



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ & ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

Μοντελοποίηση και παρακολούθηση έξυπνου υβριδικού δικτύου με ΑΠΕ και αποθήκευση



Φοιτητής: ΣΙΜΩΣΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΑΜ: 212017069

Επιβλέπων Καθηγητής

ΒΟΚΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2023



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

Diploma Thesis

Modeling and Monitoring of a Smart Hybrid system with RES and Storage



Student: SIMOSIS IOANNIS

Registration Number: 212017069

Supervisor

VOKAS GEORGIOS

ATHENS-EGALEO, JULY 2023

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

ΒΟΚΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ Καθηγητής	ΚΑΜΙΝΑΡΗΣ ΣΤΑΥΡΟΣ Καθηγητής	ΙΩΑΝΝΙΔΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ Καθηγητής

Σίμωσης Ιωάννης, Ιούλιος, 2023

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Σίμωσης Ιωάννης του Κωνσταντίνου, με αριθμό μητρώου 212017069 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ,

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

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

Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι 30/7/2024 και έπειτα από αίτησή μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντος καθηγητή.»

Ο Δηλών

Σίμωσης Ιωάννης



Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι αφιερωμένη στην οικογένειά μου και στους συναδέλφους που με βοήθησαν να εκπληρώσω τον στόχο μου...

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους με βοήθησαν και μου υπέδειξαν σημαντικά πράγματα για την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας. Κυρίως την οικογένεια μου που στάθηκε στο πλευρό μου σε όλη τη διάρκεια φοίτησης μου για το καλύτερο αποτέλεσμα.

Θα ήθελα ακόμη να ευχαριστήσω τον κ. Βόκα Γεώργιο που ήταν ο επιβλέπων καθηγητής της διπλωματικής μου τόσο για το ιδιαίτερα ενδιαφέρον θέμα που μου πρότεινε , όσο και για την πολύ καλή συνεργασία και την υπομονή και επιμονή του για όσο το δυνατόν καλύτερο αποτέλεσμα. Επίσης, είμαι ιδιαίτερα ευγνώμων για την συμβολή και του κ. Αναστασιάδη Ανέστη, ο οποίος με τις κατατοπιστικές και σημαντικές συμβουλές του, βοήθησε στο να ολοκληρωθεί η διπλωματική αυτή εργασία με τον καλύτερο τρόπο. Τέλος αξίζει να αποδοθούν πολλές ευχαριστίες στον ΔΕΔΔΗΕ για τα πολύ σημαντικά στοιχεία που παρείχε σχετικά με την μελέτη της εργασίας μου.

Περίληψη

Ζούμε σε μια εποχή όπου οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) έχουν μπει για τα καλά στο παιχνίδι της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τόσο στην ηπειρωτική χώρα όσο και στα μη διασυνδεδεμένα νησιά. Στην ίδια κατεύθυνση βρίσκεται και το θέμα αποθήκευσης ενέργειας στα υβριδικά δίκτυα. Για τον λόγο αυτό η παρούσα διπλωματική εργασία αρέσκειται στη μελέτη ενός υβριδικού δικτύου από ΑΠΕ, αποθήκευσης ενέργειας και παραγωγής από συμβατικούς σταθμούς σε ένα μη διασυνδεδεμένο νησί όπως η Σίφνος.

Ακόμη, το θεσμικό πλαίσιο γύρω από τις ΑΠΕ, όπως η ΡΑΕ (Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας) παίζει σημαντικό ρόλο στην εγκατάσταση και την εποπτεία τέτοιων σταθμών παραγωγής, που κατά πλειοψηφία στα μη διασυνδεδεμένα νησιά είναι φωτοβολταϊκοί ή αιολικοί σταθμοί ή υβριδικοί σταθμοί.

Παράλληλα, θα δοθεί έμφαση και θα αναλυθεί το θέμα των ροών φορτίου στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, όπως και τα υβριδικά δίκτυα των μη διασυνδεδεμένων νησιών, πράγμα που θα χρησιμεύσει στην μελέτη που επρόκειτο να γίνει.

Στο πλαίσιο της ανάγκης αντικατάστασης των συμβατικών σταθμών παραγωγής από ΑΠΕ, το σημαντικό θέμα της αποθήκευσης αποτελεί την λύση στις διακυμάνσεις φορτίου που παρατηρείται από την παραγωγή των ΑΠΕ και φέρνει τα δίκτυα σε ισορροπία και εξομαλύνει το φορτίο. Βέβαια, οι διατάξεις του κατάλληλου συστήματος αποθήκευσης ποικίλλουν ανάλογα με τις ανάγκες του εκάστοτε δικτύου.

Στην προσπάθεια που γίνεται από πολλά μη διασυνδεδεμένα νησιά για ενεργειακή απεξάρτηση, έτσι και στη Σίφνο, με τα κατάλληλα εργαλεία προσομοίωσης του δικτύου που θα μοντελοποιηθεί, όπως το MATLAB, θα γίνει μελέτη διείσδυσης ΑΠΕ με κατάλληλο αποθηκευτικό σύστημα, αποσύροντας στο μέλλον θερμική παραγωγή του νησιού. Πάνω σε αυτά τα δεδομένα παράλληλα θα μελετάται και η κατάσταση του δικτύου βάσει επιτρεπτών ορίων και θα εξεταστούν σενάρια με συνδυασμούς ΑΠΕ και αποθήκευσης. Τα δεδομένα παραγωγής των ΑΠΕ που θα χρησιμοποιηθούν εκτιμώνται από μια βάση δεδομένων μέσω του ελεύθερου προγράμματος PVGIS. Συνολικά θα μελετηθούν τρεις βελτιστοποιημένοι συνδυασμοί από ΑΠΕ και αποθήκευση. Στο τέλος ακολουθεί μια συγκριτική διαδικασία των τελικών σεναρίων.

Λέξεις – κλειδιά

Υβριδικά δίκτυα, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, σύστημα αποθήκευσης, συσσωρευτές, ροές φορτίου, μη διασυνδεδεμένα νησιά

Abstract

We live in an age where renewable energy sources (RES) have entered the electricity generation game for good on both the mainland and the unconnected islands. For this reason, this diploma thesis likes to study a hybrid network from RES, energy storage and production from conventional stations in a non-interconnected island like Sifnos.

Furthermore, the institutional framework surrounding RES, such as the RAE (Energy Regulatory Authority) plays an important role in the installation and supervision of such production plants, which in the majority of non-interconnected islands are photovoltaic or wind plants or hybrid plants.

At the same time, the topic of load flows in the electricity systems will be emphasized and analyzed, as well as the hybrid networks of the non-interconnected islands, which will be used in the study that was to be done.

In the context of the need to replace conventional generating stations with RES, the important issue of storage is the solution to the load fluctuations observed from RES generation and brings the grids into balance and smoothes the load. Of course, the provisions of the appropriate storage system vary depending on the needs of each network.

In the effort made by many non-interconnected islands for energy detoxification, so also in Sifnos, with the appropriate simulation tools of the network that will be set up, such as MATLAB, a RES penetration study with a suitable storage system will be carried out, withdrawing the thermal production of the island in the future. On top of these data, the state of the network will also be studied based on permissible limits, and scenarios with RES-storage combinations will be examined. The production data of the RES that will be used are estimated from a database through the free program PVGIS. In total, three optimized combinations of RES and storage will be studied. At the end follows a comparative process of the final scenarios.

Keywords

Hybrid networks, renewable energy sources, storage system, accumulators, load flows, non-interconnected islands

Περιεχόμενα

Κατάλογος Πινάκων	12
Κατάλογος Εικόνων	12
Κατάλογος Διαγραμμάτων.....	13
Κατάλογος Σχημάτων.....	15
Αλφαβητικό Ευρετήριο	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : Εισαγωγή.....	16
1.1 Γενική εισαγωγή	16
1.2 Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας	16
1.3 Σκοπός και στόχοι	17
1.4 Μεθοδολογία	17
1.5 Καινοτομία	17
1.6 Δομή.....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και υβριδικά δίκτυα στα ΜΑΝ	20
2.1 Εισαγωγή	20
2.2 Θεσμικό πλαίσιο γύρω από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	20
2.2.1 Ρυθμιστική αρχή ενέργειας.....	20
2.2.2 Διαχειριστής του Ελληνικού δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας	21
2.2.3 Ανεξάρτητος διαχειριστής μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.....	21
2.2.4 Κέντρο ανανεώσιμων πηγών και εξοικονόμησης ενέργειας	22
2.2.5 Αγορά ΑΠΕ και προοπτικές στην Ελλάδα	22
2.3 Αιολική ενέργεια.....	23
2.3.1 Εισαγωγή	23
2.3.2 Βασικές κατηγορίες ανεμογεννητριών	24
2.3.2.1 Ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα	24
2.3.2.2 Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα	24
2.3.3 Αξιοποίηση αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα.....	25
2.4 Ηλιακή ενέργεια.....	27
2.4.1 Εισαγωγή	27
2.4.2 Φωτοβολταϊκά συστήματα	28
2.4.3 Αξιοποίηση ηλιακής ενέργειας στην Ελλάδα	29
2.5 Υβριδικά δίκτυα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.....	30
2.5.1 Εισαγωγή	30
2.5.2 Κυριότερες μορφές υβριδικών δικτύων	31

2.5.2.1 Φωτοβολταϊκά και αιολικά συστήματα.....	31
2.5.2.2 Φωτοβολταϊκά, αιολικά και συμβατικά συστήματα	31
2.5.2.3 Αιολικά και υδροηλεκτρικά συστήματα.....	32
2.5.3 Προοπτικές υβριδικών δικτύων ΑΠΕ των ΜΔΝ	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο : Ανάλυση ροών φορτίου ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.....	34
3.1 Εισαγωγή	34
3.2 Δομή και αρχές λειτουργίας ενός ΣΗΕ.....	34
3.3 Μελέτη ροών φορτίου.....	35
3.4 Εξισώσεις ροών φορτίου	36
3.4.1 Η μέθοδος Gauss-Seidel.....	39
3.4.2 Η μέθοδος Newton-Raphson.....	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο : Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας στα υβριδικά δίκτυα	44
4.1 Εισαγωγή	44
4.2 Κατηγορίες συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας	44
4.2.1 Μηχανικά μέσα αποθήκευσης	44
4.2.1.1 Αντλησιοταμίευση	45
4.2.1.2 Πεπιεσμένος αέρας	46
4.2.1.3 Σφόνδυλοι	47
4.2.2 Μέσα αποθήκευσης χημικής ενέργειας	47
4.2.2.1 Μπαταρίες ιόντων-λιθίου(Li-on)	47
4.2.2.2 Μπαταρίες νατρίου-θείου(Na-S)	48
4.2.2.3 Μπαταρίες μολύβδου-οξέος(Lead-Acid).....	49
4.2.2.4 Μπαταρίες νικελίου-καδμίου(Ni-Cd).....	49
4.2.2.5 Συσσωρευτές ροής.....	50
4.2.2.6 Κυψέλες καυσίμου.....	50
4.2.2.7 Αποθήκευση υδρογόνου.....	51
4.2.3 Ηλεκτρομαγνητικοί ΣΑΗΕ	52
4.2.3.1 Υπεραγώγιμα πηνία,SMES	52
4.2.3.2 Υπερπυκνωτές.....	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο : Μελέτη και παρακολούθηση έξυπνου υβριδικού δικτύου με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και αποθήκευση στη νήσο Σίφνο	54
5.1 Εισαγωγή	54
5.2 Βασικές πληροφορίες του νησιού.....	55
5.2.1 Οδικό δίκτυο	56
5.2.2 Ενεργειακές αξιοποιήσεις και δυνατότητες	57

5.3	Ηλεκτρική παραγωγή	58
5.3.1	Ωριαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.....	59
5.3.2	Μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας	61
5.3.3	Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.....	64
5.4	Μοντελοποίηση ηλεκτρικού δικτύου	67
5.5	Σενάριο 1: Υφιστάμενη κατάσταση δικτύου	73
5.6	Σενάριο 2:Προβολή δικτύου μετά από 10 χρόνια με σταδιακή διείσδυση ΑΠΕ	77
5.6.1	Σενάριο 2.1: Διείσδυση 1 MW φωτοβολταϊκών και 1,6 MW αιολικών	81
5.6.2	Σενάριο 2.2: Διείσδυση 2 MW φωτοβολταϊκών και 2 MW αιολικών	83
5.6.3	Σενάριο 2.3: Διείσδυση 3 MW φωτοβολταϊκών και 3 MW αιολικών	84
5.6.4	Σενάριο 2.4: Διείσδυση 7 MW φωτοβολταϊκών και 3 MW αιολικών	87
5.6.4.1	Χρήση κατάλληλου συστήματος αποθήκευσης στο σενάριο 2.4	90
5.7	Σενάριο 3: Βελτιστοποίηση συνδυασμών με διείσδυση ΑΠΕ και αποθήκευση	92
5.7.1	Σενάριο 3.1: Διείσδυση 5MW φωτοβολταϊκών και 3MW αιολικών με 4MW αποθήκευση.....	92
5.7.2	Σενάριο 3.2: Διείσδυση 3MW φωτοβολταϊκών και 3,5MW αιολικών με 2,8 MW αποθήκευση.....	95
5.8	Σύγκριση των τελικών συνδυασμών	97
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο : Συμπεράσματα.....	100
6.1	Κύρια συμπεράσματα	100
6.2	Εισήγηση για περαιτέρω έρευνα.....	105
	Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές.....	106
	Παράρτημα Α.....	111

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 5.1: Χιλιομετρικές αποστάσεις κυριότερων περιοχών στη Σίφνο.....	57
Πίνακας 5.2: Πίνακας τιμών ετήσιας ηλεκτροπαραγωγής, ανά μήνα, στη νήσο Σίφνο.....	65
Πίνακας 5.3: Χιλιομετρικές αποστάσεις μεταξύ ΤΣΠ Σίφνου και των κυριότερων περιοχών.....	68
Πίνακας 5.4: Βασικά στοιχεία γραμμών διανομής δικτύου.....	69
Πίνακας 5.5: Βασικά στοιχεία ζυγών δικτύου.....	70
Πίνακας 5.6: Αποστάσεις ζυγών και βασικά στοιχεία γραμμών δικτύου.....	71
Πίνακας 5.7: Πίνακας συνοπτικής αναφοράς των σεναρίων προς μελέτη.....	72
Πίνακας 5.8: Εικοσιτετράωρη ζήτηση πραγματικής ισχύος προς κάλυψη.....	80
Πίνακας 5.9: Χαρακτηριστικά εξεταζόμενων σεναρίων.....	96

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2.1 Διαχειριστής του Ελληνικού δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας (https://deddie.gr/el/deddie/i-etaireia/).....	21
Εικόνα 2.2 Σενάριο διεϊσδυσης ΑΠΕ (Πηγή: ΕΣΕΚ) (https://dione.lib.unipi.gr/xmlui/bitstream/handle/unipi/15113/Anagnostopoulou_2002.pdf?sequence=3&isAllowed=y).....	23
Εικόνα 2.3 Ετήσια παραγωγή αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα (Πηγή: ΕΛΕΤΕΑΝ) (https://eletaen.gr/hwea-wind-statistics/).....	25
Εικόνα 2.4 Κατανομή εγκατεστημένης αιολικής ισχύος ανά περιφέρεια στην Ελλάδα,2022 (Πηγή: ΕΛΕΤΕΑΝ (https://eletaen.gr/hwea-wind-statistics/)).....	26
Εικόνα 2.5 Εικόνα μέσης ταχύτητας ανέμου στην Ελλάδα (Πηγή: ΚΑΠΕ) (http://www.cres.gr/cres/index.html).....	27
Εικόνα 2.6 Ελληνική αγορά φωτοβολταϊκών στην διάρκεια 2010-2022(https://helapco.gr/wp-content/uploads/Greek_PV_Market_Snapshot_HELAPCO_23Nov2022-1.pdf).....	29
Εικόνα 2.7 Συνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα στην διάρκεια 2010-2022 (https://helapco.gr/wp-content/uploads/Greek_PV_Market_Snapshot_HELAPCO_23Nov2022-1.pdf).....	30
Εικόνα 2.8 Ηλεκτροπαραγωγή ΜΔΝ από Ιανουάριο 2021-2023 (https://deddie.gr/media/33419.pdf).....	33
Εικόνα 4.1: Η αρχή λειτουργίας ενός συστήματος αποθήκευσης με αντλησιοταμίευση (http://www.rethymnosnews.gr/).....	45
Εικόνα 4.2: Διαβατικά,αδιαβατικά και ισόθερμα CAES(https://nemertes.library.upatras.gr/server/api/core/bitstreams/0f228f17-e207-4e44-9a5f-c11d7d5ec9bf/content).....	46

Εικόνα 4.3: Δομή μιας τυπικής μπαταρίας ιόντων

λιθίου(<https://ir.lib.uth.gr/xmlui/bitstream/handle/11615/59666/25155.pdf?sequence=1>).....48

Εικόνα 4.4: Σχηματική αναπαράσταση μπαταρίας νατρίου-θείου (<http://www.arup.com/>).....49

Εικόνα 4.5: Σύστημα αποθήκευσης κυψελών καυσίμου

([http://oceanis.lib2.uniwa.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/5387/mec.41842.pdf?sequence=1
&isAllowed=y](http://oceanis.lib2.uniwa.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/5387/mec.41842.pdf?sequence=1&isAllowed=y)).....51

Εικόνα 4.6: Εσωτερική δομή ενός υπερπυκνωτή

(<https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/>).....53

Εικόνα 5.1: Συνοπτική παρουσίαση της μεθοδολογίας της μελέτης.....55

Εικόνα 5.2: Χάρτης συμπεριλαμβανομένου του νησιού της Σίφνου

(<https://ec.europa.eu/eurostat/cache/infographs/energy/bloc-2b.html>).....55

Εικόνα 5.3: Οδικός χάρτης της Σίφνου (<https://ec.europa.eu/eurostat/cache/infographs/energy/bloc-2b.html>).....56

Εικόνα 5.4: Δίκτυο διανομής Σίφνου Σίφνου.....67

Εικόνα 5.5: Μοντελοποιημένο δίκτυο Μ.Τ.....69

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 5.1: Διακύμανση μέσου ωριαίου φορτίου σε MWh για το 2022 στο ηλεκτρικό σύστημα της Σίφνου.....59

Διάγραμμα 5.2: Διακύμανση ωριαίου φορτίου σε MWh τον Ιανουάριο 2022 στο ηλεκτρικό σύστημα της Σίφνου.....60

Διάγραμμα 5.3: Διακύμανση ωριαίου φορτίου σε MWh τον Αύγουστο 2022 στο ηλεκτρικό σύστημα της Σίφνου60

Διάγραμμα 5.4: Διακύμανση μηνιαίου φορτίου σε MWh/μήνα για το 2022 στο ηλεκτρικό σύστημα της Σίφνου61

Διάγραμμα 5.5: Διακύμανση ημερήσιας παραγωγής σε MWh/day για τον Ιανουάριο 2022 στο ηλεκτρικό σύστημα της Σίφνου62

Διάγραμμα 5.6: Διακύμανση ημερήσιας παραγωγής σε MWh/day για τον Αύγουστο 2022 στο ηλεκτρικό σύστημα της Σίφνου63

Διάγραμμα 5.7: Διακύμανση ημερήσιας παραγωγής σε MWh/day για τον Ιανουάριο και τον Αύγουστο 2022 στο ηλεκτρικό σύστημα της Σίφνου.....63

Διάγραμμα 5.8: Ποσοστό παραγωγής το 2021 στο ηλεκτρικό σύστημα της Σίφνου.....66

Διάγραμμα 5.9: Ποσοστό παραγωγής το 2022 στο ηλεκτρικό σύστημα της Σίφνου.....66

Διάγραμμα 5.10: Εικόνα συμπεριφοράς τάσεων ζυγών δικτύου τον Ιανουάριο 2022.....74

Διάγραμμα 5.11: Εικόνα συμπεριφοράς τάσεων ζυγών δικτύου τον Μάιο 2022.....75

<i>Μοντελοποίηση και παρακολούθηση έξυπνου υβριδικού δικτύου με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και αποθήκευση</i>	
Διάγραμμα 5.12: Εικόνα συμπεριφοράς τάσεων ζυγών δικτύου τον Αύγουστο 2022.....	76
Διάγραμμα 5.13: Εικόνα εκτίμησης συμπεριφοράς τάσεων ζυγών αρχικού δικτύου τον Αύγουστο 2032.....	78
Διάγραμμα 5.14: Εικοσιτετράωρη κατανομή παραγωγής 1MW φωτοβολταϊκών και 1,6MW αιολικών.....	81
Διάγραμμα 5.15: Κάλυψη εικοσιτετράωρου φορτίου από τις εγκατεστημένες ΑΠΕ στο σενάριο 2.1.....	82
Διάγραμμα 5.16 : Εικοσιτετράωρη κατανομή παραγωγής 2MW φωτοβολταϊκών και 2MW αιολικών.....	83
Διάγραμμα 5.17: Κάλυψη εικοσιτετράωρου φορτίου από τις εγκατεστημένες ΑΠΕ στο σενάριο 2.2.....	84
Διάγραμμα 5.18: Εικοσιτετράωρη κατανομή παραγωγής 3MW φωτοβολταϊκών και 3MW αιολικών.....	85
Διάγραμμα 5.19: Κάλυψη εικοσιτετράωρου φορτίου από τις εγκατεστημένες ΑΠΕ στο σενάριο 2.3.....	85
Διάγραμμα 5.20: Εικόνα συμπεριφοράς τάσεων ζυγών δικτύου στο σενάριο 2.3.....	86
Διάγραμμα 5.21: Εικοσιτετράωρη κατανομή παραγωγής 7MW φωτοβολταϊκών και 3MW αιολικών.....	87
Διάγραμμα 5.22: Κάλυψη εικοσιτετράωρου φορτίου από τις εγκατεστημένες ΑΠΕ στο σενάριο 2.4.....	88
Διάγραμμα 5.23: Εικόνα συμπεριφοράς τάσεων ζυγών δικτύου στο σενάριο 2.4.....	89
Διάγραμμα 5.24: Εικόνα περισσέματος-ελλείματος ενέργειας στο εικοσιτετράωρο στο σενάριο 2.4.....	90
Διάγραμμα 5.25: Κάλυψη εικοσιτετράωρου φορτίου από ΑΠΕ στο σενάριο 3.1.....	92
Διάγραμμα 5.26: Εικόνα εικοσιτετράωρου περισσέματος-ελλείματος ενέργειας στο σενάριο 3.1.....	93
Διάγραμμα 5.27: Κάλυψη εικοσιτετράωρου φορτίου από ΑΠΕ στο σενάριο 3.2.....	95
Διάγραμμα 5.28: Εικόνα εικοσιτετράωρου περισσέματος-ελλείματος ενέργειας στο σενάριο 3.2.....	96
Διάγραμμα 5.29: Κάλυψη φορτίου των εξεταζόμενων σεναρίων συγκεντρωτικά.....	98
Διάγραμμα 5.30: Εικόνα περισσέματος-ελλείματος ενέργειας των εξεταζόμενων σεναρίων συγκεντρωτικά.....	98

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 3.1: Βασική δομή ενός ΣΗΕ.....	35
Σχήμα 3.2: Βασικά μεγέθη σε ένα ζυγό.....	36
Σχήμα 3.3: Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.....	37

Αλφαβητικό Ευρετήριο

ΑΠΕ: Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

ΡΑΕ: Ρυθμιστική αρχή ενέργειας

ΔΕΔΔΗΕ: Διαχειριστής του Ελληνικού δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας

ΔΕΗ: Δημόσια επιχείρηση ηλεκτρισμού

ΑΔΜΗΕ: Ανεξάρτητος διαχειριστής μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

ΕΣΜΗΕ: Ελληνικό σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

ΚΑΠΕ: Κέντρο ανανεώσιμων πηγών και εξοικονόμησης ενέργειας

ΕΣΕΚ: Εθνικό σχέδιο για την ενέργεια και το κλίμα

ΕΛΕΤΕΑΝ: Ελληνική επιστημονική ένωση αιολικής ενέργειας

ΣΕΦ: Σύνδεσμος εταιρειών φωτοβολταϊκών

ΜΔΝ: Μη διασυνδεδεμένα νησιά

ΤΣΠ: Τοπικός σταθμός παραγωγής

Μ.Τ: Μέσης τάσης

ΣΑΗΕ: Σταθμοί αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας

ΣΗΕ: Συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας

PVGIS: Photovoltaic geographical information system

SMES: Superconducting magnetic energy source

CAES: Compressed air energy storage

Li-on: Lithium-ion

Na-S: Sodium-Sulfur

DC: Direct current

MWh: Megawatt-hour

KWh: Kilowatt-hour

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : Εισαγωγή

1.1 Γενική εισαγωγή

Η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι προόδου της οικονομίας και των τεχνολογιών και παράλληλα καλύπτει μεγάλη γκάμα αναγκών των ανθρώπων. Στο πλαίσιο της οικονομίας και της βιώσιμης ανάπτυξης του τόπου στον τομέα της ηλεκτρικής παραγωγής, έχει αρχίσει και θα εξακολουθεί να γίνεται διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας τόσο στην ηπειρωτική χώρα όσο και στα μη διασυνδεδεμένα νησιά. Η προσπάθεια αυτή πραγματοποιείται για την οικονομικότερη και πιο φιλική προς το περιβάλλον ηλεκτροπαραγωγή ενέργειας. Μέχρι τώρα χρησιμοποιούνται ακόμη σταθμοί κατανάλωσης συμβατικών καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω της δυνατότητας παροχής ενέργειας οποιαδήποτε στιγμή στα δίκτυα και λόγω της αποδοτικότητάς τους. Ο νέος τρόπος παραγωγής πράσινης ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές αναμένεται να λάβει χώρα στα υπάρχοντα δίκτυα αντικαθιστώντας πλήρως ή σε μεγάλο ποσοστό την παραγωγή από τους συμβατικούς σταθμούς. Συγκεκριμένα η εγκατάσταση αιολικών και φωτοβολταϊκών σταθμών είναι οι πρωταρχικοί τρόποι παραγωγής τέτοιας μορφής ενέργειας. Παράλληλα, λόγω των διακυμάνσεων φορτίου που παρουσιάζουν οι ανανεώσιμες πηγές (λόγω καιρικών συνθηκών κλπ) απαιτείται η ύπαρξη συστημάτων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας προκειμένου να εξομαλύνουν το φορτίο αυτό. Με τον τρόπο αυτό καθίσταται δυνατή η εύρυθμη λειτουργία των δικτύων κάτω από τις συνθήκες αυτές. Γενικότερα, οι μελέτες εμβαθύνουν περισσότερο στα μη διασυνδεδεμένα νησιά της χώρας εκεί όπου παρατηρείται έντονη εποχιακή διακύμανση φορτίου.

1.2 Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

Πιο συγκεκριμένα, στο θέμα της διπλωματικής εργασίας αυτής θα γίνει η μελέτη και μοντελοποίηση ενός ισχυρού και σταθερού ηλεκτρικού δικτύου στο μη διασυνδεδεμένο νησί της Σίφνου. Το δίκτυο αυτό θα μελετηθεί τόσο στην υπάρχουσα κατάσταση του όσο και μελλοντικά όπου θα αποσυρθεί, υπό προϋποθέσεις, μεγάλο ποσοστό θερμικών μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θα γίνει αντικατάσταση της παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με σύστημα αποθήκευσης. Τα αρχικά δεδομένα που θα αντληθούν είναι πραγματικά, για τις τιμές παραγωγής και ζήτησης του νησιού μέσω του Διαχειριστή Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ) και στη συνέχεια μελλοντικά υπό ορισμένα σενάρια θα γίνει η μελέτη πάνω στα δεδομένα αυτά. Παράλληλα, η παραγωγή από τις υπό εγκατάσταση ΑΠΕ θα εκτιμηθεί μέσω μιας σειράς δεδομένων και το δίκτυο θα μοντελοποιηθεί σε όλη τη διαδικασία σε πρόγραμμα MATLAB. Στην συνέχεια θα προτείνουμε κατάλληλο αποθηκευτικό σύστημα για τα ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Σίμωσης Ιωάννης

Μοντελοποίηση και παρακολούθηση έξυπνου υβριδικού δικτύου με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και αποθήκευση
δεδομένα που θα έχουμε από το δίκτυο μελλοντικά, μιας και το θέμα της αποθήκευσης στα υβριδικά δίκτυα με ΑΠΕ δεν έχει καθιερωθεί πλήρως και μελετάται ακόμα. Τέλος, από την διαδικασία αυτή θα αντληθούν τα κατάλληλα συμπεράσματα για το θέμα της διπλωματικής το οποίο χρήζει μεγάλης σημασίας, καθώς η τοπική κοινότητα της Σίφνου βαδίζει προς αυτή τη κατεύθυνση ως ένα νησί ανεξάρτητο ενεργειακά με παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

1.3 Σκοπός και στόχοι

Ο απώτερος σκοπός και ο στόχος της διπλωματικής αυτής είναι η μελέτη ενός ηλεκτρικού δικτύου σε ένα μη διασυνδεδεμένο νησί όπως η Σίφος, με παραγωγή κατά πολύ μεγάλο ποσοστό από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με αποθηκευτικό σύστημα και μικρό ποσοστό θερμικής παραγωγής. Ακόμη δίνεται έμφαση στην σταθερότητα και την κατάσταση ενός τέτοιου δικτύου αρχικά χωρίς κάποια παρέμβαση και έπειτα μελετώνται σενάρια διείσδυσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με αποθήκευση μελλοντικά αφαιρώντας σοβαρό ποσοστό θερμικής παραγωγής που διαθέτει ο τοπικός σταθμός παραγωγής του νησιού. Όλα αυτά πραγματοποιούνται τηρώντας κάποιους σημαντικούς κανόνες που εφαρμόζονται στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Σε γενικές γραμμές, στόχος είναι η ανάδειξη της σημασίας της συμβολής των ΑΠΕ στην παραγωγική διαδικασία στα δίκτυα διανομής ως μια λύση οικονομικά και οικολογικά αξιοπρεπής, βασιζόμενη σε πραγματικά δεδομένα.

1.4 Μεθοδολογία

Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας, η μεθοδολογία αρέσκεται στην βιβλιογραφία τόσο σε έντυπη όσο και σε ηλεκτρονική μορφή σχετικά με τα υβριδικά δίκτυα με ΑΠΕ και την αποθήκευση ενέργειας. Σχετικά με το κομμάτι της μελέτης, το δίκτυο μοντελοποιήθηκε και εξετάστηκε σε πρόγραμμα MATLAB, από το οποίο εξάγαμε σημαντικές γραφικές απεικονίσεις και ενδείξεις προκειμένου να καταλήξουμε στα συμπεράσματα.

1.5 Καινοτομία

Στην διπλωματική αυτή εργασία γίνεται αναφορά στην εικόνα του υπό μελέτη δικτύου στο νησί της Σίφνου μετά από το πέρας δέκα μόλις ετών και ακολουθεί η διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με σταδιακή αύξηση της ζήτησης μελέτη αυτή είναι καινοτόμα καθώς είδη η τοπική κοινότητα της Σίφνου έχει πάρει την πρωτοβουλία για την μελλοντική ενεργειακή εξάρτηση του νησιού από ανανεώσιμες πηγές αποσύροντας θερμικές μονάδες. Επιπλέον, στο πλαίσιο της καινοτομίας βρίσκεται και το σύστημα αποθήκευσης που προτείνεται βάσει των αναγκών του εν λόγω δικτύου, καθώς δεν υπάρχει ακόμη εμπειρία στον τομέα της αποθήκευσης στα υβριδικά δίκτυα.

1.6 Δομή

Η διπλωματική αυτή εργασία αποτελείται συνολικά από ένα εισαγωγικό κεφάλαιο και πέντε κύρια κεφάλαια τα οποία χρήζουν μεγάλης σημασίας για το κομμάτι της μελέτης που επρόκειτο να γίνει. Αρχικά γίνεται η περίληψη της διπλωματικής εργασίας στην ελληνική και αγγλική γλώσσα. Στο πρώτο εισαγωγικό κεφάλαιο γίνεται εισαγωγή του θέματος της διπλωματικής με έμφαση στο σκοπό, στη μεθοδολογία στην καινοτομία αλλά και στην δομή που θα ακολουθήσει.

Στο δεύτερο κεφάλαιο έχουμε την ανάλυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που κυριαρχούν στα μη διασυνδεδεμένα νησιά υπό την μορφή υβριδικών δικτύων. Πιο συγκεκριμένα, αναλύεται εκτενώς το νομοθετικό πλαίσιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με διάφορους φορείς όπως η ΡΑΕ, ο ΔΕΔΔΗΕ κλπ και αναφέρονται προοπτικές διείσδυσης ΑΠΕ μελλοντικά στα μη διασυνδεδεμένα νησιά. Στη συνέχεια, σχετικά με τις ανανεώσιμες πηγές, γίνεται αναφορά στην αιολική ενέργεια, τα μέσα αξιοποίησης της και τις προοπτικές που έχει στην Ελλάδα και στα ΜΔΝ. Το ίδιο συμβαίνει και με την περίπτωση της ηλιακής ενέργειας. Τέλος, δίνεται έμφαση, εισαγωγικά, σε ένα υβριδικό δίκτυο και έπειτα στις κυριότερες μορφές υβριδικών δικτύων ΑΠΕ στα ΜΔΝ και στις προοπτικές εγκατάστασης τους μελλοντικά.

Στο τρίτο κεφάλαιο, επρόκειτο να γίνει αναφορά στο σημαντικό πρόβλημα των ροών φορτίου και στους τρόπους επίλυσης του πάνω σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.

Στα πλαίσια του τέταρτου κεφαλαίου, αναλύεται η περίπτωση της αποθήκευσης ενέργειας και χρήσης κατάλληλου αποθηκευτικού συστήματος στα υβριδικά δίκτυα. Γίνεται αναλυτική παραπομπή στα κυριότερα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας και στο πεδίο εφαρμογής που έχει η κάθε μορφή του εκάστοτε συστήματος.

Μπαίνοντας στο πέμπτο κεφάλαιο, συναντάμε το πιο σημαντικό στάδιο της διπλωματικής, το κομμάτι της μελέτης. Εδώ γίνεται αρχικά η παρουσίαση του νησιού της Σίφνου γεωγραφικά και παρέχονται σημαντικά στοιχεία που θα μας χρησιμεύσουν στην εκπόνηση της μελέτης. Τέτοια είναι η υφιστάμενη ηλεκτροπαραγωγή του νησιού, το οδικό δίκτυο και η εικόνα του ηλεκτρικού δικτύου. Στη συνέχεια, εφόσον καταστρωθεί με τα κατάλληλα δεδομένα ένα ισχυρό ηλεκτρικό δίκτυο, εκτιμηθεί η κατάσταση του με τα αρχικά δεδομένα και στη συνέχεια μελλοντικά υπό περιορισμούς, γίνεται διείσδυση ΑΠΕ με αφαίρεση μεγάλου ποσοστού θερμικής παραγωγής του συμβατικού σταθμού. Εφόσον εκτελεστούν τα κατάλληλα σενάρια με ΑΠΕ, τοποθετείται ένα σύστημα αποθήκευσης που λύνει το πρόβλημα της ζήτησης. Τέλος, παρέχεται και ένα σενάριο με ΑΠΕ και αποθηκευτικό σύστημα που παρουσιάζει καλύτερη επιλογή από την προηγούμενη.

Τέλος, στο έκτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με όλη την διπλωματική και γίνεται εισήγηση για περαιτέρω έρευνα σε θέματα που αξίζουν παραπάνω διατριβή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και υβριδικά δίκτυα στα ΜΔΝ

2.1 Εισαγωγή

Εισαγωγικά, με τον όρο ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ή ΑΠΕ αποκαλούνται οι πηγές εκείνες που υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό περιβάλλον και κάθε χρόνο ανανεώνονται με υψηλότερους ρυθμούς από την κατανάλωσή τους από τους ανθρώπους. Σε πρακτικό επίπεδο είναι ανεξάντλητες, η χρήση τους είναι φιλική προς το περιβάλλον και ο βαθμός αξιοποίησής τους αρέσκειται σε αξιόπιστες και αποδεκτές οικονομικά τεχνολογίες. Μπορούν να χαρακτηριστούν και ως «ήπιες μορφές ενέργειας» λόγω της φιλικότητας στο περιβάλλον. Ακόμη, οι ΑΠΕ ήταν οι πρώτες μορφές ενέργειας που χρησιμοποιήθηκαν, πριν στραφεί η παραγωγή στα ορυκτά καύσιμα και με την έλευση της ενεργειακής κρίσης του 1974 κορυφώθηκε η ιδέα ανάπτυξης τεχνολογιών ΑΠΕ, δεδομένων των περιβαλλοντικών προβλημάτων που προκαλούσαν οι εκάστοτε συμβατικοί σταθμοί καυσίμων^[1]. Μερικές μορφές των ΑΠΕ είναι η αιολική, η ηλιακή η υδάτινη και η γεωθερμική ενέργεια, με τις δύο πρώτες να είναι οι επικρατέστερες μορφές μέχρι σήμερα στα εκάστοτε έργα που αφορούν αυτού του είδους τις πηγές. Παράλληλα, υπάρχει μέχρι σήμερα ένα θεσμικό πλαίσιο πάνω στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας το οποίο διαχειρίζεται κατά ένα τρόπο την ανάπτυξη τους κάτω από συγκεκριμένες διαδικασίες ελέγχου, έγκρισης και αξιοποίησης των δεδομένων. Ισχυρό παράδειγμα αξιολόγησης μια τέτοιας επένδυσης σε ΑΠΕ είναι η περίπτωση των μη διασυνδεδεμένων νησιών της χώρας. Εκεί μάλιστα έχει στραφεί το ενδιαφέρον και οι δυνατότητες εγκατάστασης μορφών ΑΠΕ βάσει ενεργειακών δυνατοτήτων των νησιών^[2].

2.2 Θεσμικό πλαίσιο γύρω από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

2.2.1 Ρυθμιστική αρχή ενέργειας

Ξεκινώντας με την ρυθμιστική αρχή ενέργειας (ή ΡΑΕ), της οποίας έχει ανατεθεί ο ρόλος της παρακολούθησης και εποπτείας της αγοράς ενέργειας, συγκροτήθηκε για πρώτη φορά τον Ιούλιο του 2000. Συστήθηκε για τον ηλεκτρισμό και το φυσικό αέριο και στόχος της είναι η απελευθέρωση της αγοράς αυτών των δύο πηγών. Μάλιστα αναλαμβάνει σημαντικές αρμοδιότητες τόσο στον τομέα χορήγησης άδειας των σταθμών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όσο και στον τομέα παραχώρησης αδειών παραγωγής τέτοιων έργων. Στην ίδια κατεύθυνση η ΡΑΕ συμβάλλει στην διασφάλιση της φιλικής και ασφαλούς εξυπηρέτησης των καταναλωτών και επενδυτών, στην βελτιστοποίηση οικονομικής λύσης για παροχή ενέργειας και στην αναγνώριση σωστών και έξυπνων επιχειρήσεων^[3]. Επιπλέον, μεριμνά για καινοτόμες μεθόδους και αξιοποιήσεις δυνατοτήτων για όλες τις επιχειρήσεις και συνδράμει στην ομαλή ένταξη νέων εταιρειών στο χρηματιστήριο ενέργειας.

2.2.2 Διαχειριστής του Ελληνικού δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας

Ο Διαχειριστής του Ελληνικού δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας ή ΔΕΔΔΗΕ, ιδρύθηκε στην Ελλάδα το 2012, ως θυγατρική εταιρεία της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ). Διαχειρίζεται το δίκτυο διανομής τάσης της χώρας και παρά τη θυγατρική σχέση της από την ΔΕΗ συντελεί ανεξάρτητο και διοικητικό ρόλο. Μεριμνά για την συντήρηση και την εξέλιξη του δικτύου διανομής και διασφαλίζει την σωστή εξυπηρέτηση για οποιονδήποτε χρήστη του εκάστοτε δικτύου. Σημαντικό είναι να ειπωθεί ότι στον ΔΕΔΔΗΕ έχει ανατεθεί η ευθύνη για την διαχείριση, τόσο της παραγωγής όσο και της λειτουργίας της αγοράς και των συστημάτων των μη διασυνδεδεμένων νησιών όλης της επικράτειας σύμφωνα με το εκάστοτε άρθρο^[4].



Εικόνα 2-1: Διαχειριστής του Ελληνικού δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας

2.2.3 Ανεξάρτητος διαχειριστής μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

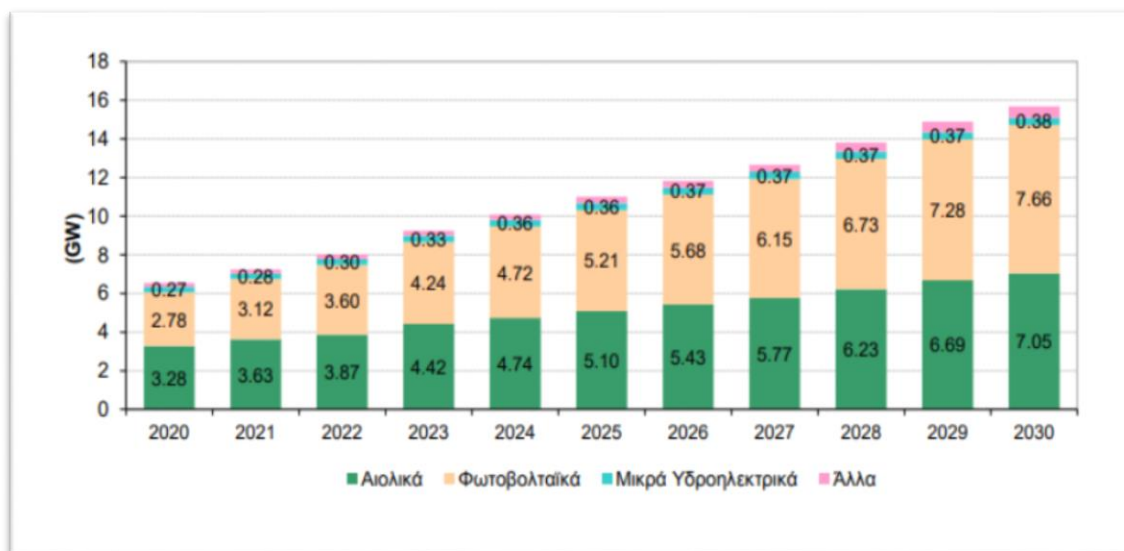
Αποτελεί άλλη μια θυγατρική εταιρεία της ΔΕΗ που όμως αναλαμβάνει ανεξάρτητο και καθοριστικό ρόλο. Κύριος σκοπός του ανεξάρτητου διαχειριστή μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας (ΑΔΜΗΕ) ,είναι η συντήρηση και η ανάπτυξη του Διαχειριστή Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΕΣΜΗΕ). Αναλαμβάνει την αρμοδιότητα μεταβίβασης της ηλεκτρικής ενέργειας από τις μονάδες παραγωγής σε γειτονικά συστήματα υψηλής τάσης ή σε καταναλωτές τέτοιου επιπέδου, ακόμη και σε καταναλώσεις μέσης τάσης ή οικιακής χρήσης. Επιπρόσθετα, αναλαμβάνει την συντήρηση και προσθήκη νέων γραμμών μεταφοράς εκεί που χρειάζεται στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, μεριμνά σε θέματα μεσοπρόθεσμης και μακροπρόθεσμης ζήτησης και αυξάνει την αξιοπιστία των συστημάτων της χώρας, επιδιώκοντας νέες διασυνδέσεις τόσο εγχώρια όσο και στο εξωτερικό.

2.2.4 Κέντρο ανανεώσιμων πηγών και εξοικονόμησης ενέργειας

Όσον αφορά τον οργανισμό του κέντρου ανανεώσιμων πηγών και εξοικονόμησης ενέργειας (ΚΑΠΕ), αποτελεί τον εθνικό φορέα της Ελλάδας στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας τόσο σε επιστημονικό όσο και σε τεχνολογικό επίπεδο. Αφορά θέματα σωστής χρήσης και εξοικονόμησης ενέργειας. Αποτελεί μεγάλο ηλικιακά θεσμό καθώς ιδρύθηκε το 1987,εποπτεύεται από το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας και συντελεί εθνικό συντονιστικό κέντρο από το 1999.Παράλληλα, εκτελεί τεχνοοικονομικές μελέτες σχετικά με τις ΑΠΕ μελετώντας τον εντοπισμό φυσικών πόρων σε περιοχές του τόπου. Προσφέρει ενημέρωση, οργανώνει και συμμετέχει σε επιστημονικά σεμινάρια και εκδηλώσεις και παρέχει εργαστηριακό υλικό στελεχωμένο για την πιστοποίηση τεχνολογιών ΑΠΕ. Τέλος, προσφέρει καινοτόμες ιδέες και τεχνολογίες για θέματα ιδιωτικού κυρίως τομέα και της τοπικής αυτοδιοίκησης.

2.2.5 Αγορά ΑΠΕ και προοπτικές στην Ελλάδα

Η ηλεκτρική ενέργεια όπως έχουμε πει αποτελεί αδιαμφισβήτητο παράγοντα προόδου της κοινωνίας σε πολλούς τομείς. Βασιζόμενοι σε αυτό και στο ότι κάθε χρόνο η ζήτηση της ενέργειας είναι σε αυξητικό ρυθμό, θεσμοθετήθηκε η εγκατάσταση σταθμών ΑΠΕ για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και σε λίγο καιρό οδηγούμαστε στην απολιγνιτοποίηση της παραγωγής. Το 2020,στην Ελλάδα οι ΑΠΕ ήταν μόλις δεύτερη στη σειρά μορφή παραγωγής ενέργειας σύμφωνα με τον απολογισμό της ΡΑΕ. Ακόμη, το εθνικό σχέδιο για την ενέργεια και το κλίμα (ΕΣΕΚ), αποτελεί βασικό οδηγό για την επίτευξη πολλών ενεργειακών αναγκών μέχρι και το έτος 2030.Συγκεκριμένα, το ΕΣΕΚ θέτει τον στόχο του 35% σε παραγωγή από ΑΠΕ, μόλις 4 μονάδες μεγαλύτερο σε σχέση με το 31% που έχει θέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση^[5].Μια γρήγορη ματιά στα ποσά που θέτει ο ΕΣΕΚ, σύμφωνα με ένα σενάριο διείσδυσης ΑΠΕ στην Ελλάδα την επόμενη δεκαετία φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 2-2: Σενάριο διείσδυσης ΑΠΕ (Πηγή: ΕΣΕΚ)

Γενικότερα, έχει γίνει και θα συνεχίζει να γίνεται προσπάθεια απελευθέρωσης της αγοράς των ΑΠΕ ώστε να αποτελέσουν όχι μόνο μεγάλο ποσοστό στην παραγωγή ενέργειας αλλά και οικονομική λύση συγκριτικά με τους συμβατικούς τρόπους παραγωγής.

2.3 Αιολική ενέργεια

2.3.1 Εισαγωγή

Ο άνεμος, δηλαδή η κίνηση των αερίων μαζών εμπεριέχει ένα ποσό κινητικής ενέργειας που αποκαλείται αιολική ενέργεια. Τα βασικά χαρακτηριστικά του ανέμου είναι η διεύθυνση και η ταχύτητά του^[6]. Η αιολική ενέργεια εκμεταλλεύεται από τις αιολικές μηχανές σε διάφορες διατάξεις που οι βασικότερες από αυτές θα αναλυθούν παρακάτω. Οι αιολικές μηχανές εφόσον γίνει η μελέτη του χώρου εγκατάστασής τους, τοποθετούνται σε συγκεκριμένες διατάξεις, δημιουργώντας τα αιολικά πάρκα. Ακόμη η αιολική ενέργεια βρίσκεται άφθονη στην ατμόσφαιρα και σαν αντικαταστάτης των ορυκτών καυσίμων αποτελεί ατελείωτη, ανανεώσιμη και κυρίως φιλική προς το περιβάλλον μορφή ενέργειας. Μεταξύ άλλων αποτελεί την πιο φθηνή και εύκολα εκμεταλλεύσιμη μορφή από τις υπόλοιπες μορφές ενέργειας^[7]. Παράλληλα, σχετικά με το αιολικό δυναμικό, στην Ελλάδα υπάρχουν πολλές δυνατότητες και προοπτικές για εγκατάσταση αιολικών πάρκων κυρίως στα μη διασυνδεδεμένα νησιά. Τέλος, η αιολική ενέργεια σε βάθος χρόνου παρουσιάζει έντονες διακυμάνσεις σε επίπεδο ωριαίο και μηνιαίο και για αυτό γίνεται η χρήση της μαζί με άλλες μορφές ενέργειας.

