



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**Πειραματική Διερεύνηση Λειτουργίας Πιλοτικής Μονάδας
Συσσωρευτών υπό την Εφαρμογή Διαφορετικών Κύκλων
Φόρτισης-Εκφόρτισης**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

Βασιλείου Ιφιγένειας-Βασιλικής

Επιβλέπων:

Δρ Δημήτριος Ζαφειράκης

Επίκουρος Καθηγητής Πα.Δ.Α.

Αθήνα, Οκτώβριος 2023



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**Πειραματική Διερεύνηση Λειτουργίας Πιλοτικής Μονάδας
Συσσωρευτών υπό την Εφαρμογή Διαφορετικών Κύκλων
Φόρτισης-Εκφόρτισης**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

Βασιλείου Ιφιγένειας-Βασιλικής

Επιβλέπων: Δρ Δημήτριος Ζαφειράκης

Επίκουρος Καθηγητής Πα.Δ.Α.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική Επιτροπή την 6^η Οκτωβρίου 2023

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

.....
Δρ Κοσμάς Καβαδίας
Αναπληρωτής Καθηγητής
Πα.Δ.Α.

.....
Δρ Σπυρόπουλος Γεώργιος
ΕΔΙΠ
Πα.Δ.Α.

.....
Δρ Δημήτριος Ζαφειράκης
Επίκουρος Καθηγητής
Πα.Δ.Α.

Αθήνα, Οκτώβριος 2023

Copyright © - Βασιλείου Ιφιγένεια-Βασιλική, 2023

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 στον 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 Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

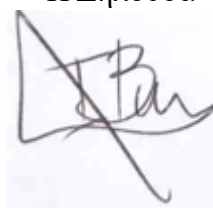
ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Βασιλείου Ιφιγένεια-Βασιλική του Παναγιώτη, με αριθμό μητρώου 46148030 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, της Σχολής Μηχανικών, του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

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

Η Δηλούσα



Βασιλείου Π. Ιφιγένεια-Βασιλική

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω βαθύτατα τους επιβλέποντες καθηγητές μου, Ζαφειράκη Δημήτριο και Χριστόπουλο Κωνσταντίνο, που με την καθοδήγηση, τη βοήθεια, τη στήριξη και τις πολυετείς τους γνώσεις μου έδωσαν τη δυνατότητα να ολοκληρώσω με επιτυχία τη διπλωματική μου εργασία. Σημαντική για τη διεκπεραίωση της εργασίας μου ήταν επίσης και η βοήθεια που έλαβα από τον καθηγητή Σπυρόπουλο Γεώργιο, καθώς ήταν πρόθυμος να λύσει κάθε απορία που γεννήθηκε κατά τη διάρκεια της μελέτης μου.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω πολύ τον κύριο Χαρωτινάκη Γεώργιο, εγκαταστάτη και προμηθευτή του εξοπλισμού της πειραματικής μονάδας στο Εργαστήριο Ήπιων Μορφών Ενέργειας & Προστασίας του Περιβάλλοντος, που με την πολυετή εμπειρία του συνέβαλε στην επίλυση προβλημάτων και αποριών που προέκυψαν κατά τη διάρκεια της διεξαγωγής του πειραματικού σκέλους της διπλωματικής μου εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον εργοδότη μου, Σφουντούρη Ιωάννη, ο οποίος έδειξε κατανόηση ως προς τις απαιτήσεις ολοκλήρωσης της διπλωματικής εργασίας, δίνοντάς μου τον απαραίτητο χρόνο για την πραγματοποίηση των πειραματικών δοκιμών που έλαβαν χώρα στις εγκαταστάσεις του Πανεπιστημίου.

Τέλος, θα ήθελα μέσα από την καρδιά μου να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου που ήταν δίπλα μου καθ'όλη τη διάρκεια σπουδών μου και με στήριζαν ανιδιοτελώς και με κάθε δυνατό τρόπο.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία μελετά την ενεργειακή συμπεριφορά πειραματικής μονάδας συσσωρευτών, με στόχο την καταγραφή και ανάλυση βασικών ηλεκτρικών και ενεργειακών λειτουργικών παραμέτρων υπό την εφαρμογή διαφορετικών κύκλων φόρτισης-εκφόρτισης, σε συνδυασμό με την αξιολόγηση της κατάστασης υγείας των συσσωρευτών καθώς και της δυνατότητας συνολικά του υπό εξέταση συστήματος να ανταποκριθεί σε συγκεκριμένες, σταθερές, και χαμηλής στάθμης απαιτήσεις ηλεκτρικού φορτίου.

Για το σκοπό αυτό αξιοποιείται ο υφιστάμενος, μικρής κλίμακας υβριδικός σταθμός ΑΠΕ-συσσωρευτών του Εργαστηρίου Ήπιων Μορφών Ενέργειας & Προστασίας του Περιβάλλοντος, με συμμετοχή συστοιχίας συμβατικών συσσωρευτών μολύβδου οξέος και με αξιοποίηση επίσης του περιφερειακού μετρητικού εξοπλισμού και των εφαρμογών λήψης και ανάλυσης δεδομένων του σταθμού.

Στο πλαίσιο αυτό, με βάση τη διεξαγωγή σειράς πειραματικών δοκιμών, μελετάται η ενεργειακή συμπεριφορά των συσσωρευτών για συγκεκριμένου χαρακτήρα εφαρμογή, αξιολογείται η κατάσταση υγείας τους και η δυνατότητα του ολοκληρωμένου συστήματος αποθήκευσης (συσσωρευτές - μετατροπέας) να ανταποκριθεί στις ανάγκες συγκεκριμένης εφαρμογής (σταθερής έντασης και χαμηλής στάθμης ηλεκτρικό φορτίο AC) με και χωρίς τη συμβολή των ΑΠΕ, καθώς και αναπτύσσεται μεθοδολογικό πλαίσιο (πρωτόκολλο) για τη διεξαγωγή παρόμοιων πειραματικών δοκιμών και την εξέλιξη της συγκεκριμένης ερευνητικής προσπάθειας.

Λέξεις κλειδιά: Συσσωρευτές, οικιακές εφαρμογές αποθήκευσης ενέργειας, πειραματική αξιολόγηση, κατάσταση υγείας συσσωρευτών, κύκλοι φόρτισης-εκφόρτισης

Abstract

The present thesis studies the energy performance of an experimental battery-storage unit, aiming to the recording and analysis of key, electrical and energy parameters of operation, under the application of variable battery cycling, combined with the evaluation of the batteries' state of health and the ability of the given system to respond to low-level, constant load demand requirements.

For this purpose, the existing, small-scale, RES-battery hybrid power station of the Soft Energy Applications & Protection of the Environment Lab is used, with the engagement of a conventional, PbA battery bank and with the utilization also of secondary measuring equipment and data acquisition and analysis applications for the monitoring of the power station.

To that end, and based on a series of experimental tests, the energy performance of the batteries is examined for a specific purpose application, the batteries' state of health is evaluated together with the overall system (batteries-inverter) ability to serve the given application (constant power, low-level AC load), with and without the simultaneous contribution of RES, and a methodological framework (protocol) is developed for the conduction of similar experimental tests and the progressing of the current research effort.

Keywords: Batteries, residential energy storage applications, experimental evaluation, battery state of health, charging & discharging cycles

Ακρωνύμια

ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση
ΕΟΠ	Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος
ΕΣΕΚ	Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα
Α/Γ	Ανεμογεννήτρια
Φ/Β	Φωτοβολταϊκό/ά
ΜΣ50	Μακροχρόνια Στρατηγική για το 2050
ΥΠΕΝ	Υπουργείο Ενέργειας
ΕΟΠ	Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος

DoD	Depth of Charge
GHG	Greenhouse Gases
LBCO	Low Battery Cut Out

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	1
1.1 Κλιματική Κρίση και Στόχοι σε Ευρωπαϊκό Επίπεδο.....	2
1.1.1. Γενικά περί στόχων ΑΠΕ σε ευρωπαϊκό/εθνικό επίπεδο	3
1.1.2. Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία	4
1.1.3. Τρέχουσα Εθνική στρατηγική - ΕΣΕΚ	5
1.2 Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα ΑΠΕ.....	7
1.2.1 Πλεονεκτήματα	7
1.2.2 Μειονεκτήματα	7
1.3 Αποθήκευση Ενέργειας & ΑΠΕ	9
1.4 Αποθήκευση Ενέργειας στον Οικιακό Τομέα.....	12
Κεφάλαιο 2: Πειραματική Διάταξη & Διεξαγωγή Δοκιμών.....	14
2.1 Εισαγωγικά	15
2.2 Περιγραφή Πειραματικής Διάταξης.....	16
2.2.1 Σύστημα συσσωρευτών.....	16
2.2.2 Αντιστροφέας ισχύος (Inverter).....	18
2.2.3 Μέσα Εκφόρτισης.....	19
2.2.4 Συστοιχία Φωτοβολταϊκών Πάνελ	19
2.2.5 Ρυθμιστής Φόρτισης Φ/Β συστημάτων	21
2.2.6 Ανεμογεννήτρια.....	22
2.2.7. Ασφαλειοαποζεύκτες φορτίων	22
2.3 Διαδικασία Εκτέλεσης Πειραμάτων.....	23
2.3.1 Διαδικασία Εκφόρτισης	23
2.3.2 Διαδικασία φόρτισης.....	23
2.3.3 Equalization	24
Κεφάλαιο 3: Πειραματική Διαδικασία & Πρωτόκολλο Εκτέλεσης Δοκιμών	26
3.1 Προκαταρκτικοί Έλεγχοι.....	27
3.2 Διαδικασία Συμπλήρωσης Απιονισμένου Νερού	29
3.3 Διαδικασία Μέτρησης Ηλεκτρολυτών	30
Κεφάλαιο 4: Διεξαγωγή Δοκιμών & Ανάλυση Αποτελεσμάτων	33
4.1 Εισαγωγικά	34
4.2 Πρώτο Σετ Δοκιμών	35
1 ^{ος} κύκλος εκφόρτισης.....	35
1 ^{ος} κύκλος φόρτισης.....	36
2 ^{ος} κύκλος εκφόρτισης.....	37

2 ^{ος} κύκλος φόρτισης.....	38
3 ^{ος} κύκλος εκφόρτισης.....	39
3 ^{ος} κύκλος φόρτισης.....	42
4 ^{ος} κύκλος εκφόρτισης.....	43
4 ^{ος} κύκλος φόρτισης.....	44
4.3 Δεύτερο Σετ Δοκιμών.....	45
5 ^{ος} κύκλος φόρτισης.....	45
Equalization	45
5 ^{ος} κύκλος εκφόρτισης.....	47
6 ^{ος} κύκλος φόρτισης.....	48
4.4 Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα	49
4.4.1 Σχετικά με τους κύκλους εκφορτίσεων	49
4.4.2 Σχετικά με τους κύκλους φορτίσεων	53
Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα.....	54
5.1 Equalizing	55
5.2 Κύκλοι εκφόρτισης.....	55
5.3 Βαθμός απόδοσης & κατάσταση υγείας.....	56
Κεφάλαιο 6: Βιβλιογραφία.....	57
Παράρτημα 1: Συγκεντρωτικά Διαγράμματα	60
Διαγράμματα εκφορτίσεων	61
Διαγράμματα φορτίσεων.....	62
Παράρτημα 2: Τεχνικά Εγχειρίδια	63

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1: Η εξέλιξη των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου στην ΕΕ. Πηγή: [1]	2
Εικόνα 2: Κατάταξη της ΕΕ σε παγκόσμιο επίπεδο αναφορικά με την επιβάρυνση που προκαλεί σε επίπεδο αερίων εκπομπών του θερμοκηπίου. Πηγή: [2]	3
Εικόνα 3: California's Duck Curve. Πηγή: [10]	10
Εικόνα 4: Σχηματική απεικόνιση εφαρμογής αυτοπαραγωγού στον οικιακό τομέα	12
Εικόνα 5: Σχεδιάγραμμα απεικόνισης υβριδικού σταθμού ΑΠΕ.	15
Εικόνα 6: Μονάδα (κυψέλη) Συσσωρευτή. Πηγή: [13].....	16
Εικόνα 7: Πειραματική Διάταξη Συσσωρευτών του Εργαστηρίου	16
Εικόνα 8: Αντιστροφέας Ισχύος (inverter) Πηγή: [16].....	18
Εικόνα 9: Αντιστροφέας ισχύος πειραματικής διάταξης.....	18
Εικόνα 10: Λαμπτήρας Πυρακτώσεως. Πηγή: [17].....	19
Εικόνα 11: Πειραματική διάταξη φωτοβολταϊκής συστοιχίας	19
Εικόνα 12: Πίνακας DC πρώτης φωτοβολταϊκής συστοιχίας	20
Εικόνα 13: Πειραματική διάταξη φωτοβολταϊκής συστοιχίας	20
Εικόνα 14: Πίνακας DC δεύτερης φωτοβολταϊκής συστοιχίας	21
Εικόνα 15: Ρυθμιστής φόρτισης. Πηγή: [19].....	21
Εικόνα 16: Ρυθμιστής Φόρτισης Α/Γ εγκατάστασης	22
Εικόνα 17: Ανεμογεννήτρια Εγκατάστασης	22
Εικόνα 18: Ασφαλειοαποξεύκτες φορτίων εγκατάστασης	22
Εικόνα 19: Πίνακας AC φορτίων πειραματικής διάταξης	23
Εικόνα 20: Ανώτατη στάθμη ηλεκτρολύτη στο εσωτερικό του κελιού. Πηγή: [21].....	28
Εικόνα 21: Όργανο μέτρησης στάθμης υγρών	29
Εικόνα 22: Όργανο μέτρησης πυκνότητας ηλεκτρολυτών με βαθμονόμηση.....	30
Εικόνα 23: Διάταξη κελιών συσσωρευτή.....	31
Εικόνα 24: Διαγραμματική απεικόνιση στιγμιότυπου εκφόρτισης – Α'	40
Εικόνα 25: Διαγραμματική απεικόνιση στιγμιότυπου εκφόρτισης – Β'	41

Ευρετήριο Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Επιρροή θερμοκρασίας στη χωρητικότητα των συσσωρευτών. Πηγή: [14]	17
Διάγραμμα 2: Γράφημα ισχύος εξόδου μετατροπέα έναντι μείωσης θερμοκρασίας [15].....	18
Διάγραμμα 3: Θεωρητικό διάγραμμα καμπύλης φόρτισης.....	24
Διάγραμμα 4: Θεωρητικό διάγραμμα καμπύλης εκφόρτισης. Πηγή: [22]	25
Διάγραμμα 5: Διάγραμμα κύκλου ζωής συσσωρευτή έναντι βάθους εκφόρτισης. Πηγή: [13].....	27
Διάγραμμα 6: 1 ^η εκφόρτιση (έξοδος DC).....	35
Διάγραμμα 7: 1 ^η εκφόρτιση (ισχύς AC – έξοδος inverter)	36
Διάγραμμα 8: 1 ^η φόρτιση (έξοδος DC).....	36
Διάγραμμα 9: 1 ^η φόρτιση (ισχύς AC - είσοδος inverter).....	37
Διάγραμμα 10: 2 ^η εκφόρτιση (είσοδος DC)	38
Διάγραμμα 11: 2 ^η εκφόρτιση (ισχύς AC – έξοδος inverter)	38
Διάγραμμα 12: 2 ^η φόρτιση (έξοδος DC).....	39
Διάγραμμα 13: 2 ^η φόρτιση (ισχύς AC - είσοδος inverter).....	39
Διάγραμμα 14: 3 ^η εκφόρτιση (είσοδος DC)	40
Διάγραμμα 15: 3 ^η εκφόρτιση (ισχύς AC – έξοδος inverter)	41
Διάγραμμα 16: 3 ^η φόρτιση (έξοδος DC).....	42
Διάγραμμα 17: 3 ^η φόρτιση (ισχύς AC - είσοδος inverter).....	42
Διάγραμμα 18: 4 ^η εκφόρτιση (είσοδος DC)	43
Διάγραμμα 19: 4 ^η εκφόρτιση (ισχύς AC – έξοδος inverter)	43
Διάγραμμα 20: 4 ^η φόρτιση (Έξοδος DC)	44
Διάγραμμα 21: 4 ^η φόρτιση (ισχύς AC - είσοδος inverter).....	44
Διάγραμμα 22: 5 ^η φόρτιση - πριν το Equalizing (έξοδος DC).....	45
Διάγραμμα 23: 5 ^η φόρτιση (ισχύς AC - είσοδος inverter).....	45
Διάγραμμα 24: Διαδικασία equalization (έξοδος DC).....	46
Διάγραμμα 25: Διαδικασία equalization (ισχύς AC - είσοδος inverter).....	46
Διάγραμμα 26: 5 ^η εκφόρτιση (είσοδος DC)	47
Διάγραμμα 27: 5 ^η εκφόρτιση (ισχύς AC – έξοδος inverter)	47
Διάγραμμα 28: 6 ^η φόρτιση (Έξοδος DC)	48
Διάγραμμα 29: 6 ^η φόρτιση (ισχύς AC - είσοδος inverter).....	48
Διάγραμμα 30: Βύθιση καμπύλης τάσης	50
Διάγραμμα 31: Διάγραμμα ΑΠΕ 4 ^{ης} εκφόρτισης - 16/11/2022	52
Διάγραμμα 32: Διάγραμμα ΑΠΕ 4 ^{ης} εκφόρτισης - 17/11/2022	52
Διάγραμμα 33: Διάγραμμα ΑΠΕ 4 ^{ης} εκφόρτισης - 18/11/2022	52

Ευρετήριο Πινάκων

<i>Πίνακας 1: Χωρητικότητα συσσωρευτών ανά επιθυμητό ρυθμό εκφόρτισης. Πηγή: [13].....</i>	<i>17</i>
<i>Πίνακας 2: Μεταβολή της επικρατούσας τάσης σε σχέση με το βάθος εκφόρτισης. Πηγή: [13].....</i>	<i>17</i>
<i>Πίνακας 3: Ειδική Δύναμη προς βαθμό φόρτισης.....</i>	<i>31</i>
<i>Πίνακας 4: Καταγραφή μετρήσεων αγωγιμότητας και υγρών στα κελιά της διάταξης.....</i>	<i>32</i>
<i>Πίνακας 5: Αποτελέσματα κύκλων εκφόρτισης.....</i>	<i>49</i>
<i>Πίνακας 6: Αποτελέσματα κύκλων φόρτισης.....</i>	<i>49</i>
<i>Πίνακας 7: Συνολικοί κύκλοι ζωής των σεναρίων.....</i>	<i>55</i>
<i>Πίνακας 8: Βαθμός απόδοσης μεταξύ διαδοχικών κύκλων.....</i>	<i>56</i>

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Κλιματική Κρίση και Στόχοι σε Ευρωπαϊκό Επίπεδο

Η κλιματική αλλαγή είναι μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις που αντιμετωπίζει ο κόσμος σήμερα, έχοντας κατά το πρόσφατο χρονικό διάστημα λάβει διαστάσεις κλιματικής κρίσης, με ολοένα και πιο έντονα χαρακτηριστικά. Η τελευταία αποτελεί απόρροια της ανθρώπινης δραστηριότητας στον πλανήτη, η οποία εντείνεται ιδιαίτερα κατά την περίοδο μετά την βιομηχανική επανάσταση, προκαλώντας πλέον σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα καθώς και σταδιακή εξάντληση των ορυκτών πόρων.



Εικόνα 1: Η εξέλιξη των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου στην ΕΕ. Πηγή: [1]

Ο αντίκτυπος αυτός είναι πλέον εμφανής σε παγκόσμιο επίπεδο και επηρεάζει την ποιότητα ζωής των ανθρώπων, τις συνθήκες διαβίωσης, καθώς και την παγκόσμια οικονομία, δημιουργώντας παράλληλα πλήθος ανισοτήτων μεταξύ των διαφορετικών περιοχών του πλανήτη.

Στο πλαίσιο αυτό, και σύμφωνα με πρόσφατη έκθεση του ΕΟΠ (Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος), σημειώνεται πως έως σήμερα, υπεύθυνες για τις παγκόσμιες εκπομπές CO₂ ήταν κατά κύριο λόγο οι βιομηχανικές χώρες (Εικόνα 1), με

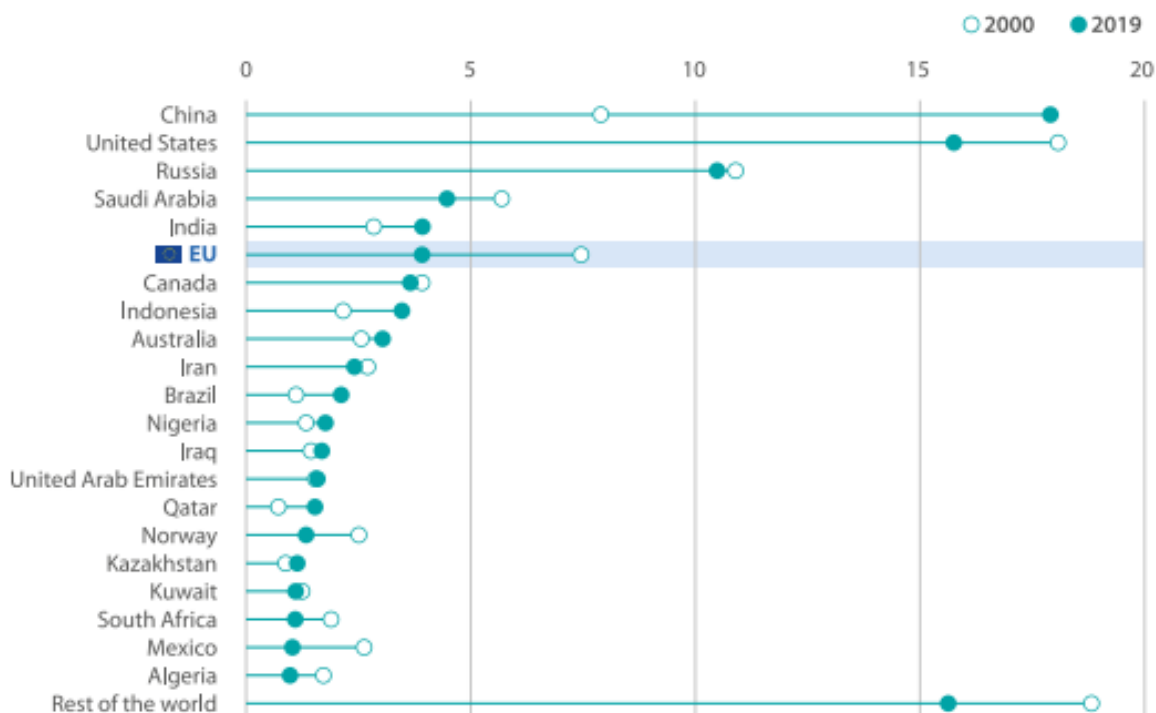
τις αναδύομενες οικονομίες πλέον να συμβάλλουν εξίσου σημαντικά στην επιβάρυνση του φαινομένου του θερμοκηπίου, εξαιτίας και της ταχείας αύξησης του πληθυσμού τοπικά. Πέραν της διάκρισης αυτής, καθίσταται πλέον σαφές πως η μείωση των παγκόσμιων εκπομπών μπορεί να αντιμετωπιστεί με συλλογικό και μόνο τρόπο, καθώς και ότι η ένταση των συνεπειών της κλιματικής κρίσης χρήζει ενίσχυσης της ανθεκτικότητας σε τοπικό, εθνικό, και περιφερειακό επίπεδο.

Για την αντιμετώπιση των παραπάνω προβλημάτων, η επίτευξη μίας βιώσιμης και αειφόρου ανάπτυξης αποτελεί απαραίτητο στόχο των κρατών ανά τον κόσμο. Έτσι λοιπόν, αρκετά από τα κράτη παγκοσμίως έχουν ήδη θεσπίσει πλαίσια για την εξάλειψη των ζωτικών αυτών προβλημάτων, εστιασμένα κατά κύριο λόγο στην μείωση των εκπομπών μέσω της περαιτέρω διάδοσης των τεχνολογιών ΑΠΕ και της σταδιακής υποκατάστασης της χρήσης ορυκτών καυσίμων.

1.1.1. Γενικά περί στόχων ΑΠΕ σε ευρωπαϊκό/εθνικό επίπεδο

Οι ΑΠΕ είναι καθαρές μορφές ενέργειας οι οποίες δεν εξαντλούνται και δεν προκαλούν την εκπομπή σημαντικών ποσοτήτων αερίων του θερμοκηπίου. Αυτές οι μορφές ενέργειας είναι ήλιος, ο άνεμος, οι υδροηλεκτρικές πηγές (ποτάμια και λίμνες), η γεωθερμική ενέργεια και η βιομάζα.

Η νομοθεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) ως προς την προώθηση των ΑΠΕ έχει εξελιχθεί σημαντικά κατά τα τελευταία 15 έτη, δεδομένου ότι η πρώτη συμβάλλει σε σημαντικό ποσοστό στην επιβάρυνση του φαινομένου του θερμοκηπίου (Εικόνα 2), ευρισκόμενη στην έκτη κατά σειρά θέση παγκοσμίως ως προς τις εκπομπές CO₂.



Εικόνα 2: Κατάταξη της ΕΕ σε παγκόσμιο επίπεδο αναφορικά με την επιβάρυνση που προκαλεί σε επίπεδο αέριων εκπομπών του θερμοκηπίου. Πηγή: [2]

Η ΕΕ επιχειρεί να θεσπίσει μία κοινή ευρωπαϊκή πολιτική μέσα από νομοθεσίες που θέτουν τόσο μεσοπρόθεσμους όσο και μακροπρόθεσμους στόχους για τις ΑΠΕ, ώστε να επιτευχθεί κλιματική ουδετερότητα, ενεργειακή ασφάλεια και προσιτή ενέργεια.

Η αρχική οδηγία για τις ΑΠΕ εγκρίθηκε το 2009 (οδηγία 2009/28/ΕΚ - RED I) θέτοντας ως στόχο, έως το 2020, το 20% της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας να καλύπτεται από ΑΠΕ. Ακολούθως, το 2015, θεσπίστηκε διεθνής συμφωνία που συνήφθη στο Παρίσι της Γαλλίας, στα πλαίσια της Συνθήκης-Πλαισίου των "Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή".

Η Συμφωνία του Παρισιού αποτελεί μια σημαντική δέσμευση από πολλές χώρες σε όλο τον κόσμο για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Οι κύριοι στόχοι της συμφωνίας περιλαμβάνουν τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, την προσπάθεια να περιοριστεί η αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας κάτω από 2 βαθμούς Κελσίου έως τον 21^ο αιώνα, και την παροχή οικονομικής υποστήριξης σε αναπτυσσόμενες χώρες για την προσαρμογή τους στην κλιματική αλλαγή.

Εν συνεχεία, το 2018, τέθηκε σε ισχύ η δέσμη μέτρων «Καθαρή ενέργεια για όλους τους Ευρωπαίους» με στόχο να παραμείνει η ΕΕ ηγέτιδα δύναμη των ΑΠΕ και να πραγματοποιήσει τις δεσμεύσεις της σχετικά με τη Συμφωνία του Παρισιού. Η συμφωνία αυτή, αυξάνει το ποσοστό της συμμετοχής των ΑΠΕ στη συνολική κατανάλωση ενέργειας σε ποσοστό 32% έως το 2030. Επίσης, οι χώρες προτείνουν δεκαετή εθνικά σχέδια για την ενέργεια και το κλίμα (ΕΣΕΚ) για τη χρονική περίοδο 2021-2030.

Το 2021, στο πλαίσιο των μέτρων «Προσαρμογή στον στόχο του 55%» (RED II), η ΕΕ προτείνει την αύξηση του στόχου της συμμετοχής των ΑΠΕ στο ενεργειακό μείγμα στο 40% έως το 2030 και την προώθηση της χρήσης ανανεώσιμων καυσίμων (π.χ. υδρογόνο). Τέλος, το 2022, και στο πλαίσιο του σχεδίου REPowerEU (RED III), προωθούνται η εγκατάσταση αντλιών θερμότητας, η αύξηση της ηλιακής Φ/Β δυναμικότητας και η εισαγωγή ανανεώσιμου υδρογόνου και βιομεθανίου για την αύξηση του στόχου των ΑΠΕ για το 2030 στο 45%.

Επίσης, το ίδιο έτος θεσπίζεται και η RED IV, που εξυπηρετεί στην ταχύτερη αδειοδότηση των ΑΠΕ, με το πλαίσιο να επικεντρώνει το ενδιαφέρον του, μεταξύ άλλων, και στον μετασχηματισμό των οικιακών καταναλωτών σε αυτοπαραγωγούς ενέργειας [3].

