μόνο μία ή βασιζόμενοι σε μια ήδη υπάρχον συμφωνία διασύνδεσης και θέση στην ουρά, η διαδικασία μπορεί να είναι πιο φτηνή αλλά και γρήγορη παρά με ξεχωριστές αιτήσεις για δύο έργα.

- **Οικονομική Απόδοση**

Στα συζευγμένα υβριδικά συστήματα, οι μπαταρίες παρέχουν το πλεονέκτημα της απορρόφησης ανανεώσιμης ενέργειας την οποία δεν θα απορροφούσε το δίκτυο σε διαφορετική περίπτωση. Επιπλέον, τα συζευγμένα στην πλευρά συνεχούς ρεύματος συστήματα, δηλαδή όταν τα φωτοβολταϊκά και οι μπαταρίες ενώνονται στην πλευρά συνεχούς ρεύματος πριν τον μετατροπέα, επιτρέπουν την συλλογή χαμηλής τάσης με σκοπό την φόρτιση των μπαταριών, όταν ο μετατροπέας αδυνατεί να παράξει ενέργεια από το φωτοβολταϊκό σύστημα. Ακόμα, οι μπαταρίες παρέχουν ακριβή έλεγχο της κλιμάκωσης (ramping), κάτι το οποίο βοηθά είτε στην απορρόφηση περισσότερης



ενέργειας από το φωτοβολταϊκό σύστημα, η οποία ενδέχεται να περιορίζεται λόγω ανεξάρτητου διαχειριστή συστήματος ή των περιφερειακών οργανισμών μεταφοράς, είτε στην αύξηση της συμμετοχής της εγκατάστασης στην αγορά επικουρικών υπηρεσιών.

#### **6.4.2 Μειονεκτήματα Υβριδοποίησης Πάρκων**

Η υβριδοποίηση όμως αυτών των δύο τεχνολογιών, δηλαδή η άμεση σύνδεση τους σαν ένα ενιαίο σύστημα, μπορεί να επιφέρει και κάποια μειονεκτήματα έναντι της ανάπτυξης δύο ξεχωριστών πάρκων.

- **Λειτουργικοί Περιορισμοί**

Η σύνδεση του συστήματος μπαταρίας με ένα φωτοβολταϊκό σύστημα (ή γενικά ένα σύστημα παραγωγής ενέργειας), μπορεί να οδηγήσει σε λειτουργικούς περιορισμούς οι οποίοι θα μειώσουν την ικανότητα του συστήματος μπαταρίας να προσφέρει στο μέγιστο σε κρίσιμες περιστάσεις. Για παράδειγμα, ακολουθώντας τους κανόνες για την πίστωση φόρου επενδύσεων που προαναφέρθηκαν, περιορίζεται η δυνατότητα του συστήματος των μπαταριών να φορτίζουν από το δίκτυο, το οποίο περιορίζει την ανεξάρτητη λειτουργική αξία των μπαταριών. Αυτοί οι περιορισμοί θα εξαρτηθούν επίσης και από το είδος της σύνδεσης του συστήματος, δηλαδή αν είναι συνδεδεμένα στη μεριά του εναλλασσόμενου ή του συνεχούς ρεύματος.

- **Οικονομική Απόδοση**

Λόγω των λειτουργικών περιορισμών, η συμμετοχή του συστήματος αποθήκευσης στην αγορά ίσως είναι περιορισμένη, εμποδίζοντας το από το να εκμεταλλευτεί πλήρως τις δυνατότητές του και άρα να μην έχει τόσο ενεργή και έντονη συμμετοχή στην αγορά ενέργειας (όπως π.χ. στις επικουρικές υπηρεσίες του δικτύου), συμμετέχοντας σε λιγότερες εφαρμογές απ' ότι θα είχε την δυνατότητα. Αυτό με τη σειρά του μειώνει τα οικονομικά οφέλη που μπορεί να έχει το πάρκο. Βέβαια, αυτό εξαρτάται και σε ποιες εφαρμογές έχει σκοπό ο επενδυτής να συμμετάσχει.

- **Χωροθέτηση**

Η υβριδοποίηση μπορεί να οδηγήσει σε μη ιδανική χωροθέτηση του συστήματος. Το σύστημα παραγωγής ενέργειας ιδανικά τοποθετείται σε περιοχή όπου υπάρχει υψηλό δυναμικό (π.χ. ηλιακό δυναμικό), επιτυγχάνεται υψηλός συντελεστής χρησιμοποίησης αλλά και μειωμένο κόστος. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε υποβέλτιστη χωροθέτηση του συστήματος μπαταριών, αφού η ιδανική τους χωροθέτηση τους είναι κοντά σε περιοχές φορτίων και συμφόρησης.

- **Κανονισμοί**

Υπάρχει μια αβεβαιότητα γύρω από τα άμεσα οικονομικά κίνητρα και τους κανόνες για συμμετοχή στην αγορά όσον αφορά τα υβριδικά πάρκα, οι οποίοι μπορεί να οδηγήσουν είτε σε συνθήκες που προωθούν την ανάπτυξή τους, είτε σε συνθήκες που την εμποδίζουν.

### **6.4.3 Συμπέρασμα**

Βάση της πιο πάνω ανάλυσης, είναι φανερό ότι η απάντηση δεν είναι τόσο απλή. Το κατά πόσο συμφέρει η υβριδοποίηση ή όχι είναι ένα ζήτημα με πολλές μεταβλητές και μάλλον μοναδικές περιπτώσεις κάθε φορά. Για να αποφασιστεί το αν είναι ή όχι η πιο συμφέρουσα λύση η υβριδοποίηση σε μια επένδυση, εξαρτάται από τις εφαρμογές που θέλει να έχει η επένδυση, τις πολιτικές της χώρας που θα γίνει αλλά και πολλά άλλα όπως είδαμε πιο πάνω. Σε κάθε επένδυση πρέπει να γίνεται ξεχωριστή μελέτη λαμβάνοντας υπόψη τα όσα προαναφέρθηκαν, αφού η κάθε επένδυση έχει τις δικές τις μοναδικές συνθήκες.

## 7. Τεχνοοικονομική Μοντελοποίηση

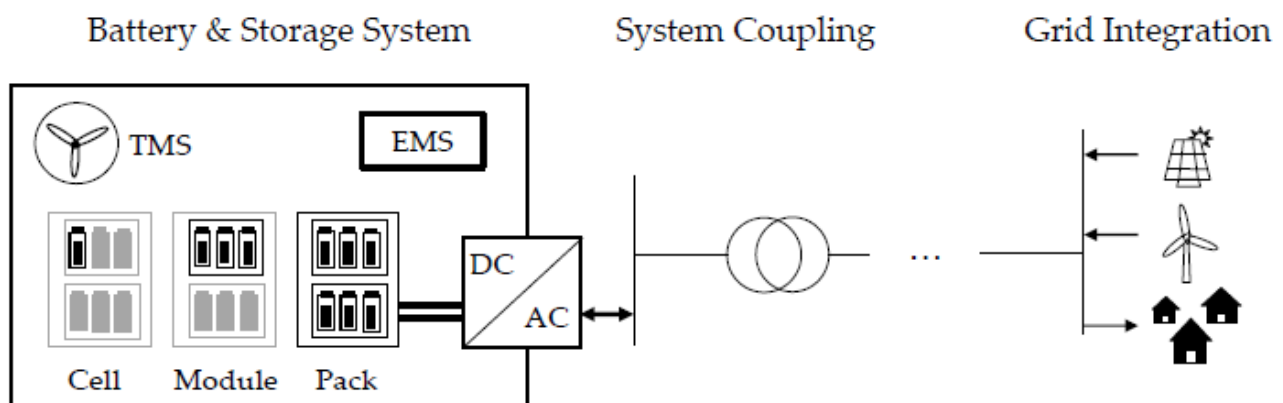
Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα κάνουμε την τεχνοοικονομική μοντελοποίηση και αξιολόγηση τριών επενδύσεων. Η πρώτη επένδυση είναι ένας σταθμός αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες ο οποίος κάνει εμπόριο ενέργειας, η δεύτερη επένδυση ένας φωτοβολταϊκός σταθμός ο οποίος έχει συνάψει συμφωνία πώλησης ενέργειας, για τον οποίο θα δούμε σε τι βαθμό επηρεάζεται από τις περικοπές ενέργειας (curtailment), ενώ η τρίτη επένδυση είναι ο συνδυασμός των δύο προηγούμενων, δηλαδή ένα υβριδικό πάρκο φωτοβολταϊκών-μπαταρίας με σκοπό να αξιολογήσουμε κατά πόσο η υβριδοποίηση βελτιώνει την απόδοση της επένδυσης όταν έχουμε curtailment.

### 7.1 Σταθμός Αποθήκευσης Ενέργειας

Στο υποκεφάλαιο αυτό θα εξηγήσουμε τη λειτουργία των συστημάτων που απαρτίζουν ένα σταθμό αποθήκευσης, καθώς στη συνέχεια θα αξιολογήσουμε την επένδυσή σε αυτόν με την μοντελοποίηση του χρησιμοποιώντας την τεχνολογία μπαταριών ιόντων λιθίου, όπου θα χρησιμοποιήσουμε την εφαρμογή του εμπορίου ενέργειας ως μέσω εσόδων. Η μοντελοποίηση θα γίνει για τις χρονιές 2020 και 2030 ξεχωριστά.

#### 7.1.1 Σύστημα Αποθήκευσης με Μπαταρίες Ιόντων Λιθίου

Ένας σταθμός αποθήκευσης μπαταριών, αποτελείται από διάφορα συστήματα πέραν των μπαταριών. Πιο κάτω θα αναλύσουμε τα συστήματα του, ώστε να γίνει πιο καλά αντιληπτός ο τρόπος λειτουργίας του συστήματος. Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα βασικά στοιχεία ενός σταθμού αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες.

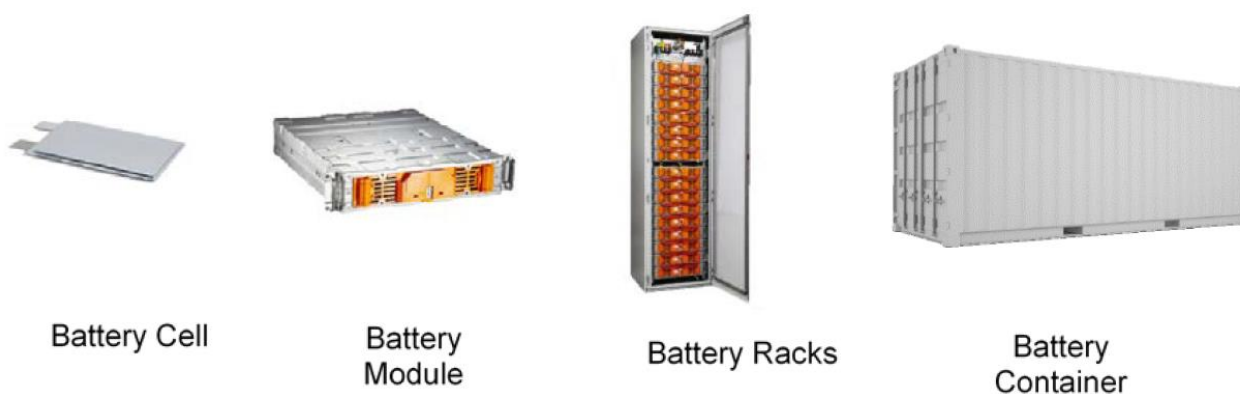


Εικόνα 26: Συστήματα Σταθμού Αποθήκευσης Ενέργειας με Μπαταρίες

Πηγή: [94]

## Μπαταρίες

Η μπαταρία μας βασίζεται σε πολλαπλά παράλληλα συνδεδεμένα κελιά (battery cells), τα οποία στη συνέχεια συνδέονται σε σειρά, δημιουργώντας έτσι τάση μέχρι 60V ώστε να σχηματίσουν μονάδες μπαταρίας (battery modules). Για να επιτευχθεί η επιθυμητή χωρητικότητα του συστήματος και η απαιτούμενη τάση με σκοπό τη σύνδεση ηλεκτρονικών ισχύος, οι μονάδες μπαταρίας συνδέονται σε σειριακές-παράλληλες τοπολογίες, σχηματίζοντας έτσι τα ράφια μπαταριών (battery racks) [94], τα οποία σε συνδυασμό με τα υπόλοιπα συστήματα δημιουργούν τη μονάδα αποθήκευσης (battery container).



Εικόνα 27: Από κελί μπαταρίας σε μονάδα αποθήκευσης

Πηγή: [91]

## Υπόλοιπα Συστήματα

Η εξισορρόπηση των τάσεων των κυψελών σε σειριακή σύνδεση είναι μια πρόκληση που απαιτεί Σύστημα Διαχείρισης Μπαταρίας – Battery Management System (BMS). Βασικές λειτουργίες του Συστήματος Διαχείρισης Μπαταρίας είναι η προστασία των κελιών των μπαταριών, όσον αφορά την τάση, τη θερμοκρασία και το ρεύμα, με σκοπό την επίτευξη αξιόπιστης και ασφαλούς λειτουργίας της μπαταρίας, καθώς και την εξισορρόπηση διαφορετικών Καταστάσεων Φόρτισης (State of Charge – SOC) των κελιών σε μια σειριακή σύνδεση. Επίσης, το BMS έχει τη δυνατότητα εκτίμησης της Κατάστασης της Υγείας (State of Health – SOH) και της Κατάστασης Φόρτισης (SOC) των κελιών, οι οποίες εκτιμήσεις μεταφέρονται στο Σύστημα Διαχείρισης Ενέργειας – Energy Management System (EMS), το οποίο ελέγχει τη ροή ισχύος και φροντίζει να είναι εντός των ορίων της μπαταρίας, αλλά επίσης χειρίζεται και τις λειτουργίες φόρτισης και εκφόρτισης [94]. Γενικά, η κύρια λειτουργία του BMS είναι η διαχείριση της συνολικής λειτουργίας των μπαταριών [95].

Το Σύστημα Θερμικής Διαχείρισης της Μπαταρίας – Battery Thermal Management System (B-TMS) είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο της θερμοκρασίας των κελιών σύμφωνα με τις προδιαγραφές τους. Η λειτουργία και η γήρανση των κελιών επηρεάζονται πολύ από τη θερμοκρασία και επομένως οι

διακυμάνσεις της θερμοκρασίας μέσα στη συσκευασία μπαταριών μπορεί να οδηγήσουν σε μη ισορροπημένη ροή ρεύματος και αυξημένη γήρανση. Επομένως, το B-TMS είναι υπεύθυνο για την εξασφάλιση της λειτουργικότητας της μπαταρίας, τόσο ως προς την ασφάλεια όσο και ως προς την μεγάλη διάρκεια ζωής [94].

Ο έλεγχος και η γενική παρακολούθηση του συστήματος, συνδυάζεται με τον Εποπτικό Έλεγχο και Απόκτηση Δεδομένων – Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) του συνολικού συστήματος και μπορεί να περιλαμβάνει μονάδες πυροπροστασίας ή συναγερμού. Το Σύστημα Θερμικής Διαχείρισης – Thermal Management System (TMS), ελέγχει όλες τις λειτουργίες που σχετίζονται με την θέρμανση, τον εξαερισμό και τον κλιματισμό του συστήματος.

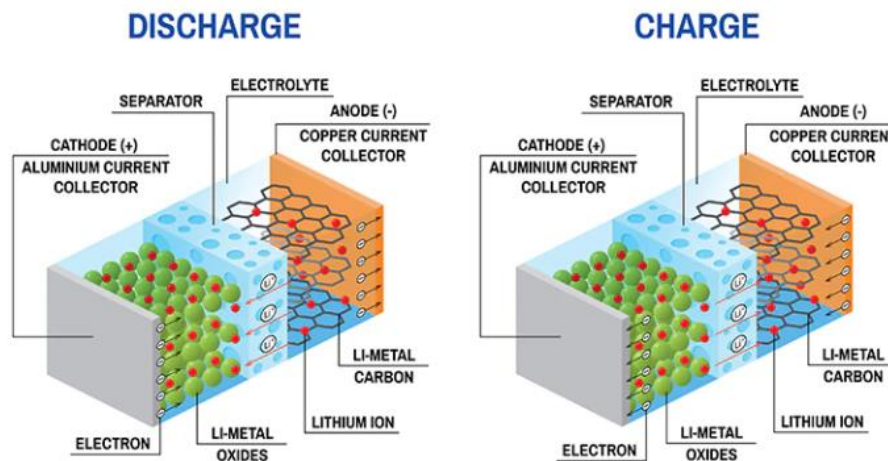
Το σύστημα αποτελείται και από ηλεκτρονικά ισχύος, συγκεκριμένα τον αναστροφέα, ο οποίος μετατρέπει το ρεύμα από συνεχές σε εναλλασσόμενο και το αντίθετο, συνδέοντας έτσι τις μπαταρίες με το δίκτυο. Επίσης, έχουμε τον μετασχηματιστή ο οποίος συνδέει το σύστημα με το ανάλογο επίπεδο τάσης του δικτύου.

### **7.1.2 Λειτουργία Μπαταριών Ιόντων-Λιθίου**

Μια επαναφορτιζόμενη μπαταρία ιόντων λιθίου, αποτελείται από ένα ή περισσότερα κελιά παραγωγής ενέργειας. Κάθε κελί, αποτελείται από τρία βασικά μέρη: το θετικό ηλεκτρόδιο ή αλλιώς κάθοδος (cathode), το αρνητικό ηλεκτρόδιο ή αλλιώς άνοδος (anode) και μια χημική ουσία που ονομάζεται ηλεκτρολύτης (electrolyte) μεταξύ τους. Η κάθοδος στη δική μας περίπτωση, όπου θα μελετήσουμε μια μπαταρία ιόντων λιθίου LFP, αποτελείται από μια χημική ένωση που ονομάζεται φωσφορικό σίδηρο λιθίου (lithium iron phosphate –  $\text{LiFePO}_4$ ). Η άνοδος είναι γενικά κατασκευασμένη από άνθρακα (γραφίτη) και ο ηλεκτρολύτης ποικίλλει από τον ένα τύπο μπαταρίας στον άλλο [96]. Ο συχνότερα χρησιμοποιούμενος ηλεκτρολύτης αποτελείται από άλας λιθίου όπως το  $\text{LiPF}_6$  σε ένα οργανικό διάλυμα [97].

Όλες οι μπαταρίες ιόντων λιθίου λειτουργούν γενικά με τον ίδιο τρόπο. Όταν η μπαταρία φορτίζεται, το θετικό ηλεκτρόδιο (κάθοδος), όπου στην περίπτωσή της παρούσας διπλωματικής που θα μελετήσουμε αποτελείται από φωσφορικό σίδηρο λιθίου ( $\text{LiFePO}_4$  – LFP), παραδίδει μερικά από τα ιόντα λιθίου του, τα οποία μέσω του ηλεκτρολύτη κινούνται προς το αρνητικό ηλεκτρόδιο (άνοδο) γραφίτη και παραμένουν εκεί. Η μπαταρία λαμβάνει και αποθηκεύει ενέργεια κατά την διάρκεια της διαδικασίας αυτής. Όταν η μπαταρία εκφορτίζεται, τα ιόντα λιθίου μετακινούνται ανάποδα, δηλαδή από την άνοδο προς την κάθοδο μέσω του ηλεκτρολύτη, παράγοντας ενέργεια [96]. Τα βασικά οφέλη της τεχνολογίας LFP είναι η αντοχή σε υψηλά ρεύματα (high current rating), ο μεγάλος αριθμός κύκλων (cycle life), η καλή θερμική σταθερότητα και η αυξημένη ασφάλεια και ανοχή σε περίπτωση κατάχρησης [98].

# LITHIUM-ION BATTERY



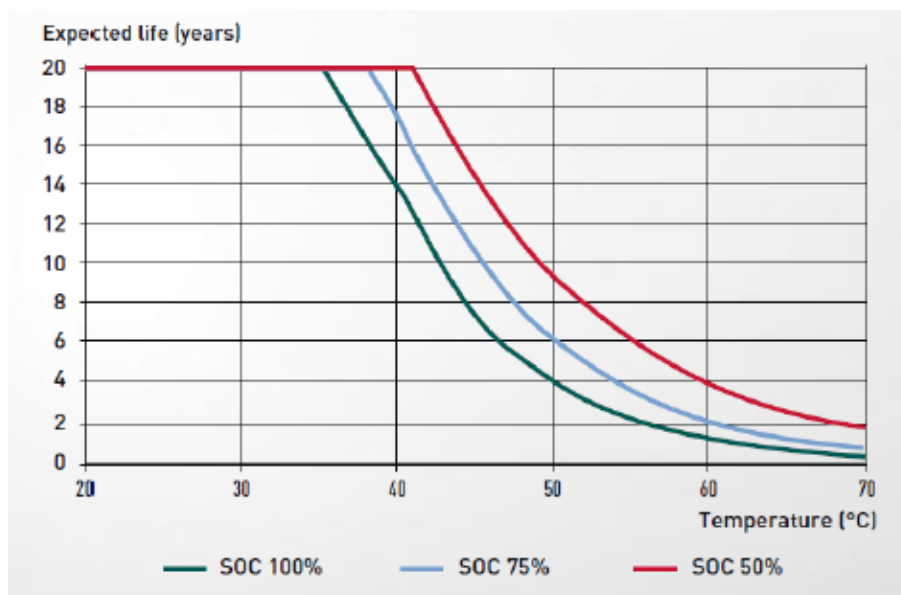
Εικόνα 28: Διάγραμμα Λειτουργίας Μπαταρίας Ιόντων Λιθίου

Πηγή: [99]

## 7.1.3 Διάρκεια Ζωής Μπαταρίας

Το τέλος του κύκλου ζωής των μπαταριών ιόντων λιθίου δεν γίνεται με «ξαφνικό θάνατο». Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου βιώνουν σταδιακή μείωση της απόδοσής τους, όπου σε επίπεδα μείωσης 20-30% της αρχικής ενεργειακής τους ικανότητας θεωρείται ότι έχουν φτάσει στο «τέλος του κύκλου ζωής» τους. Ωστόσο, ακόμη και σε ένα τέτοιο μειωμένο επίπεδο απόδοσης δεν είναι εντελώς άχρηστες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε άλλες εφαρμογές, αφού πλέον δεν μπορούν να εκπληρώσουν τους στόχους της εφαρμογής για την οποία προορίζονταν αρχικά. Το προσδόκιμο ζωής μιας μπαταρίας μπορεί να αναλυθεί σε 2 πτυχές, την διάρκεια λειτουργίας της μπαταρίας (calendar life), καθώς και τον αριθμό κύκλων της μπαταρίας (cycle life).

