



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θέμα: 'ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ 100% ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΣΥΜΗΣ'



Όνοματεπώνυμο σπουδαστή: ΚΑΚΑΡΑΝΤΖΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

Αριθμός Μητρώου: ΜΤΜ30

Επιβλέπων καθηγητής: ΚΑΡΑΠΙΔΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ

ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2016

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε με σκοπό να μπορέσει το νησί της Σύμης να γίνει 100% αυτόνομο ενεργειακά μόνο από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Στην εργασία αυτή γίνεται σύγκριση δυο περιπτώσεων υβριδικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, στην πρώτη περίπτωση μελετάται η εγκατάσταση υβριδικού σταθμού με αιολικό πάρκο και αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού, ενώ στη δεύτερη περίπτωση μελετάται η εγκατάσταση υβριδικού σταθμού με φωτοβολταϊκό πάρκο και αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό.

Αρχικά γίνεται μια αναφορά στα μη διασυνδεδεμένα νησιά και στην αναγκαιότητα των υβριδικών συστημάτων. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η χρησιμότητα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οι μορφές τους και η μέχρι τώρα εξέλιξη τους στην Ελλάδα. Επίσης γίνεται αναφορά για την λειτουργία των υβριδικών συστημάτων όπως επίσης και για την λειτουργία των αυτόνομων συστημάτων παραγωγής με συμβατικές μονάδες. Επιπλέον γίνεται μια αναφορά στο νησί της Σύμης, δηλαδή στην υφιστάμενη κατάσταση αυτού όσο αναφορά τη ζήτηση ισχύος αλλά και την παραγωγή ενέργειας.

Στη συνέχεια η εργασία αναφέρεται στη λύση του ενεργειακού προβλήματος για το νησί της Σύμης και αναλύονται αναλυτικά οι δυο περιπτώσεις που προτείνονται για την εγκατάσταση υβριδικού συστήματος με αιολικά και υβριδικού συστήματος με φωτοβολταϊκά.

Στο τέλος της εργασίας γίνεται μια σύγκριση των δυο μεθόδων που αναλύθηκαν παραπάνω και βγαίνει ένα συμπέρασμα για το ποια μέθοδος είναι γενικότερα η καλύτερη λύση για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του νησιού της Σύμης στο 100%, μόνο από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

SUMMARY

This thesis was elaborated so that Symi island will completely become energy independent based only on renewable energy sources. We compare two cases of hybrid power stations: in the first case, we study the hybrid power plant installation of wind park and reversible hydroelectric, while in the second case we study the hybrid power plant installation with photovoltaic park and reversible hydroelectric.

We firstly refer to the autonomous islands and the need for hybrid systems. Then the utility of renewable energy sources is presented as well as their forms and their development in Greece so far. We also introduce the operation of hybrid systems as well as the operation of autonomous production systems with conventional units. Furthermore, the current situation of Symi island is described regarding the power demand and energy production.

The next thesis chapter presents the solution for energy problem in Symi island and detailed analysis of two recommended cases for installing hybrid system with wind energy and photovoltaics.

Finally, we proceed to the comparison of the two methods outlined above and we conclude to which method is generally the best solution meeting the energy needs of the island based only on renewable energy sources.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Καραπιδάκη Εμμανουήλ για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε στην ανάθεση αυτής της τόσο ενδιαφέρουσας πτυχιακής αλλά και για όλη τη βοήθεια και την καθοδήγηση που μου πρόσφερε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της.

Φυσικά μια διπλωματική εργασία χρειάζεται γενικές γνώσεις, όπου απέκτησα κατά τη διάρκεια των σπουδών μου από πολύ σπουδαίους καθηγητές που διδάσκουν στο Τ.Ε.Ι. ΚΡΗΤΗΣ.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω πάνω από όλα την οικογένεια μου, για την ηθική και οικονομική στήριξη που μου παρείχαν όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου και που με στηρίζουν σε κάθε μου βήμα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	2
Ευχαριστίες.....	4
Περιεχόμενα.....	5
Εισαγωγή.....	7

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Μη-διασυνδεδεμένα Νησιά και αναγκαιότητα Υβριδικών Συστημάτων.....	9
1.2.1 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	9
1.2.2 Μορφές των ΑΠΕ.....	10
1.2.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ΑΠΕ.....	11
1.3 Εξέλιξη των ΑΠΕ στην Ελλάδα.....	13
1.4 Υβριδικά συστήματα.....	23
1.5.1 Μη-διασυνδεδεμένα Νησιά.....	27
1.5.2 Περιγραφή λειτουργίας ΑΣΠ.....	28

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 Περιγραφή νησιού Σύμης.....	29
2.2 Τεχνικά και οικονομικά στοιχεία του αυτόνομου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας του Αυτόνομου Ηλεκτρικού Συστήματος Σύμης.....	30
2.3 Η λύση για το νησί της Σύμης.....	34
2.4 Εγκατάσταση αιολικού πάρκου και αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού.....	34
2.4.1 Ανεμογεννήτριες.....	35
2.4.2 Ανεμολογικά δεδομένα περιοχής εγκατάστασης του αιολικού πάρκου.....	46
2.4.3 Παραγωγή ισχύος της Α/Γ για τα πραγματικά ανεμολογικά δεδομένα του νησιού.....	49

2.4.4 Διαστασιολόγηση έργου.....	51
2.5 Εγκατάσταση φωτοβολταϊκού πάρκου και αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού..	64
2.5.1 Φωτοβολταϊκά.....	64
2.5.2 Παραγωγή ισχύος φωτοβολταϊκού για τα πραγματικά μετεωρολογικά δεδομένα του νησιού.....	72
2.5.3 Διαστασιολόγηση έργου.....	75
2.6 Αποθηκευτικό μέσο (υδραυλικός ταμιευτήρας).....	88
2.6.1 Κύρια χαρακτηριστικά των αναστρέψιμων υδροηλεκτρικών.....	89
2.6.2 Φάση της άντλησης.....	90
2.6.3 Φάση επαναπρόσδοσης της υδραυλικής ενέργειας.....	91
2.6.4 Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός αποθήκευσης-απόδοσης ενέργειας....	92
2.6.5 Επιλογή του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού.....	95
2.6.6 Ταμιευτήρας αποθήκευσης νερού.....	96
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3</u>	
3.1 Αποτελέσματα - Συμπεράσματα – Σχόλια.....	99
Βιβλιογραφία.....	101

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ενέργεια είναι συνυφασμένη με την ύπαρξη της ζωής στη γη. Τα έμβια όντα χρειάζονται ενέργεια για να διατηρηθούν στη ζωή. Από όλους τους εξελιχθέντες οργανισμούς μόνο ο άνθρωπος απέκτησε την ικανότητα της εξωσωματικής κατανάλωσης ενέργειας, να καταναλώνει δηλαδή ενέργεια για άλλους λόγους εκτός από εκείνον της διατροφής. Οι υπόλοιποι οργανισμοί καταναλώνουν ενέργεια μόνο ως τροφή.

Ο Homo Erectus κατανάλωσε πρώτος εξωσωματικά ενέργεια ανακαλύπτοντας και χρησιμοποιώντας τη φωτιά, πριν από τετρακόσιες χιλιάδες χρόνια περίπου. Η ανακάλυψη αυτή απετέλεσε την πρώτη τεχνολογική επανάσταση που επέτρεψε στον άνθρωπο να μετακινηθεί προς ψυχρότερα κλίματα, μια και μπορούσε πια να ζεσταθεί. Ο άνθρωπος άρχισε να τρέφεται καλύτερα μαγειρεύοντας την τροφή του. Ανέπτυξε τεχνολογία, χάρις στη φωτιά αναπτύχθηκε η μεταλλουργία, η οποία του παρείχε εργαλεία και όπλα. Η εξωσωματική κατανάλωση ενέργειας είχε επίσης σαν αποτέλεσμα την ραγδαία αύξηση του πληθυσμού της Γης, ο οποίος σήμερα αριθμεί περί τα επτά δισεκατομμύρια.

Η πληθυσμιακή αύξηση σε συνδυασμό με την προσπάθεια του ανθρώπου να βελτιώσει το βιοτικό του επίπεδο έχει σαν αποτέλεσμα να καταναλώνονται με ταχείς ρυθμούς τεράστια αποθέματα ενέργειας, για τη δημιουργία των οποίων απαιτήθηκε να περάσουν χιλιάδες χρόνια.

Σήμερα το μεγαλύτερο ποσοστό της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας καλύπτεται από ορυκτά καύσιμα, τα οποία καταναλώνονται εκατό χιλιάδες φορές ταχύτερα από τον χρόνο που απαιτείται για να ξαναδημιουργηθούν. Άρα τα ενεργειακά αποθέματα είναι πεπερασμένα. Δεν είναι γνωστό πότε θα εξαντληθούν, ο χρονικός ορίζοντας μετακινείται συναρτήσει διαφόρων παραμέτρων τεχνικών και οικονομικών, η εξάντληση όμως είναι βεβαία.

Η εξοικονόμηση ενέργειας ή η ορθολογική χρήση ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί χωρίς να μειώσουμε το βιοτικό μας επίπεδο. Οι δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας είναι σημαντικές σε όλους τους τομείς, όπως στις μεταφορές, τη γεωργία, τη βιομηχανία, στα κτίρια του οικιακού ή τριτογενή τομέα, στον ενεργειακό τομέα (π.χ. στους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής) κ.λπ.

Εκμεταλλευόμενοι νέα συστήματα υψηλής τεχνολογίας βελτιωμένων αποδόσεων, τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.), τον καλύτερο σχεδιασμό συστημάτων, τους αυτοματισμούς κ.λπ., μπορούμε να πετύχουμε και τους δύο στόχους, δηλαδή μείωση της κατανάλωσης συμβατικών καυσίμων με ταυτόχρονη προστασία του περιβάλλοντος.

Οι ήπιες μορφές ενέργειας και η εξοικονόμηση (ορθολογική χρήση) ενέργειας, αποτελούν τις πιο ρεαλιστικές λύσεις στα ενεργειακά και περιβαλλοντικά προβλήματα.

Οι τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας που χαρακτηρίζονται σαν ήπιες μορφές περιλαμβάνουν την:

- Ηλιακή ενέργεια (έμμεση ή άμεση εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας),
- Αιολική ενέργεια (εκμετάλλευση του ανέμου),
- Γεωθερμική ενέργεια (εκμετάλλευση του γεωθερμικού πεδίου),
- Βιομάζα (εκμετάλλευση γεωργικών ζωικών, δασικών υπολειμμάτων, αστικών λυμάτων),
- Μικρά Υδροηλεκτρικά (εκμετάλλευση των υδάτινων πόρων),
- Θαλάσσια ενέργεια (εκμετάλλευση της κίνησης των κυμάτων και ρευμάτων της θάλασσας).

Η ονομασία των τεχνολογιών αυτών ως ήπιες, γίνεται γιατί η χρησιμοποίησή τους δεν επιβαρύνει το περιβάλλον όπως συμβαίνει με τους συμβατικούς τρόπους παραγωγής ενέργειας από τα ορυκτά καύσιμα. Οι τεχνολογίες αυτές αναφέρονται επίσης και ως Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ). Η ονομασία αυτή αποδίδει στις τεχνολογίες των ήπιων μορφών ενέργειας το βασικό τους χαρακτηριστικό που είναι η διαχρονική τους ανανέωση και διαθεσιμότητα, χωρίς όρια αποθεμάτων, εφόσον είναι άμεσα συνδεδεμένες με την ύπαρξη ζωής στον πλανήτη και τα φυσικά φαινόμενα.

Οι τεχνολογίες αυτές είναι επίσης γνωστές και σαν Εναλλακτικές Μορφές Ενέργειας. Η ονομασία αυτή χρησιμοποιείται μια και οι τεχνολογίες που προαναφέραμε, σε διαφορετικό βαθμό η κάθε μία, αποτελούν ακόμη και σήμερα εναλλακτικές λύσεις για την παραγωγή ενέργειας αντί της χρησιμοποίησης των συμβατικών καυσίμων και τρόπων παραγωγής ενέργειας. ^[1]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.

1.1 Μη-διασυνδεδεμένα Νησιά και αναγκαιότητα Υβριδικών Συστημάτων.

Ο σύγχρονος τρόπος ζωής απαιτεί τη χρήση συστημάτων που λειτουργούν με ηλεκτρική ενέργεια. Ο άνθρωπος σήμερα έχει ανάγκη από ενέργεια για να εκπληρώσει ακόμα και τις βασικές του ανάγκες (όπως θέρμανση, τροφή κλπ).

Ως επί τω πλείστον τα νησιά της Ελληνικής επικράτειας δεν είναι διασυνδεδεμένα με το ηπειρωτικό δίκτυο της χώρας. Η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια προς κατανάλωση προέρχεται από την καύση ορυκτών καυσίμων στους Αυτόνομους Σταθμούς Παραγωγής που είναι εγκατεστημένοι σε πλήθος Ελληνικών νησιών. Το παράδοξο στην παραγωγή ενέργειας στα Μη-διασυνδεδεμένα νησιά είναι ότι αν και το ανανεώσιμο δυναμικό προς εκμετάλλευση είναι ιδανικό παρόλα αυτά μέχρι και σήμερα έχει αξιοποιηθεί ελάχιστα. Ένα από τους λόγους που δεν έχει αξιοποιηθεί όπως θα έπρεπε οφείλεται στο γεγονός ότι η ανανεώσιμη παραγωγή περιέχει ένα ποσοστό αβεβαιότητας ως προς τη προβλεψιμότητα της.

Επίσης αυτή η μη προγραμματισμένη παραγωγή σε αρκετές περιπτώσεις δεν απορροφάται από το δίκτυο του συμπλέγματος, με ποιο χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτό της περίπτωσης όπου κάποια χρονική στιγμή ενώ υφίσταται ικανό αιολικό δυναμικό για παραγωγή από τον αιολικό σταθμό εξαιτίας της ταυτόχρονης χαμηλής ζήτησης από τους καταναλωτές του δικτύου αυτή η ανανεώσιμη παραγωγή απορρίπτεται.

Παρόλα αυτά όπως θα δειχθεί στην παρούσα αλλά και από υπάρχουσες μελέτες (J.S. Anagnostopoulos, D.E. Papantonis, 2006, M. Kapsali, J.S. Anagnostopoulos, J.K. Kaldellis, 2012), πλέον υπάρχουν συστήματα τα οποία αν χρησιμοποιήσουν πάνω από μια ανανεώσιμη πηγή με ταυτόχρονη αποθήκευση μέρους της παραγόμενης ενέργειας μπορούν σε μεγάλο βαθμό να αντικαταστήσουν τη θερμική παραγωγή, οδηγώντας τα μη-διασυνδεδεμένα νησιά σε ένα σημαντικό ποσοστό απεξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα, μειώνοντας σε σημαντικό βαθμό τους εκπεμπόμενους ρύπους διατηρώντας με αυτό τον τρόπο το περιβάλλον διαβίωσης σε ιδανικά επίπεδα και για τις επόμενες γενιές χωρίς να στερούνται καμία από τις ανέσεις τους σύγχρονου τρόπου ζωής. ^[2]

1.2.1 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Στις μέρες μας, το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας που χρησιμοποιούμε προέρχεται από τις συμβατικές πηγές ενέργειας που είναι το πετρέλαιο η βενζίνη και ο άνθρακας. Πρόκειται για μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που αργά η γρήγορα θα εξαντληθούν. Η παραγωγή και χρήση της ενέργειας που προέρχεται

από αυτές τις πηγές δημιουργούν μια σειρά από περιβαλλοντικά προβλήματα με αιχμή τους, το γνωστό σε όλους μας, φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Από την άλλη πλευρά, οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) ανανεώνονται μέσω του κύκλου της φύσης και θεωρούνται πρακτικά ανεξάντλητες. Ο ήλιος, ο άνεμος, τα ποτάμια, οι οργανικές ύλες όπως το ξύλο και ακόμη τα απορρίμματα οικιακής και γεωργικής προέλευσης, είναι πηγές ενέργειας που προσφορά τους δεν εξαντλείται ποτέ. Υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό μας περιβάλλον και είναι οι πρώτες μορφές ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος, σχεδόν αποκλειστικά, μέχρι τις αρχές του 20ου αιώνα, οπότε και στράφηκε στην εντατική χρήση του άνθρακα και των υδρογονανθράκων.

Το ενδιαφέρον για την ευρύτερη αξιοποίηση των ΑΠΕ, καθώς και για την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδοτικών τεχνολογιών που δεσμεύουν το δυναμικό τους παρουσιάστηκε αρχικά μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση του 1979 και παγιώθηκε την επόμενη δεκαετία, μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων.

Για πολλές χώρες, οι ΑΠΕ αποτελούν μία σημαντική εγχώρια πηγή ενέργειας, με μεγάλες δυνατότητες ανάπτυξης σε τοπικό και εθνικό επίπεδο. Συνεισφέρουν σημαντικά στο ενεργειακό τους ισοζύγιο, συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από το ακριβό και εισαγόμενο πετρέλαιο και στην ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού τους εφοδιασμού.

Παράλληλα, συντελούν και στην προστασία του περιβάλλοντος, καθώς η αξιοποίησή τους δεν το επιβαρύνει, αφού δεν συνοδεύεται από παραγωγή ρύπων ή αερίων που ενισχύουν τον κίνδυνο για κλιματικές αλλαγές. Έχει πλέον διαπιστωθεί ότι ο ενεργειακός τομέας είναι ο πρωταρχικός υπεύθυνος για τη ρύπανση του περιβάλλοντος, καθώς σχεδόν το 95% της ατμοσφαιρικής ρύπανσης οφείλεται στην παραγωγή, το μετασχηματισμό και τη χρήση των συμβατικών καυσίμων. Η Ελλάδα διαθέτει αξιόλογο δυναμικό ΑΠΕ, οι οποίες μπορούν να προσφέρουν μια πραγματική εναλλακτική λύση για την κάλυψη των ενεργειακών μας αναγκών.^[1]

1.2.2 Μορφές των ΑΠΕ

- **Αιολική Ενέργεια:** Η κινητική ενέργεια που παράγεται από τη δύναμη του ανέμου και μετατρέπεται σε απολήψιμη μηχανική ενέργεια ή / και σε ηλεκτρική ενέργεια.
- **Υδροηλεκτρική Ενέργεια:** Τα Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα (μέχρι 10 MW ισχύος) αξιοποιούν τις υδατοπτώσεις, με στόχο την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή και το μετασχηματισμό της σε απολήψιμη μηχανική ενέργεια.
- **Βιομάζα:** είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας, που μετασχηματίζει την ηλιακή ενέργεια με μία σειρά διεργασιών των φυτικών οργανισμών χερσαίας ή υδρόβιας προέλευσης.
- **Ηλιακή Ενέργεια,** η οποία περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- *Ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα:* μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα.
 - *Βιοκλιματικός σχεδιασμός και παθητικά ηλιακά συστήματα:* αφορούν αρχιτεκτονικές λύσεις και χρήση κατάλληλων δομικών υλικών για τη μεγιστοποίηση της απ' ευθείας εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας για θέρμανση, κλιματισμό ή φωτισμό.
 - *Φωτοβολταϊκά Ηλιακά Συστήματα:* μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια άμεσα σε ηλεκτρική ενέργεια.
- **Γεωθερμική Ενέργεια:** η θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης και εμπεριέχεται σε φυσικούς ατμούς, σε επιφανειακά ή υπόγεια θερμά νερά και σε θερμά ξηρά πετρώματα.
 - **Υδρογόνο:** Το υδρογόνο αποτελεί το 90% του σύμπαντος και θα αποτελέσει ένα νέο καύσιμο που θα χρησιμοποιούμε στο μέλλον.
 - **Ενέργεια από τη Θάλασσα,** η οποία περιλαμβάνει τα ακόλουθα:
 - *Ενέργεια από παλίρροιες:* Εκμεταλλεύεται τη βαρύτητα του Ήλιου και της Σελήνης, που προκαλεί ανύψωση της στάθμης του νερού. Το νερό αποθηκεύεται καθώς ανεβαίνει και για να ξανακατέβει αναγκάζεται να περάσει μέσα από μια τουρμπίνα, παράγοντας ηλεκτρισμό. Έχει εφαρμοστεί στην Αγγλία, τη Γαλλία, τη Ρωσία και αλλού.
 - *Ενέργεια από κύματα:* Εκμεταλλεύεται την κινητική ενέργεια των κυμάτων της θάλασσας.
 - *Ενέργεια από τους ωκεανούς:* Εκμεταλλεύεται τη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στα στρώματα του ωκεανού, κάνοντας χρήση θερμικών κύκλων. Βρίσκεται στο στάδιο της έρευνας. ^[1]

1.2.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ΑΠΕ

Τα κύρια πλεονεκτήματα των ΑΠΕ, είναι τα εξής:

- Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από συμβατικούς ενεργειακούς πόρους.
- Απαντούν στο ενεργειακό πρόβλημα για τη σταθεροποίηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και των υπόλοιπων αερίων του θερμοκηπίου. Επιπλέον, υποκαθιστώντας τους σταθμούς παραγωγής ενέργειας από συμβατικές πηγές οδηγούν σε ελάττωση εκπομπών από άλλους ρυπαντές π.χ. οξείδια θείου και αζώτου που προκαλούν την όξινη βροχή.
- Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.

- Είναι διάσπαρτες γεωγραφικά και οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, δίνοντας τη δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, ανακουφίζοντας έτσι τα συστήματα υποδομής και μειώνοντας τις απώλειες από τη μεταφορά ενέργειας.
- Προσφέρουν τη δυνατότητα ορθολογικής αξιοποίησης των ενεργειακών πόρων, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα των ενεργειακών αναγκών των χρηστών (π.χ. ηλιακή ενέργεια για θερμότητα χαμηλών θερμοκρασιών, αιολική ενέργεια για ηλεκτροπαραγωγή).
- Έχουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος που δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων.
- Οι επενδύσεις των ΑΠΕ δημιουργούν σημαντικό αριθμό νέων θέσεων εργασίας, ιδιαίτερα σε τοπικό επίπεδο.
- Μπορούν να αποτελέσουν σε πολλές περιπτώσεις πυρήνα για την αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών και πόλο για την τοπική ανάπτυξη, με την προώθηση ανάλογων επενδύσεων (π.χ. καλλιέργειες θερμοκηπίου με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας).

Το ενεργειακό πρόβλημα δεν λύνεται πλήρως με την εφαρμογή ΑΠΕ, μιας και οι σχετικές τεχνολογίες έχουν και κάποια μειονεκτήματα κατά την εφαρμογή τους. Παρόλα αυτά η έρευνα συνεχίζεται και η βελτίωση της απόδοσης των συστημάτων είναι διαρκής.

Τα βασικότερα μειονεκτήματα που αφορούν την εφαρμογή των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας περιλαμβάνουν:

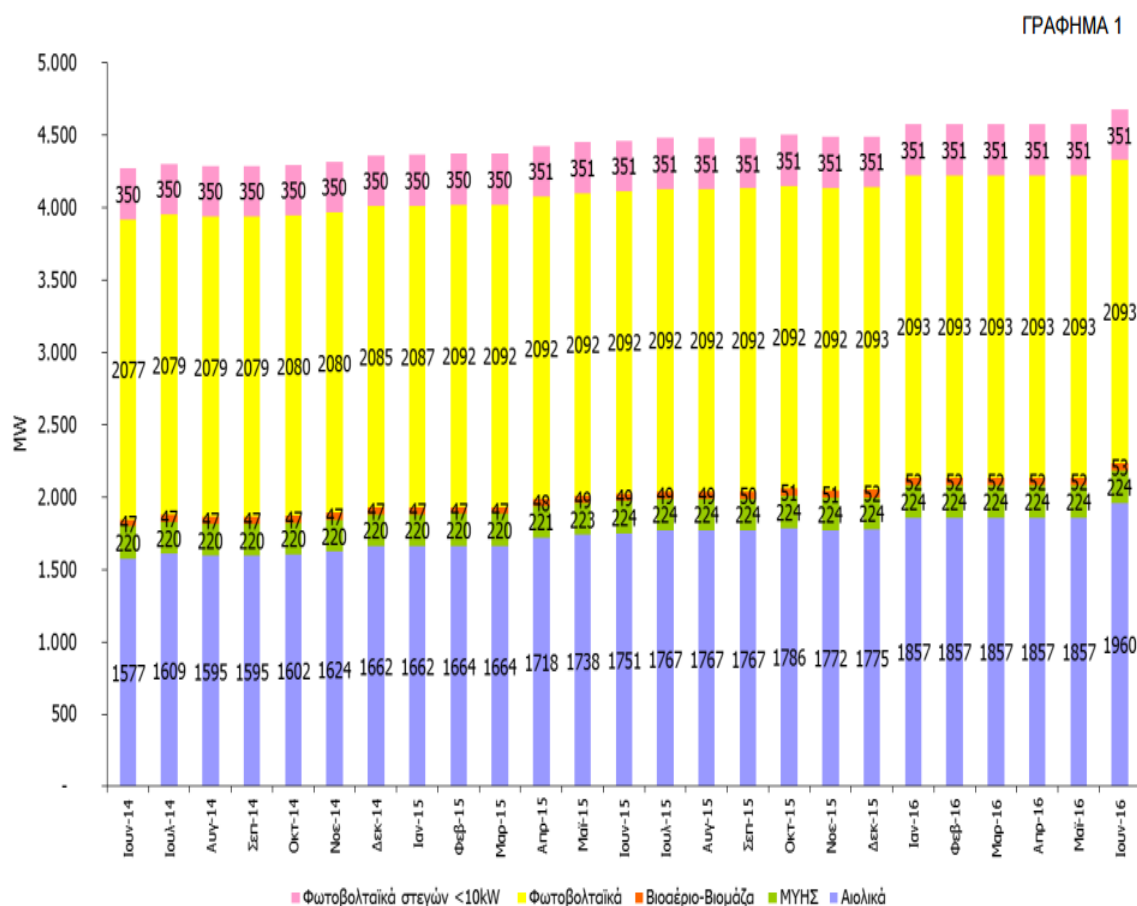
- Το σχετικά μεγάλο κόστος (η αρχική επένδυση σε μερικές εφαρμογές είναι υψηλή αν και με την συνεχιζόμενη έρευνα σε αυτούς τους τομείς, την τυποποίηση παραγωγής συστημάτων και την αύξηση της απόδοσης τους, τελικά το κόστος τους γίνεται όλο και περισσότερο ανταγωνιστικό ιδιαίτερα αν συμπεριλάβουμε και το έμμεσο κόστος των συμβατικών πηγών ενέργειας),
- Την εξάρτηση από φυσικά φαινόμενα τα οποία έχουν σαν αποτέλεσμα το ενεργειακό δυναμικό των ΑΠΕ να μεταβάλλεται χρονικά. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται ικανοποιητικά με την αποθήκευση ενέργειας, τις χαμηλές αποδόσεις (τα περισσότερα συστήματα που εκμεταλλεύονται τις ήπιες μορφές ενέργειας, είναι νέα τεχνολογίας και συνεπώς χαμηλών αποδόσεων, αλλά συνεχή έρευνα πάνω σε αυτούς τους τομείς τα συστήματα αυτά γίνονται αποδοτικότερα).^[1]

1.3 Εξέλιξη των ΑΠΕ στην Ελλάδα

Τα τελευταία χρόνια, η ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ελλάδα έχει εστιάσει στις νέες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Οι κύριες εξελίξεις λαμβάνουν χώρα στον τομέα της αιολικής ενέργειας (Α/Γ), της ηλιακής (Φ/Β) και ακολουθούν τα μικρά υδροηλεκτρικά και η βιομάζα - βιοαέριο.

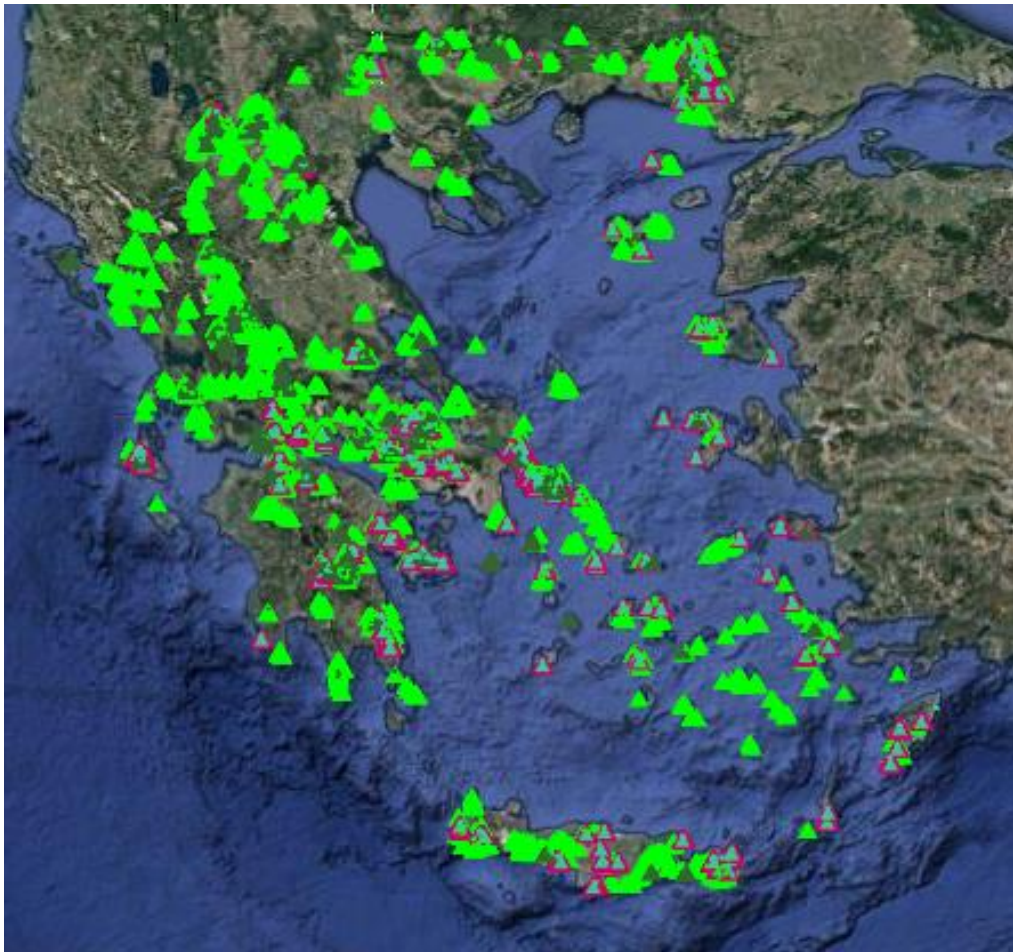


2014 – 2016 ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW) ΜΟΝΑΔΩΝ ΑΠΕ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΤΟ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ (Άρθρο 9 Ν.3468/2006) & Φ/Β ΣΤΕΓΩΝ ≤10kW

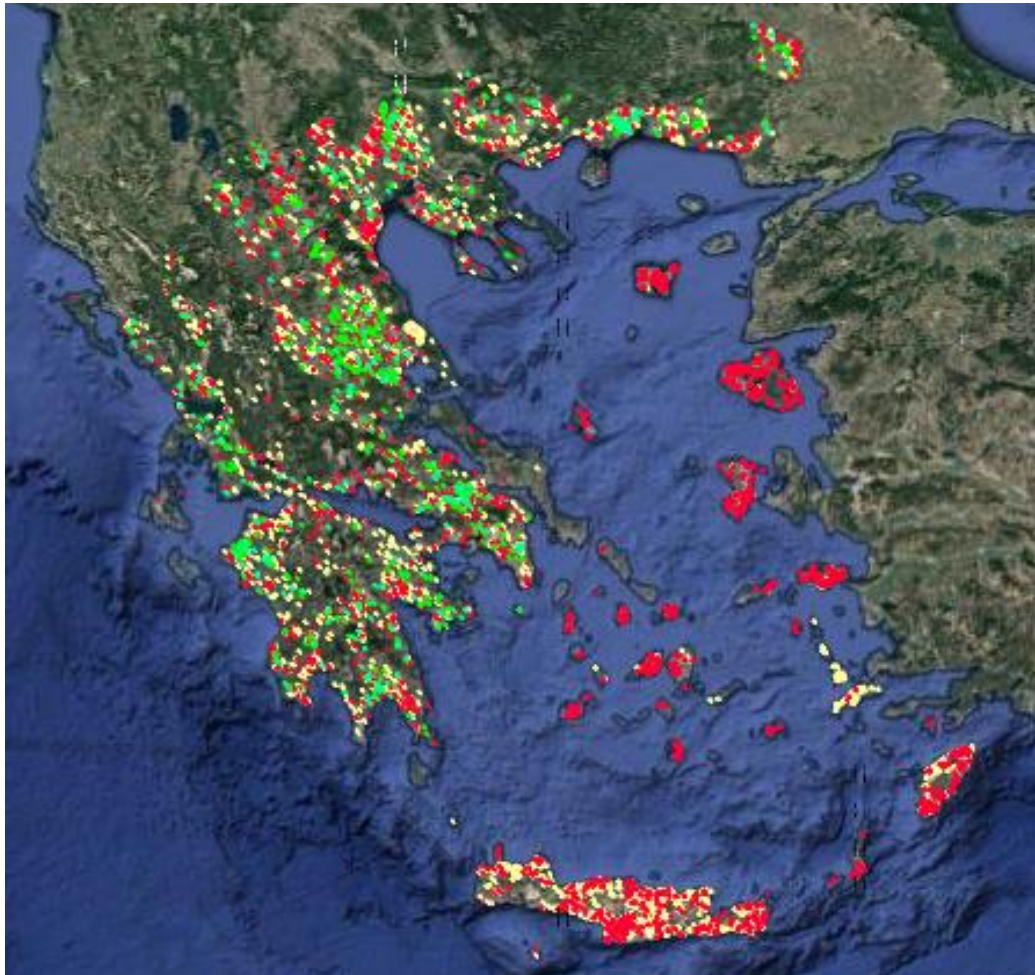


Γράφημα 1. Εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύος Α.Π.Ε. [3]

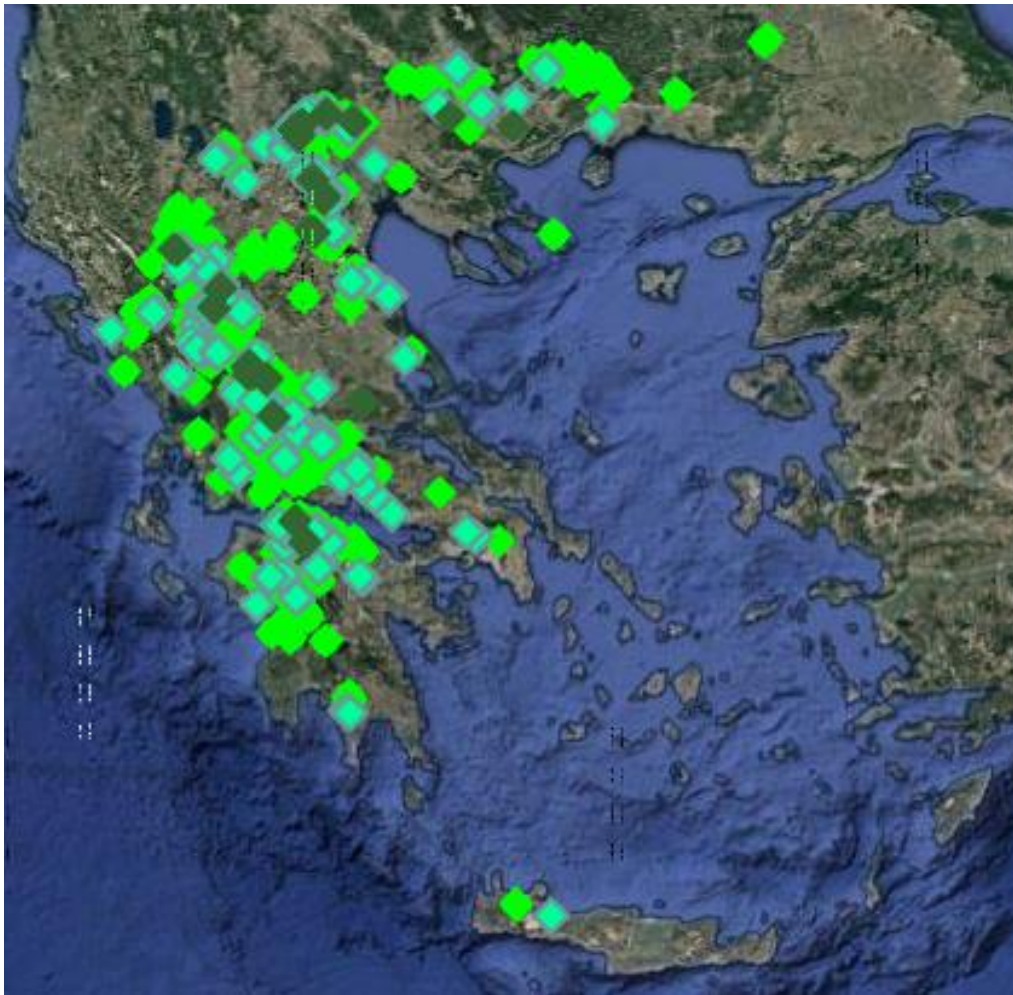
Στη συνέχεια παρουσιάζονται σε εικόνες το σύνολο των εγκατεστημένων και αδειοδοτημένων έργων σε όλη την επικράτεια για αιολικά πάρκα, φωτοβολταϊκά πάρκα καθώς και μικρά υδροηλεκτρικά συστήματα.



Εικόνα 1. Θέσεις αιολικών πάρκων (εγκατεστημένα, σε λειτουργία και αδειοδοτημένα). ^[4]



Εικόνα 2. Θέσεις φωτοβολταϊκών πάρκων (εγκατεστημένα, σε λειτουργία και αδειοδοτημένα). [4]



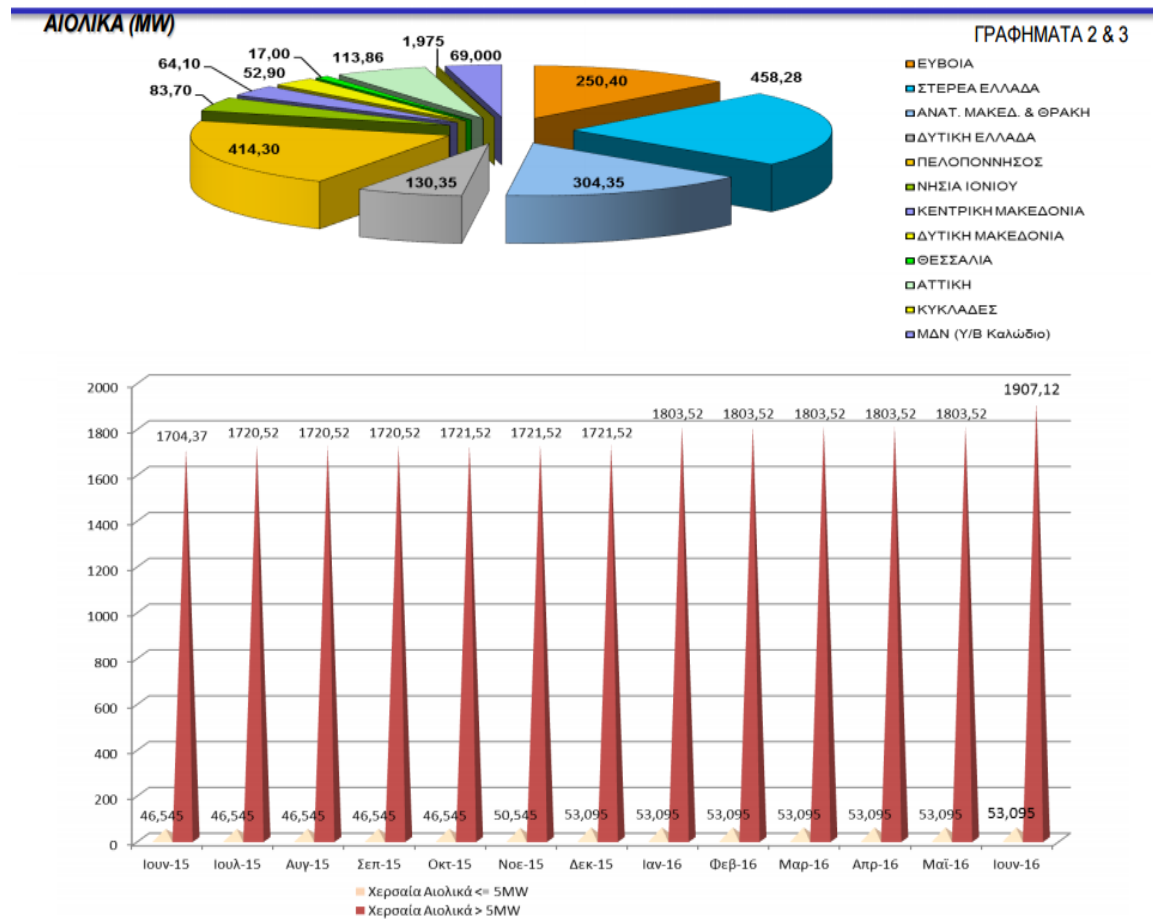
Εικόνα 3. Θέσεις μικρών υδροηλεκτρικών συστημάτων (εγκατεστημένα, σε λειτουργία και αδειοδοτημένα). [4]

Παρακάτω παρουσιάζονται στοιχεία από κάθε τεχνολογία Α.Π.Ε. για όλες τις περιφέρειες της χώρας στο διασυνδεδεμένο σύστημα.