1.1.2. Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία

Το 2018, η ΕΕ ενίσχυσε την πολιτική της για τις ΑΠΕ με τον στόχο της "Πράσινης Συμφωνίας" (Green Deal) και της "Ευρώπης χωρίς Άνθρακα" (EU Carbon-Neutral), καθώς και με το στόχο της «Καθαρής Ενέργειας για τους Ευρωπαίους». Αυτές οι πρωτοβουλίες αποσκοπούν στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και την προώθηση των ΑΠΕ ως κύρια πηγή ενέργειας. Τα ανωτέρω εξειδικεύονται ως ακολούθως:

1. Κλιματική αλλαγή: Τίθενται στόχοι για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου με σκοπό την επίτευξη της κλιματικής ουδετερότητας και τη μείωση της ανόδου της παγκόσμιας θερμοκρασίας.
2. Βιώσιμη ανάπτυξη: Επιδιώκεται η προώθηση της βιώσιμης οικονομικής ανάπτυξης και η δημιουργία θέσεων εργασίας στον τομέα των ΑΠΕ και της περιβαλλοντικής τεχνολογίας.
3. Κυκλική και αειφόρος χρήση πόρων: Προωθείται η αειφόρος χρήση των φυσικών πόρων και η ενίσχυση της κυκλικής οικονομίας.
4. Ανανεώσιμη ενέργεια: Δίνεται έμφαση στην αύξηση της χρήσης των ΑΠΕ, όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια, και ιδιαίτερα η ενσωμάτωση των ΑΠΕ στον τομέα της θέρμανσης και της ψύξης, αλλά και της ηλεκτρικής ενέργειας.
5. Βιοποικιλότητα και περιβάλλον: Η πρωτοβουλία επιδιώκει την προστασία της βιοποικιλότητας και την ανάκαμψη των οικοσυστημάτων.
6. Κοινωνική δικαιοσύνη: Δίνεται έμφαση στην επίτευξη δίκαιης μετάβασης σε μια βιώσιμη οικονομία, υποστηρίζοντας τις ευάλωτες κοινωνικές ομάδες.
7. Διαφοροποίηση στον τομέα των μεταφορών: Προώθηση της σταδιακής απαλλαγής από τις εκπομπές άνθρακα στον τομέα, μέσω, μεταξύ άλλων, και της διεύθυνσης προηγμένων βιοκαυσίμων και βιοαερίου [4].

1.1.3. Τρέχουσα Εθνική στρατηγική - ΕΣΕΚ

Το Εθνικό Σχέδιο για το 2050, έχει ως κύριο στόχο να επιτύχει κλιματική ουδετερότητα ώστε να συνεισφέρει στη συγκράτηση της αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη κατά 1,5°C - 2°C, τηρώντας τις κατευθυντήριες της Συμφωνίας του Παρισιού.

Ουσιαστικά, η στρατηγική αυτή συμβαδίζει με τη Μακροχρόνια Στρατηγική για το 2050 (ΜΣ50) που στοχεύει στην κλιματική ουδετερότητα. Σκοπός της στρατηγικής αυτής είναι ο κλιματικά ουδέτερος ηλεκτρισμός. Πιο συγκεκριμένα, το μερίδιο των ΑΠΕ θα πρέπει να φθάσει στο 80% στην ηλεκτροπαραγωγή, 50% στην ψύξη-θέρμανση και 30% στις μεταφορές.

Ειδικότερα, μέχρι το 2030, κεντρικό στόχο αποτελεί η πλήρης απολιγνιτοποίηση της ηλεκτρικής παραγωγής της χώρας και η αντικατάστασή της από ΑΠΕ, η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, με έμφαση κυρίως στα κτίρια, και η ενίσχυση και ανάπτυξη ενεργειακών υποδομών. Ακόμη, καθίσταται επιτακτική η ενεργειακή ανεξαρτησία από άλλες χώρες, καθώς η Ελλάδα έχει επαρκείς φυσικούς πόρους που μπορούν να γίνουν εκμεταλλεύσιμοι σε μεγάλο ποσοστό. Στο στάδιο αυτό, μελετώνται και αναλύονται οι δυνατότητες και οι απαιτήσεις του ενεργειακού συστήματος για:

- Μείωση εκπομπών κατά 40%-45%.
- Συμμετοχή των ΑΠΕ στην κατανάλωση ενέργειας κατά 32%.
- Βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας κατά 20% [5].

Στόχος είναι τα νέα μέτρα πολιτικής να χαρακτηρίζονται από υψηλό δείκτη εφαρμοσιμότητας, επιφέροντας επίσης εγχώρια προστιθέμενη αξία στον τομέα της

τεχνολογικής προόδου ακόμη και μετά το 2030, με τις ευρύτερες προτεραιότητες του ΕΣΕΚ να περιλαμβάνουν τους ακόλουθους άξονες, καινοτόμες τεχνικές και πολιτικές:

- Βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης σε όλους τους τομείς και κυρίως στον κτηριακό, εξέλιξη τεχνολογιών ΑΠΕ καθώς και ενεργό συμμετοχή σε μεγαλύτερο ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με σταδιακή εξάλειψη της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από στερεά καύσιμα.
- Κυκλική οικονομία σε μεγάλη κλίμακα και βιο-οικονομία.
- Εξηλεκτρισμός (κυρίως των μεταφορών και της θερμότητας) – καθαρή κινητικότητα στις μεταφορές.
- Εκμετάλλευση της βιομάζας για παραγωγή καυσίμου, πρώτες ύλες της χημικής βιομηχανίας και αερίου
- Ανάπτυξη της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας μέσω υδρογόνου.
- Βιομηχανική ανταγωνιστικότητα και κλιματική ουδετερότητα.
- Διαχείριση διοξειδίου του άνθρακα (Δέσμευση, χρήση και αποθήκευση)

Στη βάση των ανωτέρω, αξίζει να σημειωθεί η πρόβλεψη, μεταξύ άλλων, και των ενεργειακών παρεμβάσεων στον οικιακό τομέα, που πέραν των μέτρων εξοικονόμησης εισάγουν σταδιακά την έννοια της αυτοπαραγωγής, κυρίαρχα υπό την ανάπτυξη συστημάτων φωτοβολταϊκής βάσης, με ή χωρίς τη συμβολή διατάξεων αποθήκευσης ενέργειας [6].

1.2 Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα ΑΠΕ

Οι ΑΠΕ χαρακτηρίζονται τόσο από πλεονεκτήματα, όσο και από μειονεκτήματα, ως ακολούθως:

1.2.1 Πλεονεκτήματα

- Ανανεώνονται φυσικά και είναι ανεξάντλητες. Δεν εξαντλούνται όπως οι παραδοσιακές πηγές ενέργειας που βασίζονται στα ορυκτά καύσιμα.
- Είναι λιγότερο επιβαρυντικές ως προς τους εκπεμπόμενους ρύπους και τα αέρια του θερμοκηπίου σε σύγκριση με τις παραδοσιακές πηγές ενέργειας, βοηθώντας έτσι στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.
- Η χρήση ΑΠΕ μπορεί να μειώσει την εξάρτηση από εισαγωγές ενέργειας και να βοηθήσει στην ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας.
- Δημιουργούν θέσεις εργασίας σε τομείς όπως η κατασκευή, η συντήρηση και η έρευνα.
- Η ανάπτυξη του τομέα των ΑΠΕ μπορεί να συμβάλει στην οικονομική ανάπτυξη μέσω επενδύσεων, εξελισσόμενης τεχνογνωσίας και άλλων ευκαιριών.
- Καθώς οι τεχνολογίες των ΑΠΕ εξελίσσονται, το κόστος παραγωγής ενέργειας από αυτές τις πηγές μειώνεται, καθιστώντας τις ΑΠΕ πιο ανταγωνιστικές σε σχέση με τις παραδοσιακές πηγές ενέργειας.
- Οι τοπικές εγκαταστάσεις ΑΠΕ μπορούν να συμβάλλουν στην τοπική ανάπτυξη, παρέχοντας έσοδα στις τοπικές κοινωνίες και υποστηρίζοντας την τοπική απασχόληση.
- Συμβάλλουν στην κάλυψη ενεργειακών αναγκών σε απομακρυσμένες περιοχές, καθώς υπάρχει η δυνατότητα αποκεντρωμένης παραγωγής.
- Αποτελούν το όχημα για την μετάβαση σε ένα νέο, αποκεντρωμένο μοντέλο παραγωγής με ενεργό συμμετοχή των τελικών καταναλωτών, στη βάση του μετασχηματισμού τους από καταναλωτές σε αυτοπαραγωγούς [7].

1.2.2 Μειονεκτήματα

- Η παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες, το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής. Οι ηλιακοί συλλέκτες δεν λειτουργούν τη νύχτα και η αιολική ενέργεια εξαρτάται από τις μεταβολές του αιολικού δυναμικού, προκαλώντας αστάθεια στην παραγωγή.
- Η εγκατάσταση μεγάλων Φ/Β ή αιολικών πάρκων απαιτεί ικανές εκτάσεις, γεγονός που συχνά οδηγεί σε σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις και αλλοίωση του τοπικού χαρακτήρα των εν λόγω περιοχών.
- Η άτακτη χωροθέτηση αιολικών πάρκων μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές επιπτώσεις και σε επίπεδο βιοποικιλότητας.
- Έχουν σχετικά χαμηλό συντελεστή απόδοσης, που ανάλογα με το αξιοποιούμενο δυναμικό και την υπό εξέταση τεχνολογία, οδηγεί σε ετήσιους συντελεστές φορτίου στα επίπεδα του 15%-35%.
- Οι αρχικές επενδύσεις για την εγκατάσταση συστημάτων ΑΠΕ είναι συχνά υψηλές (επενδύσεις έντασης κεφαλαίου), αν και με την πάροδο του χρόνου τα κόστη

μειώνονται σημαντικά λόγω της ευρείας διάδοσης των εν λόγω τεχνολογιών στις μέρες μας.

- Έως σήμερα, και με την εξαίρεση πιλοτικών κυρίως έργων σε επίπεδο κοινότητας, η επίτευξη υψηλών ποσοστών (π.χ. >80% αυτονομίας με χρήση ΑΠΕ), αν και τεχνικά εφικτή, θεωρείται οριακά βιώσιμη ως προς το οικονομικό σκέλος.
- Σε πολλές περιπτώσεις, ο απαιτούμενος εξοπλισμός για τα συστήματα ΑΠΕ πρέπει να εισαχθεί από άλλες χώρες, προκαλώντας εξάρτηση από την παγκόσμια αγορά.
- Οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας οι οποίες θεωρούνται απαραίτητες για την εξισορρόπηση μεταξύ της παραγωγής από ΑΠΕ και της ηλεκτρικής κατανάλωσης, αφενός χαρακτηρίζονται από υψηλό κόστος, αφετέρου χρήζουν, σε πολλές των περιπτώσεων, περαιτέρω εξέλιξης [8].

1.3 Αποθήκευση Ενέργειας & ΑΠΕ

Όπως προαναφέρθηκε, ένα από τα βασικά μειονεκτήματα των ΑΠΕ αποτελεί το γεγονός ότι είναι εξαρτώμενες από τις καιρικές συνθήκες. Αυτό σημαίνει πως η παραγωγή ενέργειας είναι ασταθής, με άλλα λόγια, αβέβαιη. Υπάρχουν λοιπόν περιπτώσεις κατά τις οποίες σημειώνεται πλεόνασμα ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο, και άλλες περιπτώσεις κατά τις οποίες υπάρχει υψηλή ζήτηση αλλά όχι ικανή παραγωγή ώστε οι ΑΠΕ να καλύψουν τις ανάγκες του δικτύου.

Εξαιτίας του ότι οι ΑΠΕ δεν μπορούν να λειτουργούν αδιάλειπτα στα ονομαστικά επίπεδα παραγωγής καθώς και δεν είναι δυνατή η ρύθμιση της αποδιδόμενης ισχύος τους πρωτογενώς, οι διαχειριστές των δικτύων θέτουν περιορισμούς ως προς την λειτουργία τους, αντιμετωπίζοντας τις εν λόγω μονάδες ως μη κατανεμόμενες. Βασική αιτία για την εφαρμογή παρόμοιων περιορισμών (π.χ. δυναμικός περιορισμός) αποτελεί η αβεβαιότητα της παραγωγής των ΑΠΕ σε συνδυασμό με τον προκαλούμενο βαθμό ασυμφωνίας με την παρατηρούμενη ηλεκτρική ζήτηση, οδηγώντας συχνά στην ανάγκη απόρριψης τμήματος της παραγωγής των ΑΠΕ.

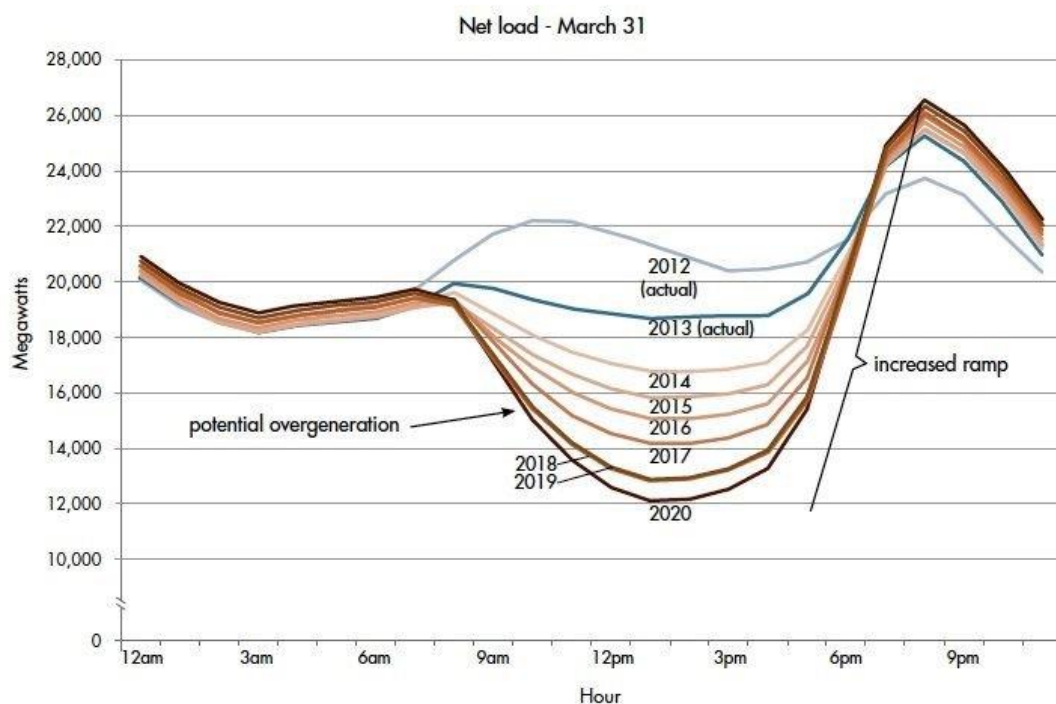
Έναντι της απόρριψης παραγωγής από ΑΠΕ, η εναλλακτική της ενίσχυσης της ευελιξίας των ηλεκτρικών συστημάτων, με κύρια έκφρασή της την αξιοποίηση τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας, δύναται να υποστηρίξει την υψηλότερη διείσδυση των ΑΠΕ με ανταγωνιστικό πλέον τρόπο. Τεχνολογίες όπως η αντλησιοταμίευση, σε επίπεδο δικτύου, και οι συσσωρευτές, σε μικρότερης κλίμακας εφαρμογές, θεωρούνται ήδη ώριμες και ταχέως εξελισσόμενες αντιστοίχως, προσφέροντας τη δυνατότητα για συνεργασία με μονάδες ΑΠΕ υπό διαφορετικά σχήματα και τοπολογίες (π.χ. ανάντη / κατόντη του μετρητή), έχοντας πάντοτε ως βασικό στόχο την άρση της αβεβαιότητας που χαρακτηρίζει την παραγωγή ενέργειας από τις πρώτες.

Την ίδια στιγμή, και στο πλαίσιο μίας ισορροπημένης ανάπτυξης στον τομέα της αποθήκευσης ενέργειας, ζητούμενο αποτελεί τόσο η τεχνολογική ουδετερότητα, όσο και αποσυγκέντρωση ισχύος στον κλάδο. Στη βάση αυτή, κρίνεται σκόπιμη η προώθηση νέων τεχνολογιών συσσωρευτών, έναντι της πιο ώριμης τεχνολογίας της αντλησιοταμίευσης, εστιάζοντας σε εφαρμογές διεσπαρμένου χαρακτήρα (π.χ. οικιακός τομέας), επιτυγχάνοντας με τον τρόπο αυτό και τον όποιο βαθμό αποσυγκέντρωσης ισχύος.

Τα ανωτέρω αποκτούν βαρύτητα στην προοπτική ικανής ανάπτυξης των ΑΠΕ και της ανάλογης συμμετοχής τους στο ηλεκτρικό μίγμα, στα όρια του εξεταζόμενου κάθε φορά ηλεκτρικού συστήματος.

Χαρακτηριστικό στο σημείο αυτό είναι το παράδειγμα της Καλιφόρνια (*Εικόνα 3*), της οποίας το ηλεκτρικό μίγμα έδωσε πρώιμα δείγματα γραφής ως προς την αναμενόμενη αύξηση των ΑΠΕ (ηλιακή ενέργεια) και τις προκλήσεις που θα απέρρεαν από την τελευταία.

Ειδικότερα, και εάν αποτυπωθεί διαγραμματικά μια τυπική ημέρα ζήτησης και παραγωγής, το μοτίβο που δημιουργείται από την έντονη μεσημεριανή μείωση στην καμπύλη καθαρού φορτίου, ακολουθούμενη από μια απότομη άνοδο κατά τις βραδινές ώρες, όταν η ηλιακή παραγωγή υποχωρεί, μοιάζει με περίγραμμα "πάπιας", εξ ου και η ονομασία «Duck Curve». Η διαχρονική ανάπτυξη της Φ/Β παραγωγής, όπως είναι φυσιολογικό, εντείνει το φαινόμενο, δημιουργώντας υπερσυγκέντρωση παραγωγής κατά το μεσημέρι, και συνεπώς συνθήκες συμφόρησης του δικτύου καθώς και λειτουργίας των ενταγμένων θερμικών μονάδων σε περιοχές χαμηλού βαθμού απόδοσης (στα όρια των τεχνικών ελαχίστων) [9].



Εικόνα 3: California's Duck Curve. Πηγή: [10]

Η δυναμική της «καμπύλης της πάπιας» μπορεί να αμφισβητήσει την παραδοσιακή οικονομία των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, επειδή οι παράγοντες που συμβάλλουν στην καμπύλη διαφοροποιούν σημαντικά την λειτουργία ενός συμβατικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής, οδηγώντας δυναμικά σε μειωμένα ενεργειακά έσοδα. Την ίδια στιγμή, οι προκλήσεις σε επίπεδο διαχείρισης συστήματος είναι εξίσου απαιτητικές, τόσο ως προς τη διαχείριση συνθηκών συμφόρησης, όσο και ως προς τον προγραμματισμό ένταξης των μονάδων, δεδομένης και της ανάγκης για την αντιμετώπιση απότομων ρυθμών αύξησης και μείωσης του καθαρού φορτίου ως αποτέλεσμα της έντονης διαφοροποίησης της τυπικής καμπύλης καθαρής ηλεκτρικής ζήτησης κατά το μέσο της ημέρας.

Η «καμπύλη της πάπιας», ωστόσο, δημιουργεί και ευκαιρίες για αποθήκευση ενέργειας. Η ανάπτυξη συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας επιτρέπει αποθήκευση μέρους της ηλιακής ενέργειας που παράγεται κατά τη διάρκεια της ημέρας, για μεταγενέστερη χρήση, μετά τη δύση του ηλίου. Το παραπάνω παράδειγμα αποδεικνύει πως η αποθήκευση ενέργειας αποτελεί σημαντική πτυχή για την προώθηση ΑΠΕ,

καθώς μπορεί να συνδράμει στην αντιμετώπιση της αβεβαιότητας ως προς τη διαθεσιμότητα ενέργειας. Εάν η παραγωγή ενέργειας από αυτές τις πηγές μειωθεί αιφνιδιαστικά, η αποθήκευση ενέργειας μπορεί να αναπληρώσει το όποιο έλλειμμα. Με άλλα λόγια, βοηθά στην αποτροπή απωλειών ενέργειας (αποφυγή απορρίψεων ενέργειας) και εξασφαλίζει ότι η ενέργεια που παράγεται από τις ΑΠΕ δεν χάνεται όταν δεν τυγχάνει άμεσης αξιοποίησης [11].

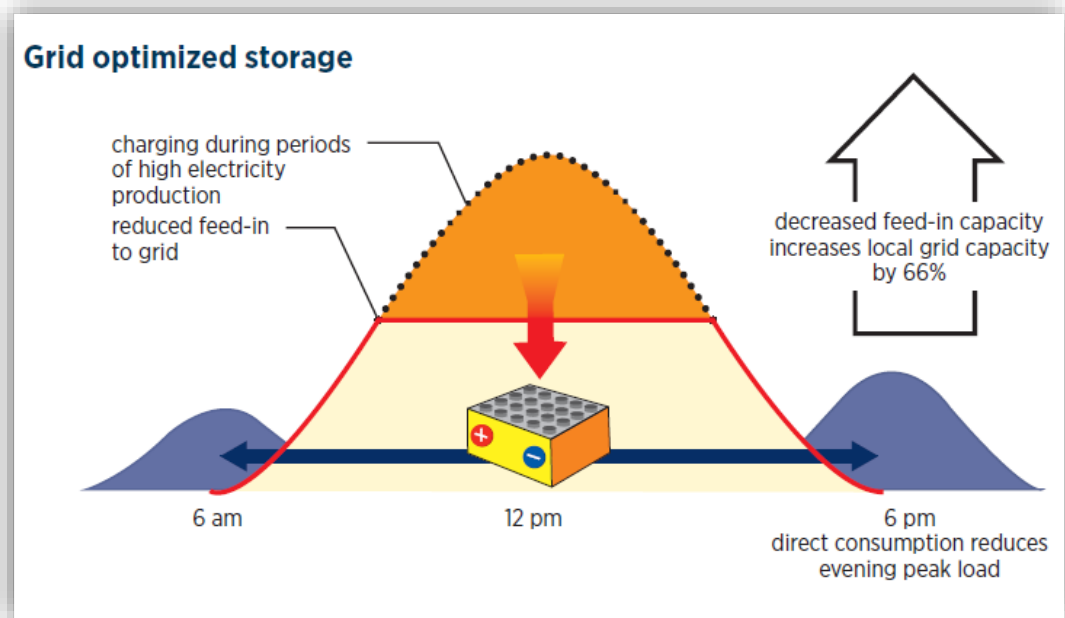
1.4 Αποθήκευση Ενέργειας στον Οικιακό Τομέα

Όπως αναλύθηκε ήδη, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και δη από Φ/Β συστήματα, εμφανίζει σημαντική ασυμφωνία με τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας σε ημερήσια βάση, με τη συμβολή των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας να συνδράμει στην εξισορρόπηση μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης.

Στο πλαίσιο αυτό, και εστιάζοντας σε εφαρμογές στον οικιακό τομέα, υπάρχουν διαφορετικές λύσεις για την αξιοποίηση της Φ/Β παραγωγής τοπικά. Μία από τις καθιερωμένες λύσεις είναι η εξαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα Φ/Β στο δίκτυο. Ωστόσο, στο ενδεχόμενο μεγάλης κλίμακας διείσδυσης οικιακών Φ/Β, η εξαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από πολλά κτήρια στο δίκτυο διανομής σε ώρες αιχμής παραγωγής θα προκαλέσει συμφόρηση, σε συμφωνία και με το παράδειγμα της καμπύλης της "πάπιας".

Για το λόγο αυτό, το ιδιαίτερα επιτυχημένο σχήμα του συμψηφισμού μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης (net metering), αν και ιδιαίτερα αποτελεσματικό, σταδιακά περιορίζεται εξαιτίας της ολοένα και μικρότερης διαθεσιμότητας ηλεκτρικού χώρου στα δίκτυα διανομής.

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού, προκρίνεται η λύση της διεσπαρμένης, οικιακής αποθήκευσης, έναντι της κεντρικής αποθήκευσης, η οποία ναι μεν απαντά με αντίστοιχο τρόπο, εφαρμόζεται όμως σε υψηλότερο επίπεδο διαχείρισης χωρίς να δύναται να συνεισφέρει στη διαχείριση των συνθηκών συμφόρησης σε επίπεδο δικτύων διανομής.



Εικόνα 4: Σχηματική απεικόνιση εφαρμογής αυτοπαραγωγού στον οικιακό τομέα

Τα οφέλη που απορρέουν από τη διάδοση της οικιακής αποθήκευσης ως μέσο προώθησης της διεσπαρμένης Φ/Β παραγωγής περιγράφονται από το ανωτέρω σχήμα (Εικόνα 4) και περιλαμβάνουν:

- Την ενίσχυση της ιδιοκατανάλωσης μέσω της εξυπηρέτησης του φορτίου κατά τις ώρες που τα επίπεδα Φ/Β παραγωγής δεν είναι επαρκή.
- Την μείωση των απωλειών μεταφοράς και διανομής του δικτύου λόγω της αξιοποίησης τοπικής παραγωγής ενέργειας.
- Τη δυνατότητα απόδοσης (πώλησης) στο δίκτυο εγγυημένης Φ/Β παραγωγής υπό συγκεκριμένο κανονιστικό πλαίσιο για την αποφυγή συνθηκών συμφόρησης, με διεκδίκηση ταυτόχρονα υψηλότερων τιμών αποζημίωσης.
- Την αποσυμφόρηση του συστήματος κατά τη διάρκεια των βραδινών αιχμών, λόγω της αξιοποίησης των αποθεμάτων ενέργειας των οικιακών συσσωρευτών, έναντι της λύσης εισαγωγής ενέργειας από το δίκτυο, που μαζικά δύναται να οδηγήσει στην λειτουργία επιπρόσθετης/ων μονάδας/ων αιχμιακού χαρακτήρα.

Αναλογιζόμενοι τα ανωτέρω, η προσθήκη διατάξεων αποθήκευσης κατάντη του μετρητή (εντός της οικίας) συνεπάγεται πολλαπλά οφέλη, τόσο για τον τελικό καταναλωτή όσο και για το κεντρικό δίκτυο. Εντούτοις, το κόστος παρόμοιων διατάξεων παραμένει αρκετά υψηλό (~1.000-2.000€/kWh), με την μέση απαίτηση σε επίπεδο νοικοκυριού να κινείται στα επίπεδα των 5-10kWh. Την ίδια στιγμή, ανάλογης σημασίας θεωρείται και η σχετικά περιορισμένη εμπειρία από την λειτουργία παρόμοιων συστημάτων υπό μακροχρόνια παρακολούθηση, καθώς και η εμπειριστατωμένη μοντελοποίηση συστημάτων συσσωρευτών παρόμοιας κλίμακας ώστε να γίνουν κατανοητές οι πραγματικές δυνατότητες αλλά και οι περιορισμοί ως προς τη λειτουργία τους στο πλαίσιο παρόμοιων εφαρμογών [12].

Για το σκοπό αυτό, η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο την λεπτομερή, πειραματική μελέτη λειτουργίας πιλοτικής μονάδας συσσωρευτών, υπό την περιγραφή διαφορετικών σεναρίων φόρτισης και εκφόρτισης, με εκτέλεση αντίστοιχης σειράς κύκλων λειτουργίας που επιχειρούν να τροφοδοτήσουν την μελέτη προβλημάτων ενσωμάτωσης συσσωρευτών σε παρόμοιες εφαρμογές με πιο εμπειριστατωμένα μοντέλα προσομοίωσης αναφορικά με την συνιστώσα της αποθήκευσης, η οποία, όπως προαναφέρθηκε, αποτελεί και το πλέον κοστοβόρο τμήμα παρόμοιων εφαρμογών.

