



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
ΣΤΗΝ ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΑΠΟ
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΑΡΚΑ**

του Μεταπτυχιακού Φοιτητή
του Π.Μ.Σ. στη «Βιομηχανική Διοίκηση και Τεχνολογία»,
Κατεύθυνσης «Διαχείρισης Ενέργειας και Περιβάλλοντος»,

ΒΛΑΧΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ

Επιβλέπων:

ΦΛΑΜΟΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ, Καθηγητής

Πειραιάς, Φεβρουάριος 2022



**UNIVERSITY OF PIRAEUS
SCHOOL OF MARITIME AND INDUSTRIAL STUDIES
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL MANAGEMENT
AND TECHNOLOGY**

MASTER DISSERTATION

**CONTRIBUTION OF ENERGY STORAGE SYSTEMS TO THE
INCREASED ABSORPTION OF PV'S GENERATED POWER**

of the Postgraduate Student
of M.Sc. Program in "Industrial Management and Technology",
Specialization "Energy and Environmental Management",

VLACHOS KONSTANTINOS

Supervisor:
FLAMOS ALEXANDROS, Professor

Piraeus, February 2022

Στον πατέρα μου

Ευχαριστίες

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Βιομηχανική Διοίκηση και Τεχνολογία», Κατεύθυνσης «Διαχείρισης Ενέργειας και Περιβάλλοντος» του Τμήματος Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας του Πανεπιστημίου Πειραιώς. Ως την ελάχιστη δυνατή μνεία, με την παρούσα παράγραφο οφείλω να ευχαριστήσω όλους τους ανθρώπους που συνέβαλαν στην πραγματοποίηση και ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Πρωτίστως, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή του Τμήματος Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας, κύριο Φλάμο Αλέξανδρο, για τη δυνατότητα που μου παρείχε να ασχοληθώ με την παρούσα Διπλωματική Εργασία καθώς και για την γενικότερη εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου. Η αφοσίωση στο αντικείμενό του αποτέλεσε και αποτελεί για μένα πηγή έμπνευσης και κίνητρο να συνεχίσω να προσπαθώ για το καλύτερο.

Ιδιαίτερη μνεία οφείλω επίσης να κάνω στη συνεισφορά της κυρίας Τσίλης Μαρίνας, ηλεκτρολόγου μηχανικού, διδάκτορος του ΕΜΠ, σχετικά με την καθοδήγηση και τις πολύτιμες συμβουλές που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια διεξαγωγής της μελέτης. Αυτή η εργασία δεν θα μπορούσε να έχει ολοκληρωθεί χωρίς την καθοριστική συμβολή της. Την ευχαριστώ θερμά για την ανιδιοτελή υποστήριξή της σε οτιδήποτε και αν χρειάστηκα.

*Κωνσταντίνος Βλάχος,
Πειραιάς, Φεβρουάριος 2022*

Περίληψη

Στην εποχή μας που τα αποτελέσματα της ανθρωπογενούς κλιματικής αλλαγής έχουν κάνει την εμφάνισή τους πιο απειλητικά από ποτέ η στροφή προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας προκειμένου να ανατραπεί η πορεία προς την καταστροφή έστω και την τελευταία στιγμή, φαντάζει ως η μόνη λύση. Η Συμφωνία για το Κλίμα του Παρισιού και η επακόλουθη πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την προστασία του κλίματος θέτουν πολύ φιλόδοξους στόχους. Προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος των δύο βαθμών κελσίου (μέγιστη αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας της γης από αέρια του Θερμοκηπίου), η αποσύνδεση της παραγωγής και του τρόπου ζωής από τις εκπομπές άνθρακα πρέπει να επιτευχθεί κατά τη διάρκεια του αιώνα. Αυτή η απαλλαγή από τον άνθρακα σημαίνει μια πλήρη μεταμόρφωση της οικονομίας, αλλά και της καθημερινής ζωής - διατηρώντας παράλληλα το επίπεδο της ευημερίας. Γι' αυτό χρειάζονται εντελώς νέες τεχνολογίες και καινοτόμες διαδικασίες. Αυτό απαιτεί άνοιγμα σε νέες ιδέες, τεχνολογίες που δεν είναι γνωστές έως τώρα, και πάνω απ' όλα την υιοθέτηση μιας κουλτούρας ανοικτής στην καινοτομία.

Εξαιτίας της διαλείπουσας φύσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και των ανακριβών μεθόδων πρόβλεψης της παραγωγής ισχύος, αφού αυτή εξαρτάται άμεσα από τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή που έχουν εγκατασταθεί οι μονάδες, οι καθαρές αυτές τεχνολογίες εισάγουν σημαντική απροβλεπτότητα και μεταβλητότητα από πλευράς παραγωγής. Αυτό, με τη σειρά του, απαιτεί ευελιξία προκειμένου να επιτυγχάνεται ανά πάσα στιγμή ισορροπία μεταξύ ζήτησης και παραγωγής και να εξασφαλιστεί η ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού.

Λόγω της αυξανόμενης ανησυχίας για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των ορυκτών καυσίμων και τη χωρητικότητα και την ανθεκτικότητα των ενεργειακών δικτύων σε όλο τον κόσμο, οι μηχανικοί και οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής στρέφουν όλο και περισσότερο την προσοχή τους σε λύσεις αποθήκευσης ενέργειας. Πράγματι, η αποθήκευση ενέργειας μπορεί να βοηθήσει στην αντιμετώπιση των διαλείψεων της ηλιακής και αιολικής ενέργειας. Μπορεί επίσης, σε πολλές περιπτώσεις, να ανταποκριθεί γρήγορα σε μεγάλες διακυμάνσεις της ζήτησης, βελτιώνοντας τον βαθμό ανταπόκρισης του δικτύου και μειώνοντας την ανάγκη κατασκευής εφεδρικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής. Η αποτελεσματικότητα μιας εγκατάστασης αποθήκευσης ενέργειας καθορίζεται από το πόσο γρήγορα μπορεί να αντιδράσει στις αλλαγές της ζήτησης, τον ρυθμό της ενέργειας που χάνεται στη διαδικασία αποθήκευσης, τη συνολική χωρητικότητα αποθήκευσης ενέργειας και το πόσο γρήγορα μπορεί να επαναφορτιστεί.

Στόχος της διπλωματικής αυτής εργασίας είναι η αναλυτική διερεύνηση της επίδρασης των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας στην αύξηση της απορρόφησης ισχύος από φωτοβολταϊκά πάρκα στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Η ηλεκτροπαραγωγή μέσω φωτοβολταϊκών όμως αφορά προς το παρόν μόνο στις ώρες

ηλιοφάνειας και δεν καλύπτει τη νυχτερινή αιχμή της ζήτησης. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να λυθεί αν προστεθεί στο φωτοβολταϊκό σύστημα και ένα σύστημα αποθήκευσης (συσσωρευτές) ώστε να αξιοποιείται κατά τον βέλτιστο τρόπο η παραγόμενη ηλιακή ενέργεια στη διάρκεια της ημέρας. Για την επίτευξη του στόχου της διπλωματικής αυτής εργασίας θα μελετηθεί το απομονωμένο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της νήσου Κρήτης σε διάφορα σενάρια λειτουργίας με και χωρίς την εγκατάσταση κατάλληλων συστημάτων αποθήκευσης. Η διερεύνηση θα γίνει με τη χρήση λογισμικού ενεργειακής ανάλυσης για μια σειρά μελλοντικών σεναρίων ανάπτυξης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, έτσι ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για το κατά πόσο τα συστήματα αποθήκευσης μπορούν να συνεισφέρουν στην ομαλή και ευσταθή λειτουργία των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας και στην αύξηση της απορρόφησης ισχύος από το δίκτυο.

Στο πρώτο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας παρουσιάζεται η πρόκληση της κλιματικής αλλαγής, η αναγκαιότητα της λήψης μέτρων για τον μετριασμό των συνεπειών της και οι προϋποθέσεις για την μετάβαση σε ένα ενεργειακό σύστημα απαλλαγμένο από τις ρυπογόνες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που βασίζονται στον άνθρακα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται ενδελεχής παρουσίαση της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται μια αναλυτική επισκόπηση των συστημάτων αποθήκευσης (συστήματα συσσωρευτών) που χρησιμοποιούνται στα φωτοβολταϊκά πάρκα.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της νήσου Κρήτης, τα σενάρια που μελετήθηκαν προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση των συστημάτων αποθήκευσης (συσσωρευτών) στην αύξηση της απορρόφησης ισχύος από φωτοβολταϊκά πάρκα στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας του νησιού και τα αποτελέσματα αυτών.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα εξαγόμενα συμπεράσματα έπειτα από την ολοκλήρωση της μελέτης.

Τέλος, στο παράρτημα παρατίθενται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης κάθε σεναρίου και οι αντίστοιχες μετρήσεις όπως υπολογίστηκαν από το λογισμικό ενεργειακής ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκε.

Abstract

In our age where the effects of man-made climate change have made their appearance more threatening than ever, turning to renewable energy sources in order to reverse the path to destruction, even at the last minute, seems to be the only solution. The Paris Climate Agreement and the European Union's subsequent climate protection policy set very ambitious goals. In order to achieve the goal of two degrees Celsius (maximum increase of the earth's atmosphere temperature from Greenhouse gases), the decoupling of production and lifestyle from carbon emissions must be achieved during the century. This means a complete transformation of the economy, but also of everyday life - while maintaining our level of prosperity. That is why completely new technologies and innovative processes are needed. This requires opening up to new ideas, technologies that are not yet known, and above all the adoption of a culture open to innovation.

As a result of the intermittent nature of renewable energy sources and the inaccurate methods of forecasting power generation, as it depends directly on the weather conditions in the area where the units are installed, these clean technologies introduce significant unpredictability and variability in terms of production. This, in turn, requires flexibility in order to strike a balance between demand and production at all times and to ensure security of energy supply.

Due to growing concerns about the environmental impacts of fossil fuels and the capacity and resilience of energy grids around the world, engineers and policymakers are increasingly turning their attention to energy storage solutions. Indeed, energy storage can help address the intermittency of solar and wind power; it can also, in many cases, respond rapidly to large fluctuations in demand, making the grid more responsive and reducing the need to build backup power plants. The effectiveness of an energy storage facility is determined by how quickly it can react to changes in demand, the rate of energy lost in the storage process, its overall energy storage capacity, and how quickly it can be recharged.

The purpose of this dissertation is the detailed study of the effect of energy storage systems on increasing the power absorption from photovoltaic parks in the electricity system. Electricity generation through photovoltaics, however, currently concerns only the hours of sunshine and does not cover the night peak of demand. This problem can be solved if a storage system (batteries) is added to the photovoltaic system in order to make the best use of the solar energy produced during the day. In order to achieve the goal of this dissertation, the isolated electricity system of the island of Crete will be studied in various operation scenarios with and without the installation of appropriate storage systems. The study will be conducted using energy analysis software for a number of future renewable energy development scenarios, so that conclusions can be drawn as to whether storage systems can contribute to the smooth and stable operation of power systems and increase power absorption by the grid.

The First Chapter of this dissertation presents the challenge of climate change, the need to take action to mitigate its effects and the conditions for the transition to an energy system free of polluting carbon-based power plants.

In the Second Chapter there is a thorough presentation of the technology of photovoltaic systems.

The Third Chapter provides a detailed overview of the storage systems (battery systems) used in photovoltaic parks.

The Fourth Chapter presents the electric power system of the island of Crete, the scenarios that were studied in order to examine the effect of storage systems (batteries) in increasing the power absorption from photovoltaic parks in the island's electric power system and their results.

The Fifth Chapter presents the conclusions drawn after the completion of the study.

Finally, the Appendix lists the simulation results of each scenario and the corresponding measurements as calculated by the energy analysis software used.

Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1	15
Εισαγωγή	15
Κεφάλαιο 2	20
Περιγραφή της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών συστημάτων	20
2.1 Γενικά	20
2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των φωτοβολταϊκών συστημάτων	20
2.3 Αρχή λειτουργίας – Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο	21
2.4 Τα δομικά μέρη ενός φωτοβολταϊκού συστήματος.....	22
2.5 Κατηγορίες φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	23
2.5.1 Διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα	23
2.5.2 Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα	25
2.5.3 Υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα	26
2.6 Τα βασικά στοιχεία ενός υβριδικού φωτοβολταϊκού συστήματος	27
2.7 Κατηγορίες φωτοβολταϊκών πάνελ	28
2.7.1 Φωτοβολταϊκά κύτταρα μονό-κρυσταλλικού πυριτίου.....	28
2.7.2 Φωτοβολταϊκά κύτταρα πολύ-κρυσταλλικού πυριτίου.....	29
2.7.3 Φωτοβολταϊκά κύτταρα λεπτού υμενίου.....	30
2.8 Τρόποι στήριξης φωτοβολταϊκών πάνελ	32
2.8.1 Σταθερές βάσεις.....	32
2.8.2 Συστήματα ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου	35
2.9 Ο ρυθμιστής φόρτισης	37
2.10 Αντιστροφείς.....	38
2.11 Οι καλωδιώσεις	40
2.12 Οι διακοπτικές διατάξεις.....	42
2.13 Ο μετρητής ενέργειας	43
Κεφάλαιο 3	45
Η τεχνολογία των συστημάτων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας	45
3.1 Γενικά	45
3.2 Δυνατότητες για αποθήκευση ενέργειας	45
3.3 Αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας σε μπαταρίες.....	48
Κεφάλαιο 4	83

Μελέτη επίδρασης της αποθήκευσης ενέργειας στο ΣΗΕ της Κρήτης.....	83
4.1 Το νησί της Κρήτης.....	83
4.2 Το Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας της Κρήτης	85
4.2.1 Η δομή της ηλεκτροπαραγωγής στην Κρήτη	85
4.2.2 Τα χαρακτηριστικά του Ηλεκτρικού Δικτύου της Κρήτης	87
4.2.3 Το Σύστημα Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας της Κρήτης	90
4.3 Η μελέτη του ΣΗΕ της Κρήτης.....	94
4.3.1 Ανάλυση Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας	94
4.3.2 Μελέτες ροών φορτίου	94
4.3.3 Τα σενάρια που μελετήθηκαν	95
4.3.4 Αποτελέσματα.....	96
Κεφάλαιο 5^ο	101
Συμπεράσματα	101
Βιβλιογραφία	103
Παράρτημα	

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Στην εποχή μας τα μηνύματα που παίρνουμε από σχεδόν όλες τις γωνιές του πλανήτη σχετικά με το κλίμα είναι παραπάνω από ανησυχητικά. Ανεξέλεγκτες πυρκαγιές καίνε τους τελευταίους πνεύμονες πράσινου της Γης για εβδομάδες, σφοδρές βροχοπτώσεις εμφανίζονται όλο και συχνότερα δημιουργώντας φονικές πλημύρες που καταστρέφουν τα πάντα στο πέρασμά τους και οι πάγοι στους πόλους και την Σιβηρία λιώνουν πιο γρήγορα από ποτέ, αλλάζοντας το ανάγλυφο του πλανήτη και απειλώντας με εξαφάνιση δεκάδες είδη ζώων. Γίνεται πλέον κατανοητό πως φαινόμενα που οι επιστήμονες είχαν προβλέψει πως θα έρθουν στο μέλλον έχουν ήδη κάνει την εμφάνισή τους, πολύ ταχύτερα από τους υπολογισμούς τους. Η ανθρωπότητα δεν έχει πια να αντιμετωπίσει μια κλιματική αλλαγή αλλά μια κλιματική κρίση που εξελίσσεται ραγδαία και απειλεί όχι μόνο την ευμάρεια της αλλά την ίδια της την ύπαρξη.

Ενδελεχής εξέταση των δεδομένων συνηγορεί υπέρ του γεγονότος ότι η ένταση της κλιματικής κρίσης που παρατηρούμε είναι ανθρωπογενούς προελεύσεως. Οι συνέπειές της επηρεάζουν άμεσα ή έμμεσα όλους τους τομείς της ζωής και της οικονομικής δραστηριότητας παγκοσμίως. Το μακροοικονομικό κόστος της μη ανάληψης πρωτοβουλιών προς την κατεύθυνση του μετριασμού των συνεπειών της κλιματικής κρίσης υπερβαίνει σημαντικά αυτό της έγκαιρης κινητοποίησης για την προστασία του κλίματος και του φυσικού περιβάλλοντος.

Ο κύριος λόγος που ο πλανήτης και η ανθρωπότητα έχει βρεθεί στη δεινή θέση να αντιμετωπίζει τόσο μεγάλη ποικιλία κινδύνων, τέτοιας εντάσεως και συχνότητας, είναι η μεγάλη αύξηση των αέριων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, και ιδιαίτερα του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), το οποίο σχετίζεται με το φαινόμενο του θερμοκηπίου (Vangelis Marinakis, 2020). Οι εκπομπές CO₂ προέρχονται από μια ποικιλία ανθρώπινων δραστηριοτήτων που σχετίζονται με τη χρήση ορυκτών καυσίμων. Για παράδειγμα, η χρήση της βενζίνης για τις μεταφορές είναι συνυφασμένη με την αύξηση των εκπομπών CO₂. Ωστόσο, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι ο τομέας που συνδέεται με τις υψηλότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (σχεδόν το ένα τρίτο των εκπομπών CO₂ παγκοσμίως οφείλεται στον τομέα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας), δεδομένου ότι τα ορυκτά καύσιμα εξακολουθούν να κυριαρχούν στο μείγμα μεθόδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Vangelis Marinakis, 2020). Ως εκ τούτου, ένα από τα πιο αποτελεσματικούς τρόπους αντιμετώπισης αυτού του φαινομένου είναι η μείωση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα, και ιδιαιτέρως από λιγνίτη που είναι λιγότερο αποδοτικός και πιο ρυπογόνος. Αυτή η μετάβαση μπορεί να επιτευχθεί μέσω της αύξησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) στο ενεργειακό μείγμα, όπως τα

αιολικά, τα φωτοβολταϊκά, τα υδροηλεκτρικά, η βιοενέργεια, η γεωθερμία, καθώς και οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής με χρήση άνθρακα αλλά με δέσμευση και χρήση/αποθήκευση του εκπεμπόμενου CO₂.

Σύμφωνα με τη Συμφωνία για το Κλίμα του Παρισιού, η άνοδος της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας πρέπει να περιοριστεί πολύ κάτω από τους 2°C πάνω από τα προβιομηχανικά επίπεδα και πρέπει να συνεχιστούν οι προσπάθειες για να περιοριστεί στον 1,5°C (Timon Wehnert, 2019). Η Συμφωνία για το Κλίμα του Παρισιού και η επακόλουθη πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την προστασία του κλίματος θέτουν πολύ φιλόδοξους στόχους. Προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος των δύο βαθμών κελσίου (μέγιστη αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας της γης από αέρια του Θερμοκηπίου), η αποσύνδεση της παραγωγής και του τρόπου ζωής από τις εκπομπές άνθρακα πρέπει να επιτευχθεί κατά τη διάρκεια του αιώνα. Αυτή η απαλλαγή από τον άνθρακα σημαίνει μια πλήρη μεταμόρφωση της οικονομίας, αλλά και της καθημερινής ζωής - διατηρώντας παράλληλα το επίπεδο της ευημερίας. Γι' αυτό χρειάζονται εντελώς νέες τεχνολογίες και καινοτόμες διαδικασίες - εν συντομία: είναι μια πρόκληση συγκρίσιμη με το οικονομικό θαύμα της «ανοικοδόμησης» της Ευρώπης μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο. Αυτό απαιτεί άνοιγμα σε νέες ιδέες, τεχνολογίες που δεν είναι γνωστές έως τώρα, και πάνω απ' όλα την υιοθέτηση μιας κουλτούρας ανοικτής στην καινοτομία. Η αποδέσμευση από τον άνθρακα είναι εφικτή μόνο πέρα από τις εθνικές πολιτικές και χρειάζεται ένα πολιτικό πλαίσιο στο οποίο υπάρχει περιθώριο για την ανάπτυξη των απαραίτητων τεχνολογικών αλμάτων.

Υπάρχει ομοφωνία στους επιστημονικούς κύκλους ότι οι τεχνολογίες ΑΠΕ έχουν τη δυνατότητα να συμβάλουν στον μετριασμό του αποτυπώματος άνθρακα του τομέα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο είναι υπεύθυνο για το ένα τρίτο των παγκόσμιων εκπομπών CO₂. Η συναίνεση για την κλιματική αλλαγή με βάση τη Συμφωνία του Παρισιού, όπως καθώς και οι σημαντικές μειώσεις στο σχετικό κόστος λόγω της διάδοσης της τεχνολογίας, έχουν ήδη προωθήσει ένα σύστημα που βασίζεται στις ΑΠΕ για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας αναμένεται να μετατραπούν από συγκεντρωτικά και ομοιογενή βασιζόμενα στα ορυκτά καύσιμα, σε ετερογενή συστήματα, που περιλαμβάνουν τις διαλείπουσες ΑΠΕ (Yiannis Kontochristopoulos, 2021).

Οι περιορισμοί που πρέπει να ξεπεραστούν κατά τη διάρκεια αυτής της μετάβασης περιλαμβάνουν (Yiannis Kontochristopoulos, 2021) (i) τη διαλείπουσα φύση των τεχνολογιών ΑΠΕ που μπορεί αρνητικά να επηρεάσει την ασφάλεια και την αξιοπιστία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, αυξάνει την πολυπλοκότητά του, την ανάγκη για εφεδρείες και το αντίστοιχο λειτουργικό κόστος, καθώς και (ii) ρυθμιστικούς φραγμούς και φραγμούς της αγοράς που αναστέλλουν την ανάπτυξη ΑΠΕ, την ανταπόκριση στη ζήτηση και την ανάπτυξη συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας που χρησιμοποιούνται ως μέσο για την αντιστάθμιση των διαλείψεων αυτών.

Λαμβάνοντας υπόψη αυτούς τους περιορισμούς, οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής θα πρέπει να επανεξετάσουν τον σχεδιασμό της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, προκειμένου να παρέχει δικαιοσύνη όσον αφορά τον ανταγωνισμό και να προωθεί ένα μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας που θα βασίζεται στις ΑΠΕ και που θα ελαχιστοποιεί τις παρενέργειες στο ηλεκτρικό δίκτυο (Yiannis Kontochristopoulos, 2021). Ο απώτερος στόχος μιας καλοσχεδιασμένης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να είναι η ικανοποίηση της ζήτησης των καταναλωτών μεγιστοποιώντας ταυτόχρονα την κοινωνική ευημερία, επιλέγοντας το βέλτιστο μείγμα πηγών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Επιτακτική ανάγκη για την πραγματοποίηση αυτού του στόχου, είναι μια απελευθερωμένη χονδρική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας που οδηγεί στον αποκλεισμό των οικονομικά αναποτελεσματικών πηγών παραγωγής ενέργειας και την αξιοποίηση νέων περισσότερο αποδοτικών (Yiannis Kontochristopoulos, 2021).

Στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας, με το ευρωπαϊκό νομοθέτημα για το κλίμα η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) έθεσε στον εαυτό της τον δεσμευτικό στόχο να επιτύχει κλιματική ουδετερότητα έως το 2050 (European Council, 2022). Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου θα πρέπει παρουσιάσουν αξιοσημείωτη μείωση τις επόμενες δεκαετίες προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος αυτός. Ως ενδιάμεσο βήμα προς την κλιματική ουδετερότητα, η ΕΕ αύξησε τη φιλοδοξία της για το κλίμα με ορίζοντα το 2030, δεσμευόμενη να μειώσει τις εκπομπές κατά τουλάχιστον 55% έως το 2030 (European Council, 2022). Η ΕΕ επεξεργάζεται την αναθεώρηση της νομοθεσίας της όσον αφορά το κλίμα, την ενέργεια και τις μεταφορές με την αποκαλούμενη δέσμη «Fit for 55», ώστε να ευθυγραμμίσει το ισχύον δίκαιο με τις φιλοδοξίες για το 2030 και το 2050. Στη δέσμη περιλαμβάνεται επίσης μια σειρά νέων πρωτοβουλιών.

Ως αποτέλεσμα της στροφής της Ευρώπης αλλά και του κόσμου προς ένα πιο βιώσιμο μέλλον, μια τεράστια ποσότητα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, πέραν των άλλων παραδοσιακών αποθηκεύσιμων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η βιομάζα και η υδροηλεκτρική ενέργεια, έχουν διεισδύσει στα ΣΗΕ την τελευταία δεκαετία.

Λόγω της διαλείπουσας φύσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και των ανακριβών μεθόδων πρόβλεψης της παραγωγής ισχύος, αφού αυτή εξαρτάται άμεσα από τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή που έχουν εγκατασταθεί οι μονάδες, οι καθαρές αυτές τεχνολογίες εισάγουν σημαντική απροβλεπτότητα και μεταβλητότητα από πλευράς παραγωγής. Αυτό, με τη σειρά του, απαιτεί ευελιξία προκειμένου να επιτυγχάνεται ανά πάσα στιγμή ισορροπία μεταξύ ζήτησης και παραγωγής και να εξασφαλιστεί η ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού.

Η στόχευση για την ηλεκτροπαραγωγή σε λύσεις φιλικές προς το περιβάλλον προϋποθέτουν τομείς όπως ο σημαντικός περιορισμός των μονάδων βάσης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που στηρίζονται στις ορυκτές πηγές ενέργειας ή το ουράνιο. Αντ' αυτών, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα παράγουν ενέργεια, εγγυώμενες την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού και την ευσταθή λειτουργία του συστήματος. Για το σκοπό αυτό, το σύνολο του ηλεκτρικού συστήματος πρέπει να είναι πιο ευέλικτο στην πλευρά της παραγωγής και της ζήτησης. Η υλοποίηση

περιλαμβάνει την επέκταση του δικτύου και την εκτεταμένη ψηφιοποίηση των τοπικών δικτύων διανομής (π.χ. μετασχηματιστές), την επέκταση της διαχείρισης φορτίου (διαχείριση της ζήτησης) και την αποθήκευση, καθώς και - για μια μεταβατική περίοδο - αυξημένη ευελιξία στις παραμένουσες συμβατικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ένας άλλος τρόπος για να αυξηθεί η ευελιξία και ταυτόχρονα να μειωθούν οι εκπομπές CO₂ είναι να αυξηθεί η χρήση ηλεκτρισμού στον τομέα της θερμότητας και των μεταφορών, για παράδειγμα μέσω της ηλεκτροκίνησης ή της χρήσης αντλιών θερμότητας για κτίρια και βιομηχανικές εφαρμογές (σύζευξη των τομέων) (Timon Wehnert, 2019).

Η ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού έχει διάφορες διαστάσεις (Timon Wehnert, 2019): Η προτεραιότητα έγκειται στην εγγυημένη διαθέσιμη παραγωγή ανάλογα με το ζητούμενο φορτίο και τη σταθερότητα του δικτύου και του συστήματος (που πρέπει να εξασφαλίζεται μεταξύ άλλων μέσω των αποκαλούμενων υπηρεσιών συστήματος). Ο συνδυασμός των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η ύπαρξη σταθμών παραγωγής φυσικού αερίου, τα συστήματα ανταλλαγής και αποθήκευσης ενέργειας με άλλες χώρες, τόσο τα βραχυπρόθεσμα όσο και τα μακροπρόθεσμα μπορούν να διασφαλίσουν την επάρκεια της υφιστάμενης δυναμικότητας παραγωγής ενέργειας. Οι υπηρεσίες συστήματος που παρέχονται τώρα από σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα μπορούν να αναληφθούν από άλλες διαθέσιμες σήμερα τεχνολογίες (σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής με φυσικό αέριο, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, εγκαταστάσεις αποθήκευσης) (Timon Wehnert, 2019).

Ασφαλής και χωρίς διαταραχές ηλεκτρισμός είναι ζωτικής σημασίας για την οικονομική ανάπτυξη και δεν πρέπει να τεθεί υπό αμφισβήτηση, ακόμη και όταν η μείωση του άνθρακα αυξάνεται κατά τη διάρκεια της ενεργειακής μετάβασης. Είναι πολύ σημαντικό να διασφαλιστεί τόσο η επάρκεια όσο και η ασφαλής παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας σε βάθος χρόνου. Επιπλέον, η τάση και η συχνότητα πρέπει να διατηρούνται σταθερές στην αντίστοιχη ονομαστική τους τιμή για να εξασφαλιστεί σταθερότητα δικτύου και συστήματος (Timon Wehnert, 2019).

Ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών είναι ήδη διαθέσιμο σήμερα για να διασφαλιστεί ότι αυτό συμβαίνει. Τόσο η εγγυημένη χωρητικότητα όσο και οι άλλες υπηρεσίες που παρέχονται επί του παρόντος από συμβατικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής μπορούν να παρασχεθούν μέσω ενός συνδυασμού ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, μονάδων εφεδρείας και μονάδων ηλεκτροπαραγωγής με φυσικό αέριο, βραχυπρόθεσμων και μακροπρόθεσμων εγκαταστάσεων αποθήκευσης εντός του ευρωπαϊκού συστήματος ηλεκτρισμού.

Προκειμένου να υποστηρίξει η Ελληνική Κυβέρνηση την μετάβαση της χώρας μας στη μεταλιγνιτική εποχή και να ευθυγραμμιστεί με τις προτάσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης ενόψει των στόχων για το 2030 έχει καταρτίσει και παρουσιάσει τον Δεκέμβριο του 2019 το τελικό και αναθεωρημένο Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) και έχει δεσμευθεί για συνολική διείσδυση ΑΠΕ στο ενεργειακό μίγμα της τάξης τουλάχιστον του 35%, σημαντικά υψηλότερο στόχο από

τον κεντρικό Ευρωπαϊκό για τις ΑΠΕ που είναι στο 32%. Το ΕΣΕΚ αποτελεί για την Ελληνική Κυβέρνηση ένα Στρατηγικό Σχέδιο για τα θέματα του Κλίματος και της Ενέργειας και παρουσιάζεται σε αυτό ένας αναλυτικός οδικός χάρτης για την επίτευξη συγκριμένων Ενεργειακών και Κλιματικών Στόχων έως το έτος 2030. Το ΕΣΕΚ παρουσιάζει και αναλύει Προτεραιότητες και Μέτρα Πολιτικής σε ένα ευρύ φάσμα αναπτυξιακών και οικονομικών δραστηριοτήτων προς όφελος της Ελληνικής κοινωνίας, καθιστώντας το κείμενο αναφοράς για την επόμενη δεκαετία.

Εμβληματικός στόχος στο πλαίσιο της νέας αναθεωρημένης Κυβερνητικής στρατηγικής για το ΕΣΕΚ, αποτελεί το ιδιαίτερα φιλόδοξο αλλά και παράλληλα ρεαλιστικό πρόγραμμα για τη δραστική και οριστική μείωση του μεριδίου λιγνίτη στην ηλεκτροπαραγωγή, την απολιγνιτοποίηση δηλαδή, με εμπροσθοβαρές χρονικό πρόσημο κατά την επόμενη δεκαετία και την πλήρη απένταξή του από το εγχώριο σύστημα ηλεκτροπαραγωγής μέχρι το έτος 2028. Ο στόχος αυτός αντικατοπτρίζει και την προσπάθεια που γίνεται να αντιμετωπιστούν θέματα προστασίας του περιβάλλοντος σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα, αλλά και να εξορθολογιστούν άμεσα το κόστος της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η αναλυτική διερεύνηση της επίδρασης των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας στην αύξηση της απορρόφησης ισχύος από φωτοβολταϊκά πάρκα στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΗΕ). Η ηλεκτροπαραγωγή μέσω φωτοβολταϊκών όμως αφορά προς το παρόν μόνο στις ώρες ηλιοφάνειας και δεν καλύπτει τη νυχτερινή αιχμή της ζήτησης. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να λυθεί αν προστεθεί στο φωτοβολταϊκό σύστημα και ένα σύστημα αποθήκευσης (συσσωρευτές) ώστε να αξιοποιείται κατά τον βέλτιστο τρόπο η παραγόμενη ηλιακή ενέργεια στη διάρκεια του εικοσιτετραώρου. Για την επίτευξη του στόχου της διπλωματικής αυτής εργασίας θα μελετηθεί το απομονωμένο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της νήσου Κρήτης σε διάφορα σενάρια λειτουργίας με και χωρίς την εγκατάσταση κατάλληλων συστημάτων αποθήκευσης. Η διερεύνηση θα γίνει με τη χρήση λογισμικού ενεργειακής ανάλυσης για μια σειρά μελλοντικών σεναρίων ανάπτυξης ΑΠΕ, έτσι ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για το κατά πόσο τα συστήματα αποθήκευσης μπορούν να συνεισφέρουν στην ομαλή και ευσταθή λειτουργία του ΣΗΕ και στην αύξηση της απορρόφησης ισχύος από το δίκτυο.

Κεφάλαιο 2

Περιγραφή της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών συστημάτων

2.1 Γενικά

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούν μια από τις πλέον διαδεδομένες εφαρμογές των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Εκμεταλλευόμενα το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από την ηλιακή ενέργεια. Με τον γενικό όρο φωτοβολταϊκά χαρακτηρίζονται οι βιομηχανικές διατάξεις πολλών φωτοβολταϊκών στοιχείων σε μία σειρά. Στην ουσία πρόκειται για τεχνητούς ημιαγωγούς, συνήθως από πυρίτιο (Si), οι οποίοι ενώνονται με σκοπό να δημιουργήσουν ένα ηλεκτρικό κύκλωμα σε σειρά και έχουν ως βάση λειτουργίας το φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Στις μέρες μας, πέρα από τη βελτιστοποίηση του μοντέλου του συστήματος, πρέπει να επιτευχθεί και σημαντική μείωση στο κόστος για τα φωτοβολταϊκά συστήματα, έτσι ώστε εκτός από «καθαρή» πηγή ενέργειας να αποτελούν και οικονομική πηγή ενέργειας (Παπαδόπουλος, 2017).

2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των φωτοβολταϊκών συστημάτων

Πλεονεκτήματα:

- Τα φωτοβολταϊκά συστήματα παράγουν την περισσότερη ενέργεια κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, όταν είναι απαραίτητη για την τροφοδοσία του κλιματιστικών διατάξεων.
- Δεν υπάρχουν κινούμενα μέρη και χρειάζονται ελάχιστη συντήρηση (εκτός κι αν έχουν χρησιμοποιηθεί ηλιακοί ιχνηλάτες).
- Η φωτοβολταϊκή τεχνολογία είναι γνώστη εδώ και πολύ καιρό και έχει ωριμάσει τεχνολογικά βελτιώνοντας την απόδοσή της.
- Παρουσιάζει μεγάλο ποσοστό ευελιξίας καθώς μετατρέπει το ηλιακό φως απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια χωρίς τη διαμεσολάβηση γεννήτριας.
- Μπορούν να τροφοδοτήσουν μια πληθώρα εφαρμογών όπως συστήματα φωτισμού, οικιακές συσκευές, εφαρμογές ψύξης-θέρμανσης ακόμα και το ηλεκτρικό αυτοκίνητο. Τέλος οι περισσότεροι δορυφόροι και συσκευές που χρησιμοποιούνται στο διάστημα χρησιμοποιούν για την τροφοδοσία τους με ενέργεια φωτοβολταϊκά.

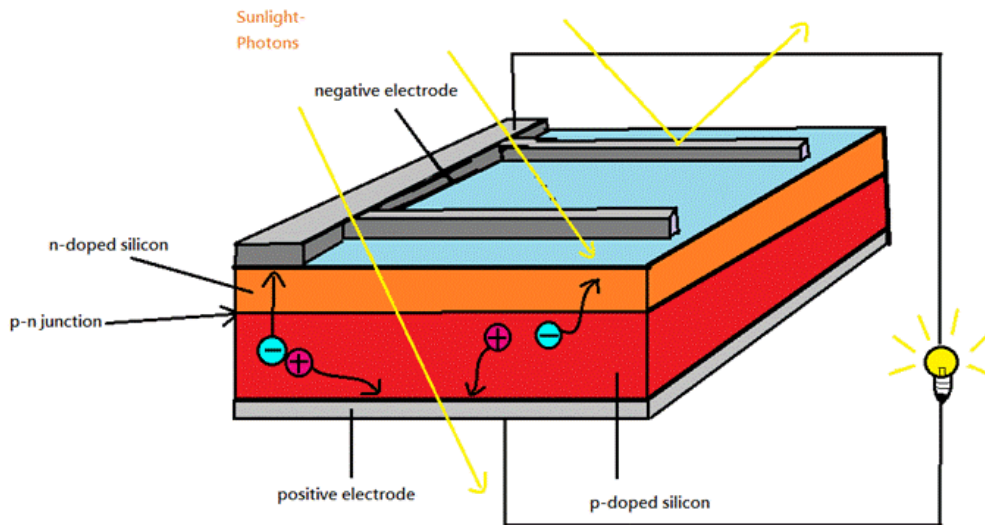
- Προσφέρουν την δυνατότητα αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας.
- Συντελούν στην εξοικονόμηση χρημάτων μέσω του ενεργειακού συμψηφισμού.
- Είναι μία πράσινη μορφή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με μηδενικές εκπομπές CO₂ συμβάλλοντας στην προστασία του περιβάλλοντος και στον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής.

Μειονεκτήματα:

- Απαιτείται μεγάλη έκταση χώρου προκειμένου να παραχθεί επαρκής ποσότητα ενέργειας για να μεταδοθεί και να διανεμηθεί.
- Έχουν μικρό ποσοστό χρησιμοποίησης του ηλιακού φωτός.
- Έχουν μεγάλη εξάρτηση από τις καιρικές συνθήκες και παράγουν ενέργεια μονάχα κατά τη διάρκεια της ημέρας, καθιστώντας απαραίτητη τη χρήση αποθηκευτικών διατάξεων.
- Χρειάζεται αρκετός χρόνος για να γίνει η απόσβεση της επένδυσης.
- Το αποθηκευτικό σύστημα είναι ακριβό.

2.3 Αρχή λειτουργίας – Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα χρησιμοποιεί ηλιακούς συλλέκτες για να συλλαμβάνει τα φωτόνια του ηλιακού φωτός. Αυτά τα ηλιακά πάνελ έχουν το καθένα πολλά ηλιακά κύτταρα που αποτελούνται από στρώματα διαφορετικών υλικών. Η μέγιστη συγκέντρωση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τα φωτοβολταϊκά κύτταρα επιτυγχάνεται μέσω της αντανάκλαστικής επίστρωσης που βρίσκεται στην κορυφή. Ο ημιαγωγός που έχει τεθεί ανάμεσα σε έναν αρνητικό αγωγό στην κορυφή και σε έναν θετικό αγωγό στον πυθμένα, βρίσκεται κάτω από την επίστρωση. Μόλις τα φωτόνια συλληθούν από το ηλιακό κύτταρο, αρχίζουν να απελευθερώνονται τα ηλεκτρόνια της εξωτερικής στιβάδας των ατόμων του ημιαγωγού. Οι αρνητικοί και θετικοί αγωγοί δημιουργούν ένα «δρόμο» για τα ηλεκτρόνια και έχουμε το σχηματισμό ενός συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος το οποίο, μεταφέρεται δια μέσου καλωδίων. Τα καλώδια οδηγούν σε έναν αντιστροφέα, ο οποίος στη συνέχεια μετατρέπει το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο, σε μορφή κατάλληλη δηλαδή είτε για τη μεταφορά του σε μεγάλες αποστάσεις του μέσω του δικτύου του παρόχου ηλεκτρικής ενέργειας, είτε για άμεση κατανάλωσή του από το φορτίο. Όσο περισσότερα είναι τα ηλιακά κύτταρα, τόσο περισσότερη είναι η παραγόμενη ενέργεια (RGS, 2015).

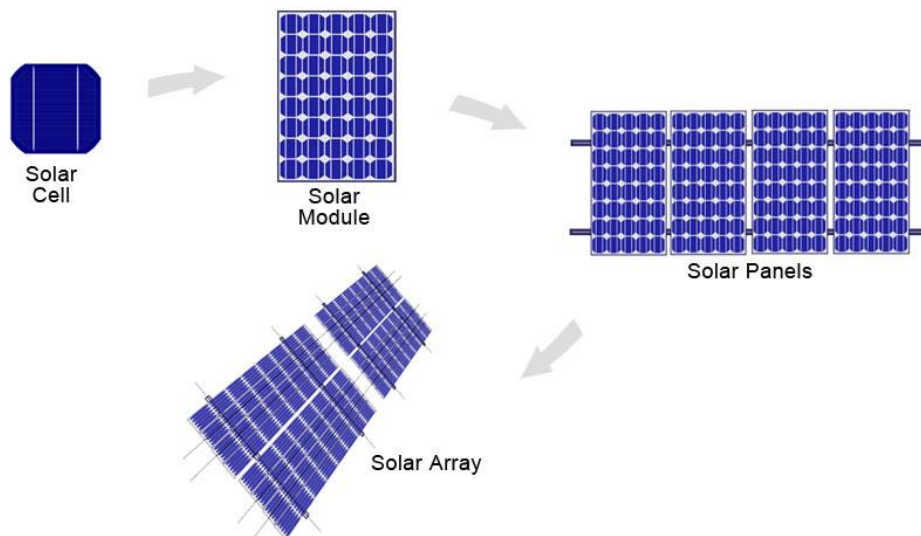


Εικόνα 2.1: Απεικόνιση του φωτοβολταϊκού φαινομένου (PV Insights, 2019)

2.4 Τα δομικά μέρη ενός φωτοβολταϊκού συστήματος

Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από τα παρακάτω μέρη (Βουγιουκλάκης, 2018):

- Φωτοβολταϊκό κύτταρο (PV cell): Η ηλεκτρονική διάταξη που παράγει ηλεκτρική ενέργεια όταν δέχεται ακτινοβολία. Λέγεται ακόμα φωτοβολταϊκό στοιχείο ή φωτοβολταϊκή κυψέλη (wafer).
- Φωτοβολταϊκό πλαίσιο (PV module): Ένα σύνολο φωτοβολταϊκών κυττάρων που είναι ηλεκτρονικά συνδεδεμένα. Αποτελεί τη βασική δομική μονάδα της φωτοβολταϊκής γεννήτριας.
- Φωτοβολταϊκό πάνελ (PV panel): Ένα ή περισσότερα φωτοβολταϊκά πλαίσια, που έχουν προκατασκευαστεί και συναρμολογηθεί σε ενιαία κατασκευή, έτοιμη για να εγκατασταθεί σε φωτοβολταϊκή εγκατάσταση.
- Φωτοβολταϊκή συστοιχία (PV array): Μια ομάδα από φωτοβολταϊκά πλαίσια ή πάνελα με ηλεκτρική αλληλοσύνδεση, τοποθετημένα συνήθως σε κοινή κατασκευή στήριξης.
- Φωτοβολταϊκή γεννήτρια (PV generator): Το τμήμα μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης που περιέχει φωτοβολταϊκά στοιχεία και παράγει συνεχές ρεύμα.



Εικόνα 2.2: Τα δομικά μέρη ενός φωτοβολταϊκού συστήματος (Alvarez Solar Builders, 2019)

2.5 Κατηγορίες φωτοβολταϊκών συστημάτων

Υπάρχουν τρεις κύριοι τύποι φωτοβολταϊκών συστημάτων όσον αφορά τη σύνδεσή τους με το δίκτυο μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας: τα διασυνδεδεμένα, τα αυτόνομα και τα υβριδικά συστήματα. Όλα έχουν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους και ουσιαστικά καταλήγει να είναι απόφαση του πελάτη να επιλέξει το είδος της εγκατάστασης που επιθυμεί και που ικανοποιεί καλύτερα τις ανάγκες του.

2.5.1 Διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα

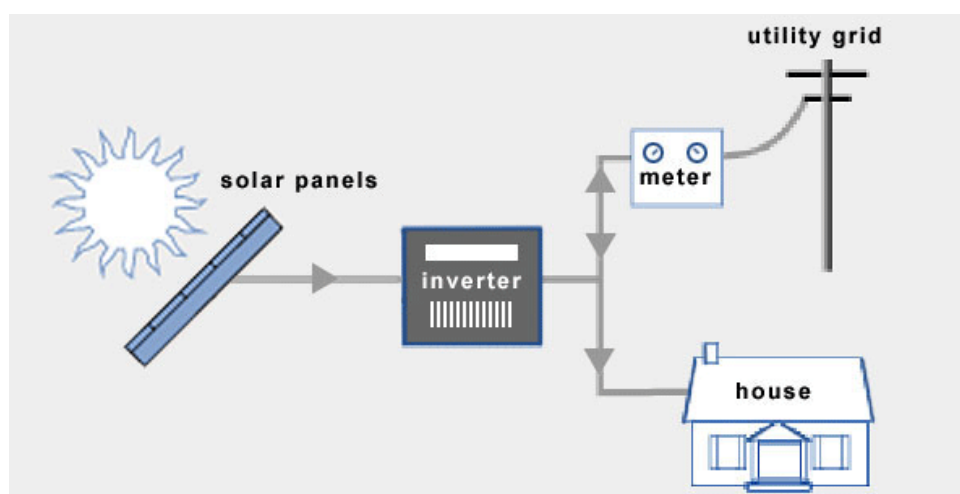
Ένα διασυνδεδεμένο σύστημα είναι μια ηλιακή εγκατάσταση που χρησιμοποιεί αντιστροφέα (ή αντιστροφείς) συνδεδεμένο με το δίκτυο και δεν έχει καθόλου συσσωρευτές. Αυτό είναι ιδανικό για πελάτες που είναι ήδη συνδεδεμένοι στο δίκτυο και θέλουν να προσθέσουν ηλιακή ενέργεια στο σπίτι τους. Αυτά τα συστήματα μπορούν να τύχουν κρατικών επιχορηγήσεων κάνοντάς οικονομικώς συμφέρουσα επένδυση. Τα διασυνδεδεμένα συστήματα φωτοβολταϊκών είναι εύκολα στη σχεδίαση και οικονομικά καθότι αποτελούνται από σχετικά λίγα εξαρτήματα. Ο κύριος στόχος ενός διασυνδεδεμένου συστήματος είναι η μείωση του λογαριασμού του ηλεκτρικού ρεύματος μέσω του ενεργειακού συμψηφισμού (net-metering) και η ωφέλεια από την χρήση των κρατικών κινήτρων.

Ένα μειονέκτημα αυτού του τύπου συστήματος είναι ότι όταν δεν υπάρχει παροχή ενέργειας από το δίκτυο, λόγω της σύνδεσης που υπάρχει, δεν θα υπάρχει ενέργεια ούτε στο σύστημα. Αυτό είναι απαραίτητο και για λόγους ασφαλείας επειδή οι τεχνικοί που εργάζονται στις γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να ξέρουν ότι δεν

υπάρχει πηγή τροφοδοσίας του δικτύου. Οι μετατροπείς που είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο πρέπει να αποσυνδέονται αυτόματα όταν δεν αισθάνονται ενέργεια στο δίκτυο. Αυτό σημαίνει ότι αυτά τα συστήματα δεν μπορούν να παρέχουν ενέργεια κατά τη διάρκεια μιας διακοπής ρεύματος ή έκτακτης ανάγκης και δεν μπορούν να αποθηκεύσουν ενέργεια για μεταγενέστερη χρήση. Επίσης, δεν μπορεί να γίνει έλεγχος της ενέργειας που παράγεται από το φωτοβολταϊκό σύστημα, όπως κατά τη διάρκεια των αιχμών της ζήτησης.

Αλλά εάν ένας πελάτης έχει ένα σύστημα διασυνδεδεμένο με το δίκτυο, υπάρχει η δυνατότητα για ύστερη προσθήκη αποθηκευτικού συστήματος. Η λύση είναι η δημιουργία ενός συζευγμένου συστήματος AC, όπου ο αρχικός αντιστροφέας που συνδέεται με το δίκτυο είναι συνδεδεμένος με ένα έναν εφεδρικό αντιστροφέα κατάλληλο για σύνδεση με μπαταρίες. Αυτή είναι μια εξαιρετική λύση για πελάτες που θέλουν να εγκαταστήσουν φωτοβολταϊκά τώρα για να επωφεληθούν από τα κίνητρα της πολιτείας, αλλά δεν είναι έτοιμοι να επενδύσουν σε μπαταρίες ακόμα.

Ένας πελάτης μπορεί να επωφεληθεί από τον ενεργειακό συμψηφισμό επειδή όταν το ηλιακό σύστημα παράγει περισσότερη ενέργεια από όση χρειάζεται για να ικανοποιήσει το φορτίο του, εγχέει την πλεονάζουσα ενέργεια στο δίκτυο του παρόχου ενέργειας. Αλλά σε περιόδους όταν το φορτίο του πελάτη είναι μεγαλύτερο από την παραγόμενη από τα φωτοβολταϊκά ηλεκτρική ενέργεια και δεν μπορεί να ικανοποιηθεί, μπορεί να αγοράσει ενέργεια από το δίκτυο του παρόχου. Ο πελάτης δεν εξαρτάται από το φωτοβολταϊκό σύστημα για να τροφοδοτήσει το σύνολο του φορτίου του. Το κύριο και πιο σοβαρό μειονέκτημα ενός τέτοιου συστήματος είναι πως όταν το δίκτυο για κάποιο λόγο δεν λειτουργεί και το φωτοβολταϊκό σύστημα είναι εξίσου εκτός λειτουργίας και δεν υπάρχει συνδεδεμένο εφεδρικό σύστημα συσσωρευτών που θα δώσει ενέργεια σε τέτοιες έκτακτες περιπτώσεις (Zipp, 2015).



Εικόνα 2.3: Γραφική απεικόνιση διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος (Energy Informative, 2012)

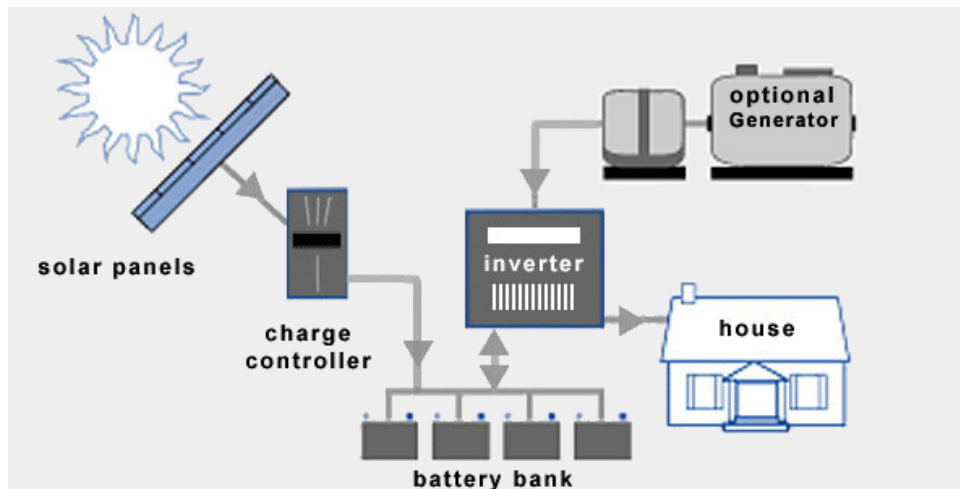
2.5.2 Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα

Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι ιδανικά για πελάτες που δεν μπορούν εύκολα να συνδεθούν στο δίκτυο. Αυτό μπορεί να οφείλεται στη γεωγραφική θέση ή στο υψηλό κόστος της τροφοδοσίας. Στις περισσότερες των περιπτώσεων, δεν έχει νόημα για κάποιον που έχει ήδη σύνδεση με το δίκτυο να αποσυνδεθεί εντελώς και να εγκαταστήσει ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα.

Τα οφέλη ενός αυτόνομου συστήματος είναι ότι ένα άτομο μπορεί να γίνει ενεργειακά ανεξάρτητο και να έχει τροφοδοσία με ενέργεια σε μέρη απομακρυσμένα από το δίκτυο. Θα έχει επίσης σταθερό ενεργειακό κόστος και δεν θα λάβει λογαριασμό από την κατανάλωση ενέργειας. Μια άλλη σημαντική πτυχή των αυτόνομων συστημάτων είναι ότι είναι αρθρωτά και μπορεί να γίνει αύξηση της παραγωγικής ικανότητας καθώς αυξάνονται οι ενεργειακές ανάγκες του πελάτη. Μπορεί δηλαδή κάποιος να ξεκινήσει με ένα μικρό, οικονομικό σύστημα και με την πάροδο του χρόνου να γίνουν προσθήκες και τροποποιήσεις ώστε να καλυφθούν οι νέες ενεργειακές απαιτήσεις.

Επειδή στην περίπτωση των αυτόνομων συστημάτων η ενέργεια δεν προέρχεται καθόλου από το δίκτυο, πολλά τέτοια συστήματα περιλαμβάνουν πολλαπλές πηγές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας όπως φωτοβολταϊκά, αιολικά αλλά και γεννήτρια. Πρέπει να γίνει ενδελεχής εξέταση των καιρικών συνθηκών και των συνθηκών κατά τη διάρκεια του έτους για το σχεδιασμό του συστήματος. Εάν οι ηλιακοί συλλέκτες παραδείγματος χάριν καλύπτονται από χιόνι το χειμώνα, πρέπει να υπάρχει εναλλακτική λύση για την φόρτιση των μπαταριών. Επίσης, πιθανότατα θα χρειαστεί να υπάρχει μια εφεδρική γεννήτρια για την περίπτωση που η ενέργεια από τις ανανεώσιμες πηγές δεν είναι αρκετή για τη φόρτιση των μπαταριών.

Ένα μειονέκτημα είναι ότι τα αυτόνομα συστήματα ενδέχεται να μην πληρούν τις προϋποθέσεις για να γίνουν δεκτά σε κρατικά προγράμματα παροχής κινήτρων για επενδύσεις στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Πρέπει επίσης να γίνει σχεδίαση του συστήματος ώστε να καλύπτει το 100% των ενεργειακών αναγκών του πελάτη, και ακόμα λίγο παραπάνω. Τα αυτόνομα συστήματα αποτελούνται από περισσότερα στοιχεία και είναι πιο ακριβά από ένα τυπικό διασυνδεδεμένο σύστημα (Zirp, 2015).



Εικόνα 2.4: Γραφική απεικόνιση αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος (Energy Informative, 2012)

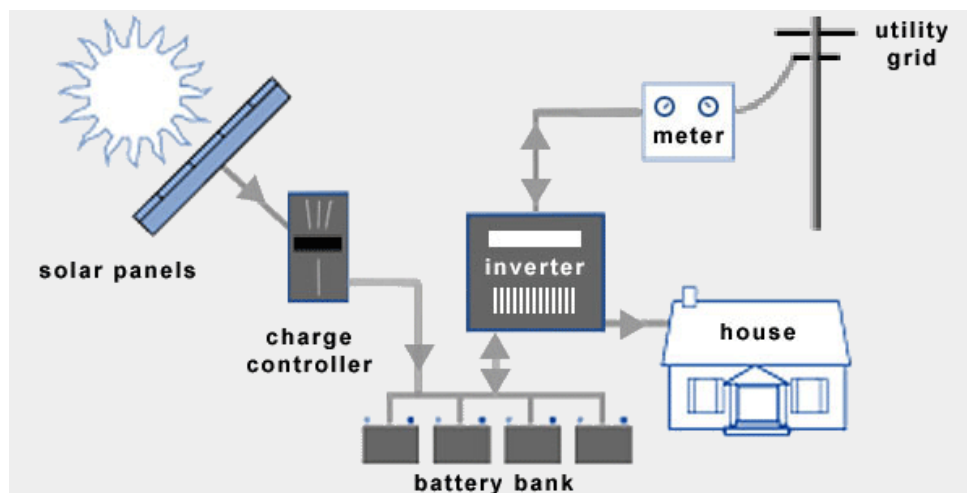
2.5.3 Υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα

Ο επόμενος τύπος συστήματος που υπάρχει είναι ένα σύστημα συνδεδεμένο με το δίκτυο με ταυτόχρονη σύνδεση εφεδρικού συστήματος συσσωρευτών, γνωστό και ως υβριδικό φωτοβολταϊκό σύστημα. Αυτός ο τύπος συστήματος είναι ιδανικός για πελάτες συνδεδεμένους με το δίκτυο, οι οποίοι θέλουν να έχουν την επιλογή εφεδρικού συστήματος μπαταριών. Κατάλληλοι υποψήφιοι για αυτό το είδος συστήματος είναι πελάτες που βρίσκονται σε περιοχές επιρρεπείς σε συχνές διακοπές ρεύματος, ή που γενικά θέλουν να είναι προετοιμασμένοι για διακοπές ρεύματος.

Τα πλεονεκτήματα των υβριδικών συστημάτων είναι πως οι πελάτες που τα επιλέγουν μπορούν να επωφεληθούν από τα θετικά και των διασυνδεδεμένων αλλά και των αυτόνομων συστημάτων. Αυτό συμβαίνει διότι υπάρχει σύνδεση με το δίκτυο που επιτρέπει να γίνει χρήση των κρατικών κινήτρων για επενδύσεις στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, μειώνοντας ταυτόχρονα το λογαριασμό του ηλεκτρικού ρεύματος. Την ίδια στιγμή, εάν υπάρχει κάποια διακοπή ρεύματος, γίνεται χρήση του εφεδρικού συστήματος μπαταριών και η εγκατάσταση εξακολουθεί να τροφοδοτείται με ενέργεια. Τα συστήματα που είναι συνδεδεμένα με το δίκτυο και που χρησιμοποιούν επίσης εφεδρικό σύστημα μπαταριών παρέχουν ενέργεια κατά τη διάρκεια μιας διακοπής λειτουργίας του δικτύου και μπορούν να αποθηκεύσουν ενέργεια για χρήση σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, ικανοποιώντας σημαντικά φορτία όπως είναι αυτά του φωτισμού και άλλων συσκευών. Επίσης η πλεονάζουσα ενέργεια που παράγεται τις ώρες με μεγάλη ηλιοφάνεια, αποθηκεύεται στο σύστημα συσσωρευτών για να γίνει χρήση της σε ώρες όταν η παραγωγή ενέργειας δεν επαρκεί.

Μειονέκτημα των υβριδικών συστημάτων είναι ότι κοστίζουν περισσότερο από τα απλά διασυνδεδεμένα και έχουν μικρότερο συντελεστή απόδοσης. Περιλαμβάνουν περισσότερα εξαρτήματα και χρειάζεται να γίνει προσεκτική σχεδίαση και διαστασιολόγηση του συστήματος προκειμένου να είναι αποδοτικό και να έχουμε τη μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας. Η προσθήκη των μπαταριών απαιτεί επίσης τη χρήση ελεγκτή φόρτισης για την προστασία τους. Πρέπει επίσης να τοποθετηθεί ένας δευτερεύων ηλεκτρικός πίνακας σε περιπτώσεις οικιακών ή επαγγελματικών εγκαταστάσεων, που θα περιέχει όλα εκείνα τα σημαντικά φορτία που πρέπει να λειτουργούν σε περίπτωση συσκότισης.

Όλα τα φορτία ενός σπιτιού ή μιας επιχείρησης δεν συνδέονται με το εφεδρικό σύστημα μπαταριών. Μόνο τα σημαντικά φορτία που απαιτούνται όταν το δίκτυο είναι εκτός λειτουργίας, απομονώνονται στο δευτερεύων εφεδρικό ηλεκτρικό πίνακα (Zipp, 2015).