06_2016 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ & ΕΞΕΛΙΞΗ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗΣ ΙΣΧΥΟΣ (MW) ΜΟΝΑΔΩΝ ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ ΣΤΟ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ (Άρθρο 9 Ν.3468/2006) (1/6)

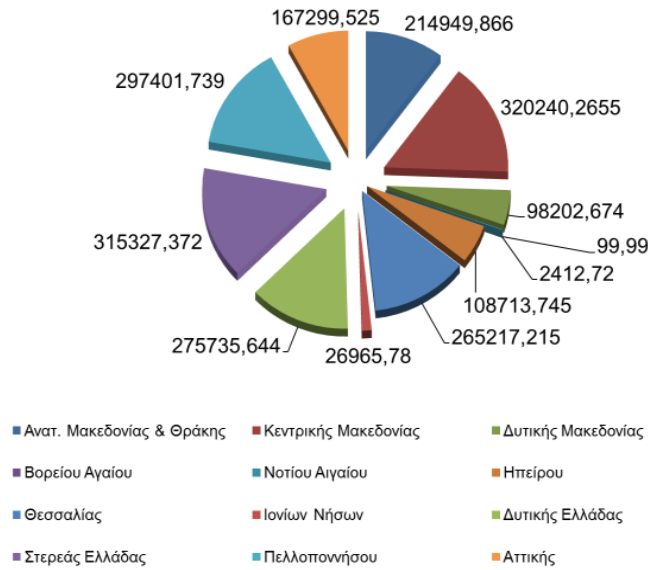
*Προστέθηκε νέα υποκατηγορία «ΜΔΝ (Υ/Β Καλώδιο)» στην κατηγορία των Χερσαίων Αιολικών



Γράφημα 2. Εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύος αιολικών πάρκων. [3]

ΦΒ (kW)

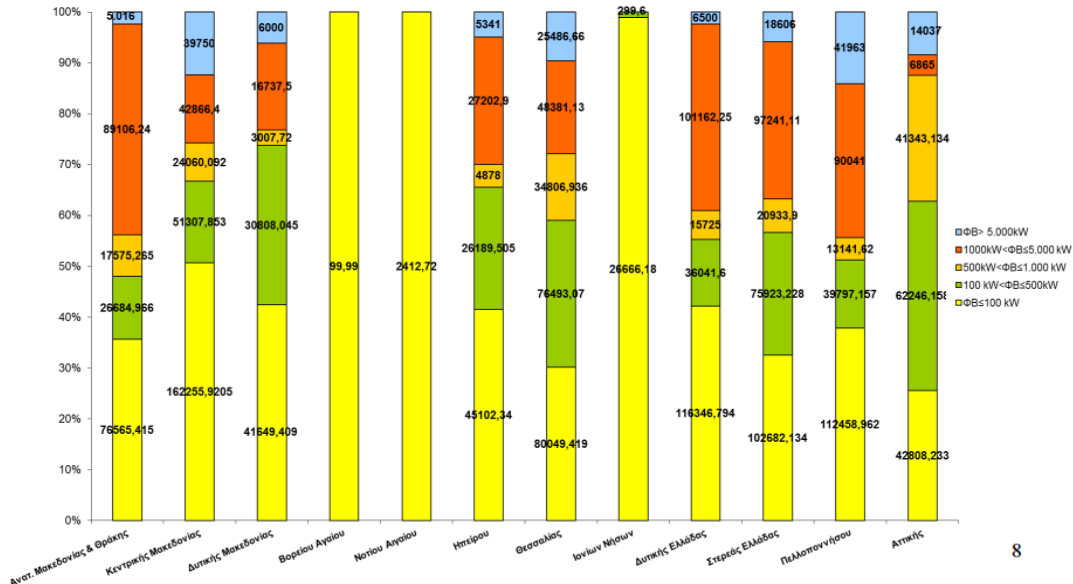
ΓΡΑΦΗΜΑ 10



Γράφημα 3. Εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών πάρκων ανά γεωγραφικό διαμέρισμα. [3]

ΦΒ (kW)

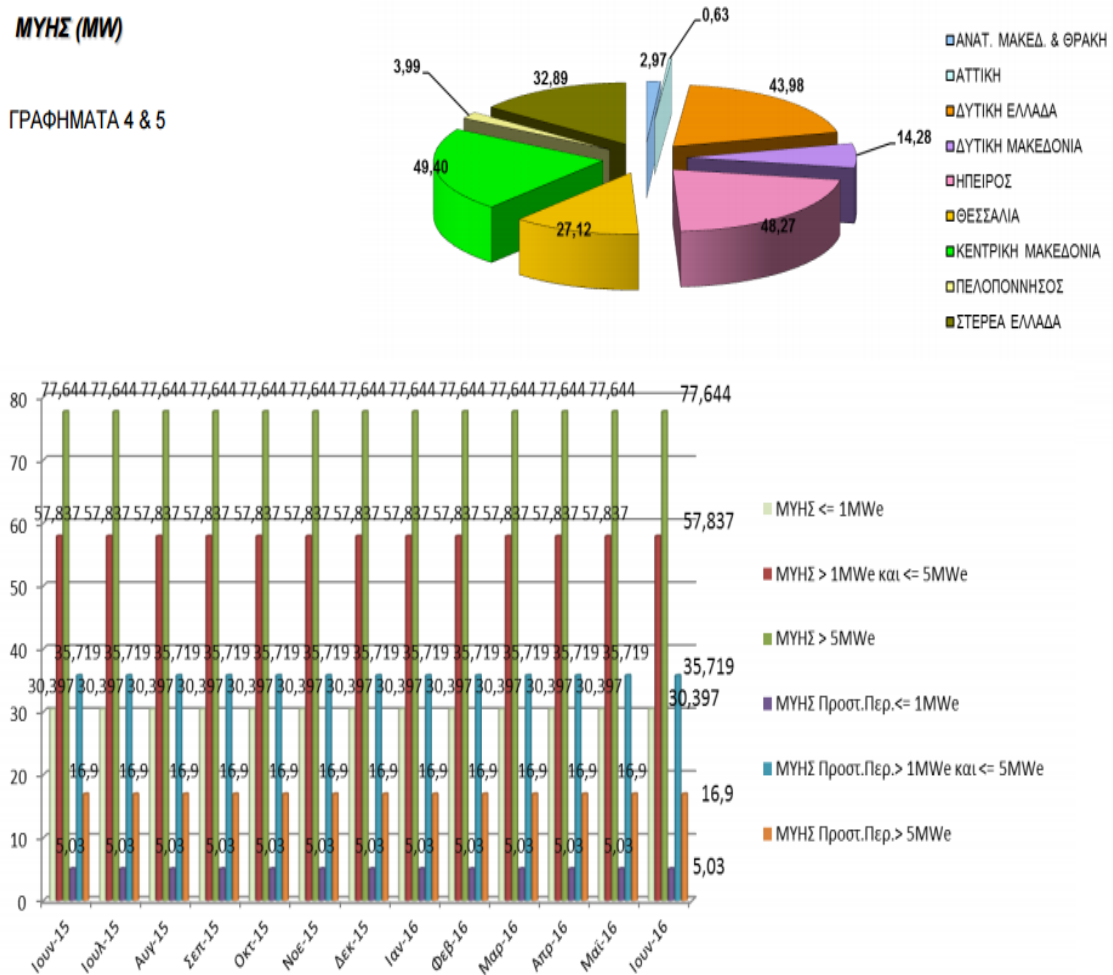
ΓΡΑΦΗΜΑ 11



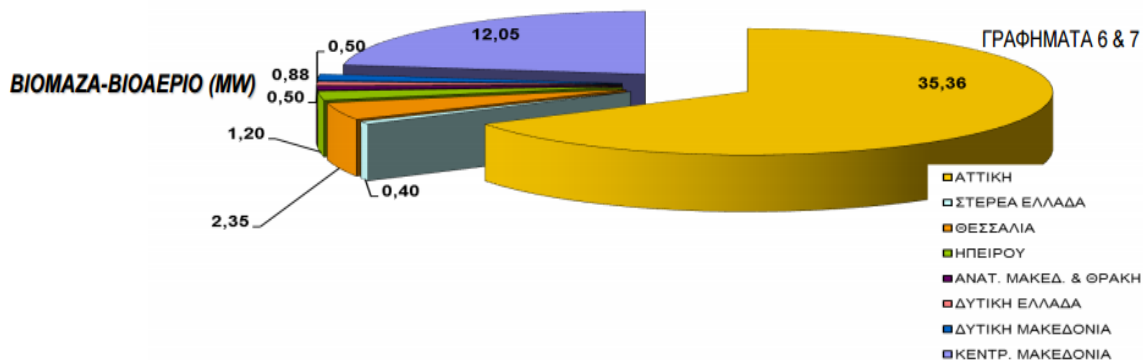
Γράφημα 4. Εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών πάρκων ανά κατηγορία και ανά γεωγραφικό διαμέρισμα. [3]

ΜΥΗΣ (MW)

ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ 4 & 5



Γράφημα 5. Εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύος μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών ανά κατηγορία και ανά γεωγραφικό διαμέρισμα. [3]

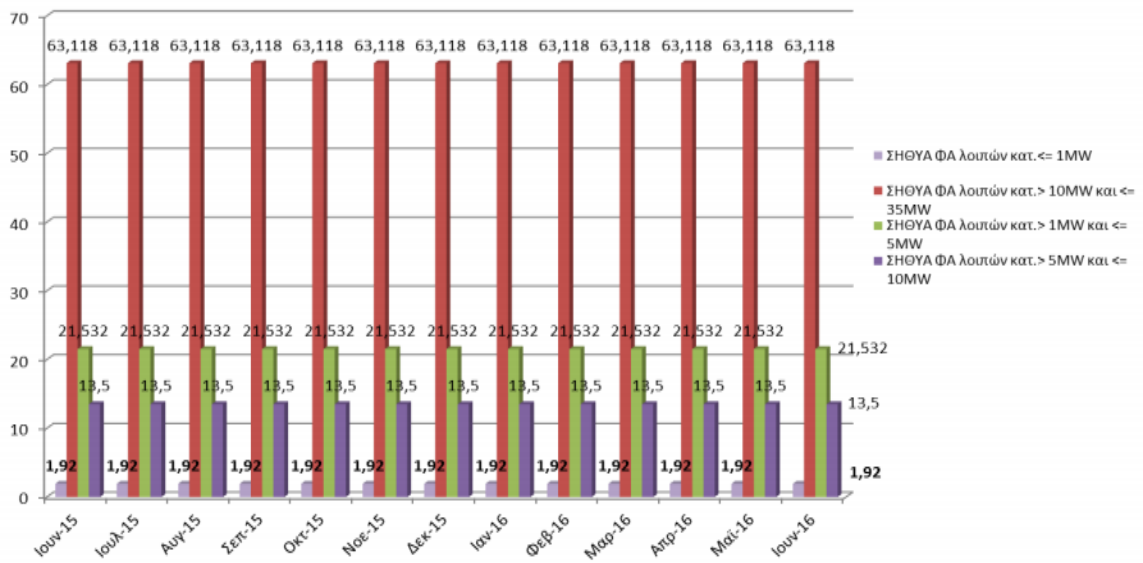
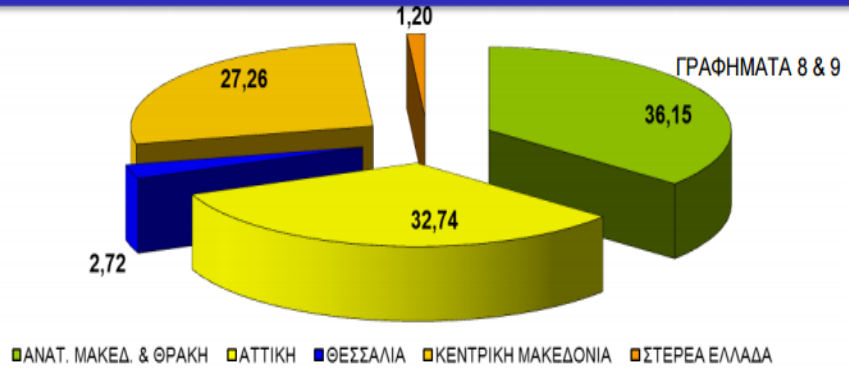


Γράφημα 6. Εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύος μονάδων βιομάζας - βιοαερίου ανά κατηγορία και ανά γεωγραφικό διαμέρισμα. [3]



06_2016 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ & ΕΞΕΛΙΞΗ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗΣ ΙΣΧΥΟΣ (MW) ΜΟΝΑΔΩΝ ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ ΣΤΟ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ (Άρθρο 9 Ν.3468/2006) (4/6)

ΣΗΘΥΑ (MW)



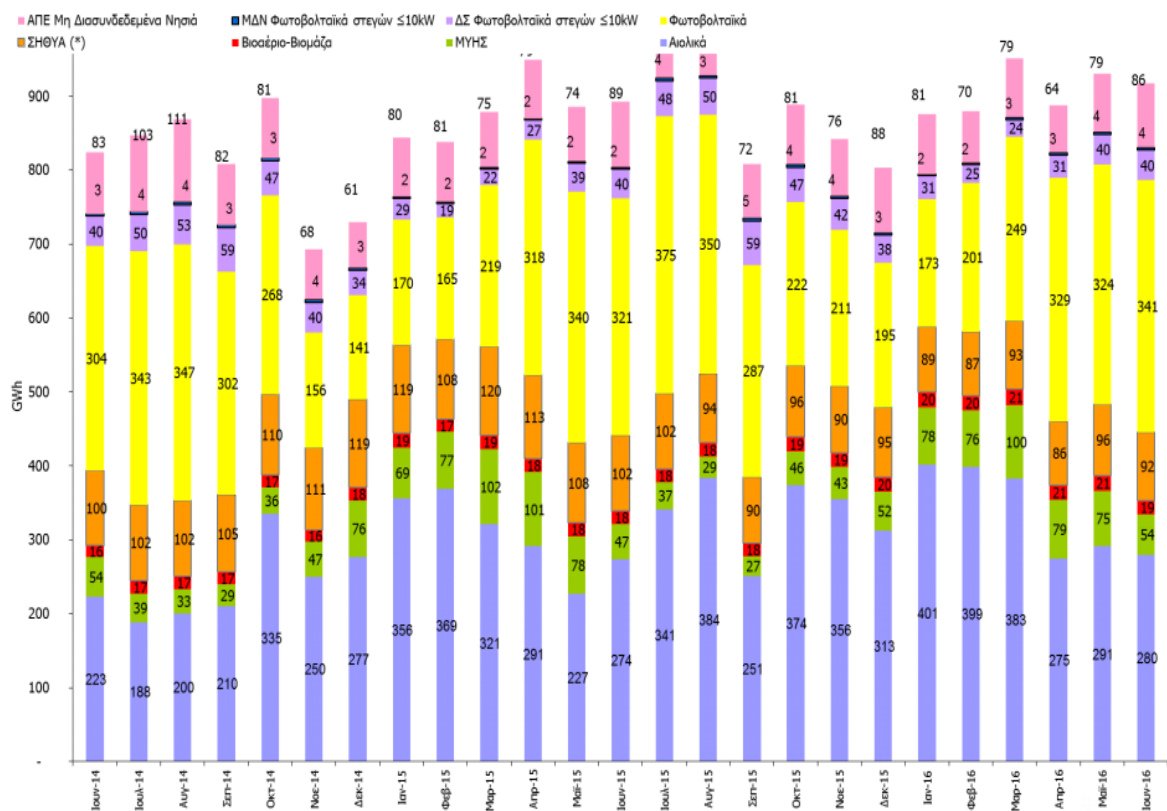
Γράφημα 7. Εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύος μονάδων ΣΗΘΥΑ ανά κατηγορία και ανά γεωγραφικό διαμέρισμα. [3]

Τέλος παρουσιάζεται το γράφημα που απεικονίζει την εθνική παράγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από όλες τις τεχνολογίες των Α.Π.Ε. για τα δυο τελευταία χρόνια.



**2014 – 2016 ΕΘΝΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (GWh)
ΜΟΝΑΔΩΝ ΑΠΕ & ΣΗΘΥΑ (Άρθρα 9 & 10 Ν.3468/2006) & Φ/Β ΣΤΕΓΩΝ ≤ 10kW**

ΓΡΑΦΗΜΑ 12



(*) 28.11.2012 εντάχθηκε σε καθεστώς «δραστηρικής λειτουργίας» ως Κατανομήνη Μονάδα Συμπαράγωγης Ηλεκτρισμού Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης ο σταθμός συμπαράγωγης ηλεκτρισμού και θερμότητας της «ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΝ». Στο Γράφημα 7 απεικονίζεται η αθροιστική ηλεκτρική ενέργεια ΣΗΘΥΑ.

Γράφημα 8. Παράγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. [3]

1.4 Υβριδικά συστήματα

Ένα υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας αποτελείται από τον συνδυασμό τεχνολογιών (συμβατικών και ΑΠΕ) με ένα σύστημα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας.

Οι βασικοί λόγοι εφαρμογής υβριδικών συστημάτων, είναι η αδυναμία πρόβλεψης της ανανεώσιμης παραγωγής (κυρίως από τις ανεμογεννήτριες λόγω της μη προβλεψιμότητας του ανέμου) καθώς επίσης και η σχεδόν συγκεκριμένης διάρκειας (κατά τη διάρκεια της ηλιοφάνειας), παραγωγή ενέργειας των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Αυτοί οι λόγοι έχουν ως αποτέλεσμα την χαμηλή διείσδυση της ανανεώσιμης παραγωγής ειδικότερα στα αυτόνομα μη-διασυνδεδεμένα ηλεκτρικά δίκτυα.

Επιπλέον η ζήτηση ενέργειας τόσο κατά τη διάρκεια της ημέρας, όσο και κατά τη διάρκεια του χρόνου δεν είναι σταθερή. Το συγκεκριμένο πρόβλημα είναι ιδιαίτερα έντονο σε μικρά αυτόνομα συστήματα όπως το συγκεκριμένο νησί που εξετάζεται.

Η έλλειψη τοπικής βιομηχανίας που να καταναλώνει σημαντική ενέργεια τη νύχτα, καθώς και η κατακόρυφη αύξηση της ζήτησης τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω του τουρισμού και της εκτεταμένης χρήσης κλιματιστικών συσκευών, προκαλούν έντονες ανομοιομορφίες στο προφίλ της ζήτησης, κάτι το οποίο επαληθεύεται και στην παρούσα περίπτωση.

Οι διακυμάνσεις στο προφίλ της ζήτησης σε συνδυασμό με τη μεταβλητότητα των ΑΠΕ, δεν εξασφαλίζει ότι η ζήτηση και η προσφορά ενέργειας θα βρίσκονται σε ισορροπία. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα είτε να μην μπορούν να καλυφθούν οι ενεργειακές ανάγκες όταν η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την προσφορά, είτε το δίκτυο τροφοδοσίας να μην μπορεί να ανταποκριθεί όταν η προσφορά είναι μεγαλύτερη από τη ζήτηση, ειδικά αν πρόκειται για αδύναμο δίκτυο, με αποτέλεσμα ο διαχειριστής τον δικτύου να αναγκάζεται να απορρίψει τη παραγόμενη ενέργεια κάνοντας χρήση των setpoint.

Λύση αποτελεί ο κατάλληλος σχεδιασμός ο οποίος να συνδυάζει ΑΠΕ λαμβάνοντας υπόψη τη συμπληρωματικότητα τους μαζί με το κατάλληλο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας. Τα συστήματα αποθήκευσης μπορούν να βελτιώσουν δραματικά τη διείσδυση της ανανεώσιμης παραγωγής στο αυτόνομο σύστημα.

Τα υβριδικά συστήματα συναντώνται σε ποικίλους συνδυασμούς. Υπάρχουν υβριδικά συστήματα που συνδυάζουν συμβατικές μαζί με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Η βασική αρχή λειτουργίας ενός συστήματος αποθήκευσης είναι η μετατροπή και η αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργεια σε κάποια άλλη μορφή και στη συνέχεια όταν απαιτείται η απόδοση της, η μετατροπή της εκ' νέου σε ηλεκτρική ενέργεια, συνοδευόμενη από τις αντίστοιχες απώλειες μετατροπής. Σήμερα έχουν αναπτυχθεί τεχνολογίες αποθήκευσης, οι οποίες βασίζονται σε διάφορες μορφές ενέργειας.

Ενδεικτικά αναφέρονται η αποθήκευση:

- Σε χημική μορφή (μπαταρίες)
- Σε μηχανική μορφή υπό την μορφή κινητικής ενέργειας σε σφόνδυλο.
- Υπό μορφή ηλεκτροστατικού πεδίου (υπερπυκνωτές).
- Υπό μορφή μαγνητικού πεδίου (υπεραγώγιμοι μαγνήτες)
- Σε δυναμική ενέργεια υπό μορφή πεπιεσμένου αέρα
- Σε υδραυλική μορφή (συστήματα αντλησιοταμίευσης)
- Υπό μορφή υδρογόνου (κυψέλες καυσίμου)

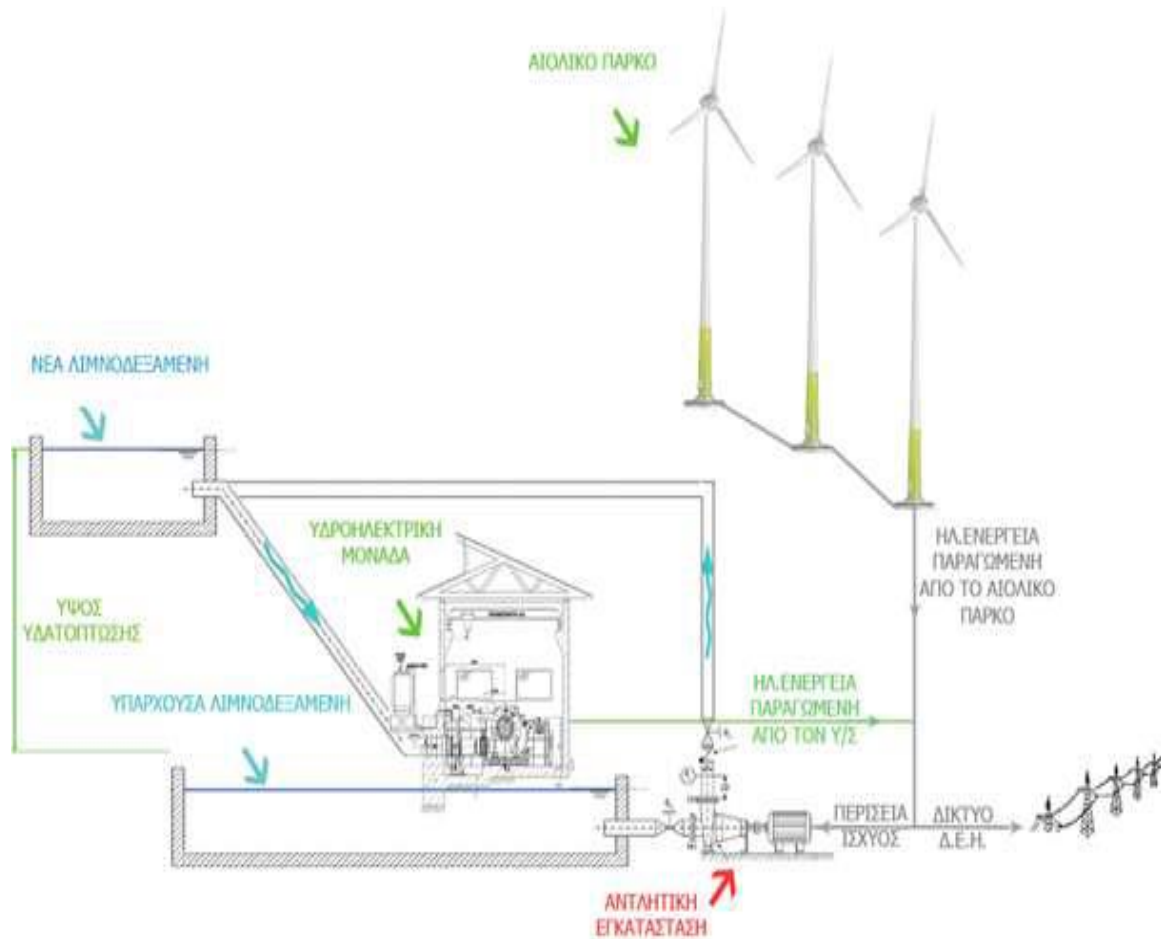
Ανάλογα με την εφαρμογή και ειδικότερα το μέγεθος της μονάδας επιλέγεται το αποθηκευτικό σύστημα με την κατάλληλη χωρητικότητα αποθήκευσης. Γενικά, τα συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας για τα δίκτυα πρέπει να είναι υψηλού βαθμού απόδοσης, ταχείας απόκρισης, ευέλικτα στη λειτουργία τους με μεγάλη διάρκεια ζωής, χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης αλλά και με χαμηλό κόστος επένδυσης.

Μια τέτοια περίπτωση συστήματος αποθήκευσης που ικανοποιεί τα παραπάνω κριτήρια και η οποία και εξετάζεται και στη παρούσα εργασία είναι η αντλησιοταμίευση.

Η αντλησιοταμίευση είναι μια ώριμη τεχνολογία για την αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας. Το σύστημα αυτό μπορεί να αποθηκεύσει τη παραγόμενη σε δεδομένη χρονική στιγμή ενέργεια, για παράδειγμα από Φ/Β ή Α/Γ, όταν αυτή δεν δύναται να απορροφηθεί και να αποδοθεί κάποια άλλη χρονική στιγμή, όταν προκύψει ανάγκη για παροχή ενέργειας. Ένα σύστημα αντλησιοταμίευσης ουσιαστικά είναι, ο συνδυασμός αντλητικής εγκατάστασης (αποταμίευση ενέργειας) και υδροηλεκτρικού έργου (παραγωγή ενέργειας) και αποτελείται από τα παρακάτω μέρη:

- Δύο δεξαμενές νερού οι οποίες βρίσκονται σε ικανή υψομετρική διαφορά μεταξύ τους.
- Μια αντλία ή ένα σύστημα αντλιών.
- Έναν υδροστροβίλο ή ένα σύστημα υδροστροβίλων.
- Ένα σύνολο σωληνώσεων για την άντληση του νερού από την κάτω δεξαμενή στην άνω.
- Ένα σύνολο σωληνώσεων και για τη προσαγωγή του νερού από την άνω δεξαμενή στην κάτω μέσω τον υδροστροβίλου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Μια ηλεκτρική μηχανή που λειτουργεί είτε ως κινητήρας είτε ως γεννήτρια σε κοινή άτρακτο με την αντλία και τον υδροστροβίλο.

Η φιλοσοφία ενός συστήματος αντλιοσταμείωσης είναι απλή. Αυτό που συμβαίνει είναι, η περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας που παρήχθει για παράδειγμα από τις Α/Γ ή τα Φ/Β, τροφοδοτεί τις αντλίες, οι οποίες ανυψώνουν το εργαζόμενο μέσο (νερό) από την κάτω δεξαμενή στην άνω, με αποτέλεσμα η ηλεκτρική ενέργεια να αποθηκεύεται με τη μορφή δυναμικής. Όταν υπάρξει ανάγκη για ηλεκτρική ενέργεια το νερό από την άνω δεξαμενή αφήνεται να οδεύσει στην κάτω, και διερχόμενο από τους υδροστροβίλους παράγει την επιθυμητή ηλεκτρική ενέργεια.



Εικόνα 4. Παράδειγμα διάταξης συστήματος αντλιοσταμείωσης.^[2]

Φυσικά η διαδικασία της μετατροπής της ενέργειας από ηλεκτρική σε υδραυλική (άντληση) και στη συνέχεια η εκ νέου μετατροπή της σε ηλεκτρική (λειτουργία υδροστροβίλων) λόγω των ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού που παρεμβαίνει συνοδεύεται από απώλειες. Οι συνολικές απώλειες σε ένα κύκλο άντλησης- παραγωγής ενέργειας είναι της τάξης του 20-35%, ανάλογα με το μέγεθος της μονάδας και την επιλογή του εξοπλισμού.

Σε ένα σύστημα αντλιοσταμείωσης διακρίνουμε δυο βασικές σχεδιαστικές εκδοχές, αυτή της μονής σωλήνωσης και αυτή της διπλής. Στα συστήματα μονής σωλήνωσης η άντληση και η υδροστροβιλική παραγωγή γίνονται από τον ίδιο σωλήνα, ενώ τα συστήματα διπλής σωλήνωσης γίνονται από δύο ξεχωριστούς και ανεξάρτητους σωλήνες.

Η εκδοχή της διπλής σωλήνωσης εμφανίζει το πλεονέκτημα ότι επιτρέπει την ταυτόχρονη λειτουργία τον στροβίλου με τις αντλίες, ενώ στο σύστημα της απλής σωλήνωσης απαιτείται να καθοριστεί αν έχει προτεραιότητα λειτουργίας ο στρόβιλος ή οι αντλίες, με αποτέλεσμα να χάνονται ποσά ενέργειας.

Ωστόσο η περίπτωση της απλής σωλήνωσης αποτελεί πιο οικονομική λύση, διότι έχει μειωμένα έξοδα εξοπλισμού και εγκατάστασης, εξοπλισμένη με αναστρέψιμη υδροδυναμική μηχανή, την ονομαζόμενη στροβιλοαντλία, η οποία έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί είτε ως αντλία είτε ως στρόβιλος, με μονή σωλήνωση. Αυτή η εκδοχή εμφανίζει ασφαλώς το πλεονέκτημα της πιο οικονομικής λύσης αφού περιλαμβάνει μόνο μία υδροδυναμική μηχανή, αλλά γίνεται ένας συμβιβασμός στα λειτουργικά χαρακτηριστικά της στροβιλοαντλίας, κάτι που σε ένα τυπικό σύστημα αντλησιοταμίευσης δεν συμβαίνει, αφού η κάθε μηχανή επιλέγεται να λειτουργεί στο κανονικό σημείο λειτουργίας.

Τα συστήματα αντλησιοταμίευσης μπορούν να λειτουργήσουν εξαιρετικά συνδυαζόμενα με ΑΠΕ αποθηκεύοντας πάντα περίσσεια παραγόμενης ενέργειας ή ενέργειας που δεν μπορεί να απορροφηθεί. Αν η παραγόμενη ισχύς είναι μεγαλύτερη από τη στιγμιαία ζήτηση, τότε καλύπτεται εξ' ολοκλήρου η στιγμιαία ζήτηση φορτίου και η περίσσεια της ενέργειας τροφοδοτεί την αντλία του υδροηλεκτρικού συστήματος, προκειμένου να αποταμιευτεί μέσω της ανύψωσης του νερού. Αν υποθέσουμε ότι η πάνω δεξαμενή είναι γεμάτη, τότε η περίσσεια της παρεχόμενης ηλεκτρικής ενέργειας είτε απορρίπτεται, είτε αξιοποιείται με κάποιο άλλο τρόπο (π.χ. αφαλάτωση). Αν η παραγόμενη ισχύς είναι μικρότερη από το ζητούμενο φορτίο τότε όλη η παραγόμενη ενέργεια διοχετεύεται στην κατανάλωση, ενώ παράλληλα παράγεται ένα επιπλέον ποσό ενέργειας από τον υδροστρόβιλο για την κάλυψη της ζητούμενης ισχύος.

Η μέθοδος της αντλησιοταμίευσης σε συνδυασμό με ΑΠΕ παρουσιάζει πολλαπλά πλεονεκτήματα, τα βασικότερα εκ των οποίων είναι:

- Έχει γρήγορη απόκριση δηλαδή δυνατότητα γρήγορης παραλαβής και γρήγορης απόρριψης φορτίου πολύ μεγάλης ισχύος με αποτέλεσμα να αποτελεί την καλύτερη λύση που διαθέτει ο διαχειριστής ενός δικτύου ώστε να καλύπτει τις αιχμές φορτίου που παρουσιάζονται.
- Είναι αναστρέψιμη μέθοδος (αποθήκευση και τροφοδοσία τον ηλεκτρικού δικτύου).
- Έχει σχετικά υψηλό βαθμό απόδοσης σε ένα πλήρη κύκλο.
- Είναι τεχνολογικά ώριμη.
- Συμβάλλει στην περαιτέρω διεύδυση των ΑΠΕ γιατί αποτελεί λύση στο πρόβλημα τον τεχνικού περιορισμού των δικτύων κορεσμένων περιοχών, όπου η περαιτέρω εκμετάλλευση των ΑΠΕ αρχίζει και πλησιάζει κάποια όρια πέρα από τα οποία προκαλείται αστάθεια στο δίκτυο.
- Συμβάλλει στην περαιτέρω διεύδυση των ΑΠΕ, γιατί αποτελεί λύση στο πρόβλημα της στοχαστικότητας των ΑΠΕ που δεν εγγυώνται κάθε στιγμή την παραγωγή της ζητούμενης ενέργειας.
- Συνεισφέρει στην ενίσχυση της ενεργειακής αυτάρκειας και του ενεργειακού εφοδιασμού των περιοχών. ^[2]

1.5.1 Μη-διασυνδεδεμένα Νησιά

Ως μη-διασυνδεδεμένα νησιά ορίζονται ως τα νησιά της ελληνικής επικράτειας, των οποίων το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας δεν συνδέεται με το Σύστημα ή/και το δίκτυο διανομής της ηπειρωτικής χώρας.

Το σύστημα των μη-διασυνδεδεμένων Νησιών αποτελείται από τα εξής επιμέρους αυτόνομα δίκτυα: [2]

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ Β.ΑΙΓΑΙΟΥ		Ν.ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΟΥ	
Ν.ΛΕΣΒΟΥ		ΑΣΤΥΠΑΛΛΙΑ	
ΑΓ.ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΣ		ΑΓΑΘΟΝΗΣΙ	
ΛΕΣΒΟΣ		ΑΡΚΟΙ	
ΛΗΜΝΙΟΣ		ΣΥΜΠΛΕΓΜΑ ΚΑΡΠΑΘΟΥ	ΚΑΡΠΑΘΟΣ ΚΑΣΟΣ
Ν.ΣΑΜΟΥ		ΣΥΜΠΛΕΓΜΑ ΚΩ	ΚΩΣ
ΣΥΜΠΛΕΓΜΑ ΣΑΜΟΥ	ΣΑΜΟΣ		ΚΑΛΥΜΝΟΣ
	ΦΟΥΡΝΟΙ		ΛΕΡΟΣ
	ΘΥΜΑΙΝΑ		ΤΕΛΕΝΔΟΣ
			ΨΕΡΙΜΟΣ
ΙΚΑΡΙΑ			ΓΥΑΛΙ
Ν.ΧΙΟΥ			ΝΙΣΥΡΟΣ
ΣΥΜΠΛΕΓΜΑ ΧΙΟΥ	ΧΙΟΣ		ΤΗΛΟΣ
	ΟΙΝΟΥΣΣΕΣ		ΛΕΙΨΟΙ
	ΨΑΡΑ		
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ Ν.ΑΙΓΑΙΟΥ		ΜΑΡΑΘΙ	
Ν.ΚΥΚΛΑΔΩΝ		ΜΕΓΙΣΤΗ	
ΑΜΟΡΓΟΣ		ΠΑΤΜΟΣ	
ΑΝΑΦΗ		ΣΥΜΗ	
ΣΥΜΠΛΕΓΜΑ ΘΗΡΑΣ	ΘΗΡΑ	ΣΥΜΠΛΕΓΜΑ ΡΟΔΟΥ	ΡΟΔΟΣ
	ΘΗΡΑΣΙΑ		ΧΑΛΚΗ
ΚΥΘΝΟΣ		ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	
ΔΟΝΟΥΣΑ		Ν.ΚΕΡΚΥΡΑΣ	
ΣΥΜΠΛΕΓΜΑ ΜΗΛΟΥ	ΜΗΛΟΣ	ΕΡΕΙΚΟΥΣΑ	
	ΚΙΜΩΛΟΣ	ΟΘΩΝΟΙ	
ΣΥΜΠΛΕΓΜΑ ΜΥΚΟΝΟΥ	ΜΥΚΟΝΟΣ	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΑΤΤΙΚΗΣ	
	ΔΗΛΟΣ	Ν.ΠΕΙΡΑΙΑ	
ΣΥΡΟΣ		ΑΝΤΙΚΥΘΗΡΑ	
ΣΥΜΠΛΕΓΜΑ ΠΑΡΟΣ ΝΑΞΟΣ	ΠΑΡΟΣ	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΣΤ.ΕΛΛΑΔΑΣ	
	ΝΑΞΟΣ	Ν.ΕΥΒΟΙΑΣ	
	ΑΝΤΙΠΑΡΟΣ	ΣΚΥΡΟΣ	
	ΚΟΥΦΟΝΗΣΙ	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΚΡΗΤΗΣ	
	ΣΧΟΙΝΟΥΣΑ	ΚΡΗΤΗ	
	ΗΡΑΚΛΕΙΑ	ΓΑΥΔΟΣ	
	ΣΙΚΙΝΟΣ		
ΙΟΣ			
ΦΟΛΕΓΑΝΔΡΟΣ			
ΣΕΡΙΦΟΣ			
ΣΙΦΝΟΣ			

Πίνακας 1. Λίστα μη-διασυνδεδεμένων Νησιών [2]

1.5.2 Περιγραφή λειτουργίας ΑΣΠ

Το κάθε αυτόνομο σύστημα καλύπτει εξ ολοκλήρου ή μέρος της ενέργειας που απαιτεί το δίκτυο (καταναλωτές) από αυτόνομους σταθμούς παραγωγής. Οι αυτόνομοι σταθμοί παραγωγής (Α.Σ.Π.) χρησιμοποιούν ως καύσιμο κυρίως Βαρύ καύσιμο (Β.Κ.) συνήθως Βαρύ πετρέλαιο - μαζούτ (Heavy Fuel Oil – HFO) 3500 Re και ελαφρύ καύσιμο – Diesel (Light Fuel Oil – LFO) των Ελληνικών διυλιστηρίων (ΔΕΗ Α.Ε. – ΔΠΝ, “Αίτηση Αύξησης Εγκατεστημένης Ισχύος ΑΣΠ”).

Συνήθως ο ανεφοδιασμός των Α.Σ.Π. με καύσιμο γίνεται από τη θάλασσα μέσω δεξαμενόπλοιου και μόνιμα εγκατεστημένων δύο (2) αγωγών πετρέλευσης (ένας για βαρύ και ένας για ελαφρύ καύσιμο). Παραλαβή καυσίμου γίνεται κάθε 20 μέρες περίπου δηλαδή περίπου 18 φορές τον χρόνο. Ο αγωγός μετά την εκφόρτωση ξεπλένεται με θαλασσινό νερό. Το καύσιμο μεταφέρεται μέσω των πετρελαιοαγωγών σε ειδικές δεξαμενές αποθήκευσης. Μετά από μια μικρή επεξεργασία του καυσίμου για τον καλύτερο καθαρισμό του μεταφέρεται στις δεξαμενές ημερήσιας κατανάλωσης.

Από τις δεξαμενές ημερήσιας κατανάλωσης το καύσιμο μεταφέρεται στο μηχανοστάσιο όπου βρίσκονται τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη. Η μετατροπή της μηχανικής ενέργειας του κινητήρα σε ηλεκτρική επιτυγχάνεται μέσω της γεννήτριας με κατάλληλη διάταξη ρότορα και στάτη και παρέχοντας το απαιτούμενο ρεύμα διέγερσης.

Τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη λειτουργούν παράλληλα, με ισχύ ανάλογη της ζήτησης από τους καταναλωτές. Όταν παρατηρείται αύξηση της ζήτησης ισχύος, σταδιακά παραλληλίζονται τα Ηλεκτροπαραγωγά Ζεύγη (H/Z) ώστε ο σταθμός να μπορεί να ανταποκριθεί στην αύξηση της ζήτησης, ενώ το αντίθετο ισχύει σε περίπτωση μείωσης της ζήτησης ισχύος.

Στην παραγωγική διαδικασία, εκτός από το καύσιμο που είναι απαραίτητο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, για την καλή λειτουργία των H/Z είναι απαραίτητη και η χρήση άλλων μέσων. Πρόκειται για το νερό ψύξης του κινητήρα, τον ατμό για την προθέρμανση του καυσίμου, τον αέρα για την ψύξη της γεννήτριας, κτλ. ^[2]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.

2.1 Περιγραφή νησιού Σύμης

Εικόνα 4.



Εικόνα 5. Φωτογραφία του οικισμού της Σύμης [5]

Η Σύμη είναι το όγδοο σε μέγεθος ελληνικό νησί του συμπλέγματος των Δωδεκανήσων. Βρίσκεται περί τα 12 μίλια ΒΔ. της Ρόδου, προ του ομώνυμου μικρασιατικού κόλπου, με συνολική έκταση 57,865 τ. χλμ. Απέχει 255 μίλια από τον Πειραιά, περίπου 27 μίλια ανατολικά από τη Νίσυρο και 3,7 μίλια από την εγγύτερη ακτή της Τουρκίας.

Το φυσικό της λιμάνι είναι ο Γιαλός, πέριξ του οποίου είναι κτισμένη η πόλη αμφιθεατρικά. Κατά την απογραφή του 2001 αριθμούσε 2.606 κατοίκους, εκ των οποίων οι 2.427 είναι συγκεντρωμένοι στο άνω τμήμα της πόλης, το λεγόμενο Χωριό, που είναι κτισμένο επί της πλαγιάς του όρους Βίγλα.

Υπάρχουν και τα θέρετρα Νημπορ(ε)ιός βορειότερα, και το Πέδι, ανατολικά. Ο Γιαλός συνδέεται οδικά με το Χωριό, το Πέδι, τον Νημπορ(ε)ιό, την Μαραθούντα και την Ιερά Μονή Αρχαγγέλου Μιχαήλ του Πανορμίτη που βρίσκεται στο νοτιότερο δυτικό άκρο της νήσου.

Η Σύμη είναι τουριστικός προορισμός παγκοσμίου βεληνεκούς λόγω της αρχιτεκτονικής της. Από το 2009 λειτουργεί στο νησί εργοστάσιο αφαλάτωσης. [5]



Εικόνα 6. Άποψη του νησιού της Σύμης^[6]

2.2 Τεχνικά και οικονομικά στοιχεία του αυτόνομου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας του Αυτόνομου Ηλεκτρικού Συστήματος Σύμης

Στο αυτόνομο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της Σύμης υφίσταται ένας Συμβατικός Θερμικός Σταθμός Παραγωγής, ο ΤΣΠ Σύμης. Παρακάτω παρουσιάζονται οι 9 μονάδες που διαθέτει ο σταθμός καθώς και κάποια από τα χαρακτηριστικά αυτών των μονάδων.