Η διάρκεια λειτουργίας της μπαταρίας (calendar life) ορίζεται ως η μέγιστη διάρκεια ζωής της μπαταρίας, ανεξαρτήτως από τις συνθήκες λειτουργίας της. Η διάρκεια λειτουργίας της μπαταρίας επηρεάζεται από δύο παράγοντες, την κατάσταση φόρτισης (State of Charge – SOC) της μπαταρίας, καθώς και τη θερμοκρασία λειτουργίας. Η κατάσταση φόρτισης εκφράζει το πόσο πλήρως φορτισμένη είναι μια μπαταρία όταν είναι σε λειτουργία αποθήκευσης ενέργειας. Πιο κάτω παρουσιάζεται ένα γράφημα το οποίο δείχνει την αναλογία της κατάστασης φόρτισης και της θερμοκρασίας λειτουργίας, σε σχέση με την αναμενόμενη διάρκεια λειτουργίας μιας μπαταρίας (expected life).

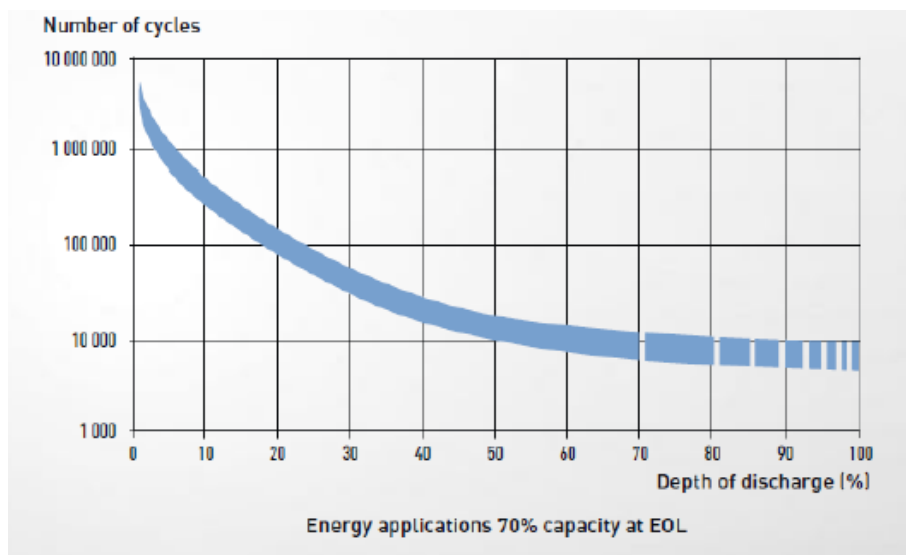


Γράφημα 10: Αναλογία της κατάστασης φόρτισης και της θερμοκρασίας λειτουργίας σε σχέση με την αναμενόμενη διάρκεια λειτουργίας μιας μπαταρίας

Πηγή: [95]

Παρατηρούμε ότι, όσο πιο χαμηλή διατηρείται η κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας, τόσο μεγαλύτερη είναι και η διάρκεια λειτουργίας της. Όσον αφορά τη θερμοκρασία, οι κατασκευαστές μπαταριών ιόντων λιθίου συνήθως δίνουν ως συνθήκες λειτουργίας φόρτισης θερμοκρασίες από 0°C μέχρι 45°C και σε λειτουργία εκφόρτισης από -20°C μέχρι 60°C [100][101]. Ωστόσο, θεωρώντας ότι οι βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας μιας μπαταρίας ιόντων λιθίου όσον αφορά τη θερμοκρασία λειτουργίας είναι μεταξύ 15 και 35°C [102] και κάνοντας την παραδοχή ότι λειτουργούμε σε αυτές, τότε μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η διάρκεια ζωής μιας μπαταρίας ιόντων λιθίου είναι περίπου 20 χρόνια.

Ο αριθμός των κύκλων (cycle life) μιας μπαταρίας, εκφράζει το πόσους κύκλους μπορεί να αντέξει μια μπαταρία πριν φτάσει στο «τέλος του κύκλου ζωής» της, δηλαδή σε χωρητικότητα περίπου 70%. Ένας κύκλος είναι όταν ολόκληρη η ενεργειακή χωρητικότητα μιας μπαταρίας έχει πρώτα φορτιστεί πλήρως και στη συνέχεια αποφορτιστεί πλήρως. Ο κύριος δείκτης ο οποίος επηρεάζει την ζωή κύκλων της μπαταρίας, είναι το βάθος εκφόρτισης (Depth of Discharge – DOD), το οποίο εκφράζει το ποσοστό κατά το οποίο έχει εκφορτιστεί μια μπαταρία. Δηλαδή, εάν το DOD είναι 0% τότε η μπαταρία είναι εντελώς γεμάτη και άρα το SOC είναι 100%, ενώ αν το DOD είναι 100% σημαίνει ότι η μπαταρία είναι εντελώς άδεια και τότε το SOC είναι 0%. Η επίδραση του επιπέδου του βάθους εκφόρτισης της μπαταρίας στον αριθμό κύκλων της φαίνεται από το πιο κάτω γράφημα.



Γράφημα 11: Επίδραση του επιπέδου του βάθους εκφόρτισης της μπαταρίας στον αριθμό κύκλων για μέση θερμοκρασία 25°C

Πηγή: [95]

Όπως είναι φανερό από το πιο πάνω γράφημα, όσο λιγότερο είναι το βάθος εκφόρτισης της μπαταρίας, τόσο πιο πολλούς κύκλους μπορεί να κάνει πριν φτάσει στο 70% της χωρητικότητάς της. Με λίγα λόγια, όσο πιο πολλή ενέργεια μένει στη μπαταρία κατά τη διάρκεια εκφόρτισης της, τόσο πιο μεγάλη διάρκεια ζωής έχει. Αυτό ισχύει και για την φόρτιση της μπαταρίας, όπου είναι ωφέλιμο για τη διάρκεια ζωής μιας μπαταρίας να μην φορτίζεται στο 100% [103]. Στη δική μας περίπτωση, αν θεωρήσουμε ότι η μπαταρία μας θα λειτουργεί σε ελάχιστο επίπεδο εκφόρτισης το 10% και μέγιστο επίπεδο φόρτισης το 90%, τότε μπορούμε να κάνουμε την παραδοχή ότι θα έχουμε περίπου τη δυνατότητα 10,000 κύκλων φόρτισης-εκφόρτισης πριν φτάσουμε στο 70% της χωρητικότητας.

Από το πιο πάνω γράφημα συμπεραίνουμε ότι η απομείωση (degradation) της χωρητικότητας της μπαταρίας ανά κύκλο, η οποία θα κάνει περίπου 10.000 κύκλους μέχρι να φτάσει στο 70% η χωρητικότητάς της, άρα έχει μειωθεί κατά 30%, προκύπτει από την πιο κάτω εξίσωση:

$$\frac{30\% \text{ μείωση}}{10.000 \text{ κύκλοι}} = 0.003\%/\text{κύκλο}$$

**Σημείωση:** Με 305 κύκλους/χρόνο προκύπτει περίπου 0.9% ετήσια απομείωση της χωρητικότητας.

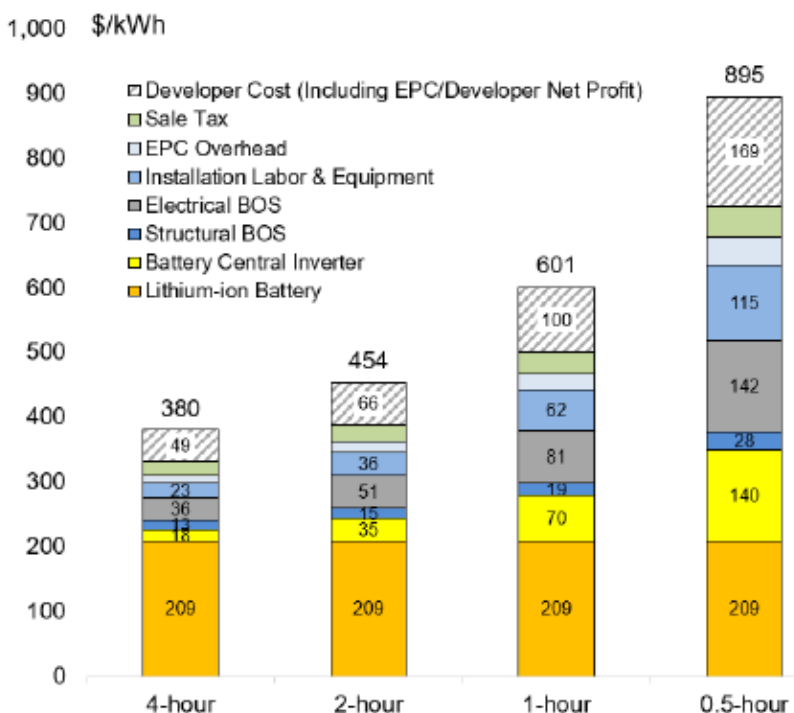
#### 7.1.4 Κόστος Σταθμού Αποθήκευσης

Σύμφωνα με το BloombergNEF, το σταθμισμένο κόστος ενέργειας/εκφόρτισης των μπαταριών, έχει υποδιπλασιαστεί σε μόλις δύο χρόνια, με σημείο αναφοράς τα 150 US\$/MWh για έργα διάρκειας τεσσάρων ωρών. Ακόμα, για έργα αποθήκευσης με διάρκεια μικρότερη των δύο ωρών, είναι πιο οικονομικές οι μπαταρίες για εξομάλυνση αιχμών (peak shaving) παρά οι αεροστρόβιλοι ανοιχτού κύκλου, οι οποίοι ήταν η συνηθισμένη τεχνολογία για τον σκοπό αυτό. Επιπλέον, ο ρυθμός μείωσης



του σταθμισμένου κόστους ενέργειας των μπαταριών είναι γρηγορότερος σε σχέση με τα φωτοβολταϊκά ή τις ανεμογεννήτριες. Η μείωση της τιμής αυτής οφείλεται στο γεγονός ότι τα χημικά στοιχεία γίνονται καλύτερα με μεγαλύτερη πυκνότητα ενέργειας και στο γεγονός ότι η κατασκευή μπαταριών αυξάνεται, κάτι το οποίο μειώνει τα κόστη λόγω της τυποποίησης και της παραγωγής μπαταριών σε ποσότητες. Μακροπρόθεσμα αναμένεται η αποθήκευση ενέργειας με μπαταρίες να γίνει η φθηνότερη πηγή νέας ευέλικτης ισχύος με διάρκεια εκφόρτισης έως και 4 ώρες, ακόμη και στις ΗΠΑ στις οποίες το φυσικό αέριο είναι φθηνό [104].

Στο πιο κάτω γράφημα φαίνονται τα κόστη μιας εγκατάστασης σταθμού αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας σε US\$/kWh, για ένα σύστημα μπαταριών ιόντων λιθίου ισχύος 60MW [91]. Παρατηρούμε ότι, όσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια φόρτισης και εκφόρτισης του συστήματος αποθήκευσης, τόσο πιο μικρό είναι το κόστος εγκατάστασης ανά κιλοβατώρα. Αφού το κόστος ανά μονάδα ενέργειας της μπαταρίας παραμένει σταθερό στα 209\$/kWh, το ποσοστό του συνολικού κόστους το οποίο αποδίδεται στην μπαταρία, μειώνεται καθώς μειώνεται η διάρκεια του συστήματος. Ας πάρουμε για παράδειγμα τη διάρκεια 4 ωρών, όπου το κόστος των μπαταριών αντιστοιχεί στο 55% του συνολικού κόστους του συστήματος, σε αντίθεση με τη διάρκεια μισής ώρα, όπου αντιστοιχεί σε μόλις 23%. Αντίθετα, όσο μικρότερη είναι η διάρκεια του συστήματός μας, τόσο μεγαλύτερα είναι τα κόστη για τα υπόλοιπα στοιχεία του συστήματος, αφού ακολουθώντας το ίδιο παράδειγμα, στη διάρκεια 4 ωρών θα αντιστοιχούν σε 45% του συνολικού κόστους, ενώ για διάρκεια μισής ώρας σε 77%.



Γράφημα 12: Κοστολόγηση Σταθμού Αποθήκευσης Ενέργειας με Μπαταρίες ισχύος 60MW

Πηγή: [91]

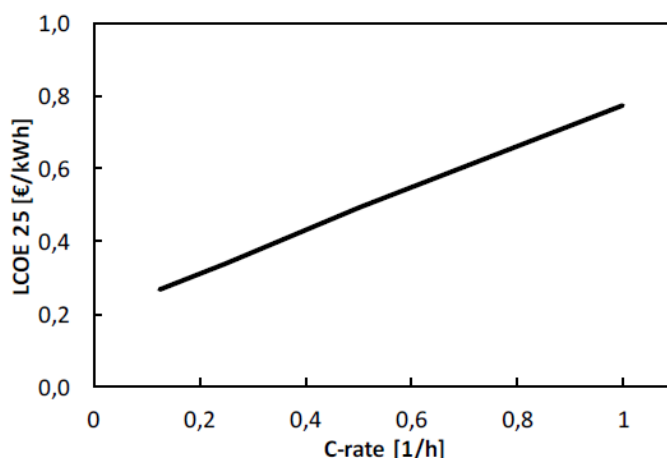
Έτσι, στη δική μας περίπτωση θα επιλέξουμε ένα σύστημα με διάρκεια 4 ωρών, ώστε να χρησιμοποιήσουμε το πιο οικονομικά αποδοτικό μέγεθος για τον σταθμό αποθήκευσής μας, αφού για διάρκεια 4 ωρών έχουμε την πιο οικονομική τιμή ανά κιλοβατώρα. Οι αναλυτικές εκτιμήσεις που έγιναν για το πιο πάνω γράφημα φαίνονται στον πιο κάτω πίνακα.

Model Component	60-MW, 4-hour Duration, 240-MWh			60-MW, 2-hour Duration, 120-MWh			60-MW, 1-hour Duration, 60-MWh			60-MW, 0.5-hour Duration, 30-MWh		
	Total Cost (\$)	\$/kWh	\$/W	Total Cost (\$)	\$/kWh	\$/W	Total Cost (\$)	\$/kWh	\$/W	Total Cost (\$)	\$/kWh	\$/W
Li-ion battery	50,160,000	209	0.84	25,080,000	209	0.42	12,540,000	209	0.21	6,270,000	209	0.10
Battery central inverter	4,200,000	18	0.07	4,200,000	35	0.07	4,200,000	70	0.07	4,200,000	140	0.07
Structural BOS	3,121,131	13	0.05	1,813,452	15	0.03	1,159,612	19	0.02	832,692	28	0.01
Electrical BOS	8,602,825	36	0.14	6,119,167	51	0.10	4,877,337	81	0.08	4,256,423	142	0.07
Installation labor & equipment	5,479,149	23	0.09	4,322,275	36	0.07	3,743,838	62	0.06	3,454,619	115	0.06
EPC overhead	2,775,545	12	0.05	1,948,565	16	0.03	1,535,075	26	0.03	1,328,330	44	0.02
Sales tax	5,293,460	22	0.09	3,083,292	26	0.05	1,978,209	33	0.03	1,425,667	48	0.02
<b>Σ EPC cost</b>	<b>79,632,110</b>	<b>332</b>	<b>1.33</b>	<b>46,566,751</b>	<b>388</b>	<b>0.78</b>	<b>30,034,071</b>	<b>501</b>	<b>0.50</b>	<b>21,767,732</b>	<b>726</b>	<b>0.36</b>
Land acquisition	250,000	1	0.00	250,000	2	0.00	250,000	4	0.00	250,000	8	0.00
Permitting fee	295,289	1	0.00	295,289	2	0.00	295,289	5	0.00	295,289	10	0.00
Interconnection fee	1,802,363	8	0.03	1,802,363	15	0.03	1,802,363	30	0.03	1,802,363	60	0.03
Contingency	2,477,135	10	0.04	1,476,303	12	0.02	975,887	16	0.02	725,679	24	0.01
Developer overhead	2,477,135	10	0.04	1,476,303	12	0.02	975,887	16	0.02	725,679	24	0.01
EPC/developer net profit	4,346,702	18	0.07	2,593,350	22	0.04	1,716,675	29	0.03	1,278,337	43	0.02
<b>Σ Developer cost</b>	<b>11,648,623</b>	<b>49</b>	<b>0.19</b>	<b>7,893,608</b>	<b>66</b>	<b>0.13</b>	<b>6,016,101</b>	<b>100</b>	<b>0.10</b>	<b>5,077,347</b>	<b>169</b>	<b>0.08</b>
<b>Σ Total energy storage system cost</b>	<b>91,280,733</b>	<b>380</b>	<b>1.52</b>	<b>54,460,359</b>	<b>454</b>	<b>0.91</b>	<b>36,050,172</b>	<b>601</b>	<b>0.60</b>	<b>26,845,079</b>	<b>895</b>	<b>0.45</b>

Πίνακας 11: Εκτιμήσεις κόστους για Υβριδικό Σύστημα Φωτοβολταϊκού-Μπαταρίας

Πηγή: [91]

Ο παράγοντας αυτός που επηρεάζει το σταθμισμένο κόστος ενέργειας μιας μπαταρίας είναι το C-rate, το οποίο είναι αντιστρόφως ανάλογο του χρόνου εκφόρτισης. Δηλαδή για 1C έχουμε 1 ώρα εκφόρτισης, ενώ για 4C έχουμε 15 λεπτά (1/4 ώρας) εκφόρτισης. Το C-rate μιας μπαταρίας έχει μεγάλη επίπτωση στο σταθμισμένο κόστος ενέργειας της μπαταρίας, κάτι το οποίο φαίνεται και από το πιο κάτω γράφημα. Αυτό επιβεβαιώνει την απόφασή μας να πάμε με μια μπαταρία μεγαλύτερης διάρκειας, δηλαδή 4 ωρών (=0.25C), ώστε να μειώσουμε το σταθμισμένο κόστος ενέργειας.



Γράφημα 13: Σταθμισμένο κόστος ενέργειας ως συνάρτηση του C-rate για T=25 χρόνια

Πηγή: [105]

Για τη κοστολόγηση του δικού μας σταθμού αποθήκευσης, θα χρησιμοποιήσουμε τον πιο κάτω πίνακα, ο οποίος προέκυψε από μελέτη του [106] και αναλύει τα κόστη ενός σταθμού μπαταριών με μπαταρίες ιόντων λιθίου LFP, όμοιου με αυτό που θα μελετήσουμε, δηλαδή  $1\text{ MW} / 4\text{ hr}$ . Η μελέτη που έχει γίνει στον πιο κάτω πίνακα, έχει εκτιμήσει το κόστος ενός σταθμού μπαταριών για το 2020 αλλά και για το έτος 2030, το οποίο και θα χρησιμοποιήσουμε σε δεύτερη ανάλυση.

				Lithium-ion LFP						
				1 MW / 4 hr		10 MW / 4 hr		100 MW / 4 hr		
Parameter				2020	2030	2020	2030	2020	2030	
Units										
ESS Installed Cost	Storage System	Storage Block	\$/kWh	[164 - 200] 182	[87 - 128] 109	[156 - 191] 174	[83 - 122] 104	[149 - 182] 165	[79 - 116] 99	
		Storage Balance of System	\$/kWh	[38 - 47] 42	[25 - 35] 30	[36 - 44] 40	[24 - 33] 28	[35 - 42] 38	[23 - 32] 27	
	Energy Storage System	Power Equipment	\$/kW	[76 - 93] 85	[59 - 77] 73	[66 - 80] 73	[51 - 66] 63	[57 - 69] 63	[44 - 57] 54	
		Controls & Communication	\$/kW	[36 - 44] 40	[24 - 33] 28	[7 - 9] 8	[5 - 6] 5	[1 - 2] 2	[1 - 1] 1	
		System Integration	\$/kWh	[37 - 56] 50	[37 - 46] 36	[35 - 52] 47	[35 - 42] 33	[33 - 49] 44	[33 - 40] 31	
		Engineering, Procurement, and Construction	\$/kWh	[48 - 74] 61	[45 - 56] 50	[44 - 68] 56	[42 - 51] 46	[42 - 64] 53	[39 - 48] 43	
		Project Development	\$/kWh	[57 - 90] 73	[54 - 67] 60	[52 - 83] 67	[50 - 61] 55	[49 - 78] 63	[47 - 58] 52	
		Grid Integration	\$/kW	[28 - 34] 31	[23 - 28] 25	[22 - 27] 25	[18 - 23] 20	[18 - 22] 20	[15 - 18] 16	
	<b>Total ESS Installed Cost*</b>			\$/kW	[1517 - 2040] <b>\$1,793</b>	[1105 - 1460] <b>\$1,266</b>	[1389 - 1868] <b>\$1,643</b>	[1008 - 1334] <b>\$1,156</b>	[1302 - 1752] <b>\$1,541</b>	[944 - 1249] <b>\$1,081</b>
				\$/kWh	[379 - 510] <b>\$448</b>	[276 - 365] <b>\$317</b>	[347 - 467] <b>\$411</b>	[252 - 333] <b>\$289</b>	[326 - 438] <b>\$385</b>	[236 - 312] <b>\$270</b>
Operating Costs	Fixed O&M	\$/kW-yr	[3.96 - 4.84] 4.40	[3.26 - 4] 3.61	[3.63 - 4.43] 4.03	[2.98 - 3.67] 3.30	[3.41 - 4.16] 3.79	[2.8 - 3.44] 3.10		
	Variable O&M	\$/MWh	0.5125		0.5125		0.5125			
	System RTE Losses (\$/kWh)	\$/kWh	0.005	0.004	0.005	0.004	0.005	0.004		

Πίνακας 12: Εκτιμήσεις Κόστους Σταθμού Αποθήκευσης Μπαταριών Ιόντων Λιθίου (Τεχνολογία LFP), για τα έτη 2020 και 2030

Πηγή: [106]

## Επεξήγηση παραμέτρων που αναλύθηκαν

Θα αναλύσουμε τις παραμέτρους που αναγράφονται στον προηγούμενο πίνακα, ώστε να γίνει σαφές ο καθορισμός τους και να γίνει πιο αντιληπτή η ανάλυση κόστους που προέκυψε.

### Energy Storage System (ESS) Installed Cost – Κόστη Εγκατάστασης Σταθμού Αποθήκευσης

- Storage Block – Μπλοκ Αποθήκευσης (\$/kWh)

Αυτό το στοιχείο περιλαμβάνει την τιμή για το πιο βασικό στοιχείο αποθήκευσης συνεχούς ρεύματος, δηλαδή περιλαμβάνει τα κόστη για τις μονάδες μπαταρίας (battery modules), το ράφι (rack) αλλά και το σύστημα διαχείρισης της μπαταρίας (EMS).

- Storage Balance of System – Υπόλοιπα Συστήματος Αποθήκευσης (\$/kWh)

Περιλαμβάνει τα κόστη για το κοντέινερ, τις καλωδιώσεις, τους διακόπτες και το σύστημα θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού (HVAC).

- Power Equipment – Εξοπλισμός Ισχύος (\$/kW)

Αυτό είναι το σύστημα μετατροπής ισχύος για τις μπαταρίες. Ο εξοπλισμός αυτός περιλαμβάνει τον μετατροπέα δύο κατευθύνσεων, τον μετατροπέα ΣΡ-ΣΡ, την προστασία απομόνωσης, τους διακόπτες ΕΡ, τα ρελέ, την διεπαφή επικοινωνίας και το λογισμικό.