Κεφάλαιο 2: Πειραματική Διάταξη & Διεξαγωγή Δοκιμών

2.1 Εισαγωγικά

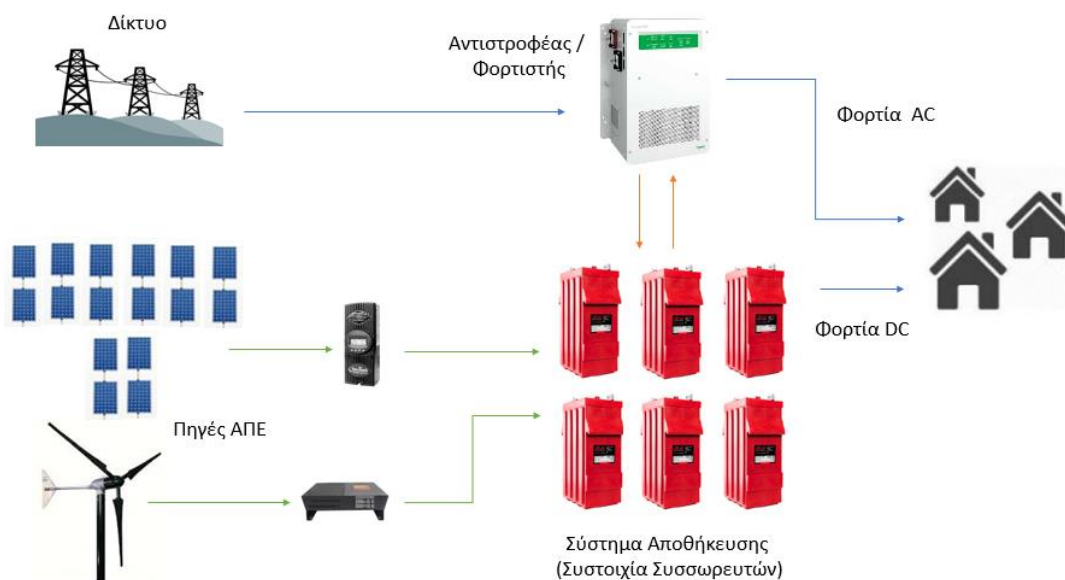
Η παρούσα ερευνητική εργασία εκπονήθηκε αξιοποιώντας πιλοτική-πειραματική μονάδα που βρίσκεται στις εγκαταστάσεις του Εργαστηρίου Ήπιων Μορφών Ενέργειας του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, στην Πανεπιστημιούπολη Αρχαίου Ελαιώνα. Η πιλοτική μονάδα αποτελείται από υβριδικό σταθμό ΑΠΕ και σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας (συσσωρευτές).

Για τη διεξαγωγή των πειραμάτων έχουν ληφθεί δεδομένα μετρήσεων που αποτυπώνουν τον τρόπο με τον οποίο ανταποκρίνεται το σύστημα αποθήκευσης σε διαφορετικές φορτίσεις και εκφορτίσεις. Τα δεδομένα αυτά έχουν ληφθεί από ακαδημαϊκά λογισμικά και εφαρμογές, μέσω περιφερειακού μετρητικού εξοπλισμού της εγκατάστασης, και λαμβάνουν υπόψη ηλεκτρικά μεγέθη (ένταση, τάση και ισχύ) που χαρακτηρίζουν την λειτουργία των επιμέρους συνιστωσών του σταθμού.

Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σε συγκεκριμένες ημερομηνίες και ώρες, και χωρίστηκαν σε διαδοχικούς κύκλους φορτίσεων και εκφορτίσεων για το υπό εξέταση σύστημα συσσωρευτών, δημιουργώντας έτσι δύο βασικά σενάρια δοκιμών, με και χωρίς την συμβολή των ΑΠΕ, με περαιτέρω διάκριση σε επίπεδο σεναρίου, όπου και κατά κύριο λόγο εξετάζεται η επίδραση του βάθους εκφόρτισης.

Σημειώνεται ότι τα ανωτέρω διεξήχθησαν υπό τη εφαρμογή χαμηλής στάθμης, σταθερού ηλεκτρικού φορτίου, στα επίπεδα των 200-300W, απαντώντας σε ελάχιστες απαιτήσεις οικιακού φορτίου βάσης.

Ακολούθως παρατίθεται σχεδιάγραμμα που περιγράφει τον τρόπο λειτουργίας του πιλοτικού σταθμού, διακρίνοντας ταυτόχρονα τις βασικές συνιστώσες εξοπλισμού, ενώ στη συνέχεια, ακολουθεί επίσης η λεπτομερής περιγραφή των τελευταίων.



Εικόνα 5: Σχεδιάγραμμα απεικόνισης υβριδικού σταθμού ΑΠΕ.

2.2 Περιγραφή Πειραματικής Διάταξης

2.2.1 Σύστημα συσσωρευτών

Το σύστημα συσσωρευτών αποτελείται από συστοιχία 6 συσσωρευτών της εταιρείας ROLLS. Οι συσσωρευτές είναι τύπου μολύβδου-οξέος, και συγκεκριμένα, του μοντέλου 4 KS 21P. Ο συγκεκριμένος τύπος συσσωρευτών περιέχει πλάκες θεικού μολύβδου ($PbSO_4$) που λειτουργούν ως αγώγιμα υλικά και ηλεκτρολύτη διαλύματος θεικού οξέος (H_2SO_4). Το κάθε κελί αποτελείται από δύο κυψέλες των 2Volt έκαστο, ενώ συνολικά, τα κελιά είναι 12. Τα τελευταία συνδέονται μεταξύ τους σε σειρά και σχηματίζουν συνολική τάση 24Volt.



Εικόνα 6: Μονάδα (κυψέλη) Συσσωρευτή. Πηγή: [13]

Οι συσσωρευτές είναι τοποθετημένοι σε ειδικά διαμορφωμένο κλιματιζόμενο χώρο με εξαερισμό (ISOBOX), σε θερμοκρασία που διατηρείται όλο το χρόνο στους 24-25°C, ώστε να έχουν την καλύτερη δυνατή απόδοση, όπως προτείνει άλλωστε και ο κατασκευαστής.

Η χωρητικότητα των συσσωρευτών επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος (Διάγραμμα 1), με την αύξηση της τελευταίας να επιδρά και στη διάρκεια ζωής του συστήματος. Οι δε χαμηλότερες θερμοκρασίες περιβάλλοντος μειώνουν τη χωρητικότητα, αλλά επιμηκύνουν τη διάρκεια ζωής.



Εικόνα 7: Πειραματική Διάταξη Συσσωρευτών του Εργαστηρίου

Η ονομαστική χωρητικότητα της κάθε κυψέλης της μονάδας, αντιστοιχεί για πλήρη εκφόρτιση μίας ώρας (C1) στα 517Ah, υπό θερμοκρασία 25°C. Ως εκ τούτου, κάθε κυψέλη έχει δυνατότητα απόδοσης μέχρι και [13]:

$$4V \times 517Ah = 2.068Wh$$

Συνεπώς, συνολικά έχουμε:

$$2.068 Wh \times 6 \text{ κυψέλες} = 12.408Wh$$

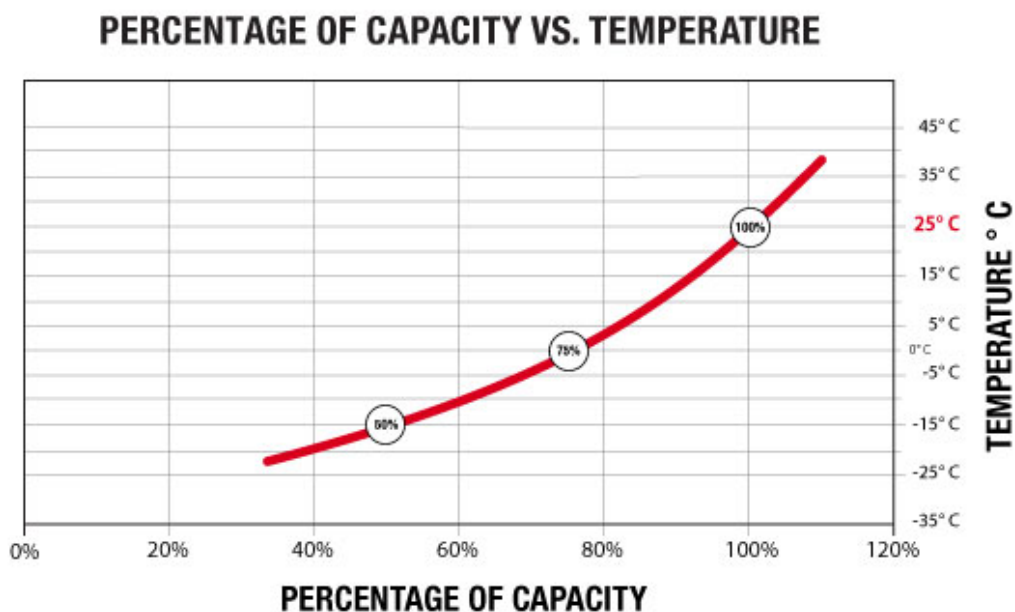
ή

12,41kWh συνολική χωρητικότητα ενέργειας, τιμή η οποία αναπροσαρμόζεται ανάλογα με τον ρυθμό εκφόρτισης, με βάση και τις τιμές που παρουσιάζονται στον Πίνακα 1 κάτω από ιδανικές συνθήκες (27°C & πυκνότητα 1,28gr/lit).

Αντίστοιχα, και σύμφωνα με το Διάγραμμα 1, η αποθηκευτική ικανότητα των συσσωρευτών διαφοροποιείται με βάση την μεταβολή της θερμοκρασίας [14].

Στη συνέχεια, δίνεται επίσης πίνακας (Πίνακας 2) βάσει του οποίου προσδιορίζεται η αναμενόμενη επικρατούσα τάση για διαφορετικά βάθη εκφόρτισης DoD%. Παρατηρείται πως στην αρχή και στο τέλος κάθε κύκλου εκφόρτισης, η τιμή της τάσεως βρίσκεται στα ίδια επίπεδα, ανεξάρτητα από το βάθος εκφόρτισης, με την όποια

διαφοροποίηση να παρατηρείται μόνο στα ενδιάμεσα βάθη εκφόρτισης. Επιπρόσθετα, σημειώνεται ότι όσο μεγαλύτερο είναι το βάθος εκφόρτισης, τόσο πιο μειωμένη εμφανίζεται η τιμή της επικρατούσας τάσης.



Διάγραμμα 1: Επιρροή θερμοκρασίας στη χωρητικότητα των συσσωρευτών. Πηγή: [14]

Hour Rate	Capacity / AMP Hour	Current / AMPs
@ 100 Hour Rate	1481 AH	14.81 A
@ 72 Hour Rate	1401 AH	19.45 A
@ 50 Hour Rate	1326 AH	26.52 A
@ 20 Hour Rate	1148 AH	57.41 A
@ 15 Hour Rate	1068 AH	71.19 A
@ 10 Hour Rate	1022 AH	102.19 A
@ 8 Hour Rate	987 AH	123.43 A
@ 5 Hour Rate	919 AH	183.71 A
@ 1 Hour Rate	517 AH	516.67 A

Πίνακας 1: Χωρητικότητα συσσωρευτών ανά επιθυμητό ρυθμό εκφόρτισης. Πηγή: [13]

Voltage vs. Depth of Discharge					
DISCHARGE	0%	25%	50%	75%	100%
20 HR AH RATE	2.10 V	2.05 V	2.02 V	1.96 V	1.75 V
6 HR AH RATE	2.10 V	2.04 V	2.00 V	1.95 V	1.75 V
1 HR AH RATE	2.10 V	2.03 V	1.99 V	1.94 V	1.75 V

Πίνακας 2: Μεταβολή της επικρατούσας τάσης σε σχέση με το βάθος εκφόρτισης. Πηγή: [13]

2.2.2 Αντιστροφέας ισχύος (Inverter)

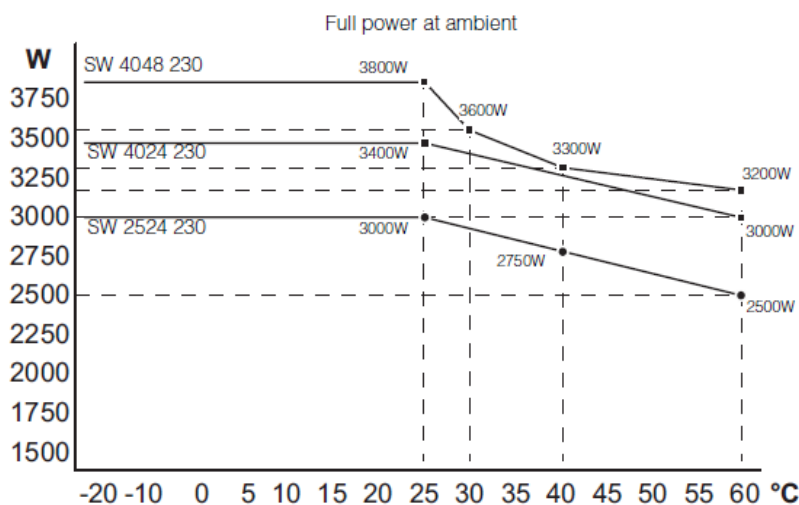
Ο αντιστροφέας ισχύος (Εικόνες 8-9) είναι ο Conext SW - inverter / charger SW 4024 120 - input: 20-34 VDC της εταιρείας Schneider Electric. Είναι συμβατός με τους συσσωρευτές του συγκεκριμένου τύπου, επιτρέποντας την παραμετροποίηση της διαδικασίας φόρτισης και εκφόρτισης. Διαθέτει οθόνη με τύπο σήματος ημιτονοειδούς κύματος, που είναι χρήσιμος για το χειρισμό ευαίσθητων φορτίων. Η ισχύς του τύπου αυτού είναι πανομοιότυπη με την πηγή AC που παρέχεται από το δίκτυο, ενώ η μέγιστη ισχύς εξόδου είναι 3,4kW [15]. Ο μετατροπέας είναι τοποθετημένος εντός του εργαστηρίου, σε σκιερό και δροσερό μέρος, ώστε να έχει την καλύτερη δυνατή απόδοση σε θερμοκρασία δωματίου (Διάγραμμα 2), σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή [16].



Εικόνα 8: Αντιστροφέας Ισχύος (inverter) Πηγή: [16]



Εικόνα 9: Αντιστροφέας ισχύος πειραματικής διάταξης



Διάγραμμα 2: Γράφημα ισχύος εξόδου μετατροπέα έναντι μείωσης θερμοκρασίας [15]

2.2.3 Μέσα Εκφόρτισης

Λαμπτήρας Πυρακτώσεως 1

Ο πρώτος λαμπτήρας που χρησιμοποιήθηκε για τις περισσότερες δοκιμές εκφόρτισης, είναι της εταιρείας OSMAR - ULTRA VITALUX 300 W 230 V E27 και έχει ισχύ 300W [17] (Εικόνα 10).



Εικόνα 10: Λαμπτήρας Πυρακτώσεως. Πηγή: [17]

Λαμπτήρας Πυρακτώσεως 2

Ο δεύτερος λαμπτήρας χρησιμοποιήθηκε μόνο για την εκτέλεση της τελευταίας εκφόρτισης, και αντιστοιχεί στα 200W.

2.2.4 Συστοιχία Φωτοβολταϊκών Πάνελ

Υπάρχουν δύο συστοιχίες Φ/Β πάνελ, με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά.

Πρώτη Συστοιχία

Η πρώτη συστοιχία αποτελείται από 10 πολυκρυσταλλικά πλαίσια πυριτίου των 51W_p έκαστο, της εταιρείας KYOCERA (LA361 K51S), και από δύο πλαίσια της εταιρείας Phaesun (UPE045 M401PSP), των 45W_p έκαστο. Τα πλαίσια είναι συνδεδεμένα ανά 6 ώστε να υπάρχει ευελιξία διαχείρισης για την εξυπηρέτηση ποικίλων εφαρμογών στα πλαίσια εργαστηριακών δοκιμών, ενώ στο σύνολό τους, τα υπό εξέταση πλαίσια έχουν νότιο προσανατολισμό (Εικόνα 11). Ακολούθως (Εικόνα 12), παρατίθενται επίσης ο σχετικός ηλεκτρικός πίνακας με αναλογικά όργανα μέτρησης.



Εικόνα 11: Πειραματική διάταξη φωτοβολταϊκής συστοιχίας



Εικόνα 12: Πίνακας DC πρώτης φωτοβολταϊκής συστοιχίας

Δεύτερη Συστοιχία

Η δεύτερη συστοιχία (Εικόνα 13) αποτελείται από πλαίσια Aleo S18 -235 W. Πρόκειται για 4 συνολικά πάνελ, των 235W έκαστο, τα οποία είναι συνδεδεμένα σε δύο strings (συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς 940W_p) [18]. Ο αντίστοιχος πίνακας δίνεται στην Εικόνα 14.



Εικόνα 13: Πειραματική διάταξη φωτοβολταϊκής συστοιχίας



Εικόνα 14: Πίνακας DC δεύτερης φωτοβολταϊκής συστοιχίας

2.2.5 Ρυθμιστής Φόρτισης Φ/Β συστημάτων

Οι ρυθμιστές φόρτισης είναι οι Flexmax 60 της εταιρείας Outback Power (Εικόνα 15). Είναι ρυθμισμένοι σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά των Φ/Β πλαισίων ώστε να αποδίδεται η μέγιστη δυνατή ισχύς από τις συστοιχίες.

Στο μενού του ρυθμιστή, υπάρχει η δυνατότητα για αυτόματη εξισορρόπηση (equalizing) του συστήματος των συσσωρευτών (θα αναφερθεί παρακάτω τι ρόλο έχει αυτή η ρύθμιση στο αποθηκευτικό σύστημα). Η δυνατότητα αυτή μπορεί να ρυθμιστεί αυτόματα και να ενεργοποιείται ανά συγκεκριμένο χρονικό διάστημα που ορίζεται από το χρήστη (δυνατότητα 0-250 ημέρες). Όμως, όταν το σύστημα απενεργοποιείται εντελώς, απενεργοποιείται και ο ρυθμιστής, με αποτέλεσμα η συγκεκριμένη ρύθμιση επίσης να μηδενίζεται και να ξεκινάει να μετράει από την αρχή τις ημέρες. Συνεπώς, στα συγκεκριμένα πειράματα που διεξήχθησαν, η ρύθμιση του equalizing έγινε μόνο από τον αντιστροφέα [19].



Εικόνα 15: Ρυθμιστής φόρτισης. Πηγή: [19]

2.2.6 Ανεμογεννήτρια

Η ανεμογεννήτρια (Εικόνες 16-17) που συμβάλλει στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι η WHISPER 100. Έχει μηνιαία παραγωγή ~100kWh σε ταχύτητα 12mph, και έχει αντοχή σε ταχύτητες έως και 120mph. Η ονομαστική της ισχύς είναι 900W για ταχύτητα ανέμου 28 mph [20].



Εικόνα 16: Ρυθμιστής Φόρτισης Α/Γ εγκατάστασης



Εικόνα 17: Ανεμογεννήτρια Εγκατάστασης

2.2.7. Ασφαλειοαποζεύκτες φορτίων

Οι ασφαλειοαποζεύκτες (Εικόνα 18) είναι της εταιρείας Hager, προστατεύοντας τους συσσωρευτές από υπερθέρμανση σε περίπτωση υπερβολικής αύξησης του ρεύματος.



Εικόνα 18: Ασφαλειοαποζεύκτες φορτίων εγκατάστασης

2.3 Διαδικασία Εκτέλεσης Πειραμάτων

Ο εξοπλισμός της εγκατάστασης, λειτουργεί κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες και επιτρεπτά όρια, όπως ορίζουν οι κατασκευαστές των εταιρειών για την καλύτερη απόδοση, την επίτευξη λήψης βέλτιστων αποτελεσμάτων και την ασφάλεια του εξοπλισμού και του χειριστή. Αυτός ο τύπος συσσωρευτών εκτελεί συγκεκριμένο κύκλο φόρτισης και εκφόρτισης, τα οποία θα αναλυθούν παρακάτω με βάση τα θεωρητικά στοιχεία των κατασκευαστών και θα αποτυπωθούν με τα κατάλληλα διαγράμματα. Σε επόμενο κεφάλαιο, θα απεικονιστούν τα αντίστοιχα διαγράμματα βάσει πειραματικών δεδομένων και αποτελεσμάτων.

2.3.1 Διαδικασία Εκφόρτισης

Πρώτο βήμα για τη διαδικασία εκφόρτισης, είναι να απομονωθούν ό,τι εξωτερικά φορτία εισέρχονται στον inverter από τους κατάλληλους ηλεκτρολογικούς πίνακες (ΑΠΕ και δίκτυο), που θα μπορούσαν να τροφοδοτήσουν το σύστημα συσσωρευτών με ενέργεια,. Έτσι, παραμένει ανοιχτή μόνο η DC είσοδος του inverter που είναι απόρροια της DC εξόδου του συστήματος συσσωρευτών.

Τοποθετείται στην έξοδο AC το φορτίο κατανάλωσης (στη δική μας περίπτωση είναι ο λαμπτήρας πυρακτώσεως). Στη συνέχεια, ορίζονται διάφορες παράμετροι όπως το LBCO σε V στο μενού του αντιστροφέα (menu→CSW4024E 00→Setup→Basic Settings→Low Batt Cut Out) [15].

Έτσι, ξεκινάει η διαδικασία της εκφόρτισης, μέχρι να καταναλωθεί το απόθεμα ενέργειας που βρίσκεται στο σύστημα των συσσωρευτών.

Δεξιά (Εικόνα 19) απεικονίζεται ο πίνακας διαχείρισης των AC φορτίων. Για την πραγματοποίηση της πειραματικής διαδικασίας, χρησιμοποιήθηκαν μόνο οι δύο πρώτες ασφάλειες.



Εικόνα 19: Πίνακας AC φορτίων πειραματικής διάταξης

2.3.2 Διαδικασία φόρτισης

Η διαδικασία της φόρτισης είναι αντίθετη της εκφόρτισης. Πιο συγκεκριμένα, πρέπει αρχικά να ληφθεί υπόψιν εάν υπάρχει δυνατότητα να γίνει εκμετάλλευση των ΑΠΕ για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (εάν δηλαδή ευνοούν οι καιρικές συνθήκες). Εάν υπάρχει η δυνατότητα αυτή, τότε απομονώνεται η έξοδος AC του inverter, καθώς και ανοίγονται οι κατάλληλες ασφάλειες από τους ηλεκτρολογικούς πίνακες των ΑΠΕ, του δικτύου (όταν δεν υπάρχει δυνατότητα τροφοδότησης από τις ΑΠΕ) ή ακόμη και συνδυαστικά. Όταν ο αντιστροφέας ισχύος λάβει το σήμα πως το σύστημα συσσωρευτών έχει φορτίσει πλήρως, τα φορτία της εισόδου DC απομονώνονται και το σύστημα αποθήκευσης είναι έτοιμο να χρησιμοποιηθεί άμεσα για τροφοδότηση φορτίων.

Ανεξαρτήτως της πηγής που λαμβάνεται η ενέργεια για τη φόρτιση, αυτός ο τύπος συσσωρευτών χαρακτηρίζεται από μία τυπική διαδικασία φόρτισης τριών σταδίων.

Πρώτο στάδιο – Bulk mode (Μαζική Φόρτιση)

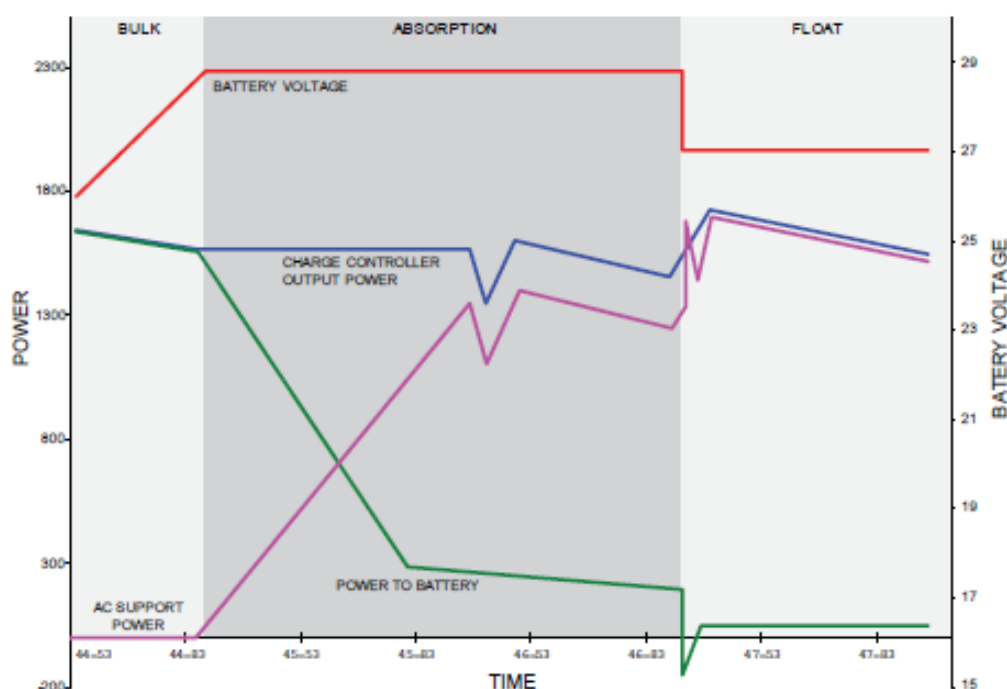
Στο στάδιο αυτό παρέχεται ελεγχόμενο σταθερό ρεύμα στη συστοιχία των συσσωρευτών, στη μέγιστη δυνατή ποσότητα, έως ότου να επιτευχθεί η επιθυμητή τάση (29,40V – 29,76V) [21]. Μόλις η τάση των συσσωρευτών φτάσει στο «ανώτατο κατώφλι», ο αντιστροφέας μεταβαίνει στο στάδιο απορρόφησης [15].

Δεύτερο στάδιο – Absorb charge (Φόρτιση Απορρόφησης)

Είναι η δεύτερη και πιο σημαντική φάση της φόρτισης. Εδώ ο αντιστροφέας παρέχει ελεγχόμενη τάση, ενώ μειώνει αργά και σταθερά το ρεύμα, φέρνοντας τη συστοιχία σε επίπεδα SOC 80%. Όταν το ρεύμα πέσει κάτω από το 2% της χωρητικότητας των συσσωρευτών, τότε ο αντιστροφέας μεταβαίνει στην προγραμματισμένη τάση αποφόρτισης.

Τρίτο στάδιο – Float mode (Κατάσταση Ετοιμότητας)

Εδώ ολοκληρώνεται ο κύκλος φόρτισης. Στο σημείο αυτό, στη συστοιχία των συσσωρευτών μειώνεται το αέριο, ελαχιστοποιούνται οι απαιτήσεις σε υγρά και βεβαιώνεται πως είναι σε κατάσταση ετοιμότητας [21]. Παρακάτω (Διάγραμμα 3) απεικονίζεται μία τυπική καμπύλη φόρτισης αυτού του τύπου συσσωρευτών.



Διάγραμμα 3: Θεωρητικό διάγραμμα καμπύλης φόρτισης

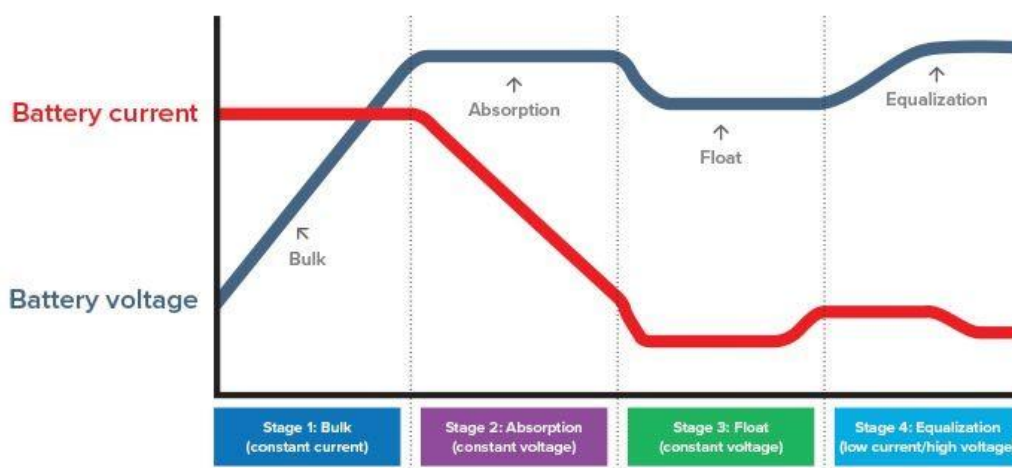
2.3.3 Equalization

Η διαδικασία του equalizing (Διάγραμμα 4) είναι μία διαφορετική μέθοδος φόρτισης. Η εξισορρόπηση, έχει σκοπό να επαναφέρει τους συσσωρευτές στην καλύτερη δυνατή κατάσταση, να αυξήσει την απόδοση και να παρατείνει τη διάρκεια ζωής του

συστήματος. Με τη διαδικασία αυτή, αφαιρούνται οι θετικοί κρύσταλλοι που μπορεί να σχηματιστούν πάνω στις πλάκες κάθε κυψέλης με σκοπό να αποκατασταθεί η ισορροπία του ηλεκτρολύτη σε κάθε κυψέλη. Η διαδικασία εξισορρόπησης έχει 4 στάδια φόρτισης. Τα τρία πρώτα στάδια είναι ίδια με αυτά της κοινής φόρτισης. Στο 4^ο στάδιο, οι συσσωρευτές ρυθμίζονται σε κατάσταση equalizing, είτε αυτόματα είτε από το χειριστή του αντιστροφέα (menu→CSW4024E 00→Setup→Equalize→Enabled).[15]

Συνεπώς, για να πραγματοποιηθεί το equalizing, θα πρέπει οι συσσωρευτές να βρίσκονται στο 100% SOC. [16] Ουσιαστικά το 4^ο στάδιο είναι ένα επιπλέον πρόσθετο στάδιο, που προκαλεί «υπερφόρτιση» στο σύστημα, και φτάνει σε μέγιστη τάση σύμφωνα με τα επιτρεπτά όρια του κατασκευαστή, στο εύρος των 31,2V-31,8V [21].