Εικόνα 2.5: Γραφική απεικόνιση υβριδικού φωτοβολταϊκού συστήματος (Energy Informative, 2012)

2.6 Τα βασικά στοιχεία ενός υβριδικού φωτοβολταϊκού συστήματος

Μια τυπική υβριδική φωτοβολταϊκή εγκατάσταση αποτελείται από:

- Τα φωτοβολταϊκά πάνελ
- Την βάση στήριξης (σταθερή βάση ή ηλιακός ιχνηλάτης)
- Τους συσσωρευτές
- Τον ρυθμιστή φόρτισης
- Τον αντιστροφέα
- Την καλωδίωση
- Τις διακοπτικές διατάξεις

- Τον μετρητή ενέργειας

Στις επόμενες παραγράφους θα ακολουθήσει συνοπτική περιγραφή των βασικών αυτών στοιχείων από τα οποία αποτελείται μία υβριδική φωτοβολταϊκή εγκατάσταση. Στο Κεφάλαιο 3 γίνεται εκτενής αναφορά και ανάλυση της τεχνολογίας των συστημάτων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας (συσσωρευτών) που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση ενέργειας από φωτοβολταϊκά πάρκα.

2.7 Κατηγορίες φωτοβολταϊκών πάνελ

Υπάρχουν διάφορα είδη φωτοβολταϊκών πάνελ που κυκλοφορούν στο εμπόριο. Ανάλογα με τον τύπο φωτοβολταϊκών κυττάρων από τα οποία αποτελούνται, χωρίζονται σε κατηγορίες. Η κατασκευή των φωτοβολταϊκών κύτταρων μπορεί να γίνει με πολλούς και διαφορετικούς τρόπους από μια ποικιλία υλικών. Αυτό δεν διαφοροποιεί το έργο τους το οποίο είναι η συλλογή και η μετατροπή της ηλιακής σε ηλεκτρική ενέργεια. Προκειμένου να δημιουργηθεί μια φωτοβολταϊκή συστοιχία απαιτούνται πολλά ηλιακά πάνελ ενώ για την δημιουργία των πάνελ απαιτούνται πολλά ηλιακά κύτταρα. Σύνηθες υλικό για την κατασκευή των πάνελ αυτών είναι το πυρίτιο, ένα υλικό με ημιαγώγιμες ιδιότητες.

Υπάρχουν τρεις τύποι τεχνολογιών φωτοβολταϊκών κυττάρων που κυριαρχούν στην παγκόσμια αγορά: το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο, το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο και τα κύτταρα λεπτού υμενίου. Οι φωτοβολταϊκές τεχνολογίες υψηλότερης απόδοσης, συμπεριλαμβανομένων του αρσενιούχου γαλλίου και των κυττάρων πολλαπλών συνδέσμων, είναι λιγότερο συνηθισμένες λόγω του υψηλού κόστους τους, αλλά είναι ιδανικές για χρήση σε συγκεντρωτικά φωτοβολταϊκά συστήματα και διαστημικές εφαρμογές. Υπάρχει επίσης μια σειρά αναδυσόμενων τεχνολογιών φωτοβολταϊκών κυττάρων που περιλαμβάνουν τα κύτταρα Perovskite, τα οργανικά ηλιακά κύτταρα, ηλιακά κύτταρα ευαισθητοποιημένα με χρώματα και τις κβαντικές κουκίδες (Bethel Afework, 2018).

2.7.1 Φωτοβολταϊκά κύτταρα μονό-κρυσταλλικού πυριτίου

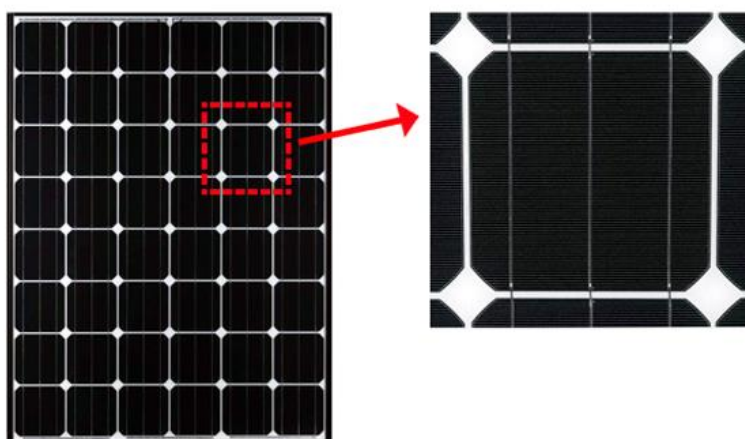
Τα μονοκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα (c-Si), που ονομάζονται επίσης και κύτταρα Czochralski, αναγνωρίζονται εύκολα από το χρώμα τους, αλλά αυτό που τα κάνει μοναδικά είναι ότι κατασκευάζονται από πολύ καθαρό τύπο πυριτίου. Στον κόσμο του πυριτίου, όσο πιο καθαρή και απαλλαγμένη από προσμίξεις είναι η αλληλουχία των μορίων, τόσο πιο αποδοτικό είναι το υλικό στο να μετατρέπει το ηλιακό φως σε ηλεκτρισμό. Στην πραγματικότητα, τα μονοκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα έχουν την υψηλότερη απόδοση από όλους τους τύπους ηλιακών κυττάρων. Η απόδοσή τους αγγίζει σε ποσοστό το 20%.

Τα μονοκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα κατασκευάζονται από τις λεγόμενους "ράβδους πυριτίου", σε κυλινδρικό σχήμα που βοηθά στη βελτιστοποίηση της απόδοσης. Ουσιαστικά, οι σχεδιαστές κόβουν τις τέσσερις ακμές από τις ράβδους για να φτιάξουν τις πλάκες πυριτίου που συνθέτουν τα μονοκρυσταλλικά πάνελ. Με αυτό τον τρόπο, τα πάνελ που αποτελούνται από μονοκρυσταλλικά κύτταρα έχουν στρογγυλεμένες ακμές αντί να είναι τετράγωνα, όπως άλλοι τύποι ηλιακών κυττάρων.

Πέραν του ότι είναι τα πιο αποτελεσματικά στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τα μονοκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα καταλαμβάνουν το λιγότερο χώρο. Αυτό είναι λογικό, αφού χρειάζονται λιγότερα κύτταρα ανά μονάδα αποδιδόμενης ηλεκτρικής ισχύος λόγω της υψηλότερης απόδοσής τους. Με τον τρόπο αυτό, οι ηλιακές συστοιχίες που αποτελούνται από μονοκρυσταλλικά κύτταρα καταλαμβάνουν το λιγότερο χώρο σε σχέση με την παραγόμενη ισχύ.

Τα μονοκρυσταλλικά κύτταρα, συγκριτικά με τους άλλους τύπους κυττάρων, έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και εξαιτίας αυτού του γεγονότος πολλοί κατασκευαστές προσφέρουν εγγύηση έως και 25 χρόνια για αυτά τα συστήματα.

Η υπεροχή των μονοκρυσταλλικών κυττάρων συνοδεύεται από ένα τίμημα - στην πραγματικότητα, τα ηλιακά πάνελ από μονοκρυσταλλικά κύτταρα είναι τα πιο ακριβά από όλα τα άλλα είδη πάνελ, επομένως από την άποψη της επένδυσης, τα πολυκρυσταλλικά και τα κύτταρα λεπτού υμενίου είναι συχνά η προτιμώμενη επιλογή από τους καταναλωτές. Ένας από τους λόγους που τα μονοκρυσταλλικά κύτταρα είναι τόσο ακριβά είναι ότι η διαδικασία κοπής των ακμών καταλήγει να σπαταλάει πολύ πυρίτιο, μερικές φορές περισσότερο από το μισό. Το χρώμα των κυττάρων μονοκρυσταλλικού πυριτίου είναι ως επί το πλείστον μαύρο (Alternative Energy, 2019).



Εικόνα 2.6: Φωτοβολταϊκό πλαίσιο και κύτταρο από μονοκρυσταλλικό πυρίτιο (Kyocera, 2014)

2.7.2 Φωτοβολταϊκά κύτταρα πολύ-κρυσταλλικού πυριτίου

Τα ηλιακά κύτταρα με βάση το πολυκρυσταλλικό πυριτίο (poly-Si) είναι παρόμοια με τα μονοκρυσταλλικά. Εφαρμόζεται η ίδια θεωρία. Η κύρια διαφορά είναι η διαδικασία κατασκευής που ακολουθείται. Τα κύτταρα πολυκρυσταλλικού πυριτίου κατασκευάζονται από καθαρό τετηγμένο πυριτίο σε μια τετράγωνη δεξαμενή. Η διαδικασία της ψύξης είναι πολύ σημαντική επειδή καθορίζει το μέγεθος των κόκκων και την κατανομή των προσμείξεων. Τα λαμβανόμενα πλινθώματα κόβονται σε ράβδους με διατομή 15,6 cm x 15,6 cm και συνέχεια οι ράβδοι κόβονται εγκάρσια για να σχηματιστούν λεπτές φέτες ηλιακών κυττάρων. Αυτή η διαδικασία κατασκευής δίνει ζωή σε μια κρυσταλλική δομή πολλαπλών κόκκων. Σε σύγκριση με το μονοκρυσταλλικό πυριτίο, αυτή η δομή είναι λιγότερο ιδανική με αποτέλεσμα την μείωση της απόδοσης του ηλιακού κυττάρου (περίπου 1% σε σύγκριση με το μονοκρυσταλλικό πυριτίο), αλλά αυτό το μειονέκτημα ξεπερνιέται με το χαμηλότερο κόστος των κυττάρων αυτής της τεχνολογίας. Ένα δεύτερο πλεονέκτημα είναι η διάταξη των φωτοβολταϊκών πλαισίων που είναι ουσιαστικά ορθογώνια, αντί "ψευδο-τετράγωνη" σε σύγκριση με αυτά του μονοκρυσταλλικού πυριτίου, έτσι ώστε να μπορούν να συσκευάζονται πολύ κοντά το ένα με το άλλο στα πάνελ, εξοικονομώντας χώρο. Το χρώμα του πολυκρυσταλλικού πυριτίου είναι μπλε (βλ. Εικόνα 2.7) λόγω της αδυναμίας απορρόφησης φωτονίων υψηλότερης ενέργειας. Στην πραγματικότητα, αυτά τα φωτόνια υψηλής ενέργειας από το ανώτερο μέρος του ορατού φάσματος ανακλώνται πίσω (Zimmer, 2019).



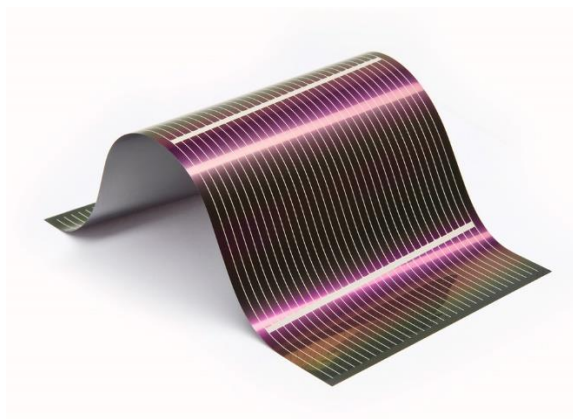
Εικόνα 2.7: Φωτοβολταϊκό πλαίσιο από πολυκρυσταλλικό πυριτίο (GSPV, 2019)

2.7.3 Φωτοβολταϊκά κύτταρα λεπτού υμενίου

Η κατασκευή κυττάρων από λεπτό υμένιο οδηγεί στη δημιουργία εύκαμπτων και ανθεκτικών κυττάρων. Ένας τέτοιος τύπος φωτοβολταϊκού κυττάρου λεπτού υμενίου (thin film) είναι το άμορφο πυριτίο (a-Si) το οποίο παράγεται με την εναπόθεση λεπτών στρώσεων πυριτίου σε ένα γυάλινο υπόστρωμα. Έτσι, δημιουργείται ένα πολύ λεπτό και εύκαμπτο κύτταρο που χρησιμοποιεί λιγότερο από το 1% του

πυριτίου που απαιτείται για ένα κρυσταλλικό κύτταρο. Γι' αυτό το λόγο, τα κύτταρα από άμορφο πυρίτιο κοστίζουν πολύ λιγότερο στην παραγωγή τους. Τα πλεονεκτήματά τους όμως αντισταθμίζονται από την χαμηλή απόδοση που έχουν εξαιτίας της έλλειψης «τάξης» των ατόμων πυριτίου συγκριτικά με τις κρυσταλλικές μορφές τους, που οδηγεί στην ύπαρξη «ανοικτών δεσμών» που συνδυάζονται με άλλα στοιχεία καθιστώντας τα ηλεκτρικά ανενεργά. Επιπρόσθετα, κατά τους πρώτους μήνες λειτουργίας τους και μέχρι να σταθεροποιηθούν, παρουσιάζουν πτώση απόδοσης κατά 20%, κάτι που έχει αντίκτυπο στην τιμή πώλησής τους καθώς αυτή διαμορφώνεται με τιμές ισχύος βάσει της υποβαθμισμένης απόδοσής τους.

Άλλοι τύποι κυττάρων λεπτού υμενίου περιλαμβάνουν συνδυασμούς ημιαγωγών όπως το αρσενιούχο γάλλιο (GaAs), τον δισεληνοϊνδιουχο χαλκό (CIS), τον δισεληνοϊνδιουχο χαλκό με πρόσμειξη γαλλίου (CIGS) και το τελουριούχο κάδμιο (CdTe). Οι αποδόσεις των προαναφερόμενων τύπων κυττάρων είναι μεν υψηλότερες από αυτές των κυττάρων άμορφου πυριτίου, εν τούτοις περιέχουν σπάνια και τοξικά στοιχεία, όπως το κάδμιο, που επιβάλλουν επιπρόσθετα μέτρα προφύλαξης κατά τη διαδικασία κατασκευής και ανακύκλωσής τους (Bethel Afework, 2018).



Εικόνα 2.8: Φωτοβολταϊκό κύτταρο λεπτού υμενίου τεχνολογίας CIGS (Material District Rotterdam, 2019)

Πίνακας 2.1: Συγκριτικός πίνακας που παρουσιάζει μερικές από τις κατηγορίες ηλιακών πάνελ (Green Match, 2019)

Solar Cell Type	Efficiency-Rate	Advantages	Disadvantages
Monocrystalline Solar Panels (Mono-Si)	~20%	High efficiency rate; optimised for commercial use; high life-time value	Expensive
Polycrystalline Solar Panels (p-Si)	~15%	Lower price	Sensitive to high temperatures; lower lifespan & slightly less space efficiency
Thin-Film: Amorphous Silicon Solar Panels (A-Si)	~7-10%	Relatively low costs; easy to produce & flexible	shorter warranties & lifespan
Concentrated PV Cell (CVP)	~41%	Very high performance & efficiency rate	Solar tracker & cooling system needed (to reach high efficiency rate)

2.8 Τρόποι στήριξης φωτοβολταϊκών πάνελ

Τα φωτοβολταϊκά (Φ/Β) πάνελ συνήθως εδράζονται επί εδάφους με δύο τρόπους (Στεργιόπουλος, 2011):

1. Σε βάσεις σταθερής κλίσης ως προς την οριζόντιο, συνήθως αναφερόμενες ως «σταθερές βάσεις».
2. Σε βάσεις επί διατάξεων παρακολούθησης της πορείας του ήλιου, αναφερόμενες συνήθως ως συστήματα ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου, ή ηλιοπαρακολουθητές ή τράκερς (trackers).

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά των ως άνω τρόπων έδρασης.

2.8.1 Σταθερές βάσεις

Οι σταθερές βάσεις αποτελούν τον απλούστερο και οικονομικότερο τρόπο έδρασης φωτοβολταϊκών πάνελ. Η αρχή σχεδιασμού τους είναι απλή: οι ακτίνες του ήλιου θα πρέπει να προσπίπτουν κάθετα στην επιφάνεια των πάνελ κατά το μεσημέρι. Έτσι οι βάσεις κατασκευάζονται ώστε να επιτρέπουν την τοποθέτηση των πάνελ σε σταθερή κλίση, περί τις 30 μοίρες. Η κλίση αυτή θεωρείται ως μία ικανοποιητική μέση τιμή για τα ελληνικά δεδομένα. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η ιδανική κλίση είναι αρκετά μικρότερη κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και αρκετά μεγαλύτερη κατά τους χειμερινούς μήνες.

Οι σταθερές βάσεις κατασκευάζονται συνήθως από αλουμίνιο ή ανοξείδωτο χάλυβα (χάλυβα γαλβανισμένο εν θερμώ). Συνήθως κατασκευάζονται μετά από τεχνική μελέτη ώστε να διαπιστωθεί η στατική τους επάρκεια και η αντοχή τους σε ανεμοπιέσεις ή φορτία χιονιού.

Οι βάσεις τοποθετούνται επί του εδάφους είτε με σκυροδέτηση είτε απευθείας με εδαφόμψη. Η σκυροδέτηση των βάσεων γίνεται συνήθως σε δοκάρι (δηλαδή σε όλη τη σειρά των βάσεων) από οπλισμένο σκυρόδεμα, είτε σε πέλματα από σκυρόδεμα, τοποθετημένα κατάλληλα ώστε να επιτρέπουν το βίδωμα των υποδοχών των βάσεων. Η εδαφόμψη γίνεται συνήθως σε βάθη τυπικά του 0,5-1,5 μέτρα, όπου τοποθετούνται πάσσαλοι, επί των οποίων στη συνέχεια εδράζεται η βάση.

Η σκυροδέτηση των βάσεων αυξάνει το κόστος εγκατάστασης σε σχέση με την απλή εδαφόμψη. Ωστόσο, συστήνεται να διενεργείται αυτοψία και γεωτεχνική μελέτη για να διαπιστωθεί κατά πόσο ο τύπος του εδάφους επιτρέπει την εδαφόμψη χωρίς να δημιουργούνται θέματα στατικής επάρκειας των βάσεων.

Προσοχή πρέπει να δίνεται στη χρήση παρελκόμενων υλικών όπως βίδες ή σύνδεσμοι Φ/Β πάνελ, καθώς θα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα για την αποφυγή οξειδώσεων ή ηλεκτρόλυσης. Θα πρέπει επίσης να λαμβάνεται μέριμνα για τη δυνατότητα όδευσης καλωδίων καθώς και για τη στήριξη πινάκων ή αντιστροφών, σε περίπτωση που τεχνικά διαπιστωθεί ότι αυτή είναι η βέλτιστη λύση.

Οι σταθερές βάσεις αποτελούνται συνήθως από τεμάχια τα οποία συναρμολογούνται επί τω έργω. Κάθε τεμάχιο χαρακτηρίζεται από τη μέγιστη επιφάνεια τοποθέτησης, η οποία συνήθως υπολογίζεται λαμβάνοντας κάποιες μέσες τιμές διαστάσεων πάνελ (τυπικά 1,6 x 1 μέτρο για κρυσταλλικά πάνελ). Τα πάνελ μπορούν να τοποθετηθούν ανά απλή (μονή) σειρά ή (συνηθέστερα) σε διπλή σειρά ή ακόμη και σε τριπλή ή τετραπλή σειρά. Επίσης είναι δυνατή η τοποθέτηση τους είτε κατά τη μικρή διάσταση (portrait) είτε κατά τη μεγάλη διάσταση (landscape). Η ακριβής χωροθέτηση εξαρτάται από τη μορφολογία του διαθέσιμου χώρου εγκατάστασης και τις διαστάσεις αυτού (Στεργιόπουλος, 2011).

Οι επόμενες φωτογραφίες παρουσιάζουν ενδεικτικά κάποιες σταθερές βάσεις.



Εικόνα 2.9: Έδραση φωτοβολταϊκών με εδαφόμψη (Industrias Duero, 2019)



Εικόνα 2.10: Έδραση φωτοβολταϊκών σε δοκάρι από οπλισμένο σκυρόδεμα (Blog, 2017)



Εικόνα 2.11: Έδραση φωτοβολταϊκών σε πέλματα από σκυρόδεμα (Elite, 2019)

2.8.2 Συστήματα ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου

Οι ηλιακοί ιχνηλάτες στρέφουν τα ηλιακά πάνελ ή τα πλαίσια προς τον ήλιο. Με τη χρήση αυτών των συστημάτων, ακολουθούν την πορεία του ήλιου και συλλαμβάνουν την μέγιστη ποσότητα ηλιακής ενέργειας που μπορούν.

Στα φωτοβολταϊκά συστήματα, οι ιχνηλάτες συμβάλλουν στην ελαχιστοποίηση της γωνίας πρόσπτωσης (η γωνία που σχηματίζει η προσπίπτουσα ακτίνα φωτός με την κάθετη στην επιφάνεια) μεταξύ της προσπίπτουσας δέσμης φωτός και του πάνελ, γεγονός που αυξάνει την ποσότητα ενέργειας που παράγει η εγκατάσταση. Τα συγκεντρωτικά φωτοβολταϊκά και τα ηλιοθερμικά διαθέτουν οπτικά συστήματα που εκμεταλλεύονται την άμεση ηλιακή ακτινοβολία (DNI), οπότε οι ηλιακοί ιχνηλάτες πρέπει να τοποθετούνται σωστά ώστε να συλλέγουν τη μέγιστη δυνατή ποσότητα ενέργειας. Όλα τα συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα έχουν ιχνηλάτες επειδή αυτά τα συστήματα δεν παράγουν ενέργεια εκτός και εάν έχουν τοποθετηθεί σωστά απέναντι στον ήλιο (Zipp, 2013).

Τα συστήματα ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου, ή ηλιοπαρακολουθητές ή τράκερ (tracker) χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη πολυπλοκότητα σε σχέση με τα συστήματα βάσεων, παρέχοντας ωστόσο αυξημένες αποδόσεις, κατά μέσο όρο της τάξης του 30%. Χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες (Στεργιόπουλος, 2011):

1. Συστήματα μονού άξονα (single axis): πρόκειται για συστήματα στα οποία λαμβάνει χώρα κίνηση των πάνελ σε έναν άξονα, αυτόν της Ανατολής-Δύσης κατά τη διάρκεια μίας μέρας. Τυπικά, τα συστήματα αυτά επιτυγχάνουν αύξηση της παραγωγής κατά 20-25% σε σχέση με τα συστήματα σταθερών βάσεων.
2. Συστήματα διπλού άξονα (dual axis): πρόκειται για συστήματα στα οποία είναι επιπλέον δυνατή η ρύθμιση της κλίσης των πάνελ ως προς την οριζόντιο. Η επιπλέον αυτή δυνατότητα παρέχει αυξημένη απόδοση κατά τυπικά 25-40% σε σχέση με τα συστήματα σταθερών βάσεων.

Οι ηλιακοί ιχνηλάτες μονού άξονα περιστρέφονται σε έναν άξονα που κινείται προς τα εμπρός και προς τα πίσω σε μία μόνο κατεύθυνση. Διάφορες κατηγορίες ιχνηλατών μονού άξονα περιλαμβάνουν οριζόντια, κάθετη, κεκλιμένη και πολική ευθυγράμμιση. Οι ιχνηλάτες διπλού άξονα είναι στραμμένοι συνεχώς προς τον ήλιο επειδή μπορούν να κινούνται σε δύο διαφορετικές κατευθύνσεις. Τα συστήματα παρακολούθησης διπλού άξονα χρησιμοποιούνται συνήθως για τον προσανατολισμό ενός καθρέφτη και την ανακατεύθυνση του ηλιακού φωτός κατά μήκος ενός σταθερού άξονα προς έναν σταθερό δέκτη. Αυτή η κατακόρυφη και οριζόντια ακολουθία του ήλιου προσφέρει τη μέγιστη παραγωγή ηλιακής ενέργειας.

Υπάρχουν επίσης διάφορες μέθοδοι «οδήγησης» ηλιακών ιχνηλατών. Οι παθητικοί ιχνηλάτες στρέφονται από ένα πεπιεσμένο αέριο που κινείται προς τη μία ή την άλλη πλευρά. Οι κινητήρες και οι μηχανισμοί κινούν τους ενεργητικούς ηλιακούς ιχνηλάτες με τη βοήθεια ενός ελεγκτή που ανταποκρίνεται στην κατεύθυνση του ήλιου. Τέλος,

ένας χρονολογικός ιχνηλάτης «αντιτίθεται» την περιστροφή της Γης στρέφοντας το φωτοβολταϊκό πάνελ προς την αντίθετη κατεύθυνση.

Η επιλογή ενός ηλιακού ιχνηλάτη εξαρτάται από το μέγεθος του συστήματος, την τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος, τοπογραφικούς παράγοντες, τα κυβερνητικά κίνητρα, το γεωγραφικό πλάτος και τον καιρό. Σε μεγάλης κλίμακας έργα καθώς και σε έργα κοινής ωφέλειας, χρησιμοποιούνται συνήθως ηλιακοί ιχνηλάτες μονού οριζοντίου άξονα, ενώ οι ιχνηλάτες διπλού άξονα χρησιμοποιούνται κυρίως σε μικρότερες οικιστικές εφαρμογές και σε χώρες με υψηλές τιμές τροφοδοσίας στο δίκτυο (feed-in-tariffs). Οι ιχνηλάτες κάθετου άξονα είναι κατάλληλοι για μεγάλα γεωγραφικά πλάτη λόγω των σταθερών ή ρυθμιζόμενων γωνιών τους.

Η χρήση ηλιακών ιχνηλατών μπορεί να αυξήσει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κατά περίπου ένα τρίτο, ενώ σε ορισμένες περιοχές μπορεί να φθάσει και το 40%, συγκριτικά με πάνελ με σταθερή έδραση. Σε οποιαδήποτε ηλιακή εφαρμογή, η απόδοση βελτιώνεται όταν τα πάνελ ρυθμίζονται συνεχώς στη βέλτιστη γωνία καθώς ο ήλιος διασχίζει τον ουρανό. Καθώς η βελτιωμένη απόδοση σημαίνει περισσότερη παραγωγή ενέργειας, η χρήση των ιχνηλατών μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλη αύξηση του εισοδήματος από μια εγκατάσταση μεγάλης κλίμακας. Αυτός είναι και ο λόγος που σε τέτοια έργα όλο και πιο συχνά γίνεται χρήση ηλιακών ιχνηλατών.

Στα μειονεκτήματα της χρήσης ηλιακών ιχνηλατών συγκαταλέγονται η χρήση επιπλέον εξοπλισμού και συστημάτων, κινούμενων μερών και μηχανισμών, τα οποία απαιτούν τακτική συντήρηση και επισκευή ή αντικατάσταση των σπασμένων εξαρτημάτων. Επιπλέον, σε περίπτωση σπασίματος ενός συστήματος ηλιακού ιχνηλάτη μπορεί να προκύψει μεγάλη απώλεια παραγωγής έως ότου τεθεί εκ νέου σε λειτουργία εάν οι ηλιακοί συλλέκτες βρίσκονται σε ακραία γωνία. Ένας ηλιακός ιχνηλάτης είναι επίσης πιο επιρρεπής στην εμφάνιση βλαβών λόγω έντονων καιρικών φαινομένων από τα πάνελ με σταθερή βάση στήριξης.

Ένα ακόμα σημαντικό θέμα που προκύπτει από την επιλογή των ηλιακών ιχνηλατών είναι η αύξηση του κόστους κεφαλαίου της επένδυσης σε σχέση με τα αντίστοιχα φωτοβολταϊκά συστήματα των σταθερών βάσεων στήριξης καθώς εμπεριέχουν πιο περίπλοκη τεχνολογία και κινούμενα μέρη που είναι απαραίτητα για τη λειτουργία τους. Υπάρχει επίσης πρόβλημα με τις εγγυήσεις. Ένα ηλιακό σύστημα σταθερής βάσης με διάρκεια ζωής 30 χρόνια, συνήθως έχει 25 χρόνια εγγύηση ισχύος. Αλλά ένα ηλιακό σύστημα με ηλιοπαρακολουθητές έχει εγγύηση μόνο 5 έως 10 ετών (Zirp, 2013).



Εικόνα 2.12: Φωτοβολταϊκό πάνελ με ηλιακό ιχνηλάτη μονού οριζοντίου άξονα (Deger, 2019)



Εικόνα 2.13: Φωτοβολταϊκό πάνελ με ηλιακό ιχνηλάτη διπλού άξονα (ACES, 2019)

2.9 Ο ρυθμιστής φόρτισης

Ο ρυθμιστής φόρτισης (charge controller) είναι μια συσκευή που εμποδίζει την υπερφόρτιση και την υπερεκφόρτιση των ηλιακών μπαταριών. Ένα από τα συνηθέστερα προβλήματα με τις μπαταρίες είναι ότι δεν μπορούν να εκφορτιστούν υπερβολικά ή να επαναφορτίζονται πολύ συχνά. Ένας ρυθμιστής φόρτισης ελέγχει τη φόρτιση διαχειριζόμενος κατάλληλα την τάση και το ρεύμα της μπαταρίας.

Οι ρυθμιστές φόρτισης προορίζονται για την προστασία της μπαταρίας, δίνοντάς της όσο το δυνατόν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, διατηρώντας παράλληλα την απόδοση

του φωτοβολταϊκού συστήματος. Ελέγχουν μόνο τα φορτία συνεχούς ρεύματος. Τα φορτία εναλλασσόμενου ρεύματος ελέγχονται (και αποσυνδέονται, αν χρειαστεί) από τον αντιστροφέα.

Οι βασικές λειτουργίες των ρυθμιστών φόρτισης είναι (Pop, 2019):

- Προστασία της μπαταρίας από υπερφόρτιση περιορίζοντας την τάση φόρτισης.
- Προστασία της μπαταρίας από βαθιά ή/και ανεπιθύμητη εκφόρτιση. Ο ρυθμιστής φόρτισης αποσυνδέει αυτόματα τα φορτία από την μπαταρία όταν η τάση της μπαταρίας πέσει κάτω από ένα συγκεκριμένο «βάθος» εκφόρτισης
- Δεν επιτρέπει την εισροή του ανάστροφου ρεύματος από τις μπαταρίες προς τα φωτοβολταϊκά πάνελ κατά τη διάρκεια της νύχτας.
- Παροχή πληροφοριών σχετικά με την κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας.

Οι κύριοι τύποι ρυθμιστών φόρτισης που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι αυτοί της ρύθμισης του πλάτους του παλμού ή PWM (Pulse Width Modulation) και αυτοί της παρακολούθησης του σημείου μέγιστης ισχύος ή MPPT (Maximum Power Point Tracking). Οι ρυθμιστές φόρτισης MPPT είναι ακριβότεροι αλλά μπορούν να ενισχύσουν την απόδοση της φωτοβολταϊκής συστοιχίας. Οι ελεγκτές φόρτισης PWM είναι λιγότερο δαπανηροί και μπορούν να παρατείνουν τον κύκλο ζωής του συστήματος μπαταριών σε βάρος της απόδοσης των ηλιακών συλλεκτών που λειτουργούν σε σημείο μικρότερο από αυτό της μέγιστης ισχύος, χαμηλότερο από αυτό στην περίπτωση των ρυθμιστών φόρτισης MPPT. Παρόμοια με τους αντιστροφείς, οι ρυθμιστές φόρτισης έχουν διάρκεια ζωής περίπου 15 έτη.

Η επιλογή του κατάλληλου ρυθμιστή φόρτισης είναι πολύ σημαντική και πρέπει να γίνεται με προσοχή καθώς λάθος επιλογή μπορεί να οδηγήσει σε μια σειρά προβλημάτων. Το φωτοβολταϊκό σύστημα μπορεί να έχει μικρότερη απόδοση από την προβλεπόμενη ή να μην λειτουργήσει καθόλου. Το χειρότερο, ωστόσο, είναι ότι άλλα εξαρτήματα του συστήματος μπορεί να υποστούν ζημιά. Επομένως, η επιλογή του ρυθμιστή φόρτισης δεν πρέπει να υποτιμάται. Το είδος του ρυθμιστή φόρτισης που θα επιλεγεί εξαρτάται από την κάθε περίπτωση και είναι μια ανταλλαγή μεταξύ της απόδοσης του φωτοβολταϊκού συστήματος και της παράτασης της διάρκειας ζωής των μπαταριών.

2.10 Αντιστροφείς

Με τον όρο αντιστροφέα (inverter) νοείται η διάταξη ηλεκτρονικών ισχύος η οποία μετατρέπει τη συνεχή τάση των φωτοβολταϊκών πάνελ σε εναλλασσόμενη ονομαστικών τιμών 230 V (ανά φάση) /50 Hz. Οι αντιστροφείς παίζουν καθοριστικό ρόλο σε μία φωτοβολταϊκή εγκατάσταση καθώς δια μέσου αυτών η παραγόμενη ενέργεια διοχετεύεται στο δίκτυο. Επομένως πρέπει να χαρακτηρίζονται από υψηλή απόδοση και αξιοπιστία.

Η ΔΕΗ, αναγνωρίζοντας το σημαντικό ρόλο των αντιστροφών σε ένα διασυνδεδεμένο σύστημα θέτει συγκεκριμένες προδιαγραφές για αυτούς απαιτώντας την ύπαρξη σχετικών πιστοποιητικών. Επιπλέον κατά τη φάση παραλαβής του έργου, οι αντιστροφείς υποβάλλονται σε έλεγχο για να διαπιστωθεί κατά πόσο τηρούνται αυτές οι προδιαγραφές. Οι προδιαγραφές αυτές αφορούν (Στεργιόπουλος, 2011):

1. Την τάση και τη συχνότητα των αντιστροφών: Οι προεπιλεγμένες τιμές ρυθμίσεων προστασιών ορίων τάσης και συχνότητας είναι από -20% έως +15% και $\pm 0,5$ Hz αντίστοιχα για σταθμούς στο διασυνδεδεμένο σύστημα και από -20% έως +15% και από 47,5 Hz έως 51 Hz για σταθμούς σε μη διασυνδεδεμένα νησιά. Σε περίπτωση ενεργοποίησης των παραπάνω προστασιών ο χρόνος αποσύνδεσης θα πρέπει να είναι μικρότερος από 0,5 sec και ο χρόνος επανασύζευξης τουλάχιστον 3 λεπτά.
2. Η Ολική Αρμονική Παραμόρφωση (Total Harmonic Distortion-THD) του ρεύματος των αντιστροφών δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 5%. Ο συντελεστής THD ορίζεται ως:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1}$$

όπου I_1 είναι η ενεργός τιμή του ρεύματος στη θεμελιώδη συχνότητα και I_h η ενεργός τιμή της αρμονικής ρεύματος τάξης h και συχνότητας $50 \times h$ Hz.

3. Εφόσον οι αντιστροφείς δε διαθέτουν μετασχηματιστή απομόνωσης η έγχυση συνεχούς ρεύματος (dc injection current) δεν θα πρέπει να ξεπερνά το 0,5% του ονομαστικού ρεύματος.
4. Προστασία έναντι του φαινομένου νησιδοποίησης (islanding) κατά το πρότυπο VDE 0126.

Οι αντιστροφείς των διασυνδεδεμένων συστημάτων διαχωρίζονται ανάλογα με το είδος της τάσης που παράγουν σε:

1. Μονοφασικούς αντιστροφείς, με τυπικά μεγέθη ισχύος έως 10-11 kW.
2. Τριφασικούς αντιστροφείς, με μεγέθη ισχύος από 6-7 kW έως και 1 MW.

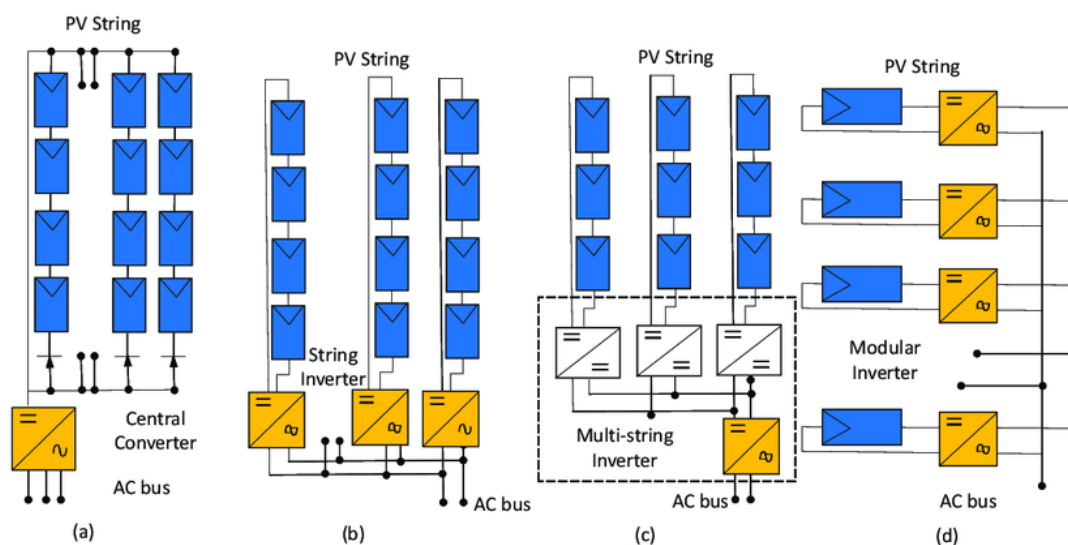
Η ΔΕΗ επιβάλλει τη σύνδεση των αντιστροφών σε τριφασικό σύστημα για εγκαταστάσεις άνω των 5 kW, ενώ εγκαταστάσεις άνω των 100 kW συνδέονται υποχρεωτικά στο δίκτυο Μέσης Τάσης (MT) της ΔΕΗ.

Οι αντιστροφείς ανάλογα με το αν χρησιμοποιούν μετασχηματιστή για γαλβανική απομόνωση (χαμηλής ή υψηλής συχνότητας) ανάμεσα στην DC είσοδο και την AC έξοδο χωρίζονται σε:

1. Αντιστροφείς με μετασχηματιστή (inverters with transformer)
2. Αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή (transformerless (TL) inverters)

Επιπλέον, ανάλογα της τεχνολογίας διασύνδεσης των φωτοβολταϊκών πάνελ που χρησιμοποιείται οι αντιστροφείς χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

1. Κεντρικοί αντιστροφείς (central inverters)
2. Αντιστροφείς κλάδων (string inverters)
3. Αντιστροφείς πολλαπλών κλάδων (multi-string inverters)
4. Αντιστροφείς με ενσωμάτωση σε φωτοβολταϊκά πάνελ (module integrated inverters).



Εικόνα 2.14: Οικογένειες αντιστροφέων που χρησιμοποιούνται στα φωτοβολταϊκά συστήματα και η σύνδεσή τους με το δίκτυο (Mohammad Aslam Khan, 2016)

2.11 Οι καλωδιώσεις

Η ηλεκτρολογική εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος απαιτεί τη χρήση καλωδίων DC και AC. DC καλώδια χρησιμοποιούνται για τη διασύνδεση των πάνελ μεταξύ τους και για τη σύνδεση των κλάδων/στοιχειοσειρών (string) με τις εισόδους του αντιστροφέα ενώ AC καλώδια ισχύος, συμβατικού τύπου, χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση των αντιστροφέων σε τριφασικό σύστημα και την τελική σύνδεση με τη ΔΕΗ.

Τα καλώδια που χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση εν σειρά των φωτοβολταϊκών πάνελ είναι συνήθως κατασκευασμένα για χρήση σε εξωτερικό χώρο. Η διατομή τους είναι συνήθως 4 mm² για πάνελ κρυσταλλικού πυριτίου και ακόμη μικρότερη (της τάξης του 1,5 mm²) για πάνελ άμορφου πυριτίου, λόγω του σημαντικά μικρότερου ρεύματός τους. Τα καλώδια αυτά είναι συνήθως μονοπολικά και με διπλή μόνωση, ώστε να αποφεύγονται σφάλματα μεταξύ του θετικού και του αρνητικού πόλου των φωτοβολταϊκών πάνελ ή σφάλματα γης. Κατασκευάζονται επίσης πολύκλινα ώστε

να διαθέτουν την απαραίτητη ευελιξία για τη σύνδεση τους, ενώ το μήκος τους κυμαίνεται γύρω στο 1 μέτρο.

Το συχνά χρησιμοποιούμενο καλώδιο με μόνωση λάστιχου και μανδύα από νεοπρένιο τύπου H07 RN-F, στην τυπική (standard) έκδοση του επιτρέπεται σε θερμοκρασίες έως 60°C και έτσι είναι κατάλληλο για χρήση σε φωτοβολταϊκά συστήματα σε περιορισμένο εύρος. Για το σκοπό αυτό οι κατασκευαστές προχώρησαν στη δημιουργία ειδικών καλωδίων για φωτοβολταϊκές εφαρμογές (solar cables). Τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους είναι ότι είναι ανθεκτικά στις καιρικές συνθήκες και σε υπεριώδη (UV) ακτινοβολία με μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών (της τάξης από -55°C έως 125°C). Επιπλέον κάποιοι κατασκευαστές προσφέρουν καλώδια με μεταλλικό πλέγμα για μεγαλύτερη προστασία από τα τρωκτικά και καλύτερη προστασία από υπερτάσεις.

Οι διατομές των DC καλωδίων που χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση των φωτοβολταϊκών πάνελ με τους αντιστροφείς κυμαίνονται συνήθως από 4-16 mm². Ο ακριβής προσδιορισμός της διατομής εξαρτάται κυρίως από τις απώλειες του καλωδίου και όχι ιδιαίτερα από τη θερμική φόρτιση η οποία είναι μικρή, λόγω του μικρού σχετικά ρεύματος λειτουργίας των φωτοβολταϊκών πάνελ. Έτσι, με δεδομένη την γραμμική αύξηση των απωλειών με το μήκος των καλωδίων, είναι απαραίτητο να γίνεται υπολογισμός απωλειών, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις αποστάσεων αρκετών δεκάδων μέτρων, λαμβάνοντας υπόψη και την αντίσταση των καλωδίων. Κρίνεται επίσης σκόπιμο να χρησιμοποιούνται διαφορετικοί χρωματισμοί καλωδίων για το θετικό και αρνητικό, συνήθως κόκκινο και μαύρο.

Είναι δυνατόν επίσης να χρησιμοποιηθούν και μεγαλύτερες διατομές DC καλωδίων της τάξης των 25-70 mm², όταν δεν επαρκεί ο αριθμός των εισόδων ενός αντιστροφέα για την απευθείας σύνδεση όλων των επιμέρους DC καλωδίων των κλάδων. Αυτό είναι αρκετά συνηθισμένο κυρίως σε κεντρικούς αντιστροφείς (της τάξης ονομαστικής ισχύος των 100 kW και άνω). Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται κατάλληλα κιτία τα οποία ομαδοποιούν πολλά ζεύγη καλωδίων κλάδων σε ένα ζεύγος. Τα κιτία αυτά είναι επίσης συνήθως εφοδιασμένα με απαγωγείς υπερτάσεων και DC διακόπτες φορτίου. Ακόμα, μπορεί να διαθέτουν και διατάξεις επιτήρησης κλάδων (string monitoring) ώστε να δίνεται πληροφορία στον αντιστροφέα και στο σύστημα εποπτείας για τη δυσλειτουργία ενός κλάδου. Τότε, πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν για τον υπολογισμό της διατομής, πέραν των απωλειών, και το θερμικό φορτίο, λόγω του παραλληλισμού σημαντικού αριθμού κλάδων.

Αναφορικά με τα καλώδια του εναλλασσομένου ρεύματος (AC) χρησιμοποιούνται οι συμβατικοί τύπου καλωδίων (π.χ. NYY, NYM, NYCWY) εφαρμόζοντας τις συνήθεις πρακτικές της ηλεκτροτεχνίας αναφορικά με τον υπολογισμό της διατομής τους, τον τρόπο τοποθέτησης και την προστασία τους (Στεργιόπουλος, 2011).

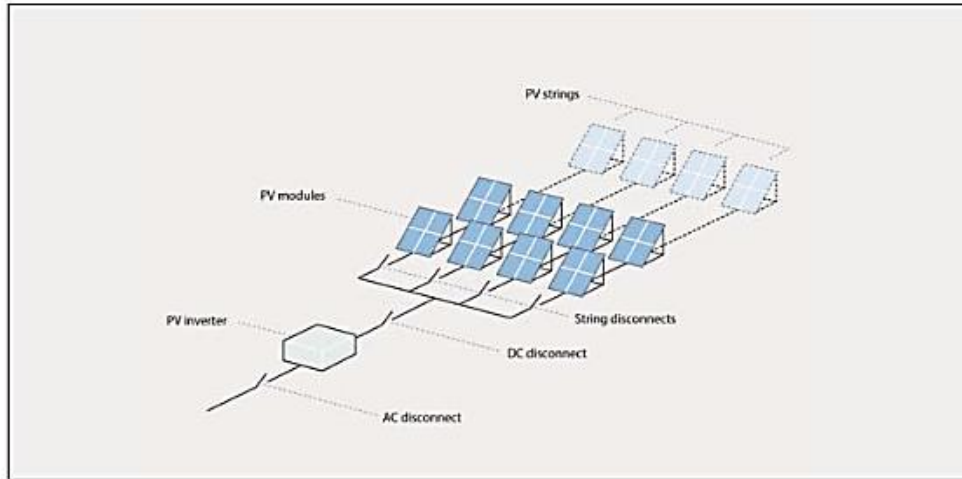
2.12 Οι διακοπτικές διατάξεις

Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα έχει συνήθως δύο διακοπτικές διατάξεις ασφαλείας. Η πρώτη είναι ο φωτοβολταϊκός διακόπτης (ή DC διακόπτης). Ο φωτοβολταϊκός διακόπτης επιτρέπει τη διακοπή του συνεχούς ρεύματος μεταξύ των πάνελ και του αντιστροφέα (Fox, 2011). Αυτός ο διακόπτης είναι απαραίτητος κατά τη διάρκεια της κατασκευής του έργου, προγραμματισμένης συντήρησης ή εκτάκτων επισκευών τυχών βλαβών που έχουν προκύψει όταν είναι αναγκαία η απομόνωση των πάνελ από την υπόλοιπη εγκατάσταση εναλλασσόμενου ρεύματος για αυτό και τοποθετείται μεταξύ της φωτοβολταϊκής γεννήτριας και του αντιστροφέα (Weimar, 2018).

Είναι ένας βασικός διακόπτης ασφαλείας και είναι υποχρεωτικός σε κάθε φωτοβολταϊκό σύστημα σύμφωνα με το IEC 60364-7-712. Ο DC διακόπτης μπορεί να είναι μονοπολικός ή διπολικός. Ένας μονοπολικός διακόπτης χρησιμοποιείται όταν μία γειωμένη φωτοβολταϊκή συστοιχία πρόκειται να τροφοδοτήσει έναν αντιστροφέα με μετασχηματιστή (ο αντιστροφέας τροφοδοτεί το δίκτυο μέσω ενός μετασχηματιστή απομόνωσης). Όταν μία μη-γειωμένη συστοιχία πρόκειται να τροφοδοτήσει έναν αντιστροφέα χωρίς μετασχηματιστή, απαιτείται διπολικός διακόπτης (Weimar, 2018).

Ο DC διακόπτης πρέπει να είναι βαθμονομημένος ώστε να μπορεί να διακόψει τάση κατά προσέγγιση 20% πάνω από την τάση ανοικτού κυκλώματος και ρεύμα κατά 25% πάνω από το ρεύμα βραχυκύκλωσης της φωτοβολταϊκής συστοιχίας. Αυτό τα περιθώρια θεωρούνται απαραίτητα επειδή η διακοπή ενός DC κυκλώματος είναι πιο δύσκολη από τη διακοπή του αντίστοιχου AC (Weimar, 2018).

Η δεύτερη διακοπτική διάταξη που υπάρχει σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα είναι ο AC διακόπτης. Ο AC διακόπτης χρησιμοποιείται για την απομόνωση του αντιστροφέα από το ηλεκτρικό δίκτυο. Η τοποθέτησή του σε συνδυασμό με αυτή του DC διακόπτη είναι απαραίτητη γιατί επιτρέπει την ηλεκτρική απομόνωση του αντιστροφέα για συντήρησή του ή αντικατάστασή του (Weimar, 2018). Σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα, ο AC διακόπτης είναι συνήθως τοποθετημένος στον τοίχο μεταξύ του αντιστροφέα και του μετρητή ενέργειας του παρόχου. Ο AC διακόπτης μπορεί να είναι ενσωματωμένος στον ηλεκτρολογικό πίνακα αλλά αυτό δεν είναι απαραίτητο. Διαστασιολογείται βάσει του ρεύματος εξόδου του αντιστροφέα (Fox, 2011).



Εικόνα 2.15: Φωτοβολταϊκή συστοιχία και η θέση των διακοπτικών διατάξεων (ABB, 2012)

2.13 Ο μετρητής ενέργειας

Οι μετρητές ενέργειας (solar meters) είναι διατάξεις που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της παραγωγής kWh από ένα φωτοβολταϊκό σύστημα. Μετράνε την παραγωγή ενέργειας και την τοπική κατανάλωση ενέργειας για να παρακολουθούν και να αναλύουν την απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος. Περιλαμβάνουν συχνά μια λειτουργία παρακολούθησης για να ειδοποιούν τους ιδιοκτήτες των εγκαταστάσεων για τα προβλήματα επίδοσης της φωτοβολταϊκών, επιτρέποντάς τους να επιλύουν γρήγορα τυχόν θέματα και να μεγιστοποιούν την απόδοση της επένδυσης. Τα δεδομένα αυτά μεταφέρονται σε μια πλατφόρμα παρακολούθησης, η οποία παρέχει μια συνοπτική παρουσίαση των αποδόσεων των φωτοβολταϊκών, της οικονομικής αποταμίευσης και της απόδοσης της εγκατάστασης.

Οι μετρητές ενέργειας καταγράφουν τις μετρήσεις ηλεκτρικής ενέργειας με ενσωματωμένους μετασχηματιστές ρεύματος (current transformers). Μπορούν να ελεγχθούν μέσω κινητών τηλεφώνων, γεγονός που επιτρέπει αξιόπιστη επικοινωνία από την εγκατάσταση στην πλατφόρμα παρακολούθησης, όπου ο εγκαταστάτης και ο πελάτης μπορούν να δουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών εξ αποστάσεως μέσω του παγκόσμιου ιστού.

Οι μετρητές ενέργειας μπορεί να είναι εσωτερικοί ή εξωτερικοί του αντιστροφέα. Όλοι οι αντιστροφείς περιλαμβάνουν έναν εσωτερικό μετρητή, αλλά συχνά αυτοί δεν μετράνε τα έσοδα. Εξωτερικοί μετρητές μπορούν να εγκατασταθούν κατά μήκος της γραμμής εναλλασσόμενου ρεύματος μεταξύ του αντιστροφέα και του κεντρικού πίνακα διανομής πριν τη διακοπτική διάταξη εναλλασσόμενου ρεύματος (AC disconnect). Αυτό επιτρέπει ένας μετρητής να μετράει την έξοδο από πολλούς αντιστροφείς, γεγονός που εξοικονομεί σημαντικό χρηματικό ποσό, καθώς και τη συλλογή ακριβέστερων δεδομένων απόδοσης της φωτοβολταϊκής συστοιχίας, αν μετράει και τα έσοδα (revenue grade). Ορισμένοι μετρητές ενέργειας μπορούν να

συνδεθούν απευθείας με τον αντιστροφέα μέσω ενός RS485 ή Ethernet καλωδίου, παρέχοντας πρόσθετα δεδομένα για την παρακολούθηση και τη διάγνωση των προβλημάτων της εγκατάστασης.

Ένας μετρητής εσόδων πληροί τις απαιτήσεις αναφοράς ακρίβειας $\pm 0,2\%$ σύμφωνα με το Αμερικανικό Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων (ANSI). Οι περισσότεροι μετρητές που είναι ενσωματωμένοι σε ηλιακούς αντιστροφείς δεν πληρούν τις απαιτήσεις πιστοποίησης ANSI, πράγμα που σημαίνει ότι αυτές οι μετρήσεις είναι πολύ λιγότερο ακριβείς (Bushong, 2015).

Κεφάλαιο 3

Η τεχνολογία των συστημάτων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας

3.1 Γενικά

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα γίνει επισκόπηση για τις επιλογές που υπάρχουν για την αποθήκευση της ενέργειας που προέρχεται από μεγάλες φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις. Η ζήτηση για ενέργεια σπανίως συμπίπτει με την παραγωγή της. Άρρηκτα δεμένα με τον καθημερινό ηλιακό κύκλο σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία, τα συστήματα μετατροπής της ηλιακής ενέργειας δεν έχουν συνεχή λειτουργία, επομένως, η χρήση ενέργειας τη νύχτα απαιτεί τεχνολογίες για την αποθήκευσή της. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα, τα οποία μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια, απαιτούν μέσα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ τα ηλιοθερμικά συστήματα (CSP) μέσα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας. Για την αποθήκευση της, η ηλεκτρική ενέργεια συχνά μετατρέπεται σε άλλες μορφές ενέργειας, για παράδειγμα, σε μηχανική, κινητική ή χημική ενέργεια, η οποία αποθηκεύεται ως καύσιμο. Η έρευνα για την αποθήκευση της ενέργειας επιταχύνθηκε τα τελευταία χρόνια για να αντιμετωπίσει την ανάγκη για αξιόπιστες και οικονομικά αποδοτικές τεχνολογίες αποθήκευσης και επί του παρόντος καθορίζει το ποσοστό εφαρμοσιμότητας των εμπορικών συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τα παρακάτω υποκεφάλαια παρέχουν μια γενική θεώρηση των δυνατοτήτων που υπάρχουν για την αποθήκευση της ενέργειας καθώς και τα είδη και την αρχή λειτουργίας των διαφόρων τύπων συσσωρευτών που κυκλοφορούν στο εμπόριο, με την κατανόηση πως ορισμένοι τύποι είναι πιο εξελιγμένοι και ταχέως αναπτυσσόμενοι από άλλους.

3.2 Δυνατότητες για αποθήκευση ενέργειας

Δεδομένου ότι η ηλιακή ενέργεια εξαρτάται από τον χρόνο, η αποθήκευση ενέργειας αποτελεί σημαντικό ζήτημα. Η ενέργεια που παράγεται από τα ηλιακά συστήματα μετατροπής ενέργειας (θερμικά ή φωτοβολταϊκά συστήματα) συλλέγεται και αποθηκεύεται προκειμένου να απελευθερωθεί αργότερα ικανοποιώντας τη ζήτηση. Αυτό μπορεί να συμβαίνει όταν παράγεται αρκετή ενέργεια κατά τη διάρκεια της ημέρας και η αποθηκευμένη ενέργεια να χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια της νύχτας. Επίσης, όταν οι συνθήκες ηλιακής ακτινοβολίας είναι ιδανικές, το ηλιακό σύστημα μπορεί να παράγει αρκετή ενέργεια για το φορτίο-στόχο, αλλά τις

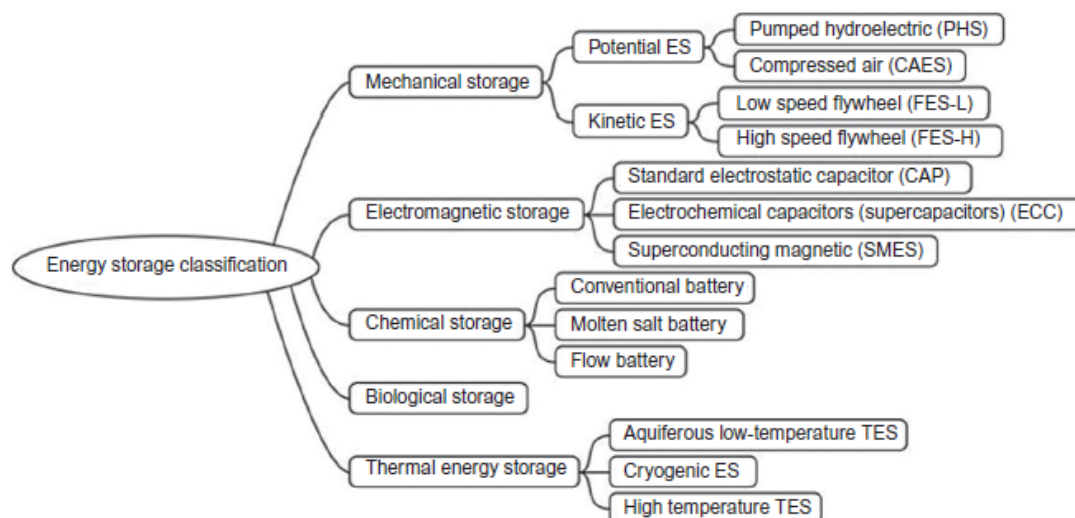
συννεφιασμένες μέρες κατά τις οποίες η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία δεν επαρκεί, μειώνεται η άμεση παροχή ενέργειας από τους συλλέκτες και η ενέργεια από την αποθήκευση χρησιμοποιείται για την αντιστάθμιση του ελλείμματος. Οι διαφορές που προκύπτουν λόγω μεταβολών στην παροχή ενέργειας από τη σκίαση, τα σύννεφα κτλ. εξομαλύνονται από τις διάφορες συσκευές αποθήκευσης ενέργειας. Παρακάτω περιγράφονται διάφοροι τρόποι αποθήκευσης ενέργειας. (Fedkin, 2019):

1. **Δίκτυο.** Η αποθήκευση ενέργειας στο δίκτυο στηρίζεται στην λογική της ισχύς ενός συνεχούς ρεύματος από μια ηλιακή εγκατάσταση το οποίο μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο ρεύμα και το οποίο αξιοποιείται σε εφαρμογές επιτόπου ή εκτός χώρου. Το δίκτυο επιτρέπει τη συλλογή από ανανεώσιμες και μη πηγές ηλεκτρικής ενέργειας και την αναδιανομή της ενέργειας αυτής σύμφωνα με τις ανάγκες. Αποτελεί ένα οικονομικά αποδοτικό και φυσικό τρόπο αποθήκευσης ενέργειας.
2. **Υγρό.** Το δίκτυο αποθηκεύει ηλεκτρική ενέργεια ενώ τα υγρά αποθηκεύουν θερμική ενέργεια. Υγρά όπως το νερό, το έλαιο, το τετηγμένο άλας συσσωρεύουν θερμότητα ως υγρά σώματα από τον ήλιο και συγκεντρώνουν τη θερμότητα αυτή η οποία διατηρείται καθώς τα υγρά αυτά βρίσκονται σε μονωμένη δεξαμενή για μια σημαντική χρονική περίοδο. Στη συνέχεια εάν χρειαστεί, μεταφέρονται σε εναλλάκτη θερμότητας για την παραγωγή ατμού για την ηλεκτρική γεννήτρια.
3. **Μπαταρία.** Η μπαταρία μέσω των εσωτερικών εξαρτημάτων της αποθηκεύει χημική ενέργεια και απελευθερώνει ηλεκτρική δια μέσω ηλεκτροχημικών αντιδράσεων. Ως ηλεκτροχημική συσκευή, ο κύκλος ζωής της υπολογίζεται με βάση τον αριθμό κύκλων φόρτιση εκφόρτισης. Ένα χαρακτηριστικό τους είναι ότι μπορούν να φορτιστούν και να εκφορτιστούν προκειμένου να αποφευχθούν ζημιές, είναι δηλαδή αναστρέψιμες.
4. **Υδρογόνο.** Η ιδέα της αποθήκευσης σε υδρογόνου είναι ότι η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τα ηλιακά φωτοβολταϊκά συστήματα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ηλεκτρόλυση του νερού - για τη διάσπαση του σε υδρογόνο και οξυγόνο. Κατόπιν, το αέριο υδρογόνο συλλέγεται και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο. Μία από τις εξαιρετικά αποδοτικές συσκευές που «μετατρέπουν» το υδρογόνο πάλι σε ηλεκτρισμό, είναι η κυψέλη καυσίμου H_2/O_2 (fuel cell), η οποία έχει μηδενικό αποτύπωμα άνθρακα κατά τη λειτουργία της.
5. **Πεπιεσμένος αέρας.** Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από φωτοβολταϊκά σύστημα θέτει σε λειτουργία συμπιεστές οι οποίοι συμπιέζουν μεγάλες ποσότητες αέρα και τις αποθηκεύουν σε υπόγειους, υπέργειους ή υποβρύχιους ταμειυτήρες. Για την χρήση της ενέργειας ο αέρας αποσυμπιέζεται και τροφοδοτείται σε έναν στρόβιλο για την παραγωγή

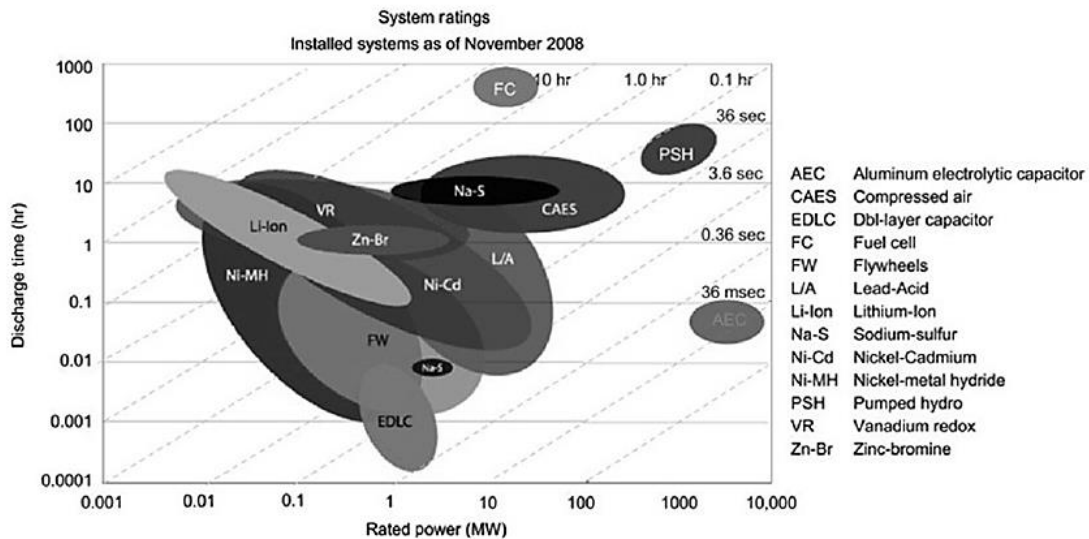
ηλεκτρικής ενέργειας. Τα ενεργειακά συστήματα πεπιεσμένου αέρα (CAES) δημιουργούν προσδοκίες για υψηλές αποδόσεις αλλά δεν χρησιμοποιούνται ακόμη ευρέως.

