

ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗΣ ΓΙΑ ΜΕΓΙΣΤΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΤΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΣΕΡΙΦΟ

Μαντάς Ζήσιμος-Δανιήλ

Υποψ. Διδάκτορας Μηχανολόγος Μηχανικός ΕΜΠ

Μπέτζιος Γεώργιος

Διπλ. Μηχανολόγος Διπλ. Οικονομολόγος

Θεοδωρόπουλος Πέτρος

Μηχανολόγος Μηχανικός ΕΜΠ

Ζερβός Αρθούρος

Αναπλ. Καθηγητής ΕΜΠ

Η νήσος Σέριφος χαρακτηρίζεται από υψηλό αιολικό δυναμικό το οποίο μέχρι στιγμής παραμένει αναξιοποίητο. Καθώς η παραγωγή αιολικής ενέργειας μεταβάλλεται στοχαστικά με τον άνεμο, είναι φυσικό να μη συμπίπτει με την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του νησιού. Στοχεύοντας στη βέλτιστη ενσωμάτωση της αιολικής ενέργειας σε ένα τέτοιο σύστημα και για να απαλλαγεί η παρεχόμενη στο δίκτυο ισχύς από τις παραπάνω διακυμάνσεις προτείνεται η εγκατάσταση ενός συστήματος μεσοπρόθεσμης αποθήκευσης ενέργειας, υπό μορφή δυναμικής υδραυλικής ενέργειας, το οποίο θα απορροφά την περίσσεια αιολικής ενέργειας που δε δύναται να απορροφηθεί από το δίκτυο και θα την αποδίδει σε περιόδους όπου δεν μπορεί να ικανοποιηθεί η αυξημένη ζήτηση λόγω έλλειψης ανέμου. Με τον τρόπο αυτό, μετατρέπεται ένα ουσιαστικό μειονέκτημα της αιολικής ενέργειας (στοχαστική εμφάνιση) σε βασικό πλεονέκτημα (εγγυημένη ισχύ) κατά τον πλέον οικονομικό και οικολογικό τρόπο. Η παρούσα μελέτη στοχεύει στη βελτιστοποίηση των μεγεθών του αιολικού πάρκου (Α/Π), της μονάδας αντλησιοταμίευσης και των ταμιευτήρων που απαρτίζουν το σύστημα. Η παραπάνω διαστασιολόγηση θα γίνει ελαχιστοποιώντας το κόστος παραγόμενης ενέργειας του Υβριδικού Συστήματος.

I. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Η Σέριφος ανήκει στον σύμπλεγμα των Κυκλάδων και βρίσκεται 74 ναυτικά μίλια νοτιοανατολικά του Πειραιά. Το νησί δεν είναι διασυνδεδεμένο στο ηπειρωτικό δίκτυο και διατηρεί ένα πετρελαϊκό Τοπικό Σταθμό Παραγωγής (ΤΣΠ) της ΔΕΗ ΑΕ προς κάλυψη των αναγκών του σε ηλεκτρική ενέργεια. Το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι πολύ υψηλό συγκρινόμενο με το ηπειρωτικό, καθιστώντας έτσι τη λειτουργία του συμβατικού πετρελαϊκού ΤΣΠ οικονομικά, αλλά και περιβαλλοντικά ζημιογόνα. Στην παραπάνω δυσμενή κατάσταση προστίθεται και η έντονη εποχική τουριστική δραστηριότητα η οποία αυξάνει δραματικά τη ζήτηση ενέργειας και νερού κυρίως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.

Το κόστος παραγόμενης ενέργειας (κόστος παραγόμενης kWh) ανήλθε στα 0,31€/kWh για το 2001, το οποίο είναι περίπου τετραπλάσιο από αυτό της ηπειρωτικής χώρας. Το παραπάνω κόστος αναλύεται στο κόστος καυσίμου και λιπαντικών, που είναι 0,133€/kWh, και σε άλλα επιμέρους κόστη όπως π.χ. μισθοδοσία, αποσβέσεις, γενικά έξοδα, κλπ. Το νησί της Σερίφου καλύπτει επιφάνεια 75km² και έχει 1.414 κατοίκους [1]. Ο εποχικός τουρισμός προκαλεί μία αύξηση στον παραπάνω μόνιμο πληθυσμό που έχει ως συνέπεια την αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας κατά το ίδιο χρονικό διάστημα. Κατά το έτος 2001 η αιχμή της ζήτησης ήταν 2.350kW και εμφανίστηκε αργά το απόγευμα της 14^{ης} Αυγούστου, όπου και η τουριστική δραστηριότητα κορυφώνεται. Το ίδιο φαινόμενο, με μικρότερη όμως αιχμή, παρατηρείται και κατά την περίοδο του Πάσχα, ενώ αντιθέτως, η ελάχιστη ζήτηση στο νησί ήταν περίπου 300kW κατά τη χειμερινή περίοδο. Η μεγάλη διαφορά μεταξύ της ελάχιστης και μέγιστης κατανάλωσης προκαλεί ανεπιθύμητη αναγκαστική «ψυχρή» εφεδρεία των μηχανών που είναι οικονομικά ασύμφορη.

Ο ΤΣΠ απαρτίζεται από έξι πετρελαϊκές μηχανές ελαφρού καυσίμου συνολικής ισχύος 3.400kW και το έτος 2001 παρήγαγε 5.547MWh για να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες του νησιού. Το σύστημα ηλεκτροδότησης περιλαμβάνει τρεις κύριες γραμμές μεταφοράς 15kV που ξεκινούν από τον ΤΣΠ και διασχίζουν ακτινικά το νησί.