Η ρύθμιση των επιθυμητών Volts γίνεται από το Advanced Menu του αντιστροφέα (charger settings→custom settings→EqLz Voltage) [15]. Ο χρόνος εξισορρόπησης ποικίλει ανάλογα με το επίπεδο θείωσης, την ισορροπία φόρτισης, το βάθος εκφόρτισης, τη συχνότητα κύκλου, τη θερμοκρασία λειτουργίας, την τάση και το ρεύμα φόρτισης, το μέγεθος της χωρητικότητας των κελιών των συσσωρευτών και της διαθέσιμης πηγής φόρτισης. Συνήθως, η εξισορρόπηση είναι απαραίτητη κάθε 60 έως 180 ημέρες για την αποθείωση και την εξισορρόπηση μιας συστοιχίας. Εάν παρατηρηθεί πως μόνο συγκεκριμένες κυψέλες εμφανίζουν ανισορροπία φόρτισης, μπορεί να χρειαστεί να εξισορροπηθούν ξεχωριστά. Εναλλακτικά, η εξισορρόπηση γίνεται όταν παρατηρείται διαφορά πυκνότητας μεταξύ των κυψελών ίση ή μεγαλύτερη από 0,025 - 0,030gr/lit [21].

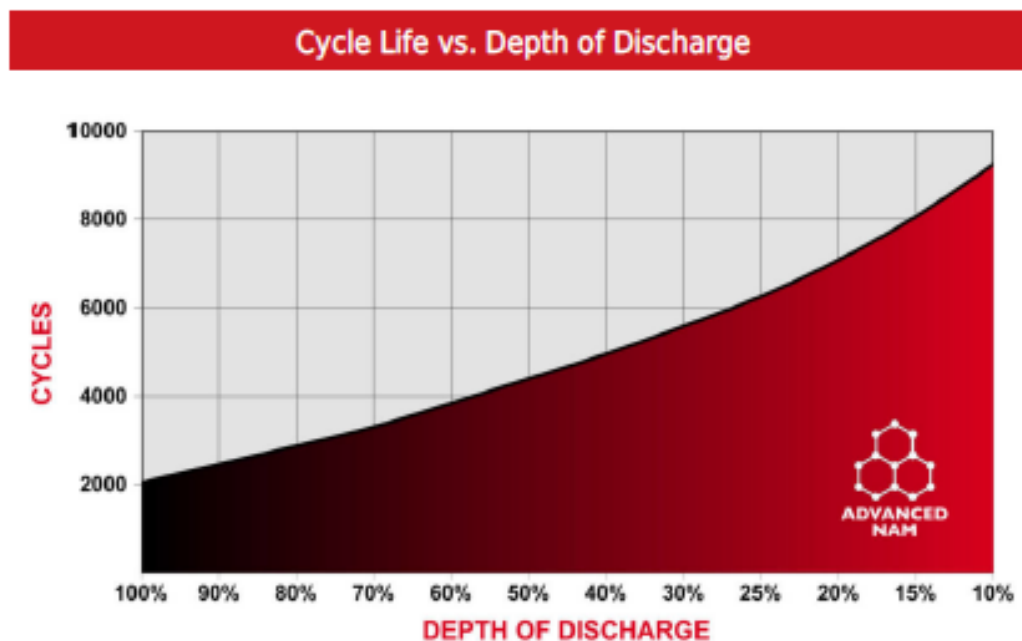


Διάγραμμα 4: Θεωρητικό διάγραμμα καμπύλης εκφόρτισης. Πηγή: [22]

Κεφάλαιο 3: Πειραματική Διαδικασία & Πρωτόκολλο Εκτέλεσης Δοκιμών

3.1 Προκαταρκτικοί Έλεγχοι

Κάθε φορά που το σύστημα συσσωρευτών ρυθμίζεται από τον inverter για τη διαδικασία της φόρτισης και της εκφόρτισης, πρέπει να γίνουν οι κατάλληλοι έλεγχοι σχετικά με την αγωγιμότητα του ηλεκτρολύτη και την επάρκεια υγρών που υπάρχουν σε κάθε κελί, ώστε να αποφευχθεί η καταπόνηση των κελιών και να λειτουργούν ομαλά. Όσο μικρότερο είναι το DoD% σε κάθε διαδικασία του κύκλου εκφόρτισης, τόσο λιγότερο καταπονείται το σύστημα των συσσωρευτών και επιμηκύνεται ο χρόνος ζωής του (Διάγραμμα 5).



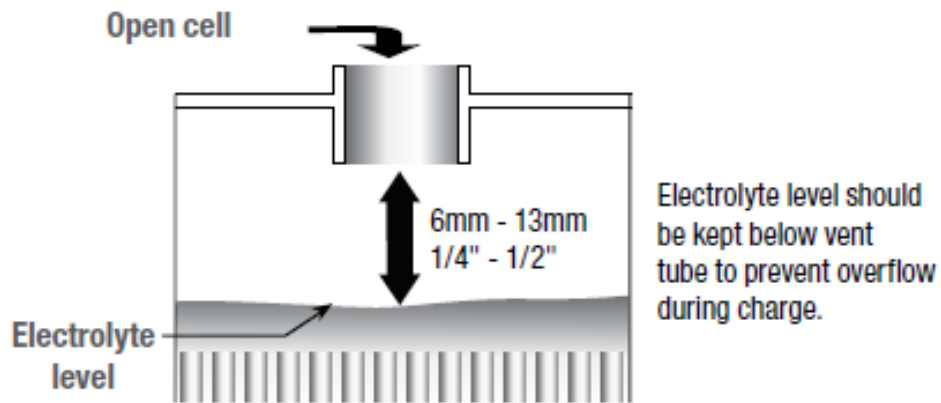
Διάγραμμα 5: Διάγραμμα κύκλου ζωής συσσωρευτή έναντι βάθους εκφόρτισης. Πηγή: [13]

Ο ηλεκτρολύτης παίζει σημαντικό ρόλο στην ομαλή λειτουργία της επιφάνειας των πλακών που βρίσκονται μέσα σε κάθε κελί. Υπάρχουν συγκεκριμένα επιτρεπτά όρια της πυκνότητας των ηλεκτρολυτών. Στο συγκεκριμένο σύστημα συσσωρευτών, όπου η θερμοκρασία περιβάλλοντος διατηρείται σταθερή στους 22°C-24°C, η πυκνότητα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 1,24 με 1,26gr/ml περίπου.

Ένας άλλος δείκτης που μετριέται, είναι αυτός της επάρκειας των υγρών στο εσωτερικό κάθε κελιού. Το υγρό πρέπει να κυμαίνεται γύρω στα 2lt/κελί, ώστε να διασφαλίζεται η σωστή κατανομή του ηλεκτρολύτη σε όλο το εύρος του και να λειτουργεί ομοιόμορφα. Το νερό που προστίθεται μέσα θα πρέπει να είναι απιονισμένο, διότι τα άλατα που βρίσκονται στο απλό νερό χρήσης μπορεί να επηρεάσουν την ομαλή λειτουργία της κυψέλης. Προσκολλώνται πάνω στις πλάκες θεικού μολύβδου και λειτουργούν σαν μονωτικό υλικό με αποτέλεσμα να μην υπάρχει σωστή αγωγιμότητα.

Στο πλαίσιο αυτό, είναι σημαντικό να μην ξεπερνάμε τη συνιστώμενη στάθμη που προτείνει ο κατασκευαστής, καθώς όταν οι συσσωρευτές τεθούν σε λειτουργία φόρτισης αυξάνεται το ποσοστό του ηλεκτρολύτη και υπάρχει κίνδυνος υπερχειλίσης

του. Με αυτό τον τρόπο αποβάλλεται ηλεκτρολύτης που δε μπορεί να αντικατασταθεί και μειώνεται η απόδοση των κελιών. Έτσι, το υγρό θα πρέπει να βρίσκεται 6-12 mm (1/4"-1/2") κάτω από το σωλήνα εξαερισμού σε κάθε στοιχείο, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 20) [21].



Εικόνα 20: Ανώτατη στάθμη ηλεκτρολύτη στο εσωτερικό του κελιού. Πηγή: [21]

3.2 Διαδικασία Συμπλήρωσης Απιονισμένου Νερού

Η διαδικασία συμπλήρωσης απιονισμένου νερού αναφέρεται στα ακόλουθα βήματα [21]:

1. Χρησιμοποιούμε προστατευτικά γάντια και προστατευτική μάσκα.
2. Ανοίγουμε το πώμα του κελιού και μετράμε τη στάθμη του υγρού στο κάθε κελί (Εικόνα 21), με τον κατάλληλο μετρητή στάθμης νερού.
3. Συμπληρώνουμε την κατάλληλη ποσότητα απιονισμένου νερού, προσέχοντας να μην ξεφύγει από τα επιτρεπτά όρια για αποφυγή υπερχείλισης.
4. Μετράμε τακτικά τη στάθμη (βιδώνοντας το όργανο στην είσοδο του κάθε κελιού), έως ότου φτάσει στην ένδειξη MAX το όργανο μέτρησης της στάθμης.
5. Κλείνουμε προσεκτικά το πώμα, ώστε να μην υπάρξει κίνδυνος διαρροής κατά τη διάρκεια λειτουργίας.
6. Επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία σε όλα τα κελιά.



Εικόνα 21: Όργανο μέτρησης στάθμης υγρών

3.3 Διαδικασία Μέτρησης Ηλεκτρολυτών

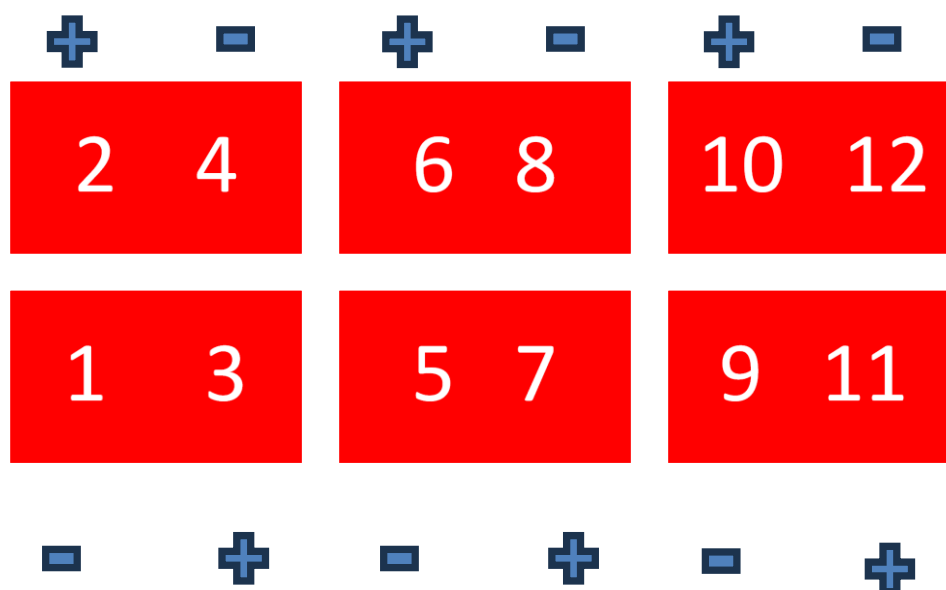
Είναι σημαντικό να τονιστεί πως για να υλοποιηθεί η διαδικασία μέτρησης ηλεκτρολυτών, πρέπει να περιμένουμε τουλάχιστον μισή με μία ώρα από τη συμπλήρωση υγρών (όταν χρειαστεί να συμπληρωθούν) διότι πρέπει να αρχίσει να ομογενοποιείται ο ηλεκτρολύτης με το απιονισμένο νερό. Τα βήματα που ακολουθούνται είναι τα εξής [21]:

1. Αποκλείουμε όλα τα φορτία που συνδέονται με το σύστημα συσσωρευτών, καθώς και κάθε έξοδο ενέργειας από αυτό.
2. Φοράμε προστατευτικά γάντια και προστατευτική μάσκα σε όλο το πρόσωπο.
3. Χρησιμοποιούμε τον κατάλληλο μετρητή πυκνότητας (*Εικόνα 22*).
4. Χρησιμοποιούμε απορροφητικά πανάκια όταν ανοίγουμε κάθε πώμα στο κελί, για να μην υπάρξει μεγάλη ροή έξω από την κυψέλη σε περίπτωση που στάξουν υγρά γύρω από το πώμα.
5. Πιέζουμε τη φούσκα του μετρητή ώστε να γεμίσει η βαθμονομημένη στήλη του.
6. Σημειώνουμε την ένδειξη που βλέπουμε στο μετρητή.
7. Αδειάζουμε ξανά το υγρό πίσω στο κελί, χωρίς να χυθεί κάτι έξω από αυτό και κλείνουμε προσεκτικά το πώμα, ώστε να μην υπάρξει κίνδυνος διαρροής κατά τη διάρκεια λειτουργίας τους.
8. Σκουπίζουμε τυχόν υγρά γύρω από το πώμα.
9. Συνεχίζουμε την ίδια διαδικασία σε όλα τα κελιά.



Εικόνα 22: Όργανο μέτρησης πυκνότητας ηλεκτρολυτών με βαθμονόμηση

Παρακάτω, απεικονίζεται η διάταξη των κυψελών. Κάθε μία από αυτές, έχει δύο κελιά, και συνεπώς έγιναν δύο μετρήσεις, μία για κάθε κελί. Η αρίθμηση των κελιών αντιστοιχεί σε αυτή των πινάκων που θα απεικονισθούν στη συνέχεια.



Εικόνα 23: Διάταξη κελιών συσσωρευτή

Επιπρόσθετα, παρατίθεται ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 3) που αναλύει τις ιδανικές τιμές της πυκνότητας των συσσωρευτών σε σχέση με τον βαθμό φόρτισης (SOC%), με συνθήκες θερμοκρασίας στους 25°C.

% Charge	Specific Gravity* (SG)
100	1.255 - 1.275
75	1.215 - 1.235
50	1.180 - 1.200
25	1.155 - 1.165
0	1.110 - 1.130

Πίνακας 3: Ειδική Δύναμη προς βαθμό φόρτισης

Όπως διαπιστώνουμε από τις μετρήσεις μας (Πίνακας 4) και σύμφωνα με τον πίνακα της πυκνότητας που παραθέτει ο κατασκευαστής, οι τιμές μας στη θερμοκρασία των 25°C κυμαίνονται για κάθε εκφόρτιση με 100% SOC κατά κύριο λόγο στα 1,25-1,27gr/ml, πράγμα που σημαίνει πως σε γενικές γραμμές υπάρχει μία πρώτη ένδειξη πως η κατάσταση του συστήματος αποθήκευσης είναι αντίστοιχη των προδιαγραφών του κατασκευαστή σε αυτή τη θερμοκρασία.

	ΚΕΛΙ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ					
		1/11/2022	8/11/2022	12/11/2022	8/12/2022	9/12/2022	
						Πριν το Equalizing	Μετά το Equalizing
ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ (gr/ml)	1	1,1	1,26	1,25		1,27	1,28
	2	1,13	1,25	1,26		1,275	1,29
	3	1,1	1,25	1,26		1,27	1,27
	4	1,11	1,25	1,25		1,27	1,29
	5	1,11	1,26	1,27		1,285	1,28
	6	1,11	1,24	1,25		1,26	1,26
	7	1,11	1,25	1,28		1,28	1,28
	8	1,09	1,23	1,26		1,26	1,245
	9	1,11	1,25	1,26		1,27	1,28
	10	1,09	1,25	1,27		1,27	1,27
	11	1,11	1,26	1,26		1,28	1,275
	12	1,11	1,24	1,26		1,26	1,27
ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ ΥΓΡΩΝ (lt)	1	2			0,2		
	2	1,7			0,3		
	3	1,9			0,2		
	4	1,9			0,3		
	5	1,9			0,2		
	6	1,8			0,2		
	7	1,8			0,3		
	8	1,9			0,3		
	9	1,8			0,3		
	10	1,8			0,2		
	11	1,8			0,2		
	12	1,7			0,3		

Πίνακας 4: Καταγραφή μετρήσεων αγωγιμότητας και υγρών στα κελιά της διάταξης

Κεφάλαιο 4: Διεξαγωγή Δοκιμών & Ανάλυση Αποτελεσμάτων

4.1 Εισαγωγικά

Το πειραματικό κομμάτι αποτελείται από δύο σειρές φορτίσεων-εκφορτίσεων, με εκτέλεση σειράς από επιμέρους κύκλους διαφορετικού βάθους εκφόρτισης, με και χωρίς τη συνεισφορά των ΑΠΕ ως προς την κάλυψη του φορτίου. Παρακάτω αναλύονται όλες οι παράμετροι που εξετάστηκαν και επισημαίνονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα τόσο συγκεντρωτικά σε πίνακες, όσο και αναλυτικότερα. Οι μετρήσεις ελήφθησαν από συνδεδεμένες, ψηφιακές εφαρμογές λήψης, απεικόνισης και ανάλυσης των δεδομένων (Grafana-Carlo Gavazzi).

4.2 Πρώτο Σετ Δοκιμών

Το πρώτο σετ δοκιμών, αποτελείται από 4 εκφορτίσεις και 4 φορτίσεις αντίστοιχα. Το μέσο εκφόρτισης είναι πάντα ένας λαμπτήρας με ισχύ 300W. Το κατώτατο όριο που προτείνει ο κατασκευαστής του inverter για το LBCO (low battery cut-off) είναι τα 21V. Να σημειωθεί πως πριν από κάθε διαδικασία εκφόρτισης, οι συσσωρευτές ήταν πλήρως φορτισμένοι.

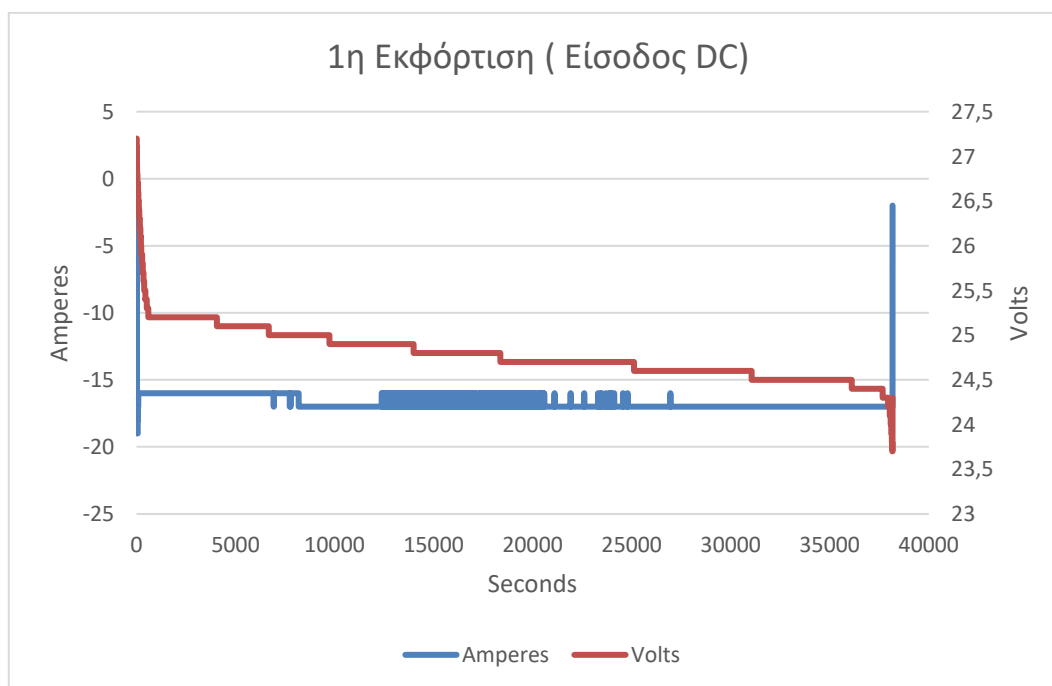
1^{ος} κύκλος εκφόρτισης

- LBCO: 23,7 Volt (σε αυτή την τάση έχει ρυθμιστεί ο inverter από το χειριστή)
- DoD: 55%

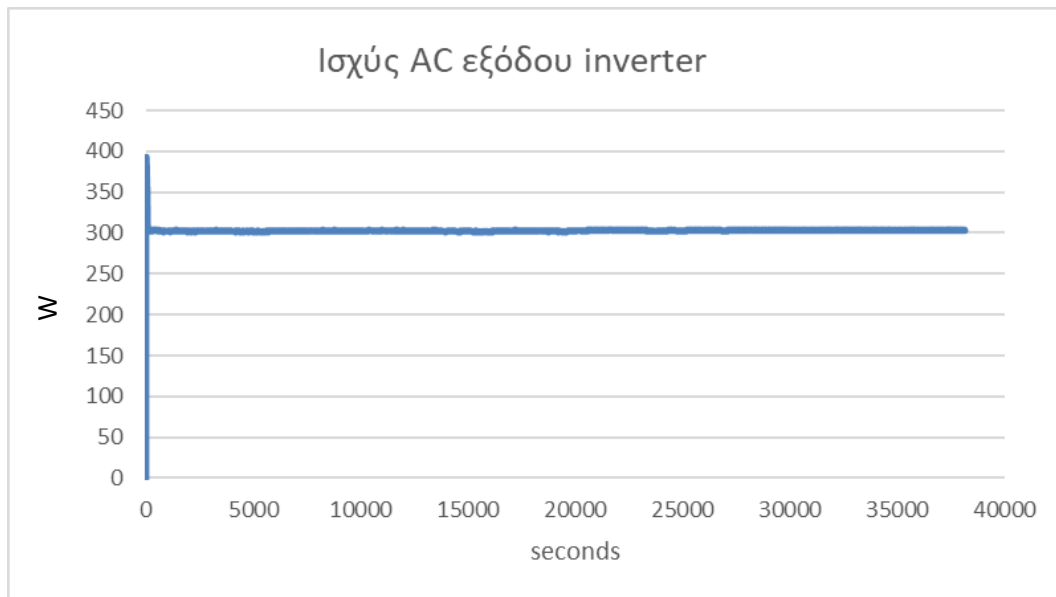
Η τάση, μόλις άρχισε ο κύκλος εκφόρτισης βρισκόταν στα 27,2 Volt. Η μέση τιμή τάσης σε σχέση με το LBCO είναι περίπου στα 25,45 Volt. Οι μετρήσεις που προέκυψαν σε αυτό τον κύκλο ελήφθησαν ανά δευτερόλεπτο. Η διάρκεια εκφόρτισης είναι περίπου στις 10,6 ώρες. Παρακάτω απεικονίζεται το διάγραμμα του ρυθμού εκφόρτισης των συσσωρευτών στην DC είσοδο του inverter (Διάγραμμα 6), και ακολούθως το διάγραμμα του ρυθμού εκφόρτισης των συσσωρευτών στην AC έξοδο του inverter (Διάγραμμα 7).

Με βάση τα ανωτέρω, το σύστημα αποθήκευσης παρέδωσε 4,24kWh (είσοδος DC) ενώ στην AC έξοδο, το φορτίο (λαμπτήρας) κατανάλωσε 3,21kWh. Συνεπώς, ο βαθμός απόδοσης είναι:

$$\eta = P_{AC} / P_{DC} = 3,21 / 4,24 = 76\%$$



Διάγραμμα 6: 1^η εκφόρτιση (έξοδος DC)

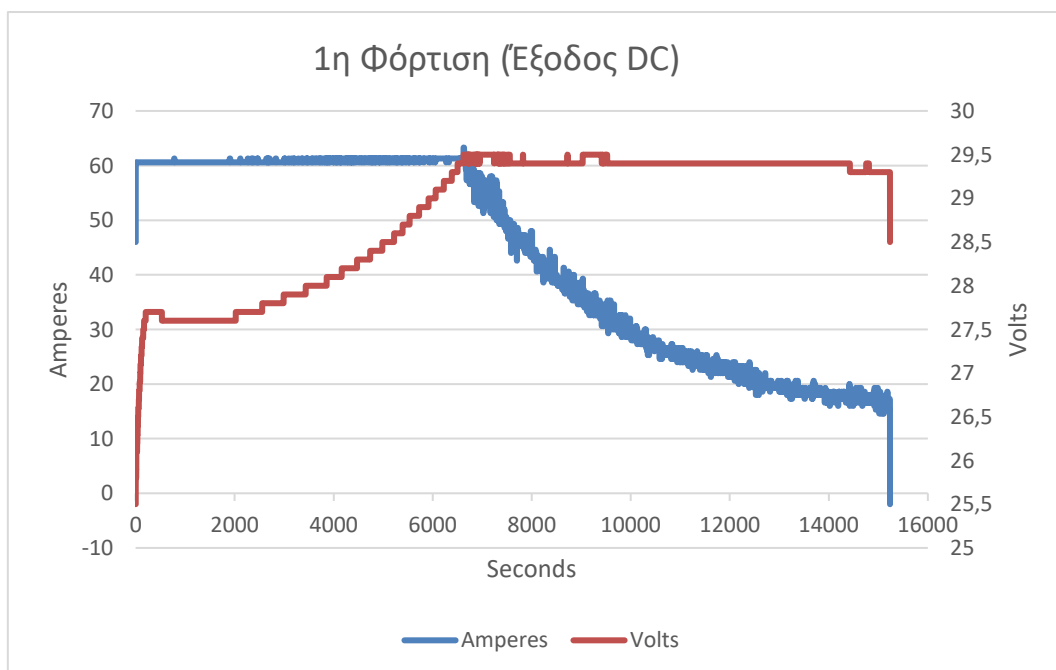


Διάγραμμα 7: 1^η εκφόρτιση (ισχύς AC – έξοδος inverter)

1^{ος} κύκλος φόρτισης

Η φόρτιση αυτή έγινε μέσω δικτύου. Ο χρόνος πλήρους φόρτισης είναι 4,23 ώρες. Το σύστημα των συσσωρευτών χρειάστηκε 6,29kWh AC ρεύματος για να φορτίσει πλήρως και εν τέλει το σύστημα αποθήκευσε 5,24kWh. Συνεπώς, ο βαθμός απόδοσης είναι:

$$\eta = \frac{P_{DC}}{P_{AC}} = \frac{5,24}{6,29} = 83\%$$

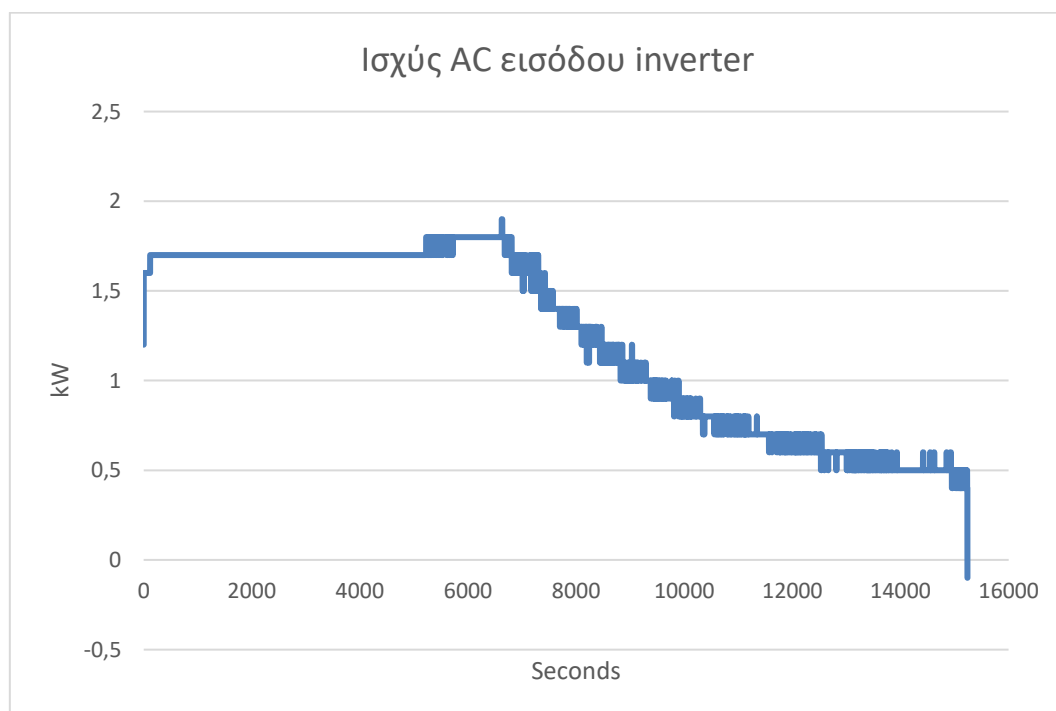


Διάγραμμα 8: 1^η φόρτιση (έξοδος DC)