6. **Αντλησιοταμίευση.** Η πλεονάζουσα παραγόμενη ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την άντληση νερού από μια δεξαμενή σε χαμηλότερο υψόμετρο προς μια άλλη σε υψηλότερο. Όταν απαιτείται η παροχή ενέργειας, το νερό μπορεί να εκφορτιστεί από την πάνω δεξαμενή υπό βαρύτητα για τη λειτουργία ενός στροβίλου, ο οποίος συνδέεται με μια γεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Παρομοίως με τα συστήματα πεπιεσμένου αέρα, η τεχνολογία της αντλησιοταμίευσης έχει υψηλή απόδοση, αν και μπορεί να απαιτεί ειδικές γεωμορφολογικές συνθήκες και επαρκή διαθεσιμότητα νερού ώστε να χρησιμοποιηθεί.

Οι μπαταρίες, τα συστήματα κυψελών καυσίμου υδρογόνου, τα συστήματα πεπιεσμένου αέρα, η αντλησιοταμίευση, η θερμική ενέργεια, η ενέργεια σφονδύλου κ.α. ταξινομούνται συνηθέστερα ανάλογα με τη μορφή της ενέργειας που αποθηκεύονται όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.1. Τα κριτήρια προς εξέταση μεταξύ αυτών των επιλογών περιλαμβάνουν το λειτουργικό κόστος, τη διαθεσιμότητα της τεχνολογίας, τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο, την ποσότητα της ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί, τη γεωλογική τοποθεσία και την προσβασιμότητα του μέσου αποθήκευσης. Ακόμη, μπορούν να χρησιμοποιηθούν γραφικές παραστάσεις Ragone (Σχήμα 3.2). Σε αυτές απεικονίζονται η ενεργειακή πυκνότητα, η πυκνότητα ισχύος και οι χρόνοι εκφόρτισης προκειμένου να εκτιμηθεί η καταλληλότητα του συστήματος.



Σχήμα 3.1: Κατηγοριοποίηση των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας (N.P.H. Duraman, 2014)



Σχήμα 3.2: Χαρτογράφηση διαφορετικών τύπων συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας σε ένα γράφημα Ragone (N.P.H. Duraman, 2014)

Όλες οι παραπάνω επιλογές αποθήκευσης ενέργειας θα πρέπει να χρησιμοποιούνται με την κατανόηση των αναγκών και της δυναμικότητας της εγκατάστασης. Η μονάδα αποθήκευσης ενέργειας που είναι αποτελεσματική για μικρά οικιακά συστήματα μπορεί να είναι ανεπαρκής ή πολύ δαπανηρή όταν εφαρμόζεται σε μεγάλης κλίμακας εγκαταστάσεις. Συνεπώς, συνάγεται από τα παραπάνω ότι η τεχνική και οικονομική διάσταση σε ότι αφορά τον προσδιορισμό της χωρητικότητας της αποθήκευσης της ενέργειας για ένα ηλιακό έργο συνιστά ένα μία σημαντική παράμετρο. Πρέπει δηλαδή η διαστασιολόγηση του συστήματος να γίνει με προσοχή καθώς τυχόν λάθη οδηγούν σε οικονομική ζημία και πτώση του συνολικού συντελεστή απόδοσης της εγκατάστασης. Εάν, επί παραδείγματι η ενέργεια που παράγεται από την εγκατάσταση μετατροπής ηλιακής ενέργειας υπολείπεται του χώρου αποθήκευσης, τότε η δαπάνη θα έχει γίνει αδικώς. Αντίθετα, εάν η χωρητικότητα της μονάδας αποθήκευσης είναι πολύ μικρή (υποδιαστασιολόγηση), αυτό οδηγεί σε «απώλεια» της πλεονάζουσας ενέργειας και σε συνολικά μη ικανοποιητική απόδοση της εγκατάστασης.

3.3 Αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας σε μπαταρίες

Οι μπαταρίες χρησιμοποιούνται ευρέως για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που δεν είναι συνδεδεμένα με το δίκτυο, καθώς και για την άμβλυση των απότομων διακυμάνσεων της ισχύος συστημάτων διασυνδεδεμένων με το δίκτυο. Ορισμένοι τύποι τεχνολογιών μπαταριών κρίνονται καταλληλότεροι από άλλους για την αποθήκευση της ενέργειας που παράγεται από εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας. Η εφαρμοσιμότητα σε μεγάλης κλίμακας συστήματα εξαρτάται από παράγοντες όπως

το κόστος των υλικών, η δυνατότητα χρήσης τους χωρίς κακές επιδράσεις ή απώλεια απόδοσης, ο σχεδιασμός και ο τρόπος λειτουργίας.

Οι μπαταρίες είναι ηλεκτροχημικές συσκευές εντός των οποίων γίνονται διάφορες χημικές αντιδράσεις όπου η ενέργεια που απελευθερώνεται μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Αυτό γίνεται με τρόπο ελεγχόμενο καθώς διαφορετικά η αντίδραση με ανάμιξη των αντιδρώντων θα οδηγούσε στην απελευθέρωση αυτής της ενέργειας με την μορφή της θερμότητας. Οι αντιδράσεις εντός των μπαταριών ελέγχονται με τέτοιο τρόπο ώστε το μεγαλύτερο μέρος αυτής της θερμότητας να μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια.

Οι μπαταρίες σε κοινή χρήση διακρίνονται σε πρωτεύοντα και δευτερεύοντα κύτταρα (Breeze, 2019). Ένα πρωτεύον κύτταρο χρησιμοποιείται μόνο μία φορά και δεν μπορεί να επαναφορτιστεί. Ένα δευτερεύον κύτταρο δύναται να επαναφορτιστεί, αντιστρέφοντας την εσωτερική χημική αντίδραση και αναγεννώντας τα αντιδρώντα που παρείχαν την ισχύ στην αρχική τους θέση, έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί πολλές φορές. Είναι αυτά τα δευτερεύοντα κύτταρα που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα δευτερεύοντα κύτταρα διακρίνονται στα τυπικά δευτερεύοντα κύτταρα και στις μπαταρίες ροής (Breeze, 2019). Η πρώτη κατηγορία, τα τυπικά δευτερεύοντα κύτταρα, χρησιμοποιείται σε φορητούς υπολογιστές και οχήματα, είναι αυτόνομα και δεν περιλαμβάνουν μηχανικά εξαρτήματα. Τα τερματικά του κυττάρου φροντίζουν για την φόρτιση και την εκφόρτιση και όλα τα απαιτούμενα αντιδρώντα περιλαμβάνονται εντός της συσκευασίας της μπαταρίας. Δύο παραλλαγές των τυπικών δευτερευόντων κύτταρων είναι τα κύτταρα χαμηλής εκφόρτισης και τα κύτταρα βαθιάς εκφόρτισης. Τα μεν πρώτα ποτέ δεν εκφορτίζονται πλήρως (γίνεται χρήση αυτών για την απόδοση της ισχύος εκκίνησης των οχημάτων) ενώ τα δευτέρα εκφορτίζονται πλήρως αλλά μπορούν να φορτιστούν εκ νέου χωρίς ζημιά.

Η μπαταρία ροής ανήκει κι αυτή στα δευτερεύοντα κύτταρα αλλά διαφέρει από την τυπική έκδοση καθώς τα αντιδρώντα δεν εμπεριέχονται μέσα στο πραγματικό κύτταρο στο οποίο γίνονται οι χημικές αντιδράσεις και παράγεται η ηλεκτρική ενέργεια, αλλά αποθηκεύονται σε εξωτερικές δεξαμενές και αντλούνται μέσω του κελιού (Breeze, 2019). Το μειονέκτημα της περιπλοκότητας αυτού του τύπου μπαταρίας αντισταθμίζεται από τη χωρητικότητά της η οποία περιορίζεται μόνο από το μέγεθος της δεξαμενής που σημαίνει πως μπορεί εύκολα να αυξηθεί με σχετικά μικρό κόστος. Η περιπλοκότητα των μπαταριών ροής συγκριτικά με τα συμβατικά δευτερεύοντα κύτταρα της καθιστά οικονομικές μόνο σε μεγάλα μεγέθη.

Στους παρακάτω Πίνακες 3.1, 3.2, 3.3 παρουσιάζονται αντίστοιχα η σύγκριση του κόστους και της απόδοσης, οι τεχνικές παράμετροι καθώς και τα οικονομικά και περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά επιλεγμένων τύπων μπαταριών που χρησιμοποιούνται ως συστήματα αποθήκευσης στα φωτοβολταϊκά πάρκα.

Πίνακας 3.1: Συγκριτική παρουσίαση κόστους και απόδοσης διαφόρων τύπων μπαταριών (Mustafa Cagatay Kocer, 2019)

Battery Technologies	Applicable Capacity (MW)	Efficiency (%)	Respond Time (ms)	Life (cycle)	Investment Cost (\$/kWh)	Charge Discharge (Time)	Environmental Impact
Lead-acid	0–40	70–90	5–10	3–15(1500)	200–400	min-day sec-hour	medium
UltraBattery	0–36	–	5	3–15(3000)	200	min-day sec-hour	medium
Sodium-sulfur	0.05–34	80–90	1	10–15(2500–4500)	300–500	sec-hour sec-hour	medium
Lithium-ion	0–100	85–90	20–1000	5–15(1000–15000)	600–3800	min-day min-hour	medium
Nickel-cadmium	0–40	60–65	1–1000	10–20(2000–3500)	400–2400	min-day sec-hour	medium
Metal-air	0–0.01	50	1–1000	– (100–300)	10–60	hour-month sec-24+hour	low

Πίνακας 3.2: Παρουσίαση τεχνικών παραμέτρων επιλεγμένων συστημάτων συσσωρευτών (N.P.H. Duraman, 2014)

Battery type	Power rating (MW)	Nominal voltage (V)	Energy density		Power density (W/kg)	Self-discharge (%/day)	Efficiency (%)	Lifetime (cycles; years)
			Gravimetric (Wh/kg)	Volumetric (Wh/L)				
Lead acid	0.001-50	2.0	30-50	50-80 (~75)	75-300	0.1-0.3	70-90	500-1200; 3-15
Lithium ion	0.1-50	3.6	75-250	200-600	100-5000	0.1-0.3	85-90	1000-10,000; 5-20
Vanadium redox	0.005-1.5	1.3	10-75	15-33		Small	~90	>10,000; 10-20
Zinc bromine	<1	1.8	60-85	30-60	50-150	Small	75-80	2000; 5-20
Nickel cadmium	0- <50	1.2	50-75	60-150	150-230	0.2-0.6	60-70	1000-2500; 5-20
Nickel metal hydride	0.01-~ MW	1.2	40-110	Up to 428	250-2000	0.5-1	60-66	200-1500; 3-15
Sodium sulfur	0.05-34	~2.0	150-240	150-240	150-230	0	75-86	2000-5000; 5-15

Source: Fetcenko et al., 2007; Kawakami et al., 2010; Poulikkas, 2013; Toniazzo, 2006.

Πίνακας 3.3: Οικονομικά και περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά επιλεγμένων τύπων μπαταριών (N.P.H. Duraman, 2014)

Battery type	Cost		Technology status	Environmental issues
	\$/kW	\$/kWh		
Lead acid	~300	300-600	Mature	Lead disposal and toxic remains and, impact to environment is lessened with recycling
Lithium ion	~4000	~2500	Developing	Minimal environmental problems, ecological toxicity can be reduced by recycling
Nickel-based	500-1500	800-1500	Developing	Ni-Cd—concerns with use of toxic Cd Ni-MH—minimal environmental problems
Redox flow	600-1500	150-1000	Developing	Minimal environmental problems, safe handling of chemicals required
Sodium sulfur	~2000	~350/kWh	Developing	Minimal environmental problems, safe handling of chemicals required

Source: Fetcenko et al., 2007; Kawakami et al., 2010; Poulikkas, 2013; Toniazzo, 2006.

Γενική αρχή λειτουργίας των μπαταριών

Η μπαταρία είναι μια συσκευή όπου εντός της γίνονται χημικές αντιδράσεις για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι αντιδράσεις στις οποίες βασίζεται ένα ηλεκτροχημικό κύτταρο καθορίζουν τον τύπο του κυττάρου. Η ανάμειξη των αντιδρώντων θα οδηγούσε αυτόματα στην έναρξη της αντίδρασης και στην συνακόλουθη παραγωγή θερμότητας. Η τεχνολογία όμως της μπαταρίας φροντίζει ώστε τα αντιδρώντα να είναι χωριστά και να αντιδρούν ελεγχόμενα με συγκεκριμένο τρόπο.

Η χημική αντίδραση που χρησιμοποιείται σε κάθε μπαταρία μπορεί θεωρητικά να χωριστεί σε δύο μισές αντιδράσεις και η μπαταρία θα περιέχει δύο ηλεκτρόδια, που ονομάζονται άνοδος και κάθοδος (Breeze, 2019). Κάθε ηλεκτρόδιο σχετίζεται με μία από αυτές τις μισές αντιδράσεις. Οι μισές αντιδράσεις περιλαμβάνουν τη δημιουργία φορτισμένων ιόντων και τη σύλληψη ή απελευθέρωση ηλεκτρονίων. Υπό κανονικές συνθήκες όπου τα αντιδρώντα αναμιγνύονται στενά, αυτές οι διεργασίες συμβαίνουν ταυτόχρονα στην ίδια περιοχή. Εντούτοις, σε μια μπαταρία, τα δύο ηλεκτρόδια διαχωρίζονται από έναν ηλεκτρολύτη ο οποίος θα επιτρέψει τη διέλευση φορτισμένων ιόντων από το ένα ηλεκτρόδιο στο άλλο, αλλά δεν θα επιτρέψει τη διέλευση των ηλεκτρονίων. Αυτά μπορούν να περάσουν από το ένα ηλεκτρόδιο στο δεύτερο για να ολοκληρώσουν την αντίδραση μόνο μέσω ενός εξωτερικού κυκλώματος. Αυτό είναι το ηλεκτρικό ρεύμα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την λειτουργία ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού. Είναι αυτός ο διαχωρισμός των

διεργασιών με τη χρήση ενός επιλεκτικού φίλτρου (στην περίπτωση αυτή του ηλεκτρολύτη) που επιτρέπει στο κύτταρο να παράγει ενέργεια.

Όπως σημειώθηκε προηγουμένως, τα πρωτεύοντα κύτταρα περιέχουν αντιδρώντα που αντιδρούν μόνο μία φορά για την παραγωγή ισχύος. Μετά από αυτό το κύτταρο δεν έχει άλλη χρησιμότητα. Ένα δευτερεύον κύτταρο μπορεί να επαναφορτιστεί εφαρμόζοντας μια αντίστροφη πολικότητα στο κύτταρο, αναστρέφοντας την χημική αντίδραση του κυττάρου και αναγεννώντας τα αρχικά αντιδρώντα. Αυτός είναι ο τύπος κυττάρου που χρησιμοποιείται για την αποθήκευση ενέργειας.

Διαφορετικοί τύποι μπαταριών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τις εφαρμογές του δικτύου (Breeze, 2019). Η μπαταρία μολύβδου-οξέος είναι το πιο διαδεδομένο δευτερεύον κύτταρο που προσομοιάζει με τον τύπο που χρησιμοποιείται στα οχήματα. Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος αντιπροσωπεύουν περίπου το ήμισυ του συνόλου των πωλήσεων δευτερευόντων κυττάρων παγκοσμίως και είναι ευρέως διαθέσιμες, ενώ οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου (NiCad) χρησιμοποιούνται σπανιότερα. Οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου χρησιμοποιούνταν στους φορητούς ηλεκτρονικούς υπολογιστές έως ότου αντικαταστάθηκαν από εναλλακτικές λύσεις που ταιριάζουν καλύτερα στον κύκλο λειτουργίας τέτοιων συσκευών. Έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί για εφαρμογές σε αυτοκίνητα, ιδιαίτερα σε συνθήκες χαμηλής θερμοκρασίας όταν συμπεριφέρονται πιο αξιόπιστα από ότι τα κύτταρα μολύβδου-οξέος. Άλλοι τύποι κυττάρων που αναπτύχθηκαν ειδικά για φορητές ηλεκτρονικές συσκευές περιλαμβάνουν κύτταρα υδριδίου νικελίου-μετάλλου και ιόντων-λιθίου. Και οι δύο είναι χρήσιμοι για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας στα δίκτυα. Μια μπαταρία υψηλής θερμοκρασίας, η μπαταρία θειούχου νατρίου, είναι επίσης δημοφιλής για εφαρμογές δικτύου.

Ένα πλήθος κυττάρων ροής ή μπαταριών ροής έχει δοκιμαστεί επίσης για εφαρμογές αποθήκευσης ενέργειας μεγάλης κλίμακας εκτός από τα συμβατικά δευτερεύοντα κύτταρα (Breeze, 2019). Μερικά από αυτά είναι τα κύτταρα ροής βρωμιούχου ψευδαργύρου, οξειδοαναγωγής βαναδίου και βρωμιούχου πολυσουλφιδίου. Κανένα από αυτά μέχρι στιγμής δεν χρησιμοποιείται ευρέως στην αγορά όμως νέοι τύποι αναπτύσσονται και λόγω της πολύ μεγαλύτερης διάρκειας ζωής που διαθέτουν από τις συμβατικές δευτερεύουσες μπαταρίες θεωρούνται ελκυστικά.

Τα παραδοσιακά ηλεκτροχημικά συστήματα αποθήκευσης διαθέτουν στην καλύτερη περίπτωση απόδοση κύκλου (ηλεκτρική ενέργεια σε αποθήκευση στο κύτταρο και ξανά απελευθέρωση ηλεκτρικής ενέργειας) 90%, αλλά μια πιο τυπική τιμή θα ήταν 70% (Breeze, 2019). Στο μεγαλύτερο μέρος τους οι μπαταρίες με την πάροδο του χρόνου χάνουν ενέργεια λόγω φαινομένων διαρροής. Αν μείνει για πολύ καιρό το κύτταρο ανενεργό, αποφορτίζεται μόνο του. Συνεπώς, τα συστήματα αποθήκευσης μπαταριών μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο για σχετικά βραχυπρόθεσμη αποθήκευση σε αντίθεση με τα κύτταρα ροής τα οποία λόγω τεχνολογίας (τα αντιδρώντα δεν αποθηκεύονται μαζί) έχουν μειωμένη μακροπρόθεσμη απώλεια ενέργειας.

Επιπλέον, οι παραδοσιακές δευτερεύουσες μπαταρίες παρουσιάζουν πρόβλημα γήρανσης. Μετά από έναν ορισμένο αριθμό κύκλων, το κελί σταματά να διατηρεί αποτελεσματικά τη φόρτιση του ή το ποσό φόρτισης που μπορεί να κρατήσει μειώνεται. Πολλή έρευνα στοχεύει στην αύξηση της διάρκειας ζωής των ηλεκτροχημικών κυττάρων χωρίς σημαντικά αποτελέσματα μέχρι σήμερα. Και σε αυτή την περίπτωση ο σχεδιασμός των κύτταρων ροής επιτρέπει την αποφυγή ενός τέτοιου προβλήματος.

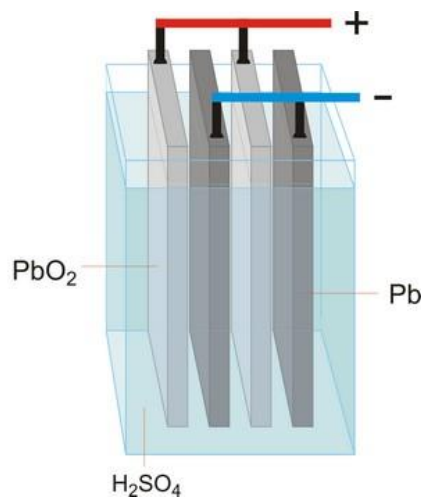
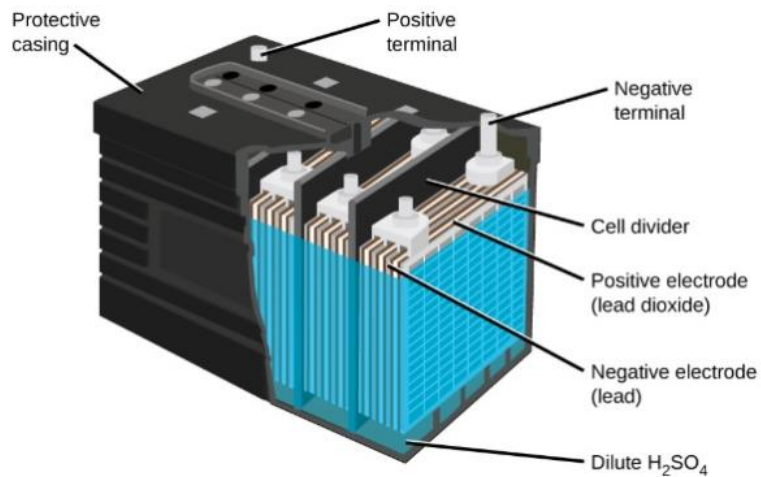
Τέλος, οι μπαταρίες είναι σε θέση να εξυπηρετήσουν το φορτίο πολύ γρήγορα, σε λιγότερα από 5 ms για μια συμβατική μπαταρία και σε λιγότερα από 100 ms για μια μπαταρία ροής. Μερικές είναι επίσης ικανές για απόδοση υψηλής ισχύος και ρυθμών εκφόρτισης.

Μπαταρίες μολύβδου-οξέος (lead-acid batteries)

Για αρκετό διάστημα, οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος ήταν η πρώτη επιλογή για εφαρμογές φωτοβολταϊκών συστημάτων εκτός δικτύου. Αυτή η τεχνολογία μπαταρίας πρωτοαναπτύχθηκε τον 19ο αιώνα και κατά συνέπεια υπάρχουν περισσότερες γνώσεις και εργαλεία για την αντιμετώπιση αυτών των συστημάτων. Όμως, παρά την από καιρό εφεύρεσή τους και τη διάδοσή τους, οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος εξακολουθούν να έχουν ένα από τα χαμηλότερα ποσοστά ενέργειας προς βάρος και ενέργειας προς όγκο, που σημαίνει ότι είναι πολύ βαριές και ογκώδεις για την ποσότητα ενέργειας που παρέχουν. Είναι μια τεχνολογία φθηνή και αξιόπιστη και μπορεί να βρισκόμαστε λίγο πριν την αντικατάστασή της από πιο εξελιγμένους τύπους μπαταριών για χρήση σε μεγάλης κλίμακας έργα.

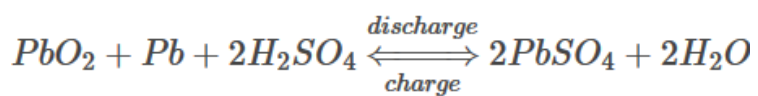
Αρχή λειτουργίας της μπαταρίας μολύβδου-οξέος

Μια μπαταρία μολύβδου-οξέος (βλ. Εικόνα 1.13) αποτελείται από ένα αρνητικό ηλεκτρόδιο που το ενεργό υλικό του από σπογγώδη ή πορώδη μόλυβδο (Pb) που παρέχει ηλεκτρόνια στο εξωτερικό κύκλωμα κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης. Ο μόλυβδος είναι πορώδης για να διευκολύνει το σχηματισμό και τη διάλυσή του. Στο θετικό ηλεκτρόδιο το ενεργό υλικό είναι διοξείδιο του μολύβδου (PbO₂) και δέχεται τα ηλεκτρόνια από το εξωτερικό κύκλωμα κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης. Και τα δύο ηλεκτρόδια είναι βυθισμένα σε ηλεκτρολυτικό διάλυμα θειικού οξέος (H₂SO₄) σε νερό που συμπληρώνει το κύκλωμα παρέχοντας τα ιόντα που απαιτούνται για την αγωγή μεταξύ των ηλεκτροδίων. Για να μην έλθουν τα ηλεκτρόδια σε επαφή μεταξύ τους, μέσω της φυσικής κίνησης της μπαταρίας ή μέσω αλλαγών στο πάχος των ηλεκτροδίων, μια ηλεκτρικά μονωτική, αλλά χημικώς διαπερατή μεμβράνη τα διαχωρίζει. Αυτή η μεμβράνη εμποδίζει επίσης το ηλεκτρικό βραχυκύκλωμα μέσω του ηλεκτρολύτη. Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος αποθηκεύουν ενέργεια με την αμφίδρομη χημική αντίδραση που φαίνεται παρακάτω.

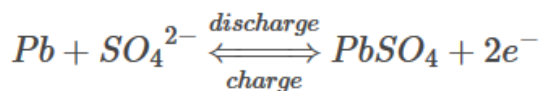


Εικόνα 3.1: Η δομή της μπαταρίας μολύβδου-οξέος (Paul Flowers, 2019), (Generalic, 2018)

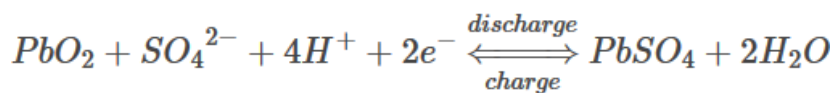
Η συνολική χημική αντίδραση είναι (Christiana Honsberg, 2019):



Στο αρνητικό ηλεκτρόδιο οι αντιδράσεις φόρτισης και εκφόρτισης είναι:

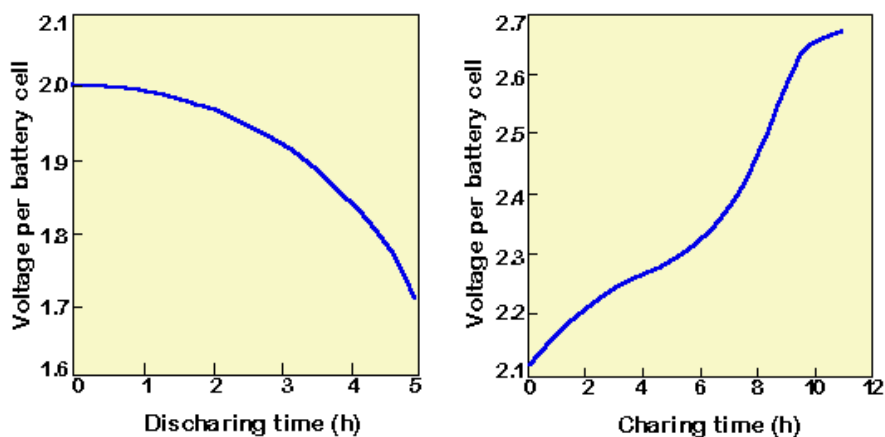


Στο θετικό ηλεκτρόδιο οι αντιδράσεις φόρτισης και εκφόρτισης είναι:



Όπως φαίνεται από τις παραπάνω εξισώσεις, η εκφόρτιση της μπαταρίας προκαλεί τον σχηματισμό κρυστάλλων θειικού μολύβδου τόσο στο αρνητικό όσο και στο θετικό ηλεκτρόδιο, καθώς και την απελευθέρωση ηλεκτρονίων λόγω της αλλαγής του φορτίου σθένους του μολύβδου. Για το σχηματισμό του θειικού μολύβδου χρησιμοποιείται θειικό ανιόν από τον ηλεκτρολύτη θειικού οξέος που περιβάλλει τη μπαταρία. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, να μειώνεται η συγκέντρωση του ηλεκτρολύτη. Η πλήρης εκφόρτιση θα είχε ως επακόλουθο και τα δύο ηλεκτρόδια να αποτελούνται από θειικό μόλυβδο και να καλύπτονται με νερό αντί για το θειικό οξύ που περιβάλλει κανονικά τα ηλεκτρόδια. Κατά την πλήρη εκφόρτιση, τα δύο ηλεκτρόδια αποτελούνται από το ίδιο υλικό και δεν υπάρχει χημικό δυναμικό ή τάση μεταξύ τους. Στην πράξη, ωστόσο, η εκφόρτιση σταματά στην τάση αποκοπής (cut-off voltage), πολύ πριν από αυτό το σημείο. Συνεπώς, η μπαταρία δεν πρέπει να εκφορτίζεται κάτω από αυτή την τάση.

Μεταξύ των καταστάσεων πλήρης φόρτισης και εκφόρτισης, μια μπαταρία μολύβδου-οξέος θα παρουσιάσει σταδιακή μείωση της τάσης. Το επίπεδο της τάσης χρησιμοποιείται συνήθως για να δηλώσει την κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας. Η εξάρτηση της μπαταρίας από την κατάσταση φόρτισής της φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα. Εάν η μπαταρία παραμείνει σε χαμηλή κατάσταση φόρτισης για εκτεταμένες χρονικές περιόδους, μπορεί να σχηματιστούν μεγάλοι κρύσταλλοι θειικού μολύβδου στα ηλεκτρόδια, γεγονός που μειώνει μη αναστρέψιμα τη χωρητικότητα της μπαταρίας. Αυτοί οι μεγάλοι κρύσταλλοι διαφέρουν από την τυπική πορώδη δομή του ηλεκτροδίου μολύβδου και είναι δύσκολο να μετατραπούν ξανά σε μόλυβδο (Christiana Honsberg, 2019).



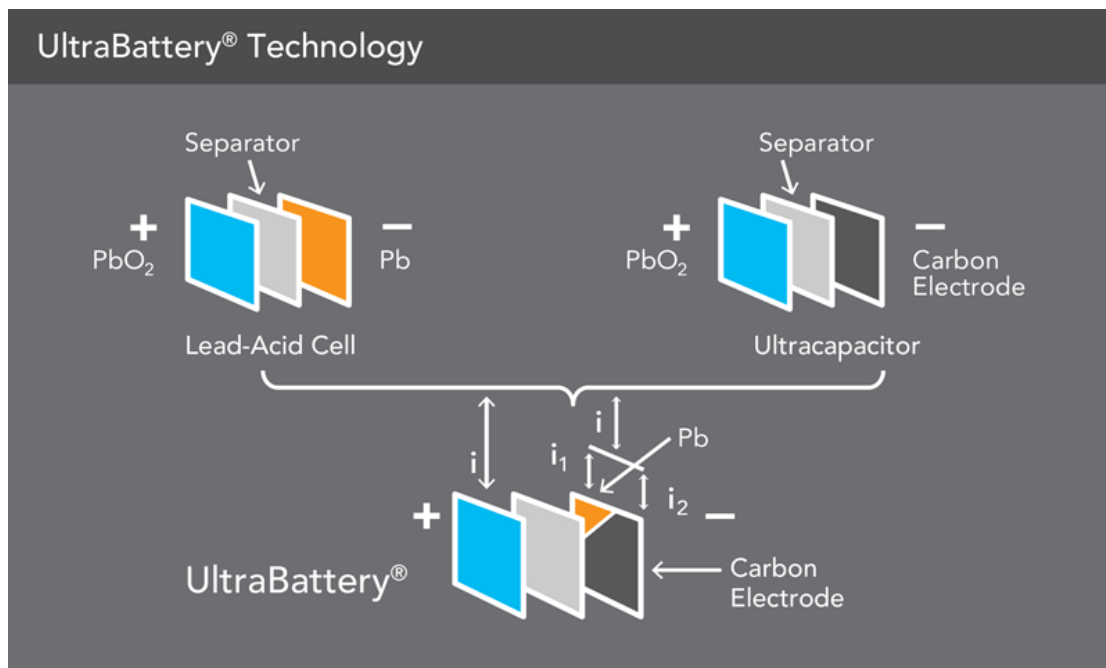
Στον Πίνακα 3.4 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των μπαταριών μολύβδου-οξέος.

Πίνακας 3.4: Βασικά χαρακτηριστικά των μπαταριών μολύβδου-οξέος (EASE, 2020)

Power range	Some Mw
Energy range	Up to 10 MWh
Discharge time	Min to more than 20 hours
Cycle life	500 - 3,000 cycles
Life duration	5 - 15 years
Reaction time	Some millisec
Efficiency	75 - 85 %
Energy [power] density	25 - 35 Wh/kg
CAPEX: energy	100 - 200 €/kWh
CAPEX: power	100 - 500 €/kW

UltraBattery

Η UltraBattery είναι μια υβριδική συσκευή αποθήκευσης ενέργειας, η οποία συνδυάζει έναν υπερ-πυκνωτή (ultracapacitor) και μια μπαταρία μολύβδου-οξέος σε μια μονάδα κυττάρου, χωρίς επιπλέον ακριβό, ηλεκτρονικό έλεγχο (Ward, 2011). Η σχηματική διαμόρφωση του κυττάρου μολύβδου-οξέος, ενός υπερ-πυκνωτή και μίας UltraBattery φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα 3.2. Ένα κύτταρο μολύβδου-οξέος περιλαμβάνει μία θετική πλάκα διοξειδίου του μολύβδου και μία αρνητική πλάκα σπογγώδους μολύβδου. Ένας ασύμμετρος υπερ-πυκνωτής σχηματίζεται όταν η αρνητική πλάκα μολύβδου του κυττάρου μολύβδου-οξέος αντικαθίσταται από μια αρνητική πλάκα με βάση τον άνθρακα (δηλαδή ηλεκτρόδιο πυκνωτή). Δεδομένου ότι οι θετικές πλάκες στο κύτταρο μολύβδου-οξέος και στον ασύμμετρο υπερ-πυκνωτή έχουν κοινή σύνθεση, μπορούν να ενσωματωθούν σε μία μονάδα κυττάρου συνδέοντας εσωτερικά παράλληλα τις αρνητικές πλάκες της μπαταρίας και του υπερ-πυκνωτή. Και τα δύο αυτά ηλεκτρόδια μοιράζονται τώρα την ίδια θετική πλάκα στην UltraBattery.



Εικόνα 3.2: Σχηματικό διάγραμμα που δείχνει την εσωτερική διαμόρφωση της UltraBattery (Ecoult, 2020)

Με αυτή τη σχεδίαση, κατά την εκφόρτιση και τη φόρτιση, το συνολικό ρεύμα της συνδυασμένης αρνητικής πλάκας απαρτίζεται από δύο συνιστώσες, ήτοι, το ρεύμα από τον πυκνωτή και το ρεύμα από την αρνητική πλάκα μολύβδου-οξέος (Ward, 2011). Κατά συνέπεια, το ηλεκτρόδιο του πυκνωτή μπορεί τώρα να λειτουργεί ως ρυθμιστής (buffer) για να μοιράζει τα ρεύματα εκφόρτισης και φόρτισης με την αρνητική πλάκα μολύβδου-οξέος και έτσι να εμποδίζει την εκφόρτιση και φόρτισή της στις οριακές τιμές. Ένα δεύτερο ηλεκτρόδιο πυκνωτή μπορεί επίσης να συνδεθεί με την θετική πλάκα μολύβδου-οξέος παράλληλα. Με μια τέτοια διαμόρφωση, ο υπερ-πυκνωτής μπορεί να μοιράζει τα ρεύματα εκφόρτισης και φόρτισης τόσο στις θετικές όσο και στις αρνητικές πλάκες μολύβδου-οξέος και να αποτρέπει την εκφόρτιση και φόρτιση ολόκληρης της μπαταρίας μολύβδου-οξέος στις οριακές τιμές εξασφαλίζοντας παράταση του χρόνου ζωής της.

Η UltraBattery, η οποία μπορεί να κατασκευαστεί είτε ως «πλημμυρισμένος» ηλεκτρολύτης (flooded-electrolyte), είτε σε σχέδια με βαλβίδα ρύθμισης στο υπάρχον εργοστάσιο μολύβδου-οξέος, μπορεί να αναδιαμορφωθεί για μια ποικιλία εφαρμογών, όπως τα συμβατικά αυτοκίνητα κ.λπ.

Παρόλο που η περιγραφή της εσωτερικής διαμόρφωσης της UltraBattery φαίνεται απλή, αυτό δεν σημαίνει ότι η UltraBattery μπορεί εύκολα να κατασκευασθεί εισάγοντας απλώς ηλεκτρόδια πυκνωτών σε μια μπαταρία μολύβδου-οξέος. Αυτό συμβαίνει επειδή υπάρχει διαφορά στο εύρος δυναμικού λειτουργίας μεταξύ του ηλεκτροδίου του πυκνωτή και της αρνητικής πλάκας μολύβδου-οξέος. Έτσι, για να κατασκευαστεί μία λειτουργική UltraBattery, πρέπει να καταβληθεί σημαντική

προσπάθεια στην τροποποίηση του ηλεκτροδίου του πυκνωτή ώστε να επιτευχθούν τα ακόλουθα (Ward, 2011) (Ecoult, 2020):

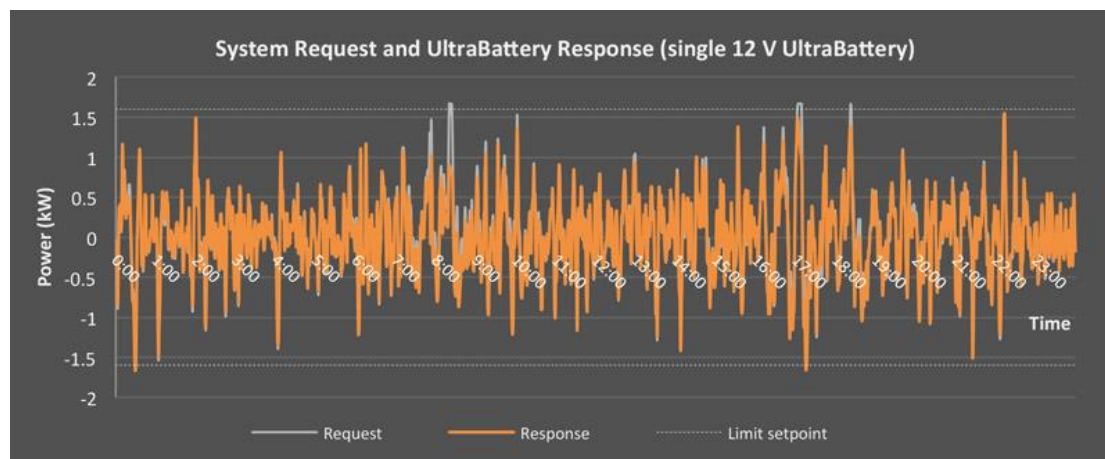
- Παρόμοια δυναμική εργασίας με αυτή της αρνητικής πλάκας μολύβδου-οξέος
- Χαμηλό ποσοστό αερίου υδρογόνου
- Υψηλότερη χωρητικότητα για διαμοιρασμό του ρεύματος με την αρνητική πλάκα μολύβδου-οξέος για τουλάχιστον 30 δευτερόλεπτα
- Επαρκή μηχανική αντοχή και ικανότητα παραγωγής στο υπάρχον εργοστάσιο μολύβδου-οξέος
- Λειτουργεί με υψηλή απόδοση (εξαρτάται από το ρυθμό φόρτισης-εκφόρτισης, αλλά συνήθως πολύ πάνω από το 90%) γενικά υψηλότερη από τις εναλλακτικές χημείες μπαταριών
- Ταχύτατη φόρτιση και εκφόρτιση. Κατάλληλη για βιομηχανική χρήση, ικανή να φορτίσει περισσότερο από 1 C (σε μία ώρα)
- Σε αντίθεση με τις μπαταρίες μολύβδου-οξέος, δεν χρειάζεται να επαναφορτίζεται πλήρως συχνά. Οι κύκλοι φόρτισης και εκφόρτισης πραγματοποιούνται σε μερική κατάσταση φόρτισης, χωρίς «νεκρές» περιόδους (float periods) και χρειάζεται πολύ σπάνια ανανέωση.
- Η μοναδική χημεία της όχι μόνο αυξάνει τον χειρισμό της ισχύος, αλλά μειώνει σε μεγάλο βαθμό τη θείωση, επιτρέποντάς της να λειτουργεί συνεχώς για μήνες χωρίς να χρειάζεται να φορτιστεί πλήρως
- Μεγάλη διάρκεια ζωής
- Χαμηλό κόστος

Επιπλέον, η UltraBattery πρέπει να επανασχεδιαστεί έτσι ώστε να μπορεί να δεχθεί το ηλεκτρόδιο του πυκνωτή χωρίς να προξενείται σημαντική αύξηση του βάρους της μπαταρίας.

Όσον αφορά την ασφάλεια και την προστασία του περιβάλλοντος, ενώ η UltraBattery χειρίζεται εύκολα εφαρμογές δικτύων υψηλής τάσης, είναι επίσης ιδανική για ασφαλείς εφαρμογές εξαιρετικά χαμηλής τάσης (SELV) (Ecoult, 2020). Με την UltraBattery, η εξαιρετικά υψηλή ισχύς διατίθεται στα 48 V. Έχει μη εύφλεκτη χημεία και περιβάλλεται από μία εξαιρετικά ανθεκτική, με επιβραδυντικό καύσης, πλαστική θήκη. Είναι επίσης οικολογική, όπως όλες οι μπαταρίες στην οικογένεια μολύβδου-οξέος. Στην πραγματικότητα, με το 98% των μπαταριών μολύβδου-οξέος να επιστρέφονται για επανεπεξεργασία και το 96% κατά μάζα κάθε επιστρεφόμενης μπαταρίας να χρησιμοποιείται για την κατασκευή νέων μπαταριών, οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος δεν είναι μόνο ένας βιώσιμος τύπος μπαταρίας, είναι στην ουσία ένα από τα πιο βιώσιμα προϊόντα οποιουδήποτε τύπου που κατασκευάσθηκαν ποτέ μαζικά.

Το παρακάτω Σχήμα 3.3 δείχνει μία UltraBattery των 12 V που χρησιμοποιείται σε μια εφαρμογή που απαιτεί συνεχή διαχείριση μεταβλητότητας, όπως μπορεί να απαιτείται για τη σταθεροποίηση μικροδικτύων (micro-grids), την εξομάλυνση της ενέργειας που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ή άλλες εργασίες που απαιτούν

έλεγχο της ποιότητας ισχύος. Δεν υπάρχουν «νεκρές» περίοδοι ή περίοδοι «ανάπαυσης», και η UltraBattery λειτουργεί με αυτόν τον τρόπο κάθε μέρα για τουλάχιστον ένα μήνα πριν από μερικές ώρες ανανέωσης - μήνα με μήνα, έτος με έτος.

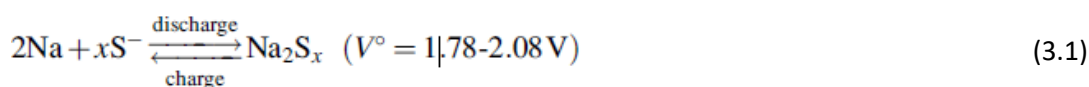


Σχήμα 3.3: Απαίτηση σε ισχύ του συστήματος και απόκριση της UltraBattery (μεμονωμένη UltraBattery των 12 V) (Ecoult, 2020)

Το γκρι ίχνος είναι η απαιτούμενη ισχύς φόρτισης ή εκφόρτισης της εφαρμογής. Το πορτοκαλί ίχνος είναι η απόκριση της UltraBattery. Η UltraBattery ικανοποιεί πιστά την απαίτηση για ισχύ με τρόπο που λίγες τεχνολογίες μπορούν.

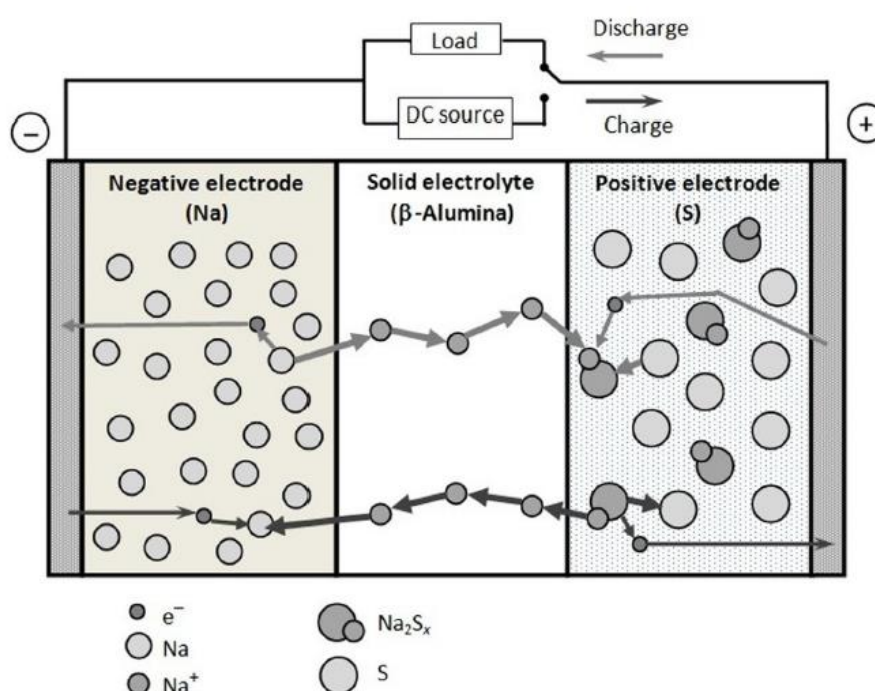
Μπαταρίες θειούχου νατρίου (sodium-sulfur batteries)

Μια μπαταρία θειούχου νατρίου (NaS) αποτελείται από τηγμένο θείο στο θετικό ηλεκτρόδιο και τηγμένο νάτριο στο αρνητικό ηλεκτρόδιο. Τα ηλεκτρόδια διαχωρίζονται με κεραμικό υλικό αγωγίμο στα ιόντα του νατρίου, συνήθως στερεός κεραμικός ηλεκτρολύτης βήτα αλουμίνας (N.P.H. Duraman, 2014). Κατά την εκφόρτιση, θετικά ιόντα νατρίου ρέουν μέσω του ηλεκτρολύτη και συνδυάζονται με το θείο παράγοντας πολυσουλφίδια νατρίου. Τα ηλεκτρόνια ρέουν στο εξωτερικό κύκλωμα της μπαταρίας, δίνοντας τάση κυττάρου περίπου 2 V. Η μπαταρία διατηρείται σε θερμοκρασία λειτουργίας 300-350 °C για να επιτρέψει αυτήν τη διαδικασία (Diyna and stergaard, 2009). Οι συνολικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στο κύτταρο δίνονται στην Εξίσωση (3.1) (N.P.H. Duraman, 2014). Η Εικόνα 3.3 απεικονίζει τη λειτουργία της μπαταρίας, ενώ η Εικόνα 3.4 δείχνει την κατασκευή της.

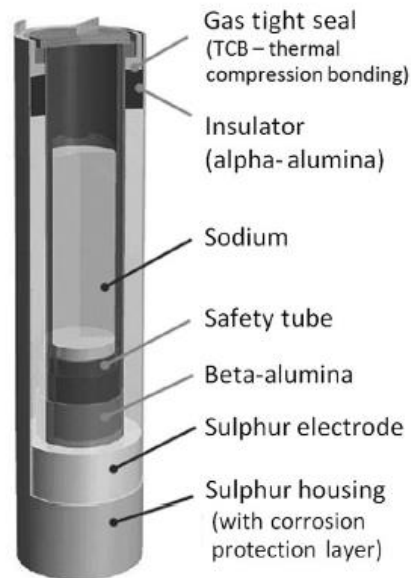


Οι μπαταρίες NaS έχουν υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, μεγάλη διάρκεια ζωής (~2500 κύκλοι) και εξαιρετική κουλομβική απόδοση (χωρίς αυτοεκφόρτιση) (Oshima et al.,

2004), λόγω του ότι η βήτα αλουμίνα είναι ένας πολύ κακός αγωγός ηλεκτρονίων. Ωστόσο, η υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας τους, των περίπου 300 °C, τα καθιστά πιο κατάλληλα ως συστήματα αποθήκευσης ενέργειας για μη κινητές εφαρμογές μεγάλης κλίμακας (N.P.H. Duraman, 2014). Επίσης, απαιτείται ορθή θερμική διαχείριση για τη διατήρηση του κεραμικού διαχωριστή και της ακεραιότητας του κυττάρου ενεργειακά αποδοτικά (Doughty et al., 2010). Ένα σταθμός μπαταριών θειούχου νατρίου που αναπτύχθηκε και εγκαταστάθηκε από την American Electric Power στο Τσάρλεστον της Δυτικής Βιρτζίνια στις Ηνωμένες Πολιτείες, χρησιμοποιήθηκε για την τροφοδοσία ηλεκτρικού ρεύματος σε απομακρυσμένες κοινότητες εκτός δικτύου, παρέχοντας 1,2 MW ηλεκτρικής ενέργειας για επτά ώρες (Doughty et al., 2010, Gunawardana, 2012). Ωστόσο, οι εγκαταστάσεις τέτοιων μπαταριών έχουν αποδειχθεί αρκετά ακριβές, κοστίζοντας περίπου 2000 \$ / kW και 350 \$ / kWh (Chen et al., 2009). Υπάρχει επίσης ζήτημα με την ασφάλεια, ειδικά μετά το συμβάν πυρκαγιάς στο εργοστάσιο Tsukuba στην Ιαπωνία τον Σεπτέμβριο του 2011, που προκλήθηκε από την κακή λειτουργία ενός κυττάρου που εμπεριεχόταν σε μία από τις αρθρωτές μπαταρίες NaS (N.P.H. Duraman, 2014). Αυτό ανάγκασε την NGK Insulators Ltd., τον κατασκευαστή των μπαταριών, να ανακαλέσει το προϊόν της για να επινοήσει μέτρα βελτίωσης της ασφάλειας των μπαταριών και να πραγματοποιήσει σχεδιαστικές τροποποιήσεις.



Εικόνα 3.3: Η αρχή λειτουργίας της μπαταρίας θειούχου νατρίου (N.P.H. Duraman, 2014)



Εικόνα 3.4: Η δομή μιας μπαταρίας θειούχου νατρίου (N.P.H. Duraman, 2014)

Στον Πίνακα 3.5 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των μπαταριών θειούχου νατρίου.

Πίνακας 3.5: Βασικά χαρακτηριστικά των μπαταριών θειούχου νατρίου (EASE, 2020)

Power range	200kW to 50 MW
Energy range	1.2 MWh to 400 MWh
Discharge time	6h at nominal power
Cycle life	Min. 4500 cycles
Life duration	15-20 years
Response time	Some millisec (if hot)
Efficiency	70-80 %*
Energy density	206 Wh/kg
CAPEX: energy	300-450€/kWh
CAPEX: power	2000-3000 €/kW

* The battery system auxiliary consumption for heating is not included in DC/DC round trip calculation.

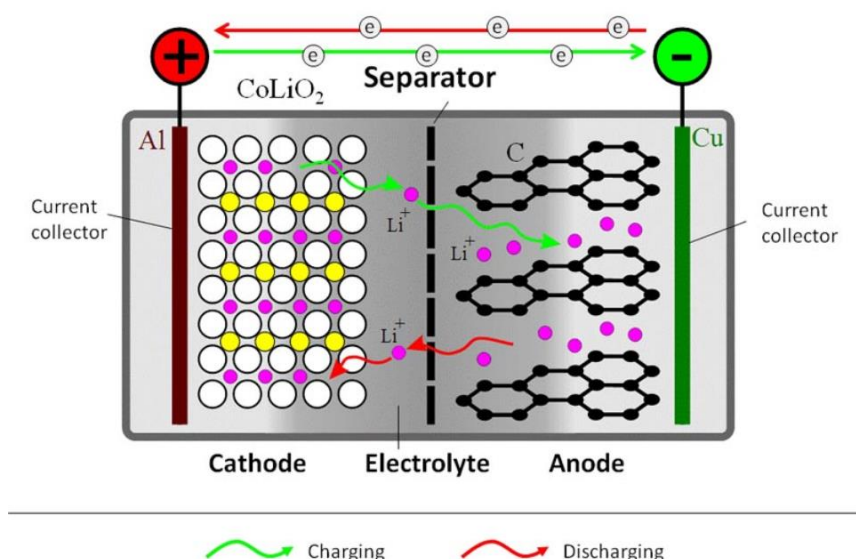
Μπαταρίες ιόντων-λιθίου (lithium-ion batteries)

Οι μπαταρίες ιόντων-λιθίου προτιμώνται για χρήση στα ηλιακά συστήματα καθώς έχουν υψηλή χωρητικότητα αποθήκευσης, υψηλούς ρυθμούς φόρτισης, λίγο βάρος και σχετικά μεγάλη διάρκεια ζωής. Ωστόσο, το κόστος αυτής της τεχνολογίας εξακολουθεί να είναι υψηλό πράγμα που λειτουργεί περιοριστικά για χρήση τους σε μεγάλης κλίμακας εγκαταστάσεις. Μερικά από τα πολύ ελκυστικά χαρακτηριστικά των μπαταριών ιόντων-λιθίου είναι πως δίνουν υψηλή ισχύ στην έξοδο, πως έχουν

υψηλή απόδοση φόρτισης-εκφόρτισης καθώς και πως αντέχουν περισσότερους κύκλους φόρτισης-εκφόρτισης συγκριτικά με τις μπαταρίες μολύβδου-οξέος.

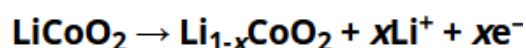
Αρχή λειτουργίας της μπαταρίας ιόντων-λιθίου

Μια γραφική αναπαράσταση μιας τυπικής μπαταρίας ιόντων-λιθίου δίνεται στην παρακάτω Εικόνα 3.5. Κατά γενικό κανόνα, το κύτταρο ιόντων-λιθίου αποτελείται από τρία στρώματα: πλάκα ηλεκτροδίου 1 (καθόδου) (συνήθως οξείδιο κοβαλτίου λιθίου, CoLiO_2), πλάκα ηλεκτροδίου 2 (ανόδου) (συνήθως από άνθρακα, C) και διαχωριστή. Τα ηλεκτρόδια μέσα στη μπαταρία είναι βυθισμένα σε έναν ηλεκτρολύτη, ο οποίος επιτρέπει τη μεταφορά ιόντων Li^+ μεταξύ της ανόδου και της καθόδου. Ο ηλεκτρολύτης είναι τυπικά άλας λιθίου σε οργανικό διαλύτη (Fedkin, 2019).

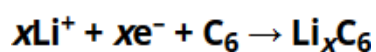


Εικόνα 3.5: Η μπαταρία ιόντων-λιθίου και οι διεργασίες μεταφοράς (Fedkin, 2019)

Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας φόρτισης χρησιμοποιείται ένα συνεχές ρεύμα (DC current) για να αποσύρει ιόντα Li^+ από την κάθοδο και για να οξειδώσει μερικώς την ένωση της καθόδου:



Τα απελευθερωμένα ιόντα Li^+ «μεταναστεύουν» μέσω του ηλεκτρολύτη προς την άνοδο, όπου απορροφώνται στη δομή του πορώδους άνθρακα:



Ταυτόχρονα, τα ηλεκτρόνια κινούνται μέσω του εξωτερικού κυκλώματος (ο ηλεκτρολύτης δεν είναι αγωγίμος). Κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης της μπαταρίας,

πραγματοποιείται η αντίστροφη διαδικασία. Τα ιόντα Li^+ επιστρέφουν «αυθόρμητα» στην κάθοδο, όπου συμβαίνει ηλεκτροχημική μείωση.

Οι περιορισμοί των μπαταριών ιόντων-λιθίου οφείλονται στις ιδιότητες του υλικού. Για παράδειγμα, η μετατροπή $\text{LiCoO}_2 \rightleftharpoons \text{Li}_{1-x}\text{CoO}_2$ είναι μόνο αναστρέψιμη με $x < 0,5$, η οποία περιορίζει το βάθος του κύκλου φόρτισης-εκφόρτισης. Αλλά με μια μεγαλύτερη ποικιλία διαθέσιμων υλικών, η έρευνα βρίσκεται σε εξέλιξη για την ανάπτυξη νέων γενεών μπαταριών ιόντων-λιθίου.

Πίνακας 3.6: Βασικά χαρακτηριστικά των μπαταριών ιόντων-λιθίου (EASE, 2020)

Power range	1kW to 50 MW
Energy range	Up to 10 MWh
Discharge time	10min to 4h
Cycle life	2,000 - 10,000 cycles
Life duration	15 – 20 years
Reaction time	Some millisec
Efficiency	90 - 98 % [*]
Energy (power) density	120 - 180 Wh/kg
CAPEX: energy	700 – 1,300 €/kWh
CAPEX: power	150 – 1,000 €/kW

[*] NOT including auxiliary loads

Πίνακας 3.7: Πλεονεκτήματα και περιορισμοί των μπαταριών ιόντων-λιθίου (Battery University, 2019)

Advantages	Limitations
1. Relatively high energy density and potential of finding even better formulations.	1. Circuit protection needed to avoid damaging high voltage / current.
2. No need for priming - new battery is ready to operate.	2. Aging - battery gradually loses its capacity even if not in use.
3. Low self-discharge (compared to other types of batteries).	3. Toxic chemicals are subject to regulations.
4. Low maintenance.	4. High cost of materials and manufacturing process.
5. Capability to generate high current / power.	5. Technology is not fully mature; varying components and chemicals.