- Controls & Communication – Έλεγχοι & Επικοινωνία (\$/kW)

Περιλαμβάνει το σύστημα διαχείρισης ενέργειας για ολόκληρο τον σταθμό αποθήκευσης ενέργειας και είναι υπεύθυνο για τη λειτουργία του σταθμού. Στην τιμή αυτή μπορεί να περιλαμβάνεται το ετήσιο κόστος αδειοδότησης λογισμικού.

- System Integration – Ενσωμάτωση Συστήματος (\$/kWh)

Η τιμή για τις εργασίες ενσωμάτωσης όλων των υπό-στοιχείων σε ένα ενιαίο λειτουργικό σύστημα. Οι εργασίες περιλαμβάνουν την προμήθεια και αποστολή των μπαταριών, των ραφιών με τα καλώδια στη θέση τους, τα κοντέινερ και τον εξοπλισμό ισχύος. Στην τοποθεσία του σταθμού, οι μονάδες μπαταριών και τα ράφια μπαίνουν στα κοντέινερ μαζί με το σύστημα θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού (HVAC), καθώς και την εγκατάσταση πυρόσβεσης. Στη συνέχεια ενσωματώνονται με τον εξοπλισμό ισχύος, με σκοπό την παροχή ενός συστήματος με το «κλειδί στο χέρι».

- Engineering, Procurement and Construction – Μηχανική, Προμήθεια και Κατασκευή (\$/kWh)

Περιλαμβάνει τα μη επαναλαμβανόμενα κόστη των μηχανικών και του εξοπλισμού κατασκευής, αλλά και το κόστος αποστολής, τοποθέτησης, εγκατάστασης, καθώς και την θέση του συστήματος αποθήκευσης σε λειτουργία.

- Project Development – Ανάπτυξη Έργου (\$/kW)

Το κόστος αυτό σχετίζεται με την άδεια, τις συμφωνίες αγοράς ενέργειας (PPAs), τις συμφωνίες διασύνδεσης, τον έλεγχο της τοποθεσίας αλλά και την χρηματοδότηση του έργου.

- Grid Integration – Ενσωμάτωση στο Δίκτυο (\$/kW)

Το άμεσο κόστος σύνδεσης του σταθμού αποθήκευσης με το δίκτυο, συμπεριλαμβανομένου και του κόστους του μετασχηματιστή, του εξοπλισμού μέτρησης και των διακοπών απομόνωσης.

- Total ESS Installed Cost – Συνολικά Κόστη Εγκατάστασης Σταθμού (\$/kW ή \$/kWh)

Το άθροισμα όλων των πιο πάνω εξόδων, τα οποία είναι απαραίτητα για την εγκατάσταση του σταθμού αποθήκευσης ενέργειας.

#### Operating Costs – Λειτουργικά Κόστη

- Fixed Operations & Maintenance (O&M) – Σταθερές Λειτουργίες και Συντήρηση (\$/kW-έτος)

Τα απαραίτητα κόστη του συστήματος αποθήκευσης ώστε να διατηρηθεί σε λειτουργία καθ' όλη τη διάρκεια της οικονομικής του ζωής, όπως την προγραμματιζόμενη συντήρηση, τα ανταλλακτικά, τα εργατικά και τα οφέλη του προσωπικού. Περιλαμβάνει επίσης τη σημαντική συντήρηση που σχετίζεται με την επισκευή, η οποία εξαρτάται από την απόδοση.

- Variable O&M – Μεταβλητές Λειτουργίες και Συντήρηση (\$/MWh)

Περιλαμβάνει τα κόστη που επηρεάζονται από τη χρήση αναλωσίμων (όχι καύσιμα), απαραίτητων για τη λειτουργία του σταθμού αποθήκευσης, καθ' όλη τη διάρκεια της οικονομικής του ζωής.

- System Round Trip Efficiency (RTE) Losses – Απώλειες απόδοσης συστήματος μετ' επιστροφής (\$/kWh)

Η απόδοση μετ' επιστροφής, είναι η αναλογία της ενέργειας που εκχέεται στο δίκτυο προς την ενέργεια που λαμβάνεται από το δίκτυο, για να φέρει τον σταθμό αποθήκευσης στην ίδια κατάσταση φόρτισης. Το RTE είναι μικρότερο του 1, λόγω των απωλειών που σχετίζονται με τη θερμική διαχείριση, τις ηλεκτροχημικές απώλειες, τις απώλειες μετατροπής ισχύος και τις απώλειες μετατροπής ενέργειας. Το RTE υπολογίζεται μέσω του κόστους της πρόσθετης ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράστηκε - ανά μονάδα kWh ενέργειας που εκφορτίζεται, λόγω των απωλειών που αναφέραμε. (Υπολογίστηκε για απόδοση μετ' επιστροφής ίση με 86%)

\*Στα κόστη του σταθμού αποθήκευσης δεν συμπεριλαμβάνεται το κόστος του οικοπέδου.

### **7.1.5 Λειτουργία Σταθμού Αποθήκευσης**

Στο κεφάλαιο αυτό, θα μελετήσουμε την επένδυση σε σταθμό αποθήκευσης ενέργειας, ο οποίος θα χρησιμοποιείται μόνο για εμπόριο ενέργειας. Η μελέτη μας θα χωρίζεται σε 2 χρονικές περιόδους, το 2020 και το 2030. Ο λόγος της μελέτης των δύο ξεχωριστών χρονικών περιόδων, είναι το γεγονός ότι η αρχική επένδυση του σταθμού, καθώς και το κέρδος του σταθμού ανά MWh, θα διαφέρουν πολύ λόγω της εξέλιξης της τεχνολογίας των μπαταριών αλλά και λόγω της περεταίρω διείσδυσης των ΑΠΕ στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Θα χρησιμοποιήσουμε τα δεδομένα του Day-ahead market από την αγορά EPEX SPOT για την Γερμανία, αφού η μπαταρία μας είναι χωρητικότητας 4MWh και σύμφωνα με τα δεδομένα μας στο

day-ahead market πωλούνται ικανοποιητικές ποσότητες ενέργειας (χιλιάδες MWh), σε αντίθεση με το intraday market όπου πωλούνται πολύ πιο λίγες ποσότητες (δεκάδες MWh) και άρα έχουμε πολύ μεγαλύτερη πιθανότητα αγοραπωλησίας στο Day-ahead market. Το σύστημα αποθήκευσης που θα μελετήσουμε αποτελείται από μπαταρίες Ιόντων Λιθίου (Lithium-Ion) LFP.

### Τρόπος Λειτουργίας Εμπορίου Ενέργειας

Όπως εξηγήθηκε και στο κεφάλαιο 5, το εμπόριο ενέργειας έχει ως βασική λειτουργία την αγορά ενέργειας σε χαμηλή τιμή και την πώλησή της σε υψηλότερη τιμή. Στη δική μας μελέτη, ο σταθμός μας φορτιζόταν μέχρι το 90% της χωρητικότητάς του, δηλαδή αγόραζε ενέργεια από το δίκτυο όταν η τιμή της ενέργειας ήταν χαμηλή και εκφορτιζόταν μέχρι το 10% της χωρητικότητάς του, δηλαδή πουλούσε ενέργεια στο δίκτυο όταν η τιμή της ενέργειας ήταν υψηλή. Αυτή η διαδικασία θεωρήσαμε ότι λάμβανε χώρα μία φορά κάθε μέρα εκτός από 60 μέρες τον χρόνο, όπου εκτιμήσαμε ότι για 5 μέρες τον μήνα δεν θα κατάφερνε το σύστημα να διεκδικήσει κάποια συμφωνία. Τις ημέρες που η ενέργεια είχε αρνητική τιμή, δηλαδή η μπαταρία μας πληρωνόταν να αποθηκεύσει ενέργεια, εκμεταλλευόμενοι της ευκαιρίας αυτής θεωρήσαμε ότι η μπαταρία φορτιζόταν στο 90% και εκφορτιζόταν την επόμενη ημέρα μέχρι το 10%, όπου η τιμή της ενέργειας ήταν θετική, πουλώντας την αποθηκευμένη ενέργεια. Η μπαταρία Ιόντων Λιθίου έχει ποσοστό αυτοεκφόρτισης 5% για τις πρώτες 24 ώρες [107], κάτι που λάβαμε υπόψη μεταξύ φόρτισης και εκφόρτισης της μπαταρίας μας την επόμενη μέρα. (Παράρτημα Ι)

### 7.1.6 Μοντελοποίηση Σταθμού Αποθήκευσης

Στην παρούσα μοντελοποίηση θα αξιολογήσουμε την απόδοση της επένδυσης σε ένα Σταθμό Αποθήκευσης Ενέργειας Μπαταριών Ιόντων Λιθίου, ο οποίος θα κάνει χρήση του εμπορίου ενέργειας με σκοπό την δημιουργία εσόδων.

#### 7.1.6.1 Χαρακτηριστικά Σταθμού Αποθήκευσης

Οι παραδοχές λειτουργίας καθώς και τα χαρακτηριστικά του σταθμού αποθήκευσης ενέργειας συνοψίζονται στη συνέχεια.

- Χαρακτηριστικά Σταθμού Αποθήκευσης

Σταθμός Αποθήκευσης	
Ισχύς	1MW
Διάρκεια	4h
Απόδοση μετ' επιστροφής	86%
Αυτοεκφόρτιση	5% σε 24 ώρες

Πίνακας 13: Χαρακτηριστικά Σταθμού Αποθήκευσης

- Συνθήκες Λειτουργίας Σταθμού Αποθήκευσης

Λειτουργία Σταθμού Αποθήκευσης	
Θερμοκρασία Λειτουργίας	15°C - 35°C
Επίπεδο φόρτισης	10% - 90%
Ημέρες χωρίς συμφωνία	5/μήνα
Συνολικός Αριθμός κύκλων στην 20ετία	6.100
Ετήσια Απομείωση Χωρητικότητας (Annual Degradation)	0.003%/κύκλο ~ 0.9%/έτος
Διάρκεια Ζωής Μπαταρίας	20 χρόνια

Πίνακας 14: Συνθήκες Λειτουργίας Σταθμού Αποθήκευσης

### 7.1.6.2 Απόδοση για το έτος 2020

Οι παραδοχές που κάναμε για το εμπόριο ενέργειας αλλά και για τα κόστη του σταθμού αποθήκευσης βασιζόμενοι στα δεδομένα του πίνακα 12 για το έτος 2020 είναι οι εξής:

- Χαρακτηριστικά Κόστους Σταθμού Αποθήκευσης

Κόστη Σταθμού Αποθήκευσης		
Συνολικό Κόστος Εγκατάστασης	379 (\$/kWh)	318.36 (€/kWh)
	\$ 1,516,000	€ 1,273,440
	Απόσβεση σε 20 χρόνια	
Σταθερά Έξοδα Λειτουργίας και Συντήρησης	3.96 (\$/kW-yr)	3.33 (€/kW-yr)
Μεταβλητά Έξοδα Λειτουργίας και Συντήρησης	0.5125 (\$/MWh)	0.4305 (€/MWh)
Απώλειες μετ' επιστροφής	0.005 (\$/kWh)	0.0042 (€/kWh)

Πίνακας 15: Κόστη Σταθμού Αποθήκευσης Μπαταριών Ιόντων Λιθίου για το έτος 2020

- Χαρακτηριστικά Εμπορίου Ενέργειας

Για τον υπολογισμό του μέσου οφέλους που προκύπτει από το εμπόριο ενέργειας, χρησιμοποιήσαμε τις τιμές ενέργειας από την αγορά EPEX-SPOT για τη Γερμανία το έτος 2020. Για τον υπολογισμό αυτό χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες τιμές ενέργειας για την κάθε ημέρα του 2020 από την σελίδα [108], καθώς δεν είχαμε πρόσβαση σε ελάχιστες και μέγιστες τιμές για την κάθε μέρα ενός ολόκληρου έτους (Παράρτημα I). Οι παραδοχές κάναμε αλλά και το αποτέλεσμα φαίνεται στον πιο κάτω πίνακα.

Εμπόριο Ενέργειας		
Αγορά ενέργειας	70% μικρότερη της μέσης τιμής ενέργειας	
Πώληση ενέργειας	70% μεγαλύτερη της μέσης τιμής ενέργειας	
Μέσο όφελος	58.52 (\$/MWh)	49.16 (€/MWh)

Πίνακας 16: Χαρακτηριστικά Εμπορίου Ενέργειας 2020

- **Ενέργεια που χάθηκε λόγω απομείωσης**

Η συνολική ενέργεια που εκφορτίζεται στο δίκτυο μειώνεται κάθε χρόνο λόγω της απομείωσης της χωρητικότητας (degradation) των μπαταριών μας. Η ετήσια ενέργεια που εκφορτίζεται στο δίκτυο ανά έτος φαίνεται στο πιο κάτω γράφημα, όπου παρατηρούμε ότι σε βάθος 20ετίας η μπαταρία μας έχει χάσει χωρητικότητα ίση με 164 MWh.



Γράφημα 14: Ενέργεια από τον σταθμό αποθήκευσης προς το δίκτυο

### Απόδοση Επένδυσης Χωρίς Δάνειο

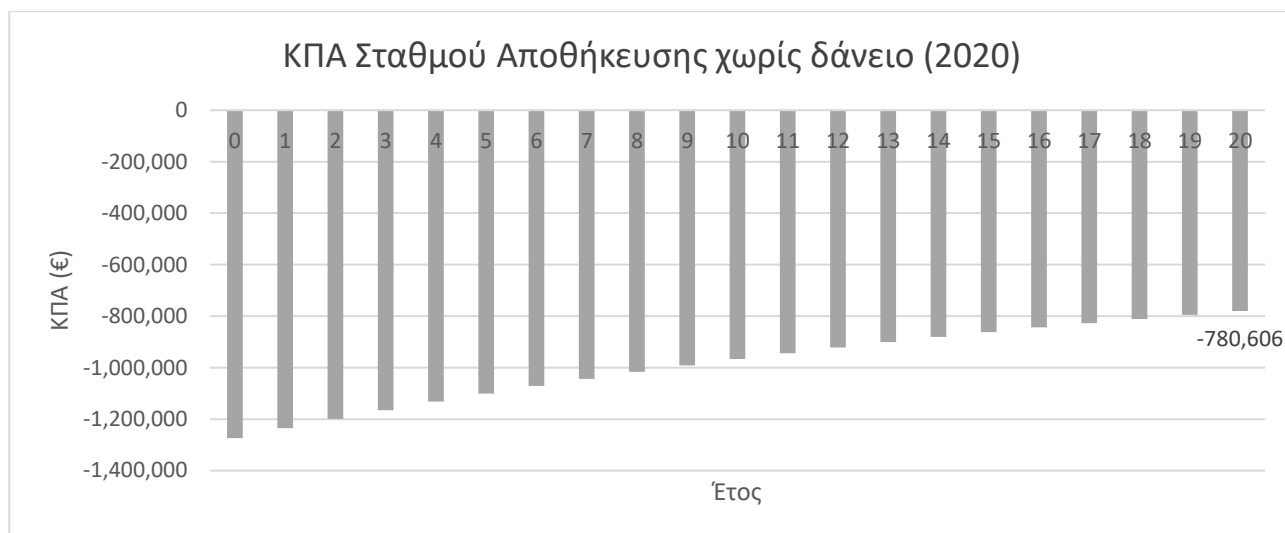
Τα χαρακτηριστικά της επένδυσης μας χωρίς δάνειο φαίνονται στον πιο κάτω πίνακα.

Επένδυση Σταθμού Αποθήκευσης	
Δάνειο	0%
Επιτόκιο Αναγωγής	4%
Πληθωρισμός	1%
Φόρος Εισοδήματος	24%

Πίνακας 17: Χαρακτηριστικά Επένδυσης Σταθμού Αποθήκευσης Μπαταριών Ιόντων Λιθίου για το έτος 2020 χωρίς δανειοδότηση



Τα αποτελέσματα της Καθαρής Παρούσας Αξίας (ΚΠΑ) που προέκυψαν φαίνονται στο πιο κάτω γράφημα, όπου ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης (Internal Rate of Return – IRR) προκύπτει ίσος με IRR: -5.10%. (Παράρτημα II)



Γράφημα 15: ΚΠΑ του Σταθμού Αποθήκευσης για το έτος 2020 χωρίς δανειοδότηση

Παρατηρούμε ότι ακόμα και με τις ευνοϊκές παραδοχές που έχουμε κάνει, ο σταθμός αποθήκευσης μας δεν είναι βιώσιμος με το εμπόριο ενέργειας για το έτος 2020. Αυτό συμβαίνει διότι η τεχνολογία των μπαταριών είναι ακόμα πολύ ακριβή, ενώ το όφελος από το εμπόριο ενέργειας είναι χαμηλό και δεν επαρκεί ώστε να καταστεί η επένδυση βιώσιμη. Συγκριτικά, το όφελος που χρειάζεται να έχουμε από το εμπόριο ενέργειας ώστε να έχουμε ΚΠΑ=0 στην 20ετία είναι περίπου ίσο με 124.431 €/MWh, το οποίο είναι περισσότερο από διπλάσιο σε σχέση με το πραγματικό όφελος που επιτυγχάνουμε, ακόμη και με τις ευνοϊκές παραδοχές που κάναμε.

### Απόδοση Επένδυσης με Δάνειο

Εφόσον η επένδυση μας είναι φανερά μη βιώσιμη, δεν υπάρχει λόγος να ελέγξουμε την επένδυση με δάνειο αφού καμία τράπεζα δεν θα το ενέκρινε. Ο λόγος είναι διότι η απόδοση της επένδυσης μας θα εξακολουθούσε ήταν αρνητική κάθε χρόνο και άρα δεν θα μπορούσε να ξεχρεώσει το δάνειο.

#### 7.1.6.3 Απόδοση για το έτος 2030

Για το έτος 2030, θεωρήσαμε ότι οι ΑΠΕ θα έχουν πολύ μεγαλύτερο ποσοστό στην συνολική παραγωγή ενέργειας [73], όπου λόγω της φύσης της παραγωγής τους, θα έχουμε και πολύ περισσότερες ημέρες με αρνητικές τιμές και άρα συνολικά μεγαλύτερο κέρδος ανά MWh για τον σταθμό αποθήκευσης, λόγω της εκμετάλλευσης των αρνητικών τιμών αυτών. Για τον λόγο αυτό, κάνουμε μια ευνοϊκή εκτίμηση ότι το μέσο όφελος μας θα ανέρχεται στα 120 \$/MWh ή 100.8 €/MWh, δηλαδή περίπου σε διπλάσιο όφελος σε σχέση με το όφελος που υπολογίσαμε το 2020.

Οι παραδοχές που κάναμε όσον αφορά τα κόστη του πάρκου αποθήκευσης βασιζόμενοι στα δεδομένα του πίνακα 12, καθώς και οι παραδοχές που έγιναν για το εμπόριο ενέργειας του πάρκου για το έτος 2030 είναι οι εξής:

- Χαρακτηριστικά Κόστους Πάρκου Αποθήκευσης

<b>Κόστη Σταθμού Αποθήκευσης</b>		
<b>Συνολικό Κόστος Εγκατάστασης</b>	276 (\$/kWh)	231.84 (€/kWh)
	\$ 1,104,000	€ 927,360
	Απόσβεση σε 20 χρόνια	
<b>Σταθερά Έξοδα Λειτουργίας και Συντήρησης</b>	3.26 (\$/kW-yr)	2.74 (€/kW-yr)
<b>Μεταβλητά Έξοδα Λειτουργίας και Συντήρησης</b>	0.5125 (\$/MWh)	0.4305 (€/MWh)
<b>Απώλειες μετ' επιστροφής</b>	0.004 (\$/kWh)	0.0034 (€/kWh)

Πίνακας 18: Κόστη Σταθμού Αποθήκευσης Μπαταριών Ιόντων Λιθίου για το έτος 2030

- Χαρακτηριστικά Εμπορίου Ενέργειας

<b>Εμπόριο Ενέργειας</b>		
<b>Μέσο όφελος</b>	120 (\$/MWh)	100.8 (€/MWh)

Πίνακας 19: Χαρακτηριστικά Εμπορίου Ενέργειας 2030

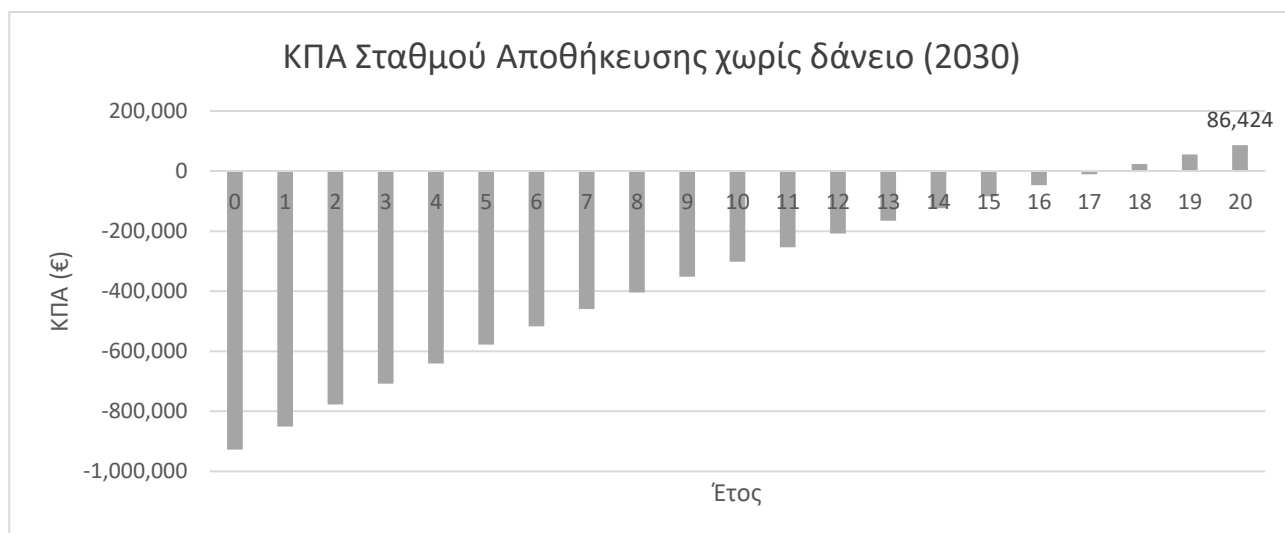
### Απόδοση Επένδυσης Χωρίς Δάνειο

Τα χαρακτηριστικά της επένδυσης μας χωρίς δάνειο φαίνονται στον πιο κάτω πίνακα.