Παρακάτω, παρατίθεται το διάγραμμα που απεικονίζει τη φόρτιση του συστήματος αποθήκευσης. Οι μπαταρίες αυτού του τύπου, έχουν ένα συγκεκριμένο μοτίβο

φόρτισης, του οποίου η καμπύλη παρουσιάζεται στο διάγραμμα, με την αντίστοιχη αύξηση της τάσης να διαμορφώνεται με βάση τα ακόλουθα:

- Αρχική στάθμη τάσης φόρτισης: 25,5V
- Μέγιστη στάθμη τάσης φόρτισης: 29,3V
- δV : 3,8V



Διάγραμμα 9: 1^η φόρτιση (ισχύς AC - είσοδος inverter)

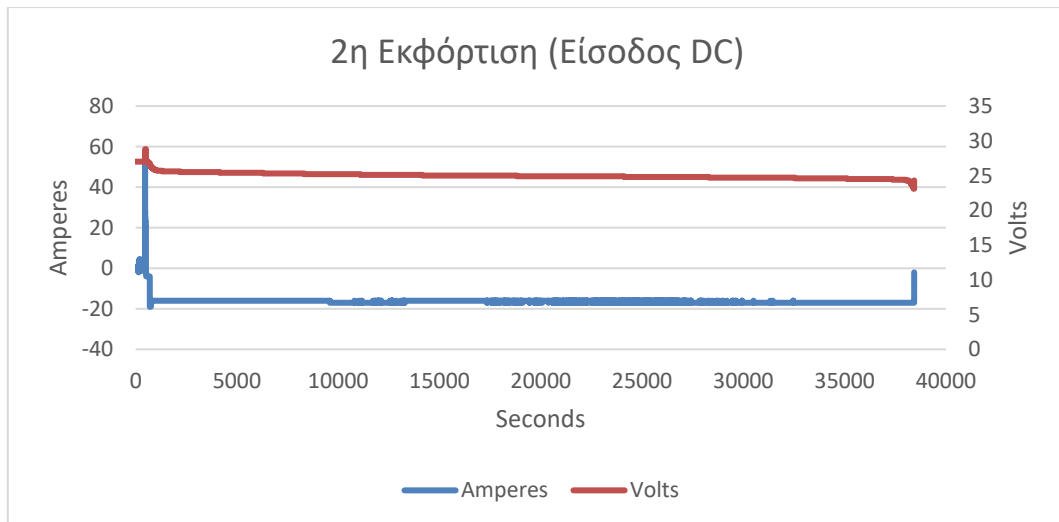
2^{ος} κύκλος εκφόρτισης

- LBCO: 23 Volt
- DoD: 67%

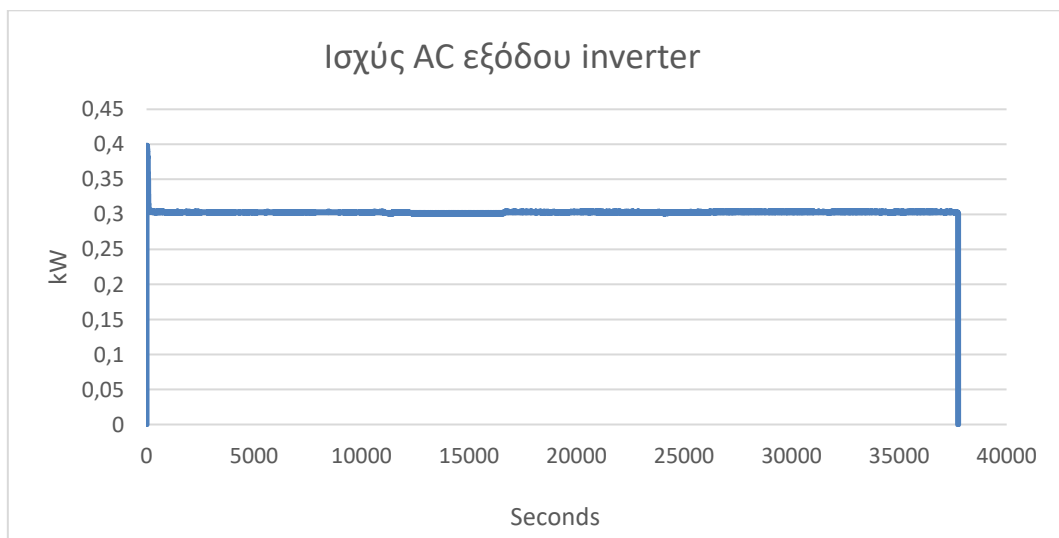
Οι μετρήσεις που προέκυψαν σε αυτό τον κύκλο λήφθηκαν ανά δευτερόλεπτο. Η διάρκεια εκφόρτισης είναι περίπου στις 10,5 ώρες. Παρακάτω απεικονίζεται το διάγραμμα του ρυθμού εκφόρτισης των συσσωρευτών στην AC έξοδο του inverter.

Το σύστημα αποθήκευσης παράγαγε 4,24 kWh (είσοδος DC). Στην AC έξοδο, το φορτίο (λαμπτήρας) κατανάλωσε 3,21 kWh. Συνεπώς, ο βαθμός απόδοσης είναι:

$$\eta = \frac{P_{AC}}{P_{DC}} = \frac{3,17}{4,19} = 76\%$$



Διάγραμμα 10: 2^η εκφόρτιση (είσοδος DC)



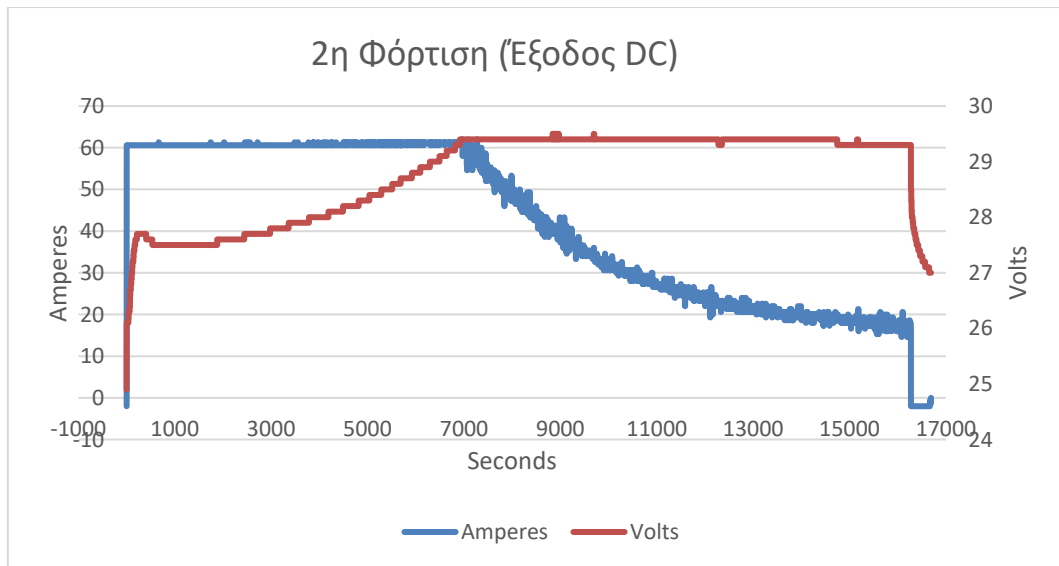
Διάγραμμα 11: 2^η εκφόρτιση (ισχύς AC – έξοδος inverter)

2^{ος} κύκλος φόρτισης

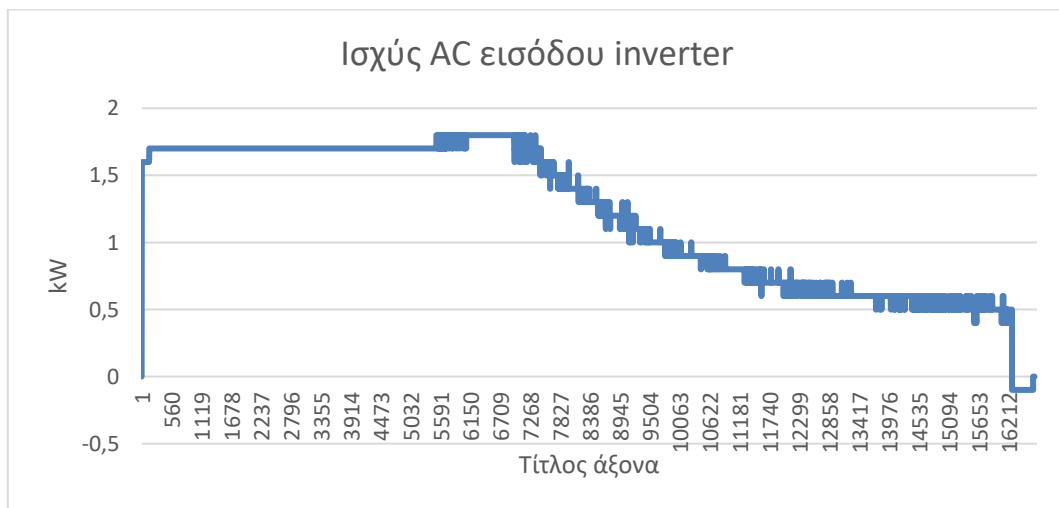
Η φόρτιση αυτή έγινε μέσω δικτύου. Ο χρόνος πλήρους φόρτισης είναι 4,63 ώρες. Το σύστημα των συσσωρευτών χρειάστηκε 6,67kWh AC ρεύματος για να φορτίσει πλήρως και εν τέλει το σύστημα αποθήκευσε 5,54kWh. Συνεπώς, ο βαθμός απόδοσης είναι:

$$\eta = P_{DC} / P_{AC} = 5,54 / 6,67 = 83\%$$

Παρακάτω, παρατίθενται τα διαγράμματα που απεικονίζουν τη φόρτιση του συστήματος αποθήκευσης.



Διάγραμμα 12: 2^η φόρτιση (έξοδος DC)



Διάγραμμα 13: 2^η φόρτιση (ισχύς AC - είσοδος inverter)

Η αντίστοιχη αύξηση της τάσης διαμορφώνεται με βάση τα ακόλουθα:

- Αρχική στάθμη τάσης φόρτισης: 24,9V
- Μέγιστη στάθμη τάσης φόρτισης: 29V
- δV : 2,1V

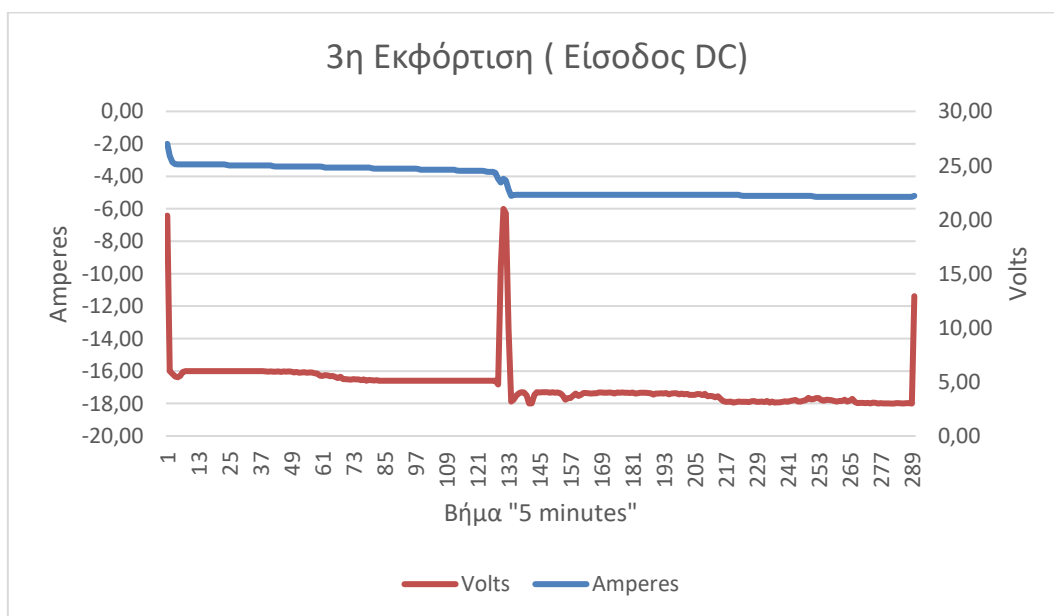
Σημειώνεται, πως από αυτό το σημείο και έπειτα, τα δεδομένα ελήφθησαν από την εφαρμογή Carlo Gavazzi, με βήμα λήψης ανά 5 λεπτά.

3^{ος} κύκλος εκφόρτισης

- LBCO: 22 Volt
- DoD: 83%

Η διάρκεια εκφόρτισης για τη συγκεκριμένη δοκιμή είναι στις 24 ώρες.

Παρακάτω απεικονίζεται το διάγραμμα του ρυθμού εκφόρτισης των συσσωρευτών στην DC είσοδο του inverter.



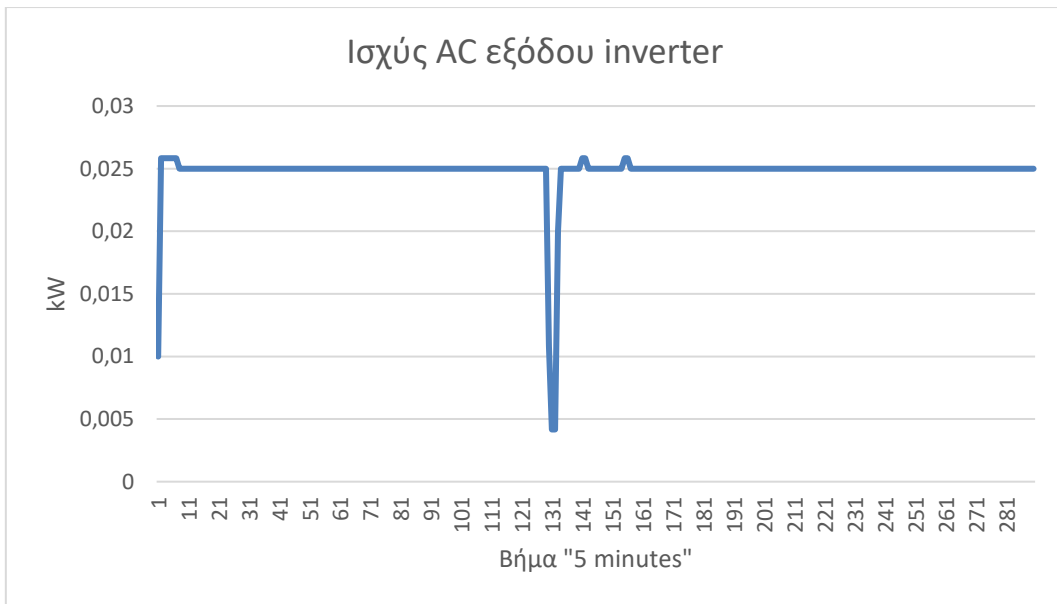
Διάγραμμα 14: 3^η εκφόρτιση (είσοδος DC)

Παρατηρούμε πως σε χαμηλό βάθος εκφόρτισης, υπάρχουν κάποιες μεταβολές ως προς την τάση όσο και την ένταση του ρεύματος.

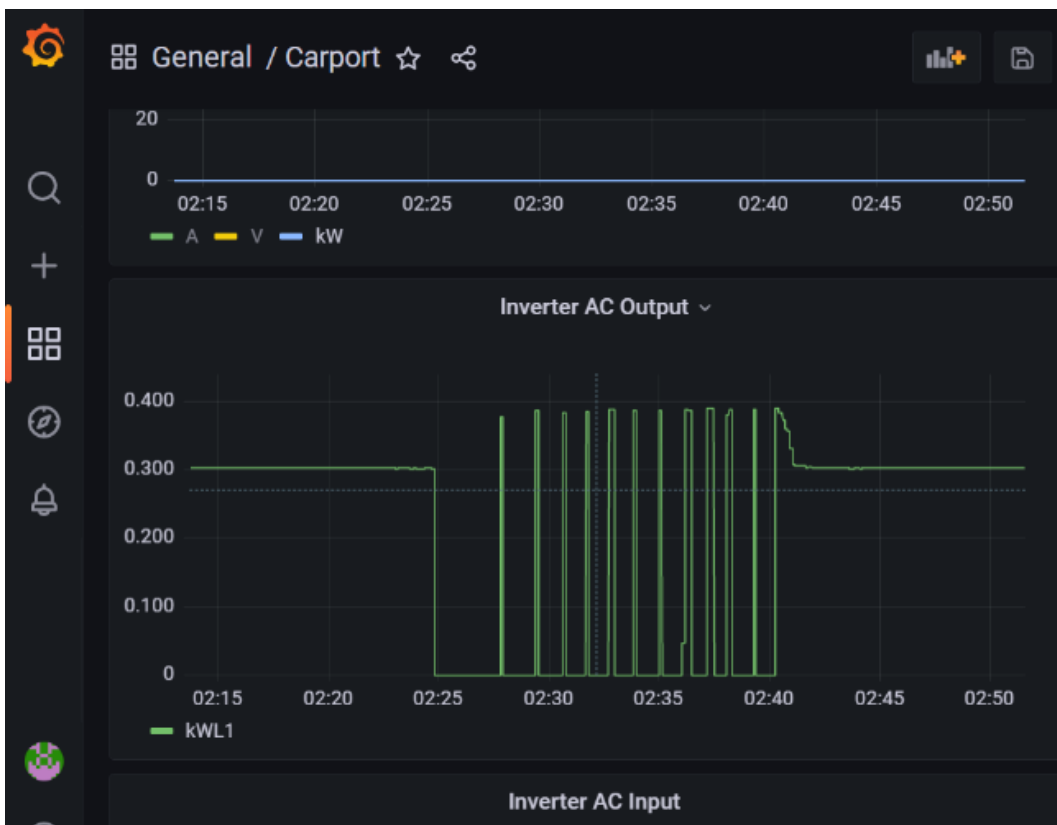


Εικόνα 24: Διαγραμματική απεικόνιση στιγμιότυπου εκφόρτισης – Α'

Αυτή η αστάθεια που δημιουργείται οφείλεται σε μία ρύθμιση του αντιστροφέα, που έχει να κάνει με το όριο LBCO. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχει μία ρύθμιση, η Search Delay, η οποία ορίζει το χρόνο μεταξύ των παλμών αναζήτησης φορτίων. Αναζητώντας φορτία, ο αντιστροφέας στέλνει παλμούς αναζήτησης για να προσδιορίσει ο χειριστής εάν υπάρχει φορτίο. Εάν ο αντιστροφέας βρίσκει ένα φορτίο πάνω από τη ρύθμιση Search Watts, ο αντιστροφέας τίθεται σε λειτουργία. Η ανάληψη ισχύος του αντιστροφέα κατά τη λειτουργία αναζήτησης μειώνεται, όταν αυξάνεται το Search Delay, αλλά ο χρόνος απόκρισης του αντιστροφέα σε ενεργά φορτία είναι πιο αργός.



Διάγραμμα 15: 3^η εκφόρτιση (ισχύς AC – έξοδος inverter)



Εικόνα 25: Διαγραμματική απεικόνιση στιγμιότυπου εκφόρτισης – Β'

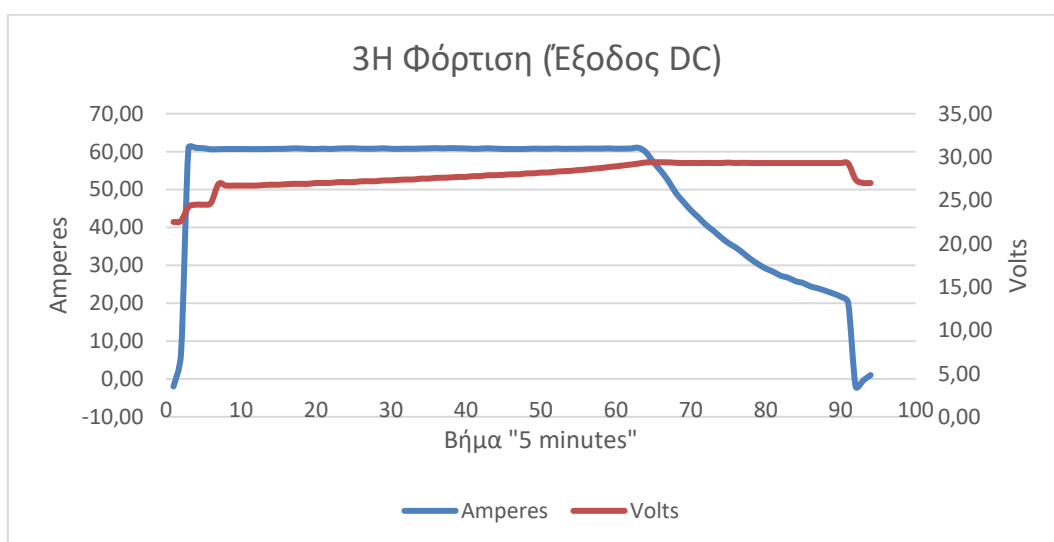
Εν τέλει, κατά τη συγκεκριμένη εκφόρτιση, το σύστημα αποθήκευσης απέδωσε 9,55kWh (είσοδος DC), ενώ στην AC έξοδο, το φορτίο (λαμπτήρας) κατανάλωσε 7,18kWh. Συνεπώς, ο βαθμός απόδοσης είναι:

$$\eta = \frac{P_{AC}}{P_{DC}} = \frac{7,18}{9,55} = 75\%$$

3^{ος} κύκλος φόρτισης

Η φόρτιση αυτή έγινε επίσης μέσω δικτύου. Ο χρόνος πλήρους φόρτισης είναι 7,67 ώρες. Το σύστημα των συσσωρευτών χρειάστηκε 15,46kWh AC ρεύματος για να φορτίσει πλήρως και εν τέλει το σύστημα αποθήκευσε 10,88kWh. Συνεπώς, ο βαθμός απόδοσης είναι:

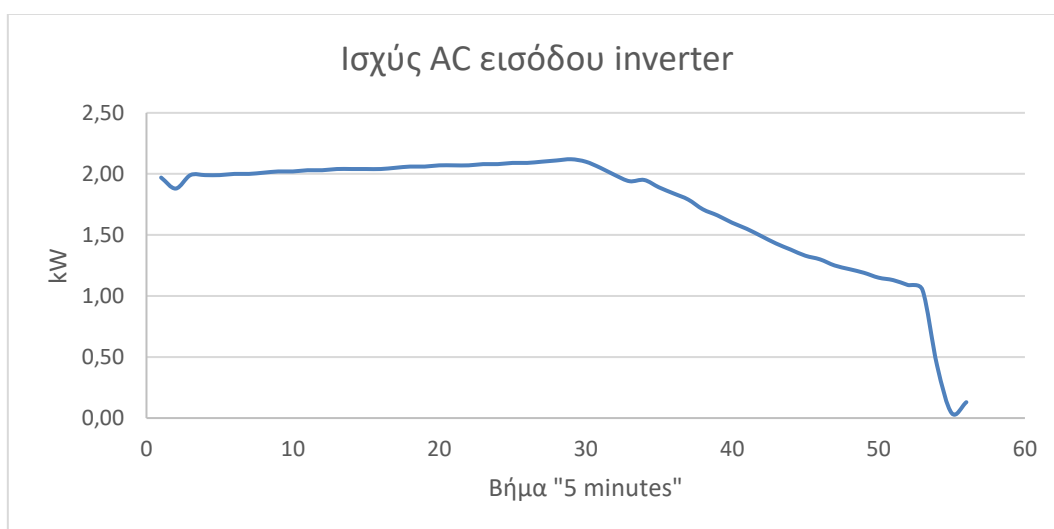
$$\eta = P_{DC} / P_{AC} = 10,88 / 15,46 = 83\%$$



Διάγραμμα 16: 3^η φόρτιση (έξοδος DC)

Παρακάτω, παρατίθεται το διάγραμμα που απεικονίζει τη φόρτιση του συστήματος αποθήκευσης, ενώ η αντίστοιχη αύξηση της τάσης διαμορφώνεται με βάση τα ακόλουθα:

- Αρχική στάθμη τάσης φόρτισης: 22,5V
- Μέγιστη στάθμη τάσης φόρτισης: 27V
- δV : 4,5V

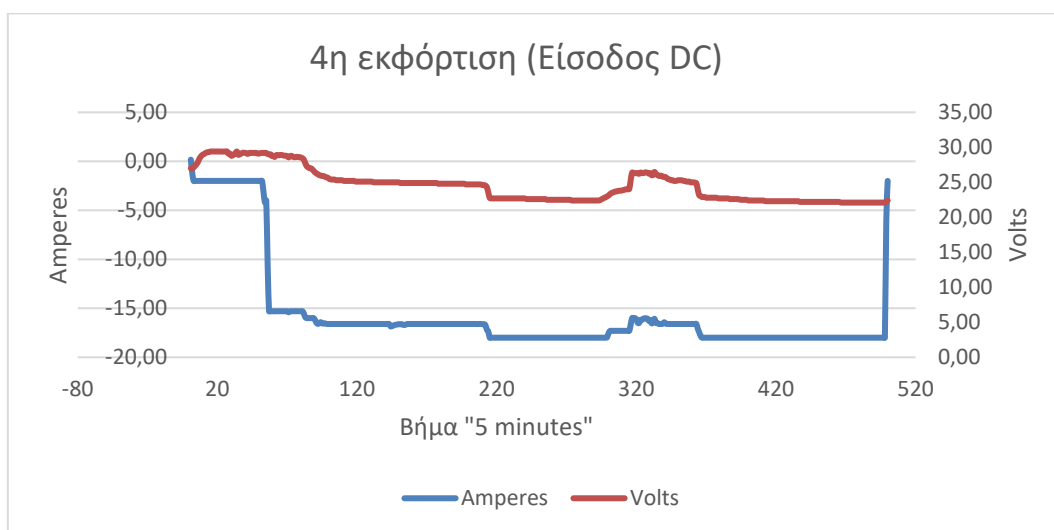


Διάγραμμα 17: 3^η φόρτιση (ισχύς AC - είσοδος inverter)

4^{ος} κύκλος εκφόρτισης

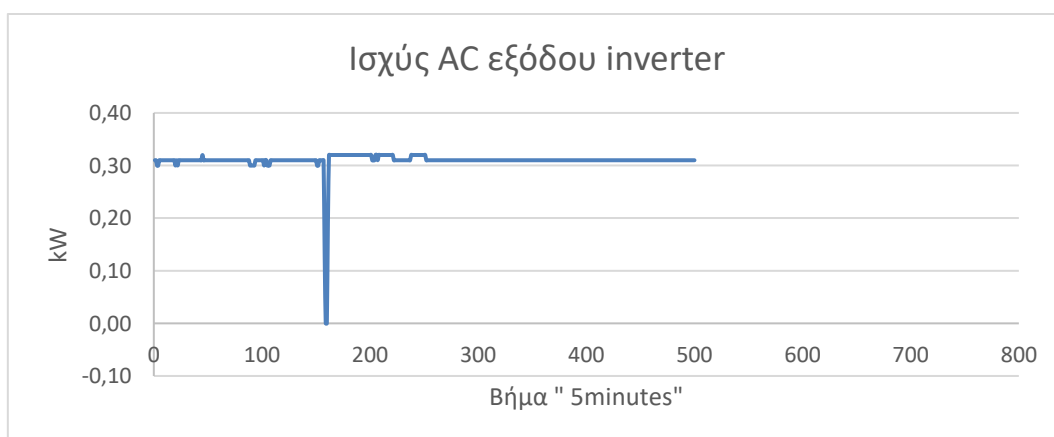
- LBCO: 22 Volt
- DoD: 83%

Η διάρκεια εκφόρτισης κατά τη συγκεκριμένη δοκιμή είναι περίπου 41,4 ώρες. Η εκφόρτιση αυτή διήρκησε περισσότερο, καθώς υπήρχε και φόρτιση ενδιάμεσα από το φωτοβολταϊκό σύστημα, οπότε η φυσιολογική ροή της εκφόρτισης διακόπηκε. Εν συνεχεία, συνεχίστηκε η εκφόρτιση μέχρι τέλους, αφού το σύστημα των συσσωρευτών σταμάτησε να δέχεται άλλο φορτίο, παρά μόνο εξήγαγε. Συνεπώς, ο κύκλος φόρτισης διήρκησε συνολικά 45,2 ώρες. Το σύστημα αποθήκευσης έδωσε συνολικά, και στις δύο εκφορτίσεις 21,51kWh (είσοδος DC), ενώ στην AC έξοδο, το φορτίο (λαμπτήρας) κατανάλωσε 18,22kWh.