Πίνακας 3.8: Συγκριτικός πίνακας των δύο συνηθέστερων τύπων μπαταριών που χρησιμοποιούνται στα φωτοβολταϊκά συστήματα (Spiegel, 2018)

Lithium-ion Batteries	Lead-acid Batteries
<ul style="list-style-type: none"> • Becoming more common in domestic grid-connected solar PV storage systems • More expensive • Lighter and smaller • Requires integrated controller to manage charging and discharging • More efficient • Can discharge more stored energy • Longer expected lifetime 	<ul style="list-style-type: none"> • Used for off-grid storage systems where additional storage is required • Less expensive • Heavier and larger • Requires good charging and discharging process to maintain battery health • Less efficient • Shorter expected lifetime

Μπαταρίες με βάση το νικέλιο (nickel-based batteries)

Οι μπαταρίες με βάση το νικέλιο έχουν ένα θετικό ηλεκτρόδιο υδροξειδίου του νικελίου και ένα αρνητικό ηλεκτρόδιο καδμίου. Κατά την εκφόρτιση, το υδροξείδιο του νικελίου ανάγεται σε διαφορετική μορφή υδροξειδίου του νικελίου με χαμηλότερη κατάσταση οξείδωσης και το κάδμιο οξειδώνεται σε υδροξείδιο του καδμίου. Οι αντίστροφες αντιδράσεις λαμβάνουν χώρα κατά την επαναφόρτιση. Ο ηλεκτρολύτης είναι ένα διάλυμα υδροξειδίου του καλίου. Η κατασκευή της μπαταρίας διαφέρει για συγκεκριμένες εφαρμογές, αλλά υπάρχουν δύο βασικοί τύποι (EUROBAT, 2022): είτε τύπος πλάκας τσέπης είτε τύποι που χρησιμοποιούν δομή ηλεκτροδίου πυροσυσσωματωμένο ή συγκολλημένο. Για τύπους μπαταριών πλάκας τσέπης, χρησιμοποιείται μια διάτρητη επινικελωμένη χαλύβδινη τσέπη για να περιέχει το δραστικό υλικό. Για πυροσυσσωματωμένους ή συγκολλημένους τύπους, μπορεί να χρησιμοποιηθεί πορώδες μερικώς συντηγμένο υπόστρωμα νικελίου, αλλά προσφέρονται επίσης διάφορες πλαστικές συγκολλημένες δομές και ινώδεις κατασκευές. Η κατασκευή μπαταριών τύπου πλάκας τσέπης είναι εξαιρετικά αξιόπιστη και προσφέρει μέτρια απόδοση, αλλά οι άλλοι τύποι προσφέρουν υψηλότερα επίπεδα ηλεκτρικής απόδοσης (EUROBAT, 2022). Οι μπαταρίες με βάση το νικέλιο μπορούν επίσης να κατασκευαστούν σε πλήρως σφραγισμένη μορφή, παρόμοια με τις μπαταρίες μολύβδου-οξέος με βαλβίδα ρύθμισης (Valve-Regulated Lead-Acid (VRLA)).

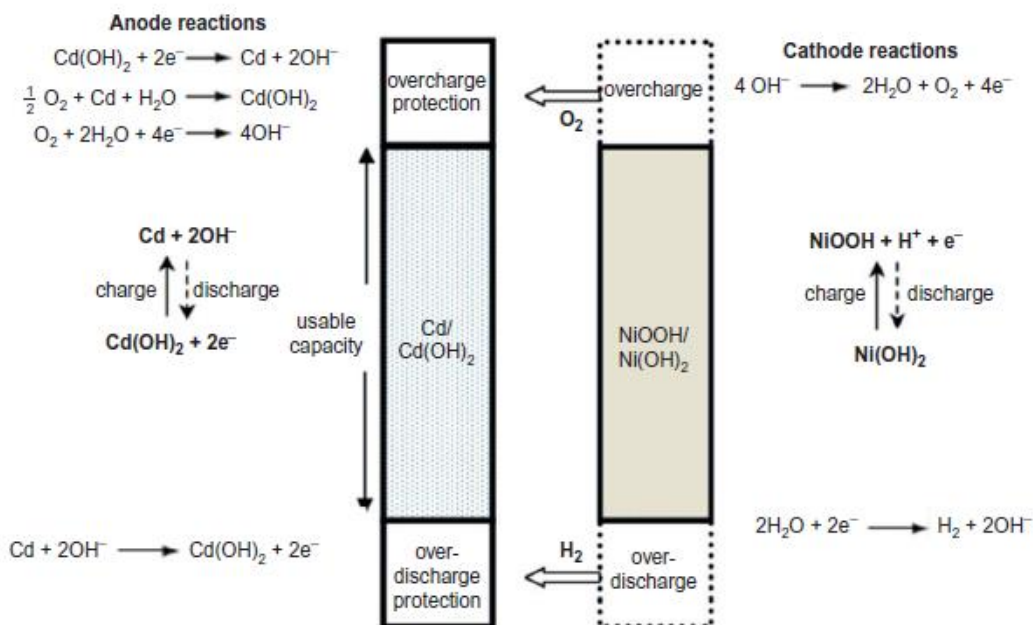
Οι μπαταρίες με βάση το νικέλιο προσφέρουν καλή αντοχή στην ηλεκτρική χρήση, καθώς μπορούν να παραμείνουν σε αποφορτισμένη κατάσταση για μεγάλα χρονικά διαστήματα χωρίς μόνιμη ζημιά και επίσης προσφέρουν καλή απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος.

Μπαταρίες νικελίου-καδμίου (nickel-cadmium batteries)

Σε μια μπαταρία νικελίου-καδμίου, το θετικό ηλεκτρόδιο αποτελείται από οξυδροξείδιο του νικελίου ως το δραστικό υλικό, το αρνητικό ηλεκτρόδιο περιέχει μεταλλικό κάδμιο και ο διαχωριστής των ηλεκτροδίων είναι ένας διαχωριστής νάιλον (N.P.H. Duraman, 2014). Το υδατικό υδροξείδιο του καλίου (KOH) δρα ως

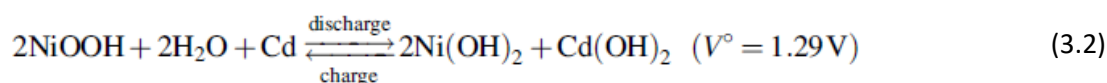
ηλεκτρολύτης στην μπαταρία και δεν υφίσταται σημαντικές αλλαγές κατά τη λειτουργία της (Shukla et al., 2009). Ένα κοινό πρόσθετο στον ηλεκτρολύτη KOH είναι το υδροξείδιο του λιθίου, το οποίο έχει αποδειχθεί ότι βελτιώνει την χωρητικότητα και την ικανότητα φόρτισης και εκφόρτισης των κυττάρων (Green, 2007).

Η αρχή λειτουργίας ενός κυττάρου Ni-Cd απεικονίζεται στο Εικόνα 3.6. Οι συνολικές αντιδράσεις φόρτισης και εκφόρτισης συνοψίζονται στην Εξίσωση (3.2). Σε σύγκριση με την μπαταρία μολύβδου-οξέος, η τάση κυττάρου του Ni-Cd είναι χαμηλότερη.



Εικόνα 3.6: Αρχή λειτουργίας ενός κυττάρου Ni-Cd (N.P.H. Duraman, 2014)

Συνολική αντίδραση κυττάρου (N.P.H. Duraman, 2014):



Κατά την εκφόρτιση, το οξυδροξείδιο του νικελίου συνδυάζεται με νερό για να παράξει δισθενές υδροξείδιο του νικελίου και ιόν υδροξειδίου (N.P.H. Duraman, 2014). Το μεταλλικό κάδμιο οξειδώνεται για να παράξει υδροξειδίου του καδμίου στο αρνητικό ηλεκτρόδιο. Η διαδικασία αντιστρέφεται κατά τη φόρτιση, αλλά το οξυγόνο μπορεί να απελευθερωθεί στο θετικό ηλεκτρόδιο και το υδρογόνο μπορεί να σχηματιστεί στο αρνητικό ηλεκτρόδιο. Απαιτείται κάποιος εξαερισμός και συμπλήρωση με νερό, κάτι και όχι τόσο απαραίτητο για μια μπαταρία μολύβδου-οξέος.

Δύο είναι οι συνηθέστεροι τύποι μπαταριών νικελίου-καδμίου (N.P.H. Duraman, 2014): Ο σφραγισμένος τύπος που τον συναντάμε συχνότερα σε φορητό εξοπλισμό και ο αεριζόμενος τύπος, γνωστός και ως «πλημμυρισμένο» κύτταρο, ο οποίος έχει

μια βαλβίδα απελευθέρωσης πίεσης που επιτρέπει την απελευθέρωση αερίου οξυγόνου ή υδρογόνου εάν η μπαταρία υπερφορτιστεί ή υποστεί ταχεία εκφόρτιση.

Για τις αεριζόμενες μπαταρίες, η πρωτότυπη κατασκευή για τις πλάκες είναι η κατασκευή τσέπης (N.P.H. Duraman, 2014). Το ενεργό υλικό περιορίζεται σε διάτρητες τσέπες κατασκευασμένες από μεταλλικά φύλλα επινικελωμένου χάλυβα, οι οποίες λειτουργούν τόσο ως στήριγμα όσο και ως συλλέκτες ρεύματος. Οι τσέπες αυτές παρέχουν χαμηλή αναλογία επιφανείας προς όγκο για το ενεργό υλικό. Αντέχουν σε ηλεκτρικές και μηχανικές καταπονήσεις, έχουν πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής και έχουν χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές για παροχή ενέργειας σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης και σε καταστάσεις αναμονής. Ένας άλλος σχεδιασμός είναι η συντηγμένη πλάκα. Τα συντηγμένα ηλεκτρόδια παράγονται για διαμόρφωση μεγάλης επιφάνειας/όγκου και έχουν υψηλότερη πυκνότητα ενέργειας και καλύτερες ιδιότητες εκφόρτισης, αλλά είναι πιο ακριβά από τον τύπο τσέπης (Linden and Reddy, 2002).

Η μπαταρία Ni-Cd έχει καλά χαρακτηριστικά, που σχετίζονται με τη διάρκεια ζωής της, τη μηχανική και τη θερμική σταθερότητα και τη συντήρηση της (McDowall, 2006). Μια μπαταρία Ni-Cd μπορεί κανονικά να πραγματοποιήσει περισσότερους από 2000 κύκλους. Έχει επίσης μια μηχανικώς στιβαρή κατασκευή και μπορεί να αντέξει σε σκληρό χειρισμό, καθιστώντας τη δομικώς αξιόπιστη. Ο ηλεκτρολύτης δεν «προσβάλλει» το ηλεκτρόδιο ή οποιοδήποτε από τα στοιχεία του κυττάρου και η μπαταρία είναι ικανή να αντέξει υπερφόρτιση, επομένως απαιτείται λίγη συντήρηση (N.P.H. Duraman, 2014). Επίσης, σε σύγκριση με τεχνολογίες με βάση το μόλυβδο, οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου έχουν καλύτερη θερμική αντοχή. Είναι πιο ανθεκτικές σε αυξημένες θερμοκρασίες (έως 50 °C) και έχουν θέσει υποψηφιότητα ως βιώσιμα συστήματα αποθήκευσης για διεσπαρμένη παραγωγή όπου υπάρχει περιβάλλον υψηλών θερμοκρασιών, όπως στις εφαρμογές ηλιακής και αιολικής ενέργειας (Green, 2007).

Ένας πρωτοπόρος κατασκευαστής μπαταριών τεχνολογίας νικελίου-καδμίου είναι η Saft (2014). Πρόσφατα ανέπτυξαν τη μπαταρία Sunica.plus, που προορίζεται ειδικά για χρήση σε απομακρυσμένες, με δυσκολία στην πρόσβαση, εκτός δικτύου, φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις (N.P.H. Duraman, 2014). Το σύστημα των μπαταριών έχει στιβαρή κατασκευή και υψηλή ικανότητα εκτέλεσης κύκλων (10.000 κύκλοι σε 15% βάθος εκφόρτισης (DOD)) και χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης (διάστημα ανανέωσης νερού 6 ετών) ακόμη και σε καταχρηστικές συνθήκες φόρτισης. Είναι επίσης κατάλληλο για χρήση σε θερμοκρασίες λειτουργίας από -20 έως 50 °C.

Οι μπαταρίες Ni-Cd έχουν μειονεκτήματα. Δεν έχουν βιώσει μεγάλη εμπορική επιτυχία επειδή είναι πολύ δαπανηρές, έως και 10 φορές περισσότερο από τις μπαταρίες μολύβδου-οξέος (Hall and Bain, 2008). Επίσης, η χρήση καδμίου, το οποίο είναι ένα εξαιρετικά τοξικό μέταλλο, έχει δημιουργήσει ανησυχίες για το περιβάλλον. Τα μεταλλικά αρνητικά ηλεκτρόδια υδριδίου έχουν αναπτυχθεί έτσι ώστε να προσφέρουν ένα πιο φιλικό προς το περιβάλλον σύστημα μπαταριών (Beck and Rüetschi, 2000). Οι μπαταρίες Ni-Cd πάσχουν επίσης από το φαινόμενο της μνήμης

(Berndt, 2003), όπου μια μπαταρία μπορεί να υποφέρει από απώλεια χωρητικότητας ή πτώση τάσης από την υποβολή της σε επαναλαμβανόμενους κύκλους «ρηχών» εκφορτίσεων. Αυτή η συμπεριφορά δεν παρατηρείται πολύ στα αεριζόμενα κύτταρα αλλά είναι πιο εμφανής στον σφραγισμένο τύπο κυττάρων, επομένως δεν πρέπει να προκαλεί ανησυχία αυτό όταν χρησιμοποιούνται μπαταρίες Ni-Cd σε εφαρμογές διεσπαρμένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (N.P.H. Duraman, 2014).

Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της μπαταρίας Ni-Cd συνοψίζονται ως εξής (Battery University, 2019):

➤ Πλεονεκτήματα:

- Ανθεκτική με μεγάλο αριθμό κύκλων εάν συντηρείται σωστά
- Η μόνη μπαταρία που μπορεί να φορτιστεί εξαιρετικά γρήγορα με λίγη «πίεση»
- Καλή απόδοση φορτίου. Ανθεκτική σε ακραίες συνθήκες λειτουργίας
- Μεγάλη διάρκεια ζωής, μπορεί να αποθηκευτεί εκφορτισμένη, χρειάζεται γόμωση πριν τη χρήση
- Απλή αποθήκευση και μεταφορά, δεν υπόκειται σε ρυθμιστικό έλεγχο
- Καλή απόδοση στις χαμηλές θερμοκρασίες
- Οικονομική. Οι μπαταρίες Ni-Cd είναι οι οικονομικότερες όσον αφορά το κόστος ανά κύκλο
- Διατίθεται σε μεγάλη ποικιλία μεγεθών και επιλογών απόδοσης

➤ Μειονεκτήματα:

- Σχετικά χαμηλή ειδική ενέργεια σε σύγκριση με νεότερα συστήματα
- Υποφέρει από το φαινόμενο της μνήμης. Χρειάζονται περιοδικές πλήρεις εκφορτίσεις και μπορεί να ανανεωθεί
- Το κάδμιο είναι ένα τοξικό μέταλλο. Δεν είναι δυνατή η διάθεσή της μετά το πέρας του ωφέλιμου χρόνου ζωής της σε χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων
- Υψηλή αυτοεκφόρτιση. Χρειάζεται επαναφόρτιση μετά την αποθήκευση
- Η χαμηλή τάση κυττάρου της τάξεως του 1,20 V απαιτεί πολλά κύτταρα προκειμένου να επιτευχθεί υψηλή τάση

Στον Πίνακα 3.9 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των μπαταριών Ni-Cd.

Πίνακας 3.9: Βασικά χαρακτηριστικά των μπαταριών Ni-Cd (EASE, 2020)

Power range	Some kW - some
Energy range	< some 10 M Wh
Discharge time	Some mn – some h
Cycle life	1 000-5 000 cycles
Life duration	10 – 20 years
Reaction time	Some ms
Efficiency	60-70 %
Energy [power] density	30-70 Wh/kg
CAPEX: energy	400 - 700 € / kWh
CAPEX: power	500 – 1 500 € / kW

Μπαταρίες υδριδίου νικελίου-μετάλλου (nickel-metal hydride batteries)

Η μπαταρία υδριδίου νικελίου-μετάλλου (Ni-MH) είναι μια παραλλαγή του συστήματος Ni-Cd. Οι μπαταρίες Ni-MH χρησιμοποιούν επίσης θετικές πλάκες με υδροϋπεροξείδιο του νικελίου (NiOOH) ως ενεργό υλικό και υδατικό ηλεκτρολύτη υδροξειδίου του καλίου που συνήθως προστίθεται με υδροξείδιο του λιθίου για αυξημένη απόδοση φόρτισης της καθόδου (N.P.H. Duraman, 2014). Οι μπαταρίες Ni-MH διαφέρουν από τις Ni-Cd στο ότι το ενεργό υλικό στην αρνητική πλάκα είναι ένα διαμεταλλικό κράμα απορρόφησης υδρογόνου. Τα μεταλλικά κράματα εμπίπτουν κυρίως σε δύο κατηγορίες (Shukla and Martha, 2001):

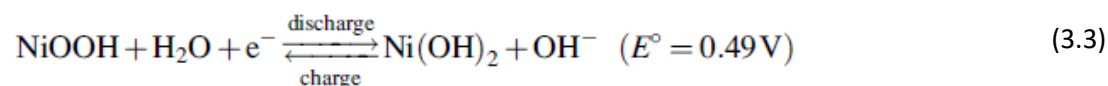
- 1) Τα κράματα AB₅, τα οποία συνδυάζουν ένα στοιχείο σπάνιων γαιών που σχηματίζει σταθερά υδρίδια (λανθάνιο, δημήτριο, νεοδύμιο, πρασεοδύμιο, ύτριο ή μείγμα τους) με Ni, τα οποία μερικές φορές ντοπάρονται με κοβάλτιο, αλουμίνιο ή κασσίτερο.
- 2) Τα κράματα AB₂, τα οποία είναι ένας συνδυασμός τιτανίου, βαναδίου ή ζirkονίου (Α-πλευρά) με ζirkόνιο ή νικέλιο, τροποποιημένο με μαγγάνιο, χρώμιο, κοβάλτιο, βανάδιο ή σίδηρο (Β-πλευρά) με βάση το νικέλιο που αναμιγνύεται συνήθως με τιτάνιο, βανάδιο και ζirkόνιο.

Ενώ τα κράματα AB₂ αποδίδουν υψηλότερες πυκνότητες αποθήκευσης ενέργειας, τα κράματα AB₅ μπορούν να συγκρατήσουν το υδρογόνο καλύτερα, μειώνοντας έτσι τον ρυθμό αυτοεκφόρτισης της μπαταρίας. Τα κράματα AB₅ είναι επίσης φθηνότερα και ευκολότερα στη χρήση (Hariprakash et al., 2009, Sakai et al., 1991, Shukla et al., 2001).

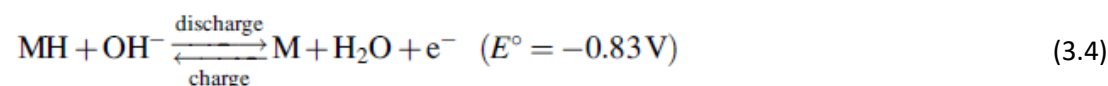
Οι αντιδράσεις στα κύτταρα μιας μπαταρίας Ni-MH κατά τη διάρκεια της φόρτισης και της εκφόρτισης περιγράφονται από τις Εξισώσεις (3.3) - (3.5) (Shukla et al., 2001),

και η σχηματική αναπαράσταση του τρόπου λειτουργίας της μπαταρίας δίνεται στην Εικόνα 3.7.

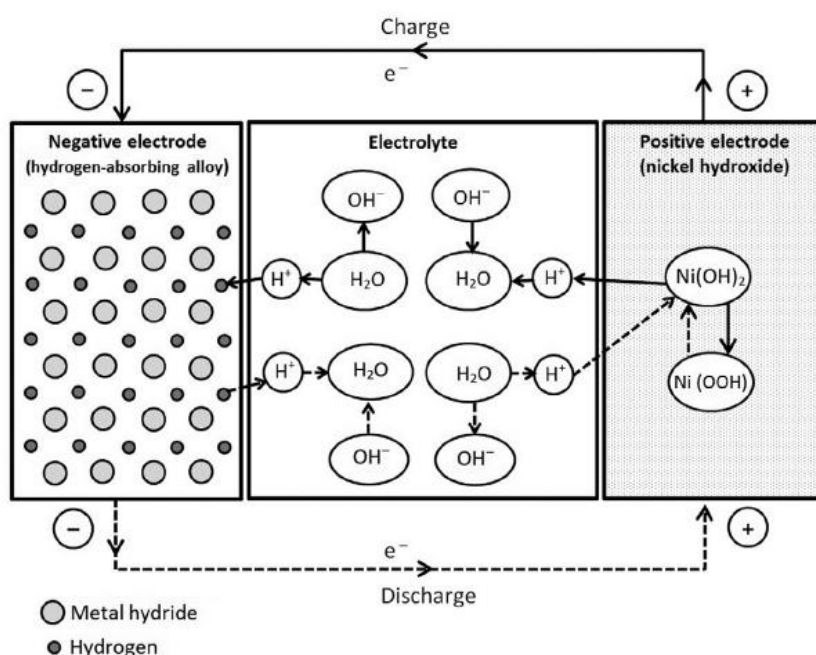
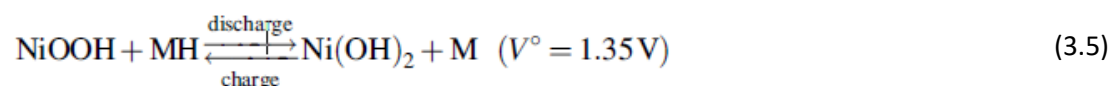
Στη θετική πλάκα:



Στην αρνητική πλάκα:



Η συνολική αντίδραση στο κύτταρο:



Εικόνα 3.7: Σχηματική απεικόνιση μιας μπαταρίας Ni-MH (N.P.H. Duraman, 2014)

Η ποσότητα ή η συγκέντρωση του ηλεκτρολύτη δεν μεταβάλλεται καθόλου στους κύκλους φόρτισης-εκφόρτισης. Όπως δείχνουν οι Εξισώσεις (3.3) και (3.4), το νερό που παράγεται κατά τη φόρτιση καταναλώνεται κατά τη διαδικασία εκφόρτισης, δίνοντας ένα πλεονέκτημα στις μπαταρίες Ni-MH έναντι των Ni-Cd επειδή απαιτείται λίγη συντήρηση, ειδικά σε συνδυασμό με τη στεγανή κατασκευή τους.

Οι διαδικασίες φόρτισης και εκφόρτισης μιας μπαταρίας Ni-MH υφίσταται μέσω ενός ομοιογενούς μηχανισμού στερεάς κατάστασης με μεταφορά πρωτονίων μεταξύ του

υδροξειδίου του νικελίου και του κράματος αποθήκευσης του υδρογόνου (N.P.H. Dugaman, 2014). Αυτή η διαδικασία διαφέρει από αυτήν των μπαταριών Ni-Cd, στην οποία η αντίδραση της ανόδου περιλαμβάνει έναν μηχανισμό διάλυσης-υγροποίησης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, πτώση της απόδοσης, λόγω αλλαγών στην κρυσταλλογραφία, στη δομική ολοκλήρωση και στη μορφολογία της επιφάνειας του ηλεκτροδίου λόγω της διάλυσης και της ανακρυστάλλωσης, που δεν είναι αισθητές στο σύστημα Ni-MH. Αυτό επιτρέπει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής στην μπαταρία (Hall and Bain, 2008).

Οι διαφορές μεταξύ των μπαταριών Ni-MH και Ni-Cd, συνοψίζονται ως εξής (Farschad Torabi, 2019):

- Η ενεργειακή περιεκτικότητα των κυττάρων μπαταριών Ni-MH είναι μεγαλύτερη από εκείνη των κυττάρων Ni-Cd.
- Η επίπτωση στο περιβάλλον των κυττάρων Ni-MH είναι ασθενέστερη από αυτή των μπαταριών Ni-Cd.
- Οι μπαταρίες Ni-Cd έχουν μικρότερο ποσοστό αυτοεκφόρτισης από αυτές του Ni-MH. Στα κύτταρα Ni-MH το παραγόμενο υδρογόνο απελευθερώνεται και όσο περισσότερο υδρογόνο απελευθερώνεται, τόσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό αυτοεκφόρτισης.
- Τα κύτταρα Ni-MH σχεδόν δεν υποφέρουν από το φαινόμενο της μνήμης, ενώ οι μπαταρίες Ni-Cd είναι επιρρεπείς στο φαινόμενο της μνήμης.
- Οι μπαταρίες Ni-Cd είναι πιο ανεκτικές σε υπερφόρτιση. Εάν μια κυψέλη Ni-MH υπερφορτιστεί, τότε το ενεργό της υλικό καταστρέφεται, αλλά τα κύτταρα Ni-Cd δεν δείχνουν τέτοια συμπεριφορά.
- Η διαδικασία φόρτισης στις μπαταρίες Ni-MH είναι εξώθερμη και η θερμοκρασία του κυττάρου αυξάνεται κατά τη φόρτιση, αλλά στις μπαταρίες Ni-Cd η διαδικασία φόρτισης δεν είναι εξώθερμη και η θερμοκρασία του κυττάρου παραμένει σχεδόν σταθερή.

Οι μπαταρίες Ni-MH χρησιμοποιούνται κυρίως σε ηλεκτρονικές και άλλες φορητές συσκευές, καθώς και σε ηλεκτρικά και υβριδικά οχήματα. Προσφάτως έχουν εξεταστεί και για χρήση σε σταθερές εφαρμογές (Kopera and Orion, 2005, Zelinsky et al., 2010). Το 2005, η εταιρία Ononix Battery Company παρουσίασε την έννοια της χρήσης μπαταριών Ni-MH για σταθερές εφαρμογές. Η μελέτη περίπτωσης της για μπαταρία 560-kW για εφαρμογές ηλιακής ενέργειας, τηλεπικοινωνιών και αδιάλειπτης τροφοδοσίας έδειξε ότι μόνο το ένα τρίτο του χώρου στο δάπεδο καταναλώθηκε όταν ένα δωμάτιο γεμάτο με μπαταρίες μολύβδου-οξέος αντικαταστάθηκε με στοίβες μονάδων Ni-MH (Zelinsky et al., 2010). Το μικρότερο αποτύπωμά τους δείχνει ένα πλεονέκτημα των μπαταριών Ni-MH έναντι του συστήματος μολύβδου-οξέος.

Αν και οι μπαταρίες Ni-MH έχουν υψηλή ενεργειακή πυκνότητα και παρουσιάζουν λιγότερη περιβαλλοντική ανησυχία λόγω της χρήσης μη τοξικών υλικών (χωρίς κάδμιο ή μόλυβδο), υπάρχουν μειονεκτήματα όσον αφορά την υψηλή

αυτοεκφόρτιση (~30%/μήνα), η οποία μειώνει την απόδοσή τους για μακροπρόθεσμη αποθήκευση ενέργειας και την εξάρτησή τους από περιορισμένες προμήθειες σπάνιων στοιχείων (N.P.H. Duraman, 2014).

Ακολουθούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των μπαταριών Ni-MH (Battery University, 2019):

➤ Πλεονεκτήματα:

- 30-40% υψηλότερη χωρητικότητα από ένα τυπικό κύτταρο Ni-Cd
- Λιγότερο επιρρεπείς στο φαινόμενο της μνήμης από τις μπαταρίες Ni-Cd
- Απλή αποθήκευση και μεταφορά, δεν υπόκεινται σε ρυθμιστικό έλεγχο
- Φιλικές προς το περιβάλλον, περιέχουν μόνο ήπια τοξικά
- Το νικέλιο που περιέχουν καθιστά την ανακύκλωσή τους κερδοφόρα
- Μεγάλο εύρος θερμοκρασίας

➤ Μειονεκτήματα:

- Περιορισμένη διάρκεια ζωής, η βαθιά εκφόρτιση μειώνει τη διάρκεια ζωής
- Απαιτείται σύνθετος αλγόριθμος φόρτισης. Έχουν ευαισθησία στην υπερφόρτιση
- Δεν απορροφούν καλά την υπερφόρτιση
- Παράγεται θερμότητα κατά τη γρήγορη φόρτιση και την εκφόρτιση μεγάλου φορτίου
- Υψηλή αυτοεκφόρτιση
- Κουλομβική απόδοση μόνο περίπου 65% (99% με μπαταρίες ιόντων-λιθίου)

Στον Πίνακα 3.10 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των μπαταριών Ni-MH.

Πίνακας 3.10: Βασικά χαρακτηριστικά των μπαταριών Ni-MH (EASE, 2020)

Power range	Some kW - some
Energy range	< some 10 MWh
Discharge time	Some min - some h
Cycle life	1,000 - 5,000 cycles
Life duration	10 - 15 years
Reaction time	Some millisec
Efficiency	60-70 %
Energy [power] density	75 - 80 Wh/kg
CAPEX: energy	400 - 700 €/kWh
CAPEX: power	500 - 1,500 €/kW

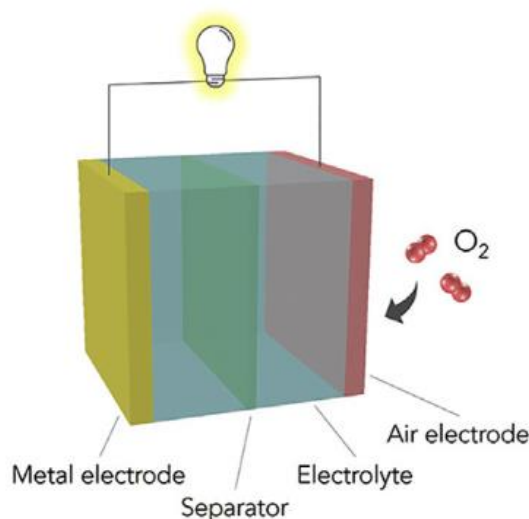
Μπαταρίες μετάλλου-αέρα (metal-air batteries)

Οι μπαταρίες μετάλλου-αέρα, που τροφοδοτούνται από μεταλλική οξείδωση και μείωση οξυγόνου, έχουν επικεντρωθεί έντονα ως οι υποσχόμενες μπαταρίες υψηλής ενέργειας επόμενης γενιάς. Ωστόσο, η πρακτική εφαρμογή των επαναφορτιζόμενων μπαταριών μετάλλου-αέρα αντιμετωπίζει προκλήσεις, όπως η μη ικανοποιητική πυκνότητα ισχύος και η κυκλομική απόδοσή τους (Hao-Fan Wang, 2019). Ο ορθολογικός σχεδιασμός των υλικών του ηλεκτροδίου αέρα, του μεταλλικού ηλεκτροδίου, του ηλεκτρολύτη και του διαχωριστή είναι ιδιαίτερα επιθυμητός για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων. Για μελλοντικές έρευνες, θα πρέπει να δοθεί μεγαλύτερη έμφαση στην επίτευξη σταθερών και αναστρέψιμων κύκλων φόρτισης-εκφόρτισης για να επιταχυνθεί η ανάπτυξη των πραγματικά επαναφορτιζόμενων μπαταριών μετάλλου-αέρα.

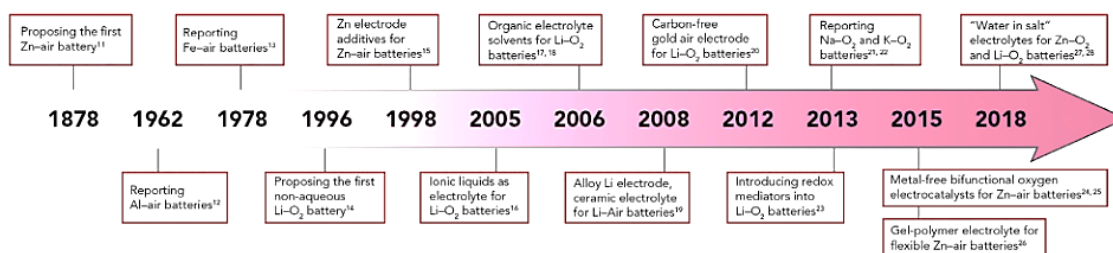
Οι μπαταρίες μετάλλου-αέρα είναι μια οικογένεια ηλεκτροχημικών κυττάρων που τροφοδοτούνται από οξείδωση μετάλλων και μείωση οξυγόνου, παρουσιάζοντας ένα μεγάλο πλεονέκτημα όσον αφορά τη θεωρητική πυκνότητα ενέργειας, η οποία είναι περίπου 3-30 φορές υψηλότερη από τις εμπορικές μπαταρίες ιόντων-λιθίου (Hao-Fan Wang, 2019). Οι μπαταρίες λιθίου-αέρα (Li-air batteries) και οι μπαταρίες ψευδαργύρου-αέρα (Zn-air batteries) είναι δύο τύποι μπαταριών μετάλλου-αέρα που έχουν προσελκύσει την περισσότερη προσοχή. Οι μπαταρίες λιθίου-αέρα (με το Li_2O_2 ως το προϊόν εκφόρτισης) μπορούν να προσφέρουν ανώτερη θεωρητική απόδοση μεγάλης ενεργειακής πυκνότητας $11.429 \text{ W h kg}^{-1}$ (με βάση τη μάζα του λιθίου), υψηλή ειδική χωρητικότητα $3.860 \text{ mA h g}^{-1}$ (με βάση τη μάζα του λιθίου) και τάση κυττάρου της τάξεως των 2,96 V. Για τις μπαταρίες ψευδαργύρου-αέρα, η θεωρητική πυκνότητα ενέργειας είναι $1.350 \text{ W h kg}^{-1}$ (με βάση τη μάζα του

ψευδαργύρου), ακόμα 5 φορές υψηλότερη από τις μπαταρίες ιόντων-λιθίου. Επιπλέον, οι μπαταρίες ψευδαργύρου-αέρα έχουν επίσης το πλεονέκτημα χαμηλού κόστους (περίπου $10 \text{ \$ kW}^{-1} \text{ h}^{-1}$) σε σύγκριση με τις μπαταρίες ιόντων-λιθίου ($400\text{-}800 \text{ \$ kW}^{-1} \text{ h}^{-1}$). Εκτός από τις μπαταρίες λιθίου-αέρα και ψευδαργύρου-αέρα, άλλοι τύποι μπαταριών μετάλλου-αέρα έχουν επίσης τα δικά τους πλεονεκτήματα. Για παράδειγμα, οι μπαταρίες αργιλίου-αέρα παρουσιάζουν την υψηλότερη ογκομετρική χωρητικότητα (8.040 A h L^{-1}). Επομένως, η οικογένεια μπαταριών μετάλλου-αέρα έχει μεγάλες δυνατότητες ώστε να αποτελέσει την επόμενη γενιά συσκευών ηλεκτροχημικής αποθήκευσης ενέργειας.

Οι μπαταρίες μετάλλου-αέρα συνήθως έχουν τέσσερα κύρια μέρη: ένα ηλεκτρόδιο αέρα, μεταλλικό ηλεκτρόδιο, ηλεκτρολύτη και διαχωριστή, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.8. Για τις περισσότερες μπαταρίες μετάλλου-αέρα, το αντιδρών του ηλεκτροδίου αέρα O_2 λαμβάνεται από τον αέρα του περιβάλλοντος και δεν περιέχεται μέσα στο κελί. Επομένως, το ηλεκτρόδιο αέρα αποτελείται συνήθως μόνο από ένα στρώμα ηλεκτροκαταλύτη για τη μείωση του δυναμικού του ηλεκτροδίου και ένα στρώμα διάχυσης αερίου (GDL) για την ενίσχυση της διάχυσης οξυγόνου μεταξύ του αέρα του περιβάλλοντος και της επιφάνειας του καταλύτη (Hao-Fan Wang, 2019). Τα μέταλλα που διερευνήθηκαν για το μεταλλικό ηλεκτρόδιο περιλαμβάνουν ψευδάργυρο, λίθιο, αργίλιο, μαγνήσιο και νάτριο. Για εξαιρετικά ενεργά μέταλλα που είναι ασταθή σε υδατικά συστήματα, όπως λίθιο, το νάτριο και το κάλιο, απαιτείται συνήθως ένας μη υδατικός απρωτικός ηλεκτρολύτης, ενώ για σχετικά ανενεργά μέταλλα όπως ο ψευδάργυρος, το αργίλιο, το μαγνήσιο και ο σίδηρος, χρησιμοποιούνται ευρέως αλκαλικοί υδατικοί ηλεκτρολύτες. Ο διαχωριστής είναι ένα προαιρετικό στοιχείο μιας μπαταρίας μετάλλου-αέρα που χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό δύο διαφορετικών ηλεκτρολυτών, εμποδίζοντας ορισμένες διαδικασίες μεταφοράς μάζας μεταξύ των ηλεκτροδίων, και αποτρέποντας το βραχυκύκλωμα που προκαλείται από μεταλλικούς δένδριτες. Από την εφεύρεση της πρώτης μπαταρίας ψευδαργύρου-αέρα το 1878, μεγάλη πρόοδος έχει επιτελεστεί σε ερευνητικό επίπεδο για τις μπαταρίες μετάλλου-αέρα (Εικόνα 3.9). Ωστόσο, αυτές οι μπαταρίες εξακολουθούν να αντιμετωπίζουν προβλήματα που παρακωλύουν τη βιομηχανική εφαρμογή τους σε μεγάλη κλίμακα. Για την πραγματοποίηση της πρακτικής εφαρμογής των μπαταριών μετάλλου-αέρα, πρέπει να ληφθεί υπόψη ο σχεδιασμός και η ρύθμιση του υλικού κάθε εξαρτήματός τους.



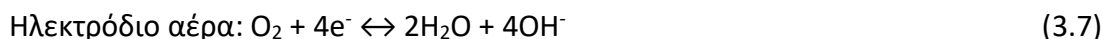
Εικόνα 3.8: Σχηματική αναπαράσταση μιας μπαταρίας μετάλλου-αέρα (Hao-Fan Wang, 2019)



Εικόνα 3.9: Σύντομο χρονοδιάγραμμα της προόδου της έρευνας για τις μπαταρίες μετάλλου-αέρα (Hao-Fan Wang, 2019)

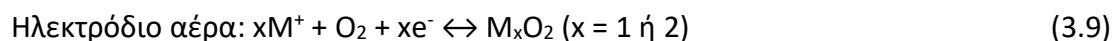
Αρχή λειτουργίας των μπαταριών μετάλλου-αέρα – Οι αντιδράσεις των ηλεκτροδίων

Οι αντιδράσεις των ηλεκτροδίων των επαναφορτιζόμενων μπαταριών μετάλλου-αέρα ποικίλλουν ανάλογα με τα μεταλλικά ηλεκτρόδια και τον τύπο των ηλεκτρολυτών. Γενικά, για μπαταρίες μετάλλου-αέρα με υδατικούς ηλεκτρολύτες, οι αντιδράσεις ηλεκτροδίων έχουν την ακόλουθη μορφή (Hao-Fan Wang, 2019):



όπου το M αναπαριστά το μέταλλο (Zn, Al, Mg, Fe, κ.λπ.) και το n αναπαριστά τον αριθμό φόρτισης του ιόντος μετάλλου. Τα ιόντα μετάλλου που παράγονται στο ηλεκτρόδιο μετάλλου κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εκφόρτισης μπορεί να αντιδράσουν περαιτέρω με το OH⁻ στον αλκαλικό ηλεκτρολύτη. Στο ηλεκτρόδιο αέρα, οι μετατροπές μεταξύ οξυγόνου και νερού πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια των διαδικασιών εκφόρτισης και φόρτισης, οι οποίες έχουν διερευνηθεί ευρέως ως αντίδραση μείωσης του οξυγόνου (ORR, εκφόρτιση) και αντίδραση οξείδωσης οξυγόνου (OER, φόρτιση).

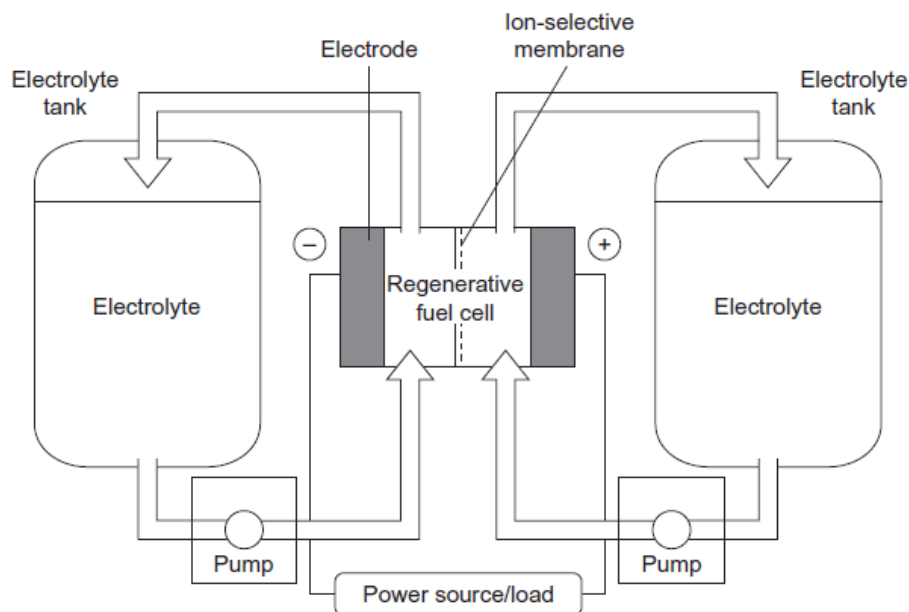
(OER, φόρτιση) για εφαρμογές σε κυψέλες καυσίμου, διάσπαση νερού και ούτω καθεξής. Για μπαταρίες λιθίου-, νατρίου- και καλίου-αέρα με απρωτικούς ηλεκτρολύτες, το οξυγόνο αντιδρά με τα ιόντα μετάλλου στο ηλεκτρόδιο αέρα, και τα προϊόντα εκφόρτισης στο ηλεκτρόδιο αέρα, μπορεί να είναι υπεροξειδία μετάλλου. Οι αντιδράσεις ηλεκτροδίων έχουν ως εξής (Hao-Fan Wang, 2019):



Τα μόρια οξυγόνου μειώνονται πρώτα σε ιόν υπεροξειδίου και έπειτα συνδέονται με ιόντα μετάλλου. Ωστόσο, σύμφωνα με τη θεωρία σκληρού-μαλακού οξέος-βάσης (HSAB), το Li^+ με μια μικρή ιοντική ακτίνα είναι ένα σκληρό οξύ Lewis, το οποίο είναι ασταθές με το O_2^- (Hao-Fan Wang, 2019). Επομένως, τα υπεροξειδία λιθίου θα είναι δυσανάλογα για να σχηματίσουν το Li_2O_2 , το κύριο προϊόν εκφόρτισης για μπαταρίες λιθίου-αέρα, ενώ για Na^+ και K^+ με αυξανόμενη ιοντική ακτίνα, ο συνδυασμός με το O_2^- γίνεται πιο σταθερός και η αναλογία των υπεροξειδίων στο προϊόν εκφόρτισης αυξάνεται. Τα υπεροξειδία που παράγονται κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης εναποτίθενται στο ηλεκτρόδιο αέρα και αποσυντίθενται σε ιόντα μετάλλου και οξυγόνο κατά τη φόρτιση. Οι διεργασίες του ηλεκτροδίου αέρα ORR και OER διακρίνονται σημαντικά από αυτές σε υδατικούς ηλεκτρολύτες. Επιπλέον, καθώς τα μέταλλα Li, Na και K είναι ευαίσθητα στο H_2O και στο CO_2 στον αέρα, οι μπαταρίες μετάλλου-αέρα με αυτές τις ανόδους λειτουργούν συνήθως σε καθαρό O_2 και δηλώνονται ως Li- O_2 , Na- O_2 και K- O_2 μπαταρίες.

Μπαταρίες ροής (flow batteries)

Οι μπαταρίες ροής, σε αντίθεση με τις μπαταρίες στερεάς κατάστασης, έχουν τα χημικά τους συστατικά διαλυμένα σε υγρά διαλύματα, τα οποία μπορούν να αντληθούν σε ροή μέσω των ηλεκτροδίων. Λειτουργούν με παρόμοιο τρόπο με τις κυψέλες καυσίμου (fuel cells), αν και εξακολουθούν να είναι ένα σύστημα κλειστού βρόχου. Ένα κύτταρο μπαταρίας ροής μπορεί να είναι μικρό, ενώ τα διαλύματά του μπορούν να περιέχονται σε εξωτερικές αποθηκευτικές διατάξεις. Στα θετικά τους στοιχεία συγκαταλέγεται η σχεδόν στιγμιαία αντικατάσταση του υγρού του ηλεκτρολύτη, εξαλείφοντας έτσι τυχόν μεταβολές στην κλίση ή στις συγκεντρώσεις στα ηλεκτρόδια. Οι μπαταρίες ροής διαφέρουν από τις συμβατικές μπαταρίες καθώς η ενέργεια συνήθως αποθηκεύεται στην υγρή φάση σε αυτές. Έτσι, η αύξηση του μεγέθους των δεξαμενών αποθήκευσης των υγρών επιτρέπει τη χρήση της μπαταρίας και σε μεγάλης κλίμακας εφαρμογές. Μια σχηματική αναπαράσταση μιας τυπικής μπαταρίας ροής φαίνεται στην Εικόνα 3.10 που ακολουθεί:



Εικόνα 3.10: Σχηματικό διάγραμμα μιας τυπικής μπαταρίας ροής (Breeze, 2019)

Έχουν δοκιμαστεί αρκετές μπαταρίες ροής, συμπεριλαμβανομένων των μπαταριών ροής βρωμιούχου ψευδαργύρου, οξειδοαναγωγής βαναδίου και βρωμιούχου πολυσουλφιδίου. Αρκετά νεότερα σχέδια μπαταριών ροής βρίσκονται επίσης στο στάδιο της έρευνας. Οι χρόνοι απόκρισης των μπαταριών ροής είναι μεγαλύτεροι από τις συμβατικές δευτερεύουσες μπαταρίες, αλλά αυτές θα πρέπει να είναι σε θέση να παρέχουν πλήρη ισχύ εντός 100 ms (Breeze, 2019). Λόγω όμως του ότι οι μπαταρίες ροής δεν έχουν δοκιμαστεί ευρέως στο εμπόριο δεν μπορεί να υπολογιστεί επακριβώς η συνολική τους απόδοση.

Στον Πίνακα 3.11 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των μπαταριών ροής.

Πίνακας 3.11: Βασικά χαρακτηριστικά των μπαταριών ροής (EASE, 2020)

Power range	several kW to some MW
Energy range	from 100kWh to some MWh
Discharge time	Some h
Cycle life	>12,000 cycles
Life duration	10 – 20 years
Reaction time	Some millisecc
Efficiency	70 – 75 % [*]
Energy (power) density	10 – 25 Wh/liter
CAPEX: energy	100 – 400 €/kWh
CAPEX: power	500 – 1,300 €/kW

* Battery system auxiliary absorption is included in DC/DC round trip calculation

Μπαταρίες ροής βρωμιούχου ψευδαργύρου (zinc-bromide flow batteries, ZNBRs)

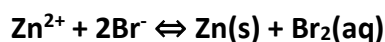
Η μπαταρία βρωμιούχου ψευδαργύρου είναι ένας υβριδικός τύπος μπαταρίας ροής. Χρησιμοποιεί διάλυμα βρωμιούχου ψευδαργύρου, το οποίο αποθηκεύεται σε δύο διαμερίσματα, τα οποία διαχωρίζονται από μια πορώδη μεμβράνη. Ένα διαμέρισμα έχει αρνητικό ηλεκτρόδιο ψευδαργύρου και το άλλο διαμέρισμα έχει θετικό ηλεκτρόδιο βρωμίου. Κατά τη διάρκεια της φόρτισης, η ηλεκτρική τροφοδοσία (π.χ. από ένα ηλιακό σύστημα) χρησιμοποιείται για τον γαλβανισμό του ψευδαργύρου (Zn) στο αρνητικό ηλεκτρόδιο, ενώ στο θετικό ηλεκτρόδιο παράγεται βρώμιο (Br₂). Κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης, συμβαίνει η αντίθετη διαδικασία: ο Zn διαλύεται για να σχηματιστούν ιόντα Zn²⁺ και το βρώμιο μετατρέπεται πάλι σε ιόντα βρωμίου (Br⁻).

Οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις που εμπλέκονται σε αυτή τη διαδικασία παρουσιάζονται παρακάτω (Fedkin, 2019):

Zn²⁺ + 2e⁻ → Zn(s) : Μείωση του ψευδαργύρου κατά τη φόρτιση της μπαταρίας.

2Br⁻ → Br₂(aq) + 2e⁻ : Οξείδωση του βρωμίου κατά τη διάρκεια της φόρτισης της μπαταρίας.

Η συνολική αντίδραση είναι συνεπώς:



Αυτή η αντίδραση προχωρά προς τα δεξιά κατά τη φόρτιση και προς τα αριστερά κατά την εκφόρτιση. Το πρότυπο δυναμικό του ηλεκτροδίου για τη συνολική αντίδραση είναι 1,85 V, που είναι η μέγιστη θεωρητική τάση που αναμένεται από ένα μόνο κύτταρο. Τα κύτταρα της μπαταρίας τοποθετούνται πολλά μαζί για να αυξάνεται η συνολική χωρητικότητα αποθήκευσης του συστήματος.

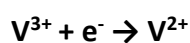
Τα διαμερίσματα των μπαταριών είναι κατασκευασμένα από αδρανές πλαστικό. Σε αντίθεση με τις κοινές μπαταρίες, οι οποίες αποθηκεύουν τον ηλεκτρολύτη μέσα στον θάλαμο αντίδρασης, οι μπαταρίες βρωμιούχου ψευδαργύρου αποθηκεύουν το διάλυμα σε εξωτερικές δεξαμενές, από όπου κυκλοφορείται μέσω των ηλεκτροδίων (τύπος μπαταρίας ροής). Η εξωτερική αποθήκευση του διαλύματος βρωμίου συμβάλλει επίσης στη διατήρηση της απαιτούμενης συγκέντρωσης βρωμίου καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου της αντίδρασης.

Αυτή η τεχνολογία διατίθεται στο εμπόριο από την εταιρεία ZBB EnerStore, η οποία κατασκευάζει μπαταρίες βρωμιούχου ψευδαργύρου σε μονάδες των 50 kWh, κλιμακούμενες για μεγαλύτερα συστήματα αποθήκευσης. Κάθε μονάδα είναι ένα αυτόνομο σύστημα που περιλαμβάνει όλο το απαραίτητο λογισμικό και υλικό. Στα πλεονεκτήματα αυτής της τεχνολογίας συγκαταλέγονται: η υψηλή πυκνότητα ενέργειας (75-85 Wh/kg), η σταθερότητα, δηλαδή η αντοχή στη μείωση της απόδοσης και η ικανότητα λειτουργίας σε πλήρη ισχύ σε μια ευρεία κλίμακα θερμοκρασιών. Στις μπαταρίες της ZBB EnerStore, εν αντιθέσει με τις περισσότερες μπαταρίες, χρησιμοποιούνται ηλεκτρόδια που δεν αντιδρούν (δηλαδή τα ηλεκτρόδια δεν λειτουργούν ως αντιδρώντα, αλλά ως υποστρώματα για την πραγματοποίηση των αντιδράσεων), γεγονός που βοηθά στον περιορισμό της μείωσης της απόδοσης κατά την επανάληψη των κύκλων φόρτισης-εκφόρτισης.

Μπαταρίες ροής οξειδοαναγωγής βαναδίου (vanadium redox flow batteries, VRFBs)

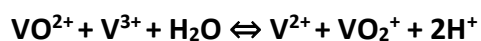
Αυτός ο τύπος μπαταρίας χρησιμοποιεί τις πολλαπλές καταστάσεις οξειδοαναγωγής του βαναδίου (V) στους κύκλους φόρτισης-εκφόρτισης. Το βανάδιο υπάρχει διαλυμένο στο διάλυμα θειικού οξέος και επειδή πρόκειται για ένα σύστημα που χρησιμοποιεί εξολοκλήρου βανάδιο, αυτός ο τύπος μπαταρίας δεν είναι επιρρεπής στη μείωση της απόδοσης λόγω προσμίξεων.

Κατά τη διάρκεια της φόρτισης, οι ακόλουθες μισές αντιδράσεις εμφανίζονται σε δύο χωριστά διαμερίσματα της μπαταρίας (Fedkin, 2019):

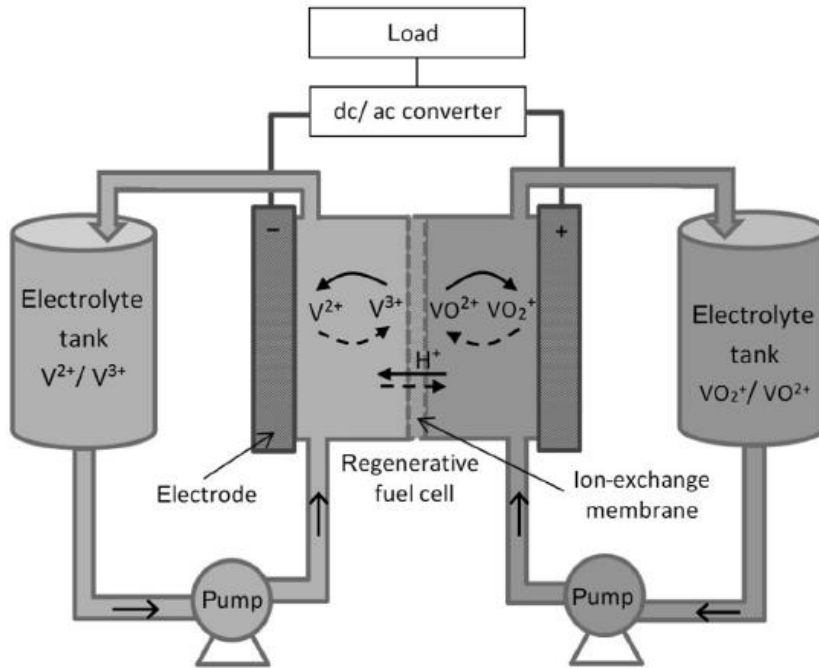


Τα ηλεκτρόνια τροφοδοτούνται από το σύστημα μετατροπής της ηλιακής ενέργειας ως συνεχές ρεύμα σε μη-αντιδρών ηλεκτρόδιο που βυθίζεται σε διάλυμα V^{3+} . Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την οξείδωση του V^{3+} σε V^{2+} . Ταυτόχρονα, στο άλλο διαμέρισμα, το βαναδίου (IV) VO^{2+} οξειδώνεται σε είδη βαναδίου (V) VO_2^{+} , απελευθερώνοντας το ηλεκτρόνιο. Κατά την αποφόρτιση, έχουμε την αντιστροφή αυτών των αντιδράσεων.

Η σύνοψη της διαδικασίας εκφράζεται με την ακόλουθη αντίδραση:



Η συνολική τάση που παράγεται από μία μπαταρία ροής οξειδοαναγωγής βαναδίου είναι περίπου 1,25 V στην ιδανική περίπτωση. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ο τρόπος λειτουργίας μιας τέτοιας μπαταρίας.

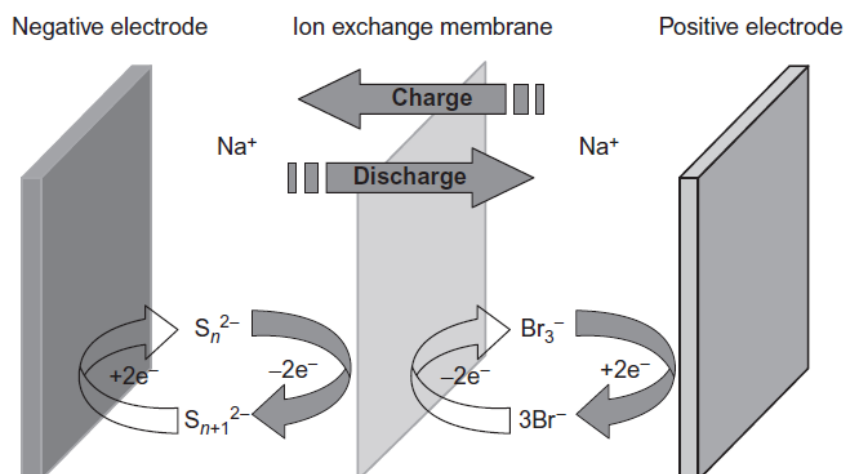


Εικόνα 3.11: Σχηματική αναπαράσταση μιας μπαταρίας ροής οξειδοαναγωγής βαναδίου (N.P.H. Duraman, 2014)

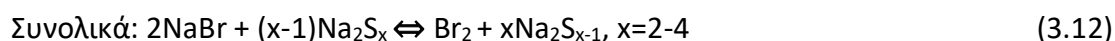
Τα κυριότερα πλεονεκτήματα των μπαταριών ροής οξειδοαναγωγής βαναδίου είναι η ικανότητά τους για "απεριόριστο" αριθμό κύκλων, η μεγάλη διάρκεια ζωής τους (> 20 έτη), η γρήγορη φόρτιση και η υψηλή απόδοση του κύκλου φόρτισης- εκφόρτισης (~80%). Είναι επίσης πιο φιλικές προς το περιβάλλον όσον αφορά την τοξικότητα των συστατικών τους σε σχέση με πολλούς άλλους τύπους μπαταριών.

Μπαταρίες ροής βρωμιούχου πολυσουλφιδίου (polysulfide-bromide flow batteries, PBBs)

Οι μπαταρίες ροής βρωμιούχου πολυσουλφιδίου χρησιμοποιούν υδατικά αλκαλικά διαλύματα πολθειούχου νατρίου (Na_2S_x) και βρωμιούχου νατρίου (NaBr) ως τον ανολύτη και τον καθολύτη, αντίστοιχα. Τα ζευγάρια οξειδοαναγωγής του είναι $\text{S}_{x+1}^{2-}/\text{S}_x^{2-}$ στην άνοδο και Br_2/Br^- στην κάθοδο. Το Br_2 υπάρχει ως Br_3^- στον καθολύτη, και το στοιχειακό θείο συνδυάζεται με ανιόντα σουλφιδίου για να σχηματίσει πολυσουλφιδίδια στον ανολύτη. Οι μπαταρίες ροής βρωμιούχου πολυσουλφιδίου λειτουργούν μέσω της οξειδοαναγωγικής αντίδρασης των ανιόντων, αντί των κατιόντων. Ο καθολύτης και ο ανολύτης διαχωρίζονται με μια μεμβράνη ανταλλαγής ιόντων, μέσω της οποίας μεταφέρονται τα ιόντα νατρίου μεταξύ τους για να ολοκληρωθεί το κύκλωμα της μπαταρίας. Οι αντιδράσεις στα ηλεκτρόδια κατά τη φόρτιση και την εκφόρτιση φαίνονται στην Εικόνα 3.12 και περιγράφονται ως εξής (Zhang, 2014):



Εικόνα 3.12: Οι οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις στα θετικά και αρνητικά ηλεκτρόδια των μπαταριών ροής βρωμιούχου πολυσουλφιδίου (Zhang, 2014)



Το τυπικό ηλεκτρικό δυναμικό στο ηλεκτρόδιο της καθόδου (3.10) είναι 1,087 V, ενώ σε εκείνο της ανόδου (3.11) είναι -0,428 V, οπότε η τυπική ηλεκτρεγερτική δύναμη των μπαταριών ροής βρωμιούχου πολυσουλφιδίου είναι 1,515 V. Λόγω διακυμάνσεων στις συγκεντρώσεις του ηλεκτρολύτη και της κατάστασης φόρτισης ή εκφόρτισης, ένα κύτταρο βρωμιούχου πολυσουλφιδίου εμφανίζει συνήθως τάση ανοικτού κυκλώματος 1,54-1,60 V.