2.3.2 Βασικές κατηγορίες ανεμογεννητριών

Αρχικά, η αιολική ενέργεια και ο άνεμος γενικότερα αποτελεί πηγή εκμετάλλευσης από τις αιολικές μηχανές. Οι μηχανές αυτές είναι οι ανεμογεννήτριες και οι βασικότερες κατηγορίες είναι οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα και κατακόρυφου άξονα αντίστοιχα. Η κατηγοριοποίηση αυτή γίνεται με βάση την κατεύθυνση του ανέμου, που συνήθως είναι οριζόντια του εδάφους. Επομένως, οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα έχουν την κίνηση του άξονα περιστροφής τους οριζόντια της κατεύθυνσης του ανέμου και οι κατακόρυφου άξονα κατά αντιστοιχία κάθετα της ροής του ανέμου^[8].

2.3.2.1 Ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα

Οι ανεμογεννήτριες αυτού του είδους αποτελούν την επικρατέστερη μορφή αιολικών μηχανών στα εγκατεστημένα αιολικά πάρκα. Έχουν τον άξονα τους παράλληλο προς την επιφάνεια της γης και της διεύθυνσης του ανέμου. Αποτελούνται συνήθως από 3 πτερύγια και σε ορισμένες περιπτώσεις από 2. Τα πτερύγια είναι σκληρά κατασκευασμένα ώστε να αντέχουν τους πολύ δυνατούς ανέμους και τις δυνάμεις που αναπτύσσονται. Σκοπός είναι να μετατραπεί η γραμμική κίνηση που έχει ο άνεμος σε περιστροφική ώστε να γίνει πιο εύκολη η περιστροφή της εσωτερικής γεννήτριας της ανεμογεννήτριας και εν τέλει να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια. Μέχρι σήμερα όλες οι εγκατεστημένες ανεμογεννήτριες στα υπάρχοντα δίκτυα παραγωγής διαθέτουν κατά βάση έναν δρομέα σαν προπέλα που στηρίζεται σε οριζόντιο άξονα^[9]. Μάλιστα, τα πιο διαδεδομένα συστήματα ανεμογεννητριών όπως είπαμε είναι οι οριζοντίου άξονα, καλύπτοντας το τεράστιο ποσοστό του 95% περίπου, των διαθέσιμων συστημάτων αιολικής ενέργειας^[10]. Παράλληλα, στις ανεμογεννήτριες αυτές υπάρχει μεγάλη εμπειρία οι οποίες έχουν μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης από εκείνες του κάθετου άξονα, η μεταφορά και κατασκευή τους κοστίζει αρκετά και στη λειτουργία τους παράγεται αξιοσημείωτος θόρυβος.

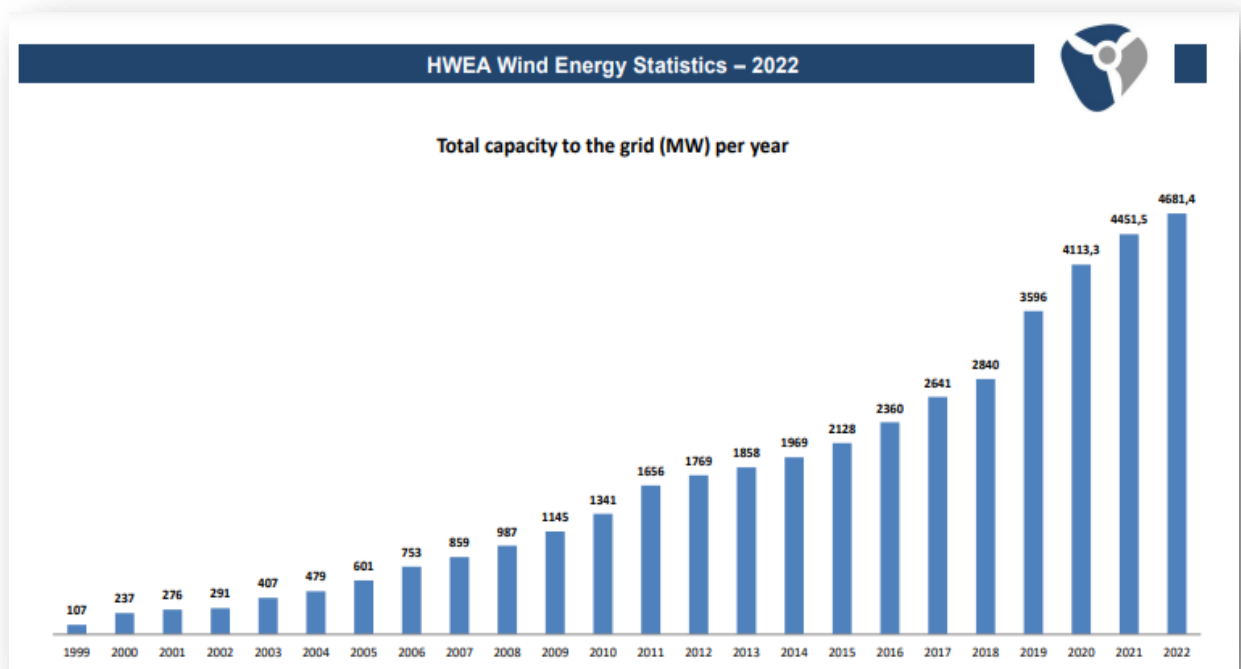
2.3.2.2 Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα

Αυτού του είδους οι ανεμογεννήτριες έχουν κατακόρυφο τον άξονα τους στη διεύθυνση του ανέμου και ένα βασικό πλεονέκτημα είναι ότι εκμεταλλεύονται τον αέρα από οποιαδήποτε διεύθυνση. Οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα στις σημερινές εποχές μπορεί να είναι είτε τύπου Darrieus και Savonius^[11]. Η βασική διαφορά των δύο κατηγοριών είναι ότι στην πρώτη η διαδικασία εκκίνησης είναι ευκολότερη αλλά δεν είναι πολύ αποδοτική ενώ στην δεύτερη η εκκίνηση είναι δυσκολότερη αλλά με καλύτερη απόδοση. Έτσι, έγινε και η κινητοποίηση για την κατασκευή υβριδικού τύπου τέτοιων ανεμογεννητριών με συνδυασμό των δύο κατηγοριών. Ορισμένα χαρακτηριστικά ακόμη των ανεμογεννητριών κατακόρυφου άξονα, είναι ότι κάποια μέρη τους

Μοντελοποίηση και παρακολούθηση έξυπνου υβριδικού δικτύου με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και αποθήκευση μηχανικά συντηρούνται δύσκολα, έχουν χαμηλότερη απόδοση από τις ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα, δουλεύουν με χαμηλότερες μέσες ταχύτητες αέρα παράγοντας λιγότερο θόρυβο. Τέλος, ο τύπος ανεμογεννήτριας Darrieus σημαντικό είναι να ειπωθεί ότι κάνει συνδυασμό χαμηλής μηχανικής ροπής και υψηλής ταχύτητας και αποτελεί κατάλληλο μηχανισμό παραγωγής εναλλασσομένου ρεύματος^[11].

2.3.3 Αξιοποίηση αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα

Από την αρχή της δεκαετίας του 1980 είχε δοθεί η πρώτη ιδέα και προσπάθεια εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα και συγκεκριμένα στο νησί της Κύθνου, εκεί όπου εγκαταστάθηκε και το πρώτο αιολικό πάρκο. Μόλις δέκα χρόνια αργότερα πραγματοποιήθηκε πληθώρα επενδύσεων σε αιολικά πάρκα από ιδιώτες και από τότε μέχρι σήμερα αιολικοί σταθμοί είναι σε λειτουργία σε περιοχές της Ελλάδος όπως η Εύβοια , η Λήμνος , η Λέσβος και σε άλλες πολλές ακόμη. Η χώρα μας επομένως, διαθέτει πλούσιο αιολικό δυναμικό σε όλες σχεδόν της περιοχές της το οποίο τα τελευταία χρόνια έχει αρχίσει να αξιοποιείται σε πολύ καλό βαθμό^[12]. Με βάση την Ελληνική Επιστημονική Ένωση Αιολικής Ενέργειας (ΕΛΕΤΕΑΝ), παρακάτω απεικονίζεται η εικόνα της συνολικής ετήσιας εγκατεστημένης ισχύος σε αιολικά πάρκα ανά τα χρόνια μέχρι και το 2022.



Εικόνα 2-3: Ετήσια παραγωγή αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα (πηγή: ΕΛΕΤΕΑΝ)

Παράλληλα, εμβαθύνοντας σε επίπεδο περιοχών τα ποσά εγκατεστημένης αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα μέχρι το 2022 κατανέμονται ως εξής ανά περιφέρεια.

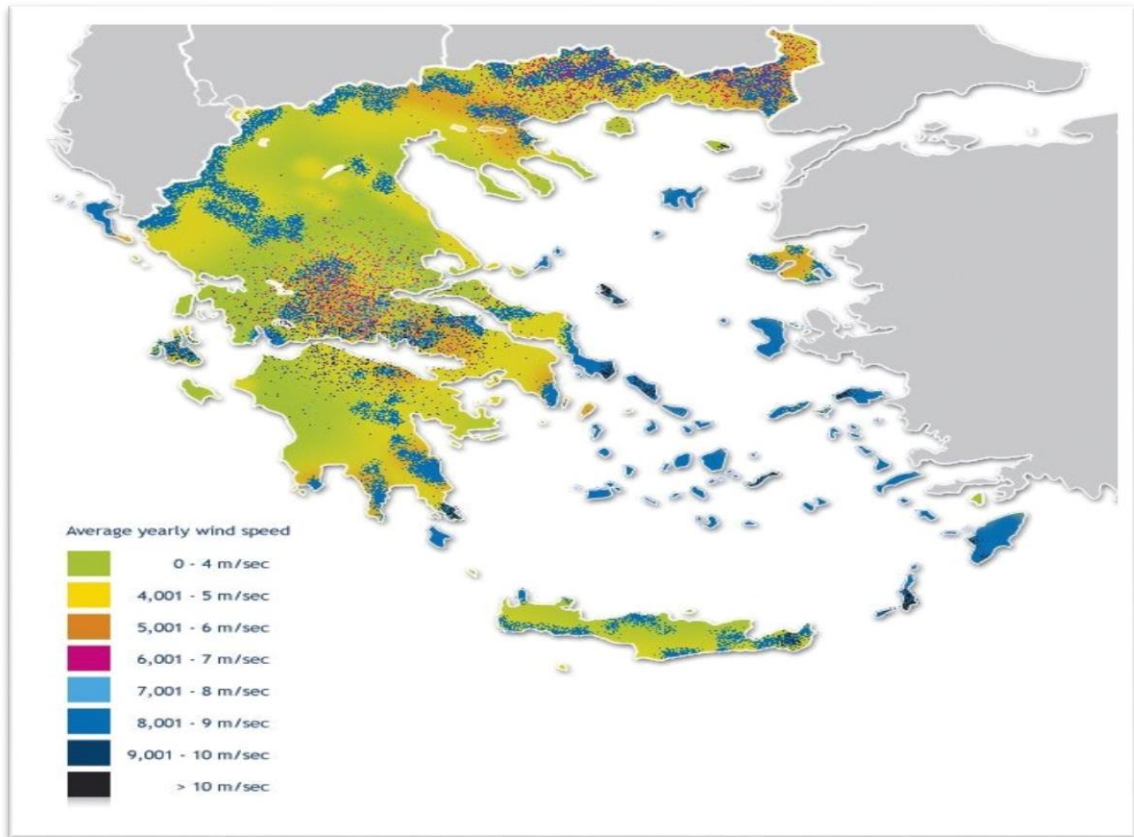


Εικόνα 2-4: Κατανομή εγκατεστημένης αιολικής ισχύος ανά περιφέρεια στην Ελλάδα, 2022 (Πηγή: ΕΛΕΤΕΑΝ)

Εύκολα παρατηρείται ότι οι περιοχές της Στερεάς Ελλάδας, της Πελοποννήσου και του Έβρου έχουν τα μεγαλύτερα ποσά εγκατεστημένης αιολικής ισχύος. Από την άλλη στα νησιά του Αιγαίου παρατηρείται μικρότερη σε ποσό παραγωγή καθώς το δίκτυο είναι πιο ασταθές συγκριτικά με την ηπειρωτική χώρα.

Σημαντικό είναι να ειπωθεί ότι δεδομένου του πλούσιου αιολικού δυναμικού της Ελλάδας, τα τελευταία χρόνια είναι θερμό το ενδιαφέρον όλων των επενδυτών για την εγκατάσταση υπεράκτιων αιολικών πάρκων, μιας και η απόδοση των αιολικών στην θάλασσα είναι μεγαλύτερη εκείνης στην ξηρά. Τέτοια σημεία για την τοποθέτηση αυτού του είδους πάρκων είναι σαφώς τα νησιά της χώρας όπου παρατηρείται τους καλοκαιρινούς μήνες έντονο ενδιαφέρον.

Από την απεικόνιση που ακολουθεί βάσει ταχυτήτων ανέμου, φαίνεται ότι στα μη διασυνδεδεμένα νησιά υπάρχει έντονο αιολικό ενδιαφέρον. Στα νησιά αυτά συγκαταλέγεται και το νησί της Σίφνου. Συγκεκριμένα οι τιμές για τις μέσες ταχύτητες ανέμου έχουν ως εξής. Για τιμές < 4m/s έχουμε ανεπαρκές αιολικό δυναμικό, για τιμές 4-5.5m/s χαμηλό, για 5.5-7m/s μέσο, για 7-9m/s υψηλό και για τιμές >9m/s το αιολικό δυναμικό είναι πολύ υψηλό^[13].



Εικόνα 2-5: Εικόνα μέσης ταχύτητας ανέμου στην Ελλάδα (Πηγή: ΚΑΠΕ)

Άρα παρατηρείται εύκολα στο σημείο αυτό οι πολλές προοπτικές για εγκατάσταση αιολικών πάρκων σε όλη την Ελλάδα αλλά και στα μη διασυνδεδεμένα νησιά της.

2.4 Ηλιακή ενέργεια

2.4.1 Εισαγωγή

Με τον όρο ηλιακή ενέργεια αναφερόμαστε στην ενέργεια που προέρχεται από τον ήλιο. Η ενέργεια αυτή αξιοποιείται μέσω τεχνολογιών που δεσμεύουν την θερμική και ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία του ηλίου, μέσω πολλών μηχανικών μέσων. Η κίνηση αυτή πραγματοποιείται για την δέσμευση, αποθήκευση και διανομή της^[14]. Το συνολικό ποσό ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στην Γη εκτιμάται ότι είναι αρκετό να καλύψει τις ανάγκες της ανθρωπότητας τώρα και μελλοντικά. Ο κυριότερος και συνηθέστερος τρόπος αξιοποίησης της ενέργειας του ηλίου είναι μέσω των φωτοβολταϊκών συστημάτων, εκεί όπου η προσπίπτουσα ακτινοβολία του ηλίου μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια^[1]. Σχετικά με την ηλιακή ενέργεια στην Ελλάδα, όπως γίνεται και με την αιολική ενέργεια, λόγω του αξιοσημείωτου ηλιακού δυναμικού, έχει αρχίσει να αξιοποιείται σε καλό βαθμό η κατάσταση σχετικά με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σταθμών τόσο στην ηπειρωτική χώρα όσο και στα μη διασυνδεδεμένα νησιά.

2.4.2 Φωτοβολταϊκά συστήματα

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα ή αλλιώς ηλιακά συστήματα χρησιμοποιούν διατάξεις ημιαγωγών και στοιχείων για την μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Οι διατάξεις αυτές ονομάζονται φωτοβολταϊκά πλαίσια. Το κάθε φωτοβολταϊκό πλαίσιο αποτελείται από κυψέλες φτιαγμένες από στρώματα ημιαγωγών, κυρίως κρυσταλλικού πυριτίου σε υλικό, τα οποία δεσμεύουν την ηλιακή ενέργεια μετατρέποντάς την σε ηλεκτρική, ακολουθώντας το φωτοβολταϊκό φαινόμενο^[15].

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται για την αθόρυβη λειτουργία τους, την αξιοπιστία και τον μεγάλο χρόνο ζωής που διαθέτουν, γύρω στα 10-15 έτη. Διαθέτουν την δυνατότητα διεύρυνσης του πεδίου χρήσης τους ανάλογα με το μέγεθος της κατανάλωσης και το είδος της αποθήκευσης ενέργειας εφόσον υπάρχει. Αποτελούν την καλύτερη και συνηθέστερη μορφή αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας βάσει απόδοσης και επένδυσης και μπορούν να τροφοδοτήσουν πολλές καταναλώσεις. Τέτοιες μπορεί να είναι η τροφοδότηση μιας οικείας ή μιας βιομηχανίας, ένας ιδιώτης που πουλά ενέργεια στο δίκτυο και ακόμη και σε δίκτυα μεγάλα συνδεδεμένα με το δίκτυο.

Τα κύρια είδη των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι τα αυτόνομα και τα διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα. Υπάρχει και η κατηγορία των υβριδικών συστημάτων για τα οποία θα μιλήσουμε εκτενέστερα στη συνέχεια του κεφαλαίου.

Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούν την καλύτερη λύση για τροφοδότηση απομακρυσμένων περιοχών ή οποιασδήποτε άλλης κατανάλωσης, όπου δεν είναι εφικτή η τροφοδότηση είτε από το δίκτυο είτε από άλλη συμβατική πηγή ενέργειας. Σε αυτή την κατηγορία μπορούν να ενταχθούν και τα μη διασυνδεδεμένα βιομηχανικά συστήματα που αποτελούν οικονομική επιλογή και βρίσκουν εφαρμογή κυρίως στον τομέα των τηλεπικοινωνιών για την διασύνδεση των απομακρυσμένων περιοχών ενός τόπου ^[16].

Από την άλλη, τα διασυνδεδεμένα συστήματα, υπάρχουν σε σταθερά σημεία κυρίως και η ισχύς τους είναι μεγάλη της τάξεως των kW ακόμη και MW. Τα συστήματα αυτά μπορούν να βρεθούν όχι μόνο σε απόμακρες περιοχές όπου υπάρχει δίκτυο αλλά και σε περιοχές του δικτύου της ηπειρωτικής χώρας.

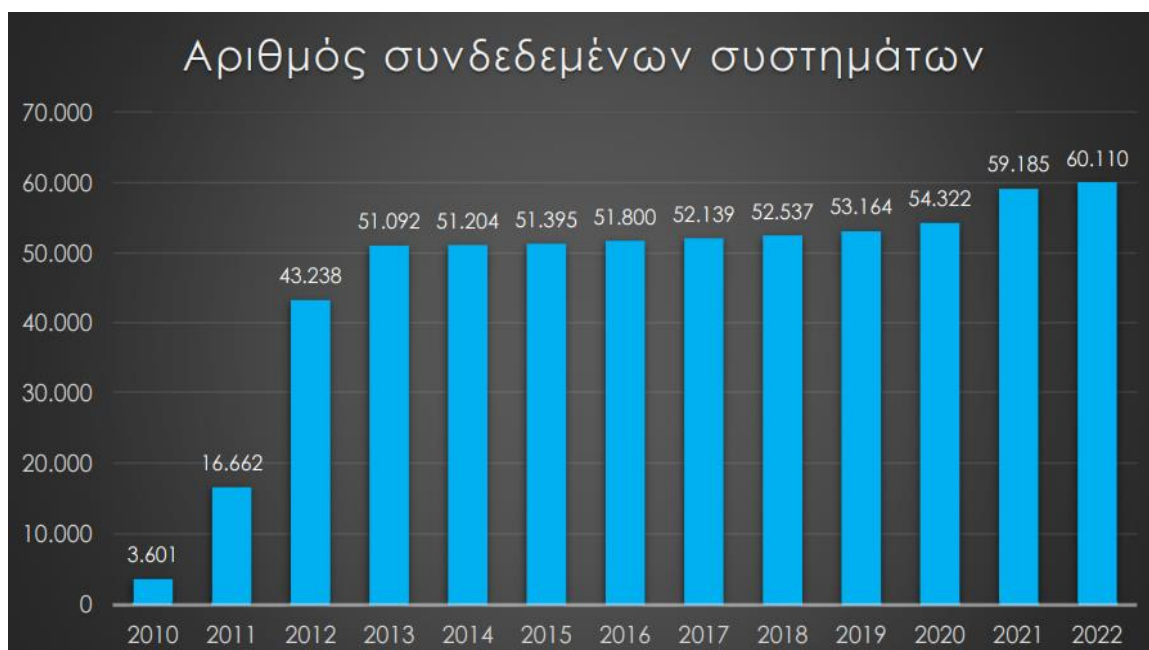
2.4.3 Αξιοποίηση ηλιακής ενέργειας στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα, συγκεκριμένα το έτος 2019, έγινε μια αξιοσημείωτη κινητοποίηση των επενδυτών σχετικά με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάρκων σε όλη τη χώρα, καθώς η αγορά ενέργειας εμφάνισε μόλις 3% αύξηση και κινητικότητα, φτάνοντας στις εκατοντάδες MW παραγωγής ετησίως. Όμως παραμένει σε χαμηλά επίπεδα σχετικά με το δυναμικό της χώρας. Μάλιστα, σχετικά με την παραγωγή από φωτοβολταϊκά συστήματα, στην Ελλάδα υπάρχει 7% κάλυψη των αναγκών από τέτοιου είδους επενδύσεις και αναμένεται το ποσό να αυξηθεί^[17].

Με βάση νεότερα στοιχεία μέχρι και την εκτίμηση της χρονιάς 2022 η εικόνα της αγοράς σε φωτοβολταϊκά πάρκα στην Ελλάδα είναι η εξής βάσει την νεότερη ανακοίνωση του Συνδέσμου Εταιριών Φωτοβολταϊκών(Σ.Ε.Φ). Τα στοιχεία αφορούν για το έτος 2010 έως το 2022, από τότε δηλαδή που άρχισε η άνθηση της παραγωγής από φωτοβολταϊκά και η γενικότερη εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας.



Εικόνα 2-6: Ελληνική αγορά φωτοβολταϊκών στην διάρκεια 2010-2022



Εικόνα 2-7: Συνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα στην διάρκεια 2010-2022

Παρατηρείται από τις παραπάνω εικόνες ότι ο αριθμός των συνδεδεμένων φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ελλάδα είναι σε αυξητική πορεία, ιδίως στην μετάβαση από το 2010 έως το 2012. Μέχρι και σήμερα είναι σε εξέλιξη η διείσδυση των φωτοβολταϊκών πάρκων, τόσο στην ηπειρωτική χώρα όσο και στα μη διασυνδεδεμένα νησιά.

2.5 Υβριδικά δίκτυα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

2.5.1 Εισαγωγή

Στα πλαίσια της αντιμετώπισης των οικονομικών και οικολογικών προβλημάτων που προκαλούν οι συμβατικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τα τελευταία χρόνια έχει προχωρήσει η διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας τόσο ανεξάρτητα όσο και στην μορφή υβριδικών δικτύων. Αυτή η εικόνα παρατηρείται κυρίως στα μη διασυνδεδεμένα νησιά (ΜΔΝ) της χώρας, όπου υπάρχουν έντονες εποχιακές διακυμάνσεις των φορτίων και όχι μόνο. Για αυτό θα γίνει αναφορά στα υβριδικά συστήματα αυτά με την συμμετοχή έστω μιας μονάδας ΑΠΕ. Με τον όρο υβριδικό δίκτυο εννοούμε το δίκτυο που αποτελείται από δύο τουλάχιστον ή παραπάνω πηγές ενέργειας και ακόμη θα αναλυθούν τα βασικά μέρη ενός τέτοιου δικτύου^[18]. Θα γίνει δηλαδή αναφορά στα αυτόνομα υβριδικά δίκτυα γενικά και με πιο πολύ έμφαση σε αυτά των μη διασυνδεδεμένων νησιών, που αφορούν και το κομμάτι της μελέτης της διπλωματικής αυτής.

2.5.2 Κυριότερες μορφές υβριδικών δικτύων

Με βάση τις τοπικές ανάγκες σε ενέργεια και τις προοπτικές ανάπτυξης του κατάλληλου σταθμού παραγωγής στα μη διασυνδεδεμένα νησιά της χώρας, επιλέγεται η αντίστοιχη επένδυση σε ένα τέτοιο έργο. Η κυριότερη μορφή υβριδικού δικτύου που επιλέγεται είναι τα φωτοβολταϊκά με τα αιολικά πάρκα αξιοποιώντας τόσο τον ήλιο όσο και τον αέρα των νησιών κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες. Ακόμη, δημιουργείται και η ανάγκη ενός συστήματος αποθήκευσης λόγω των διακυμάνσεων φορτίου που παρουσιάζουν τα φωτοβολταϊκά με τις ανεμογεννήτριες. Συμπληρωματική παραγωγή αποτελεί και η χρήση ενός συμβατικού σταθμού παραγωγής, με κύρια εκδοχή τους σταθμούς ντίζελ, όπου μπορούν να καλύπτουν το μεγαλύτερο ποσό της ζήτησης^[19]. Στη συνέχεια ως επιπρόσθετο υλικό θα αναφερθούμε και σε άλλες μορφές υβριδικών δικτύων με ανανεώσιμες πηγές, όπως η βιομάζα και η γεωθερμία, που αξίζουν αναφοράς.

2.5.2.1 Φωτοβολταϊκά και αιολικά συστήματα

Το πρώτο υβριδικό σύστημα που αναφέρεται είναι ένα από τα κυριότερα συστήματα που εφαρμόζονται κυρίως στα μη διασυνδεδεμένα νησιά. Συνδυάζει την παραγωγή από ανεμογεννήτριες και φωτοβολταϊκά, υποστηριζόμενα από συσσωρευτές^[20]. Βάσει του πλούσιου αιολικού και ηλιακού δυναμικού της χώρας στα περισσότερα μη διασυνδεδεμένα νησιά εφαρμόζεται αυτού του είδους το υβριδικό δίκτυο. Συγκεκριμένα, παρέχει σε εικοσιτετράωρη βάση παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας εκμεταλλευόμενο τον ήλιο και τον αέρα και αλληλοσυμπληρώνει την παραγωγή με συσσωρευτές. Η παραγωγή των φωτοβολταϊκών, όπου τις πρωινές και βραδινές ώρες δεν παράγουν ηλεκτρική ενέργεια λόγω μη διαθεσιμότητας ηλιακής ενέργειας, υποστηρίζεται είτε από τις ανεμογεννήτριες είτε από τους συσσωρευτές. Μάλιστα, είναι πολύ σημαντική η μελέτη της εικόνας των καιρικών φαινομένων πριν την εγκατάσταση ενός τέτοιου υβριδικού δικτύου καθώς μπορούν να επηρεαστούν τα δεδομένα λόγω μορφολογίας του εκάστοτε νησιού. Ακόμη, μπορεί να υπάρξουν εμπόδια και άλλου είδους τεχνικά προβλήματα στο δίκτυο όπου θα πρέπει να μεριμνά ο χρήστης προς άμεσης επίλυσής τους^[21].

2.5.2.2 Φωτοβολταϊκά, αιολικά και συμβατικά συστήματα

Ένα σύστημα για να θεωρηθεί ως υβριδικό, δεν είναι αναγκαίο και οι δύο ή όλες οι πηγές του να είναι ανανεώσιμες. Επομένως στην υποενοότητα αυτή θα γίνει αναφορά σε υβριδικά δίκτυα είτε με φωτοβολταϊκούς-συμβατικούς σταθμούς, είτε με αιολικούς-συμβατικούς σταθμούς είτε με συνδυασμό αυτών των τριών. Σχετικά με την επιλογή του συμβατικού σταθμού χρησιμοποιούνται σταθμοί ντίζελ ή σταθμοί βενζίνης. Βάσει μελετών και δοκιμών προτιμώνται οι σταθμοί ντίζελ για

Μοντελοποίηση και παρακολούθηση έξυπνου υβριδικού δικτύου με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και αποθήκευση
οικονομικούς κυρίως λόγους. Σε ένα τέτοιο υβριδικό δίκτυο, λοιπόν, η λειτουργία της μονάδας ΑΠΕ, είτε πρόκειται για φωτοβολείται είτε για ανεμογεννήτρια είτε και για τα δυο, καθιστά ομαλή την λειτουργία του δικτύου και λειτουργεί ως συμπληρωματικό στοιχείο. Για τον λόγο αυτό και σε αυτού του είδους το δίκτυο η μονάδα ή οι μονάδες ΑΠΕ διαθέτουν σύστημα αποθήκευσης. Σε περίπτωση που η ενέργεια που αποδίδουν οι μονάδες ΑΠΕ δεν είναι αρκετή για την ζήτηση, λόγω έντονων διακυμάνσεων, σε ορισμένες χρονικές στιγμές, μόνο τότε θα αρχίσει να παρεμβαίνει λειτουργικά η συμβατική μονάδα του δικτύου. Αυτού του είδους τα υβριδικά δίκτυα είναι τα επικρατέστερα στον χώρο των μη διασυνδεδεμένων νησιών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το νησί της Τήλου το οποίο χρησιμοποιεί μονάδες ΑΠΕ από φωτοβολταϊκά και αιολικά και σύστημα αποθήκευσης ως υβριδικό δίκτυο έχοντας συμβατικές μονάδες σε εφεδρεία για να λειτουργούν όποτε υπάρξει κάποιο πρόβλημα όπως αναφέραμε παραπάνω^[12].

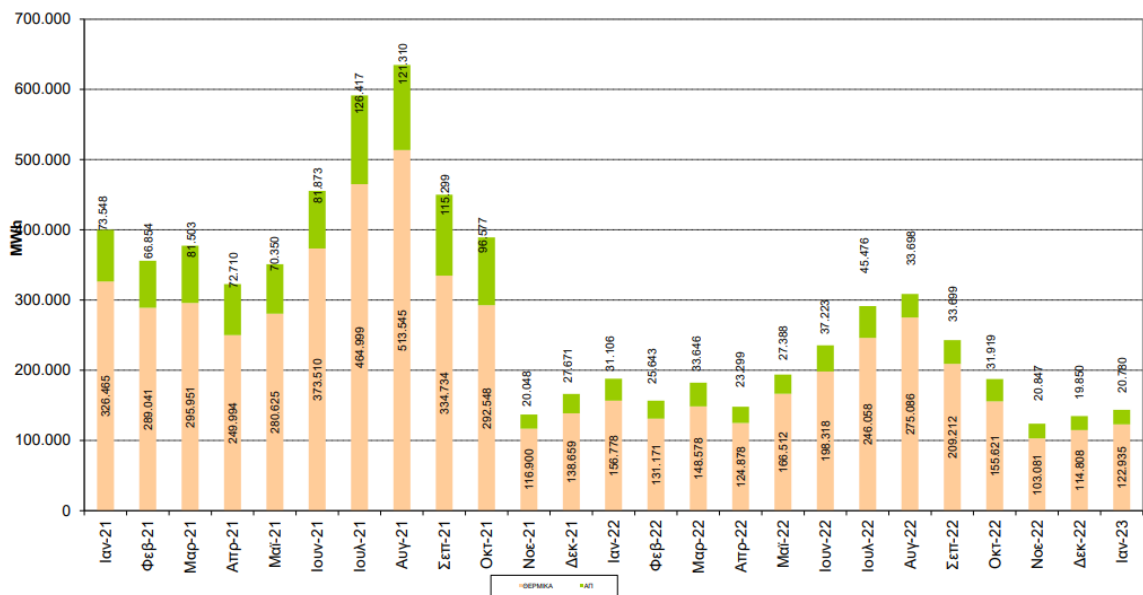
2.5.2.3 Αιολικά και υδροηλεκτρικά συστήματα

Σε όλα τα νησιά του Αιγαίου εκτός από την Κρήτη υπάρχει όπως είπαμε και πριν ένας τοπικός σταθμός παραγωγής συμβατικού καυσίμου και κυρίως ντίζελ, πράγμα που κάνει την υπόθεση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας πολύ δαπανηρή διαδικασία. Από την άλλη, παρατηρείται εκθετική αύξηση παραγωγής από ανεμογεννήτριες σε παγκόσμιο επίπεδο, πόσο μάλιστα σε περιοχές των νησιών όπου έχουμε ταχύτητες ανέμου έως και 9m/s κατά μέσο όρο στο έτος. Το κύριο πρόβλημα όμως σε αυτά τα νησιά είναι η διατήρηση μιας σταθερής παροχής ενέργειας στο δίκτυο, μιας και η ζήτηση που παρατηρείται αυξάνεται κατά γραμμικό τρόπο με το πέρασ κάθε έτους. Επομένως, η βέλτιστη λύση για το συμπλήρωμα σε ενέργεια που θα χρειαστούν οι εγκατεστημένες ανεμογεννήτριες είναι η χρήση υδροηλεκτρικής μονάδας παραγωγής^[22]. Ο υδροηλεκτρικός σταθμός σύμφωνα και με έρευνες αποτελεί όχι μόνο συμπληρωματική πηγή ενέργειας στις διακυμάνσεις φορτίου των αιολικών αλλά και πηγή αποθήκευσης αυτής της ενέργειας. Το δίκτυο αυτό μπορεί να εφαρμοστεί σε μεσαίου μεγέθους νησιά της χώρας. Ένα αξιόλογο παράδειγμα είναι ο σταθμός ΝΑΕΡΑΣ που εγκαινιάστηκε το 2019 στο νησί της Ικαρίας και συνδυάζει αιολική και υδροηλεκτρική ενέργεια. Αποτελείται από ένα αιολικό πάρκο και δυο μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς συντελώντας ως ένα υβριδικό δίκτυο με την λειτουργία που αναφέραμε προηγουμένως^[23].

2.5.3 Προοπτικές υβριδικών δικτύων ΑΠΕ των ΜΔΝ

Στο πλαίσιο της βιώσιμης ανάπτυξης και ενεργειακής αυτονομίας των μη διασυνδεδεμένων νησιών αλλά και της μελλοντικής διασύνδεσής τους με το δίκτυο της ηπειρωτικής χώρας, αξίζει να γίνει αναφορά στην σημασία και τις προοπτικές εγκατάστασης υβριδικών δικτύων ΑΠΕ. Στην προσπάθεια διασύνδεσης με το δίκτυο, τα ΜΔΝ χρησιμοποιούν έως τώρα σε μεγαλύτερο βαθμό

Μοντελοποίηση και παρακολούθηση έξυπνου υβριδικού δικτύου με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και αποθήκευση ενέργεια από συμβατικούς σταθμούς ντίζελ για το μεγαλύτερο ποσοστό της ζήτησης που παρατηρείται. Μια καλύτερη εικόνα έχουμε παρακάτω με βάση τον ΔΕΔΔΗΕ στα ΜΔΝ της χώρας.



Εικόνα 2-8: Ηλεκτροπαραγωγή ΜΔΝ από Ιανουάριο 2021-2023

Όπως βλέπουμε εύκολα με το πορτοκαλί χρώμα η θερμική παραγωγή από τους συμβατικούς σταθμούς των ΜΔΝ υπερτερεί της παραγωγής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (με πράσινο χρώμα).

Έτσι, το ρυθμιστικό πλαίσιο της Ελλάδος σχετικά με την περίπτωση των ΜΔΝ, βάσει κατάλληλων συστημάτων θέλει να επιδιώξει όχι μόνο 20% παραγωγή αποκλειστικά από υβριδικά ΑΠΕ συνολικά αλλά και να εδραιώσει καινοτόμες και σημαντικές αρχές διαχείρισης των υβριδικών σταθμών ΑΠΕ στα ΜΔΝ, όπως γίνεται και στην περίπτωση του διασυνδεδεμένου δικτύου. Ακόμη, προβλέπει έτσι την όσο το δυνατό μεγιστοποίηση διείσδυσης των ΑΠΕ με την ταυτόχρονη ελαχιστοποίηση του κόστους των συμβατικών μονάδων παραγωγής και στοχεύει στην ασφάλεια των δικτύων αυτών αποφεύγοντας οποιαδήποτε διαταραχή στην κάλυψη της ζήτησης λόγω διακυμάνσεων φορτίου ή παρουσία σοβαρής βλάβης^[24]. Ένας πολύ καλός τρόπος για να επιτευχθεί μια τέτοιου είδους αξιολόγηση και εκτίμηση παραγωγής και ζήτησης στα ΜΔΝ είναι η διαδικασία που εκτελεί εδώ και κάποιο καιρό ο ΔΕΔΔΗΕ. Συγκεκριμένα λαμβάνονται σημαντικά στοιχεία εισόδου όπως η ζήτηση των εκάστοτε δικτύων, η παραγωγή της συμβατικής παραγωγής και τα στοιχεία αιολικών και ηλιακών δεδομένων σε χρονοσειρά ημερών, μηνών αλλά και ετησίως^[25]. Από αυτή τη μελέτη αποτέλεσμα είναι μέχρι και 35% δυνατότητες διείσδυσης υβριδικών ΑΠΕ και σε ποσοστά άνω της τιμής αυτής απαιτείται αποθηκευτικό σύστημα.

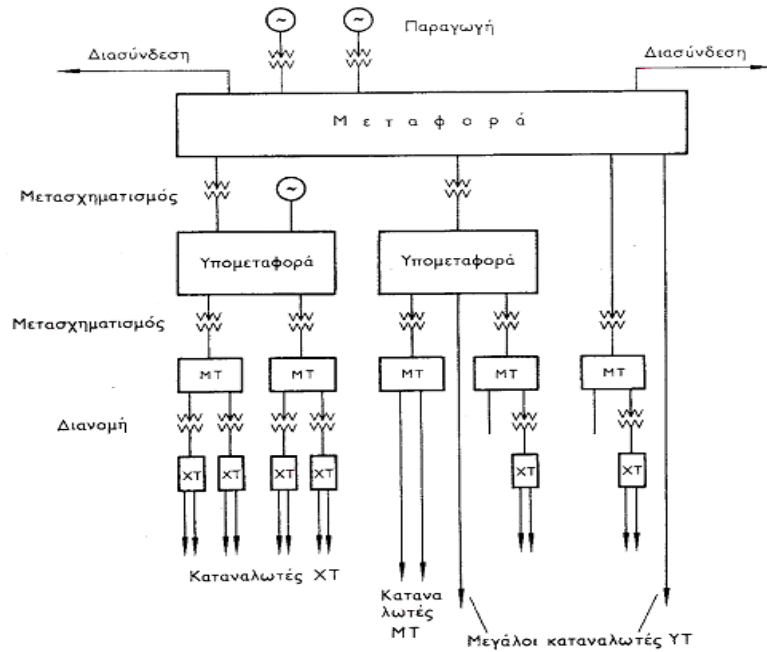
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : Ανάλυση ροών φορτίου ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας

3.1 Εισαγωγή

Στα πλαίσια του κεφαλαίου αυτού θα γίνει ανάλυση των ροών φορτίου σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, πράγμα που συμβάλλει στο κομμάτι της μελέτης στη συνέχεια της διπλωματικής. Αρχικά, με τον όρο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, εννοούμε ένα σύνολο τεχνολογιών και μέσων που ως απώτερο σκοπό έχουν την κάλυψη των αναγκών ενός τόπου σε ηλεκτρική ενέργεια^[26]. Ένα τέτοιο ΣΗΕ πρέπει να λειτουργεί υπό ορισμένες βασικές αρχές οι οποίες θα αναλυθούν εκτενώς στο κεφάλαιο αυτό. Παράλληλα, το πρόβλημα των ροών φορτίου που ασχολείται κυρίως με την μόνιμη λειτουργία ενός συστήματος, θα μας απασχολήσει ιδιαίτερα εδώ και θα γίνει εκτενής ανάλυση στα στοιχεία και στις μεθόδους επίλυσης. Η επίλυση πραγματοποιείται κάτω από συγκεκριμένους περιορισμούς που αναλύονται στην ενότητα αυτή με δύο κυρίαρχες μεθόδους, την μέθοδο Newton-Raphson και την μέθοδο Gauss-Scheidel. Τέλος, η μελέτη ροής φορτίου αποτελεί βασικό πυλώνα του σχεδιασμού και της οικονομικής ευημερίας ενός ΣΗΕ και μάλιστα συνδράμει στην ευκολότερη ανταλλαγή ισχύος μεταξύ των μονάδων του συστήματος^[27].

3.2 Δομή και αρχές λειτουργίας ενός ΣΗΕ

Εμβαθύνοντας στον τομέα των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, στην υποενότητα αυτή θα γίνει παραπομπή τόσο στην δομή όσο και στην λειτουργία τους. Στόχος ενός συστήματος είναι η κάλυψη των αναγκών σε ενεργό και άεργο ισχύ, στα διασυνδεδεμένα φορτία που το περικλείουν. Πρέπει να παρέχεται ενέργεια οποιαδήποτε στιγμή απαιτείται ζήτηση, σε οποιοδήποτε χρονικό επίπεδο και πρέπει να επιτυγχάνεται σταθερή συχνότητα, σταθερή τάση και μεγάλη αξιοπιστία τροφοδότησης. Η δομή ενός ΣΗΕ εξαρτάται αρκετά από το μέγεθός του, το ίδιο και η πολυπλοκότητά του. Τα σύγχρονα ΣΗΕ διακρίνονται ακολουθώντας στα συστήματα παραγωγής, όπου παράγεται ενέργεια σε σταθμούς υψηλής τάσης, στα συστήματα μεταφοράς, τα οποία συνδέουν τους σταθμούς παραγωγής μεταξύ τους και μεταφέρουν την ενέργεια στους καταναλωτές και στα συστήματα διανομής εκεί όπου η ηλεκτρική ενέργεια διανέμεται στους καταναλωτές μέσω χαμηλής τάσης^[28].



Σχήμα 3-1: Βασική δομή ενός ΣΗΕ

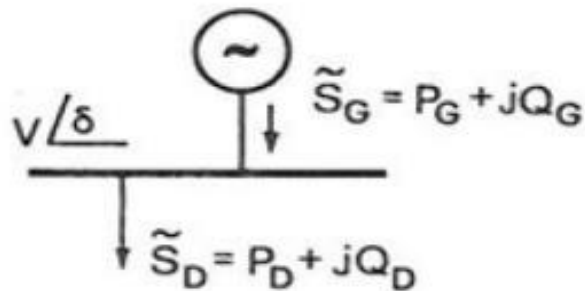
Από την άλλη, η αρχή λειτουργίας των ΣΗΕ στηρίζεται στο ότι πρέπει να υπάρχει καλή εποπτεία και έλεγχος της κατάστασης, προκειμένου να αποφευχθούν σφάλματα. Για τον λόγο αυτό υπάρχουν συνθήκες και συμβατικά όρια που πρέπει να τηρούνται για την διασφάλιση της ποιότητας και λειτουργίας των ΣΗΕ. Συγκεκριμένα, στο επίπεδο της κατανάλωσης, πρέπει οι παρεχόμενες τάσεις στους καταναλωτές να μην υπερβαίνουν τα όρια του $\pm 5\%$ της ονομαστικής τους τιμής. Διαφορετικά θα διατρέξει κίνδυνος στην ασφάλεια και στη μελλοντική λειτουργία του συστήματος. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί γενικότερα ότι τον τελευταίο καιρό έχουν εισέλθει στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας οι ανανεώσιμες πηγές ως τρόπος παραγωγής φιλικός προς το περιβάλλον και ως ευφυής λύση του προβλήματος των έως τώρα υφιστάμενων συμβατικών σταθμών παραγωγής^[29].

3.3 Μελέτη ροών φορτίου

Το θέμα της ανάλυσης ροών φορτίου (ή ροής ισχύος) σε ένα ΣΗΕ στηρίζεται στον υπολογισμό όλων των τάσεων κατά μέτρο και γωνία σε όλους τους ζυγούς. Μάλιστα, εμβαθύνει στην εύρεση των ροών άεργου και ενεργού ισχύος όλων των γραμμών του συστήματος σε ένα συγκεκριμένο σημείο, που το ορίζουν οι καταναλώσεις φορτίου, η παραγωγή ενεργού ισχύος και οι τάσεις των γεννητριών. Οι γραμμές μεταφοράς παριστάνονται ως ένα ισοδύναμο κύκλωμα τύπου 'Π'. Η μελέτη των ροών φορτίου χρήζει μεγάλης σημασίας σε ένα ΣΗΕ καθώς επιτυγχάνεται έλεγχος των ροών

Μοντελοποίηση και παρακολούθηση έξυπνου υβριδικού δικτύου με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και αποθήκευση και των τάσεων, ώστε να τηρούν τα επιτρεπτά όρια, γίνεται μέριμνα για μελέτες σχετικά με την επέκταση του συστήματος και την μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας και παρέχεται οικονομική αξιοποίηση του εξοπλισμού του συστήματος. Τέτοιο παράδειγμα αξιοποίησης είναι η επιλογή κατάλληλης οικονομικά γεννήτριας για παραγωγή ενέργειας βάσει αναγκών^[30]. Παράλληλα, σχετικά με τους ζυγούς ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, οι σημαντικότεροι τύποι ζυγών που παρουσιάζονται κατά τη μελέτη των ροών φορτίου είναι τρεις. Έχουμε αρχικά το ζυγό ταλάντωσης ή αναφοράς (ή slack bus), ο οποίος παράγει ενέργεια με σταθερή τάση και παίζει τον ρόλο αντιστάθμισης της ισχύος σε διαταραχές και απώλειες του δικτύου. Έπειτα υπάρχει ο ζυγός παραγωγής, στον οποίο γνωρίζουμε την ενεργό ισχύ κατά μέτρο και την τάση. Προς προσδιορισμό είναι η άεργος ισχύς και η γωνία της τάσης. Τέλος, ο ζυγός φορτίου, όπου είναι γνωστή η ισχύς ζήτησης και άγνωστη η τάση κατά μέτρο και γωνία^[31].

Επιπρόσθετα, για την καλύτερη μελέτη ροής φορτίου σε ένα σύστημα, αξίζει να γίνει αναφορά στις σημαντικότερες μεταβλητές που υπάρχουν σε αυτό. Ενδεικτικό παράδειγμα αποτελεί το παρακάτω σχήμα του οποίου οι μεταβλητές άλλοτε είναι γνωστές και άλλοτε άγνωστες σε μια μελέτη, πάνω σε ένα ζυγό.

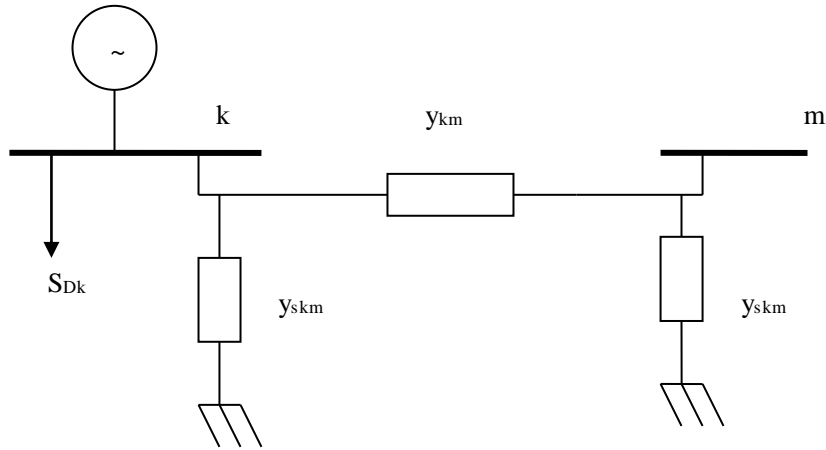


Σχήμα 3-2: Βασικά μεγέθη σε ένα ζυγό

Τα μεγέθη λοιπόν που συναντάμε, είναι οι ανεξάρτητες μεταβλητές ζήτησης ή διαταραχής (P_D, Q_D), οι μεταβλητές ελέγχου που αφορούν την παραγωγή (P_G, Q_G) και οι εξαρτημένες μεταβλητές κατάστασης (V, δ). Τα μεγέθη αυτά είναι περισσότερα σε αριθμό όσο μεγαλύτερο είναι το ΣΗΕ άρα και ο αριθμός των ζυγών.

3.4 Εξισώσεις ροών φορτίου

Προχωρώντας στο κεφάλαιο αυτό, θα παρουσιαστούν τώρα οι βασικές εξισώσεις ροών φορτίου σε ένα τρέχον ΣΗΕ, προς επίλυση και στη συνέχεια θα αναλυθούν σε υποενότητες οι δύο μέθοδοι επίλυσής τους. Για την αναπαράσταση των εξισώσεων αυτών όμως αρκεί να έχουμε μια απεικόνιση ενός συστήματος. Στο παρακάτω σχήμα έχουμε την εικόνα ενός συστήματος με πλήθος ζυγών.



