



*Μελέτη αντλησιοταμίευσης για
εξοικονόμηση καυσίμου στο
ενεργειακό σύστημα της Κρήτης.*



Εισηγητής: Κατσαπρακάκης Δημήτρης

Επιμέλεια : Στεφανάκης Κωνσταντίνος

ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2005



**Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό
Ίδρυμα Κρήτης**



*Εργαστήρι Αιολικής Ενέργειας
&
Σύνθεσης Ενεργειακών
Συστημάτων*



Ενεργειακή & Περιβαλλοντική
Τεχνολογία

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	1
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	4
1.1 ΟΙ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΗΜΕΡΑ.....	4
1.2 ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	4
1.3 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	5
1.4 ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	7
1.4.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	7
1.4.2 ΤΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ.....	8
1.4.2.1 Η ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΚΑΙ Η ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ.....	9
1.4.2.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	13
1.5 ΑΝΑΣΤΡΕΨΙΜΑ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΕΡΓΑ.....	14
1.5.1 Η ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗ ΣΤΗ ΚΡΗΤΗ.....	15
1.5.2 ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΑΥΤΗΣ.....	16
1.5.3 ΕΚΚΙΝΗΣΗ ΑΝΤΛΙΑΣ ΣΤΑ ΥΤΕ.....	17
1.6 ΕΠΙΛΟΓΗ & ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΥΠΩΝ ΥΔΡ/ΛΩΝ.....	19
1.6.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	19
1.6.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΥΔΡ/ΛΩΝ PELTON & FRANCIS.....	20
1.6.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΥΔΡ/ΛΩΝ FRANCIS & KAPLAN.....	22
1.6.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΥΔΡ/ΛΩΝ DERIAZ & KAPLAN.....	24
1.6.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΥΔΡ/ΛΩΝ KAPLAN & βολβοειδούς.....	25
2 ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ.....	27
2.1 Η ΣΗΜΕΡΙΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ.....	27
2.2 Η ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	27
2.2.1 ΑΤΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ.....	27
2.2.2 ΝΤΙΖΕΛΟΜΗΧΑΝΕΣ.....	28
2.2.3 ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟΣ ΚΥΚΛΟΣ.....	29
2.2.4 ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ.....	30
2.2.5 ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΑΚΑ.....	37
2.2.6 ΜΕΓΙΣΤΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΙΟΛ.ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ.....	38
3 Η ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗΣ ΣΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ.....	40
3.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	40
3.2 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	41
3.3 ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΠΟΤΕΛΟΥΜΕΝΟ ΑΠΟ ΑΠΕ ΚΑΙ ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	42
3.3.1 ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ.....	42
3.3.2 ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ.....	43
4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	47
4.1 ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	47

4.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ-ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	47
4.3 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗΣ.....	51
4.4 ΟΙ ΕΚΔΟΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟΥ ΚΥΚΛΟΥ.....	53
5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	55
5.1 ΣΥΝΘΕΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗΣ.....	55
5.2 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΚΟΣΤΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ-ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΕΣ.....	58
5.3 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΝΩ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ.....	60
6 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ.....	63
7 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	65
ΤΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΕΡΑ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΥΠΑΡΧΟΥΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ.....	67
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	71

ΠΡΟΛΟΓΟΣ



Η πτυχιακή αυτή εργασία αποσκοπεί στο να βάλει το λιθαράκι της στο οικοδόμημα που λέγεται «λύση του ενεργειακού προβλήματος της Κρήτης». Συγκεκριμένα γίνεται μια προσπάθεια για εξοικονόμηση καυσίμου στο ενεργειακό σύστημα της Κρήτης με τη συνδρομή

αντλησιοταμιευτήρα.

Τα οφέλη του εγχειρήματος αυτού, πολλά και πολυδιάστατα, αφού, εκτός από την οικονομική διάσταση του προβλήματος, τη βελτίωση της ποιότητας και της επάρκειας της ενέργειας, δίνεται η δυνατότητα μεγιστοποίησης της διείσδυσης των αιολικών συστημάτων.

Συνοδοίποροι στη προσπάθεια αυτή πολλοί και σημαντικοί, άνθρωποι πάνω από όλα και μετά επιστήμονες, που είχα την τύχη να γνωρίσω και να συνεργαστώ μαζί τους.

Οφείλω λοιπόν ένα μεγάλο ευχαριστώ στον καθηγητή μου και εισηγητή του θέματος, της πτυχιακής μου εργασίας, τον κ. Κατσαπρακάκη Δημήτρη για την πολύτιμη βοήθεια και υποστήριξη που μου προσέφερε.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Χρηστάκη Δημήτρη υπεύθυνο του εργαστηρίου Αιολικής Ενέργειας και καθηγητή μου, για την βοήθειά του, τον κ. Μηναδάκη Γιάννη για τις πολύτιμες πληροφορίες που μου έδωσε και γενικά όλους τους συναδέλφους από το αιολικό εργαστήριο που με βοήθησαν αλλά και με ανέχτηκαν.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τις εταιρίες Papatonatos και Papakostas abee για τις πολύτιμες πληροφορίες και στοιχεία που μου προσέφεραν.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. ΟΙ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΗΜΕΡΑ

Η ανθρωπότητα σήμερα έχει στη διάθεσή της δύο κύριες κατηγορίες ενεργειακών πηγών. Αυτές που βασίζονται σε υπάρχοντα αποθέματα στο στερεό φλοιό της γης, με συγκεκριμένη διάρκεια ζωής, και σε αυτές που καθημερινά και αέναα μας παρέχονται σε βαθμό ήπιας εκμετάλλευσης.

Στην πρώτη κατηγορία των ενεργειακών αυτών πηγών ανήκουν τα ορυκτά καύσιμα (πετρέλαιο, κάρβουνο) τα οποία είναι κοινώς αποδεκτά ως συμβατικά καύσιμα. Στην κατηγορία αυτή ανήκει και μια χαρακτηριστικά μη ήπια μορφή ενέργειας, η πυρηνική ενέργεια.