Σε σύγκριση με άλλους τύπους μπαταριών ροής, μία μπαταρία ροής βρωμιούχου πολυσουλφιδίου χρησιμοποιεί υλικά χαμηλού κόστους όπως πολυσουλφίδιο και βρώμιο, και ως εκ τούτου έχει προκαλέσει σημαντικό ερευνητικό ενδιαφέρον και χρηματοδότηση στο παρελθόν.

Ο Remick (Remick and Ang, 1984) ήταν ο πρώτος που πρότεινε μπαταρίες ροής με πολυσουλφίδιο ως ζεύγος οξειδοαναγωγής της ανόδου και αλογονίδιο ως ζεύγος οξειδοαναγωγής της καθόδου. Η Inogy (Price et al., 1999), μια βρετανική εταιρεία, κατοχύρωσε το Regenesys™ ως το εμπορικό σήμα της τεχνολογίας αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες ροής βρωμιούχου πολυσουλφιδίου και έχει αναπτύξει τρεις διατάξεις μπαταριών ροής βρωμιούχου πολυσουλφιδίου διαφορετικής ισχύος. Η δομή της διάταξης είναι παρόμοια με αυτήν μιας διάταξης κυψέλης καυσίμου, η οποία αποτελείται από ηλεκτρόδια, διπολικές πλάκες, μεμβράνες ανταλλαγής ιόντων, πλαίσια ηλεκτροδίων και τερματικές πλάκες.

Οι μπαταρίες ροής βρωμιούχου πολυσουλφιδίου χρησιμοποιούν ζευγάρια οξειδοαναγωγής ανιόντων διαφορετικών στοιχείων για μετατροπή της ενέργειας, γεγονός που συχνά προκαλεί προβλήματα επειδή η επιμόλυνση των ανιόντων δύσκολα μπορεί να αποφευχθεί με όλες τις διαθέσιμες μεμβράνες, συμπεριλαμβανομένης της υπερφθοριωμένης σουλφονικής μεμβράνης Nafion, πράγμα που οδηγεί σε γρήγορη εξασθένηση της χωρητικότητας των μπαταριών (Zhang, 2014). Για να ξεπεραστεί αυτό το μειονέκτημα, η Innoogy ανέπτυξε μεθόδους όπως η απομάκρυνση με βάση θειικές ενώσεις των μολυσματικών ουσιών, η ανάκτηση με βάση το pH δραστικών συστατικών και ο έλεγχος του νερού. Αυτές οι μέθοδοι δεν έχει αναφερθεί πως οδηγούν σε ανισορροπία ηλεκτρολυτών ή στη μείωση της απόδοσης της μπαταρίας, αλλά οι επιδράσεις τους στην απόδοση των μπαταριών ροής βρωμιούχου πολυσουλφιδίου πρέπει να μελετηθούν για να επιτευχθεί μια ενδελεχής κατανόηση των λειτουργικών χαρακτηριστικών του συστήματος και να παράσχουν μια καλή βάση για τον σχεδιασμό του συστήματος και την επιλογή των συνθηκών λειτουργίας.

Το χαμηλό κόστος του ηλεκτρολύτη είναι ένα πλεονέκτημα των των μπαταριών ροής βρωμιούχου πολυσουλφιδίου υπό την προϋπόθεση ότι δεν χρησιμοποιούνται δαπανηροί παράγοντες συμπλοκοποίησης του βρωμίου για τη δέσμευση των ατμών του βρωμίου που μπορούν να σχηματιστούν κατά τη λειτουργία της μπαταρίας. Ωστόσο, υπάρχουν πολλά ζητήματα που περιορίζουν την πρακτική και ευρεία εφαρμογή αυτών των μπαταριών (Zhang, 2014):

- Πρώτον, οι ηλεκτρολύτες τους περιέχουν διαφορετικούς τύπους ενεργών παραγόντων, οι οποίοι μπορεί να οδηγήσουν σε σοβαρή επιμόλυνση και κατά συνέπεια σε χαμηλή απόδοση και χωρητικότητα της συσκευής.
- Δεύτερον, η μεταφορά ιόντων νατρίου μέσω της διαχωριστικής μεμβράνης αντιμετωπίζει μεγάλη αντίσταση σε σύγκριση με τη μεταφορά πρωτονίων, οδηγώντας σε χαμηλή πυκνότητα ισχύος της μπαταρίας, και ως εκ τούτου απαιτείται σχετικά περισσότερο υλικό για την κατασκευή συστημάτων μπαταριών ροής βρωμιούχου πολυσουλφιδίου μεγάλης κλίμακας, καθιστώντας αυτή την τεχνολογία μειονεκτική από άποψη κόστους.
- Τέλος, το βρώμιο στον καθολότη και το υδρόθειο που αναπτύσσεται στον ανολότη μπορεί να οδηγήσει σε περιβαλλοντική ρύπανση.

Κεφάλαιο 4

Μελέτη επίδρασης της αποθήκευσης ενέργειας στο ΣΗΕ της Κρήτης

4.1 Το νησί της Κρήτης

Η Κρήτη είναι το μεγαλύτερο και πολυπληθέστερο νησί της Ελλάδας και το πέμπτο σε έκταση μεγαλύτερο της Μεσογείου, μετά τη Σικελία, τη Σαρδηνία, την Κύπρο και την Κορσική. Πρωτεύουσα και μεγαλύτερη πόλη της είναι το Ηράκλειο, το οποίο είναι έδρα της περιφέρειας Κρήτης που συμπεριλαμβάνει γειτονικά νησιά και νησίδες. Με πληθυσμό 623.065 κατοίκων, περίπου 160 χιλιόμετρα νότια της ελληνικής ηπειρωτικής χώρας και εκτεινόμενη από τα δυτικά προς τα ανατολικά, βρέχεται βόρεια από το Κρητικό πέλαγος και νότια από το Λιβυκό πέλαγος (Wikipedia, 2021). Αποτελεί σημαντικό κομμάτι της οικονομίας και της πολιτισμικής κληρονομιάς της Ελλάδας, διατηρώντας τα δικά της πολιτισμικά στοιχεία. Κατά τα έτη 3000 π.Χ.–1400 π.Χ. ήκμασε στο νησί ο Μινωικός πολιτισμός, ο αρχαιότερος πολιτισμός της Ευρώπης, με κυριότερα κέντρα του την Κνωσό, τη Φαιστό, τα Μάλια, τη Ζάκρο και τα Γουρνιά όπου βρέθηκαν ανακτορικά συγκροτήματα.

Η Κρήτη βρίσκεται στο νότιο άκρο του Αιγαίου πελάγους και καλύπτει μια περιοχή 8.336 τ.χλμ. Ο μόνιμος πληθυσμός της είναι 623.065 κάτοικοι, ενώ ο πραγματικός, *de facto*, 682.928 σύμφωνα με την απογραφή του 2011 (Wikipedia, 2021). Έχει μήκος περίπου 260 χιλιόμετρα και ποικίλλει στο πλάτος από μέγιστο 60 χιλιομέτρων, από το ακρωτήριο Δίον έως το ακρωτήριο Λίθινο, σε ελάχιστο 12 χιλιομέτρων στον ισθμό της Ιεράπετρας στην ανατολική Κρήτη. Η ακτογραμμή της παρουσιάζει έντονο γεωγραφικό διαμελισμό, δίνοντάς της πάνω από 1.000 χιλιόμετρα ακτών.



Εικόνα 4.1: Χάρτης της Νήσου Κρήτης, όπου διακρίνονται οι μεγαλύτερες πόλεις του νησιού (Lonely Planet, 2021)

Το νησί είναι εξαιρετικά ορεινό με τρεις κύριες οροσειρές, τον Ψηλορείτη (Ίδα) (2.456 μ.) τα Λευκά Όρη (2.454 μ.) και τη Δίκητη (Λασιθιώτικα Όρη) (2.148 μ.) που το διασχίζουν κατά σειρά από τη δύση ως την ανατολή. Επιπλέον ορεινοί όγκοι είναι αυτοί της Θρυπτής (1.476 μ.) στα ανατολικά, τα Αστερούσια Όρη (1.231 μ.) στα νότια. Στα βόρεια του νομού Ρεθύμνης υψώνονται τα Ταλαία όρη (1.088 μ.) καθώς και το αυτόνομο όρος Κέντρος (1.777 μ.) στον ίδιο νομό.

Σε αυτά τα βουνά υπάρχουν εύφορα οροπέδια, όπως ο Ομαλός στα Λευκά Όρη, η Νίδα στην Ίδα και το Λασιθί, και το Καθαρό στη Δίκητη. Στο νησί υπάρχουν σημαντικά σπήλαια όπως το Δικταίο και το Ιδαίο άντρο. Κύριο μορφολογικό χαρακτηριστικό της Κρήτης είναι τα επιβλητικά φαράγγια όπως το διάσημο φαράγγι της Σαμαριάς, το φαράγγι Ίμπρου, το φαράγγι του Χα, το φαράγγι των Μύλων, καθώς και το Κουρταλιώτικο φαράγγι.

Η Κρήτη ανήκει στη μεσογειακή κλιματολογική ζώνη και έχει εύκρατο κλίμα (Wikipedia, 2021). Η ατμόσφαιρα μπορεί να είναι αρκετά υγρή, ανάλογα με την εγγύτητα στη θάλασσα. Ο χειμώνας είναι ήπιος και υγρός, με αρκετές βροχοπτώσεις συνήθως στα δυτικά τμήματα του νησιού. Οι χιονοπτώσεις είναι συχνό φαινόμενο στις ορεινές περιοχές αλλά σπανίζουν στις πεδινές. Το καλοκαίρι η μέση θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 25 και 30 βαθμών Κελσίου, αισθητά χαμηλότερα από εκείνη της ηπειρωτικής Ελλάδας. Στη νότια ακτή, συμπεριλαμβανομένης της πεδιάδας της Μεσαράς και των Αστερούσιων Ορέων, κυριαρχούν περισσότερες ηλιόλουστες ημέρες και υψηλότερες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού συγκριτικά με την υπόλοιπη Κρήτη. Τέλος, η χλωρίδα του νησιού απειλείται από την σταδιακή ανάπτυξη της κτηνοτροφίας.

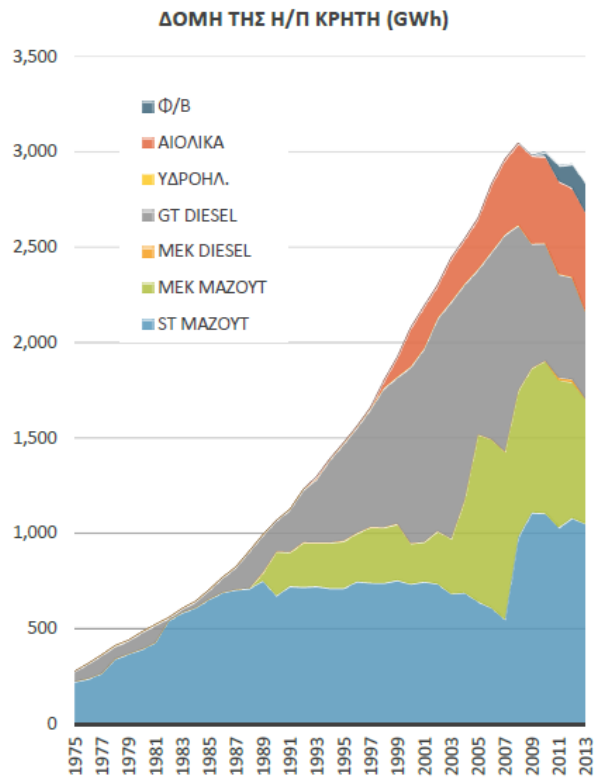
Η οικονομία της Κρήτης, η οποία βασιζόταν κυρίως στη γεωργία, άρχισε να αλλάζει ορατά κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1970 (Wikipedia, 2021). Ενώ διατηρείται η παραδοσιακή έμφαση στη γεωργία και στην κτηνοτροφία, λόγω του κλίματος και της έκτασης του νησιού, παρουσιάζεται μια πτώση στις κατασκευές, καθώς και μια μεγάλη αύξηση στην παροχή υπηρεσιών (κυρίως σχετικών με τον τουρισμό). Και οι τρεις αυτοί τομείς της κρητικής οικονομίας, η (γεωργία, η επεξεργασία-συσσκευασία, και οι υπηρεσίες), συνδέονται άμεσα και αλληλοεξαρτώνται. Η Κρήτη εμφανίζει μέσο κατά κεφαλήν εισόδημα που αγγίζει το 100% εκείνου της υπόλοιπης χώρας και η ανεργία κυμαίνεται περίπου στο 4%.

4.2 Το Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας της Κρήτης

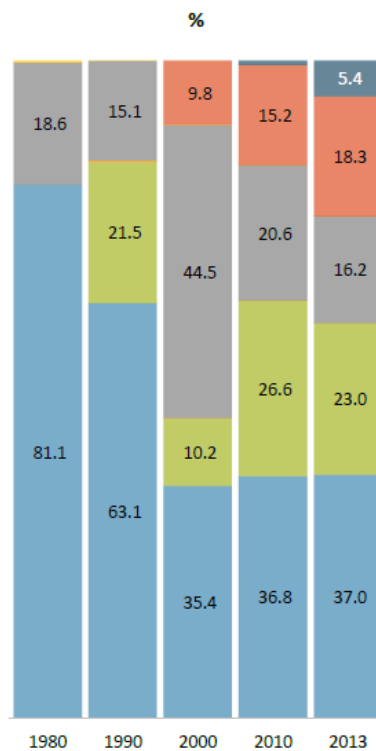
4.2.1 Η δομή της ηλεκτροπαραγωγής στην Κρήτη

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο απομονωμένο δίκτυο ηλεκτρισμού της Κρήτης βασίζεται κυρίως σε μονάδες με καύσιμο το Μαζούτ και το Diesel. Το μερίδιο συμμετοχής των καυσίμων αυτών βαίνει μειούμενο κυρίως μετά το 2000, με συμμετοχή περίπου 77,3% (60% Μαζούτ) στην συνολική ηλεκτροπαραγωγή της Κρήτης το 2013. Το υπόλοιπο 23,7% προέρχεται κυρίως από αιολικά, Φωτοβολταϊκά και μικρά υδροηλεκτρικά, δηλαδή κοντά στο άνω τεχνικό όριο των ΑΠΕ για ένα αυτόνομο ηλεκτρικά νησί (Μιχάλης Παπαδόπουλος, 2016).

Όπως δείχνεται στο διάγραμμα, η ηλεκτροπαραγωγή με καύση Μαζούτ διατηρήθηκε σε σταθερά επίπεδα επί μακρόν, αλλά αυξήθηκε σημαντικά μετά το 2005 με τη σταδιακή εγκατάσταση πρόσθετων μονάδων ατμοστρόβιλων και ΜΕΚ (Μιχάλης Παπαδόπουλος, 2016). Πρόσφατα γενικεύθηκε η χρήση Μαζούτ με περιεκτικότητα σε θείο 1% αντί του 3% στο παρελθόν. Η χρήση Diesel στην ηλεκτροπαραγωγή έχει περιορισθεί τα τελευταία χρόνια αφού υποκαταστάθηκε από Μαζούτ, κυρίως λόγω κόστους. Η διείδυση των αιολικών υπήρξε έντονη μετά το 2005, ενώ η διείδυση των φωτοβολταϊκών παρατηρείται μετά το 2010. Τα υδροηλεκτρικά έχουν εξαιρετικά μικρή συμμετοχή στο ηλεκτρικό ισοζύγιο της Κρήτης.



Σχήμα 4.1: Η δομή της ηλεκτροπαραγωγής της Περιφέρειας Κρήτης (Μιχάλης Παπαδόπουλος, 2016)

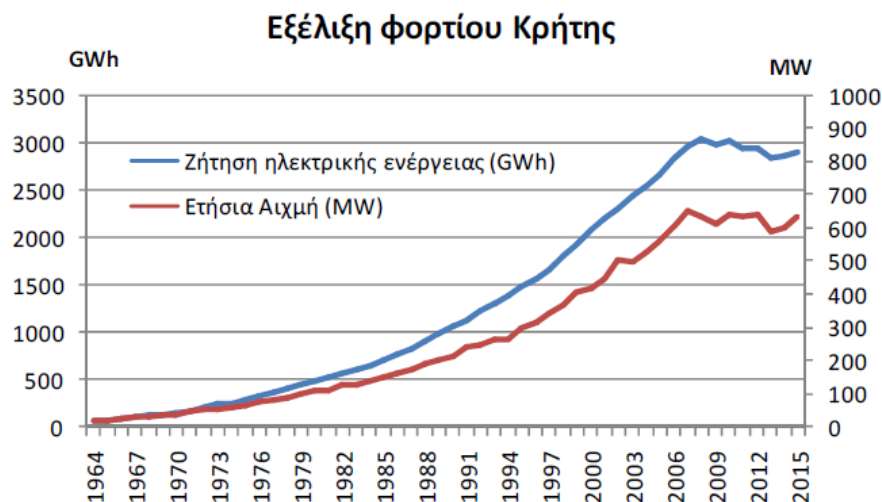


Σχήμα 4.2: Ποσοστιαία διάρθρωση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Κρήτη (Μιχάλης Παπαδόπουλος, 2016)

4.2.2 Τα χαρακτηριστικά του Ηλεκτρικού Δικτύου της Κρήτης

Η Κρήτη αποτελεί το μεγαλύτερο αυτόνομο νησιωτικό ηλεκτρικό σύστημα της χώρας. Τα κύρια χαρακτηριστικά του σύμφωνα με στοιχεία του 2015 είναι τα κάτωθι (Καμπούρης, 2020):

- Αιχμή φορτίου: 634 MW
- Ετήσια ζήτηση: 2.898 GWh ~5% της Εθνικής ζήτησης
- Παραγωγικό δυναμικό:
 - 27 θερμικές μονάδες με καύσιμο μαζούτ και Diesel
 - ~200 MW ηλεκτρικής ισχύος από αιολικά πάρκα και ~77 MW ηλεκτρικής ισχύος από φωτοβολταϊκά πάρκα
- Υψηλό κόστος παραγωγής λόγω χρήσης ακριβού καυσίμου και χαμηλής αποδοτικότητας μονάδων – μεγάλη διαφορά κόστους σε σύγκριση με το διασυνδεδεμένο σύστημα
- Υψηλό δυναμικό ΑΠΕ (Αιολικά, Φωτοβολταϊκά):
 - Μεγάλο επενδυτικό ενδιαφέρον για την εγκατάσταση αιολικών και φωτοβολταϊκών
 - Λόγω του περιορισμένου μεγέθους του συστήματος υφίστανται τεχνικοί περιορισμοί στη διείσδυση των ΑΠΕ
- Η Κρήτη ιστορικά εμφάνιζε μεγαλύτερο ρυθμό αύξησης της ζήτησης σε σχέση με το Ελληνικό Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΕΣΜΗΕ) (~5% μέχρι το 2008)
- Ακόμα και μετά το 2008, η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στην Κρήτη παρουσίασε μικρότερο μέσο ετήσιο ρυθμό μείωσης της ζήτησης σε σχέση με το ΕΣΜΗΕ (0,7%, έναντι 1,3% στο ΕΣΜΗΕ).
- Η μέγιστη ζήτηση καταγράφηκε το 2008 (3.047 GWh), ενώ η μέγιστη αιχμή το 2007 (650 MW).



Σχήμα 4.3: Η εξέλιξη του φορτίου της Κρήτης κατά τα έτη 1964-2015 (Καμπούρης, 2020)

Ακολουθούν πίνακες του μεγίστου, μέσου και ελαχίστου φορτίου του ΣΗΕ της Κρήτης ανά υποσταθμό της νήσου κατά την τρέχουσα χρονική περίοδο. Στην παρούσα διπλωματική θα εξεταστεί στο σύστημα σε μέγιστο και μέσο φορτίο.

Πίνακας 4.1: Μέγιστο φορτίο ΣΗΕ Κρήτης (πηγή: ΑΔΜΗΕ)

	P (MW)	Q (MVAR)
ΧΑΝΙΑ	91,19	56,54
ΡΕΘΥΜΝΟ	25,17	15,61
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	11,52	7,14
ΗΡΑΚΛΕΙΟ I	52,85	32,77
ΗΡΑΚΛΕΙΟ II	74,10	45,94
ΗΡΑΚΛΕΙΟ III	45,41	28,15
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	5,97	3,70
ΜΟΙΡΕΣ	35,52	22,02
ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	29,01	17,99
ΣΗΤΕΙΑ	18,03	11,18
ΑΓΙΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ	47,46	29,43
ΣΤΑΛΙΔΑ	47,36	29,36
ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	29,33	18,19
ΣΠΗΛΙ	12,16	7,54
ΒΡΥΣΣΕΣ	30,29	18,78
ΑΓΙΑ	49,49	30,68
ΚΑΣΤΕΛΙ	26,13	16,20
ΓΟΥΒΕΣ	21,44	13,29
ΕΥΛΗΓΙΑΣ	47,57	29,49
ΣΥΝΟΛΟ	700,00	434,00

Πίνακας 4.2: Μέσο φορτίο ΣΗΕ Κρήτης (πηγή: ΑΔΜΗΕ)

	P (MW)	Q (MVAR)
ΧΑΝΙΑ	45,60	28,27
ΡΕΘΥΜΝΟ	12,59	7,80
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	5,76	3,57
ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	26,43	16,38
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	37,05	22,97
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	22,70	14,08
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	2,99	1,85
ΜΟΙΡΕΣ	17,76	11,01
ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	14,51	8,99
ΣΗΤΕΙΑ	9,01	5,59
ΑΓΙΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ	23,73	14,71
ΣΤΑΛΙΔΑ	23,68	14,68
ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	14,67	9,09
ΣΠΗΛΙ	6,08	3,77
ΒΡΥΣΣΕΣ	15,15	9,39
ΑΓΙΑ	24,75	15,34
ΚΑΣΤΕΛΙ	13,07	8,10
ΓΟΥΒΕΣ	10,72	6,65
ΕΥΛΗΓΙΑΣ	23,79	14,75
ΣΥΝΟΛΟ	350,00	217,00

Πίνακας 4.3: Ελάχιστο φορτίο ΣΗΕ Κρήτης (πηγή: ΑΔΜΗΕ)

	P (MW)	Q (MVAR)
ΧΑΝΙΑ	22,24	13,79
ΡΕΘΥΜΝΟ	4,71	2,92
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	2,10	1,30
ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	14,22	8,82
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	19,94	12,36
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	12,22	7,58
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	1,30	0,81
ΜΟΙΡΕΣ	7,41	4,60
ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	6,71	4,16
ΣΗΤΕΙΑ	5,81	3,60
ΑΓΙΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ	13,93	8,63
ΣΤΑΛΙΔΑ	5,81	3,60
ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	5,61	3,48
ΣΠΗΛΙ	2,30	1,43
ΒΡΥΣΣΕΣ	9,32	5,78
ΑΓΙΑ	17,03	10,56
ΚΑΣΤΕΛΙ	5,21	3,23

ΓΟΥΒΕΣ	5,11	3,17
ΕΥΛΗΓΙΑΣ	9,02	5,59
ΣΥΝΟΛΟ	170,00	105,40

4.2.3 Το Σύστημα Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας της Κρήτης

Στην Κρήτη λειτουργούν 3 θερμικοί σταθμοί παραγωγής, συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 820,02 MW, με μέγιστη αποδιδόμενη καθαρή ισχύ θέρους 695,86 MW. Αυτοί είναι οι κάτωθι (Καμπούρης, 2020):

- ΑΗΣ Χανίων: 9 μονάδες με καύσιμο Diesel, συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 345,19 MW (μέγιστη αποδιδόμενη καθαρή ισχύς θέρους 272,11 MW)
- ΑΗΣ Λινοπεραμάτων: 14 μονάδες με καύσιμο μαζούτ και Diesel, συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 272,59 MW (μέγιστη αποδιδόμενη καθαρή ισχύς θέρους 232,75 MW)
- ΑΗΣ Αθρινόλακκου: 4 μονάδες με καύσιμο μαζούτ, συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 202,24 MW (μέγιστη αποδιδόμενη καθαρή ισχύς θέρους 191 MW)

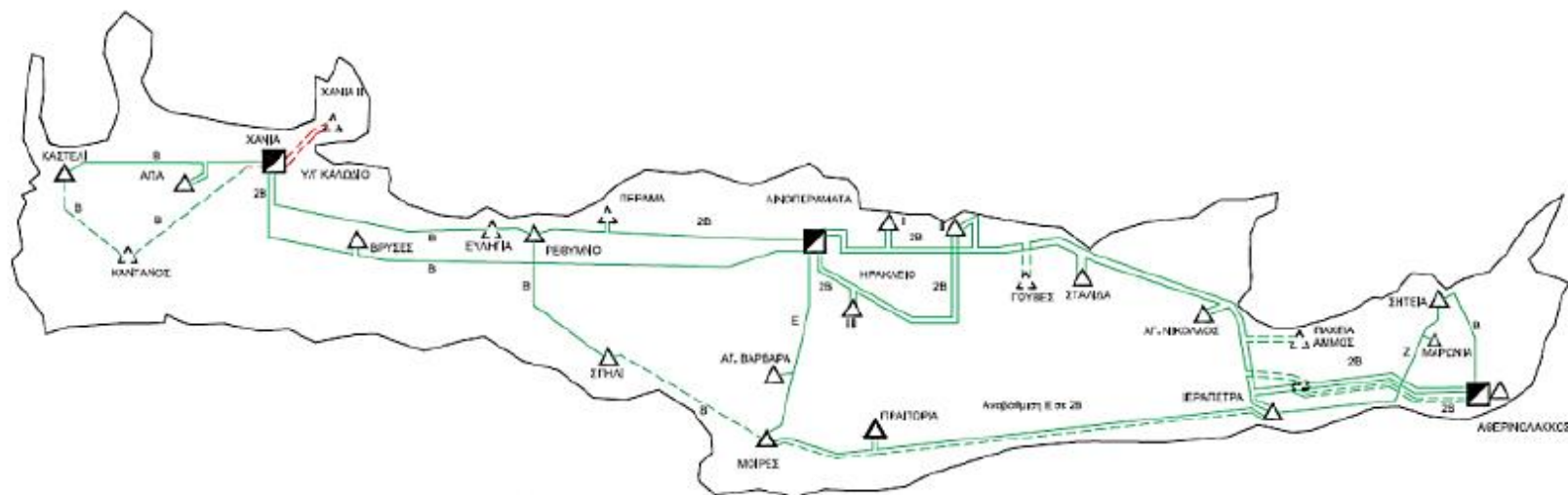
Δύο από τις παραπάνω μονάδες (ΑΕΡ1 Λινοπεραμάτων και ΑΕΡ4 Χανίων) συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 39 MW έχουν τεθεί με υπουργική απόφαση σε ψυχρή εφεδρεία. Στην Κρήτη βρίσκονται σε λειτουργία 35 Αιολικά Πάρκα, 1.047 Φωτοβολταϊκοί Σταθμοί και 1 Μικρός Υδροηλεκτρικός Σταθμός με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 278,65 MW.

Οι υπάρχουσες συμβατικές μονάδες και τα χαρακτηριστικά στοιχεία αυτών παρουσιάζονται στον Πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 4.4: Χαρακτηριστικά των μονάδων παραγωγής του ΣΗΕ της Κρήτης (Χρήστενα, 2020)

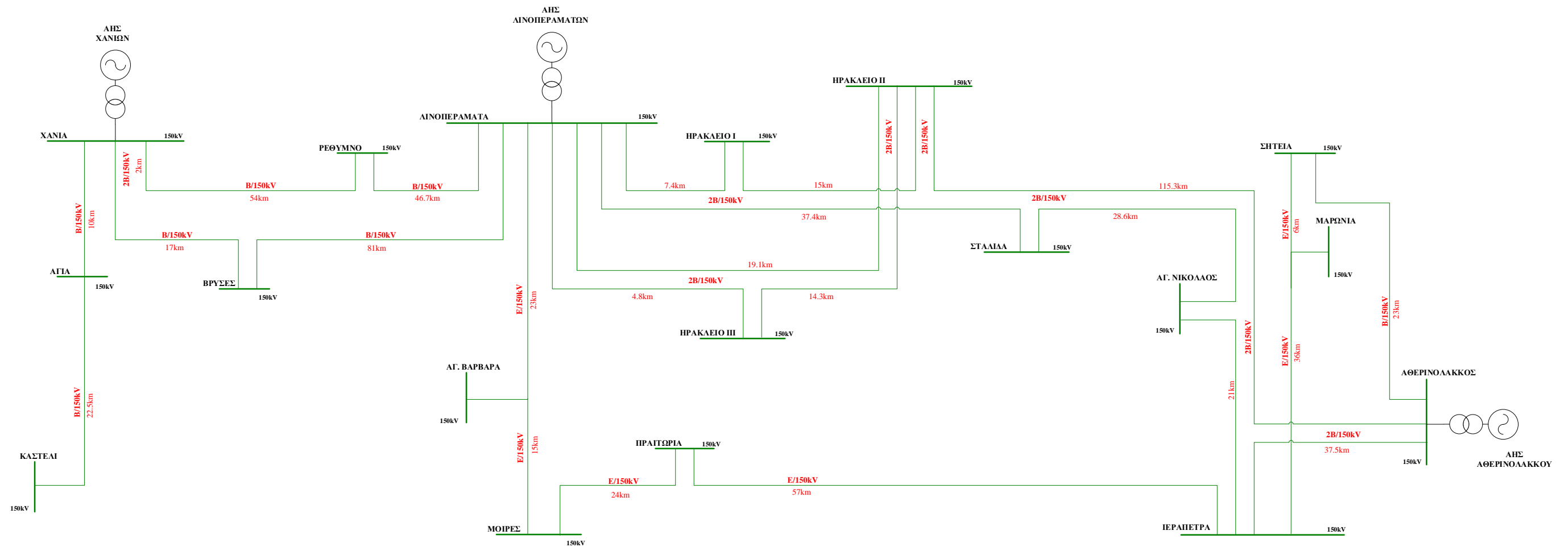
	ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ (MW)	ΚΑΘΑΡΗ ΙΣΧΥΣ (MW)	ΙΣΧΥΣ ΘΕΡΟΤΣ (MW)	ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΛΑ- ΧΙΣΤΟ (MW)	ΚΑΥΣΙΜΟ
Α.Η.Σ. ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ					
ATM 1	6	6	6	4	Μαζούτ
ATM 2	14	14	13	8	Μαζούτ
ATM 3	14	14	13	8	Μαζούτ
ATM 4	24	24	23	18	Μαζούτ
ATM 5	24	24	23	18	Μαζούτ
ATM 6	24	24	23	18	Μαζούτ
DIESEL 1	11	11	11	3	Μαζούτ
DIESEL 2	11	11	11	3	Μαζούτ
DIESEL 3	11	11	11	6	Μαζούτ
DIESEL 4	11	11	11	3	Μαζούτ
AEP 1	15	15	13	3	Ντίζελ
AEP 2	15	15	13	3	Ντίζελ
AEP 3	43	43	41	5	Ντίζελ
AEP 4	14	14	13	3	Ντίζελ
AEP 5	28	28	25	5	Ντίζελ
Α.Η.Σ. ΧΑΝΙΩΝ					
Σ.Κ.	132	126	112	35	Ντίζελ
AEP 1	16	14	11	3	Ντίζελ
AEP 4	24	20	19	3	Ντίζελ
AEP 5	30	28	27	5	Ντίζελ
AEP 11	59	58	54	10	Ντίζελ
AEP 12	59	58	54	10	Ντίζελ
AEP 13	28	28	25	5	Ντίζελ
Α.Η.Σ. ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΥ					
DIESEL 1	51	50	50	35	Μαζούτ
DIESEL 2	51	50	50	25	Μαζούτ
ATM 1	44	43	44	22	Μαζούτ
ATM 2	44	43	44	22	Μαζούτ
ΣΥΝΟΛΟ	803	783	740		

Σχήμα 4.4: Η τοπολογία του υφιστάμενου ΣΗΕ της Κρήτης (Καμπούρης, 2020)



ΥΠΟΜΝΗΜΑ		
ΣΤΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ	ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΟΙ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
		ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
		ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ 150KV ή 66KV
		ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ 150KV ΑΠΛΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ
		ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ 150KV ΔΙΠΛΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ
		ΥΠΟΓΕΙΟ ΚΑΛΩΔΙΟ 150 KV
<p>Ε : ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ 100KV ΑΠΛΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΕΛΑΦΡΟΥ ΤΥΠΟΥ Β : ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ 150KV ΑΠΛΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΒΑΡΕΩΣ ΤΥΠΟΥ 2Β : ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ 150KV ΔΙΠΛΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΒΑΡΕΩΣ ΤΥΠΟΥ Ζ : ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ 150KV ΑΠΛΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΑΓΩΓΟΥΣ ΤΥΠΟΥ ACSS</p>		
ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ - ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΝΗΣΟΥ ΚΡΗΤΗΣ		
ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε. ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΝΗΣΙΩΝ		

Σχήμα 4.5: Το μονογραμμικό διάγραμμα του ΣΗΕ της Κρήτης (Μιχάλης Παπαδόπουλος, 2016)



4.3 Η μελέτη του ΣΗΕ της Κρήτης

4.3.1 Ανάλυση Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας

Ανάλυση Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας ονομάζεται το σύνολο των μελετών μέσω των οποίων εκτιμάται η συμπεριφορά ενός Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας τόσο στη μόνιμη όσο και σε μεταβατικές καταστάσεις λειτουργίας (Βοβός Νικόλαος, 2008).

Η σκοπιμότητά τους είναι για να προκύψει όλη η απαραίτητη πληροφορία που απαιτείται για (Βοβός Νικόλαος, 2008):

- Να σχεδιαστεί σωστά ένα Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας
- Να λειτουργήσει αξιόπιστα
- Να βελτιωθεί, επεκταθεί η τροποποιηθεί στο μέλλον
- Να εξοπλισθεί με τα κατάλληλα συστήματα προστασίας και ελέγχου

Οι μελέτες που πραγματοποιούνται σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας είναι οι κάτωθι (Βοβός Νικόλαος, 2008):

- ✓ Μελέτες ρών φορτίου
- ✓ Μελέτες σφαλμάτων
- ✓ Μελέτες μεταβατικής ευστάθειας
- ✓ Μελέτες οικονομικής λειτουργίας

4.3.2 Μελέτες ρών φορτίου

Μελέτη ροής φορτίου ονομάζεται η μελέτη της συμπεριφοράς ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, που υφίσταται συγκεκριμένη φόρτιση, στη μόνιμη ημιτονοειδή κατάσταση λειτουργίας (Βοβός Νικόλαος, 2008).

Οι μελέτες ροής φορτίου χρησιμοποιούνται (Βοβός Νικόλαος, 2008):

- Για τη σχεδίαση της μελλοντικής ανάπτυξης ενός ΣΗΕ.
- Για τον προσδιορισμό της βέλτιστης διαδικασίας λειτουργίας του.
- Για τον προσδιορισμό της βέλτιστης διαδικασίας λειτουργίας, όταν τεθούν εκτός λειτουργίας μία ή περισσότερες μονάδες παραγωγής ή γραμμές μεταφοράς.

Οι ποσότητες του ΣΗΕ που υπολογίζονται με αυτή την μελέτη είναι (Βοβός Νικόλαος, 2008):

- Οι τάσεις σε όλους τους ζυγούς
- Η ροή ισχύος σε γραμμές και μετασχηματιστές.

Η πραγματοποίηση μελετών ροής φορτίου επιβάλλεται (Βοβός Νικόλαος, 2008):

- Όταν σχεδιάζονται μεταβολές ή μελλοντικές επεκτάσεις σε ένα υπάρχον σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, όπως:
 - Ανάπτυξη νέων μονάδων παραγωγής
 - Τροφοδοσία νέων φορτίων
 - Όδευση νέων γραμμών μεταφοράς
 - Διασύνδεση με άλλα συστήματα
- Για τον καθορισμό της βέλτιστης λειτουργίας του συστήματος.
- Για την εκτίμηση της επίδρασης που έχουν στο σύστημα διαφορετικές συνθήκες φόρτισης.
- Για την εύρεση αρχικών τιμών που είναι απαραίτητες για άλλες μελέτες.

Οι περιορισμοί που θα πρέπει να ικανοποιούνται κατά την εκπόνηση των μελετών ροής φορτίου είναι οι ακόλουθοι (Βοβός Νικόλαος, 2008):

- Να μην γίνεται υπέρβαση των οριακών δυνατοτήτων των πηγών αέργου ισχύος.
- Να μην γίνεται υπέρβαση των ορίων λήψης των μετασχηματιστών ελέγχου.
- Να μην υπερφορτίζονται οι γραμμές και οι μετασχηματιστές.
- Οι τάσεις των ζυγών να παραμένουν μέσα στα προδιαγεγραμμένα όρια.

4.3.3 Τα σενάρια που μελετήθηκαν

Στο Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας της νήσου Κρήτης μελετήθηκαν τα κάτωθι πέντε σενάρια:

- **Σενάριο 1**
Διείσδυση αιολικών ίση με το 20% του μεγίστου φορτίου χωρίς αποθήκευση.
- **Σενάριο 2**
Διείσδυση ΑΠΕ ίση με το 40% του μεγίστου φορτίου χωρίς αποθήκευση, με την παρακάτω σύνθεση:
 - 20% αιολικά και 20% φωτοβολταϊκά
- **Σενάριο 3**
Διείσδυση ΑΠΕ ίση με το 60% του μεγίστου φορτίου με και χωρίς αποθήκευση, με την παρακάτω σύνθεση:
 - A. 20% αιολικά και 40% φωτοβολταϊκά
 - B. 30% αιολικά και 30% φωτοβολταϊκά
 - Γ. 40% αιολικά και 20% φωτοβολταϊκά

➤ **Σενάριο 4**

Διείσδυση ΑΠΕ ίση με το 80% του μεγίστου φορτίου με και χωρίς αποθήκευση, με την παρακάτω σύνθεση:

- A. 30% αιολικά και 50% φωτοβολταϊκά
- B. 40% αιολικά και 40% φωτοβολταϊκά
- Γ. 50% αιολικά και 30% φωτοβολταϊκά

➤ **Σενάριο 5**

Διείσδυση ΑΠΕ ίση με το 100% του μεγίστου φορτίου με και χωρίς αποθήκευση, με την παρακάτω σύνθεση:

- A. 40% αιολικά και 60% φωτοβολταϊκά
- B. 50% αιολικά και 50% φωτοβολταϊκά
- Γ. 60% αιολικά και 40% φωτοβολταϊκά

Για τα παραπάνω σενάρια εκπονήθηκε η μελέτη ροής φορτίου προκειμένου να υπολογιστούν οι τάσεις σε όλους τους ζυγούς και οι φορτίσεις στους ζυγούς και στους μετασχηματιστές τόσο σε μέγιστο όσο και σε μέσο φορτίο. Το σύστημα δεν εξετάστηκε σε ελάχιστο φορτίο επειδή είναι εξαιρετικά περιοριστικό ως προς τα παραπάνω ποσοστά διείσδυσης, αποτελεί μικρό ποσοστό των ωρών του έτους και δεν αποτελεί αντιπροσωπευτικό σενάριο για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Το λογισμικό που επιλέχθηκε προκειμένου να εκτελεστούν οι προσομοιώσεις των σεναρίων και οι μελέτες ροών φορτίου είναι το PowerWorld Simulator της εταιρίας PowerWorld Corporation.

Το PowerWorld Simulator είναι ένα διαδραστικό πακέτο προσομοίωσης συστήματος ηλεκτρικής ισχύος που έχει σχεδιαστεί για να προσομοιώνει τη λειτουργία του συστήματος ισχύος υψηλής τάσης σε ένα χρονικό πλαίσιο που κυμαίνεται από αρκετά λεπτά έως αρκετές ημέρες (PowerWorld Corporation, 2021). Το λογισμικό περιέχει ένα εξαιρετικά αποτελεσματικό πακέτο ανάλυσης ροής ισχύος ικανό να επιλύει αποτελεσματικά συστήματα έως και 250.000 ζυγών.

4.3.4 Αποτελέσματα

Σενάριο 1

Στο Σενάριο 1 μελετήθηκε το ΣΗΕ της Κρήτης στη μόνιμη ημιτονοειδή κατάσταση λειτουργίας για διείσδυση ΑΠΕ ίση με το 20% του μεγίστου φορτίου (700 MW), ήτοι 155 MW, χωρίς την προσθήκη συστημάτων αποθήκευσης. Σε αυτό το σενάριο τα ΑΠΕ θεωρήθηκαν μόνο αιολικά πάρκα.

Από τα αποτελέσματα που πήραμε από την προσομοίωση με το PowerWorld Simulator του Σεναρίου 1 φαίνεται πως για το συγκεκριμένο σενάριο το ΣΗΕ της Κρήτης μπορεί να λειτουργήσει με ασφάλεια χωρίς την προσθήκη συστημάτων

αποθήκευσης. Οι φορτίσεις στις γραμμές και στους μετασχηματιστές είναι χαμηλές και στο σενάριο του μεγίστου αλλά και σε αυτό του μέσου φορτίου. Ακόμα οι τάσεις στους ζυγούς του μονογραμμικού της Κρήτης είναι εντός των επιτρεπτών ορίων.

Σενάριο 2

Το επόμενο σενάριο που εξετάστηκε είναι η διπλάσια διείσδυση ΑΠΕ, ήτοι 40% (310 MW) με την προσθήκη πέραν του 20% των αιολικών του Σεναρίου 1 άλλου ενός επιπλέον 20% ΑΠΕ και συγκεκριμένα φωτοβολταϊκών χωρίς συστήματα αποθήκευσης.

Στο σενάριο αυτό από τα αποτελέσματα που πήραμε από το πρόγραμμα προσομοίωσης αποδείχθηκε πως το ΣΗΕ της Κρήτης μπορεί να λειτουργήσει χωρίς υπερφορτίσεις σε μέγιστο και μέσο φορτίο χωρίς την ανάγκη αποθήκευσης. Επιπλέον οι τάσεις στους ζυγούς είναι πολύ κοντά στην ονομαστική τους τιμή με αποτέλεσμα να μην υπάρχει κάποιο προβλήματα για την ευστάθεια του συστήματος.

Σενάριο 3

Το Σενάριο 3 αφορά την μελέτη του ΣΗΕ της Κρήτης με διείσδυση 60% του μεγίστου φορτίου ΑΠΕ, δηλαδή με διείσδυση ΑΠΕ ίση με 465 MW. Το σενάριο αυτό μελετήθηκε τόσο σε μέγιστο όσο και σε μέσο φορτίο με και χωρίς συστήματα αποθήκευσης. Η αποθήκευση μοντελοποιήθηκε στο PowerWorld Simulator με την προσθήκη φορτίων. Η σύνθεση που εξετάστηκε είναι η κάτωθι:

- A. 20% αιολικά και 40% φωτοβολταϊκά
- B. 30% αιολικά και 30% φωτοβολταϊκά
- Γ. 40% αιολικά και 20% φωτοβολταϊκά

Στο Υποσενάριο 3Α σε μέγιστο φορτίο δεν παρατηρούνται υπερφορτίσεις στις γραμμές και στους μετασχηματιστές του ΣΗΕ γεγονός που υποδηλώνει πως μπορεί να λειτουργήσει με ασφάλεια χωρίς την ανάγκη προσθήκης συστημάτων αποθήκευσης. Όσων αφορά τις τάσεις στους ζυγούς, αυτές είναι εντός των επιτρεπτών ορίων απόκλισης επιτρέποντας στο σύστημα να λειτουργεί με ευστάθεια.

Από την άλλη όταν το ίδιο υποσενάριο εξεταστεί σε μέσο φορτίο κρίνεται απαραίτητη η προσθήκη συστημάτων αποθήκευσης διότι εμφανίζονται επικίνδυνες υπερφορτίσεις στις γραμμές Χανιά – Ζυγός 16, Ρέθυμνο – Ζυγός 16, Χανιά – Βρύσες και Βρύσες – Λινοπεράματα. Η προσθήκη συστημάτων μπαταριών για την αποθήκευση της περίσσειας ενέργειας ρίχνει τις φορτίσεις σε όλους τους ζυγούς κάτω από το 100% όπως φαίνεται στα αποτελέσματα των μετρήσεων στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ. Μέτρα πρέπει να ληφθούν πάντως και για την τάση με την προσθήκη πυκνωτών ή στατικών αντισταθμιστών αέργου ισχύος (Static VAR Compensators, SVCs) διότι παρατηρούνται πολύ χαμηλές τάσεις στους ζυγούς, ειδικά στο σενάριο με το μέσο φορτίο με αποθήκευση.

Από τα αποτελέσματα που πήραμε για το Υποσενάριο 3B σε μέγιστο φορτίο βλέπουμε πως μπορεί να λειτουργήσει χωρίς υπερφορτίσεις και χωρίς την ανάγκη της προσθήκης αποθήκευσης για την απορρόφηση της περίσσειας ενέργειας. Οι τάσεις και εδώ είναι πολύ κοντά στις ονομαστικές τους τιμές.

Όταν το ίδιο σενάριο εξεταστεί σε μέσο φορτίο παρατηρούνται επικίνδυνες υπερφορτίσεις στις γραμμές Χανιά – Ζυγός 16, Ρέθυμνο -Ζυγός 16, Χανιά – Βρύσες και Βρύσες -Λινοπεράματα. Αυτά τα αποτελέσματα καθιστούν απαραίτητη την λήψη μέτρων για την προστασία του εξοπλισμού και των εγκαταστάσεων. Με την προσθήκη συστημάτων αποθήκευσης οι υπερφορτίσεις εξαφανίζονται και η ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού διασφαλίζεται. Όσον αφορά την τάση μέτρα πρέπει να ληφθούν για την αντιμετώπιση των αποκλίσεων των τάσεων των ζυγών και για τα δύο υποσενάρια με και χωρίς αποθήκευση.

Σχετικά με το Υποσενάριο 3Γ σε μέγιστο φορτίο από τα αποτελέσματα που πήραμε από το PowerWorld Simulator κρίνεται η προσθήκη συστημάτων αποθήκευσης μη απαραίτητη καθώς οι φορτίσεις στις γραμμές είναι χαμηλές και οι τάσεις των ζυγών πολύ κοντά στις ονομαστικές τους τιμές. Το σύστημα δηλαδή λειτουργεί με ευστάθεια.

Όταν το Υποσενάριο 3Γ εξεταστεί σε μέσο φορτίο χωρίς αποθήκευση παρατηρείται υπερφότωση 104,6% στην γραμμή Χανιά – Ζυγός 16 και επικίνδυνες φορτίσεις στις γραμμές Ρέθυμνο – Ζυγός 16, Χανιά – Βρύσες και Βρύσες – Λινοπεράματα που επιβάλλουν την λήψη μέτρων. Η προσθήκη αποθήκευσης σε αυτό το υποσενάριο οδηγεί στην εξάλειψη των υψηλών αυτών επικίνδυνων φορτίσεων και στην ομαλή λειτουργία του ΣΗΕ. Όσον αφορά τις τάσεις στους ζυγούς στο υποσενάριο με την αποθήκευση, παρατηρείται έλλειψη αέργου ισχύος αλλά όχι τόσο μεγάλη ώστε να χρειαστεί η προσθήκη πυκνωτών.

Σενάριο 4

Στο Σενάριο 4 μελετήθηκε η συμπεριφορά του ΣΗΕ της Κρήτης σε διείσδυση ΑΠΕ ίση με το 80% του μεγίστου φορτίου, ήτοι 620 MW, σε μέγιστο και σε μέσο φορτίο, με και χωρίς την προσθήκη συστημάτων αποθήκευσης. Μελετήθηκε το ΣΗΕ στα εξής μίγματα ΑΠΕ:

- A. 30% αιολικά και 50% φωτοβολταϊκά
- B. 40% αιολικά και 40% φωτοβολταϊκά
- Γ. 50% αιολικά και 30% φωτοβολταϊκά

Κατά την εξέταση του Υποσεναρίου 4A σε μέγιστο φορτίο ευρέθησαν 9 γραμμές με φόρτιση άνω του 100% καθιστώντας το μη βιώσιμο. Με την προσθήκη συστημάτων μπαταριών στους ζυγούς του Ηρακλείου II, της Πραιτώριας, της Σταλίδας και της Σητείας, οι υπερφορτίσεις εξαφανίζονται. Πυκνωτές ή SVCs από την άλλη πρέπει να προστεθούν για να αντισταθμιστεί η έλλειψη αέργου ισχύος και οι χαμηλές τάσεις στους ζυγούς.

Αντίστοιχη εικόνα παρουσιάζει το Υποσενάριο 4A σε μέσο φορτίο. Χωρίς την προσθήκη αποθήκευσης οι υπερφορτίσεις είναι πάρα πολλές. Με την προσθήκη συστημάτων μπαταριών στους ζυγούς του Ρεθύμνου και των Βρύσεων της τάξεως των 70 και 25 MW αντίστοιχα, οι φορτίσεις στις γραμμές επιστρέφουν σε φυσιολογικά επίπεδα. Όσον αφορά τις τάσεις για το υποσενάριο με την αποθήκευση, έχουμε περίσσεια άεργου ισχύος που καθιστά απαραίτητη την προσθήκη πηνίων ή SVCs.

Όπως αποδείχθηκε από την προσομοίωση και το Υποσενάριο 4B χωρίς αποθήκευση σε μέγιστο φορτίο δίνει παρόμοια αποτελέσματα με το αντίστοιχο του Υποσεναρίου 4A. Δηλαδή οι υπερφορτίσεις στις γραμμές είναι πάρα πολλές σε όλο το ΣΗΕ που αντιμετωπίζονται με την προσθήκη συστημάτων αποθήκευσης. Και στο Υποσενάριο 4B σε μέγιστο φορτίο με αποθήκευση επιβάλλεται η λήψη μέτρων για την αντιμετώπιση του ελλείματος άεργου ισχύος.

Όταν το Υποσενάριο 4B μελετήθηκε σε μέσο φορτίο χωρίς αποθήκευση παρουσιάστηκε υπερφόρτιση 124,3% στη γραμμή Ρέθυμνο – Λινοπεράματα. Όταν στο ίδιο υποσενάριο προστέθηκε στον ζυγό του Ρεθύμνου σύστημα μπαταριών 100 MW η φόρτιση της γραμμής Ρέθυμνο – Λινοπεράματα μειώθηκε στο 71,2%. Αναφορικά με τις τάσεις στους ζυγούς η μέτρηση από την προσομοίωση του μονογραμμικού έδειξε απόκλιση προς επάνω άρα πρέπει να γίνει χρήση πηνίων ή SVCs προκειμένου να απορροφηθεί η περίσσεια άεργος ισχύς.

Η προσομοίωση του Υποσεναρίου 4Γ σε μέγιστο φορτίο έδειξε πως οι φορτίσεις στις γραμμές είναι χαμηλές με εξαίρεση αυτές στην γραμμή Χανιά – Ζυγός 16 90,3% και Λινοπεράματα – Ζυγός 33 84,6%. Η προσθήκη αποθήκευσης δεν κρίνεται απαραίτητη παρά όλα αυτά εξετάστηκε και αυτό το υποσενάριο. Το αποτέλεσμα έδειξε πτώση της φόρτισης για τη γραμμή Χανιά – Ζυγός 16 κατά 10% ενώ για την γραμμή Λινοπεράματα – Ζυγός 33 κατά 15%. Επειδή οι τάσεις στους ζυγούς είναι χαμηλές στο υποσενάριο χωρίς αποθήκευση αλλά και σε αυτό με την αποθήκευση πρέπει να προστεθούν πυκνωτές ή SVCs.

Η εξέταση του Υποσεναρίου 4Γ σε μέσο φορτίο έδειξε την ανάγκη προσθήκης συστημάτων αποθήκευσης καθώς εντοπίστηκαν επικίνδυνες φορτίσεις. Με την προσθήκη των μπαταριών οι φορτίσεις μειώνονται. Παρατηρείται όμως έλλειμα άεργου ισχύος καθιστώντας απαραίτητη την προσθήκη πυκνωτών ή SVCs.

Σενάριο 5

Πέμπτο και τελευταίο σενάριο που μελετήθηκε είναι αυτό της διείσδυσης ΑΠΕ ίση με το 100% του μεγίστου φορτίου, δηλαδή 775 MW. Και αυτό το σενάριο εξετάστηκε σε μέγιστο και μέσο φορτίο, με και χωρίς την προσθήκη αποθήκευσης. Η αναλογία του μίγματος των ΑΠΕ αυτού του σεναρίου ήταν η ακόλουθη:

- A. 40% αιολικά και 60% φωτοβολταϊκά
- B. 50% αιολικά και 50% φωτοβολταϊκά

Γ. 60% αιολικά και 40% φωτοβολταϊκά

Το Υποσενάριο 5A σε μέγιστο φορτίο χωρίς αποθήκευση είναι βιώσιμο καθώς δεν υπάρχουν υπερφορτίσεις με αποτέλεσμα η προσθήκη συστημάτων αποθήκευσης να κρίνεται ως μη απαραίτητη. Οι τάσεις στους ζυγούς είναι και αυτές εντός των επιτρεπτών ορίων απόκλισης από την ονομαστική τους τιμή.

Το Υποσενάριο 5A σε μέσο φορτίο χωρίς αποθήκευση όπως και τα αντίστοιχα των 5B και 5Γ, δεν συγκλίνουν και επομένως δεν μπορούν να επιλυθούν. Είναι λογικό όσο μειώνεται το φορτίο, λόγω του μεγάλου ποσοστού ΑΠΕ στα συγκεκριμένα υποσενάρια να μη μπορεί να συγκλίνει το αρχείο (ενώ τα υποσενάρια σε μέγιστο φορτίο συγκλίνουν) και αποδεικνύεται ότι σε μέσο φορτίο είναι αδύνατο να λειτουργήσει το σύστημα χωρίς την προσθήκη μπαταριών. Για τα υποσενάρια που δε συγκλίνουν δε δίνονται οι αντίστοιχοι πίνακες στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ επειδή τα εν λόγω στιγμιότυπα δεν είναι εφικτό να επιλυθούν.

Το Υποσενάριο 5A σε μέσο φορτίο με αποθήκευση δεν μπορεί να λειτουργήσει με ευστάθεια καθώς έχουμε 3 γραμμές στο «κόκκινο» (Χανιά – Βρύσες, Χανιά – Ζυγός 16, Ρέθυμνο – Ζυγός 16) με φόρτιση άνω του 100% και τάσεις στους ζυγούς πολύ κάτω από την ονομαστική τους τιμή.

Στο Υποσενάριο 5B σε μέγιστο φορτίο χωρίς αποθήκευση τα αποτελέσματα έδειξαν πως μπορεί να λειτουργεί ομαλά και με ευστάθεια χωρίς την ανάγκη αποθήκευσης και μάλιστα με οικονομικό τρόπο χωρίς να πρέπει να είναι συνδεδεμένος στο δίκτυο ο ατμοηλεκτρικός σταθμός και του Αθερινόλακκου. Και για τις τάσεις των ζυγών δεν χρειάζεται κάποια διορθωτική κίνηση καθώς η απόκλισή τους από την ονομαστική είναι μικρή και αμελητέα.

Όταν το Υποσενάριο 5B εξεταστεί σε μέσο φορτίο με συστήματα αποθήκευσης συνδεδεμένα, δεν εμφανίζονται υπερφορτίσεις στις γραμμές και τους μετασχηματιστές, με τις τάσεις σε κάποιους ζυγούς να είναι κατάτι αυξημένες αλλά και πάλι εντός των αποδεκτών ορίων απόκλισης.

Τα αποτελέσματα του Υποσεναρίου 5Γ για μέγιστο φορτίο χωρίς αποθήκευση έδειξαν πως το ΣΗΕ μπορεί να λειτουργήσει χωρίς υπερφορτίσεις και χωρίς την ανάγκη λήψης μέτρων διόρθωσης των τάσεων στους ζυγούς.

Η εξέταση του Υποσεναρίου 5Γ σε μέσο φορτίο με αποθήκευση κατέδειξε πως το υποσενάριο αυτό συγκλίνει και πως δίνει λύση χωρίς επικίνδυνες φορτίσεις στις γραμμές. Οι τάσεις των ζυγών από την άλλη, χρειάζονται διόρθωση καθώς παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις από την ονομαστική τους τιμή.

Κεφάλαιο 5^ο

Συμπεράσματα

Σκοπός της διπλωματικής αυτής εργασίας ήταν η αναλυτική διερεύνηση της επίδρασης των συστημάτων αποθήκευσης (συσσωρευτών) στην αύξηση της απορρόφηση ισχύος από φωτοβολταϊκά πάρκα στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Για τον λόγο αυτόν επιλέχθηκε το απομονωμένο ΣΗΕ της νήσου Κρήτης να χρησιμοποιηθεί ως μελέτη περίπτωσης. Αφού συγκεντρώθηκαν τα στοιχεία από τον ΑΔΜΗΕ για το ηλεκτρικό δίκτυο του νησιού (μονογραμμικό διάγραμμα ΣΗΕ, μονάδες παραγωγής, φορτία, γραμμές μεταφοράς, πυκνωτές) με τη βοήθεια του προγράμματος προσομοίωσης PowerWorld Simulator της εταιρίας PowerWorld Corporation μοντελοποιήθηκε το ΣΗΕ. Τα σενάρια που εξετάστηκαν σε αυτό το ΣΗΕ είχαν να κάνουν με αυξανόμενη διείσδυση ΑΠΕ ξεκινώντας από διείσδυση 20% και φθάνοντας μέχρι και το 100% του μεγίστου φορτίου με διαφορετικό μείγμα ΑΠΕ κάθε φορά (αιολικών και φωτοβολταϊκών). Τα σενάρια εξετάστηκαν τόσο σε μέγιστο όσο και σε μέσο φορτίο με και χωρίς την προσθήκη αποθήκευσης.

Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν πως η αυξανόμενη διείσδυση ΑΠΕ στο ΣΗΕ της Κρήτης χωρίς την ταυτόχρονη προσθήκη μονάδων αποθήκευσης εγείρει σοβαρά προβλήματα στην ασφαλή και ευσταθή λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου του νησιού. Αυτό συμβαίνει διότι η επιπρόσθετη εγχεόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τις ΑΠΕ στο δίκτυο δημιουργεί «συμφόρηση» (bottleneck) στις γραμμές του ΣΗΕ οδηγώντας σε υπερφορτίσεις και θέτοντας σε κίνδυνο τις εγκαταστάσεις και τον εξοπλισμό. Η προσθήκη συστημάτων συσσωρευτών σε επιλεγμένους ζυγούς του δικτύου κατέδειξε τη συνεισφορά της αποθήκευσης στην ασφαλή λειτουργία του ΣΗΕ αφού αντιμετώπισε με επιτυχία τις υπερφορτίσεις. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η περίπτωση της γραμμής Χανιά – Ζυγός 16 σε μέσο φορτίο του Υποσεναρίου 3B. Σε αυτή την περίπτωση η προσθήκη 145 MW αποθήκευσης στο ΣΗΕ του νησιού μείωσε την φόρτιση της γραμμής από 109,5% σε 55,4%. Οδήγησε δηλαδή σε μια μείωση της φόρτισης της τάξης του 54% και διασφάλισε την ομαλή και ευσταθή λειτουργία του ΣΗΕ.