<b>Επένδυση Σταθμού Αποθήκευσης</b>	
<b>Δάνειο</b>	0%
<b>Επιτόκιο Αναγωγής</b>	4%
<b>Πληθωρισμός</b>	1%
<b>Φόρος Εισοδήματος</b>	24%

Πίνακας 20: Χαρακτηριστικά Επένδυσης Σταθμού Αποθήκευσης Μπαταριών Ιόντων Λιθίου για το έτος 2030 χωρίς δανειοδότηση

Τα αποτελέσματα της Καθαρής Παρούσας Αξίας (ΚΠΑ) που προέκυψαν φαίνονται στο πιο κάτω γράφημα, όπου ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης προκύπτει ίσος με IRR: 5.06%. (Παράρτημα ΙΙΙ)



Γράφημα 16: ΚΠΑ του Σταθμού Αποθήκευσης για το έτος 2030 χωρίς δανειοδότηση

Παρατηρούμε ότι για το 2030 όπου έχουμε χαμηλότερα κόστη σταθμού αποθήκευσης καθώς και μεγαλύτερο μέσο όφελος ανά MWh, η επένδυση σε ένα σταθμό αποθήκευσης με σκοπό το εμπόριο ενέργειας είναι *κερδοφόρα* στην 20ετία, αποφέροντας κέρδος €86,424. Συγκριτικά, για να έχουμε ΚΠΑ=0 στην 20ετία, χρειαζόμαστε μέσο όφελος ενέργειας περίπου ίσο με 91.389 €/MWh.

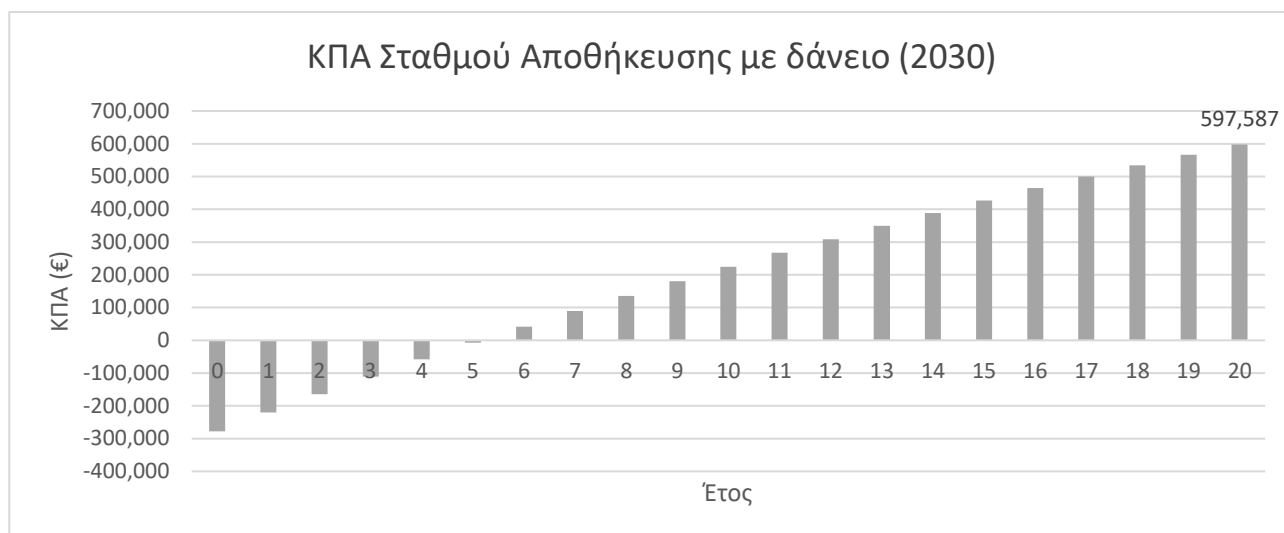
### Απόδοση Επένδυσης με Δάνειο

Η επένδυση μας χωρίς δάνειο είναι βιώσιμη, ωστόσο με ένα δάνειο θα καταφέρει να έχει πολύ καλύτερη απόδοση. Για τον λόγο αυτό θα εξετάσουμε την επένδυση και με δάνειο 70%. Τα χαρακτηριστικά της επένδυσής μας φαίνονται στον πιο κάτω πίνακα.

Χαρακτηριστικά Επένδυσης		
Δάνειο	70%	€ 649,152
Εξόφληση Δανείου	15 χρόνια	
Επιτόκιο Δανείου	4%	
Επιτόκιο Αναγωγής	4%	
Πληθωρισμός	1%	
Φόρος Εισοδήματος	24%	

Πίνακας 21: Χαρακτηριστικά Επένδυσης Σταθμού Αποθήκευσης Μπαταριών Ιόντων Λιθίου για το έτος 2030 με δανειοδότηση

Τα αποτελέσματα της Καθαρής Παρούσας Αξίας (ΚΠΑ) που προέκυψαν φαίνονται στο πιο κάτω γράφημα, όπου ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης προκύπτει ίσος με IRR: 21.91%. (Παράρτημα IV)



Γράφημα 17: ΚΠΑ του Σταθμού Αποθήκευσης για το έτος 2030 με δανειοδότηση

Παρατηρούμε ότι όντως, η επένδυσή μας για το 2030 από IRR=5.06% και ΚΠΑ= €86,424 που είχε χωρίς δάνειο, κατάφερε με δάνειο 70% να έχει IRR=21.91% και ΚΠΑ= €597,587 και άρα βελτιωμένη απόδοση. Το οριακό μέσο όφελος που χρειαζόμαστε για να έχουμε ΚΠΑ=0 στην 20ετία στην περίπτωση αυτή, προκύπτει ίσο με 44.923 €/MWh.

#### 7.1.6.4 Σύγκριση Επενδύσεων Σταθμού Αποθήκευσης

Παραθέτουμε στη συνέχεια ένα πίνακα στον οποίο φαίνονται συνοπτικά οι επενδύσεις που μελετήθηκαν.

Επενδύσεις Σταθμού Αποθήκευσης				
Έτος Επένδυσης	2020		2030	
	OXI	NAI	OXI	NAI
Δανειοδότηση	OXI	NAI	OXI	NAI
ΚΠΑ (€)	-780,606	-	86,424	597,587
IRR (%)	-5.10	-	5.06	21.91
Οριακό Μέσο Όφελος (€/MWh)	124.431	-	91.389	44.923

Πίνακας 22: Σύγκριση Επενδύσεων Σταθμού Αποθήκευσης

#### 7.1.7 Συμπεράσματα

Η τεχνολογία των μπαταριών, παρόλο που έχει βελτιωθεί πολύ τα τελευταία χρόνια, εξακολουθεί να είναι αρκετά ακριβή. Όπως έχουμε δει και πιο πάνω, σε βάθος 10ετίας προβλέπεται ότι οι μπαταρίες θα έχουν αναπτυχθεί αρκετά, ώστε σε συνδυασμό με την αύξηση του οφέλους που μπορεί να επιτευχθεί από το εμπόριο ενέργειας, το κόστος ενός σταθμού αποθήκευσης να μην είναι πλέον απαγορευτικό. Αυτό εξάλλου φαίνεται και από τη μείωση 26.55% του οριακού μέσου οφέλους

ενέργειας που χρειάζεται το έτος 2030 (91.389 €/MWh) συγκριτικά με το έτος 2020 (124.431 €/MWh) για επένδυση χωρίς δάνειο, ώστε να έχουμε ΚΠΑ=0.

Με τη χρήση του σταθμού αποθήκευσης για μια μόνο εφαρμογή, όπως για παράδειγμα το εμπόριο ενέργειας στη δική μας περίπτωση, είναι δύσκολο να αποβεί κερδοφόρα η επένδυσή εν έτη 2020. Αυτό γίνεται διότι ο σταθμός αποθήκευσης μας κάνει χρήση μόνο μιας εφαρμογής με χαμηλά έσοδα, ενώ παράλληλα έχει και πολύ υψηλά κόστη μπαταριών. Με τον συνδυασμό πολλαπλών εφαρμογών, ο σταθμός αποθήκευσης θα μπορούσε να γίνει κερδοφόρος ακόμη και με τα τωρινά υψηλά κόστη μπαταριών, αξιοποιώντας πλήρως την δυνατότητα του σταθμού και ανεβάζοντας έτσι τα έσοδά [109].

## 7.2 Φωτοβολταϊκό Πάρκο

Στο υποκεφάλαιο αυτό θα μελετήσουμε την επένδυση σε ένα φωτοβολταϊκό πάρκο και η μελέτη μας θα χωριστεί σε δύο μέρη. Το πρώτο μέρος αφορά ένα Φωτοβολταϊκό πάρκο το οποίο δεν δέχεται περικοπή ενέργειας (curtailment), ενώ το δεύτερο μέρος αφορά ένα Φωτοβολταϊκό πάρκο το οποίο δέχεται περικοπή ενέργειας. Η ανάλυση θα γίνει μόνο για επένδυση με δανειοδότηση.

### 7.2.1 Λειτουργία Φωτοβολταϊκού Πάρκου

Η λειτουργία του Φωτοβολταϊκού μας είναι η συνηθισμένη λειτουργία ενός πάρκου ΑΠΕ, δηλαδή η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμη πηγή, στη περίπτωση μας τον ήλιο, και η πώλησή της στο δίκτυο έναντι χρηματικού ποσού.

### 7.2.2 Μοντελοποίηση Φωτοβολταϊκού Πάρκου

Στο δικό μας παράδειγμα θα μελετήσουμε ένα Φωτοβολταϊκό πάρκο στην Ελλάδα, το οποίο έχει συνάψει συμφωνία σταθερής εγγυημένης τιμής (FiT) για την πώληση ενέργειας.

#### 7.2.2.1 Χαρακτηριστικά Φωτοβολταϊκού πάρκου

Τα χαρακτηριστικά του πάρκου μας αλλά και τα κόστη φαίνονται πιο κάτω. Τα αποτελέσματά μας προέκυψαν μετά από μελέτη που διενεργήθηκε στο παζάρι.

- Χαρακτηριστικά Φωτοβολταϊκού Πάρκου

Φωτοβολταϊκό Πάρκο		
Ισχύς	10 MWp	
Ετήσια Απομείωση Παραγωγής (Degradation)	0.5%	
Εκτιμώμενη Ετήσια Παραγωγή	8760h x Ισχύς(MWp) x 16%	14,016 MWh

Πίνακας 23: Χαρακτηριστικά Φωτοβολταϊκού Πάρκου

- Κόστη Φωτοβολταϊκού Πάρκου

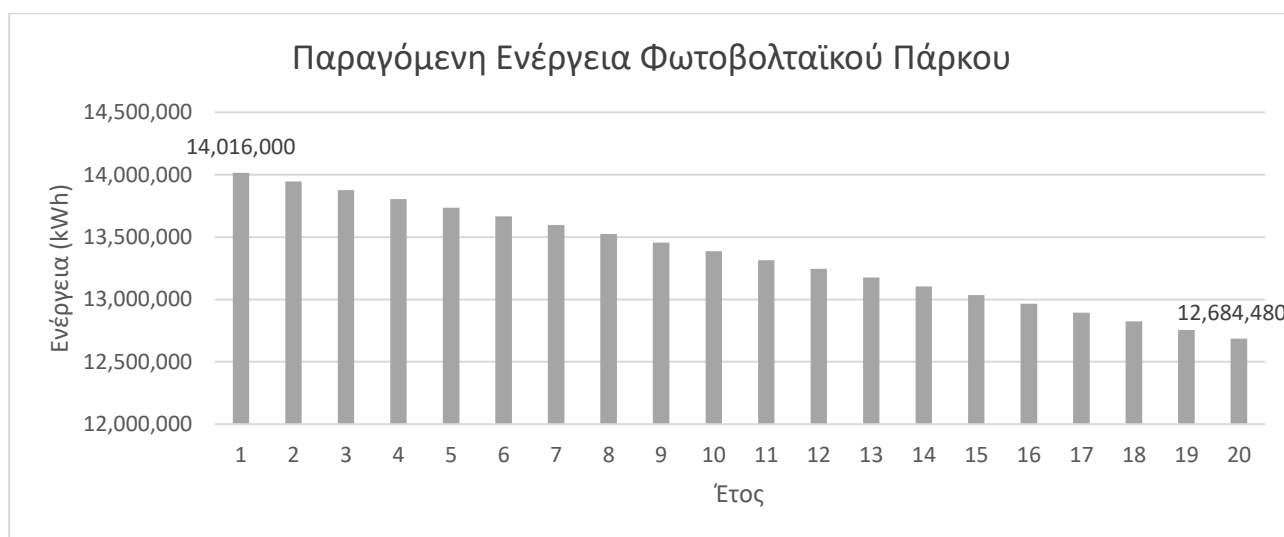
Κόστη Φωτοβολταϊκού Πάρκου			
Μηχανικός	0.05 €/Wp	€500,000	Απόσβεση σε 20 χρόνια
Σύστημα	0.068 €/Wp	€6,800,000	Απόσβεση σε 10 χρόνια
Διασύνδεση	0.05 €/Wp	€500,000	Απόσβεση σε 20 χρόνια
Διάφορα	0.10 €/Wp	€1,000,000	Απόσβεση σε 10 χρόνια
<b>Συνολικό Κόστος</b>	<b>€8,800,000</b>		
<b>Ετήσιες Δαπάνες Συντήρησης</b>	<b>5000 €/MW</b>		
<b>Ετήσια Ασφάλιστρα παγίων</b>	Συνολικό Κόστος x 0.5% x (1.02) <sup>t</sup> , t=έτος *		
<b>Ετήσιο Ενοίκιο Γηπέδου</b>	200 €/στρέμμα x 15 στρέμματα/MWp x Ισχύς(MWp)		
<b>Ετήσια Έξοδα Διοίκησης</b>	5% x Έσοδα από πώληση ενέργειας		

Πίνακας 24: Κόστη Φωτοβολταϊκού Πάρκου

\*Το ασφαλιστήριο συμβόλαιο προσ αυξάνεται κατά 2% κάθε έτος.

- Παραγόμενη Ενέργεια από το Φωτοβολταϊκό

Η Ενέργεια που θα παράγει το Φωτοβολταϊκό μας πάρκο φαίνεται στο πιο κάτω γράφημα, λαμβάνοντας υπόψη την ετήσια απομείωση παραγωγής ίση με 0.5%.



Γράφημα 18: Παραγόμενη Ενέργεια από το Φωτοβολταϊκό Πάρκο

Παρατηρούμε ότι λόγω της απομείωσης, σε διάστημα 20 ετών χάνουμε παραγωγή ίση με 1,331,520 kWh.

- Χαρακτηριστικά Επένδυσης

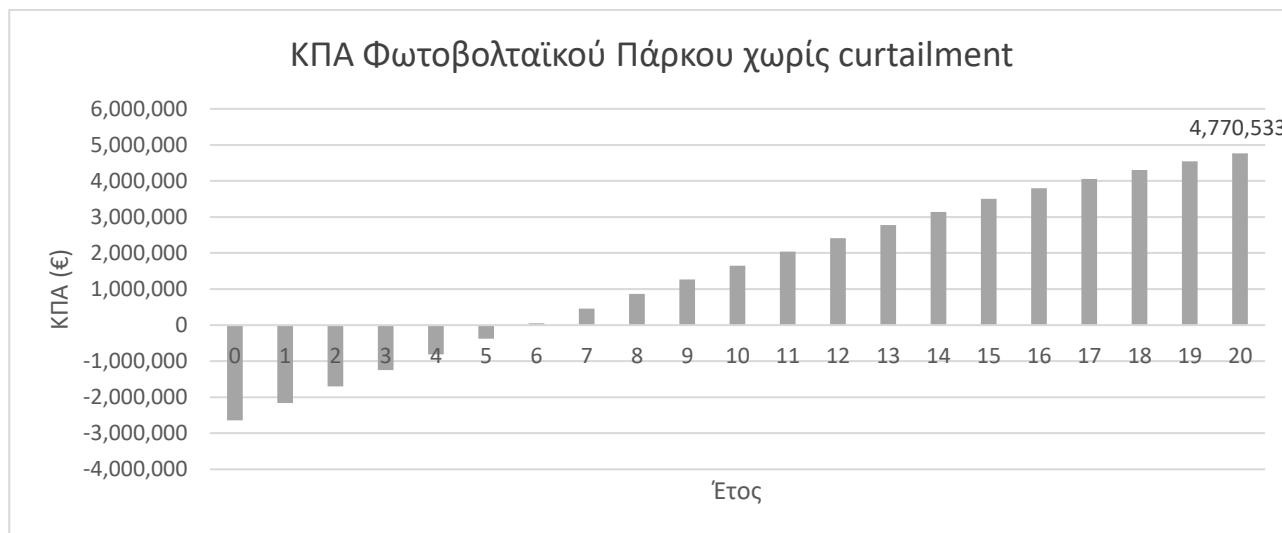
Η μελέτη του Φωτοβολταϊκού μας πάρκου θα γίνει με δανειοδότηση και τα χαρακτηριστικά της επένδυσης φαίνονται στον πιο κάτω πίνακα.

Επένδυση Φωτοβολταϊκού Πάρκου		
Δάνειο	70%	€ 6,160,000
Εξόφληση Δανείου	15 χρόνια	
Επιτόκιο Δανείου	4%	
Επιτόκιο Αναγωγής	4%	
Πληθωρισμός	1%	
Φόρος Εισοδήματος	24%	
Τιμή Πώλησης Ενέργειας	0.065 €/kWh	

Πίνακας 25: Χαρακτηριστικά Επένδυσης Φωτοβολταϊκού Πάρκου με Δανειοδότηση

#### 7.2.2.2 Απόδοση Φωτοβολταϊκού πάρκου χωρίς curtailment

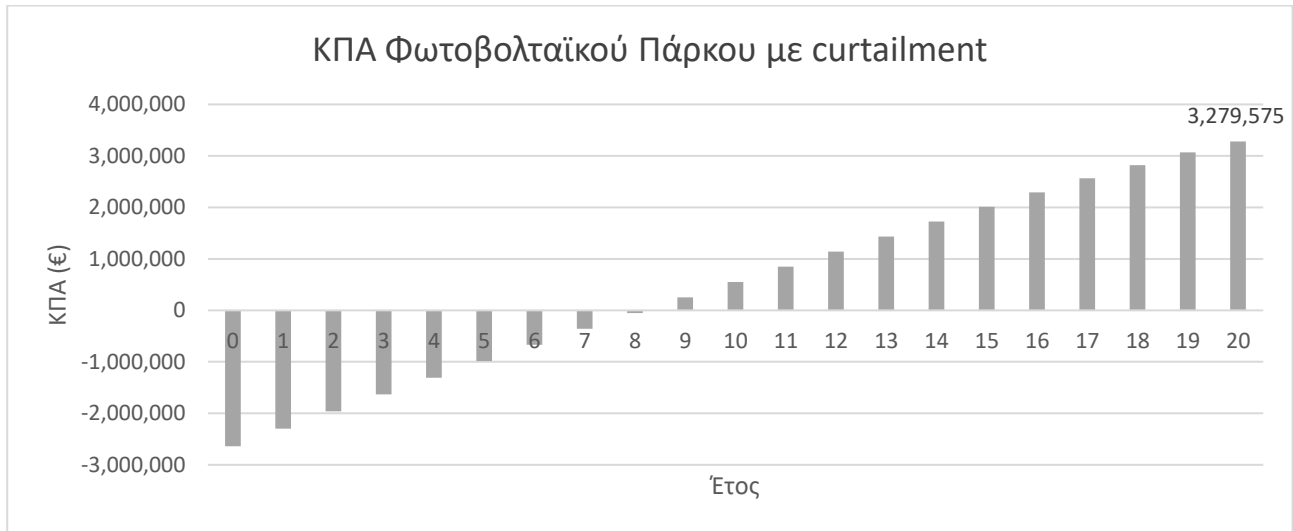
Αρχικά, θεωρήσαμε ότι το φωτοβολταϊκό μας πάρκο δεν δέχεται καθόλου περικοπή ενέργειας. Το αποτέλεσμα της μελέτης μας έδειξε εσωτερικό βαθμό απόδοσης ίσο με IRR: 19.46%. Στο πιο κάτω γράφημα φαίνεται η ΚΠΑ, όπου καταλήγουμε σε ΚΠΑ= €4,770,533. (Παράρτημα V)



Γράφημα 19: ΚΠΑ του Φωτοβολταϊκού Πάρκου χωρίς curtailment

### 7.2.2.3 Απόδοση Φωτοβολταϊκού πάρκου με curtailment

Στη συνέχεια, θεωρήσαμε ότι το φωτοβολταϊκό μας πάρκο δέχεται περικοπή ενέργειας 16% ανά έτος. Το αποτέλεσμα της μελέτης μας έδειξε εσωτερικό βαθμό απόδοσης ίσο με IRR: 14.43%. Στο πιο κάτω γράφημα φαίνεται η ΚΠΑ, όπου καταλήγουμε σε ΚΠΑ= €3,279,575. (Παράρτημα VI)



Γράφημα 20: ΚΠΑ του Φωτοβολταϊκού Πάρκου με curtailment

Συγκρίνοντας την απόδοση του φωτοβολταϊκού μας πάρκου με και χωρίς το curtailment, παρατηρούμε ότι με curtailment 16% έχουμε ΚΠΑ μικρότερη κατά €1,490,958 και IRR μικρότερο κατά 5.03% (25.85% μείωση). Αυτό μας δείχνει ότι η περικοπή ενέργειας έχει σημαντική επίπτωση στην απόδοση της επένδυσης ενός φωτοβολταϊκού πάρκου.

- **Χαμένη ενέργεια λόγω curtailment**

Στο πιο κάτω γράφημα, μπορούμε να δούμε την συσσωρευμένη χαμένη ενέργεια μέχρι το κάθε έτος, για curtailment ίσο με 16%.



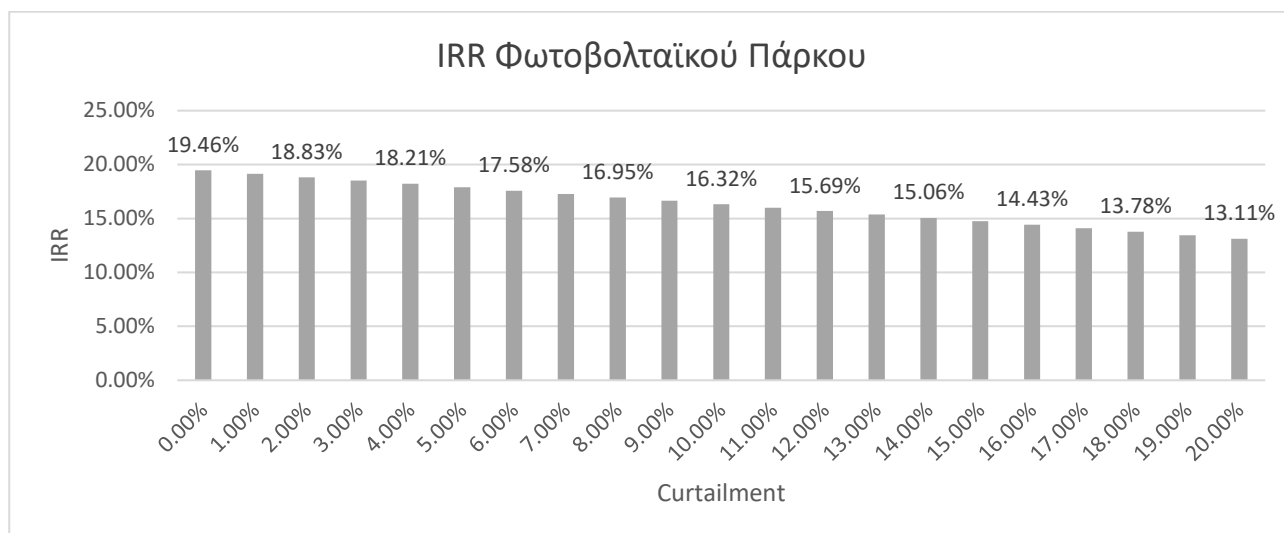
Γράφημα 21: Χαμένη Ενέργεια λόγω Curtailment



Παρατηρούμε ότι, λόγω της περικοπής ενέργειας, το φωτοβολταϊκό μας χάνει συνολικά ενέργεια ίση με 42,720,768 kWh, κάτι το οποίο επηρεάζει πολύ την απόδοσή του όπως φάνηκε και από τη μείωση του εσωτερικού βαθμού απόδοσης και της ΚΠΑ της επένδυσης με περικοπές ενέργειας.