Σχήμα 3-3: Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας

Στο σχήμα αυτό όπως είπαμε και πριν οι γραμμές παριστάνονται με κύκλωμα τύπου ‘Π’ και εδώ το m δηλώνει τον αριθμό των ζυγών που είναι συνδεδεμένοι με τον ζυγό k. Ξεκινάμε εφαρμόζοντας απλούς κανόνες. Για το ρεύμα από τους ζυγούς k-m ισχύει:

$$\tilde{I}_{km} = (y_{skm} + y_{km}) \cdot \tilde{V}_k - y_{km} \cdot \tilde{V}_m \quad (3.1)$$

Εφαρμόζοντας τον νόμο ρευμάτων Kirchhoff στον ζυγό k.

$$\tilde{I}_{Gk} - \tilde{I}_{Dk} = \sum_{m \in a(k)} \tilde{I}_{km} \quad (3.2)$$

Το στοιχείο $a(k)$ είναι το σύνολο ζυγών που είναι συνδεδεμένοι στον ζυγό k. Στη συνέχεια αντικαθιστώντας την εξίσωση (3.1) στην (3.2) έχουμε ως εξής.

$$\tilde{I}_{Gk} - \tilde{I}_{Dk} = \tilde{V}_k \cdot \sum_{m \in a(k)} (y_{skm} + y_{km}) - \sum_{m \in a(k)} y_{km} \cdot \tilde{V}_m \quad (3.3)$$

Γνωρίζοντας ότι η φαινόμενη ισχύς σε ένα ζυγό είναι το γινόμενο της τάσης επί του ρεύματος στο συζυγή, θα έχουμε για τα ρεύματα.

$$\tilde{I}_{Dk} = \frac{\tilde{S}_{Dk}^*}{\tilde{V}_k} \quad \text{και} \quad \tilde{I}_{Gk} = \frac{\tilde{S}_{Gk}^*}{\tilde{V}_k} \quad (3.4)$$

Εντάσσοντας τις φαινόμενες ισχύεις τις εξίσωσης (3.4) στην εξίσωση (3.3) έχουμε:

$$\tilde{S}_{Gk} - \tilde{S}_{Dk} = \left| \tilde{V}_k \right|^2 \cdot \sum_{m \in a(k)} (y_{skm}^* + y_{km}^*) - \tilde{V}_k \cdot \sum_{m \in a(k)} y_{km}^* \cdot V_m^* \quad (3.5)$$

Προκειμένου να παρουσιαστεί η υβριδική μορφή των εξισώσεων ροής φορτίου, που βοηθά αργότερα στην επίλυση των μεθόδων, θέτουμε τα εξής.

$$\tilde{V} = V \cdot e^{j\delta} \quad \text{και} \quad y = g + jb \quad (3.6)$$

Αντικαθιστώντας το ζεύγος των εξισώσεων στην (3.6) πάνω στην εξίσωση (3.5) και διαχωρίζοντας όπως είναι γνωστό, το φανταστικό από το πραγματικό μέρος, λαμβάνουμε δύο εξισώσεις για την ενεργό και άεργο ισχύ. Αναλυτικότερα:

$$P_{Gk} - P_{Dk} = V_k^2 \cdot \sum_{m \in a(k)} (g_{skm} + g_{km}) - V_k \cdot \sum_{m \in a(k)} V_m \cdot [g_{km} \cdot \cos(\delta_k - \delta_m) + b_{km} \cdot \sin(\delta_k - \delta_m)] \quad (3.7)$$

$$Q_{Gk} - Q_{Dk} = -V_k^2 \cdot \sum_{m \in a(k)} (b_{skm} + b_{km}) - V_k \cdot \sum_{m \in a(k)} V_m \cdot [g_{km} \cdot \sin(\delta_k - \delta_m) - b_{km} \cdot \cos(\delta_k - \delta_m)] \quad (3.8)$$

Βλέπουμε ότι υπάρχει στην ουσία ένα ζεύγος εξισώσεων που αφορούν την ενεργό και άεργη έγχυση ισχύος σε κάθε ζυγό ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Δηλαδή σε ένα σύστημα με πλήθος x ζυγών οι εξισώσεις ροής φορτίου θα είναι αντίστοιχα $2x$.

Προχωρώντας, για την καλύτερη κατανόηση θεωρούμε τώρα ένα σύστημα πλήθος n ζυγών. Υπάρχουν $2n$ εξισώσεις ροών φορτίου. Οι κανόνες που χρησιμοποιούνται συνήθως στηρίζουν ότι ο ζυγός 1 είναι ο ζυγός αναφοράς με γνωστή γωνία και τάση. Οι ζυγοί $2n-m$ είναι οι ζυγοί παραγωγής και οι υπολειπόμενοι είναι φορτίου. Χρησιμοποιούνται ως μεταβλητές άγνωστες, οι γωνίες της τάσης όλων των ζυγών εκτός του slack bus και το μέτρο τάσεως όλων των ζυγών φορτίου, για την παρουσίαση της υβριδικής μορφής των εξισώσεων. Έτσι μαζί με το ζεύγος εξισώσεων που αναφέρθηκε πριν υπάρχει ένα διάνυσμα κατάστασης x με αγνώστους που είναι ως εξής.

$$\underline{x} = \begin{bmatrix} \delta_2 \\ \delta_3 \\ \vdots \\ \delta_n \\ V_{n-m+1} \\ V_{n-m+2} \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

Άρα, θα υπάρχουν $n-1$ εξισώσεις όπως η (3.7) και $2n-m$ εξισώσεις, όπως η (3.8). Δηλαδή θα έχουμε συγκεκριμένο πλήθος εξισώσεων ροής έγχυσης ενεργού και άεργου ισχύος προς επίλυση, ανάλογα με το πλήθος των ζυγών του συστήματος^[32]. Εδώ έρχονται οι μέθοδοι που αναφέραμε για την επίλυση των εξισώσεων αυτών.

3.4.1 Η μέθοδος Gauss-Seidel

Η μέθοδος αυτή είναι απλή στην εφαρμογή της αλλά η ταχύτητα σύγκλισης της επηρεάζεται άμεσα από τις αλγεβρικές εξισώσεις προς επίλυση. Λόγω αυτής της ευκολίας στην χρήση χρησιμοποιείται σε μικρά κυρίως συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, για την επίλυση προβλήματος της ροής φορτίου, όπου δεν είναι προτεραιότητα ο χρόνος σύγκλισης. Ένα μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι για μια δεδομένη αρχική πρόβλεψη για την επίλυση προβλημάτων υπάρχει πρόβλημα ο αλγόριθμος να μην συγκλίνει. Η αρχική πρόβλεψη παίζει σημαντικό ρόλο στην ταχύτητα σύγκλισης της μεθόδου. Η μέθοδος Gauss-Seidel είναι ξεκάθαρα πιο εύκολη στη χρήση από την μέθοδο Newton-Raphson^[28].

Αρχικά έστω ότι έχουμε το παρακάτω σύστημα n εξισώσεων με n αγνώστους.

$$\begin{aligned}
 f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0 \\
 f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0 \\
 &\vdots \\
 f_n(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0
 \end{aligned}
 \tag{3.10}$$

Επίσης για το διάνυσμα x θα ισχύει $x = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_n]^T$ (3.11)

Με κατάλληλες μετατροπές για το διάνυσμα x , ως αρχική εκτίμηση ή πρόβλεψη έχουμε την λύση $x^{(0)}$. Άρα

$$x^{(1)} = F(x^{(0)}) \quad \text{και ακόμη καλύτερη βελτίωση } x^{(v+1)} = F(x^{(v)}) \tag{3.12}$$

Άρα για την λύση των εξισώσεων ροής φορτίου εφόσον έχουμε πραγματικό και φανταστικό μέρος, σε έναν τυχαίο ζυγό i , ας πούμε, θα ισχύει το εξής.

$$S_i^* = P_i - jQ_i = V_i^* \sum_{k=1}^n y_{ik} V_k \Leftrightarrow \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = y_{ii} V_i + \sum_{k \neq i}^n y_{ik} V_k \tag{3.13}$$

Λύνοντας την (3.13) ως προς V_i , στον ζυγό i θα έχουμε:

$$V_i = \frac{1}{y_{ii}} \left[\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} - \sum_{k \neq i}^n y_{ik} V_k \right] \tag{3.14}$$

Όπως είπαμε και πριν ο ζυγός 1 είναι ο ζυγός ταλάντωσης με γνωστή τάση και γωνία και ισχύουν όσα είπαμε στο τέλος της ενότητας 3.4. Εδώ τώρα για την επίλυση θεωρούμε συνολικά n ζυγούς, με m , το πλήθος των ζυγών φορτίου, επομένως οι ζυγοί παραγωγής θα είναι $n-m-1$. Με βάση την εξίσωση (3.12) η (3.14) γίνεται ως εξής. Για τους ζυγούς φορτίου έχουμε:

$$V_i^{(v+1)} = \frac{1}{y_{ii}} \left[\frac{P_i - jQ_i}{V_i^{*(v)}} - \sum_{k=1}^{i-1} y_{ik} V_k^{(v+1)} - \sum_{k=i+1}^n y_{ik} V_k^{(v)} \right] \quad i=2, \dots, m+1 \tag{3.15}$$

Για τους ζυγούς παραγωγής αντίστοιχα ισχύουν τα εξής.

$$V_i^{(v+1)} = \frac{1}{y_{ii}} \left[\frac{P_i - jQ_i^{(v+1)}}{V_i^{*(v)}} - \sum_{k=1}^{i-1} y_{ik} V_k^{(v+1)} - \sum_{k=i+1}^n y_{ik} V_k^{(v)} \right] \quad i = m + 2, \dots, n \quad (3.16)$$

Από όπου:

$$Q_i^{(v+1)} = -Im \left\{ V_i^{*(v)} \left[\sum_{k=1}^{i-1} y_{ik} V_k^{(v+1)} + \sum_{k=i}^n y_{ik} V_k^{(v)} \right] \right\}, \quad i = m + 2, \dots, n \quad (3.17)$$

Για να συγκλίνει ο αλγόριθμος και να οδηγηθούμε προς την λύση θα πρέπει οι λύσεις που προκύπτουν να ικανοποιούν τους παρακάτω προορισμούς. Εφόσον ικανοποιούνται αυτά και μάλιστα όταν το απόλυτο σχετικό σφάλμα όλων των συνιστωσών των αγνώστων είναι μικρότερο από μια προκαθορισμένη τιμή το πρόβλημα έχει λυθεί.

$$|V_i|_{min} < |V_i| < |V_i|_{max}, \quad |\delta_j - \delta_i|_{min} < |\delta_j - \delta_i| < |\delta_j - \delta_i|_{max}$$

$$P_{G_i,min} < P_{G_i} < P_{G_i,max} \quad \text{και} \quad Q_{G_i,min} < Q_{G_i} < Q_{G_i,max} \quad (3.17a)$$

3.4.2 Η μέθοδος Newton-Raphson

Η μέθοδος Newton-Raphson αποτελεί καλύτερη λύση για μεγάλα ΣΗΕ και λόγω τετραγωνικού βαθμού σύγκλισης υπερτερεί της μεθόδου Gauss-Seidel, πράγμα που την κάνει λιγότερο επιρρεπή σε απρόοπτα προβλήματα. Ο αριθμός των επαναλήψεων δεν εξαρτάται από το μέγεθος του εκάστοτε συστήματος και σε κάθε περίπτωση επανάληψης γίνεται πιο λειτουργική και αναλυτική αξιολόγηση, για την εύρεση όσο το δυνατόν πιο καλής λύσης^[33]. Η διαδικασία για την επίλυση της μεθόδου ξεκινάει παρακάτω θεωρώντας ένα σύστημα εξισώσεων προς επίλυση ως εξής.

$$\begin{aligned} y_1 &= f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ y_2 &= f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ y_n &= f_n(x_1, x_2, \dots, x_n) \end{aligned} \quad (3.18)$$

Υποθέτουμε μια αρχική λύση του συστήματος όπως στην προηγούμενη μέθοδο ως εξής.

$$x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}$$

Στη συνέχεια γραμμικοποιώντας τις εξισώσεις (3.18) από την αρχική λύση που υποθέσαμε έχουμε:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_1(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}) \\ f_2(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}) \\ \vdots \\ f_n(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} & \frac{\partial f_n}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 - x_1^{(0)} \\ x_2 - x_2^{(0)} \\ \vdots \\ x_n - x_n^{(0)} \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

Η εξίσωση αυτή περιέχει μια μήτρα με μερικές παραγώγους η επίλυση της οποίας είναι σημαντική για τη λύση του προβλήματος και ονομάζεται Ιακωβιανή μήτρα συμβολισμένη με το γράμμα J . Μετασχηματίζοντας την εξίσωση (3.19) σε μορφή διανυσμάτων και κάνοντας μερικές μετατροπές έχουμε διαδοχικά:

$$\underline{y} = f(\underline{x}(0)) + J(0) \cdot (\underline{x} - \underline{x}(0)) \quad \Leftrightarrow \quad \underline{x} = \underline{x}(0) + J(0)^{-1} \cdot (\underline{y} - f(\underline{x}(0))) \quad (3.20)$$

Με τον τρόπο αυτό και έχοντας μια αρχική λύση, έπειτα από αρκετές επαναλήψεις (ή ανακυκλώσεις) μπορούμε να βρούμε όσο το δυνατό πιο καλή λύση. Με βάση τις εξισώσεις (3.7) και (3.8) θα έχουμε.

$$f_{P_k} = V_k^2 \cdot \sum_{m \in \alpha(k)} (g_{skm} + g_{km}) - V_k \cdot \sum_{m \in \alpha(k)} V_m \cdot [g_{km} \cdot \cos(\delta_k - \delta_m) + b_{km} \cdot \sin(\delta_k - \delta_m)] \quad (3.21)$$

$$f_{Q_k} = -V_k^2 \cdot \sum_{m \in \alpha(k)} (b_{skm} + b_{km}) - V_k \cdot \sum_{m \in \alpha(k)} V_m \cdot [g_{km} \cdot \sin(\delta_k - \delta_m) - b_{km} \cdot \cos(\delta_k - \delta_m)] \quad (3.22)$$

Με τον τρόπο αυτό και επιλύοντας τις σχέσεις (3.21) και (3.22) μπορούμε να επιλύσουμε τον αλγόριθμο επαναλήψεων που θα μας δώσει την λύση.

$$\begin{bmatrix} \underline{\delta} \\ \underline{V} \end{bmatrix}^{n+1} = \begin{bmatrix} \underline{\delta} \\ \underline{V} \end{bmatrix}^n + \begin{bmatrix} \frac{\partial f_P}{\partial \underline{\delta}} & \frac{\partial f_P}{\partial \underline{V}} \\ \frac{\partial f_Q}{\partial \underline{\delta}} & \frac{\partial f_Q}{\partial \underline{V}} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \underline{P}_G - \underline{P}_D - f_P \\ \underline{Q}_G - \underline{Q}_D - f_Q \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

Τέλος, εφόσον ολοκληρωθεί η διαδικασία των επαναλήψεων αφού έχουν επιλυθεί η εξισώσεις ροής φορτίου για άεργο και ενεργό ισχύ, θα λάβουμε τις τιμές γωνιών και τάσεων για όλους τους ζυγούς και μπορούμε να υπολογίσουμε και τις ροές ισχύος σε όλους τους ζυγούς. Έτσι, λύνεται το πρόβλημα με την μέθοδο Newton-Raphson.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας στα υβριδικά δίκτυα

4.1 Εισαγωγή

Ζούμε σε μια εποχή όπου η ανάγκη όχι μόνο για την παραγωγή περισσότερης ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και για την αποθήκευσή της για χρονικά διαστήματα είτε μεγάλα είτε μικρά, γίνεται ολοένα και πιο έντονη. Αυτό οφείλεται στο νέο μοντέλο που παρουσιάζουν τα συστήματα σημερινά και μάλιστα ένα σύστημα αποθήκευσης αποτελεί πλέον αναπόσπαστο κομμάτι ενός δικτύου, κυρίως όταν η παραγωγή του αποτελείται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Με τον όρο αποθηκευτικό σύστημα ενέργειας ορίζουμε το σύστημα το οποίο απορροφά ή προσδίδει ενέργεια στο δίκτυο ή σε μια μονάδα παραγωγής, και την αποδίδει ξανά πίσω την χρονική στιγμή που το ορίζουν οι ανάγκες σε ενέργεια^[34]. Η έννοια της αποθήκευσης ενέργειας (ή energy storage), έκανε πρώτη φορά την εμφάνισή της το 1970 με την κατασκευή των πρώτων μεγάλων συστημάτων αντλησιοταμίευσης. Όπως είπαμε είναι πολύ σημαντική η έννοια της αποθήκευσης, κυρίως στα υβριδικά δίκτυα, καθώς όταν η παραγωγή στηρίζεται σε ΑΠΕ, όπου έχουμε κυρίως φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτριες, υπάρχουν έντονες διακυμάνσεις φορτίου. Τα φωτοβολταϊκά δεν λειτουργούν το ίδιο όλη την ημέρα ενώ οι ανεμογεννήτριες βασίζονται στον άνεμο που δεν είναι μια σταθερή πηγή για σταθερή παραγωγή. Επομένως η αποθήκευση έρχεται να συμπληρώσει τα κενά ενέργειας που παρατηρούνται από τέτοιους σταθμούς παραγωγής. Στο πλαίσιο του μείζονος θέματος χρήσης κατάλληλης αποθηκευτικής διάταξης θα γίνει αναφορά παρακάτω στις κυριότερες μορφές αποθήκευσης ενέργειας στα δίκτυα. Έχουμε τα μηχανικά μέσα αποθήκευσης (αντλησιοταμίευση, πεπιεσμένος αέρας και σφόνδυλοι), τα μέσα αποθήκευσης χημικής ενέργειας (μπαταρίες ιόντων-λιθίου, νατρίου-θείου, μολύβδου-οξέος και νικελίου-καδμίου, συσσωρευτές ροής, κυψέλες καυσίμου, αποθήκευση υδρογόνου) και τους ηλεκτρομαγνητικούς σταθμούς αποθήκευσης ενέργειας, ΣΑΗΕ, (υπεραγωγία πηνία, SMES και υπερπυκνωτές). Θα γίνει ανάλυση εκτενώς στις επικρατούσες αυτές μορφές αποθήκευσης^[35].

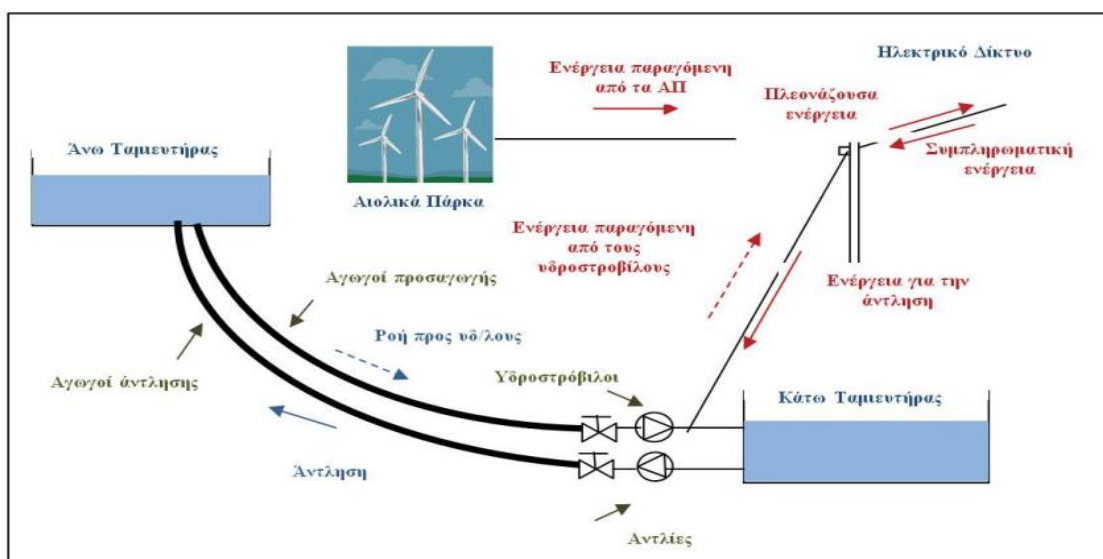
4.2 Κατηγορίες συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας

4.2.1 Μηχανικά μέσα αποθήκευσης

Στην υποενότητα αυτή θα αναλυθούν τα μηχανικά μέσα αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας στα δίκτυα, τα οποία χρησιμοποιούν είτε την κινητική ενέργεια ως σφόνδυλοι, είτε την δυναμική ενέργεια ως συστήματα αντλησιοταμίευσης είτε την πίεση του αέρα ως συστήματα πεπιεσμένου αέρα. Αποτελούν σημαντικά και αξιοποιήσιμα έργα για την αποθήκευση ενέργειας

4.2.1.1 Αντλησιοταμίευση

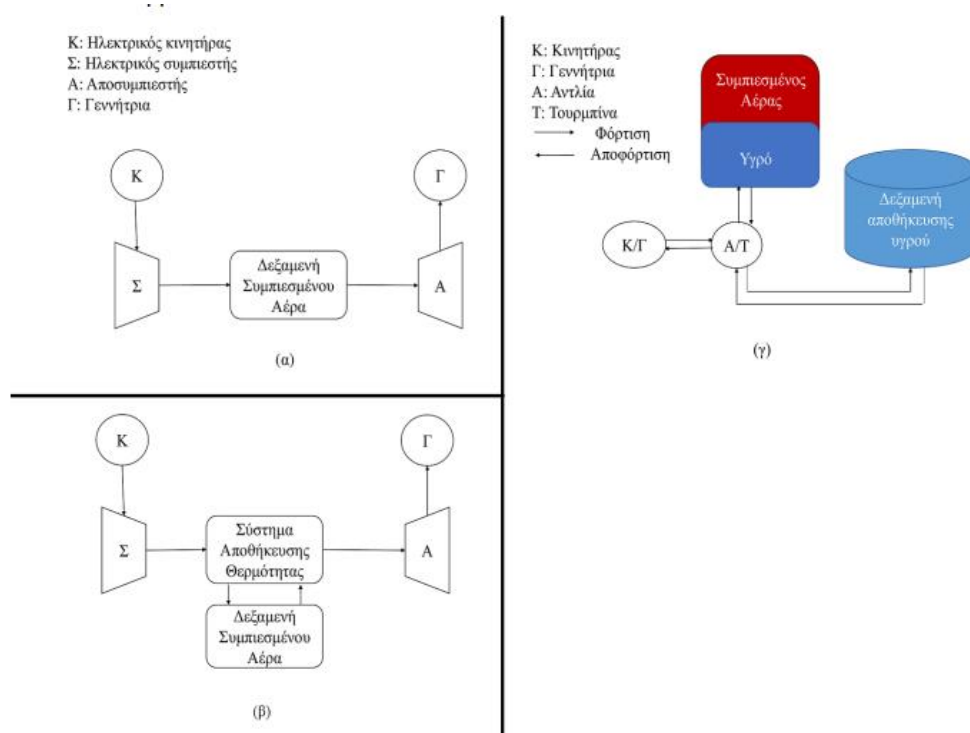
Η μέθοδος αποθήκευσης ενέργειας με την αντλησιοταμίευση αποτελεί μια από τις πιο ώριμες τεχνολογίες σε παγκόσμιο επίπεδο και χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι καλύπτει περίπου το 97% της χωρητικότητας στα έργα αυτά^[36]. Ο λόγος είναι επειδή η αντλησιοταμίευση χρησιμοποιεί την υδροηλεκτρική ενέργεια από τα αντίστοιχα έργα στα οποία υπάρχει μεγάλη εμπειρία από τον 20^ο κιάλας αιώνα. Αναλυτικότερα, ένα σύστημα αντλησιοταμίευσης αποθηκεύει ηλεκτρική ενέργεια με την χρήση δυναμικής ενέργειας όπως είπαμε πριν. Ένα τέτοιο σύστημα συνήθως έχει δύο ταμιευτήρες, τον άνω ταμιευτήρα εκεί όπου καταλήγει το νερό και αποθηκεύεται μέσω του αντλιοστασίου και τον κάτω ταμιευτήρα εκεί όπου καταλήγει το νερό για χρησιμοποίηση από το υδροηλεκτρικό σύστημα ως παραγωγή ενέργειας. Σε χρονικές στιγμές που δεν υπάρχει πολύ ζήτηση ενέργειας από το δίκτυο, σε ένα τέτοιο σύστημα, χρησιμοποιείται η φθηνή ενέργεια αποσκοπώντας στην τροφοδότηση των αντλιών, ώστε να καταλήξει στον άνω ταμιευτήρα το νερό και να αποθηκευτεί ενέργεια για χρήση μετέπειτα από το υδροηλεκτρικό. Αντίστοιχα, σε στιγμές αιχμής ή αλλιώς μεγάλης ζήτησης, χρησιμοποιείται μέσω των υδροστροβίλων το αποθηκευμένο νερό και παράγεται η απαιτούμενη ενέργεια για κάλυψη της ζήτησης. Παράλληλα, η πιο διαδεδομένη μορφή συστημάτων αντλησιοταμίευσης είναι τα υβριδικά, όπου εμπλέκεται και άλλη μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, με κύρια την αιολική ενέργεια και δευτερεύουσα την ηλιακή ενέργεια. Αποτελούν πολύ ικανοποιητική και ρεαλιστική μέθοδο ανάπτυξης περισσότερων σταθμών ΑΠΕ και συμμετοχής τους στο ηλεκτρικό δίκτυο της χώρας. Ιδιαίτερης σημασίας αποτελεί η παρουσία τους στα μη διασυνδεδεμένα νησιά καθώς γίνεται εκμετάλλευση του διαθέσιμου αιολικού και ηλιακού δυναμικού^[37].



Εικόνα 4-1: Η αρχή λειτουργίας ενός συστήματος αποθήκευσης με αντλησιοταμίευση

4.2.1.2 Πεπιεσμένος αέρας

Πρόκειται για συστήματα αποθήκευσης τα οποία έχουν παρόμοια λειτουργία με το σύστημα αντλησιοταμίευσης και αποτελούν μέθοδο που έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται εδώ και 40 χρόνια περίπου. Τα συστήματα αποθήκευσης πεπιεσμένου αέρα (ή Compressed Air Energy Storage, CAES) αποθηκεύουν ενέργεια στη μορφή συμπιεσμένου αέρα σε υπόγειες κοιλότητες με πετρώματα αλάτων. Στα τοιχώματα των κοιλοτήτων δεν πρέπει να υπάρχουν ρωγμές καθώς θα έχουμε διαρροή αέρα και επομένως διαρροή ενέργειας^[38]. Τα CAES λοιπόν διακρίνονται σε τρεις βασικές κατηγορίες, τα διαβατικά, τα αδιαβατικά και τα ισόθερμα. Η κατηγοριοποίηση γίνεται με βάση τον τρόπο λειτουργίας. Συγκεκριμένα, τα διαβατικά CAES χρησιμοποιούν εσωτερικά συστήματα για την ψύξη του αέρα, διότι εάν γινόταν χρήση υψηλής θερμοκρασίας θα κινδύνευε το σύστημα και θα μειωνόταν ο χρόνος ζωής του. Έτσι γίνεται προθέρμανση αρχικά του αέρα και έπειτα συμπίεση και εκτόνωση απελευθερώνοντας μέρος θερμότητας. Τα αδιαβατικά συστήματα, κατά το στάδιο της συμπίεσης, χρησιμοποιούν αποθήκευση θερμότητας ώστε να μην πέσει αρκετά η θερμοκρασία, αυξάνοντας εν τέλει την απόδοση συγκριτικά με το διαβατικό CAES. Τέλος, στα ισόθερμα συστήματα συμπιεσμένου αέρα, πριν γίνει η αντίστοιχη μεταβολή, ελέγχεται η καμπύλη πίεσης-όγκου και πραγματοποιείται η κατάλληλη αλλαγή ανάλογα με το πρόβλημα της στιγμής. Στην εικόνα που ακολουθεί απεικονίζονται τα διαβατικά(α) , τα αδιαβατικά (β) και τα ισόθερμα(γ) συστήματα.



Εικόνα 4-2: Διαβατικά, αδιαβατικά και ισόθερμα CAES

4.2.1.3 Σφόνδυλοι

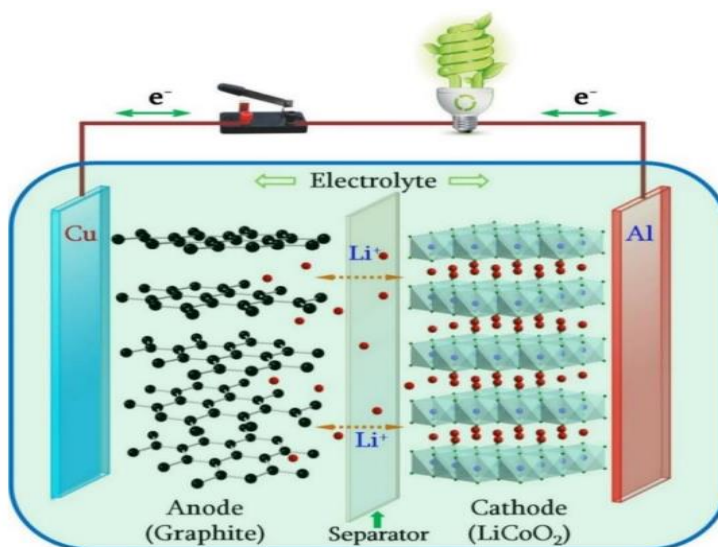
Τα συστήματα αυτά, όπως είπαμε, χρησιμοποιούν κινητική ενέργεια για την τελική μετατροπή της σε ηλεκτρική. Ένας σφόνδυλος αποτελεί μια μάζα που περιστρέφεται γύρω από έναν άξονα και αποθηκεύει με μηχανικό τρόπο ενέργεια στην μορφή κινητικής. Τα συστήματα αποθήκευσης με σφονδύλους αποτελούνται φυσικά από τον σφόνδυλο και μια ηλεκτρική συσκευή. Η συσκευή αυτή, είναι ενσωματωμένη στον σφόνδυλο και επιτελεί υβριδική λειτουργία στο σύστημα, λειτουργώντας άλλοτε ως κινητήρας άλλοτε ως γεννήτρια. Οι σφόνδυλοι συμφέρουν στις εφαρμογές ισχύος, λόγω της ικανότητας επαναφόρτισής τους σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα^[39]. Για αυτό προτείνονται σε έργα ΑΠΕ και για την κάλυψη της ζήτησης σε ώρες αιχμής, κυρίως για εφαρμογές μεταφοράς μεγάλης ποσότητας ενέργειας. Τέλος, οι αποθηκευτικές διατάξεις με σφονδύλους, συνεισφέρουν στην διατήρηση τάσης και συχνότητας ενός δικτύου στο οποίο γίνεται υψηλή διείσδυση ΑΠΕ και άξια είναι η παρουσία τους στον τομέα των μεταφορών κυρίως σε μέσα σταθερής τροχιάς αλλά και σε άλλους τομείς^[40].

4.2.2 Μέσα αποθήκευσης χημικής ενέργειας

Στο πλαίσιο της παραγωγής, αξιοποίησης και αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας, στην προσπάθεια που γίνεται παγκοσμίως για τον περιορισμό της χρήσης ορυκτών καυσίμων, στον τομέα της αποθήκευσης γίνεται χρήση μέσων και τεχνολογιών με χρήση χημικής ενέργειας. Τέτοια μέσα είναι οι κυριότεροι τύποι συσσωρευτών στα δίκτυα, όπου θα αναφερθούν ορισμένοι, οι κυψέλες καυσίμου και η αποθήκευση υδρογόνου.

4.2.2.1 Μπαταρίες ιόντων-λιθίου(Li-on)

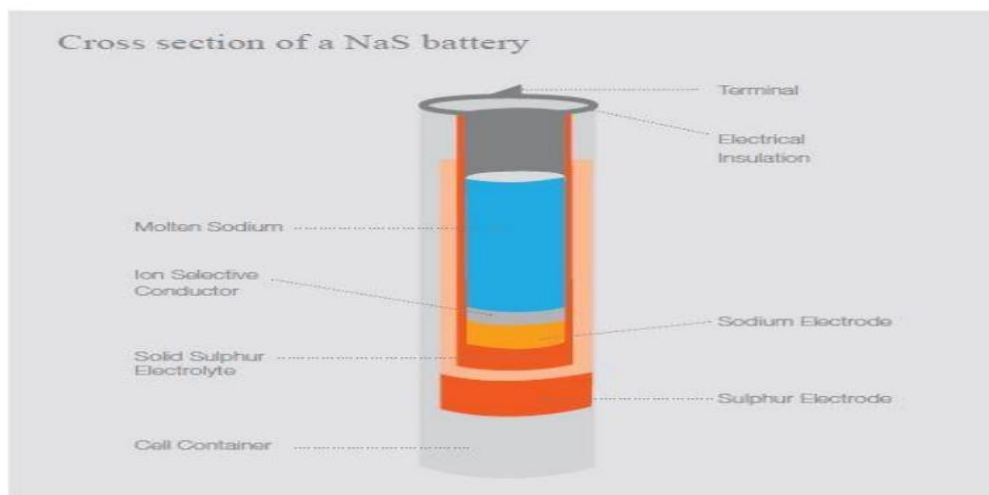
Αρχικά, σχετικά με την ανατομία μια μπαταρίας ιόντων-λιθίου, σε όλα τα μοντέλα κατασκευής η άνοδος αποτελείται από γραφίτη, εκτός από τα οξειδία λιθίου τιτανίου όπου στην άνοδο έχουμε τιτάνιο. Οι συχνότερες τεχνολογίες των μπαταριών αυτών είναι οι οξειδίου κοβαλτίου λιθίου, οι οξειδίου αλουμινίου κοβαλτίου λιθίου, οι φωσφορικού λιθίου σιδήρου και άλλες^[41]. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου αποτελούν την πιο αποδοτική και ευρέως αξιοποιήσιμη τεχνολογία χημικής αποθήκευσης και βρίσκει εφαρμογές στον τομέα της ηλεκτροκίνησης και της κινητής τεχνολογίας. Διαθέτουν πολύ καλή απόδοση, τάση και ενεργειακή πυκνότητα και μάλιστα διαθέτει μεγάλους κύκλους εκφόρτισης^[42]. Τέλος, οι μπαταρίες αυτές μέχρι στιγμής σε επίπεδο σταθερής παροχής ισχύος σε ένα δίκτυο, με συμμετοχή σταθμών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, δεν μπορούν να βρουν άξια εφαρμογή. Το επίπεδο χωρητικότητάς τους φτάνει σε συνδυασμούς μόλις κάποιες εκατοντάδες kWh.



Εικόνα 4-3: Δομή μιας τυπικής μπαταρίας ιόντων λιθίου

4.2.2.2 Μπαταρίες νατρίου-θείου(Na-S)

Η ιδέα για αυτού του τύπου τους συσσωρευτές δόθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες, την Ευρώπη και την Ιαπωνία για χρησιμοποίηση σε ηλεκτρικά αυτοκίνητα ή σε ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας. Η εταιρεία NGK, της NAS, έδωσε την ιδέα για ανάπτυξη και εξέλιξη των μπαταριών αυτών και έως σήμερα οι μπαταρίες νατρίου-θείου είναι οι πιο αξιοποιήσιμες μπαταρίες για έργα μεγάλης κλίμακας. Μια μπαταρία νατρίου-θείου(Na-S), διαθέτει στο θετικό ηλεκτρόδιο τηγμένο θείο, ενώ στο αρνητικό ηλεκτρόδιο τηγμένο νάτριο. Ένας κεραμικού είδους ηλεκτρολύτης, αγωγός σε ιόντα νατρίου, διαχωρίζει τα ηλεκτρόδια και συνήθως αποτελείται από στερεά β-αλουμίνια. Ο μηχανισμός των συσσωρευτών αυτών απαιτεί συντήρηση και λειτουργία σε περιβάλλον θερμοκρασίας στους 300°C και άνω^[43]. Παράλληλα, εξισορροπούν θέματα εγκατεστημένης ισχύος και ενεργειακής πυκνότητας, καθώς αποφορτίζονται αδιάκοπα στην ονομαστική ισχύ σε μηδαμινό χρόνο. Τέλος, αξιοποιούν αποδόσεις μέχρι και 80% σε συστήματα αποθήκευσης και καλύπτουν εύρος ονομαστικής ισχύος και χωρητικότητας σε επίπεδο MW και MWh αντίστοιχα. Αποτελούν πολύ άξια περίπτωση σε υβριδικά συστήματα ΑΠΕ για κάλυψη της απαιτούμενης ζήτησης ισχύος.



Εικόνα 4-4: Σχηματική αναπαράσταση μπαταρίας νατρίου-θείου

4.2.2.3 Μπαταρίες μολύβδου-οξέος(Lead-Acid)

Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος διαθέτουν παχιές πλάκες τοποθετημένες σε μεγάλα περιβλήματα, τα οποία καλύπτουν αρκετό χώρο, πράγμα για το οποίο είναι βαριές και μεγάλες. Τα βασικά στοιχεία ενός συσσωρευτή Lead-Acid είναι οι πλάκες διοξειδίου του μολύβδου, ως αρνητικός πόλος, οι πλάκες ενεργού μολύβδου, ως θετικός πόλος και ο ηλεκτρολύτης που περιέχει θειικό οξύ. Ακόμη, οι μπαταρίες αυτές εκφορτίζονται στο 80%, χωρίς βλάβες, αλλά σε μικρότερο αριθμό κύκλων φόρτισης. Είναι οι πιο διαδεδομένες μπαταρίες παγκοσμίως και κυρίως λόγω του περιορισμένου κύκλου ζωής τους, έχουν πολύ χαμηλό κόστος. Η συντήρησή τους αποτελεί εύκολη διαδικασία και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διαχείριση αιολικής και ηλιακής ενέργειας σε συστήματα ισχύος^[44].

4.2.2.4 Μπαταρίες νικελίου-καδμίου(Ni-Cd)

Όλες οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου αποτελούνται από μια αρνητική πλάκα ηλεκτροδίου από κάδμιο και η θετική πλάκα είναι από οξύ-υδροξείδιο νικελίου. Διακρίνουμε δυο ειδών συσσωρευτές Ni-Cd, τους σφραγισμένους συσσωρευτές και τους συσσωρευτές με βαλβίδα εκτόνωσης. Λόγω υψηλής ειδικής ενέργειας και αριθμού κύκλου ζωής, από την μια αποτελούν καλή επιλογή σε ένα σύστημα. Όμως, αυτό δεν ισχύει καθώς εξαιτίας της επικινδυνότητας του καδμίου ως στοιχείο στο περιβάλλον και επειδή έχουν μεγάλο κόστος δεν αποτελούν εν τέλει καλή λύση. Συν τοις άλλοις, παρουσιάζουν ανωμαλίες όταν γίνει εφαρμογή τους σε υβριδικά δίκτυα με χρήση ΑΠΕ, όπου δεν υπάρχει σταθερή παροχή ισχύος και η λειτουργία τους πρέπει να γίνεται κάτω από πολύ χαμηλές θερμοκρασίες^[34].

4.2.2.5 Συσσωρευτές ροής

Οι συσσωρευτές ροής ή αλλιώς μπαταρίες ροής οξειδοαναγωγής βασίζονται στην αντίδραση οξειδοαναγωγής ανάμεσα στους δυο ηλεκτρολύτες που διαθέτουν. Οι δυο ηλεκτρολύτες διαχωρίζονται από μια ημιπερατή μεμβράνη, η οποία επιτρέπει την ροή ιόντων. Οι συσσωρευτές αυτοί, έχουν κεντρίσει το ενδιαφέρον τον τελευταίο καιρό λόγω αυξητικής ζήτησης στον τομέα της στατικής αποθήκευσης. Οι προοπτικές για μεγάλης κλίμακας έργα ολοένα και αυξάνονται για αυτά τα συστήματα αποθήκευσης, αν και η διαδικασία χρήσης τους είναι υπό έρευνα. Η έρευνα αυτή δείχνει προοπτικές για ηλεκτροχημική αποθήκευση χωρίς εκπομπές. Τέλος, έχουν ευρύ πεδίο εφαρμογής, από W έως και MW σε τιμές ισχύος, εύκολο και φθινό τρόπο κατασκευής και περιορισμένη αυτοεκφόρτιση.

4.2.2.6 Κυψέλες καυσίμου

Σχετικά με τις κυψέλες καυσίμου, είναι συσκευές μετατροπής της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική με μηδαμινό σχεδόν περιβαλλοντικό αντίκτυπο και ευρέως ανεπτυγμένη απόδοση. Στις διατάξεις αυτές, μέσω των ηλεκτροχημικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα, εκλύονται ηλεκτρική ενέργεια σε χαμηλή τάση DC και θερμότητα. Η πρώτη χρησιμοποιείται απευθείας σε έργα και η άλλη είτε χάνεται είτε συμβάλει σε άλλους τομείς. Μια κυψέλη καυσίμου, κυρίως αποτελείται από στρώμα ηλεκτρολύτη στην άνοδο και στην κάθοδο από την κάθε πλευρά. Η κυψέλη, γενικά, έχει αρκετές διαφορές από τις μπαταρίες, καθώς στις μπαταρίες η ενέργεια αποθηκεύεται εξολοκλήρου και έπειτα σταματά, ενώ στην κυψέλη καυσίμου η τροφοδότηση πραγματοποιείται συνεχώς και παράγεται αδιάκοπα ενέργεια. Παράλληλα, μια κυψέλη ανάλογα με τις ανάγκες σε ισχύ μπορεί να εφαρμοστεί ως σύστημα σε τροφοδότηση μιας οικίας ή ενός απόμακρου καταναλωτή, αλλά και σε βιομηχανικό ακόμη επίπεδο. Η χρήση της είναι φιλική στο περιβάλλον σχετικά με τον τομέα της ηλεκτροκίνησης, ανεβάζοντας την απόδοση σε τέτοιες διατάξεις. Τέλος, οι κυψέλες καυσίμου έχουν μεγαλύτερη απόδοση από τις μηχανές ντίζελ ή αερίου, λειτουργούν χωρίς θόρυβο, δεν απαιτούν επαναφόρτιση και η συντήρησή τους είναι απλή. Από την άλλη, όμως, το κόστος κατασκευής είναι υψηλό και διαθέτουν πολύπλοκα συστήματα υποστήριξης και ελέγχου^[45].



Εικόνα 4-5: Σύστημα αποθήκευσης κυψελών καυσίμου

4.2.2.7 Αποθήκευση υδρογόνου

Επειδή ζούμε σε μια εποχή όπου η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικούς σταθμούς ντίζελ ή άλλων ορυκτών καυσίμων υπάρχει ακόμα στην επιφάνεια, το υδρογόνο αποτελεί καινοτόμο και πολύ ελπιδοφόρο μέσο αξιοποίησης ενέργειας. Αρχικά πρόκειται για ένα στοιχείο μη τοξικό και άοσμο. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο, φορέας ενέργειας και ως αποθηκευτικό μέσο. Στην καύση του οι εκπομπές είναι νερό και θερμότητα χωρίς καμία εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα. Το υδρογόνο διαθέτει πιο υψηλή ενεργειακή πυκνότητα από τους συσσωρευτές, έχει υψηλή θερμαντική αξία και η μεταφορά του σε μεγάλες αποστάσεις χρήζει μηδαμινών απωλειών. Υπάρχουν πολλά είδη υδρογόνου, με άξιο αναφοράς το καθαρό υδρογόνο, που παράγεται κατά την ηλεκτρόλυση του νερού και στην χρήση ενέργειας από ΑΠΕ, κυρίως αιολικής και ηλιακής ενέργειας. Ως μέσο αποθήκευσης μπορεί να αποθηκευτεί ως συμπιεσμένο αέριο, ως υγρό σε χαμηλές θερμοκρασίες και ως στερεό χημικά, με την πιο συνηθισμένη μορφή να είναι το αέριο συμπιεσμένο υδρογόνο. Τέλος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αποθηκευτικό μέσο στις κυψέλες καυσίμου, σε βιομηχανικό επίπεδο στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αποτελεί τον τελευταίο καιρό το πιο ελπιδοφόρο μέσο για το μέλλον στον τομέα αποθήκευσης και παραγωγής ενέργειας^[46].

4.2.3 Ηλεκτρομαγνητικοί ΣΑΗΕ

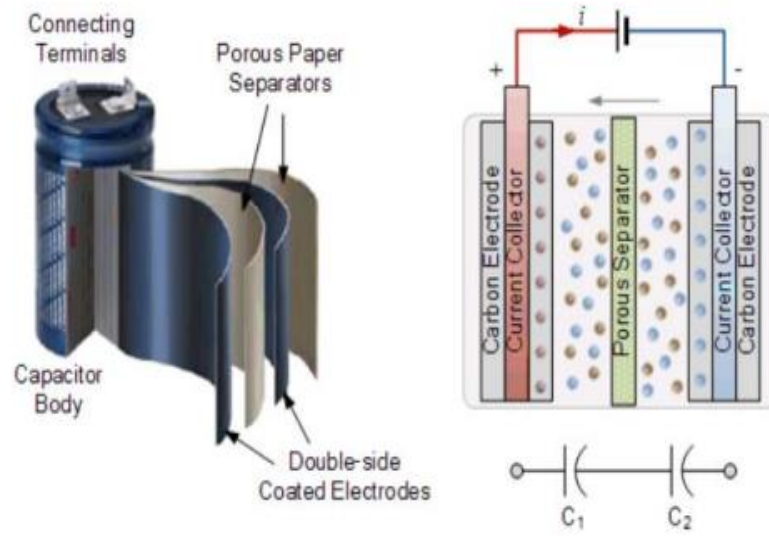
Στο κομμάτι της ηλεκτροστατικής και μαγνητικής αποθήκευσης ενέργειας στον τομέα των υβριδικών δικτύων, αξιοποιούνται δύο μέσα. Αυτά είναι τα υπεραγώγιμα πηνία, με την τεχνολογία SMES, στην μαγνητική αποθήκευση και οι υπερπυκνωτές στην ηλεκτροστατική. Θα γίνει μια περαιτέρω ανάλυση των δύο τεχνολογιών.

4.2.3.1 Υπεραγώγιμα πηνία, SMES

Πρόκειται για ένα τύπο αποθήκευσης ενέργειας που η αποθήκευση πραγματοποιείται σε ένα πηνίο υψηλής αγωγιμότητας, υπό την μορφή μαγνητικού πεδίου. Το σύστημα SMES είναι ένα από τα πιο σπάνια συστήματα αποθήκευσης ενέργειας με χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα, της τάξεως των 10KJ/Kg, αλλά με πολύ υψηλή πυκνότητα ισχύος. Πριν γίνει η εγκατάσταση ενός κατάλληλου συστήματος SMES είναι σημαντικό να γνωρίζουμε την κατάλληλη χωρητικότητα ισχύος, την ονομαστική ισχύ αποθηκευτικής ενέργειας, τις φυσικές διαστάσεις και την αποδοτικότητα ενός τέτοιου συστήματος. Μάλιστα, η χρήση της υπεραγώγιμης μαγνητικής αποθήκευσης λειτουργεί κάτω από ελάχιστες χρονικές καθυστερήσεις φόρτισης-εκφόρτισης, έχει την ικανότητα παραγωγής τεράστιου ποσού ισχύος σε ελάχιστο χρόνο και μπορεί να βελτιώσει την εξισορρόπηση φορτίου σε δίκτυα διανομής με συμμετοχή ΑΠΕ. Δεν απαιτούν χημικές αντιδράσεις και εκπομπές ρύπων και έχουν τραβήξει το ενδιαφέρον της βιομηχανίας ηλεκτρισμού λόγω και των υψηλών τους αποδόσεων, που φτάνουν έως και το 97%.

4.2.3.2 Υπερπυκνωτές

Οι υπερπυκνωτές, γνωστοί και ως super-capacitors ή ultra-capacitors, είναι ένα ευρέως γνωστό είδος αποθήκευσης, τον σύγχρονο καιρό. Δομικά, οι οπλισμοί ενός υπερπυκνωτή είναι βυθισμένοι σε υγρό ηλεκτρολύτη που περιέχει ιόντα και ανάμεσα τους παρεμβάλλεται μια λεπτή διαχωριστική μεμβράνη, που εμποδίζει την επαφή των οπλισμών. Οι υπερπυκνωτές αποθηκεύουν ενέργεια ηλεκτροστατικά (ως πυκνωτές) και όχι ηλεκτροχημικά, όπως οι μπαταρίες, έχοντας έτσι υψηλότερη απόδοση ενεργειακά. Διαθέτουν μεγάλο εύρος λειτουργίας σε συστήματα αποθήκευσης και η απόδοση φόρτισης-εκφόρτισης φτάνει τα 95% ή ακόμη και παραπάνω^[47]. Η σχέση τους με το περιβάλλον είναι πολύ φιλική και ασφαλής καθώς δεν περιέχουν τοξικά υλικά ή ηλεκτρολύτες. Τέλος, οι υπερπυκνωτές βρίσκουν εφαρμογή σε ηλεκτρικά οχήματα αλλά και σε εφαρμογές συστημάτων υψηλής ισχύος.