Κλείνοντας, σε έναν κόσμο τροφοδοτούμενο από «πράσινη ενέργεια» η ανάπτυξη και η χρήση συστημάτων αποθήκευσης καθίσταται απαραίτητη προκειμένου να αντιμετωπιστεί η περιοδικότητα και η εξάρτηση των ΑΠΕ από τον καιρό και τις κλιματολογικές συνθήκες. Σε αυτήν την διπλωματική εργασία αναδείχθηκε η συνεισφορά της αποθήκευσης ενέργειας από φωτοβολταϊκά πάρκα σε ό,τι αφορά την ευσταθή και ασφαλή λειτουργία του ΣΗΕ. Πολύ ενδιαφέρον έχει να εξεταστεί το ζήτημα και από την οικονομική του πλευρά καθότι μπορεί το αυξανόμενο μερίδιο των ΑΠΕ στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας να μειώνει την ανάγκη για χρήση των ρυπογόνων μονάδων που βασίζονται στα ορυκτά καύσιμα, αλλά η ενεργειακή

μετάβαση επιβάλλει την ανάπτυξη και εγκατάσταση νέων τεχνολογιών με υψηλό κόστος κεφαλαίου.

Βιβλιογραφία

- ACES, 2019. *Energy XPRT*. [Online]
Available at: <https://www.energy-xprt.com/>
- Alternative Energy, 2019. *Alternative Energy*. [Online]
Available at: <http://www.altenergy.org>
- Alvarez Solar Builders, 2019. *Alvarez Solar Builders*. [Online]
Available at: <https://www.alvarezsolarbuilders.com>
- Banggood, 2019. *Banggood*. [Online]
Available at: <https://www.banggood.com/>
- Battery University, 2019. *Battery University*. [Online]
Available at: <https://batteryuniversity.com>
- Bethel Afework, J. H. K. S. B. Y. J. D., 2018. *Energy Education*. [Online]
Available at: <https://www.energyeducation.ca>
- Blog, 2017. *Solar PV*. [Online]
Available at: <https://solarpvashichiko.blogspot.com/2017/02/ground-mounted-solar-pv.html>
- Blusunsolar, 2019. *AliExpress*. [Online]
Available at: <https://www.aliexpress.com>
- Breeze, P., 2019. Chapter 10 - Power System Energy Storage Technologies. In: *Power Generation Technologies (Third Edition)*. s.l.:Newnes.
- Bushong, S., 2015. *Solar Power World*. [Online]
Available at: <https://www.solarpowerworldonline.com/>
- Christiana Honsberg, S. B., 2019. *PV Education.org*. [Online]
Available at: <https://www.pveducation.org/>
- Deger, 2019. *Deger*. [Online]
Available at: <https://www.degerenergie.de/en/index.html>
- EASE, 2020. *European Assciaton for Storage of Energy*. [Online]
Available at: <https://ease-storage.eu>
- Ebay, 2019. *Ebay*. [Online]
Available at: <https://www.ebay.com/>
- Ecoul, 2020. *Ecoul - Energy Storage Solutions*. [Online]
Available at: <https://www.ecoul.com/technology/ultrabattery>
- Elite, 2019. *Elite Precast Concrete*. [Online]
Available at: <https://www.eliteprecast.co.uk/>

- Energica, 2019. *Indiamart*. [Online]
Available at: <https://www.indiamart.com/>
- Energy Informative, 2012. *Energy Informative*. [Online]
Available at: <https://energyinformative.org/>
- Enphase Energy, 2013. *Mr Solar*. [Online]
Available at: <https://www.mrsolar.com>
- EUROBAT, 2022. *EUROBAT*. [Online]
Available at: <https://www.eurobat.org/>
- European Council, 2022. *European Council*. [Online]
Available at: <https://www.consilium.europa.eu/en/>
- Farschad Torabi, P. A., 2019. Chapter 1 - Battery Technologies. In: *Simulation of Battery Systems*. s.l.:Academic Press.
- Fedkin, M. V., 2019. *Energy Storage Technologies for Solar Systems*, s.l.: The Pennsylvania State University.
- Fox, S., 2011. *Civicsolar*. [Online]
Available at: <https://www.civicsolar.com/>
- Generalic, E., 2018. *Chemistry Glossary*. [Online]
Available at: <https://glossary.periodni.com/dictionary.php>
- Green Match, 2019. *Green Match*. [Online]
Available at: <https://www.greenmatch.co.uk>
- GSPV, 2019. *Made-in-China*. [Online]
Available at: <https://www.made-in-china.com/>
- Hao-Fan Wang, Q. X., 2019. Materials Design for Rechargeable Metal-Air Batteries. In: *Matter*. s.l.:Elsevier, pp. 565-567.
- Ignacio Porto, H. M., 2020. *olivoENERGY*. [Online]
Available at: <https://olivoenergy.com>
- Industrias Duero, 2019. *Industrias Duero*. [Online]
Available at: <https://industriasduero.com/en/>
- Jurca, A. M., 2014. The Energiewende: Germany's transition to an Economy fueled by renewables. *The Georgetown International Environmental Law Review*, 27(1), pp. 168-170.
- Kyocera, 2014. *Kyocera*. [Online]
Available at: <https://global.kyocera.com>
- Lonely Planet, 2021. *Lonely Planet*. [Online]
Available at: <https://www.lonelyplanet.com/maps/europe/greece/crete/>

- Material District Rotterdam, 2019. *Material District Rotterdam*. [Online]
Available at: <https://rotterdam.materialdistrict.com/>
- Mohammad Aslam Khan, I. E. Q., 2016. *International Symposium on Light and Life*. Islamabad, COMSATS, CIIT.
- Mustafa Cagatay Kocer, C. C. M. G. D. G. M. A. C. B. A. A. O., 2019. Assessment of Battery Storage Technologies for a Turkish Power Network. *MDPI*, 11(3666), p. 6.
- N.P.H. Duraman, K. L. S. C., 2014. Batteries for Remote Area Power Supply Systems. In: M. S. T. M. L. Chris Menictas, ed. *Advances in Batteries for Medium and Large-Scale Energy Storage*. s.l.:Woodhead Publishing.
- Paul Flowers, K. T. R. L., 2019. *Chemistry Libre Texts*. [Online]
Available at: <https://chem.libretexts.org/>
- PGK Distribution, 2019. *PGK Distribution*. [Online]
Available at: <https://pgkdistribution.com.au/>
- Pntech, 2019. *Pntech Energy*. [Online]
Available at: <https://www.solar-pvcable.com/>
- Pop, L., 2019. *Solar Panels Secrets Exposed*. [Online]
Available at: <https://solarpanelsvenue.com/>
- PowerWorld Corporation, 2021. *PowerWorld Corporation*. [Online]
Available at: <https://www.powerworld.com>
- PV Insights, 2019. *PV Insights*. [Online]
Available at: <http://pvinsights.com/index.php>
- RGS, 2015. *RGS*. [Online]
Available at: <https://www.rgsenergy.com>
- Spiegel, C., 2018. *Fuel Cell Store*. [Online]
Available at: <https://www.fuelcellstore.com/>
- Timon Wehnert, A. B. M. F. J. K. F. M. A. P. S. S. P.-Y. O. A. P. K. U., 2019. *Phasing out coal in the German Energy Sector*, s.l.: German Institute for Economic Research (DIW Berlin), Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy, Ecologic Institute.
- Timon Wehnert, A. B. M. F. S. L. A. N. A. P. S. S. O. W. H. B. C. L., 2019. *Phasing out coal in the German Energy Sector*, s.l.: German Institute for Economic Research (DIW Berlin), Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy, Ecologic Institute.
- Vangelis Marinakis, A. F. G. S. I. G. Y. M. H. D., 2020. The Efforts towards and Challenges of Greece's Post Lignite Era: The Case of Megalopolis. *MDPI*, 17 December.
- Ward, C., 2011. *CSIROPedia*. [Online]
Available at: <https://csiropedia.csiro.au/ultrabattery>

- Weimar, N., 2018. *Sinovoltaics*. [Online]
Available at: <https://sinovoltaics.com/>
- Wikipedia, 2021. *Wikipedia*. [Online]
Available at:
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CF%81%CE%AE%CF%84%CE%B7>
- Yiannis Kontochristopoulos, S. M. N. K. A. F., 2021. Investigating the market effects of increased RES penetration with BSAM: A wholesale electricity market simulator. *Energy Reports*, 10 August.
- Zhang, H., 2014. Polysulfide-bromine flow batteries (PBBs) for medium- and large-scale energy storage. In: M. S. T. L. C Menictas, ed. *Advances in Batteries for Medium and Large-Scale Energy Storage*. s.l.:Woodhead Publishing, pp. 317-319.
- Zimmer, T., 2019. *Photovoltaic cell types*. Bordeaux: s.n.
- Zipp, K., 2013. *Solar Power World*. [Online]
Available at: <https://www.solarpowerworldonline.com/>
- Zipp, K., 2015. *Solar Power World*. [Online]
Available at: <https://www.solarpowerworldonline.com/>
- ABB, 2012. The role of DC switch disconnectors in solar PV systems. *Vector*, November, p. 74.
- Βοβός Νικόλαος, Γ. Γ., 2008. *Ανάλυση Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας*. s.l.:Εκδόσεις Ζήτη.
- Βουγιουκλάκης, Ι., 2018. *Ηλιακή Ενέργεια: Τεχνολογίες-Αξιοποίηση (Μέρος Α')*. s.l.:s.n.
- Καμπούρης, Ι., 2020. *Διασύνδεση Κρήτης, Σχεδιασμός & Οδικός Χάρτης Υλοποίησης*. s.l.:Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας.
- Μιχάλης Παπαδόπουλος, Μ. Α. Μ. Κ. Σ. Ν. Κ. Ν. Δ. Π. Γ. Π., 2016. *Ενεργειακός Σχεδιασμός Περιφέρειας Κρήτης*, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Παπαδόπουλος, Η., 2017. *Παραμετρική ανάλυση N-πλήθους υβριδικών φωτοβολταϊκών/θερμικών συλλεκτών νερού συδεδεμένων σε σειρά*. Κοζάνη: Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας.
- Στεργιόπουλος, Φ., 2011. *Οδηγός Μελέτης και Υλοποίησης Φωτοβολταϊκών Έργων*. Θεσσαλονίκη: Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας, Μόνιμη Επιτροπή Ενέργειας.
- Χρήστενα, Α., 2020. *Προσομοίωση του Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας της Κρήτης με και χωρίς διασυνδέσεις (Διπλωματική Εργασία)*. s.l.:Πολυτεχνείο Κρήτης.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

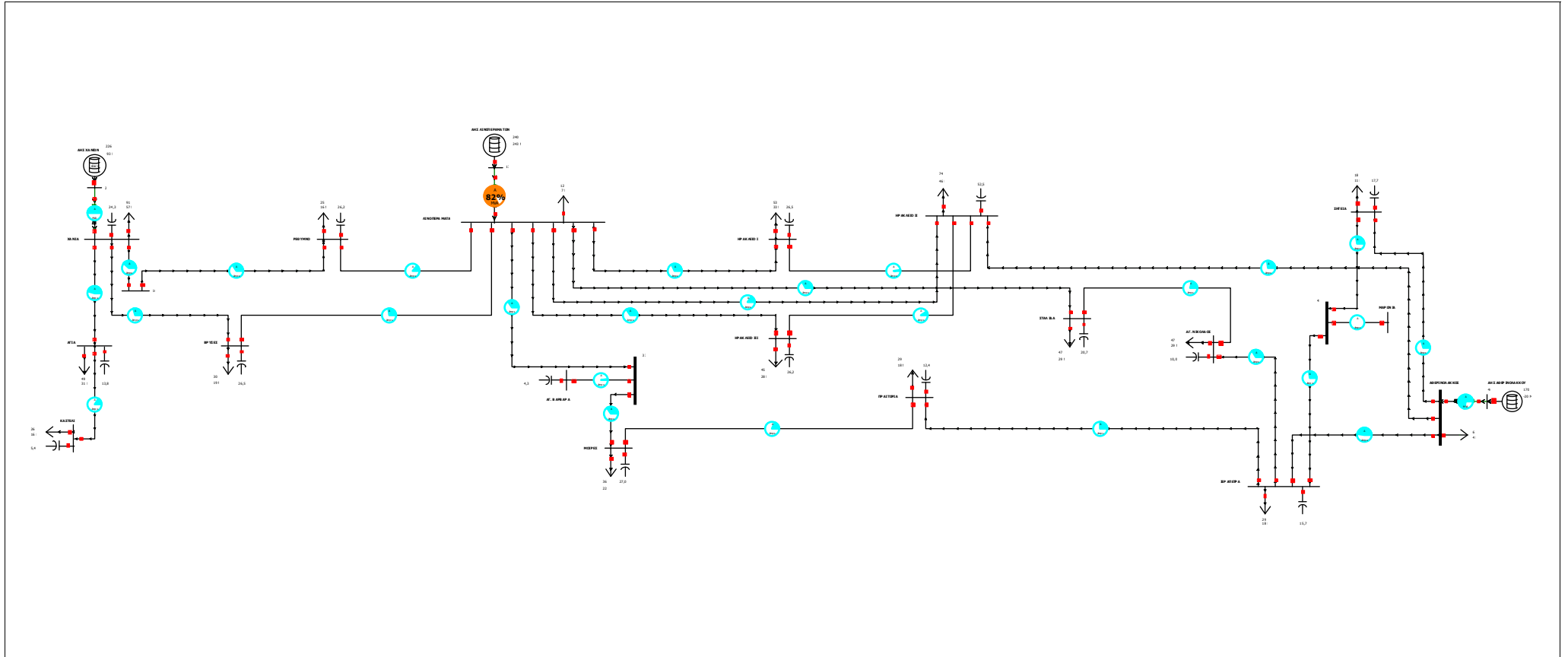
Πίνακας Περιεχομένων Παραρτήματος

ΣΗΕ ΚΡΗΤΗΣ ΧΩΡΙΣ ΑΠΕ	1
Α. ΜΕΓΙΣΤΟ ΦΟΡΤΙΟ	2
Β. ΜΕΣΟ ΦΟΡΤΙΟ.....	6
ΣΕΝΑΡΙΟ 1	10
Α. ΜΕΓΙΣΤΟ ΦΟΡΤΙΟ	11
Β. ΜΕΣΟ ΦΟΡΤΙΟ.....	15
ΣΕΝΑΡΙΟ 2	19
Α. ΜΕΓΙΣΤΟ ΦΟΡΤΙΟ	20
Β. ΜΕΣΟ ΦΟΡΤΙΟ.....	24
ΣΕΝΑΡΙΟ 3	28
Α. ΜΕΓΙΣΤΟ ΦΟΡΤΙΟ ΧΩΡΙΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ	29
Β. ΜΕΓΙΣΤΟ ΦΟΡΤΙΟ ΧΩΡΙΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ	33
Γ. ΜΕΓΙΣΤΟ ΦΟΡΤΙΟ ΧΩΡΙΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ.....	37
Α. ΜΕΣΟ ΦΟΡΤΙΟ ΧΩΡΙΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ.....	41
Α. ΜΕΣΟ ΦΟΡΤΙΟ ΜΕ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ.....	45
Β. ΜΕΣΟ ΦΟΡΤΙΟ ΧΩΡΙΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ.....	49
Β. ΜΕΣΟ ΦΟΡΤΙΟ ΜΕ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ.....	53
Γ. ΜΕΣΟ ΦΟΡΤΙΟ ΧΩΡΙΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ	57
Γ. ΜΕΣΟ ΦΟΡΤΙΟ ΜΕ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ	61
ΣΕΝΑΡΙΟ 4	65
Α. ΜΕΓΙΣΤΟ ΦΟΡΤΙΟ ΧΩΡΙΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ	66
Α. ΜΕΓΙΣΤΟ ΦΟΡΤΙΟ ΜΕ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ	70
Β. ΜΕΓΙΣΤΟ ΦΟΡΤΙΟ ΧΩΡΙΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ	74
Β. ΜΕΓΙΣΤΟ ΦΟΡΤΙΟ ΜΕ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ	78
Γ. ΜΕΓΙΣΤΟ ΦΟΡΤΙΟ ΧΩΡΙΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ.....	82
Γ. ΜΕΓΙΣΤΟ ΦΟΡΤΙΟ ΜΕ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ.....	86
Α. ΜΕΣΟ ΦΟΡΤΙΟ ΧΩΡΙΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ.....	90
Α. ΜΕΣΟ ΦΟΡΤΙΟ ΜΕ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ.....	94
Β. ΜΕΣΟ ΦΟΡΤΙΟ ΧΩΡΙΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ.....	98
Β. ΜΕΣΟ ΦΟΡΤΙΟ ΜΕ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ.....	102
Γ. ΜΕΣΟ ΦΟΡΤΙΟ ΧΩΡΙΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ	106
Γ. ΜΕΣΟ ΦΟΡΤΙΟ ΜΕ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ	110
ΣΕΝΑΡΙΟ 5	114

A. ΜΕΓΙΣΤΟ ΦΟΡΤΙΟ ΧΩΡΙΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ	115
B. ΜΕΓΙΣΤΟ ΦΟΡΤΙΟ ΧΩΡΙΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ	119
Γ. ΜΕΓΙΣΤΟ ΦΟΡΤΙΟ ΧΩΡΙΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ	123
A. ΜΕΣΟ ΦΟΡΤΙΟ ΜΕ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ.....	127
B. ΜΕΣΟ ΦΟΡΤΙΟ ΜΕ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ.....	131
Γ. ΜΕΣΟ ΦΟΡΤΙΟ ΜΕ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ	135

ΣΗΕ ΚΡΗΤΗΣ ΧΩΡΙΣ ΑΠΕ

A. ΜΕΓΙΣΤΟ ΦΟΡΤΙΟ

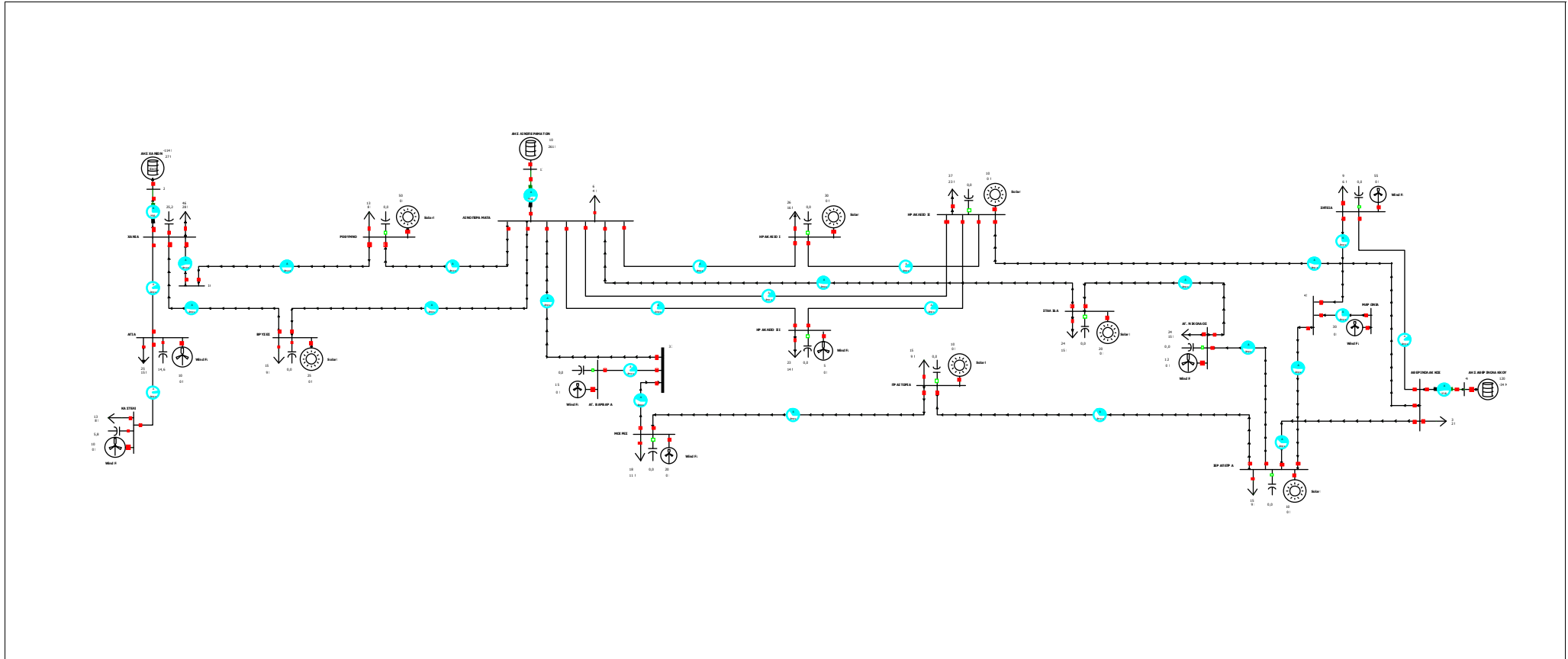


Τάσεις Ζυγών				
Αριθμός	Όνομα	Nom kV	Volt (kV)	Angle (Deg)
1	ΧΑΝΙΑ	150	145,18	-33,49
2	2	15,75	16,54	0,00
11	ΑΓΙΑ	150	143,88	-34,30
12	ΚΑΣΤΕΛΙ	150	142,80	-34,93
13	ΒΡΥΣΕΣ	150	146,86	-34,33
14	ΡΕΘΥΜΝΟ	150	154,17	-35,53
15	ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	150	157,55	-35,51
16	16	150	145,49	-33,57
17	17	15,75	19,74	-24,22
32	ΜΟΙΡΕΣ	150	153,97	-36,91
33	33	150	155,51	-36,37
34	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	150	155,57	-36,37
35	ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	150	157,09	-35,88
36	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	150	157,26	-35,76
37	ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	150	152,09	-36,79
38	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	150	156,86	-35,91
39	ΣΤΑΛΙΔΑ	150	152,71	-36,49
40	ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	150	150,37	-35,99
41	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	150	150,30	-34,73
42	ΣΗΤΕΙΑ	150	150,49	-32,95
43	ΜΑΡΩΝΙΑ	150	150,47	-33,21
44	ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	150	150,00	-31,59
45	45	150	150,47	-33,21
46	46	13,8	12,95	-15,62

Γραμμή	Ποσοστό Φόρτισης
ΧΑΝΙΑ - ΑΓΙΑ	44,7%
ΑΓΙΑ - ΚΑΣΤΕΛΙ	15,6%
ΧΑΝΙΑ - ΒΡΥΣΕΣ	29,7%
ΧΑΝΙΑ - 16	39,1%
16 - ΡΕΘΥΜΝΟ	35,4%
ΒΡΥΣΕΣ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	26,8%
ΡΕΘΥΜΝΟ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	14,1%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - 33	33,5%
33 - ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	3,3%
33 - ΜΟΙΡΕΣ	35,3%
ΜΟΙΡΕΣ - ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	19,2%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	32,4%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	14,7%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	33,6%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΣΤΑΛΙΔΑ	31,7%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	3,4%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	8,7%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	27,2%
ΣΤΑΛΙΔΑ - ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	20,0%
ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	34,5%
ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	24,2%
ΣΗΤΕΙΑ - 45	28,0%
45 -ΜΑΡΩΝΙΑ	0,0%
45 -ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	27,9%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΣΗΤΕΙΑ	29,2%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	47,9%

Μετασηματιστής	Ποσοστό Φόρτισης
2 - ΧΑΝΙΑ	50,0%
17 - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	81,8%
46 -ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	73,0%

B. ΜΕΣΟ ΦΟΡΤΙΟ



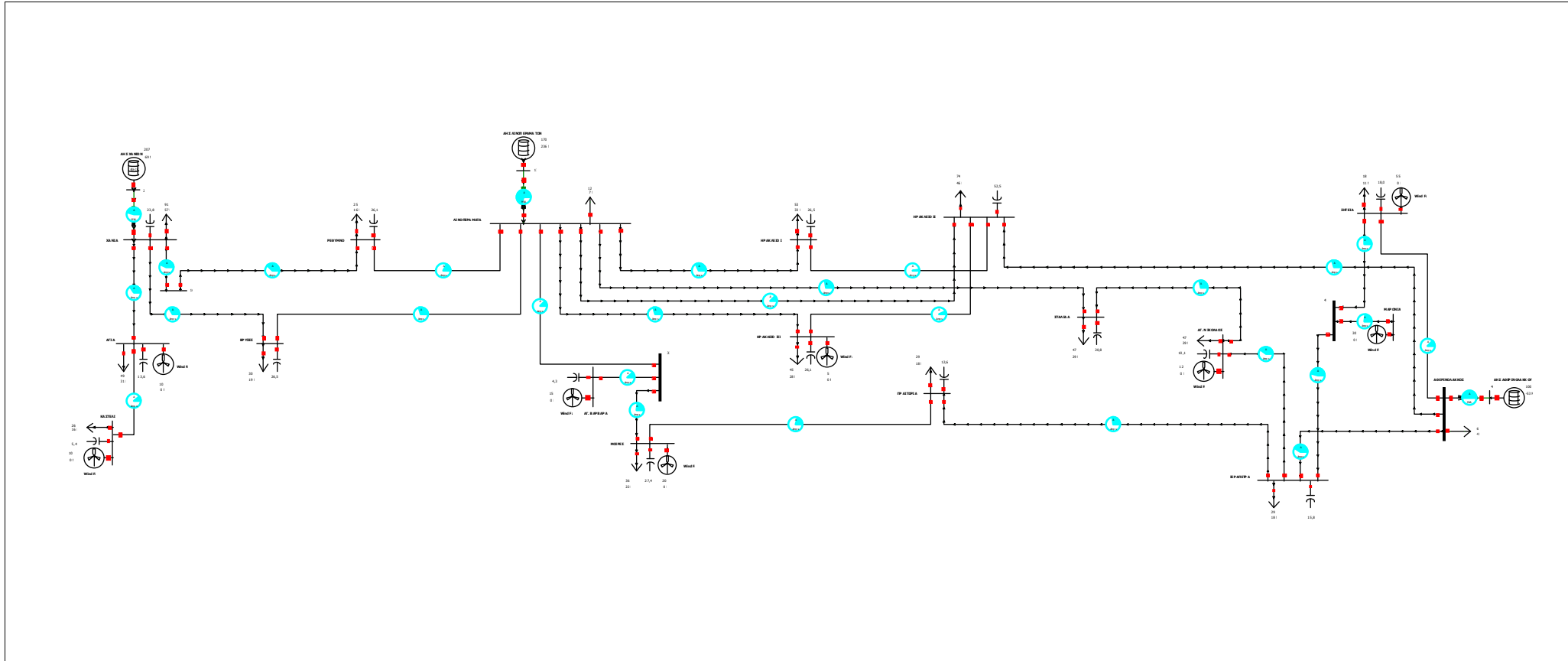
Τάσεις Ζυγών				
Αριθμός	Όνομα	Nom kV	Volt (kV)	Angle (Deg)
1	ΧΑΝΙΑ	150	156,55	-21,24
2	2	15,75	15,75	0,00
11	ΑΓΙΑ	150	156,34	-21,62
12	ΚΑΣΤΕΛΙ	150	156,10	-21,90
13	ΒΡΥΣΕΣ	150	156,90	-21,90
14	ΡΕΘΥΜΝΟ	150	160,46	-23,18
15	ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	150	157,89	-23,70
16	16	150	156,68	-21,31
17	17	15,75	16,58	-23,70
32	ΜΟΙΡΕΣ	150	157,31	-23,76
33	33	150	157,68	-23,76
34	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	150	157,75	-23,76
35	ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	150	157,95	-23,84
36	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	150	157,96	-23,79
37	ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	150	155,96	-23,13
38	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	150	157,89	-23,73
39	ΣΤΑΛΙΔΑ	150	155,65	-23,07
40	ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	150	153,74	-21,89
41	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	150	152,86	-20,53
42	ΣΗΤΕΙΑ	150	151,71	-18,62
43	ΜΑΡΩΝΙΑ	150	151,88	-18,90
44	ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	150	150,04	-17,41
45	45	150	151,88	-18,90
46	46	13,8	11,99	-0,01

Γραμμή	Ποσοστό Φόρτισης
ΧΑΝΙΑ - ΑΓΙΑ	19,4%
ΑΓΙΑ - ΚΑΣΤΕΛΙ	6,7%
ΧΑΝΙΑ - ΒΡΥΣΕΣ	20,2%
ΧΑΝΙΑ - 16	25,1%
16 - ΡΕΘΥΜΝΟ	22,7%
ΒΡΥΣΕΣ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	11,1%
ΡΕΘΥΜΝΟ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	12,2%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - 33	2,6%
33 - ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	3,4%
33 - ΜΟΙΡΕΣ	6,6%
ΜΟΙΡΕΣ - ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	22,2%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	11,5%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	1,0%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	11,8%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΣΤΑΛΙΔΑ	15,8%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	4,5%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	2,8%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	36,9%
ΣΤΑΛΙΔΑ - ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	28,2%
ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	38,6%
ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	32,5%
ΣΗΤΕΙΑ - 45	31,4%
45 -ΜΑΡΩΝΙΑ	0,0%
45 -ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	31,3%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΣΗΤΕΙΑ	29,3%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	50,5%

Μετασηματιστής	Ποσοστό Φόρτισης
2 - ΧΑΝΙΑ	34,9%
17 - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	0,0%
46 -ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	82,2%

ΣΕΝΑΡΙΟ 1

A. ΜΕΓΙΣΤΟ ΦΟΡΤΙΟ

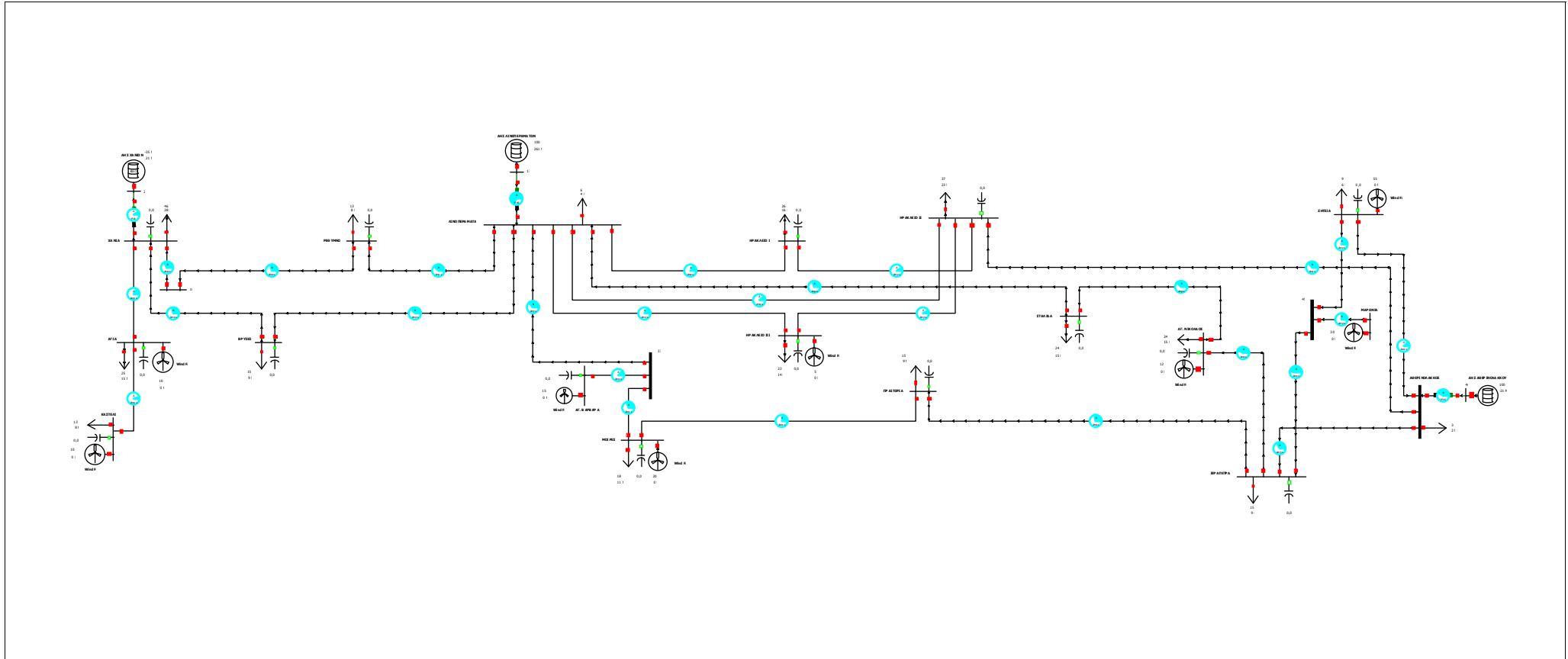


Τάσεις Ζυγών				
Αριθμός	Όνομα	Nom kV	Volt (kV)	Angle (Deg)
1	ΧΑΝΙΑ	150	143,81	-32,50
2	2	15,75	15,75	0,00
11	ΑΓΙΑ	150	142,64	-33,09
12	ΚΑΣΤΕΛΙ	150	141,70	-33,46
13	ΒΡΥΣΕΣ	150	145,70	-33,39
14	ΡΕΘΥΜΝΟ	150	153,49	-34,68
15	ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	150	157,50	-34,74
16	16	150	144,14	-32,58
17	17	15,75	19,76	-26,88
32	ΜΟΙΡΕΣ	150	155,05	-34,90
33	33	150	156,32	-34,72
34	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	150	156,38	-34,64
35	ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	150	157,04	-35,09
36	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	150	157,22	-34,96
37	ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	150	153,00	-34,73
38	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	150	156,81	-35,09
39	ΣΤΑΛΙΔΑ	150	152,96	-35,02
40	ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	150	150,84	-33,98
41	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	150	150,79	-32,55
42	ΣΗΤΕΙΑ	150	151,59	-29,83
43	ΜΑΡΩΝΙΑ	150	151,66	-29,88
44	ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	150	150,00	-29,96
45	45	150	151,66	-30,05
46	46	13,8	12,45	-20,13

Γραμμή	Ποσοστό Φόρτισης
ΧΑΝΙΑ - ΑΓΙΑ	34,8%
ΑΓΙΑ - ΚΑΣΤΕΛΙ	10,6%
ΧΑΝΙΑ - ΒΡΥΣΕΣ	32,1%
ΧΑΝΙΑ - 16	41,8%
16 - ΡΕΘΥΜΝΟ	37,9%
ΒΡΥΣΕΣ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	29,5%
ΡΕΘΥΜΝΟ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	16,7%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - 33	12,3%
33 - ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	12,0%
33 - ΜΟΙΡΕΣ	22,9%
ΜΟΙΡΕΣ - ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	21,1%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	31,2%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	13,3%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	30,0%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΣΤΑΛΙΔΑ	26,2%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	3,0%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	8,2%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	30,6%
ΣΤΑΛΙΔΑ - ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	26,3%
ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	39,0%
ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	26,2%
ΣΗΤΕΙΑ - 45	24,2%
45 -ΜΑΡΩΝΙΑ	23,7%
45 -ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	46,3%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΣΗΤΕΙΑ	13,4%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	39,7%

Μετασηματιστής	Ποσοστό Φόρτισης
2 - ΧΑΝΙΑ	46,4%
17 - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	69,5%
46 -ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	50,2%

B. ΜΕΣΟ ΦΟΡΤΙΟ



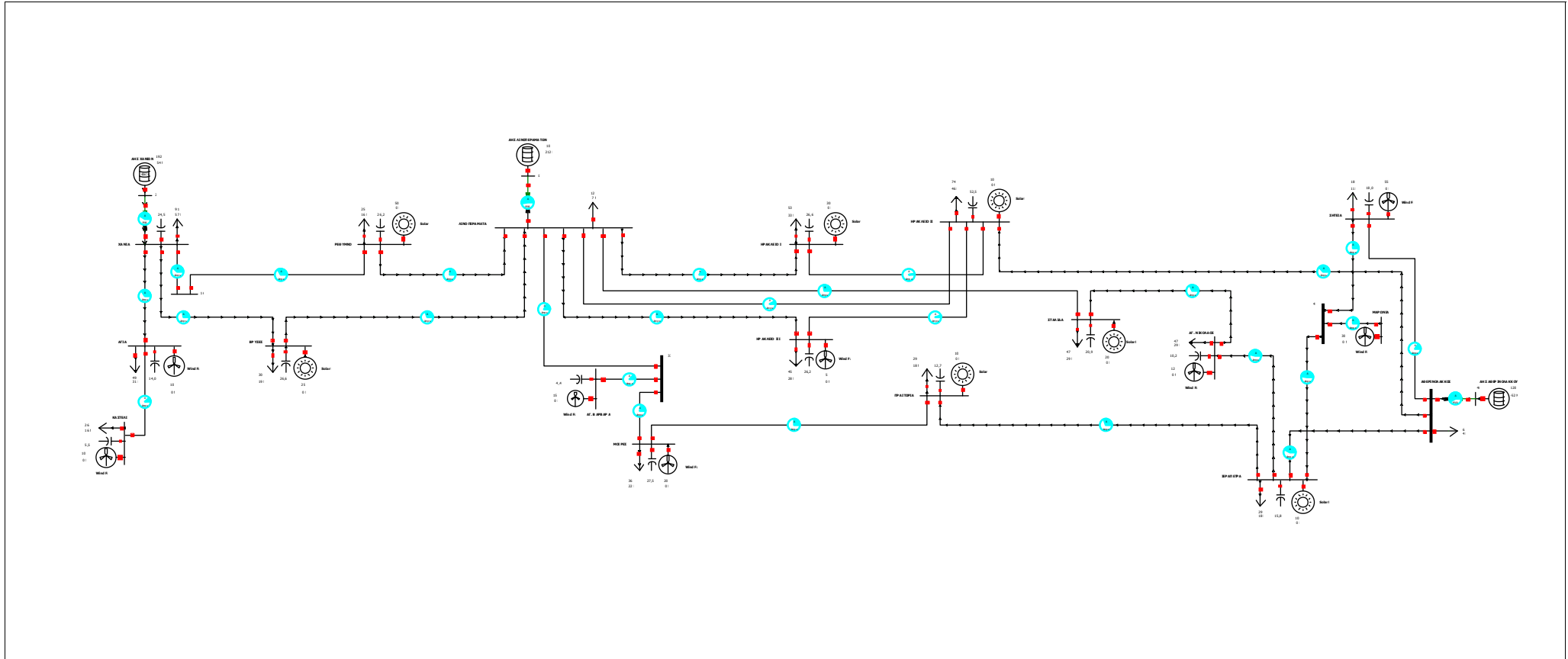
Τάσεις Ζυγών				
Αριθμός	Όνομα	Nom kV	Volt (kV)	Angle (Deg)
1	ΧΑΝΙΑ	150	143,25	5,42
2	2	15,75	15,75	0,00
11	ΑΓΙΑ	150	142,48	5,27
12	ΚΑΣΤΕΛΙ	150	141,93	5,23
13	ΒΡΥΣΕΣ	150	144,54	6,29
14	ΡΕΘΥΜΝΟ	150	148,21	8,44
15	ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	150	153,73	11,36
16	16	150	143,43	5,52
17	17	15,75	19,79	15,87
32	ΜΟΙΡΕΣ	150	151,23	13,06
33	33	150	152,39	12,53
34	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	150	152,39	12,61
35	ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	150	153,15	11,30
36	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	150	153,34	11,34
37	ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	150	150,03	13,75
38	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	150	152,84	11,48
39	ΣΤΑΛΙΔΑ	150	150,38	12,89
40	ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	150	149,30	14,68
41	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	150	149,49	16,18
42	ΣΗΤΕΙΑ	150	150,72	18,89
43	ΜΑΡΩΝΙΑ	150	150,72	18,85
44	ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	150	150,00	18,46
45	45	150	150,73	18,68
46	46	13,8	13,24	27,59

Γραμμή	Ποσοστό Φόρτισης
ΧΑΝΙΑ - ΑΓΙΑ	16,0%
ΑΓΙΑ - ΚΑΣΤΕΛΙ	4,2%
ΧΑΝΙΑ - ΒΡΥΣΕΣ	27,7%
ΧΑΝΙΑ - 16	33,7%
16 - ΡΕΘΥΜΝΟ	30,6%
ΒΡΥΣΕΣ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	37,2%
ΡΕΘΥΜΝΟ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	37,9%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - 33	36,2%
33 - ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	11,8%
33 - ΜΟΙΡΕΣ	30,6%
ΜΟΙΡΕΣ - ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	22,2%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	17,7%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	10,4%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	17,7%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΣΤΑΛΙΔΑ	30,2%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	8,3%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	9,2%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	36,3%
ΣΤΑΛΙΔΑ - ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	36,5%
ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	40,8%
ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	27,3%
ΣΗΤΕΙΑ - 45	23,3%
45 -ΜΑΡΩΝΙΑ	23,9%
45 -ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	46,1%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΣΗΤΕΙΑ	10,9%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	34,7%

Μετασηματιστής	Ποσοστό Φόρτισης
2 - ΧΑΝΙΑ	8,6%
17 - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	65,2%
46 -ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	42,6%

ΣΕΝΑΡΙΟ 2

A. ΜΕΓΙΣΤΟ ΦΟΡΤΙΟ



Τάσεις Ζυγών				
Αριθμός	Όνομα	Nom kV	Volt (kV)	Angle (Deg)
1	ΧΑΝΙΑ	150	145,95	-29,46
2	2	15,75	15,75	0,00
11	ΑΓΙΑ	150	144,81	-30,03
12	ΚΑΣΤΕΛΙ	150	143,90	-30,39
13	ΒΡΥΣΕΣ	150	147,70	-30,19
14	ΡΕΘΥΜΝΟ	150	155,30	-31,06
15	ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	150	157,50	-33,02
16	16	150	146,27	-29,52
17	17	15,75	19,55	-32,89
32	ΜΟΙΡΕΣ	150	155,33	-32,50
33	33	150	156,49	-32,58
34	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	150	156,55	-32,51
35	ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	150	157,16	-33,16
36	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	150	157,24	-33,19
37	ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	150	153,47	-31,88
38	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	150	156,88	-33,16
39	ΣΤΑΛΙΔΑ	150	153,33	-32,24
40	ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	150	151,13	-30,89
41	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	150	151,05	-29,25
42	ΣΗΤΕΙΑ	150	151,69	-26,41
43	ΜΑΡΩΝΙΑ	150	151,78	-26,48
44	ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	150	150,00	-26,48
45	45	150	151,78	-26,65
46	46	13,8	12,39	-14,63

Γραμμή	Ποσοστό Φόρτισης
ΧΑΝΙΑ - ΑΓΙΑ	34,1%
ΑΓΙΑ - ΚΑΣΤΕΛΙ	10,4%
ΧΑΝΙΑ - ΒΡΥΣΕΣ	28,0%
ΧΑΝΙΑ - 16	38,4%
16 - ΡΕΘΥΜΝΟ	34,8%
ΒΡΥΣΕΣ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	29,5%
ΡΕΘΥΜΝΟ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	23,4%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - 33	16,5%
33 - ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	12,0%
33 - ΜΟΙΡΕΣ	20,0%
ΜΟΙΡΕΣ - ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	25,3%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	15,4%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	8,2%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	23,9%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΣΤΑΛΙΔΑ	26,7%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	3,8%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	5,4%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	37,7%
ΣΤΑΛΙΔΑ - ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	31,6%
ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	45,0%
ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	31,4%
ΣΗΤΕΙΑ - 45	26,3%
45 -ΜΑΡΩΝΙΑ	23,7%
45 -ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	48,2%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΣΗΤΕΙΑ	14,0%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	42,7%

Μετασηματιστής	Ποσοστό Φόρτισης
2 - ΧΑΝΙΑ	43,1%
17 - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	51,4%
46 -ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	58,3%

B. ΜΕΣΟ ΦΟΡΤΙΟ

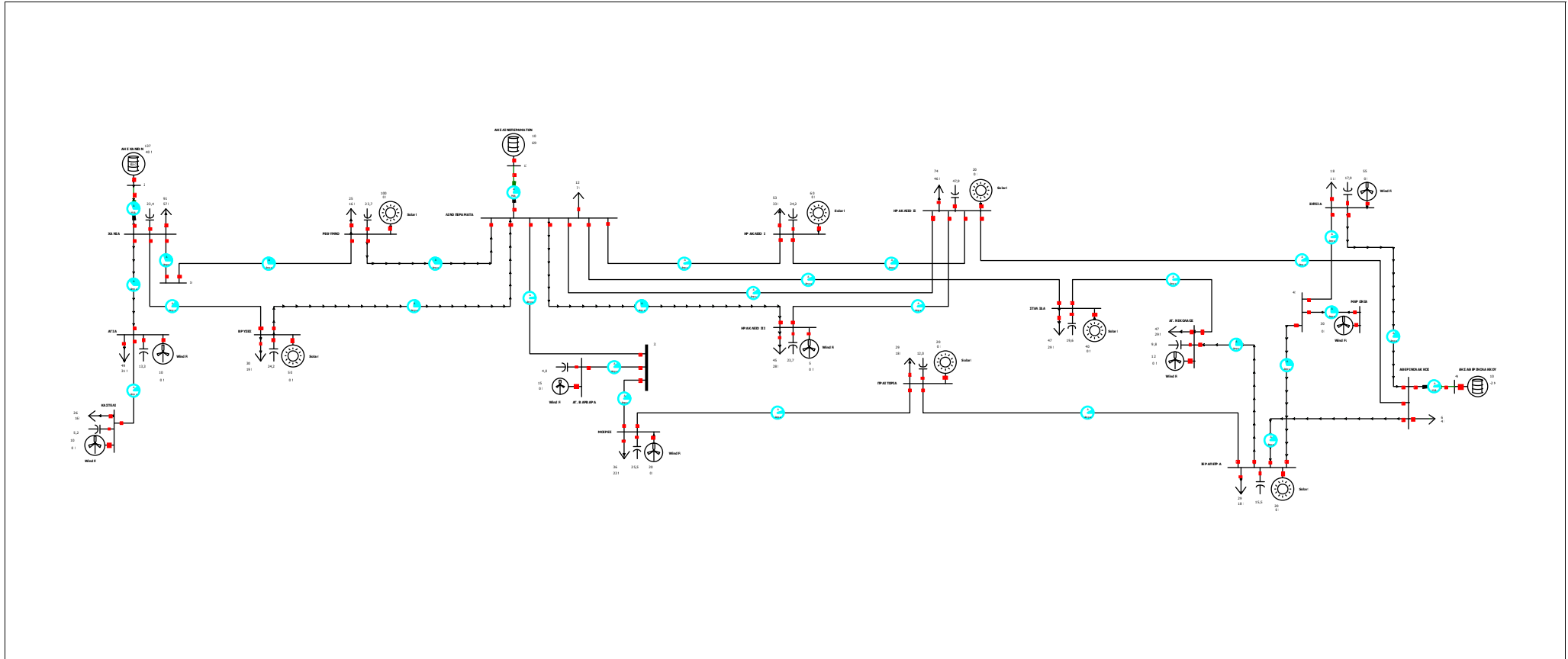
Τάσεις Ζυγών				
Αριθμός	Όνομα	Nom kV	Volt (kV)	Angle (Deg)
1	ΧΑΝΙΑ	150	147,93	17,06
2	2	15,75	15,75	0,00
11	ΑΓΙΑ	150	147,77	16,87
12	ΚΑΣΤΕΛΙ	150	147,63	16,80
13	ΒΡΥΣΕΣ	150	149,40	18,64
14	ΡΕΘΥΜΝΟ	150	152,13	22,55
15	ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	150	155,83	25,07
16	16	150	148,07	17,25
17	17	15,75	19,98	25,11
32	ΜΟΙΡΕΣ	150	153,09	27,46
33	33	150	154,33	26,65
34	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	150	154,33	26,73
35	ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	150	155,33	25,21
36	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	150	155,43	25,10
37	ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	150	151,78	28,62
38	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	150	154,88	25,40
39	ΣΤΑΛΙΔΑ	150	152,15	27,70
40	ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	150	150,54	29,80
41	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	150	150,38	31,54
42	ΣΗΤΕΙΑ	150	151,02	34,41
43	ΜΑΡΩΝΙΑ	150	151,11	34,34
44	ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	150	150,00	34,05
45	45	150	151,11	34,17
46	46	13,8	12,86	45,40

Γραμμή	Ποσοστό Φόρτισης
ΧΑΝΙΑ - ΑΓΙΑ	9,7%
ΑΓΙΑ - ΚΑΣΤΕΛΙ	1,7%
ΧΑΝΙΑ - ΒΡΥΣΕΣ	47,4%
ΧΑΝΙΑ - 16	54,6%
16 - ΡΕΘΥΜΝΟ	49,6%
ΒΡΥΣΕΣ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	41,9%
ΡΕΘΥΜΝΟ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	30,8%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - 33	48,7%
33 - ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	11,7%
33 - ΜΟΙΡΕΣ	42,0%
ΜΟΙΡΕΣ - ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	34,3%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	18,6%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	14,7%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	18,7%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΣΤΑΛΙΔΑ	46,2%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	9,7%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	14,7%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	45,6%
ΣΤΑΛΙΔΑ - ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	44,0%
ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	47,5%
ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	33,5%
ΣΗΤΕΙΑ - 45	26,4%
45 -ΜΑΡΩΝΙΑ	23,8%
45 -ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	48,3%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΣΗΤΕΙΑ	11,4%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	38,2%

Μετασηματιστής	Ποσοστό Φόρτισης
2 - ΧΑΝΙΑ	25,6%
17 - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	61,2%
46 -ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	53,6%

ΣΕΝΑΡΙΟ 3

A. ΜΕΓΙΣΤΟ ΦΟΡΤΙΟ ΧΩΡΙΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

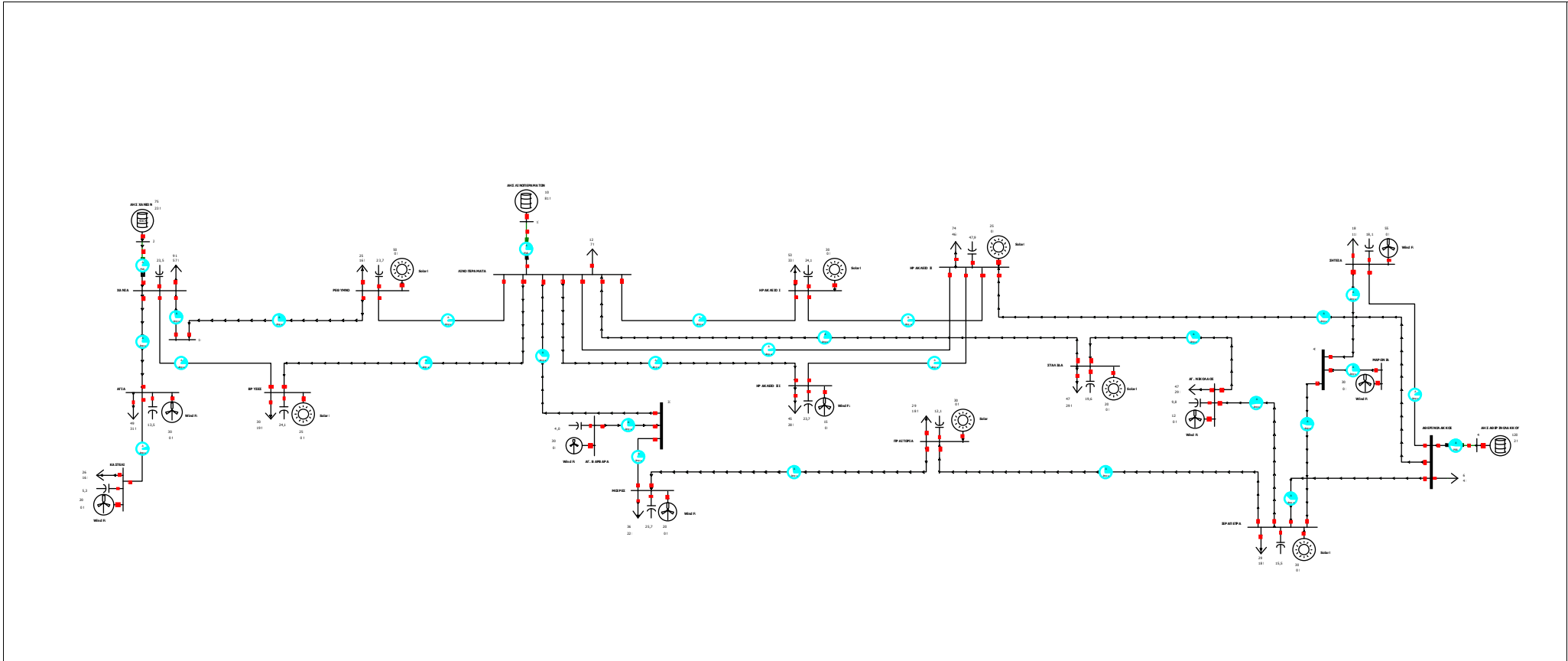


Τάσεις Ζυγών				
Αριθμός	Όνομα	Nom kV	Volt (kV)	Angle (Deg)
1	ΧΑΝΙΑ	150	142,44	-21,09
2	2	15,75	15,75	0
11	ΑΓΙΑ	150	141,24	-21,69
12	ΚΑΣΤΕΛΙ	150	140,28	-22,06
13	ΒΡΥΣΕΣ	150	143,71	-21,26
14	ΡΕΘΥΜΝΟ	150	150,25	-20,82
15	ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	150	150,00	-23,93
16	16	150	142,71	-21,08
17	17	15,75	16,88	-23,48
32	ΜΟΙΡΕΣ	150	149,77	-24,17
33	33	150	150,17	-23,94
34	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	150	150,23	-23,86
35	ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	150	149,87	-23,99
36	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	150	149,83	-24,15
37	ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	150	149,27	-24,05
38	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	150	149,83	-24,25
39	ΣΤΑΛΙΔΑ	150	148,57	-24,05
40	ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	150	148,19	-23,99
41	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	150	149,41	-23,28
42	ΣΗΤΕΙΑ	150	151,31	-21,84
43	ΜΑΡΩΝΙΑ	150	151,23	-21,7
44	ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	150	150,48	-22,57
45	45	150	151,233	-21,87
46	46	13,8	13,8	-21,69

Γραμμή	Ποσοστό Φόρτισης
ΧΑΝΙΑ - ΑΓΙΑ	35,2%
ΑΓΙΑ - ΚΑΣΤΕΛΙ	10,8%
ΧΑΝΙΑ - ΒΡΥΣΕΣ	14,9%
ΧΑΝΙΑ - 16	29,6%
16 - ΡΕΘΥΜΝΟ	26,8%
ΒΡΥΣΕΣ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	22,3%
ΡΕΘΥΜΝΟ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	32,5%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - 33	2,3%
33 - ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	12,4%
33 - ΜΟΙΡΕΣ	11,9%
ΜΟΙΡΕΣ - ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	5,5%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	6,1%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	9,9%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	27,7%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΣΤΑΛΙΔΑ	7,9%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	10,0%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	4,0%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	9,0%
ΣΤΑΛΙΔΑ - ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	2,7%
ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	23,1%
ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	8,5%
ΣΗΤΕΙΑ - 45	4,8%
45 -ΜΑΡΩΝΙΑ	23,8%
45 -ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	28,5%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΣΗΤΕΙΑ	16,9%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	12,8%

Μετασηματιστής	Ποσοστό Φόρτισης
2 - ΧΑΝΙΑ	30,1%
17 - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	18,6%
46 -ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	4,1%

Β. ΜΕΓΙΣΤΟ ΦΟΡΤΙΟ ΧΩΡΙΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

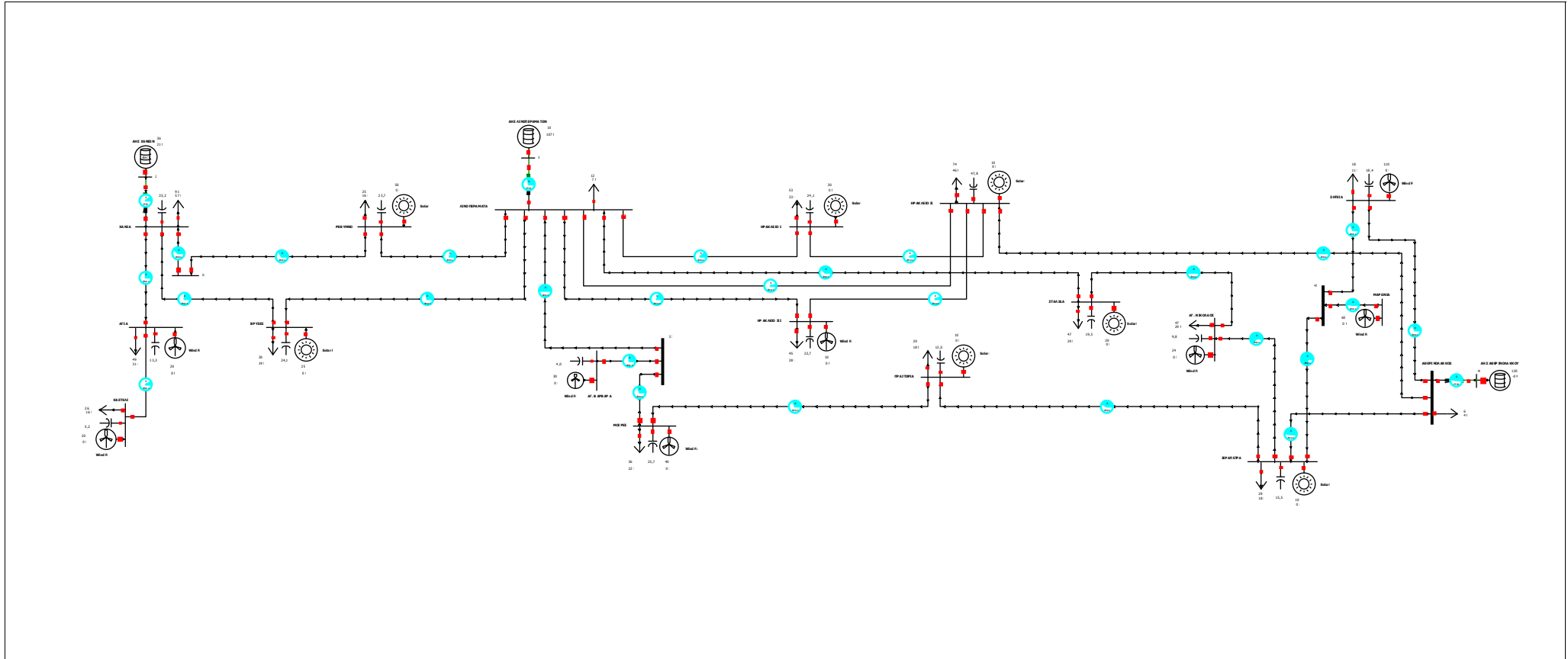


Τάσεις Ζυγών				
Αριθμός	Όνομα	Nom kV	Volt (kV)	Angle (Deg)
1	ΧΑΝΙΑ	150	143,03	-11,34
2	2	15,75	15,75	0
11	ΑΓΙΑ	150	142,06	-11,57
12	ΚΑΣΤΕΛΙ	150	141,27	-11,67
13	ΒΡΥΣΕΣ	150	143,98	-11,14
14	ΡΕΘΥΜΝΟ	150	149,78	-10,04
15	ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	150	150,00	-9,84
16	16	150	143,26	-11,29
17	17	15,75	17,06	-9,42
32	ΜΟΙΡΕΣ	150	150,31	-8,3
33	33	150	150,64	-8,62
34	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	150	150,70	-8,45
35	ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	150	149,75	-9,95
36	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	150	149,84	-9,95
37	ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	150	149,92	-7,31
38	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	150	149,79	-9,86
39	ΣΤΑΛΙΔΑ	150	148,32	-8,64
40	ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	150	148,21	-6,97
41	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	150	149,75	-5,1
42	ΣΗΤΕΙΑ	150	151,99	-2,58
43	ΜΑΡΩΝΙΑ	150	151,85	-2,6
44	ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	150	151,12	-2,76
45	45	150	151,851	-2,76
46	46	13,8	13,8	7,61