Διάγραμμα 18: 4^η εκφόρτιση (είσοδος DC)

Παρακάτω απεικονίζεται το διάγραμμα του ρυθμού εκφόρτισης των συσσωρευτών στην AC έξοδο του inverter.

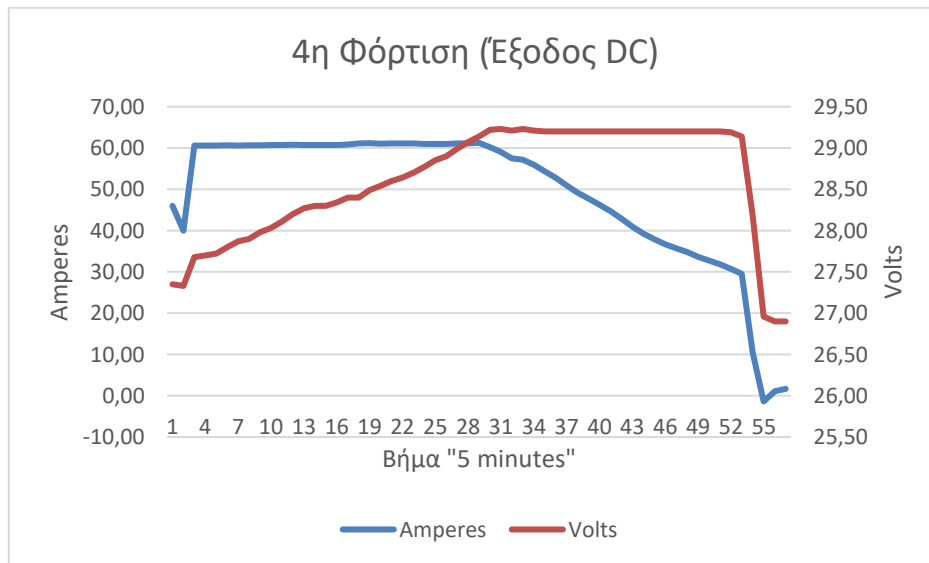


Διάγραμμα 19: 4^η εκφόρτιση (ισχύς AC – έξοδος inverter)

4^{ος} κύκλος φόρτισης

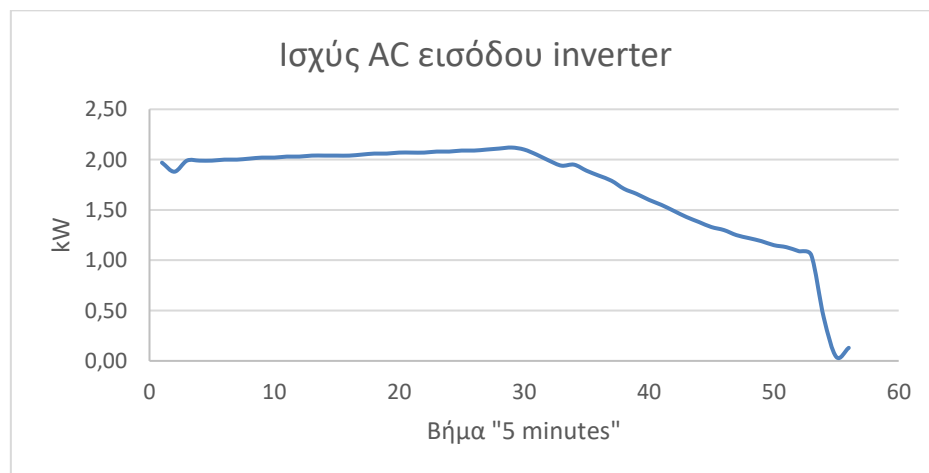
Η φόρτιση αυτή έγινε μέσω δικτύου και ΑΠΕ. Ο χρόνος πλήρους φόρτισης είναι 4,42 ώρες. Το σύστημα των συσσωρευτών χρειάστηκε 8,08kWh AC ρεύματος για να φορτίσει πλήρως και εν τέλει το σύστημα αποθήκευσε 6,71kWh. Συνεπώς, ο βαθμός απόδοσης είναι:

$$\eta = P_{DC} / P_{AC} = 6,71 / 8,08 = 83\%$$



Διάγραμμα 20: 4^η φόρτιση (Έξοδος DC)

Παρακάτω, παρατίθεται το διάγραμμα που απεικονίζει τη φόρτιση του συστήματος αποθήκευσης.



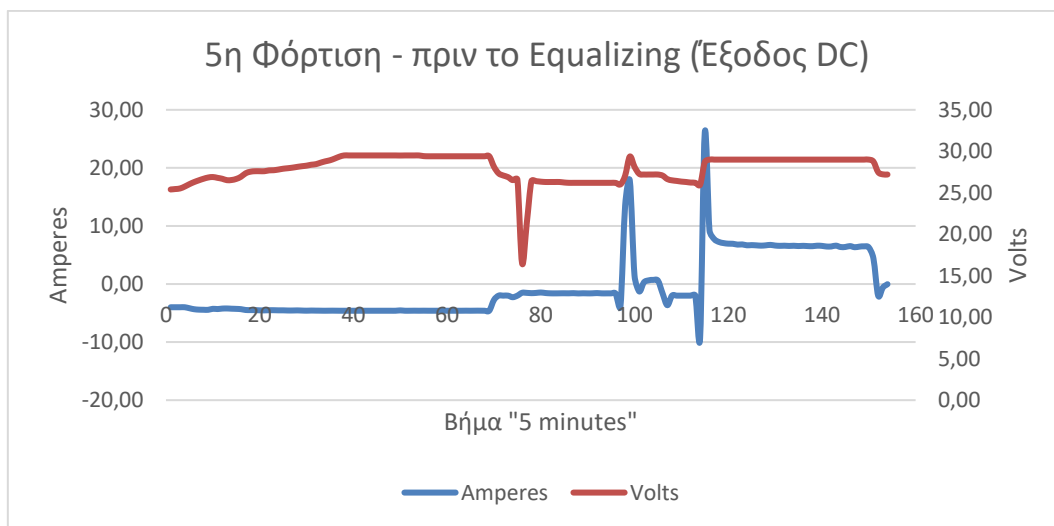
Διάγραμμα 21: 4^η φόρτιση (ισχύς AC - είσοδος inverter)

4.3 Δεύτερο Σετ Δοκιμών

Το δεύτερο σετ δοκιμών αποτελείται από 2 φορτίσεις, ένα equalizing και 1 εκφόρτιση. Το μέσο εκφόρτισης είναι ένας λαμπτήρας με ισχύ 200W.

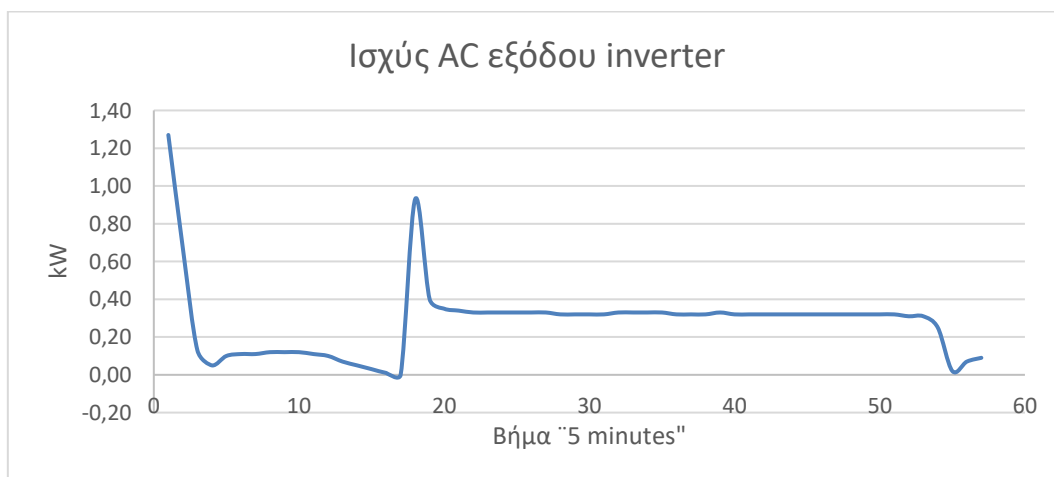
5^{ος} κύκλος φόρτισης

Η πέμπτη φόρτιση έγινε εν όψει πραγματοποίησης της διαδικασίας του Equalizing, οπότε δε θα γίνει περαιτέρω ανάλυση δεδομένων, απλά αυτά θα απεικονιστούν διαγραμματικά.



Διάγραμμα 22: 5^η φόρτιση - πριν το Equalizing (έξοδος DC)

Παρακάτω, παρατίθεται το διάγραμμα που απεικονίζει τη φόρτιση του συστήματος αποθήκευσης.



Διάγραμμα 23: 5^η φόρτιση (ισχύς AC - είσοδος inverter)

Equalization

Για τη διαδικασία αυτή, κρίνεται απαραίτητο να τεθούν συγκεκριμένες παράμετροι πριν την έναρξή της. Ειδικότερα, είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί η τιμή HVCO (high voltage cut-off) [21]. Με βάση το εγχειρίδιο του κατασκευαστή, η επιθυμητή τάση θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 31,2V και 31,8V. Τέθηκε τελικά στα 31,5 V. Η

τροφοδότηση έγινε αποκλειστικά από το δίκτυο, λαμβάνοντας υπόψη τις ακόλουθες παραμέτρους:

12:26 → Bulk

12:30 → Absorb

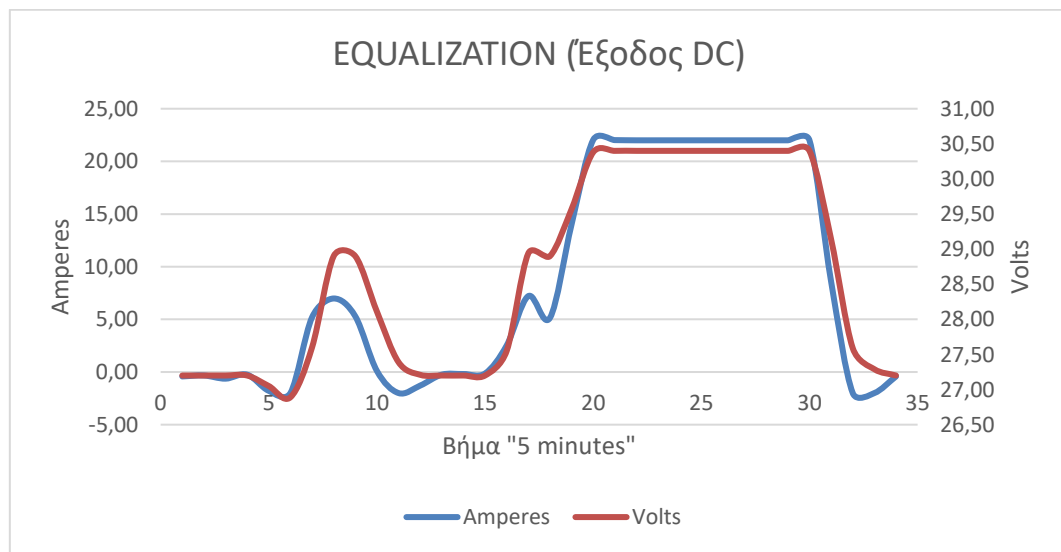
12:36 → Equalizing: Mode

Battery: 30,3V

Load: -989W

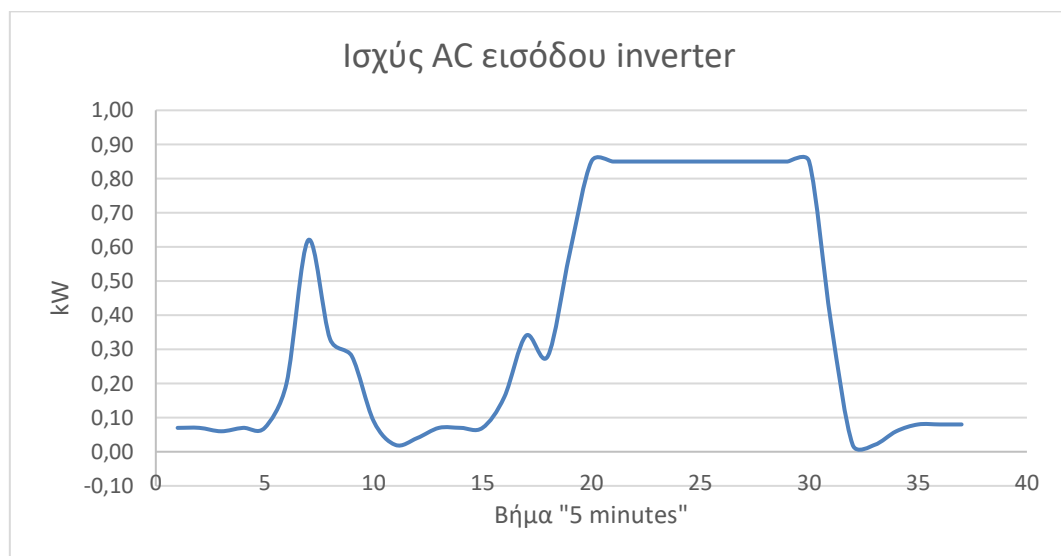
AC In: 0A

13:40 → Float



Διάγραμμα 24: Διαδικασία equalization (έξοδος DC)

Παρακάτω, παρατίθεται το διάγραμμα που απεικονίζει τη φόρτιση του συστήματος αποθήκευσης.

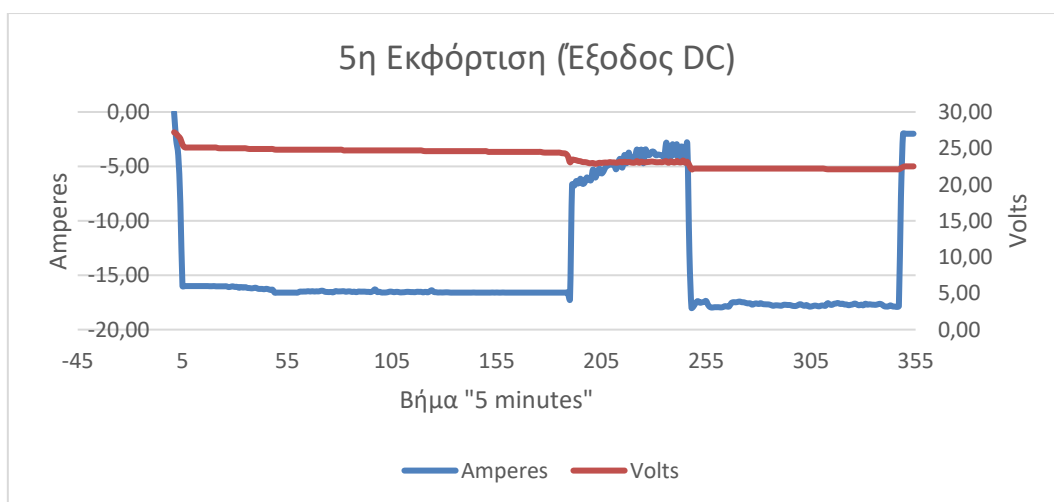


Διάγραμμα 25: Διαδικασία equalization (ισχύς AC - είσοδος inverter)

5^{ος} κύκλος εκφόρτισης

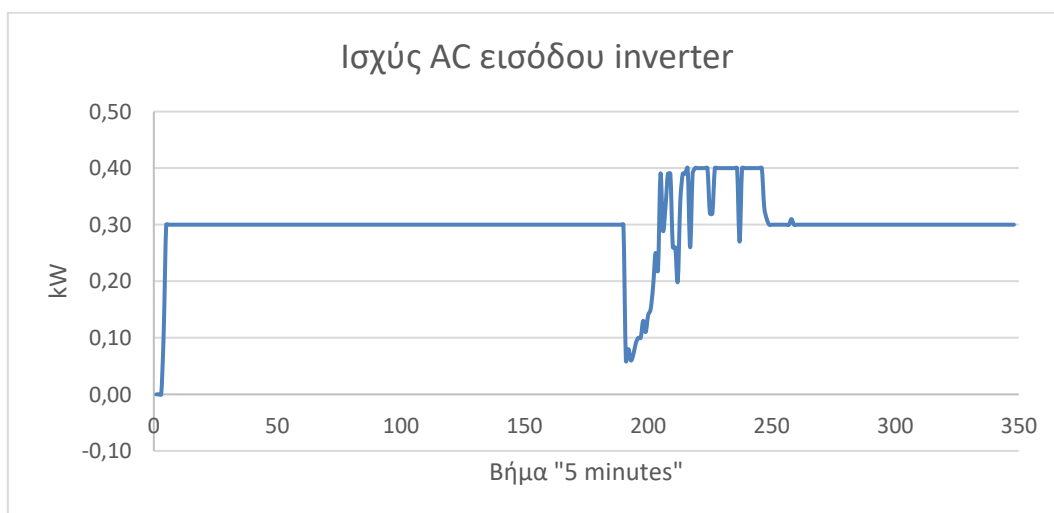
- LBCO: 22 Volt
- DoD: 83%

Η διάρκεια εκφόρτισης της συγκεκριμένης δοκιμής είναι περίπου 25 ώρες. Η εκφόρτιση αυτή επίσης εμπειρίχε τη συνιστώσα των ΑΠΕ, όπως φαίνεται και στα παρακάτω διαγράμματα. Εν συνεχεία, εξακολούθησε η εκφόρτιση μέχρι τέλους, αφού το σύστημα των συσσωρευτών σταμάτησε να δέχεται άλλο φορτίο από την παραγωγή ΑΠΕ, παρά μόνο εξήγαγε. Το LBCO παρέμεινε στα 22V, όπως και στην περίπτωση του 4^{ου} κύκλου εκφόρτισης, με τη διαφορά εν προκειμένω της ικανοποίησης χαμηλότερης στάθμης φορτίου, από 300W σε 200W.



Διάγραμμα 26: 5^η εκφόρτιση (είσοδος DC)

Παρακάτω απεικονίζεται το διάγραμμα του ρυθμού εκφόρτισης των συσσωρευτών στην AC έξοδο του inverter.

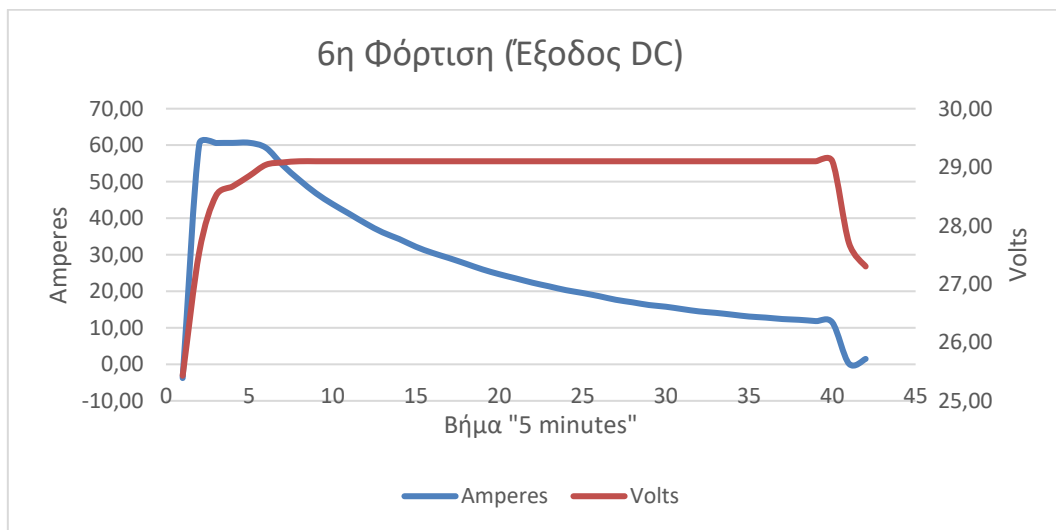


Διάγραμμα 27: 5^η εκφόρτιση (ισχύς AC – έξοδος inverter)

6^{ος} κύκλος φόρτισης

Η φόρτιση αυτή έγινε μέσω δικτύου και ΑΠΕ. Ο χρόνος πλήρους φόρτισης είναι 3,17 ώρες. Το σύστημα των συσσωρευτών χρειάστηκε 3,62kWh AC ρεύματος για να φορτίσει πλήρως και εν τέλει το σύστημα αποθήκευσε 2,74kWh. Συνεπώς, ο βαθμός απόδοσης είναι:

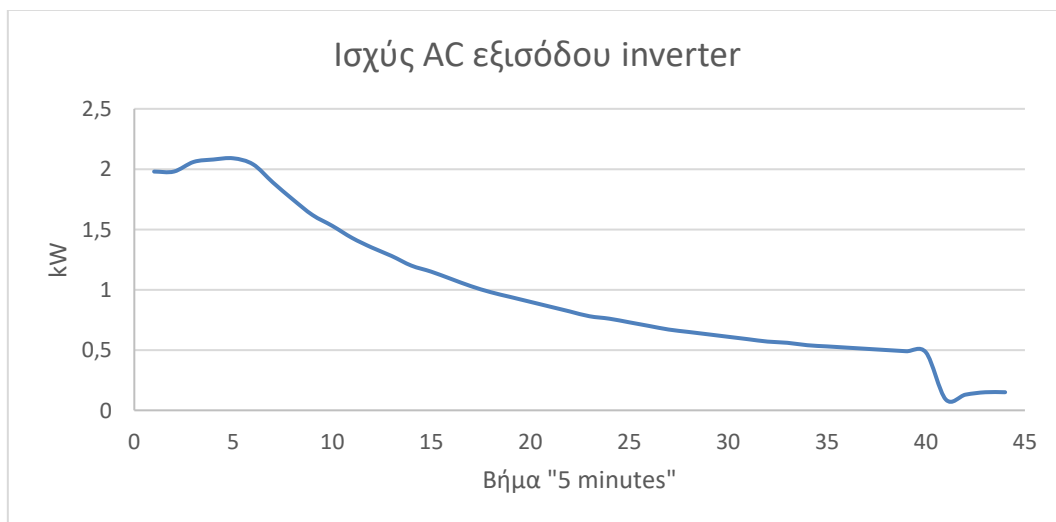
$$\eta = P_{DC} / P_{AC} = 2,74 / 3,62 = 72\%$$



Διάγραμμα 28: 6^η φόρτιση (Έξοδος DC)

Παρακάτω, παρατίθεται το διάγραμμα που απεικονίζει τη φόρτιση του συστήματος αποθήκευσης, ενώ η αντίστοιχη αύξηση της τάσης διαμορφώνεται με βάση τα ακόλουθα:

- Αρχική στάθμη τάσης φόρτισης: 29,2V
- Μέγιστη στάθμη τάσης φόρτισης: 27,5V
- δV : 1,7V



Διάγραμμα 29: 6^η φόρτιση (ισχύς AC - είσοδος inverter)

4.4 Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα

Σε συνέχεια των ανωτέρω, ακολούθως παρατίθενται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από όλα τα σενάρια, υπό την μορφή συγκεντρωτικών πινάκων, για την καλύτερη σύγκρισή τους και ανάλυσή τους.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΥΚΛΩΝ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ							
	Φορτίο	Ώρες	LBCO (Volts) [DoD]	Είσοδος DC		Έξοδος AC	Βαθμός Απόδοσης
				kWh	Ρυθμός Εκφόρτισης (kWh/h)	kWh	
1η Εκφόρτιση (Ηπια Εκφόρτιση) 10/11-11/11	300W AC	10,6	23,7 [≈55%]	4,24	0,4	3,21	76%
2η Εκφόρτιση (Μέσου Βάθους Εκφόρτιση) 11/11-12/11	300W AC	10,5	23 [≈67%]	4,19	0,4	3,17	76%
3η Εκφόρτιση (Βαθεία Εκφόρτιση) 14/11-15/11	300W AC	24	22 [≈83%]	9,55	0,4	7,18	75%
4η Εκφόρτιση (Βαθεία Εκφόρτιση με ΑΠΕ - ενδιάμεση κατάσταση) 16/11-18/11	300W AC	41,41	22 [≈83%]	21,51 (7 από ΑΠΕ)	0,49	18,22	-
5η εκφόρτιση (Βαθεία εκφόρτιση με ΑΠΕ, κατόπιν Equalization) 9/12-10/12	200W AC	25	22 [≈83%]	9,67	0,34	8,42	-

Πίνακας 5: Αποτελέσματα κύκλων εκφόρτισης¹

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΥΚΛΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ								
	Αρχική Στάθμη Φόρτισης (Τάση σε Volt)	Μέγιστη Στάθμη Φόρτισης (Τάση σε Volt)	ΔV	Ώρες	Βαθμός Απόδοσης	KWh (Είσοδος AC)	kWh (Έξοδος DC)	Ρυθμός Φόρτισης (kWh/h)
1η Φόρτιση 11/11	25,5	29,3	3,8	4,23	0,83	6,29	5,24	1,24
2η Φόρτιση 12/11	24,9	27	2,1	4,63	0,83	6,67	5,54	1,19
3η Φόρτιση 15/11-16/11	22,5	27	4,5	7,67	0,7	15,46	10,88	1,42
4η Φόρτιση 18/11-22/11	27,3	29,2	1,9	4,42	0,83	8,08	6,71	1,52
5η Φόρτιση 8/12	Φόρτιση εν όψει πραγματοποίησης της διαδικασίας του Equalization							
Υπερφόρτιση 8/12	EQUALIZING							
6η Φόρτιση 14/12	27,5	29,2	1,7	3,17	0,72	3,62	2,74	0,86

Πίνακας 6: Αποτελέσματα κύκλων φόρτισης

Έτσι λοιπόν, πιο αναλυτικά έχουμε:

4.4.1 Σχετικά με τους κύκλους εκφορτίσεων

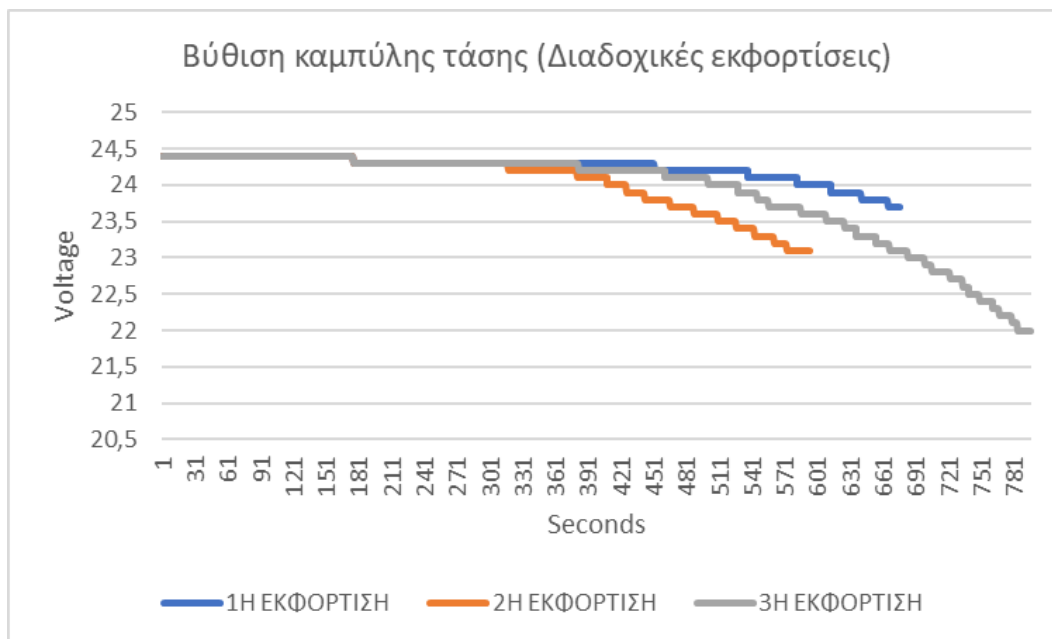
Σύγκριση εκφορτίσεων στα 23,7V – 23V – 22V

Ως μέτρο σύγκρισης ανάμεσα σε αυτές τις εκφορτίσεις λαμβάνεται το βάθος εκφόρτισης. Το φορτίο που βρίσκεται στην AC έξοδο, είναι λαμπτήρας στα 300W και στις τρεις εκφορτίσεις.