Στην παρούσα κατάσταση, η τεχνικά αποδεκτή και οικονομικά συμφέρουσα διείσδυση αιολικής ενέργειας στο συγκεκριμένο αυτόνομο δίκτυο δε δύναται να ανέλθει σε ικανοποιητικό ποσοστό αφού υπόκειται σε τεχνικούς περιορισμούς, οι οποίοι έχουν αποτυπωθεί και στην Υπουργική Απόφαση ΥΑ 8295/95 που καθόριζε ως όριο διείσδυσης των ΑΠΕ στα Μη

Διασυνδεδεμένα Νησιά το ποσοστό του 30% της ισχύος αιχμής της μέγιστης ωριαίας ζήτησης του προηγούμενου (Η παραπάνω Υπουργική Απόφαση καταργείται, λόγω μη ανταπόκρισης στις πραγματικές συνθήκες, και πλέον θα ακολουθείται μία άλλη μέθοδος υπολογισμού του μέγιστου ορίου διείσδυσης με τη βοήθεια πιθανοτικής ανάλυσης [2] η οποία δίνει περίπου το ίδιο όριο διείσδυσης και μόνο η πράξη θα δείξει αν και η ρύθμιση αυτή ανταποκρίνεται στις πραγματικές συνθήκες κάθε νησιού). Οι τεχνικοί περιορισμοί προστατεύουν τα αδύναμα αυτόνομα νησιωτικά δίκτυα από τις διακυμάνσεις ηλεκτρικών μεγεθών και τα μεταβατικά φαινόμενα, που προκαλούν προβλήματα ευστάθειας του δικτύου. Εξάλλου, σοβαρά προβληματική είναι και η συνεργασία Α/Γ σταθερών στροφών με τους πετρελαϊκούς κινητήρες των αυτόνομων σταθμών, με επιπτώσεις και στην ποιότητα παρεχόμενης ισχύος. Τέλος, η στοχαστικότητα του ανέμου και η ευαισθησία των Α/Γ στις διακυμάνσεις των ηλεκτρικών μεγεθών του δικτύου προσθέτουν και μία παραπάνω αβεβαιότητα όσον αφορά στην ασφάλεια της συνεχούς παροχής ενέργειας, καθώς μία ξαφνική απώλεια της αιολικής ισχύος και ενώ το σύστημα αντιμετωπίζει συνθήκες υψηλής ζήτησης είναι ένας κύριος λόγος γενικής διακοπής (black-out).

Συνεπώς, είναι αναγκαίο να εξεταστεί μία τεχνικά, όσο και οικονομικά, αποδοτική λύση αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας που θα συνοδεύεται με μία μεσοπρόθεσμη αποθήκευση ενέργειας η οποία θα πραγματοποιείται με χρήση ενός αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού σταθμού (μέθοδος αντλησιοταμίευσης).

II. ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Η φιλοσοφία τέτοιων συστημάτων στηρίζεται στην αξιοποίηση της περίσσειας αιολικής ενέργειας που δεν καταναλώνεται από το δίκτυο η οποία επιτυγχάνεται μέσω άντλησης νερού από τον κάτω ταμιευτήρα και αποθήκευσης στον άνω. Με δεδομένη τη ζήτηση του δικτύου και σε περιόδους άπνοιας ή μειωμένης αιολικής παραγωγής, η αποθηκευμένη δυναμική ενέργεια του νερού αξιοποιείται αντιστρέφοντας την παραπάνω διαδικασία, αφού το νερό μέσω του στροβίλου παράγει τώρα την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια και συγκεντρώνεται στον κάτω ταμιευτήρα. Με τον τρόπο αυτό, **το βασικό μειονέκτημα της στοχαστικής εμφάνισης του ανέμου μετατρέπεται σε πλεονέκτημα καθώς παρέχεται εγγυημένη ισχύς στο σύστημα.** Το σύστημα της αντλησιοταμίευσης δεν αποτελεί τεχνολογική πρωτοτυπία, αφού τέτοια συστήματα λειτουργούν στο ηπειρωτικό δίκτυο προσφέροντας την αποθηκευμένη ενέργεια σε ώρες αιχμής (μονάδες αιχμής).



Εικόνα 1. Χάρτης εκμεταλλεύσιμου αιολικού δυναμικού νήσου Σεριφου (ΚΑΠΕ)



Εικόνα 2. Κατασκευή του φράγματος στη θέση Στενό για τη δημιουργία του κάτω τεχνητού ταμιευτήρα

Το Υβριδικό Σύστημα της Σεριφου αποτελείται από τα παρακάτω υποσυστήματα:

- Το αιολικό πάρκο (Α/Π)
- Τον άνω και τον κάτω ταμιευτήρα
- Το αντλιοστάσιο και το σταθμό του στροβίλου
- Τον υπάρχοντα ΤΣΠ
- Κεντρική Μονάδα εποπτικού Ελέγχου (ΚΜΕ)

Η συνεργασία όλων των παραπάνω υποσυστημάτων στοχεύει στην μείωση του κόστους παραγόμενης ενέργειας (kWh) από το νέο σύστημα, συγκρινόμενη πάντα με το ήδη υπάρχον, ενώ ταυτόχρονα στην αναβάθμιση του δικτύου και της ποιότητας παρεχόμενης ισχύος. Κάτωθι περιγράφονται αναλυτικότερα όλα τα επιμέρους υποσυστήματα και τα μεγέθη τους.

II.1 Κάτω Ταμιευτήρας

Το Υπουργείο Γεωργίας έχει κατασκευάσει φράγμα με τη χρήση σκυροδέματος δημιουργώντας μία τεχνητή λιμνοδεξαμενή με συνολική εκτιμώμενη χωρητικότητα 700.000m^3 . Η λιμνοδεξαμενή βρίσκεται στην περιοχή Λιβάδι, 2,5km από την πρωτεύουσα του νησιού Χώρα, και σε ύψος +100m από την επιφάνεια της θάλασσας. Υπολογίζεται να συλλέγει το βρόχινο νερό της λεκάνης απορροής του ρέματος Στενό, αρδεύοντας αλλά και υδρεύοντας το νησί κυρίως κατά τους θερινούς μήνες. Η μελέτη της λιμνοδεξαμενής από το Υπ.Γεωργίας [3] εκτιμά σε ετήσια μηνιαία βάση τα διαθέσιμα αποθέματα νερού σε αυτή, το μέγιστο όγκο επιτρεπόμενης απόληψης από τους χρήστες και τη μέγιστη εξάτμιση. Το Υβριδικό Σύστημα εκ σχεδιασμού, θα ανακυκλώνει κάποια ποσότητα νερού μεταξύ των δύο ταμιευτήρων και ως εκ τούτου δεν υπόκειται σε κανένα περιορισμό μέγιστης επιτρεπόμενης απόληψης νερού.