Γραμμή	Ποσοστό Φόρτισης
ΧΑΝΙΑ - ΑΓΙΑ	21,0%
ΑΓΙΑ - ΚΑΣΤΕΛΙ	6,5%
ΧΑΝΙΑ - ΒΡΥΣΣΕΣ	12,0%
ΧΑΝΙΑ - 16	28,2%
16 - ΡΕΘΥΜΝΟ	25,6%
ΒΡΥΣΣΕΣ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	16,7%
ΡΕΘΥΜΝΟ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	2,5%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - 33	35,2%
33 - ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	24,1%
33 - ΜΟΙΡΕΣ	15,2%
ΜΟΙΡΕΣ - ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	26,9%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	11,1%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	2,1%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	15,0%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΣΤΑΛΙΔΑ	20,3%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	3,5%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	3,6%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	35,9%
ΣΤΑΛΙΔΑ - ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	32,9%
ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	53,2%
ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	24,8%
ΣΗΤΕΙΑ - 45	21,4%
45 - ΜΑΡΩΝΙΑ	23,7%
45 - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	45,0%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΣΗΤΕΙΑ	8,2%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	36,7%

Μετασηματιστής	Ποσοστό Φόρτισης
2 - ΧΑΝΙΑ	16,7%
17 - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	21,4%
46 - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	48,4%

Γ. ΜΕΓΙΣΤΟ ΦΟΡΤΙΟ ΧΩΡΙΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

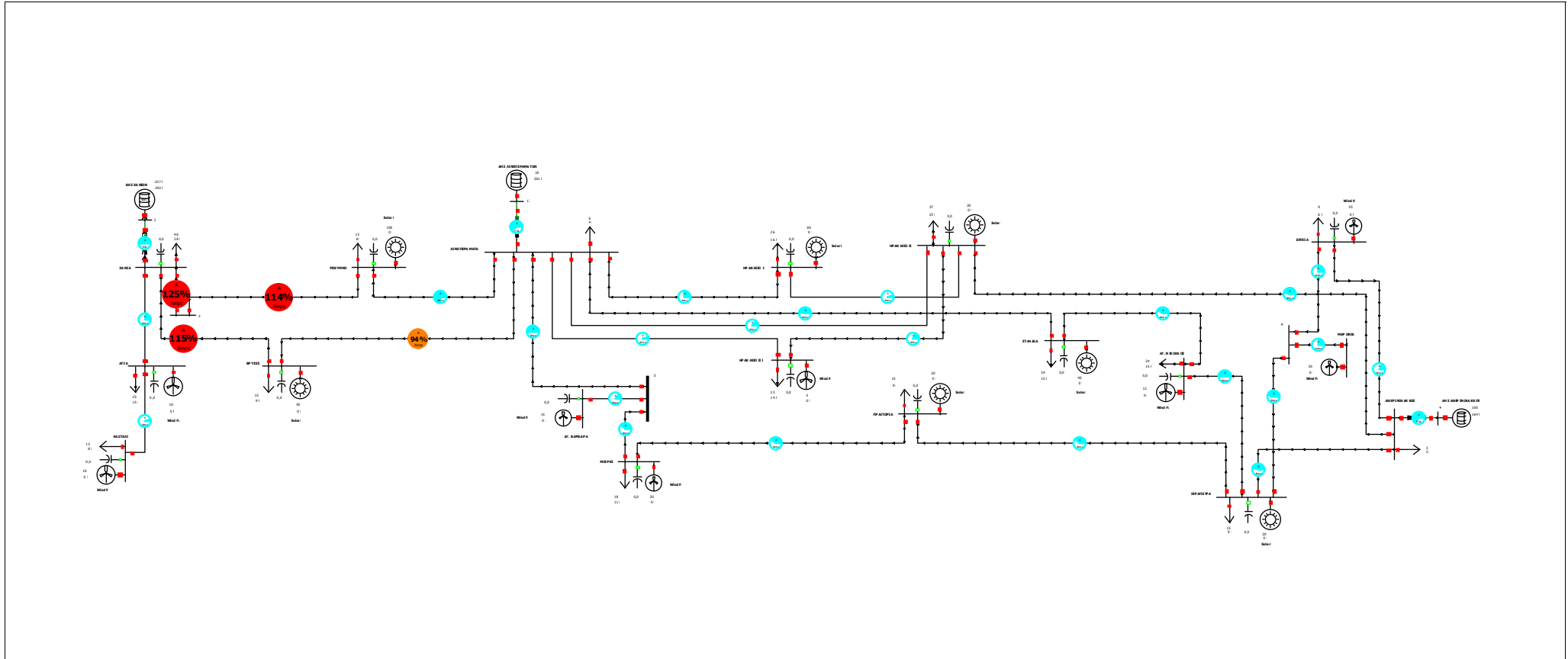


Τάσεις Ζυγών				
Αριθμός	Όνομα	Nom kV	Volt (kV)	Angle (Deg)
1	ΧΑΝΙΑ	150	142,12	-5,41
2	2	15,75	15,75	0
11	ΑΓΙΑ	150	141,06	-5,76
12	ΚΑΣΤΕΛΙ	150	140,26	-5,86
13	ΒΡΥΣΕΣ	150	143,17	-4,68
14	ΡΕΘΥΜΝΟ	150	149,26	-2,51
15	ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	150	150,00	-1,05
16	16	150	142,36	-5,31
17	17	15,75	17,45	-0,69
32	ΜΟΙΡΕΣ	150	150,38	1,41
33	33	150	150,66	0,73
34	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	150	150,72	0,9
35	ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	150	149,72	-1,14
36	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	150	149,80	-1,16
37	ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	150	149,49	2,45
38	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	150	149,69	-1
39	ΣΤΑΛΙΔΑ	150	148,23	1,28
40	ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	150	148,21	3,82
41	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	150	149,74	6,07
42	ΣΗΤΕΙΑ	150	153,18	10,32
43	ΜΑΡΩΝΙΑ	150	153,02	10,39
44	ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	150	151,53	9,08
45	45	150	153,02	10,06
46	46	13,8	13,8	19,43

Γραμμή	Ποσοστό Φόρτισης
ΧΑΝΙΑ - ΑΓΙΑ	25,5%
ΑΓΙΑ - ΚΑΣΤΕΛΙ	6,6%
ΧΑΝΙΑ - ΒΡΥΣΕΣ	22,8%
ΧΑΝΙΑ - 16	38,0%
16 - ΡΕΘΥΜΝΟ	34,5%
ΒΡΥΣΕΣ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	26,9%
ΡΕΘΥΜΝΟ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	15,4%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - 33	50,9%
33 - ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	24,1%
33 - ΜΟΙΡΕΣ	30,4%
ΜΟΙΡΕΣ - ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	29,2%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	10,7%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	3,5%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	16,1%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΣΤΑΛΙΔΑ	36,5%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	5,0%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	6,4%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	50,8%
ΣΤΑΛΙΔΑ - ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	50,2%
ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	63,1%
ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	40,9%
ΣΗΤΕΙΑ - 45	29,5%
45 -ΜΑΡΩΝΙΑ	47,1%
45 -ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	76,4%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΣΗΤΕΙΑ	29,7%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	47,4%

Μετασηματιστής	Ποσοστό Φόρτισης
2 - ΧΑΝΙΑ	8,8%
17 - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	27,8%
46 -ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	48,5%

A. ΜΕΣΟ ΦΟΡΤΙΟ ΧΩΡΙΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

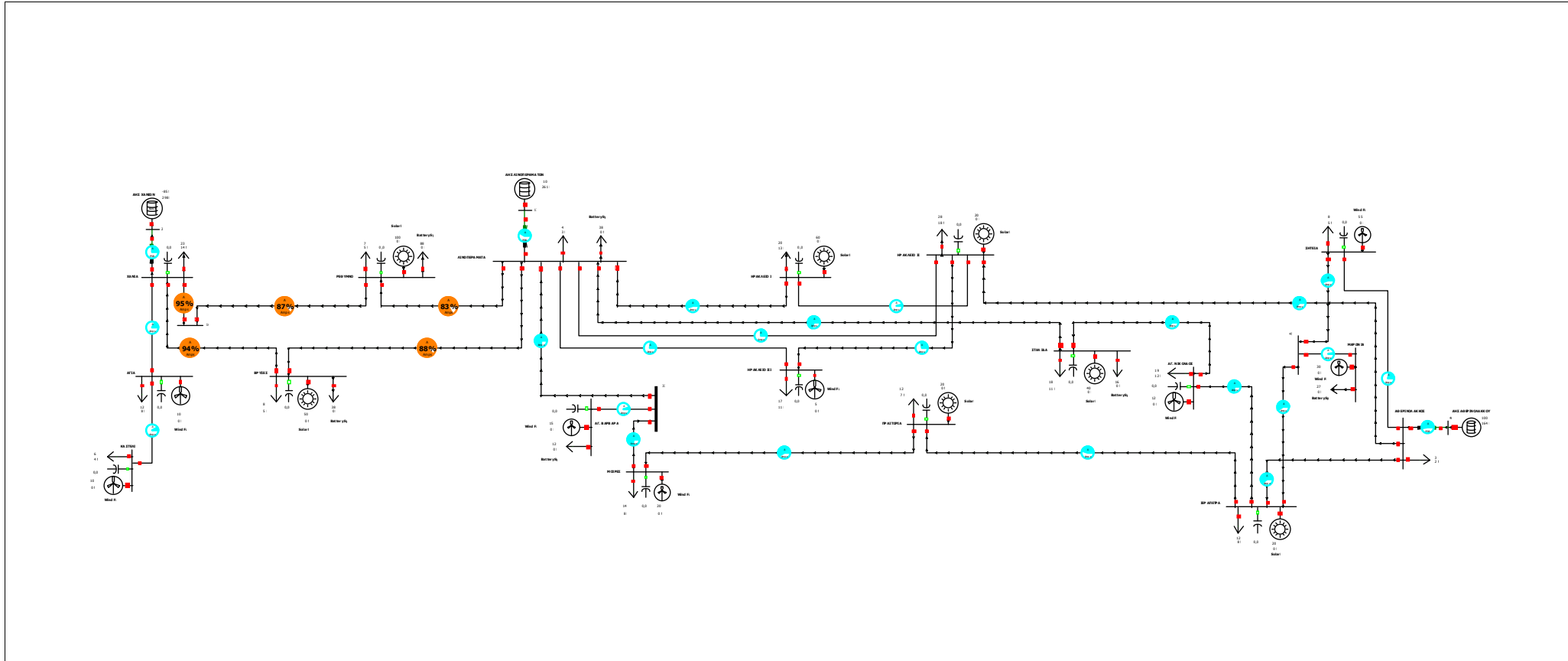


Τάσεις Ζυγών				
Αριθμός	Όνομα	Nom kV	Volt (kV)	Angle (Deg)
1	ΧΑΝΙΑ	150	104,93	54,24
2	2	15,75	15,75	0
11	ΑΓΙΑ	150	103,84	53,97
12	ΚΑΣΤΕΛΙ	150	103,06	53,9
13	ΒΡΥΣΕΣ	150	110,28	59,07
14	ΡΕΘΥΜΝΟ	150	124,13	68,55
15	ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	150	140,80	71,65
16	16	150	105,47	54,79
17	17	15,75	18,66	71,7
32	ΜΟΙΡΕΣ	150	143,51	74,18
33	33	150	142,61	73,36
34	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	150	142,61	73,45
35	ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	150	140,82	71,99
36	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	150	140,71	71,69
37	ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	150	145,68	75,27
38	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	150	141,19	72,04
39	ΣΤΑΛΙΔΑ	150	144,47	74,5
40	ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	150	148,14	75,98
41	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	150	151,79	77,19
42	ΣΗΤΕΙΑ	150	156,97	79,04
43	ΜΑΡΩΝΙΑ	150	156,42	79,1
44	ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	150	158,34	78,43
45	45	150	156,417	78,94
46	46	13,8	17,273	84,63

Γραμμή	Ποσοστό Φόρτισης
ΧΑΝΙΑ - ΑΓΙΑ	22,4%
ΑΓΙΑ - ΚΑΣΤΕΛΙ	6,3%
ΧΑΝΙΑ - ΒΡΥΣΕΣ	114,7%
ΧΑΝΙΑ - 16	125,4%
16 - ΡΕΘΥΜΝΟ	113,9%
ΒΡΥΣΕΣ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	94,2%
ΡΕΘΥΜΝΟ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	72,5%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - 33	49,7%
33 - ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	12,6%
33 - ΜΟΙΡΕΣ	37,0%
ΜΟΙΡΕΣ - ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	36,6%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	24,6%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	11,9%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	5,7%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΣΤΑΛΙΔΑ	46,8%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	5,9%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	15,1%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	44,2%
ΣΤΑΛΙΔΑ - ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	40,6%
ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	50,7%
ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	35,1%
ΣΗΤΕΙΑ - 45	25,4%
45 -ΜΑΡΩΝΙΑ	23,0%
45 -ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	45,4%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΣΗΤΕΙΑ	17,1%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	43,5%

Μετασηματιστής	Ποσοστό Φόρτισης
2 - ΧΑΝΙΑ	50,5%
17 - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	59,2%
46 -ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	64,8%

A. ΜΕΣΟ ΦΟΡΤΙΟ ΜΕ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

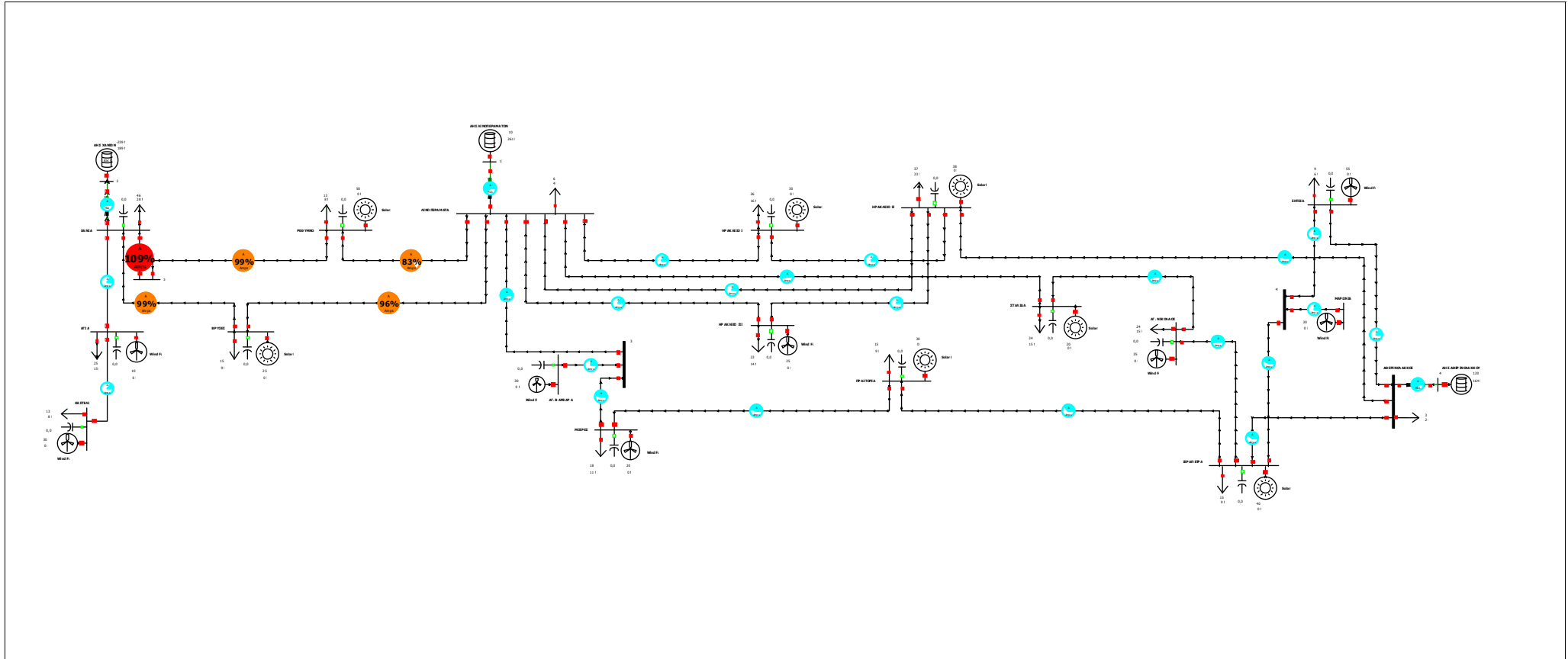


Τάσεις Ζυγών				
Αριθμός	Όνομα	Nom kV	Volt (kV)	Angle (Deg)
1	ΧΑΝΙΑ	150	52,90	43,16
2	2	15,75	15,75	0
11	ΑΓΙΑ	150	52,00	43,51
12	ΚΑΣΤΕΛΙ	150	51,44	44,44
13	ΒΡΥΣΕΣ	150	53,25	52,49
14	ΡΕΘΥΜΝΟ	150	58,53	69,7
15	ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	150	71,27	84,38
16	16	150	52,90	44,1
17	17	15,75	13,03	84,52
32	ΜΟΙΡΕΣ	150	71,69	93,46
33	33	150	71,41	90,05
34	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	150	71,41	90,13
35	ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	150	71,10	85,9
36	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	150	70,93	84,66
37	ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	150	73,40	97,66
38	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	150	71,01	86,14
39	ΣΤΑΛΙΔΑ	150	72,03	93,86
40	ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	150	75,19	99,67
41	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	150	79,46	103,88
42	ΣΗΤΕΙΑ	150	85,87	109,14
43	ΜΑΡΩΝΙΑ	150	84,95	108,53
44	ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	150	87,81	108,12
45	45	150	84,952	108,49
46	46	13,8	11,822	124,64

Γραμμή	Ποσοστό Φόρτισης
ΧΑΝΙΑ - ΑΓΙΑ	24,3%
ΑΓΙΑ - ΚΑΣΤΕΛΙ	8,2%
ΧΑΝΙΑ - ΒΡΥΣΕΣ	94,1%
ΧΑΝΙΑ - 16	95,4%
16 - ΡΕΘΥΜΝΟ	86,7%
ΒΡΥΣΕΣ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	87,8%
ΡΕΘΥΜΝΟ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	82,8%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - 33	76,3%
33 - ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	5,8%
33 - ΜΟΙΡΕΣ	71,1%
ΜΟΙΡΕΣ - ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	57,8%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	56,2%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	25,2%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	22,5%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΣΤΑΛΙΔΑ	69,4%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	4,5%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	28,0%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	65,1%
ΣΤΑΛΙΔΑ - ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	62,0%
ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	74,2%
ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	45,0%
ΣΗΤΕΙΑ - 45	55,7%
45 -ΜΑΡΩΝΙΑ	3,7%
45 -ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	59,3%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΣΗΤΕΙΑ	19,8%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	60,9%

Μετασηματιστής	Ποσοστό Φόρτισης
2 - ΧΑΝΙΑ	24,3%
17 - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	42,9%
46 -ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	52,5%

Β. ΜΕΣΟ ΦΟΡΤΙΟ ΧΩΡΙΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

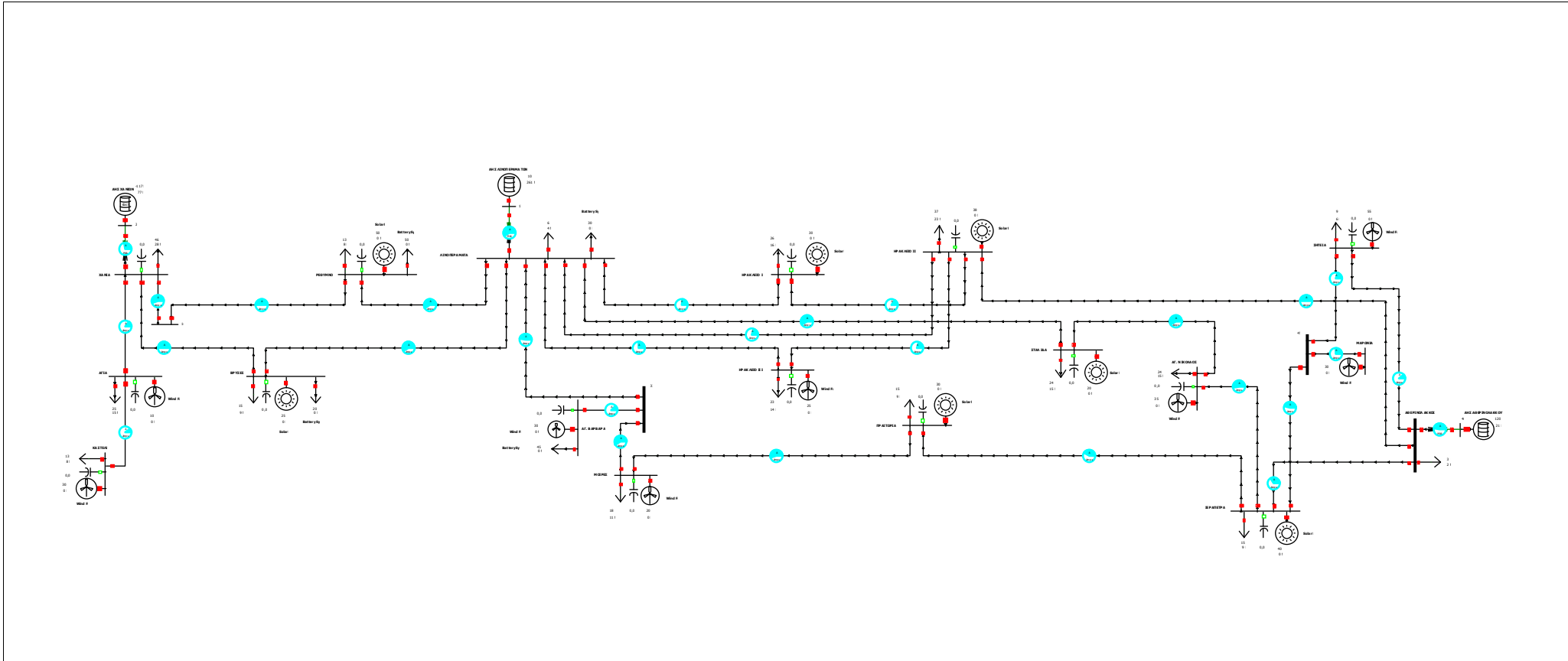


Τάσεις Ζυγών				
Αριθμός	Όνομα	Nom kV	Volt (kV)	Angle (Deg)
1	ΧΑΝΙΑ	150	123,67	48,70
2	2	15,75	15,75	0,00
11	ΑΓΙΑ	150	122,91	48,82
12	ΚΑΣΤΕΛΙ	150	122,61	49,49
13	ΒΡΥΣΕΣ	150	128,61	52,17
14	ΡΕΘΥΜΝΟ	150	141,33	59,18
15	ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	150	157,87	64,06
16	16	150	124,20	49,09
17	17	15,75	20,16	64,10
32	ΜΟΙΡΕΣ	150	161,29	67,05
33	33	150	160,23	66,15
34	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	150	160,23	66,30
35	ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	150	157,86	64,25
36	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	150	157,88	64,20
37	ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	150	163,65	68,31
38	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	150	158,38	64,55
39	ΣΤΑΛΙΔΑ	150	161,71	66,91
40	ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	150	165,81	69,00
41	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	150	169,43	70,22
42	ΣΗΤΕΙΑ	150	174,18	71,74
43	ΜΑΡΩΝΙΑ	150	173,67	71,78
44	ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	150	175,40	71,26
45	45	150	173,67	71,66
46	46	13,8	18,64	77,54

Γραμμή	Ποσοστό Φόρτισης
ΧΑΝΙΑ - ΑΓΙΑ	14,9%
ΑΓΙΑ - ΚΑΣΤΕΛΙ	12,0%
ΧΑΝΙΑ - ΒΡΥΣΕΣ	99,1%
ΧΑΝΙΑ - 16	109,5%
16 - ΡΕΘΥΜΝΟ	99,4%
ΒΡΥΣΕΣ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	95,7%
ΡΕΘΥΜΝΟ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	83,2%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - 33	67,9%
33 - ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	22,5%
33 - ΜΟΙΡΕΣ	45,4%
ΜΟΙΡΕΣ - ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	44,6%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	15,8%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	16,5%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	17,7%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΣΤΑΛΙΔΑ	51,8%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	14,1%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	16,6%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	48,0%
ΣΤΑΛΙΔΑ - ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	55,6%
ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	53,3%
ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	35,6%
ΣΗΤΕΙΑ - 45	23,3%
45 -ΜΑΡΩΝΙΑ	20,7%
45 -ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	41,5%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΣΗΤΕΙΑ	15,0%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	40,0%

Μετασηματιστής	Ποσοστό Φόρτισης
2 - ΧΑΝΙΑ	55,9%
17 - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	61,4%
46 -ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	70,3%

B. ΜΕΣΟ ΦΟΡΤΙΟ ΜΕ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

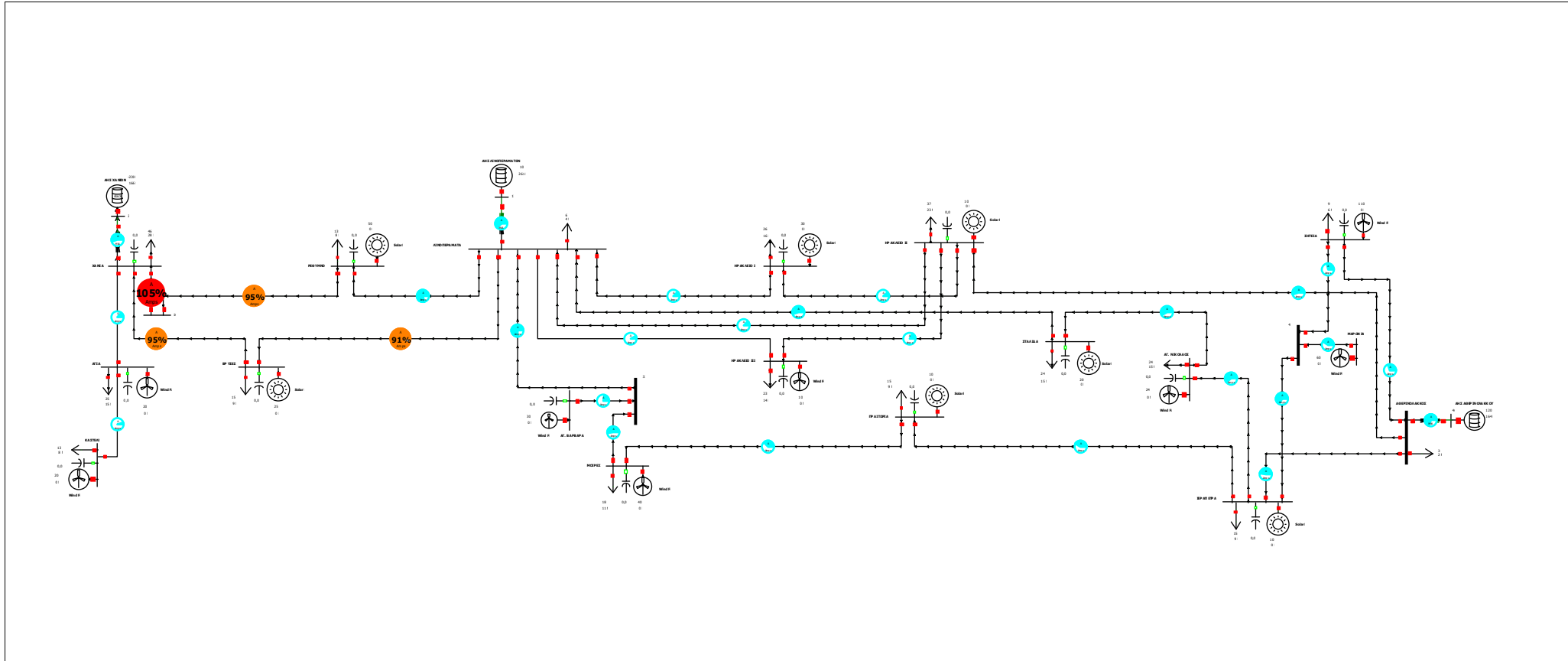


Τάσεις Ζυγών				
Αριθμός	Όνομα	Nom kV	Volt (kV)	Angle (Deg)
1	ΧΑΝΙΑ	150	130,45	20,39
2	2	15,75	15,75	0,00
11	ΑΓΙΑ	150	129,74	20,50
12	ΚΑΣΤΕΛΙ	150	129,46	21,10
13	ΒΡΥΣΕΣ	150	132,06	22,30
14	ΡΕΘΥΜΝΟ	150	136,75	26,30
15	ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	150	144,33	31,41
16	16	150	130,65	20,60
17	17	15,75	18,97	31,46
32	ΜΟΙΡΕΣ	150	143,07	34,59
33	33	150	143,37	33,15
34	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	150	143,37	33,06
35	ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	150	143,98	31,67
36	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	150	144,09	31,60
37	ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	150	143,44	36,69
38	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	150	143,88	32,09
39	ΣΤΑΛΙΔΑ	150	143,10	35,39
40	ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	150	143,69	38,46
41	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	150	144,96	40,35
42	ΣΗΤΕΙΑ	150	147,03	42,97
43	ΜΑΡΩΝΙΑ	150	146,92	42,96
44	ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	150	146,74	42,43
45	45	150	146,92	42,78
46	46	13,8	13,80	53,06

Γραμμή	Ποσοστό Φόρτισης
ΧΑΝΙΑ - ΑΓΙΑ	14,0%
ΑΓΙΑ - ΚΑΣΤΕΛΙ	11,4%
ΧΑΝΙΑ - ΒΡΥΣΕΣ	50,7%
ΧΑΝΙΑ - 16	55,4%
16 - ΡΕΘΥΜΝΟ	50,3%
ΒΡΥΣΕΣ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	57,8%
ΡΕΘΥΜΝΟ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	58,3%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - 33	48,2%
33 - ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	12,6%
33 - ΜΟΙΡΕΣ	59,9%
ΜΟΙΡΕΣ - ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	54,6%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	22,1%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	20,0%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	24,5%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΣΤΑΛΙΔΑ	58,6%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	15,1%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	18,8%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	50,3%
ΣΤΑΛΙΔΑ - ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	58,9%
ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	51,5%
ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	40,5%
ΣΗΤΕΙΑ - 45	20,7%
45 -ΜΑΡΩΝΙΑ	24,5%
45 -ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	45,0%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΣΗΤΕΙΑ	11,5%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	32,6%

Μετασηματιστής	Ποσοστό Φόρτισης
2 - ΧΑΝΙΑ	27,2%
17 - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	59,7%
46 -ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	47,7%

Γ. ΜΕΣΟ ΦΟΡΤΙΟ ΧΩΡΙΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

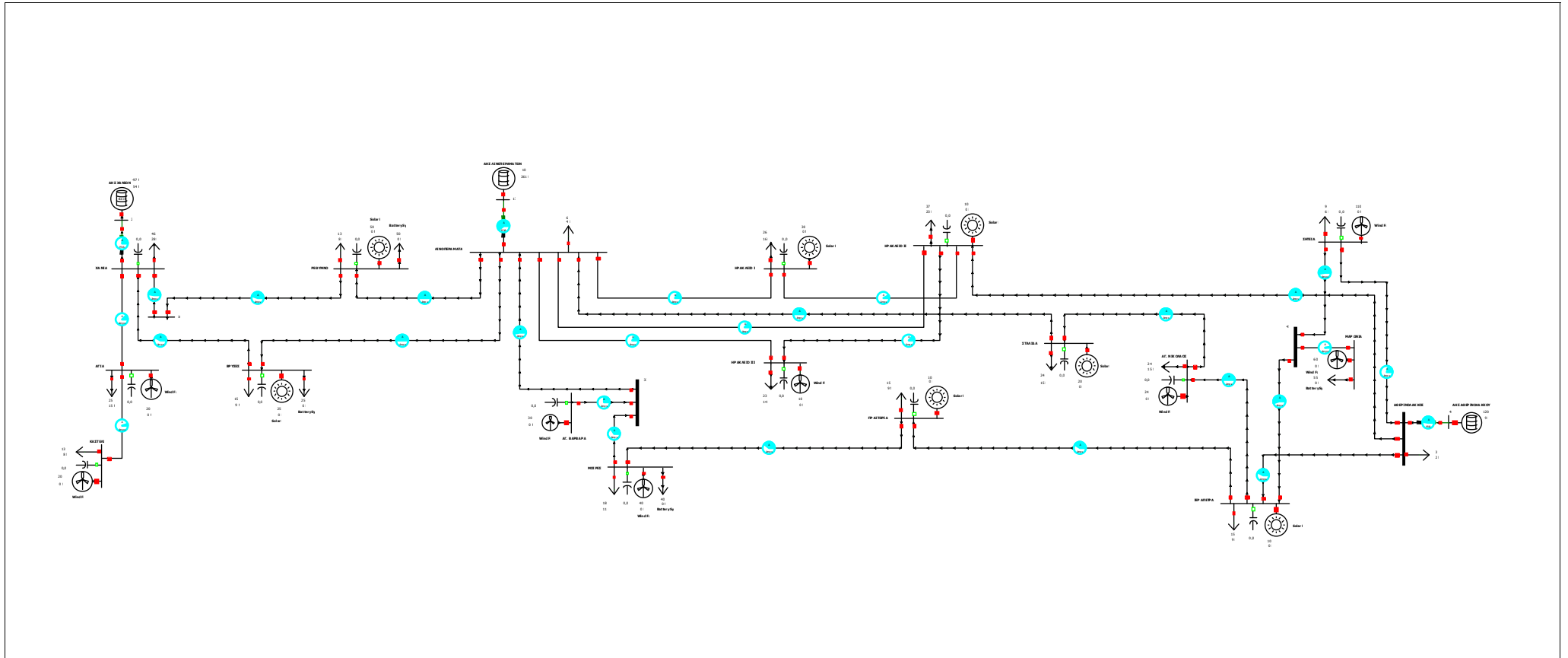


Τάσεις Ζυγών				
Αριθμός	Όνομα	Nom kV	Volt (kV)	Angle (Deg)
1	ΧΑΝΙΑ	150	129,58	45,66
2	2	15,75	15,75	0,00
11	ΑΓΙΑ	150	128,87	45,76
12	ΚΑΣΤΕΛΙ	150	128,43	46,05
13	ΒΡΥΣΕΣ	150	134,33	48,81
14	ΡΕΘΥΜΝΟ	150	146,44	55,26
15	ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	150	162,05	59,83
16	16	150	130,10	46,01
17	17	15,75	20,54	59,87
32	ΜΟΙΡΕΣ	150	165,56	63,14
33	33	150	164,44	62,11
34	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	150	164,44	62,25
35	ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	150	162,00	59,99
36	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	150	162,01	59,90
37	ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	150	167,45	64,19
38	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	150	162,44	60,22
39	ΣΤΑΛΙΔΑ	150	165,72	62,90
40	ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	150	169,70	65,15
41	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	150	173,39	66,67
42	ΣΗΤΕΙΑ	150	179,27	69,47
43	ΜΑΡΩΝΙΑ	150	178,74	69,57
44	ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	150	179,84	68,29
45	45	150	178,74	69,32
46	46	13,8	19,00	74,30

Γραμμή	Ποσοστό Φόρτισης
ΧΑΝΙΑ - ΑΓΙΑ	14,1%
ΑΓΙΑ - ΚΑΣΤΕΛΙ	6,2%
ΧΑΝΙΑ - ΒΡΥΣΕΣ	94,6%
ΧΑΝΙΑ - 16	104,6%
16 - ΡΕΘΥΜΝΟ	95,0%
ΒΡΥΣΕΣ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	91,3%
ΡΕΘΥΜΝΟ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	79,2%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - 33	74,7%
33 - ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	21,9%
33 - ΜΟΙΡΕΣ	52,9%
ΜΟΙΡΕΣ - ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	37,3%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	13,4%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	13,4%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	9,1%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΣΤΑΛΙΔΑ	55,7%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	11,5%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	15,4%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	55,4%
ΣΤΑΛΙΔΑ - ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	59,1%
ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	61,4%
ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	41,9%
ΣΗΤΕΙΑ - 45	28,7%
45 -ΜΑΡΩΝΙΑ	40,3%
45 -ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	67,2%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΣΗΤΕΙΑ	30,0%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	48,0%

Μετασηματιστής	Ποσοστό Φόρτισης
2 - ΧΑΝΙΑ	55,9%
17 - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	61,9%
46 -ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	70,7%

Γ. ΜΕΣΟ ΦΟΡΤΙΟ ΜΕ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ



Τάσεις Ζυγών				
Αριθμός	Όνομα	Nom kV	Volt (kV)	Angle (Deg)
1	ΧΑΝΙΑ	150	136,28	15,95
2	2	15,75	15,75	0,00
11	ΑΓΙΑ	150	135,61	16,05
12	ΚΑΣΤΕΛΙ	150	135,19	16,31
13	ΒΡΥΣΕΣ	150	137,77	17,41
14	ΡΕΘΥΜΝΟ	150	142,15	20,77
15	ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	150	148,97	25,07
16	16	150	136,47	16,12
17	17	15,75	19,37	25,12
32	ΜΟΙΡΕΣ	150	147,13	27,60
33	33	150	148,19	26,91
34	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	150	148,19	27,08
35	ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	150	148,56	25,25
36	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	150	148,65	25,14
37	ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	150	146,77	29,11
38	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	150	148,32	25,50
39	ΣΤΑΛΙΔΑ	150	147,07	28,39
40	ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	150	146,99	30,98
41	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	150	147,85	32,79
42	ΣΗΤΕΙΑ	150	150,29	36,28
43	ΜΑΡΩΝΙΑ	150	149,96	35,84
44	ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	150	149,58	35,41
45	45	150	149,96	35,81
46	46	13,8	13,80	45,87

Γραμμή	Ποσοστό Φόρτισης
ΧΑΝΙΑ - ΑΓΙΑ	13,3%
ΑΓΙΑ - ΚΑΣΤΕΛΙ	5,8%
ΧΑΝΙΑ - ΒΡΥΣΕΣ	41,4%
ΧΑΝΙΑ - 16	48,0%
16 - ΡΕΘΥΜΝΟ	43,6%
ΒΡΥΣΕΣ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	51,1%
ΡΕΘΥΜΝΟ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	51,3%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - 33	52,0%
33 - ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	24,3%
33 - ΜΟΙΡΕΣ	34,6%
ΜΟΙΡΕΣ - ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	40,0%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	18,1%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	14,4%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	16,9%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΣΤΑΛΙΔΑ	51,1%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	9,8%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	14,7%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	49,3%
ΣΤΑΛΙΔΑ - ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	50,7%
ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	49,4%
ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	41,3%
ΣΗΤΕΙΑ - 45	52,4%
45 -ΜΑΡΩΝΙΑ	4,0%
45 -ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	56,4%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΣΗΤΕΙΑ	19,2%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	40,9%

Μετασηματιστής	Ποσοστό Φόρτισης
2 - ΧΑΝΙΑ	22,4%
17 - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	60,3%
46 -ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	48,0%

ΣΕΝΑΡΙΟ 4

A. ΜΕΓΙΣΤΟ ΦΟΡΤΙΟ ΧΩΡΙΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

Τάσεις Ζυγών				
Αριθμός	Όνομα	Nom kV	Volt (kV)	Angle (Deg)
1	ΧΑΝΙΑ	150	119,14	-51,17
2	2	15,75	0,00	132,05
11	ΑΓΙΑ	150	117,74	-51,48
12	ΚΑΣΤΕΛΙ	150	116,63	-51,61
13	ΒΡΥΣΕΣ	150	150,00	-52,03
14	ΡΕΘΥΜΝΟ	150	89,05	-39,74
15	ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	150	65,29	-27,28
16	16	150	118,09	-50,87
17	17	15,75	6,86	-27,28
32	ΜΟΙΡΕΣ	150	57,80	-5,96
33	33	150	60,54	-13,07
34	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	150	60,56	-12,01
35	ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	150	63,90	-26,77
36	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	150	64,26	-27,11
37	ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	150	56,99	5,6
38	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	150	62,82	-25,63
39	ΣΤΑΛΙΔΑ	150	55,02	-9,12
40	ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	150	51,13	-0,24
41	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	150	51,78	8,04
42	ΣΗΤΕΙΑ	150	53,29	18,32
43	ΜΑΡΩΝΙΑ	150	53,44	19,65
44	ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	150	52,08	8,93
45	45	150	53,46	18,29
46	46	13,8	4,79	8,93

Γραμμή	Ποσοστό Φόρτισης
ΧΑΝΙΑ - ΑΓΙΑ	28,6%
ΑΓΙΑ - ΚΑΣΤΕΛΙ	9,1%
ΧΑΝΙΑ - ΒΡΥΣΕΣ	337,2%
ΧΑΝΙΑ - 16	132,2%
16 - ΡΕΘΥΜΝΟ	120,1%
ΒΡΥΣΕΣ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	215,6%
ΡΕΘΥΜΝΟ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	114,4%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - 33	175,9%
33 - ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	59,5%
33 - ΜΟΙΡΕΣ	130,1%
ΜΟΙΡΕΣ - ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	120,2%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	44,3%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	35,2%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	47,6%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΣΤΑΛΙΔΑ	125,8%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	24,2%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	33,3%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	68,0%
ΣΤΑΛΙΔΑ - ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	69,4%
ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	77,7%
ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	24,4%
ΣΗΤΕΙΑ - 45	7,2%
45 - ΜΑΡΩΝΙΑ	67,4%
45 - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	66,1%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΣΗΤΕΙΑ	70,1%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	5,1%

Μετασηματιστής	Ποσοστό Φόρτισης
2 - ΧΑΝΙΑ	55,6%
17 - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	0,0%
46 - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	0,0%

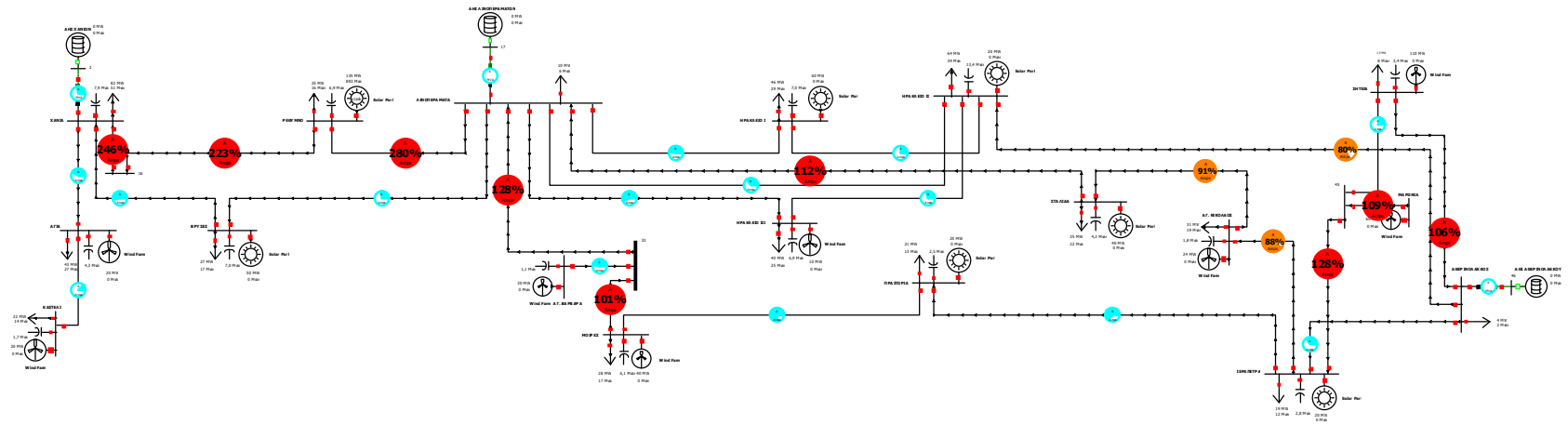
A. ΜΕΓΙΣΤΟ ΦΟΡΤΙΟ ΜΕ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

Τάσεις Ζυγών				
Αριθμός	Όνομα	Nom kV	Volt (kV)	Angle (Deg)
1	ΧΑΝΙΑ	150	76,64	-17,03
2	2	15,75	15,75	0
11	ΑΓΙΑ	150	74,68	-17,16
12	ΚΑΣΤΕΛΙ	150	73,21	-16,97
13	ΒΡΥΣΕΣ	150	75,99	-14,99
14	ΡΕΘΥΜΝΟ	150	75,93	-17,27
15	ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	150	73,91	-23,36
16	16	150	76,62	-17,03
17	17	15,75	13,23	-23,23
32	ΜΟΙΡΕΣ	150	68,47	-18,92
33	33	150	71,28	-19,39
34	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	150	71,31	-18,62
35	ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	150	72,59	-23,79
36	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	150	72,95	-23,84
37	ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	150	66,00	-17,89
38	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	150	71,75	-24,28
39	ΣΤΑΛΙΔΑ	150	65,74	-22,65
40	ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	150	62,90	-20,4
41	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	150	63,83	-16,97
42	ΣΗΤΕΙΑ	150	65,05	-13,89
43	ΜΑΡΩΝΙΑ	150	65,27	-12,48
44	ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	150	65,10	-16,51
45	45	150	65,28	-13,39
46	46	13,8	5,99	-16,51

Γραμμή	Ποσοστό Φόρτισης
ΧΑΝΙΑ - ΑΓΙΑ	36,6%
ΑΓΙΑ - ΚΑΣΤΕΛΙ	12,1%
ΧΑΝΙΑ - ΒΡΥΣΣΕΣ	30,3%
ΧΑΝΙΑ - 16	2,4%
16 - ΡΕΘΥΜΝΟ	2,3%
ΒΡΥΣΣΕΣ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	25,5%
ΡΕΘΥΜΝΟ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	32,6%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - 33	61,3%
33 - ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	50,5%
33 - ΜΟΙΡΕΣ	47,9%
ΜΟΙΡΕΣ - ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	28,3%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	42,3%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	28,0%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	51,9%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΣΤΑΛΙΔΑ	47,7%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	15,0%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	20,1%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	22,4%
ΣΤΑΛΙΔΑ - ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	28,9%
ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	40,7%
ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	9,9%
ΣΗΤΕΙΑ - 45	25,5%
45 - ΜΑΡΩΝΙΑ	55,2%
45 - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	29,6%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΣΗΤΕΙΑ	23,9%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	8,3%

Μετασηματιστής	Ποσοστό Φόρτισης
2 - ΧΑΝΙΑ	24,0%
17 - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	43,8%
46 - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	0,0%

Β. ΜΕΓΙΣΤΟ ΦΟΡΤΙΟ ΧΩΡΙΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

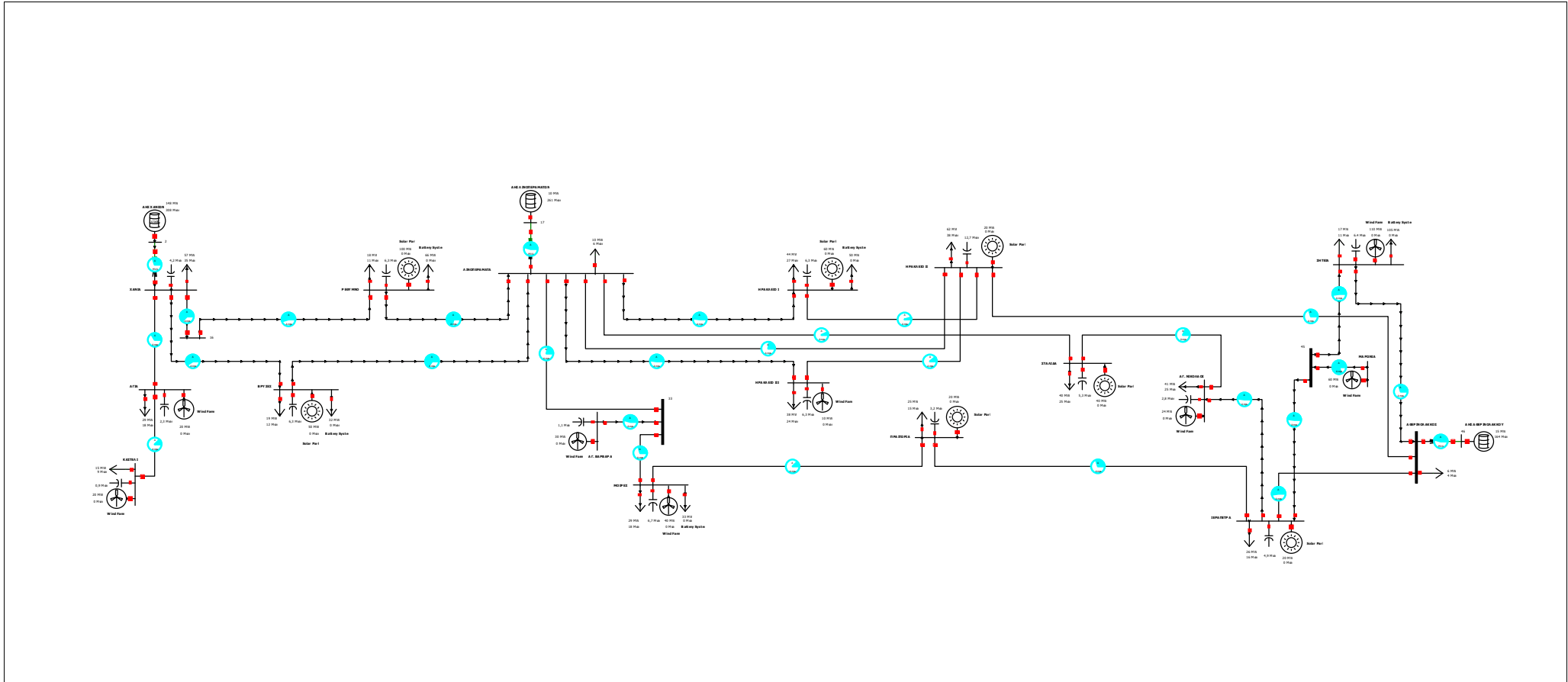


Τάσεις Ζυγών				
Αριθμός	Όνομα	Nom kV	Volt (kV)	Angle (Deg)
1	ΧΑΝΙΑ	150	82,89	-51,64
2	2	15,75	0,00	124,51
11	ΑΓΙΑ	150	80,77	-52,28
12	ΚΑΣΤΕΛΙ	150	79,26	-52,25
13	ΒΡΥΣΕΣ	150	82,01	-48,31
14	ΡΕΘΥΜΝΟ	150	150,00	-50,46
15	ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	150	82,23	-39,83
16	16	150	85,13	-51,6
17	17	15,75	8,63	-39,83
32	ΜΟΙΡΕΣ	150	73,34	-28,52
33	33	150	77,17	-32,13
34	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	150	77,19	-31,48
35	ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	150	80,80	-39,34
36	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	150	81,04	-40,01
37	ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	150	68,57	-24,02
38	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	150	79,22	-39,32
39	ΣΤΑΛΙΔΑ	150	69,12	-29,25
40	ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	150	63,51	-20,15
41	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	150	63,08	-12,47
42	ΣΗΤΕΙΑ	150	65,95	4,16
43	ΜΑΡΩΝΙΑ	150	65,94	5,53
44	ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	150	64,20	-7,4
45	45	150	65,98	3,75
46	46	13,8	5,91	-7,4

Γραμμή	Ποσοστό Φόρτισης
ΧΑΝΙΑ - ΑΓΙΑ	42,8%
ΑΓΙΑ - ΚΑΣΤΕΛΙ	12,2%
ΧΑΝΙΑ - ΒΡΥΣΕΣ	53,0%
ΧΑΝΙΑ - 16	245,8%
16 - ΡΕΘΥΜΝΟ	223,2%
ΒΡΥΣΕΣ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	27,6%
ΡΕΘΥΜΝΟ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	280,2%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - 33	127,9%
33 - ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	46,7%
33 - ΜΟΙΡΕΣ	101,3%
ΜΟΙΡΕΣ - ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	75,9%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	46,9%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	35,3%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	55,6%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΣΤΑΛΙΔΑ	111,5%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	22,9%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	31,5%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	80,2%
ΣΤΑΛΙΔΑ - ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	91,1%
ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	88,4%
ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	62,2%
ΣΗΤΕΙΑ - 45	19,9%
45 - ΜΑΡΩΝΙΑ	109,2%
45 - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	127,6%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΣΗΤΕΙΑ	106,5%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	33,5%

Μετασηματιστής	Ποσοστό Φόρτισης
2 - ΧΑΝΙΑ	26,9%
17 - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	0,0%
46 - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	0,0%

B. ΜΕΓΙΣΤΟ ΦΟΡΤΙΟ ΜΕ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ



Τάσεις Ζυγών				
Αριθμός	Όνομα	Nom kV	Volt (kV)	Angle (Deg)
1	ΧΑΝΙΑ	150	60,59	-58,57
2	2	15,75	15,75	0
11	ΑΓΙΑ	150	58,77	-58,49
12	ΚΑΣΤΕΛΙ	150	57,57	-57,38
13	ΒΡΥΣΕΣ	150	61,68	-63,63
14	ΡΕΘΥΜΝΟ	150	68,84	-71,51
15	ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	150	77,81	-83,21
16	16	150	60,80	-59,06
17	17	15,75	13,52	-83,08
32	ΜΟΙΡΕΣ	150	76,48	-82,72
33	33	150	77,69	-81,77
34	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	150	77,71	-81,12
35	ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	150	76,81	-84,11
36	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	150	77,17	-83,8
37	ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	150	77,45	-82,39
38	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	150	77,01	-84,32
39	ΣΤΑΛΙΔΑ	150	77,34	-82,51
40	ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	150	79,68	-82,5
41	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	150	84,13	-81,69
42	ΣΗΤΕΙΑ	150	90,46	-80,12
43	ΜΑΡΩΝΙΑ	150	90,14	-78,4
44	ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	150	92,98	-81,81
45	45	150	90,15	-79,35
46	46	13,8	12,38	-80,36

Γραμμή	Ποσοστό Φόρτισης
ΧΑΝΙΑ - ΑΓΙΑ	33,8%
ΑΓΙΑ - ΚΑΣΤΕΛΙ	13,4%
ΧΑΝΙΑ - ΒΡΥΣΕΣ	60,1%
ΧΑΝΙΑ - 16	61,3%
16 - ΡΕΘΥΜΝΟ	55,7%
ΒΡΥΣΕΣ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	65,7%
ΡΕΘΥΜΝΟ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	69,3%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - 33	21,1%
33 - ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	46,4%
33 - ΜΟΙΡΕΣ	29,3%
ΜΟΙΡΕΣ - ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	11,3%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	46,7%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	19,5%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	47,1%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΣΤΑΛΙΔΑ	5,9%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	5,2%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	10,9%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	30,0%
ΣΤΑΛΙΔΑ - ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	18,2%
ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	48,1%
ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	30,1%
ΣΗΤΕΙΑ - 45	51,9%
45 - ΜΑΡΩΝΙΑ	79,9%
45 - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	48,1%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΣΗΤΕΙΑ	29,6%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	52,1%

Μετασηματιστής	Ποσοστό Φόρτισης
2 - ΧΑΝΙΑ	30,7%
17 - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	45,2%
46 - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	45,5%

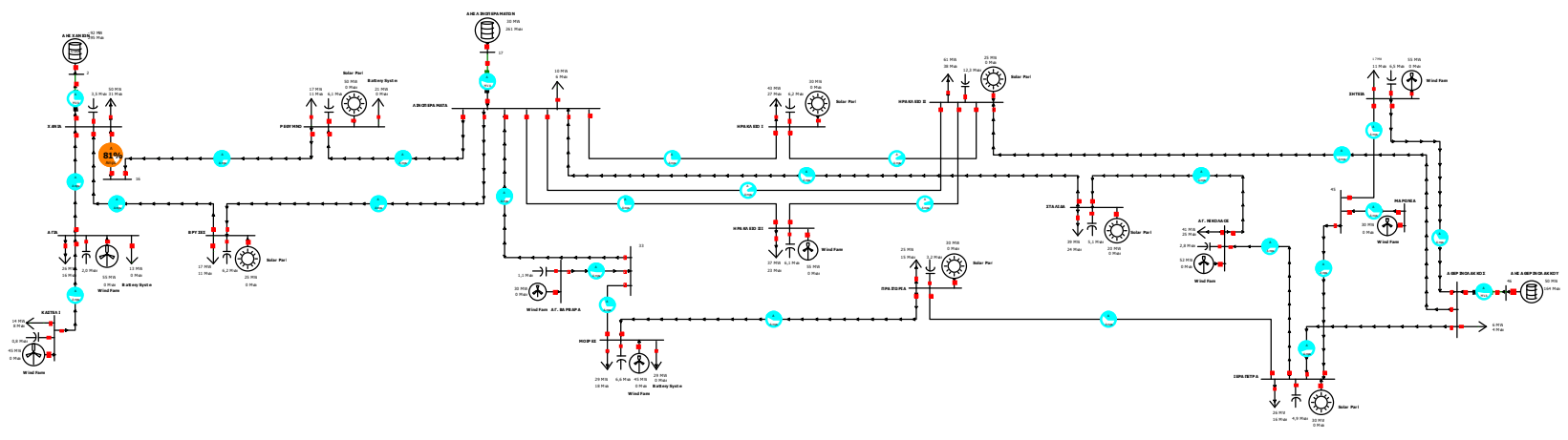
Γ. ΜΕΓΙΣΤΟ ΦΟΡΤΙΟ ΧΩΡΙΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

Τάσεις Ζυγών				
Αριθμός	Όνομα	Nom kV	Volt (kV)	Angle (Deg)
1	ΧΑΝΙΑ	150	60,95	45,96
2	2	15,75	15,75	0
11	ΑΓΙΑ	150	59,74	49,94
12	ΚΑΣΤΕΛΙ	150	59,23	54,76
13	ΒΡΥΣΕΣ	150	63,28	51,9
14	ΡΕΘΥΜΝΟ	150	73,24	64,42
15	ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	150	84,67	69,87
16	16	150	61,25	46,68
17	17	15,75	14,04	72,52
32	ΜΟΙΡΕΣ	150	86,09	76,83
33	33	150	86,01	75,04
34	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	150	86,05	75,56
35	ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	150	83,87	69,69
36	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	150	84,28	70,08
37	ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	150	87,11	78,27
38	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	150	84,09	69,9
39	ΣΤΑΛΙΔΑ	150	84,41	73,62
40	ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	150	87,96	77,95
41	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	150	92,83	80,06
42	ΣΗΤΕΙΑ	150	99,64	83,01
43	ΜΑΡΩΝΙΑ	150	98,94	83,41
44	ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	150	101,52	81,14
45	45	150	98,94	83,02
46	46	13,8	12,97	87,18

Γραμμή	Ποσοστό Φόρτισης
ΧΑΝΙΑ - ΑΓΙΑ	80,9%
ΑΓΙΑ - ΚΑΣΤΕΛΙ	41,3%
ΧΑΝΙΑ - ΒΡΥΣΣΕΣ	74,6%
ΧΑΝΙΑ - 16	90,3%
16 - ΡΕΘΥΜΝΟ	82,0%
ΒΡΥΣΣΕΣ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	71,9%
ΡΕΘΥΜΝΟ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	54,4%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - 33	84,6%
33 - ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	41,9%
33 - ΜΟΙΡΕΣ	44,7%
ΜΟΙΡΕΣ - ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	25,0%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	24,9%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	6,5%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	22,7%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΣΤΑΛΙΔΑ	32,3%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	5,7%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	5,0%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	47,0%
ΣΤΑΛΙΔΑ - ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	56,8%
ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	61,7%
ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	28,4%
ΣΗΤΕΙΑ - 45	28,9%
45 - ΜΑΡΩΝΙΑ	36,4%
45 - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	54,1%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΣΗΤΕΙΑ	30,4%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	52,2%

Μετασηματιστής	Ποσοστό Φόρτισης
2 - ΧΑΝΙΑ	27,7%
17 - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	47,6%
46 - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	49,4%