Στη δεύτερη κατηγορία, ανήκουν οι ενεργειακές αυτές πηγές, οι οποίες, όπως λέει και το όνομα τους ανανεώνονται συνεχώς και παρέχονται δωρεάν στον άνθρωπο σαν μια αστείρευτη πηγή ενέργειας.

Όλες οι μορφές ενέργειας της δεύτερης κατηγορίας έχουν σαν βασική προέλευσή τους, τον ήλιο. Είναι γνωστό ότι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία του ήλιου που φτάνει στον πλανήτη μας, συμβάλλει στη δημιουργία και διατήρηση της ζωής αλλά ταυτόχρονα είναι και η αέναη πηγή πολλών μορφών ενέργειας.

1.2 ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Το κάρβουνο. Αποτέλεσε για πολλά χρόνια μέχρι σήμερα, την κύρια καύσιμη ύλη. Σ' αυτό βασίστηκε κατά κύριο λόγο, η βιομηχανική επανάσταση. Μεγάλο μέρος της σημερινής παγκόσμιας βιομηχανικής παραγωγής βασίζεται στην ενέργεια από τη καύση του ορυκτού άνθρακα.

Το πετρέλαιο. Ήταν γνωστό από την αρχαιότητα στους Εβραίους και τους Αιγυπτίους. Στη Δύση, γινόταν περιορισμένη χρήση του σε φωτισμό και στην ιατρική, μέχρι το τέλος του 15ου αιώνα, οπότε άρχισε η βιομηχανική του εκμετάλλευση. Η παγκόσμια παραγωγή του εντατικοποιήθηκε από τα μέσα του 19ου αιώνα, ενώ από τα μέσα του 20ου, οι ρυθμοί εκμετάλλευσης πήραν εκρηκτικές διαστάσεις. Σήμερα, μετά από τρεις πετρελαϊκές κρίσεις (1973, 1979 αλλά και μόλις πέρσι 2004) βρισκόμαστε σε φάση μείωσης της εκμετάλλευσης του, με κύριες εναλλακτικές την χρησιμοποίηση προηγμένων τεχνολογικά λύσεων προς την κατεύθυνση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την εφαρμογή αυστηρότερης πολιτικής στους τομείς της ορθολογιστικής χρήσης και εξοικονόμησης ενέργειας.

Τα συμβατικά καύσιμα καλύπτουν, το 85% της καταναλισκόμενης ενέργειας στις αναπτυγμένες χώρες και το 55 % στις υπό ανάπτυξη. Στις τελευταίες η χρήση πετρελαίου συνεχίζει να αυξάνει, σε αντίθεση με τις αναπτυγμένες χώρες, όπου η χρήση του περιορίζεται, με σταδιακή διεύθυνση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Εκτιμάται ότι τα υπάρχοντα αποθέματα των πηγών αυτών θα επαρκέσουν ακόμα για 200 χρόνια για το κάρβουνο, 60 χρόνια για το φυσικό αέριο και 50 χρόνια για το πετρέλαιο.

Η καύση του άνθρακα, του πετρελαίου και των παραγώγων του, δίδει ως άμεσα προϊόντα το CO₂, τα οξείδια του αζώτου και του θείου. Οι αυξημένες ποσότητες των αερίων αυτών, που εισέρχονται στην ατμόσφαιρα, αποτελούν μια μόνιμη απειλή για το μέλλον μας, προκαλώντας ισχυρές κλιματικές αλλαγές και επιβαρυντική απόκλιση από τις κανονικές συνθήκες ισορροπίας του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Η πυρηνική ενέργεια. Από το 1945 και μετά προστέθηκε στις μεγάλης ισχύος πηγές ενέργειας, η πυρηνική, στην οποία αρχικά βασίστηκαν πολλές ελπίδες. Η Γαλλία είναι από τις χώρες που έδωσαν μεγάλη έμφαση στην ανάπτυξή της, χρησιμοποιώντας κατά τη περίοδο της δεκαετίας του 70, το μη πιστικό πια επιχείρημα, της παραγωγής καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας. Σήμερα αντιλαμβανόμαστε με απόγνωση την αδυναμία μας να λύσουμε το πρόβλημα της ανεξέλεγκτης διασποράς ή τη δήθεν διασφαλισμένη αποθήκευση των πυρηνικών αποβλήτων και αισθανόμαστε τρόπο για τα ολοένα και πιο πιθανά πυρηνικά ατυχήματα. Από τα πιο σημαντικά εκείνο στο πυρηνικό σταθμό του Three Mile Island της Πενσυλβάνιας (ΗΠΑ), τον Απρίλιο του 1979 και εκείνο στο Τσέρνοβιλ της Ρωσίας, τον Απρίλιο του 1986, τρομοκράτησαν όλο τον κόσμο, ο οποίος συνειδητοποίησε με φρίκη την ανικανότητά του να αντιμετωπίσει ένα ύπουλο και αόρατο εχθρό, που μόνιμα τον απειλεί με αφανισμό.

Η πυρηνική ενέργεια προορίζεται στο βαθμό που έχει αναπτυχθεί σήμερα, μόνο για παραγωγή ηλεκτρισμού βάσεως, δηλαδή παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος χωρίς διακυμάνσεις ζήτησης. Καλύπτει το 4-5% της παγκόσμιας ενεργειακής απαίτησης. Η παραγόμενη ισχύς σε πυρηνικά εργοστάσια της Ευρώπης ανέρχεται σε 110GW, με πρωτοπόρο τη Γαλλία (60 GW). Ο περιορισμός των ποσοτήτων του βασικού υλικού (ουράνιο 235), τα πυρηνικά απόβλητα και η απειλητική πιθανότητα ολοσχερούς καταστροφής του κόσμου μας, είτε από τη υποτιθέμενη υπό έλεγχο πυρηνική αντίδραση είτε από την ανεξέλεγκτη διασπορά των πυρηνικών αποβλήτων, βάζουν φρένο στη χρήση της.

1.3 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) έχουν τη ρίζα του κατά κύρια βάση στην ηλιακή δράση, εκτός από την ενέργεια των παλιρροϊκών κινήσεων που οφείλεται στη βαρυτική δράση, κυρίως της Σελήνης πάνω στους υδάτινους όγκους που καλύπτουν την επιφάνεια της Γης.