A/A	Τύπος Μονάδας	Μέγιστη Δυναμικότητα (MW)	Τεχνικό Ελάχιστο (MW)	Καύσιμο
1	MITSUBISHI S16R-PTA	0,700	0,637	DIESEL
2	CEGIELSKI 6AL20/24	0,300	0,275	DIESEL
3	CEGIELSKI 6AL20/24	0,300	0,275	DIESEL
4	MITSUBISHI S16R-PTA	0,700	0,637	DIESEL
5	MITSUBISHI S16R-PTA	0,700	0,637	DIESEL
6	MTU 12V 4000G60	0,700	0,6	DIESEL
7	MTU 12V 4000G60	0,700	0,6	DIESEL
8	MITSUBISHI S16R-PTA	0,900	0,637	DIESEL
9	SACM AGOV12DSHR	0,750	0,6	DIESEL
ΣΥΝΟΛΟ		5,750		

Πίνακας 2. Θερμικές μονάδες Σύμης ^[4]

Επίσης, σήμερα είναι σε λειτουργία τρεις (3) Φ/Β Σταθμοί, συνολικής ισχύος 189,54 kW (δεν συμπεριλαμβάνονται τα Φ/Β στέγης). Σημειώνεται ότι στο ηλεκτρικό σύστημα της Σύμης δε βρίσκεται σε λειτουργία κάποιος Αιολικός Σταθμός, επομένως δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα αιολικής παραγωγής.

Η εκτίμηση της εξέλιξης της ζήτησης φορτίου του αυτόνομου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας Σύμης παρουσιάζεται παρακάτω:

Έτος	Συνολική Ζήτηση Ενέργειας (GWh)	Αιχμή Ζήτησης (MW)
2016	15,13	4,09
2017	15,61	4,11
2018	16,09	4,19
2019	16,57	4,31
2020	17,05	4,44

Πίνακας 3. Εκτίμηση ζήτησης ενέργειας Σύμης ^[4]

Οι ώρες αιχμής φορτίου μπορούν να προκύψουν από τις χρονοσειρές ισχύος. Σε κάθε περίπτωση σημειώνεται επιγραμματικά ότι:

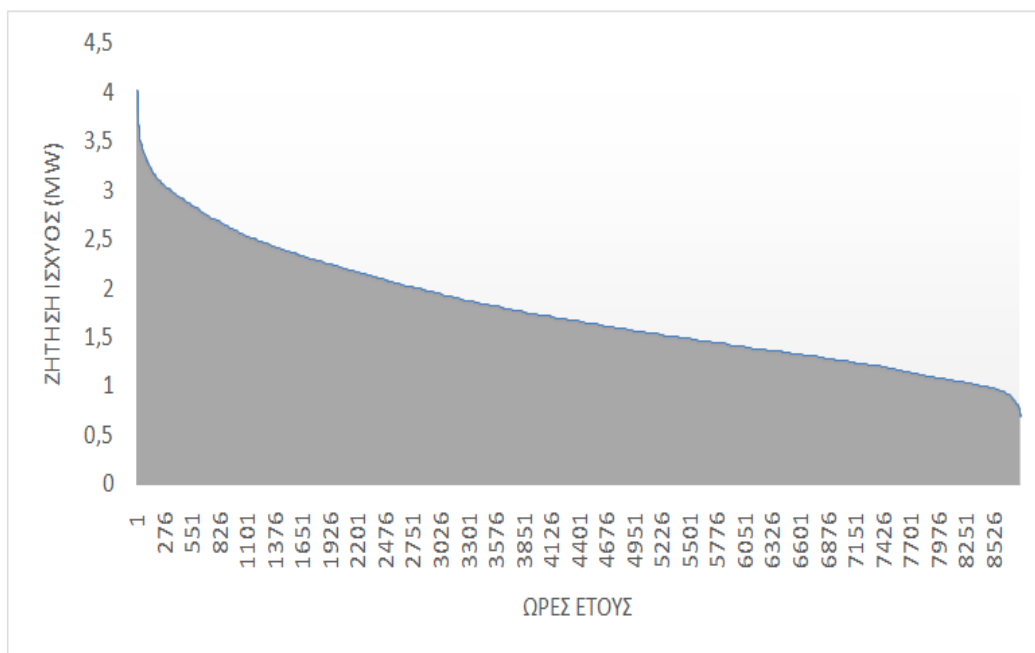
- Κατά την περίοδο του χειμώνα, η ημερήσια αιχμή παρουσιάζεται συνήθως το μεσημέρι από 11:00 μέχρι 14:00 και το βράδυ από 18:00 μέχρι 21:00.
- Κατά την περίοδο του θέρους, η ημερήσια αιχμή παρουσιάζεται συνήθως το μεσημέρι από 10:00 μέχρι 14:00 και το βράδυ από 18:00 μέχρι 23:00.

Το μέσο ετήσιο μεταβλητό κόστος των συμβατικών μονάδων του συστήματος της Σύμης για το έτος 2015, λαμβάνοντας υπόψη το κόστος καυσίμου, το κόστος αγοράς δικαιωμάτων εκπομπών CO₂ και το πρόσθετο κόστος λειτουργίας και συντήρησης, πρόεκυψε από τα απολογιστικά στοιχεία ίσο με **230 €/MWh**. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι το μεσοσταθμικό ετήσιο κόστος αγοράς diesel για το 2015 κυμάνθηκε στα **820 €/klt**, το μεσοσταθμικό ετήσιο κόστος αγοράς δικαιωμάτων εκπομπών CO₂ στα **7 €/tn CO₂**, ενώ το μέσο ετήσιο πρόσθετο κόστος λειτουργίας και συντήρησης εκτιμάται ίδιο για κάθε μονάδα και ίσο με **5 €/MWh**.

Το συνολικό σταθερό κόστος λειτουργίας και συντήρησης του συμβατικού σταθμού παραγωγής του συστήματος Σύμης για το έτος 2015 με βάση απολογιστικά στοιχεία πρόεκυψε ίσο με **100 €/MWh**. ^[4]

Στην καμπύλη διάρκειας φορτίου που ακολουθεί μπορούμε να δούμε την ζήτηση ισχύος σε MW ανά τις ώρες ολόκληρου του έτους. Όπως παρατηρούμε η μέση ζήτηση ισχύος όλο το έτος προσεγγίζεται γύρω στο 1,5 MW ανά ώρα.

Επίσης παρατηρούμε ότι γύρω στις 1000 ώρες το χρόνο η ζήτηση ισχύος είναι πάνω από 2,5 MW ανά ώρα, αυτό ανεβάζει πολύ το κόστος παραγωγής γιατί ο διαχειριστής αναγκάζεται να "βάλει μπροστά" γρήγορες μονάδες που ενδεχόμενος είναι πιο ακριβές λόγω κόστους καύσιμου και μικρότερης απόδοσης.



Γράφημα 9. Καμπύλη διάρκειας φορτίου

Σύμφωνα με τις χρονοσειρές φορτίου του νησιού της Σύμης για το έτος 2012 και μετά από διάφορες αναλύσεις και υπολογισμούς, παρουσιάζονται παρακάτω οι μέρες του έτους με την μεγαλύτερη και μικτότερη ζήτηση φορτίου αλλά και οι μέρες με την μεγαλύτερη και μικρότερη ενεργειακή ζήτηση.

Μέγιστο φορτίο έτους (4 MW)	Μικρότερο φορτίο έτους (0,7 MW)
9/8/2012	7/2/2012
10/8/2012	7/2/2012
11/8/2012	23/11/2012

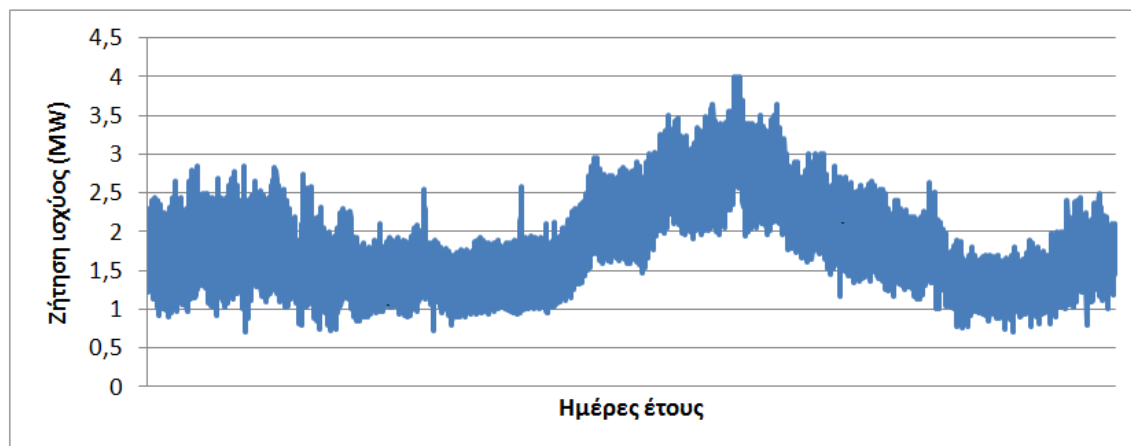
Πίνακας 4. Max-min φορτίο Σύμης

Μέγιστη ενεργειακή ζήτηση 11/8/12	Μικρότερη ενεργειακή ζήτηση 5/11/12
78,28 (MWh)	27,2 (MWh)

Πίνακας 5. Max-min ενεργειακή ζήτηση Σύμης

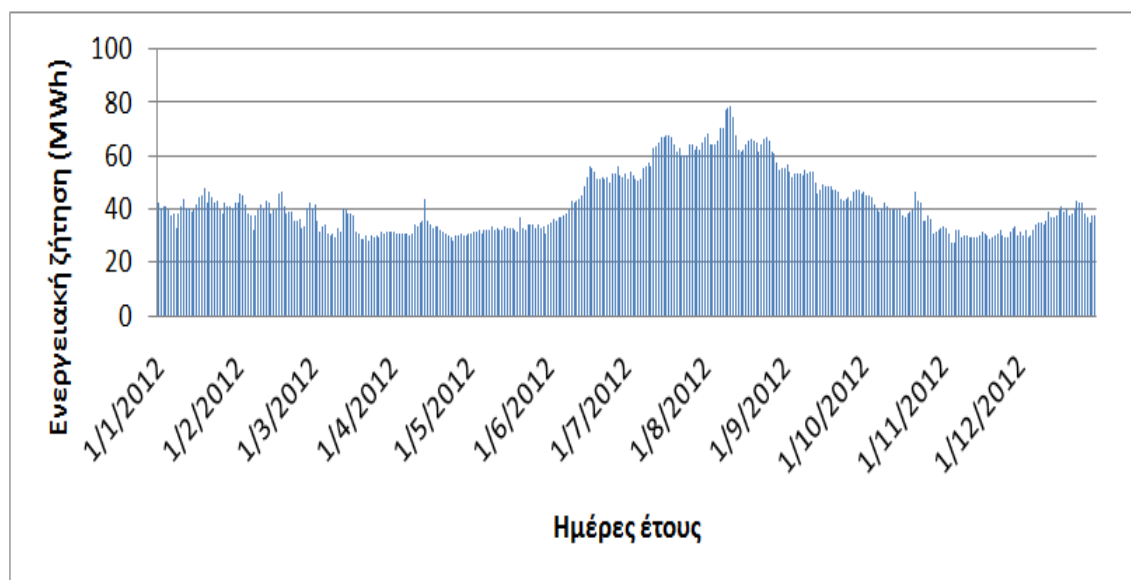
Όπως παρατηρούμε και στο επόμενο γράφημα η ζήτηση ισχύος στο νησί κορυφώνεται τους καλοκαιρινούς μήνες και κυρίως τον Ιούλιο και τον Αύγουστο. Αυτό οφείλεται κυρίως στην αύξηση του πληθυσμού του νησιού λόγω του τουρισμού αλλά και λόγω της χρήσης κλιματιστικών συστημάτων για ψύξη.

Από την άλλη πλευρά η ζήτηση ισχύος που νησιού φτάνει στο ναδίρ τους χειμερινούς μήνες και κυρίως το Νοέμβριο και το Φεβρουάριο. Αυτό έχει να κάνει κυρίως λόγω της μείωσης του πληθυσμού.



Γράφημα 10. Ζήτηση ισχύος Σύμης

Στο παρακάτω γράφημα παρουσιάζεται η ενεργειακή ζήτηση ημέρας του νησιού της Σύμης. Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε δεν παρουσιάζονται μεγάλες μεταβολές με το παραπάνω γράφημα, η αύξηση ή μείωση της ενεργειακής ζήτησης έχει να κάνει με τους λόγους που εξηγήσαμε και παραπάνω.



Γράφημα 11. Ενεργειακή ζήτηση ημέρας Σύμης

Η συνολική ενέργεια που καταναλώθηκε στο νησί της Σύμης το έτος 2012 ήταν **15,49574 GWh** και ο μέσος όρος κατανάλωσης ημέρας όλου του έτους ήταν **42,33809 MWh**.

2.3 Η λύση για το νησί της Σύμης

Για να γίνει εφικτό, το νησί της Σύμης να αποκτήσει 100% ενεργειακή αυτάρκεια με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και να εξαρτηθεί πλήρως από τον συμβατικό σταθμό παραγωγής μελετήθηκαν δυο λύσεις.

Η πρώτη παρουσιάζει την εγκατάσταση στο νησί ενός αιολικού πάρκου για την παράγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ενός αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού (αντλησιοταμίευση), για την αποθήκευση της ενέργειας όταν αυτό γίνει απαραίτητο. Όπως εξηγήθηκε και παραπάνω λόγω του ότι δεν υπάρχει ταυτοχρονισμός ανάμεσα στην ζήτηση και την παραγωγή και λόγω του ότι οι ανεμογεννήτριες του αιολικού πάρκου δεν παράγουν συνεχώς ενέργεια, είναι αναγκαία η ύπαρξη ενός αποθηκευτικού μέσου.

Η δεύτερη λύση παρουσιάζει την εγκατάσταση στο νησί φωτοβολταϊκών πάρκων για την παραγωγή της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας και ως αποθηκευτικό μέσω όπως και παραπάνω, αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό.

Παρακάτω παρουσιάζονται όλα τα στοιχεία και οι υπολογισμοί που έγιναν για την εγκατάσταση στο νησί αιολικού πάρκου για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών καθώς και για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάρκων καθώς επίσης και πληροφορίες για τον μηχανολογικό εξοπλισμό και την εγκατάσταση του αποθηκευτικού μέσου δηλαδή του αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού.

2.4 Εγκατάσταση αιολικού πάρκου και αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού

Στην παρούσα ενότητα θα παρουσιαστεί ολόκληρη η μελέτη και οι υπολογισμοί που έγιναν για την εγκατάσταση στο νησί της Σύμης αιολικού πάρκου 16 ανεμογεννητριών των 600 KW ονομαστικής ισχύος. Καθώς επίσης και πληροφορίες και υπολογισμοί που έγιναν για την επιλογή του κατάλληλου μεγέθους και τύπου του αποθηκευτικού μέσου, που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι ένα αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό με χωρητικότητας άνω δεξαμενής 1.000.000 κυβικά μετρά νερού.

2.4.1 Ανεμογεννήτριες

Για να αξιοποιήσουμε την ενέργεια του ανέμου, χρησιμοποιούμε τις ανεμογεννήτριες οι οποίες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική. Η λειτουργία τους βασίζεται στην περιστροφική κίνηση μιας πτερωτής (δεσμεύοντας ενέργεια από τον άνεμο) η οποία μεταφέρει μέσω άξονα ισχύ σε μια γεννήτρια, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Μπορούν να λειτουργούν αυτόνομα τροφοδοτώντας απευθείας την ζήτηση σε μεμονωμένα συστήματα ή να διοχετεύουν την ενέργεια που παράγουν στο ηλεκτρικό δίκτυο της ΔΕΗ. Οι περιοχές εγκατάστασης αιολικών πάρκων επιλέγονται μετά από μελέτη και καταγραφή του ετήσιου αιολικού δυναμικού, μέσω καταγραφικών συστημάτων που εξετάζονται σε βάθος χρόνου για μια περιοχή.

Τα βασικά μέρη μιας ανεμογεννήτριας είναι:

- Η πτερωτή όπου με κατάλληλο αριθμό και τύπο πτερυγίων (ανάλογα με την χρήση της μηχανής) μετατρέπει την αιολική ενέργεια σε περιστροφική κίνηση.
- Η πλήμνη η οποία αποτελεί το μηχανοστάσιο της ανεμογεννήτριας, περιέχει τον άξονα του δρομέα της πτερωτής, την γεννήτρια και ρυθμιστικές διατάξεις ελέγχου και προστασίας της μηχανής όπως σύστημα μετάδοσης κίνησης, ελαστικούς συνδέσμους, υδραυλικό ή μηχανικό φρένο και μηχανισμό περιστροφής του άξονα (για μηχανές οριζοντίου άξονα) ώστε να βρίσκεται παράλληλα προς την διεύθυνση του ανέμου.
- Ο πύργος ο οποίος αποτελείται από μεταλλικό δικτύωμα ή σωλήνα, ή στήλη από μπετόν. Αναλαμβάνει την στήριξη της ανεμογεννήτριας στη βάση της ενώ ιδιαίτερη σημασία στις μηχανές οριζοντίου άξονα έχει το ύψος και το κόστος κατασκευής του λαμβάνοντας υπόψη την διάμετρο πτερωτής και την αξιοποίηση υψηλότερων ταχυτήτων ανέμου σε μεγαλύτερο υψόμετρο.
- Ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός με τα συστήματα αυτοματισμών προστασίας της ανεμογεννήτριας από υπερβολικό μηχανικό φορτίο και τις ηλεκτρονικές διατάξεις ισχύος, ανόρθωσης και προσαρμογής της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος ανάλογα με τις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής.^[7]

Στην περίπτωση μας ο τύπος στις ανεμογεννήτριας που θα χρησιμοποιήσουμε είναι οριζοντίου άξονα γερμανικής κατασκευής της εταιρίας **Enercon μοντέλο E-40 των 600 KW**. Η επιλογή του συγκεκριμένου μοντέλου έγινε γιατί η νασέλα μπορεί να περιστρέφεται γύρω από τον κατακόρυφο άξονα και έτσι η ανεμογεννήτρια μπορεί να εκμεταλλεύεται τον άνεμο από οποια κατεύθυνση και αν προέρχεται επίσης η συγκεκριμένη ανεμογεννήτρια αρχίζει να παράγει από πολύ χαμηλές ταχύτητες ανέμου, κάτι που μας βοηθάει στο να μειωθεί η έλλειψη παραγωγής κάποιες ώρες του χρόνου.



Εικόνα 7. Άποψη της ανεμογεννήτριας Energcon E-40 [8]

➤ **Χαρακτηριστικά της Α/Γ :**

Το ύψος από το έδαφος μέχρι τον άξονα της Α/Γ Energcon E-40 είναι 45 m και η διάμετρος της φτερωτής 44 m. Η μονάδα στηρίζεται στη κορυφή ενός κυλινδρικού ατσάλινου κορμού, που εδράζεται σε κυκλική θεμελίωση. Το κάθε ένα από τα 3 πτερύγια της φτερωτής έχει μήκος περίπου 21 m και μέγιστο πλάτος 2 m. Είναι κατασκευασμένα από ελαφρύ fiberglass (πλέγματα υαλονημάτων και εποξικές ρητίνες), με επιφανειακή επικάλυψη πολλαπλών στρωμάτων πολυουρεθάνης δύο συστατικών, για προστασία από την υγρασία.

Το πτερύγιο έχει την δυνατότητα στρέψης γύρω από τον άξονά του, με την βοήθεια ενός κινητήρα, και μπορεί έτσι να αλλάζει κλίση (pitch) ανεξάρτητα από τα άλλα, μεταβάλλοντας ενεργά το βήμα του αεροδυναμικού του προφίλ.

Με αυτόν τον τρόπο η Α/Γ μπορεί να εκμεταλλευτεί καλύτερα τον άνεμο, ή να ελαττώσει την ισχύ της, μειώνοντας στροφές, ή ακόμα και να σταματήσει τελείως.

Η άτρακτος της κεφαλής (nacelle) περιστρέφεται γύρω από τον κατακόρυφο άξονα, αναζητώντας πάντοτε την κατεύθυνση του ανέμου (yaw). Η Α/Γ αρχίζει να γυρίζει με ανέμους ταχύτητας μόλις 2,5 m/sec (στο ύψος της κεφαλής, όπου οι ταχύτητες είναι πάντα μεγαλύτερες). Η ισχύς της αυξάνεται όσο αυξάνονται οι άνεμοι. Μετά την ταχύτητα των 28 m/sec η Α/Γ σταματάει για να μην καταστραφεί (συνεχής ταχύτητα και όχι απλά ριπές, αντιστοιχεί σε 10 Beaufort). Η Α/Γ δεν χρησιμοποιεί συστήματα φρένων για να σταματήσει, αλλά απλώς αφήνει ελεύθερη την έλικα να επιβραδύνει, μαζεύοντας τα πτερύγια.^[9]

Εταιρία κατασκευής:	Enercon	Ύψος από το έδαφος μέχρι τον άξονα (πλήμνη, hub):	45 m
Τύπος:	E-40 / 6.44	Διάμετρος φτερωτής:	43,7 m
Ονομ. ισχύς εξόδου:	600 kW	Εμβ. σάρωσης φτερωτής:	1.521 m ²
Ημερομ. Εγκατάστασης:	-	Γωνιακή ταχύτητα περιστροφής:	18 έως 34 rpm
Είδος:	Οριζοντίου άξονα	Γραμ. ταχύτητα άκρων πτερυγίων:	41 έως 78 m/sec
Πτερύγια:	3 από fiberglass, μεταβλητής κλίσης, μειωμένου θορύβου, ενσωματωμένη αντικεραυνική προστασία.	Ταχύτητα ανέμου έναρξης (άξονας):	2,5 m/sec
Γεννήτρια:	Σύγχρονη, χαμηλών στροφών, δακτυλιοειδής, σταθερής απόδοσης	Ονομαστική ταχύτητα ανέμου:	13 m/sec
Λειτουργία:	Μεταβλητής ταχύτητας, χωρίς μηχανικό κιβώτιο ταχυτήτων, μετατροπή ρεύματος AC/DC/AC με ηλεκτρονικά ισχύος	Μέγιστη ταχύτητα ανέμου παραγωγής:	Από 28 έως 34 m/sec
Φορά περιστροφής:	Ωρολογιακή	Αεροδυναμικός συντ. απόδοσης ισχύος (power efficiency):	$C_p=0,5$ (μέγιστο)

Πίνακας 6. Τεχνικά χαρακτηριστικά της Α/Γ ^[9]



(α)



(β)

Εικόνα 7. (α) Κεφαλή ανεμογεννήτριας. (β) Εσωτερικό πυλώνα.^[9]

➤ Λειτουργία της Α/Γ

Η εκκίνηση της Α/Γ γίνεται μέσα σε χρόνο 30 min, όσο απαιτείται για να στεγνώσει η κεφαλή εσωτερικά με θερμό αέρα, από την συμπυκνωμένη υγρασία της ατμόσφαιρας.

Μετά την εκκίνηση, η περιστροφή της φτερωτής μεταδίδεται απευθείας στο δρομέα της γεννήτριας. Δεν μεσολαβεί κάποιο κιβώτιο ταχυτήτων που να αυξάνει ή να ελέγχει τις στροφές της, οπότε αποφεύγονται τριβές και πολύπλοκοι μηχανισμοί.

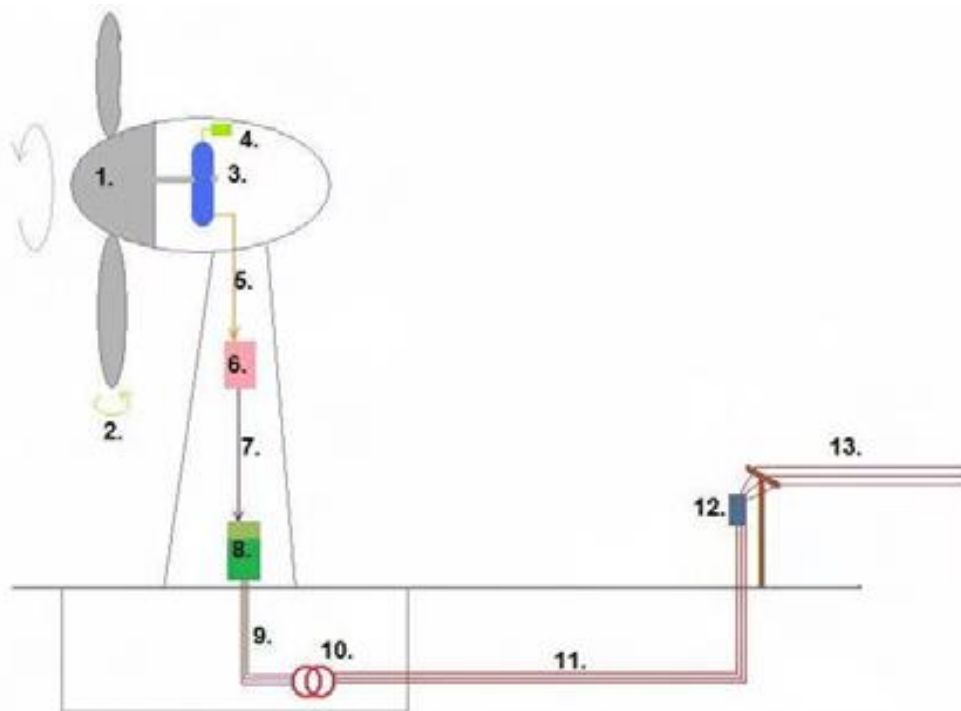
Η γεννήτρια είναι σύγχρονη, εναλλασσόμενου ρεύματος, χωρίς όμως απευθείας σύνδεση με το δίκτυο. Είναι δακτυλιοειδής, δηλαδή τα εξωτερικά τυλίγματα του οπλισμού αλλά και ο δρομέας έχουν μορφή δακτυλίου. Λειτουργεί σε χαμηλές στροφές και παράγει AC ρεύμα μεταβλητής συχνότητας, ανάλογης με την ταχύτητα περιστροφής της έλικας και ανεξάρτητη της ηλεκτρικής συχνότητας του δικτύου. Οι στροφές αυτές μπορούν να ελεγχθούν με την κλίση των περυγίων. Η εναλλασσόμενη τάση εξόδου της γεννήτριας είναι μεταβλητή, και ρυθμίζεται με την μεταβολή του συνεχούς ρεύματος διέγερσης.

Στη συνέχεια, το AC ρεύμα της γεννήτριας μετατρέπεται σε DC, μέσω ηλεκτρονικών ισχύος (ανορθωτικές διατάξεις, rectifier) και κατέρχεται στο ισόγειο. Η τάση του συνεχούς είναι μεταβαλλόμενη, αφού ακολουθάει την ρυθμιζόμενη AC της γεννήτριας. Έτσι, πρέπει να σταθεροποιηθεί με converter (μετατροπείς) στα 400V (σύστημα DC-Link).

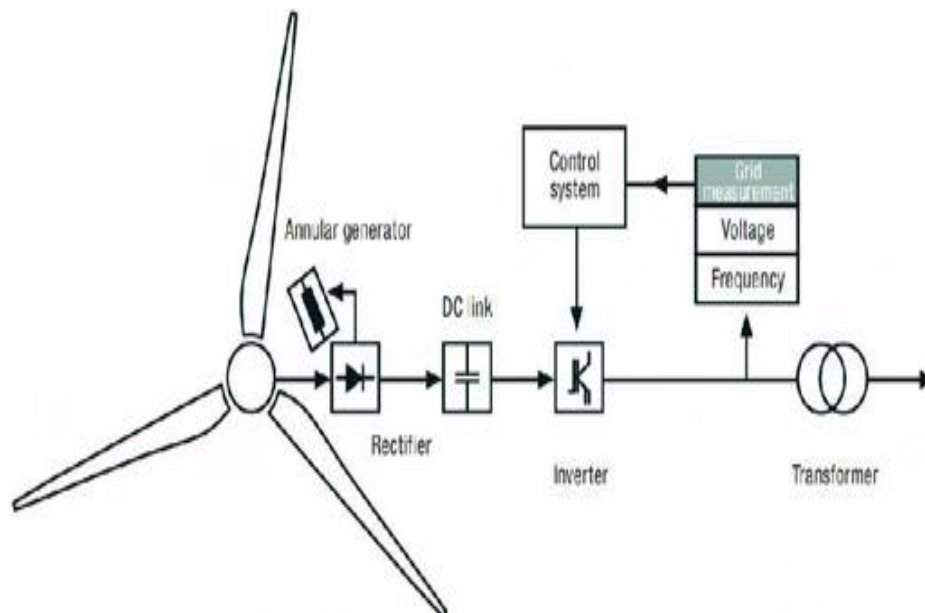
Στην συνέχεια με inverter (αντιστροφείς) μετατρέπεται πάλι σε εναλλασσόμενο τριφασικό ρεύμα, τάσης 400 V, το οποίο αυτή την φορά έχει την συχνότητα 50 Hz αλλά και την φάση του εξωτερικού δικτύου. Σε αυτό το σημείο μπορεί να γίνει έλεγχος της άεργου ισχύος της εξόδου. Είναι δυνατόν να έχουμε είτε παραγωγή είτε κατανάλωση άεργου, μεταβάλλοντας στα inverter την φασική γωνία μεταξύ τάσης και έντασης του ρεύματος εξόδου.

Το κύκλωμα από την γεννήτρια μέχρι τα inverter είναι διπλό, ενώ η διέγερση τροφοδοτείται με DC από τους ανορθωτές. Στο τελευταίο στάδιο η τάση ανυψώνεται με μετασχηματιστή ισχύος που βρίσκεται εντός του υπογείου. Από τα 0,4 kV ανέρχεται στα επίπεδα μέσης τάσης 15,5 kV και το ρεύμα μέσω υπόγειου καλωδίου φθάνει στους πυλώνες

μέσης τάσης της ΔΕΗ, όπου συνδέεται μέσω ενός τηλεχειριζόμενου διακόπτη φορτίου. Η Α/Γ διαθέτει επιπλέον μια εφεδρική τροφοδοσία από επαναφορτιζόμενους συσσωρευτές.



Εικόνα 8. Διάταξη συστημάτων της Α/Γ. (1) Περιστρεφόμενη φτερωτή. (2) Κλίση πτερυγίων. (3) Δακτυλοειδής γεννήτρια. (4) Διέγερση γεννήτριας. (5) Μεταβαλλόμενο ρεύμα AC. (6) Ανορθωτικές διατάξεις. (7) Μεταβαλλόμενο ρεύμα DC. (8) Σταθεροποιητής και inverter. (9) Έξοδος AC 400 Volt (10) Μετασχηματιστής ισχύος. (11) Μέση τάση 15,5 kVolt (12) Διακόπτης φορτίου ΔΕΗ. (13) Δίκτυο ΔΕΗ.^[9]



Εικόνα 9. Βρόγχοι έλεγχου της Α/Γ, επιδρούν στην διέγερση και στα inverter.^[9]

Γενικά, κάθε σύγχρονη ηλεκτρική γεννήτρια έχει συγκεκριμένη ονομαστική ταχύτητα περιστροφής, και παρουσιάζει την μέγιστη απόδοση λειτουργίας όταν λειτουργεί με αυτές τις στροφές, σε καθορισμένη περιοχή ισχύος εξόδου. Όμως η Α/Γ Epercon μπορεί και προσαρμόζεται σε διαφορετικές ταχύτητες ανέμων (μηχανική ροπή εισόδου) και σε διαφορετική ηλεκτρική ισχύ εξόδου. Για να το επιτύχει αυτό, ρυθμίζει το προφίλ των πτερυγίων της, έτσι ώστε να μεταβάλλει την ταχύτητα περιστροφής σε δεδομένο άνεμο.

Η ταχύτητα περιστροφής ρυθμίζεται κάθε φορά στην επιθυμητή τιμή, και ταυτόχρονα ρυθμίζεται η τάση εξόδου της γεννήτριας, μέσω της μεταβλητής διέγερσης. Αυτό τροποποιεί τα χαρακτηριστικά της γεννήτριας (μηχανική αντίδραση στο ηλεκτρικό φορτίο), και σε συνδυασμό με τον έλεγχο της ροπής εισόδου (κλίση πτερυγίων) η γεννήτρια ρυθμίζει την ισχύ εξόδου και βελτιστοποιεί την συνολική καμπύλη απόδοσης στο φάσμα των ανέμων, μεγιστοποιώντας την παραγωγή ενέργειας από τις χαμηλές ταχύτητες.^[9]

➤ Χαρακτηριστικά μεγέθη της Α/Γ .

Η αλλαγή στο βήμα των πτερυγίων μεταβάλλει τον λόγο *tip-to-wind ratio*, δηλαδή τη γραμμική ταχύτητα του άκρου ενός πτερυγίου, προς την ταχύτητα του ανέμου που το περιστρέφει:

$$\lambda = \frac{\omega \cdot R}{V},$$

όπου ω (*rad/sec*) η γωνιακή συχνότητα περιστροφής, R (*m*) το μήκος του πτερυγίου και V (*m/sec*) η ταχύτητα του πνέοντος ανέμου. Από τον συντελεστή αυτό εξαρτάται ο αεροδυναμικός συντελεστής απόδοσης μηχανικής ισχύος $C_p(\lambda)$, που μας δείχνει πόση από την αρχική ισχύ του αέρα P_A (λόγω κινητικής ενέργειας) μετατρέπεται τελικά σε καθαρή μηχανική ισχύ P_M :

$$P_M = C_p(\lambda) \cdot P_A$$

Η αρχική ισχύς P_A ενός ανέμου δεδομένης ταχύτητας V , που περιστρέφει μια φτερωτή, εξαρτάται από τη διάμετρό της, δηλαδή την επιφάνεια που σαρώνει, και τα χαρακτηριστικά της, δηλαδή τον αριθμό, τη γεωμετρία και το εμβαδόν των πτερυγίων της. Σε κάθε κατασκευή, υπάρχει για κάθε ταχύτητα ανέμου μία τιμή στο λόγο λ , δηλαδή στην ταχύτητα περιστροφής της φτερωτής εκείνη την στιγμή, όπου η απόδοση $C_p(\lambda)$ μεγιστοποιείται. Οι νόμοι της αεροδυναμικής προβλέπουν ως ανώτατο όριο την τιμή $C_{pmax}=0,593$ για την ιδανική έλικα.

Από την καθαρή μηχανική ισχύ παράγεται η ενεργός ηλεκτρική ισχύς εξόδου P , αφαιρώντας τις μηχανικές απώλειες λειτουργίας λόγω τριβών και τις ηλεκτρικές απώλειες του συστήματος μετατροπής. Η ταχύτητα του ανέμου V αφορά στο ύψος της κεφαλής, και είναι μέση ταχύτητα που προκύπτει από κατάλληλη ολοκλήρωση του μέτρου του διανύσματος ταχύτητας, χωρίς να ληφθεί υπόψιν η συνιστώσα τυρβώδους ροής.^[9]

➤ Συμπεριφορά της Α/Γ .

Η λειτουργία της Α/Γ μπορεί να διακριθεί στις εξής περιοχές, ανάλογα με την διαθέσιμη ταχύτητα ανέμου:

(α) Από 0 m/sec έως την ταχύτητα έναρξης παραγωγής $V_1=2,5$ m/sec, η Α/Γ μπορεί να περιστρέφεται χωρίς όμως να παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Για τις λειτουργίες της όπως ο προσανεμισμός και η κλίση των πτερυγίων, στηρίζεται στην τροφοδοσία από το εξωτερικό δίκτυο ή στις εφεδρικές μπαταρίες.

(β) Από την ταχύτητα έναρξης $V_1=2,5$ m/sec μέχρι την ονομαστική ταχύτητα $V_2=12,5$ m/sec, η Α/Γ παράγει και η ισχύς εξόδου της αυξάνεται μέχρι την ονομαστική ισχύ $P_{max}=600$ kW. Η βελτιστοποιημένη καμπύλη του συντελεστή C_p (απόδοσης καθαρής μηχανικής ισχύος) φθάνει γρήγορα στην μέγιστη τιμή 0,5 και διατηρείται σχεδόν σταθερή. Η τιμή αυτή είναι πολύ κοντά στο όριο 0,593 που προβλέπεται από τους νόμους της αεροδυναμικής για την ιδανική έλικα.

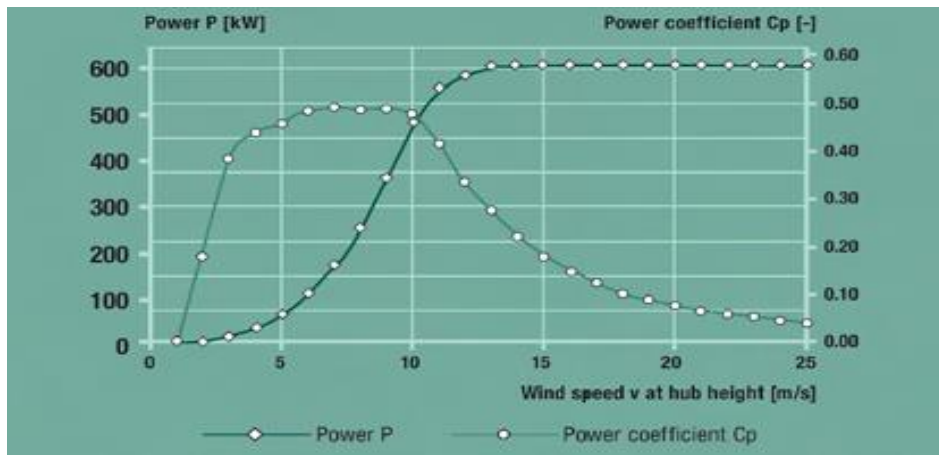
(γ) Από την ονομαστική ταχύτητα $V_2=12,5$ m/sec μέχρι την ταχύτητα αποκοπής $V_3=28$ m/sec, η Α/Γ εξακολουθεί να λειτουργεί παράγοντας την ονομαστική της ισχύ. Η απόδοση όμως πέφτει, αφού το επιπλέον αιολικό δυναμικό μένει ανεκμετάλλευτο. Επίσης, σε κάθε σημείο λειτουργίας, ο χειριστής έχει την δυνατότητα να περιορίζει την ισχύ εξόδου της Α/Γ σε χαμηλότερη τιμή.

(δ) Οι τυπικές ανεμογεννήτριες στην ταχύτητα αποκοπής V_3 παύουν την λειτουργία τους για να μην καταπονούνται. Όταν ο άνεμος πέσει σε λίγο χαμηλότερα επίπεδα V_4 , η παραγωγή ξεκινάει πάλι. Όμως η εκκίνηση μετά από παρατεταμένη παύση διαρκεί 30 min, για την εξάλειψη της εσωτερικής υγρασίας. Για να αποφύγει την υστέρηση αυτή, η Α/Γ Enercon είναι εφοδιασμένη με το σύστημα storm control, με το οποίο συνεχίζει να παράγει ενέργεια πάνω από την ταχύτητα αποκοπής $V_3=V_{storm}=28$ m/sec, με σταδιακά ελαττούμενη ισχύ, μέχρι να μηδενιστεί στα

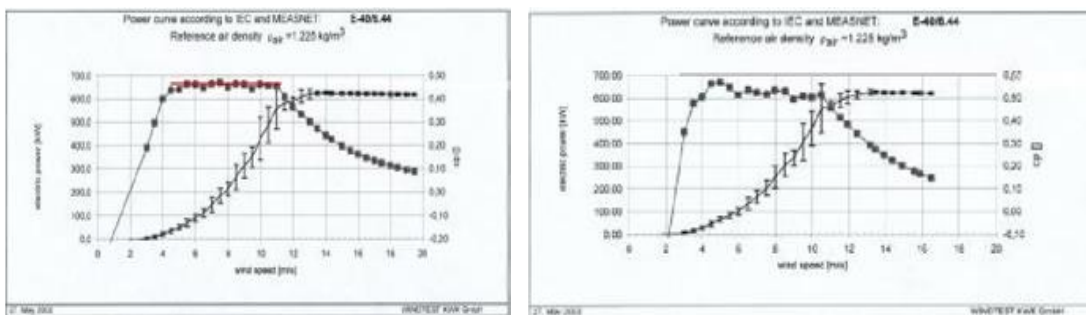
34 m/sec. Η αποφυγή απότομων διακοπών στην παρεχόμενη ισχύ, επιδρά θετικά στην ευστάθεια όλου του συστήματος.

(ε) Σε ακόμα υψηλότερες ταχύτητες ανέμων η φτερωτή γυρίζει ελεύθερα, με τα πτερύγια μαζεμένα, χωρίς παραγωγή ενέργειας. Η μέγιστη ταχύτητα ανέμων που μπορεί θεωρητικά να αντέξει για λίγα δευτερόλεπτα χωρίς να καταστραφεί είναι η ταχύτητα επιβίωσης.