Εικόνα 4-6: Εσωτερική δομή ενός υπερπυκνωτή

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : Μελέτη και παρακολούθηση έξυπνου υβριδικού δικτύου με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και αποθήκευση στη νήσο Σίφνο

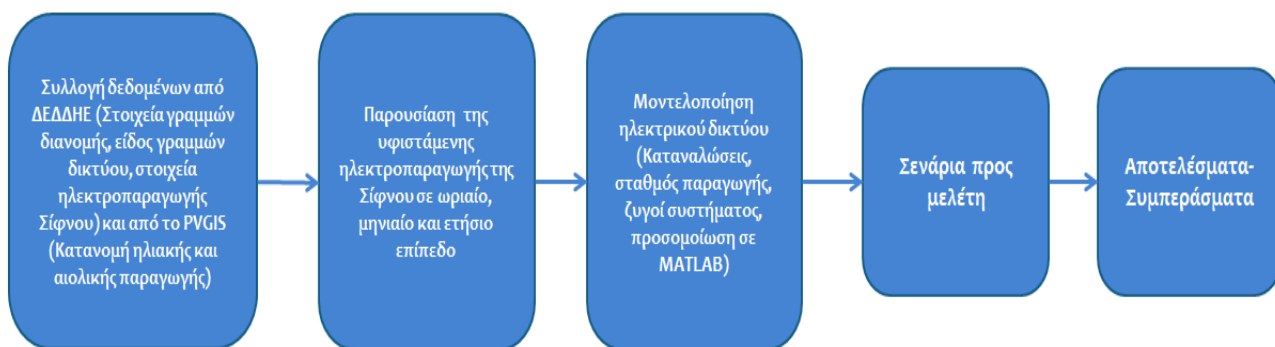
5.1 Εισαγωγή

Στο πλαίσιο ανάπτυξης της πράσινης και πιο φιλικής προς το περιβάλλον ενέργειας στην Ελλάδα και κυρίως στα νησιά, έχει αρχίσει και θα εξακολουθεί να πραγματοποιείται διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η ατμοσφαιρική ρύπανση, η οικονομική επιβάρυνση αλλά και η άμεση εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα μέσω των λιγνιτικών σταθμών, σε παλαιότερες μεθόδους παραγωγής, προκαλούν νέα προβλήματα και ανησυχίες στην ζωή των ανθρώπων.

Με βάση τα παραπάνω, είναι γεγονός πλέον η σταδιακή μετάβαση στην παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που δεν βλάπτουν την υπόσταση του περιβάλλοντος και κατά τα φαινόμενα αποτελούν μια καλύτερη μορφή επένδυσης. Μάλιστα, έχει ήδη αρχίσει να περιορίζεται η εγκατάσταση συμβατικών σταθμών παραγωγής (στα νησιά κυρίως) λόγω οικονομικής και σωματικής επιβάρυνσης του πληθυσμού (εργασιακά ατυχήματα κλπ). Όπως αναφέραμε σε πολλά νησιά είναι σε εξέλιξη αυτή η μεγάλης μορφής διείσδυση, με ένα από τα οποία είναι το νησί της Σίφνου όπου αποτελεί και το νησί προς μελέτη. Πιο συγκεκριμένα, στο πλαίσιο των σταθμών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οι φωτοβολταϊκοί και αιολικοί σταθμοί αποτελούν τη συνηθέστερη μορφή παραγωγής που επικρατεί. Παράλληλα, πολύ σημαντικό είναι να ειπωθεί ότι σε ένα τέτοιο δίκτυο όπου σχεδόν δε θα υπάρχει εικοσιτετράωρη παραγωγή από συμβατικούς σταθμούς, θα πρέπει να εγκατασταθεί και ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας για την καλύτερη λειτουργία του δικτύου και την κάλυψη των αναγκών ανά πάσα στιγμή.

Στην ενότητα που ακολουθεί, στο νησί της Σίφνου, θα γίνει μελέτη ενός δικτύου όπου μελλοντικά η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θα εξαρτάται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με αποθήκευση, με την απόσυρση μεγάλου μέρους των θερμικών μονάδων του νησιού και θα βρεθεί τελικά ο βέλτιστος συνδυασμός ΑΠΕ για την πλήρη κάλυψη των αναγκών. Αναλυτικά, θα παρουσιαστεί μια γενική εικόνα του νησιού και του εν λόγω ηλεκτρικού δικτύου που θα μοντελοποιηθεί, βάσει του οδικού δικτύου, θα δοθούν πληροφορίες για την υπάρχουσα παραγωγή χρονικά και με το τρέξιμο ορισμένων σεναρίων υπό συγκεκριμένες συνθήκες μελλοντικά στις τουριστικές περιόδους, θα βρεθεί ο βέλτιστος συνδυασμός ΑΠΕ.

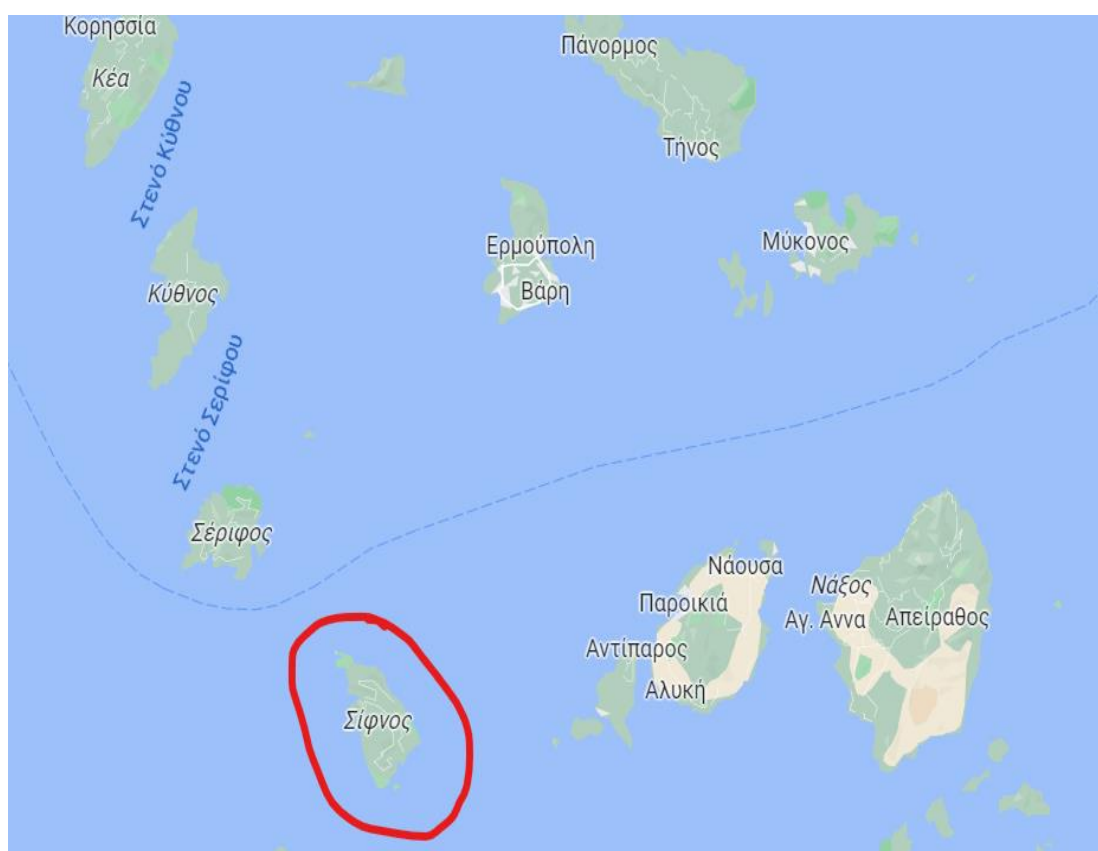
Ενδεικτικά στην επόμενη σελίδα γίνεται μια συνοπτική απεικόνιση της μεθοδολογίας της μελέτης που επρόκειτο να γίνει.



Εικόνα 5-1: Συνοπτική παρουσίαση της μεθοδολογίας της μελέτης

5.2 Βασικές πληροφορίες του νησιού

Το νησί της Σίφνου υπάγεται στα Δωδεκάνησα και συγκεκριμένα γειτνιάζει με τις νήσους Σέριφο, Αντίπαρο και Κίμωλο. Καταλαμβάνει μόλις 74 τετραγωνικά χιλιόμετρα και ανήκει στο νομό Κυκλάδων, πρωτεύουσα του οποίου είναι η Ερμούπολη της Σύρου. Ακόμη, η ακτογραμμή της είναι περίπου 70 χιλιόμετρα, και έχει μόνιμο πληθυσμό 2.700 περίπου κατοίκους.



Εικόνα 5-2: Χάρτης συμπεριλαμβανομένου του νησιού της Σίφνου

5.2.1 Οδικό δίκτυο

Σε γενικές γραμμές το οδικό δίκτυο της Σίφνου είναι αρκετά καλό και εξυπηρετικό επίσημος δρόμος ξεκινάει από το λιμάνι στην περιοχή Καμάρες και φτάνει έως και την χώρα του νησιού που είναι η Απολλωνία. Από εκείντονται δρόμοι που οδηγούν στις υπόλοιπες περιοχές του νησιού. Η μετακίνηση είναι εύκολη και γρήγορη καθώς σε χρονικό διάστημα λιγότερο από μία ώρα μπορεί κανείς να βρεθεί από το βορειότερο τμήμα στο νοτιότερο. Ενδεικτικά στον παρακάτω πίνακα και στην εικόνα φαίνονται με λεπτομέρεια οι αποστάσεις των περιοχών, που θα μας βοηθήσει αργότερα στην μοντελοποίηση του ηλεκτρικού δικτύου.



Εικόνα 5-3: Οδικός χάρτης της Σίφνου

Πίνακας 5-1: Χιλιομετρικές αποστάσεις κυριότερων περιοχών στη Σίφνο

ΠΕΡΙΟΧΗ		ΑΠΟΣΤΑΣΗ
ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	
Καμάρες	Απολλωνία	5 km
Απολλωνία	Αρτεμόνας	1,3 km
Απολλωνία	Χερσόνησος	15,5 km
Απολλωνία	Κάστρο	3 km
Απολλωνία	Κατεβατή	1,2 km
Απολλωνία	Εξάμπελα	1,6 km
Απολλωνία	Βαθύ	10 km
Απολλωνία	Φάρος	7 km
Απολλωνία	Χρυσοπηγή	8 km
Απολλωνία	Πλατύς γιαλός	9 km

5.2.2 Ενεργειακές αξιοποιήσεις και δυνατότητες

Το νησί διαθέτει πολύ χώρο για ενεργειακή αξιοποίηση, κυρίως όσον αφορά τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Συγκεκριμένα, στα περίχωρα του νησιού όπως παράδειγμα στις περιοχές Χερσόνησος και Καμάρες έχει παρατηρηθεί καλός χώρος αξιοποιήσιμος με όχι μόνο αξιοσημείωτο αιολικό δυναμικό αλλά και καλά ηλιακά δεδομένα ετησίως. Για αυτό το λόγο υπάρχουν ήδη εγκατεστημένοι κάποιοι σταθμοί αιολικοί, φωτοβολταϊκοί αλλά και υβριδικοί. Σε παρόμοιες μεθόδους μάλιστα θέλουν μελλοντικά να κινηθούν και άλλοι επενδυτές και παράλληλα να μειωθεί η θερμική παραγωγή από τους συμβατικούς σταθμούς του νησιού. Στόχος από τον δήμο είναι στο μακρύ μέλλον, η Σίφνος να γίνει το πρώτο νησί με σχεδόν εξολοκλήρου χρήση ηλεκτρικής ενέργειας αποκλειστικά από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και αποθηκευτικό σύστημα μέσω αντλησιοταμίευσης ή άλλων εφικτών επενδύσεων. Αρχικά ένα ποσοστό μόλις 10-20% μπορεί να

Μοντελοποίηση και παρακολούθηση έξυπνου υβριδικού δικτύου με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και αποθήκευση
πραγματοποιηθεί καθώς δεν είναι εύκολη άμεσα η ολοκλήρωση της επένδυσης και έως τώρα είναι σε εξέλιξη η διείσδυση των ΑΠΕ στο νησί .

5.3 Ηλεκτρική παραγωγή

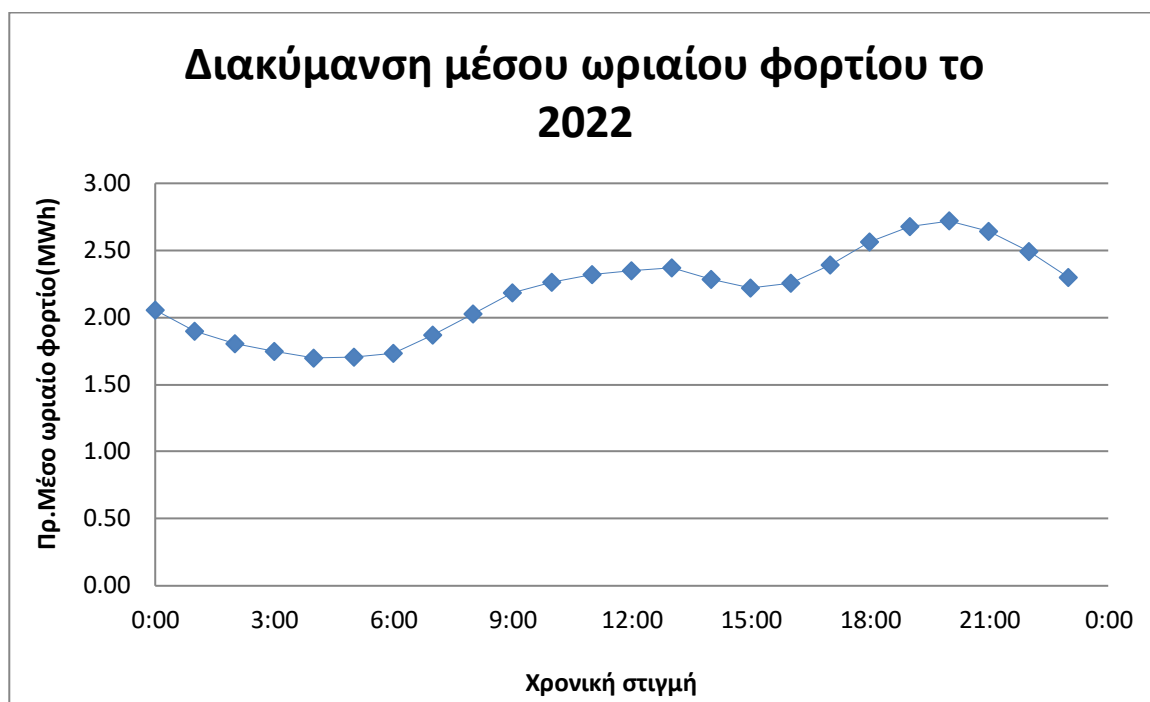
Όπως αναφέραμε και πριν η Σίφνος σε πληθυσμό φτάνει τους μόνιμους κατοίκους στους 2.700. Τα νησιά λόγω τουριστικής περιόδου τους καλοκαιρινούς μήνες έχουν περισσότερο κόσμο και η Σίφνος είναι νησί που ο πληθυσμός σχεδόν τετραπλασιάζεται από τον Ιούλιο έως και τον Αύγουστο. Επομένως είναι λογικό η ζήτηση της ενέργειας εκείνη την περίοδο να είναι πολύ πιο μεγάλη. Στα νησιά είναι προφανείς οι εποχικές διακυμάνσεις φορτίων πράγμα που θα φανεί στην λεπτομέρεια παρακάτω και στην περίπτωση μας.

Όσον αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το νησί διαθέτει συμβατικό σταθμό παραγωγής ντίζελ συνολικής ισχύος 8,7MW, τον οποίο ελέγχει η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ) . Η συνολική ζήτηση ετησίως ανέρχεται στις 20 GWh περίπου και κάθε χρόνο έχει ανοδική πορεία. Λόγω της χρήσης αυτής του σταθμού ντίζελ από τη μία υπάρχει η καλή απόδοση σε ενέργεια και ο έλεγχος σε κάθε περίπτωση σφάλματος οποιαδήποτε στιγμή αλλά από την άλλη το κόστος είναι αρκετά μεγάλο λόγω των εκατομμυρίων λίτρων καυσίμου που πρέπει να χρησιμοποιηθούν. Μια πρώτη κίνηση της τοπικής κοινότητας ήταν να στηθούν λίγα αιολικά και ορισμένα φωτοβολταϊκά (συγκεκριμένα 1,2MW αιολικών και 0,34 MW φωτοβολταϊκών) προκειμένου να γίνει μια μορφής συμπαραγωγή για την καλύτερη οικονομική αξιοποίηση.

Παρακάτω, στις ακόλουθες υποπαραγράφους θα αναλυθεί εκτενέστερα η ηλεκτροπαραγωγή της Σίφνου με πραγματικά δεδομένα από τον Διαχειριστή Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ) σε ωριαίο, μηνιαίο και ετήσιο επίπεδο για το υπάρχον δίκτυο. Τα δεδομένα αφορούν το έτος 2022 για την θερμική και αιολική παραγωγή του νησιού. Ακόμη, τα στοιχεία αυτά θα αναδείξουν την συμπεριφορά του δικτύου χρονικά και θα φανούν και οι εποχιακές διακυμάνσεις των φορτίων, ενώ την ίδια στιγμή θα βοηθήσουν στην επερχόμενη μελέτη που θα γίνει.

5.3.1 Ωριαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Ξεκινώντας, σε επίπεδο ωριαίο εφόσον μοντελοποιήσαμε όλες τις τιμές πραγματικού μέσου ωριαίου φορτίου ενός έτους σε μέσες τιμές ενός εικοσιτετραώρου το αποτέλεσμα φαίνεται στην κάτωθι εικόνα.



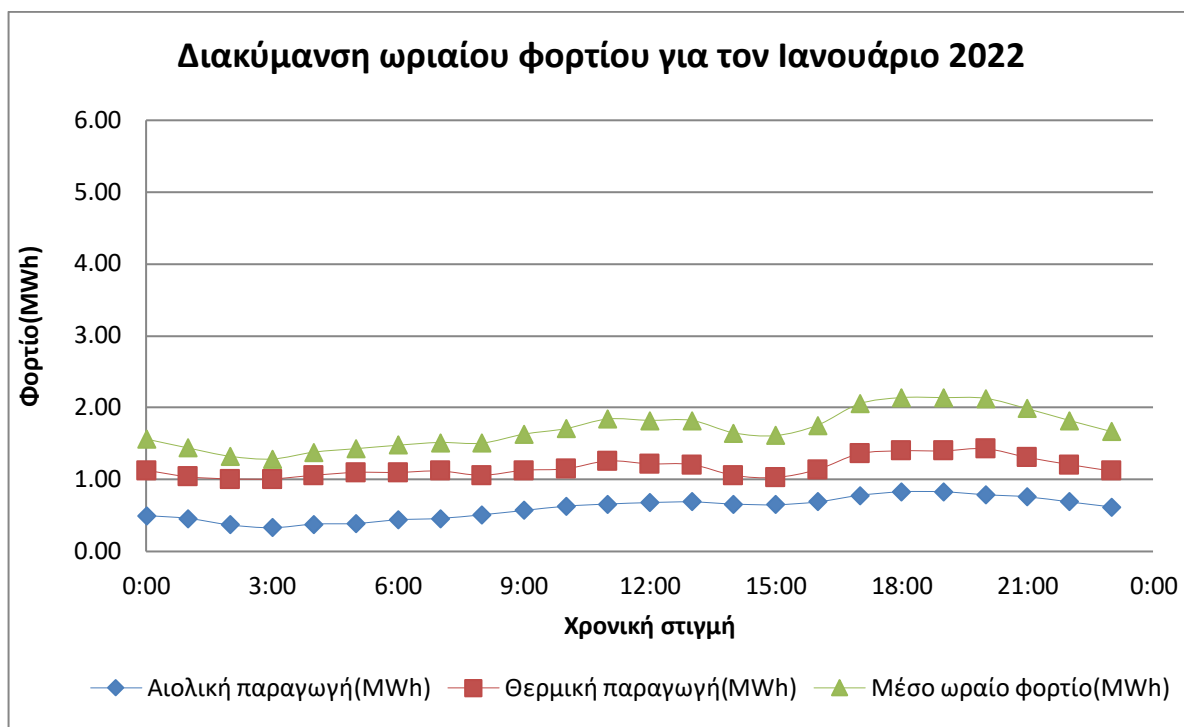
Διάγραμμα 5-1 : Διακύμανση μέσου ωριαίου φορτίου σε MWh για το 2022 στο ηλεκτρικό σύστημα της Σίφνου

Από το διάγραμμα αυτό είναι φανερή η διακύμανση του φορτίου στο εικοσιτετράωρο και παρατηρείται ότι από τις 18:00 έως τις 21:00 η μεγιστοποίηση του φορτίου ή αλλιώς η δυσμενέστερη κατάσταση της ζήτησης, που κατά μέσο όρο στο 2022 είναι περίπου στις 2,7 MWh.

Αντίστοιχα από τις 00:00-5:00 το φορτίο παίρνει τις ελάχιστες τιμές γύρω στις 1,7 MWh.

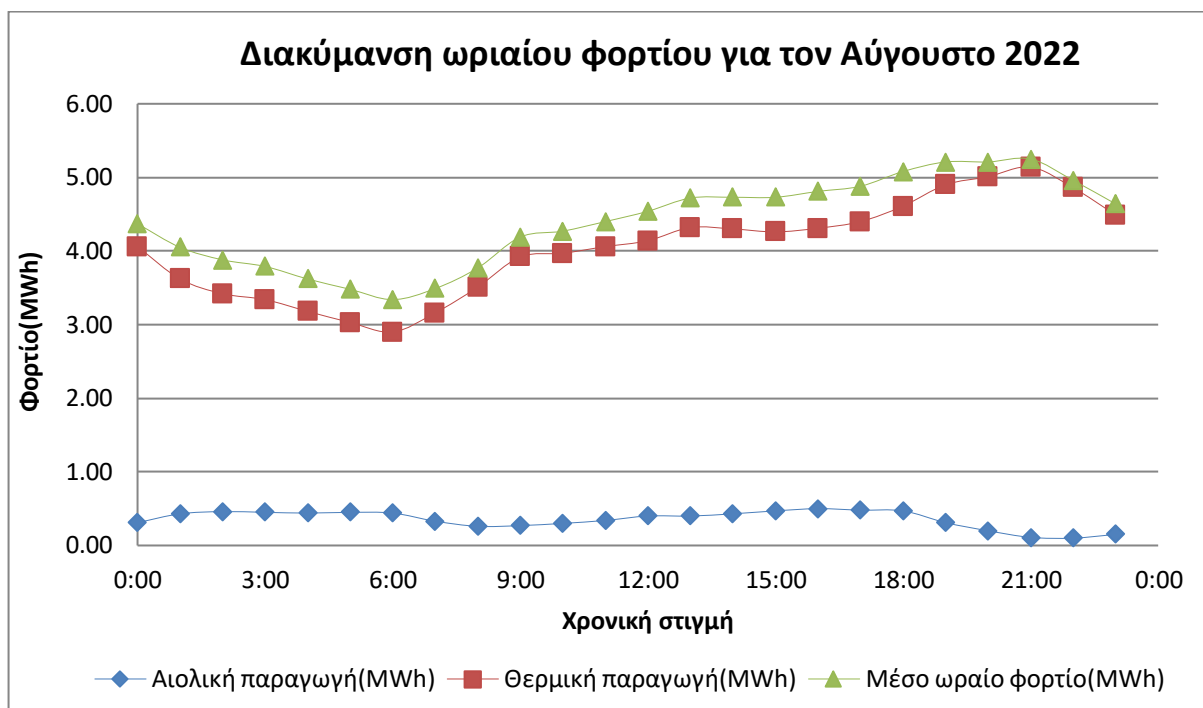
Όμως στο πλαίσιο της καλύτερης κατανόησης των εποχιακών διακυμάνσεων φορτίου θα κάνουμε αντίστοιχα μια συγκριτική διαδικασία αναπαριστώντας τόσο το φορτίο όσο και την παραγωγή του νησιού στο εικοσιτετράωρο για δύο διαφορετικούς μήνες, τον Ιανουάριο και τον Αύγουστο του 2022.

Πιο αναλυτικά θα έχουμε:



Διάγραμμα 5-2 : Διακύμανση ωριαίου φορτίου σε MWh τον Ιανουάριο 2022 στο ηλεκτρικό σύστημα της Σίφνου

Αντίστοιχα η εικόνα που έχουμε για τον μήνα Αύγουστο είναι η εξής.

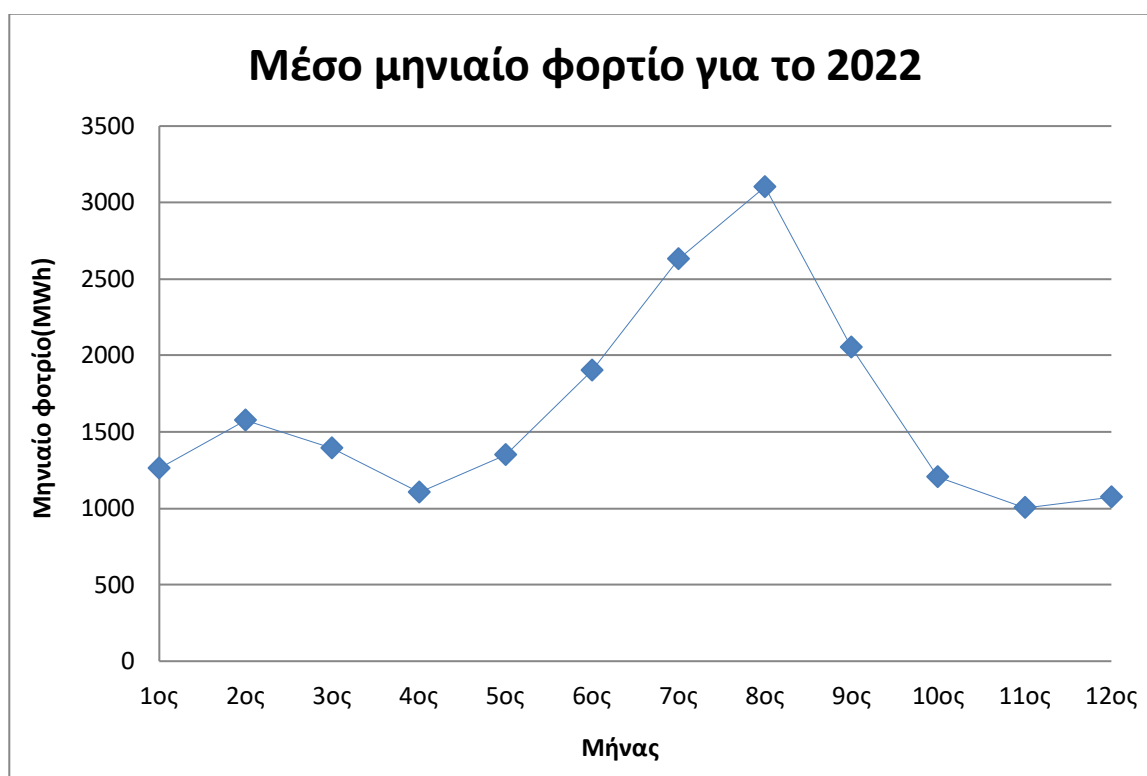


Διάγραμμα 5-3 : Διακύμανση ωριαίου φορτίου σε MWh τον Αύγουστο 2022 στο ηλεκτρικό σύστημα της Σίφνου

Βάσει των διαγραμμάτων 5-2 και 5-3 είναι φανερή η εποχιακή διακύμανση του φορτίου και των απαιτήσεων σε ενέργεια για το νησί της Σίφνου. Το ποσοστό αιολικής παραγωγής που είναι χαμηλό στην περίπτωση αυτή συμβάλει στην οικονομικότερη λειτουργία του δικτύου και αποτελεί συμπληρωματική πηγή ενέργειας τις στιγμές που δεν θα λειτουργεί κάποια μηχανή του σταθμού της ΔΕΗ. Μάλιστα ο Αύγουστος αποτελεί και τον μήνα μέγιστης ζήτησης ,πράγμα που φαίνεται και στα δύο διαγράμματα καθώς σχεδόν έχουμε τετραπλασιασμό των τιμών φορτίου που απαιτεί το δίκτυο. Ακόμη παρατηρείται τον Ιανουάριο να υπάρχει μεγαλύτερη αιολική παραγωγή σε σχέση με τον Αύγουστο, λόγω περιορισμών του ΔΕΔΔΗΕ. Παρατηρείται και εδώ ότι τις πρωινές ώρες έχουμε τις ελάχιστες τιμές σε ζήτηση και παραγωγή ενώ το βράδυ έχουμε τις μεγαλύτερες δυνατές τιμές.

5.3.2 Μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

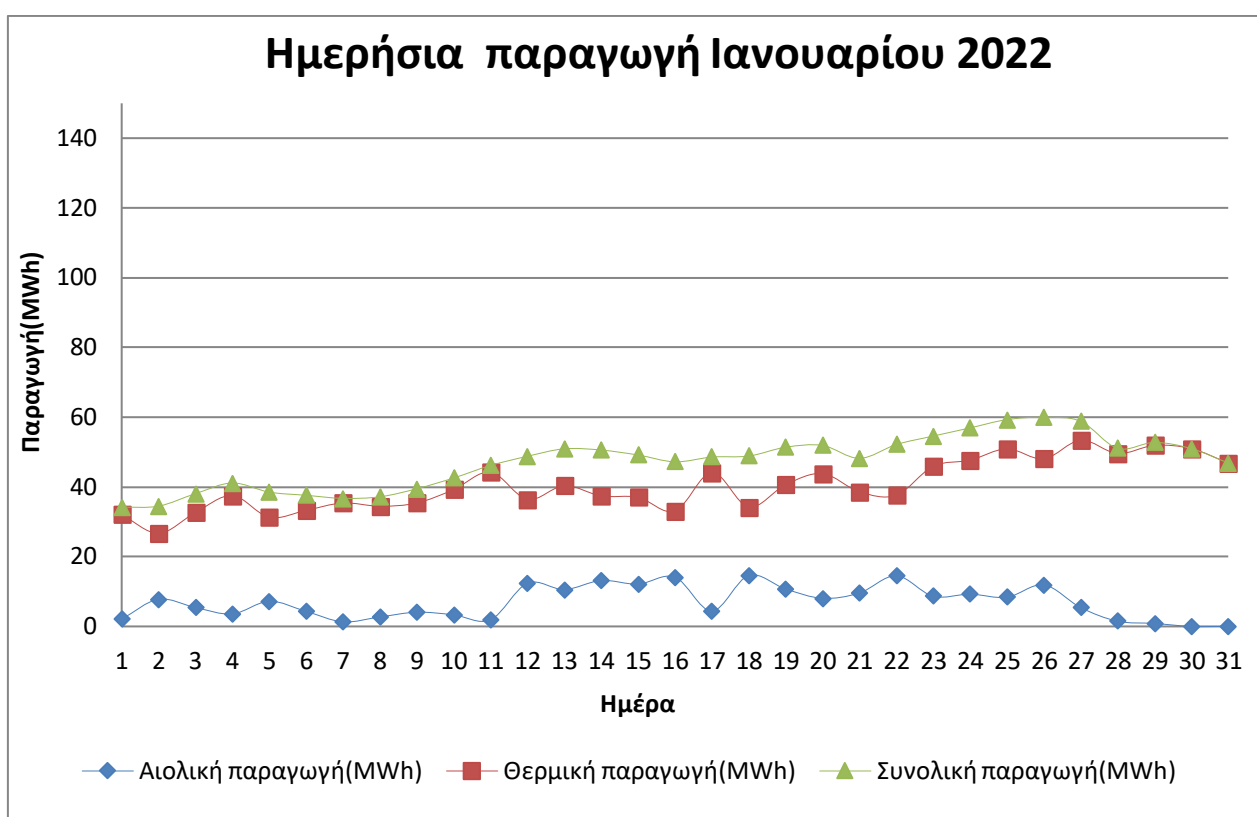
Σε επίπεδο μηνιαίο πλέον, από τις μετρήσεις του ΔΕΔΔΗΕ αρχικά για το φορτίο της ζήτησης ανά μήνα το έτος 2022 και έπειτα συγκριτικά για δύο μήνες του έτους τόσο για φορτίο όσο και για τη συνολική παραγωγή τα αποτελέσματα είναι τα εξής.



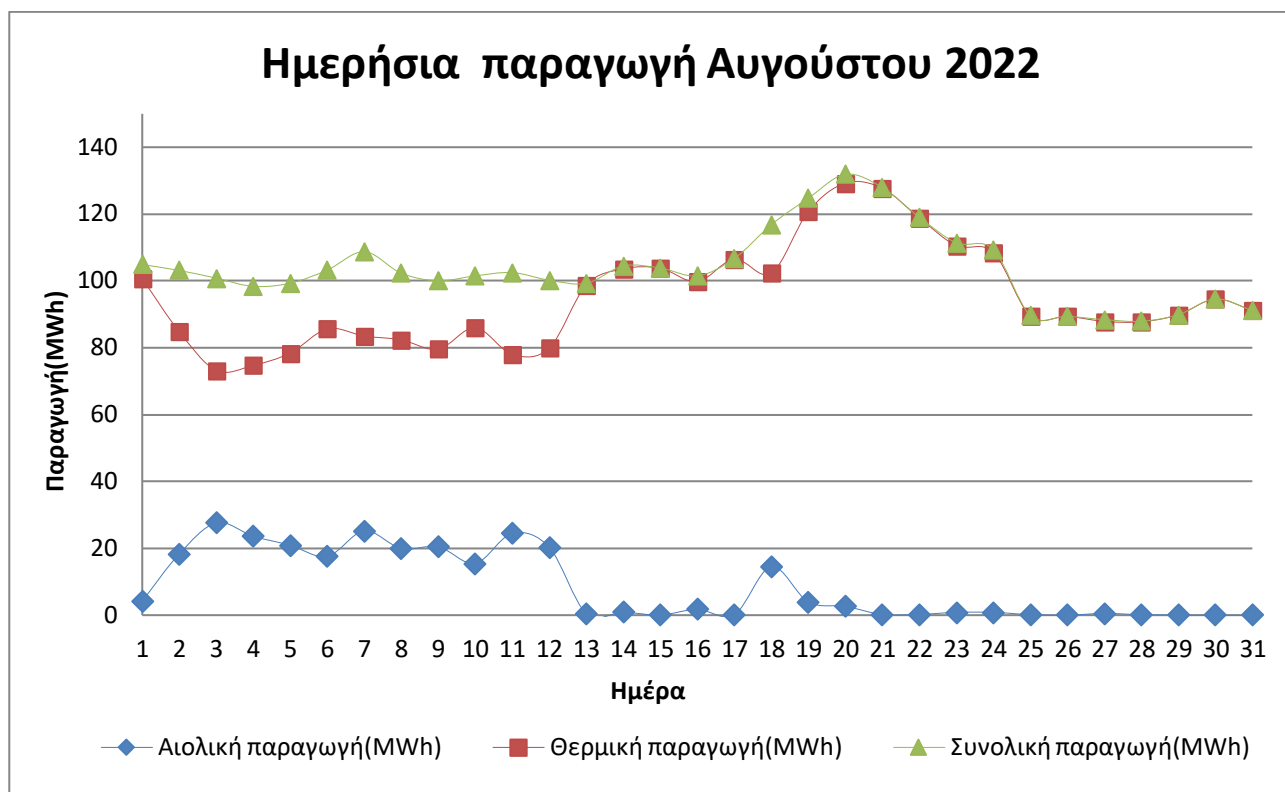
Διάγραμμα 5-4 : Διακύμανση μηνιαίου φορτίου σε MWh/μήνα για το 2022 στο ηλεκτρικό σύστημα της Σίφνου

Είναι φανερή η πολύ μεγάλη αύξηση της ζήτησης το τρίμηνο του καλοκαιριού και κυρίως τον Αύγουστο όπου η ζήτηση τον μήνα έφτασε τις 3100MWh. Ακόμη και τον μήνα Σεπτέμβριο παρατηρείται αυξημένη ζήτηση λόγω του τέλους της τουριστικής περιόδου του καλοκαιριού. Αντίστοιχα όλους τους επόμενους μήνες βρισκόμαστε σε πολύ μικρότερα ποσά με την ελάχιστη τιμή να παρατηρείται τον Νοέμβριο με φορτίο μόλις 1002MWh.

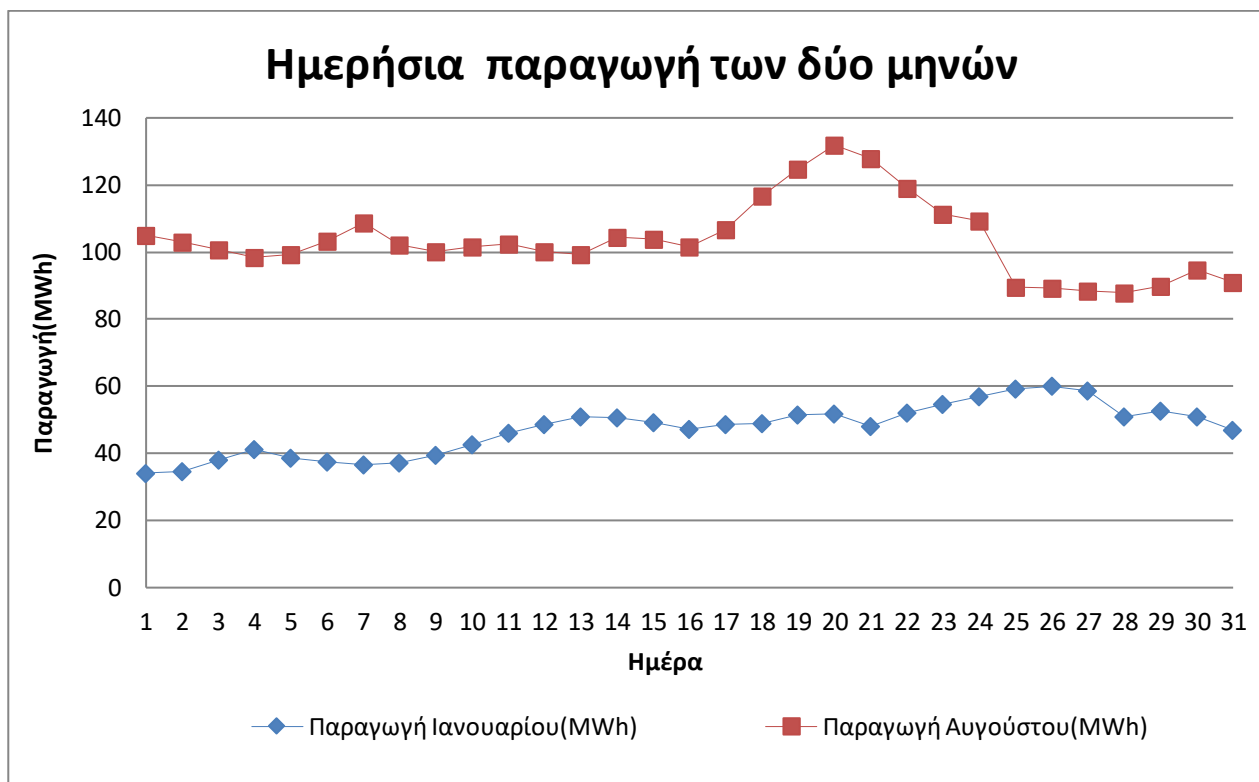
Προχωρώντας, θα αναπαρασταθούν δύο απεικονίσεις που αφορούν την συνολική ηλεκτρική παραγωγή του νησιού στους μήνες Ιανουάριο και Αύγουστο ανά ημέρα και θα γίνει η σχετική σύγκριση. Τα αποτελέσματα είναι τα κάτωθι.



Διάγραμμα 5-5 : Διακύμανση ημερήσιας παραγωγής σε MWh/day για τον Ιανουάριο 2022 στο ηλεκτρικό σύστημα της Σίφνου



Διάγραμμα 5-6 : Διακύμανση ημερήσιας παραγωγής σε MWh/day για τον Αύγουστο 2022 στο ηλεκτρικό σύστημα της Σίφνου



Διάγραμμα 5-7 : Διακύμανση ημερήσιας παραγωγής σε MWh/day για τον Ιανουάριο και τον Αύγουστο 2022 στο ηλεκτρικό σύστημα της Σίφνου

Με βάση τις τρεις προηγούμενες γραφικές απεικονίσεις αρχικά είναι κατανοητό ότι η ζήτηση κορυφώνεται τον μήνα Αύγουστο και αντιστοίχως η παραγωγή βρίσκεται στο μέγιστο δυνατό. Σε σύγκριση λοιπόν με τον Ιανουάριο οι τιμές αγγίζουν τον τετραπλασιασμό και εδώ σε επίπεδο μηνιαίου φορτίου. Τον Ιανουάριο λόγω μη τουριστικής περιόδου οι τιμές είναι πολύ μικρότερες από τον Αύγουστο και υπάρχουν μόνο ανάγκες για θέρμανση που θα έχουν οι μόνιμοι κάτοικοι του νησιού. Αυτός είναι και ένας λόγος που το νησί έχει μικρό φορτίο αρκετά να καλύψει. Τώρα τον Αύγουστο πρέπει να καλυφθούν όχι μόνο οι ανάγκες των μόνιμων κατοίκων σε ψύξη και οτιδήποτε άλλο, αλλά και οι αντίστοιχες ανάγκες των τουριστών του νησιού, για αυτό πρέπει να υπάρξει αρκετά μεγαλύτερη παραγωγή ιδιαίτερα σε θερμική, όπως φαίνεται από την αντίστοιχη εικόνα. Παράλληλα, οι ανεμογεννήτριες που έχουν εγκατασταθεί από την τοπική κοινωνία όπως αναφέραμε προηγουμένως αποτελούν ξανά συμπληρωματική πηγή ενέργειας για το δίκτυο και για τους δύο μήνες που αναφέραμε. Είναι σαφές ότι τον Αύγουστο απαιτείται περισσότερη παραγωγή από τα αιολικά, που όπως παρατηρείται από τις διακυμάνσεις και των δυο γραφημάτων (κυρίως τον Αύγουστο) λειτουργούν υπό ορισμένους περιορισμούς αναλόγως τις απαιτήσεις της εκάστοτε ημέρας.

Τέλος από την τελευταία απεικόνιση των δύο μηνών, στις τελευταίες μέρες φαίνεται να πλησιάζουν λίγο οι τιμές που οφείλεται σε αυξημένο φορτίο τον Ιανουάριο και σε μειωμένο αντίστοιχα τον Αύγουστο.

5.3.3 Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

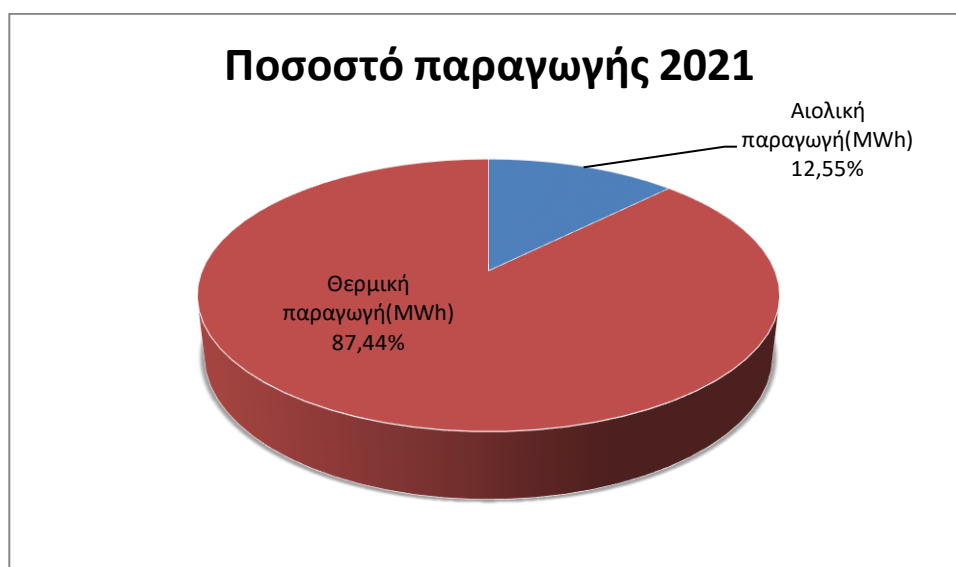
Στην υποενότητα αυτή θα παρουσιαστεί η ηλεκτροπαραγωγή της Σίφνου στο έτος 2022 αναλυτικά ανά μήνα και αθροιστικά θα βρεθεί η συνολική παραγωγή στο έτος τόσο σε θερμική όσο σε αιολική. Ακόμη, θα παρουσιαστούν και τα ποσοστά σε θερμική και σε αιολική παραγωγή για την καλύτερη εικόνα της παραγωγής. Με βάση τις τιμές από τον ΔΕΔΔΗΕ θα έχουμε ως εξής.

Πίνακας 5-2: Πίνακας τιμών ετήσιας ηλεκτροπαραγωγής, ανά μήνα, στη νήσο Σίφνο

Μήνας	Αιολική παραγωγή(MWh)	Θερμική παραγωγή(MWh)	Συνολική παραγωγή(MWh)	Ποσοστό παραγωγής ΑΠΕ(%)	Ποσοστό θερμικής παραγωγής(%)
Ιανουάριος	211,47	1224,23	1435,70	14,73	85,27
Φεβρουάριος	0,03	1205,37	1205,40	0,002	99,998
Μάρτιος	256,68	1178,47	1435,15	17,89	82,11
Απρίλιος	144,90	1125,28	1270,18	11,4	88,6
Μάιος	126,63	1313,58	1440,21	8,79	91,21
Ιούνιος	281,58	1783,94	2065,52	13,63	86,37
Ιούλιος	436,65	2291,23	2727,88	16	84
Αύγουστος	265,77	2872,36	3138,13	8,47	91,53
Σεπτέμβριος	249,09	1878,85	2127,94	11,7	88,3
Οκτώβριος	217,35	987,8	1205,15	18,03	81,97
Νοέμβριος	139,71	813,49	953,20	17,17	82,83
Δεκέμβριος	83,55	911,38	994,93	9,16	90,84
Σύνολο	2413,41	17585,98	19999,39	12,06	87,94

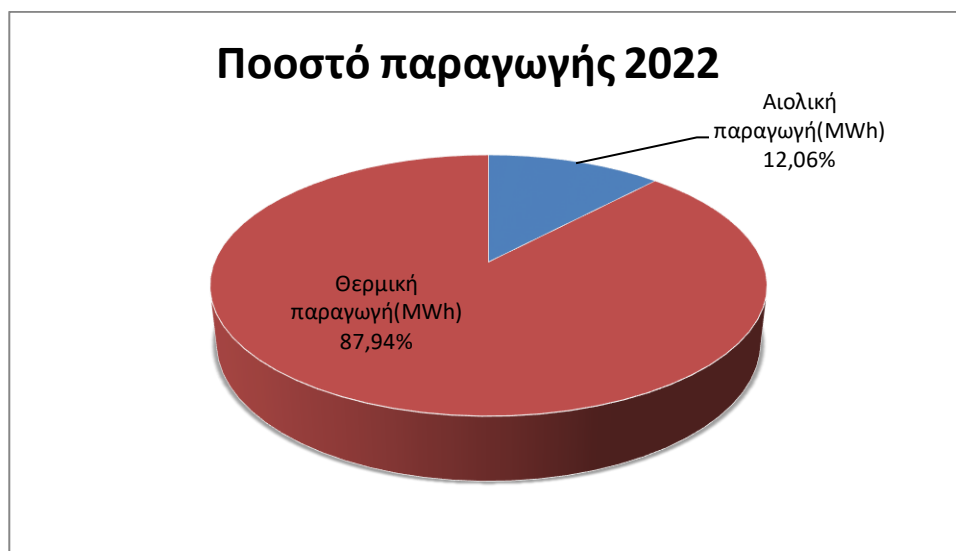
Από τον πίνακα φαίνονται τα μικρά ποσοστά αιολικής παραγωγής κάθε μήνα που δε ξεπερνούν το 20% της παραγωγής συνολικά, ενώ στο έτος 2022 χονδρικά καλύπτουν μόνο το 12,06% ,ως μερίδιο της συνολικής παραγωγής. Η ετήσια συνολική παραγωγή του έτους είναι σχεδόν 20GWh (19,99GWh) από την οποία πολύ μεγάλο μερίδιο, μόλις 87,94%,αποτελείται από θερμική παραγωγή.

Για την περαιτέρω ανάλυση και εικόνα της ηλεκτροπαραγωγής του νησιού ετησίως θα γίνει μια μικρή σύγκριση με το προηγούμενο έτος, το 2021,αναπαριστάνοντας τις τιμές παραγωγής σε ποσοστά και νούμερα.



Διάγραμμα 5-8 : Ποσοστό παραγωγής το 2021 στο ηλεκτρικό σύστημα της Σίφνου

Το 2021 η παραγωγή ανήλθε στις 20623,14MWh ή 20,62GWh. Τα αντίστοιχα ποσοστά είναι τα παραπάνω και συγκεκριμένα έχουμε 2589,63MWh αιολικής και 18033,51MWh θερμικής παραγωγής.