Υδατόπτωση. Είναι ένας τρόπος παραγωγής μεγάλης ισχύος ηλεκτρικής ενέργειας, από ανανεώσιμη πηγή. Έχει όμως περιορισμένη εφαρμογή και ταυτόχρονα το μειονέκτημα σε πολλές περιπτώσεις η δημιουργία των κατάλληλων εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης, να καταστρέφει εύφορες εκτάσεις που σχετίζονται με την ύπαρξη του υδάτινου αυτού πλούτου. Καλύπτει περίπου το 7% της παγκόσμιας ενεργειακής παραγωγής.

Ενέργεια κυμάτων ή παλιρροϊκών κινήσεων. Η παραγωγή ενέργειας από τα κύματα ή τις παλιρροϊκές κινήσεις, έχει αξιοποιηθεί σε συγκεκριμένες θέσεις, κυρίως στις βόρειες θάλασσες. Στη Βρετάνη της Γαλλίας λειτουργεί από το 1966 σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος 240 MW.

Βιομάζα. Η βιομάζα αποτελεί σήμερα το 14% της παγκόσμιας παραγωγής. Η καύση αποτελεί ουδέτερη λίγο-πολύ διαδικασία από την άποψη του φαινομένου του θερμοκηπίου, αρκεί να αντικαθίστανται αμέσως τα χρησιμοποιούμενα φυτά κυρίως τα δέντρα.

Αιολική ενέργεια. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο με τις οριζοντίου ή κατακόρυφου άξονα ανεμογεννήτριες, βρίσκεται σήμερα σε θεαματική εξέλιξη. Οι προηγμένες τεχνολογικά χώρες, με πρωτοπόρο τη Δανία, έχουν αναπτύξει σε σημαντικό βαθμό την αξιοπιστία και την απόδοση των μηχανών αυτών. Στις ΗΠΑ η εγκατεστημένη ισχύς αγγίζει τα 2GW, ενώ στην Αγγλία και στη Γερμανία οι προοπτικές στόχευαν στη κάλυψη του 4% της εσωτερικής παραγωγής, μέχρι το 2000.

Το αιολικό δυναμικό, σε πολλά σημεία της χώρας μας βρίσκεται σε επιθυμητά επίπεδα. Στα νησιά του Αιγαίου το αιολικό δυναμικό παρουσιάζει μια μέση ετησίως τιμή, από 7 έως 11 m/sec, το οποίο υπερκαλύπτει τις απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια των νησιών αυτών. Γι' αυτό το λόγο, ο νησιωτικός χώρος αποτελεί ιδανικό πεδίο εφαρμογής της τεχνολογίας των αιολικών συστημάτων.

Φωτοβολταϊκή ηλεκτρική ενέργεια. Η τεχνολογία των Φ/Β στοιχείων, παρ' ότι το Φ/Β φαινόμενο είχε παρατηρηθεί από τον Becquerell το 1839, αναπτύχθηκε έντονα το δεύτερο μισό του 20ου αιώνα, οι αρχικές εμπορικές κατασκευές, πολύ υψηλού κόστους με σχετικά μικρή απόδοση της τάξης του 5-10% έγιναν από κρυσταλλικά υλικά, κυρίως από κρυσταλλικό πυρίτιο.

Σήμερα, οι αποδόσεις των Φ/Β στοιχείων από κρυσταλλικό πυρίτιο, βρίσκονται στα επίπεδα του 22%, για Φ/Β πλαίσια διαστημικών κατασκευών και στο επίπεδο του 14-16% για βιομηχανική-οικιακή χρήση, έχουν όμως αρκετά υψηλό κόστος το οποίο υπολογίζεται ότι σε λίγα χρόνια με τις νέες τεχνολογίες θα μειωθεί σημαντικά.

Μεγάλοι Φ/Β σταθμοί, μερικών MW λειτουργούν ήδη στην Αμερική και στην Ευρώπη. Στην Ελλάδα η εγκατεστημένη ισχύ μόλις ξεπερνά τα 0,5 MW_p (1W_p σημαίνει ότι όταν στην επιφάνεια του Φ/Β στοιχείου προσπίπτει κάθετα ΗΜ ακτινοβολία πυκνότητας ισχύος 1kw/m² και φάσματος AM1,5 και η θερμοκρασία είναι 25 °C, τότε η παραγόμενη από αυτό ηλεκτρική ενέργεια, αποδίδεται με ισχύ 1W). Βρίσκονται διασπαρμένα σε διάφορες περιοχές κυρίως νησιωτικές και πολλές φορές συνεργάζονται με αιολικά πάρκα και diesel για την κάλυψη των τοπικών αναγκών.

1.4 ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

1.4.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Η αιολική ενέργεια είναι μια από τις πιο παλιές φυσικές πηγές ενέργειας που αξιοποιήθηκε σε μηχανική μορφή.



Η πρωτογενής αυτή μορφή ενέργειας που παρέχεται άμεσα από τη φύση, έπαιξε αποφασιστικό ρόλο στην εξέλιξη της ανθρωπότητας ιδιαίτερα με τη χρήση της στην ναυτιλία για συγκοινωνίες και εξερευνησίες. Η σημασία της ενέργειας του ανέμου φαίνεται στην ελληνική μυθολογία όπου ο Αίολος διορίζεται από τους θεούς ταμίας των ανέμων.

Πρώτη χρήση της αιολικής ενέργειας από τον άνθρωπο έγινε για την κίνηση των πλοίων τους. Υπάρχουν επίσης ιστορικές και αρχαιολογικές μαρτυρίες ότι οι ανεμόμυλοι χρησιμοποιήθηκαν από τους Κινέζους, τους Πέρσες και τους Αιγυπτίους πολλούς αιώνες πριν από τη γέννηση του Χριστού.

Στην Αίγυπτο σώζονται πύργοι ανεμόμυλων ηλικίας μεγαλύτερης των 3000 ετών. Στο Αφγανιστάν βρίσκονται τα ερείπια ενός μεγάλου κτηρίου, με πολλές σπές, δια μέσου των οποίων ο αέρας που εισχωρούσε έβαζε σε κίνηση ειδικές μηχανές που εκτελούσαν χρήσιμες για τον άνθρωπο εργασίες.