¹ Τα έγχρωμα κελιά δεν υποδηλώνουν καθαρή εκφόρτιση λόγω συμμετοχής και της συνιστώσας των ΑΠΕ.

- Στην πρώτη εκφόρτιση, η οποία είναι ήπια εκφόρτιση με βάση το LBCO, το DoD% κυμαίνεται στο 55%. Είναι ένα ιδανικό ποσοστό για τη διατήρηση της διάρκειας ζωής των συσσωρευτών. Αρχικά, λοιπόν, το σύστημα ήταν ρυθμισμένο με αυτό το LBCO χωρίς να μεταβληθεί κάτι από τον χειριστή.
- Στη δεύτερη εκφόρτιση, το LBCO μειώνεται κατά 0,7V, ενώ η διάρκεια εκφόρτισης παραμένει σχεδόν αμετάβλητη. Αυτό σημαίνει πως το σύστημα των συσσωρευτών καταπονήθηκε περισσότερο, καθώς στο ίδιο χρονικό διάστημα, η τάση μειώθηκε λιγότερο ομαλά.
- Στην τρίτη εκφόρτιση, η οποία είναι μία βαθεία εκφόρτιση (LBCO στα 22V), είναι αισθητή η μεταβολή της διάρκειας της εκφόρτισης. Το σύστημα χρειάζεται 24 ώρες για την πλήρη εκφόρτισή του. Καταπονείται αρκετά, καθώς τις περισσότερες ώρες της εκφόρτισης, η στάθμη της τάσης βρίσκεται σε χαμηλό επίπεδο. Ο βαθμός απόδοσης που παρουσιάζεται και στις τρεις εκφορτίσεις, είναι σχεδόν ο ίδιος.

Άξιο αναφοράς είναι το φαινόμενο που παρατηρήθηκε σε συγκεκριμένες τιμές τάσεως στα διαγράμματα εκφόρτισης.



Διάγραμμα 30: Βύθιση καμπύλης τάσης

Πιο συγκεκριμένα, στο παραπάνω σχήμα απεικονίζονται συνδυαστικά οι καμπύλες των τριών εκφορτίσεων, και συγκεκριμένα με κοινή αρχή την πρώτη τιμή των 24,2V μέχρι το τέλος των εκφορτίσεων. Αυτό που παρατηρείται στο διάγραμμα είναι μια απότομη βύθιση, όπου η τάση μειώνεται ραγδαία και όχι ομαλά όπως μειωνόταν μέχρι να φτάσει σε αυτό το σημείο. Όταν το LBCO είναι ρυθμισμένο σε τιμή τάσης που είναι σχετικά κοντά στην τιμή μεταβολής, τότε η εκφόρτιση τελειώνει απότομα, στο σημείο αυτό. Όταν το LBCO είναι σε μικρότερη τιμή, όπως στην τρίτη εκφόρτιση, τότε το φαινόμενο συνεχίζει να παρατηρείται, αλλά η φόρτιση δε διακόπτεται εκεί (δεν παρουσιάζεται στο διάγραμμα αυτό για λόγους ευκρίνειας των άλλων δύο καμπυλών). Αντιθέτως, συνεχίζει έως ότου φτάσει στο LBCO που έχει οριστεί, και μάλιστα, υπάρχει διάρκεια

έως ότου γίνει η πλήρης εκφόρτιση των συσσωρευτών. Το φαινόμενο αυτό δε μπορεί να εξηγηθεί επιστημονικά, και ίσως αποδίδεται σε κάποια εσωτερική διεργασία αυτού του τύπου συσσωρευτών. Μία ακόμη λογική εξήγηση που έχει να κάνει και πάλι με τη συμπεριφορά των συσσωρευτών, είναι πως οι συσσωρευτές εδώ και χρόνια υποβάλλονται σε τάσεις εκφόρτισης, γύρω από την τάση στην οποία παρατηρείται η απότομη πτώση.

Σύγκριση εκφορτίσεων στα 22V χωρίς τροφοδότηση ΑΠΕ και με τροφοδότηση

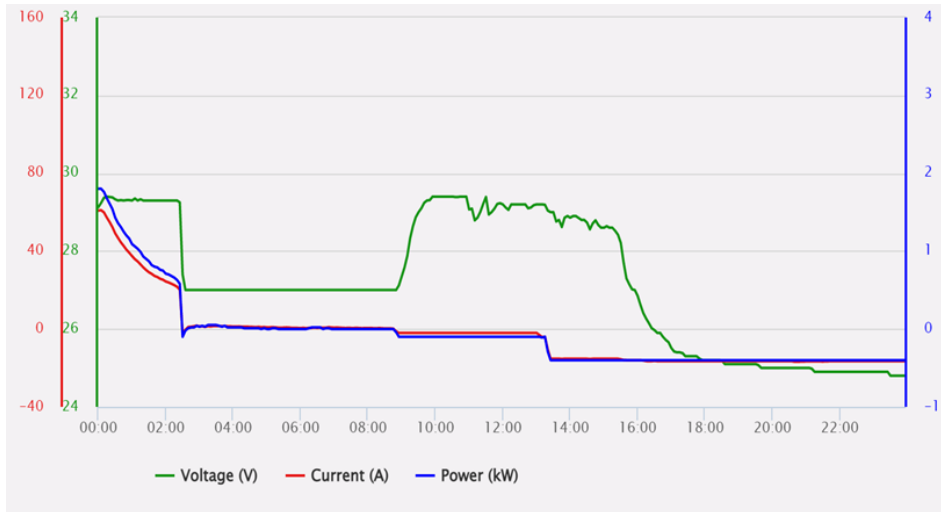
Η διαφορά στις ώρες εκφόρτισης είναι αισθητή – 24 ώρες & 41,41 ώρες αντίστοιχα, καθώς οι ΑΠΕ συνεισέφεραν στη χρονική επιμήκυνση της τροφοδότησης του φορτίου (λάμπα πυρακτώσεως στα 300W). Επίσης, το δεύτερο σενάριο δίνει στο σύστημα πολύ περισσότερες kWh σε σχέση με την εκφόρτιση χωρίς τη συμβολή των ΑΠΕ. Να επισημανθεί πως στη δεύτερη περίπτωση το σύστημα αποθήκευσης δεν εκτελεί καθαρό κύκλο εκφόρτισης, διότι καθώς εκφορτίζεται, τροφοδοτείται ταυτόχρονα και με παραγωγή από τις συνιστώσες ΑΠΕ. Η περίπτωση αυτή θα αναλυθεί περαιτέρω στα συμπεράσματα.

Στην 4^η εκφόρτιση, η οποία αναφέρεται σε σενάριο κάτω από το οποίο επιτρέπεται και συνεισφορά της συνιστώσας των ΑΠΕ, παρατηρείται το εξής:

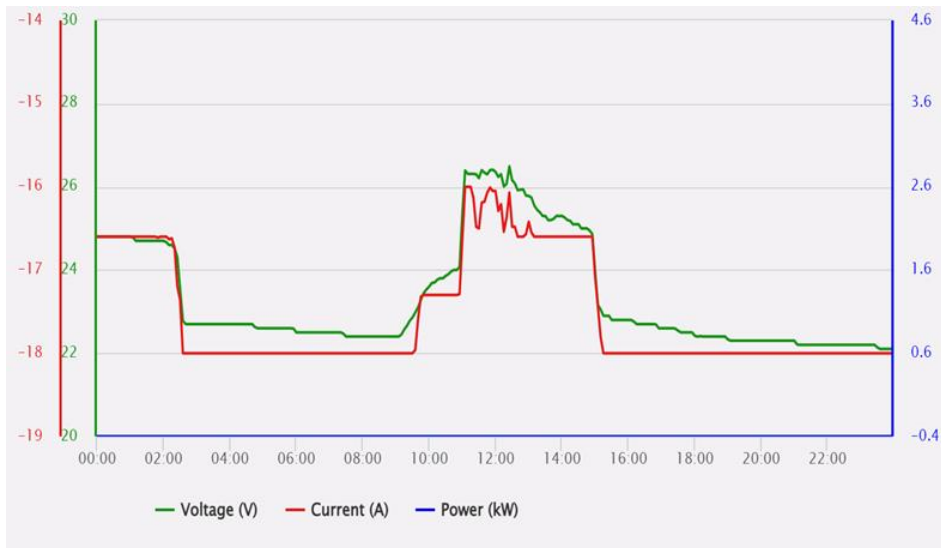
Όταν υπάρχει παραγωγή ΑΠΕ έως 400W, φορτίο το οποίο λαμβάνει υπόψη και τις ιδιοκαταναλώσεις του μετατροπέα, τότε αυτό εξυπηρετείται πρωτίστως από τις ΑΠΕ και συμπληρωματικά από το σύστημα των συσσωρευτών. Αντίθετα, όταν η παραγωγή ΑΠΕ είναι άνω των 400W, τότε το σύστημα συσσωρευτών δε συνεισφέρει στην κάλυψη του φορτίου, παραμένοντας παρόλα αυτά σε ετοιμότητα.

Αυτό προκύπτει και από το πρώτο διάγραμμα (*Διάγραμμα 31*), στο οποίο η τάση είναι γύρω στα 29V (όπου υποδηλώνεται κατάσταση εκφόρτισης), διότι είναι μεσημέρι και υπάρχει μέγιστη παραγωγή από την πλευρά των ΑΠΕ, ενώ καθώς μεταβαίνουμε στις απογευματινές ώρες, από τις 15:00 έως τις 17:40, η παραγωγή ΑΠΕ αρχίζει να ελαττώνεται σε τιμές μικρότερες των 400W. Στο σημείο αυτό, το σύστημα αποθήκευσης ενεργοποιείται και συνεισφέρει συμπληρωματικά στην κάλυψη φορτίου, έως ότου η παραγωγή των ΑΠΕ σταματήσει εντελώς και η τάση στους συσσωρευτές βρεθεί στα 25,2V, που αποτελεί και το σημείο εκκίνησης του κύκλου εκφόρτισης αυτού του τύπου συσσωρευτών βάσει κατασκευαστή.

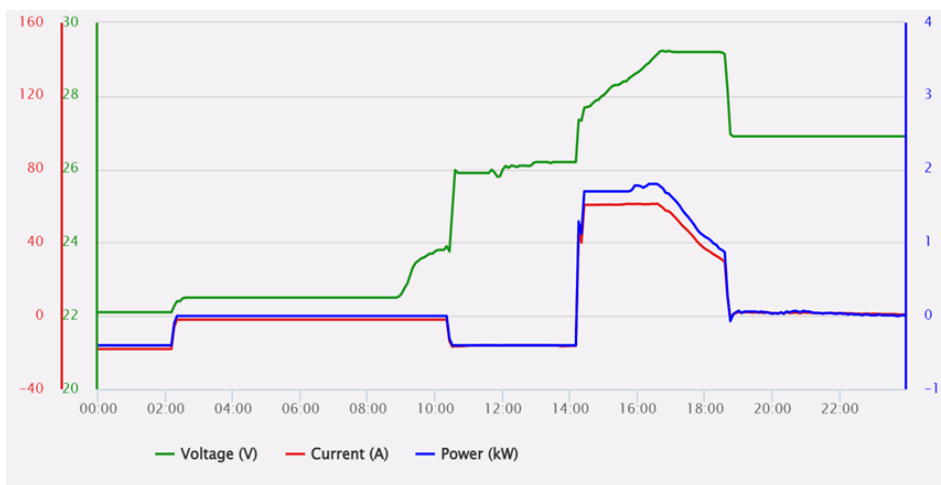
Η μείωση αυτή, εάν συγκριθεί με ένα διάγραμμα φόρτισης αποκλειστικά από το δίκτυο, δίνει παρόμοια συμπεριφορά φθίνουσας καμπύλης από τα 27V στο σκαλοπάτι των 25,2V, με τη διαφορά πως στην πρώτη περίπτωση η διάρκεια της εκφόρτισης είναι πολύ μικρότερη, της τάξεως των 10 λεπτών, και όχι ωρών, όπως παρατηρείται εν προκειμένω.



Διάγραμμα 31: Διάγραμμα ΑΠΕ 4ης εκφόρτισης - 16/11/2022



Διάγραμμα 32: Διάγραμμα ΑΠΕ 4ης εκφόρτισης - 17/11/2022



Διάγραμμα 33: Διάγραμμα ΑΠΕ 4ης εκφόρτισης - 18/11/2022

Σύγκριση εκφορτίσεων στα 22V πριν και μετά το equalizing

Η εκφόρτιση πριν το Equalizing έγινε με σταθερό φορτίο στα 300W ενώ η εκφόρτιση μετά το Equalizing έγινε με σταθερό φορτίο στα 200W. Το DoD% παραμένει σταθερό και στις τρεις εκφορτίσεις, ενώ η μικρή διαφορά τους βρίσκεται στη διάρκεια των ωρών εκφόρτισης, που είναι μία λογική συμπεριφορά του συστήματος ως προς το μέγεθος του φορτίου, συγκριτικά.

4.4.2 Σχετικά με τους κύκλους φορτίσεων

Η αρχική στάθμη φόρτισης διαφέρει σε κάθε κύκλο φόρτισης, διότι το σύστημα αποθήκευσης κάποιες φορές μπορεί να ήταν μερικώς εκφορτισμένο και άλλοτε πλήρως εκφορτισμένο.

Η 1^η & η 2^η φόρτιση πραγματοποιήθηκαν μόνο με δίκτυο.

Η 3^η φόρτιση έγινε ακριβώς μετά από πλήρη εκφόρτιση, και αυτό φαίνεται άλλωστε και από τη στάθμη φόρτισης (22,5V). Η διάρκειά της είναι σχεδόν διπλάσια από τις άλλες φορτίσεις, αντίστοιχα και οι kWh που εισήλθαν στους συσσωρευτές. Κατά τη φόρτιση, το σύστημα τροφοδοτήθηκε τόσο από το δίκτυο αλλά και από ΑΠΕ.

Η 4^η στάθμη φόρτισης έγινε αρχικά με ΑΠΕ και στη συνέχεια με δίκτυο. Η καμπύλη φόρτισης παρέμεινε ίδια και δεν επηρεάστηκε από τη συμβολή των ΑΠΕ.

Η 5^η φόρτιση έγινε μόνο για τη διαδικασία του equalization, οπότε δεν αναλύεται περαιτέρω.

Η 6^η φόρτιση, που έχει γίνει μετά το equalizing, έχει πολύ μικρό ρυθμό φόρτισης σε σχέση με τις άλλες φορτίσεις, διότι το σύστημα δεν ήταν πλήρως εκφορτισμένο.

Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η αξιολόγηση, μέσω της πειραματικής διαδικασίας, των δυνατοτήτων αλλά και της κατάστασης του συστήματος των συσσωρευτών, στο πλαίσιο διεξαγωγής συγκεκριμένου χαρακτήρα δοκιμών καθώς και σύγκρισης με τα αντίστοιχα αναμενόμενα αποτελέσματα βάσει των προδιαγραφών του κατασκευαστή.

Έτσι λοιπόν, δίνοντας έμφαση κατά κύριο λόγο στο σύστημα αποθήκευσης, μπορούμε να αναφέρουμε τα παρακάτω συμπεράσματα κατόπιν ανάλυσης των αποτελεσμάτων της πειραματικής διαδικασίας και της αντιπαραβολής αυτών με τα αντίστοιχα των τεχνικών φυλλάδια των κατασκευαστών.

5.1 Equalizing

Ως προς το equalizing, διαπιστώθηκε σχετική ανισορροπία στην οποία περιήλθε το σύστημα στην απόπειρα άμεσης εκφόρτισης μετά την λήξη της διαδικασίας εξισορρόπησης, πρόβλημα που όμως αποκαταστάθηκε μετά την παρέλευση ικανού χρονικού διαστήματος και την δοκιμή νέας εκφόρτισης. Το εν λόγω πρόβλημα ενδεχομένως σχετίζεται με την μη τακτική υποβολή των συσσωρευτών στη διαδικασία του equalizing, γεγονός που μπορεί να οδήγησε στην εκδήλωση παροδικού "σοκ" στους συσσωρευτές. Με βάση και τα παραπάνω, η θετική επίδραση του equalizing δεν ανιχνεύθηκε στο χρονικό πλαίσιο των δοκιμών της εργασίας, δεδομένου ότι και το αποτύπωμα του τελευταίου αναμένεται να μη φέρει χαρακτήρα έντονης, βραχυχρόνιας βελτίωσης της κατάστασης των συσσωρευτών, εξαρτώμενο επίσης από την ίδια τη συχνότητα εφαρμογής του equalizing σε βάθος χρόνου καθώς και τη συνέπεια των χρηστών ως προς τη συντήρηση των συσσωρευτών.

5.2 Κύκλοι εκφόρτισης

Σύμφωνα με το *Διάγραμμα 5*, το οποίο απεικονίζει τον κύκλο ζωής των συσσωρευτών σε σχέση με το DoD%, και με βάση το DoD% που ορίζαμε εμείς σε κάθε σενάριο, οι συσσωρευτές έκαναν και για τις 5 εκφορτίσεις συνολικά 3,71 κύκλους ζωής. Δηλαδή, κατά μέσο όρο, 0,74 κύκλοι ανά εκφόρτιση. Εάν υποθετικά το σύστημα δούλευε μέχρι τώρα

Εκφόρτιση	DoD	Κύκλοι ζωής
1η	55%	371% ή 3,71 κύκλοι ζωής
2η	67%	
3η	83%	
4η	83%	
5η	83%	

Πίνακας 7: Συνολικοί κύκλοι ζωής των σεναρίων

κατά μέσο όρο με αυτούς τους ρυθμούς εκφόρτισης και συνεχίζει να δουλεύει με αυτούς τους ρυθμούς για την εξυπηρέτηση ερευνητικών σκοπών, τότε θα έχει περίπου 3.000 κύκλους ζωής από την αρχή της λειτουργίας του. Το επιλεχθέν βάθος εκφόρτισης είναι σχετικά μεγάλο για την καλή λειτουργία και μακροχρόνια διάρκεια ζωής των συσσωρευτών (καθώς ο κατασκευαστής προτείνει ιδανικά το 50%), γεγονός που σημαίνει πως καταπονούνται αρκετά, έστω κι αν τηρηθεί η σωστή συντήρησή τους.

5.3 Βαθμός απόδοσης & κατάσταση υγείας

Αναφορικά με την κατάσταση υγείας των συσσωρευτών, άξιο αναφοράς είναι πως στο παρελθόν, και κατά την αρχική φάση λειτουργίας τους, οι συσσωρευτές είχαν μείνει χωρίς υγρά στα κελιά τους. Η καταπόνηση αυτή ενδεχομένως επηρέασε αρνητικά την κατάσταση της υγείας των συσσωρευτών.

Αναφορικά με το βαθμό απόδοσης, πέραν των επιμέρους βαθμών απόδοσης οι οποίοι υπολογίστηκαν στο κεφάλαιο των αποτελεσμάτων, ενδιαφέρον παρουσιάζει και η εκτίμηση των βαθμών απόδοσης στη βάση σύγκρισης μεταξύ διαδοχικών φορτίσεων και εκφορτίσεων (Πίνακας 8). Με βάση τα αποτελέσματα του πίνακα, διαπιστώνουμε πως ο βαθμός απόδοσης του συστήματος διατηρείται σε σχετικά μέσα επίπεδα, χωρίς όμως να απαντά σε ακραία χαμηλές τιμές. Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να επισημανθεί πως τα φορτία που τέθηκαν στην έξοδο AC της εκφόρτισης είναι αρκετά μικρότερα συγκριτικά με την ονομαστική ισχύ του μετατροπέα, οπότε, κατά τη φάση της εκφόρτισης, ο τελευταίος υπολειτουργεί και δεν έχει τη μέγιστη δυνατή απόδοση (η οποία είναι γύρω στο 92%). Στον αντίποδα, κατά τη φάση της φόρτισης από το δίκτυο, ο inverter απορροφά υψηλότερης στάθμης ισχύ από το δίκτυο, οδηγώντας και σε υψηλότερους βαθμούς απόδοσης.

Σενάρια	kWh	Βαθμός Απόδοσης
1η Εκφόρτιση	4,24	0,81
1η Φόρτιση	5,24	
2η Εκφόρτιση	4,19	0,76
2η Φόρτιση	5,54	
3η Εκφόρτιση	10,88	0,70
3η Φόρτιση	15,46	
Σύνολο		0,76

Πίνακας 8: Βαθμός απόδοσης μεταξύ διαδοχικών κύκλων

Ανακεφαλαιώνοντας, η συγκεκριμένη εργασία, πέραν των πειραματικών αποτελεσμάτων και της ανάλυσης αυτών, συνεισέφερε ουσιαστικά στην περαιτέρω αξιοποίηση της πειραματικής εγκατάστασης του εργαστηρίου, θέτοντας σε ετοιμότητα το σύνολο των επιμέρους συνιστωσών αυτής για την εκτέλεση νέων δοκιμών και τη διερεύνηση νέων σεναρίων. Ενδεικτικά, παρόμοια προτεινόμενα σχήματα δοκιμών, αναφέρονται στην πειραματική αξιολόγηση αυτόνομων σχημάτων ΑΠΕ-συσσωρευτών, χωρίς τη συμβολή του δικτύου, ή στην εφαρμογή διαφορετικών προφίλ κατανάλωσης που απαντούν σε τυπικούς οικιακούς καταναλωτές.

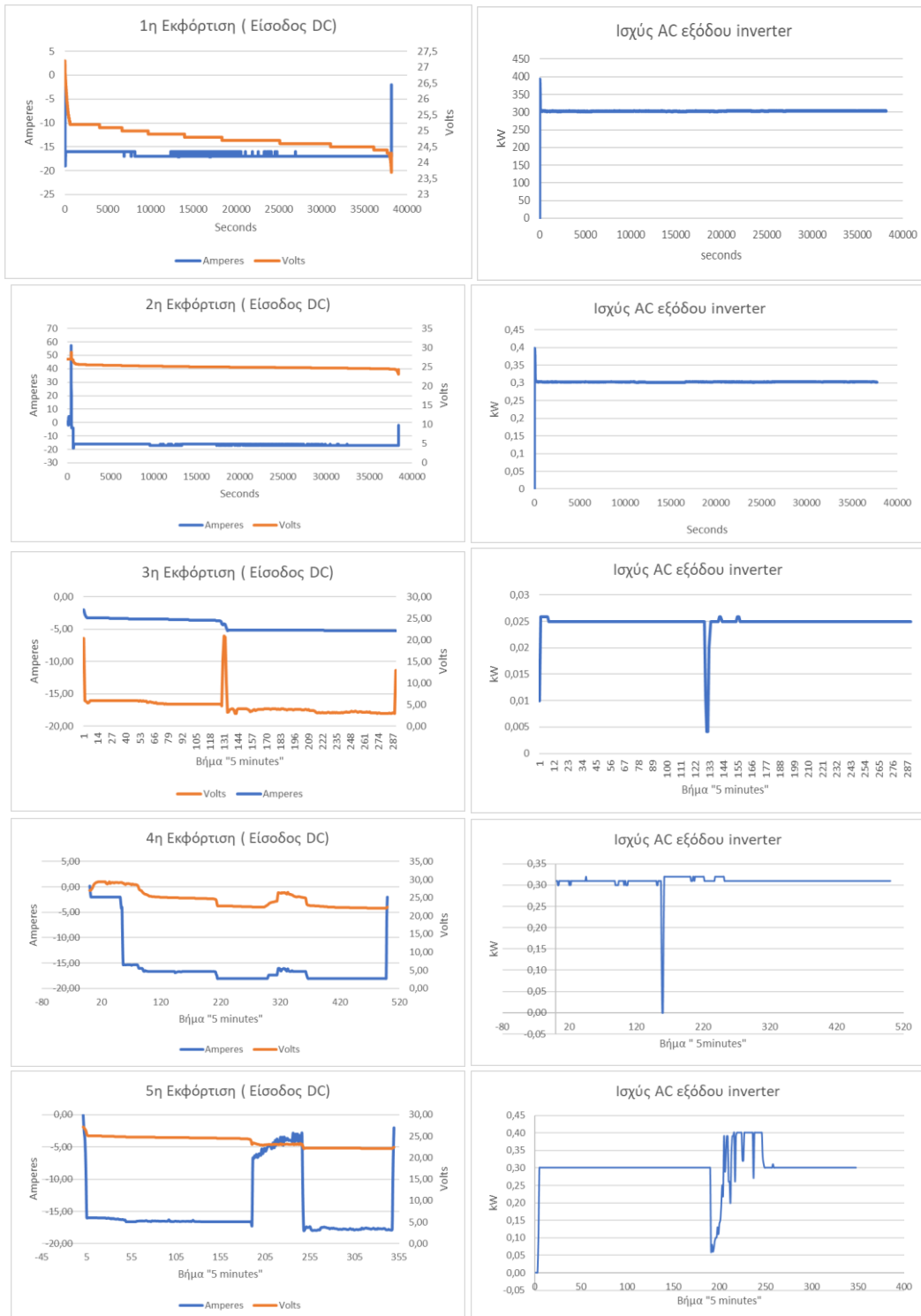
Κεφάλαιο 6: Βιβλιογραφία

- [1] Ευρωπαϊκή Ένωση, «Η πρόοδος της ΕΕ προς τους στόχους της για την κλιματική αλλαγή (γράφημα)», 2023. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.europarl.europa.eu/news/el/headlines/society/20180706STO07407/i-proodos-tis-ee-pros-tous-stochous-tis-gia-tin-klimatiki-allagi-grafima> [Πρόσβαση 2023].
- [2] European Union, “Key figures on the EU in the world 2023 edition”, 2023. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/15216629/16118334/KS-EX-23-001-EN-N.pdf/d4413940-6ef7-2fa8-d6f1-a60cdc4b89f3?version=1.0&t=1676459907834> [Πρόσβαση 2023].
- [3] Ευρωπαϊκή Ένωση, «Άρθρο 194 της Συνθήκης για τη λειτουργία της Ευρωπαϊκής Ένωσης», 2023. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/el/sheet/70/ανανεωσιμες-πηγες-ενεργειας> [Πρόσβαση 2023].
- [4] Ευρωπαϊκή Ένωση, «ΟΔΗΓΙΑ (ΕΕ) 2018/2001 ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ», 2018. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=CELEX:32018L2001> [Πρόσβαση 2023].
- [5] ΥΠΕΝ, «Μακροχρόνια Στρατηγική για το 2050», Αθήνα, 2019
- [6] ΥΠΕΝ, «Εθνικό σχέδιο για την ενέργεια και το κλίμα», Αθήνα, 2019
- [7] ΚΑΠΕ, «Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας», [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis.htm [Πρόσβαση 2023].
- [8] Στεργίου Μαρία, «ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ» Θεσσαλονίκη, Μάρτιος 2018
- [9] Σουχορογκόφ Ιωάννης, «Βέλτιστη μακροπρόθεσμη ανάπτυξη συστήματος παραγωγής με ΑΠΕ και αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας», Αθήνα, Μάρτιος 2022
- [10] Becca Jones-Albertus, “Confronting the Duck Curve: How to Address Over-Generation of Solar Energy”, October 2017. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.energy.gov/eere/articles/confronting-duck-curve-how-address-over-generation-solar-energy> [Πρόσβαση 2023].
- [11] Richard Bowers, Elesia Fasching, Katherine Antonio, “As solar capacity grows, duck curves are getting deeper in California”, June 2023. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=56880> [Πρόσβαση 2023].
- [12] Behnam Zakeri, Giorgio Castagneto Gisse, Paul E. Dodds, Dina Subkhankulova, “Centralized vs. distributed energy storage – Benefits for residential users”, December 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544221016911> [Πρόσβαση 2023].