Διάγραμμα 5-9 : Ποσοστό παραγωγής το 2022 στο ηλεκτρικό σύστημα της Σίφνου

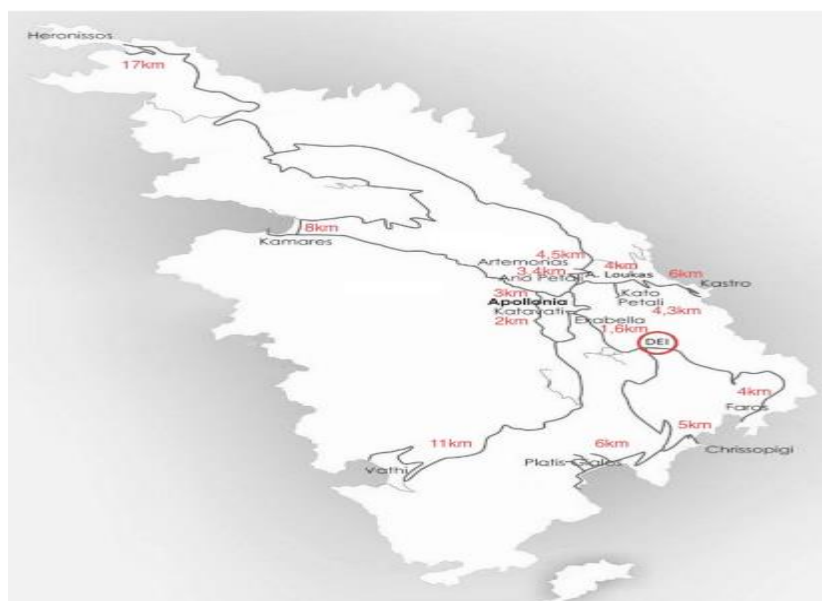
Το 2022 όπως αναφέρθηκε πριν παράχθηκαν 19,99GWh εκ των οποίων 2413,41MWh αιολική και 17585,98MWh θερμική, με τα αντίστοιχα ποσοστά.

Από τις δυο τελευταίες εικόνες παρατηρούμε ότι το 2021 παράχθηκε περισσότερη ενέργεια από ότι το 2022, τόσο σε θερμική όσο και σε αιολική. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε ορισμένους περιορισμούς κάποιες στιγμές μέσα στο έτος ή ότι το 2022 η τουριστική περίοδος ήταν λιγότερο απαιτητική ενεργειακά από ότι το 2021.

Γενικά βάσει του πίνακα και των γραφικών που δείχθηκαν στην ενότητα αυτή φαίνεται τάση της κοινότητας και των διαχειριστών του νησιού στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κυρίως από θερμικές μονάδες. Η μέθοδος αυτή κυρίως χρησιμοποιείται για την κάλυψη ζήτησης των εποχιακών διακυμάνσεων, που φαίνονται και πάλι σε ετήσιο επίπεδο, καθώς δείχνει να καλύπτει σε ικανοποιητικό επίπεδο το φορτίο. Παράλληλα αποτελεί αρκετά επιβλαβή οικονομικά μέθοδο για αυτό και χρησιμοποιείται μερίδιο από αιολική ενέργεια συμπληρωματικά σε χαμηλό ποσοστό. Τέλος, αυτού του είδους την θερμική παραγωγή, η μελέτη παρακάτω θα περιορίσει, ώστε να βρεθεί μια οικονομικότερη και πιο ασφαλής για το περιβάλλον λύση με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ακόμη, για την πλήρη κάλυψη των διακυμάνσεων φορτίου θα χρειαστεί το δίκτυο σύστημα αποθήκευσης που θα χρησιμοποιηθεί μαζί με τις ΑΠΕ.

5.4 Μοντελοποίηση ηλεκτρικού δικτύου

Στο πλαίσιο αυτό, για την μελέτη που επρόκειτο να γίνει, θα πρέπει να μελετηθεί και να μοντελοποιηθεί ένα ηλεκτρικό δίκτυο που να είναι σχετικά ισχυρό. Επομένως, βάσει του υπάρχοντος ηλεκτρικού δικτύου του νησιού που έχει καταστρωθεί, το οποίο στηρίζεται και στο οδικό δίκτυο θα μοντελοποιήσουμε κάποια στοιχεία για να φτιάξουμε το μονογραμμικό σχέδιο. Ο χάρτης του οδικού δικτύου καλύπτει όλες τις περιοχές του νησιού πράγμα που διευκολύνει το έργο μας.



Εικόνα 5-4 : Δίκτυο διανομής Σίφνου

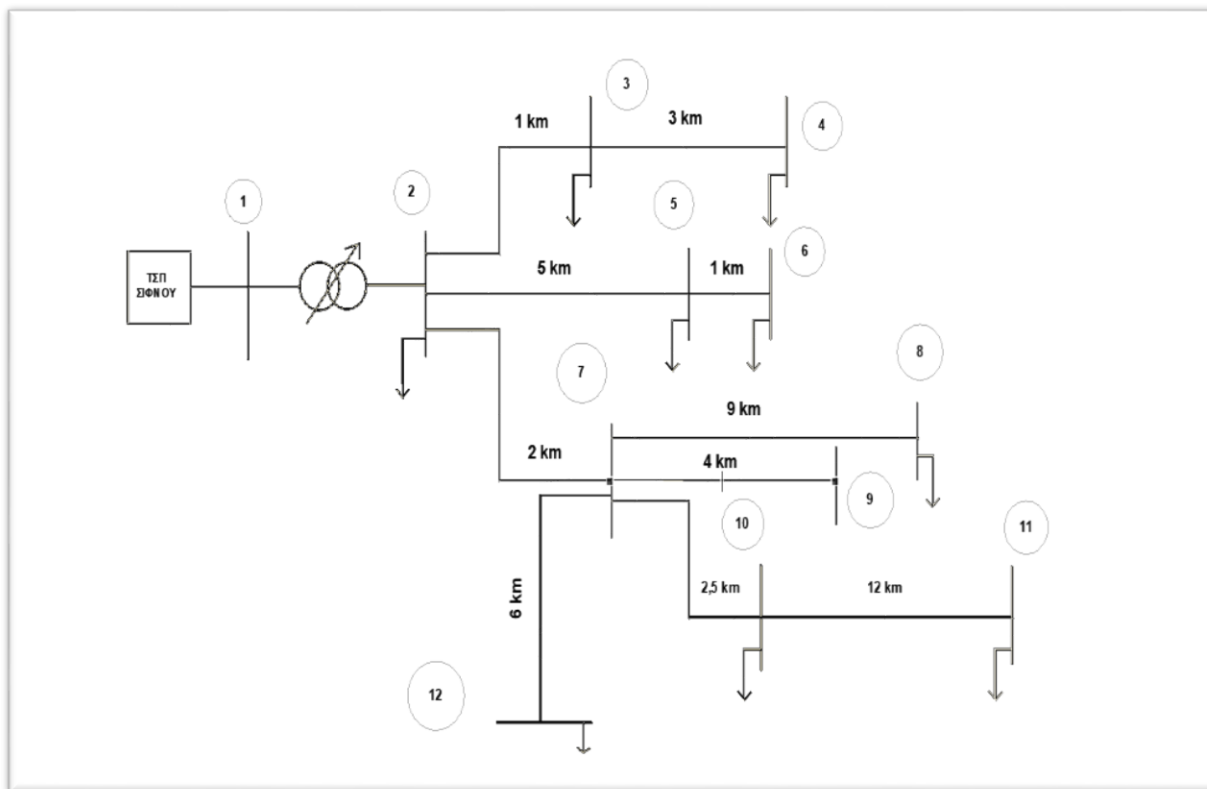
Ο τοπικός σταθμός παραγωγής (ΤΣΠ) της ΔΕΗ φαίνεται στην εικόνα 5-3 και οι χιλιομετρικές αποστάσεις μεταξύ του σταθμού και των κυριότερων περιοχών του νησιού απεικονίζονται παρακάτω. Θα μας χρειαστούν για την μοντελοποίηση του ηλεκτρικού δικτύου στη συνέχεια.

Πίνακας 5-3: Χιλιομετρικές αποστάσεις μεταξύ ΤΣΠ Σίφνου και των κυριότερων περιοχών

Περιοχή		Απόσταση(km)
Από	Προς	
ΤΣΠ Σίφνου	Απολλωνία	3
ΤΣΠ Σίφνου	Φάρος	4
ΤΣΠ Σίφνου	Χρυσοπηγή	5
ΤΣΠ Σίφνου	Πλατύς γιαλός	6
ΤΣΠ Σίφνου	Καμάρες	8
ΤΣΠ Σίφνου	Κάστρο	6
ΤΣΠ Σίφνου	Αρτεμώνας	4,5
ΤΣΠ Σίφνου	Χερώνησος	17
ΤΣΠ Σίφνου	Πλακωτό	1
ΤΣΠ Σίφνου	Κατεβατή	2
ΤΣΠ Σίφνου	Άνω πετάλι	3,4
ΤΣΠ Σίφνου	Κάτω πετάλι	4,3
ΤΣΠ Σίφνου	Εξάμπελα	1,6

Όσον αφορά τις γραμμές διανομής του ηλεκτρικού δικτύου που θα καταστρωθεί, αντλώντας τις απαραίτητες πληροφορίες από πραγματικά δεδομένα από τον ΔΕΕΔΗΕ, καταλήξαμε στην χρήση γραμμών 3x35 Cu στο δίκτυο μέσης τάσης που θα στηθεί. Μάλιστα, η χρήση αυτού του τύπου καλωδίων οφείλεται στην τάση που θα υπάρχει μελλοντικά, να αποσυρθούν οι θερμικές μονάδες ή να βρεθούν σε ψυχρή εφεδρεία, στην καλύτερη διασύνδεση του νησιού και στην μελλοντική διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Στη συνέχεια έχοντας δοθέντα τα υπάρχοντα οδικά και ηλεκτρικά δίκτυα της Σίφνου, μοντελοποιώντας και ομαδοποιώντας τις κυριότερες περιοχές του νησιού σε ζυγούς με κατάλληλο τρόπο, η τελική εικόνα του μονογραμμικού σχεδίου του δικτύου φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 5-5 : Μοντελοποιημένο δίκτυο Μ.Τ Σίφνου

Στο δίκτυο που παρουσιάσαμε στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά των γραμμών διανομής Μ.Τ. Ορισμένα στοιχεία βρέθηκαν από πραγματικά δεδομένα του ΔΕΔΔΗΕ.

Πίνακας 5-4: Βασικά στοιχεία γραμμών διανομής δικτύου

Γραμμή διανομής δικτύου Μ.Τ	
Ονομαστική τάση δικτύου (V_{ov})	20kV
Μέγιστη επιτρεπόμενη φόρτιση ή ρεύμα υπερφόρτισης	185A
Βάση ισχύος	100MVA
Αντίσταση βάσης	4Ω
Ωμική αντίσταση R ανά km	0,596Ω/km
Επαγωγική αντίδραση X ανά km	0,393Ω/km

Στο σημείο αυτό πριν ονομάσουμε τους ζυγούς του δικτύου που έχουμε φτιάξει, το οποίο όπως φαίνεται από την εικόνα 5-13 αποτελείται από 12 ζυγούς, θα αναφέρουμε κάποια σημαντικά στοιχεία συμβολισμού για την καλύτερη κατανόηση. Έχουμε τον ζυγό ταλάντωσης ή αλλιώς slack bus που φέρει τον αριθμό 1, όπως θα δούμε στη συνέχεια και στο πρόγραμμα. Όλοι οι άλλοι ζυγοί είναι οι ζυγοί φορτίου (PQ) που φέρουν τον αριθμό 0. Παρακάτω στα σενάρια που θα τρέξουν

Μοντελοποίηση και παρακολούθηση έξυπνου υβριδικού δικτύου με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και αποθήκευση
 κάποιου ζυγού θα γίνουν ζυγοί παραγωγής(PV) και θα φέρουν τον αριθμό 2.Ακόμη,στο δίκτυο μας
 ορίσαμε έναν τυπικό συντελεστή ισχύος 0,9 για τα άεργα φορτία.

Συμπληρωματικά, ανάλογα με την πληθυσμιακή κατανομή του νησιού η ζήτηση διαφέρει από ζυγό
 σε ζυγό με την υψηλότερη ζήτηση να παρατηρείται στην χώρα (Απολλωνία).

Πίνακας 5-5:Βασικά στοιχεία ζυγών δικτύου

Περιοχή	Ζυγός	Κωδικός ζυγού	Τάση ζυγού α.μ	Γωνία α.μ	cosφ
ΤΣΠ Σίφνου	1	1	1	0	0,9
Πλακωτό(Μ/Σ)	2	0	1	0	0,9
Πλακωτά	3	0	1	0	0,9
Φάρος	4	0	1	0	0,9
Χρυσοπηγή	5	0	1	0	0,9
Πλατύς Γιαλός	6	0	1	0	0,9
Απολλωνία	7	0	1	0	0,9
Βαθύ	8	0	1	0	0,9
Κάστρο	9	0	1	0	0,9
Αρτεμόνας	10	0	1	0	0,9
Χερρόνησος	11	0	1	0	0,9
Καμάρες	12	0	1	0	0,9

Όπως μπορεί να γίνει αντιληπτό έχει γίνει μια ομαδοποίηση των περιοχών σε ζυγούς με βάση τα
 στοιχεία που λάβαμε από τον ΔΕΔΔΗΕ για το σύστημα της Σίφνου. Συγκεκριμένα, ο ζυγός 3
 (Πλακωτά) αποτελεί ένα σύνολο ξενοδοχειακών μονάδων που έχει από μόνος του ποσοστό
 ζήτησης στο δίκτυο. Η χώρα του νησιού που είναι ο ζυγός 7 (Απολλωνία) έχει ομαδοποιηθεί ως
 ένας ζυγός με κοντινές περιοχές (περίπου στο 1-1,5χλμ) όπως Εξάμπελα, Άνω πετάλι και Κατεβατή
 και προφανώς καλύπτει το μεγαλύτερο ποσοστό ζήτησης. Παρόμοια ο ζυγός 10 (Αρτεμόνας)
 ομαδοποιήθηκε με κοντινές περιοχές και ο ζυγός 11(Χερρόνησος) με το χωριό Τρουλάκι. Η
 διαδικασία αυτή διευκολύνει την μετέπειτα διαχείριση του δικτύου.

Στη συνέχεια έχοντας από τον πίνακα 5-4 τα στοιχεία R,X των γραμμών διανομής και την αντίσταση βάσης θα επιλύσουμε κάποιες πράξεις και παρακάτω φαίνονται τα αποτελέσματα για τις ανά μονάδα τιμές, τις οποίες θα αποτυπώσουμε στο πρόγραμμα μοντελοποίησης του δικτύου σε MATLAB αργότερα. Ακόμη φαίνονται και οι αποστάσεις μεταξύ των ζυγών του δικτύου.

Πίνακας 5-6: Αποστάσεις ζυγών και βασικά στοιχεία γραμμών δικτύου

Περιοχή	Από ζυγό	Προς ζυγό	R(α.μ)	X(α.μ)	$\frac{1}{2} B$ (pu)	1for lines > 1 or < 1 tr. Tap 1for lines > 1 or < 1 tr.tap	Είδος γραμμής	Απόσταση ζυγών(km)
ΤΣΠ Σίφνου-Πλακωτό	1	2	0,1	0,3	0	1	3x240XLPE	0
Πλακωτό-Πλακωτά	2	3	0,15	0,1	0	1	3x35Cu	1
Πλακωτό-Χρυσοπηγή	2	5	0,75	0,5	0	1	3x35Cu	5
Πλακωτό-Απολλωνία	2	7	0,3	0,2	0	1	3x35Cu	2
Πλακωτά-Φάρος	3	4	0,45	0,3	0	1	3x35Cu	3
Χρυσοπηγή-Πλατύς Γιαλός	5	6	0,15	0,1	0	1	3x35Cu	1
Απολλωνία-Βαθύ	7	8	1,33	0,88	0	1	3x35Cu	8
Απολλωνία-Κάστρο	7	9	0,6	0,4	0	1	3x35Cu	4
Απολλωνία-Αρτεμόνας	7	10	0,375	0,25	0	1	3x35Cu	2,5
Απολλωνία-Καμάρες	7	12	0,9	0,6	0	1	3x35Cu	6
Αρτεμόνας-Χερώνησος	10	11	1,8	1,2	0	1	3x35Cu	12

Εφόσον μοντελοποιήθηκε το δίκτυο της Σίφνου, στη συνέχεια θα μελετήσουμε σενάρια πάνω σε αυτή την κατάσταση. Πιο αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα γίνεται μια συνοπτική αναφορά στα σενάρια που θα μελετηθούν στο υπόλοιπο της ενότητας.

Πίνακας 5-7: Πίνακας συνοπτικής αναφοράς των σεναρίων προς μελέτη

Σενάριο 1	Υφιστάμενη κατάσταση δικτύου	
Σενάριο 2	Προβολή δικτύου μετά από 10 χρόνια με σταδιακή διείσδυση ΑΠΕ	Σενάριο 2.1: Διείσδυση 1 MW φωτοβολταϊκών και 1,6 MW αιολικών
		Σενάριο 2.2: Διείσδυση 2 MW φωτοβολταϊκών και 2 MW αιολικών
		Σενάριο 2.3: Διείσδυση 3 MW φωτοβολταϊκών και 3 MW αιολικών
		Σενάριο 2.4: Διείσδυση 7 MW φωτοβολταϊκού και 3 MW αιολικού → Χρήση κατάλληλου συστήματος αποθήκευσης στο σενάριο 2.4
Σενάριο 3	Βελτιστοποίηση συνδυασμών με διείσδυση ΑΠΕ και αποθήκευση	Σενάριο 3.1: Διείσδυση 5MW φωτοβολταϊκών και 3MW αιολικών με 4MW αποθήκευση
		Σενάριο 3.2: Διείσδυση 3MW φωτοβολταϊκών και 3,5MW αιολικών με 2,4MW αποθήκευση
Σύγκριση των τελικών συνδυασμών		

5.5 Σενάριο 1: Υφιστάμενη κατάσταση δικτύου

Αρχικά, προκειμένου να γίνει σωστά η μελέτη, θα πρέπει να ικανοποιούνται ορισμένες συνθήκες στο δίκτυο μας. Η μία και πιο βασική είναι το κριτήριο επιτρεπτών ορίων τάσεως ανά μονάδα στον κάθε ζυγό του δικτύου.

Συγκεκριμένα, θα πρέπει για την τάση V του δικτύου σε κανονικές τιμές, σε οποιονδήποτε ζυγό, να ισχύει:

$$0,95 V_{ov} \leq V \leq 1,05 V_{ov} , \quad \text{όπου } V_{ov} = \text{ονομαστική τάση δικτύου στα } 20\text{kV}$$

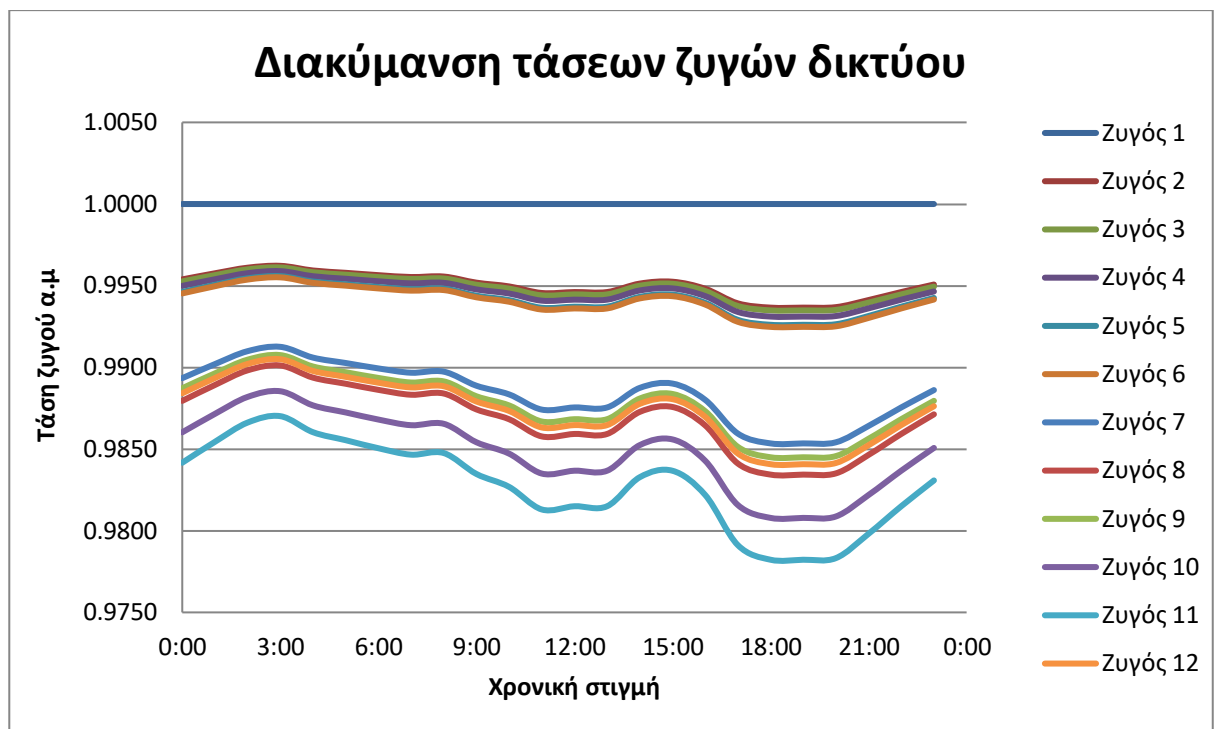
Αντίστοιχα η ίδια συνθήκη σε ανά μονάδα τιμές που θα χρησιμοποιηθούν στο πρόγραμμα για την τάση V είναι : $0,95 \leq V \leq 1,05$.Με λίγα λόγια σε κάθε τρέξιμο του δικτύου, δεν θέλουμε η τάση α.μ του κάθε ζυγού να ξεπερνά το $\pm 5\%$ ονομαστικής τάσης α.μ, που είναι ο αριθμός 1.

Από την άλλη, σε άλλο κριτήριο για την λειτουργία του δικτύου δεν θα πρέπει σε κάθε γραμμή διανομής να υπάρχει υπερφόρτωση. Αυτό σημαίνει το ρεύμα τις γραμμής εκείνης και τις εκάστοτε γραμμής να μην ξεπερνά το θερμικό όριο των 185Α, όπως πληροφορούμαστε και από την εικόνα 5-3. Διαφορετικά θα υπάρξει υπερφόρτωση γραμμών και θα καταρρεύσει το δίκτυό μας. Επίσης, η τιμή του ρεύματος αυτή μπορεί να μεταφραστεί στη τιμή των 6,4MVA φαινόμενης ισχύος, κάνοντας τις απαραίτητες πράξεις για 20kV τάση. Εναλλακτικά δηλαδή, δεν προτιμάται πάνω από 6,4MVA φαινόμενης ισχύος στην εκάστοτε γραμμή.

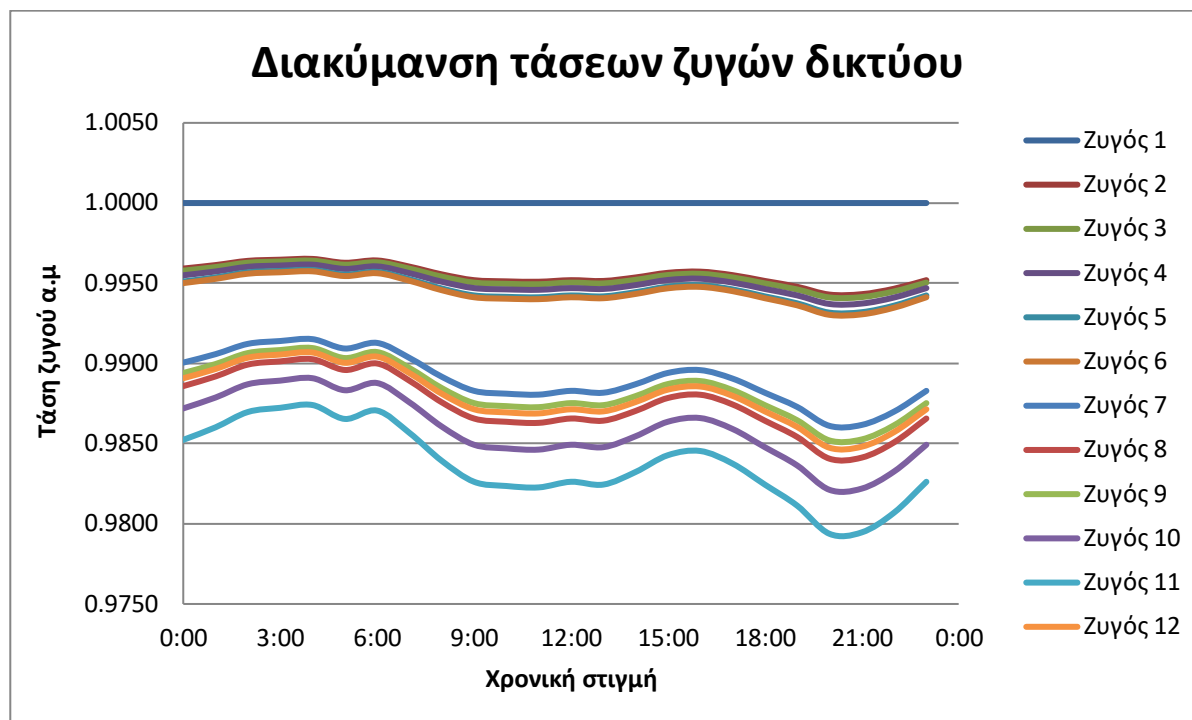
Με βάση, λοιπόν, τα πάνω πολύ βασικά κριτήρια θα ξεκινήσει η μελέτη, η οποία θα αφορά κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες και συγκεκριμένα τον Αύγουστο. Εκεί, όπως έχουμε πει έχουμε κορύφωση της τουριστικής περιόδου, άρα και της ζήτησης φορτίου. Συγκεκριμένα θα παρουσιάζεται μια τυπική ημέρα του Αυγούστου (παρόμοια και για άλλους μήνες) με μέσες ωριαίες τιμές ζήτησης και θα αντιμετωπίζεται οποιαδήποτε παραβίαση πάνω σε αυτές τις τιμές. Εισαγωγικά, θα γίνει αναπαράσταση της εικόνας του μοντελοποιημένου αρχικού δικτύου για δύο μήνες εκτός καλοκαιριού, όπου αναμένεται η κατάσταση ομαλή. Έπειτα, θα αναπαρασταθεί η εικόνα του αρχικού δικτύου με λεπτομέρεια τον Αύγουστο 2022 και στη συνέχεια, σε επόμενη υποενότητα, αυξάνοντας τη ζήτηση κάθε 3 χρόνια, μετά από μια δεκαετία, ξανά τον μήνα Αύγουστο θα τρέξουμε σενάρια διεύθυνσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας βάσει κριτηρίων, με αποθηκευτικό σύστημα, αποσύροντας σημαντικό ποσοστό θερμικών μονάδων.

Σημαντικό είναι να ειπωθεί ότι για την καλύτερη απεικόνιση της κατάστασης δικτύου και της διακυμάνσεως φορτίου, θα αναπαριστούν γραφήματα με εικοσιτετράωρη κατανομή φορτίου στους ζυγούς. Θα γίνει αναπαράσταση βασικών τμημάτων του προγράμματος MATLAB από όπου θα μοντελοποιηθεί το δίκτυο, συνήθως εκεί που παρατηρείται η μεγιστοποίηση του ωριαίου φορτίου. Για την εύρεση των τάσεων ζυγών και άλλων στοιχείων, το πρόγραμμα MATLAB υλοποιεί την μέθοδο Newton-Raphson για να μας δώσει την τελική εικόνα.

Εισαγωγικά, θα παρουσιαστεί η εικόνα των ζυγών του δικτύου για τους μήνες Ιανουάριο και Μάιο, βάσει την κατανομή ζήτησης από ζυγό σε ζυγό.



Διάγραμμα 5-10 : Εικόνα συμπεριφοράς τάσεων ζυγών δικτύου τον Ιανουάριο 2022



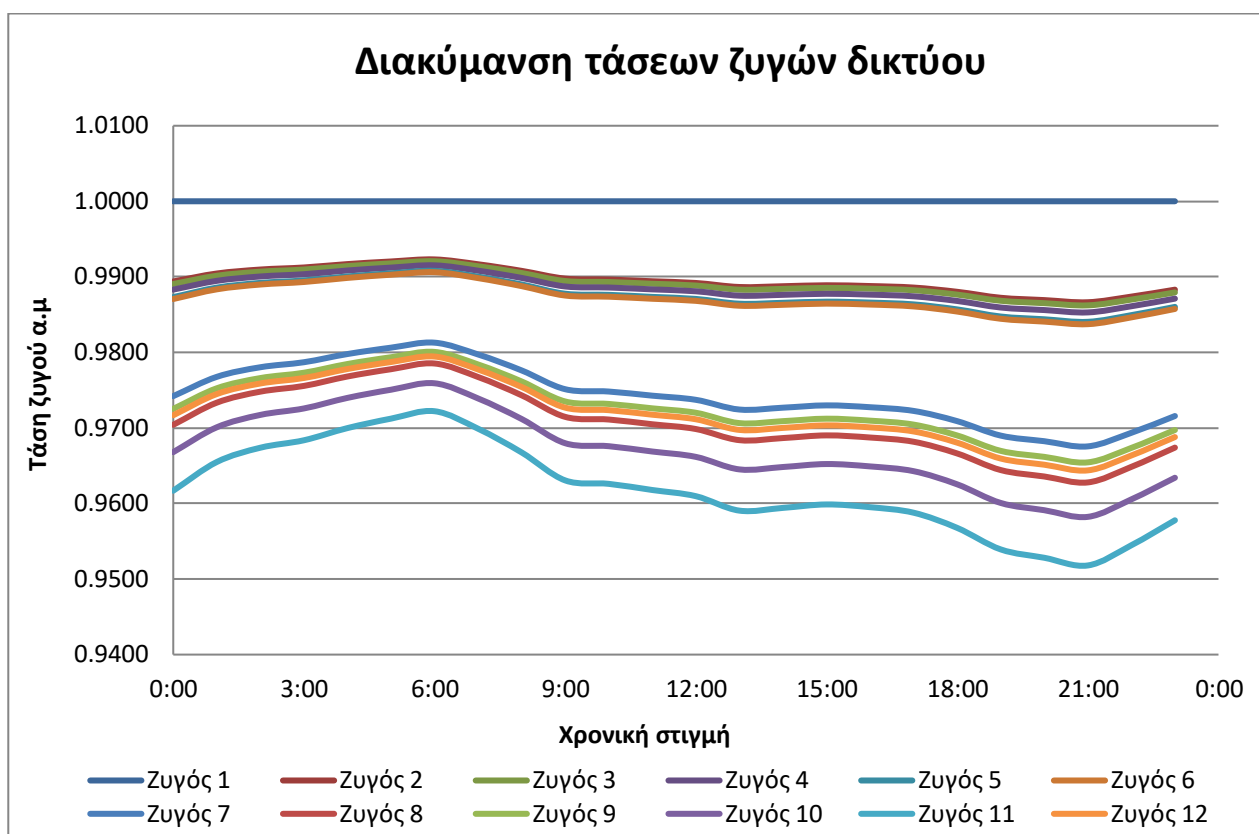
Διάγραμμα 5-11 : Εικόνα συμπεριφοράς τάσεων ζυγών δικτύου τον Μάιο 2022

Από τις δύο προηγούμενες απεικονίσεις εύκολα παρατηρούμε ότι δεν διατρέχει κάποιος κίνδυνος στο δίκτυο μας, από άποψη επιτρεπτών ορίων, τους μήνες Ιανουάριο και Μάιο, καθώς οι τιμές των τάσεων δεν είναι μικρότερες των 0,97 ανά μονάδα ακόμη και στις απογευματινές ώρες που παρατηρείται η περισσότερη κατανάλωση φορτίου.

Το ίδιο συμβαίνει σαφώς με την υπερφόρτωση των γραμμών που λειτουργούν τελείως ομαλά. Η ίδια λοιπόν εικόνα παρατηρείται σε όλους τους άλλους μήνες και δεν υπάρχει κάποιο πρόβλημα στο δίκτυο με την ίδια διαδικασία.

Παρακάτω θα εμφανιστούν τα αποτελέσματα του τρεξίματος του προγράμματος MATLAB για την ώρα όπου παρατηρείται η δυσμενέστερη κατάσταση της ζήτησης κατά μέσο όρο στο εικοσιτετράωρο τον Αύγουστο. Η χρονική αυτή στιγμή είναι στις 21:00. Βάσει των αποτελεσμάτων για τις 21:00 τον μήνα Αύγουστο οι τιμές των τάσεων σε όλους τους ζυγούς βρίσκονται εντός του $\pm 5\%$ της ονομαστικής τάσης του δικτύου ανά μονάδα, επομένως το δίκτυο λαμβάνει τιμές εντός επιτρεπτών ορίων. Αξίζει όμως να παρατηρηθεί ότι στον ζυγό 11 (Χερσόνησος), που είναι ο πιο απομακρυσμένος ζυγός του δικτύου, η τάση είναι στα 0,9517 ανά μονάδα, δηλαδή βρίσκεται κοντά στο κάτω όριο της επιτρεπτής τάσης ^[A].

Προς το παρόν δεν μας ενοχλεί αυτό από το να προχωρήσουμε την μελέτη, όπως δεν υπάρχουν και θέματα υπερφόρτισης, καθώς από τα αποτελέσματα σχετικά με τις απώλειες και τις ροές φορτίου στα καλώδια δεν βλέπουμε κάποια παράβαση του καθορισμένου ορίου. Εν ολίγοις, το δίκτυο στην υφιστάμενη κατάστασή του, βρίσκεται οριακά εντός των επιτρεπτών ορίων τάσης. Σε πιο ολοκληρωμένη μορφή, η κατάσταση των ζυγών του δικτύου τον Αύγουστο, παρακάτω, απεικονίζεται μέσω του ακόλουθου διαγράμματος σε όλο το εικοσιτετράωρο.



Διάγραμμα 5-12 : Εικόνα συμπεριφοράς τάσεων ζυγών δικτύου τον Αύγουστο 2022

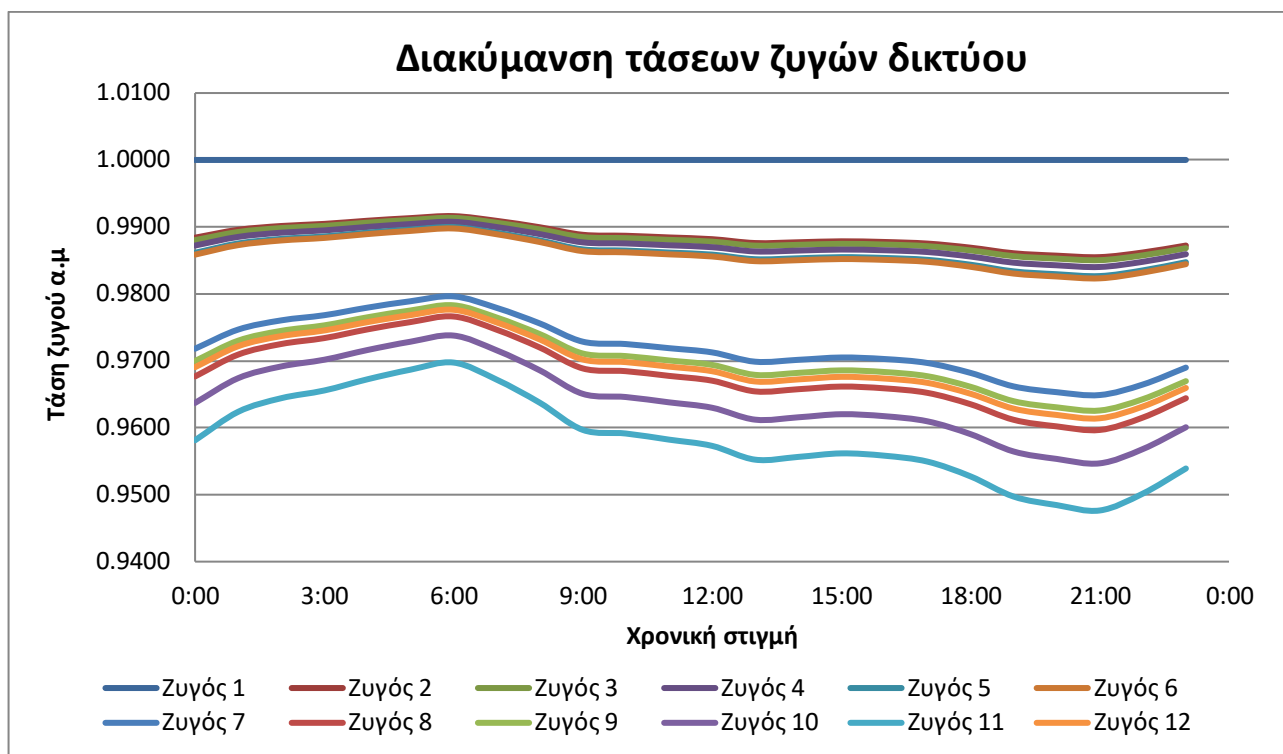
Όπως αναφέραμε και πριν, η δυσμενέστερη κατάσταση της ζήτησης παρατηρείται στις 21:00. Ακόμη, επιβεβαιώνεται και η εικόνα αύξησης της ζήτησης το απόγευμα κατά μέσο όρο εντός του μήνα, που αναφέραμε στις προηγούμενες υποενότητες. Σε γενικές γραμμές παρατηρούμε ότι στο δίκτυο, με δεδομένο ένα ποσό παραγωγής ενέργειας που δίνει ο ζυγός ταλάντωσης (ΤΣΠ Σίφνου), προσφέρει την απαιτούμενη ενέργεια προκειμένου να λειτουργεί σε οριακά σχεδόν επίπεδα τις δυσμενέστερες χρονικές στιγμές της ζήτησης. Ακόμη, στη συνέχεια της μελέτης τα τρεξίματα σε περιβάλλον MATLAB θα αφορούν στις 21:00 που είναι η δυσμενέστερη κατάσταση, εκεί όπου το δίκτυο μπορεί να βρεθεί σε οριακά επίπεδα.

5.6 Σενάριο 2: Προβολή δικτύου μετά από 10 χρόνια με σταδιακή διεύρυνση ΑΠΕ

Στο σενάριο αυτό το οποίο αποτελεί βάση για τα επόμενα, θα εξετάσουμε την εικόνα του δικτύου της προηγούμενης υποενότητας στα επόμενα δέκα χρόνια (Αύγουστος 2032) με προσθήκη μονάδων ΑΠΕ. Συγκεκριμένα, η ζήτηση θα αυξάνεται κάθε 3 χρόνια κατά 3%, επομένως θα έχουμε 9% αύξηση ζήτησης συγκριτικά με τον Αύγουστο 2022. Ακόμη, θα θεωρηθεί ότι χάνονται 3MW θερμικών μονάδων από τον ΤΣΠ. Προφανώς εάν εκτελέσουμε το πρόγραμμα με τα δεδομένα αυτά και με αυτές τις απώλειες των θερμικών μονάδων, θα υπάρξουν θέματα με τις τάσεις των ζυγών του δικτύου. Επομένως, θα γίνει μια αλλαγή στους ζυγούς, που θα ακολουθηθεί σε όλη την υπόλοιπη μελέτη, καθώς συμβάλλει αρκετά στην διαδικασία. Συγκεκριμένα, θα ορίσουμε τον ζυγό 2 (Πλακωτό) ως ζυγό παραγωγής, που θα διαθέτει την υπολειπόμενη θερμική παραγωγή, λόγω απώλειας θερμικών μονάδων. Πρόκειται για ένα τέχνασμα επιτρεπτό που μας διευκολύνει στην διαδικασία της μελέτης. Έτσι, από τον ζυγό ταλάντωσης θα δίνεται το απαιτούμενο ποσό ενέργειας που χρειάζεται για να είναι το δίκτυο στην υφιστάμενη οριακή κατάσταση. Οπότε, με αυτά τα δεδομένα, εκτελώντας το πρόγραμμα ξανά για τις 21:00 τον Αύγουστο 2032, που αποτελεί τη δυσμενέστερη χρονική στιγμή της ζήτησης, παίρνουμε τα αποτελέσματα αναλυτικά στο παράρτημα Α.

Υλοποιώντας το πρόγραμμα, παρατηρούμε ότι σε χρονικές στιγμές οι τάσεις είναι οριακά εκτός ορίων. Στις γραμμές διανομής δεν παρατηρείται κάποια υπερφόρτωση. Ο ζυγός 11 (Χερσόνησος) σε επίπεδα τάσης βρίσκεται οριακά στο κάτω όριο ^[Α].

Τέλος, θα παρουσιαστεί αναλυτικά η εκτιμώμενη εικόνα των ζυγών του δικτύου σε όλο το εικοσιτετράωρο όπως στην περίπτωση του αρχικού δικτύου, βάσει αποτελεσμάτων του προγράμματος MATLAB για την καλύτερη εποπτεία της κατάστασης.



Διάγραμμα 5-13 : Εικόνα εκτίμησης συμπεριφοράς τάσεων ζυγών αρχικού δικτύου τον Αύγουστο 2032

Όπως παρατηρείται το δίκτυο στο διάστημα 19:00- 21:00 στον ζυγό 11 βρίσκεται οριακά εκτός επιτρεπτών τάσεων. Η κατάσταση αυτή είναι φυσιολογικό να υπάρχει καθώς έχει αποσυρθεί πολύ μεγάλο ποσοστό θερμικών μονάδων παραγωγής και δεν έχουν ακόμα εγκατασταθεί μονάδες ΑΠΕ. Η εικόνα αυτή επί της ουσίας υφίσταται έχοντας δεδομένο το ποσό παραγωγής που χρειάζεται για να παρουσιάζεται αυτή η εικόνα του δικτύου. Στην υποενότητα που ακολουθεί, με τον ζυγό 2 ως ζυγό παραγωγής, θα μελετηθούν σενάρια διείσδυσης ΑΠΕ για την κάλυψη της εικοσιτετράωρης ζήτησης σε ενέργεια.

Σε αυτό το πλαίσιο, έχοντας εικόνα του δικτύου τον Αύγουστο 2032, θα γίνει διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και συγκεκριμένα από αιολικούς και φωτοβολταϊκούς σταθμούς, με βαθύτερο σκοπό τον μηδενισμό της απαιτούμενης ενέργειας από τον slack bus, σε όλο το εικοσιτετράωρο λειτουργίας του δικτύου.

Πιο μετά, με την εύρεση του βέλτιστου συνδυασμού από ΑΠΕ, σε άλλη ενότητα θα προστεθεί κατάλληλο σύστημα αποθήκευσης για αποθήκευση του περισσεύματος ενέργειας. Κατά τη διάρκεια αυτή θα ελέγχονται σαφώς τα όρια τάσεως ζυγών και υπερφορτίσεως γραμμών στο δίκτυο.

Αναλυτικότερα, στα παρακάτω σενάρια που θα ακολουθήσουν, πρόκειται να επιτευχθούν συνδυασμοί φωτοβολταϊκών και αιολικών σταθμών κατανομημένα ανάλογα, στους διάφορους ζυγούς του δικτύου για κάλυψη της ζήτησης όπως είπαμε. Οι ΑΠΕ προφανώς θα εγκατασταθούν στους ζυγούς μακριά από την χώρα του νησιού και γενικότερα σε περιοχές με χώρο για εγκατάσταση. Ακόμη, οι πληροφορίες είτε για αιολικό είτε για φωτοβολταϊκό σταθμό λαμβάνονται από μια βάση δεδομένων και θα αντλούνται υποθετικές τιμές βάσει ήλιου και ανέμου στο σημείο εγκατάστασης.

Χρησιμοποιείται συγκεκριμένα το ελεύθερο πρόγραμμα PVGIS, από το οποίο εξάγονται από τη μία τιμές ισχύος εξόδου φωτοβολταϊκού σταθμού με την εκάστοτε εγκατεστημένη ισχύ και από την άλλη τιμές μέσης ταχύτητας ανέμου που με κατάλληλη μεθοδολογία προκύπτει η κατανομή ισχύος του εκάστοτε αιολικού σταθμού. Θα παριστάνεται η συμπεριφορά του εκάστοτε σταθμού ΑΠΕ σε εικοσιτετράωρη κατανομή παραγωγής (που μας παρέχει το PVGIS), μιας και η μελέτη που γίνεται αφορά την κάλυψη ζήτησης κατά μέσο όρο στο εικοσιτετράωρο και στη συνέχεια θα εξετάζεται αν ο κάθε συνδυασμός υπερκαλύπτει τις ανάγκες σε ζήτηση.

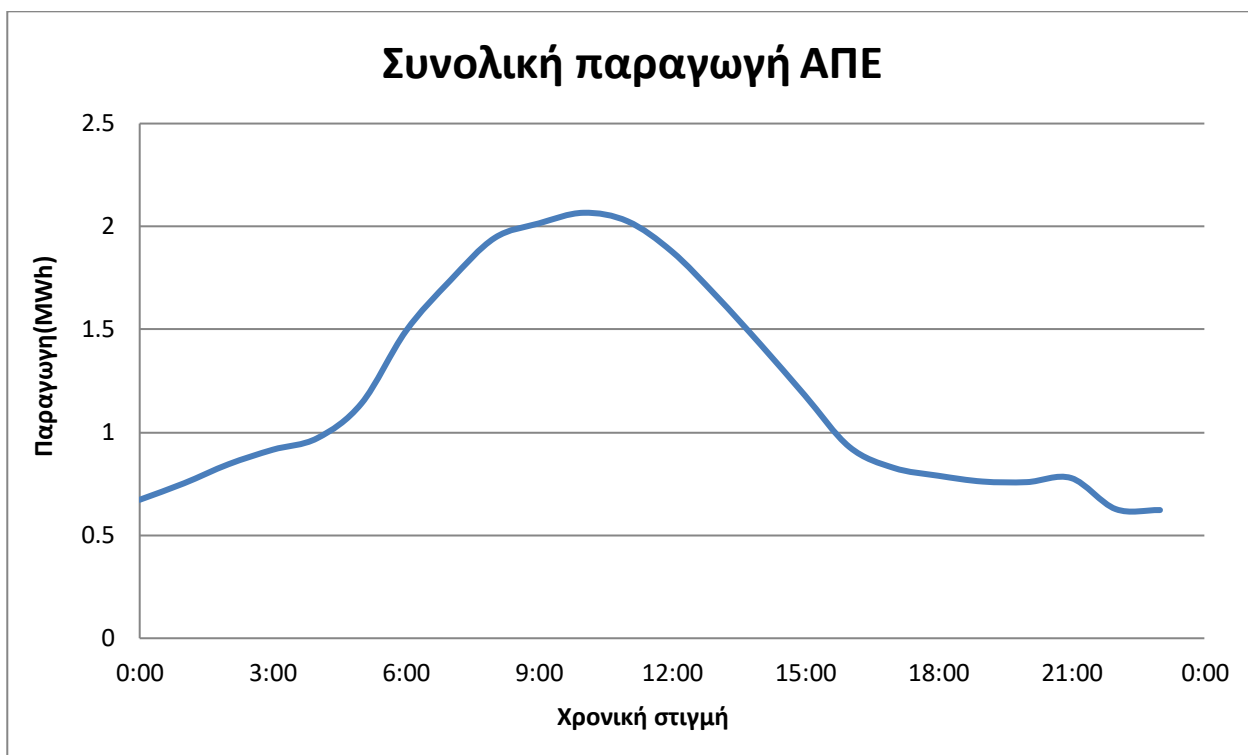
Εισαγωγικά, βάσει αποτελεσμάτων MATLAB, θα παρουσιαστεί η εικοσιτετράωρη ζήτηση ενέργειας που πρέπει να καλύψουμε μέσω των ΑΠΕ. Την ενέργεια αυτή την βρίσκουμε μέσω του ζυγού ταλάντωσης έχοντας τον ζυγό 2 ως παραγωγής και απεικονίζεται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα. Είναι η επιπρόσθετη ενέργεια που πρέπει να καλυφθεί από ένα κατάλληλο συνδυασμό ΑΠΕ, μετά την οριστική απομάκρυνση θερμικών μονάδων εγκατεστημένης ισχύος 3 MW.