Στις χώρες της ανατολής, στην Περσία, στη Μικρά Ασία, στο Αιγαίο, οι ανεμόμυλοι χρησιμοποιήθηκαν πολύ παλιά για την άλεση δημητριακών, μέχρι τη Βυζαντινή εποχή και μεταγενέστερα.

Οι ανεμόμυλοι δε χρησιμοποιήθηκαν μόνο για την άλεση δημητριακών, αλλά και για άλλους σκοπούς, με σπουδαιότερο αυτόν της άντλησης των υδάτων. Η μεγαλύτερη διάδοση των ανεμόμυλων έγινε στην Ολλανδία. Εκεί με τη βοήθεια των ανεμόμυλων, απορροφήθηκαν τα νερά των τεραστίων σε έκταση περιοχών της χώρας που βρίσκονταν στη χαμηλή στάθμη και διοχετεύτηκαν στη θάλασσα.

Στην Ελλάδα η άλεση των δημητριακών κατά τη Βυζαντινή εποχή, μετά την υποδούλωση στους Τούρκους, αλλά και αργότερα, κατά τον περασμένο αιώνα, στο ελεύθερο κράτος, γινόταν αποκλειστικά διά των ανεμόμυλων.

Ο αριθμός τους ήταν μεγάλος, προ παντός στις ανεμόδαρτες περιοχές, κυρίως στα νησιά του Αιγαίου, στα ανατολικά παράλια της ανατολικής Ελλάδας και στις υψηλές ορεινές περιοχές της ενδοχώρας. Παρ' ότι η Μύκονος διατήρησε για πολλούς λόγους, μια ξεχωριστή θέση για τους μύλους της, στο θέμα της χρησιμοποίησης της αιολικής ενέργειας δεν αποτέλεσε φυσικά και τη μοναδική περίπτωση.

Δεν υπάρχει νησί του Αιγαίου που να μην είχε και να μη διατηρεί ακόμα και σήμερα, πολλούς ανεμόμυλους.

Στην Ελλάδα δεν είναι γνωστό πότε άρχισαν να κατασκευάζονται ανεμόμυλοι. Ιστορικές μαρτυρίες δείχνουν την ύπαρξη ανεμόμυλων στην Ελλάδα, πολλές εκατοντάδες χρόνια πριν τη γέννηση του Χριστού. Ανεξάρτητα όμως από το πότε πρωτοεμφανίστηκαν οι ανεμόμυλοι στη χώρα μας, είναι βέβαιο ότι εδώ αναπτύχθηκε ένας τύπος ανεμόμυλου οριζοντίου άξονα, διαφορετικός από εκείνους των άλλων χωρών, πολύ χαρακτηριστικός για την Ελλάδα και σύμφωνος με τις κλιματολογικές συνθήκες.

Η αιολική ενέργεια χρησιμοποιείτο περισσότερο στην περιοχή Λασιθίου όπου εκεί οι κατασκευαστές ανεμόμυλων ήταν ντόπιοι σιδηρουργοί. Υπολογίζεται ότι προπολεμικά στην περιοχή υπήρχαν περί τους 6000 ανεμόμυλους.

Στη Σητεία (ανατολική Κρήτη) αναφέρθηκε μία πρακτική αποθήκευσης της αιολικής ενέργειας κατά την οποία αντλείται νερό με τη βοήθεια ανεμόμυλων το οποίο αποθηκεύεται σε υψηλή δεξαμενή και κατόπιν χρησιμοποιείται ως υδατόπτωση στους νερόμυλους.

1.4.2. ΤΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

Καταρχάς, θα πρέπει να προσδιοριστεί το σύστημα μετατροπής Αιολικής Ενέργειας που θα χρησιμοποιηθεί για την εκμετάλλευση αυτού του Αιολικού Δυναμικού. Λαμβάνοντας υπόψη περιβαλλοντικούς περιορισμούς και περιορισμούς χρήσης γης, το Αιολικό Δυναμικό της Κρήτης, το διαθέσιμο Αιολικό Δυναμικό της Κρήτης εκτιμάται εισάγοντας προς εγκατάσταση για τα επόμενα 15 χρόνια ανεμογεννήτριες 1,0 έως 2,0 MW . Τα προκύπτοντα προβλήματα που απορρέουν από αντίθετους προς της Αιολική Τεχνολογία, τα οποία είτε προέρχονται από όχι καλά πληροφορημένες ομάδες διανοούμενων (αρχαιολόγοι, περιβαλλοντικά ευαίσθητες ομάδες κλπ) ή μη πληροφορημένους γηγενείς πληθυσμούς, αντιμετωπίζονται μέσα από καμπάνιες, σεμινάρια και συζητήσεις. Τα ήδη εγκατεστημένα Αιολικά Πάρκα και η φιλοσοφία σχεδιασμού και εκμετάλλευσης του Αιολικού Δυναμικού έχουν παίξει καθοριστικό ρόλο για την κοινωνική αποδοχή των συστημάτων μετατροπής της Αιολικής Ενέργειας. Η εγκατάσταση Αιολικών Πάρκων σε περιοχές με περισσότερες από 10 ημέρες χιόνι πάχους μεγαλύτερο από 0,5 μέτρα απορρίφθηκε στον παρόν υπολογισμό. Περιοχές με απόκρημνες κλήσεις και δασικές περιοχές με ψηλά δέντρα (>3 μέτρα) επίσης δεν έγιναν αποδεκτές ενώ υποτέθηκε η κατασκευή μιας νέας γραμμής διανομής υψηλής τάσης (150kV) μαζί με την αναπόφευκτη ενίσχυση των υπαρχόντων κλάδων του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

1.4.2.1 Η ποσότητα και η ποιότητα του Αιολικού Δυναμικού.