II.2 Άνω Ταμιευτήρας

Ο άνω ταμιευτήρας σχεδιάζεται να κατασκευαστεί στην κορυφή του όρους Πετριάς, βορειοδυτικά της Χώρας και σε υψόμετρο +520m από την επιφάνεια της θάλασσας. Ο παραπάνω ταμιευτήρας θα κατασκευαστεί από ενισχυμένο σκυρόδεμα σε σχήμα ανάστροφης κολούρης πυραμίδας με κλίση τοιχώματος 2:1 σχετικά με το οριζόντιο επίπεδο. Το βάθος εκσκαφής υπολογίζεται στα 5m, ενώ το υλικό εκσκαφής θα χρησιμοποιηθεί για την πλευρική στήριξη της υπέργειας κατασκευής από σκυρόδεμα, αυξάνοντας έτσι το συνολικό βάθος του ταμιευτήρα στα 10m και μειώνοντας παράλληλα το συνολικό κόστος κατασκευής. Οι διαστάσεις του ταμιευτήρα θα είναι: $40 \times 140\text{m}$, ενώ πρέπει να τονιστεί πως στην εν λόγω θέση, η σύνθετη τοπογραφία, λόγω απότομων κλίσεων, θέτει περιορισμό ως προς αυτές. Τέλος, η χωρητικότητά του θα είναι 60.800m^3 , όπως προέκυψε από τη βελτιστοποίηση που ακολουθεί, ενώ οι βέλτιστες διαστάσεις του ταμιευτήρα είναι και οι μέγιστες επιτρεπόμενες.



Εικόνα 3. Υπόδειγμα κατασκευής του άνω τεχνητού ταμιευτήρα με οπλισμένο σκυρόδεμα

II.3 Αιολικό Πάρκο

Το αιολικό πάρκο προτείνεται να εγκατασταθεί το όρος Τρούλος, βόρεια της Χώρας και σε απόσταση περίπου 3km από αυτή. Η περιοχή αυτή προσφέρει υψηλό αιολικό δυναμικό [4], γειτνιάζει σε μία κύρια γραμμή μεταφοράς ηλεκτρισμού και διευκολύνει την εγκατάσταση μεγάλου αριθμού ανεμογεννητριών σε κάθετη διάταξη στην τοπική επικρατούσα διεύθυνση ανέμου. Το βέλτιστο μέγεθος του Α/Π υπολογίζεται να έχει 3000kW εγκατεστημένης ισχύος και να απαρτίζεται από 5 Α/Γ (μεταβλητών στροφών μεταβλητού βήματος σύγχρονης γεννήτριας) ονομαστικής ισχύος 600kW έκαστη. **Ως γνωστόν οι Α/Γ αυτές έχουν την δυνατότητα ρύθμισης ενεργού και άεργου ισχύος, γεγονός που τις καθιστά ιδιαίτερα φιλικές στη συνεργασία τους με τα αυτόνομα δίκτυα και γι' αυτό επιλέχκαν.**

II.4 Αντλιοστάσιο - Στρόβιλοι

Ο σταθμός των στροβίλων αποτελείται από δύο στροβίλους Pelton ονομαστικής ισχύος 600kW έκαστος με ονομαστικό ύψος λειτουργίας 460m, και θα κατασκευαστεί στο επίπεδο του κάτω ταμιευτήρα. Το αντλιοστάσιο υπολογίζεται να αποτελείται από 10 πολυβάθμιες αντλίες ονομαστικής ισχύος 130kW έκαστη. Οι αντλίες θα συνδεθούν παράλληλα και θα λειτουργούν υπό μεταβλητές στροφές με τη χρήση κατάλληλου μετατροπέα. Η ανακύκλωση του νερού θα γίνεται μεταξύ των δύο ταμιευτήρων με χρήση χαλύβδινης σωλήνωσης κυμαινόμενης διατομής με μήκος περίπου 2.5km.

II.5 Συμβατικός Τοπικός Σταθμός Παραγωγής (ΤΣΠ)

Η μέγιστη ωριαία ζήτηση του νησιού ακολουθεί αυξητική πορεία και ενδεικτικά αναφέρεται πως τα παρελθόντα έτη αυξανόταν με ρυθμούς 8-10%. Σύμφωνα με προβλέψεις, η αιχμή του φορτίου του νησιού θα συνεχιστεί με την ίδια αυξητική τάση και τα επόμενα χρόνια αναγκάζοντας έτσι σε προμήθεια νέων μηχανών προς κάλυψη της ολοένα διογκούμενης ζήτησης. Σε αντίθεση με τα παραπάνω αναγκαία σχέδια επέκτασης του ΤΣΠ, η λύση του Υβριδικού Συστήματος δεν προβλέπει καμία μεταβολή στον ΤΣΠ στα επόμενα έτη, εξοικονομώντας έτσι ποσά τα οποία θα επενδυθούν στην υλοποίησή του.

III. ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Η φιλοσοφία του Υβριδικού Συστήματος είναι να δίνει πάντα προτεραιότητα στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) και δευτερευόντως στο συμβατικό σταθμό, ο οποίος πλέον θα χρησιμοποιείται εφεδρικά. Έτσι, το σύστημα θέτει ως κύριο στόχο τη μέγιστη αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας στην κατανάλωση, δευτερευόντως τη χρήση της υδατόπτωσης – σε συνεργασία με τις Α/Γ ή όχι – ώστε να καλύπτεται η ζήτηση και τέλος, όταν η παραγωγή από ΑΠΕ συνολικά δεν επαρκεί, να γίνεται χρήση του συμβατικού σταθμού.