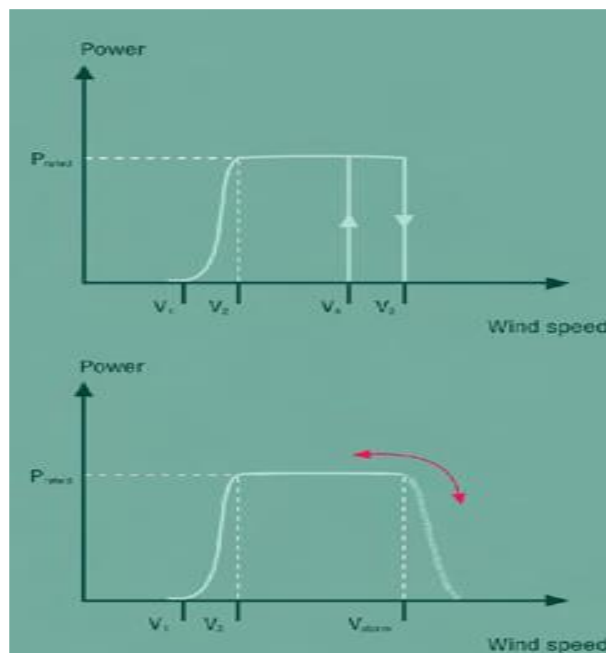
Οι θεωρητικές καμπύλες ισχύος εξόδου και αεροδυναμικής απόδοσης φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα. Πρόκειται για ενδεικτικές τιμές, αφού κάθε Α/Γ κατασκευάζεται με εξατομικευμένη συμπεριφορά, ανάλογα με την μελέτη των επικρατούντων ανέμων στο σημείο τοποθέτησης (κλάση ανέμου). Πραγματικές τιμές εξάγονται μόνο με μετρήσεις.^[9]



Γράφημα 12. Ενδεικτικές καμπύλες ισχύος P και αεροδυναμικού συντελεστή απόδοσης C_p συναρτήσει της ταχύτητας ανέμου V στο ύψος του άξονα.^[9]



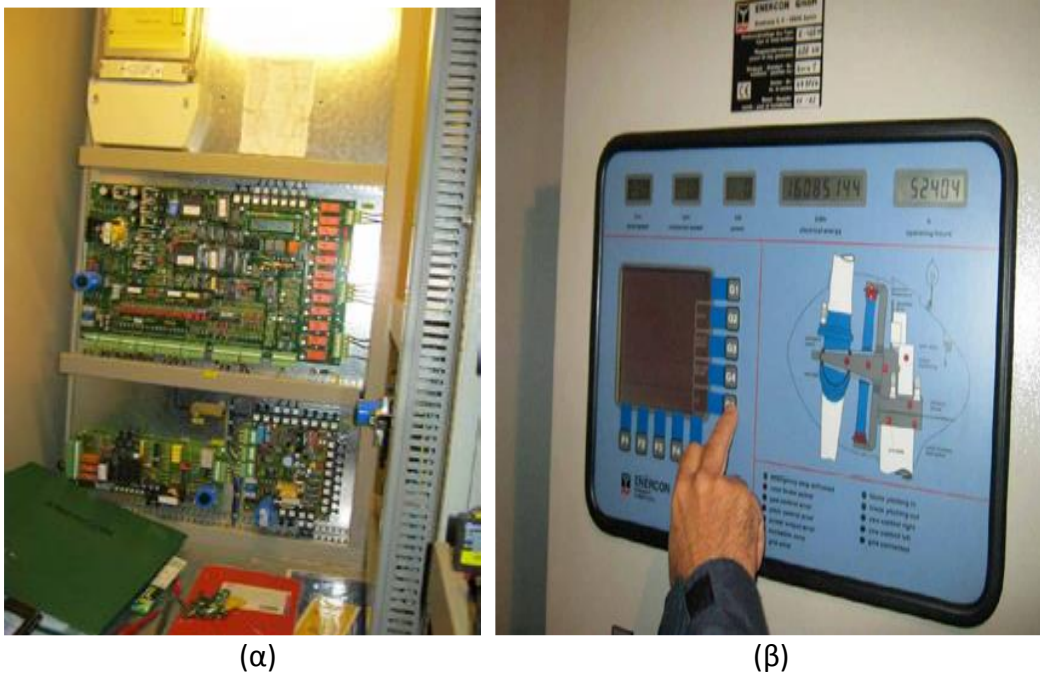
Γράφημα 13. Πραγματικές καμπύλες, από μετρήσεις Α/Γ Ε40/6.44 εγκατεστημένων στα Κανάρια Νησιά.^[9]



Γράφημα 14. Παραγωγή ισχύος στις διαφορετικές ταχύτητες ανέμου, χωρίς και με το σύστημα storm control.^[9]

➤ Υποσυστήματα της Α/Γ .

Για όλες τις λειτουργίες της Α/Γ είναι υπεύθυνος ο εγκέφαλος, που βρίσκεται στην πλακέτα μηρι (*main processing unit*). Βρίσκεται στο ισόγειο διαμέρισμα, και μπορεί να αλλάξει προγραμματισμό με την αλλαγή ενός τσιπ μνήμης EPROM (*erasable programmable read only memory*). Όλες οι ενδείξεις για την λειτουργία συγκεντρώνονται σε ένα κεντρικό ψηφιακό πίνακα ελέγχου, απ' όπου δίνονται και οι εντολές χειρισμού. Οι εντολές της μηρι μεταβιβάζονται σε επιμέρους υποσυστήματα ελέγχου και εκτελούνται από μονάδες που βρίσκονται στην άτρακτο της κεφαλής.



Εικόνα 10. (α) Υπολογιστική μονάδα ελέγχου μηρι. (β) Ψηφιακός πίνακας ελέγχου και ενδείξεων.^[9]

Επιμέρους συστήματα είναι:

(α) Το υποσύστημα ελέγχου κλίσης των πτερυγίων (*pitch box*). Ελέγχει τους τρεις ανεξάρτητους κινητήρες που αλλάζουν την κλίση των πτερυγίων. Δέχεται εντολές για την επιθυμητή κλίση από την μηρι, ανάλογα το σημείο λειτουργίας της γεννήτριας. Ελέγχει την ταχύτητα περιστροφής και επιπλέον αναλαμβάνει το ρόλο πέδησης της φτερωτής όταν η παραγωγή της Α/Γ σταματά.

(β) Το yaw box του προσανεμισμού της κεφαλής. Ενεργό σύστημα ελέγχου, που περιστρέφει την κεφαλή, προσαρμόζεται στο φορτίο της, και αποσβένει τις αποκλίσεις. Για τον εντοπισμό της φοράς και της ταχύτητας του ανέμου υπάρχει ειδικό ανεμούριο στην κορυφή της ατράκτου. Όταν η κεφαλή συμπληρώσει αρκετές περιστροφές προς την ίδια κατεύθυνση, υπάρχει η πρόβλεψη να σταματήσει και να ξετυλίξει τα εσωτερικά καλώδια. Επίσης σε περίπτωση καταστροφής ή απώλειας ενός πτερυγίου, η κεφαλή τίθεται σε γωνία 90ο σε σχέση με τον άνεμο.

(γ) Το σύστημα ελέγχου της γεννήτριας και της ηλεκτρικής διέγερσης (*excitation*), που λειτουργεί σε συνδυασμό με την κλίση των πτερυγίων.

(δ) Το σύστημα των συσσωρευτών (battery box), υπεύθυνο για την επαναφόρτιση και την εφεδρική τροφοδοσία της ανεμογεννήτριας.

(ε) Το σύστημα πέδησης εκτάκτου ανάγκης (brake box), που ακινητοποιεί και κλειδώνει τη κεφαλή και την φτερωτή σε περίπτωση βλάβης ή συντήρησης.

Άλλα υποσυστήματα της ανεμογεννήτριας είναι: το ψηφιακό σύστημα ελέγχου των ηλεκτρονικών ισχύος, που καθορίζουν τα χαρακτηριστικά του ρεύματος εξόδου, το σύστημα επιτήρησης του εξωτερικού δικτύου, ο έλεγχος του μετασχηματιστή εξόδου και του διακόπτη σύνδεσης με το δίκτυο. Υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου της άεργου ισχύος εξόδου και διόρθωσης της τάσης του δικτύου στο σημείο σύνδεσης. Επίσης υπάρχει περιθώριο προσαρμογής στη συχνότητα του δικτύου, ακόμη και συνεισφορά στην σταθεροποίηση της, με μεταβολή της ενεργού ισχύος εξόδου.

Όλες οι μεταβολές στην ισχύ εξόδου της Α/Γ, όπως π.χ. μετά από επανεκκίνηση, γίνονται πάντοτε με σταδιακό ρυθμό, για την αποφυγή αστάθειας στο δίκτυο. Για τον ίδιο λόγο υπάρχει η πρόνοια σε περίπτωση σύντομων σφαλμάτων, όπως βραχυκυκλώματα, η Α/Γ να παραμένει συνδεδεμένη και να μην απορρίπτεται (ανοχή σε πτώση τάσης, *low voltage ride through*), ώστε να μην γίνεται η ίδια μία επιπλέον πηγή διαταραχής.



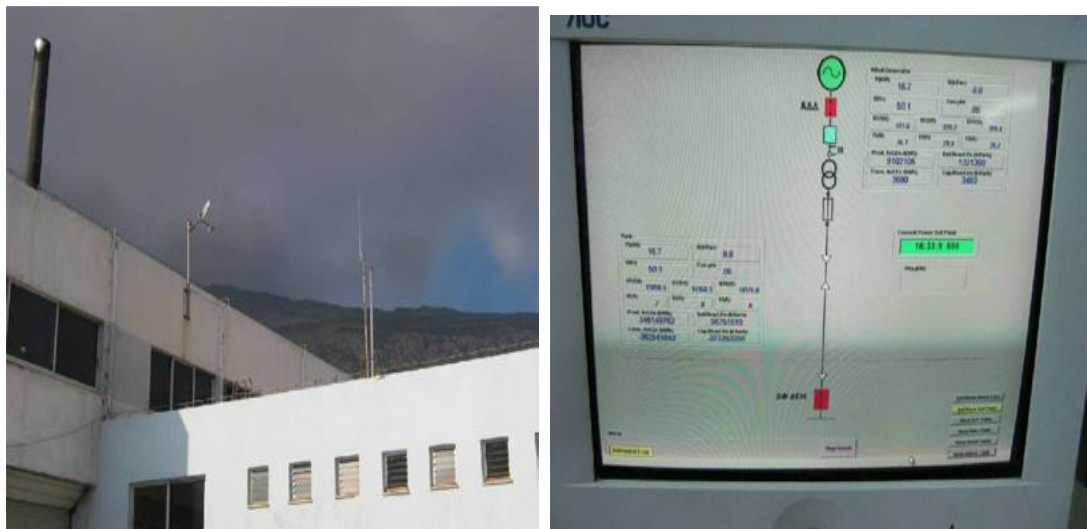
Εικόνα 11. Διάγραμμα της ατράκτου της κεφαλής. (1) Κύριος φορέας, (2) κινητήρας προσανεμισμού, (3) δακτυλιοειδής γεννήτρια, (4) ρυθμιστής περυγίου, (5) άξονας δρομέα, (6) πτερύγιο. Η πρόσβαση στο εσωτερικό της ατράκτου της κεφαλής γίνεται μέσω του πυλώνα, ενώ υπάρχει και θυρίδα στο πίσω μέρος της για ανεβοκατέβασμα φορτίων με μικρό γερανό. Με κίτρινο οι διάφορες υπομονάδες (box)^[9]

Εκτός των αισθητήρων για τις παραπάνω λειτουργίες, υπάρχουν επιπλέον αισθητήρες όπως θερμοκρασίας, ροπής στρέψης της κεφαλής, ανίχνευσης δονήσεων (που υποδηλώνουν μηχανική βλάβη), επιταχυνσιόμετρα για τυχόν ταλαντώσεις, διακόπτες προσέγγισης που αντιλαμβάνονται παραμορφώσεις και αισθητήρες ανισοροπίας στα πτερύγια λόγω παγετού. Οι κρίσιμες ενδείξεις εμφανίζονται σαν φωτεινές ειδοποιήσεις σε ένα εποπτικό διάγραμμα της κεφαλής, στον πίνακα ελέγχου της Α/Γ.^[9]

➤ Χειρισμός της Α/Γ .

Η Α/Γ επικοινωνεί με το κέντρο ελέγχου, μέσω μιας ραδιοσύζευξης (link) οπτικής επαφής. Στο ΚΕΕ του σταθμού βρίσκεται ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής, που έχει εγκατεστημένο το σύστημα SCADA της ανεμογεννήτριας (*Supervisory Control and Data Acquisition*, δηλαδή εποπτικός έλεγχος και συλλογή δεδομένων). Το πρόγραμμα αυτό είναι το Wind Farm, που επιτρέπει και έλεγχο περισσότερων Α/Γ που συγκροτούν ολοκληρωμένο αιολικό πάρκο.

Από τον υπολογιστή, μέσω διαδικτύου, αποστέλλονται στοιχεία και στον κεντρικό server της Enercon στην Αθήνα. Ο server μπορεί και ενημερώνει τον επιστάτη της Α/Γ στο νησί για την λειτουργική της κατάσταση, μέσω γραπτών μηνυμάτων στο κινητό τηλέφωνο. Όταν συμβεί κάποιο σφάλμα ή χαθεί η σύνδεσή με το δίκτυο μέσης τάσης, η Α/Γ σταματάει να περιστρέφεται, και εμφανίζει το αντίστοιχο μήνυμα σφάλματος στον πίνακα ελέγχου, στο SCADA, στον κεντρικό server και στο κινητό. Σε περίπτωση σοβαρότερης βλάβης ακινητοποιείται η φτερωτή με το επιπλέον σύστημα ασφαλείας.^[9]



Εικόνα 12. (α) Κεραία τηλεπικοινωνιακής ζεύξης με την Α/Γ. (β) Εποπτικό σύστημα ελέγχου και καταγραφής (SCADA), εγκατεστημένο στο κέντρο ελέγχου. Στην συνδεσμολογία της Α/Γ, διακρίνονται με κόκκινο οι διακόπτες ζεύξης: ΑΔΔ είναι ο Αυτόματος Διακόπτης Διασύνδεσης, δηλαδή ένας εσωτερικός διακόπτης ισχύος που ελέγχεται από την ίδια την Α/Γ, και ΔΦ ο εξωτερικός διακόπτης φορτίου της ΔΕΗ, που βρίσκεται σε σύλλο.^[9]

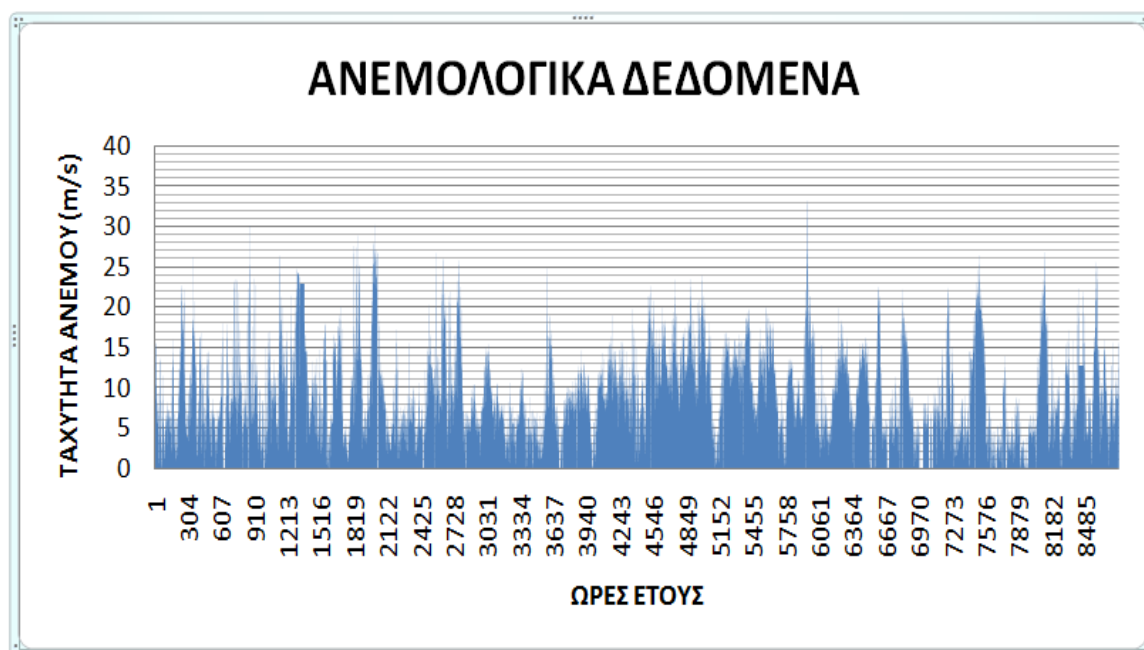
➤ Προστασία της Α/Γ .

Για την αντικεραυνική προστασία της, η Α/Γ διαθέτει μια σειρά ηλεκτροδίων στις άκρες των πτερυγίων, στην κορυφή της ατράκτου της κεφαλής, στο ανεμόμετρο, αλλά και γύρω από την μύτη της φτερωτής. Τα φορτία του κεραυνού οδηγούνται προς τη γη, μέσω των μεταλλικών τοιχωμάτων του πυλώνα και καταλήγουν σε θεμελιακή γείωση. Όταν η Α/Γ υποστεί ελαφριά βλάβη από χτύπημα κεραυνού, στο άκρο ενός πτερυγίου. Η ελαφριά παραμόρφωση του άκρου προκαλεί λίγο αυξημένη στάθμη αεροδυναμικού θορύβου (σφύριγμα καθώς περιστρέφεται).^[9]

2.4.2 Ανεμολογικά δεδομένα περιοχής εγκατάστασης του αιολικού πάρκου

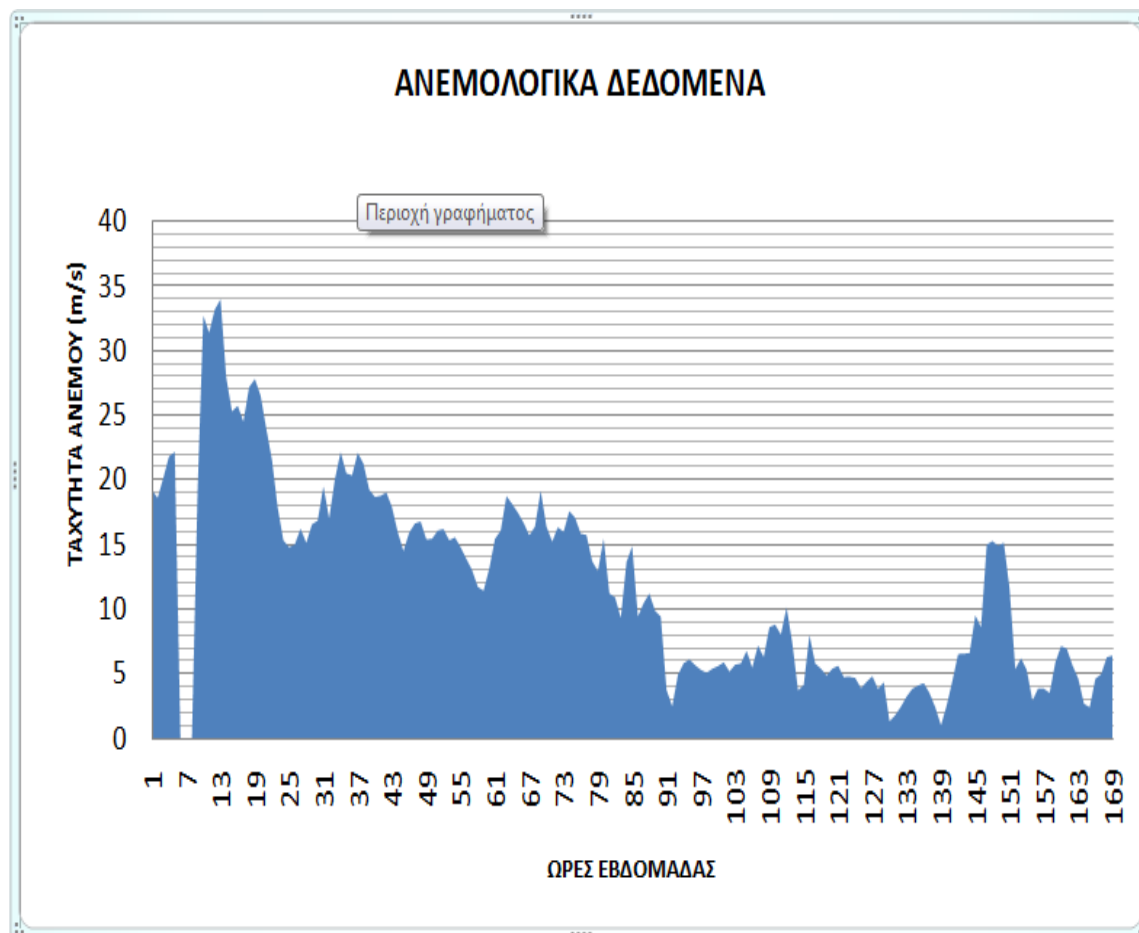
Η στιγμιαία ισχύς της Α/Γ εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου, ακολουθώντας την καμπύλη απόδοσης. Παρουσιάζει πάντοτε αστάθεια, αλλάζοντας τιμή κάθε λίγα δευτερόλεπτα.

Στο νησί της Σύμης εγκαταστάθηκε για ένα ολόκληρο χρόνο ιστός συλλογής ανεμολογιών δεδομένων, ο οποίος μετράει και καταγράφει την διεύθυνση και την ταχύτητα του ανέμου και υπολογίζει τον μέσο όρο για κάθε δεκάλεπτο της ώρας. Μετά από την κατάλληλη επεξεργασία αυτών των μετρήσεων παρουσιάζεται παρακάτω γράφημα, με την ταχύτητα του ανέμου που έπνεε στην περιοχή εγκατάστασης του αιολικού πάρκου, για κάθε ώρα ενός ολόκληρου έτους.



Γράφημα 15. Διακύμανση της ταχύτητας του ανέμου για κάθε ώρα όλου του έτους

Για να μπορέσει να γίνει καλύτερα αντιληπτό πόσο μεγάλη διακύμανση μπορεί να υπάρξει στην ταχύτητα που πνέει ο άνεμος σε μια περιοχή παρουσιάζεται το επόμενο γράφημα που μας δείχνει την διακύμανση του ανέμου μιας μόνο μιας εβδομάδας.



Γράφημα 16. Διακύμανση της ταχύτητας του ανέμου για κάθε ώρα μιας εβδομάδας

Η περιοχή που επιλέχτηκε ως καταλληλότερη για την εγκατάσταση του αιολικού πάρκου είναι μια μικρή οροσειρά σε μήκος, με το μεγαλύτερο υψόμετρο στο νησί, η περιοχή αυτή επιλέχτηκε διότι είναι η υψηλότερη και αυτό της δίνει το πλεονέκτημα να έχει υψηλότερες ταχύτητες ανέμου και μικρότερη τύρβη λόγω απουσίας εμποδίων στον ορίζοντα. Η περιοχή εγκατάστασης του αιολικού πάρκου φαίνεται στις επόμενες εικόνες.



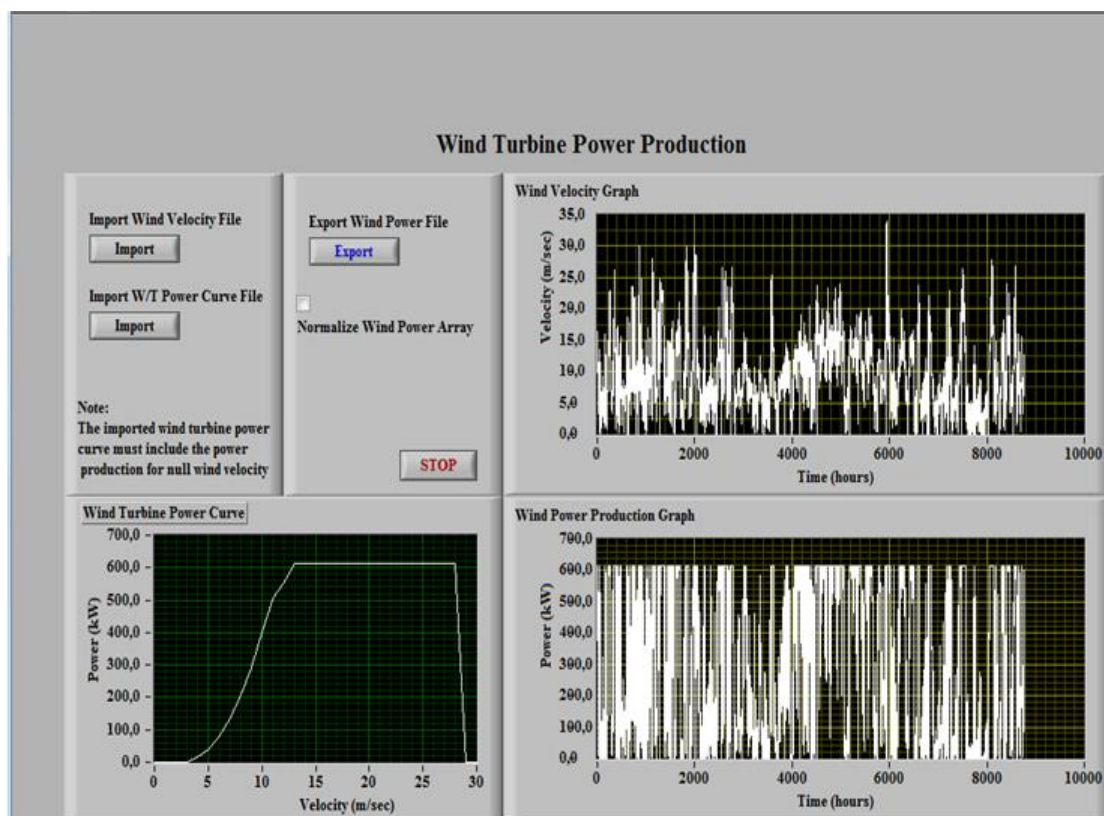
Εικόνα 13. Άποψη από πάνω της περιοχής εγκατάστασης του Α/Π στο νησί της Σύμης^[6]



Εικόνα 14. Άποψη από άλλη γωνία της περιοχής εγκατάστασης του Α/Π στο νησί της Σύμης^[6]

2.4.3 Παραγωγή ισχύος της Α/Γ για τα πραγματικά ανεμολογικά δεδομένα του νησιού

Για να μπορέσουμε να δούμε η ανεμογεννήτρια τι ισχύ παράγει κάθε μια ώρα ολόκληρου του έτους, χρειάστηκε να κάνουμε κάποιους υπολογισμούς σε κάποιο υπολογιστικό πρόγραμμα. Το πρόγραμμα αυτό παίρνει σαν εισόδους την μέση ωριαία ταχύτητα του ανέμου μιας περιοχής όλου του έτους και τις τιμές παραγόμενης ισχύος της ανεμογεννήτριας ανά 1 (m/s). Η έξοδος του προγράμματος είναι ένα αρχείο με τις ωριαίες τιμές της ισχύος της ανεμογεννήτριας.

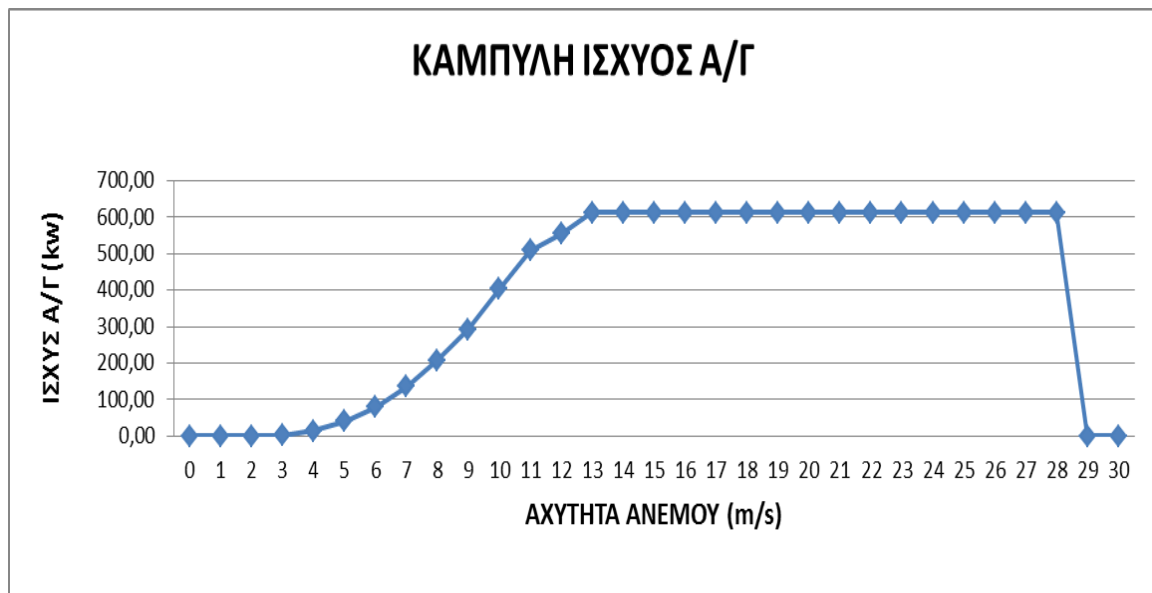


Εικόνα 15. Υπολογιστικό πρόγραμμα

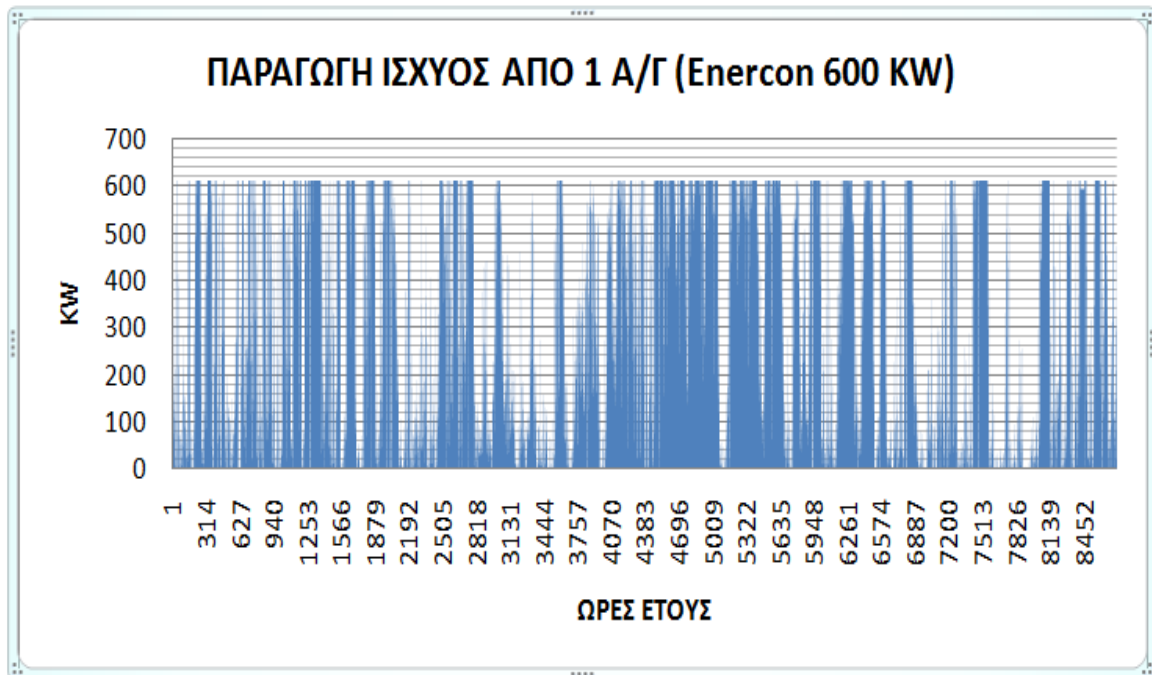
Σύμφωνα λοιπόν με τα ανεμολογικά δεδομένα ενός έτους που συλλέξαμε από τον ανεμολογικό ιστό, χρησιμοποιώντας την καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας που μας δίνει η κατασκευάστρια εταιρία και που παρουσιάζεται παρακάτω και με την χρήση του υπολογιστικού προγράμματος υπολογίσαμε την ισχύ της ανεμογεννήτριας για όλο το έτος. Η παραγόμενη ισχύς παρουσιάζεται γραφικά παρακάτω.

ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ (m/s)	ΙΣΧΥΣ Α/Γ (kw)
0	0,00
1	0,00
2	0,00
3	1,70
4	14,00
5	40,80
6	79,60
7	134,80
8	207,10
9	292,60
10	403,40
11	508,10
12	554,60
13	613,20
14	613,20
15	613,20
16	613,20
17	613,20
18	613,20
19	613,20
20	613,20
21	613,20
22	613,20
23	613,20
24	613,20
25	613,20
26	613,20
27	613,20
28	613,20
29	0,00
30	0,00

Πίνακας 7. Ισχύς Α/Γ ανά ταχύτητα ανέμου



Γράφημα 17. Καμπύλη ισχύος Α/Γ Enercon E-40 600KW



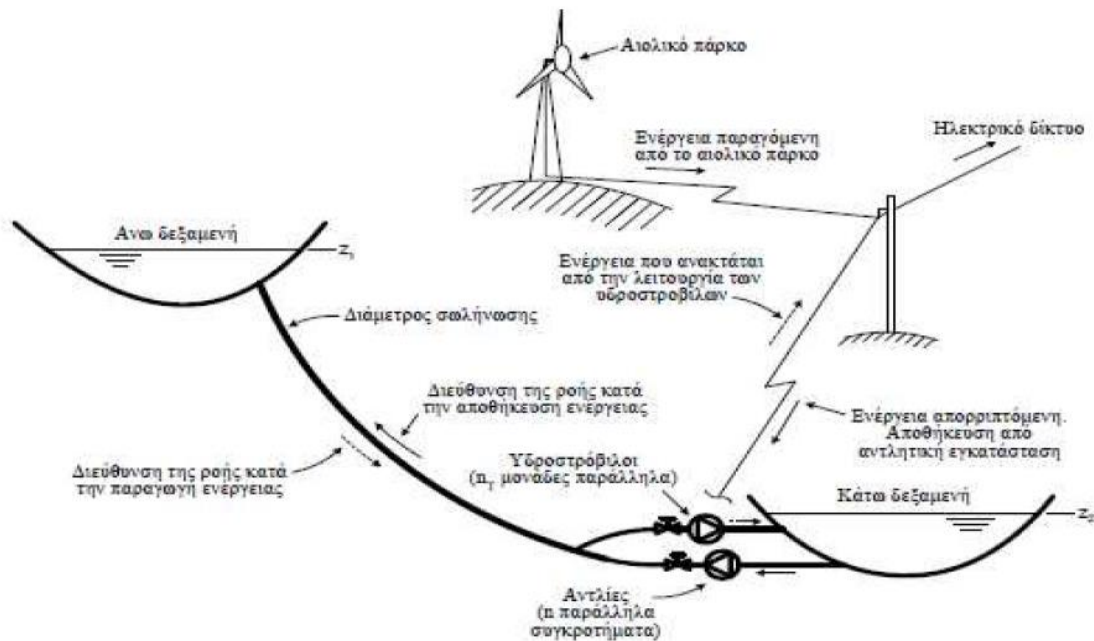
Γράφημα 18. Ετήσια παραγωγή ισχύος

2.4.4 Διαστασιολόγηση έργου

Ένα αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό συνδυάζεται με μία μονάδα ανανεώσιμης πηγής ενέργειας – Α.Π.Ε. – (π.χ. αιολικό πάρκο) προκειμένου να μεγιστοποιήσει την παραγωγή ενέργειας από Α.Π.Ε. σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Η λειτουργία αυτή παρουσιάζεται στην Εικόνα 16. Στην εικόνα 16, σε μία δεδομένη χρονική στιγμή ο σταθμός παραγωγής τροφοδοτείται με ηλεκτρική ισχύ P_w από τα αιολικά πάρκα. Το σύστημα διαχείρισης ενέργειας (Σ.Δ.Ε.) ελέγχει αν η στιγμιαία παραγωγή ισχύος από τα αιολικά πάρκα P_w είναι μεγαλύτερη από τη στιγμιαία ζήτηση P_d . Διακρίνονται οι ακόλουθες περιπτώσεις:

A) Αν $P_w > P_d$, η ζήτηση ηλεκτρικής ισχύος καλύπτεται εξ' ολοκλήρου από τα αιολικά πάρκα. Οι αντλίες του συστήματος αντλησιοταμίευσης τροφοδοτούνται με ισχύ $P_p = P_w - P_d$, με σκοπό να αποθηκευτεί με τη μορφή δυναμικής ενέργειας στην άνω δεξαμενή του συστήματος. Στην περίπτωση που η άνω δεξαμενή του αντλησιοταμιευτήρα είναι γεμάτη, η διαθέσιμη περίσσεια ισχύος δεν μπορεί να αποθηκευθεί. Η περίσσεια της ενέργειας αυτής μπορεί να αξιοποιηθεί σε άλλες εφαρμογές (παραγωγή υδρογόνου, αφαλάτωση, κλπ).

B) Αν $P_w < P_d$, η παραγόμενη αιολική ισχύς προσφέρεται ολόκληρη για την κάλυψη της ζήτησης. Την ίδια χρονική στιγμή, παράγεται από τους υδροστρόβιλους συμπληρωματική ηλεκτρική ισχύς $P_h = P_d - P_w$, προκειμένου να συμπληρωθεί το έλλειμμα στην παραγωγή ισχύος από τα αιολικά πάρκα.



Εικόνα 16. Συνδυασμός αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού και αιολικού πάρκου.

➤ Αλγόριθμος λειτουργίας

Για κάθε ώρα του έτους, που είναι το χρονικό βήμα υπολογισμού, εισάγονται ως δεδομένα η διαθέσιμη ισχύς P_{RES} από τη μονάδα ΑΠΕ και η ζήτηση ισχύος P_d

Αν P_p είναι η ονομαστική ισχύς των μονάδων αποθήκευσης (αντλίες) τότε υπολογίζεται η δυναμένη να αποθηκευθεί ισχύς P_{st} :

- Αν $P_{RES} > P_p$, τότε $P_{st} = P_p$.
- Αν $P_{RES} \leq P_p$, τότε $P_{st} = P_{RES}$.

Υπολογίζεται ο όγκος που πρέπει να προστεθεί στην άνω δεξαμενή προκειμένου να αποθηκευτεί ισχύς P_{st} για χρονικό βήμα διάρκειας t :

- $V_p = \eta_p \cdot P_{st} \cdot t / \gamma \cdot H$.

Υπολογίζεται ο όγκος νερού που θα πρέπει να αφαιρεθεί από την άνω δεξαμενή προκειμένου να καλυφθεί η ζήτηση ισχύος P_d από τους υδροστροβίλους για το χρονικό βήμα διάρκειας t :

- $V_h = P_d \cdot t / \eta_h \cdot \gamma \cdot H$.

Ο παραμένων όγκος νερού κατά το τρέχον χρονικό βήμα j στην άνω δεξαμενή θα είναι:

- $V_{st}(j) = V_{st}(j-1) + V_p - V_h$

Ελέγχεται αν ο παραμένων όγκος νερού στην άνω δεξαμενή υπερβαίνει τη μέγιστη χωρητικότητα της δεξαμενής:

- Αν $V_{st}(j) > V_{max}$, τότε:

$$P_{st} = 0$$

$$P_{rej} = P_{RES}$$

$$V_{st}(j) = V_{st}(j-1) - V_h.$$

- $V_{st}(j) = V_{st}(j-1) - V_h.$

$$P_{st} = P_p$$

$$P_{rej} = P_{RES} - P_p.$$

Επιπλέον ελέγχεται αν ο παραμένων όγκος νερού στην άνω δεξαμενή είναι μικρότερος από τον ελάχιστο περιεχόμενο σε αυτήν:

- Αν $V_{st}(j) \geq V_{min}$, τότε:

$$P_h = P_d$$

$$P_{th} = 0$$

$$V_{st}(j) = V_{st}(j-1) + V_p - V_h.$$

Για τον υπολογισμό της ωριαίας διείσδυσης ($P_{w\delta}$) από το αιολικό πάρκο θα έχουμε:

- $P_{w\delta}(j) = \text{ποσοστό διείσδυσης} * P_w(j)$

Για την Αρχική παραγωγή υδροστροβίλων ($P_t(j)$) θα έχουμε:

Αν $(V_{st}(j-1) - (\text{συντελεστής όγκου υδατόπτωσης} * (P_d - P_{w\delta})) \geq V_{min}$

Τότε $P_t = P_d - P_{w\delta}$

Αλλιώς $P_t = 0$

Συντελεστής όγκου υδατόπτωσης = $(3600 * 1000000 / (\text{βαθμό απόδοσης υδροστροβίλων} * \text{φυσική υδατόπτωση} * \rho * g))$

Για την παραγωγή των θερμικών μονάδων του συστήματος για την κάλυψη της ζήτησης θα έχουμε :

- $P_{\theta\epsilon\rho}(j) = P_d(j) - P_{w\delta}(j) - P_t(j)$

✚ (κάνουμε αυτό τον υπολογισμό για τις θερμικές μονάδες για να δούμε αν το αιολικό πάρκο και το αποθηκευτικό μέσο μας καλύπτουν όλες τις ώρες του έτους, το σύνολο της παραγωγής των θερμικών μονάδων όλου του έτους πρέπει να μας βγει 0 για να έχουμε ένα πλήρως αυτόνομο νησί μόνο με Α.Π.Ε.).