Το Αιολικό Δυναμικό της Κρήτης μπορεί να δώσει μια διασυνδεδεμένη στο δίκτυο Αιολική Ισχύ περισσότερη από 2,8 GW με συνολικό συντελεστή διαθεσιμότητας πάνω από 0,38. Το Αιολικό Δυναμικό της Κρήτης εκτιμήθηκε μετά από χαρτογράφηση πάνω σε χάρτες της Κρήτης κλίμακας 1-25.000 των πιο εφικτών, τεχνικά και οικονομικά Αιολικών Πάρκων. Ένας κατάλογος από τις καταλληλότερες αυτές περιοχές παρουσιάζεται στους ακόλουθους πίνακες.

Νομός Λασιθίου	Vm m/s	N W/Gs	Pr kw	Ενέργεια GWh	Cf
1	8,5	24	24000	91,20	0,430
2	8,5	36	36000	136,80	0,430
3	8,0	36	36000	123,09	0,390
4	8,5	48	48000	82,40	0,430
5	8,0	42	42000	143,60	0,390
6	8,0	37	37000	126,50	0,390
7	8,0	38	38000	129,92	0,430
8	8,0	32	32000	109,41	0,390
9	8,0	34	34000	116,25	0,390
10	8,0	86	86000	294,04	0,390
11	8,5	52	52000	197,60	0,430
12	9,	38	38000	158,88	0,480
13	8,5	68	68000	258,40	0,430
14	9,5	76	76000	346,70	0,520
15	9,5	47	47000	214,41	0,520
16	9,5	22	22000	100,36	0,520
17	9,0	138	138000	576,97	0,480
18	8,5	25	25000	95,00	0,430
19	8,5	38	38000	144,40	0,430
ΣΥΝΟΛΟ		917	917000	3545,93	Cf=0,441

Πίνακας 1. Το Αιολικό Δυναμικό του Νομού Λασιθίου

Νομός Ηρακλ είου		Vm m/s	N W/Gs	Pr kw	Ενέργεια GWh	Cf
	1	8,0	58	58000	198,30	0,390
	2	8,0	36	36000	123,09	0,390
	3	7,5	28	28000	85,07	0,350
	4	8,5	18	18000	68,40	0,430
	5	9,0	32	32000	133,79	0,480
	6	9,5	38	38000	173,35	0,520
	7	9,0	20	20000	83,62	0,480
	8	8,0	38	38000	129,92	0,390
	9	8,0	62	62000	211,98	0,390
	10	7,5	64	64000	194,44	0,350
	11	8,5	38	38000	144,40	0,430
	12	8,5	34	34000	129,20	0,430
	13	8,0	32	32000	109,41	0,390
	14	8,5	58	58000	220,40	0,430
	15	9,0	44	44000	183,96	0,480
	16	8,0	44	44000	150,44	0,390
	17	8,0	47	47000	160,70	0,390
	18	8,0	28	28000	95,73	0,390
	19	8,5	26	26000	98,80	0,390
	ΣΥΝΟΛΟ		745	745000	2695,00	Cf=0,413

Πίνακας 2. Το Αιολικό Δυναμικό του Νομού Ηρακλείου

Νομός Ρεθύμνης		Vm m/s	N W/Gs	Pr kw	Ενέργεια GWh	Cf
		8,0	38	38000	129,92	0,390
		7,5	48	48000	145,83	0,350
		8,0	35	35000	119,67	0,390
		7,5	28	28000	85,07	0,350
		7,5	32	32000	97,22	0,350
		8,0	42	42000	143,60	0,390
		8,0	22	22000	75,22	0,390
		8,0	16	16000	54,70	0,390
		7,5	18	18000	54,69	0,350
		ΣΥΝΟΛΟ	279	279000	905,91	Cf=0,371

Πίνακας 3. Το Αιολικό Δυναμικό του Νομού Ρεθύμνης

Νομός Χανίων		Vm m/s	N W/Gs	Pr kw	Ενέργεια GWh	Cf
	1	9,0	38	38000	158,88	0,480
	2	8,0	78	78000	266,69	0,390
	3	8,0	32	32000	109,41	0,390
	4	8,0	44	44000	150,44	0,390
	5	9,0	38	38000	158,88	0,480
	6	8,0	88	88000	300,88	0,390
	7	8,0	22	22000	75,22	0,390
	8	9,0	18	18000	75,26	0,480
	9	8,5	28	28000	106,40	0,430
	10	9,0	46	46000	192,32	0,480
	11	8,5	38	38000	144,40	0,430
	12	8,0	42	42000	143,60	0,390
	13	7,5	58	58000	176,21	0,350
	14	7,5	24	24000	72,91	0,350
	15	8,0	47	47000	160,70	0,390
	16	7,5	42	42000	127,60	0,350
	17	8,0	35	35000	119,67	0,390
	18	7,5	48	48000	145,83	0,350
	19	8,0	28	28000	95,73	0,390
	ΣΥΝΟΛΟ		794	794000	2781,01	Cf=0,399

Πίνακας 4. Το Αιολικό Δυναμικό του Νομού Χανίων

N W/Gs	Pr kw	Ενέργεια GWh	Cf
2.735	2.735,000	9.927,86	0,41

Πίνακας 5. Συνολικό Αιολικό Δυναμικό Κρήτης

Είναι προφανές ότι ο μεγάλος αριθμός Αιολικών Πάρκων και η διασπορά τους σε όλο το νησί μπορούν να αλλάξουν τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας για τη μέση αιολική ισχύ σε όλο το νησί ριζικά. Η διεύθυνση των Αιολικών Πάρκων μπορεί

να αυξηθεί αρκετά για να αλλάξει τα οικονομικά δεδομένα συγκριτικά με την ίδια μη διασπαρμένη Αιολική Ισχύ.

Η ποιότητα του Αιολικού Δυναμικού, πέρα από τη διαθεσιμότητά του, πρέπει να αποτιμηθεί και ως προς τη συμβατότητα της μορφής ισχύος που προσφέρεται από το σύστημα παραγωγής με τη μορφή ισχύος που είναι κατάλληλη για τις συσκευές κατανάλωσης. Έτσι, η ποιότητα ισχύος θα πρέπει να οριστεί σε δύο επίπεδα, το μικροσκοπικό (συσκευές) και το μακροσκοπικό (διαθεσιμότητα). Τα δύο αυτά επίπεδα είναι ηλεκτρομηχανολογικά άρρηκτα αλληλοεξαρτώμενα. Το φάσμα ισχύος τάσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μετρηθεί η ποιότητα της ηλεκτρικής ισχύος.