- **Απόδοση ανάλογα με curtailment**

Για να γίνει πιο κατανοητή η συσχέτιση της απόδοσης της επένδυσής μας με το curtailment, στο επόμενο γράφημα βλέπουμε πως επηρεάζεται ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR) της επένδυσης του φωτοβολταϊκού πάρκου σε σχέση με το ποσοστό curtailment που δέχεται.



Γράφημα 22: IRR Φωτοβολταϊκού Πάρκου ανάλογα με το curtailment

#### 7.2.2.4 Σύγκριση Επενδύσεων Φωτοβολταϊκού Πάρκου

Παραθέτουμε στη συνέχεια ένα πίνακα στον οποίο φαίνονται συνοπτικά οι επενδύσεις που μελετήθηκαν για το Φωτοβολταϊκό Πάρκο.

Επενδύσεις Φωτοβολταϊκού Πάρκου		
Έτος Επένδυσης	2020	
<b>Curtailment (%)</b>	0	16
<b>ΚΠΑ (€)</b>	4,770,553	3,279,575
<b>IRR (%)</b>	19.46	14.43

Πίνακας 26: Σύγκριση Επενδύσεων Φωτοβολταϊκού Πάρκου

#### 7.2.3 Συμπεράσματα

Από τα αποτελέσματα μας καταλήγουμε σε ένα λογικό συμπέρασμα, ότι δηλαδή όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό curtailment, τόσο περισσότερο πλήγμα δέχεται η επένδυση σε ένα φωτοβολταϊκό πάρκο και άρα η απόδοση της επένδυσης όλο και μειώνεται.

### 7.3 Υβριδικός Σταθμός: Φωτοβολταϊκά – Μπαταρίες

Στο παρόν υποκεφάλαιο θα εξετάσουμε το φωτοβολταϊκό πάρκο του κεφαλαίου 7.2, σε συνδυασμό με το πάρκο αποθήκευσης που μελετήσαμε στο κεφάλαιο 7.1 (επένδυση του 2020). Συγκεκριμένα, θα μελετήσουμε τον συνδυασμό ενός Φωτοβολταϊκού πάρκου ισχύος 10MWp και ενός Σταθμού Αποθήκευσης 1MW/4MWh. Η ανάλυση θα γίνει μόνο για επένδυση με δανειοδότηση.

Θα δούμε πως αντιμετωπίζεται το πρόβλημα της περικοπής ενέργειας (curtailment) των Φωτοβολταϊκών με την υβριδοποίηση, δηλαδή χρησιμοποιώντας την τεχνολογία αποθήκευσης των μπαταριών σε συνδυασμό με ένα Φωτοβολταϊκό πάρκο.

#### 7.3.1 Λειτουργία Υβριδικού Πάρκου

Για τη λειτουργία του υβριδικού μας πάρκου θα θεωρήσουμε ότι η φωτοβολταϊκή ενέργεια που θα περικοπτόταν από το φωτοβολταϊκό, αποθηκεύεται στις μπαταρίες μας και πωλείται σε μετέπειτα στάδιο όπου δεν έχουμε υπερπροσφορά, αποφεύγοντας έτσι την περικοπή της.

#### 7.3.2 Μοντελοποίηση Υβριδικού Πάρκου

Το φωτοβολταϊκό πάρκο που δέχεται περικοπές ενέργειας (curtailment) βρίσκεται στην Ελλάδα και έχει συνάψει συμφωνία σταθερής εγγυημένης τιμής (FiT). Η μοντελοποίηση του υβριδικού πάρκου φαίνεται στη συνέχεια.

##### 7.3.2.1 Χαρακτηριστικά Υβριδικού πάρκου

Τα χαρακτηριστικά του Υβριδικού μας πάρκου φαίνονται στον πιο κάτω πίνακα. Τα κόστη του Φωτοβολταϊκού μας πάρκου προέκυψαν μετά από μελέτη που διενεργήθηκε στο παζάρι, όμοια με το υποκεφάλαιο 7.2.2.1, ενώ τα κόστη του σταθμού αποθήκευσης προέκυψαν από τη μελέτη [106], όμοια με το υποκεφάλαιο 7.1.6.2, η οποία φαίνεται στον πίνακα 12.

- Χαρακτηριστικά Επένδυσης

Η μελέτη του Φωτοβολταϊκού μας πάρκου θα γίνει με δανειοδότηση και τα χαρακτηριστικά της επένδυσης φαίνονται στον πιο κάτω πίνακα.

Επένδυση Υβριδικού Πάρκου		
	Φωτοβολταϊκό (10MW)	Μπαταρία (4MWh)
Συνολικό Κόστος	€ 8,800,000	€ 1,273,440
	€ 10,073,440*	
Δάνειο	70%	€ 7,051,408
Εξόφληση Δανείου	15 χρόνια	
Επιτόκιο Δανείου	4%	

<b>Επιτόκιο Αναγωγής</b>	4%
<b>Πληθωρισμός</b>	1%
<b>Τιμή Πώλησης Ενέργειας</b>	0.065 €/kWh

Πίνακας 27: Χαρακτηριστικά Επένδυσης Υβριδικού Πάρκου με Δανειοδότηση

\*Έχουμε κάνει την παραδοχή ότι το πάρκο αποθήκευσης θα τοποθετηθεί στον ίδιο χώρο με το Φωτοβολταϊκό πάρκο, οπότε δεν θα χρειαστούμε επιπλέον χώρο. Οι αποσβέσεις για το κάθε σύστημα θα γίνουν με τον ίδιο τρόπο που έγιναν και πριν για το καθένα ξεχωριστά.

### 7.3.2.2 Απόδοση Υβριδικού πάρκου

Η μελέτη μας θα γίνει για ποσοστό περικοπής ενέργειας ίσο με 16%. Η επένδυση μας στο υβριδικό μας πάρκο προκύπτει να έχει εσωτερικό βαθμό απόδοσης ίσο με IRR: 14.94%. Η ΚΠΑ του πάρκου μας φαίνεται στο πιο κάτω γράφημα. (Παράρτημα VII)

Οι μπαταρίες μας, για το συγκεκριμένο ποσοστό περικοπής πώλησαν στο δίκτυο συνολική ενέργεια ίση με 36,740MWh, η οποία με απομείωση 0.9%/έτος της χωρητικότητας της μπαταρίας μας αντιστοιχεί περίπου σε 11,696 κύκλους φόρτισης-εκφόρτισης σε βάθος 20ετίας, ενέργεια που εφικτά μπορεί να χειριστεί ο σταθμός αποθήκευσης μας.

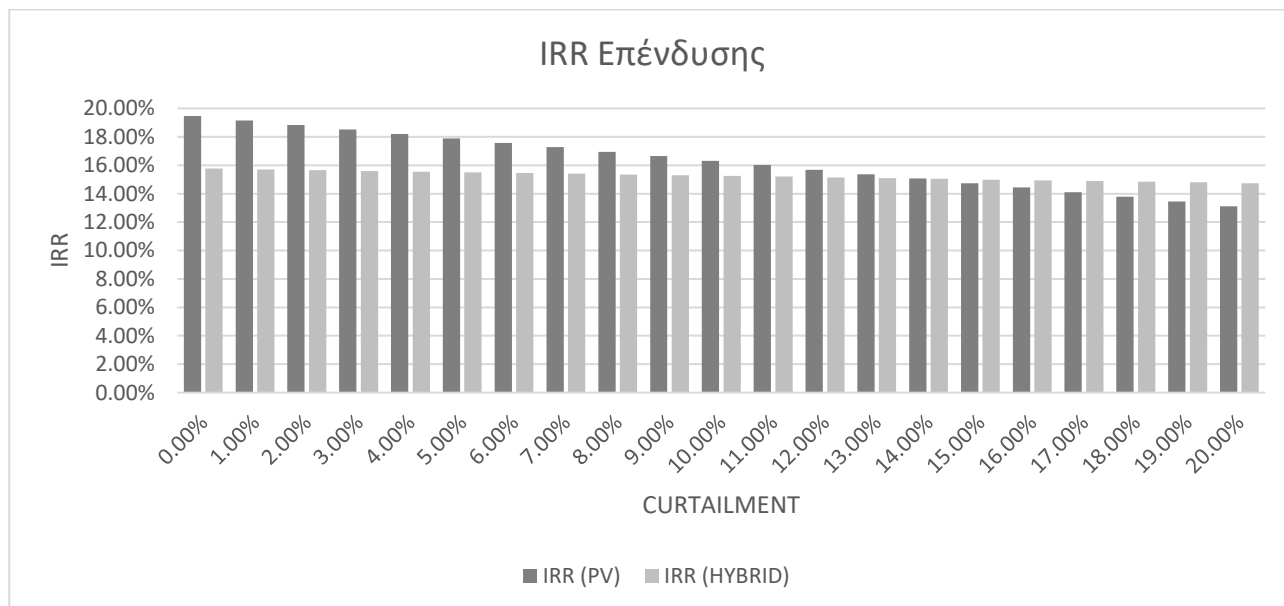


Γράφημα 23: ΚΠΑ του Υβριδικού Πάρκου

Παρατηρούμε ότι, λόγω της υβριδοποίησης, για ποσοστό περικοπής ενέργειας ίσο με 16% έχουμε μεγαλύτερη ΚΠΑ και μεγαλύτερο εσωτερικό βαθμό απόδοσης (IRR) στο υβριδικό πάρκο (14.94%) απ' ότι στο απλό φωτοβολταϊκό πάρκο (14.43%).

### 7.3.2.3 Σύγκριση απόδοσης ανάλογα με το curtailment

Για να γίνει πιο αντιληπτή η συσχέτιση του ποσοστού περικοπής με το όφελος της υβριδοποίησης, παραθέτουμε το πιο κάτω γράφημα, όπου συγκρίνουμε τους εσωτερικούς βαθμούς απόδοσης του φωτοβολταϊκού έναντι του υβριδικού πάρκου, για διάφορα ποσοστά περικοπής.



Γράφημα 24: Σύγκριση IRR Υβριδικού & Φωτοβολταϊκού Πάρκου ανάλογα με το curtailment

### 7.3.3 Συμπεράσματα

Βάση του προηγούμενου διαγράμματος, συμπεραίνουμε ότι η υβριδοποίηση είναι *συμφέρουσα μόνο για ποσοστό περικοπής μεγαλύτερο του 14%*. Αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω του υψηλού κόστους του σταθμού αποθήκευσης, αφού όπως έχουμε δει σε προηγούμενο κεφάλαιο, το κόστος των μπαταριών σήμερα είναι σχεδόν απαγορευτικό σαν επένδυση από μόνη της. Για ποσοστό περικοπής μεγαλύτερο του 14% όμως, παρατηρούμε ότι η υβριδοποίηση γίνεται όλο και πιο συμφέρουσα, εξακολουθώντας φυσικά να έχει μικρότερο IRR από αυτό ενός Φωτοβολταϊκού πάρκου το οποίο δεν δέχεται περικοπή ενέργειας.

Γενικά, αν ένα φωτοβολταϊκό πάρκο αποτύχει στην δημιουργία συμβολαίου με τιμολόγιο τροφοδοσίας, τότε αναγκαστικά θα λάβει μέρος στην αγορά ενέργειας, πουλώντας την ενέργεια που παράγει ανάλογα με την τιμή της αγοράς κάθε χρονική στιγμή. Με την υβριδοποίηση του φωτοβολταϊκού πάρκου μπορεί να επιτευχθεί καλύτερη απόδοση, αφού μπορεί η ενέργεια να αποθηκεύεται και να πωλείται όταν η τιμή της ενέργειας είναι πιο υψηλή, δηλαδή ετεροχρονισμένα από την παραγωγή της ενέργειας του φωτοβολταϊκού.

Ακόμα και στην περίπτωση όμως που το φωτοβολταϊκό πάρκο έχει συμβόλαιο πώλησης ενέργειας, το curtailment που μπορεί να δεχτεί επηρεάζει την απόδοση της επένδυσης. Όπως έχουμε δει, με την υβριδοποίηση αντιμετωπίζεται το πρόβλημα αυτό αποθηκεύοντας την ενέργεια και πουλώντας την

ετεροχρονισμένα σε περιόδους που δεν υπάρχει υπερπροσφορά, αυξάνοντας έτσι την απόδοση της επένδυσης, μόνο όμως για ένα ποσοστό περικοπής ενέργειας και πάνω, ανάλογα κάθε φορά με την κάθε περίπτωση.



## 8. Συμπεράσματα

Στην διπλωματική αυτή μελετήσαμε βιβλιογραφία σχετική κυρίως με την αποθήκευση ενέργειας και τα υβριδικά συστήματα. Βάση της μελέτης μας αλλά και της εξέτασης των σεναρίων που κάναμε, καταλήξαμε σε διάφορα συμπεράσματα όσον αφορά το μέλλον της αποθήκευσης και των υβριδικών πάρκων.

Καταρχήν, από τη μελέτη μας αντιληφθήκαμε ότι είναι αναπόφευκτο το γεγονός ότι η αγορά θα κινηθεί προς την αποθήκευση ενέργειας, αφού αποτελεί την λύση στα προβλήματα διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στα δίκτυα μας, αλλά προσφέρει και διάφορες λύσεις σε προβλήματα του δικτύου. Επίσης, συμπεράναμε ότι το κόστος των μπαταριών στο παρών στάδιο είναι αρκετά υψηλό και δεν υπάρχουν ειδικά διαμορφωμένες νομοθεσίες για την αποθήκευση, οπότε για την προώθησή τους χρειάζονται ρυθμίσεις στα νομοθετικά πλαίσια και αλλαγές στην αγορά ενέργειας.

Σύμφωνα με μελέτη [110], το σταθμισμένο κόστος ενέργειας ενός πάρκου αποθήκευσης είναι πολλαπλάσιο του ετήσιου μέσου όρου τιμής στην αγορά της προηγούμενης ημέρας (day-ahead market) και η προώθηση των συστημάτων αποθήκευσης μπορεί να γίνει με μελλοντικές αλλαγές στην αγορά ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της αύξησης της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας, ειδικά κατά τις ώρες αιχμής μέσα στη μέρα. Στο μέλλον είδαμε ότι τα κόστη των μπαταριών πρόκειται να πέσουν σημαντικά και οι επενδύσεις σε αυτά θα είναι κερδοφόρες πιο εύκολα. Ακόμα, είδαμε ότι οι συνθήκες λειτουργίας του σταθμού αποθήκευσης πρέπει να χαίρουν ειδικής μεταχείρισης, λειτουργώντας τον σταθμό σε συνθήκες όσο το δυνατόν πιο ιδανικές με σκοπό να παραταθεί διάρκεια ζωής του.

Για τα φωτοβολταϊκά πάρκα παρατηρήσαμε ότι, όσο μεγαλύτερη είναι η περικοπή ενέργειας που δέχονται, τόσο μεγαλύτερη ζημιά δέχεται η απόδοση της επένδυσης. Αυτό επιδεικνύει την σημαντικότητα αντιμετώπισης του προβλήματος αυτού, με σκοπό την διατήρηση ενδιαφέροντος των επενδυτών σε επενδύσεις ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Όσον αφορά τα υβριδικά συστήματα, είδαμε ότι η υβριδοποίηση με σκοπό τον περιορισμό της περικοπής ενέργειας (curtailment) στο παράδειγμα που μελετήσαμε (10MW PV – 4MWh BESS) είναι προς το παρών συμφέρουσα μόνο για μεγάλα ποσοστά περικοπής. Στο μέλλον, με την συνεχή μείωση του κόστους των φωτοβολταϊκών και των μπαταριών, είναι πιθανόν η υβριδοποίηση με σκοπό την αντιμετώπιση του curtailment να καθίσταται συμφέρουσα και για μικρότερα ποσοστά περικοπής ενέργειας. Όπως παρουσιάζεται και στο [109], η επένδυση σε σταθμό αποθήκευσης μπορεί να αποβεί κερδοφόρα ακόμη και με τα τωρινά υψηλά κόστη μπαταριών, με την πλήρη αξιοποίηση της δυναμικής του σταθμού, χρησιμοποιώντας δηλαδή τον σταθμό αποθήκευσης για πολλαπλές

εφαρμογές και ανεβάζοντας έτσι τα έσοδά του σε ικανοποιητικό ποσό. Από αυτό συμπεραίνουμε ότι η επένδυση σε υβριδικό σταθμό όπου η αποθήκευση θα έχει πολλαπλές εφαρμογές, μπορεί να καταστεί πιο συμφέρουσα έναντι ενός φωτοβολταϊκού σταθμού, αφού με την υβριδοποίηση θα έχουμε ταυτόχρονα και τα οφέλη της μείωσης της περικοπής ενέργειας του φωτοβολταϊκού πάρκου.

Με την παροχή κινήτρων προς τους επενδυτές ώστε να υποστηριχτούν οι επενδύσεις σε υβριδικούς σταθμούς, σε συνδυασμό με την αύξηση του ποσοστού περικοπής, τα υβριδικά πάρκα θα γίνουν σίγουρα πιο ελκυστικά για επενδύσεις.

Τέλος, συμπεραίνουμε γενικά ότι το κατά πόσο η υβριδοποίηση ενός φωτοβολταϊκού πάρκου είναι συμφέρουσα εξαρτάται από πάρα πολλές μεταβλητές. Η κάθε επένδυση μπορεί να διαφέρει και χρειάζεται ξεχωριστή μελέτη για το κάθε έργο. Η βιωσιμότητα ή όχι του υβριδικού πάρκου εξαρτάται κυρίως από τα κόστη σταθμού αποθήκευσης, τα έσοδα που μπορεί να αποφέρει η αποθήκευση ανάλογα με τις εφαρμογές που χρησιμοποιείται, αλλά και από τις πολιτικές της κάθε χώρας.



## Παράρτημα

### I. Μέσες Τιμές από EPEX SPOT MARKET της Γερμανίας και υπολογισμός μέσου κέρδους, για ολόκληρο το 2020.

Date	Average Price (€/MWh)	Buying Price (€/MWh)	Selling Price (€/MWh)	Profit (€/MWh)	Profit (€/day)
01/01/2020	34.79	10.44	59.14	48.71	194.82
02/01/2020	39.27	11.78	66.76	54.98	219.91
03/01/2020	26.24	7.87	44.61	36.74	146.94
04/01/2020	19.73	5.92	33.54	27.62	110.49
05/01/2020	35.77	10.73	60.81	50.08	200.31
06/01/2020	38.74	11.62	65.86	54.24	216.94
07/01/2020	41.07	12.32	69.82	57.50	229.99
08/01/2020	33.59	10.08	57.10	47.03	188.10
09/01/2020	36.43	10.93	61.93	51.00	204.01
10/01/2020	35.08	10.52	59.64	49.11	196.45
11/01/2020	3.68	1.10	6.26	0.00	0.00
12/01/2020	22.66	6.80	38.52	31.72	126.90
13/01/2020	37.91	11.37	64.45	53.07	212.30
14/01/2020	23.85	7.16	40.55	33.39	133.56
15/01/2020	25.37	7.61	43.13	35.52	142.07
16/01/2020	38.94	11.68	66.20	54.52	218.06
17/01/2020	37.14	11.14	63.14	52.00	207.98
18/01/2020	31.84	9.55	54.13	44.58	178.30
19/01/2020	34.06	10.22	57.90	47.68	190.74
20/01/2020	44.94	13.48	76.40	62.92	251.66
21/01/2020	42.00	12.60	71.40	58.80	235.20
22/01/2020	46.25	13.88	78.63	64.75	259.00
23/01/2020	52.15	15.65	88.66	73.01	292.04
24/01/2020	50.92	15.28	86.56	71.29	285.15
25/01/2020	40.41	12.12	68.70	56.57	226.30
26/01/2020	33.97	10.19	57.75	47.56	190.23

27/01/2020	37.97	11.39	64.55	53.16	212.63
28/01/2020	32.01	9.60	54.42	44.81	179.26
29/01/2020	33.56	10.07	57.05	46.98	187.94
30/01/2020	32.95	9.89	56.02	46.13	184.52
31/01/2020	22.81	6.84	38.78	31.93	127.74
01/02/2020	6.88	2.06	11.70	0.00	0.00
02/02/2020	16.35	4.91	27.80	0.00	0.00
03/02/2020	27.86	8.36	47.36	39.00	156.02
04/02/2020	27.79	8.34	47.24	38.91	155.62
05/02/2020	36.87	11.06	62.68	51.62	206.47
06/02/2020	37.52	11.26	63.78	52.53	210.11
07/02/2020	37.08	11.12	63.04	51.91	207.65
08/02/2020	22.79	6.84	38.74	31.91	127.62
09/02/2020	0.68	0.20	1.16	0.00	0.00
10/02/2020	8.24	2.47	14.01	0.00	0.00
11/02/2020	11.72	3.52	19.92	0.00	0.00
12/02/2020	19.29	5.79	32.79	27.01	108.02
13/02/2020	38.34	11.50	65.18	53.68	214.70
14/02/2020	36.84	11.05	62.63	51.58	206.30
15/02/2020	20.42	6.13	34.71	28.59	114.35
<b>16/02/2020</b>	<b>-8.43</b>	<b>-14.33</b>	<b>-2.53</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
17/02/2020	19.05	5.72	32.39	46.72	<b>177.52</b>
18/02/2020	21.63	6.49	36.77	30.28	121.13
19/02/2020	30.94	9.28	52.60	43.32	173.26
20/02/2020	28.87	8.66	49.08	40.42	161.67
21/02/2020	24.66	7.40	41.92	34.52	138.10
<b>22/02/2020</b>	<b>-1.75</b>	<b>-2.98</b>	<b>-0.53</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
23/02/2020	6.95	2.09	11.82	14.80	<b>56.22</b>
24/02/2020	29.64	8.89	50.39	41.50	165.98
25/02/2020	24.25	7.28	41.23	33.95	135.80
26/02/2020	31.94	9.58	54.30	44.72	178.86
27/02/2020	39.27	11.78	66.76	54.98	219.91
28/02/2020	31.24	9.37	53.11	43.74	174.94