Για την παροχή όγκου των υδροστροβίλων θα έχουμε :

$$Q_t(j) = (P_t(j) * 10^6) / (\text{βαθμό απόδοσης υδροστροβίλων} * \rho * g * \text{φυσική υδατόπτωση})$$

✚ (φυσική υδατόπτωση = υψομετρική διαφορά από τη δεξαμενή μέχρι τους υδροστρόβιλους σε μέτρα)

Για την παροχή όγκου αντλιών θα έχουμε :

- $Q_p(j) = (P_p(j) * 10^6 * \text{βαθμό απόδοσης αντλιών}) / (\rho * g * \text{ύψος άντλησης})$

✚ (Υψος άντλησης = με την υψομετρική διαφορά από την άνω δεξαμενή μέχρι τις αντλίες σε μέτρα)

Για τις απώλειες ροής υδατόπτωσης θα έχουμε :

- $H_{f_v}(j) = (\text{συντελεστής απωλειών υδατόπτωσης} * \text{μήκος σωληνώσεων} * 8 * Q_t(j)^2) / (\text{διάμετρο σωληνώσεων υδατόπτωσης}^5 * \pi^2 * g)$

✚ (συντελεστής απωλειών υδατόπτωσης = 0,1014)

✚ (διάμετρος σωληνώσεων υδατόπτωσης = 1,40 m)

✚ (μήκος σωληνώσεων = 1620 m)

Για τις απώλειες ροής άντλησης θα έχουμε :

- $H_{fa}(j) = (\text{συντελεστής απωλειών άντλησης} * \text{μήκος σωληνώσεων} * 8 * Q_p(j) ^ 2) / (\text{διάμετρος σωληνώσεων} ^ 5 * \pi ^ 2 * g)$

✚ (Συντελεστής απωλειών άντλησης = 0,1014)

✚ (Μήκος σωληνώσεων = 1620 m)

✚ (Διάμετρος σωληνώσεων = 1,40 m)

Για το μανωμετρικό υδατόπτωσης θα έχουμε :

- $H_t(j) = \text{φυσική υδατόπτωση} - H_{fa}(j)$

Για το μανομετρικό άντλησης θα έχουμε :

- $H_p(j) = \text{ύψος άντλησης} + H_{fa}(j)$

Για την οριστική ισχύς των υδροστροβίλων(j) θα έχουμε :

- $A_n (V_{st}(j-1) - ((\text{συντελεστής όγκου υδατόπτωσης} / H_t(j-1)) * (P_d(j) - P_{w\delta}(j)))) \geq V_{min}$

Τότε ορισ. Ισχύς υδρ/λων = $P_d(j) - P_{w\delta}(j)$

Αλλιώς ορισ. Ισχύς υδρ/λων = 0

Όπου V_{min} = ελάχιστος όγκος νερού

Συντελεστής όγκου υδατόπτωσης = $(3600 * 1000000) / (\text{βαθμό απόδοσης υδροστροβίλων φυσική υδατόπτωση} * \rho * g)$

Για την οριστική ισχύς των αντλιών θα έχουμε :

- $A_n (V_p(j-1) + (\text{συντελεστής όγκου άντλησης} / H_p(j)) * (P_w(j) - P_{w\delta}(j))) \leq \text{χωρητικότητα άνω δεξαμενής}$

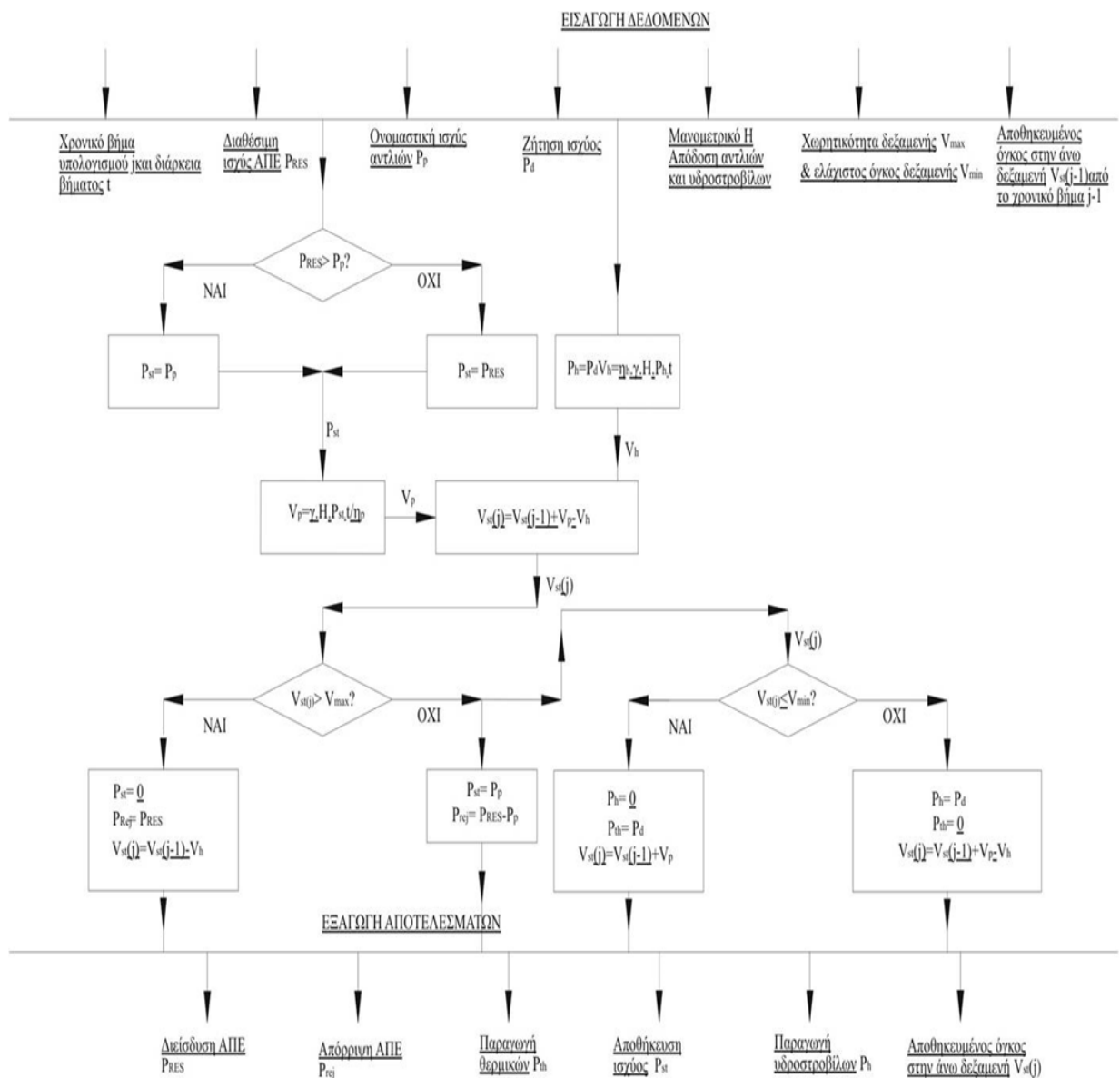
Τότε ορισ. Ισχύς αντλιών = $P_w(j) - P_{w\delta}(j)$

Αλλιώς ορισ. Ισχύς αντλιών = 0

Συντελεστής όγκου άντλησης = $(3600 * 1000000 * \text{βαθμό απόδοσης αντλιών}) / (\text{ύψος άντλησης} * \rho * g)$

Χωρητικότητα άνω δεξαμενής = 1000000 m^3

Παρακάτω ακολουθεί σε σχεδιάγραμμα όλη η λειτουργία του παραπάνω αλγορίθμου, από την εισαγωγή των δεδομένων μέχρι την εξαγωγή των χρήσιμων αποτελεσμάτων για την διαστασιολόγηση. Τα αποτελέσματα που εξέρχονται από τους υπολογισμούς, μας βοηθούν ώστε να ορίσουμε το μέγεθος του αιολικού πάρκου, δηλαδή την ονομαστική του ισχύ, καθώς και το μέγεθος σε κυβικά μέτρα της άνω δεξαμενής ώστε να έχουμε πάντα επάρκεια ισχύος.



Εικόνα 17. Σχηματική απεικόνιση αλγορίθμου λειτουργίας υβριδικού σταθμού παραγωγής^[10]

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα κυριότερα μεγέθη που αφορούν στον εξοπλισμό του έργου και που προέκυψαν ύστερα από τη διαστασιολόγηση και τους υπολογισμούς τους οποίους κάναμε.

ΚΥΡΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ	
ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ Α.Π. (MW)	9,6
ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ (MW)	4,00
ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΑΝΤΛΙΩΝ (MW)	9,60
ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΠΑΡΟΧΗ ΥΔΡΟΣΤΟΒΙΛΩΝ (m ³ /s)	1,15
ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΠΑΡΟΧΗ ΑΝΤΛΙΩΝ (m ³ /s)	1,71
ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΝΩ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ (m ³)	1000000
ΑΡΧΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΝΩ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ (m ³)	100000
ΕΛΑΧΙΣΤΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΝΩ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ (m ³)	80000
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ (m)	1,40
ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ	2
ΜΗΚΟΣ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ (m)	1620
ΜΑΝΟΜΕΤΡΙΚΟ ΑΝΤΛΗΣΗΣ ΠΤΩΣΗΣ (m)	400
ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ	0,8
ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΑΝΤΛΙΩΝ	0,7

Πίνακας 8. Στοιχεία του έργου

➤ **Λεπτομέρειες έργου**

Η διαστασιολόγηση του έργου έγινε με σκοπό το νησί της Σύμης να απ' εξαρτηθεί πλήρως από την ηλεκτρική ενέργεια που προέρχονταν από ορυκτά καύσιμα. Για το λόγο αυτό ο υβριδικός σταθμός πρέπει να παρέχει αδιάλειπτα την ισχύ που ζητείται κάθε στιγμή για την κάλυψη της ζήτησης.

Έτσι ύστερα από υπολογισμούς προέκυψε ότι το αιολικό πάρκο θα πρέπει να είναι ονομαστικής ισχύος 9,6 MW έτσι ώστε να είναι ικανό να παράγει την επιθυμητή ποσότητα ενέργειας για την κάλυψη της ζήτησης.

Το ποσοστό της παραγωγής του αιολικού πάρκου που διοχετεύεται απευθείας στο δίκτυο είναι 30%, το ποσοστό αυτό είναι σχετικά μικρό και ο λόγος είναι ότι αν το ποσοστό αυτό ήταν μεγαλύτερο σε μια ενδεχόμενη απότομη πτώση της παραγωγής ενέργειας από το αιολικό, λόγω πτώσης της έντασης του ανέμου, θα παρουσιάζονταν έλλειψη ισχύος, οι μονάδες υδροστροβίλων δεν θα προλάβαιναν να καλύψουν την ζήτηση και έτσι θα οδηγούμασταν δε διακοπή της ηλεκτροδότησης.

Αν το αιολικό πάρκο παράγει περισσότερη ενέργεια από το 30% της ζητούμενης τότε οι αντλίες ξεκινούν να δουλεύουν και με την περίσσια ενέργεια ανεβάζουν νερό στην άνω δεξαμενή για να αποθηκευτεί εκεί.

Η ονομαστική ισχύς των υδροστροβίλων υπολογίστηκε σε 4 MW. Αυτό έγινε με την εξής λογική, βρήκαμε τη μέγιστη ισχύ που χρειάζονται οι υδροστρόβιλοι για να μας παρέχουν την απαιτούμενη ενέργεια, που είναι 3,6 MW, ορίζουμε όμως ότι η ονομαστική ισχύ των υδροστροβίλων τελικά θα είναι 4 MW διότι είναι και η μέγιστη ζήτηση που παρουσιάζει το νησί και με δεδομένο ότι μπορεί κάποια στιγμή να παρουσιαστεί μέγιστη ζήτηση και ταυτόχρονα να μην έχουμε καθόλου παραγωγή από τα αιολικά, πρέπει οι υδροστρόβιλοι να μπορούν να καλύψουν την μέγιστη ζήτηση.

Η ονομαστική ισχύς των αντλιών υπολογίστηκε σε 9,6 MW, με την ίδια λογική που υπολογίσαμε και τους υδροστρόβιλους παραπάνω βρήκαμε τη μέγιστη ισχύ των αντλιών που χρειαζόμαστε, για να μας παρέχουν την απαιτούμενη ποσότητα νερού στο αποθηκευτικό μέσο.

Στη συνέχεια υπολογίσαμε την ονομαστική παροχή υδροστροβίλων βρίσκοντας την μέγιστη παροχή που χρειαζόμαστε για όλες τις ώρες του έτους και είναι 1,15 m³/s. Με τον ίδιο τρόπο βρήκαμε και την ονομαστική παροχή αντλιών που είναι 1,71 m³/s

Η συνολική χωρητικότητα της άνω δεξαμενής υπολογίστηκε σε 1.000.000 m³, ο υπολογισμός αυτός έγινε με κριτήριο η δεξαμενή να έχει όλο το χρόνο επάρκεια νερού ώστε να τροφοδοτεί τους υδροστρόβιλους όταν είναι απαραίτητο. Ο ελάχιστος όγκος της δεξαμενής ορίστηκε να είναι 80.000 m³, κάτω από αυτό τον όγκο η δεξαμενή δεν μπορεί να τροφοδοτήσει με νερό τους υδροστρόβιλους. Επίσης ορίστηκε ένας αρχικός όγκος δεξαμενής στα 100.000 m³ για να καταφέρει το έργο να λειτουργήσει από την πρώτη μέρα. Όπως παρατηρούμε αναφερόμαστε μόνο στην άνω δεξαμενή γιατί αυτή είναι που ορίζει τις παραμέτρους του έργου και μετέχει στην διαστασιολόγηση του. Η κάτω δεξαμενή δεν μας ενδιαφέρει τι χωρητικότητα θα έχει αρκεί να είναι μεγαλύτερη της πάνω.

Η διάμετρος των σωληνώσεων υπολογίστηκε με βάση τους αλγόριθμους που αναφέρθηκαν πιο πάνω και βρήκαμε πως θα πρέπει να είναι διαμέτρου 1,40 m τόσο για την άντληση όσο και για την υδραυλική πτώση ώστε οι απώλειες τόσο κατά την άντληση όσο και για την πτώση να είναι μέσα στα επιτρεπτά όρια. Για το υβριδικό μας σύστημα επιλέχθηκε να έχει δύο σωληνώσεις, μία για την άντληση και μία για την υδραυλική πτώση. Αυτό έγινε για να μπορεί ταυτόχρονα το υβριδικό μας σύστημα και να παρέχει ισχύ από τους υδροστροβίλους αλλά και να αποθηκεύει την ίδια στιγμή νερό μέσω των αντλιών.

Το μήκος των σωληνώσεων φτάνει τα 1620 m, αυτό προέκυψε από την απόσταση της άνω επιφάνειας της άνω δεξαμενής μέχρι το κτήριο εγκαταστάσεων όπου βρίσκονται οι υδροστρόβιλοι και οι αντλίες. Τέλος το μανομετρικό άντλησης και πτώσης υπολογίστηκε από την υψομετρική διαφορά από την άνω δεξαμενή μέχρι το κτήριο εγκαταστάσεων και είναι 400 m.

Στη συνέχεια βλέπουμε συγκεντρωμένα σε ένα πίνακα τα ετήσια αποτελέσματα ζήτησης και παραγωγής ενέργειας.

ΕΤΗΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	
ΖΗΤΗΣΗ (GWh)	15,50
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΠΟ Α.Π. (GWh)	43,00
ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ Α.Π. (GWh)	4,02
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΝΤΛΙΩΝ (GWh)	21,82
ΠΕΡΙΣΣΕΙΑ Α.Π. (GWh)	17,16
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΔΡΟΣΤΟΒΙΛΩΝ (GWh)	11,47
ΣΥΝΟΛΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ Α.Π.Ε. (GWh)	54,47
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΘΕΡΜΙΚΩΝ (GWh)	0,00

Πίνακας 9. Αποτελέσματα υπολογισμών

Η ζήτηση ενέργειας προέκυψε από την πρόσθεση της ωριαίας ζητούμενης ισχύς από χρονοσειρές που μας δόθηκαν από την αρμόδια αρχή.

Για την παραγωγή των αιολικών πάρκων αφού χρησιμοποιήσαμε το πρόγραμμα που αναφέρθηκε παραπάνω, βγάλαμε την παραγωγή που θα παίρνουμε ανά ώρα από μια ανεμογεννήτρια συμφώνα με τα ανεμολογικά δεδομένα της περιοχής που μας δόθηκαν, στη συνέχεια πολλαπλασιάσαμε με τον αριθμό των ανεμογεννητριών που τελικά θα εγκατασταθούν και τέλος προσθέσαμε την ισχύ που παράγουν όλες οι ανεμογεννήτριες ανά ώρα για όλο το χρόνο.

Για τη διείσδυση του αιολικού πάρκου προσθέσαμε για όλες τις ώρες του έτους την ισχύ που πάει κατευθείαν στο δίκτυο.

Το ίδιο έγινε και με την συνολική ενέργεια των αντλιών η οποία είναι η πρόσθεση της ισχύς των αντλιών που χρειαζόμαστε για να αποθηκεύουμε ενέργεια σε μορφή νερού, για κάθε ώρα του έτους.

Στο ίδιο επίπεδο κινηθήκαμε για να βρούμε και την παραγωγή των υδροστροβίλων δηλαδή προσθέτοντας την ισχύ τους για κάθε ώρα του έτους.

Όσο αναφορά την περίσσεια, που είναι η ενέργεια που παράγεται αφενός από τα αιολικά αλλά ούτε διοχετεύεται απευθείας στο δίκτυο ούτε αποθηκεύεται, είναι το σύνολο της περίσσειας ενέργειας που 'πάει χαμένη' και δεν καλύπτει την ζήτηση.

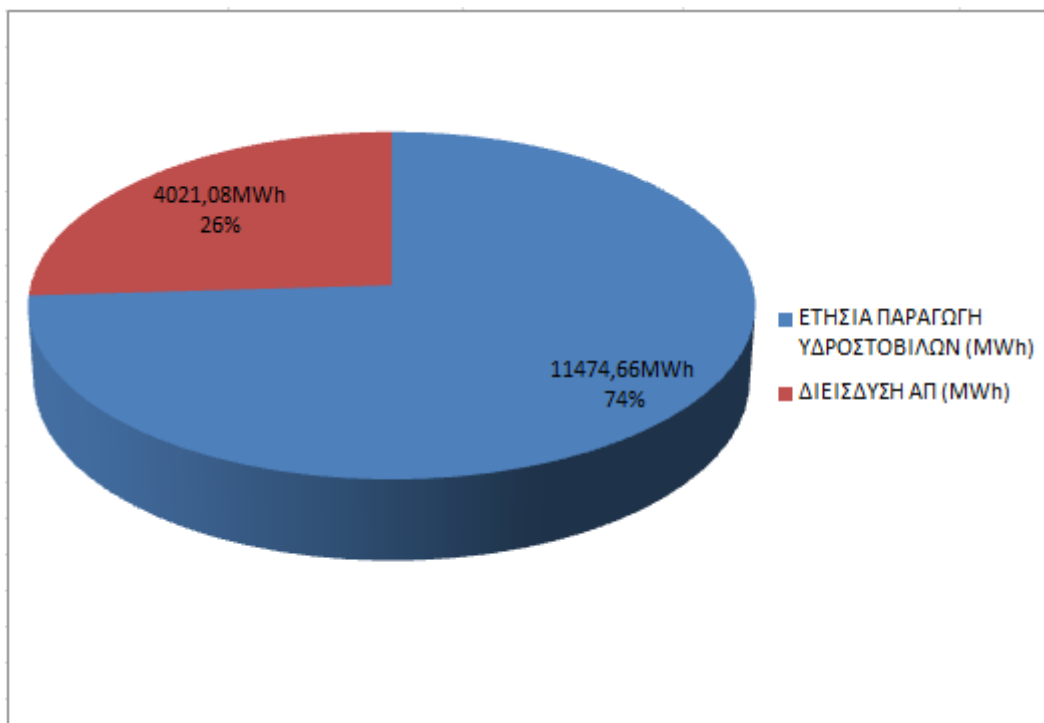
Σαν σύνολο παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θεωρούμε όλο το ποσό που περάχθηκε και από το αιολικό πάρκο αλλά και από τους υδροστροβίλους.

Τέλος η παραγωγή θερμικών είναι φυσικό να μας βγαίνει 0 GWh γιατί θέλουμε το νησί να ηλεκτροδοτείται πλήρως από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και να απ' εξαρτηθεί από συμβατικές μονάδες παραγωγής.

➤ Γραφήματα

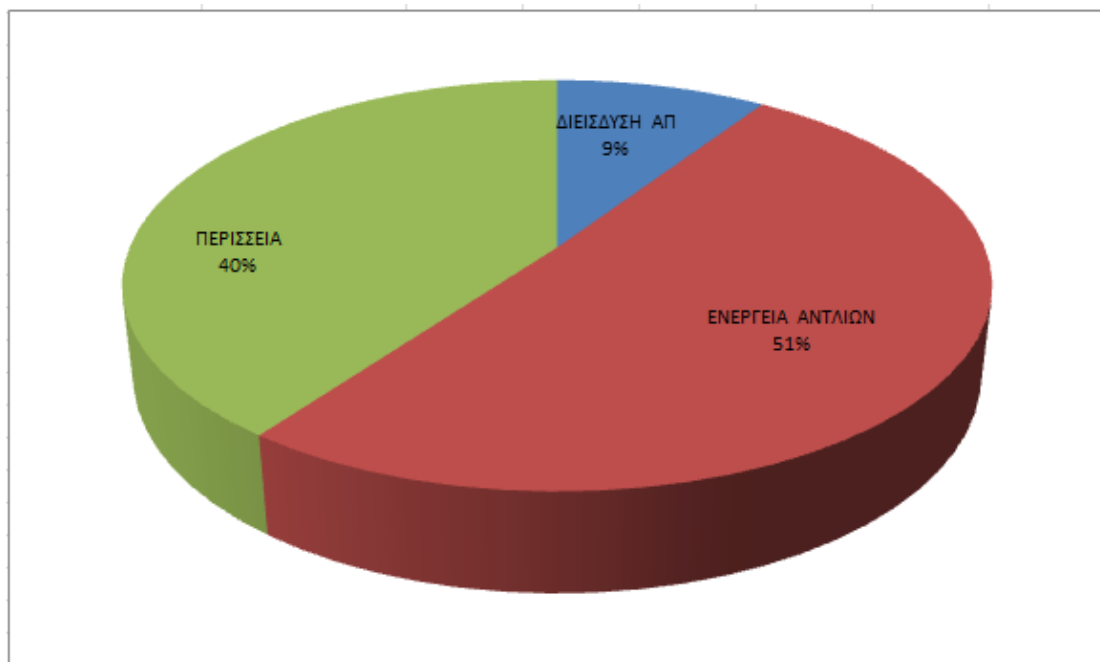
Στη συνέχεια παρουσιάζονται κάποια γραφήματα που πρόεκυψαν μετά από τους υπολογισμούς και μπορούν να μας βοηθήσουν να κατανοήσουμε καλύτερα την λειτουργία του υβριδικού σταθμού παραγωγής.

Το πρώτο γράφημα μας δείχνει το ποσοστό αλλά και τη συνολική ενέργεια σε MWh που καταλήγει για την κάλυψη της ζήτησης από την απευθείας διείσδυση των αιολικών αλλά και από την παραγωγή των υδροστροβίλων.



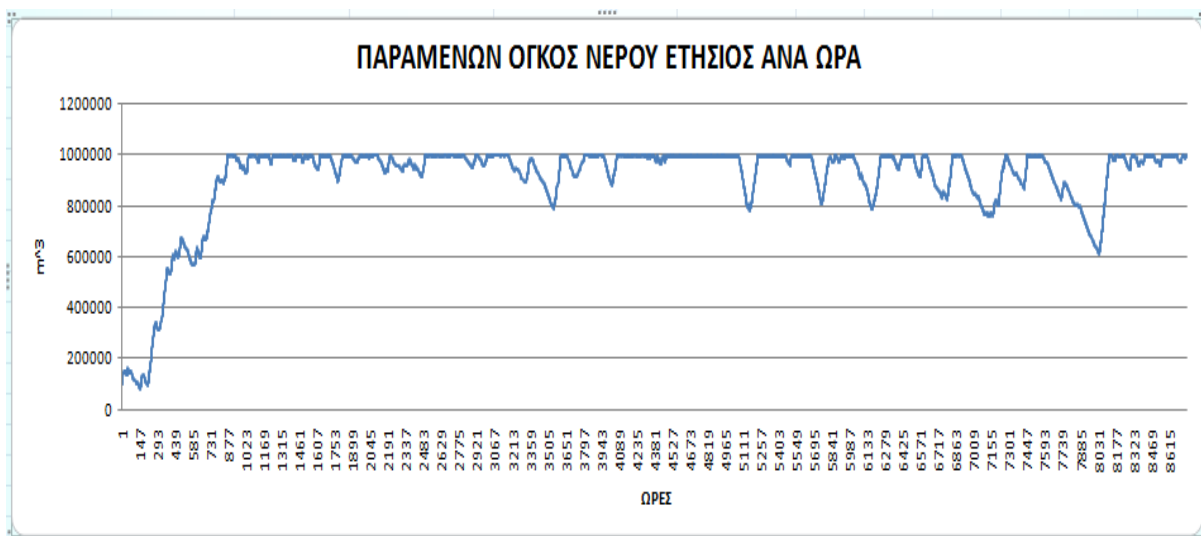
Γράφημα 19. Ποσοστά μονάδων για κάλυψη της ζήτησης

Το επόμενο γράφημα μας δείχνει πως κατανέμονται τα ποσοστά της παραγωγής των αιολικών σε απευθείας διείσδυση στο δίκτυο, σε ενέργεια που πάει να αποθηκευτεί μέσω των αντλιών και σε περίσσεια που απορρίπτεται.



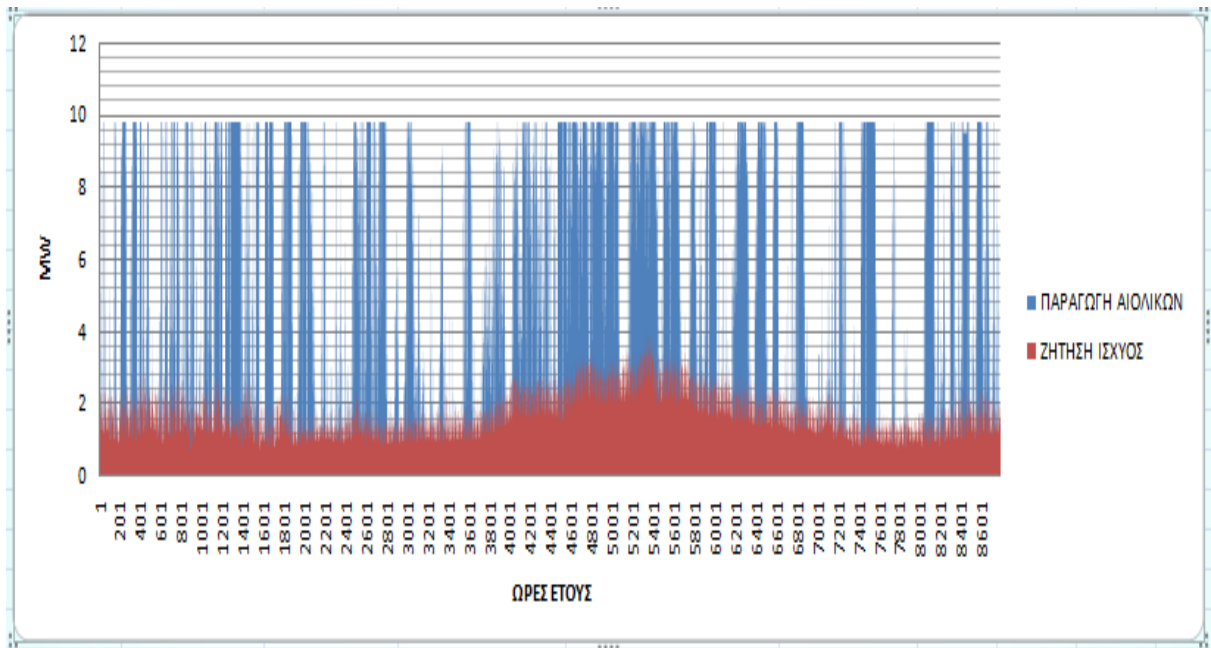
Γράφημα 20. Κατανομή ποσοστών αιολικής παραγωγής

Στο επόμενο γράφημα μπορούμε να δούμε πως κυμαίνεται η στάθμη του νερού του άνω ταμιευτήρα για όλες τις ώρες του έτους. Όπως παρατηρούμε ο όγκος του νερού στην αρχή του έτους δεν ξεκάνει από το 0 αλλά από τα 100.000 m³, αυτό γίνεται γιατί έχουμε ορίσει σαν αρχικό όγκο της άνω δεξαμενής τα 100.000 m³, έτσι ώστε το υβριδικό να μπορεί να ανταποκριθεί στη ζήτηση από την πρώτη ώρα. Επίσης μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι κάποιες ώρες του έτους η στάθμη του νερού πέφτει αρκετά, αυτό συμβαίνει διότι εκείνες τις ώρες έχουμε είτε αυξημένη ζήτηση είτε χαμηλή παραγωγή από τα αιολικά, ή και τα δυο μαζί.



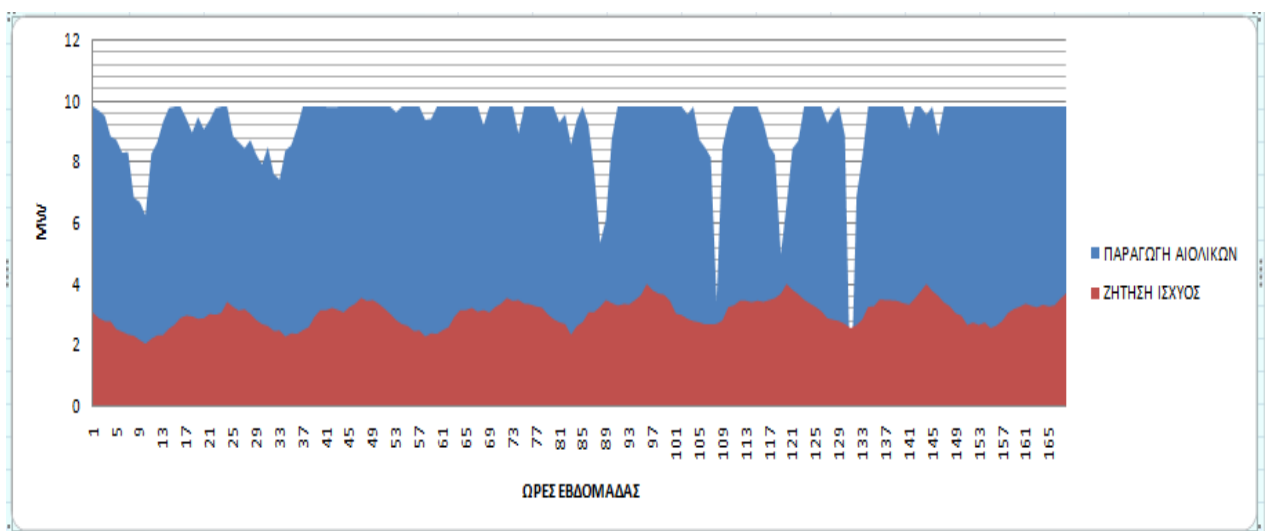
Γράφημα 21. Στάθμη νερού άνω ταμιευτήρα

Στο παρακάτω γράφημα παρατηρούμε για όλες τις ώρες του έτους την ζητούμενη ισχύ του δικτύου και ταυτόχρονα την παραγωγή ισχύος από το αιολικό πάρκο. Το συμπέρασμα που μπορούμε να βγάλουμε από το γράφημα αυτό είναι ότι, για να μπορέσει να καλυφτεί η ζήτηση, η εγκατεστημένη ισχύς των αιολικών πρέπει να είναι αρκετά μεγαλύτερη από την μέγιστη ζητούμενη ισχύ, αυτό οφείλεται στο ότι τα αιολικά δεν μπορούν να παράγουν κάθε στιγμή την ζητούμενη ισχύ του δικτύου διότι η παραγωγή τους εξαρτάται αποκλειστικά από την ένταση του ανέμου.



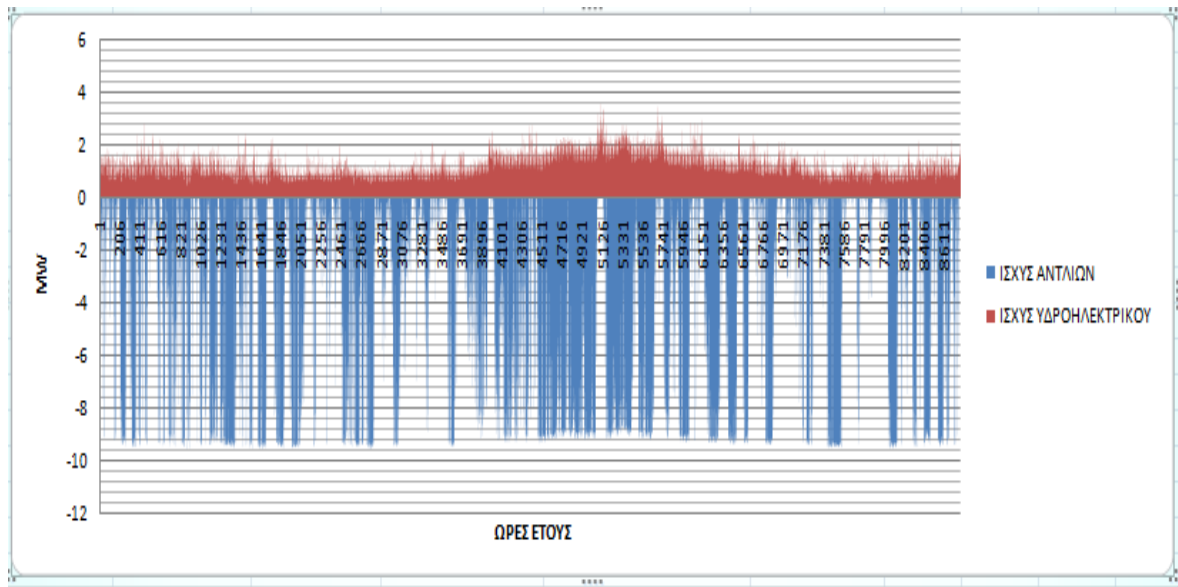
Γράφημα 22. Παραγωγή αιολικών – ζήτηση ισχύος έτους

Τα ίδια με το παραπάνω γράφημα βλέπουμε και στο επόμενο αλλά αυτή τη φορά μόνο για τις ώρες μιας εβδομάδας. Διαλέξαμε να παρουσιάσουμε μια εβδομάδα του καλοκαιριού που παρουσίασε την μέγιστη ζήτησης ισχύος.



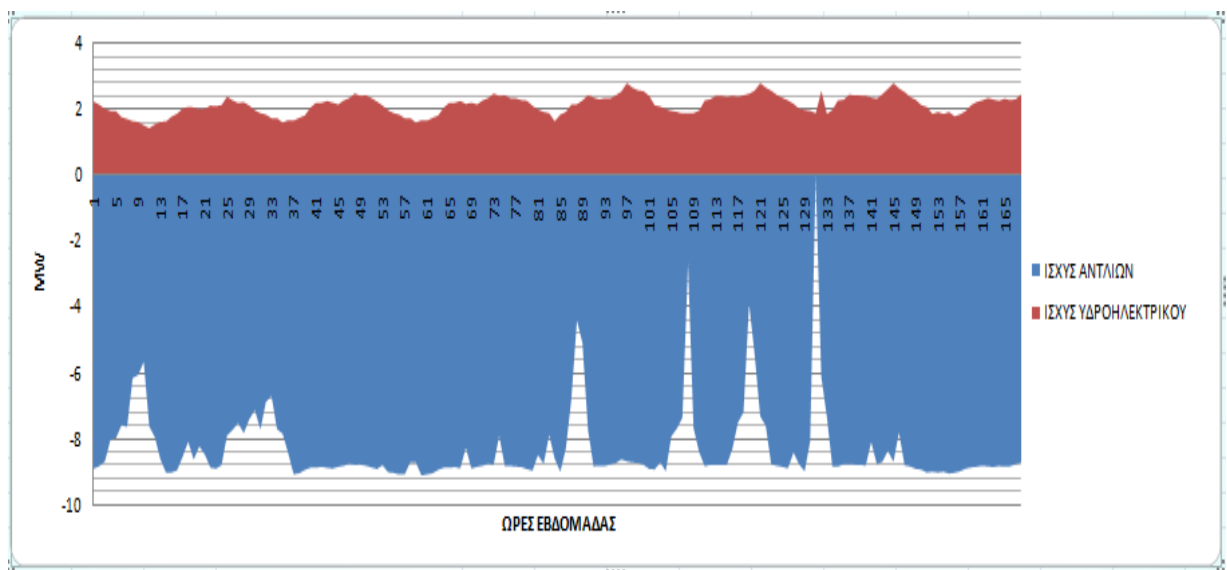
Γράφημα 23. Παραγωγή αιολικών – ζήτηση ισχύος εβδομάδας

Στο επόμενο γράφημα βλέπουμε την ισχύ των υδροστροβίλων για κάθε ώρα που παράγουν ενέργεια, για να διοχετευτεί στο δίκτυο και παράλληλα την ισχύς των αντλιών για κάθε ώρα που καταναλώνουν, για να αποθηκευτεί νερό στον άνω ταμιευτήρα. Η ισχύς των αντλιών είναι αρκετά μεγαλύτερη από αυτή του υδροηλεκτρικού και αυτό οφείλεται στο ότι οι αντλίες έχουν μικρότερο βαθμό απόδοσης, αλλά και στο ότι οι αντλίες χρειάζεται να αποθηκεύουν μεγαλύτερο ποσό ενέργειας που περισσεύει από τα αιολικά, από ότι χρειάζεται να παράγει το υδροηλεκτρικό για να εξυπηρετήσει την ζήτηση.



Γράφημα 24. Ισχύς υδροηλεκτρικού – αντλιών έτους

Τα ίδια με το παραπάνω γράφημα βλέπουμε και στο επόμενο αλλά αυτή τη φορά μόνο για τις ώρες μιας εβδομάδας. Διαλέξαμε να παρουσιάσουμε μια εβδομάδα του καλοκαιριού που παρουσίασε την μεγίστη ζήτησης ισχύος



Γράφημα 25. Ισχύς υδροηλεκτρικού – αντλιών εβδομάδας

2.5 Εγκατάσταση φωτοβολταϊκού πάρκου και αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού

Στην παρούσα ενότητα θα παρουσιαστεί ολόκληρη η μελέτη και οι υπολογισμοί που έγιναν για την εγκατάσταση στο νησί της Σύμης φωτοβολταϊκού πάρκου (ενιαίου ή σε μικρότερα πάρκα ή ακόμα και σε στέγες σπιτιών) ονομαστικής ισχύος 17 MW. Καθώς επίσης και πληροφορίες και υπολογισμοί που έγιναν για την επιλογή του κατάλληλου μεγέθους και τύπου του αποθηκευτικού μέσου, που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι ένα αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό με χωρητικότητας άνω δεξαμενής 1.500.000 κυβικά μετρά νερού.

2.5.1 Φωτοβολταϊκά

Φωτοβολταϊκά Πλαίσια χαρακτηρίζονται οι βιομηχανικές διατάξεις μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Στην ουσία πρόκειται για ηλεκτρογεννήτριες που συγκροτούνται από πολλά ΦΒ στοιχεία σε επίπεδη διάταξη (ηλεκτρονικά συνδεδεμένα) που έχουν ως βάση λειτουργίας το ΦΒ φαινόμενο, το οποίο αφορά τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Στην εικόνα 18 φαίνεται ένα ΦΒ πλαίσιο.



Εικόνα 18. ΦΒ πλαίσιο

Φωτοβολταϊκό στοιχείο (PV cell) είναι η ηλεκτρονική διάταξη που παράγει ηλεκτρική ενέργεια όταν δέχεται ακτινοβολία. Λέγεται ακόμα φωτοβολταϊκό κύτταρο ή φωτοβολταϊκή κυψέλη. Η απορρόφηση της ενέργειας του φωτός από τα ηλεκτρόνια των ατόμων του Φ/Β στοιχείου και η απόδραση των ηλεκτρονίων αυτών

από τις κανονικές τους θέσεις με αποτέλεσμα την δημιουργία ρεύματος είναι το φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Το ηλεκτρικό πεδίο που προϋπάρχει στο Φ/Β στοιχείο οδηγεί το ρεύμα στο φορτίο. Στην εικόνα 19 φαίνεται η μορφή ενός ΦΒ Στοιχείου.



Εικόνα 19. Φωτοβολταϊκό στοιχείο

Η πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας υπό κατάλληλη γωνία, δημιουργεί ηλεκτρική τάση και με την κατάλληλη σύνδεση σε φορτίο παράγεται συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο από τους αντιστροφείς (inverters).

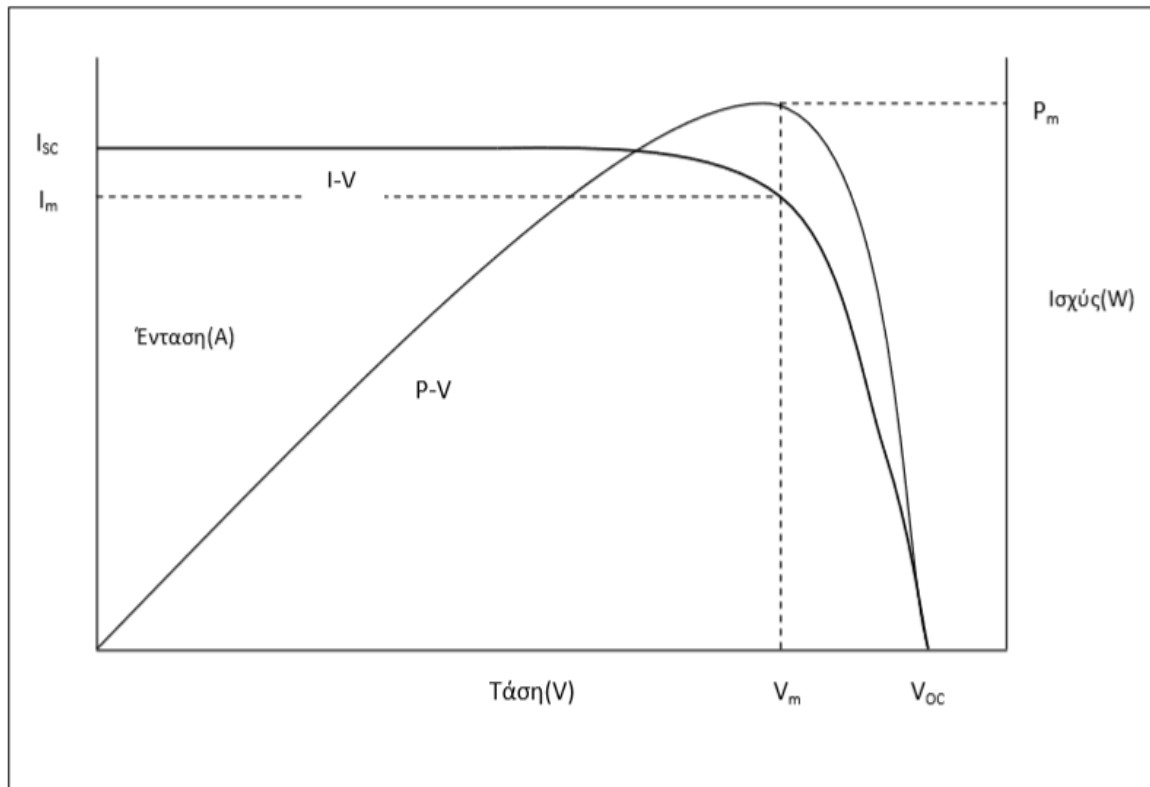
Το φωτοβολταϊκό πανέλο (PV panel) περιλαμβάνει ένα ή περισσότερα φωτοβολταϊκά πλαίσια, που έχουν προκατασκευαστεί και συναρμολογηθεί σε ενιαία κατασκευή, έτοιμη για να εγκατασταθεί σε φωτοβολταϊκή εγκατάσταση. Η φωτοβολταϊκή συστοιχία (PV array) είναι μια ομάδα από φωτοβολταϊκά πλαίσια ή πάνελα με ηλεκτρική αλληλοσύνδεση, τοποθετημένα συνήθως σε κοινή κατασκευή στήριξης.