III.1 Κατάσταση Λειτουργίας Ανεμογεννητριών (Α/Γ)

Σε αυτή την κατάσταση λειτουργίας όλες οι πετρελαϊκές μονάδες βρίσκονται εκτός λειτουργίας και οι Α/Γ καλύπτουν τη ζήτηση του νησιού. Οι Α/Γ μεταβλητών στροφών μεταβλητού βήματος με σύγχρονη γεννήτρια με τη βοήθεια ηλεκτρονικών ισχύος και με χρήση σφονδύλου ή μπαταριών δύναται να στηρίξουν το δίκτυο κατά τη λειτουργία αυτή, ενώ η ποιότητα ισχύος που παράγεται είναι γενικά αποδεκτή. Η σύνδεση των παραπάνω Α/Γ στο δίκτυο γίνεται μέσω ενός μετατροπέα (converter) [5], εξασφαλίζοντας τη σταθερότητα της συχνότητας, ενώ οι σύγχρονες γεννήτριες θα παρέχουν την απαιτούμενη άεργο ισχύ στο δίκτυο. Η περίσσεια αιολικής ενέργειας χρησιμοποιείται προς άντληση, ενώ ότι υπολείπεται θα διατίθεται δωρεάν για άλλους, χρονικά ανεξάρτητους, σκοπούς όπως αφαλάτωση, παραγωγή υδρογόνου κλπ..

Οι Α/Γ θα λειτουργούν με περιορισμό ισχύος 10% ως προς την ονομαστική τους ισχύ για κάθε τιμή ανέμου, καθόσον έτσι θα είναι εφικτό να αυξήσουν την παραγωγή τους μέχρι την ονομαστική της τιμή για τη δεδομένη ταχύτητα ανέμου σε τυχαία αύξηση της κατανάλωσης του νησιού, ενώ θα μπορούν να διατηρήσουν για λίγο χρόνο περίπου σταθερή παραγωγή σε περίπτωση μείωσης του ανέμου, μέχρι κάποιο άλλο υποσύστημα αναλάβει μερικώς ή ολικώς τα φορτία.

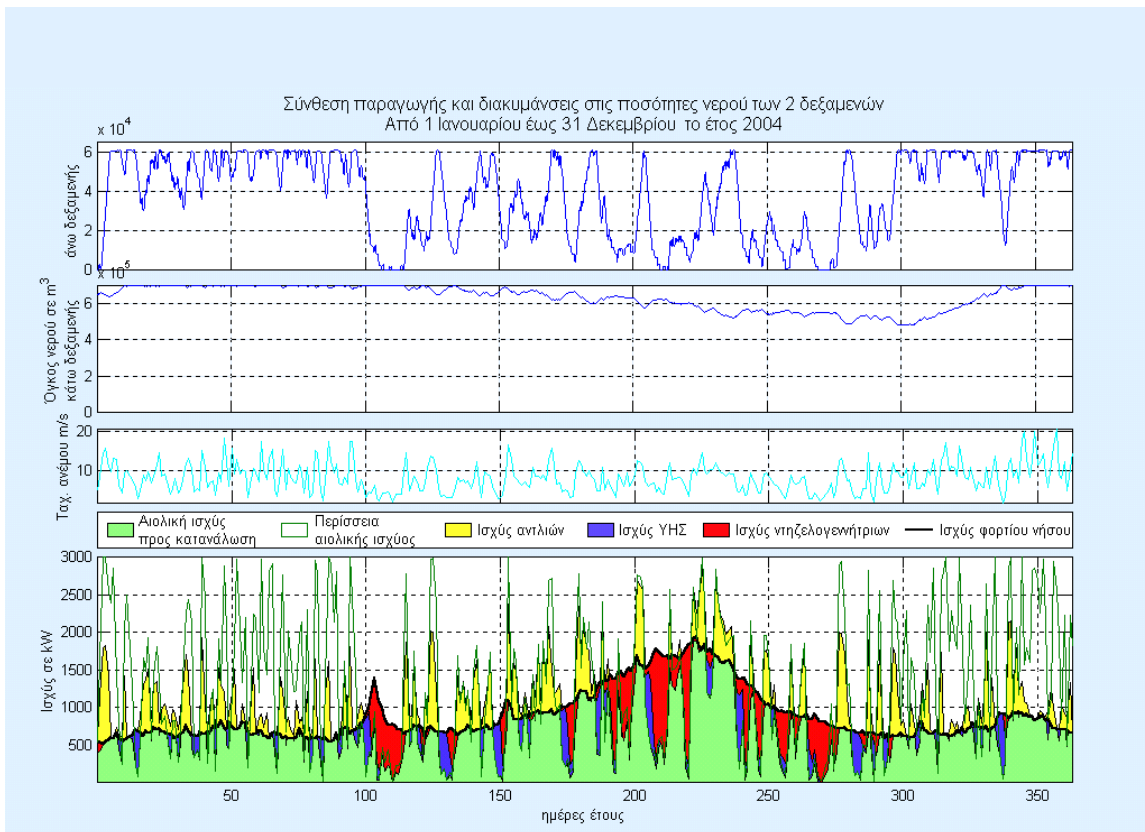
III.2 Κατάσταση Λειτουργίας Α/Γ και Υδροστροβίλων

Λόγω έλλειψης χρήσης κάποιου αλγορίθμου βραχυχρόνιας πρόβλεψης ταχύτητας ανέμου, η Κεντρική Μονάδα Ελέγχου (ΚΜΕ) συγκρίνει τις ταχύτητες ανέμου των προηγούμενων χρονικών στιγμών λειτουργίας του και εάν αυτές είναι μειούμενες φτάνοντας σε κάποιο κρίσιμο κατώφλι, τότε το σύστημα εξετάζει αν τα υποσυστήματα παραγωγής ενέργειας είναι σε θέση να λειτουργήσουν και αυτομάτως επιλέγει κάποιο, κατά προτεραιότητα το Υδροηλεκτρικό, και το θέτει σε κατάσταση αναμονής. Εάν υπάρχει η επάρκεια νερού στον άνω ταμιευτήρα, το σύστημα θέτει το στρόβιλο σε λειτουργία υπό κενό φορτίο ώστε να είναι έτοιμος να αναλάβει φορτία άμεσα σε περίπτωση ελλείμματος αιολικής ενέργειας. Οι στρόβιλοι Pelton είναι ιδανικοί για τέτοια χρήση αφού είναι στρόβιλοι δράσεως και μπορούν να λάβουν φορτία άμεσα, λειτουργώντας υπό κενό φορτίο [6].