29/02/2020	8.92	2.68	15.16	0.00	0.00
01/03/2020	5.65	1.70	9.61	0.00	0.00
02/03/2020	33.37	10.01	56.73	46.72	186.87
03/03/2020	36.62	10.99	62.25	51.27	205.07
04/03/2020	40.42	12.13	68.71	56.59	226.35
05/03/2020	36.57	10.97	62.17	51.20	204.79
06/03/2020	30.68	9.20	52.16	42.95	171.81
07/03/2020	29.06	8.72	49.40	40.68	162.74
08/03/2020	16.35	4.91	27.80	0.00	0.00
09/03/2020	37.97	11.39	64.55	53.16	212.63
10/03/2020	23.46	7.04	39.88	32.84	131.38
11/03/2020	23.11	6.93	39.29	32.35	129.42
12/03/2020	11.99	3.60	20.38	0.00	0.00
13/03/2020	15.84	4.75	26.93	0.00	0.00
14/03/2020	30.10	9.03	51.17	42.14	168.56
15/03/2020	1.42	0.43	2.41	0.00	0.00
16/03/2020	31.45	9.44	53.47	44.03	176.12
17/03/2020	28.11	8.43	47.79	39.35	157.42
18/03/2020	26.25	7.88	44.63	36.75	147.00
19/03/2020	28.87	8.66	49.08	40.42	161.67
20/03/2020	25.21	7.56	42.86	35.29	141.18
21/03/2020	10.69	3.21	18.17	0.00	0.00
<b>22/03/2020</b>	<b>-3.84</b>	<b>-6.53</b>	<b>-1.15</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
23/03/2020	16.64	4.99	28.29	34.82	<b>132.31</b>
24/03/2020	19.96	5.99	33.93	27.94	111.78
25/03/2020	22.85	6.86	38.85	31.99	127.96
26/03/2020	21.83	6.55	37.11	30.56	122.25
27/03/2020	21.16	6.35	35.97	29.62	118.50
28/03/2020	13.44	4.03	22.85	0.00	0.00
29/03/2020	3.69	1.11	6.27	0.00	0.00
30/03/2020	23.08	6.92	39.24	32.31	129.25
31/03/2020	24.90	7.47	42.33	34.86	139.44
01/04/2020	23.12	6.94	39.30	32.37	129.47

02/04/2020	19.39	5.82	32.96	27.15	108.58
03/04/2020	22.49	6.75	38.23	31.49	125.94
04/04/2020	19.64	5.89	33.39	27.50	109.98
05/04/2020	0.37	0.11	0.63	0.00	0.00
06/04/2020	17.06	5.12	29.00	0.00	0.00
07/04/2020	22.80	6.84	38.76	31.92	127.68
08/04/2020	25.97	7.79	44.15	36.36	145.43
09/04/2020	23.08	6.92	39.24	32.31	129.25
10/04/2020	21.92	6.58	37.26	30.69	122.75
11/04/2020	19.70	5.91	33.49	27.58	110.32
12/04/2020	11.28	3.38	19.18	0.00	0.00
<b>13/04/2020</b>	<b>-19.57</b>	<b>-33.27</b>	<b>-5.87</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
14/04/2020	19.94	5.98	33.90	67.17	<b>255.24</b>
15/04/2020	19.26	5.78	32.74	26.96	107.86
16/04/2020	24.63	7.39	41.87	34.48	137.93
17/04/2020	27.52	8.26	46.78	38.53	154.11
18/04/2020	19.96	5.99	33.93	27.94	111.78
19/04/2020	6.18	1.85	10.51	0.00	0.00
20/04/2020	0.47	0.14	0.80	0.00	0.00
<b>21/04/2020</b>	<b>-20.56</b>	<b>-34.95</b>	<b>-6.17</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
22/04/2020	6.73	2.02	11.44	46.39	<b>176.29</b>
23/04/2020	26.90	8.07	45.73	37.66	150.64
24/04/2020	20.03	6.01	34.05	28.04	112.17
25/04/2020	16.50	4.95	28.05	0.00	0.00
26/04/2020	18.06	5.42	30.70	0.00	0.00
27/04/2020	25.15	7.55	42.76	35.21	140.84
28/04/2020	25.13	7.54	42.72	35.18	140.73
29/04/2020	23.03	6.91	39.15	32.24	128.97
30/04/2020	19.82	5.95	33.69	27.75	110.99
01/05/2020	5.77	1.73	9.81	0.00	0.00
02/05/2020	12.17	3.65	20.69	0.00	0.00
03/05/2020	13.46	4.04	22.88	0.00	0.00
04/05/2020	26.39	7.92	44.86	36.95	147.78

05/05/2020	21.48	6.44	36.52	30.07	120.29
06/05/2020	21.20	6.36	36.04	29.68	118.72
07/05/2020	23.36	7.01	39.71	32.70	130.82
08/05/2020	23.20	6.96	39.44	32.48	129.92
09/05/2020	21.70	6.51	36.89	30.38	121.52
10/05/2020	12.28	3.68	20.88	0.00	0.00
11/05/2020	14.13	4.24	24.02	0.00	0.00
12/05/2020	22.18	6.65	37.71	31.05	124.21
13/05/2020	30.34	9.10	51.58	42.48	169.90
14/05/2020	22.78	6.83	38.73	31.89	127.57
15/05/2020	20.99	6.30	35.68	29.39	117.54
16/05/2020	16.47	4.94	28.00	0.00	0.00
17/05/2020	7.95	2.39	13.52	0.00	0.00
18/05/2020	19.38	5.81	32.95	27.13	108.53
19/05/2020	23.25	6.98	39.53	32.55	130.20
20/05/2020	32.02	9.61	54.43	44.83	179.31
21/05/2020	18.91	5.67	32.15	0.00	0.00
22/05/2020	18.70	5.61	31.79	0.00	0.00
23/05/2020	10.10	3.03	17.17	0.00	0.00
<b>24/05/2020</b>	<b>-27.77</b>	<b>-47.21</b>	<b>-8.33</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
25/05/2020	18.70	5.61	31.79	79.00	<b>300.20</b>
26/05/2020	27.01	8.10	45.92	37.81	151.26
27/05/2020	22.79	6.84	38.74	31.91	127.62
28/05/2020	20.16	6.05	34.27	28.22	112.90
29/05/2020	22.36	6.71	38.01	31.30	125.22
30/05/2020	12.09	3.63	20.55	0.00	0.00
<b>31/05/2020</b>	<b>-0.26</b>	<b>-0.44</b>	<b>-0.08</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
01/06/2020	3.28	0.98	5.58	6.02	<b>22.86</b>
02/06/2020	28.10	8.43	47.77	39.34	157.36
03/06/2020	28.92	8.68	49.16	40.49	161.95
04/06/2020	26.88	8.06	45.70	37.63	150.53
05/06/2020	24.65	7.40	41.91	34.51	138.04
06/06/2020	6.29	1.89	10.69	0.00	0.00

07/06/2020	17.37	5.21	29.53	0.00	0.00
08/06/2020	31.65	9.50	53.81	44.31	177.24
09/06/2020	37.66	11.30	64.02	52.72	210.90
10/06/2020	31.91	9.57	54.25	44.67	178.70
11/06/2020	23.91	7.17	40.65	33.47	133.90
12/06/2020	20.47	6.14	34.80	28.66	114.63
13/06/2020	19.47	5.84	33.10	27.26	109.03
14/06/2020	18.33	5.50	31.16	0.00	0.00
15/06/2020	31.06	9.32	52.80	43.48	173.94
16/06/2020	34.60	10.38	58.82	48.44	193.76
17/06/2020	37.53	11.26	63.80	52.54	210.17
18/06/2020	32.20	9.66	54.74	45.08	180.32
19/06/2020	30.00	9.00	51.00	42.00	168.00
20/06/2020	23.62	7.09	40.15	33.07	132.27
21/06/2020	18.71	5.61	31.81	0.00	0.00
22/06/2020	29.55	8.87	50.24	41.37	165.48
23/06/2020	32.57	9.77	55.37	45.60	182.39
24/06/2020	35.68	10.70	60.66	49.95	199.81
25/06/2020	34.52	10.36	58.68	48.33	193.31
26/06/2020	35.00	10.50	59.50	49.00	196.00
27/06/2020	26.25	7.88	44.63	36.75	147.00
28/06/2020	16.24	4.87	27.61	0.00	0.00
29/06/2020	27.60	8.28	46.92	38.64	154.56
30/06/2020	17.12	5.14	29.10	0.00	0.00
01/07/2020	32.35	9.71	55.00	45.29	181.16
02/07/2020	39.45	11.84	67.07	55.23	220.92
03/07/2020	34.81	10.44	59.18	48.73	194.94
04/07/2020	14.14	4.24	24.04	0.00	0.00
<b>05/07/2020</b>	<b>-17.32</b>	<b>-29.44</b>	<b>-5.20</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
06/07/2020	13.13	3.94	22.32	51.76	<b>196.69</b>
07/07/2020	31.67	9.50	53.84	44.34	177.35
08/07/2020	41.97	12.59	71.35	58.76	235.03
09/07/2020	42.84	12.85	72.83	59.98	239.90

10/07/2020	36.74	11.02	62.46	51.44	205.74
11/07/2020	28.25	8.48	48.03	39.55	158.20
12/07/2020	23.58	7.07	40.09	33.01	132.05
13/07/2020	34.32	10.30	58.34	48.05	192.19
14/07/2020	37.09	11.13	63.05	51.93	207.70
15/07/2020	42.59	12.78	72.40	59.63	238.50
16/07/2020	45.41	13.62	77.20	63.57	254.30
17/07/2020	37.86	11.36	64.36	53.00	212.02
18/07/2020	28.23	8.47	47.99	39.52	158.09
19/07/2020	27.05	8.12	45.99	37.87	151.48
20/07/2020	32.72	9.82	55.62	45.81	183.23
21/07/2020	31.19	9.36	53.02	43.67	174.66
22/07/2020	34.35	10.31	58.40	48.09	192.36
23/07/2020	34.48	10.34	58.62	48.27	193.09
24/07/2020	31.00	9.30	52.70	43.40	173.60
25/07/2020	24.99	7.50	42.48	34.99	139.94
26/07/2020	10.20	3.06	17.34	0.00	0.00
27/07/2020	32.84	9.85	55.83	45.98	183.90
28/07/2020	22.02	6.61	37.43	30.83	123.31
29/07/2020	19.11	5.73	32.49	0.00	0.00
30/07/2020	35.17	10.55	59.79	49.24	196.95
31/07/2020	38.17	11.45	64.89	53.44	213.75
01/08/2020	27.86	8.36	47.36	39.00	156.02
02/08/2020	28.12	8.44	47.80	39.37	157.47
03/08/2020	37.30	11.19	63.41	52.22	208.88
04/08/2020	36.86	11.06	62.66	51.60	206.42
05/08/2020	29.18	8.75	49.61	40.85	163.41
06/08/2020	33.03	9.91	56.15	46.24	184.97
07/08/2020	35.76	10.73	60.79	50.06	200.26
08/08/2020	31.18	9.35	53.01	43.65	174.61
09/08/2020	27.81	8.34	47.28	38.93	155.74
10/08/2020	37.21	11.16	63.26	52.09	208.38
11/08/2020	36.24	10.87	61.61	50.74	202.94

12/08/2020	36.08	10.82	61.34	50.51	202.05
13/08/2020	38.95	11.69	66.22	54.53	218.12
14/08/2020	41.22	12.37	70.07	57.71	230.83
15/08/2020	31.45	9.44	53.47	44.03	176.12
16/08/2020	27.76	8.33	47.19	38.86	155.46
17/08/2020	40.68	12.20	69.16	56.95	227.81
18/08/2020	42.53	12.76	72.30	59.54	238.17
19/08/2020	38.23	11.47	64.99	53.52	214.09
20/08/2020	38.13	11.44	64.82	53.38	213.53
21/08/2020	31.68	9.50	53.86	44.35	177.41
22/08/2020	22.93	6.88	38.98	32.10	128.41
23/08/2020	13.20	3.96	22.44	0.00	0.00
24/08/2020	42.12	12.64	71.60	58.97	235.87
25/08/2020	38.66	11.60	65.72	54.12	216.50
26/08/2020	17.68	5.30	30.06	0.00	0.00
27/08/2020	46.25	13.88	78.63	64.75	259.00
28/08/2020	40.65	12.20	69.11	56.91	227.64
29/08/2020	35.48	10.64	60.32	49.67	198.69
30/08/2020	33.71	10.11	57.31	47.19	188.78
31/08/2020	55.16	16.55	93.77	77.22	308.90
01/09/2020	50.28	15.08	85.48	70.39	281.57
02/09/2020	50.05	15.02	85.09	70.07	280.28
03/09/2020	40.43	12.13	68.73	56.60	226.41
04/09/2020	38.07	11.42	64.72	53.30	213.19
05/09/2020	32.49	9.75	55.23	45.49	181.94
06/09/2020	34.68	10.40	58.96	48.55	194.21
07/09/2020	43.92	13.18	74.66	61.49	245.95
08/09/2020	36.96	11.09	62.83	51.74	206.98
09/09/2020	36.31	10.89	61.73	50.83	203.34
10/09/2020	47.72	14.32	81.12	66.81	267.23
11/09/2020	47.50	14.25	80.75	66.50	266.00
12/09/2020	28.38	8.51	48.25	39.73	158.93
13/09/2020	12.64	3.79	21.49	0.00	0.00



14/09/2020	53.12	15.94	90.30	74.37	297.47
15/09/2020	70.45	21.14	119.77	98.63	394.52
16/09/2020	54.08	16.22	91.94	75.71	302.85
17/09/2020	46.62	13.99	79.25	65.27	261.07
18/09/2020	42.00	12.60	71.40	58.80	235.20
19/09/2020	36.05	10.82	61.29	50.47	201.88
20/09/2020	36.87	11.06	62.68	51.62	206.47
21/09/2020	61.84	18.55	105.13	86.58	346.30
22/09/2020	53.89	16.17	91.61	75.45	301.78
23/09/2020	46.98	14.09	79.87	65.77	263.09
24/09/2020	38.44	11.53	65.35	53.82	215.26
25/09/2020	41.60	12.48	70.72	58.24	232.96
26/09/2020	33.16	9.95	56.37	46.42	185.70
27/09/2020	29.67	8.90	50.44	41.54	166.15
28/09/2020	48.15	14.45	81.86	67.41	269.64
29/09/2020	60.34	18.10	102.58	84.48	337.90
30/09/2020	51.13	15.34	86.92	71.58	286.33
01/10/2020	41.21	12.36	70.06	57.69	230.78
02/10/2020	36.29	10.89	61.69	50.81	203.22
03/10/2020	16.00	4.80	27.20	0.00	0.00
04/10/2020	3.56	1.07	6.05	0.00	0.00
05/10/2020	32.13	9.64	54.62	44.98	179.93
06/10/2020	34.56	10.37	58.75	48.38	193.54
07/10/2020	36.86	11.06	62.66	51.60	206.42
08/10/2020	29.84	8.95	50.73	41.78	167.10
09/10/2020	40.52	12.16	68.88	56.73	226.91
10/10/2020	31.18	9.35	53.01	43.65	174.61
11/10/2020	32.13	9.64	54.62	44.98	179.93
12/10/2020	48.03	14.41	81.65	67.24	268.97
13/10/2020	45.87	13.76	77.98	64.22	256.87
14/10/2020	35.89	10.77	61.01	50.25	200.98
15/10/2020	41.44	12.43	70.45	58.02	232.06
16/10/2020	47.79	14.34	81.24	66.91	267.62

17/10/2020	40.87	12.26	69.48	57.22	228.87
18/10/2020	30.09	9.03	51.15	42.13	168.50
19/10/2020	45.16	13.55	76.77	63.22	252.90
20/10/2020	35.46	10.64	60.28	49.64	198.58
21/10/2020	32.78	9.83	55.73	45.89	183.57
22/10/2020	32.69	9.81	55.57	45.77	183.06
23/10/2020	45.51	13.65	77.37	63.71	254.86
24/10/2020	30.59	9.18	52.00	42.83	171.30
25/10/2020	12.65	3.80	21.51	0.00	0.00
26/10/2020	38.57	11.57	65.57	54.00	215.99
27/10/2020	34.82	10.45	59.19	48.75	194.99
28/10/2020	29.31	8.79	49.83	41.03	164.14
29/10/2020	33.03	9.91	56.15	46.24	184.97
30/10/2020	30.15	9.05	51.26	42.21	168.84
31/10/2020	31.13	9.34	52.92	43.58	174.33
01/11/2020	16.90	5.07	28.73	0.00	0.00
02/11/2020	23.80	7.14	40.46	33.32	133.28
03/11/2020	36.21	10.86	61.56	50.69	202.78
04/11/2020	40.75	12.23	69.28	57.05	228.20
05/11/2020	38.89	11.67	66.11	54.45	217.78
06/11/2020	40.89	12.27	69.51	57.25	228.98
07/11/2020	36.25	10.88	61.63	50.75	203.00
08/11/2020	36.45	10.94	61.97	51.03	204.12
09/11/2020	45.87	13.76	77.98	64.22	256.87
10/11/2020	49.34	14.80	83.88	69.08	276.30
11/11/2020	45.93	13.78	78.08	64.30	257.21
12/11/2020	41.73	12.52	70.94	58.42	233.69
13/11/2020	41.30	12.39	70.21	57.82	231.28
14/11/2020	36.57	10.97	62.17	51.20	204.79
15/11/2020	7.51	2.25	12.77	0.00	0.00
16/11/2020	28.87	8.66	49.08	40.42	161.67
17/11/2020	39.32	11.80	66.84	55.05	220.19
18/11/2020	36.62	10.99	62.25	51.27	205.07

19/11/2020	26.82	8.05	45.59	37.55	150.19
20/11/2020	44.24	13.27	75.21	61.94	247.74
21/11/2020	30.31	9.09	51.53	42.43	169.74
22/11/2020	29.95	8.99	50.92	41.93	167.72
23/11/2020	43.76	13.13	74.39	61.26	245.06
24/11/2020	42.44	12.73	72.15	59.42	237.66
25/11/2020	47.52	14.26	80.78	66.53	266.11
26/11/2020	57.49	17.25	97.73	80.49	321.94
27/11/2020	66.17	19.85	112.49	92.64	370.55
28/11/2020	46.92	14.08	79.76	65.69	262.75
29/11/2020	45.36	13.61	77.11	63.50	254.02
30/11/2020	52.93	15.88	89.98	74.10	296.41
01/12/2020	54.61	16.38	92.84	76.45	305.82
02/12/2020	75.99	22.80	129.18	106.39	425.54
03/12/2020	48.69	14.61	82.77	68.17	272.66
04/12/2020	41.62	12.49	70.75	58.27	233.07
05/12/2020	46.54	13.96	79.12	65.16	260.62
06/12/2020	42.75	12.83	72.68	59.85	239.40
07/12/2020	44.64	13.39	75.89	62.50	249.98
08/12/2020	62.15	18.65	105.66	87.01	348.04
09/12/2020	76.48	22.94	130.02	107.07	428.29
10/12/2020	71.16	21.35	120.97	99.62	398.50
11/12/2020	46.51	13.95	79.07	65.11	260.46
12/12/2020	45.80	13.74	77.86	64.12	256.48
13/12/2020	43.35	13.01	73.70	60.69	242.76
14/12/2020	43.39	13.02	73.76	60.75	242.98
15/12/2020	51.04	15.31	86.77	71.46	285.82
16/12/2020	50.60	15.18	86.02	70.84	283.36
17/12/2020	45.09	13.53	76.65	63.13	252.50
18/12/2020	42.86	12.86	72.86	60.00	240.02
19/12/2020	32.44	9.73	55.15	45.42	181.66
20/12/2020	39.95	11.99	67.92	55.93	223.72
21/12/2020	39.21	11.76	66.66	54.89	219.58

22/12/2020	27.42	8.23	46.61	38.39	153.55
23/12/2020	44.35	13.31	75.40	62.09	248.36
24/12/2020	24.74	7.42	42.06	34.64	138.54
25/12/2020	35.58	10.67	60.49	49.81	199.25
26/12/2020	18.92	5.68	32.16	0.00	0.00
<b>27/12/2020</b>	<b>-14.03</b>	<b>-23.85</b>	<b>-4.21</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
28/12/2020	39.58	11.87	67.29	91.14	<b>346.32</b>
29/12/2020	46.71	14.01	79.41	65.39	261.58
30/12/2020	47.79	14.34	81.24	66.91	267.62
31/12/2020	47.00	14.10	79.90	65.80	263.20
			<b>SUM (€)</b>		60,173.67
			<b>AVERAGE (€/day)</b>		196.65
			<b>AVERAGE (€/MWh)</b>		49.16

## Σημειώσεις

1. Θεωρήσαμε ότι ο σταθμός μας κατάφερε να κλείσει συμφωνία αγοραπωλησίας τις ημέρες με υψηλότερα κέρδη (profit), γι' αυτό και μηδενίσαμε τις ημέρες με τα χαμηλότερα κέρδη. Μηδενίσαμε  $12 \times 5 = 60$  ημέρες οι οποίες είχαν τα χαμηλότερα κέρδη, θεωρώντας ότι χονδρικά 5 μέρες/μήνα δεν καταφέραμε να κλείσουμε συμφωνία.

2. Στις ημέρες όπου έχουμε αρνητική τιμή ενέργειας έχουν μηδενιστεί στα έσοδα. Τα έσοδα της επόμενης ημέρας προέκυψαν από την εξής πράξη:

$$\text{Profit}_i(\text{€}) = [ |\text{Buying Price}_{i-1}(\text{€/MWh})| + \text{Selling Price}_i(\text{€/MWh}) ] \cdot (4\text{MWh} \cdot 95\%)$$

Όπου

***i* – 1:** Η ημέρα που έχει αρνητική τιμή ενέργειας.

***i*:** Η επόμενη ημέρα από την μέρα που είχε αρνητική τιμή ενέργειας.

Για την ενέργεια που πουλήθηκε την επόμενη μέρα από την ημέρα με αρνητική τιμή, θεωρήθηκε ότι είχαμε αυτοεκφόρτιση 5% και άρα μόνο το 95% της ενέργειας που αγοράστηκε κατάφερε να πωληθεί. Οι απώλειες λόγω της απόδοσης της μπαταρίας υπολογίζονται και στις αναλύσεις μας μέσω του «System RTE Losses», δηλαδή των «Απωλειών μετ' επιστροφής».