Πίνακας 5-8: Εικοσιτετράωρη ζήτηση πραγματικής ισχύος προς κάλυψη

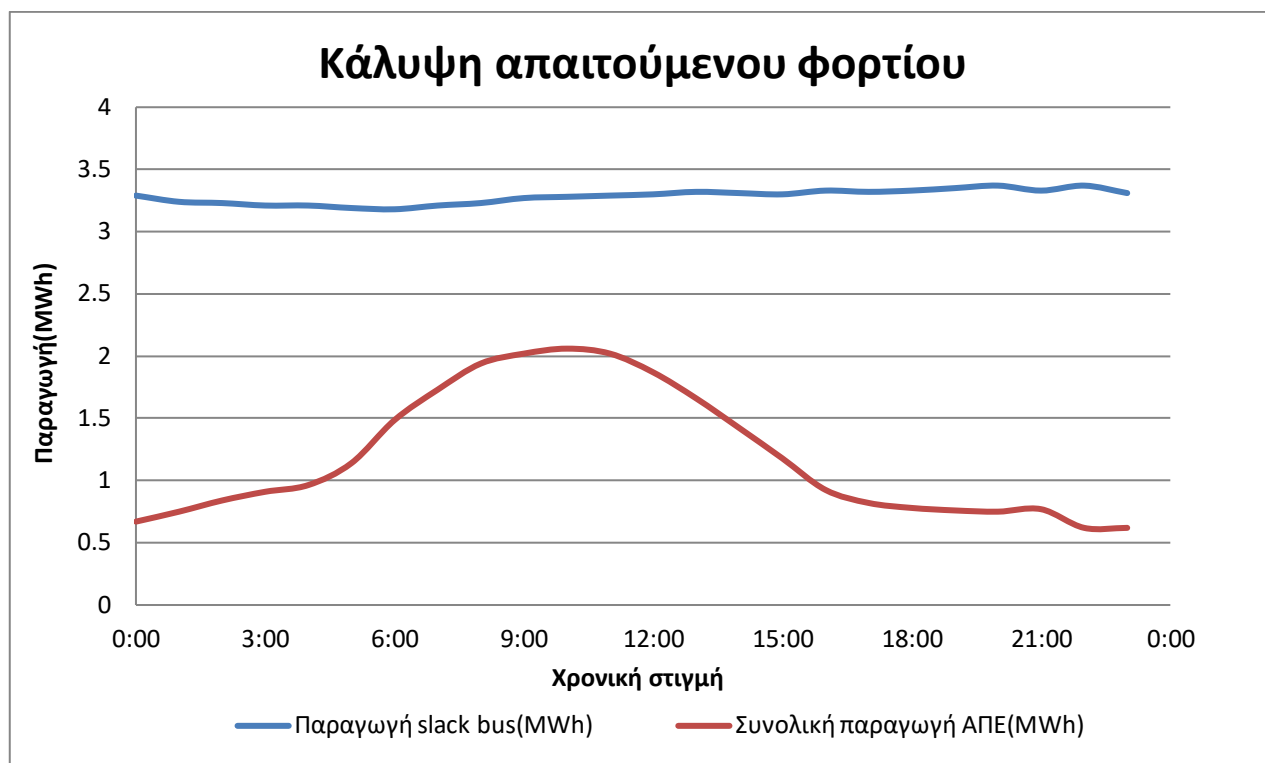
Χρονική στιγμή	Ζήτηση πραγματικής ισχύος(MWh)
00:00	3,29
01:00	3,24
02:00	3,23
03:00	3,21
04:00	3,21
05:00	3,19
06:00	3,18
07:00	3,21
08:00	3,23
09:00	3,27
10:00	3,28
11:00	3,29
12:00	3,3
13:00	3,32
14:00	3,31
15:00	3,3
16:00	3,33
17:00	3,32
18:00	3,33
19:00	3,35
20:00	3,37
21:00	3,33
22:00	3,37
23:00	3,31

5.6.1 Σενάριο 2.1: Διείσδυση 1 MW φωτοβολταϊκών και 1,6 MW αιολικών

Σε αυτό το σενάριο θα τοποθετηθούν συνολικά 1MW φωτοβολταϊκού σταθμού και 1,6MW αιολικού σταθμού στο δίκτυο. Συγκεκριμένα, επρόκειτο να εγκατασταθούν από 0,5MW φωτοβολταϊκού αντίστοιχα στους ζυγούς 5(Χρυσοπηγή) και 11(Χερρόνησος). Το αιολικό πάρκο των 1,6MW θα εγκατασταθεί στον ζυγό 11 επίσης. Επομένως οι ζυγοί 5 και 11 στο πρόγραμμά μας γίνονται ζυγοί παραγωγής. Η συνολική εικόνα της εικοσιτετράωρης παραγωγής αλλά και η κάλυψη του απαιτούμενου φορτίου εμφανίζονται παρακάτω και στην επόμενη σελίδα.



Διάγραμμα 5-14 : Εικοσιτετράωρη κατανομή παραγωγής 1MW φωτοβολταϊκών και 1,6MW αιολικών



Διάγραμμα 5-15 : Κάλυψη εικοσιτετραώρου φορτίου από τις εγκατεστημένες ΑΠΕ στο σενάριο 2.1

Εκτελώντας το πρόγραμμα MATLAB για τις 21:00 τα αποτελέσματα φαίνονται στο παράρτημα Α από όπου εξάγονται σημαντικά συμπεράσματα. Αρχικά, είναι φανερή η αύξηση όλων των τιμών τάσεων την χρονική αυτή στιγμή, όταν στο αρχικό δίκτυο οι τιμές τάσεων ήταν σε οριακά επίπεδα. Το ίδιο θα συμβεί σε εικοσιτετράωρη βάση. Με το πράσινο χρώμα εντοπίζεται η νέα τιμή ζήτησης σε ενέργεια από τον ζυγό ταλάντωσης την χρονική στιγμή 21:00, η οποία έχει σαφώς ελαττωθεί ^[Α]. Παρά το γεγονός ότι ιδανικά έχουμε μέγιστη δυνατή παραγωγή 2,6MWh από ΑΠΕ, η τιμή που λαμβάνουμε είναι μόλις 2,05MWh στις 10:00, πράγμα που είναι λογικό καθώς δεν γίνεται να παραχθεί όλο το ποσό της ονομαστικής ισχύος.

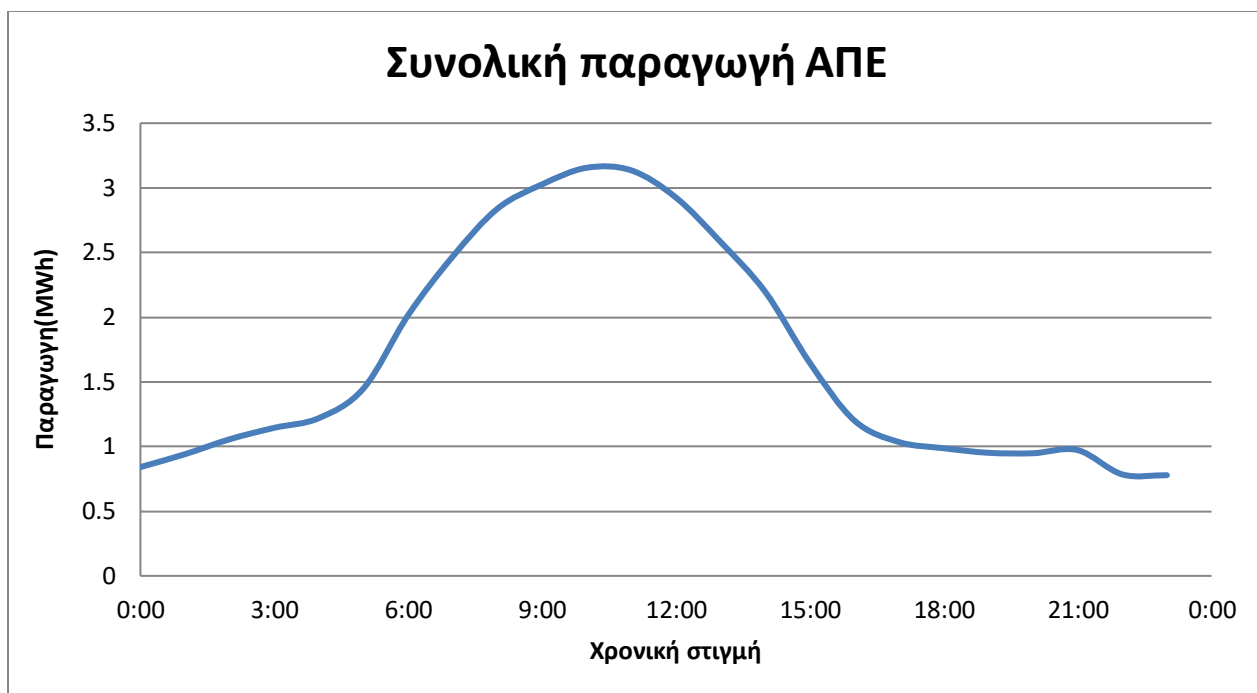
Ακόμη, είναι γνωστό ότι τα εγκατεστημένα φωτοβολταϊκά δεν μας προσφέρουν ενέργεια τις πρωινές και τις βραδινές ώρες της ημέρας. Για αυτό και το μεσημέρι παρατηρείται η περισσότερη παραγωγή καθώς βρίσκονται σε λειτουργία και οι δύο σταθμοί ΑΠΕ ταυτόχρονα, ενώ τις υπόλοιπες ώρες μόνο το αιολικό προσφέρει ενέργεια στο δίκτυο.

Συμπερασματικά, βάσει τις πληροφορίες του διαγράμματος 5-15, παρατηρούμε ότι η συνολική παραγωγή των εγκατεστημένων ΑΠΕ του σεναρίου αυτού βρίσκεται πολύ κάτω σε τιμές από τις ανάγκες του δικτύου σε ενέργεια. Συγκεκριμένα διαπιστώνεται 1,5 έως 3MWh απόκλιση μεταξύ των τιμών παραγωγής ΑΠΕ και παραγωγής από τον ζυγό ταλάντωσης. Άρα, κάτω από αυτό το σενάριο διείσδυσης, πρέπει να παραχθεί μεγαλύτερο ποσό ενέργειας και απαιτείται περαιτέρω διείσδυση ΑΠΕ.

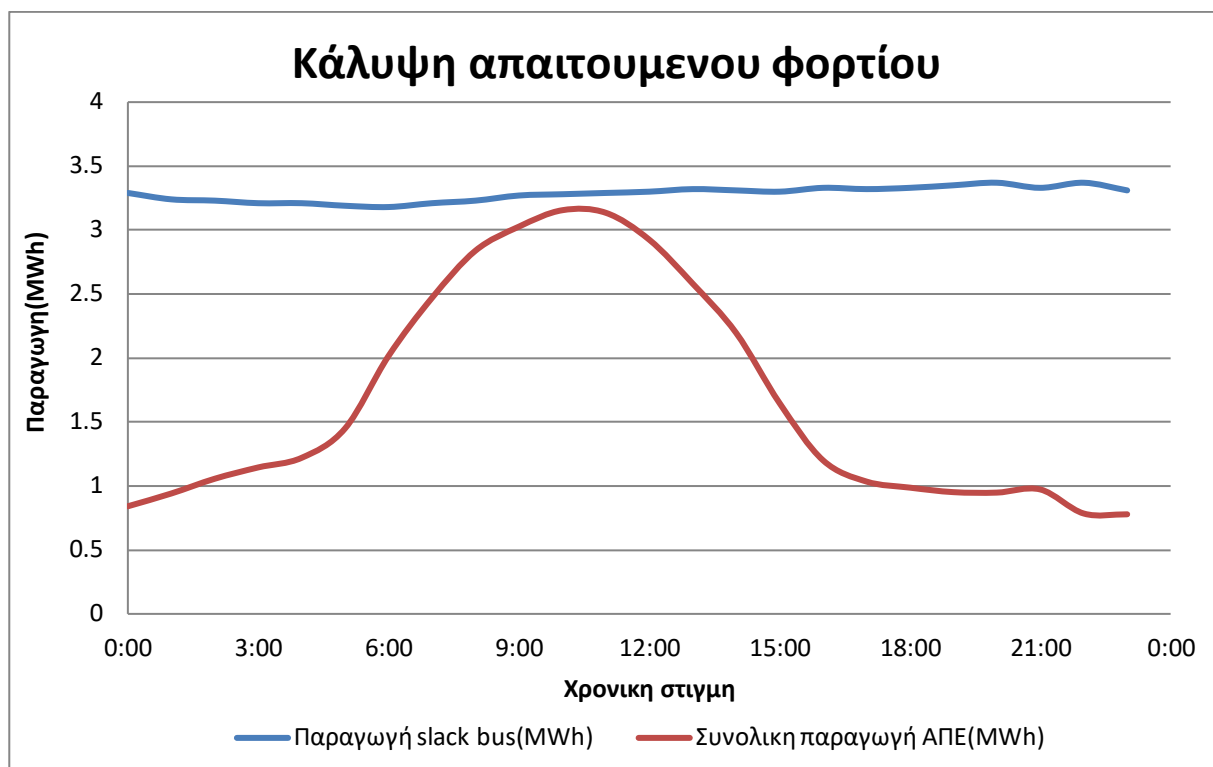
5.6.2 Σενάριο 2.2: Διείσδυση 2 MW φωτοβολταϊκών και 2 MW αιολικών

Σε αυτή την υποενότητα θα μελετηθεί η διείσδυση συνολικά 2MW φωτοβολταϊκού σταθμού και επίσης 2MW αιολικού σταθμού στο δίκτυο. Πιο αναλυτικά, θα εγκατασταθούν 1MW φωτοβολταϊκού στον ζυγό 5(Χρυσοπηγή) και 1MW φωτοβολταϊκού στον ζυγό 12(Καμάρες).Όσον αφορά το αιολικό πάρκο, θα τοποθετηθεί ένα συνολικής ισχύος 2MW στον ζυγό 11(Χερρόνησος). Τρέχοντας, αρχικά το πρόγραμμα για τις 21:00 στο παράρτημα Α έχουμε τα εξής.

Παρατηρούμε ότι και εδώ δεν υπάρχει κανένα θέμα με τις τάσεις των ζυγών ακόμη και σε αυτή την χρονική στιγμή όπου παρατηρείται η μεγιστοποίηση του φορτίου, πράγμα που συμβάλει και ο ζυγός ταλάντωσης. Έχουμε μικρή μείωση της ζήτησης την χρονική στιγμή αυτή και αυτό γιατί το αιολικό είναι μόλις 0,4MW μεγαλύτερο σε ονομαστική ισχύ από ότι εκείνο του σεναρίου 2.1^[A].Παρακάτω φαίνεται αναλυτικά η εικόνα σε όλο το εικοσιτετράωρο σε αυτό το σενάριο.



Διάγραμμα 5-16 : Εικοσιτετράωρη κατανομή παραγωγής 2MW φωτοβολταϊκών και 2MW αιολικών



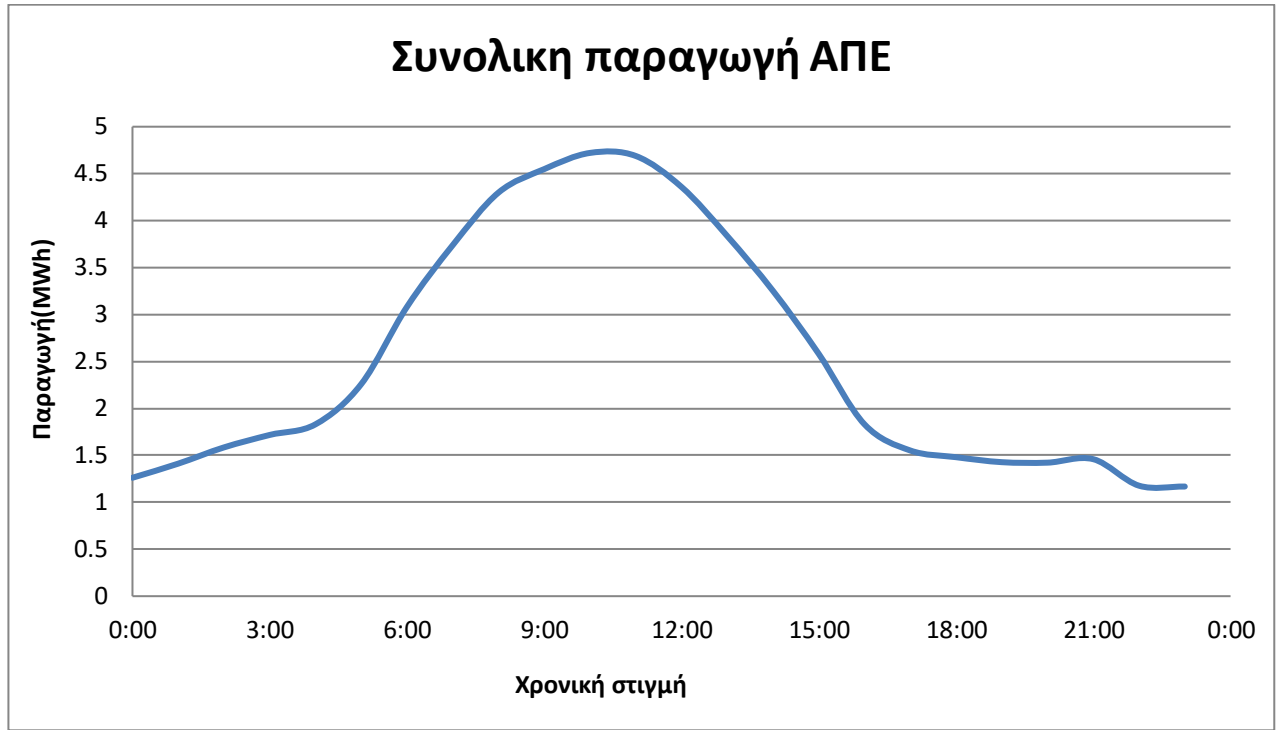
Διάγραμμα 5-17 : Κάλυψη εικοσιτετραώρου φορτίου από τις εγκατεστημένες ΑΠΕ στο σενάριο 2.2

Με βάση τα αποτελέσματα, παρατηρείται ότι τις μεσημβρινές ώρες όπου είναι σε λειτουργία όλοι οι σταθμοί ΑΠΕ, η παραγωγή πλησιάζει πολύ την ζήτηση γύρω στις 9 με 10 το πρωί. Σε όλο το υπόλοιπο εικοσιτετράωρο όμως παρατηρούνται τα μεγάλα διαστήματα όπου η διαφορά ζήτησης και παραγωγής σε ενέργεια είναι μεγάλη (λόγω μη λειτουργίας φωτοβολταϊκών), γύρω στις 2 MWh απόκλιση. Σε γενικές γραμμές υπάρχει γενική βελτίωση συγκριτικά με τον συνδυασμό ΑΠΕ του σεναρίου 2.1. Παράλληλα, με αυτά τα επίπεδα διείσδυσης ΑΠΕ παρατηρείται βελτίωση τάσης στους ζυγούς του δικτύου συγκριτικά με το προηγούμενο σενάριο αλλά θα χρειαστεί περαιτέρω διείσδυση αιολικών και φωτοβολταϊκών σταθμών για την κάλυψη της ζήτησης.

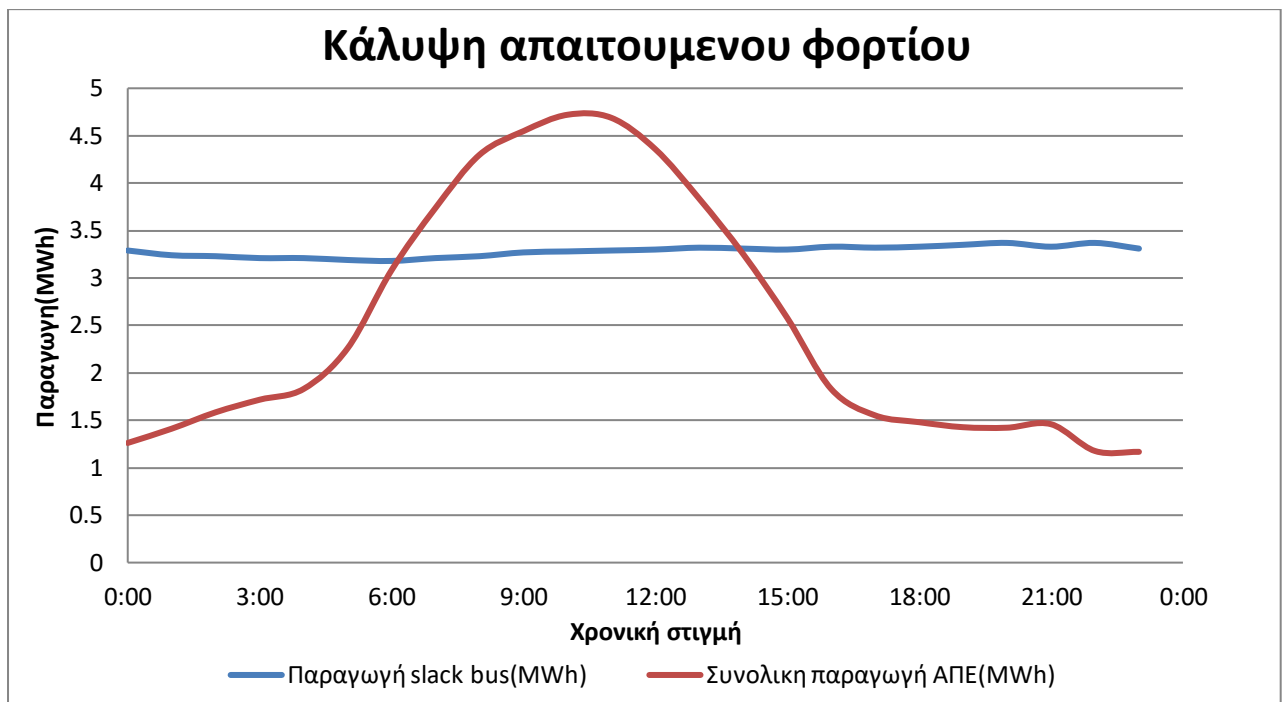
5.6.3 Σενάριο 2.3: Διείσδυση 3 MW φωτοβολταϊκών και 3 MW αιολικών

Στο σημείο αυτό θα πραγματοποιηθεί η εγκατάσταση 3MW φωτοβολταϊκού και αιολικού σταθμού αντιστοίχως. Σε αυτό το σημείο, θα τοποθετηθούν εξολοκλήρου 3MW φωτοβολταϊκού στον ζυγό 12 (Καμάρες) και αντίστοιχα 3MW αιολικού στον ζυγό 11 (Χερώνησος).

Σε αυτή την περίπτωση δεν βλέπουμε καμία παράβαση του επιτρεπτού ορίου τάσεων και ρευμάτων. Η ελάττωση της ζήτησης στις 21:00 είναι φανερή λόγω λειτουργίας του αιολικού πάρκου [A]. Στο εικοσιτετράωρο η παραγωγή φορτίου και η αντίστοιχη κάλυψη έχουν ως εξής.



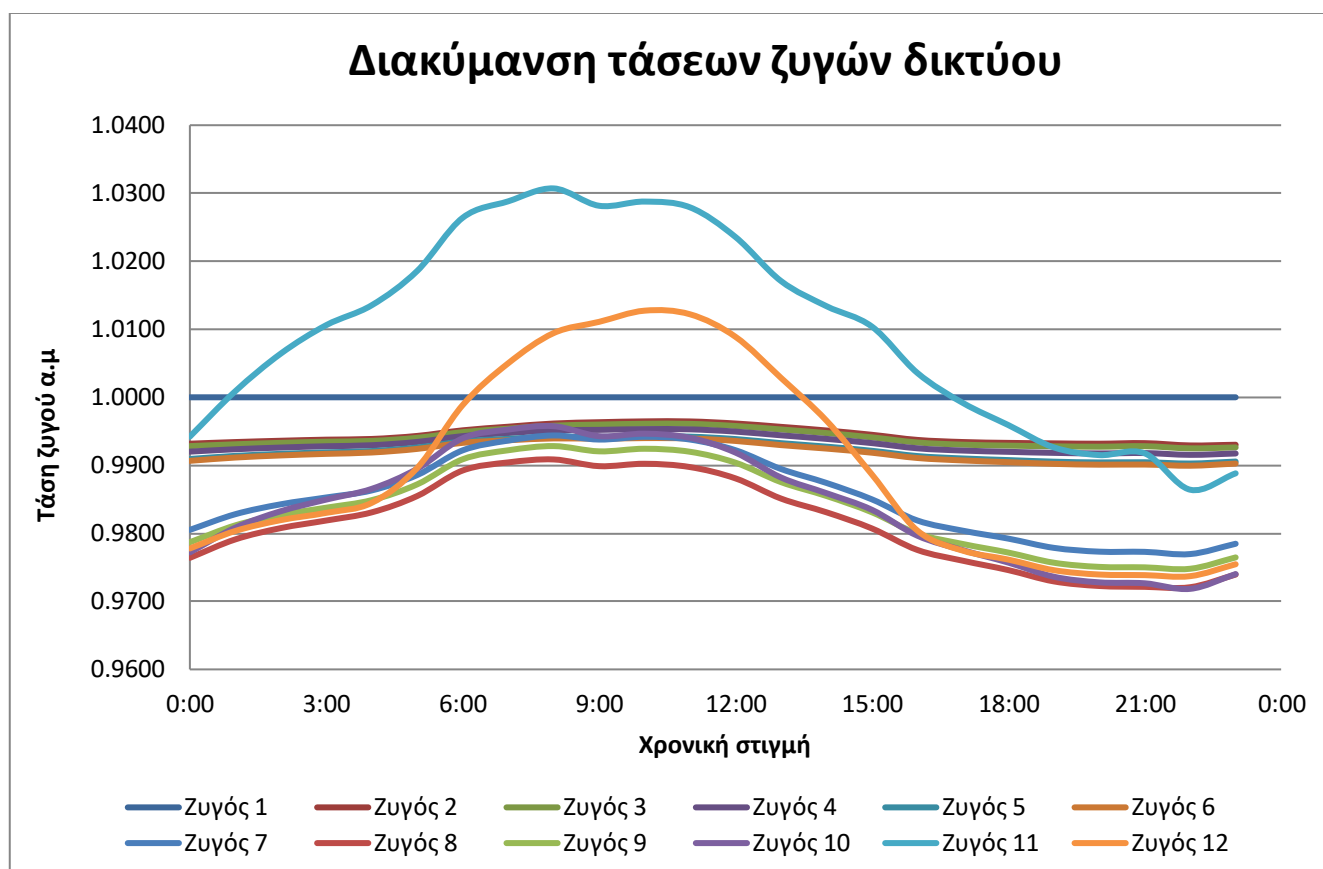
Διάγραμμα 5-18 : Εικοσιτετράωρη κατανομή παραγωγής 3MW φωτοβολταϊκών και 3MW αιολικών



Διάγραμμα 5-19 : Κάλυψη εικοσιτετράωρου φορτίου από τις εγκατεστημένες ΑΠΕ στο σενάριο 2.3

Όπως φαίνεται από τα διαγράμματα 5-18 και 5-19, στο διάστημα από τις 6 το πρωί έως τις 2 το μεσημέρι η ζήτηση όχι μόνο έχει καλυφθεί, αλλά η παραγωγή την ξεπερνά σε τιμές και παρατηρείται ένα καλό περίσσειμα ενέργειας σε εκείνο το διάστημα. Σε αυτό το διάστημα αναμένεται οι τάσεις των ζυγών να αυξηθούν αρκετά, παρουσιάζοντας υπερτάσεις. Όσον αφορά τις πρωινές και βραδινές ώρες, παρατηρούνται ξανά μεγάλα διαστήματα που η ζήτηση απέχει αρκετά από την παραγωγή των ΑΠΕ. Ο συνδυασμός αυτός των ΑΠΕ είναι πολύ κοντά στον βέλτιστο ώστε με ένα σύστημα αποθήκευσης να καλυφτεί η ζήτηση τις υπόλοιπες ώρες όπου έχουμε έλλειμμα. Από την άλλη, όμως, τα διαστήματα παραγωγής και ζήτησης είναι μεγάλα τις πρωινές και βραδινές ώρες και το συνολικό έλλειμμα είναι αρκετά μεγαλύτερο του περισσεύματος ενέργειας τις μεσημβρινές ώρες. Επομένως θα αυξήσουμε περαιτέρω τη διείσδυση ΑΠΕ.

Τέλος, ακολουθεί μια εικοσιτετράωρη απεικόνιση των τάσεων ζυγών του δικτύου σε αυτό το σενάριο, προκειμένου να φανεί η αύξηση της τάσης τις μεσημεριανές ώρες και αν αυτή είναι εντός των επιτρεπτών ορίων.



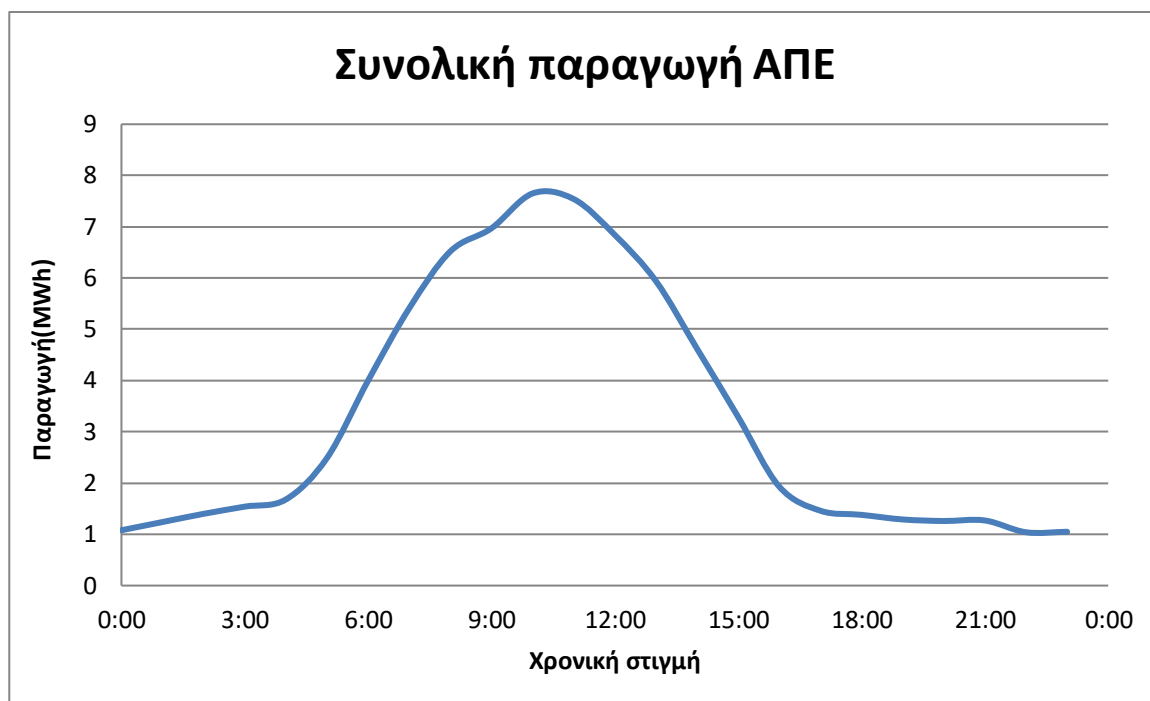
Διάγραμμα 5-20 : Εικόνα συμπεριφοράς τάσεων ζυγών δικτύου στο σενάριο 2.3

Είναι ολοφάνερο ότι μόνο οι ζυγοί 11 και 12 αυξάνουν την τάση τους τις συγκεκριμένες ώρες, όπου λειτουργούν και οι δύο σταθμοί ΑΠΕ, καθώς είναι οι ζυγοί παραγωγής του δικτύου. Η μέγιστη τάση που παρατηρείται είναι περίπου στα 1,03 α.μ στις 7 το πρωί στον ζυγό 11 και η αντίστοιχη ελάχιστη είναι στα 0,97 α.μ περίπου τις βραδινές ώρες. Επομένως, δεν παρατηρείται καμία παραβίαση των επιτρεπτών ορίων σε όλο το εικοσιτετράωρο παρά την παρουσία υπερτάσεων στους ζυγούς 11 και 12 αντίστοιχα.

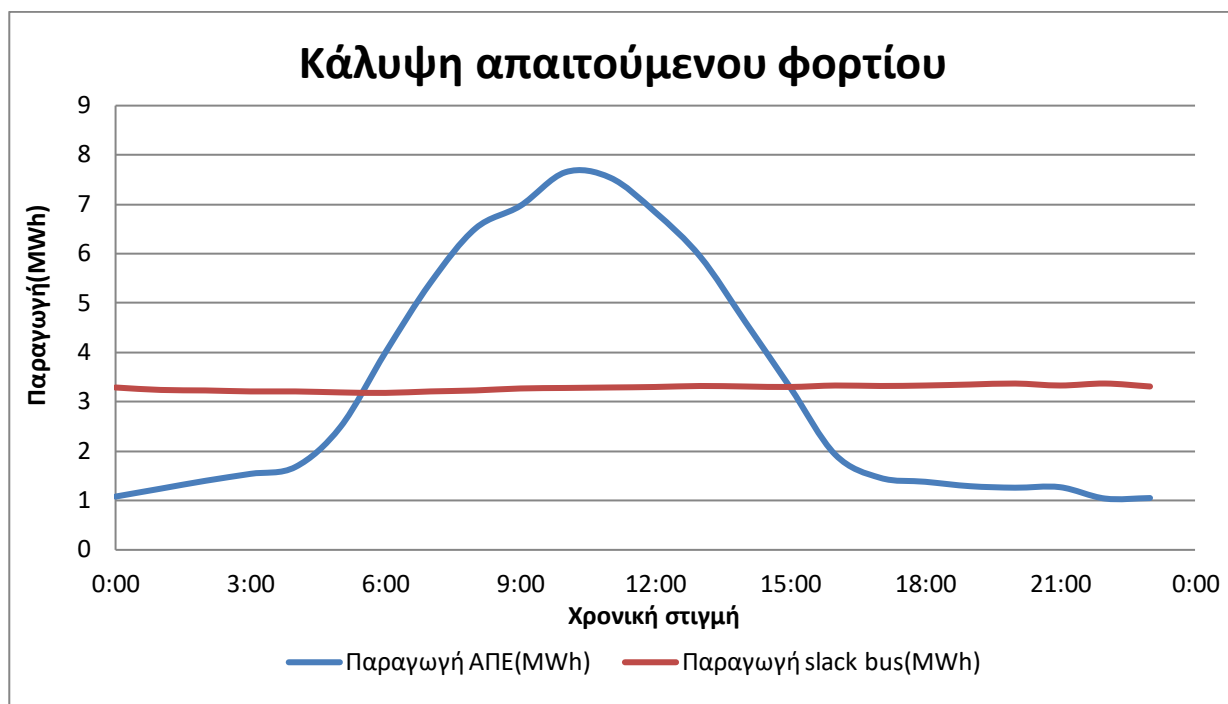
5.6.4 Σενάριο 2.4: Διείσδυση 7 MW φωτοβολταϊκών και 3 MW αιολικών

Στο σενάριο αυτό θα μελετηθεί η εγκατάσταση συνολικά 10MW από ΑΠΕ. Αναλυτικότερα η εγκατάσταση αφορά 7MW από φωτοβολταϊκά, με 3MW στον ζυγό 12(Καμάρες) , 3MW στον ζυγό 8 (Βαθύ) και 1MW στον ζυγό 5 (Χρυσοπηγή). Σχετικά με την εγκατάσταση αιολικών επρόκειτο να εγκατασταθούν 2MW στον ζυγό 11(Χερώνησος) και 1MW στον ζυγό 6 (Πλατύς Γιαλός).

Η εικόνα σχετικά με την παραγωγή των ΑΠΕ και την κάλυψη της απαιτούμενης ποσότητας σε ενέργεια είναι η κάτωθι. Για την χρονική αυτή στιγμή όλα είναι εντός επιτρεπτών ορίων ^[Α]. Αναλυτικότερα στην εικοσιτετράωρη παραγωγή ΑΠΕ συγκριτικά με την ζήτηση θα έχουμε τα εξής αποτελέσματα.



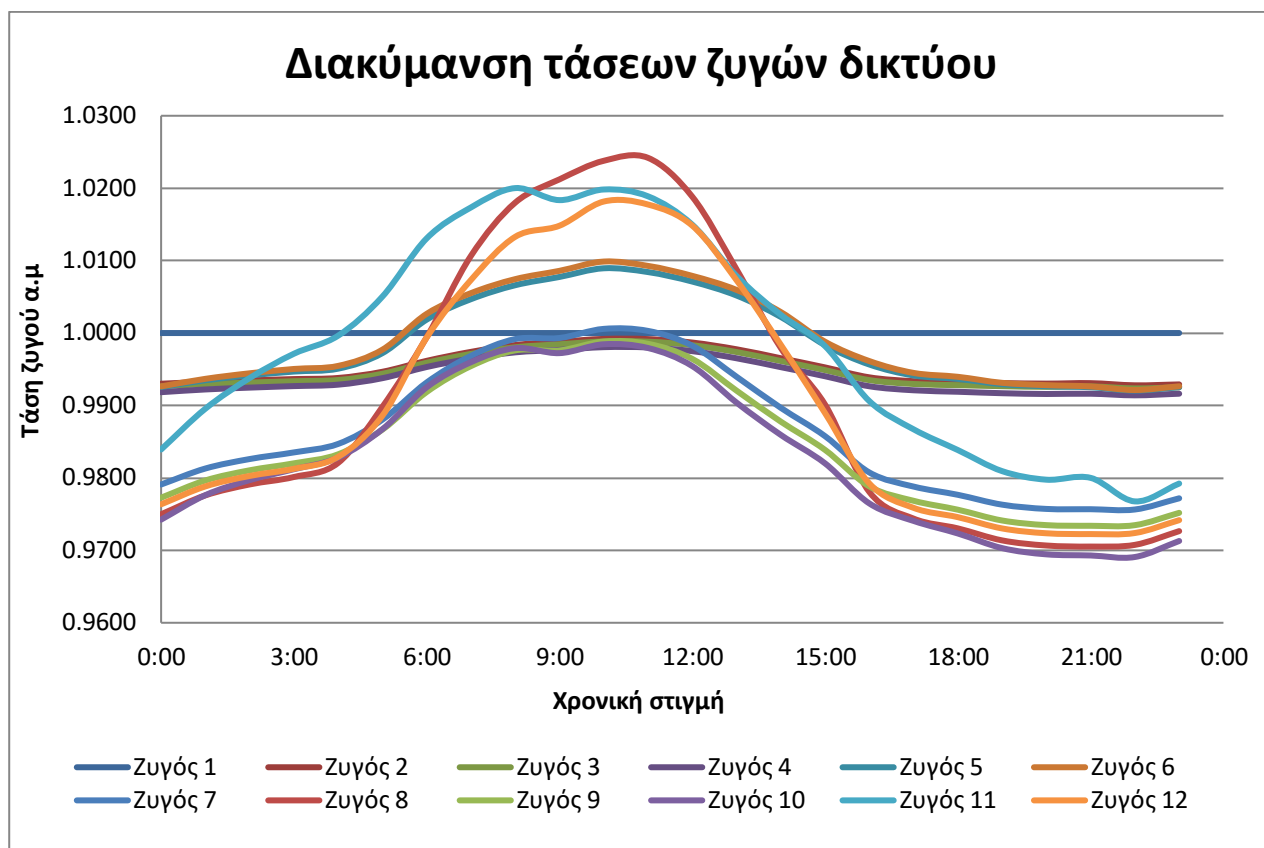
Διάγραμμα 5-21 : Εικοσιτετράωρη κατανομή παραγωγής 7MW φωτοβολταϊκών και 3MW αιολικών



Διάγραμμα 5-22: Κάλυψη εικοσιτετραώρου φορτίου από τις εγκατεστημένες ΑΠΕ στο σενάριο 2.4

Σε αυτό το σενάριο βάσει κατανομής παραγωγής των εγκατεστημένων ΑΠΕ παρατηρείται σημαντικό ποσό πλεονάζουσας ενέργειας στο χρονικό διάστημα 5:00-15:00. Σε σύγκριση με το σενάριο 2.3 τα διαστήματα ελλείμματος σε ενέργεια είναι λίγο μικρότερα. Προκειμένου να επιτευχθεί ο βέλτιστος συνδυασμός από ΑΠΕ θα πρέπει η συνολική πλεονάζουσα ενέργεια να ισούται ποσοτικά με το συνολικό έλλειμμα ενέργειας. Σε αυτό το σενάριο υπολογίζοντας αθροιστικά το περίσσειμα ενέργειας, ανέρχεται στις 26,09 MWh και το αντίστοιχο έλλειμμα ανέρχεται στις 25,98 MWh. Επομένως έχει επιτευχθεί εξισορρόπηση πλεονάζουσας και ελλείμματος σε ενέργεια και ο συνδυασμός αυτός από ΑΠΕ αποτελεί τον βέλτιστο συγκριτικά με τα προηγούμενα σενάρια.

Στη συνέχεια θα ακολουθήσει η εικοσιτετράωρη απεικόνιση της συμπεριφοράς των τάσεων ζυγών ανά μονάδα του δικτύου σε αυτό το σενάριο διείσδυσης ΑΠΕ, από όπου αναμένεται αύξηση τιμών τάσεων ανά μονάδα τις χρονικές στιγμές πλεονάζουσας ενέργειας στους αντίστοιχους ζυγούς παραγωγής.



Διάγραμμα 5-23 : Εικόνα συμπεριφοράς τάσεων ζυγών δικτύου στο σενάριο 2.4

Στο διάστημα από 5:00-15:00 οι τιμές της τάσης όλων των ζυγών παραγωγής είναι σαφώς αυξημένες, όχι όμως εκτός προκαθορισμένων ορίων. Αυτό οφείλεται στην κατανομή της παραγωγής στους διάφορους ζυγούς του δικτύου, καθώς υπάρχουν πέντε ζυγοί με παραγωγή. Η παραγωγή των ΑΠΕ μεγιστοποιείται στο προαναφερόμενο χρονικό διάστημα και λειτουργούν όλοι οι σταθμοί. Η εικόνα σε όλους τους άλλους ζυγούς στις υπόλοιπες ώρες είναι φανερή και δεν υπάρχει παραβίαση κανόνων.

5.6.4.1 Χρήση κατάλληλου συστήματος αποθήκευσης στο σενάριο 2.4

Σε αυτή την υποενότητα θα γίνει χρήση κατάλληλου συστήματος αποθήκευσης του υφιστάμενου δικτύου στην προηγούμενη υποενότητα και συγκεκριμένα στο σενάριο 2.4. Όπως έχουμε προαναφέρει, δεν υπάρχει ακόμα εμπειρία στον τομέα της χρήσης κατάλληλης αποθηκευτικής διάταξης στα υβριδικά δίκτυα, οπότε θα προτείνουμε διατάξεις ανάλογα με τις ενεργειακές ανάγκες του δικτύου.

Συγκεκριμένα, το σύστημα αποθήκευσης προς χρήση θα μετρηθεί με βάση το άθροισμα του περισσέυματος ενέργειας του σεναρίου 2.4 από τις 5:00-15:00 στο διάγραμμα 5-22. Στο παρακάτω διάγραμμα, αφαιρώντας την εικοσιτετράωρη παραγωγή από τον ζυγό ταλάντωσης (πίνακας 5-6) με την αντίστοιχη παραγωγή από τις ΑΠΕ, φαίνεται πιο αναλυτικά στο εικοσιτετράωρο η διακύμανση του ελλείμματος και του περισσέυματος ενέργειας, όπου οι αρνητικές τιμές υποδεικνύουν το έλλειμμα και οι θετικές τιμές αντίστοιχα το περίσσευμα.



Διάγραμμα 5-24 : Εικόνα περισσέυματος-ελλείμματος ενέργειας στο εικοσιτετράωρο στο σενάριο 2.4

Όπως αναφέραμε στην προηγούμενη υποενότητα έχουμε επιδιώξει το συνολικό έλλειμμα να γίνει ίσο με το συνολικό περίσσευμα ενέργειας και συγκεκριμένα στις 26,09MWh. Πάνω σε αυτό το ποσό ενέργειας θα γίνει η κατασκευή του συστήματος αποθήκευσης (storage). Ακόμη, βάσει του διαγράμματος 5-24 η μέγιστη τιμή σε περίσσευμα ή έλλειμμα φαίνεται ότι είναι στις 4,37MWh στις 10:00. Αυτό σημαίνει ότι το αποθηκευτικό μας σύστημα θα πρέπει να μπορεί να αποδώσει σε μία ώρα 4,37MWh και άνω. Επομένως πρέπει η ονομαστική ισχύς του storage να είναι πάνω από την

Μοντελοποίηση και παρακολούθηση έξυπνου υβριδικού δικτύου με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και αποθήκευση
τιμή των 4,37MW. Με βάση αυτά λοιπόν θα καταστρώσουμε ένα σύστημα με ονομαστική ισχύ άνω των 4,37MW και συνολική χωρητικότητα που να καλύπτει το ποσό των 26,09MWh.

Επιλέγουμε, λοιπόν, ένα σύστημα αποθήκευσης (storage) με μπαταρίες νατρίου-θείου (Na-S) εφόσον οι ανάγκες μας σε ενέργεια κυμαίνονται σε ωριαία βάση σε μερικές MWh. Το εγκατεστημένο αυτό σύστημα έχει ονομαστική ισχύ 4,8MW και έχει χωρητικότητα 28,8MWh. Είναι αρκετό για να καλύψει τις ανάγκες του δικτύου σε ενέργεια.

Στη συνέχεια, εφόσον εγκαταστάθηκε το σύστημα αποθήκευσης, η εικοσιτετράωρη κατανομή παραγωγής των μπαταριών θα εκτιμηθεί εξισώνοντας τα φορτία σε έλλειμμα ή περίσσειμα ενέργειας ανάλογα την χρονική στιγμή. Τις ώρες που υπάρχει το περίσσειμα ενέργειας, οι μπαταρίες λειτουργούν ως καταναλωτές, δεσμεύοντας ενέργεια από το δίκτυο και αποθηκεύοντάς την για μελλοντική χρήση, ενώ τις υπόλοιπες ώρες θα λειτουργούν ως παραγωγή προσφέροντας το κατάλληλο ποσό ενέργειας στο δίκτυο. Οπότε αντικαθιστώντας τις εικοσιτετράωρες τιμές του storage, στον ζυγό 11, στον οποίο παρουσιάζεται το ποσό υπερτάσεων τις μεσημβρινές ώρες, η εικόνα του δικτύου θα είναι η ακόλουθη.

Το τρέξιμο που έγινε αφορά τις 21:00 και παρατηρούμε ότι η ζήτηση της πραγματικής ισχύος μηδενίστηκε. Την ίδια εικόνα θα λάβουμε τρέχοντας το δίκτυο στο υπόλοιπο εικοσιτετράωρο ^[A].

Στο σημείο αυτό εφόσον εκτελεστεί η διαδικασία μαζί με το σύστημα αποθήκευσης στον ζυγό 11, προφανώς η εικόνα της κατάστασης του δικτύου θα είναι παρόμοια με εκείνη της υφιστάμενης κατάστασης τον Αύγουστο 2032, δηλαδή η κατάσταση θα γίνει ξανά ομαλή.

Επομένως, με την χρήση αυτού του είδους μπαταριών και αυτού του συστήματος αποθήκευσης, εφόσον δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα τόσο από άποψη τάσεων α.μ στους ζυγούς του δικτύου όσο και στα ρεύματα των γραμμών, το δίκτυο μπορεί να λειτουργήσει. Έχουμε καταφέρει στην ουσία μελλοντικά με την απόσυρση 3MW θερμικών μονάδων του νησιού, να καλύψουμε τις ανάγκες για κάθε χρονική στιγμή μιας τρέχουσας ημέρας τον μήνα Αύγουστο, με την χρήση ΑΠΕ και ενός συστήματος αποθήκευσης ενέργειας. Όπως παρατηρείται το δίκτυο με αυτά τα δεδομένα παραγωγής από ΑΠΕ και αποθήκευση, παρουσιάζει την ίδια αρχική εικόνα με πριν.