Το ΦΒ στοιχείο έχει μια αρκετά ασυνήθιστη συμπεριφορά ως πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Σε αντίθεση με τις περισσότερες ηλεκτρικές πηγές, οι οποίες διατηρούν σταθερή περίπου τάση στην περιοχή της κανονικής τους λειτουργίας, η τάση των ΦΒ στοιχείων μεταβάλλεται ριζικά (και μη γραμμικά) σε συνάρτηση με την ένταση του ρεύματος που δίνουν στο κύκλωμα, ακόμα και εάν η ακτινοβολία που δέχονται παραμένει σταθερή.

Η μεταβολή της τάσης V σε συνάρτηση με την ένταση I ενός ΦΒ στοιχείου ορίζει την καμπύλη I - V . Στο γράφημα 26 απεικονίζεται μια τυπική καμπύλη I - V για ένα ΦΒ στοιχείο πυριτίου, καθώς και η αντίστοιχη καμπύλη P - V του ΦΒ στοιχείου που προκύπτει, όπου P είναι η ισχύς που αποδίδεται.

Σε κατάσταση βραχυκύκλωσης του ΦΒ στοιχείου, η ένταση του ρεύματος παίρνει τη μέγιστή της τιμή I_{sc} , ενώ η τάση μηδενίζεται. Σε κατάσταση ανοιχτοκύκλωσης του ΦΒ στοιχείου, η ένταση του ρεύματος μηδενίζεται, αλλά η τάση παίρνει τη μέγιστή της τιμή V_{oc} . Επομένως, στη βραχυκυκλωμένη και στην ανοιχτοκυκλωμένη κατάσταση η ισχύς P του ΦΒ στοιχείου μηδενίζεται. Στο υπόλοιπο τμήμα της καμπύλης I - V , η ισχύς είναι μεγαλύτερη του μηδενός (αφού $I > 0$ και $V > 0$), επομένως υπάρχει ένα σημείο στη λειτουργία ενός ΦΒ στοιχείου στο οποίο η αποδιδόμενη ισχύς P μεγιστοποιείται.

Η μέγιστη παραγόμενη ισχύς συμβολίζεται με P_m και αντιστοιχεί σε ένα ορισμένο ζεύγος τιμών τάσης V_m και έντασης I_m . Είναι πολύ σημαντικό η λειτουργία ενός ΦΒ συστήματος να βρίσκεται όσο το δυνατόν πλησιέστερα στο σημείο μέγιστης ισχύος (maximum power point – MPP) P_m , έτσι ώστε να μεγιστοποιείται η απόδοσή του.



Γράφημα 26. Καμπύλες I-V και P-V

Τα βασικά χαρακτηριστικά, τα οποία ελέγχονται σε ένα εργαστηριακά παρασκευασμένο ΦΒ στοιχείο καθώς επίσης και στο τελικά διατιθέμενο βιομηχανικό προϊόν, είναι η ενεργειακή απόδοση, η , ο παράγων πλήρωσης FF, το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} και η τάση ανοιχτού κυκλώματος V_{oc} σε συγκεκριμένες συνθήκες φωτισμού (πυκνότητα ισχύος και φάσμα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας) και θερμοκρασίας του στοιχείου.

Η γνώση των χαρακτηριστικών αυτών μεγεθών επιτρέπει τον έλεγχο της αποδοτικότητας του ΦΒ στοιχείου κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, που να αντιπροσωπεύουν τυπικές καταστάσεις εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας. Για το σκοπό αυτό, καθορίστηκαν διεθνώς οι ακόλουθες πρότυπες συνθήκες ελέγχου των χαρακτηριστικών ενός ΦΒ στοιχείου ή ΦΒ πλαισίου (Standard Test Conditions, STC) οι οποίες είναι :

- Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία δέσμης παραλλήλων ακτινών (Beam), πυκνότητας ισχύος $ESTC=1kW/m^2$ και φάσματος αντίστοιχου του ηλιακού με AM1,5.
- Κάθετη πρόσπτωση της ακτινοβολίας στην όψη του ΦΒ στοιχείου.
- Θερμοκρασία του ΦΒ στοιχείου: $\theta_{STC}=25oC \pm 2oC$

Με βάση τις πρότυπες συνθήκες, εισάγεται η έννοια της ισχύος αιχμής P_p (Peak Power) ως χαρακτηριστικό του ΦΒ του στοιχείου, η οποία είναι η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς, που μπορεί να αποδώσει, κάτω από τις πρότυπες συνθήκες ελέγχου.

Σε κάθε ΦΒ πλαίσιο, εκτός των στοιχείων που αναφέρονται στις πρότυπες συνθήκες ελέγχου, αναγράφεται η θερμοκρασία, την οποία αποκτά το ΦΒ πλαίσιο ευρισκόμενο σε καθορισμένες συνθήκες περιβάλλοντος, που προσεγγίζουν μια μέση πραγματική κατάσταση. Αντιπροσωπευτική περιοχή των θερμοκρασιών αυτών είναι οι 45oC έως 50oC.

Η θερμοκρασιακή αυτή περιοχή, αφορά προσεγγιστικά, τη μέση θερμοκρασιακή κατάσταση του υλικού του ΦΒ στοιχείου του πλαισίου, στο χρονικό διάστημα 2-3 ώρες πριν και μετά το μεσημέρι μιας αίθριας καλοκαιρινής μέρας, σε μέσα γεωγραφικά πλάτη. Χαρακτηρίζεται ως ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας ΦΒ κυψελίδας (Nominal Operating Cell Temperature, NOCT), και προσδιορίζεται κάτω από τις επόμενες συνθήκες:

- Το ΦΒ πλαίσιο βρίσκεται σε κατάσταση ανοιχτού κυκλώματος.
- Η πυκνότητα ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας ίση με 800 W/m² .
- Θερμοκρασία περιβάλλοντος αέρα θ_a=20oC.
- Μέση ταχύτητα ανέμου ίση με 1 m/s.

Όταν το ΦΒ πλαίσιο παρέχει ηλεκτρικό ρεύμα σε φόρτο, σε συνθήκες ακτινοβολίας, θερμοκρασίας αέρα και ταχύτητας ανέμου, αυτές της κατάστασης NOCT, τότε η θερμοκρασία του, θ_c είναι κατά (~3oC) , σε σχέση με αυτή που αντιστοιχεί σε κατάσταση ανοιχτού κυκλώματος (λόγω διατήρησης ενέργειας). Χαμηλή ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας ΦΒ κυψελίδας, αποτελεί ένδειξη ταχύτερης αποβολής προς το περιβάλλον, του μέρους εκείνου της ηλιακής ακτινοβολίας, που συμβάλει ουσιαστικά στην αύξηση της θερμοκρασίας του.

Συνεπώς, όσο μικρότερη η τιμή της για ένα πλαίσιο, τόσο μικρότερη η μείωση της παρεχόμενης ηλεκτρικής ισχύος σε σχέση με άλλο, ίδιας ισχύος αιχμής, του οποίου, όμως, η θερμοκρασία NOCT είναι μεγαλύτερη.

Η πραγματική αποδοτικότητα μιας ΦΒ εγκατάστασης υπολογίζεται μέσω του συντελεστή χρησιμοποίησης (ΣΧ). Ο ετήσιος ΣΧ διαιρεί την ενέργεια που παράγει η ΦΒ εγκατάσταση σε ένα χρόνο με την ενέργεια που θα παρήγαγε θεωρητικά η ΦΒ εγκατάσταση εάν λειτουργούσε στην ισχύ αιχμής για όλες τις ώρες του έτους. Ο ΣΧ είναι αδιάστατος αριθμός και εξαρτάται από το ηλιακό δυναμικό της τοποθεσίας, και από τον τύπο και τρόπο στήριξης των ΦΒ. [11]

- Στην περίπτωση μας ο τύπος Φωτοβολταϊκού που προτείνεται να χρησιμοποιήσουμε στην εγκατάσταση είναι το μοντέλο **PLUTO 255-Wdm**. Τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου Φωτοβολταϊκού πλαισίου φαίνονται στους πίνακες και τα γραφήματα που ακολουθούν.

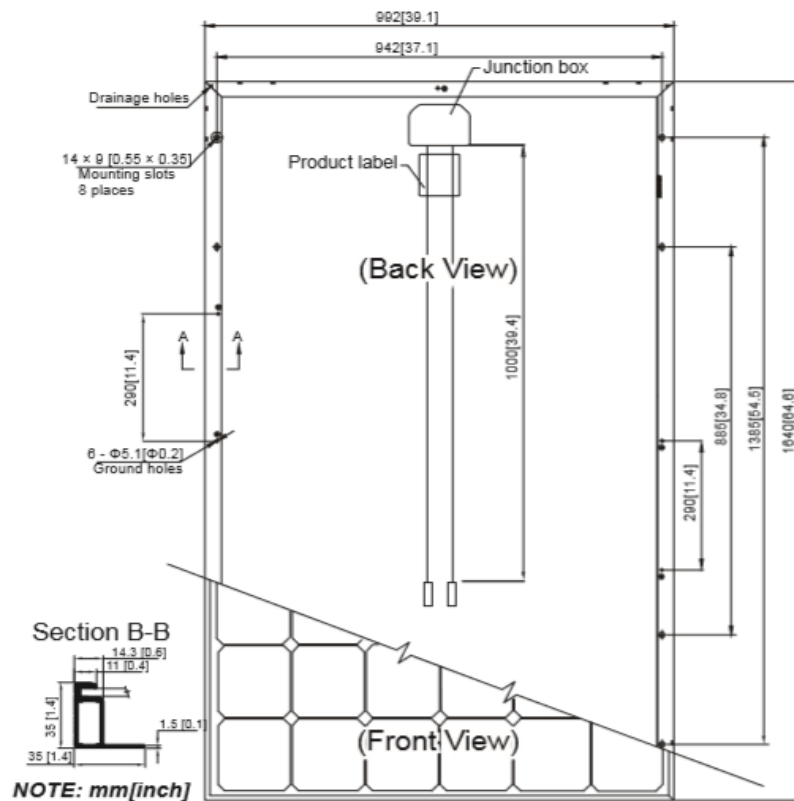
PLUTO 255-Wdm	
STC	
βέλτιστη τάση λειτουργίας (Vmp)	30.2 V
Βέλτιστο ρεύμα λειτουργίας (Imp)	8.45 A
Τάση ανοικτού κυκλώματος (Voc)	37.7 V
Ρεύμα βραχυκύκλωσης (ISC)	8.72 A
Μέγιστη ισχύς στο STC (Pmax)	255 W
Αποδοτικότητα μονάδας	15.7%
Θερμοκρασία λειτουργίας μονάδας	-40 °C to +85 °C
Μέγιστη Τάση Συστήματος	1000 V DC (IEC) / 600 V DC (UL)
Μέγιστο ρεύμα ασφαλειών σειράς	20 A
Ανοχή ισχύος	0/+5 %
NOCT	
Μέγιστη ισχύς στο NOCT (Pmax)	187 W
Βέλτιστη τάση λειτουργίας (Vmp)	27.4 V
Βέλτιστο ρεύμα λειτουργίας (Imp)	6.84 A
Τάση ανοικτού κυκλώματος (Voc)	34.4 V
Ρεύμα βραχυκύκλωσης (Isc)	7.06 A

Πίνακας 10. Στοιχεία Φωτοβολταϊκού πλαισίου^[11]

Θερμοκρασιακά Χαρακτηριστικά	
Ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας κυψέλης	45±2°C
Συντελεστής θερμοκρασίας για μέγιστη ισχύ	-0.40 %/°C
Συντελεστής θερμοκρασίας της Voc	-0.31 %/°C
Συντελεστής θερμοκρασίας της Isc	0.051 %/°C
Μηχανικά Χαρακτηριστικά	
Φ/Β κυψέλη	Πόλυ-κρυσταλλικού πυριτίου 156 X 156 mm
Αριθμός κυψελών	60 (6 X 10)
Διαστάσεις	1640 X 992 X 35mm
Βάρος	18.2 kgs
Μπροστινό γυαλί	3.2 mm
Πλαίσιο	Ανοδιωμένο κράμα αλουμινίου
Κουτί διακλάδωσης	IP67 (3 δίοδοι παράκαμψης)
Καλώδια εξόδου	TUV (2Pfg1169:2007), UL 4703, UL44 4.0 mm ² , συμμετρικά μήκη (-) 1000mm and (+) 1000 mm
Σύνδεσμοι	MC4

Πίνακας 11. Θερμοκρασιακά και Μηχανικά Χαρακτηριστικά του Συλλέκτη^[11]

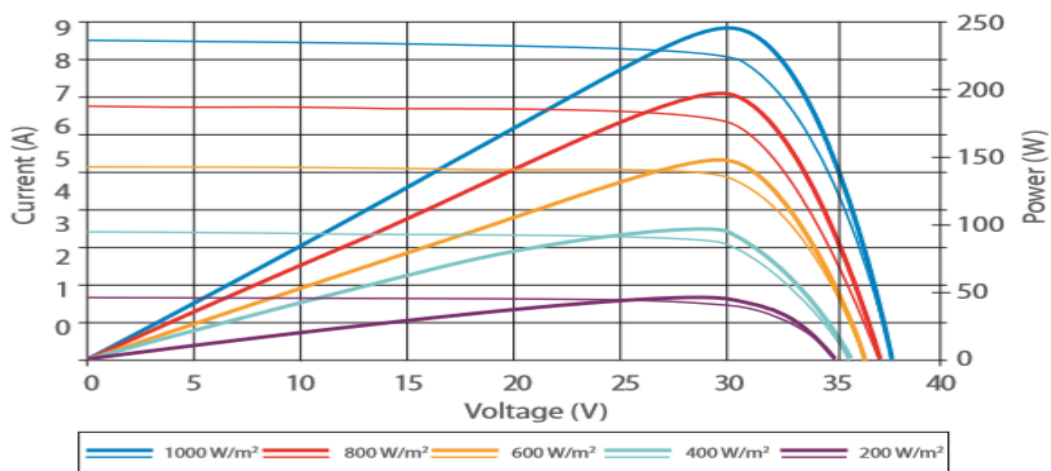
Στη συνέχεια παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα περισσότερες πληροφορίες σχετικά με το πάνελ όπως διαστάσεις κ.τ.λ.



Εικόνα 20. Διαστάσεις του πάνελ^[11]

Επίσης παρουσιάζεται ένα γράφημα που μας δείχνει την συμπεριφορά του ρεύματος με την τάση και της ισχύς με την τάση για διάφορες περιπτώσεις ενεργειακής απολαβής.

Current-Voltage & Power-Voltage Curve (245-20)



Excellent performance under weak light conditions: at an irradiation intensity of 200 W/m² (AM 1.5, 25 °C), 96% or higher of the STC efficiency (1000 W/m²) is achieved

Γράφημα 27. Διάφορες καμπύλες του πλαισίου^[11]

- Όσο αναφορά τον μετατροπέα που προτείνεται για την εγκατάσταση είναι ο Sunny Tripower 12000TL-10 της εταιρίας SMA. Περισσότερα στοιχεία για το μετατροπέα αυτό δίνονται στις εικόνες και τους πίνακες που ακολουθούν.




Εικόνα 21. Μετατροπέας Sunny Tripower 12000TL-10^[11]

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ SUNNY TRIPOWER 12000TL	
ΕΙΣΟΔΟΣ DC	
Μέγιστη ισχύς DC (με $\cos\phi=1$)	12,5 KW
Μέγιστη τάση DC	1000 V
Εύρος τάσης φωτοβολταϊκών,MPPT	150-800 V
Μέγιστο ρεύμα εισόδου (Είσοδος A/Είσοδος B)	22A/11A
Μέγιστος αριθμός στοιχειοσειρών παράλληλα (είσοδος A/είσοδος B)	4/1.
Ονομαστική Ισχύς AC	12 KVA
Μέγιστη Ισχύς AC	12 KVA
Μέγιστο ρεύμα εξόδου	19,2 A
Ονομαστική Τάση AC	3/N/PE,230/400V
Συχνότητα δικτύου AC/περιοχή	50Hz/60Hz/+ - 4,5Hz
Ρυθμιζόμενος συντελεστής μετατόπισης($\cos\phi$)	0,8 υπερ-...0,8 υποδιέγρση
Σύνδεση AC	τριφασική
Μέγιστος βαθμός απόδοσης/EuroEta	98%/97,5%

Συστήματα προστασίας	
Προστασία από αντιστροφή πόλων DC	
Ηλεκτρονικός διακόπτης ESS απομόνωσης φορτίου DC	
Αντοχή σε βραχυκύκλωμα AC	
Επιτήρηση βραχυκυκλώματος προς γη	
Επιτήρηση δικτύου(SMA Grid Guard)	
Μονάδα επιτήρησης ρεύματος σφάλματος ευαίσθητη σε όλα τα ρεύματα	
Απαγωγός υπέρτασης DC(Τύπος II) με δυνατότητα ενσωμάτωσης	
Ηλεκτρονική ασφάλεια στοιχειοσειρών	
Εντοπισμός βλάβης στοιχειοσειρών	
Μηχανολογικές διαστάσεις	665/690/265
Βάρος	65 Kg
Περιοχή θερμοκρασιών λειτουργίας	απο -25 έως +60
Αυτοκατανάλωση: σε λειτουργία (standby)/τη νύχτα	<12,5KW/<1KW
Τοπολογία	Χωρίς μετασχηματιστή
Τρόπος ψύξης	Opticool
Σημείο τοποθέτησης: Εσωτερικά/εξωτερικά (ηλεκτρονικό σύστημα IP65)	
Σύνδεση DC: Phoenix contact	
Σύνδεση AC: ελατηριωτός συνδετήρας (χωρίς εργαλεία)	
Οθόνη γραφικών LCD	
Διεπαφές: Bluetooth/RS485	
Εγγύηση : 5 χρόνια	

Πίνακας 12. Χαρακτηριστικά μετατροπέα^[11]

➤ Ύστερα από υπολογισμούς που έγιναν στο πρόγραμμα sunny design της εταιρίας SMA, για φωτοβολταϊκό πάρκο εγκατεστημένης ισχύος 17MW. Με το συγκεκριμένο φωτοβολταϊκό πλαίσιο **Pluto 255** της εταιρίας Suntech και με επιλεγμένο μετατροπέα τον **Sunny Tripower 12000TL-10** της εταιρίας SMA, πήραμε τα παρακάτω αποτελέσματα που βλέπουμε στις επόμενες δυο εικόνες, για το ποσά πλαίσια και πόσους μετατροπείς πρέπει να χρησιμοποιήσουμε, καθώς επίσης και τον τρόπο σύνδεσης τους κ.α.

Επισκόπηση συστήματος			
66666 x Suntech Power STP255-20/Wd (Anti Dumping Free) (06/2013) (Φ/Β γεννήτρια 1)			
Αζιμούθιο: 0 °, Κλίση: 30 °, Τρόπος τοποθέτησης: Ελεύθερη τοποθέτηση, Ισχύς κορυφής: 17,00 MWp			
 1626 x STP 12000TL-20			
Στοιχεία σχεδιασμού Φ/Β			
Συνολικός αριθμός φωτοβολταϊκών μονάδων:	66666	Ετήσια ενεργειακή απόδοση*:	25.328,12 MWh
Ισχύς κορυφής:	17,00 MWp	Συντ.ενεργ. χρήσης:	100 %
Αριθμός Φ/Β μετατροπέων:	1626	Ποσοστό απόδοσης*:	89 %
Ονομαστική ισχύς AC των Φ/Β μετατροπέων:	19,51 MW	Ειδ. ενεργειακή απόδοση*:	1490 kWh/kWp
Ενεργή ισχύς AC:	19,51 MW	Απώλειες ισχύος (σε % της φωτοβολταϊκής ενέργειας):	0,23 %
Σχέση ενεργής ισχύος:	114,8 %	Μη αντισταθμισμένο φορτίο:	0,00 VA

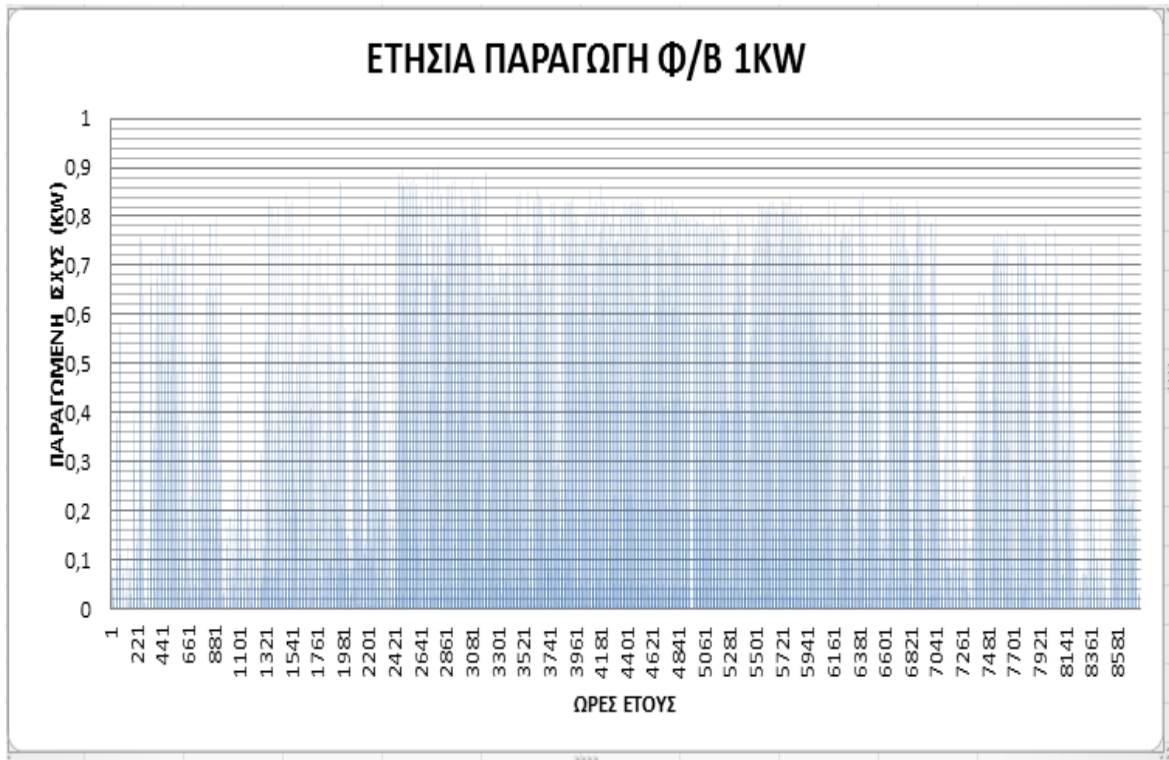
Εικόνα 22. Χαρακτηριστικά εγκατάστασης υπολογισμένα στο sunny design^[12]

1626 x STP 12000TL-20 (Τμηματική εγκατάσταση 1)			
Ισχύς κορυφής:	17,00 MWp		
Συνολικός αριθμός φωτοβολταϊκών μονάδων:	66666		
Αριθμός Φ/Β μετατροπέων:	1626		
Μέγ. ισχύς DC (cos φ = 1):	12,28 kW		
Μέγ. ενεργή ισχύς AC (cos φ = 1):	12,00 kW		
Τάση δικτύου:	230V (230V / 400V)		
Λόγος ονομ. ισχύος:	117 %	✓	
Συντελεστής διαστασιολόγησης:	87,1 %		
Συντελεστής μετατόπισης cos φ:	1		
 STP 12000TL-20			
Στοιχεία σχεδιασμού Φ/Β			
Είσοδος A: Φ/Β γεννήτρια 1			
21 x Suntech Power STP255-20/Wd (Anti Dumping Free) (06/2013), Αζιμούθιο: 0 °, Κλίση: 30 °, Τρόπος τοποθέτησης: Ελεύθερη τοποθέτηση			
Είσοδος B: Φ/Β γεννήτρια 1			
20 x Suntech Power STP255-20/Wd (Anti Dumping Free) (06/2013), Αζιμούθιο: 0 °, Κλίση: 30 °, Τρόπος τοποθέτησης: Ελεύθερη τοποθέτηση			
	Είσοδος A:	Είσοδος B:	
Αριθμός στοιχειοσειρών:	1	1	
Φωτοβολταϊκές μονάδες ανά στοιχειοσειρά:	21	20	
Ισχύς κορυφής (είσοδος):	5,36 kWp	5,10 kWp	
Χαρακτηριστική Φ/Β τάση:	✓ 605 V	✓ 576 V	
Ελάχ. Φ/Β τάση:	556 V	529 V	
Ελάχ. τάση DC (Τάση δικτύου 230 V):	150 V	150 V	
Μέγ. Φ/Β τάση:	✓ 913 V	✓ 869 V	
Μέγ. τάση DC:	1000 V	1000 V	
Μεγ. ρεύμα Φ/Β γεννήτρ.:	✓ 8,3 A	✓ 8,3 A	
Μέγ. ρεύμα DC:	18 A	10 A	

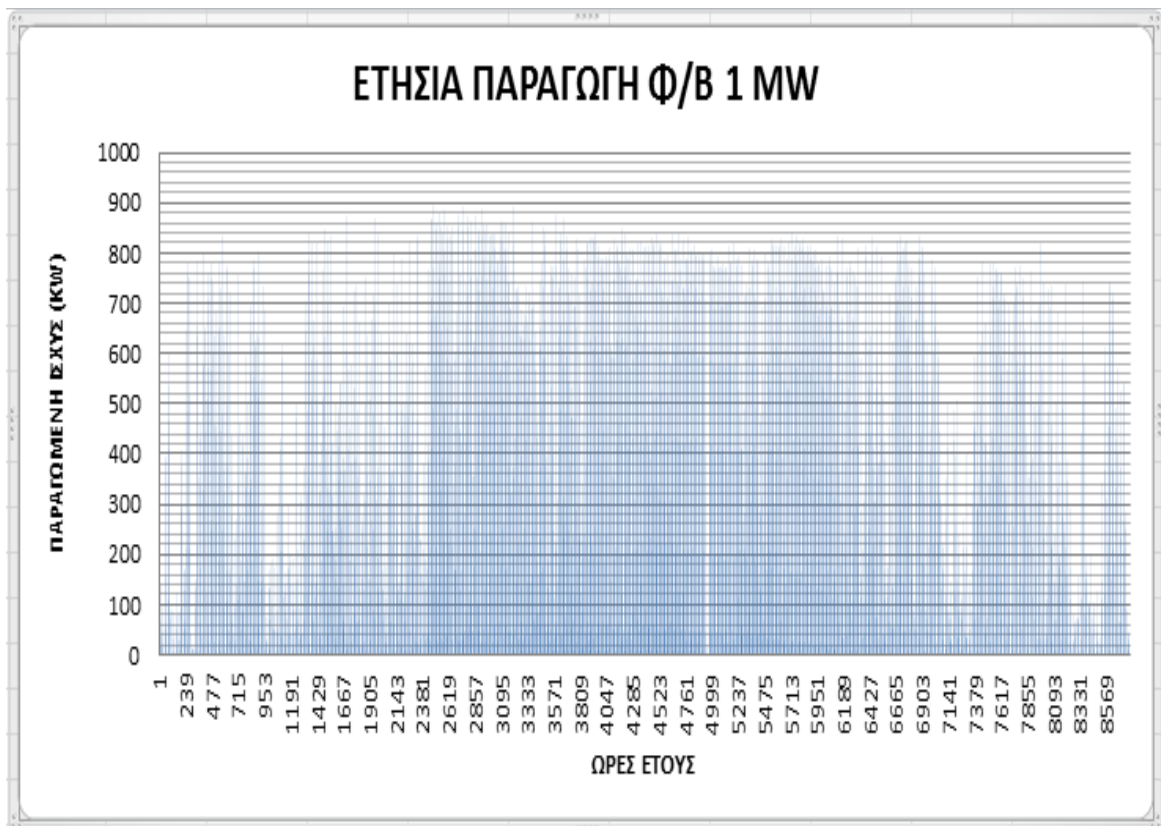
Εικόνα 23. Χαρακτηριστικά εγκατάστασης υπολογισμένα στο sunny design^[12]

2.5.2 Παραγωγή ισχύος φωτοβολταϊκού για τα πραγματικά μετεωρολογικά δεδομένα του νησιού

Για να μπορέσουμε να δούμε το φωτοβολταϊκό, τι ενέργεια θα παράξει για όλες τις ώρες του έτους, χρησιμοποιήσαμε τα μετεωρολογικά δεδομένα του νησιού και ύστερα από τους απαραίτητους υπολογισμούς, πήραμε αποτελέσματα για ένα φωτοβολταϊκό εγκατεστημένης ισχύς 1 KW και για ένα φωτοβολταϊκό εγκατεστημένης ισχύς 1 MW. Στα γραφήματα που ακλουθούν μπορούμε να δούμε πως κυμάνθηκε η ισχύς για τις δυο αυτές περιπτώσεις για όλες τις ώρες του έτους.



Γράφημα 28. Ετήσια παραγωγή ισχύος από Φ/Β εγκατεστημένης ισχύος 1 KW



Γράφημα 29. Ετήσια παραγωγή ισχύος από Φ/Β εγκατεστημένης ισχύος 1 MW

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε από τα παραπάνω γραφήματα η μεγαλύτερη παραγωγή εστιάζεται στο μέσον του έτους, δηλαδή στους καλοκαιρινούς μήνες. Αυτό συμβαίνει διότι τους μήνες αυτούς οι ώρες της μέρας με ηλιοφάνεια είναι περισσότερες από αυτές του χειμώνα.

Επίσης άλλος ένας παράγοντας που παίζει σημαντικό ρολό είναι ότι τους καλοκαιρινούς μήνες, η ακτίνες του ηλίου πέφτουν στην γη πιο κάθετα, με αποτέλεσμα να έχουμε μεγαλύτερη ενεργειακή απολαβή από ότι έχουμε τον χειμώνα.

Τέλος ακόμη ένας σημαντικός παράγοντας που αυξάνει την παραγωγή το καλοκαίρι είναι ότι έχουμε μικρότερη πιθανότητα νεφοκάλυψης μιας μέρας από ότι έχουμε το χειμώνα.

Τα φωτοβολταϊκά λοιπόν έχουν ένα επιπλέον προτέρημα σε σχέση με τις άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, το προτέρημα αυτό είναι ότι κατά κάποιο τρόπο ταυτοχρονίζονται με την ενεργειακή ζήτηση του έτους.

Δηλαδή με απλά λόγια παράγουν περισσότερη ενέργεια τους καλοκαιρινούς μήνες, που είναι και οι μήνες με την μεγαλύτερη ενεργειακή ζήτηση του έτους. Μπορούμε λοιπόν για να κατανοήσουμε το παραπάνω σχόλιο, να κάνουμε σύγκριση του προηγούμενου γραφήματος, που μας δείχνει την παραγωγή των φωτοβολταϊκών μέσα στο έτος και του επόμενου γραφήματος, που μας δείχνει την ενεργειακή ζήτηση του έτους για το νησί της Σύμης.



Γράφημα 30. Ημερήσια ενεργειακή ζήτηση Σύμης

2.5.3 Διαστασιολόγηση έργου

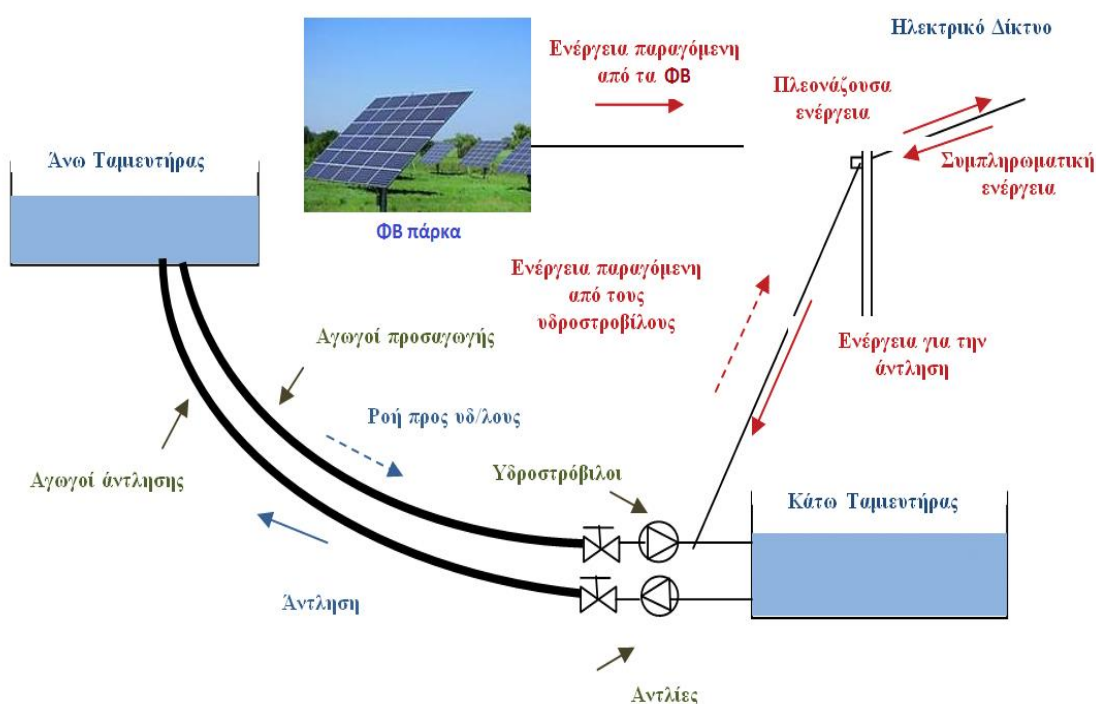
Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση που εξετάσαμε παραπάνω, για το αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό συνδυαζόμενο με το αιολικό πάρκο, έτσι και σε αυτή την περίπτωση που εξετάζουμε, για το αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό με φωτοβολταϊκό πάρκο, ισχύουν σχεδόν τα ίδια. Δηλαδή η διαστασιολόγηση του έργου θα γίνει με ακριβώς την ίδια λογική.

Η λειτουργία του αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού που χρησιμοποιείται σαν αποθηκευτικό μέσο και του φωτοβολταϊκού πάρκου που χρησιμοποιείται σαν μέσο παράγωγης ενέργειας φαίνεται στην εικόνα 24. Η λειτουργία αυτή έχει ως εξής:

σε μία δεδομένη χρονική στιγμή ο σταθμός παραγωγής τροφοδοτείται με ηλεκτρική ισχύ P_{fv} από τα φωτοβολταϊκά πάρκα. Το σύστημα διαχείρισης ενέργειας (Σ.Δ.Ε.) ελέγχει αν η στιγμιαία παραγωγή ισχύος από τα φωτοβολταϊκά πάρκα P_{fv} είναι μεγαλύτερη από τη στιγμιαία ζήτηση P_d . Διακρίνονται οι ακόλουθες περιπτώσεις:

α) Αν $P_{fv} > P_d$, η ζήτηση ηλεκτρικής ισχύος καλύπτεται εξ' ολοκλήρου από τα αιολικά πάρκα. Οι αντλίες του συστήματος αντλησιοταμίευσης τροφοδοτούνται με ισχύ $P_p = P_{fv} - P_d$, με σκοπό να αποθηκευτεί με τη μορφή δυναμικής ενέργειας στην άνω δεξαμενή του συστήματος. Στην περίπτωση που η άνω δεξαμενή του αντλησιοταμιευτήρα είναι γεμάτη, η διαθέσιμη περίσσεια ισχύος δεν μπορεί να αποθηκευθεί. Η περίσσεια της ενέργειας αυτής μπορεί να αξιοποιηθεί σε άλλες εφαρμογές (παραγωγή υδρογόνου, αφαλάτωση, κλπ).

β) Αν $P_{fv} < P_d$, η παραγόμενη φωτοβολταϊκή ισχύς προσφέρεται ολόκληρη για την κάλυψη της ζήτησης. Την ίδια χρονική στιγμή, παράγεται από τους υδροστρόβιλους συμπληρωματική ηλεκτρική ισχύς $P_h = P_d - P_{fv}$, προκειμένου να συμπληρωθεί το έλλειμμα στην παραγωγή ισχύος από τα φωτοβολταϊκά πάρκα.



Εικόνα 24. Συνδυασμός αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού και ΦΒ πάρκου.

➤ Αλγόριθμος λειτουργίας

Για κάθε ώρα του έτους, που είναι το χρονικό βήμα υπολογισμού, εισάγονται ως δεδομένα η διαθέσιμη ισχύς P_{RES} από τη μονάδα ΑΠΕ και η ζήτηση ισχύος P_d

Αν P_p είναι η ονομαστική ισχύς των μονάδων αποθήκευσης (αντλίες) τότε υπολογίζεται η δυνάμενη να αποθηκευθεί ισχύς P_{st} :

- Αν $P_{RES} > P_p$, τότε $P_{st} = P_p$.
- Αν $P_{RES} \leq P_p$, τότε $P_{st} = P_{RES}$.

Υπολογίζεται ο όγκος που πρέπει να προστεθεί στην άνω δεξαμενή προκειμένου να αποθηκευτεί ισχύς P_{st} για χρονικό βήμα διάρκειας t :

- $V_p = \eta_p \cdot P_{st} \cdot t / \gamma \cdot H$.

Υπολογίζεται ο όγκος νερού που θα πρέπει να αφαιρεθεί από την άνω δεξαμενή προκειμένου να καλυφθεί η ζήτηση ισχύος P_d από τους υδροστρόβιλους για το χρονικό βήμα διάρκειας t :

- $V_h = P_d \cdot t / \eta_h \cdot \gamma \cdot H$.

Ο παραμένων όγκος νερού κατά το τρέχον χρονικό βήμα j στην άνω δεξαμενή θα είναι:

- $V_{st}(j) = V_{st}(j-1) + V_p - V_h$

Ελέγχεται αν ο παραμένων όγκος νερού στην άνω δεξαμενή υπερβαίνει τη μέγιστη χωρητικότητα της δεξαμενής:

- Αν $V_{st}(j) > V_{max}$, τότε:

$$P_{st} = 0$$

$$P_{rej} = P_{RES}$$

$$V_{st}(j) = V_{st}(j-1) - V_h$$

- $V_{st}(j) = V_{st}(j-1) - V_h$.

$$P_{st} = P_p$$

$$P_{rej} = P_{RES} - P_p$$

Επιπλέον ελέγχεται αν ο παραμένων όγκος νερού στην άνω δεξαμενή είναι μικρότερος από τον ελάχιστο περιεχόμενο σε αυτήν:

- Αν $V_{st}(j) < V_{min}$, τότε:
 $P_h = 0$
 $P_{th} = P_d$
 $V_{st}(j) = V_{st}(j-1) + V_p.$
- Αν $V_{st}(j) \geq V_{min}$, τότε:
 $P_h = P_d$
 $P_{th} = 0$
 $V_{st}(j) = V_{st}(j-1) + V_p - V_h.$

Για τον υπολογισμό της ωριαίας διείσδυσης ($P_{fv\delta}$) από το φωτοβολταϊκό πάρκο θα έχουμε:

- $P_{fv\delta}(j) = \text{ποσοστό διείσδυσης} * P_{fv}(j)$

Για την Αρχική παραγωγή υδροστροβίλων ($P_{\tau}(j)$) θα έχουμε:

Αν $(V_{st}(j-1) - (\text{συντελεστής όγκου υδατόπτωσης} * (P_d - P_{fv\delta})) \geq V_{min}$

Τότε $P_{\tau} = P_d - P_{fv\delta}$

Αλλιώς $P_{\tau} = 0$

Συντελεστής όγκου υδατόπτωσης = $(3600 * 1000000 / (\text{βαθμό απόδοσης υδροστροβίλων} * \text{φυσική υδατόπτωση} * \rho * g)$

Για την παραγωγή των θερμικών μονάδων του συστήματος για την κάλυψη της ζήτησης θα έχουμε :

- $P_{\theta\epsilon\rho}(j) = P_d(j) - P_{fv\delta}(j) - P_{\tau}(j)$

🚧 (κάνουμε αυτό τον υπολογισμό για τις θερμικές μονάδες για να δούμε αν το φωτοβολταϊκό πάρκο και το αποθηκευτικό μέσο μας καλύπτουν όλες τις ώρες του έτους, το σύνολο της παραγωγής των θερμικών μονάδων όλου του έτους πρέπει να μας βγει 0 για να έχουμε ένα πλήρως αυτόνομο νησί μόνο με Α.Π.Ε.).