## II. Υπολογισμοί Σταθμού Αποθήκευσης Ενέργειας 2020 χωρίς δάνειο

BESS 4MWh (2020) without loan		Δάνειο		0%		Trading days/month		25		Total ESS Installed Cost (-/kWh)		€318.36		\$379.00											
PROFORMA PERFORMANCE		Επιτόκιο		4%		Size (MW)		1		Fixed O&M (-/kW-yr)		€3.33		\$3.96											
SOLAR SYSTEM INVESTMENT		Πληθωρισμός		1.00%		Duration (h)		4		Variable O&M (-/MWh)		€0.4305		\$0.5125											
IRR		Κόστος		€ 1,273,440		Charge-Discharge Capacity (10%-90%)		80%		System RTE Losses (-/kWh)		€0.0042		\$0.005											
NPV		Τιμή Κέρδους (-/MWh)		€ 49.16 \$ 58.52		Discount Rate (%)		4%		Capacity Left (MWh)		3.316													
		Οριακό Κέρδος (-/MWh)		€ 124.431 \$ 148.13		Round Trip Efficiency (%)		86%		Cycles per day		1													
										Degradation of BESS		0.90%													
Έτος	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20				
ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (MWh)		960	951	943	934	925	917	908	900	891	882	874	865	856	848	839	830	822	813	804	796				
ΣΥΝΟΛΟ ΚΥΚΛΟΥ ΕΡΓΑΣΙΩΝ (€)		47,194	46,769	46,344	45,919	45,495	45,070	44,645	44,220	43,796	43,371	42,946	42,521	42,097	41,672	41,247	40,822	40,398	39,973	39,548	39,123				
Ανάλυση Κόστους	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20				
Έξοδα Μπαταρίας																									
Fixed O&M (€/kW-yr)		3,326	3,326	3,326	3,326	3,326	3,326	3,326	3,326	3,326	3,326	3,326	3,326	3,326	3,326	3,326	3,326	3,326	3,326	3,326	3,326				
Variable O&M (€/MWh)		413	410	406	402	398	395	391	387	384	380	376	372	369	365	361	357	354	350	346	343				
System RTE Losses (€/kWh)		4,032	3,996	3,959	3,923	3,887	3,851	3,814	3,778	3,742	3,705	3,669	3,633	3,597	3,560	3,524	3,488	3,451	3,415	3,379	3,343				
ΣΥΝΟΛΟ ΚΟΣΤΟΥΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ		7,772	7,732	7,692	7,652	7,612	7,572	7,532	7,492	7,452	7,412	7,372	7,332	7,292	7,252	7,212	7,172	7,132	7,092	7,052	7,012				
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟ ΤΟΚΩΝ ΑΠΟΙΣΒΕΣΕΩΝ & ΦΟΡΩΝ		39,422	39,037	38,652	38,268	37,883	37,498	37,114	36,729	36,344	35,959	35,575	35,190	34,805	34,420	34,036	33,651	33,266	32,881	32,497	32,112				
Μείον: τόκοι μακροπρόθεσμων δανείων επένδυσης		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟ ΑΠΟΙΣΒΕΣΕΩΝ & ΦΟΡΩΝ		39,422	39,037	38,652	38,268	37,883	37,498	37,114	36,729	36,344	35,959	35,575	35,190	34,805	34,420	34,036	33,651	33,266	32,881	32,497	32,112				
ΑΠΟΙΣΒΕΣΕΙΣ		63,672	63,672	63,672	63,672	63,672	63,672	63,672	63,672	63,672	63,672	63,672	63,672	63,672	63,672	63,672	63,672	63,672	63,672	63,672	63,672				
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΠΡΟ ΦΟΡΩΝ		-24,250	-24,635	-25,020	-25,404	-25,789	-26,174	-26,558	-26,943	-27,328	-27,713	-28,097	-28,482	-28,867	-29,252	-29,636	-30,021	-30,406	-30,791	-31,175	-31,560				
Μείον: Φόρος εισοδήματος		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
ΚΑΘΑΡΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ		-24,250	-24,635	-25,020	-25,404	-25,789	-26,174	-26,558	-26,943	-27,328	-27,713	-28,097	-28,482	-28,867	-29,252	-29,636	-30,021	-30,406	-30,791	-31,175	-31,560				
ΕΚΤΑΜΙΕΥΣΕΙΣ		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
Μακροπρόθεσμο επενδυτικό δάνειο		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
Απόδοση Επένδυσης		-1,273,440	39,422	39,037	38,652	38,268	37,883	37,498	37,114	36,729	36,344	35,959	35,575	35,190	34,805	34,420	34,036	33,651	33,266	32,881	32,497	32,112			
Με επιτόκιο Αναγωγής		-1,273,440	37,906	36,092	34,362	32,711	31,137	29,635	28,203	26,837	25,535	24,293	23,109	21,979	20,903	19,877	18,899	17,966	17,078	16,231	15,424	14,655			
ΚΠΑ(τ)		-1,273,440	-1,235,534	-1,199,442	-1,165,080	-1,132,369	-1,101,232	-1,071,596	-1,043,393	-1,016,556	-991,021	-966,728	-943,620	-921,640	-900,737	-880,860	-861,961	-843,995	-826,917	-810,686	-795,262	-780,606			

### III. Υπολογισμοί Σταθμού Αποθήκευσης Ενέργειας 2030 χωρίς δάνειο

BESS 4MWh (2030) without loan		Δάνειο	0%	Trading days/month	25	Total ESS Installed Cost (-/kWh)	€231.84	\$276.00														
PROFORMA PERFORMANCE		Επιτόκιο	4%	Size (MW)	1	Fixed O&M (-/kW-yr)	€2.74	\$3.26														
SOLAR SYSTEM INVESTMENT		Πληθωρισμός	1.00%	Duration (h)	4	Variable O&M (-/MWh)	€0.4305	\$0.5125														
		Κόστος	€ 927,360	Charge-Discharge Capacity (10%-90%)	80%	System RTE Losses (-/kWh)	€0.0034	\$0.004														
IRR	5.06%	Τιμή Κέρδους (-/MWh)	€ 100.80	\$ 120.00	Discount Rate (%)	4%	Capacity Left (MWh)	3.316														
NPV	€86,424	Οριακό Κέρδος (-/MWh)	€ 91.389	\$ 108.796	Round Trip Efficiency (%)	86%	Cycles per day	1														
						Degradation of BESS	0.90%															
Έτος	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (MWh)		960	951	943	934	925		917	908	900	891	882	874	865	856	848	839	830	822	813	804	796
ΣΥΝΟΛΟ ΚΥΚΛΟΥ ΕΡΓΑΣΙΩΝ (€)		96,768	95,897	95,026	94,155	93,284		92,413	91,543	90,672	89,801	88,930	88,059	87,188	86,317	85,446	84,575	83,704	82,833	81,962	81,092	80,221
Ανάλυση Κόστους	0	1	2	3	4	5		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Έξοδα Μπαταρίας																						
Fixed O&M (€/kW-yr)		2,738	2,738	2,738	2,738	2,738		2,738	2,738	2,738	2,738	2,738	2,738	2,738	2,738	2,738	2,738	2,738	2,738	2,738	2,738	2,738
Variable O&M (€/MWh)		413	410	406	402	398		395	391	387	384	380	376	372	369	365	361	357	354	350	346	343
System RTE Losses (€/kWh)		3,226	3,197	3,168	3,139	3,109		3,080	3,051	3,022	2,993	2,964	2,935	2,906	2,877	2,848	2,819	2,790	2,761	2,732	2,703	2,674
ΣΥΝΟΛΟ ΚΟΣΤΟΥΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ		6,377	6,345	6,312	6,279	6,246		6,214	6,181	6,148	6,115	6,083	6,050	6,017	5,984	5,952	5,919	5,886	5,853	5,821	5,788	5,755
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟ ΤΟΚΩΝ ΑΠΟΣΒΕΣΕΩΝ & ΦΟΡΩΝ		90,391	89,553	88,714	87,876	87,038		86,200	85,362	84,524	83,685	82,847	82,009	81,171	80,333	79,495	78,656	77,818	76,980	76,142	75,304	74,466
Μείον : τόκοι μακροπρόθεσμων δανείων επένδυσης		0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟ ΑΠΟΣΒΕΣΕΩΝ & ΦΟΡΩΝ		90,391	89,553	88,714	87,876	87,038		86,200	85,362	84,524	83,685	82,847	82,009	81,171	80,333	79,495	78,656	77,818	76,980	76,142	75,304	74,466
ΑΠΟΣΒΕΣΕΙΣ		46,368	46,368	46,368	46,368	46,368		46,368	46,368	46,368	46,368	46,368	46,368	46,368	46,368	46,368	46,368	46,368	46,368	46,368	46,368	46,368
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΠΡΟ ΦΟΡΩΝ		44,023	43,185	42,346	41,508	40,670		39,832	38,994	38,156	37,317	36,479	35,641	34,803	33,965	33,127	32,288	31,450	30,612	29,774	28,936	28,098
Μείον: Φόρος εισοδήματος		10565	10364	10163	9962	9761		9560	9358	9157	8956	8755	8554	8353	8152	7950	7749	7548	7347	7146	6945	6743
ΚΑΘΑΡΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ		33,457	32,820	32,183	31,546	30,909		30,272	29,635	28,998	28,361	27,724	27,087	26,450	25,813	25,176	24,539	23,902	23,265	22,628	21,991	21,354
ΕΚΤΑΜΙΕΥΣΕΙΣ		0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Μακροπρόθεσμο επενδυτικό δάνειο		0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Απόδοση Επένδυσης	-927,360	79,825	79,188	78,551	77,914	77,277		76,640	76,003	75,366	74,729	74,092	73,455	72,818	72,181	71,544	70,907	70,270	69,633	68,996	68,359	67,722
Με επιτόκιο Αναγωγής	-927,360	76,755	73,214	69,832	66,601	63,516		60,570	57,756	55,069	52,504	50,054	47,715	45,482	43,350	41,315	39,372	37,518	35,748	34,058	32,446	30,908
ΚΠΑ(t)	-927,360	-850,605	-777,391	-707,559	-640,958	-577,441		-516,872	-459,115	-404,046	-351,542	-301,488	-253,773	-208,291	-164,941	-123,626	-84,253	-46,736	-10,988	23,071	55,517	86,424

## IV. Υπολογισμοί Σταθμού Αποθήκευσης Ενέργειας 2030 με δάνειο

BESS 4MWh (2030) with loan		Δάνειο		70%		Trading days/month		25		Total ESS Installed Cost (-/kWh)		€231.84		\$276.00													
PROFORMA PERFORMANCE		Επιτόκιο		4%		Size (MW)		1		Fixed O&M (-/kW-yr)		€2.74		\$3.26													
SOLAR SYSTEM INVESTMENT		Πληθωρισμός		1.00%		Duration (h)		4		Variable O&M (-/MWh)		€0.4305		\$0.5125													
		Κόστος		€ 927,360		Charge-Discharge Capacity (10%-90%)		80%		System RTE Losses (-/kWh)		€0.0034		\$0.004													
IRR		21.91%		Τιμή Κέρδους (-/MWh)		€ 100.800		\$ 120.00		Discount Rate (%)		4%		Capacity Left (MWh)		3.316											
NPV		€597,587		Οριακό Κέρδος (-/MWh)		€ 44.923		\$ 53.48		Round Trip Efficiency (%)		86%		Cycles per day		1											
												Degradation of BESS		0.90%													
Έτος	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20						
ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (MWh)		960	951	943	934	925		917	908	900	891	882	874	865	856	848	839	830	822	813	804	796					
ΣΥΝΟΛΟ ΚΥΚΛΟΥ ΕΡΓΑΣΙΩΝ (€)		96,768	95,897	95,026	94,155	93,284		92,413	91,543	90,672	89,801	88,930	88,059	87,188	86,317	85,446	84,575	83,704	82,833	81,962	81,092	80,221					
Ανάλυση Κόστους	0	1	2	3	4	5		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20					
Έξοδα Μπαταρίας																											
Fixed O&M (€/kW-yr)		2,738	2,738	2,738	2,738	2,738		2,738	2,738	2,738	2,738	2,738	2,738	2,738	2,738	2,738	2,738	2,738	2,738	2,738	2,738	2,738					
Variable O&M (€/MWh)		413	410	406	402	398		395	391	387	384	380	376	372	369	365	361	357	354	350	346	343					
System RTE Losses (€/kWh)		3,226	3,197	3,168	3,139	3,109		3,080	3,051	3,022	2,993	2,964	2,935	2,906	2,877	2,848	2,819	2,790	2,761	2,732	2,703	2,674					
ΣΥΝΟΛΟ ΚΟΣΤΟΥΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ		6,377	6,345	6,312	6,279	6,246		6,214	6,181	6,148	6,115	6,083	6,050	6,017	5,984	5,952	5,919	5,886	5,853	5,821	5,788	5,755					
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟ ΤΟΚΩΝ ΑΠΟΣΒΕΣΕΩΝ & ΦΟΡΩΝ		90,391	89,553	88,714	87,876	87,038		86,200	85,362	84,524	83,685	82,847	82,009	81,171	80,333	79,495	78,656	77,818	76,980	76,142	75,304	74,466					
Μείων : τόκοι μακροπρόθεσμων δανείων επένδυσης		25,966	24,669	23,321	21,918	20,459		18,942	17,365	15,724	14,017	12,243	10,397	8,477	6,481	4,405	2,246	0	0	0	0	0					
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟ ΑΠΟΣΒΕΣΕΩΝ & ΦΟΡΩΝ		64,425	64,883	65,394	65,958	66,579		67,258	67,997	68,800	69,668	70,605	71,612	72,694	73,852	75,090	76,411	77,818	76,980	76,142	75,304	74,466					
ΑΠΟΣΒΕΣΕΙΣ		46,368	46,368	46,368	46,368	46,368		46,368	46,368	46,368	46,368	46,368	46,368	46,368	46,368	46,368	46,368	46,368	46,368	46,368	46,368	46,368					
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΠΡΟ ΦΟΡΩΝ		18,057	18,515	19,026	19,590	20,211		20,890	21,629	22,432	23,300	24,237	25,244	26,326	27,484	28,722	30,043	31,450	30,612	29,774	28,936	28,098					
Μείων: Φόρος εισοδήματος		4334	4444	4566	4702	4851		5013	5191	5384	5592	5817	6059	6318	6596	6893	7210	7548	7347	7146	6945	6743					
ΚΑΘΑΡΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ		13,723	14,072	14,460	14,889	15,360		15,876	16,438	17,048	17,708	18,420	19,186	20,007	20,888	21,829	22,833	23,902	23,265	22,628	21,991	21,354					
ΕΚΤΑΜΙΕΥΣΕΙΣ		58,385	58,385	58,385	58,385	58,385		58,385	58,385	58,385	58,385	58,385	58,385	58,385	58,385	58,385	58,385	58,385	58,385	58,385	58,385	58,385					
Μακροπρόθεσμο επενδυτικό δάνειο	649152	616,733	583,016	547,952	511,484	473,558		434,115	393,094	350,433	306,064	259,922	211,933	162,025	110,120	56,140	0	0	0	0	0	0					
Απόδοση Επένδυσης	-278,208	60,091	60,440	60,828	61,257	61,728		62,244	62,806	63,416	64,076	64,788	65,554	66,375	67,256	68,197	69,201	70,270	69,633	68,996	68,359	67,722					
Με επιτόκιο Αναγωγής	-278,208	57,780	55,880	54,075	52,362	50,736		49,192	47,728	46,338	45,019	43,768	42,582	41,458	40,392	39,382	38,425	37,518	35,748	34,058	32,446	30,908					
ΚΠΑ(t)	-278,208	-220,428	-164,548	-110,473	-58,111	-7,375		41,818	89,545	135,883	180,902	224,670	267,253	308,711	349,103	388,484	426,909	464,427	500,175	534,233	566,679	597,587					







## VII. Υπολογισμοί Υβριδικού Πάρκου με δάνειο και περικοπή 16%

HYBRID: PV(10MW) & BESS(4MWH)	Ισχύς ΦΒ (kW)	10000	Παραγωγή ΦΒ (kWh)	14,016,000	16%	Μπαταρία	€ 1,273,440	Battery Size (MW)	1	Total ESS Installed Cost (-/kWh)	€ 318.36	\$ 379.00									
PROFORMA PERFORMANCE	Συνολικό Κόστος €	10,073,440				Δάνειο	€ 500,000	Battery Duration (h)	4	Fixed O&M (-/kW-yr)	€ 3.33	\$ 3.96									
SOLAR SYSTEM INVESTMENT						Επένδυση	€ 6,800,000	Degradation of BESS	0.90%	Variable O&M (-/MWh)	€ 0.43050	\$ 0.5125									
IRR	14.94%					Πληθωρισμός	€ 500,000			System RTE Losses (-/kWh)*	€ 0.0042	\$ 0.005									
NPV	€ 3,899,655					Φόρος εισοδήματος	€ 1,000,000			Battery Round Trip Efficiency	86%										
						Curtailement	€ 10,073,440														
						Degradation of PV				*Χρησιμοποιούμε το Round Trip Efficiency=86% της μπαταρίας											
						Τιμή Πώλησης Ενέργειας (€/kWh)	€ 0.065			γι' αυτό και δεν συμπεριλαμβάνουμε το System RTE Losses											
										Total Energy from Battery (MWh)	36,740										
										Cycles	11,696										
Αποθήκευση και Πώληση ξανά στο δίκτυο (kWh)	1,928,602	1,918,959	1,909,316	1,899,673	1,890,030	1,880,387	1,870,744	1,861,101	1,851,458	1,841,815	1,832,172	1,822,529	1,812,886	1,803,242	1,793,599	1,783,956	1,774,313	1,764,670	1,755,027	1,745,384	
Κύκλοι	561	563	565	568	570	572	575	577	580	583	585	588	591	594	597	600	603	606	609	612	
Curtailement	0.00%	1.00%	2.00%	3.00%	4.00%	5.00%	6.00%	7.00%	8.00%	9.00%	10.00%	11.00%	12.00%	13.00%	14.00%	15.00%	16.00%	17.00%	18.00%	19.00%	20.00%
IRR - PV	19.46%	19.15%	18.83%	18.52%	18.21%	17.89%	17.58%	17.27%	16.95%	16.64%	16.32%	16.01%	15.69%	15.37%	15.06%	14.74%	14.43%	14.11%	13.78%	13.44%	13.11%
IRR - HYBRID	15.76%	15.71%	15.66%	15.60%	15.55%	15.50%	15.45%	15.40%	15.35%	15.30%	15.25%	15.20%	15.15%	15.09%	15.04%	14.99%	14.94%	14.89%	14.84%	14.79%	14.73%
Έξοδα	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ (kWh)	14,016,000	13,945,920	13,875,840	13,805,760	13,735,680	13,665,600	13,595,520	13,525,440	13,455,360	13,385,280	13,315,200	13,245,120	13,175,040	13,104,960	13,034,880	12,964,800	12,894,720	12,824,640	12,754,560	12,684,480	
ΣΥΝΟΛΟ ΚΥΚΛΟΥ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΦΒ (€)	765,274	761,447	757,621	753,794	749,968	746,142	742,315	738,489	734,663	730,836	727,010	723,184	719,357	715,531	711,704	707,878	704,052	700,225	696,399	692,573	
ΣΥΝΟΛΟ ΚΥΚΛΟΥ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ (€)	125,359	123,610	121,872	120,145	118,429	116,725	115,032	113,350	111,680	110,021	108,373	106,734	105,111	103,497	101,894	100,303	98,723	97,154	95,596	94,050	
ΣΥΝΟΛΟ ΚΥΚΛΟΥ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ (€)	890,633	885,057	879,492	873,939	868,397	862,867	857,347	851,839	846,343	840,857	835,383	829,920	824,468	819,028	813,599	808,181	802,775	797,379	791,995	786,623	
Ανάληψη Κόστους	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Δαπάνες συντήρησης																					
Δαπάνες συντήρησης	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	
Ασφάλιστρα παγίων	51375	52402	53450	54519	55609	56722	57856	59013	60193	61397	62625	63878	65155	66458	67788	69143	70526	71937	73375	74843	
Ενοίκιο γηπέδου	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	
Έξοδα Μπαταρίας																					
Fixed O&M (€/kW-yr)	3,326	3,326	3,326	3,326	3,326	3,326	3,326	3,326	3,326	3,326	3,326	3,326	3,326	3,326	3,326	3,326	3,326	3,326	3,326	3,326	
Variable O&M (€/MWh)	830	826	822	818	814	810	805	801	797	793	789	785	780	776	772	768	764	760	756	751	
ΣΥΝΟΛΟ ΚΟΣΤΟΥΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	135,531	136,555	137,598	138,663	139,750	140,858	141,988	143,141	144,317	145,517	146,740	147,989	149,262	150,561	151,886	153,238	154,616	156,023	157,457	158,921	
Μείον: Έξοδα διακίνησης	44,532	44,253	43,975	43,697	43,420	43,143	42,867	42,592	42,317	42,043	41,769	41,496	41,223	40,951	40,680	40,409	40,139	39,869	39,600	39,331	
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟ ΤΟΚΩΝ ΑΠΟΣΒΕΣΕΩΝ & ΦΟΡΩΝ	710,570	704,250	697,919	691,579	685,228	678,866	672,492	666,107	659,709	653,298	646,873	640,435	633,983	627,515	621,033	614,534	608,019	601,487	594,938	588,371	
Μείον: τόκοι μακροπρόθεσμων δανείων επένδυσης	282,056	267,970	253,320	238,085	222,240	205,761	188,623	170,799	152,263	132,985	112,936	92,085	70,400	47,847	24,393	0	0	0	0	0	
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟ ΑΠΟΣΒΕΣΕΩΝ & ΦΟΡΩΝ	428,514	436,279	444,599	453,494	462,988	473,105	483,869	495,307	507,446	520,313	533,937	548,350	563,583	579,668	596,640	614,534	608,019	601,487	594,938	588,371	
Αποσβέσεις / Έργα Πολ. Μηχανικού & υποδομής	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	
Αποσβέσεις / Μηχανολογικός εξοπλισμός	680,000	680,000	680,000	680,000	680,000	680,000	680,000	680,000	680,000	680,000	680,000	680,000	680,000	680,000	680,000	680,000	680,000	680,000	680,000	680,000	
Αποσβέσεις / Έργα διασύνδεσης	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	
Αποσβέσεις / Μελέτες - άυλες δαπάνες	100000	100000	100000	100000	100000	100000	100000	100000	100000	100000	100000	100000	100000	100000	100000	100000	100000	100000	100000	100000	
Αποσβέσεις/ Μπαταρία	63,672	63,672	63,672	63,672	63,672	63,672	63,672	63,672	63,672	63,672	63,672	63,672	63,672	63,672	63,672	63,672	63,672	63,672	63,672	63,672	
ΑΠΟΣΒΕΣΕΙΣ	893,672	893,672	893,672	893,672	893,672	893,672	893,672	893,672	893,672	893,672	893,672	893,672	893,672	893,672	893,672	893,672	893,672	893,672	893,672	893,672	
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΠΡΟ ΦΟΡΩΝ	-465,158	-457,393	-449,073	-440,178	-430,684	-420,567	-409,803	-398,365	-386,226	-373,359	-420,265	-434,678	-449,911	-465,996	-482,968	-500,862	-494,347	-487,815	-481,266	-474,699	
Μείον: Φόρος εισοδήματος	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ΚΑΘΑΡΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ	-465,158	-457,393	-449,073	-440,178	-430,684	-420,567	-409,803	-398,365	-386,226	-373,359	-420,265	-434,678	-449,911	-465,996	-482,968	-500,862	-494,347	-487,815	-481,266	-474,699	
ΕΚΤΑΜΙΕΥΣΕΙΣ	634,211	634,211	634,211	634,211	634,211	634,211	634,211	634,211	634,211	634,211	634,211	634,211	634,211	634,211	634,211	634,211	634,211	634,211	634,211	634,211	
Μακροπρόθεσμο επενδυτικό δάνειο	7051408	6,699,253	6,333,012	5,952,121	5,555,994	5,144,023	4,715,572	4,269,984	3,806,571	3,324,623	2,823,396	2,302,121	1,196,183	609,819	0	0	0	0	0	0	
Απόδοση Επένδυσης	(3,022,032)	428,514	436,279	444,599	453,494	462,988	473,105	483,869	495,307	507,446	520,313	533,937	548,350	563,583	579,668	596,640	614,534	608,019	601,487	594,938	477,490
Με επιτόκιο Αναγωγής	(3,022,032)	412,032	403,365	395,247	387,649	380,543	373,902	367,701	361,916	356,525	351,505	346,836	342,498	338,473	334,744	331,293	328,105	312,141	296,911	282,383	217,920
ΚΠΑ(€)	-3,022,032	-2,610,000	-2,206,635	-1,811,388	-1,423,739	-1,043,197	-669,295	-301,594	60,322	416,847	768,351	1,115,187	1,457,685	1,796,158	2,130,902	2,462,195	2,790,300	3,102,441	3,399,352	3,681,735	3,899,655