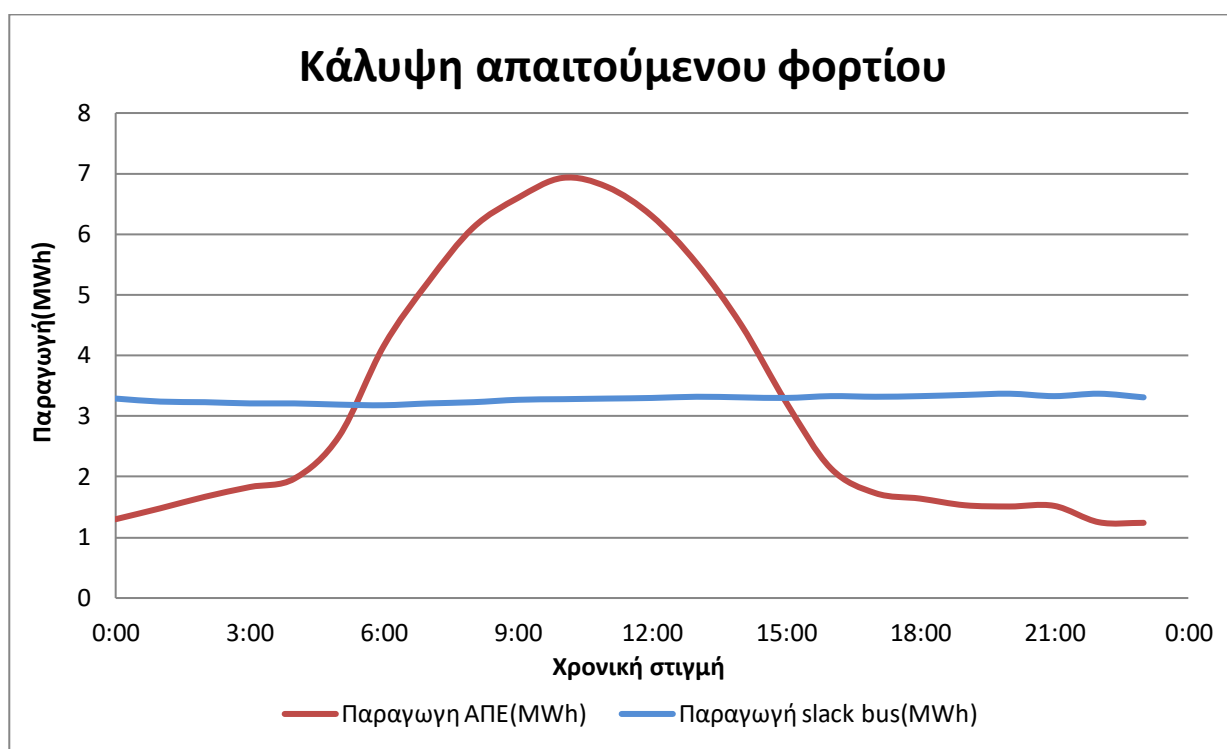
5.7 Σενάριο 3: Βελτιστοποίηση συνδυασμών με διείσδυση ΑΠΕ και αποθήκευση

Στο τελευταίο αυτό σενάριο της διπλωματικής εργασίας ,θα μελετηθούν άλλοι δύο συνδυασμοί εγκατάστασης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ενός αποθηκευτικού συστήματος στην υφιστάμενη κατάσταση του δικτύου τον Αύγουστο 2032. Οι συνδυασμοί αυτοί είναι βελτιστοποιημένοι συγκριτικά με τον τελικό συνδυασμό του σεναρίου 2.4.

5.7.1 Σενάριο 3.1: Διείσδυση 5MW φωτοβολταϊκών και 3MW αιολικών με 4MW αποθήκευση

Στην περίπτωση αυτή θα μελετηθεί η εγκατάσταση 5MW φωτοβολταϊκών και 3MW αιολικών αντίστοιχα. Δεν υπάρχει περαιτέρω διείσδυση αιολικών σε σχέση με το σενάριο 2.4.Επομένως θα εγκατασταθούν 2MW φωτοβολταϊκού στον ζυγό 11(Χερρόνησος) ,άλλα 2MW στον ζυγό 12(Καμάρες) και άλλο 1MW στον ζυγό 8(Βαθύ).Σχετικά με τα αιολικά πάρκα έχουμε την εγκατάσταση 2MW στον ζυγό 11(Χερρόνησος) και 1MW στον ζυγό 6 (Πλατύς Γιαλός). Εκτελώντας το πρόγραμμα για τις 21:00 εξάγουμε τα κάτωθι αποτελέσματα.

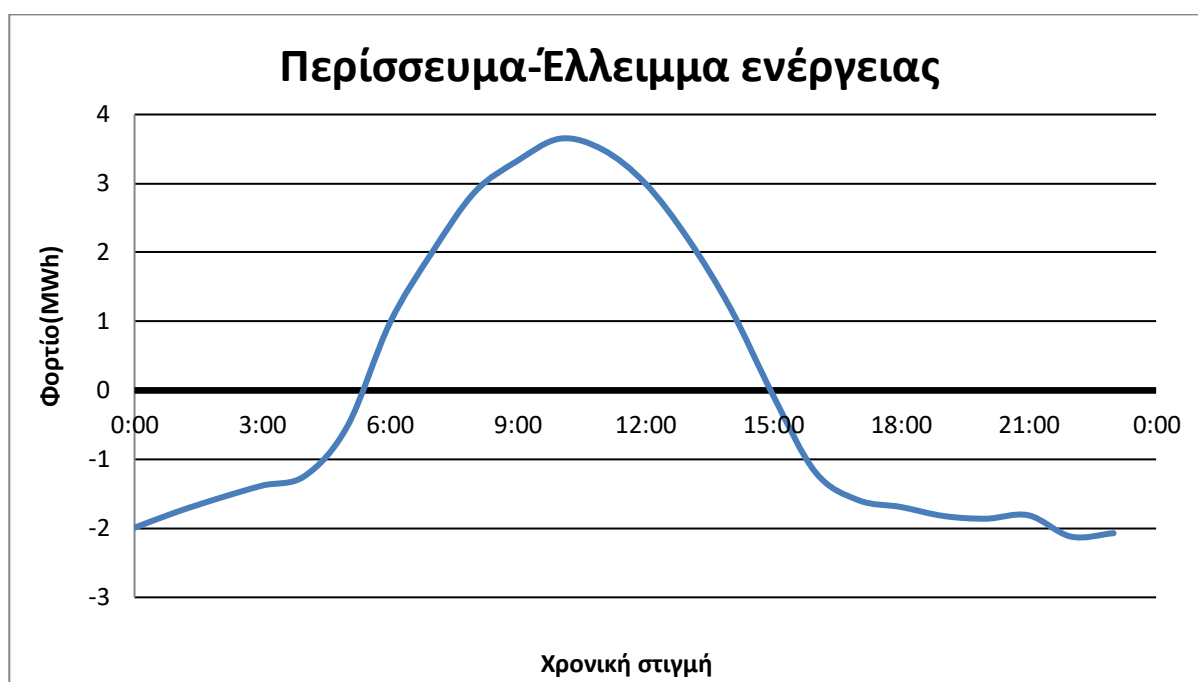
Για την χρονική αυτή στιγμή όλα είναι εντός επιτρεπτών ορίων ^[A]. Αναλυτικότερα στην εικοσιτετράωρη παραγωγή ΑΠΕ συγκριτικά με την ζήτηση θα έχουμε τα εξής αποτελέσματα.



Διάγραμμα 5-25 : Κάλυψη εικοσιτετράωρου φορτίου από ΑΠΕ στο σενάριο 3.1

Παρατηρούμε ότι από τις 5 το πρωί ως τις 3 το μεσημέρι έχουμε μεγάλο πλεόνασμα ενέργειας και στις υπόλοιπες ώρες της ημέρας το δίκτυο παρουσιάζει υστέρηση ενέργειας. Συγκριτικά με το σενάριο 2.3, παρατηρείται μεγαλύτερο χρονικό διάστημα όπου η παραγωγή υπερκαλύπτει την ζήτηση σε ενέργεια. Σε αυτό το σενάριο, προσθέτοντας τις τιμές του περισσεύματος στο διάστημα 5:00-15:00, προκύπτουν συνολικά 22,73MWh και κατά αντιστοιχία από 0:00-5:00 και 15:00-23:00 προκύπτουν 22,67MWh ελλείμματος. Στην ουσία έχουμε πετύχει την εξισορρόπηση τιμών περισσεύματος και ελλείμματος ισχύος. Ο συνδυασμός αυτός επομένως αποτελεί τον βέλτιστο συνδυασμό από ΑΠΕ. Παρόλα αυτά, ο τελικός βέλτιστος συνδυασμός θα επιτευχθεί με την προσθήκη κατάλληλου συστήματος αποθήκευσης.

Επομένως, θα γίνει χρήση κατάλληλου συστήματος αποθήκευσης του υφιστάμενου δικτύου. Συγκεκριμένα, το σύστημα αποθήκευσης προς χρήση θα μετρηθεί με βάση το άθροισμα του περισσεύματος ενέργειας από τις 5:00-15:00 στο διάγραμμα 5-25 όπως και στο σενάριο 2.4. Στο παρακάτω διάγραμμα, αφαιρώντας την εικοσιτετράωρη παραγωγή από τον ζυγό ταλάντωσης (πίνακας 5-6) με την αντίστοιχη παραγωγή από τις ΑΠΕ, φαίνεται πιο αναλυτικά στο εικοσιτετράωρο η διακύμανση του ελλείμματος και του περισσεύματος ενέργειας.



Διάγραμμα 5-26 : Εικόνα περισσεύματος-απώλειας ενέργειας στο εικοσιτετράωρο στο σενάριο 3.1

Με παρόμοιο τρόπο όπως στο σενάριο 2.4, έχουμε επιδιώξει το συνολικό έλλειμμα να γίνει ίσο με το συνολικό περίσσευμα ενέργειας και συγκεκριμένα στις 22,73MWh.

Πάνω σε αυτό το ποσό ενέργειας θα γίνει η κατασκευή του συστήματος αποθήκευσης (storage). Ακόμη, βάσει του διαγράμματος 5-26 η μέγιστη τιμή σε περίσσειμα ή έλλειμμα φαίνεται ότι είναι στις 3,65MWh στις 10:00. Αυτό σημαίνει ότι το αποθηκευτικό μας σύστημα θα πρέπει να μπορεί να δώσει σε μία ώρα 3,65MWh και άνω. Επομένως πρέπει η ονομαστική ισχύς του storage να είναι πάνω από την τιμή των 3,65MW. Με βάση αυτά λοιπόν θα καταστρώσουμε ένα σύστημα με ονομαστική ισχύ άνω των 3,65MW και συνολική χωρητικότητα που να καλύπτει το ποσό των 22,73MWh.

Επιλέγουμε ένα σύστημα αποθήκευσης (storage) με μπαταρίες νατρίου-θείου (Na-S) εφόσον οι ανάγκες μας σε ενέργεια κυμαίνονται σε ωριαία βάση σε μερικές MWh. Το εγκατεστημένο αυτό σύστημα έχει ονομαστική ισχύ 4MW και έχει χωρητικότητα 24MWh. Είναι αρκετό για να καλύψει τις ανάγκες του δικτύου σε ενέργεια.

Στη συνέχεια, εφόσον εγκαταστάθηκε το σύστημα αποθήκευσης, η εικοσιτετράωρη κατανομή παραγωγής των μπαταριών θα εκτιμηθεί όπως και στο σενάριο 2.4 εξισώνοντας τα φορτία σε έλλειμμα ή έλλειμμα ενέργειας ανάλογα την χρονική στιγμή. Οπότε αντικαθιστώντας τις εικοσιτετράωρες τιμές του storage, στον ζυγό 11, στον οποίο παρουσιάζεται το ποσό υπερτάσεων τις μεσημβρινές ώρες, η εικόνα του δικτύου θα είναι η ακόλουθη.

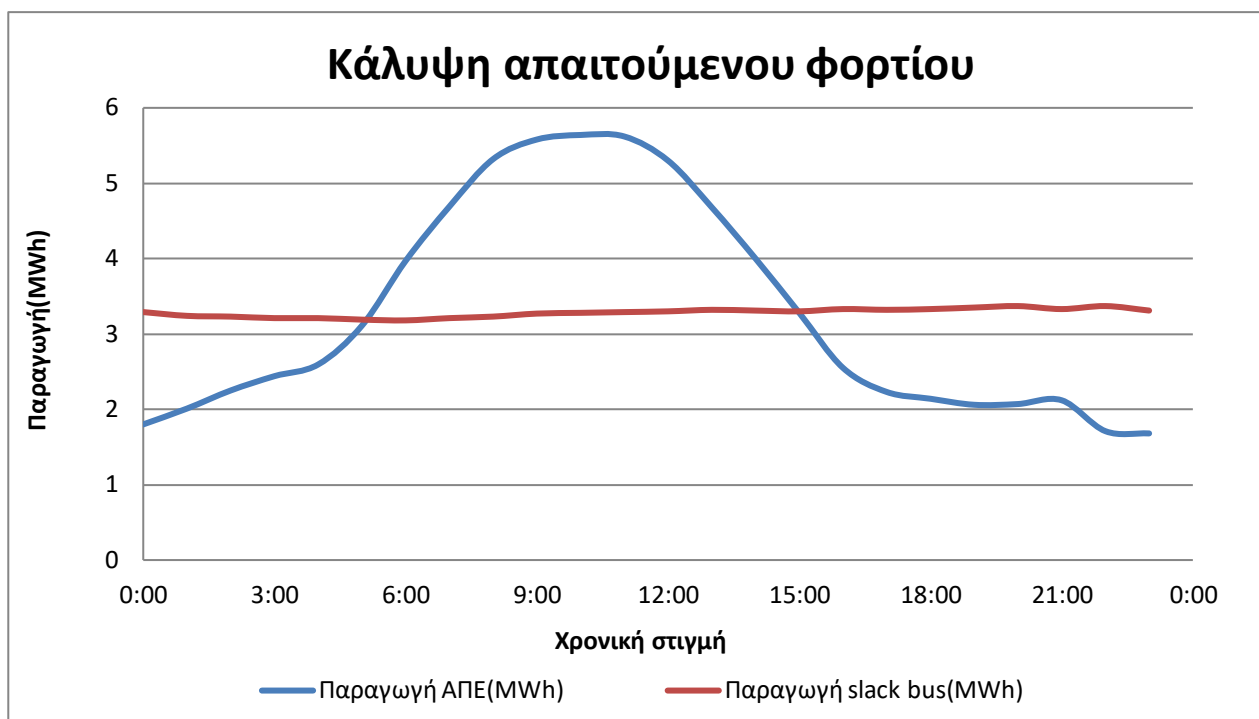
Το τρέξιμο που έγινε αφορά τις 21:00 και παρατηρούμε ότι η ζήτηση της πραγματικής ισχύος μηδενίστηκε. Την ίδια εικόνα θα λάβουμε τρέχοντας το δίκτυο στο υπόλοιπο εικοσιτετράωρο ^[A].

Στο σημείο αυτό εφόσον εκτελεστεί η διαδικασία μαζί με το σύστημα αποθήκευσης στον ζυγό 11, προφανώς η εικόνα της κατάστασης του δικτύου θα είναι παρόμοια με εκείνη της υφιστάμενης κατάστασης τον Αύγουστο 2032, δηλαδή η κατάσταση θα γίνει ξανά οριακά εντός ορίων. Επομένως στο σημείο αυτό έχει επιτευχθεί ένας ακόμη αποδεκτός κατά τα φαινόμενα συνδυασμός ΑΠΕ και αποθήκευσης, που είναι βελτιστοποιημένος συγκριτικά με το σενάριο 2.4 καθώς χρησιμοποιούμε λιγότερη εγκατεστημένη ισχύ.

5.7.2 Σενάριο 3.2: Διεξόδυση 3MW φωτοβολταϊκών και 3,5MW αιολικών με 2,8 MW αποθήκευση

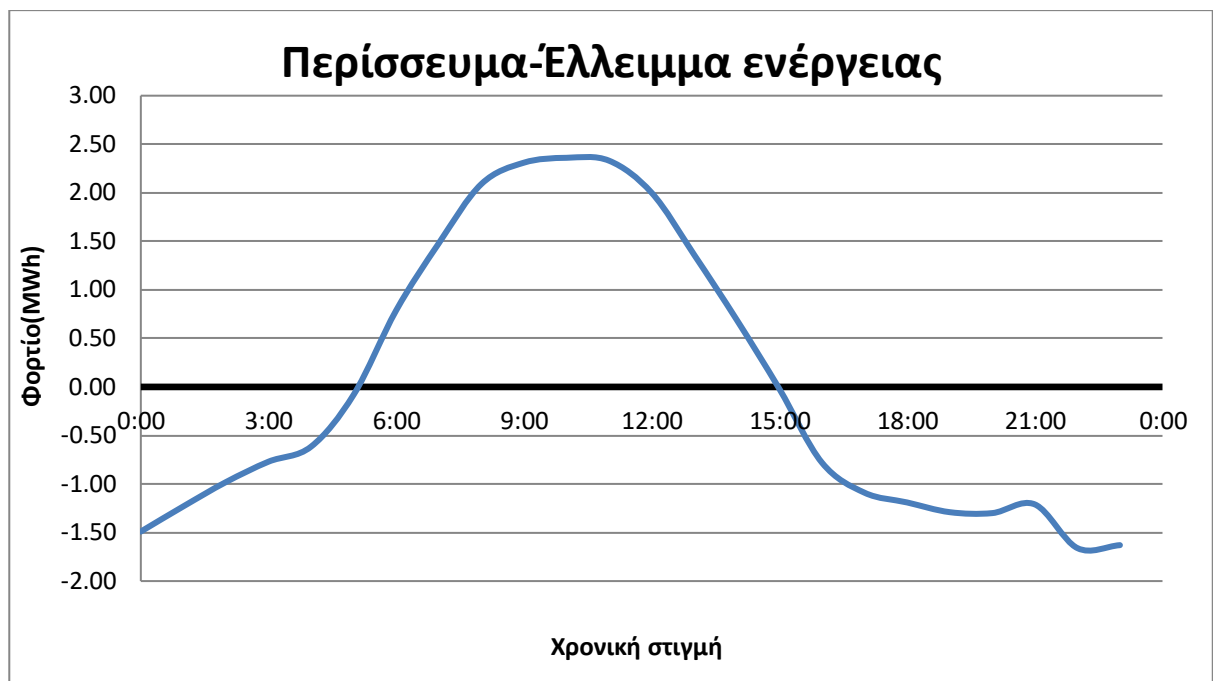
Στο σενάριο αυτό συγκεκριμένα θα τοποθετηθούν 3MW φωτοβολταϊκού, με εγκατεστημένα 2MW στο ζυγό 11 (Χερόνησος) και 1MW στο ζυγό 8 (Βαθύ). Ακόμη ,τα αιολικά θα είναι στα 3,5MW στο σύνολο εκ των οποίων τα 2MW στο ζυγό 11 (Χερόνησος), 1MW στο ζυγό 12 (Καμάρες) και τα υπόλοιπα 0,5MW στον ζυγό 5(Χρυσοπηγή). Γίνεται χρήση 0,5 MW περισσότερων αιολικών στο δίκτυο συγκριτικά με το σενάριο 3.1 και 2.4 και αρκετά μικρότερη χρήση σε φωτοβολταϊκά.

Η εικόνα της παραγωγής των εγκατεστημένων ΑΠΕ και της ζήτησης σε πραγματική ισχύ είναι η κάτωθι.



Διάγραμμα 5-27: Κάλυψη εικοσιτετραώρου φορτίου από ΑΠΕ στο σενάριο 3.2

Επαναλαμβάνοντας τη διαδικασία που ακολουθήθηκε στο σενάριο 2.4 και 3.1 και κάνοντας τις απαραίτητες πράξεις υπολογίστηκε συνολική ποσότητα ενέργειας σε πλεονάζουσα ίση με 15,41MWh περίπου στο διάστημα 5:00-15:00. Το αντίστοιχο έλλειμμα σε ενέργεια τις υπόλοιπες ώρες της ημέρας ανήλθε στις 15,33MWh. Έχουμε καταφέρει να εξισορροπήσουμε το έλλειμμα με το περίσσειμα ενέργειας, από το οποίο περίσσειμα πρόκειται να γίνει επεξεργασία του συστήματος αποθήκευσης που θα χρειαστούμε. Στο σημείο αυτό θα αφαιρεθεί ξανά το ποσό παραγωγής των ΑΠΕ από την παραγωγή ενέργειας από τον ζυγό ταλάντωσης στο εικοσιτετράωρο, ώστε να διαστασιολογήσουμε το σύστημα αποθήκευσης. Κατόπιν θα εξεταστεί το δίκτυο με ενσωματωμένη την αποθήκευση στον ζυγό 11 για να εξεταστεί αν τα αποτελέσματα θα είναι σωστά και έγκυρα. Επομένως θα κινηθούμε ως εξής.



Διάγραμμα 5-28 : Εικόνα εικοσιτετράωρου περισσεύματος-απώλειας ενέργειας στο σενάριο 3.2

Με βάση, λοιπόν, τα αποτελέσματα των διαγραμμάτων 5-27 και 5-28 θα πρέπει να εγκατασταθεί ένα storage με ονομαστική ισχύ άνω των 2,36MW και χωρητικότητα άνω των 15,41MWh που είναι το περίσσειμα ενέργειας. Άρα επιλέγουμε ένα σύστημα αποθήκευσης με μπαταρίες νατρίου-θείου (Na-S), το οποίο έχει ονομαστική ισχύ στα 2,8MW και αποδίδει συνολικά 18,28MWh. Εφόσον διαστασιολογήθηκε το σύστημα αποθήκευσης, με την ίδια διαδικασία όπως προηγουμένως, οι μπαταρίες θα προσδίδουν ενέργεια στο δίκτυο τις πρωινές και βραδινές ώρες και θα δεσμεύονται ενέργεια από το δίκτυο τις μεσημβρινές ώρες, αποθηκεύοντάς την για μελλοντική χρήση. Το storage εγκαταστάθηκε στον ζυγό 11.

Εφόσον επιλύσαμε τις ροές φορτίου στο πρόγραμμα στις 21:00 τόσο σχετικά με τις επιτρεπτές τάσεις των ζυγών όσο και τα ρεύματα υπερφόρτισης των γραμμών έχουμε τα εξής. Από άποψη τάσεων στους ζυγούς όσο και στα ρεύματα των καλωδίων το δίκτυο βρίσκεται σε ομαλή κατάσταση και μπορεί να λειτουργήσει ^[A].

Στην περίπτωση αυτή παρουσίασης ενός ακόμη πιο βελτιωμένου συνδυασμού από ΑΠΕ και αποθήκευσης ενέργειας, με αυτά τα δεδομένα, το τελικό αποτέλεσμα θα είναι σαφώς η αρχική και ομαλή κατάσταση του δικτύου. Εν κατακλείδι, στην υποενοότητα αυτή, παρουσιάστηκε ένα σενάριο διαφορετικού συνδυασμού ΑΠΕ και αποθηκευτικής διάταξης από ότι στο προηγούμενο, που όπως όλα δείχνουν αποτελεί τον βέλτιστο.

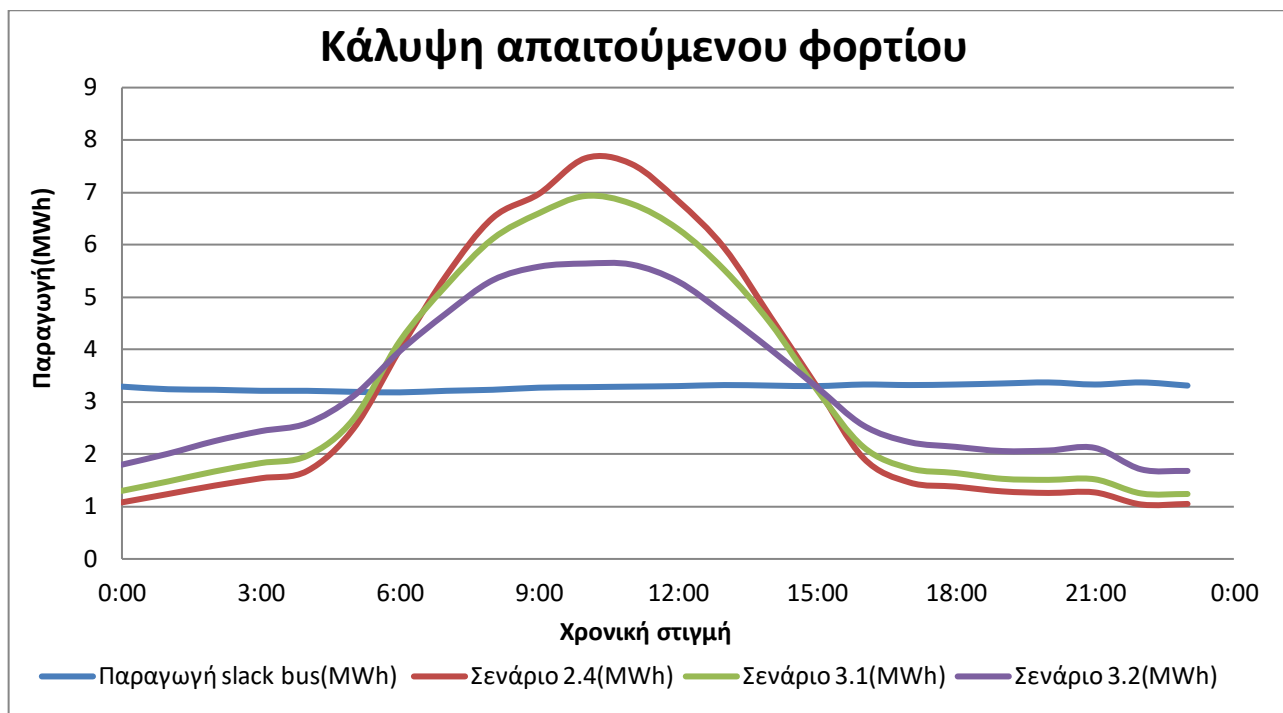
5.8 Σύγκριση των τελικών συνδυασμών

Συγκεντρωτικά έως τώρα έχουμε επιδιώξει τρεις διαφορετικούς συνδυασμούς εύρυθμης λειτουργίας του δικτύου με απόσυρση θερμικών μονάδων και παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με αποθήκευση. Οπότε εν ολίγοις έχουμε ως εξής.

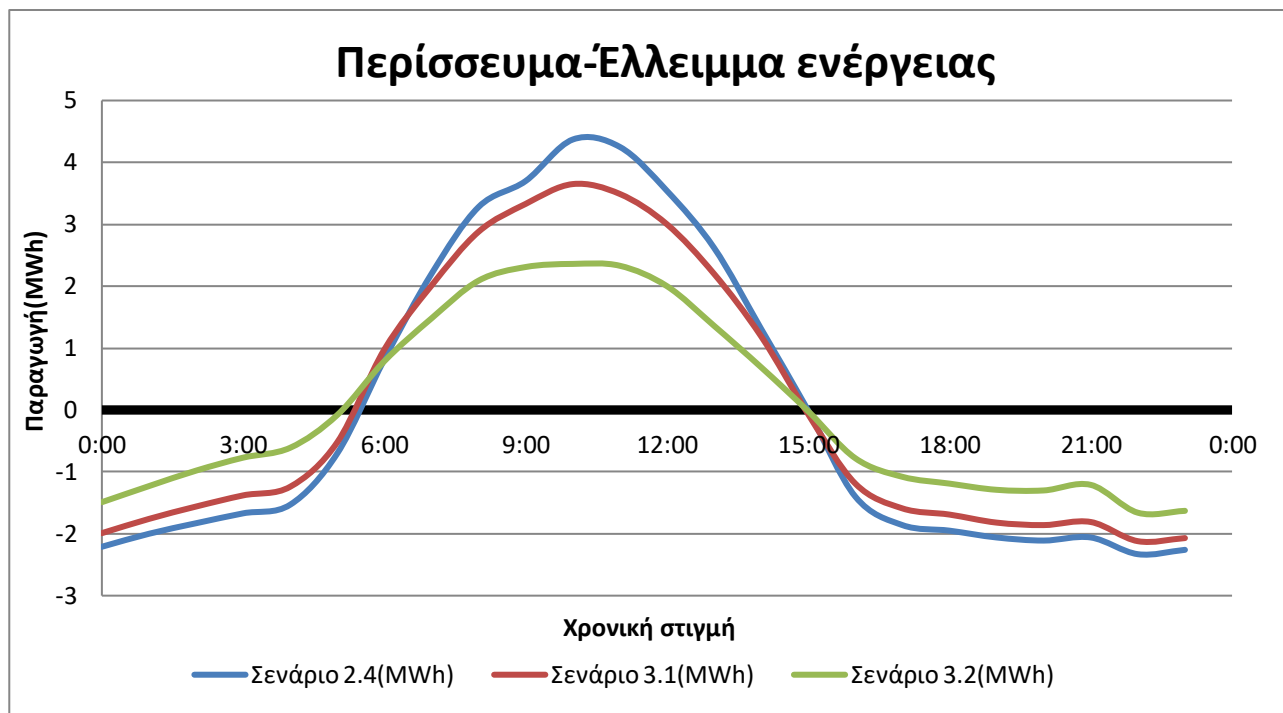
Συνδυασμός	Εγκατεστημένες ΑΠΕ	Ισχύς και χωρητικότητα αποθηκευτικού συστήματος	Χαρακτηριστικά
Σενάριο 2.4	7MW φωτοβολταϊκών και 3MW αιολικών	4,8MW 28,8 MWh	Καλύπτει σε πολύ μεγάλο βαθμό την ζήτηση ενέργειας τις μεσημβρινές ώρες, μεγάλη αποθηκευτική ικανότητα, υψηλή ισχύς εγκατάστασης ΑΠΕ και αποθήκευσης, Απαιτείται μεγάλος χώρος εγκατάστασης
Σενάριο 3.1	5MW φωτοβολταϊκών και 3MW αιολικών	4 MW 24 MWh	Καλύπτει σε ικανοποιητικό βαθμό την ζήτηση τις μεσημβρινές ώρες, αξιοσημείωτη αποθηκευτική χωρητικότητα
Σενάριο 3.2	3MW φωτοβολταϊκών και 3,5MW αιολικών	2,8MW 18,28 MWh	Λύση του προβλήματος με διείσδυση μικρότερης ισχύος εγκατεστημένων ΑΠΕ και αποθηκευτικού συστήματος

Πίνακας 5-9: Χαρακτηριστικά εξεταζόμενων σεναρίων

Ακόμη σχετικά με την κάλυψη του απαιτούμενου φορτίου αλλά και με το περίσσευμα και την απώλεια σε ενέργεια του εκάστοτε σεναρίου, τα παρακάτω διαγράμματα , μαζί με τον πίνακα 5-9 μας βοηθούν στην καλύτερη σύγκριση και εν τέλει στην επιλογή του κατάλληλου συνδυασμού.



Διάγραμμα 5-29: Κάλυψη φορτίου των εξεταζόμενων σεναρίων συγκεντρωτικά



Διάγραμμα 5-30: Εικόνα περισσεύματος-απώλειας ενέργειας των εξεταζόμενων σεναρίων συγκεντρωτικά

Γενικότερα, οι τελικοί συνδυασμοί των τριών αυτών σεναρίων για την λύση του προβλήματος, όταν τεθούν σε λειτουργία, συμβάλλουν ώστε το δίκτυο να είναι οριακά λειτουργικό. Πρόκειται δηλαδή για την ίδια εικόνα που παρατηρείται στην υφιστάμενη κατάσταση του δικτύου το 2032, αλλά στο σημείο αυτό υπάρχει σχεδόν μηδαμινό ποσοστό θερμικής παραγωγής και αντικατάσταση της με παραγωγή από ΑΠΕ.

Στον πρώτο συνδυασμό του σεναρίου 2.4, η εγκατεστημένη ισχύς των ΑΠΕ είναι 10MW και του αποθηκευτικού συστήματος είναι 4,8MW. Η πολύ μεγάλη εγκατεστημένη ισχύς των φωτοβολταϊκών δημιουργεί το μεγαλύτερο περίσσευμα σε ενέργεια συγκριτικά με τα υπόλοιπα σενάρια αλλά αυξάνει τον αποθηκευτικό χώρο του συστήματος. Επιπλέον, δημιουργεί λόγω εγκατάστασης λιγότερων αιολικών, μεγαλύτερα ποσά απώλειας σε ενέργεια στις 2,2 MWh περίπου. Είναι αντιληπτό, μεταξύ άλλων, εφόσον εφαρμοστεί αυτό το σενάριο, ότι απαιτείται αρκετός χώρος για την εγκατάσταση ενός τέτοιου έργου.

Στον δεύτερο συνδυασμό και συγκεκριμένα στο σενάριο 3.1, εγκαταστάθηκαν συνολικά 8MW από ΑΠΕ και μόλις 4MW από αποθήκευση Βάσει των δυο προηγούμενων διαγραμμάτων παρατηρείται μέγιστη τιμή απώλειας σε ενέργεια, στις 2MWh περίπου, ενώ είναι ικανοποιητική η αποθηκευτική χωρητικότητα του συστήματος. Ακόμη, λόγω εγκατάστασης μεγαλύτερου ποσοστού φωτοβολταϊκών συγκριτικά με τα αιολικά, είναι φανερό το μεγάλο περίσσευμα σε ενέργεια και άρα η ανάγκη εγκατάστασης μεγάλου αποθηκευτικού συστήματος

Ο τρίτος συνδυασμός του σεναρίου 3.2, απαιτεί εγκατάσταση 6,5MW από ΑΠΕ και 2,8MW από αποθήκευση ενέργειας. Όπως όλα έδειξαν το σενάριο αυτό επιλύει το πρόβλημα ζήτησης σε ενέργεια από την απόσυρση των θερμικών μονάδων, με εγκατάσταση μικρότερης ισχύος ΑΠΕ και αποθήκευσης. Μάλιστα σε σύγκριση με τα άλλα δύο σενάρια απαιτεί κάλυψη μικρότερης ποσότητας απώλειας ενέργειας τις πρωινές και βραδινές ώρες, της τάξεως των 1,5MWh, και απαιτεί την ανάγκη για μικρότερο ποσοστό αποθήκευσης λόγω αρκετά μειωμένου περισσεύματος.

Με βάση, λοιπόν, τα τελευταία τρία σενάρια βελτιστοποίησης συνδυασμών ΑΠΕ και αποθήκευσης και τα χαρακτηριστικά τους, ο συνδυασμός του σεναρίου 3.2 προφανώς αποτελεί τον βέλτιστο στα πλαίσια της διπλωματικής αυτής. Ο κύριος λόγος είναι διότι με μικρότερο ποσοστό ΑΠΕ-αποθήκευσης λύνεται το πρόβλημα και μάλιστα βάσει διαγράμματος 5-29 και 5-30, καλύπτεται ποσοστό ενέργειας για περισσότερες ώρες. Παράλληλα, δεν απαιτείται πολύ μεγάλος χώρος προς εγκατάσταση με δεδομένες τις διαστάσεις ενός ΜΔΝ όπως η Σίφνος. Τέλος, είναι λογικό να αναλογιστεί κανείς το οικονομικό όφελος ,σε βάθος χρόνου, σε σύγκριση με τα άλλα δυο σενάρια καθώς πρόκειται για ποσά μερικών MW λιγότερης ισχύος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο : Συμπεράσματα

6.1 Κύρια συμπεράσματα

Στο σημείο αυτό εφόσον έχει ολοκληρωθεί η διαδικασία μελέτης του θέματος της διπλωματικής αυτής εργασίας, στη Νήσο Σίφνο, πρόκειται να αναφερθούν τα κυριότερα και σημαντικότερα αποτελέσματα που εξάγονται. Συγκεκριμένα έχουμε ως εξής.

⇒ Σχετικά με το νομοθετικό πλαίσιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η ρυθμιστική αρχή ενέργειας (ΡΑΕ), ρυθμίζει, συντονίζει και καινοτομεί θέματα σχετικά με την εγκατάσταση σταθμών ΑΠΕ. Μάλιστα, στα μη διασυνδεδεμένα νησιά ο Διαχειριστής του Ελληνικού δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ) μεριμνά για την παροχή υπηρεσιών σχετικά με την παραγωγή και ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και ακόμη ευθύνη της είναι η εποπτεία της αγοράς της ενέργειας αυτής. Κινεί επίσης το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας τόσο στα νησιά όσο και στην ηπειρωτική χώρα. Ο ανεξάρτητος διαχειριστή μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας (ΑΔΜΗΕ) ασχολείται κυρίως με την μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας από σταθμούς ΑΠΕ, ή άλλου είδους, σε εργοστασιακούς χώρους σε υψηλά επίπεδα τάσεως. Τέλος, το κέντρο ανανεώσιμων πηγών και εξοικονόμησης ενέργειας (ΚΑΠΕ) παρέχει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με το αιολικό και ηλιακό δυναμικό τα οποία υποβοηθούν την μελλοντική διείσδυση υβριδικών σταθμών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, επιλέγοντας τα σωστά ενεργειακά και οικονομικά αξιοποιήσιμα σημεία εγκατάστασης.

⇒ Η Ελλάδα είναι μια χώρα με πλούσιο αιολικό και ηλιακό δυναμικό. Αυτό παρατηρείται τόσο από τις άδειες εγκατάστασης σταθμών ΑΠΕ και της γενικότερης κινητοποίησης στον τομέα αυτό όσο και την εικόνα που παρουσιάζουν σε προοπτικές τα μη διασυνδεδεμένα νησιά. Συγκεκριμένα, σε πολλά νησιά αυτόνομα ενεργειακά εγκαθίστανται ανεμογεννήτριες (οριζοντίου άξονα) και φωτοβολταϊκά πάρκα είτε μεμονωμένα είτε σε συνδυασμό σαν υβριδικό δίκτυο. Αξιοσημείωτη είναι η περίπτωση υβριδικού σταθμού ΑΠΕ αιολικού-υδροηλεκτρικού που συνδυάζει επαρκώς της δυο πηγές ως καλύτερη οικονομική και ενεργειακή λύση. Παράλληλα, για την εξομάλυνση των διακυμάνσεων φορτίου παραγωγής των ΑΠΕ, τα νησιά διαθέτουν συμβατικούς σταθμούς παραγωγής που αναλαμβάνουν την κάλυψη του μεγαλύτερου ποσοστού της ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια. Όλα αυτά, συντελούν στην δημιουργία κατάλληλων υβριδικών δικτύων οικονομικά αξιοποιήσιμων. Τέλος, στόχος του θεσμικού πλαισίου είναι η περαιτέρω διείσδυση ΑΠΕ με την

Μοντελοποίηση και παρακολούθηση έξυπνου υβριδικού δικτύου με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και αποθήκευση
βαθύτερη μείωση της παραγωγής από συμβατικούς σταθμούς στο πλαίσιο μιας οικολογικά και οικονομικά βιώσιμης ανάπτυξης, στον χώρο των μη διασυνδεδεμένων νησιών.

⇒ Η διαδικασία αποθήκευσης ενέργειας στα υβριδικά δίκτυα, κυρίως με συμμετοχή ΑΠΕ, αποτελεί πολύ σημαντική διαδικασία στην εύρυθμη λειτουργία τους και στην διαχείριση των δικτύων. Υπάρχουν πολλά είδη και τεχνολογίες αποθήκευσης με μηχανικό τρόπο, με χρήση συστήματος συσσωρευτών και καινοτόμων τεχνολογιών και με χρήση ηλεκτρομαγνητικών σταθμών. Συγκεκριμένα στην μελέτη που γίνεται στο νησί της Σίφνου, με βάση το πεδίο εφαρμογών των τεχνολογιών αποθήκευσης, ένα σύστημα αντλησιοταμίευσης θα μπορούσε να ήταν μια πολύ καλή λύση οικονομική και περιβαλλοντική. Όμως, από τη μια το δίκτυό μας δεν απαιτεί πολύ μεγάλα ποσά ισχύος όπως ορίζει ένα σύστημα αντλησιοταμίευσης και από την άλλη η Σίφνος είναι ένα μικρό μη διασυνδεδεμένο νησί που δεν μπορεί να υποστηρίξει ένα τέτοιο σύστημα από άποψη έκτασης. Το ίδιο ισχύει για τα συστήματα πεπιεσμένου αέρα και σφονδύλων. Παράλληλα, η χρήση συσσωρευτών ιόντων-λιθίου από άποψη απόδοσης και οικονομίας συμφέρει σε μια τέτοια επένδυση αλλά δεν μας αρκεί από άποψη μεγέθους ισχύος καθώς καλύπτουν μόλις μερικές εκατοντάδες kWh. Οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου και μολύβδου-οξέος απορρίπτονται καθώς οι πρώτες απαιτούν δύσκολες διαδικασίες συντήρησης και είναι ακριβές ενώ οι δεύτερες δεν έχουν καλή απόδοση και δεν μπορούν να σταθούν στις ανάγκες του δικτύου παρά την οικονομική τους ευκολία. Η χρήση συσσωρευτών ροής, κυψελών καυσίμου και συστήματα υδρογόνου δεν έχουν αποκτήσει ακόμη γενικά ταυτότητα στον τομέα της αποθήκευσης καθώς βρίσκονται ακόμη υπό έρευνα, εκτός των κυψελών καυσίμου οι οποίες απαιτούν μεγάλο κόστος κατασκευής. Αποτελούν όμως καινοτόμα και ελπιδοφόρα επένδυση για το μέλλον. Τα ηλεκτρομαγνητικά συστήματα που αναφέρθηκαν αφορούν δίκτυα υψηλής ισχύος πολλών MW, πράγμα που δεν ισχύει στο δίκτυό μας. Έτσι οι μπαταρίες νατρίου-θείου αποτελούν την πιο ωφέλιμη επιλογή σχετικά με την εξισορρόπηση της ζήτησης σε ενέργεια στο δίκτυό μας, καθώς μας εξυπηρετεί από άποψη ισχύος, οικονομίας και απόδοσης.

⇒ Σχετικά με την ανάλυση των ροών φορτίου σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, χρήζει μεγάλης σημασίας η ανάλυση της επαναληπτικής μεθόδου Newton-Raphson η οποία χρησιμοποιείται και στα τρεξίματα για τις ροές φορτίων σε περιβάλλον MATLAB στο κομμάτι της μελέτης. Αποτελεί καλύτερη και πιο αξιοποιήσιμη μέθοδο από άλλες όπως η μέθοδος Gauss-Scheidel για μεγαλύτερα συστήματα. Τέλος, στο πλαίσιο των ΣΗΕ, φαίνεται πως η είσοδος των ΑΠΕ με αποθηκευτικές διατάξεις όχι μόνο επιφέρει ομαλή και ασφαλής λειτουργία, αλλά συμβάλλει και στη δημιουργία οικονομικά αξιοποιήσιμων δικτύων.

- ⇒ Σχετικά με την μελέτη που γίνεται στην διπλωματική για την υφιστάμενη ηλεκτροπαραγωγή του νησιού της Σίφνου, παρατηρούμε ότι σε βάθος χρόνου ωρών, μηνών αλλά και ετήσιο, υπάρχουν έντονες εποχιακές διακυμάνσεις φορτίου. Αυτό μπορεί να φανεί καλύτερα τους καλοκαιρινούς μήνες του έτους όπου η ζήτηση σε ηλεκτρική ενέργεια σχεδόν τετραπλασιάζεται λόγω τουριστικής περιόδου. Συγκεκριμένα βάσει του μέσου μηνιαίου φορτίου είναι φανερό η ανοδική του πορεία τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο. Τους υπόλοιπους μήνες η ζήτηση και η παραγωγή ενέργειας παραμένει σε αρκετά χαμηλό επίπεδο όπως φαίνεται στον μήνα Ιανουάριο.
- ⇒ Με βάση την ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην νήσο Σίφνο το έτος 2022, παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο μερίδιο παραγωγής καλύπτεται από τις θερμικές μονάδες του ΤΣΠ (μόλις το 87,94%), ενώ το υπόλοιπο μικρό μερίδιο από τις εγκατεστημένες ΑΠΕ (το 12,06%). Αυτό συμβαίνει στα περισσότερα μη διασυνδεδεμένα νησιά της χώρας όπου οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας συμπληρώνουν την παραγωγή των νησιών και βρίσκονται συνέχεια υπό περιορισμούς λόγω διακυμάνσεων φορτίου παραγωγής. Αυτή την εικόνα θέλει ο νόμος να αλλάξει και να πολλαπλασιαστούν οι εγκαταστάσεις ΑΠΕ και να βρεθούν σε ψυχρή εφεδρεία οι συμβατικοί σταθμοί για την βαθύτερη οικονομική λειτουργία των υβριδικών δικτύων.
- ⇒ Ξεκινώντας με την μελέτη της διείσδυσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με αποθηκευτικό σύστημα, για να λειτουργήσει το εν λόγω δίκτυο ομαλά, θα πρέπει να τηρούνται κάποιοι όροι. Στην μοναδική περίπτωση που οι τάσεις στους ζυγούς έχουν τιμές 0,95-1,05 α.μ και τα ρεύματα στα καλώδια δεν υπερτερούν το θερμικό όριο του δικτύου, που είναι στην περίπτωσή μας τα 185A, θα καθίσταται ομαλή η κατάσταση του δικτύου για λειτουργία. Οποιαδήποτε παρέμβαση των ορίων δεν επιτρέπει την συνέχεια της μελέτης. Σε περίπτωση παραβίασης προστίθεται κατάλληλη αποθηκευτική διάταξη που θα εξομαλύνει τις τιμές και θα τις φέρει ξανά στα επιτρεπτά επίπεδα.
- ⇒ Για την εξασφάλιση της ομαλής λειτουργίας σε οποιοσδήποτε παρεμβολές και αλλαγές στο αρχικό δίκτυο που μοντελοποιήθηκε, έγινε αρχικά η εξέταση του στην δυσμενέστερη περίπτωση όπου έχουμε μεγιστοποίηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Συγκεκριμένα, τον Αύγουστο για την χρονική στιγμή 21:00, που αποτελεί την δυσμενέστερη κατάσταση της ζήτησης, εφόσον οι τάσεις των ζυγών και τα ρεύματα είναι οριακά εντός των καθορισμένων ορίων το δίκτυο μπορεί να λειτουργήσει ομαλά σε όλη την υπόλοιπη διάρκεια του έτους.

- ⇒ Στο σενάριο 1 και στο σενάριο 2, αρχικά έχοντας την υφιστάμενη κατάσταση του δικτύου και εξετάζοντας το επιτυχημένα στα επόμενα δέκα χρόνια αφαιρώντας μεγάλο ποσοστό θερμικής παραγωγής του ΤΣΠ, γίνεται η μελέτη για διείσδυση υβριδικού σταθμού ανανεώσιμων πηγών ενέργειας από αιολικά και φωτοβολταϊκά. Η ζήτηση που παρατηρείται σε εικοσιτετράωρη βάση κυμαίνεται στην τιμή των 3,3MW την ώρα. Στη συνέχεια στα σενάρια 2.1,2.2 και 2.3 του σεναρίου 2 δεν επιτυγχάνεται η κάλυψη της ζήτησης σε εικοσιτετράωρη βάση. Όμως το σενάριο 2.4 αποτελεί την καλύτερη λύση των προηγούμενων, επιτυγχάνοντας την εξισορρόπηση περισσεύματος και ελλείμματος ενέργειας. Έπειτα επιτυγχάνεται η χρήση κατάλληλου συστήματος αποθήκευσης με μπαταρίες νατρίου-θείου(Na-S) ,που εν τέλει επιλύει το πρόβλημα καθώς μηδενίζεται η ζήτηση σε όλο το εικοσιτετράωρο. Έγινε χρήση αυτού του είδους μπαταριών καθώς οι απαιτήσεις του δικτύου σε ενέργεια είναι σε ωριαίο επίπεδο MWh.Το δίκτυο σε όλα αυτά τα σενάρια εν τέλει βρίσκονταν σε επιτρεπτά επίπεδα σχετικά με την τάση ζυγών και τα ρεύματα γραμμών.
- ⇒ Στο σενάριο 3 παρουσιάζονται δυο ακόμη συνδυασμοί υβριδικού δικτύου ΑΠΕ με αποθηκευτική διάταξη μπαταριών Na-S,οι οποίοι επιλύουν το πρόβλημα ζήτησης. Συγκεκριμένα στο σενάριο 3.1 έχουμε εγκατεστημένη ισχύ από ΑΠΕ στα 8MW και αποθηκευτικό σύστημα των 4MW,ενώ στο σενάριο 3.2, 6,5MW ΑΠΕ και 2,8MW αποθήκευση. Στο σημείο αυτό συμπεραίνουμε ότι το σενάριο 3.2 λύνει το πρόβλημα με αρκετά λιγότερη εγκατεστημένη ισχύ από ΑΠΕ και αποθήκευση συγκριτικά με το σενάριο 3.2 και 2.4 και δεν απαιτεί μεγάλο χώρο εγκατάστασης. Όπως προαναφέραμε είναι αντιληπτό ότι από οικονομικής άποψης το σενάριο 3.1 αποτελεί μακράν την βέλτιστη λύση από τις άλλες δυο, κυρίως σε βάθος χρόνου. Αυτό είναι που κάνει το σενάριο αυτό μια αξιοποιήσιμη επένδυση.
- ⇒ Στο σενάριο 2.4 άλλα και σε όλο το σενάριο 3 έγινε χρήση συστήματος αποθήκευσης(storage) με μπαταρίες νατρίου-θείου, καθώς τόσο η ονομαστική ισχύς όσο και η χωρητικότητα του συστήματος είναι σε επίπεδο MW και MWh αντίστοιχα. Ένα σύστημα που θα μπορούσε να ήταν καρποφόρο ενεργειακά, οικονομικά και οικολογικά είναι η μέθοδος της αντλησιοταμίευσης. Όμως, το δίκτυο μας σε ένα νησί όπως η Σίφνος δε μας επιτρέπει να ευδοκιμήσει μια τέτοια επένδυση καθώς απαιτείται πολύς χώρος για την εγκατάσταση, πράγμα που δεν είναι εφικτό. Άλλη μέθοδο αποτελούν οι μπαταρίες Li-on οι οποίες παρουσιάζουν πολύ καλές αποδόσεις και μεγάλους κύκλους φόρτισης-εκφόρτισης. Όμως δεν είναι δυνατόν να καλύψουν εξολοκλήρου την ζήτηση σε ενέργεια του δικτύου καθώς οι χωρητικότητες τους φτάνουν μέχρι ορισμένες kWh,ενώ εμείς χρειαζόμαστε καλό ποσό MWh για την κάλυψη ενέργειας. Για τους λόγους αυτούς επιλέγονται οι μπαταρίες νατρίου-θείου για το δίκτυό μας και αποτελούν μια καλή προτεινόμενη επιλογή.