Γ. ΜΕΓΙΣΤΟ ΦΟΡΤΙΟ ΜΕ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

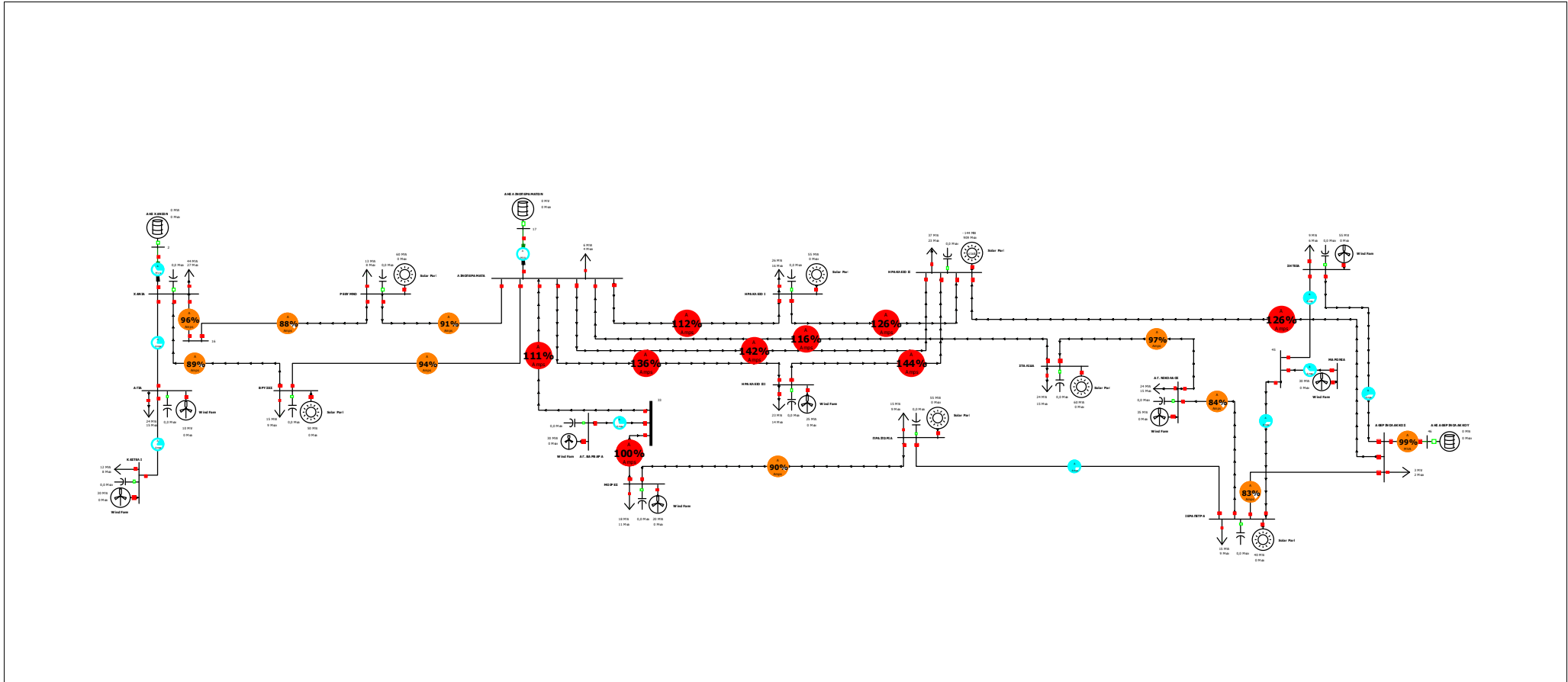


Τάσεις Ζυγών				
Αριθμός	Όνομα	Nom kV	Volt (kV)	Angle (Deg)
1	ΧΑΝΙΑ	150	55,48	44,26
2	2	15,75	15,75	0
11	ΑΓΙΑ	150	54,21	48,46
12	ΚΑΣΤΕΛΙ	150	53,84	54,65
13	ΒΡΥΣΕΣ	150	57,27	51,31
14	ΡΕΘΥΜΝΟ	150	65,46	63,14
15	ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	150	76,59	71,66
16	16	150	55,71	44,98
17	17	15,75	13,43	74,72
32	ΜΟΙΡΕΣ	150	76,29	77,68
33	33	150	76,99	76,46
34	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	150	77,02	77,11
35	ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	150	75,76	71,58
36	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	150	76,19	72,02
37	ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	150	77,63	80,5
38	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	150	75,92	71,92
39	ΣΤΑΛΙΔΑ	150	75,92	76,74
40	ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	150	79,39	82,02
41	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	150	84,24	84,34
42	ΣΗΤΕΙΑ	150	91,31	87,99
43	ΜΑΡΩΝΙΑ	150	90,59	88,46
44	ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	150	93,31	85,74
45	45	150	90,60	87,98
46	46	13,8	12,38	92,63

Γραμμή	Ποσοστό Φόρτισης
ΧΑΝΙΑ - ΑΓΙΑ	78,1%
ΑΓΙΑ - ΚΑΣΤΕΛΙ	48,1%
ΧΑΝΙΑ - ΒΡΥΣΕΣ	78,0%
ΧΑΝΙΑ - 16	80,9%
16 - ΡΕΘΥΜΝΟ	73,5%
ΒΡΥΣΕΣ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	69,6%
ΡΕΘΥΜΝΟ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	60,9%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - 33	69,8%
33 - ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	46,8%
33 - ΜΟΙΡΕΣ	29,5%
ΜΟΙΡΕΣ - ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	41,7%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	24,7%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	8,5%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	28,8%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΣΤΑΛΙΔΑ	39,6%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	7,0%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	4,4%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	50,0%
ΣΤΑΛΙΔΑ - ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	60,9%
ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	61,4%
ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	37,7%
ΣΗΤΕΙΑ - 45	29,7%
45 - ΜΑΡΩΝΙΑ	39,7%
45 - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	58,2%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΣΗΤΕΙΑ	33,2%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	54,8%

Μετασηματιστής	Ποσοστό Φόρτισης
2 - ΧΑΝΙΑ	25,4%
17 - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	45,0%
46 - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	47,5%

A. ΜΕΣΟ ΦΟΡΤΙΟ ΧΩΡΙΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

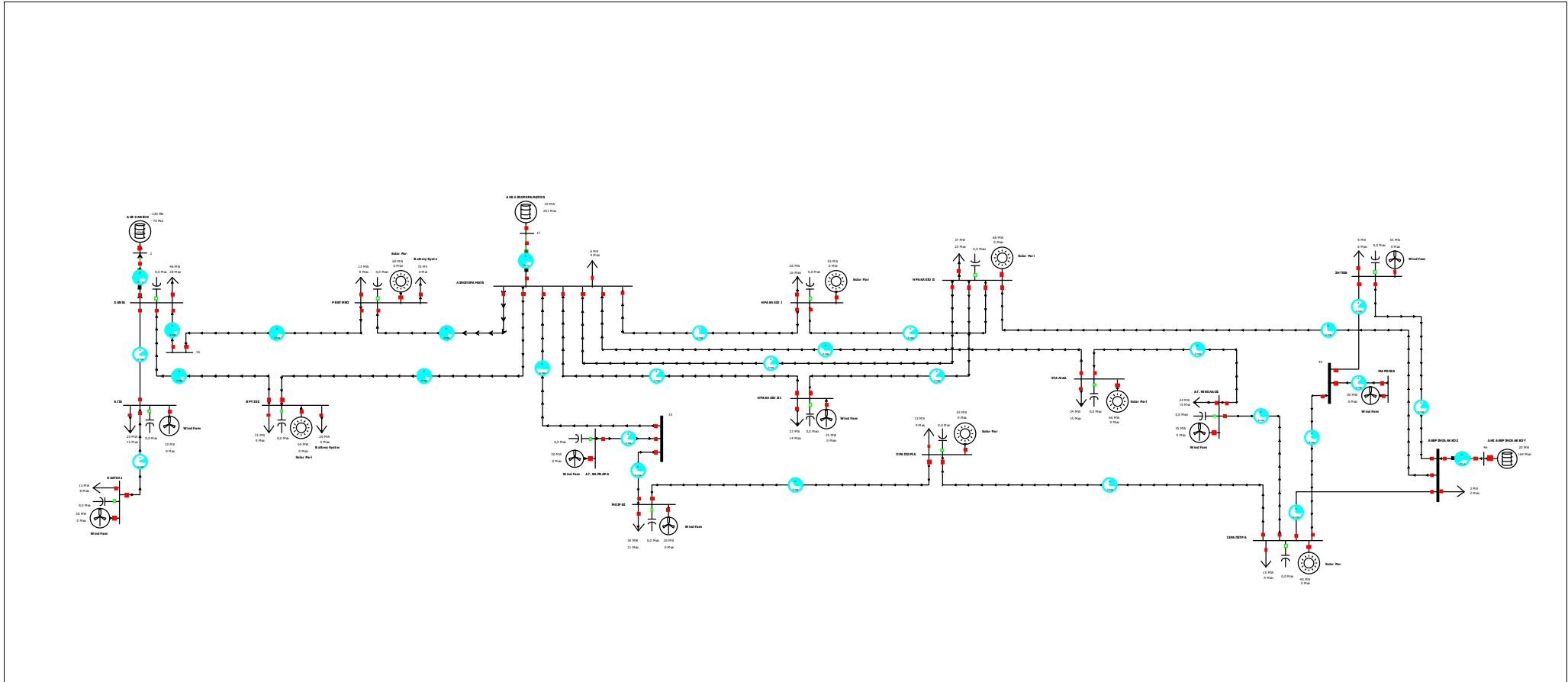


Τάσεις Ζυγών				
Αριθμός	Όνομα	Nom kV	Volt (kV)	Angle (Deg)
1	ΧΑΝΙΑ	150	91,41	-90,34
2	2	15,75	0,00	91,88
11	ΑΓΙΑ	150	90,41	-90,08
12	ΚΑΣΤΕΛΙ	150	90,03	-88,79
13	ΒΡΥΣΕΣ	150	99,60	-90,13
14	ΡΕΘΥΜΝΟ	150	117,62	-90,95
15	ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	150	138,99	-94,66
16	16	150	92,29	-90,38
17	17	15,75	14,59	-94,66
32	ΜΟΙΡΕΣ	150	128,23	-89,47
33	33	150	132,74	-91,22
34	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	150	132,74	-91
35	ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	150	142,48	-95,26
36	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	150	141,61	-95,23
37	ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	150	122,04	-86,66
38	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	150	150,00	-96,91
39	ΣΤΑΛΙΔΑ	150	123,56	-89,15
40	ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	150	112,82	-85,79
41	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	150	105,98	-83,49
42	ΣΗΤΕΙΑ	150	97,50	-79,52
43	ΜΑΡΩΝΙΑ	150	98,97	-79,33
44	ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	150	91,86	-82,21
45	45	150	98,97	-79,73
46	46	13,8	0,00	100,17

Γραμμή	Ποσοστό Φόρτισης
ΧΑΝΙΑ - ΑΓΙΑ	20,0%
ΑΓΙΑ - ΚΑΣΤΕΛΙ	16,9%
ΧΑΝΙΑ - ΒΡΥΣΕΣ	89,5%
ΧΑΝΙΑ - 16	96,4%
16 - ΡΕΘΥΜΝΟ	87,6%
ΒΡΥΣΕΣ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	93,5%
ΡΕΘΥΜΝΟ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	91,5%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - 33	110,7%
33 - ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	27,1%
33 - ΜΟΙΡΕΣ	100,4%
ΜΟΙΡΕΣ - ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	90,0%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	112,4%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	142,3%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	135,6%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΣΤΑΛΙΔΑ	116,0%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	125,9%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	144,3%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	125,8%
ΣΤΑΛΙΔΑ - ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	97,4%
ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	84,4%
ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	74,3%
ΣΗΤΕΙΑ - 45	62,9%
45 - ΜΑΡΩΝΙΑ	36,4%
45 - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	67,7%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΣΗΤΕΙΑ	58,0%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	82,9%

Μετασηματιστής	Ποσοστό Φόρτισης
2 - ΧΑΝΙΑ	32,7%
17 - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	0,0%
46 - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	99,1%

A. ΜΕΣΟ ΦΟΡΤΙΟ ΜΕ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

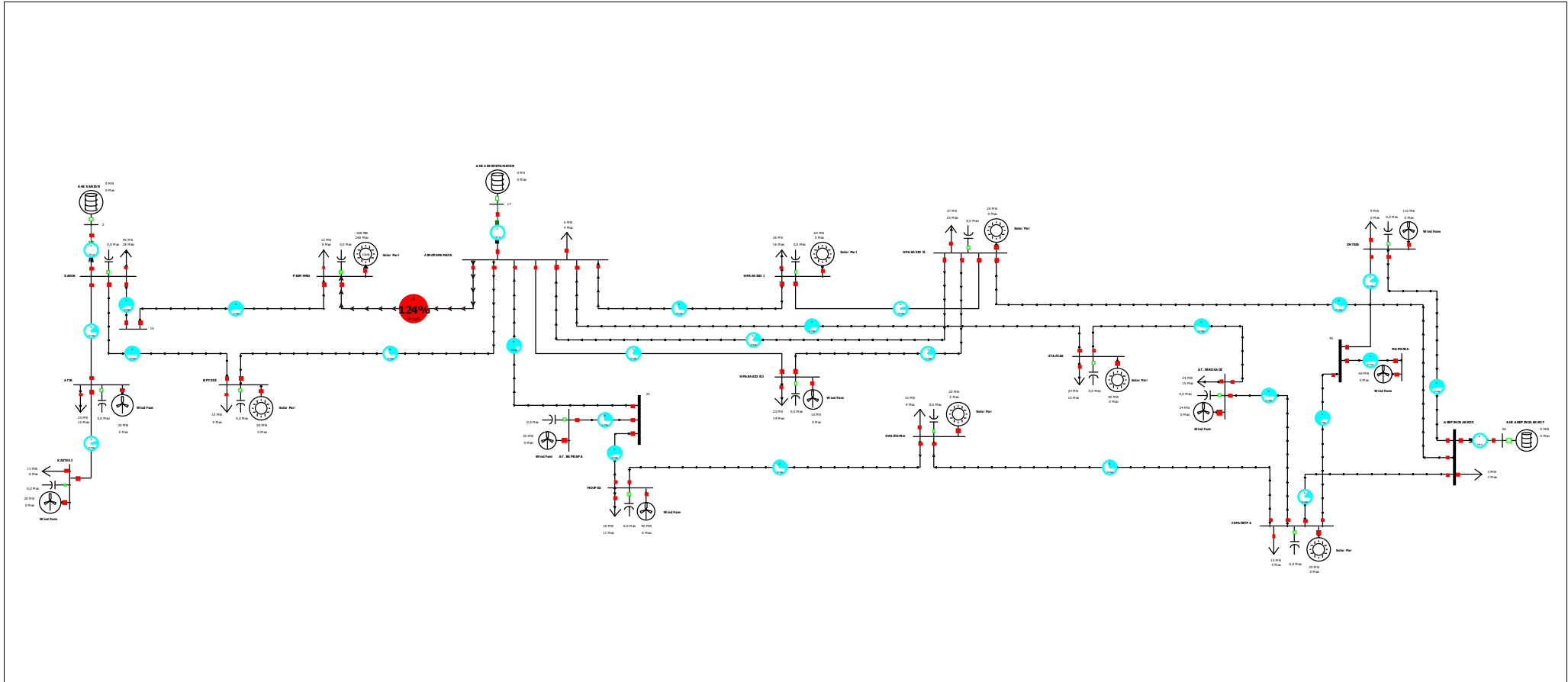


Τάσεις Ζυγών				
Αριθμός	Όνομα	Nom kV	Volt (kV)	Angle (Deg)
1	ΧΑΝΙΑ	150	199,31	24,41
2	2	15,75	15,75	0
11	ΑΓΙΑ	150	198,88	24,45
12	ΚΑΣΤΕΛΙ	150	198,74	24,71
13	ΒΡΥΣΕΣ	150	205,23	25,58
14	ΡΕΘΥΜΝΟ	150	217,94	27,31
15	ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	150	234,54	29,87
16	16	150	199,94	24,51
17	17	15,75	27,28	29,89
32	ΜΟΙΡΕΣ	150	238,35	31,11
33	33	150	237,09	30,74
34	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	150	237,09	30,81
35	ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	150	234,71	30
36	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	150	234,64	29,93
37	ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	150	240,71	31,62
38	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	150	235,25	30,09
39	ΣΤΑΛΙΔΑ	150	238,84	31,08
40	ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	150	242,19	31,56
41	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	150	244,91	31,79
42	ΣΗΤΕΙΑ	150	248,20	32,09
43	ΜΑΡΩΝΙΑ	150	247,87	32,17
44	ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	150	249,07	31,65
45	45	150	247,87	32,11
46	46	13,8	24,82	32,06

Γραμμή	Ποσοστό Φόρτισης
ΧΑΝΙΑ - ΑΓΙΑ	8,5%
ΑΓΙΑ - ΚΑΣΤΕΛΙ	7,2%
ΧΑΝΙΑ - ΒΡΥΣΣΕΣ	78,9%
ΧΑΝΙΑ - 16	79,2%
16 - ΡΕΘΥΜΝΟ	71,9%
ΒΡΥΣΣΕΣ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	78,2%
ΡΕΘΥΜΝΟ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	77,8%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - 33	48,0%
33 - ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	15,2%
33 - ΜΟΙΡΕΣ	32,6%
ΜΟΙΡΕΣ - ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	33,6%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	17,5%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	13,4%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	12,8%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΣΤΑΛΙΔΑ	39,3%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	9,6%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	13,7%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	26,3%
ΣΤΑΛΙΔΑ - ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	30,4%
ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	30,7%
ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	20,5%
ΣΗΤΕΙΑ - 45	13,7%
45 - ΜΑΡΩΝΙΑ	14,5%
45 - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	21,7%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΣΗΤΕΙΑ	16,6%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	25,7%

Μετασηματιστής	Ποσοστό Φόρτισης
2 - ΧΑΝΙΑ	68,8%
17 - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	67,5%
46 - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	61,0%

B. ΜΕΣΟ ΦΟΡΤΙΟ ΧΩΡΙΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ



Τάσεις Ζυγών				
Αριθμός	Όνομα	Nom kV	Volt (kV)	Angle (Deg)
1	ΧΑΝΙΑ	150	137,82	54,33
2	2	15,75	14,47	54,33
11	ΑΓΙΑ	150	137,15	54,43
12	ΚΑΣΤΕΛΙ	150	136,74	54,68
13	ΒΡΥΣΕΣ	150	137,32	56,28
14	ΡΕΘΥΜΝΟ	150	150,00	50,59
15	ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	150	135,66	61,86
16	16	150	138,22	54,19
17	17	15,75	14,25	61,86
32	ΜΟΙΡΕΣ	150	135,46	66,39
33	33	150	135,83	64,97
34	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	150	135,83	65,18
35	ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	150	135,36	62,26
36	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	150	135,34	61,95
37	ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	150	135,06	67,78
38	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	150	135,07	62,37
39	ΣΤΑΛΙΔΑ	150	134,21	66,08
40	ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	150	134,26	68,65
41	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	150	135,28	70,42
42	ΣΗΤΕΙΑ	150	137,82	74,1
43	ΜΑΡΩΝΙΑ	150	137,84	74,41
44	ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	150	136,47	71,43
45	45	150	137,84	74
46	46	13,8	12,56	71,43

Γραμμή	Ποσοστό Φόρτισης
ΧΑΝΙΑ - ΑΓΙΑ	13,1%
ΑΓΙΑ - ΚΑΣΤΕΛΙ	5,8%
ΧΑΝΙΑ - ΒΡΥΣΕΣ	51,1%
ΧΑΝΙΑ - 16	57,0%
16 - ΡΕΘΥΜΝΟ	51,7%
ΒΡΥΣΕΣ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	30,2%
ΡΕΘΥΜΝΟ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	124,3%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - 33	79,7%
33 - ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	26,5%
33 - ΜΟΙΡΕΣ	56,0%
ΜΟΙΡΕΣ - ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	34,1%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	29,0%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	15,2%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	17,4%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΣΤΑΛΙΔΑ	58,5%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	5,5%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	15,7%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	41,2%
ΣΤΑΛΙΔΑ - ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	45,9%
ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	44,8%
ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	26,9%
ΣΗΤΕΙΑ - 45	10,4%
45 - ΜΑΡΩΝΙΑ	52,2%
45 - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	61,6%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΣΗΤΕΙΑ	52,6%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	15,8%

Μετασηματιστής	Ποσοστό Φόρτισης
2 - ΧΑΝΙΑ	0,0%
17 - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	0,0%
46 - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	0,0%

B. ΜΕΣΟ ΦΟΡΤΙΟ ΜΕ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

Τάσεις Ζυγών				
Αριθμός	Όνομα	Nom kV	Volt (kV)	Angle (Deg)
1	ΧΑΝΙΑ	150	202,03	23,09
2	2	15,75	15,75	0
11	ΑΓΙΑ	150	201,61	23,13
12	ΚΑΣΤΕΛΙ	150	201,37	23,25
13	ΒΡΥΣΕΣ	150	208,04	24,24
14	ΡΕΘΥΜΝΟ	150	220,50	25,57
15	ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	150	236,48	27,51
16	16	150	202,66	23,18
17	17	15,75	27,46	27,53
32	ΜΟΙΡΕΣ	150	240,22	28,75
33	33	150	238,99	28,38
34	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	150	238,99	28,45
35	ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	150	236,63	27,62
36	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	150	236,54	27,52
37	ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	150	242,17	29,07
38	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	150	237,08	27,62
39	ΣΤΑΛΙΔΑ	150	240,58	28,6
40	ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	150	244,01	29,22
41	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	150	246,89	29,63
42	ΣΗΤΕΙΑ	150	251,02	30,58
43	ΜΑΡΩΝΙΑ	150	250,68	30,69
44	ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	150	251,40	29,76
45	45	150	250,68	30,57
46	46	13,8	25,02	29,88

Γραμμή	Ποσοστό Φόρτισης
ΧΑΝΙΑ - ΑΓΙΑ	8,4%
ΑΓΙΑ - ΚΑΣΤΕΛΙ	3,5%
ΧΑΝΙΑ - ΒΡΥΣΣΕΣ	79,6%
ΧΑΝΙΑ - 16	76,3%
16 - ΡΕΘΥΜΝΟ	69,3%
ΒΡΥΣΣΕΣ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	72,7%
ΡΕΘΥΜΝΟ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	71,2%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - 33	48,0%
33 - ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	15,1%
33 - ΜΟΙΡΕΣ	32,7%
ΜΟΙΡΕΣ - ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	24,9%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	14,5%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	9,3%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	4,1%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΣΤΑΛΙΔΑ	36,5%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	7,1%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	10,9%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	29,8%
ΣΤΑΛΙΔΑ - ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	33,4%
ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	35,7%
ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	24,6%
ΣΗΤΕΙΑ - 45	14,1%
45 - ΜΑΡΩΝΙΑ	28,7%
45 - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	38,0%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΣΗΤΕΙΑ	28,8%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	27,7%

Μετασηματιστής	Ποσοστό Φόρτισης
2 - ΧΑΝΙΑ	68,8%
17 - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	67,5%
46 - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	60,7%

Γ. ΜΕΣΟ ΦΟΡΤΙΟ ΧΩΡΙΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

Τάσεις Ζυγών				
Αριθμός	Όνομα	Nom kV	Volt (kV)	Angle (Deg)
1	ΧΑΝΙΑ	150	142,87	51,98
2	2	15,75	15,75	0
11	ΑΓΙΑ	150	142,64	52,84
12	ΚΑΣΤΕΛΙ	150	142,75	54,01
13	ΒΡΥΣΕΣ	150	148,84	54,31
14	ΡΕΘΥΜΝΟ	150	163,01	59,06
15	ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	150	180,49	62,27
16	16	150	143,52	52,25
17	17	15,75	22,21	62,3
32	ΜΟΙΡΕΣ	150	184,92	64,63
33	33	150	183,66	64,09
34	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	150	183,66	64,3
35	ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	150	180,53	62,37
36	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	150	180,62	62,44
37	ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	150	186,84	64,94
38	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	150	181,07	62,49
39	ΣΤΑΛΙΔΑ	150	184,35	63,52
40	ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	150	188,10	64,45
41	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	150	191,29	64,93
42	ΣΗΤΕΙΑ	150	195,19	65,41
43	ΜΑΡΩΝΙΑ	150	194,80	65,55
44	ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	150	196,26	64,68
45	45	150	194,80	65,44
46	46	13,8	20,38	64,87

Γραμμή	Ποσοστό Φόρτισης
ΧΑΝΙΑ - ΑΓΙΑ	39,8%
ΑΓΙΑ - ΚΑΣΤΕΛΙ	23,9%
ΧΑΝΙΑ - ΒΡΥΣΕΣ	91,7%
ΧΑΝΙΑ - 16	101,2%
16 - ΡΕΘΥΜΝΟ	91,9%
ΒΡΥΣΕΣ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	90,0%
ΡΕΘΥΜΝΟ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	79,7%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - 33	71,5%
33 - ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	35,9%
33 - ΜΟΙΡΕΣ	35,7%
ΜΟΙΡΕΣ - ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	22,9%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	9,3%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	10,7%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	24,9%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΣΤΑΛΙΔΑ	32,9%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	10,0%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	7,7%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	29,8%
ΣΤΑΛΙΔΑ - ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	37,4%
ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	37,4%
ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	21,0%
ΣΗΤΕΙΑ - 45	16,6%
45 - ΜΑΡΩΝΙΑ	18,5%
45 - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	26,4%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΣΗΤΕΙΑ	21,6%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	30,4%

Μετασηματιστής	Ποσοστό Φόρτισης
2 - ΧΑΝΙΑ	71,9%
17 - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	63,8%
46 - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	58,2%

Γ. ΜΕΣΟ ΦΟΡΤΙΟ ΜΕ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

Τάσεις Ζυγών				
Αριθμός	Όνομα	Nom kV	Volt (kV)	Angle (Deg)
1	ΧΑΝΙΑ	150	59,72	70,33
2	2	15,75	15,75	0
11	ΑΓΙΑ	150	59,42	74,71
12	ΚΑΣΤΕΛΙ	150	59,46	78,89
13	ΒΡΥΣΕΣ	150	64,17	76,51
14	ΡΕΘΥΜΝΟ	150	75,98	85,3
15	ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	150	94,52	94,49
16	16	150	60,19	70,94
17	17	15,75	14,81	94,59
32	ΜΟΙΡΕΣ	150	98,00	100,73
33	33	150	96,53	98,34
34	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	150	96,53	98,35
35	ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	150	94,34	94,89
36	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	150	94,56	95,13
37	ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	150	100,44	102,43
38	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	150	94,87	95,39
39	ΣΤΑΛΙΔΑ	150	97,84	98,96
40	ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	150	102,39	102,11
41	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	150	106,78	103,59
42	ΣΗΤΕΙΑ	150	112,48	105,27
43	ΜΑΡΩΝΙΑ	150	111,92	105,66
44	ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	150	114,07	103,1
45	45	150	111,92	105,35
46	46	13,8	13,90	103,59

Γραμμή	Ποσοστό Φόρτισης
ΧΑΝΙΑ - ΑΓΙΑ	84,6%
ΑΓΙΑ - ΚΑΣΤΕΛΙ	35,6%
ΧΑΝΙΑ - ΒΡΥΣΣΕΣ	87,5%
ΧΑΝΙΑ - 16	87,5%
16 - ΡΕΘΥΜΝΟ	79,5%
ΒΡΥΣΣΕΣ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	89,3%
ΡΕΘΥΜΝΟ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	91,4%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - 33	72,7%
33 - ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	1,1%
33 - ΜΟΙΡΕΣ	71,7%
ΜΟΙΡΕΣ - ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	39,8%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	20,1%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	17,4%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	48,3%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΣΤΑΛΙΔΑ	48,0%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	14,4%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	8,0%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	44,1%
ΣΤΑΛΙΔΑ - ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	54,9%
ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	53,9%
ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	29,9%
ΣΗΤΕΙΑ - 45	24,1%
45 - ΜΑΡΩΝΙΑ	32,2%
45 - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	42,1%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΣΗΤΕΙΑ	36,7%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	43,5%

Μετασηματιστής	Ποσοστό Φόρτισης
2 - ΧΑΝΙΑ	33,1%
17 - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	50,1%
46 - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	49,6%

ΣΕΝΑΡΙΟ 5

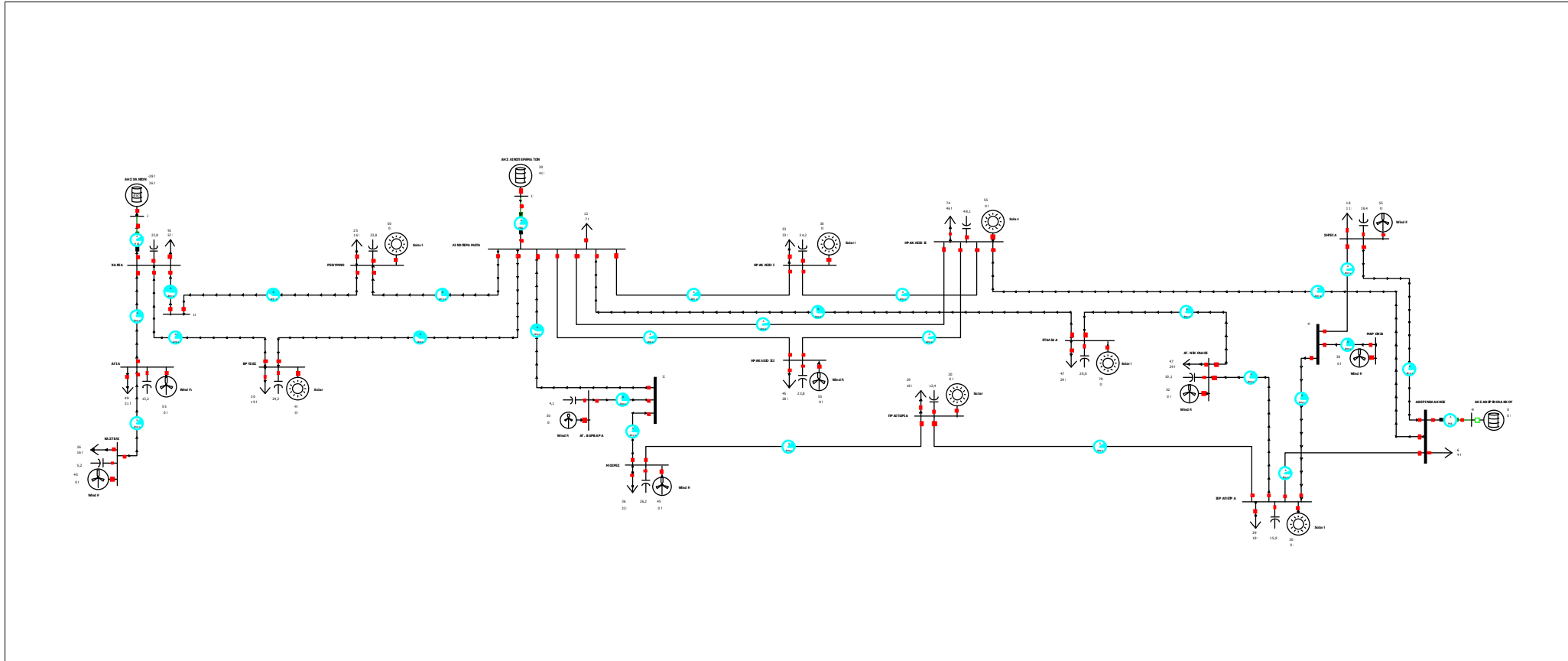
A. ΜΕΓΙΣΤΟ ΦΟΡΤΙΟ ΧΩΡΙΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

Τάσεις Ζυγών				
Αριθμός	Όνομα	Nom kV	Volt (kV)	Angle (Deg)
1	ΧΑΝΙΑ	150	137,21	140,12
2	2	15,75	15,75	129,38
11	ΑΓΙΑ	150	136,07	139,74
12	ΚΑΣΤΕΛΙ	150	135,22	139,63
13	ΒΡΥΣΕΣ	150	138,72	141,70
14	ΡΕΘΥΜΝΟ	150	147,32	147,63
15	ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	150	150,00	149,95
16	16	150	137,52	140,38
17	17	15,75	18,79	150,09
32	ΜΟΙΡΕΣ	150	150,41	152,86
33	33	150	150,67	152,00
34	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	150	150,73	152,17
35	ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	150	149,53	150,11
36	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	150	149,60	149,91
37	ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	150	149,59	154,19
38	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	150	149,77	150,23
39	ΣΤΑΛΙΔΑ	150	147,39	152,61
40	ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	150	147,82	154,69
41	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	150	150,16	156,55
42	ΣΗΤΕΙΑ	150	153,19	159,19
43	ΜΑΡΩΝΙΑ	150	153,12	159,48
44	ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	150	151,63	157,17
45	45	150	153,12	159,15
46	46	13,8	13,95	157,17

Γραμμή	Ποσοστό Φόρτισης
ΧΑΝΙΑ - ΑΓΙΑ	26,9%
ΑΓΙΑ - ΚΑΣΤΕΛΙ	7,1%
ΧΑΝΙΑ - ΒΡΥΣΕΣ	44,7%
ΧΑΝΙΑ - 16	77,6%
16 - ΡΕΘΥΜΝΟ	70,5%
ΒΡΥΣΕΣ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	54,3%
ΡΕΘΥΜΝΟ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	26,2%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - 33	58,7%
33 - ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	24,1%
33 - ΜΟΙΡΕΣ	38,1%
ΜΟΙΡΕΣ - ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	36,6%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	18,9%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	8,8%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	18,5%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΣΤΑΛΙΔΑ	42,8%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	5,8%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	13,0%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	35,1%
ΣΤΑΛΙΔΑ - ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	41,2%
ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	55,9%
ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	26,7%
ΣΗΤΕΙΑ - 45	5,0%
45 -ΜΑΡΩΝΙΑ	47,0%
45 -ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	51,9%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΣΗΤΕΙΑ	45,1%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	13,2%

Μετασηματιστής	Ποσοστό Φόρτισης
2 - ΧΑΝΙΑ	16,0%
17 - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	49,5%
46 -ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	0,0%

Β. ΜΕΓΙΣΤΟ ΦΟΡΤΙΟ ΧΩΡΙΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

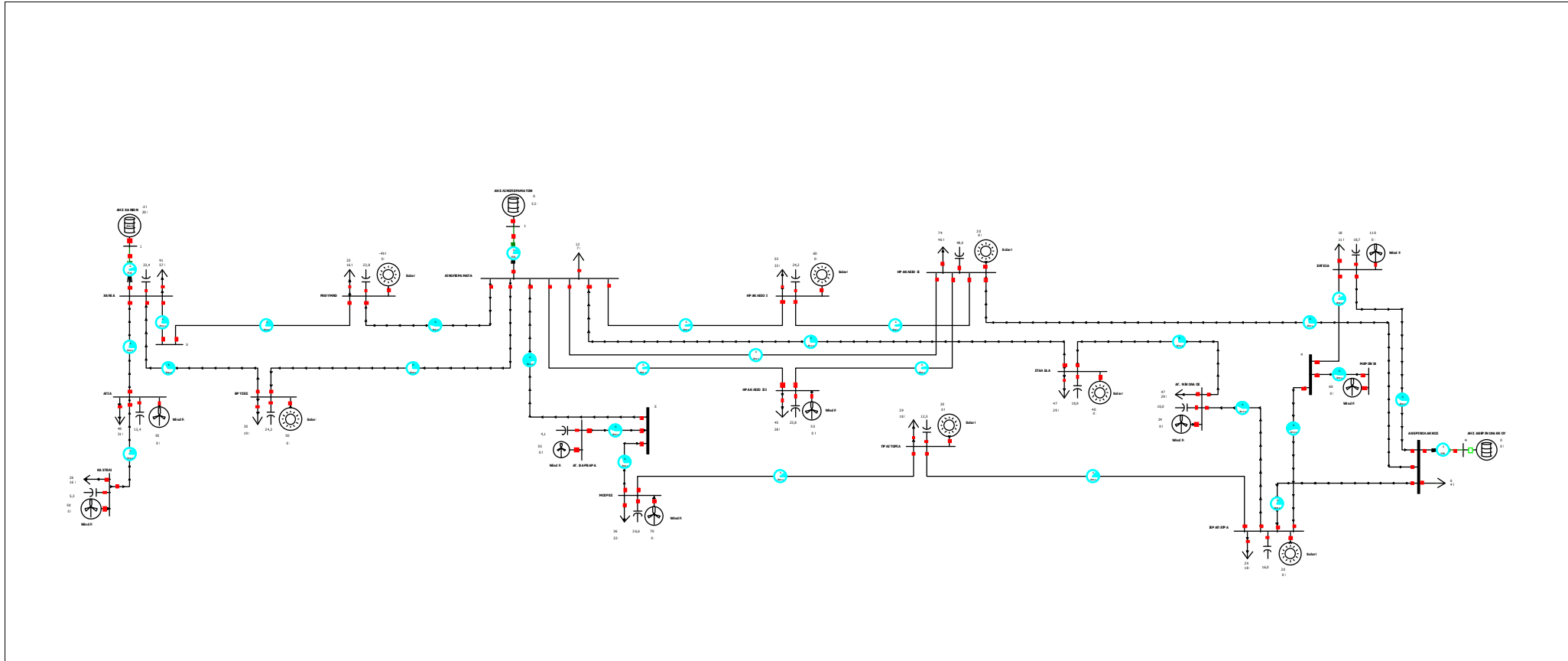


Τάσεις Ζυγών				
Αριθμός	Όνομα	Nom kV	Volt (kV)	Angle (Deg)
1	ΧΑΝΙΑ	150	141,14	21,28
2	2	15,75	15,75	16,84
11	ΑΓΙΑ	150	140,48	21,65
12	ΚΑΣΤΕΛΙ	150	140,07	22,24
13	ΒΡΥΣΕΣ	150	141,94	21,78
14	ΡΕΘΥΜΝΟ	150	148,69	25,26
15	ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	150	150,01	27,55
16	16	150	141,39	21,41
17	17	15,75	16,44	29,30
32	ΜΟΙΡΕΣ	150	151,82	29,26
33	33	150	151,56	28,87
34	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	150	151,62	29,04
35	ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	150	149,86	27,45
36	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	150	150,01	27,59
37	ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	150	151,61	29,69
38	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	150	150,09	27,57
39	ΣΤΑΛΙΔΑ	150	150,18	29,45
40	ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	150	150,51	30,20
41	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	150	151,67	30,56
42	ΣΗΤΕΙΑ	150	153,25	31,59
43	ΜΑΡΩΝΙΑ	150	153,22	31,77
44	ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	150	152,34	30,69
45	45	150	153,22	31,61
46	46	13,8	14,02	30,69

Γραμμή	Ποσοστό Φόρτισης
ΧΑΝΙΑ - ΑΓΙΑ	21,0%
ΑΓΙΑ - ΚΑΣΤΕΛΙ	12,2%
ΧΑΝΙΑ - ΒΡΥΣΕΣ	16,3%
ΧΑΝΙΑ - 16	46,4%
16 - ΡΕΘΥΜΝΟ	42,1%
ΒΡΥΣΕΣ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	38,7%
ΡΕΘΥΜΝΟ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	24,2%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - 33	41,2%
33 - ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	24,0%
33 - ΜΟΙΡΕΣ	17,6%
ΜΟΙΡΕΣ - ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	11,6%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	8,7%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	1,4%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	5,0%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΣΤΑΛΙΔΑ	28,9%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	5,6%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	1,8%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	16,3%
ΣΤΑΛΙΔΑ - ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	15,3%
ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	15,9%
ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	9,8%
ΣΗΤΕΙΑ - 45	2,4%
45 -ΜΑΡΩΝΙΑ	23,5%
45 -ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	22,0%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΣΗΤΕΙΑ	20,7%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	5,0%

Μετασηματιστής	Ποσοστό Φόρτισης
2 - ΧΑΝΙΑ	7,9%
17 - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	13,8%
46 -ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	0,0%

Γ. ΜΕΓΙΣΤΟ ΦΟΡΤΙΟ ΧΩΡΙΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

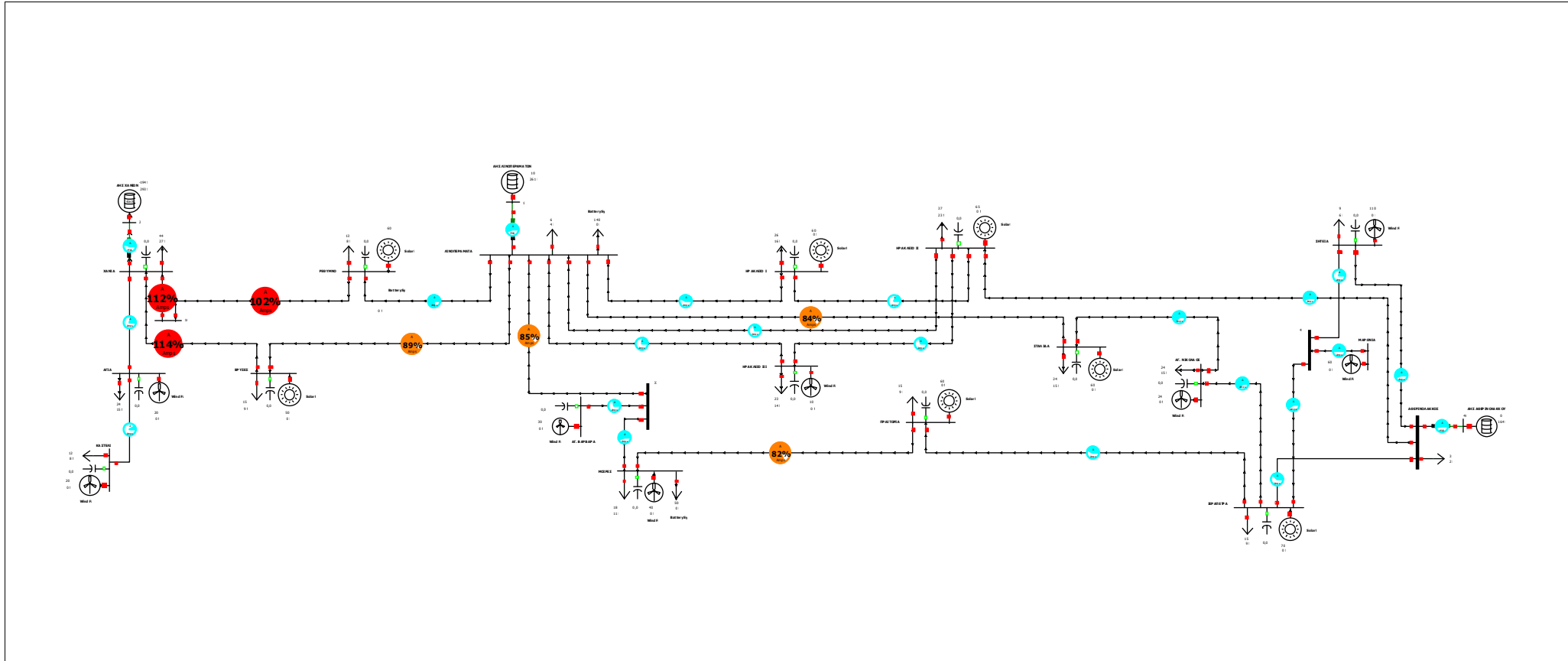


Τάσεις Ζυγών				
Αριθμός	Όνομα	Nom kV	Volt (kV)	Angle (Deg)
1	ΧΑΝΙΑ	150	142,44	-49,70
2	2	15,75	15,75	-50,12
11	ΑΓΙΑ	150	141,80	-49,33
12	ΚΑΣΤΕΛΙ	150	141,47	-48,62
13	ΒΡΥΣΕΣ	150	143,67	-48,54
14	ΡΕΘΥΜΝΟ	150	147,58	-49,53
15	ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	150	150,00	-45,22
16	16	150	142,62	-49,69
17	17	15,75	16,61	-45,33
32	ΜΟΙΡΕΣ	150	152,83	-42,10
33	33	150	152,39	-42,79
34	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	150	152,44	-42,48
35	ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	150	149,92	-45,18
36	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	150	149,98	-45,21
37	ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	150	152,17	-41,85
38	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	150	149,99	-45,24
39	ΣΤΑΛΙΔΑ	150	149,61	-43,58
40	ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	150	150,09	-42,16
41	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	150	151,81	-40,75
42	ΣΗΤΕΙΑ	150	154,77	-37,95
43	ΜΑΡΩΝΙΑ	150	154,70	-37,70
44	ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	150	153,13	-39,83
45	45	150	154,70	-38,02
46	46	13,8	14,09	-39,83

Γραμμή	Ποσοστό Φόρτισης
ΧΑΝΙΑ - ΑΓΙΑ	20,6%
ΑΓΙΑ - ΚΑΣΤΕΛΙ	14,6%
ΧΑΝΙΑ - ΒΡΥΣΕΣ	34,2%
ΧΑΝΙΑ - 16	19,8%
16 - ΡΕΘΥΜΝΟ	17,9%
ΒΡΥΣΕΣ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	24,8%
ΡΕΘΥΜΝΟ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	45,4%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - 33	74,1%
33 - ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	43,4%
33 - ΜΟΙΡΕΣ	31,3%
ΜΟΙΡΕΣ - ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	9,3%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	3,7%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	0,8%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	2,0%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΣΤΑΛΙΔΑ	25,0%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	2,7%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	1,6%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	27,9%
ΣΤΑΛΙΔΑ - ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	28,5%
ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	42,9%
ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	12,3%
ΣΗΤΕΙΑ - 45	7,7%
45 -ΜΑΡΩΝΙΑ	46,6%
45 -ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	54,3%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΣΗΤΕΙΑ	42,8%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	16,3%

Μετασηματιστής	Ποσοστό Φόρτισης
2 - ΧΑΝΙΑ	4,3%
17 - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	14,1%
46 -ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	0,0%

A. ΜΕΣΟ ΦΟΡΤΙΟ ΜΕ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

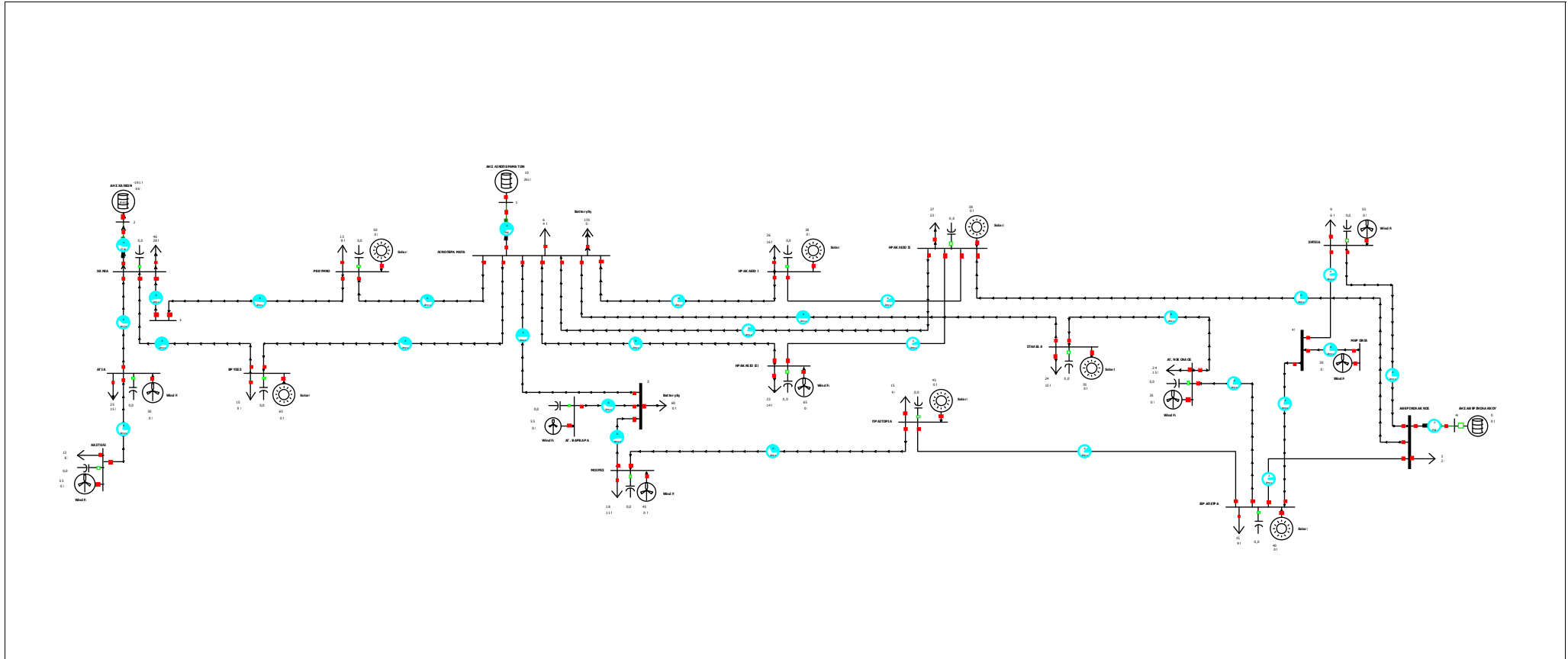


Τάσεις Ζυγών				
Αριθμός	Όνομα	Nom kV	Volt (kV)	Angle (Deg)
1	ΧΑΝΙΑ	150	91,64	106,82
2	2	15,75	16,54	53,37
11	ΑΓΙΑ	150	90,67	107,08
12	ΚΑΣΤΕΛΙ	150	90,06	107,70
13	ΒΡΥΣΕΣ	150	95,93	112,67
14	ΡΕΘΥΜΝΟ	150	107,21	122,16
15	ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	150	122,60	127,46
16	16	150	92,06	107,41
17	17	15,75	17,10	127,52
32	ΜΟΙΡΕΣ	150	125,55	132,45
33	33	150	124,69	130,95
34	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	150	124,69	131,20
35	ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	150	122,65	128,10
36	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	150	122,54	127,68
37	ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	150	129,04	135,65
38	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	150	123,15	128,55
39	ΣΤΑΛΙΔΑ	150	126,99	133,76
40	ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	150	131,45	136,72
41	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	150	135,76	138,66
42	ΣΗΤΕΙΑ	150	141,68	141,34
43	ΜΑΡΩΝΙΑ	150	141,22	141,75
44	ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	150	142,17	138,53
45	45	150	141,22	141,36
46	46	13,8	16,02	138,08

Γραμμή	Ποσοστό Φόρτισης
ΧΑΝΙΑ - ΑΓΙΑ	19,7%
ΑΓΙΑ - ΚΑΣΤΕΛΙ	9,3%
ΧΑΝΙΑ - ΒΡΥΣΕΣ	114,2%
ΧΑΝΙΑ - 16	112,2%
16 - ΡΕΘΥΜΝΟ	101,9%
ΒΡΥΣΕΣ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	88,7%
ΡΕΘΥΜΝΟ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	74,5%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - 33	84,6%
33 - ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	28,9%
33 - ΜΟΙΡΕΣ	56,1%
ΜΟΙΡΕΣ - ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	82,3%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	40,5%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	27,7%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	22,2%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΣΤΑΛΙΔΑ	84,3%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	16,1%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	30,1%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	55,8%
ΣΤΑΛΙΔΑ - ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	61,7%
ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	65,4%
ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	42,7%
ΣΗΤΕΙΑ - 45	19,0%
45 -ΜΑΡΩΝΙΑ	51,0%
45 -ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	58,6%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΣΗΤΕΙΑ	56,0%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	38,1%

Μετασηματιστής	Ποσοστό Φόρτισης
2 - ΧΑΝΙΑ	45,4%
17 - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	56,2%
46 -ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	53,5%

B. ΜΕΣΟ ΦΟΡΤΙΟ ΜΕ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

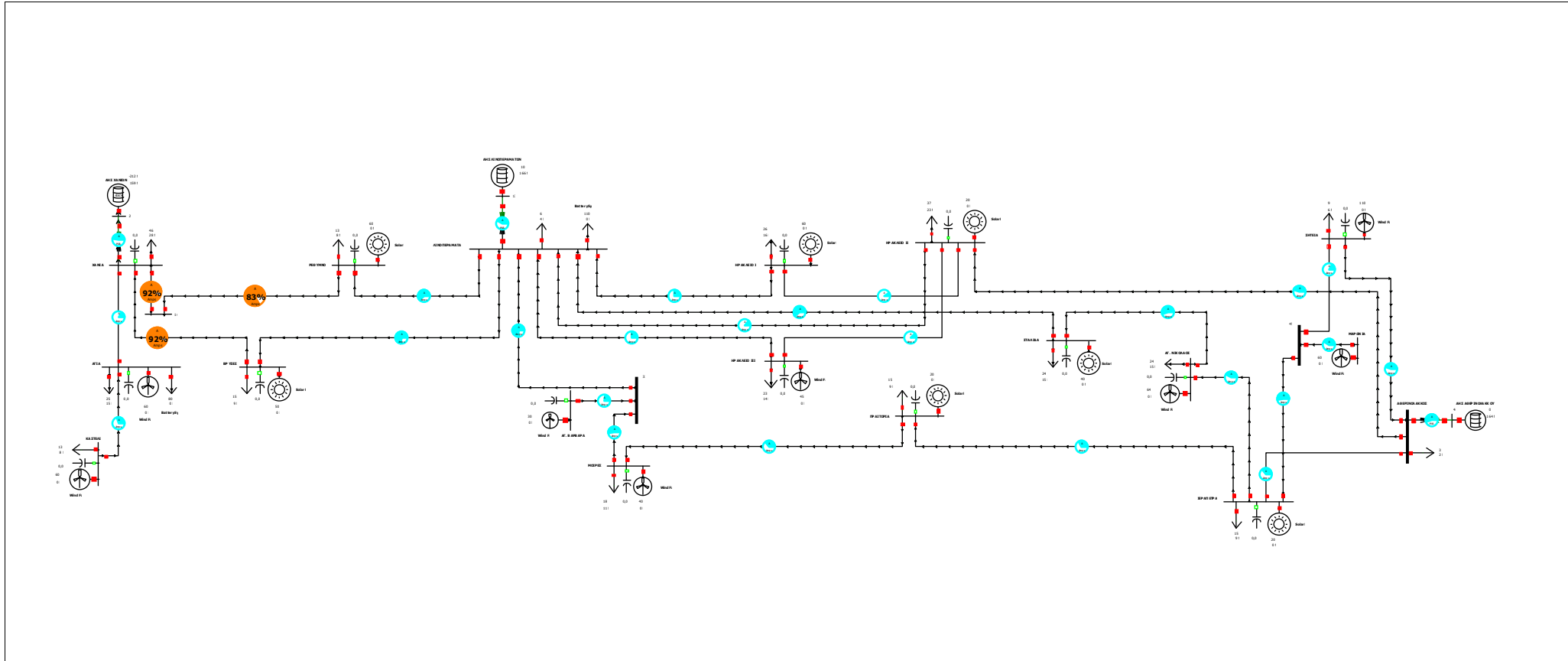


Τάσεις Ζυγών				
Αριθμός	Όνομα	Nom kV	Volt (kV)	Angle (Deg)
1	ΧΑΝΙΑ	150	146,96	161,31
2	2	15,75	15,75	131,51
11	ΑΓΙΑ	150	146,74	162,12
12	ΚΑΣΤΕΛΙ	150	146,85	163,23
13	ΒΡΥΣΕΣ	150	150,22	163,00
14	ΡΕΘΥΜΝΟ	150	156,99	165,00
15	ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	150	165,12	166,08
16	16	150	147,29	161,44
17	17	15,75	20,81	166,11
32	ΜΟΙΡΕΣ	150	165,63	168,86
33	33	150	165,36	167,71
34	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	150	165,36	167,97
35	ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	150	164,89	166,26
36	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	150	165,03	166,31
37	ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	150	166,05	169,98
38	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	150	164,86	166,45
39	ΣΤΑΛΙΔΑ	150	165,16	169,13
40	ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	150	165,44	170,29
41	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	150	166,18	170,90
42	ΣΗΤΕΙΑ	150	167,12	171,82
43	ΜΑΡΩΝΙΑ	150	167,17	171,96
44	ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	150	166,62	170,84
45	45	150	167,17	171,83
46	46	13,8	15,33	170,84

Γραμμή	Ποσοστό Φόρτισης
ΧΑΝΙΑ - ΑΓΙΑ	38,7%
ΑΓΙΑ - ΚΑΣΤΕΛΙ	23,2%
ΧΑΝΙΑ - ΒΡΥΣΕΣ	59,5%
ΧΑΝΙΑ - 16	51,7%
16 - ΡΕΘΥΜΝΟ	46,9%
ΒΡΥΣΕΣ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	40,2%
ΡΕΘΥΜΝΟ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	35,1%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - 33	51,0%
33 - ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	39,9%
33 - ΜΟΙΡΕΣ	55,0%
ΜΟΙΡΕΣ - ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	33,9%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	17,3%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	12,6%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	30,4%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΣΤΑΛΙΔΑ	51,3%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	7,9%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	6,8%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	24,7%
ΣΤΑΛΙΔΑ - ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	25,8%
ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	19,9%
ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	11,3%
ΣΗΤΕΙΑ - 45	2,5%
45 -ΜΑΡΩΝΙΑ	21,5%
45 -ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	19,9%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΣΗΤΕΙΑ	23,2%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	3,6%

Μετασηματιστής	Ποσοστό Φόρτισης
2 - ΧΑΝΙΑ	44,0%
17 - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	62,2%
46 -ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	0,0%

Γ. ΜΕΣΟ ΦΟΡΤΙΟ ΜΕ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ



Τάσεις Ζυγών				
Αριθμός	Όνομα	Nom kV	Volt (kV)	Angle (Deg)
1	ΧΑΝΙΑ	150	123,96	94,52
2	2	15,75	15,75	52,99
11	ΑΓΙΑ	150	123,16	94,64
12	ΚΑΣΤΕΛΙ	150	123,35	96,38
13	ΒΡΥΣΕΣ	150	127,98	97,89
14	ΡΕΘΥΜΝΟ	150	137,70	103,74
15	ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	150	150,00	107,44
16	16	150	124,38	94,86
17	17	15,75	18,27	107,67
32	ΜΟΙΡΕΣ	150	154,03	110,94
33	33	150	152,73	109,87
34	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	150	152,73	110,04
35	ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	150	150,08	107,76
36	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	150	150,06	107,64
37	ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	150	156,24	111,93
38	ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	150	150,52	107,86
39	ΣΤΑΛΙΔΑ	150	154,50	111,00
40	ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	150	158,87	113,06
41	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	150	162,31	113,71
42	ΣΗΤΕΙΑ	150	167,70	115,70
43	ΜΑΡΩΝΙΑ	150	167,27	115,98
44	ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	150	168,18	113,75
45	45	150	167,27	115,70
46	46	13,8	18,08	113,42

Γραμμή	Ποσοστό Φόρτισης
ΧΑΝΙΑ - ΑΓΙΑ	15,6%
ΑΓΙΑ - ΚΑΣΤΕΛΙ	30,9%
ΧΑΝΙΑ - ΒΡΥΣΕΣ	91,8%
ΧΑΝΙΑ - 16	91,9%
16 - ΡΕΘΥΜΝΟ	83,5%
ΒΡΥΣΕΣ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	73,5%
ΡΕΘΥΜΝΟ - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	61,5%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - 33	75,6%
33 - ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	23,6%
33 - ΜΟΙΡΕΣ	52,0%
ΜΟΙΡΕΣ - ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	36,3%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι	25,3%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	14,2%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	23,8%
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ - ΣΤΑΛΙΔΑ	61,4%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ Ι - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ	7,7%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙΙ	11,6%
ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΙ - ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	44,4%
ΣΤΑΛΙΔΑ - ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	54,8%
ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	40,9%
ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	34,9%
ΣΗΤΕΙΑ - 45	17,7%
45 -ΜΑΡΩΝΙΑ	43,1%
45 -ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	52,1%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΣΗΤΕΙΑ	45,9%
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ - ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	35,0%

Μετασηματιστής	Ποσοστό Φόρτισης
2 - ΧΑΝΙΑ	48,6%
17 - ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	41,0%
46 -ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	56,1%