## Βιβλιογραφία

- [1] European Commission, “Paris Agreement.” [https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_en).
- [2] “5 facts about the EU’s goal of climate neutrality,” *Council of the European Union*. <https://www.consilium.europa.eu/en/5-facts-eu-climate-neutrality/>.
- [3] “2030 climate & energy framework,” *European Commission*. [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en).
- [4] “Χτίζοντας Ενεργειακές Κοινότητες - Η ενέργεια στα χέρια των πολιτών.” Ίδρυμα Χάινριχ Μπελ Ελλάδα, Ελλάδα.
- [5] “2050 long-term strategy,” *European Commission*. [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en).
- [6] Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, “Εθνικό σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα.” .
- [7] Next Kraftwerke, “Power Purchase Agreement | PPA | Definition.” <https://www.next-kraftwerke.com/knowledge/ppa-power-purchase-agreement>.
- [8] C. N. Stefanatos, “REDEFINING RES PROJECT CAPITAL STRUCTURE: INTRODUCTION OF PARITY, A CROWDFINANCING PLATFORM.”
- [9] W. Kenton, “Feed-In Tariff (FIT) Definition.” <https://www.investopedia.com/terms/f/feed-in-tariff.asp>.
- [10] D. Gatti, “What’s on the Energy Storage Market Beside Lithium-Ion Batteries?,” *IDTechEx*, Oct. 2020, [Online]. Available: <https://www.idtechex.com/fr/research-article/whats-on-the-energy-storage-market-beside-lithium-ion-batteries-pt-1/21850>.
- [11] “What Does ‘Behind-the-Meter’ Mean?,” *Boston Solar*. <https://www.bostonsolar.us/solar-blog-resource-center/blog/what-does-behind-the-meter-mean/>.
- [12] P. Clerens, “Energy Storage for Prosumers.” European Association for Storage of Energy, Bratislava, Slovakia, 2016, doi: 10.1016/0038-092x(62)90119-6.
- [13] “ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΩ - ΑΥΤΟΝΟΜΩ,” *Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας*. <https://exoikonomo2020.gov.gr/to-programma>.
- [14] Γ. Παπαδημητρίου, “Σχέδιο για Ειδικό Πρόγραμμα Ανάπτυξης φωτοβολταϊκών στέγης επεξεργάζεται το ΥΠΕΝ,” *energypress.gr*.
- [15] Κ. Δεληγιάννης, “Κ. Σκρέκας: «Έρχεται» νέο Πρόγραμμα φωτοβολταϊκά στις στέγες – Ετήσιο όφελος 700-750 ευρώ από ένα οικιακό σύστημα | Insider,” *insider*, Ελλάδα, Mar. 15, 2021.
- [16] “Νόμος 4513/18 για Ενεργειακές Κοινότητες.” Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας.
- [17] “Χαρτογράφηση των Ενεργειακών Κοινοτήτων στην Ελλάδα.” ELECTRA ENERGY.
- [18] “Minoan Energy Community – Μινωική Ενεργειακή Κοινότητα.” <https://minoanenergy.com/>.
- [19] “Atlas Citizens - Energy Community.” <http://atlasenergy.gr/>.
- [20] “Ένωση Αγρινίου – Αγροτικός Συνεταιρισμός.” <https://www.e-ea.gr/>.
- [21] “Coopernico.” <https://www.coopernico.org/>.

- [22] “Jurascic.” <https://jurascic.com/>.
- [23] “Παραγωγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας | Som Energia.” <https://www.somenergia.coop/es/produccion/>.
- [24] “Som Energia | Ο Συνεταιρισμός Πράσινης Ενέργειας.” <https://www.somenergia.coop/es/>.
- [25] “Edinburgh Community Solar Co-operative.” <https://www.edinburghsolar.coop/>.
- [26] “Brixton Energy.” <https://brixtonenergy.co.uk/>.
- [27] “Απόφαση για Εικονικό Ενεργειακό Συμψηφισμό.” Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας.
- [28] P. Denholm, E. Ela, B. Kirby, and M. Milligan, “The role of energy storage with renewable electricity generation,” *Energy Storage: Issues and Applications*. pp. 1–58, 2011.
- [29] “Στήριξη της ΕΕ για την αποθήκευση ενέργειας - Ενημερωτικό έγγραφο.” Ευρωπαϊκό Ελεγκτικό Συνέδριο.
- [30] “Hydroelectricity - Renewable Energy.” <https://solarwindandwater.weebly.com/hydroelectricity.html>.
- [31] “Compressed Air Energy Storage (CAES),” *Energy Storage Association*. <https://energystorage.org/why-energy-storage/technologies/compressed-air-energy-storage-caes/>.
- [32] I. Hadjipaschalis, A. Poullikkas, and V. Efthimiou, “Overview of current and future energy storage technologies for electric power applications,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, no. 6–7. pp. 1513–1522, 2009, doi: 10.1016/j.rser.2008.09.028.
- [33] “Mechanical Electricity Storage Technology,” *Energy Storage Association*. <https://energystorage.org/why-energy-storage/technologies/mechanical-energy-storage/>.
- [34] P. Nikolaidis and A. Poullikkas, “A comparative review of electrical energy storage systems for better sustainability,” *Journal of Power Technologies* 97 (3) (2017) 220–245, vol. 97, no. November. pp. 220–245, 2017.
- [35] “Molten Salt Energy Storage,” *MAN Energy Solutions*. <https://www.man-es.com/energy-storage/solutions/energy-storage/mosas>.
- [36] A. K. Mark Mehos, Craig Turchi, Judith Vidal, Michael Wagner, Zhiwen Ma, Clifford Ho, William Kolb, and Charles Andraka, “Concentrating Solar Power Gen3 Demonstration Roadmap,” National Renewable Energy Laboratory (NREL).
- [37] “Liquid Air Energy Storage (LAES),” *Energy Storage Association*. <https://energystorage.org/why-energy-storage/technologies/liquid-air-energy-storage-laes/>.
- [38] “Market Prospects Heating Up for Cryogenic Energy Storage,” *Power Magazine*.
- [39] “Pumped Heat Electrical Storage (PHES),” *Energy Storage Association*. <https://energystorage.org/why-energy-storage/technologies/pumped-heat-electrical-storage-phes/>.
- [40] “Intro to Energy Storage,” *ClearPath*. <https://clearpath.org/tech-101/intro-to-energy-storage/>.
- [41] “Ηλιακοί θερμοσίφωνες - Τι είναι και πως λειτουργούν.” [http://iliakoi-thermosifones-thessaloniki.blogspot.com/2015/04/blog-post\\_30.html](http://iliakoi-thermosifones-thessaloniki.blogspot.com/2015/04/blog-post_30.html).
- [42] “Fuel Cells: Renewable Energy storage,” *Energy Matters*.

<https://www.energymatters.com.au/components/fuel-cells/>.

- [43] Physicsgg, “Πως λειτουργεί μια κυψέλη καυσίμου,” *physicsgg.me*, Jun. 01, 2011. <https://physicsgg.me/2011/06/01/πως-λειτουργει-μια-κυψελη-καυσιμου/>.
- [44] “SNG - Synthetic Natural Gas,” *MAN Energy Solutions*. <https://www.man-es.com/discover/decarbonization-glossary---man-energy-solutions/synthetic-natural-gas>.
- [45] A. Hagen, “ECo Project-Efficient long-term storage of renewable energy as synthetic natural gas,” *European Energy Innovation*. <http://www.europeanenergyinnovation.eu/Latest-Research/Winter-2018/ECo-Project-Efficient-long-term-storage-of-renewable-energy-as-synthetic-natural-gas>.
- [46] J. Castro-Gutiérrez, A. Celzard, and V. Fierro, “Energy Storage in Supercapacitors: Focus on Tannin-Derived Carbon Electrodes,” *Frontiers in Materials*, vol. 7. 2020, doi: 10.3389/fmats.2020.00217.
- [47] N. Raghvendra, “What is Supercapacitor (Ultracapacitor) - Characteristics, Working & Types,” *electricalfundablog.com*. <https://electricalfundablog.com/supercapacitor-ultracapacitor-characteristics-working/>.
- [48] Λ. Αναστασόπουλος, “ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗΣ - ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗΣ ΑΜΦΙΛΟΧΙΑΣ,” ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ.
- [49] R. Imandi, “Superconducting Magnetic Energy Storage Systems (SMES),” *Energy.io*. <https://www.energyio.tech/superconducting-magnetic-energy-storage-systems-smes/>.
- [50] O. Teller *et al.*, “Joint EASE/EERA recommendations for a European Energy Storage Technology Development Roadmap towards 2030.” European Association for Storage of Energy, European Energy Research Alliance, p. 73, 2013.
- [51] “How a battery works,” *Australian Academy of Science*. <https://www.science.org.au/curious/technology-future/batteries>.
- [52] J. Cardesín, J. M. Alonso, J. Sebastián, U. De Oviedo, and D. Electrónica, “B Attery -C Harger F Amily for L Ead -a Cid B Atteries,” European Association for Storage of Energy. [Online]. Available: [www.ease-storage.eu](http://www.ease-storage.eu).
- [53] European Association for Storage of Energy, “Nickel Metal Hydride Batteries,” 2018. doi: 10.3390/books978-3-03842-303-4.
- [54] “Sodium Sulfur (NaS) Batteries,” *Energy Storage Association*. <https://energystorage.org/why-energy-storage/technologies/sodium-sulfur-nas-batteries/>.
- [55] European Association for Storage of Energy, “Sodium Sulphur Battery,” 2016. [Online]. Available: [www.ease-storage.eu](http://www.ease-storage.eu).
- [56] European Association for Storage of Energy, “Sodium-nickel-chloride Battery Report,” 2019. [Online]. Available: [www.ease-storage.eu](http://www.ease-storage.eu).
- [57] European Association for Storage of Energy, “Flow Battery.” 2017, [Online]. Available: [www.ease-storage.eu](http://www.ease-storage.eu).
- [58] European Association for Storage of Energy, “Lithium-ion Battery,” 2016. [Online]. Available: [www.ease-storage.eu](http://www.ease-storage.eu).
- [59] C. Katz, “In Boost for Renewables, Grid-Scale Battery Storage Is on the Rise,” *Yale E360*. <https://e360.yale.edu/features/in-boost-for-renewables-grid-scale-battery-storage-is-on-the->

rise.

- [60] “Internetplattform zur Vergabe von Regelleistung.” <https://www.regelleistung.net/ext/>.
- [61] M. Klausen, “MARKET OPPORTUNITIES AND REGULATORY FRAMEWORK CONDITIONS FOR STATIONARY BATTERY STORAGE SYSTEMS IN GERMANY,” *Energy Procedia*, vol. 135, pp. 272–282, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.09.519.
- [62] “Dutch Ancillary Services - TenneT.” <https://www.tennet.eu/electricity-market/dutch-ancillary-services/>.
- [63] Next Kraftwerke, “Balanshandhaving in het Nederlandse elektriciteitsnet,” *Next*. <https://www.next-kraftwerke.nl/kennis/balanceringsenergie>.
- [64] TenneT, “FCR Manual for BSPs.” 2019, [Online]. Available: [https://www.tennet.eu/fileadmin/user\\_upload/SO\\_NL/FCR\\_-\\_Handbook-FCR-voor-BSPs.pdf](https://www.tennet.eu/fileadmin/user_upload/SO_NL/FCR_-_Handbook-FCR-voor-BSPs.pdf).
- [65] D. E. Hugenholtz, “A techno-economic analysis of electricity arbitrage opportunities for utility-scale battery energy storage in the Netherlands,” TU Delft, 2020.
- [66] T. Thien, D. Schweer, D. vom Stein, A. Moser, and D. U. Sauer, “Real-world operating strategy and sensitivity analysis of frequency containment reserve provision with battery energy storage systems in the german market,” *J. Energy Storage*, vol. 13, pp. 143–163, 2017, doi: 10.1016/j.est.2017.06.012.
- [67] Consentec GmbH, “Description of load-frequency control concept and market for control reserves,” no. February. p. 43, 2014, [Online]. Available: [http://www.consentec.de/wp-content/uploads/2014/08/Consentec%7B\\_%7D50Hertz%7B\\_%7DRegelleistungsmarkt%7B\\_%7Den%7B\\_%7D%7B\\_%7D20140227.pdf](http://www.consentec.de/wp-content/uploads/2014/08/Consentec%7B_%7D50Hertz%7B_%7DRegelleistungsmarkt%7B_%7Den%7B_%7D%7B_%7D20140227.pdf).
- [68] N. Andrenacci, E. Chiodo, D. Lauria, and F. Mottola, “Life cycle estimation of battery energy storage systems for primary frequency regulation,” *Energies*, vol. 11, no. 12. 2018, doi: 10.3390/en11123320.
- [69] “Internetplattform zur Vergabe von Regelleistung - Tender.” <https://www.regelleistung.net/ext/tender/>.
- [70] “Trading Products | EPEX SPOT,” *epexspot*. <https://www.epexspot.com/en/tradingproducts>.
- [71] P. D. D. U. S. Tjark Thien, Hendrik Axelsen, Michael Merten, Sebastian Zurmühlen, Jeanette Münderlein, Dr. Matthias Leuthold, “Planning of Grid-Scale Battery Energy Storage Systems: Lessons Learned from a 5 MW Hybrid Battery Storage Project in Germany,” Aachen.
- [72] “Market Data | EPEX SPOT.” <https://www.epexspot.com/en/market-data>.
- [73] “World Energy Outlook 2018.” International Energy Agency, [Online]. Available: [www.iea.org/weo%0AThe](http://www.iea.org/weo%0AThe).
- [74] “Renewables – World Energy Outlook 2018 – Analysis - IEA.” <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2018/renewables>.
- [75] E. O’Shaughnessy, J. R. Cruce, and K. Xu, “Too much of a good thing? Global trends in the curtailment of solar PV,” *Solar Energy*, vol. 208. pp. 1068–1077, 2020, doi: 10.1016/j.solener.2020.08.075.
- [76] “Managing Oversupply,” *California ISO*, 2019. <http://www.caiso.com/informed/Pages/ManagingOversupply.aspx>.

- [77] E. The, “Electricity Storage,” no. September. SBC Energy Institute, 2013, [Online]. Available: [www.sbc.slb.com/SBCInstitute](http://www.sbc.slb.com/SBCInstitute).
- [78] F. Mayr, “Your Guide to Stationary Energy Storage in Europe Part 1: Germany,” *Apricum*. <https://apricum-group.com/guide-stationary-energy-storage-europe-part-1/>.
- [79] “BDEW-Strompreisanalyse Januar 2019 Haushalte und Industrie,” *Qualität der Förderung in Graduiertenkollegs*. BDEW, pp. 3–12, 2019, doi: 10.1002/9783527621040.ch1.
- [80] CMS Expert Guides, “Energy storage regulation in Germany.” <https://cms.law/en/int/expert-guides/cms-expert-guide-to-energy-storage/germany>.
- [81] CMS Expert Guides, “Energy storage regulation in the UK.” <https://cms.law/en/int/expert-guides/cms-expert-guide-to-energy-storage/united-kingdom>.
- [82] CMS Expert Guides, “Energy storage regulation in the Netherlands.” <https://cms.law/en/int/expert-guides/cms-expert-guide-to-energy-storage/netherlands>.
- [83] CMS Expert Guides, “Energy storage regulation in Spain.” <https://cms.law/en/int/expert-guides/cms-expert-guide-to-energy-storage/spain>.
- [84] CMS Expert Guides, “Energy storage regulation in Italy.” <https://cms.law/en/int/expert-guides/cms-expert-guide-to-energy-storage/italy>.
- [85] Θ. Παναγούλης, “Θεσμικό πλαίσιο και καθεστώς στήριξης για σταθμούς αποθήκευσης «χτίζε» το ΥΠΕΝ – Ποιές τεχνολογίες μελετά η Επιτροπή,” *energypress*.
- [86] R. Rapier, “Why China Is Dominating Lithium-Ion Battery Production,” *Forbes*, Aug. 04, 2019.
- [87] A. Colthorpe, “Behind the numbers: The rapidly falling LCOE of battery storage,” *Energy Storage News*, May 06, 2020.
- [88] CEORoadShow, “Pacific Green Enters Exclusive Agreement to Develop 1.1GW of UK Based Battery Energy Storage Projects,” Mar. 18, 2021.
- [89] J. Svarc, “Solar Hybrid Inverters and Battery Systems,” *Clean Energy Reviews*, Jun. 2018. <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/hybrid-solar-inverter-review>.
- [90] pv Europe, “Tesla Powerwall available from Memodo.” <https://www.pveurope.eu/batteries/tesla-powerwall-available-memodo>.
- [91] R. Fu, T. Remo, and R. Margolis, “2018 U.S. Utility-Scale Photovoltaics- Plus-Energy Storage System Costs Benchmark,” National Renewable Energy Laboratory (NREL).
- [92] N. DiOrio and W. Hobbs, “Economic dispatch for DC- connected battery systems on large PV plants.” National Renewable Energy Laboratory (NREL).
- [93] W. Gorman *et al.*, “Motivations and options for deploying hybrid generator-plus-battery projects within the bulk power system,” *Electricity Journal*, vol. 33, no. 5. 2020, doi: 10.1016/j.tej.2020.106739.
- [94] H. C. Hesse, M. Schimpe, D. Kucevic, and A. Jossen, “Lithium-ion battery storage for the grid - A review of stationary battery storage system design tailored for applications in modern power grids,” *Energies*, vol. 10, no. 12, 2017, doi: 10.3390/en10122107.
- [95] N. Saulny, “Operation and Profitability of Batteries in Electricity Reserve Markets,” 2017.
- [96] “Lithium Ion Vs Lithium Polymer Batteries:-Which one is better?,” *Shaunak Tech Page*, Jan. 18, 2019. <https://www.shaunaktechpage.in/2019/01/lithium-ion-vs-lithium-polymer->

which.html.

- [97] “LiPF<sub>6</sub> Battery Electrolyte for Li-ion Cell Manufacturers,” *Targray*. <https://www.targray.com/li-ion-battery/electrolyte>.
- [98] “Types of lithium-ion,” *batteryuniversity*. [https://batteryuniversity.com/learn/article/types\\_of\\_lithium\\_ion](https://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion).
- [99] H. Lemmens, “UC San Diego Works to Build Batteries of the Future,” *ThermoFisher*, Dec. 04, 2019. <https://www.thermofisher.com/blog/microscopy/uc-san-diego-works-to-build-batteries-of-the-future/>.
- [100] “BU-410: Charging at High and Low Temperatures - Battery University,” *Battery University*, Sep. 15, 2017. <https://batteryuniversity.com/article/bu-410-charging-at-high-and-low-temperatures>.
- [101] C. N. Agwu D., Opara F. K. and D. Dike, “Review Of Comparative Battery Energy Storage Systems (Bess) For Energy Storage Applications In Tropical Enviroments,” *IEEE 3rd International Conference on Electro-Technology for National Development (NIGERCON)*, no. September. pp. 1000–1005, 2017.
- [102] G. K. A. Pesaran , S.Santhanagopalan, “Addressing the Impact of Temperature Extremes on Large Format Li-Ion Batteries for Vehicle Applications,” *30Th International Battery Seminar*. National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2013.
- [103] X. Luo, J. Wang, M. Dooner, and J. Clarke, “Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation,” *Applied Energy*, vol. 137. pp. 511–536, 2015, doi: 10.1016/j.apenergy.2014.09.081.
- [104] A. Colthorpe, “BloombergNEF: ‘Already cheaper to install new-build battery storage than peaking plants’ | Energy Storage News,” *Energy Storage News*, Apr. 30, 2020. <https://www.energy-storage.news/news/bloombergnef-lcoe-of-battery-storage-has-fallen-faster-than-solar-or-wind-i>.
- [105] I. Pawel, “The cost of storage - How to calculate the levelized cost of stored energy (LCOE) and applications to renewable energy generation,” in *Energy Procedia*, 2014, vol. 46, pp. 68–77, doi: 10.1016/j.egypro.2014.01.159.
- [106] K. Mongird, V. Viswanathan, J. Alam, C. Vartarian, V. Sprenkle, and R. Baxter, “2020 Grid Energy Storage Technology Cost and Performance Assessment Kendall,” 2020.
- [107] “Elevating Self Discharge.” [https://batteryuniversity.com/learn/article/elevating\\_self\\_discharge](https://batteryuniversity.com/learn/article/elevating_self_discharge).
- [108] “Average Spot Market Prices,” *Energy-Charts*. [https://energy-charts.info/charts/price\\_average/chart.htm?l=en&c=DE&year=2020&interval=day](https://energy-charts.info/charts/price_average/chart.htm?l=en&c=DE&year=2020&interval=day).
- [109] S. Englberger, A. Jossen, and H. Hesse, “Unlocking the Potential of Battery Storage with the Dynamic Stacking of Multiple Applications,” *Cell Reports Phys. Sci.*, vol. 1, no. 11, 2020, doi: 10.1016/j.xcrp.2020.100238.
- [110] R. Małkowski, M. Jaskólski, and W. Pawlicki, “Operation of the hybrid photovoltaic-battery system on the electricity market-simulation, real-time tests and cost analysis,” *Energies*, vol. 16, no. 3, 2020, doi: 10.3390/en13061402.