- ⇒ Αξίζει να σημειωθεί ότι στην διάρκεια εκπόνησης των σεναρίων της διπλωματικής, οι εικοσιτετράωρες τιμές παραγωγής τόσο από τα εγκατεστημένα αιολικά όσο και από τα φωτοβολταϊκά, διακρίνονται από διακυμάνσεις. Τα φωτοβολταϊκά δεν προσφέρουν ενέργεια στο δίκτυο τις πρωινές και βραδινές ώρες, παρά μόνο το μεσημέρι όπου βοηθά η ηλιακή ενέργεια. Συνδυαζόμενα με τα αιολικά, λόγω του αξιοσημείωτου αιολικού δυναμικού της Σίφνου, παρουσιάζουν μια εικοσιτετράωρη καμπύλη με αυξημένη παραγωγή το μεσημέρι και μικρή ποσότητα παραγωγής το πρωί και το βράδυ. Αυτού του είδους το περίσσειμα και έλλειμμα παραγωγής που παρουσιάζουν οι ΑΠΕ με την ζήτηση ισχύος καλύπτουμε με τις μπαταρίες.
- ⇒ Έπειτα, από την ολοκλήρωση της μελέτης αυτής στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας, εξάγονται σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με τον περιβαλλοντικό και οικονομικό αντίκτυπο που έχει η εγκατάσταση ενός τέτοιου υβριδικού δικτύου. Συγκεκριμένα, εφόσον ένα τέτοιο δίκτυο λειτουργήσει και αντικαταστήσει την παραγωγή από τους συμβατικούς σταθμούς ντίζελ του νησιού, θα μειωθεί το κόστος για την κατανάλωση των ορυκτών καυσίμων καθώς θα υπάρχει σχεδόν μηδαμινός αριθμός συμβατικών σταθμών. Ακόμη, η διαδικασία εγκατάστασης των εν λόγω σταθμών ΑΠΕ θα δημιουργήσει θέσεις εργασίας για τους μόνιμους κάτοικους του νησιού. Σε περιβαλλοντικό επίπεδο, περιορίζονται οι ατμοσφαιρικοί ρύποι των σταθμών ντίζελ και τα ορυκτά καύσιμα ενώ ταυτόχρονα γίνεται εφικτή η αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και βελτιώνεται η συνθήκη διαβίωσης και ασφάλειας του τοπικού πληθυσμού.

6.2 Εισήγηση για περαιτέρω έρευνα

Στην τελευταία υποενότητα της διπλωματικής αυτής εργασίας θα γίνει αναφορά στην μελέτη για περαιτέρω έρευνα σε τομείς της εργασίας και σχετικά με το εγκατεστημένο υβριδικό δίκτυο με ΑΠΕ και σύστημα αποθήκευσης στο νησί της Σίφνου.

Αρχικά σχετικά με το νησί της Σίφνου, με ένα τέτοιο δίκτυο να λειτουργεί σε ομαλά επίπεδα, μπορούν να εισαχθούν διάφοροι τρόποι εξυπηρέτησης του πληθυσμού κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες. Πιο αναλυτικά θα μπορούσε να γίνει μελέτη και εισήγηση για τοποθέτηση σταθμών φόρτισης για ηλεκτροκίνητα αυτοκίνητα στην χώρα του νησιού (Απολλωνία). Θα αποτελεί ένα ποσό ζήτησης που θα είναι σε θέση το εγκατεστημένο δίκτυο να καλύψει προκειμένου να γίνει το νησί πιο εξυπηρετικό και βιώσιμο κοινωνικά.

Ακόμη, με βάση το ισχυρό αιολικό και ηλιακό δυναμικό που παρουσιάζει τόσο η Σίφνος όσο και τα υπόλοιπα μη διασυνδεδεμένα νησιά της χώρας, μπορεί να γίνει μελέτη για περαιτέρω διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με εν τέλει τον περιορισμό της παραγωγής από τους συμβατικούς σταθμούς ντίζελ σε πολύ μεγάλο βαθμό. Έτσι, μπορεί να γίνει κινητοποίηση της τοπικής κοινωνίας για <<πράσινη>> ανάπτυξη και να αναπτυχθούν έρευνες σχετικά με την πιο οικολογική λύση του προβλήματος.

Σχετικά με το θέμα της χρησιμοποίησης κατάλληλης αποθηκευτικής διάταξης στο δίκτυο του νησιού της Σίφνου, η χρήση και η εισήγηση του συστήματος με μπαταρίες νατρίου-θείου αποτελεί μια καλή λύση του προβλήματος. Όμως, επειδή στον τομέα της αποθήκευσης ενέργειας δεν υπάρχει μεγάλη εμπειρία και μερικές μέθοδοι είναι ακόμα υπό μελέτη και δοκιμή, το θέμα χρήζει περαιτέρω έρευνας. Καθίσταται δυνατή η εμβάθυνση στον τομέα αυτό και μπορούν να προταθούν έπειτα από δοκιμές διατάξεις πιο ωφέλιμες τελικά, κομμάτι που δεν αφορά την παρούσα διπλωματική εργασία.

Τέλος, σχετικά με το τελικό αποτέλεσμα των τελικών σεναρίων υπάρχει δυνατότητα εμβάθυνσης σχετικά με την εύρεση βέλτιστης λύσης. Δηλαδή, μπορεί το θέμα αυτό της διπλωματικής να αποτελέσει την αρχή για μια περαιτέρω διατριβή στην εύρεση βέλτιστου συνδυασμού από ΑΠΕ και αποθηκευτικής διάταξης, μέσω βαθύτερης ανάλυσης σχετικά με την βελτιστοποίηση. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να προταθεί μελλοντικά ένα βιώσιμο και πράσινο δίκτυο για το νησί της Σίφνου.

Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές

BIBΛΙΑ

- [1]. Απόστολος Πολυζάκης, Ενέργεια, Περιβάλλον και Αειφόρος Ανάπτυξη, Power Heat Cool, Πτολεμαΐδα (2019)
- [6]. Διονύσης Ασημακόπουλος, Γεώργιος Αραμπατζής, Αθανάσιος Αγγέλης-Δημάκης, Γεώργιος Τσιλιγκρίδης, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Δυναμικό και Τεχνολογίες, Θεσσαλονίκη (2020)
- [10]. Βασίλειος Δ.Μπιτζιώνης, Δημήτριος Β.Μπιτζιώνης, ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, Αθήνα (2020)
- [28]. Παντελής Β.Μαλατέστας. «ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ», Αθήνα (2016)
- [30]. Κ.Βουρνάς, Γ.Κονταξής. «Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας», Αθήνα (2010)
- [32]. Lynn Powell. “Power System Load Flow Analysis”, Mc Graw-Hill Professional Engineering, (2005)

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΕΣ/ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΕΣ/ΠΤΥΧΙΑΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΙΒΕΣ

- [3].Στεργίου Μαρία Γεωργίου. «Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Ανάλυση χρηματοοικονομικών καταστάσεων», Μεταπτυχιακή διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Μάρτιος (2018)
- [4]. Μίλτων Μάχντι. «Οδηγός χρήσης συστήματος ATLASe για το ΣΗΕ του μη διασυνδεδεμένου νησιού της Ικαρίας», Διπλωματική εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Μάρτιος (2023)
- [5]. Αναγνωστοπούλου Βασιλική. «Η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ στην Ελλάδα-Ρυθμιστικό πλαίσιο-Ανταγωνισμός και επενδύσεις», Μεταπτυχιακή διατριβή, Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Φεβρουάριος (2023)

[7]. Γκόπης Χρήστος, Βαϊνάς Βάϊος. «Ανάλυση Υβριδικού συστήματος ηλεκτροπαραγωγής με ΑΠΕ», Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Φεβρουάριος (2012)

[8]. Παπαδόπουλος Κωνσταντίνος. «Μελέτη Υβριδικού δομικού συστήματος Ανεμογεννήτριας πολύ μεγάλου ύψους», Μεταπτυχιακή διατριβή, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Απρίλιος (2022)

[9]. Καρακωνσταντής Μάριος, Κουράκης Νικόλαος. «Μελέτη και κατασκευή Ανεμογεννήτριας Κατακόρυφου Άξονα», Πτυχιακή εργασία, Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο, Σεπτέμβριος (2021)

[11]. Μπίρδας Μιχαήλ. «Βέλτιστος δομικός σχεδιασμός Ανεμογεννητριών», Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα (2017)

[12]. Κολοκοτρώνης Βασίλειος. «Μεθοδολογία Χωροθέτησης Ανεμογεννητριών με χρήση συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών: η περίπτωση της Σίφνου», Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Φεβρουάριος (2023)

[13]. Ιάσοντας Νίκας-Νασιούλης. «Διεύρυνση ενεργειακής κάλυψης επεξεργασίας λυμάτων στη νήσο Κω μέσω ανάπτυξης υβριδικού συστήματος ενέργειας», Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Φεβρουάριος (2023)

[14]. Μ.Κ Σιδηράτου. «Το νέο καθεστώς των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ελλάδα», Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Πτυχιακή εργασία (2012)

[15]. Ντάλλα Ελευθερία. «Η διεύθυνση φωτοβολταϊκών στις χώρες της Ε.Ε ως παράγοντας επίτευξης των στόχων βιώσιμης ανάπτυξης», Μεταπτυχιακή διατριβή, Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Πειραιάς (2023)

[16]. Μαρίνος Κωνσταντίνος. «ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Φ/Β ΠΑΡΚΟΥ», Πτυχιακή εργασία, Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, Πάτρα (2022)

[17]. Απόστολος Α.Μαριγούδης. «Φωτοβολταϊκά και αιολικά πάρκα στην Ελλάδα», Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Οκτώβριος (2022)

[18]. Δημήτριος Γκολέμης. «Μελέτη εγκατάστασης υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε βιομηχανική στέγη», Πτυχιακή εργασία, Τ.Ε.Ι Πειραιά, Αιγάλεω, Οκτώβριος (2013)

[19]. Χάβαρη Αμαλία, Χατζής Γεώργιος. «Μελέτη ενεργειακής αυτονομίας μη διασυνδεδεμένου νησιού με εγκατάσταση υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας», Διπλωματική εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, Οκτώβριος (2018)

[20]. Ν.Κυριάκου. «Εξομοίωση υβριδικού συστήματος με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας για εγκατάσταση στην Κύπρο», Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα (2014)

[21]. Χ.Μαλωνίτση. «Υβριδικά ηλιακά συστήματα και εφαρμογές στην Ελλάδα», Διπλωματική εργασία, Τ.Ε.Ι Κρήτης, Σεπτέμβριος (2014)

[22]. Καρακοπούλου Δόμνα. «Υβριδικά συστήματα ΑΠΕ για την παραγωγή ενέργειας», Μεταπτυχιακή εργασία, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Ξάνθη, Σεπτέμβριος (2015)

[23]. Μ.Ι Καραδήμου. «Η αυτάρκεια ως συστατικό στοιχείο ανθεκτικότητας και ως μοχλός βιώσιμης αστικής ανάπτυξης», Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Μάρτιος (2023)

[25]. Σκρέμπος Γ.Παναγιώτης. «Βελτιστοποίηση λειτουργίας αιολικού πάρκου με ενσωματωμένη αποθήκευση υπό περιορισμούς έγχυσης», Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Μάρτιος (2023)

[26]. Λάλου Ιωάννα. «Εφαρμογή της πιθανοτικής ροής φορτίου για την εύρεση της μέγιστης διείσδυσης φωτοβολταϊκών συστημάτων σε δίκτυα διανομής με κριτήριο τα επιτρεπτά όρια διακύμανσης τάσης», Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Οκτώβριος (2015)

[27]. Γιαννουλάτος Ι.Ιωάννης. «Μελέτη πιθανοτικής ροής φορτίου στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της Κρήτης και σύγκριση των μεθόδων», Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Σεπτέμβριος (2013)

[29]. Χρονόπουλος Γεώργιος. «Ανάλυση κυβερνοεπιθέσεων έγχυσης ψευδών δεδομένων στα συστήματα ρύθμισης φορτίου-συχνότητας και μελέτη ανίχνευσής τους μέσω παρατηρητή Luenberger», Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Οκτώβριος (2022)

[31]. Σουρλίγκας-Πέτρου Κ.Απόστολος. «Πιθανοτική Ανάλυση ροής φορτίου σε δίκτυο διανομής», Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Ιούλιος (2015)

[33]. Γεώργιος Κονδύλης. «Επίδραση της αυξημένης διείσδυσης φωτοβολταϊκής παραγωγής στα δίκτυα διανομής και τα συστήματα γείωσης», Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Φεβρουάριος (2016)

[34]. Ανδρεάδης Μάριος. «Αποθήκευση ενέργειας μέσω υπερπυκνωτών, συσσωρευτών ροής και τεχνολογιών μαγνητικού πεδίου», Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Αιγάλεω, Ιανουάριος (2023)

[35]. Κωνσταντίνος Αλεξίου, Απόστολος Ματθαίου. «Τεχνοοικονομική μελέτη μονάδας αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας (αντλησιοταμίευση) μεγάλης κλίμακας», Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος (2023)

[37]. Οδυσσεάς Χαλτσάκος. «Αποθήκευση Ηλεκτρικής ενέργειας:Τεχνολογίες και ρυθμιστικό πλαίσιο», Μεταπτυχιακή Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη (2017)

[38]. Καραγκούνης Ιωάννης-Μάριος. «Διαστασιολόγηση μονάδας εγγραμμένης ισχύος από φωτοβολταϊκά με αποθήκευση ενέργειας συμπιεσμένου αέρα», Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, Σεπτέμβριος (2022)

[39]. Πανταζής Κωνσταντίνος, Κουστούκης Κωνσταντίνος. «Μελέτη αυτόνομου ενεργειακά υβριδικού συστήματος με τη συμμετοχή αιολικού πάρκου και συστήματος αποθήκευσης ενέργειας συμπιεσμένου αέρα με δυνατότητα εκμετάλλευσης της απορριπτόμενης θερμότητας στην έξοδο της μονάδας συμπίεσης», Πτυχιακή εργασία, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Πειραιάς (2019)

[40]. Ν.Π Χαρίτος. «Μοντελοποίηση και έλεγχος συσσωρευτών λιθίου συνδεδεμένων σε μικροδίκτυο μέσω dc/dc μετατροπών», Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα (2015)

[41]. Μάρκος Ι.Κοσέογλου. «Ανάπτυξη τεχνολογιών ελέγχου για τη βελτίωση της λειτουργίας συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας μπαταριών ιόντων-λιθίου», Διδακτορική διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, Απρίλιος (2022)

[42]. Αριστείδης Καπόλος. «Ηλεκτροχημική αποθήκευση ενέργειας-επαναφορτιζόμενες μπαταρίες», Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος (2022)

[43]. Θεοφάνης-Χρήστος Χριστακόπουλος. «Ανάλυση συστημάτων αποθήκευσης απορριπτόμενης ενέργειας από αιολικές εγκαταστάσεις στην Κρήτη», Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Ιούλιος (2017)

[44]. Γαλανάκης Δημήτριος. «Μπαταρία αποθήκευσης ενέργειας», Μεταπτυχιακή εργασία, Τ.Ε.Ι Κρήτης, Σεπτέμβριος (2017)

[45]. Μαρκουλάτος Αλέξανδρος. «Επισκόπηση στοιχείων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στα ηλεκτρικά οχήματα», Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Αιγάλεω (2018)

[46]. Αθανάσιος-Φοίβος Β.Παπαθανασίου. «Ανάπτυξη υβριδικού συστήματος ΑΠΕ με αντλησιοταμίευση και αποθήκευση υδρογόνου για την κάλυψη υδατικών και ενεργειακών αναγκών στην Σκύρο», Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Φεβρουάριος (2023)

[47]. Νικόλαος Γ. Ηλιόπουλος. «Σχεδιασμός για την εγκατάσταση δικτύου φορτιστών για ηλεκτρικά αυτοκίνητα σε μια πόλη», Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Φεβρουάριος (2023)

ΑΡΘΡΑ ή ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΠΕΡΙΟΔΙΚΩΝ/ΣΥΝΕΔΡΙΩΝ,ΕΝΤΥΠΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΕΣΩΝ

[2]. Nikos Hatzigiorgiariou, Ioannis Margaris, Irene Stavropoulou, Stavros Papathanassiou, Aris Dimeas. “Noninterconnected Island Systems,The Greek case”, IEEE Electrification Magazine, vol 5,no.2, p.p 17-27, June (2017)

[24]. Georgios N.Psarros, Sotirios I.Nanou, Stefanos V.Papaefthymiou, Stavros A.Papapathanassiou. “Generation scheduling in non-interconnected islands with high RES penetration”, Renewable energy, vol 115, p.p 338-352, January (2018)

[36]. European Commission. “Energy Storage – the role of electricity”, Commission Staff Working Document, Brussels, February (2017)

Παράρτημα Α

Αποτελέσματα τρεξιμάτων σε περιβάλλον MATLAB

1. Σενάριο 1: Αρχική κατάσταση δικτύου

Line Flow and Losses

--Line--		Power at bus & line flow			--Line loss--		Transformer
from	to	MW	Mvar	MVA	MW	Mvar	tap
1		5.37701	2.69191	6.01320			
2		5.37701	2.69191	6.01320	0.03616	0.10848	
2		-0.05232	-0.02511	0.05804			
1		-5.34085	-2.58343	5.93286	0.03616	0.10848	
3		0.20950	0.10060	0.23240	0.00008	0.00005	
5		0.26229	0.12602	0.29100	0.00064	0.00043	
7		4.81674	2.33170	5.35143	0.08708	0.05766	
3		-0.05232	-0.02511	0.05804			
2		-0.20942	-0.10055	0.23231	0.00008	0.00005	
4		0.15710	0.07543	0.17427	0.00014	0.00009	
4		-0.15696	-0.07534	0.17411			
3		-0.15696	-0.07534	0.17411	0.00014	0.00009	
5		-0.10464	-0.05023	0.11607			
2		-0.26165	-0.12560	0.29023	0.00064	0.00043	
6		0.15701	0.07537	0.17416	0.00005	0.00003	
6		-0.15696	-0.07534	0.17411			
5		-0.15696	-0.07534	0.17411	0.00005	0.00003	
7		-2.09280	-1.00454	2.32140			
2		-4.72966	-2.27403	5.24794	0.08708	0.05766	

8 0.26281 0.12637 0.29161 0.00121 0.00080
9 0.26213 0.12592 0.29081 0.00053 0.00035
10 1.84951 0.89110 2.05298 0.01666 0.01103
12 0.26240 0.12610 0.29113 0.00080 0.00053

8 -0.26160 -0.12557 0.29018
7 -0.26160 -0.12557 0.29018 0.00121 0.00080

9 -0.26160 -0.12557 0.29018
7 -0.26160 -0.12557 0.29018 0.00053 0.00035

10 -1.56960 -0.75341 1.74105
7 -1.83285 -0.88007 2.03319 0.01666 0.01103

11 0.26325 0.12666 0.29214 0.00165 0.00109

11 -0.26160 -0.12557 0.29018
10 -0.26160 -0.12557 0.29018 0.00165 0.00109

12 -0.26160 -0.12557 0.29018
7 -0.26160 -0.12557 0.29018 0.00080 0.00053

Total loss 0.14501 0.18055

Power Flow Solution by Newton-Raphson Method

Maximum Power Mismatch = 4.9248e-12

No. of Iterations = 4

Bus No.	Voltage Angle		-----Load-----		---Generation---		Injected
	Mag.	Degree	MW	Mvar	MW	Mvar	Mvar
1	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	5.377006	2.691910	0.000000
2	0.986639	-0.780456	0.052320	0.025114	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.986225	-0.783778	0.052320	0.025114	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.985292	-0.791263	0.156960	0.075341	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.984046	-0.801266	0.104640	0.050227	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.983735	-0.803771	0.156960	0.075341	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.967560	-0.932843	2.092800	1.004544	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.962790	-0.971883	0.261600	0.125568	0.000000	0.000000	0.000000
9	0.965446	-0.950146	0.261600	0.125568	0.000000	0.000000	0.000000
10	0.958231	-1.009115	1.569600	0.753408	0.000000	0.000000	0.000000
11	0.951798	-1.062283	0.261600	0.125568	0.000000	0.000000	0.000000
12	0.964385	-0.958826	0.261600	0.125568	0.000000	0.000000	0.000000
Total			5.232000	2.511360	5.377006	2.691910	0.000000

2. Σενάριο 2:Εικόνα δικτύου μετά από 10 χρόνια

Line Flow and Losses

--Line--		Power at bus & line flow			--Line loss--		Transformer
from	to	MW	Mvar	MVA	MW	Mvar	tap
1		5.78958	2.94333	6.49480			
	2	5.78958	2.94333	6.49480	0.04218	0.12655	
2		-0.05700	-0.02737	0.06323			
	1	-5.74740	-2.81679	6.40053	0.04218	0.12655	
	3	0.22826	0.10967	0.25324	0.00010	0.00006	
	5	0.28582	0.13741	0.31714	0.00077	0.00051	
	7	5.17631	2.54233	5.76694	0.10136	0.06712	
3		-0.05700	-0.02737	0.06323			
	2	-0.22817	-0.10960	0.25313	0.00010	0.00006	
	4	0.17117	0.08223	0.18989	0.00017	0.00011	
4		-0.17100	-0.08212	0.18970			
	3	-0.17100	-0.08212	0.18970	0.00017	0.00011	
5		-0.11400	-0.05475	0.12646			
	2	-0.28506	-0.13691	0.31623	0.00077	0.00051	
	6	0.17106	0.08216	0.18976	0.00006	0.00004	
6		-0.17100	-0.08212	0.18970			
	5	-0.17100	-0.08212	0.18970	0.00006	0.00004	
7		-2.20000	-1.09000	2.45522			
	2	-5.07495	-2.47521	5.64639	0.10136	0.06712	
	8	0.28645	0.13783	0.31788	0.00145	0.00096	
	9	0.28564	0.13729	0.31692	0.00064	0.00042	
	10	2.01690	0.97259	2.23916	0.01993	0.01319	

12	0.28596	0.13750	0.31730	0.00096	0.00064
8	-0.28500	-0.13687	0.31616		
7	-0.28500	-0.13687	0.31616	0.00145	0.00096
9	-0.28500	-0.13687	0.31616		
7	-0.28500	-0.13687	0.31616	0.00064	0.00042
10	-1.71000	-0.82121	1.89697		
7	-1.99698	-0.95939	2.21548	0.01993	0.01319
11	0.28698	0.13818	0.31851	0.00198	0.00131
11	-0.28500	-0.13687	0.31616		
10	-0.28500	-0.13687	0.31616	0.00198	0.00131
12	-0.28500	-0.13687	0.31616		
7	-0.28500	-0.13687	0.31616	0.00096	0.00064

Total loss 0.16958 0.21090

Power Flow Solution by Newton-Raphson Method

Maximum Power Mismatch = 9.56823e-12

No. of Iterations = 4

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	-----Load-----		---Generation---		Injected
			MW	Mvar	MW	Mvar	Mvar
1	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	5.789578	2.943333	0.000000
2	0.985486	-0.838717	0.057000	0.027374	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.985034	-0.842340	0.057000	0.027374	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.984017	-0.850505	0.171000	0.082121	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.982657	-0.861417	0.114000	0.054748	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.982317	-0.864150	0.171000	0.082121	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.964886	-0.996603	2.200000	1.090000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.959672	-1.039335	0.285000	0.136869	0.000000	0.000000	0.000000
9	0.962576	-1.015538	0.285000	0.136869	0.000000	0.000000	0.000000
10	0.954683	-1.080127	1.710000	0.821215	0.000000	0.000000	0.000000
11	0.947643	-1.138443	0.285000	0.136869	0.000000	0.000000	0.000000
12	0.961416	-1.025039	0.285000	0.136869	0.000000	0.000000	0.000000
Total			5.620000	2.732429	5.789578	2.943333	0.000000

3. Προοπτική δικτύου με σταδιακή διείσδυση ΑΠΕ

Σενάριο 2.1: Διείσδυση 1 MW φωτοβολταϊκών και 1,6 MW αιολικών

Line Flow and Losses

--Line--		Power at bus & line flow			--Line loss--		Transformer
from	to	MW	Mvar	MVA	MW	Mvar	tap
1		2.46230	1.65071	2.96441			
2		2.46230	1.65071	2.96441	0.00879	0.02636	
2		2.39300	1.14263	2.65180			
1		-2.45351	-1.62435	2.94248	0.00879	0.02636	
3		0.22826	0.10967	0.25324	0.00010	0.00006	
5		0.28581	0.13741	0.31712	0.00076	0.00050	
7		4.33244	2.51990	5.01198	0.07547	0.04997	
3		-0.05700	-0.02737	0.06323			
2		-0.22816	-0.10960	0.25312	0.00010	0.00006	
4		0.17116	0.08223	0.18989	0.00016	0.00011	
4		-0.17100	-0.08212	0.18970			
3		-0.17100	-0.08212	0.18970	0.00016	0.00011	
5		-0.11400	-0.05475	0.12646			
2		-0.28505	-0.13691	0.31623	0.00076	0.00050	
6		0.17105	0.08216	0.18976	0.00005	0.00004	
6		-0.17100	-0.08212	0.18970			
5		-0.17100	-0.08212	0.18970	0.00005	0.00004	
7		-2.20000	-1.09000	2.45522			
2		-4.25697	-2.46993	4.92162	0.07547	0.04997	
8		0.28642	0.13781	0.31784	0.00142	0.00094	
9		0.28563	0.13728	0.31691	0.00063	0.00041	

Μοντελοποίηση και παρακολούθηση έξυπνου υβριδικού δικτύου με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και αποθήκευση

10 1.19899 0.96735 1.54056 0.00924 0.00612

12 0.28594 0.13749 0.31728 0.00094 0.00062

8 -0.28500 -0.13687 0.31616

7 -0.28500 -0.13687 0.31616 0.00142 0.00094

9 -0.28500 -0.13687 0.31616

7 -0.28500 -0.13687 0.31616 0.00063 0.00041

10 -1.67000 -0.82121 1.86099

7 -1.18975 -0.96123 1.52953 0.00924 0.00612

11 -0.48025 0.14001 0.50025 0.00475 0.00314

11 0.48500 -0.13687 0.50394

10 0.48500 -0.13687 0.50394 0.00475 0.00314

12 -0.28500 -0.13687 0.31616

7 -0.28500 -0.13687 0.31616 0.00094 0.00062

Total loss 0.10230 0.08828

Power Flow Solution by Newton-Raphson Method

Maximum Power Mismatch = 1.67894e-12

No. of Iterations = 4

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	-----Load-----		---Generation---		Injected Mvar
			MW	Mvar	MW	Mvar	
1	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	2.462296	1.650710	0.000000
2	0.992602	-0.331110	0.057000	0.027374	2.450000	1.170000	0.000000
3	0.992154	-0.334682	0.057000	0.027374	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.991144	-0.342729	0.171000	0.082121	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.989793	-0.353485	0.114000	0.054748	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.989456	-0.356178	0.171000	0.082121	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.974707	-0.392266	2.200000	1.090000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.969546	-0.434136	0.285000	0.136869	0.000000	0.000000	0.000000
9	0.972420	-0.410820	0.285000	0.136869	0.000000	0.000000	0.000000
10	0.967725	-0.353289	1.670000	0.821215	0.000000	0.000000	0.000000
11	0.974873	0.140741	0.285000	0.136869	0.770000	0.000000	0.000000
12	0.971273	-0.420130	0.285000	0.136869	0.000000	0.000000	0.000000
Total			5.580000	2.732429	5.682296	2.820710	0.000000

Σενάριο 2.2: Διείσδυση 2 MW φωτοβολταϊκών και 2 MW αιολικών

Line Flow and Losses

--Line--		Power at bus & line flow			--Line loss--		Transformer
from	to	MW	Mvar	MVA	MW	Mvar	tap
1		2.25869	1.64604	2.79484			
	2	2.25869	1.64604	2.79484	0.00781	0.02343	
2		2.39300	1.14263	2.65180			
	1	-2.25088	-1.62261	2.77476	0.00781	0.02343	
	3	0.22826	0.10967	0.25324	0.00010	0.00006	
	5	0.28581	0.13741	0.31712	0.00076	0.00050	
	7	4.12981	2.51816	4.83699	0.07026	0.04652	
3		-0.05700	-0.02737	0.06323			
	2	-0.22816	-0.10960	0.25312	0.00010	0.00006	
	4	0.17116	0.08223	0.18989	0.00016	0.00011	
4		-0.17100	-0.08212	0.18970			
	3	-0.17100	-0.08212	0.18970	0.00016	0.00011	
5		-0.11400	-0.05475	0.12646			
	2	-0.28505	-0.13691	0.31623	0.00076	0.00050	
	6	0.17105	0.08216	0.18976	0.00005	0.00004	
6		-0.17100	-0.08212	0.18970			
	5	-0.17100	-0.08212	0.18970	0.00005	0.00004	
7		-2.20000	-1.09000	2.45522			
	2	-4.05955	-2.47164	4.75278	0.07026	0.04652	
	8	0.28641	0.13781	0.31784	0.00141	0.00094	
	9	0.28562	0.13728	0.31690	0.00062	0.00041	
	10	1.00157	0.96906	1.39364	0.00755	0.00500	

12	0.28594	0.13749	0.31728	0.00094	0.00062
8	-0.28500	-0.13687	0.31616		
7	-0.28500	-0.13687	0.31616	0.00141	0.00094
9	-0.28500	-0.13687	0.31616		
7	-0.28500	-0.13687	0.31616	0.00062	0.00041
10	-1.67000	-0.82121	1.86099		
7	-0.99402	-0.96406	1.38474	0.00755	0.00500
11	-0.67598	0.14284	0.69090	0.00902	0.00597
11	0.68500	-0.13687	0.69854		
10	0.68500	-0.13687	0.69854	0.00902	0.00597
12	-0.28500	-0.13687	0.31616		
7	-0.28500	-0.13687	0.31616	0.00094	0.00062

Total loss 0.09869 0.08361

Power Flow Solution by Newton-Raphson Method

Maximum Power Mismatch = 1.54527e-12

No. of Iterations = 4

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	-----Load-----		---Generation---		Injected	
			MW	Mvar	MW	Mvar	Mvar	
1	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	2.258691	1.646040	0.000000	
2	0.992816	-0.296057	0.057000	0.027374	2.450000	1.170000	0.000000	
3	0.992368	-0.299627	0.057000	0.027374	0.000000	0.000000	0.000000	
4	0.991359	-0.307671	0.171000	0.082121	0.000000	0.000000	0.000000	
5	0.990008	-0.318422	0.114000	0.054748	0.000000	0.000000	0.000000	
6	0.989671	-0.321115	0.171000	0.082121	0.000000	0.000000	0.000000	
7	0.975533	-0.333958	2.200000	1.090000	0.000000	0.000000	0.000000	
8	0.970376	-0.375758	0.285000	0.136869	0.000000	0.000000	0.000000	
9	0.973248	-0.352481	0.285000	0.136869	0.000000	0.000000	0.000000	
10	0.969301	-0.265388	1.670000	0.821215	0.000000	0.000000	0.000000	
11	0.980013	0.367122	0.285000	0.136869	0.970000	0.000000	0.000000	
12	0.972101	-0.361775	0.285000	0.136869	0.000000	0.000000	0.000000	
Total			5.580000	2.732429	5.678691	2.816040	0.000000	

Σενάριο 2.3: Διείσδυση 3 MW φωτοβολταϊκών και 3 MW αιολικών

Line Flow and Losses

--Line--		Power at bus & line flow			--Line loss--		Transformer
from	to	MW	Mvar	MVA	MW	Mvar	tap
1		1.77858	1.64140	2.42023			
	2	1.77858	1.64140	2.42023	0.00586	0.01757	
2		2.39300	1.14263	2.65180			
	1	-1.77272	-1.62382	2.40402	0.00586	0.01757	
	3	0.22826	0.10967	0.25324	0.00010	0.00006	
	5	0.28581	0.13740	0.31712	0.00075	0.00050	
	7	3.65165	2.51938	4.43642	0.05905	0.03910	
3		-0.05700	-0.02737	0.06323			
	2	-0.22816	-0.10960	0.25312	0.00010	0.00006	
	4	0.17116	0.08223	0.18989	0.00016	0.00011	
4		-0.17100	-0.08212	0.18970			
	3	-0.17100	-0.08212	0.18970	0.00016	0.00011	
5		-0.11400	-0.05475	0.12646			
	2	-0.28505	-0.13691	0.31623	0.00075	0.00050	
	6	0.17105	0.08216	0.18976	0.00005	0.00004	
6		-0.17100	-0.08212	0.18970			
	5	-0.17100	-0.08212	0.18970	0.00005	0.00004	
7		-2.20000	-1.09000	2.45522			
	2	-3.59260	-2.48028	4.36562	0.05905	0.03910	
	8	0.28641	0.13780	0.31783	0.00141	0.00093	
	9	0.28562	0.13728	0.31690	0.00062	0.00041	
	10	0.53464	0.97771	1.11434	0.00481	0.00318	

12 0.28594 0.13749 0.31727 0.00094 0.00062

8 -0.28500 -0.13687 0.31616

7 -0.28500 -0.13687 0.31616 0.00141 0.00093

9 -0.28500 -0.13687 0.31616

7 -0.28500 -0.13687 0.31616 0.00062 0.00041

10 -1.67000 -0.82121 1.86099

7 -0.52983 -0.97452 1.10924 0.00481 0.00318

11 -1.14017 0.15331 1.15043 0.02483 0.01644

11 1.16500 -0.13687 1.17301

10 1.16500 -0.13687 1.17301 0.02483 0.01644

12 -0.28500 -0.13687 0.31616

7 -0.28500 -0.13687 0.31616 0.00094 0.00062

Total loss 0.09858 0.07897

Power Flow Solution by Newton-Raphson Method

Maximum Power Mismatch = 1.63753e-12

No. of Iterations = 4

Bus No.	Voltage Angle		-----Load-----		---Generation---		Injected Mvar
	Mag.	Degree	MW	Mvar	MW	Mvar	
1	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1.778575	1.641396	0.000000
2	0.993304	-0.213097	0.057000	0.027374	2.450000	1.170000	0.000000
3	0.992856	-0.216663	0.057000	0.027374	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.991847	-0.224699	0.171000	0.082121	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.990497	-0.235440	0.114000	0.054748	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.990160	-0.238130	0.171000	0.082121	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.977451	-0.195386	2.200000	1.090000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.972305	-0.237020	0.285000	0.136869	0.000000	0.000000	0.000000
9	0.975171	-0.213835	0.285000	0.136869	0.000000	0.000000	0.000000
10	0.972980	-0.056360	1.670000	0.821215	0.000000	0.000000	0.000000
11	0.992077	0.901188	0.285000	0.136869	1.450000	0.000000	0.000000
12	0.974026	-0.223093	0.285000	0.136869	0.000000	0.000000	0.000000
Total			5.580000	2.732429	5.678575	2.811396	0.000000

Σενάριο 2.4: Διείσδυση 7 MW φωτοβολταϊκών και 3 MW αιολικών

Line Flow and Losses

--Line--		Power at bus & line flow			--Line loss--		Transformer
from	to	MW	Mvar	MVA	MW	Mvar	tap
1		1.99827	1.64314	2.58708			
2		1.99827	1.64314	2.58708	0.00669	0.02008	
2		2.39300	1.14263	2.65180			
1		-1.99157	-1.62307	2.56918	0.00669	0.02008	
3		0.22826	0.10967	0.25324	0.00010	0.00006	
5		-0.01482	0.13699	0.13779	0.00014	0.00009	
7		4.17114	2.51904	4.87277	0.07126	0.04719	
3		-0.05700	-0.02737	0.06323			
2		-0.22816	-0.10960	0.25312	0.00010	0.00006	
4		0.17116	0.08223	0.18989	0.00016	0.00011	
4		-0.17100	-0.08212	0.18970			
3		-0.17100	-0.08212	0.18970	0.00016	0.00011	
5		-0.11400	-0.05475	0.12646			
2		0.01496	-0.13689	0.13771	0.00014	0.00009	
6		-0.12896	0.08214	0.15290	0.00004	0.00002	
6		0.12900	-0.08212	0.15292			
5		0.12900	-0.08212	0.15292	0.00004	0.00002	
7		-2.20000	-1.09000	2.45522			
2		-4.09987	-2.47185	4.78738	0.07126	0.04719	
8		0.28641	0.13781	0.31784	0.00141	0.00094	
9		0.28562	0.13728	0.31690	0.00062	0.00041	

10	1.04189	0.96927	1.42304	0.00787	0.00521
12	0.28594	0.13749	0.31728	0.00094	0.00062
8	-0.28500	-0.13687	0.31616		
7	-0.28500	-0.13687	0.31616	0.00141	0.00094
9	-0.28500	-0.13687	0.31616		
7	-0.28500	-0.13687	0.31616	0.00062	0.00041
10	-1.71000	-0.82121	1.89697		
7	-1.03402	-0.96406	1.41372	0.00787	0.00521
11	-0.67598	0.14284	0.69090	0.00902	0.00597
11	0.68500	-0.13687	0.69854		
10	0.68500	-0.13687	0.69854	0.00902	0.00597
12	-0.28500	-0.13687	0.31616		
7	-0.28500	-0.13687	0.31616	0.00094	0.00062

Total loss 0.09827 0.08071

Power Flow Solution by Newton-Raphson Method

Maximum Power Mismatch = 1.5955e-12

No. of Iterations = 4

Bus No.	Voltage Angle		-----Load-----		---Generation---		Injected Mvar
	Mag.	Degree	MW	Mvar	MW	Mvar	
1	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1.998265	1.643144	0.000000
2	0.993082	-0.251069	0.057000	0.027374	2.450000	1.170000	0.000000
3	0.992633	-0.254637	0.057000	0.027374	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.991624	-0.262677	0.171000	0.082121	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.992517	-0.187921	0.114000	0.054748	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.992628	-0.173500	0.171000	0.082121	0.300000	0.000000	0.000000
7	0.975678	-0.293590	2.200000	1.090000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.970522	-0.335377	0.285000	0.136869	0.000000	0.000000	0.000000
9	0.973393	-0.312107	0.285000	0.136869	0.000000	0.000000	0.000000
10	0.969293	-0.230966	1.710000	0.821215	0.000000	0.000000	0.000000
11	0.980006	0.401553	0.285000	0.136869	0.970000	0.000000	0.000000
12	0.972247	-0.321399	0.285000	0.136869	0.000000	0.000000	0.000000
Total			5.620000	2.732429	5.718265	2.813144	0.000000

4. Χρήση κατάλληλου συστήματος αποθήκευσης στο σενάριο 2.4

Line Flow and Losses

--Line--		Power at bus & line flow			--Line loss--		Transformer
from	to	MW	Mvar	MVA	MW	Mvar	tap
1		0.01424	1.68444	1.68450			
	2	0.01424	1.68444	1.68450	0.00284	0.00851	
2		2.39300	1.14263	2.65180			
	1	-0.01141	-1.67593	1.67597	0.00284	0.00851	
	3	0.22826	0.10967	0.25324	0.00010	0.00006	
	5	-0.01482	0.13699	0.13779	0.00014	0.00009	
	7	2.19097	2.57190	3.37861	0.03413	0.02260	
3		-0.05700	-0.02737	0.06323			
	2	-0.22816	-0.10960	0.25312	0.00010	0.00006	
	4	0.17116	0.08223	0.18989	0.00016	0.00011	
4		-0.17100	-0.08212	0.18970			
	3	-0.17100	-0.08212	0.18970	0.00016	0.00011	
5		-0.11400	-0.05475	0.12646			
	2	0.01497	-0.13689	0.13771	0.00014	0.00009	
	6	-0.12897	0.08214	0.15290	0.00003	0.00002	
6		0.12900	-0.08212	0.15292			
	5	0.12900	-0.08212	0.15292	0.00003	0.00002	
7		-2.20000	-1.09000	2.45522			
	2	-2.15684	-2.54930	3.33929	0.03413	0.02260	
	8	0.28639	0.13779	0.31781	0.00139	0.00092	
	9	0.28561	0.13728	0.31689	0.00061	0.00041	
	10	-0.90109	1.04675	1.38118	0.00730	0.00483	

12	0.28592	0.13748	0.31726	0.00092	0.00061
8	-0.28500	-0.13687	0.31616		
7	-0.28500	-0.13687	0.31616	0.00139	0.00092
9	-0.28500	-0.13687	0.31616		
7	-0.28500	-0.13687	0.31616	0.00061	0.00041
10	-1.71000	-0.82121	1.89697		
7	0.90839	-1.04192	1.38231	0.00730	0.00483
11	-2.61839	0.22070	2.62768	0.12661	0.08383
11	2.74500	-0.13687	2.74841		
10	2.74500	-0.13687	2.74841	0.12661	0.08383
12	-0.28500	-0.13687	0.31616		
7	-0.28500	-0.13687	0.31616	0.00092	0.00061

Total loss 0.17424 0.12201

Power Flow Solution by Newton-Raphson Method

Maximum Power Mismatch = 4.58477e-11

No. of Iterations = 4

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	-----Load-----		---Generation---		Injected
No.	Mag.	Degree	MW	Mvar	MW	Mvar	Mvar
1	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.014243	1.684440	0.000000
2	0.994934	0.094542	0.057000	0.027374	2.450000	1.170000	0.000000
3	0.994486	0.090987	0.057000	0.027374	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.993479	0.082978	0.171000	0.082121	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.994370	0.157456	0.114000	0.054748	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.994481	0.171822	0.171000	0.082121	0.300000	0.000000	0.000000
7	0.983355	0.288883	2.200000	1.090000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.978240	0.247750	0.285000	0.136869	0.000000	0.000000	0.000000
9	0.981088	0.270655	0.285000	0.136869	0.000000	0.000000	0.000000
10	0.984157	0.648883	1.710000	0.821215	0.000000	0.000000	0.000000
11	1.029375	2.612467	0.285000	0.136869	3.030000	0.000000	0.000000
12	0.979951	0.261509	0.285000	0.136869	0.000000	0.000000	0.000000
Total			5.620000	2.732429	5.794243	2.854440	0.000000

5. Σενάριο 3: Βελτιστοποίηση συνδυασμών με διείσδυση ΑΠΕ και αποθήκευση

Σενάριο 3.1: Διείσδυση 5MW φωτοβολταϊκών και 3MW αιολικών με 4MW αποθήκευση

Line Flow and Losses

--Line--		Power at bus & line flow			--Line loss--		Transformer
from	to	MW	Mvar	MVA	MW	Mvar	tap
1		0.00048	1.68526	1.68526			
	2	0.00048	1.68526	1.68526	0.00284	0.00852	
2		2.39300	1.14263	2.65180			
	1	0.00236	-1.67674	1.67675	0.00284	0.00852	
	3	0.22826	0.10967	0.25324	0.00010	0.00006	
	5	-0.01482	0.13699	0.13779	0.00014	0.00009	
	7	2.17720	2.57272	3.37033	0.03397	0.02249	
3		-0.05700	-0.02737	0.06323			
	2	-0.22816	-0.10960	0.25312	0.00010	0.00006	
	4	0.17116	0.08223	0.18989	0.00016	0.00011	
4		-0.17100	-0.08212	0.18970			
	3	-0.17100	-0.08212	0.18970	0.00016	0.00011	
5		-0.11400	-0.05475	0.12646			
	2	0.01497	-0.13689	0.13771	0.00014	0.00009	
	6	-0.12897	0.08214	0.15290	0.00003	0.00002	
6		0.12900	-0.08212	0.15292			
	5	0.12900	-0.08212	0.15292	0.00003	0.00002	
7		-2.20000	-1.09000	2.45522			
	2	-2.14324	-2.55023	3.33124	0.03397	0.02249	
	8	0.28639	0.13779	0.31781	0.00139	0.00092	
	9	0.28561	0.13728	0.31689	0.00061	0.00041	

10	-0.91469	1.04768	1.39079	0.00740	0.00490
12	0.28592	0.13748	0.31726	0.00092	0.00061
8	-0.28500	-0.13687	0.31616		
7	-0.28500	-0.13687	0.31616	0.00139	0.00092
9	-0.28500	-0.13687	0.31616		
7	-0.28500	-0.13687	0.31616	0.00061	0.00041
10	-1.71000	-0.82121	1.89697		
7	0.92209	-1.04278	1.39199	0.00740	0.00490
11	-2.63209	0.22156	2.64140	0.12791	0.08470
11	2.76000	-0.13687	2.76339		
10	2.76000	-0.13687	2.76339	0.12791	0.08470
12	-0.28500	-0.13687	0.31616		
7	-0.28500	-0.13687	0.31616	0.00092	0.00061

Total loss 0.17548 0.12283

Power Flow Solution by Newton-Raphson Method

Maximum Power Mismatch = 4.84491e-11

No. of Iterations = 4

Bus No.	Voltage Angle		-----Load-----		---Generation---		Injected
	Mag.	Degree	MW	Mvar	MW	Mvar	Mvar
1	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000478	1.685264	0.000000
2	0.994945	0.096967	0.057000	0.027374	2.450000	1.170000	0.000000
3	0.994498	0.093412	0.057000	0.027374	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.993490	0.085402	0.171000	0.082121	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.994381	0.159878	0.114000	0.054748	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.994492	0.174245	0.171000	0.082121	0.300000	0.000000	0.000000
7	0.983406	0.293017	2.200000	1.090000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.978291	0.251888	0.285000	0.136869	0.000000	0.000000	0.000000
9	0.981139	0.274790	0.285000	0.136869	0.000000	0.000000	0.000000
10	0.984257	0.655137	1.710000	0.821215	0.000000	0.000000	0.000000
11	1.029713	2.627854	0.285000	0.136869	3.045000	0.000000	0.000000
12	0.980002	0.265645	0.285000	0.136869	0.000000	0.000000	0.000000
Total		5.620000	2.732429	5.795478	2.855264	0.000000	

Σενάριο 3.2: Διείσδυση 3MW φωτοβολταϊκών και 3,5MW αιολικών με 2,8MW αποθήκευση

Line Flow and Losses

--Line--		Power at bus & line flow			--Line loss--		Transformer
from	to	MW	Mvar	MVA	MW	Mvar	tap
1		0.00180	1.64811	1.64811			
	2	0.00180	1.64811	1.64811	0.00272	0.00815	
2		2.39300	1.14263	2.65180			
	1	0.00091	-1.63996	1.63996	0.00272	0.00815	
	3	0.22826	0.10967	0.25324	0.00010	0.00006	
	5	0.04521	0.13701	0.14427	0.00016	0.00010	
	7	2.11862	2.53591	3.30445	0.03264	0.02162	
3		-0.05700	-0.02737	0.06323			
	2	-0.22816	-0.10960	0.25312	0.00010	0.00006	
	4	0.17116	0.08223	0.18989	0.00016	0.00011	
4		-0.17100	-0.08212	0.18970			
	3	-0.17100	-0.08212	0.18970	0.00016	0.00011	
5		0.12600	-0.05475	0.13738			
	2	-0.04505	-0.13690	0.14413	0.00016	0.00010	
	6	0.17105	0.08216	0.18976	0.00005	0.00004	
6		-0.17100	-0.08212	0.18970			
	5	-0.17100	-0.08212	0.18970	0.00005	0.00004	
7		-2.20000	-1.09000	2.45522			
	2	-2.08598	-2.51430	3.26695	0.03264	0.02162	
	8	0.28639	0.13779	0.31781	0.00139	0.00092	
	9	0.28561	0.13728	0.31689	0.00061	0.00041	
	10	-0.31248	1.01140	1.05857	0.00428	0.00284	

Bus No.	Voltage Angle		-----Load-----		---Generation---		Injected
	Mag.	Degree	MW	Mvar	MW	Mvar	Mvar
1	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.001803	1.648109	0.000000
2	0.995055	0.094588	0.057000	0.027374	2.450000	1.170000	0.000000
3	0.994608	0.091034	0.057000	0.027374	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.993601	0.083026	0.171000	0.082121	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.994045	0.140484	0.114000	0.054748	0.240000	0.000000	0.000000
6	0.993709	0.137813	0.171000	0.082121	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.983764	0.290889	2.200000	1.090000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.978651	0.249790	0.285000	0.136869	0.000000	0.000000	0.000000
9	0.981498	0.272676	0.285000	0.136869	0.000000	0.000000	0.000000
10	0.982431	0.558123	1.710000	0.821215	0.000000	0.000000	0.000000
11	1.017203	2.115628	0.285000	0.136869	2.388000	0.000000	0.000000
12	0.986318	0.492862	0.285000	0.136869	0.660000	0.000000	0.000000
Total		5.620000	2.732429	5.739803	2.818109	0.000000	