1.4.2.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Η κύρια αιτία δημιουργίας των ανέμων, είναι η άνιση θερμοκρασιακή κατανομή στις διάφορες περιοχές του πλανήτη μας, οφειλόμενη στη δράση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Έτσι το 2% της συνολικής ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στον πλανήτη μας, μετατρέπεται σε αιολική. Η ισχύς του ανέμου σε ολόκληρη τη γη υπολογίζεται ετησίως, σε $3,6 \cdot 10^9$ MW. Η ισχύς ρεύματος γενικά είναι ανάλογη της πυκνότητάς του και του κύβου της ταχύτητάς του. Έτσι για την ίδια ταχύτητα και διατομή, ένα ρεύμα αέρα θα έχει περίπου 800 φορές μικρότερη ενέργεια από μία αντίστοιχη δέσμη νερού. Η αιολική ενέργεια συνεπώς είναι μια «αραιή» ή «ήπια» μορφή ενέργειας, δηλαδή είναι μικρή η ποσότητα ενέργειας, η οποία δεσμεύεται ανά μονάδα χρόνου, σε κάθε τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας που προσβάλλεται από τον άνεμο. Ένας ανεμοκινητήρας (Α/Κ) έχει τη δυνατότητα να δεσμεύσει περίπου μόνο το 48% της ισχύς του ανέμου που προσβάλλει την επιφάνειά του. Αυτό έχει σαν συνέπεια την ανάγκη κατασκευής μονάδων μεγάλων διαστάσεων, μειονέκτημα όμως το οποίο με τη σημερινή τεχνολογία αντιμετωπίζεται ικανοποιητικά.

Παράλληλα η αιολική ενέργεια χαρακτηρίζεται από το πλεονέκτημα, ότι δίνει απ' ευθείας μηχανική ενέργεια, μια «αναβαθμισμένη» κατά την τεχνική ορολογία μορφή ενέργειας, που με πολύ υψηλό βαθμό απόδοσης και απλά μέσα, μετατρέπεται σε οποιαδήποτε άλλη μορφή ενέργειας και φυσικά την πιο εύχρηστη αυτών, την ηλεκτρική.

Τα σημαντικότερα μειονεκτήματα της αιολικής ενέργειας είναι η στοχαστικότητα της, αλλά και η αδυναμία της να αποθηκευθεί και να χρησιμοποιηθεί μεταγενέστερα. Όπως είναι γνωστό, ο άνεμος είναι μια στοχαστική πηγή ενέργειας, γεγονός που σημαίνει ότι μπορεί να υπάρχει μεγάλη παραγωγή ενέργειας σε ώρες χαμηλής ζήτησης, ή αντίθετα σε ώρες αιχμής να μην υπάρχει παραγωγή. Από την άλλη η στοχαστικότητα αυτή της αιολικής ενέργειας αποτελεί τροχοπέδη στην εξολοκλήρου διείδυσή της στο σύστημα, για λόγους ευστάθειας αυτού.

Λύση στο πρόβλημα αυτό δίνει η αντλησιοταμίευση, με την οποία η αιολική ενέργεια αποθηκεύεται με τη μορφή δυναμικής ενέργειας στη ποσότητα του νερού το οποίο βρίσκεται σε συγκεκριμένο υψόμετρο. Δύνεται έτσι η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί μεταγενέστερα και μάλιστα σαν μια ποιοτική ηλεκτρική πηγή ενέργειας η οποία δεν προκαλεί κανένα πρόβλημα στο σύστημα.

1.5 ΑΝΑΣΤΡΕΨΙΜΑ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΕΡΓΑ

Με τον όρο υδροηλεκτρικά έργα ή υδροηλεκτρικά έργα ταμίευσης εννοούμε τα έργα που έχουν τόσο τη δυνατότητα λειτουργίας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (λειτουργία υδροστροβίλου), όσο και τη δυνατότητα άντλησης του νερού, από τον κάτω

ταμιευτήρια στον πάνω. Η άντληση του νερού γίνεται κατά τη διάρκεια των ωρών ή ημερών χαμηλής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από την περίσσεια ενέργεια των μεγάλων θερμικών μονάδων ή των αιολικών. Οι μονάδες βάσεως, δεν



έχουν τη δυνατότητα γρήγορης μεταβολής του φορτίου τους ώστε η καμπύλη της παραγωγής ενός μεγάλου δικτύου να παρακολουθεί την καμπύλη ζήτησης η οποία παρουσιάζει έντονες μεταβολές από ώρα σε ώρα και από ημέρα σε ημέρα. Επομένως, κατά τη διάρκεια μιας ημέρας θα υπάρχουν ώρες κατά τις οποίες η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τις μονάδες βάσεως είναι μεγαλύτερη από τη ζήτηση (π.χ κατά τις μεταμεσονύκτιες ώρες ή κατά τις αργίες), οπότε με τη περίσσεια αυτή του δικτύου πραγματοποιείται η άντληση. Επίσης θα υπάρχουν διαστήματα όπου θα συμβαίνει το αντίθετο, η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας είναι μεγαλύτερη από τη παραγωγή των μονάδων βάσεως, ιδιαίτερα τις ώρες αιχμής. Η έλλειψη ενέργειας τις ώρες αιχμής καλύπτεται κατά σειρά ως εξής, με τη λειτουργία των αναστρέψιμων υδροηλεκτρικών, με τη λειτουργία των αεριοστροβίλων και τέλος με την εισαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ξένες χώρες (όπου αυτό είναι δυνατόν, κυρίως στο ηπειρωτικό δίκτυο).