Για την παροχή όγκου των υδροστροβίλων θα έχουμε :

$$Q_t(j) = (P_t(j) * 10^6) / (\text{βαθμό απόδοσης υδροστροβίλων} * \rho * g * \text{φυσική υδατόπτωση})$$

- ✚ (φυσική υδατόπτωση = υψομετρική διαφορά από τη δεξαμενή μέχρι τους υδροστροβίλους σε μέτρα)

Για την παροχή όγκου αντλιών θα έχουμε :

- $Q_p(j) = (P_p(j) * 10^6 * \text{βαθμό απόδοσης αντλιών}) / (\rho * g * \text{ύψος άντλησης})$

- ✚ (Υψος άντλησης = με την υψομετρική διαφορά από την άνω δεξαμενή μέχρι τις αντλίες σε μέτρα)

Για τις απώλειες ροής υδατόπτωσης θα έχουμε :

- $H_{fu}(j) = (\text{συντελεστής απωλειών υδατόπτωσης} * \text{μήκος σωληνώσεων} * 8 * Q_t(j)^2) / (\text{διάμετρο σωληνώσεων υδατόπτωσης}^5 * \pi^2 * g)$

- ✚ (συντελεστής απωλειών υδατόπτωσης = 0,1014)
- ✚ (διάμετρος σωληνώσεων υδατόπτωσης = 1,40 m)
- ✚ (μήκος σωληνώσεων = 1620 m)

Για τις απώλειες ροής άντλησης θα έχουμε :

- $H_{fa}(j) = (\text{συντελεστής απωλειών άντλησης} * \text{μήκος σωληνώσεων} * 8 * Q_p(j)^2) / (\text{διάμετρος σωληνώσεων}^5 * \pi^2 * g)$

- ✚ (Συντελεστής απωλειών άντλησης = 0,1014)
- ✚ (Μήκος σωληνώσεων = 1620 m)
- ✚ (Διάμετρος σωληνώσεων = 1,40 m)

Για το μανομετρικό υδατόπτωσης θα έχουμε :

- $H_t(j) = \text{φυσική υδατόπτωση} - H_{fa}(j)$

Για το μανομετρικό άντλησης θα έχουμε :

- $H_p(j) = \text{ύψος άντλησης} + H_{fa}(j)$

Για την οριστική ισχύς των υδροστροβίλων(j) θα έχουμε :

- $A_n (V_{st}(j-1) - ((\text{συντελεστής όγκου υδατόπτωσης} / H_{\tau}(j-1)) * (P_d(j) - P_{Fv\delta}(j)))) \geq V_{min}$

Τότε ορισ. Ισχύς υδρ/λων = $P_d(j) - P_{fv\delta}(j)$

Αλλιώς ορισ. Ισχύς υδρ/λων = 0

Όπου V_{min} = ελάχιστος όγκος νερού

Συντελεστής όγκου υδατόπτωσης = $(3600 * 1000000) / (\text{βαθμό απόδοσης υδροστροβίλων φυσική υδατόπτωση} * \rho * g)$

Για την οριστική ισχύς των αντλιών θα έχουμε :

- $A_n (V_p(j-1) + (\text{συντελεστής όγκου άντλησης} / H_p(j)) * (P_{fv}(j) - P_{fv\delta}(j))) \leq \text{χωρητικότητας άνω δεξαμενής}$

Τότε ορισ. Ισχύς αντλιών = $P_{fv}(j) - P_{fv\delta}(j)$

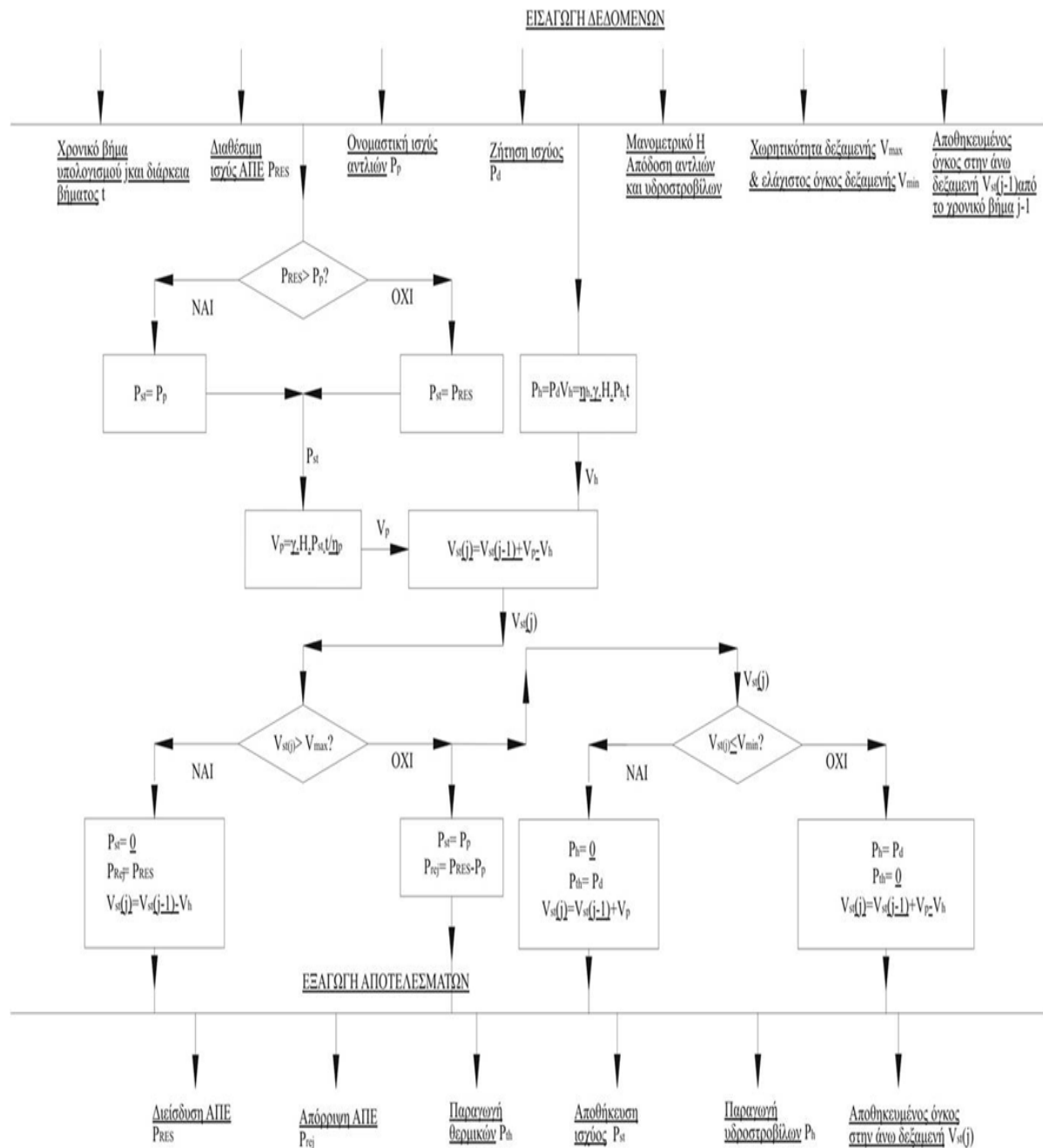
Αλλιώς ορισ. Ισχύς αντλιών = 0

Συντελεστής όγκου άντλησης = $(3600 * 1000000 * \text{βαθμό απόδοσης αντλιών}) / (\text{ύψος άντλησης} * \rho * g)$

Χωρητικότητα άνω δεξαμενής = 1000000 m^3

Όλη η λειτουργία του παραπάνω αλγορίθμου παρουσιάζεται σχηματικά στην παρακάτω εικόνα. Όπως μπορούμε να δούμε εισάγοντας κάποια δεδομένα όπως η διαθέσιμη ισχύς Α.Π.Ε. η ζήτηση κ.τ.λ. καταλήγουμε στο τέλος να παίρνουμε σαν αποτέλεσμα το ποσό της ενέργειας που θα παραχθεί για να εξυπηρετήσει την ζήτηση με κάθε τρόπο.

Τα αποτελέσματα που εξέρχονται από τους υπολογισμούς, μας βοηθούν ώστε να ορίσουμε το μέγεθος του φωτοβολταϊκού πάρκου, δηλαδή την ονομαστική του ισχύ, καθώς και το μέγεθος σε κυβικά μέτρα της άνω δεξαμενής ώστε να έχουμε πάντα επάρκεια ισχύος.



Εικόνα 25. Σχηματική απεικόνιση αλγόριθμου λειτουργίας υβριδικού σταθμού παραγωγής^[10]

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα κυριότερα μεγέθη που αφορούν στον εξοπλισμό του έργου και που προέκυψαν ύστερα από τη διαστασιολόγηση και τους υπολογισμούς τους οποίους κάναμε.

ΚΥΡΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ	
ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ Φ/Β (MW)	17
ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ (MW)	4
ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΑΝΤΛΙΩΝ (MW)	14,70
ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΠΑΡΟΧΗ ΥΔΡΟΣΤΟΒΙΛΩΝ (m ³ /s)	1,27
ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΠΑΡΟΧΗ ΑΝΤΛΙΩΝ (m ³ /s)	2,62
ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΝΩ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ (m ³)	1500000
ΑΡΧΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΝΩ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ (m ³)	1000000
ΕΛΑΧΙΣΤΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΝΩ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ (m ³)	80000
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ (m)	1,4
ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ	2
ΜΗΚΟΣ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ (m)	1620
ΜΑΝΟΜΕΤΡΙΚΟ ΑΝΤΛΗΣΗΣ ΠΤΩΣΗΣ (m)	400
ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ	0,8
ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΑΝΤΛΙΩΝ	0,7

Πίνακας 13. Στοιχεία του έργου

➤ Λεπτομέρειες έργου

Η διαστασιολόγηση και οι υπολογισμοί για το έργο αυτό, έγιναν με σκοπό να καταφέρει το νησί της Σύμης να γίνει πλήρως αυτόνομο ενεργειακά μόνο από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Για το λόγο αυτό ο υβριδικός σταθμός παράγωγης ηλεκτρικής ενέργειας, θα πρέπει να είναι σε θέση να καλύπτει την ενεργειακή ζήτηση όλο το χρόνο, χωρίς περιορισμούς.

Έτσι ύστερα από υπολογισμούς προέκυψε ότι το φωτοβολταϊκό πάρκο θα πρέπει να είναι ονομαστικής ισχύος 17 MW έτσι ώστε να είναι ικανό να παράγει την επιθυμητή ποσότητα ενέργειας για την κάλυψη της ζήτησης. Όταν λέμε φωτοβολταϊκό πάρκο δεν εννοούμε ότι αναγκαστικά πρέπει να είναι ένα πάρκο σε μια περιοχή του νησιού 17 MW, άλλα θα μπορούσε είναι ένα σύνολο από πάρκα πάνω στο νησί ή ακόμα κάποια από αυτά να είναι μικρότερα πάνω σε στέγες σπιτιών. Σε κάθε περίπτωση αυτό που εμείς επιθυμούμε είναι η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των φωτοβολταϊκών να είναι 17 MW.

Το ποσοστό της παραγωγής του φωτοβολταϊκού πάρκου που διοχετεύεται απευθείας στο δίκτυο είναι 50%, το ποσοστό αυτό είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο του αιολικού πάρκου που πήραμε στην προηγούμενη περίπτωση, αυτό οφείλετε στο ότι τα φωτοβολταϊκά δεν παρουσιάζουν τόσο απότομες αλλαγές στην παραγωγή τους μέσα στην ίδια ώρα όπως γίνεται με τα αιολικά και έτσι το σύστημα μπορεί να ανταποκριθεί αποτελεσματικά σε όποια πτώση της ισχύος γίνει λόγω νεφοκάλυψης.

Αν το φωτοβολταϊκό πάρκο παράγει περισσότερη ενέργεια από το 50% της ζητούμενης, τότε οι αντλίες ξεκινούν να δουλεύουν και με την περίσσια ενέργεια

ανεβάζουν νερό στην άνω δεξαμενή για να αποθηκευτεί εκεί με την μορφή δυναμικής ενέργειας.

Η ονομαστική ισχύς των υδροστροβίλων υπολογίστηκε σε 4 MW. Αυτό έγινε με την εξής λογική, βρήκαμε τη μέγιστη ισχύ που χρειάζονται οι υδροστρόβιλοι για να μας παρέχουν την απαιτούμενη ενέργεια, για την ημέρα του έτους με την μεγαλύτερη ζήτηση.

Η ονομαστική ισχύς των αντλιών υπολογίστηκε σε 14,7 MW, με την ίδια λογική που υπολογίσαμε και τους υδροστρόβιλους παραπάνω βρήκαμε τη μέγιστη ισχύ των αντλιών που χρειαζόμαστε, για να μας παρέχουν την απαιτούμενη ποσότητα νερού στο αποθηκευτικό μέσο.

Στη συνέχεια υπολογίσαμε την ονομαστική παροχή υδροστροβίλων βρίσκοντας την μέγιστη παροχή που χρειαζόμαστε για όλες τις ώρες του έτους και είναι $1,27 \text{ m}^3/\text{s}$. Με τον ίδιο τρόπο βρήκαμε και την ονομαστική παροχή αντλιών που είναι $2,62 \text{ m}^3/\text{s}$

Η συνολική χωρητικότητα της άνω δεξαμενής υπολογίστηκε σε $1.500.000 \text{ m}^3$, ο υπολογισμός αυτός έγινε με κριτήριο η δεξαμενή να έχει όλο το χρόνο επάρκεια νερού ώστε να τροφοδοτεί τους υδροστρόβιλους όταν είναι απαραίτητο. Ο ελάχιστος όγκος της δεξαμενής ορίστηκε να είναι 80.000 m^3 , κάτω από αυτό τον όγκο η δεξαμενή δεν μπορεί να τροφοδοτήσει με νερό τους υδροστρόβιλους, ο ελάχιστος όγκος ορίζεται για τεχνικούς λόγους. Επίσης ορίστηκε ένας αρχικός όγκος δεξαμενής στα $1.000.000 \text{ m}^3$, αυτό έγινε λόγω του ότι το έργο ξεκινά την λειτουργία του την πρώτη μέρα του χρόνου και μέσα στο χειμώνα τα φωτοβολταϊκά δεν μπορούν να παράξουν την απαιτούμενη ποσότητα ενέργειας για να καλύψουν την ζήτηση έτσι για να καταφέρει το έργο να λειτουργήσει κανονικά θεωρούμε τον άνω ταμιευτήρα μερικώς γεμάτο. Όπως παρατηρούμε αναφερόμαστε μόνο στην άνω δεξαμενή γιατί αυτή είναι που ορίζει τις παραμέτρους του έργου και μετέχει στην διαστασιολόγηση του. Η κάτω δεξαμενή δεν μας ενδιαφέρει τι χωρητικότητα θα έχει αρκεί να είναι μεγαλύτερη της πάνω.

Η διάμετρος των σωληνώσεων υπολογίστηκε με βάση τους αλγόριθμους που αναφέρθηκαν πιο πάνω και βρήκαμε πως θα πρέπει να είναι διαμέτρου 1,40 m τόσο για την άντληση όσο και για την υδραυλική πτώση ώστε οι απώλειες τόσο κατά την άντληση όσο και για την πτώση να είναι μέσα στα επιτρεπτά όρια. Για το υβριδικό μας σύστημα επιλέχθηκε να έχει δύο σωληνώσεις, μία για την άντληση και μία για την υδραυλική πτώση. Αυτό έγινε για να μπορεί ταυτόχρονα το υβριδικό μας σύστημα και να παρέχει ισχύ από τους υδροστροβίλους αλλά και να αποθηκεύει την ίδια στιγμή νερό μέσω των αντλιών.

Το μήκος των σωληνώσεων φτάνει τα 1620 m, αυτό προέκυψε από την απόσταση της άνω επιφάνειας της άνω δεξαμενής μέχρι το κτήριο εγκαταστάσεων όπου βρίσκονται οι υδροστρόβιλοι και οι αντλίες. Τέλος το μανομετρικό άντλησης και πτώσης υπολογίστηκε από την υψομετρική διαφορά από την άνω δεξαμενή μέχρι το κτήριο εγκαταστάσεων και είναι 400 m.

Στη συνέχεια βλέπουμε συγκεντρωμένα σε ένα πίνακα τα ετήσια αποτελέσματα ζήτησης και παραγωγής ενέργειας.

ΕΤΗΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	
ΖΗΤΗΣΗ (GWh)	15,50
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΠΟ Φ/Β (GWh)	27,04
ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ Φ/Β (GWh)	3,60
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΝΤΛΙΩΝ (GWh)	21,18
ΠΕΡΙΣΣΕΙΑ Α.Π. (GWh)	2,26
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΔΡΟΣΤΟΒΙΛΩΝ (GWh)	11,90
ΣΥΝΟΛΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ Α.Π.Ε. (GWh)	38,94
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΘΕΡΜΙΚΩΝ (GWh)	0,00

Πίνακας 14. Αποτελέσματα υπολογισμών

Η ζήτηση ενέργειας προέκυψε από την πρόσθεση της ωριαίας ζητούμενης ενέργειας από χρονοσειρές που μας δόθηκαν από την αρμόδια αρχή.

Για την παραγωγή του φωτοβολταϊκού πάρκου, χρησιμοποιήσαμε πραγματικά δεδομένα παραγωγής φωτοβολταϊκού, υπολογίσαμε για 1 KW εγκατεστημένης ισχύς την παραγόμενη ισχύ για κάθε ώρα του έτους και πολλαπλασιάσαμε με τα 17000 KW που τελικά θα εγκατασταθούν.

Για τη διείσδυση του φωτοβολταϊκού πάρκου προσθέσαμε για όλες τις ώρες του έτους την ενέργεια που πάει κατευθείαν στο δίκτυο.

Το ίδιο έγινε και με την συνολική ενέργεια των αντλιών η οποία είναι η πρόσθεση της ισχύς των αντλιών που χρειαζόμαστε για να αποθηκεύουμε ενέργεια σε μορφή δυναμικής ενέργειας μέσω του νερού στον άνω ταμιευτήρα , για όλες τις ώρες του έτους.

Στο ίδιο επίπεδο κινηθήκαμε για να βρούμε και την παραγωγή των υδροστροβίλων δηλαδή προσθέτοντας την ενέργεια τους για κάθε ώρα του έτους.

Όσο αναφορά την περίσσεια, που είναι η ενέργεια που παράγεται αφενός από τα φωτοβολταϊκά αλλά ούτε διοχετεύεται απευθείας στο δίκτυο ούτε αποθηκεύεται, είναι το σύνολο της περίσσειας ενέργειας που 'πάει χαμένη' και δεν καλύπτει την ζήτηση.

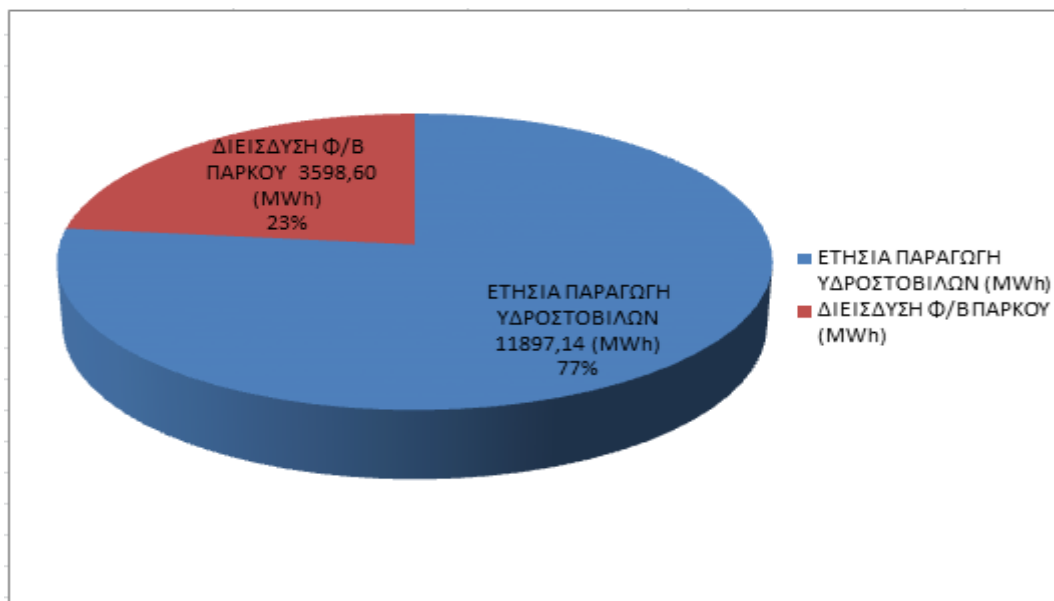
Σαν σύνολο παραγωγής ισχύος από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θεωρούμε όλο το ποσό που παράχθηκε και από το φωτοβολταϊκό πάρκο αλλά και από τους υδροστροβίλους.

Τέλος η παραγωγή θερμικών είναι φυσικό να μας βγαίνει 0 GWh γιατί θέλουμε το νησί να ηλεκτροδοτείται πλήρως από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και να απ' εξαρτηθεί από συμβατικές μονάδες παραγωγής.

➤ Γραφήματα

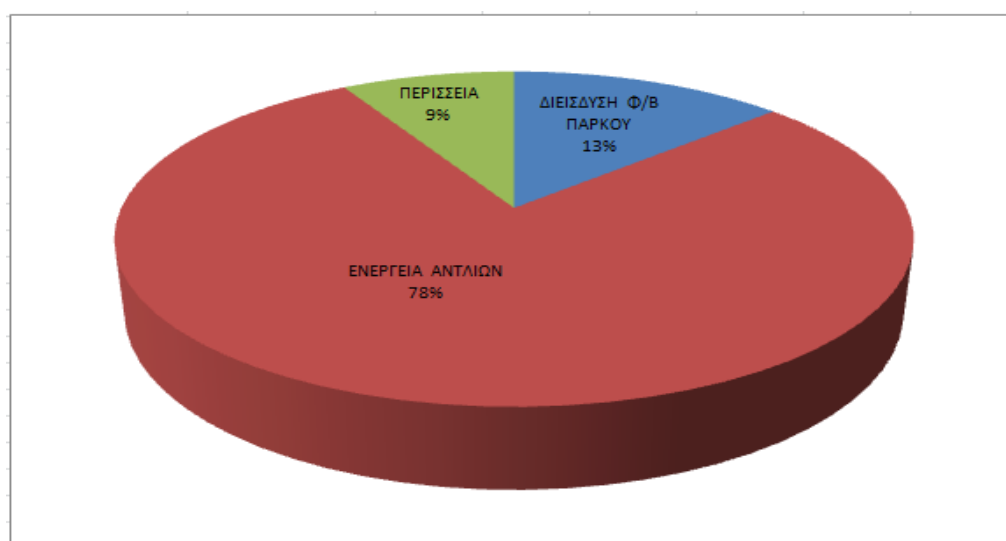
Στη συνέχεια παρουσιάζονται κάποια γραφήματα που πρόεκυψαν μετά από τους υπολογισμούς και μπορούν να μας βοηθήσουν να κατανοήσουμε καλύτερα την λειτουργία του υβριδικού σταθμού παραγωγής.

Το πρώτο γράφημα μας δείχνει το ποσοστό αλλά και τη συνολική ενέργεια σε MWh που καταλήγει για την κάλυψη της ζήτησης από την απευθείας διείσδυση των φωτοβολταϊκών αλλά και από την παραγωγή των υδροστροβίλων.



Γράφημα 31. Ποσοστά μονάδων για κάλυψη της ζήτησης

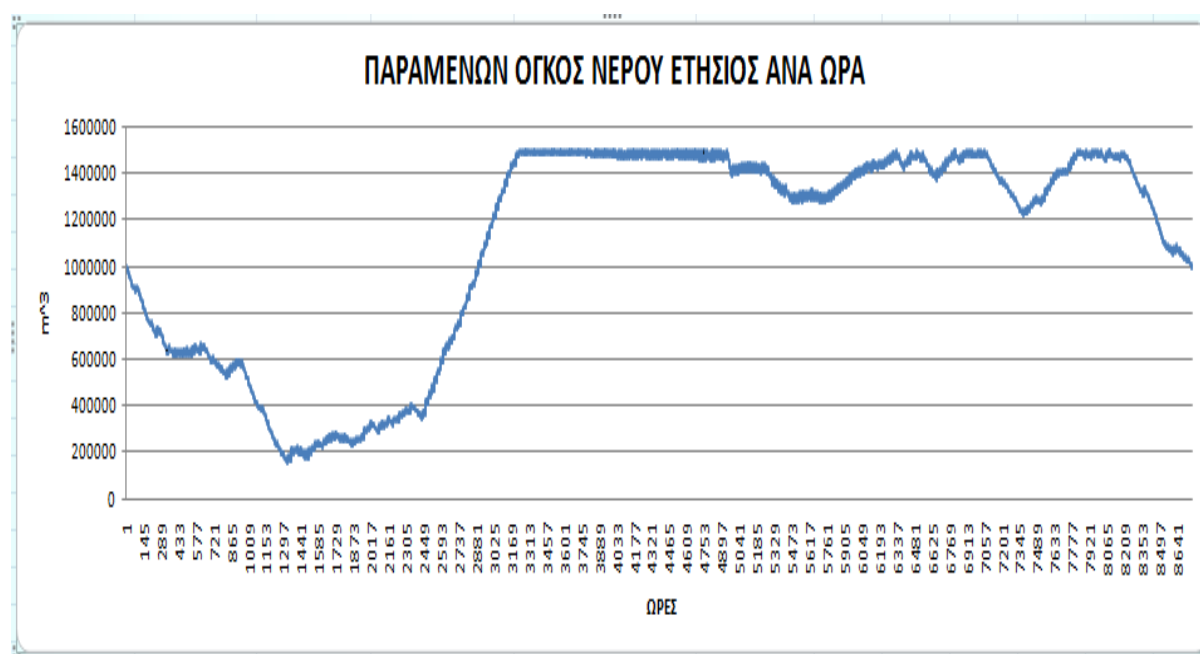
Το επόμενο γράφημα μας δείχνει πως κατανέμονται τα ποσοστά της παραγωγής του φωτοβολταϊκού σε απευθείας διείσδυση στο δίκτυο, σε ενέργεια που πάει να αποθηκευτεί μέσω των αντλιών και σε περίσσεια που απορρίπτεται.



Γράφημα 32. Κατανομή ποσοστών φωτοβολταϊκής παραγωγής

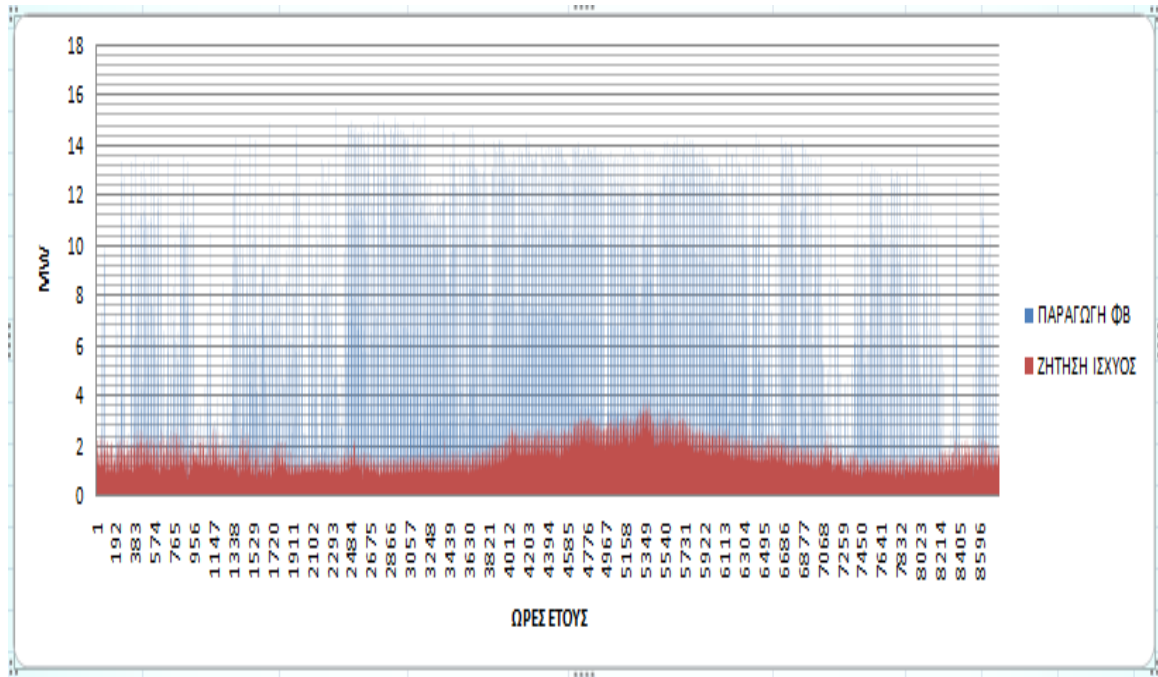
Στο επόμενο γράφημα μπορούμε να δούμε πως κυμαίνεται η στάθμη του νερού του άνω ταμιευτήρα για όλες τις ώρες του έτους. Όπως παρατηρούμε ο όγκος του νερού στην αρχή του έτους δεν ξεκάνει από το 0 αλλά από τα 1.000.000 m³, αυτό γίνεται γιατί έχουμε ορίσει σαν αρχικό όγκο της άνω δεξαμενής τα 1.000.000 m³, έτσι ώστε το υβριδικό να μπορεί να ανταποκριθεί στη ζήτηση από την πρώτη ώρα.

Επίσης μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι κάποιες ώρες του έτους η στάθμη του νερού πέφτει αρκετά, αυτό συμβαίνει διότι εκείνες τις ώρες έχουμε είτε αυξημένη ζήτηση είτε χαμηλή παραγωγή από τα φωτοβολταϊκά, ή και τα δυο μαζί. Στο πρώτο κομμάτι του γραφήματος, που αναφέρετε στους πρώτους μήνες του έτους, η κατακόρυφη πτώση της στάθμης του νερού, συμβαίνει λόγω του ότι η παραγωγή των φωτοβολταϊκών είναι μικρή σχετικά, λόγω καιρού και των λιγότερων ωρών ηλιοφάνειας. Έτσι το σύστημα μας αναγκάζεται να παράγει ενέργεια για κάλυψη της ζήτησης μέσω των υδροστροβίλων.



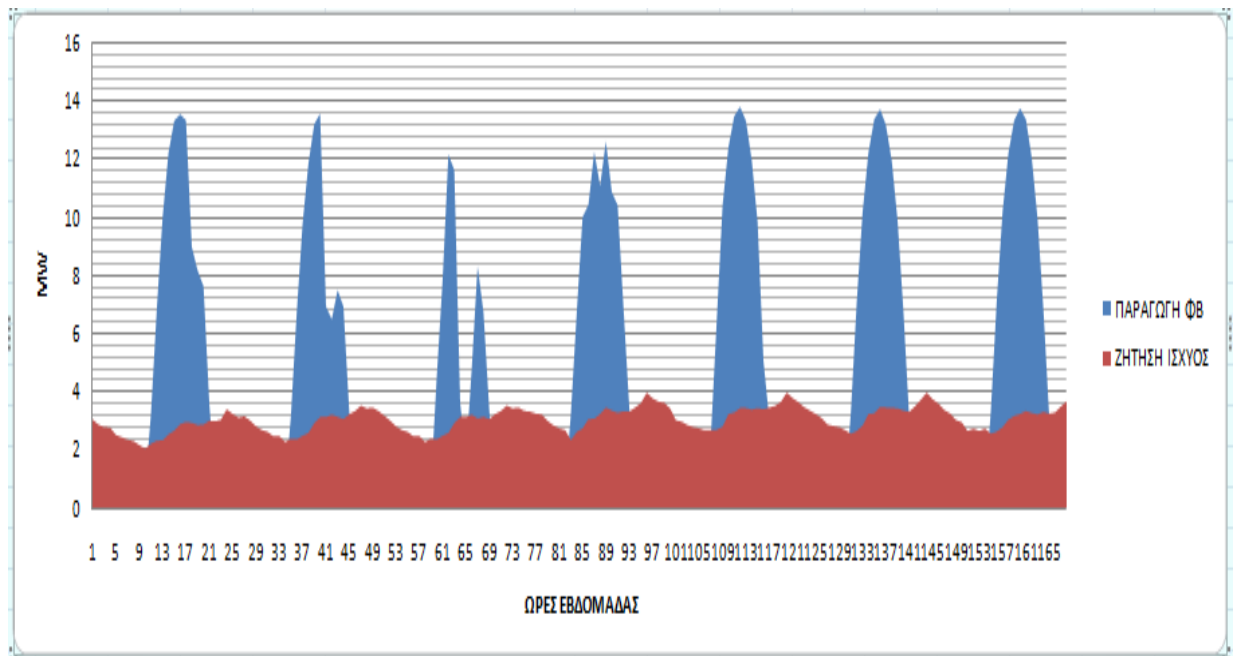
Γράφημα 32. Στάθμη νερού άνω ταμιευτήρα

Στο παρακάτω γράφημα παρατηρούμε για όλες τις ώρες του έτους την ζητούμενη ισχύ του δικτύου και ταυτόχρονα την ωριαία παραγωγή ισχύος από το φωτοβολταϊκό πάρκο. Το συμπέρασμα που μπορούμε να βγάλουμε από το γράφημα αυτό είναι ότι, για να μπορέσει να καλυφτεί η ζήτηση η εγκατεστημένη ισχύς των φωτοβολταϊκών, πρέπει να είναι αρκετά μεγαλύτερη από την μέγιστη ζητούμενη ισχύ, αυτό οφείλεται στο ότι τα φωτοβολταϊκά δεν μπορούν να παράγουν κάθε στιγμή την ζητούμενη ισχύ του δικτύου διότι η παραγωγή τους εξαρτάται αποκλειστικά από την ηλιοφάνεια.



Γράφημα 32. Παραγωγή φωτοβολταϊκών – ζήτηση ισχύος έτους

Τα ίδια με το παραπάνω γράφημα βλέπουμε και στο επόμενο αλλά αυτή τη φορά μόνο για τις ώρες μιας εβδομάδας. Διαλέξαμε να παρουσιάσουμε μια εβδομάδα του καλοκαιριού που παρουσίασε την μέγιστη ζήτησης ισχύος.



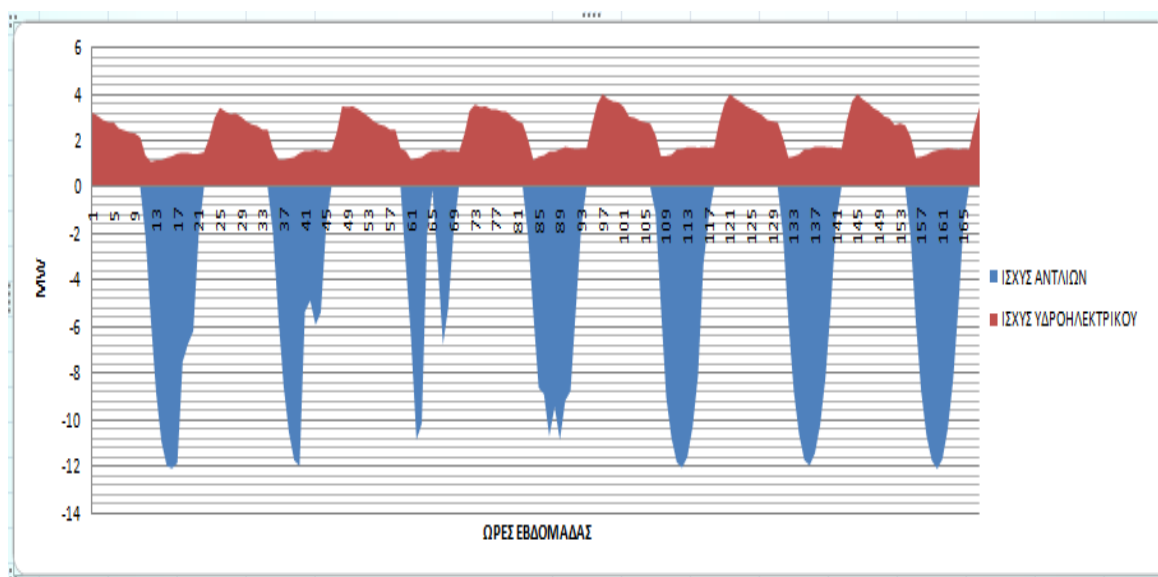
Γράφημα 33. Ισχύς υδροηλεκτρικού – αντλιών εβδομάδας

Στο επόμενο γράφημα βλέπουμε την ισχύ των υδροτροβίλων που παράγεται για να διοχετευτεί στο δίκτυο και παράλληλα την ισχύς των αντλιών που καταναλώνεται για να αποθηκεύσει νερό στον άνω ταμιευτήρα. Η ισχύς των αντλιών είναι αρκετά μεγαλύτερη από αυτή του υδροηλεκτρικού και αυτό οφείλεται στο ότι οι αντλίες έχουν μικρότερο βαθμό απόδοσης, αλλά και στο ότι οι αντλίες χρειάζεται να αποθηκεύουν μεγαλύτερο ποσό ενέργειας που περισσεύει από τα αιολικά, από ότι χρειάζεται να παράγει το υδροηλεκτρικό για να εξυπηρετήσει την ζήτηση.



Γράφημα 34. Ισχύς υδροηλεκτρικού – αντλιών έτους

Τα ίδια με το παραπάνω γράφημα βλέπουμε και στο επόμενο αλλά αυτή τη φορά μόνο για τις ώρες μιας εβδομάδας. Διαλέξαμε να παρουσιάσουμε μια εβδομάδα του καλοκαιριού που παρουσίασε την μεγίστη ζήτησης ισχύος.



Γράφημα 35. Ισχύς υδροηλεκτρικού – αντλιών εβδομάδας

2.6 Αποθηκευτικό μέσο (υδραυλικός ταμιευτήρας)



Εικόνα 26. Σύστημα αντλησιοταμίευσης

Το αποθηκευτικό σύστημα της αντλησιοταμίευσης βασίζεται σε μια πολύ απλή λογική. Ο πλήρης κύκλος περιλαμβάνει άντληση νερού από ένα κάτω ταμιευτήρα σε ένα άνω ταμιευτήρα των οποίων η υψομετρική διαφορά είναι ίση προς ή για την φάση της αποθήκευσης ενέργειας (μετατρέπεται η ηλεκτρική ενέργεια σε υδραυλική) και για την φάση της παραγωγής διακίνηση του νερού από τον πάνω ταμιευτήρα στον κάτω μέσω υδροστροβίλων οπότε η υδραυλική ενέργεια μετατρέπεται σε μηχανική και στην συνέχεια σε ηλεκτρική. Πρόκειται για τα αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά έργα.

Η πρώτη εφαρμογή μεγάλης κλίμακας αναφέρεται το 1929 στην Γερμανία. Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα των υδροηλεκτρικών σταθμών παραγωγής είναι η δυνατότητα γρήγορης παραλαβής και γρήγορης απόρριψης φορτίου πολύ μεγάλης ισχύος με αποτέλεσμα να αποτελούν την καλύτερη λύση που διαθέτει ο διαχειριστής ενός δικτύου ώστε να καλύπτει τις αιχμές φορτίου που παρουσιάζονται.

Τα αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά έργα που λειτουργούν σήμερα σε ολόκληρη την υφήλιο έχουν ισχύ περί τις 140.000 MW από τα οποία:

- 100.000 MW στην Ευρώπη, Ασία και Λατινική Αμερική.
- 21.000 MW στην Ιαπωνία.
- 19.000 MW στις ΗΠΑ.

Στην Ελλάδα λειτουργούν 2 αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά έργα: Της Σφηκιάς στον ποταμό Αλιάκμονα (1985) με 3 αναστρέψιμες μονάδες ισχύος $3 \times 105 = 315$ MW και του Θησαυρού στον ποταμό Νέστο (1998) με 3 αναστρέψιμες μονάδες ισχύος $3 \times 127 = 381$ MW, διαθέσιμη υδραυλική πτώση $H = 154$ m και ταμιευτήρα χωρητικότητας 565.106 m³.

Τόσο σε παγκόσμιο όσο και σε τοπικό επίπεδο, οι αλλαγές στον ενεργειακό χάρτη προμηνύονται ιδιαίτερα σημαντικές για την ερχόμενη δεκαετία. Ιδιαίτερα η χώρα μας φιλοδοξεί να συμβαδίσει με τις επιταγές της Ε.Ε. και να έχει επιτύχει μέχρι το 2020, το 20% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας να προέρχεται αποκλειστικά από ΑΠΕ.

Είναι πλέον προφανές ότι η εισαγωγή ενός αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού σε ένα μη διασυνδεδεμένο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να συμβάλει τόσο στην αύξηση της συμμετοχής των μονάδων Α.Π.Ε. στην κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, όσο και στη βελτίωση της ασφάλειας του συστήματος και της δυνατότητας έγκαιρης αντίδρασης του σε ένα περιστατικό διαταραχής στην παραγωγή. Το τελευταίο, επιτυγχάνεται μέσω της εισαγωγής των υδροστροβίλων στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, μονάδων δηλαδή που είναι ικανές να αναλάβουν άμεσα μεγάλα φορτία και να παρακολουθήσουν επιτυχώς γρήγορες διακυμάνσεις ζήτησης ισχύος. Τα χαρακτηριστικά αυτά βοηθούν στη διατήρηση της τάσης και της συχνότητας του συστήματος εντός των προδιαγεγραμμένων ορίων λειτουργίας. Ακόμη βέβαια μπορεί να κάνει ένα νησί αυτόνομο ενεργειακά, δηλαδή η ζήτηση του να καλύπτεται 100% από Α.Π.Ε.

Επίσης στο διασυνδεδεμένο ηπειρωτικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, τα αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά μπορούν να συμβάλουν ουσιαστικά στη μείωση του κόστους παραγωγής μέσω της διαδικασίας της απαλοιφής αιχμών ζήτησης ισχύος.^[7]

2.6.1 Κύρια χαρακτηριστικά των αναστρέψιμων υδροηλεκτρικών

Η υδραυλική ισχύς N_h δίνεται από το γινόμενο: $N_h = (\rho g) \cdot h \cdot Q$ στην οποία συμβολίζονται:

- με $g = 9,81$ m/sec² η επιτάχυνση της βαρύτητας
- με ρ η πυκνότητα του νερού ($\rho = 1000$ Kg/m³)
- με Q σε m³/sec η διακινούμενη παροχή νερού και
- με h σε m η υψομετρική διαφορά μεταξύ κάτω και άνω ταμιευτήρα

Από την προηγούμενη σχέση γίνεται φανερός ο ρόλος της υψομετρικής διαφοράς h μεταξύ κάτω και άνω ταμιευτήρα: για την αποθήκευση δεδομένης ισχύος N επί κάποιο χρονικό διάστημα Δt , άρα ενέργειας: $E = N \cdot \Delta t$. Όσο μεγαλύτερη είναι η υψομετρική διαφορά h τόσο μικρότερη η αντίστοιχη παροχή Q και η ποσότητα νερού: ($Q \cdot \Delta t$) που αντιστοιχεί.