- [13] Rolls Battery, “Specifications”, Canada, October, 2022.
- [14] Rolls Battery, “Temperature vs. Capacity - Flooded Lead-Acid Batteries”, September 2023. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://support.rollsbattery.com/en/support/solutions/articles/5860-temperature-vs-capacity-flooded-lead-acid-batteries> [Πρόσβαση 2023].
- [15] Schneider Electric, “Conex SW Inverter/Charger - Owner’s Guide”, France, January 2020.
- [16] Schneider Electric, “Product data sheet – Characteristics”, France, January 2020.
- [17] Solar Module Aleo, “Datasheet”, Germany, April 2010.
- [18] Osram, “ULTRA-VITALUX - Product datasheet”, November, 2017.
- [19] Ouback Power, “FLEXmax Series - Charge Controllers”, USA, January 2020.
- [20] Southwest Windpower, “WHISPER WIND GENERATORS - MODEL Whisper 100 - Owners Manual”, Arizona, January 2005.
- [21] Rolls Battery, “Manual”, Canada, October, 2018.
- [22] OLYMPIC Engineering and Consulting, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.oleng.eu/fortistis-mpatarias-2/> [Πρόσβαση 2023].

Παράρτημα 1: Συγκεντρωτικά Διαγράμματα

Διαγράμματα εκφορτίσεων



Διαγράμματα φορτίσεων



Παράρτημα 2: Τεχνικά Εγχειρίδια



Whisper 100/200

Reliable Remote Power

Whisper 100 provides dependable energy for remote homes, telecommunication sites and rural applications in moderate to extreme environments. Reliable operation by thousands of customers makes Whisper 100 the top selling small wind turbine in its class. Assuming a 12 mph (5.4 m/s) average wind, a Whisper 100 will produce 100 kWh per month. Best for moderate to high wind – 9 mph (4 m/s) and above.

The versatile Whisper 200 powers applications from remote homes to water pumping. The Whisper 200's 9-foot (2.7 m) blade has almost twice the swept area of the Whisper 100, yielding twice the energy. A high voltage model is available for transmission over long distances. Best for low to moderate wind – 7 mph (3 m/s) and above.

Made in the USA

Technical Specifications

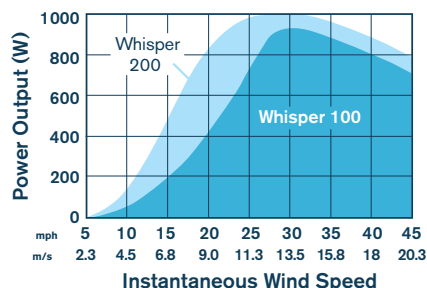
WHISPER 100

Rotor Diameter	7 ft (2.1 m)
Weight	47 lb (21 kg) box: 74 lb (22.56 kg)
Shipping Dimensions	51 x 20 x 13 in (1295 x 508 x 330 mm)
Mount	2.5 in schedule 40 (6.35 cm) pipe
Start-Up Wind Speed	7.5 mph (3.4 m/s)
Voltage	12, 24, 36, 48 VDC
Rated Power	900 watts at 28 mph (12.5 m/s)
Turbine Controller	Whisper controller
Body	Cast aluminum/marine option
Blades	3-Carbon reinforced fiberglass
Overspeed Protection	Patented side-furling
Kilowatt Hours Per Month	100 kWh/mo at 12 mph (5.4 m/s)
Survival Wind Speed	120 mph (55 m/s)
Warranty	5 year limited warranty

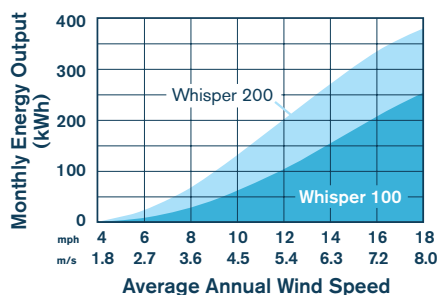
WHISPER 200

Rotor Diameter	9 feet (2.7 m)
Weight	65 lb (30 kg) box: 87 lb (39.46 kg)
Shipping Dimensions	51 x 20 x 13 in (1295 x 508 x 330 mm)
Mount	2.5 in schedule 40 (6.35 cm) pipe
Start-Up Wind Speed	7 mph (3.1 m/s)
Voltage	24, 36, 48 VDC (HV available)
Rated Power	1000 watts at 26 mph (11.6 m/s)
Turbine Controller	Whisper controller
Body	Cast aluminum/marine option
Blades	3-Carbon reinforced fiberglass
Overspeed Protection	Patented side-furling
Kilowatt Hours Per Month	200 kWh/mo at 12 mph (5.4 m/s)
Survival Wind Speed	120 mph (55 m/s)
Warranty	5 year limited warranty

POWER



MONTHLY ENERGY



FIVE YEAR WARRANTY

Southwest Windpower

1801 W. Route 66
Flagstaff, AZ 86001 USA

928.779.9463
www.windenergy.com

Makers of Skystream 3.7® / AIR / Whisper

Printed on recycled paper using vegetable inks.



Whisper 500

Serious Power from a Medium Sized Small Wind Turbine

The Whisper 500 can produce enough energy to power an entire home. Assuming a 12 mph (5.4 m/s) wind, a Whisper 500 will produce as much as 500 kWh per month. That is enough energy to power the average California home.

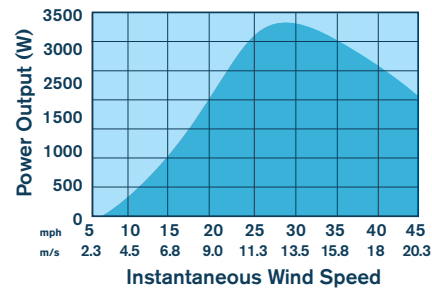
- 5 year warranty
- Durable composite blades
- Powder coated steel body
- Includes Whisper Controller with diversion load and display
- Angle-governor protects blades and allows maximum output in any wind

Made in the USA

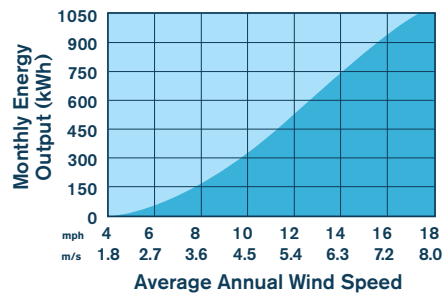
Technical Specifications

Rotor Diameter	15 feet (4.5 m)
Weight	155 lb (70 kg)
Shipping Dimensions	Box 1 (body): 36 x 25 x 32 in (914 x 635 x 812 mm) 295 lb (133.8 kg)
	Box 2 (blades): 88 x 12 x 6 in (2235 x 305 x 152 mm) 38 lb (17.2 kg)
	Box 3 (controller): 22 x 15 x 10 in (559 x 381 x 254 mm) 75 lb (35 kg)
Mount	5 in schedule 40 (12.7 cm) pipe
Start-Up Wind Speed	7.5 mph (3.4 m/s)
Voltage	24, 36, 48 VDC (high voltage avail.)
Rated Power	3000 watts at 24 mph (10.5 m/s)
Peak Power	3200 watts at 27 mph (12 m/s)
Turbine Controller	Whisper Charge Controller (included)
Body	Welded steel; powder coated protection (not marine grade)
Blades	2-Carbon reinforced fiberglass
Overspeed Protection	Side-furling
Kilowatt Hours/Month	538 kWh/mo at 12 mph (5.4 m/s)
Survival Wind Speed	120 mph (55 m/s)
Warranty	5 year limited warranty

POWER



MONTHLY ENERGY



FIVE YEAR WARRANTY

Southwest Windpower

1801 W. Route 66
Flagstaff, AZ 86001 USA

928.779.9463
www.windenergy.com

Makers of Skystream 3.7® / AIR / Whisper

 Printed on recycled paper using vegetable inks.

US | US

solar module aleo

s_18 ulr

Power classes
225 | 230 | 235 W

ÖKO-TEST
LIFE WORTH LIVING

Photovoltaic modules
aleo S_18

very good

Issue 04/2010

aleo advantages

- 10-year product guarantee
- 25-year power guarantee
- Positive power classification
- Best components according to German quality standards
- Professional customer service
- Certified according to UL 1703 3rd Ed. and ULC/ORD-C1703-01
- Certified according to IEC/EN 61215 2nd Ed. and IEC/EN 61730 (sc II)
- German consumer report magazine Öko-Test: "very good"



aleo

aleo s_18 ulr

Electrical data (STC)			S18U225	S18U230	S18U235
Rated power	P_{MPP}	[W]	225	230	235
Rated voltage	U_{MPP}	[V]	29.3	29.5	29.8
Rated current	I_{MPP}	[A]	7.68	7.80	7.89
Open-circuit voltage	U_{oc}	[V]	36.5	36.7	36.9
Short-circuit current	I_{sc}	[A]	8.13	8.26	8.35
Efficiency	η	[%]	13.7	14.0	14.3
Area-to-power ratio	A_p	[ft ² /kW _p]	78.6	76.9	75.3

Electrical values measured under standard test conditions (STC): 1000 W/m², 25°C; AM 1.5

Electrical data (NOCT)			S18U225	S18U230	S18U235
Power	P_{MPP}	[W]	161	165	168
Voltage	U_{MPP}	[V]	26.4	26.6	26.9
Current	I_{MPP}	[A]	6.11	6.19	6.25
Open-circuit voltage	U_{oc}	[V]	33.0	33.1	33.3
Short-circuit current	I_{sc}	[A]	6.56	6.67	6.74
Efficiency	η	[%]	12.3	12.5	12.8

Electrical values measured under nominal operating conditions of cells: 800 W/m², 20°C; AM 1.5; wind speed 1 m/s
NOCT: 47.9°C(nominal operating cell temperature)

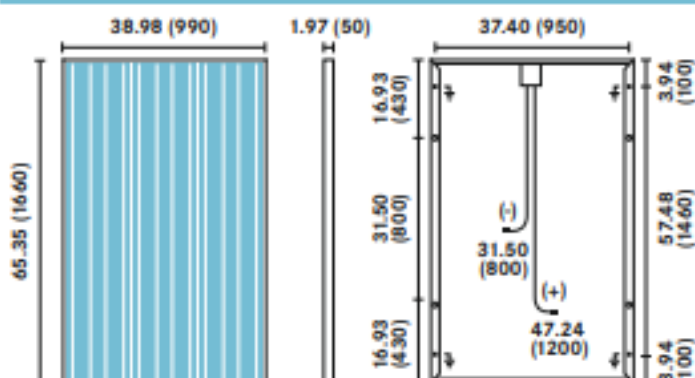
Additional electrical data		
Reduction of STC efficiency from 92.9 W/ft ² to 18.6 W/ft ² (1000 W/m ² to 200 W/m ²)	[%]	< 6
Classification range (positive classification)	[W]	-0/+4.99
Measurement accuracy of P_{MPP} under STC	[%]	-3/+3
Accuracy of other electrical values	[%]	-10/+10

Loads		
Mechanical load ¹	[psf]	112.7
Maximum system voltage (UL)	[V _{dc}]	600
Reverse current load	I_{kr} [A]	15

¹ Snow and ice load tests exceed the approved standard

Temperature coefficients		
1 st temperature coefficient	$\alpha (I_{sc})$	[%/K] +0.04
2 nd temperature coefficient	$\beta (U_{oc})$	[%/K] -0.34
3 rd temperature coefficient	$\gamma (P_{MPP})$	[%/K] -0.46

Dimensions [in] ([mm])



Address
aleo solar AG
Gewerbegebiet Nord
Marius-Eriksen-Strasse 1
17291 Prenzlau
Germany

Contact details
aleo solar North America
12303 Airport Way, Suite 200
Broomfield, CO 80021
USA
T +1 (303) 325-3917 Main
T +1 (866) 411-ALEO Toll Free
info@aleo-solar.com
www.aleo-solar.com

Efficiency relating to gross module area

Basic data		
Length x width x height	[in ³] ([mm ³])	65.35 x 38.98 x 1.97 (1660 x 990 x 50)
Weight	[lbs] ([kg])	46.30 (21)
Number of cells		60
Cell size	[in ²] ([mm ²])	6.14 x 6.14 (156 x 156)
Cell material		Polycrystalline Si
Front sheet		Solar glass (TSG)
Back sheet		Polymer
Frame material		Al alloy
Cable length	[in] ([mm])	47.24 (+), 31.50 (-) (1200 (+), 800 (-))
Connectors		MC4 class
IP class		IP65
Bypass diodes		3

Detailed information regarding our products, warranties and certificates can be requested from us at any time. This information is also available online at www.aleo-solar.com.

© aleo solar AG | 07/2011 | Subject to change without notice, not responsible for errors

Please contact your authorized aleo dealer

FLOODED DEEP CYCLE BATTERY

4 KS 21P



Series	5000	Warranty	5 Years
Volts	4	BCI	SPEC
Cells	2	Plates/Cell	21
Terminal Type	Flag		
Included Hardware	S/S Hex Cap Screw, Nut, Lock & Flat Washer		
Size & Thread	5/16"-18		
Cables	19" 4/0 interconnect cables *RE incl.		

Charge

Charge Voltage Range	2.45-2.5 V/cell @ 25°C (77°F)
Float Voltage Range	2.25 V/cell @ 25°C (77°F)
Self-Discharge Rate	5%-10% per month at 25°C (77°F)

Capacity

Cold Crank Amps (CCA) 0°F / -18°C	2754
Marine Crank Amps (MCA) 32°F / 0°C	3443
Reserve Capacity (RC @ 25A)	2756 Minutes
Reserve Capacity (RC @ 75A)	919 Minutes

Capacity Affect by Temperature	40°C (104°F)	25°C (77°F)	0°C (32°F)	-15°C (5°F)
	105%	100%	75%	50%

Hour Rate	Capacity / AMP Hour	Current / AMPS
@ 100 Hour Rate	1481 AH	14.81 A
@ 72 Hour Rate	1401 AH	19.45 A
@ 50 Hour Rate	1326 AH	26.52 A
@ 20 Hour Rate	1148 AH	57.41 A
@ 15 Hour Rate	1068 AH	71.19 A
@ 10 Hour Rate	1022 AH	102.19 A
@ 8 Hour Rate	987 AH	123.43 A
@ 5 Hour Rate	919 AH	183.71 A
@ 1 Hour Rate	517 AH	516.67 A

Ampere hour capacity ratings based on specific gravity of 1.280 at 27°C (80°F). Reduce capacities 5% for specific gravity of 1.265 and 10% for 1.250.

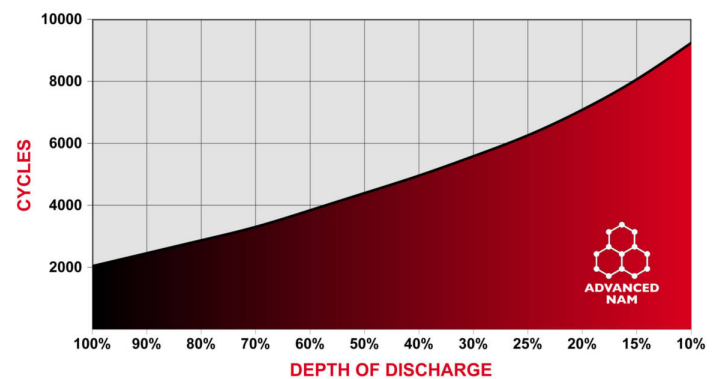
Specifications

 SAI GLOBAL ISO 9001 Quality	Weight	121 kg	267 lbs
	Length	40 cm	15.75"
	Width	23.8 cm	9.38"
	Height Inc. Term.	62.9 cm	24.75"

Product measurements & weights are calculated based on sample data. Individual specifications are subject to vary due to the manufacturing process, battery components & electrolyte levels.

Electrolyte Reserve	95 mm	3.75"
Container (Inner)	Polypropylene	
Cover (Inner)	Polypropylene - heat sealed to inner container	
Container (Outer)	High Density Polyethylene	
Cover (Outer)	High Density Polyethylene snap fit to outer container	
Handles	Molded	

Cycle Life vs. Depth of Discharge



Voltage vs. Depth of Discharge

DISCHARGE	0%	25%	50%	75%	100%
20 HR AH RATE	2.10 V	2.05 V	2.02 V	1.96 V	1.75 V
6 HR AH RATE	2.10 V	2.04 V	2.00 V	1.95 V	1.75 V
1 HR AH RATE	2.10 V	2.03 V	1.99 V	1.94 V	1.75 V

Rev.#3 | May 2019



Main

Range of product	Conext SW
Device short name	SW 4024
Product or component type	Inverter/Charger

Complementary

Type of signal	True sine wave (invert mode)
Continuous power	4000 W overload for output (invert mode) , duration: 30 min 7000 W surge for output (invert mode) , duration: 5 s 3400 W for output (invert mode)
Peak output current	41 A for short circuit
Network frequency	50/60 Hz for output (selectable)
Output voltage	12...32 V DC (charge mode) 24 V DC (charge mode) for nominal mode 240 V AC (invert mode) 120 V AC (invert mode)
Output current	90 A (charge mode)
Input voltage	20...34 V DC (invert mode) 135...270 V AC (charge mode) 95...135 V AC (charge mode) 240 V AC (charge mode) 120 V AC (charge mode)
Input current	13 A (charge mode)
Efficiency	92 % (invert mode) 90 % (charge mode)
Cos phi	> 0.98 for input
Power consumption in W	< 8 W for search mode
Battery type	FLA Gel AGM
Relay type	Automatic transfert relay at 30 A
Transfer time	<= 16.7 ms
Provided equipment	Battery temperature sensor included for temperature compensation
Height	418 mm
Width	341 mm
Depth	197 mm
Product weight	28.1 kg

Environment

Ambient air temperature for operation	-20...60 °C
Ambient air temperature for storage	-40...85 °C
Standards	UL 1741 CSA C22.2 No 107.1
Product certifications	CSA

FLEXmax 60/80™

Continuous MPPT Solar Charge Controllers



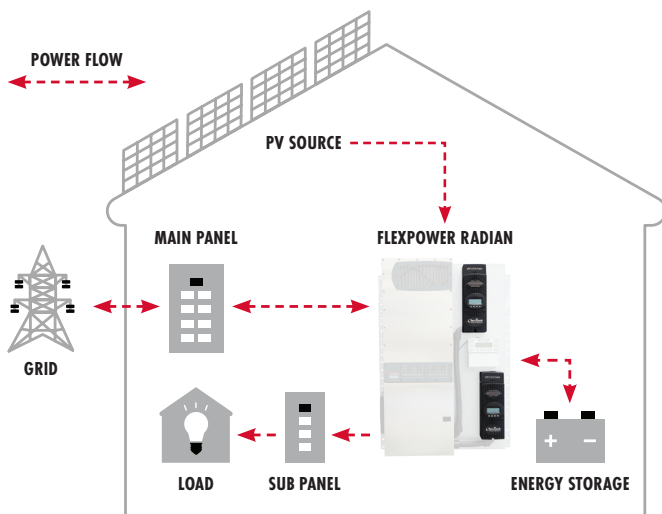
FLEXMAX 60

FLEXMAX 80

- Increases PV array output by up to 30%
- Advanced continuous maximum power point tracking
- Full power output in ambient temperature up to 104°F (40°C)
- Battery voltages from 12 to 60VDC
- Programmable auxiliary control output
- Built-in 128 days of data logging
- Standard 5 year warranty

The FLEXmax family of charge controllers is the industry leading innovation in Maximum Power Point Tracking (MPPT) charge controllers from OutBack Power™.

The innovative FLEXmax MPPT software algorithm is both continuous and active, increasing your photovoltaic array power yield up to 30% compared to non-MPPT controllers. Thanks to active cooling and intelligent thermal management cooling, both FLEXmax charge controllers can operate at their full maximum current rating, 60 amps or 80 amps respectively, in ambient temperatures as high as 104°F (40°C). Included in all the FLEXmax charge controllers are the revolutionary features first developed by OutBack Power, including support for a wide range of nominal battery voltages and the ability to step down a higher-voltage solar array to recharge a lower-voltage battery bank. A built-in, backlit 80 character display shows the current status and logged system performance data for the last 128 days at the touch of a button. The integrated OutBack Power network communications allow FLEXmax series charge controllers to be remotely programmed and monitored using the MATE family of system displays and provide unrivaled complete system integration. FLEXmax MPPT charge controllers are the only choice when you demand a high performance, efficient and versatile charge controller for your advanced power system.



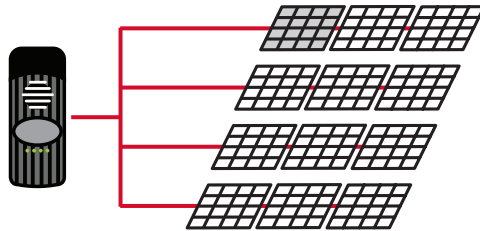
FLEXmax 60/80 Specifications

Models*:	FLEXmax 80 (FM80 to 150VDC)	FLEXmax 60 (FM60 to 150VDC)
Nominal Battery Voltages:	12, 24, 36, 48, or 60VDC (Single model, selectable via field programming at start-up)	12, 24, 36, 48, or 60VDC (Single model, selectable via field programming at start-up)
Maximum Output Current:	80A @ 104°F (40°C) with adjustable current limit	60A @ 104°F (40°C) with adjustable current limit
NEC Recommended Solar Maximum Array STC Nameplate:	12VDC systems: 1000W / 24VDC systems: 2000W 48VDC systems: 4000W / 60VDC systems: 5000W	12VDC systems: 750W / 24VDC systems: 1500W 48VDC systems: 3000W / 60VDC systems: 3750W
PV Open Circuit Voltage (VOC):	150VDC absolute maximum coldest conditions / 145VDC start-up and operating maximum	150VDC absolute maximum coldest conditions / 145VDC start-up and operating maximum
Standby Power Consumption:	Less than 1W typical	Less than 1W typical
Power Conversion Efficiency:	97.5% @ 80ADC in a 48VDC system (typical)	98.1% @ 60ADC in a 48VDC system (typical)
Peak Efficiency:	60VDC input w/48V battery at 53.1VDC (98.44%)	68VDC input w/48V battery at 52.8VDC (98.31%)
CEC Weighted Efficiency:	97.2% (at 48VDC)	97.4% (at 48VDC)
Charging Regulation:	Bulk, absorption, float, silent and equalization	Bulk, absorption, float, silent and equalization
Voltage Regulation Set Points:	13 to 80VDC user adjustable with password protection	13 to 80VDC user adjustable with password protection
Equalization Charging:	Programmable voltage setpoint and duration, automatic termination when completed	Programmable voltage setpoint and duration, automatic termination when completed
Battery Temperature Compensation:	Automatic with optional RTS installed / 5.0mV per °C per 2V battery cell	Automatic with optional RTS installed / 5.0mV per °C per 2V battery cell
Voltage Step-Down Capability:	Down convert from any acceptable array voltage to any battery voltage. Example: 72VDC array to 24VDC battery; 60VDC array to 48VDC battery	
Programmable Auxiliary Control Output:	12VDC output signal which can be programmed for different control applications (maximum of 0.2ADC)	12VDC output signal which can be programmed for different control applications (maximum of 0.2ADC)
Status Display:	3.1in (8cm) backlit LCD screen, 4 lines with 80 alphanumeric characters total	3.1in (8cm) backlit LCD screen, 4 lines with 80 alphanumeric characters total
Remote Display and Controller:	Optional MATE3s, MATE or MATE2	Optional MATE3s, MATE or MATE2
Network Cabling:	Proprietary network system using RJ-45 modular connectors with CAT5 cable (8 wires)	Proprietary network system using RJ-45 modular connectors with CAT5 cable (8 wires)
Data Logging:	Last 128 days of operation: amp-hours, watt-hours, time in float, peak watts, amps, solar array voltage, maximum battery voltage, minimum battery voltage and absorb time, accumulated amp-hours, and kWh of production	
Operating Temperature Range:	-40 to 60°C (power automatically derated above 40°C)	-40 to 60°C (power automatically derated above 40°C)
Environmental Rating:	Indoor Type 1	Indoor Type 1
Conduit Knockouts:	One 1in (25.4mm) on the back; One 1in (25.4mm) on the left side; Two 1in (25.4mm) on the bottom	One 1in (25.4mm) on the back; One 1in (25.4mm) on the left side; Two 1in (25.4mm) on the bottom
Warranty:	Standard 5 year, extended 10 year available	Standard 5 year, extended 10 year available
Weight (lb/kg):	Unit: 12.20 / 5.53 Shipping: 15.5 / 7	Unit: 11.65 / 5.3 Shipping: 14.9 / 6.8
Dimensions H x W x D (in/cm):	Unit: 16.25 x 5.75 x 4.5 / 41.3 x 14.6 x 11.4 Shipping: 19 x 9.5 x 8.5 / 48.3 x 24.1 x 21.6	Unit: 13.75 x 5.75 x 4.5 / 35 x 14.6 x 11.4 Shipping: 17 x 9.5 x 8.5 / 43.2 x 24.1 x 21.6
Options:	Remote Temperature Sensor (RTS), HUB4, HUB10.3, MATE, MATE2, MATE3s	Remote Temperature Sensor (RTS), HUB4, HUB10.3, MATE, MATE2, MATE3s
Menu Languages:	English and Spanish	English and Spanish
Certifications:	ETL Listed to UL1741, CSA C22.2 No. 107.1	ETL Listed to UL1741, CSA C22.2 No. 107.1

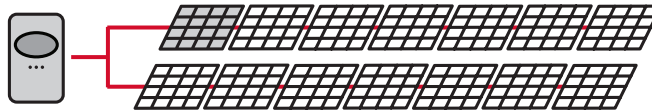
*Use appropriate wire size in accordance with NEC.

Low Voltage Charge Controller Advantage—Smaller string size reduces power output loss in the event of inadvertent module shading

OutBack Power FLEXmax 80 Charge Controller
Lower Voltage Four-String, 3780W Array (315W Modules)
 Shading of a single module affects one string, resulting in a power output loss of up to 25%



Competitor Charge Controller
Higher Voltage Two-String, 3780W Array (315W Modules)
 Shading of a single module affects one string, resulting in a power output loss of up to 50%



an EnerSys® company

OutBack Power Technologies, Inc. 1628 W Williams Drive, Phoenix, AZ 85027
 Tel: +1 360 435 6030 Technical Support: +1 360 618 4363 Email: sales@outbackpower.com
 For more information visit www.outbackpower.com

© 2021 OutBack Power Technologies, Inc. All Rights Reserved. Trademarks and logos are the property of Alpha Technologies Services, Inc., EnerSys and its affiliates unless otherwise noted. Subject to revisions without prior notice. E. & O.E.

02/2021
 #980-00080-01-001 REV B

ULTRA VITALUX 300 W 230 V E27

ULTRA-VITALUX | Ultraviolet high-pressure lamps with E27 base



Areas of application

- Sunlight simulation
- Glue curing
- Artificial material aging
- Exposure of UV-sensitive photoresist coatings
- Terrariums
- Equine solaria

Product features

- UV lamp for technical applications
- Direct operation without control gear



Product datasheet

Technical data

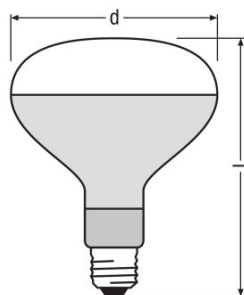
Electrical data

Nominal wattage	300.00 W
Nominal voltage	230 V
Lamp voltage	230 V
Construction voltage	230.00 V

Photometrical data

Radiated power 315...400 nm (UVA)	13.6 W
Radiated power 280...315 nm (UVB)	3.0 W

Dimensions & weight



Diameter	127.0 mm
Length	185.0 mm

Lifespan

Lifespan	1000 h
----------	--------

Additional product data

Base (standard designation)	E27
-----------------------------	-----

Capabilities

Burning position	Any
------------------	-----

Country specific information

Product code	METEL code	SEG-No.	STK number	UK Org
4008321543929	OSRUVITAL300	-	4779248	-

Product datasheet

Safety advice

Due to their intense heat generation, the lamps may only be operated in suitable luminaires. The lamps must also be protected against moisture and splashing water. In case of improper use, UV radiation may lead to sunburn and conjunctivitis. Not approved for use on persons according to the new edition of EN 60335-2-27.

Logistical Data

Product code	Product description	Packaging unit (Pieces/Unit)	Dimensions (length x width x height)	Volume	Gross weight
4008321543929	ULTRA VITALUX 300 W 230 V E27	Folding carton box 1	196 mm x 130 mm x 130 mm	3.31 dm ³	243.50 g
4008321543936	ULTRA VITALUX 300 W 230 V E27	Shipping carton box 6	455 mm x 230 mm x 325 mm	34.01 dm ³	2149.80 g

The mentioned product code describes the smallest quantity unit which can be ordered. One shipping unit can contain one or more single products. When placing an order, for the quantity please enter single or multiples of a shipping unit.

Disclaimer

Subject to change without notice. Errors and omission excepted. Always make sure to use the most recent release.