Η προηγούμενη σειρά προτεραιότητας εκφράζει και το κόστος της μονάδας ενέργειας αιχμής (σημειώνεται ότι ο βαθμός απόδοσης των αεριοστροβίλων είναι πολύ μικρός της τάξης του 30% και για το λόγο αυτό το κόστος της KWh αιχμής, είναι πολύ υψηλό). Τα αναστρέψιμα ΥΗΕ έχουν λοιπόν διπλό όφελος. Απορροφούν την περίσσεια ενέργεια κατά τις ώρες χαμηλής ζήτησης μετατρέποντας την σε υδραυλική ενέργεια (και η οποία αποθηκεύεται στο πάνω ταμιευτήρα) για να την αποδώσουν στο δίκτυο τις ώρες αιχμής. Φυσικά η διαδικασία αυτή μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας σε υδραυλική (άντληση) και στη συνέχεια η εκ νέου μετατροπή της σε ηλεκτρική (λειτουργία υδροστροβίλων), συνοδεύεται με απώλειες, όμως η επένδυση είναι οικονομικά συμφέρουσα λαμβάνοντας υπόψη τη σημαντική διαφορά κόστους της μονάδας ενέργειας αιχμής και βάσεως (νυχτερινό τιμολόγιο). Οι συνολικές απώλειες ενέργειας σε ένα κύκλο άντλησης – λειτουργία υδροστροβίλων, φτάνει το 25 % (για μεγάλου μεγέθους έργα). Όπως αναμένεται, οι συνολικές απώλειες είναι μεγαλύτερες όσο το μέγεθος των μηχανών γίνεται μικρότερο.

Το αναστρέψιμο ΥΗΕ είναι δυνατόν να κατασκευαστεί μόνο σε περιοχές που το επιτρέπει η φυσική και γεωλογική διαμόρφωση της περιοχής και όχι κοντά στις γραμμές μεταφοράς, οπότε σε αυτή την περίπτωση το κόστος της ενέργειας επιβαρύνεται.

Ένας άλλος σημαντικός ρόλος των αναστρέψιμων ΥΗΕ είναι η εφεδρεία που παρέχουν στο δίκτυο, σε περίπτωση που λόγω βλάβης, τεθεί εκτός λειτουργία μια μεγάλη θερμική μονάδα βάσης.

1.5.1. Η αντλησιοταμίευση στην Κρήτη.

Η ορογραφία της Κρήτης είναι ιδανική για την υλοποίηση χαμηλού κόστους και περιβαλλοντικά φιλικών συστημάτων άντλησης – ταμίευσης.

Οι ορεινές περιοχές με χαμηλή διαπερατότητα σε νερό, στις οποίες προβλέπεται να εγκατασταθούν αυτά τα συστήματα, παρέχουν ζευγάρια τοποθεσιών σχεδόν έτοιμα να συγκεντρώσουν αρκετό νερό τόσο για αποθήκευση ενέργειας, όσο και για άρδευτικούς σκοπούς. Η αναδάσωση των βραχωδών ορέων μπορεί να είναι ένα έμμεσο όφελος της ανάπτυξης συστημάτων αντλησιοταμίευσης, ενώ ταυτόχρονα νέα τεχνητά οικοσυστήματα θα αποτελέσουν σίγουρα το βασικό κέρδος από αυτά τα συστήματα. Πάρα πολύ νερό χάνεται στη θάλασσα ενώ η εγκατάλειψη της υπαίθρου εξελίσσεται με μεγάλους ρυθμούς. Οι βροχοπτώσεις στις ορεινές περιοχές της Κρήτης δίνουν περίπου 1.800 mm στήλης ύδατος ετησίως, ενώ οι φυσικές υδρολεκάνες σχηματίζουν κατάλληλους συλλέκτες νερού. Ο Δρ. Αγγελάκης Ανδρέας, ο πλέον ειδικός μελετητής των υδάτινων πόρων στη Κρήτη, έχει αποδείξει ότι η επάρκεια νερού είναι πολύ περισσότερη από την απαιτούμενη για τους σκοπούς άρδευσης στο νησί. Οι ποσότητες νερού, οι απαιτούμενες για ενεργειακούς σκοπούς είναι ένα μικρό μόνο ποσοστό των συνολικών αναγκών νερού για άρδευση. Δεδομένου ότι το νερό που χρησιμοποιείται για αποθήκευση ενέργειας δεν καταναλώνεται, το μόνο που θα πρέπει να ληφθεί υπόψη για τη διατήρηση του συστήματος άντλησης – ταμίευσης είναι οι απώλειες λόγω εξάτμισης. Η αναπλήρωση των απαιτούμενων ποσοτήτων νερού στις δεξαμενές, μπορεί να εκτιμηθεί σε ένα ποσοστό μικρότερο του 2% των συνολικά απαιτούμενων ποσοτήτων νερού για άρδευση. Με βάση τα ανωτέρω, οι προδιαγραφές του συστήματος αντλησιοταμίευσης είναι οι εξής:

- α) Οι χωρητικότητες των δεξαμενών πρέπει να είναι ικανές για:
 - α.1 αποθήκευση ενέργειας
 - α.2 τη διατήρηση του οικοσυστήματος που θα αναπτυχθεί γύρω από και μέσα στις δεξαμενές
 - α.3 την άρδευση της περιοχής γύρω από το σύστημα αντλησιοταμίευσης

α.4 την αναδάσωση της περιοχής γύρω από το σύστημα αντλησιοταμίευσης.

β) Η διαχείριση του νερού του συστήματος αντλησιοταμίευσης πρέπει να είναι μέσα στα πλαίσια της συνολικής διαχείρισης υδάτινου δυναμικού της Περιφέρειας Κρήτης.

γ) Η διαχείριση ενέργειας του συστήματος παραγωγής θα πρέπει να βασίζεται σε μία πολιτική που θα ορίζει ελαστικούς και ανελαστικούς τύπους κατανάλωσης.

Ακολουθώντας τις παραπάνω προδιαγραφές, επιλέχθηκαν κάποιες τοποθεσίες σε όλο το νησί. Οι παρουσιαζόμενες στον επόμενο πίνακα είναι οι καλύτερες από αυτές.