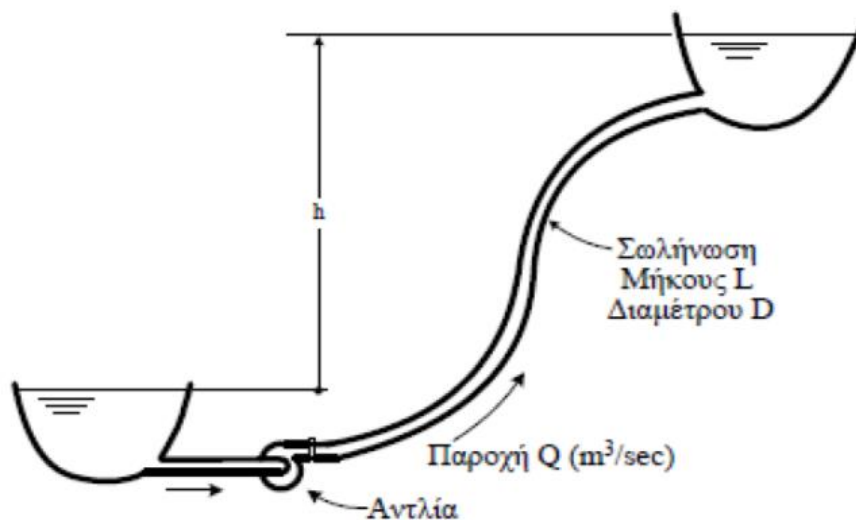
Άρα για την αποθήκευση της ίδιας ισχύος και ενέργειας όσο αυξάνεται η υψομετρική διαφορά h μειώνεται η παροχή, με αποτέλεσμα την μείωση του κόστους:

- της σωλήνωσης (μικρότερη διάμετρος).
- των αντλιών.
- του ταμιευτήρα λόγω της μικρότερης χωρητικότητας που απαιτείται για την αποθήκευση της ίδιας ποσότητας ενέργειας.

Για τον λόγο αυτό τα αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά έργα θεωρούνται οικονομικότερα αποδοτικά όταν η υδραυλική πτώση είναι υψηλότερη των 200 m περίπου.^[7]

2.6.2 Φάση της άντλησης

Η ενέργεια H του νερού, την οποία θα πρέπει να δίνει η αντλία, είναι ίση προς: $H=h+\delta hf$ όπου με δh συμβολίζονται οι υδραυλικές απώλειες που αναπτύσσονται στην σωλήνωση που συνδέει τον κάτω με τον άνω ταμιευτήρα. Άρα η ισχύς: $\delta Nf=(\rho g)\cdot\delta hf\cdot Q$ αποτελεί την απώλεια ισχύος που αντιστοιχεί στην ισχύ που χάνεται στις υδραυλικές απώλειες της σωλήνωσης.



Εικόνα 27. Περιγραφή φάσης άντλησης^[7]

Εάν ληφθούν υπόψη οι ενεργειακές απώλειες του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού που παρεμβαίνει (αντλία, ηλεκτροκινητήρας, μετασχηματιστές) μέσω του βαθμού απόδοσης τους, προκύπτει ο συνολικός βαθμός απόδοσης:

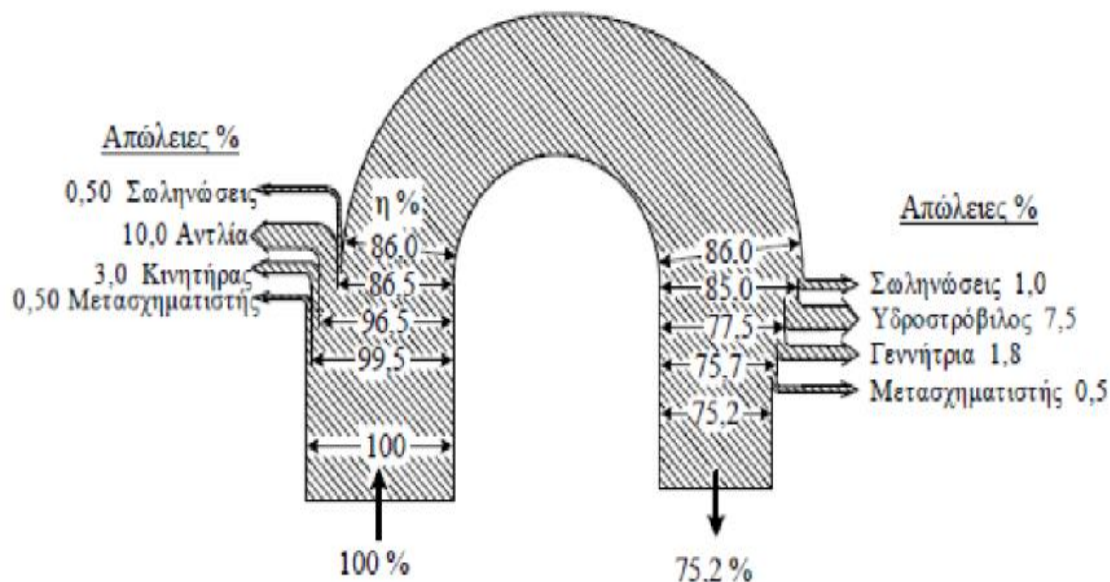
$\eta=\eta P \cdot \eta M \cdot \eta Tr$. Άρα εάν υπάρχει ηλεκτρική ισχύς N αυτή μπορεί μέσω άντλησης να μετατραπεί σε υδραυλική ισχύ Nh , προφανώς $Nh < N$ καθώς η διαφορά $(N-Nh)$ αντιστοιχεί στις απώλειες που αναπτύσσονται και αντιστοιχούν σε ενέργεια που δεν αποθηκεύεται.^[7]

2.6.3 Φάση επαναπρόσδοσης της υδραυλικής ενέργειας

Στην φάση αυτή η φορά της ενέργειας και της ροής του νερού είναι η αντίθετη. Την λειτουργία αυτή εξασφαλίζει ο υδροστρόβιλος και η ηλεκτρική γεννήτρια που στρέφεται από αυτόν. Η ενέργεια που διατίθεται στον υδροστρόβιλο για να την μετατρέψει σε μηχανική και στην συνέχεια σε ηλεκτρική ενέργεια είναι ίση προς: $H=h-dhf$ όπου με dh συμβολίζονται οι υδραυλικές απώλειες που αναπτύσσονται στην σωλήνωση που συνδέει τον κάτω με τον άνω ταμιευτήρα. Άρα η ισχύς: $\delta Nf=(\rho g) \cdot dhf \cdot Q$ αποτελεί την απώλεια ισχύος και αντιστοιχεί στην ισχύ που χάνεται στις υδραυλικές απώλειες της σωλήνωσης.

Εάν ληφθούν υπόψη οι ενεργειακές απώλειες του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού που παρεμβαίνει (υδροστρόβιλος, ηλεκτρική γεννήτρια, μετασχηματιστές) μέσω του βαθμού απόδοσης τους, προκύπτει ο συνολικός βαθμός απόδοσης: $\eta=\eta_T \cdot \eta_G \cdot \eta_{Tr}$. Άρα από την υδραυλική ισχύ Nh αυτή που μετατρέπεται σε ηλεκτρική ισχύ N_e και τροφοδοτεί το ηλεκτρικό δίκτυο είναι μικρότερη κατά τις ολικές απώλειες (σωληνώσεις και ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός), δηλαδή $N_e < N_h$.

Συνολικά σε ένα πλήρη κύκλο, και ανάλογα με τον εξοπλισμό (αντλίες, υδροστρόβιλοι κλπ) ο ολικός βαθμός απόδοσης είναι της τάξεως του 65-80% (το υπόλοιπο 35-20% της ενέργειας χάνεται σε απώλειες) ανάλογα με το μέγεθος της μονάδας, την επιλογή του εξοπλισμού της κα.^[7]



Εικόνα 28. Περιγραφή της φάσης επαναπρόσδοσης της υδραυλικής ενέργειας.^[7]

2.6.4 Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός αποθήκευσης-απόδοσης ενέργειας

Όσον αφορά τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό (υδροδυναμικές και ηλεκτρικές μηχανές), τα αναστρέψιμα ΥΗΕ διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα με την σύνθεση των μονάδων τους:

i) Τις σύνθετες (ή τριπλές), αυτές δηλαδή που είναι εξοπλισμένες με υδροστρόβιλο, φυγόκεντρη αντλία και ηλεκτρική μηχανή που λειτουργεί ως κινητήρας ή ως γεννήτρια. Και οι τρεις μηχανές έχουν κοινή άτρακτο. Ανάλογα με την υδραυλική πτώση ο υδροστρόβιλος είναι δράσεως (Pelton) ή αντιδράσεως (Francis), ενώ η αντλία είναι πολυβάθμια, μονοβάθμια, μονής ή διπλής αναρρόφησης ανάλογα με την υψομετρική διαφορά και την παροχή. Στις μονάδες αυτού του τύπου η φορά περιστροφής είναι η ίδια και για τις δύο λειτουργίες. Με σκοπό την μείωση των φθορών τοποθετείται συμπλέκτης (συνήθως υδροδυναμικός) στα δύο άκρα της ατράκτου της ηλεκτρικής μηχανής, έτσι ώστε όταν λειτουργεί ο υδροστρόβιλος η αντλία να μην περιστρέφεται, και αντιστρόφως.

ii) Αυτές στις οποίες το αντλητικό συγκρότημα είναι ανεξάρτητο από το υδραυλικό συγκρότημα παραγωγής, δηλ. τον υδροστρόβιλο και τη γεννήτριά του. Στην περίπτωση αυτή κάθε αντλία έχει τον δικό της κινητήρα και κάθε υδροστρόβιλος τη δική του γεννήτρια.

iii) Αυτές που είναι εξοπλισμένες με αναστρέψιμη υδροδυναμική μηχανή (στροβιλοαντλία όπως συνήθως ονομάζεται) και ηλεκτρική μηχανή που, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, λειτουργεί ως γεννήτρια ή ως κινητήρας. Η αναστρέψιμη υδροδυναμική μηχανή έχει την δυνατότητα λειτουργίας ως αντλίας και ως υδροστρόβιλου με την αντιστροφή της φοράς περιστροφής της πτερωτής (του δρομέα) και της φοράς της ροής.

Το βασικό πλεονέκτημα των λύσεων (i) και (ii) είναι ότι κάθε μηχανή (υδροστρόβιλος και αντλία) επιλέγεται ώστε να λειτουργεί στο αντίστοιχο κανονικό σημείο λειτουργίας της, χωρίς να είναι ανάγκη να γίνεται συμβιβασμός στα λειτουργικά χαρακτηριστικά της, όπως θα γίνει φανερό στην συνέχεια. Παρουσιάζει όμως το μειονέκτημα του σημαντικού κόστους του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού (δύο υδροδυναμικές μηχανές συν συμπλέκτης αντί μίας αναστρέψιμης) ενώ επιπλέον κάθε μονάδα καταλαμβάνει χώρο σημαντικά μεγαλύτερο σε σύγκριση με την λύση της αναστρέψιμης υδροδυναμικής μηχανής. Από πλευράς κόστους η λύση (ii) είναι χειρότερη από την λύση (i) επειδή περιλαμβάνει περισσότερες μηχανές (ηλεκτροκινητήρας και γεννήτρια) και καταλαμβάνει περισσότερο χώρο.

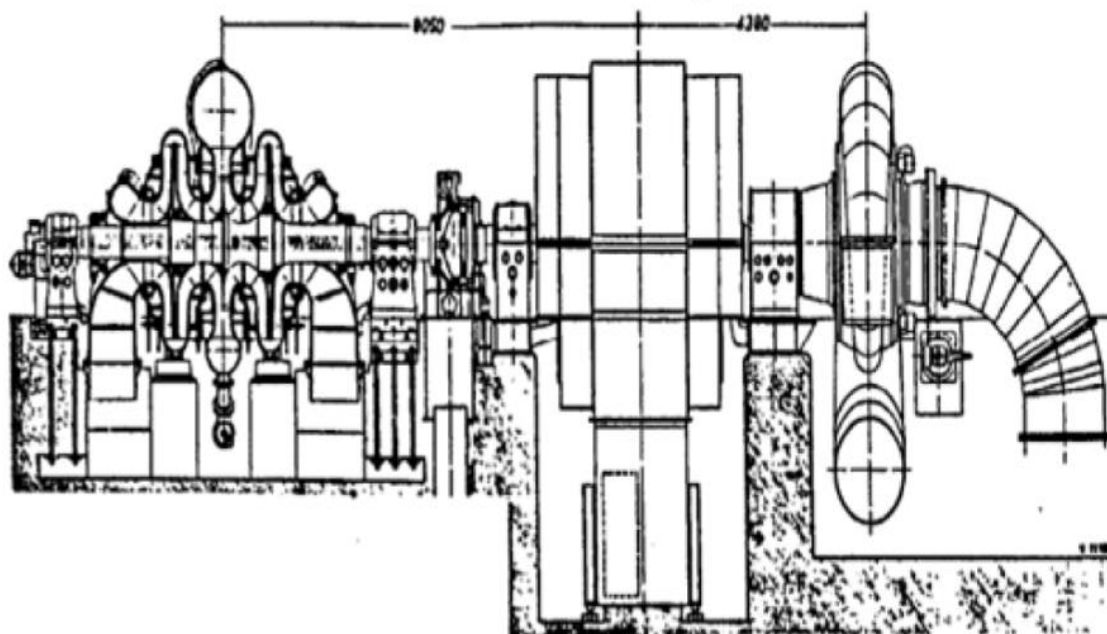
Όμως σε περιπτώσεις μικρής σχετικά ισχύος, οπότε οι αντλίες και οι υδροστρόβιλοι μπορεί να είναι τυποποιημένοι, η λύση αυτή έχει σημαντικά πλεονεκτήματα και τελικά μικρότερο κόστος. Στην περίπτωση όπου η προβλεπόμενη συχνότητα εναλλαγής της λειτουργίας είναι υψηλή, οι σύνθετες μονάδες (τριπλές) πλεονεκτούν έναντι των αναστρέψιμων (στις οποίες απαιτείται αντιστροφή της φοράς περιστροφής του δρομέα). Όταν όμως η διαθέσιμη υδραυλική πτώση είναι σημαντική και αντιστοιχεί σε υδροστρόβιλο τύπου Pelton (του οποίου η λειτουργία δεν μπορεί να αντιστραφεί ώστε να λειτουργήσει ως

αντλία), είναι απαραίτητη η εγκατάσταση ανεξάρτητης αντλίας που θα εξασφαλίζει τη λειτουργία της αποταμίευσης.

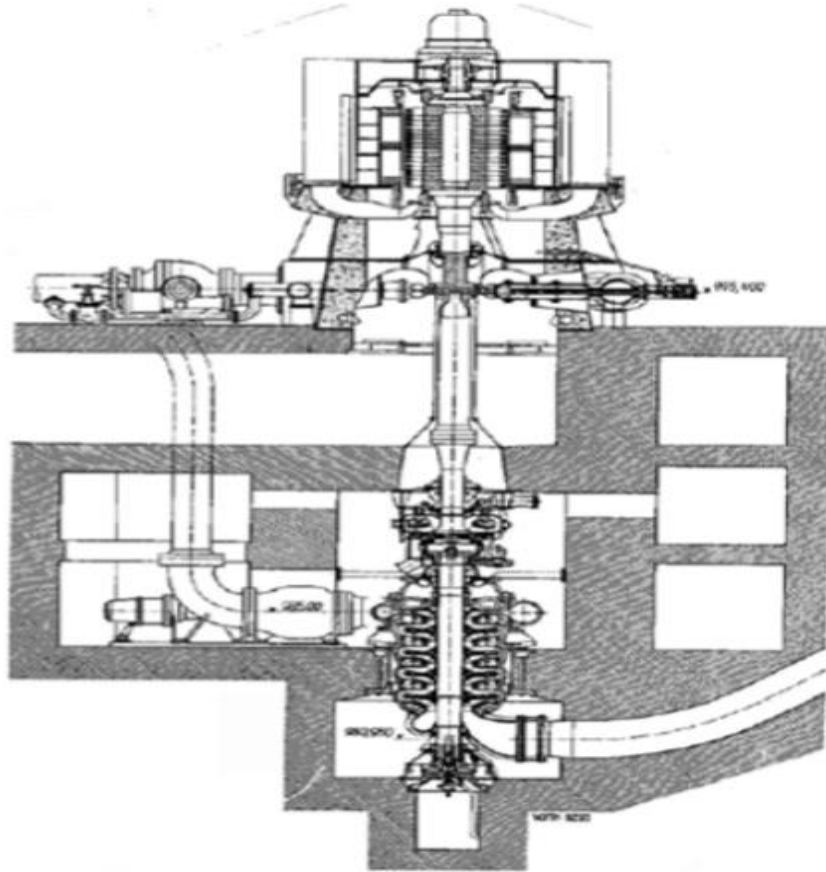
Στην εικόνα 29 δίνεται παράδειγμα σύνθετης αναστρέψιμης μονάδας σε οριζόντια διάταξη που περιλαμβάνει υδροστρόβιλο τύπου Francis, διβάθμια αντλία διπλής αναρρόφησης και ηλεκτρική μηχανή που λειτουργεί ως γεννήτρια ή ως κινητήρας. Μεταξύ της αντλίας και της ηλεκτρικής μηχανής παρεμβάλλεται υδροδυναμικός συμπλέκτης, καθώς και ο βοηθητικός υδροστρόβιλος Pelton για την εκκίνηση της αντλίας.

Στην εικόνα 30 δίνεται διάταξη σύνθετης αναστρέψιμης μονάδας σε κατακόρυφο άξονα, που περιλαμβάνει υδροστρόβιλο τύπου Pelton με 4 δέσμες, 5-βάθμια αντλία, ηλεκτρική μηχανή και υδροδυναμικό συμπλέκτη. Πρόκειται για το ΥΗΕ Lunersee (Αυστρία), κατασκευής VOITH (1954). Στις περιπτώσεις σύνθετης μονάδας σε κατακόρυφη διάταξη η αντλία αποταμίευσης είναι πάντοτε τοποθετημένη στο χαμηλότερο σημείο, ώστε να εξασφαλίζεται η λειτουργία της χωρίς σπηλαίωση.

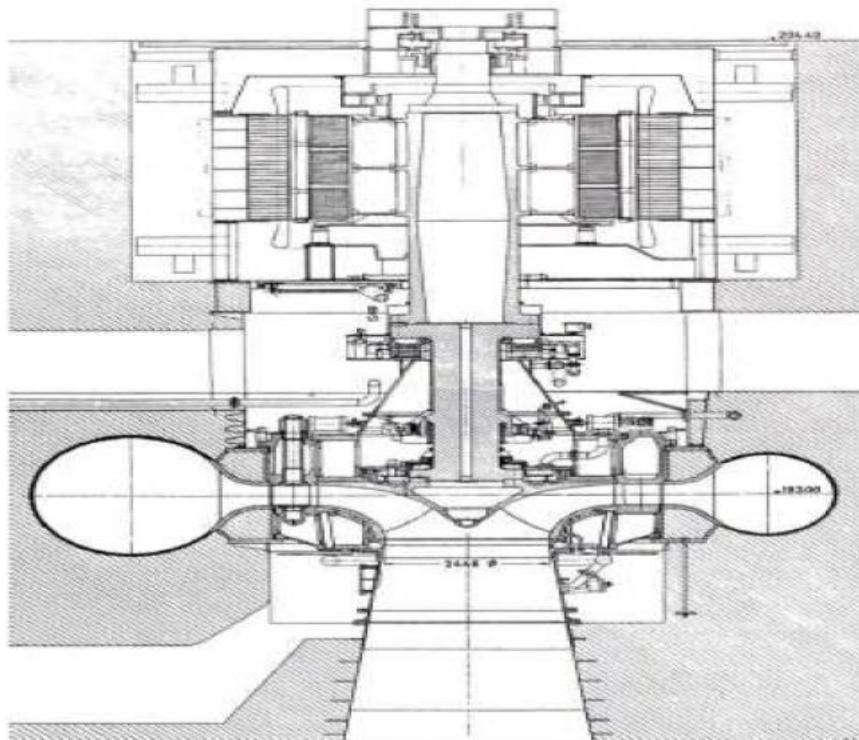
Στην εικόνα 31 δίνεται διάταξη αναστρέψιμης υδροηλεκτρικής μονάδας, που περιλαμβάνει αναστρέψιμη υδροδυναμική μηχανή και την ηλεκτρική μηχανή, που λειτουργεί ως γεννήτρια ή ως κινητήρας. Πρόκειται για την μονάδα X του αναστρέψιμου ΥΗΕ Vianden, το οποίο δεν παράγει πρωτογενή ενέργεια, ενώ ο άνω ταμιευτήρας έχει διαμορφωθεί στην κορυφή ενός λόφου.^[7]



Εικόνα 29. Σύνθετη αναστρέψιμη μονάδα σε οριζόντια διάταξη^[7]



Εικόνα 30. Σύνθετη αναστρέψιμη μονάδα σε κατακόρυφη διάταξη^[7]



Εικόνα 31. Αναστρέψιμη υδροηλεκτρική μονάδα, που περιλαμβάνει αναστρέψιμη υδροδυναμική μηχανή και την ηλεκτρική μηχανή, που λειτουργεί ως γεννήτρια ή ως κινητήρας.^[7]

2.6.5 Επιλογή του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού

Η σύνθεση και διαμόρφωση του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού εξαρτάται κυρίως από την ονομαστική ισχύ του υβριδικού συστήματος. Παράδειγμα για ένα υβριδικό σύστημα ισχύος 6 MW, μπορούμε να έχουμε την εγκατάσταση 8 τυποποιημένων αντλιών των 800 KW και τυποποιημένου υδροστροβίλου Pelton, αλλά θα μπορούσαμε να προσαρμόσουμε στις ανάγκες μας τον εξοπλισμό και να παραγγείλουμε στην κατασκευάστρια εταιρία όσους υδροστροβίλους χρειαζόμαστε σε ότι ονομαστική ισχύ θέλουμε, οι εταιρίες που δραστηριοποιούνται στην τομέα της κατασκευής υδροστροβίλων μπορούν να προσφέρουν εκτός από τυποποιημένα προϊόντα και προϊόντα συμφώνα με την εκάστοτε εγκατάσταση.

Για μονάδες μεγάλης ισχύος και συγκεκριμένα για αντλίες ισχύος μεγαλύτερης του 1 MW και υδροστροβίλους ισχύος μεγαλύτερης των 10 MW δεν υπάρχει τυποποιημένος εξοπλισμός. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η τυποποίηση των μηχανών αυτού του μεγέθους έχει την έννοια της γρηγορότερης παράδοσης (επειδή δεν απαιτείται η διαδικασία της εξ αρχής σχεδίασης και δοκιμών), του μικρότερου κόστους (επειδή τα έξοδα ανάπτυξης και σχεδίασης επιμερίζονται στην τυποποιημένη σειρά παραγωγής), ενώ υπάρχει η δυνατότητα μικρών τροποποιήσεων στη σχεδίαση και κατασκευή, ώστε να γίνει καλύτερη προσαρμογή στις ανάγκες του συγκεκριμένου έργου. Σε περιοχές λειτουργίας οι οποίες δεν καλύπτονται από τις τυποποιημένες μονάδες, οι μεγάλες κατασκευαστικές εταιρείες είναι σε θέση να σχεδιάσουν και να κατασκευάσουν τον εξοπλισμό σύμφωνα με τις προδιαγραφές και απαιτήσεις του κάθε έργου.

Ένα αντλιοστάσιο που αποτελείται από περισσότερες τυποποιημένες αντλίες έχει ως μειονέκτημα το μεγαλύτερο συνολικό κόστος των αντλιών, το μεγαλύτερο κόστος σωληνώσεων και εξαρτημάτων και τον μεγαλύτερο απαιτούμενο χώρο, δηλ. υψηλότερο κόστος αντλιοστασίου. Όμως το βασικό πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα κλιμάκωσης της απορροφούμενης ισχύος, και από την πλευρά αυτή, η καλύτερη αξιοποίηση της ενέργειας που παράγεται από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Λόγω της δυνατότητας πολύ γρήγορης απόκρισης των υδραυλικών μηχανών, αντλιών και υδροστροβίλων, τόσο στην παραλαβή όσο και στην απόρριψη φορτίου, της τάξεως των ολίγων sec, για τις ανάγκες της αριθμητικής προσομοίωσης της λειτουργίας του συστήματος (η οποία γίνεται με χρονικό βήμα 10 min=600 sec) οι χρόνοι αυτοί απόκρισης λαμβάνονται μηδενικοί.

Από τις αναλύσεις και τη διερεύνηση των δυνατών επιλογών της βέλτιστης διαμόρφωσης ενός Υβριδικού Σταθμού (ΥΒΣ), όσον αφορά τη σύνθεση του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού αποταμίευσης και παραγωγής ενέργειας, δηλ. τις αντλίες και τους υδροστροβίλους, προκύπτει ότι δεν τίθενται ιδιαίτεροι περιορισμοί από το μέγεθος του ΥΒΣ, παρά την μεγάλη διαφορά κλίμακας που μπορεί να έχουν τα έργα αυτά (πχ. Από μερικά MW μέχρι και 100 ή 200 MW). Οπωσδήποτε η ισχύς του συστήματος επηρεάζει τη σύνθεση του εξοπλισμού, τόσο όσον αφορά τη διαθεσιμότητα και φυσικά το κόστος αυτού.

Μία άλλη παράμετρος που χαρακτηρίζει τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό, από την οποία επηρεάζεται η ενεργειακή απόδοση, είναι η ελάχιστη παροχή (και κατά συνέπεια η ελάχιστη παραγόμενη ισχύς) για συνεχή λειτουργία.

Το μέγεθος αυτό, ως ποσοστό της ονομαστικής παροχής εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το είδος του υδροστροβίλου (Pelton, Francis η αναστρέψιμο) και κατά δεύτερο λόγο από τον κατασκευαστή, καθώς παρατηρούνται μικρές μόνο διαφορές από κατασκευαστή σε κατασκευαστή.

Επίσης, μετά από σχετική διερεύνηση προέκυψε ότι η δυνατότητα μεταβολής της ταχύτητας περιστροφής της αντλίας βελτιώνει την αξιοποίηση της μεταβλητής ενέργειας που παράγεται από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αν και η αύξηση του κόστους που αυτή συνεπάγεται, ιδιαίτερα για μονάδες μεγάλης ισχύος, δεν είναι προφανές ότι καλύπτεται από την αύξηση της αποδοτικότητας.

2.6.6 Ταμιευτήρας αποθήκευσης νερού

Ο άνω ταμιευτήρας αποθήκευσης νερού βρίσκεται σε ύψος 440 m από την στάθμη της θάλασσας, παρουσιάζει ομαλότητα για τους αγωγούς και μία περιοχή σχεδόν επίπεδη, ακριβώς κατάλληλη για τη δημιουργία της δεξαμενής. Ενώ ο κάτω ταμιευτήρας βρίσκεται σε ύψος 40 m από την στάθμη της θάλασσας. Συγκρίνοντας όλες τις πιθανές εκδοχές για την χωρητικότητα του ταμιευτήρα σε σύγκριση πάντα με την παραγωγή ισχύος από τις Α.Π.Ε., βρέθηκε η χρυσή τομή ώστε να μην υπάρχει αφενός σημαντική απόρριψη ενέργειας από Α.Π.Ε. αλλά αφετέρου η κάλυψη της ζήτησης ισχύος να γίνεται αδιάλειπτα. Σε μία τέτοια δεξαμενή το βάθος δεν είναι δυνατό να θεωρηθεί κατακόρυφο, δηλαδή όση είναι η επιφάνεια να είναι και ο πυθμένας.

Ο ταμιευτήρας λοιπόν παρουσιάζει κλίση καθώς οδεύει προς τον πυθμένα. Τον όγκο του που χρειάζεται να υπολογιστεί για να πετύχουμε την αναμενόμενη χωρητικότητα νερού, τον υπολογίζουμε βάση την κόλουρη πυραμίδα. Η σχέση είναι $V=1/3*(B1+(B1*B2)^{-2}+B2)$. [7]

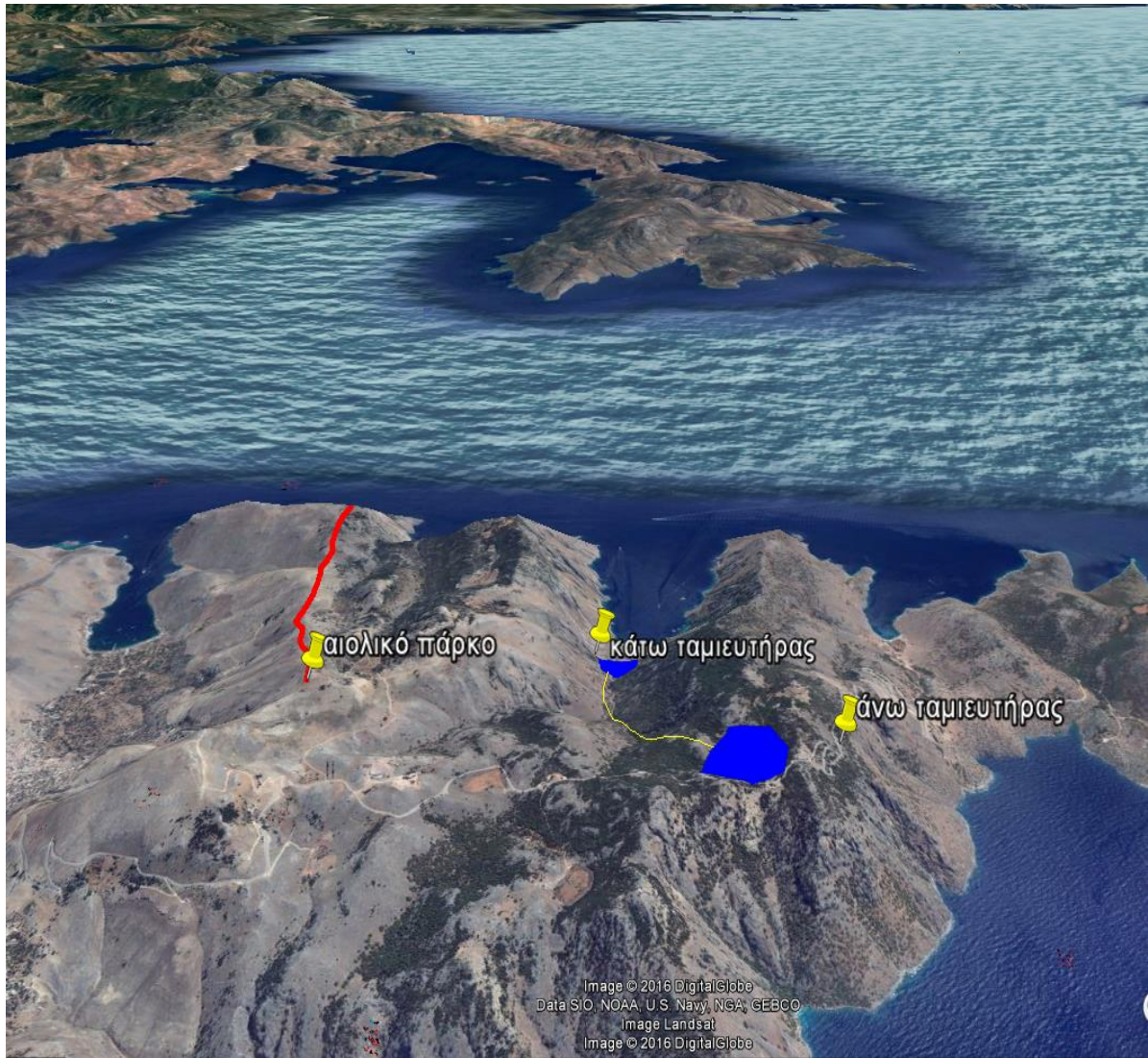
Έτσι λοιπόν, ο ταμιευτήρας που μελετάμε, στην πρώτη περίπτωση για την αποθήκευση ενέργειας προερχόμενη από τα αιολικά, το εμβαδό της επιφανείας του ανέρχεται στα 251496,66 m², το εμβαδόν της βάσης στον πυθμένα στα 31496,66 m² και βάθος στα 7,35 m παρουσιάζει όγκο 1.000.000 m³.

Ο ταμιευτήρας που μελετάμε, στην δεύτερη περίπτωση για την αποθήκευση ενέργειας προερχόμενη από τα φωτοβολταϊκά, το εμβαδό της επιφανείας του ανέρχεται στα 282.743,1 m², το εμβαδόν της βάσης στον πυθμένα στα 31.415,9 m² και βάθος στα 11,02 m παρουσιάζει όγκο 1.500.000 m³.

Ακολουθούν δυο εικόνες που δείχνουν τις θέσεις εγκατάστασης των ταμιευτήρων στο νησί της Σύμης.



Εικόνα 32. Απεικόνιση θέσεων εγκατάστασης ταμιευτήρων, από πάνω^[6]



Εικόνα 33. Απεικόνιση θέσεων εγκατάστασης ταμιευτήρων, από άλλη γωνία^[6]

Με δεδομένα πλέον τις θέσεις εγκατάστασης και τη μορφή της δεξαμενής, επιλέγει η κατάλληλη όδευση του χαλύβδινου αγωγού για την σύνδεση των δύο δεξαμενών. Η επιλογή αυτή έγινε με κριτήριο την μορφολογία του εδάφους και την εξοικονόμηση του κόστους κατασκευής του, αποφεύγοντας τις απότομες κλίσεις με όσο το δυνατόν μικρότερο μήκος σωλήνωσης.

Σύμφωνα λοιπόν με τις πληροφορίες για την απεικόνιση του ανάγλυφου του βουνού που μας δίνει ο ψηφιοποιημένος χάρτης της Google earth, το συνολικό μήκος του αγωγού είναι 1620 m.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.

3.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΣΧΟΛΙΑ

Σκοπός αυτής της εργασίας ήταν να συγκρίνει δυο μεθόδους υβριδικού συστήματος, με στόχο να αποκτήσει το νησί της Σύμης 100% ενεργειακή επάρκεια από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και να απ' εξαρτηθεί πλήρως από την ηλεκτρική ενέργεια που προέρχεται από συμβατικές μονάδες παράγωγης.

Ο στόχος της απ' εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα, δεν ήταν μόνο καθαρά οικολογικός και για λόγους προστασίας του περιβάλλοντος, ήταν ταυτόχρονα να βρεθεί μια βιώσιμη λύση, διότι το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τα ορυκτά καύσιμα και συγκεκριμένα το πετρέλαιο ήταν πολύ υψηλό.

Εξετάστηκαν λοιπόν δυο περιπτώσεις, η πρώτη περίπτωση που μελετήθηκε ήταν ένα υβριδικό σύστημα με παραγωγή ενέργειας από αιολικό πάρκο και αποθήκευση της σε σύστημα αντλησιοταμίευσης, η δεύτερη περίπτωση που μελετήθηκε ήταν το υβριδικό σύστημα να αποτελείται από φωτοβολταϊκό πάρκο, για την παραγωγή της απαιτούμενης ενέργειας, και για την αποθήκευση της ένα σύστημα αντλησιοταμίευσης.

Μετά από τους απαραίτητους υπολογισμούς που έγιναν καταλήξαμε σε κάποια αποτελέσματα για το μέγεθος του υβριδικού συστήματος, που πρέπει να εγκατασταθεί και στις δυο περιπτώσεις.

Στην πρώτη περίπτωση, αυτή του αιολικού πάρκου με αντλησιοταμίευση, για να μπορέσει να εξυπηρετηθεί η ενεργειακή ζήτηση του νησιού αδιάλειπτα για όλο το έτος, θα πρέπει να εγκατασταθεί στο νησί ένα αιολικό πάρκο, αποτελούμενο από 16 ανεμογεννήτριες ονομαστικής ισχύος 0,6 MW δηλαδή συνολικής ονομαστικής ισχύος 9,6 MW. Για το αποθηκευτικό μέσο, θα πρέπει να κατασκευαστούν δυο ταμιευτήρες με τον άνω ταμιευτήρα να είναι χωρητικότητας 1.000.000 m³ (ο κάτω ταμιευτήρας δεν μετέχει στους υπολογισμούς και για αυτό των θεωρούμε απλά μεγαλύτερο από των άνω), καθώς επίσης και ένα σύστημα υδροστροβίλων και αντλιών με ονομαστικής ισχύος 4 MW και 9,6 MW αντίστοιχα.

Στη δεύτερη περίπτωση, αυτή του φωτοβολταϊκού συνδυασμένου με αντλησιοταμίευση, είναι απαραίτητο να εγκατασταθεί στο νησί ένα φωτοβολταϊκό σύστημα (ενιαίο ή σε επιμέρους τμήματα), ονομαστικής ισχύος 17 MW. Για το αποθηκευτικό μέσο, θα πρέπει να κατασκευαστούν δυο ταμιευτήρες με τον άνω να είναι χωρητικότητας 1.500.000 m³, καθώς επίσης και ένα σύστημα υδροστροβίλων ονομαστικής ισχύος 4 MW και ένα σύστημα αντλιών ονομαστικής ισχύος 14,7 MW.

Με τα παραπάνω συγκεντρωτικά στοιχεία των εγκαταστάσεων, των δυο περιπτώσεων είναι ξεκάθαρο πλέον, ότι η πιο συμφέρουσα λύση χωροταξικά είναι η πρώτη περίπτωση, δηλαδή αυτή του αιολικού πάρκου με αντλησιοταμίευση. Ο λόγος που η λύση αυτή είναι πιο συμφέρουσα είναι ότι χρειάζεται πολύ λιγότερο χώρο εγκατάστασης το αιολικού πάρκου, που είναι και μικρότερης ονομαστικής ισχύς, από ότι χρειάζεται το φωτοβολταϊκό πάρκο.

Επίσης πολύ σημαντικό κριτήριο στην επιλογή αυτή είναι ότι χρειάζεται μικρότερο σε όγκο αποθηκευτικό μέσο ανά και μικρότερη έκταση για τους

ταμειυτήρες. Ακόμη και το κτήριο που θα στεγάσει τους υδροστρόβιλους και τις αντλίες μπορεί να είναι μικρότερο από το αντίστοιχο που θα χρειαζόταν στη δεύτερη περίπτωση, λόγω του ότι χρειάζεται πολύ μικρότερη εγκατεστημένη ισχύ αντλιών.

Τέλος ακόμη και από οικονομικής άποψης αν το δούμε, ακόμη και αν θεωρήσουμε ότι για την ίδια εγκατεστημένη ισχύ αιολικών και φωτοβολταϊκών το κόστος είναι το ίδιο, (κάτι που δεν συμβαίνει διότι τα φωτοβολταϊκά είναι ακριβότερα από τα αιολικά για την ίδια εγκατεστημένη ισχύ, συμφώνα με τις σημερινές τιμές) πάλι τα αιολικά υπερισχύουν διότι χρειαζόμαστε μικρότερη εγκατεστημένη ισχύ για να πάρουμε την ίδια ποσότητα ενέργειας.

Στο μόνο που υπερισχύουν τα φωτοβολταϊκά έναντι των αιολικών είναι ότι ταυτοχρονίζουν κατά κάποιο τρόπο την παραγωγή τους με την ζήτηση, δηλαδή τους θερινούς μήνες όπου η ζήτηση αυξάνεται, παράγουν περισσότερη ενέργεια από αυτή που παράγουν τους αντίστοιχους χειμερινούς μήνες, επίσης έχουν μικρότερες διακυμάνσεις κατά την παραγωγή τους άρα και μεγαλύτερη προβλεψιμότητα, κάτι το οποίο βοηθά τον διαχειριστή του δικτύου και έτσι μπορούν να έχουν μεγαλύτερο ποσοστό απευθείας διείσδυσης στο δίκτυο. Επίσης κάτι ακόμα σημαντικό, που γίνεται αντιληπτό και από τα γραφήματα που παρουσιάστηκαν σε προηγούμενες ενότητες, είναι ότι τα φωτοβολταϊκά συνδυασμένα με αντλησιοταμίευση δίνουν λιγότερο ποσοστό απορριπτόμενης ενέργειας (περίσσεια) από ότι τα αιολικά συνδυασμένα με αντλησιοταμίευση. Αυτό γίνεται διότι όπως είπαμε και παραπάνω η παραγωγή τους ταυτοχρονίζεται καλύτερα με την ζήτηση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Τσολάκης – Χρυσοβιτσιώτη: 'ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΛΥΨΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΝΗΣΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ' Τ. Ε. Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ, Αιγάλεω 2014.

[2] Πετροχείλος: 'ΜΕΛΕΤΗ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ, ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΑ ΚΑΙ ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗ ΣΤΟ ΜΗ-ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΟΥ ΣΥΜΠΛΕΓΜΑΤΟΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΚΩ' Ε.Μ.Π. Αθήνα 2013.

[3] ΛΕΙΤΟΥΡΓΟΣ ΑΓΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ <http://www.lagie.gr/>

[4] ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΗ ΑΡΧΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, www.rae.gr

[5] ΒΙΚΙΠΑΙΔΕΙΑ, <https://el.wikipedia.org>

[6] GOOGLE EARTH, <https://www.google.com/earth/>

[7] Μίχας: 'ΜΕΛΕΤΗ, ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ, ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΤΑΘΜΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΜΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΩ- ΚΑΛΥΜΝΟΥ' Τ.Ε.Ι. ΚΡΗΤΗΣ, Ηράκλειο 2013.

[8] ENERCON <http://www.enercon.de/home/>

[9] Κατσάφαρος: 'ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΙΚΑΡΙΑΣ' ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ, Πάτρα 2011.

[10] Κατσαπρακάκης: Μάθημα, 'ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ' ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

[11] Καλογεράκης: 'ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ 80KW' ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ, Χανιά 2013

[12] SMA: www.sunnydesignweb.com