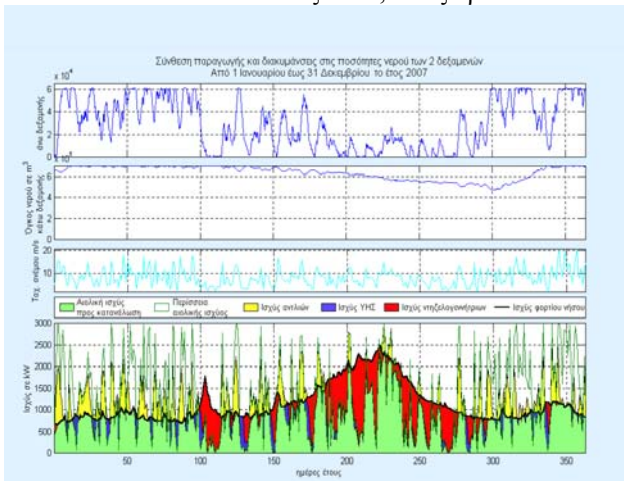
III.3 Κατάσταση Λειτουργίας Α/Γ και συμβατικών μηχανών του ΤΣΠ

Στη δυσμενή κατάσταση μειωμένου αιολικού δυναμικού και έλλειψης νερού στον άνω ταμιευτήρα ή προβλήματος στη σωλήνωση, η ΚΜΕ θέτει σε κατάσταση αναμονής τους πετρελαιοκινητήρες του ΤΣΠ ώστε να προθερμανθούν και να είναι έτοιμοι να αναλάβουν φορτία όταν η αιολική ενέργεια εμφανίζει έλλειμμα ως προς τη ζήτηση. Μετά το συγχρονισμό οι πετρελαιοκινητήρες αναλαμβάνουν φορτία ενώ οι Α/Γ περιορίζουν την ισχύ τους ώστε οι πρώτοι να λειτουργούν στο βέλτιστο σημείο λειτουργίας τους όπως υποδεικνύεται από την καμπύλη ισχύος-ειδικής καταναλώσεως [7]. Ο αριθμός και η σύνθεση των πετρελαιοκινητήρων που συνδέονται στο δίκτυο, με πρώτες τις μικρές και ευέλικτες μονάδες και κατόπιν τις μεγαλύτερες,

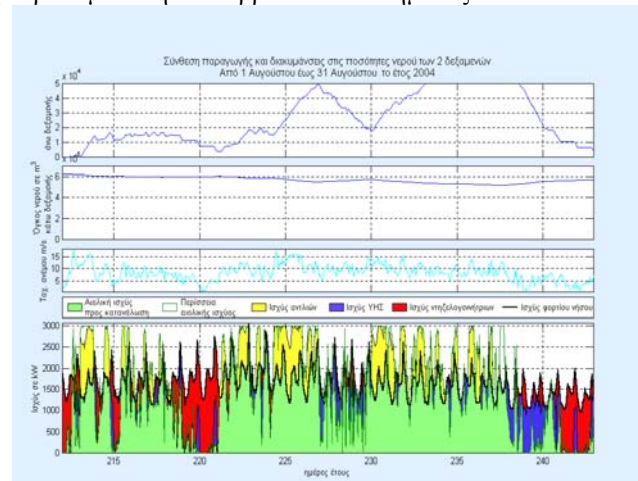
ρυθμίζεται από την αιολική παραγωγή. Ο ΤΣΠ αναλαμβάνει πλήρως τα φορτία του νησιού μόνο στη δυσμενέστετη περίπτωση άπνοιας και έλλειψης νερού στον άνω ταμιευτήρα.



Διάγραμμα 1. Σύνθεση παραγωγής και διακύμανση του όγκου νερού των ταμιευτήρων κατά τη διάρκεια του έτους 2004, όπως προκύπτει από την προσομοίωση του Υβριδικού Συστήματος.



Διάγραμμα 2. Σύνθεση παραγωγής και διακύμανση του όγκου νερού των ταμιευτήρων κατά τη διάρκεια του έτους βελτιστοποίησης 2007, όπως προκύπτει από την προσομοίωση του Υβριδικού Συστήματος.



Διάγραμμα 3. Σύνθεση παραγωγής και διακύμανση του όγκου νερού των ταμιευτήρων από 1^η μέχρι 31^η Αυγούστου 2004, όπου και εμφανίζεται η δυσμενέστερη περίπτωση λόγω αιγμής του συστήματος.

Όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί των παραπάνω καταστάσεων λειτουργίας υπόκεινται σε περιορισμούς που τίθενται από το κάθε υποσύστημα ξεχωριστά. Αξίζει να σημειωθεί πως το Υβριδικό Σύστημα δεν αντλεί νερό με χρήση ενέργειας από τον ΤΣΠ χρησιμοποιώντας μόνο «καθαρή» ενέργεια.

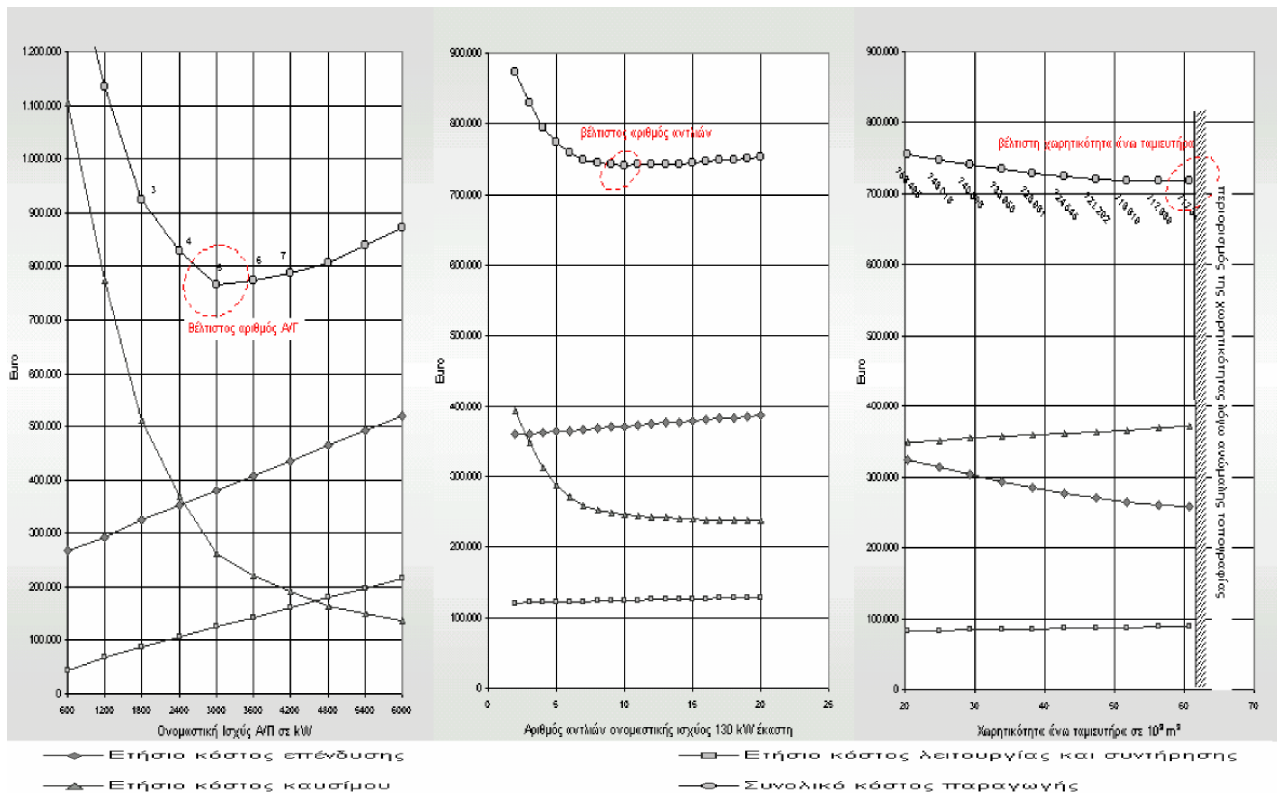
IV. ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ

Η βέλτιστη διαστασιολόγηση στοχεύει στην εύρεση του βέλτιστου δυνατού μεγέθους του κάθε υποσυστήματος με κύριο μέλημα τη μέγιστη δυνατή διείσδυση των ΑΠΕ και ταυτόχρονα την

ελαχιστοποίηση του κόστους παραγόμενης ενέργειας (ανά kWh) από το προτεινόμενο Υβριδικό Σύστημα. Επομένως, θα υπολογιστούν τα παρακάτω βέλτιστα μεγέθη:

- Η ονομαστική ισχύς του αιολικού πάρκου (Α/Π)
- Ο αριθμός και το είδος των αντλιών του αντλιοστασίου
- Η χωρητικότητα του άνω ταμιευτήρα

Λαμβάνεται ως έτος βελτιστοποίησης το 2007 και εκτελείται η προσομοίωση για διαφορετικές συνθέσεις του κάθε υποσυστήματος. Το μοντέλο υπολογίζει το ποσοστό των ΑΠΕ (αιολική και υδροηλεκτρική ενέργεια) στην ετήσια ζήτηση του νησιού καθώς και την ετήσια κατανάλωση καυσίμου του ΤΣΠ. Επίσης, υπολογίζονται και οι ετήσιες δαπάνες οι οποίες απαρτίζουν το κόστος παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Τα μερικά κόστη που συνυπολογίζονται στο κόστος παραγόμενης kWh είναι το ετήσιο κόστος επένδυσης, το ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης και το ετήσιο κόστος καυσίμου. Όλα τα παραπάνω κόστη είναι παράμετροι υπολογισμού στο πρόγραμμα και οι μεταβολές τους για διάφορες συνθέσεις του κάθε υποσυστήματος εμφανίζονται στο διάγραμμα 4. Με αυτό τον τρόπο, η βέλτιστη διάσταση του κάθε υποσυστήματος βρίσκεται εκεί όπου εμφανίζεται και το ελάχιστο κόστος σε κάθε διάγραμμα. Οι βέλτιστες διαστάσεις του κάθε υποσυστήματος έχουν δοθεί στην παράγραφο II.



Διάγραμμα 4. Διαγράμματα εύρεσης βέλτιστων τιμών για έκαστο υποσύστημα με κριτήριο το ελάχιστο κόστος παραγωγής.

IV.1 Ανάλυση Επένδυσης

Καθότι το Υβριδικό Σύστημα θεωρείται ένα έργο ΑΠΕ τυγχάνει επιδότησης μέχρι 40% επί του συνολικού προϋπολογισμού του κάθε υποσυστήματος ΑΠΕ ξεχωριστά. Όλα τα κόστη εγκατάστασης για κάθε υποσύστημα ξεχωριστά είναι πραγματικές τιμές που ελήφθησαν από πραγματοποιηθείσα έρευνα αγοράς. Όλες οι τεχνικές προδιαγραφές που τονίστηκαν παραπάνω έχουν ληφθεί υπ' όψιν σχετικά με το κόστος τους, το επιτόκιο επένδυσης έχει ληφθεί ίσο με 6% με περίοδο αποπληρωμής τα 20 έτη και έχει ληφθεί η παραπάνω επιδότηση.

IV.2 Πλεονεκτήματα από το Υβριδικό Σύστημα

Η κατασκευή και λειτουργία του Υβριδικού Συστήματος της Σερύφου θα οδηγήσει σε μέγιστη διείσδυση της αιολικής και υδροηλεκτρικής ενέργειας που υπολογίζεται στο 79,5% για το έτος 2007. Η αιολική ενέργεια θα φθάσει σε διείσδυση **63%** επί της συνολικής παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ για παράδειγμα στην Κρήτη βρίσκεται σήμερα γύρω στο **10%** και στη

Σέριφο στην παρούσα κατάσταση στο **0%**. Η κατανομή της παραγόμενης ενέργειας δίνεται από τον παρακάτω πίνακα.

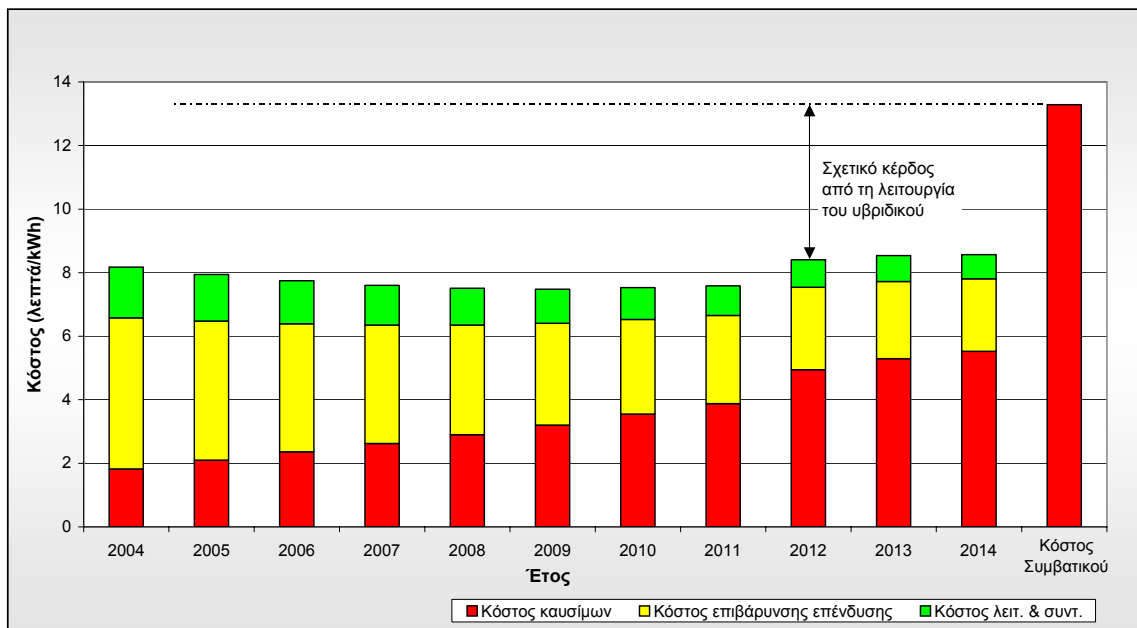
Προβλεπόμενη ενεργειακή ζήτηση νησιού	9.961,5 MWh	Ποσοστό Συμμετοχής %	Κατανομή Αιολικής Παραγωγής	Ποσοστό Συμμετοχής %
Αιολική Παραγωγή	6.271,6 MWh	63,0	Απευθείας στο δίκτυο	50,4
Παραγωγή Υδροηλεκτρικού	1.643,1 MWh	16,5	Άντληση	21,3
Παραγωγή συμβατικού ΤΣΠ	2.046,8 MWh	20,5	Απόρριψη	28,3

Η αναμενόμενη κατανάλωση σε καύσιμο του ΤΣΠ για το 2007 είναι **3.032** τόνοι, ενώ με τη λειτουργία του Υβριδικού Συστήματος καταναλώνει μόνο **450 τόνους!** Κατά αυτόν τον τρόπο, αποφεύγεται η εκπομπή **8.262 τόνων** ή **4,1 εκατ. m³ CO₂** στην ατμόσφαιρα, συμβάλλοντας έτσι στην επίτευξη των στόχων του Κιότο. Σημαντικό πλεονέκτημα είναι και η σημαντική απεξάρτηση της εθνικής οικονομίας από εισαγόμενους ενεργειακούς πόρους όπως το πετρέλαιο και η στροφή προς τις εγχώριες πηγές ενέργειας που είναι οι ΑΠΕ.

V. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ & ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ

Τα κέρδη από τη λειτουργία του Υβριδικού Συστήματος προέρχονται συγκρινόμενα με το υπάρχον κόστος παραγόμενης ενέργειας στο νησί που είναι αρκετά μεγάλο. Η σύγκριση του κόστους παραγόμενης ενέργειας του Υβριδικού Συστήματος σε σχέση με το υπάρχον γίνεται αγνοώντας όλα τα άλλα κόστη (κόστος μισθοδοσίας, αποσβέσεων εξοπλισμού, γενικές δαπάνες διοίκησης και διάφορα κόστη) εκτός από κόστος καυσίμου, τα οποία παραμένουν περίπου τα ίδια ανεξαρτήτως της κατασκευής του Υβριδικού Συστήματος [8].

Στο διάγραμμα 5 φαίνεται η σύγκριση του κόστους καυσίμου και λιπαντικών του

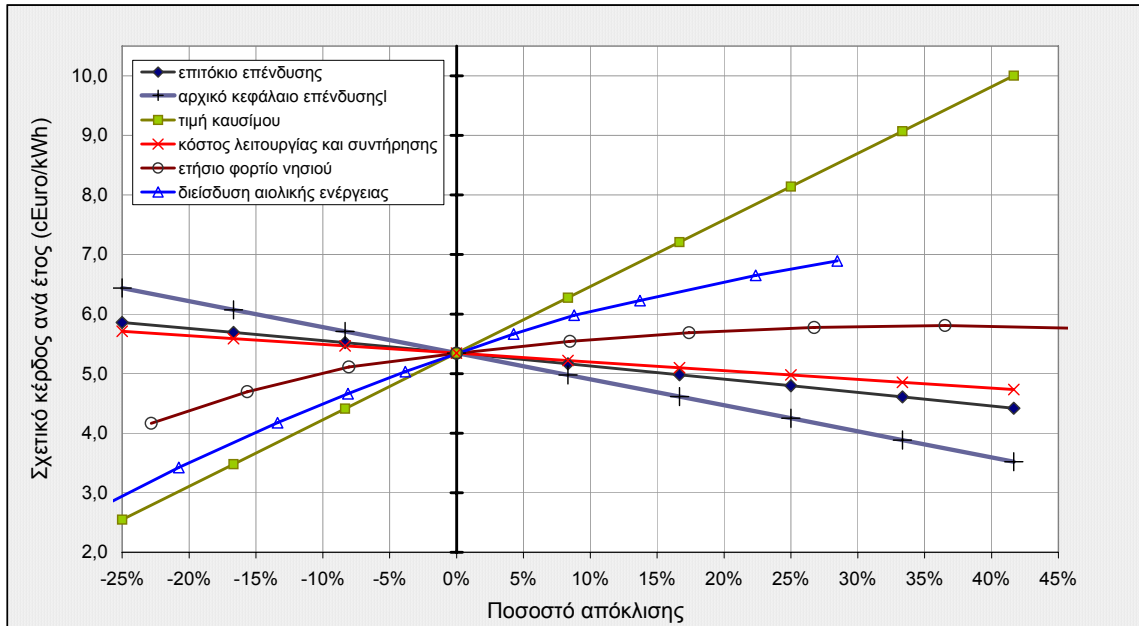


Διάγραμμα 5. Ανάλυση και εξέλιξη του κόστους παραγόμενης ενέργειας από το Υβριδικό Σύστημα, συγκρινόμενο με αυτό του συμβατικού ΤΣΠ.

συμβατικού συστήματος με τα κόστη επιβάρυνσης επένδυσης, καυσίμου και λιπαντικών και λειτουργίας και συντήρησης του προτεινόμενου Υβριδικού Συστήματος. Εκεί, εμφανίζεται καθαρά ένα αρκετά μεγάλο σχετικό κέρδος από τη λειτουργία του Υβριδικού Συστήματος και συγκεκριμένα για το πρώτο έτος λειτουργίας του Υβριδικού (2004) το κόστος παραγόμενης kWh είναι **0,082€/kWh**, ενώ μόνο το κόστος καυσίμου του συμβατικού σταθμού για το έτος 2001 ήταν **0,133€/kWh**. Το ετήσιο κέρδος υπολογίζεται περίπου 566.341€ για το έτος βελτιστοποίησης 2007

και σύμφωνα με τη πρόβλεψη φορτίου θα αγγίξει τα 882.942€ το έτος 2014. Έτσι, ο χρόνος αποπληρωμής του έργου εκτιμάται περίπου στα 7 χρόνια.

Η ανάλυση ευαισθησίας που ακολουθεί αποδεικνύει πως το σχετικό κέρδος ανά kWh του Υβριδικού Συστήματος εξαρτάται κυρίως από τη μελλοντική τιμή του πετρελαίου ενώ, οι άλλοι παράγοντες όπως το επιτόκιο, το μελλοντικό φορτίο του νησιού, το κόστος λειτουργίας και συντήρησης, η διείσδυση αιολικής ενέργειας και αρχικό κεφάλαιο επένδυσης δεν έχουν ιδιαίτερα βαρύνουσα σημασία. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 6, η άνοδος της τιμής καυσίμου συντείνει στην αύξηση του σχετικού κέρδους ανά kWh, γεγονός πολύ ευνοϊκό γνωρίζοντας τη μακροχρόνια ανοδική τάση στις τιμές πετρελαίου.



Διάγραμμα 6. Ανάλυση ευαισθησίας

VI. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Το προτεινόμενο Υβριδικό Σύστημα με χρήση Αντλιοσταμείωσης αποδεικνύει πως είναι μία εφικτή και οικονομικά προσοδοφόρα λύση για τα αυτόνομα νησιωτικά δίκτυα, όπου το κόστος παραγόμενης ενέργειας είναι αρκετά υψηλό, ενώ το υψηλό αιολικό δυναμικό, λόγω τεχνικών και άλλων περιορισμών, παραμένει μερικώς ή τελείως αναξιοποίητο. Η υλοποίηση του Υβριδικού Συστήματος του νησιού της Σεριφου αποτελεί μία πιλοτική πρωτοβουλία που εκτός από τα καθαρά οικονομικά της οφέλη προσφέρει περιφερειακή ανάπτυξη, ανάπτυξη οικολογικής συνείδησης και ευαισθησίας, ανάπτυξη οικο-τουρισμού, παγκόσμια αναγνώριση και προβολή του νησιού και τέλος απεξάρτηση από την εισαγωγή καυσίμων υλών.

VII. ΠΗΓΕΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] ΕΣΥΕ Γενική Απογραφή Πληθυσμού 2001 - Στοιχεία πληθυσμού νήσου Σεριφου
- [2] ΡΑΕ: “Νέα διαδικασία για τις άδειες παραγωγής ΑΠΕ στα νησιά”, Αθήνα, Φεβρουάριος 2003
- [3] Υπ. Γεωργίας Τμήμα Εγγείων Έργων και Βελτιώσεων - Υδρολογικά στοιχεία
- [4] ΚΑΠΕ - Ανεμολογικά στοιχεία και Χάρτης Εκμεταλλεύσιμου Αιολικού Δυναμικού
- [5] Μ. Παπαδόπουλος : “Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας”, Εκδ. ΕΜΠ, Αθήνα 1997
- [6] Δ. Παπαντώνης: “Υδροδυναμικές μηχανές, Αντλίες – Στρόβιλοι”, Εκδ. Συμεών, Αθήνα 1995
- [7] Π. Θεοδωρόπουλος: “Μοντελοποίηση και διαστασιολόγηση Υβριδικού Συστήματος – Εφαρμογή στην Ικαρία”, Διπλωματική εργασία, Αθήνα 2001
- [8] R. Hunder & G. Elliot: “Wind-Diesel Systems”, Cambridge University Press, 1994