Περιοχή	Όγκος της άνω δεξαμενής (*10 ⁶ m ³)	Υψομετρική διαφορά (m)	Ισχύς Υ/Σ (MW)	Ισχύς αντλίας (MW)	Κόστος Υ/Σ (δρχ/KW)	Ολικό κόστος (δρχ*10 ⁹)	Ολικό κόστος (ευρώ*10 ⁶)
Χανιά1	5,00	280	100	170	440.000	44,00	129,13
Χανιά2	4,50	330	100	170	430.000	43,00	126,19
Ρέθυμνο	5,30	400	150	250	400.000	60,00	176,08
Ηράκλειο1	14,00	1.000	400	670	310.000	124,00	363,90
Ηράκλειο2	4,10	350	100	170	420.000	42,00	123,26
Λασιθί1	4,70	300	100	170	430.000	43,00	126,19
Λασιθί2	2,90	250	50	85	500.000	25,00	73,37
Σύνολα			1000	1.685			

Πίνακας 6: Διαθέσιμες κατάλληλες τοποθεσίες για αντλησιοταμίευση στην Κρήτη.

Το ενδιαφέρον των επενδυτών απορρέει από τα ελκυστικά οικονομικά νούμερα που παρέχονται από τα υπάρχοντα νομικά και οικονομικά Ελληνικά πλαίσια. Παρόλα αυτά, το νομικό πλαίσιο δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ολοκληρωμένο. Κάποιες μικρές, ωστόσο όμως σημαντικές, τροποποιήσεις που αφορούν τη διαδικασία αδειοδότησης και τον ενεργειακό τιμοκατάλογο είναι απαραίτητες για το σχεδιασμό και την απομίμηση των επενδύσεων, από όπου κι αν προέρχονται.

Συμπερασματικά θα μπορούσαμε να πούμε ότι υπάρχουν όλες οι απαραίτητες συνθήκες για την ανάπτυξη ολοκληρωμένων συστημάτων παραγωγής βασίζομενη στην Αιολική Ενέργεια, εκτός ίσως από κάποιες μικρές τροποποιήσεις στο νομικό πλαίσιο. Είναι θέμα καθαρά πολιτικής απόφασης η απελευθέρωση των επενδυτών προς ένα πολλά υποσχόμενο στόχο, την ηλεκτροδότηση της Κρήτης από τον άνεμο και τις άλλες ΑΠΕ, που μπορούν να παίξουν ένα σημαντικό συμπληρωματικό ρόλο. Η Ορθολογική Χρήση Ενέργειας (ΟΧΕ), η ηλιακή αρχιτεκτονική, η βιομάζα και τα μικρά αυτόνομα υβριδικά συστήματα φωτοβολταϊκών έχουν μελετηθεί για υλοποίηση στην Κρήτη και μπορούν να εκπληρώσουν σκοπούς ηλεκτροδότησης που έχουν να κάνουν με τη συνολική τεχνικοοικονομική σχεδίαση της ανάπτυξης του συστήματος παραγωγής στην Κρήτη.

Δεδομένου ότι οι τιμές των ορυκτών καυσίμων αυξάνονται σχεδόν συνεχώς, ενώ οι τιμές ενέργειας από ΑΠΕ μειώνονται, χωρίς να υπάρχει καμία ένδειξη για αντίστροφη της πορείας αυτής κατά τις επόμενες δύο δεκαετίες, άμεσες προοπτικές πολύ ελκυστικών επενδύσεων συνδυασμένων συστημάτων Αιολικών Πάρκων και Αντλησιοταμίευσης είναι πέρα από κάθε αμφισβήτηση.

1.5.2 ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΑΝΑΣΤΡΕΨΙΜΩΝ ΥΗΕ

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

A) τις σύνθετες, 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, ενώ μέσω συμπλέκτη (συνήθως υδραυλικού), όταν λειτουργεί ο υδροστρόβιλος η αντλία δεν περιστρέφεται και αντίστροφα (έτσι ώστε να μειώνονται οι απώλειες και οι φθορές).

B) αυτές που είναι εξοπλισμένες με αναστρέψιμη υδροδυναμική μηχανή (στροβιλοαντλία) και ηλεκτρική μηχανή που, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, λειτουργεί ως γεννήτρια ή κινητήρας. Η αναστρέψιμη υδροδυναμική μηχανή έχει τη δυνατότητα λειτουργίας ως αντλία και ως υδροστρόβιλος με την αντιστροφή της φοράς περιστροφής της περρωτής.

Το βασικό πλεονέκτημα της λύσης (α), είναι ότι κάθε μηχανή (υδρ/λος και αντλία) υπολογίζεται ώστε να λειτουργεί στο αντίστοιχο κανονικό σημείο λειτουργίας της, χωρίς να είναι ανάγκη να γίνεται συμβιβασμός στα λειτουργικά χαρακτηριστικά της. Παρουσιάζει όμως το μειονέκτημα του σημαντικού κόστους του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού (δύο υδροδυναμικές μηχανές συν συμπλέκτη, αντί μιας αναστρέψιμης), ενώ κάθε μονάδα καταλαμβάνει σημαντικά μεγαλύτερο χώρο σε σύγκριση με τη λύση της αναστρέψιμης υδροδυναμικής μηχανής. Στην περίπτωση όπου η προβλεπόμενη συχνότητα εναλλαγής της λειτουργίας είναι μεγάλη, οι σύνθετες μονάδες πλεονεκτούν έναντι των αναστρέψιμων (στις οποίες απαιτείται αντιστροφή της φοράς περιστροφής του στροφείου). Όμως όταν η διαθέσιμη υδραυλική πτώση είναι σημαντική και αντιστοιχεί σε υδρ/λο τύπου pelton, του οποίου η λειτουργία δε μπορεί να αντιστραφεί ώστε να λειτουργεί σαν αντλία, είναι απαραίτητη η εγκατάσταση ανεξάρτητης αντλίας που θα εξασφαλίζει τη λειτουργία της αποταμίευσης.

1.5.3 ΕΚΚΙΝΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΣΤΑ ΥΗΕ

Η εκκίνηση της αντλίας απαιτεί ιδιαίτερη διαδικασία, κύρια λόγω της μεγάλης έντασης ηλεκτρικού ρεύματος που αναπτύσσεται στον ηλ. κινητήρα. Το πρόβλημα της εκκίνησης των μεγάλων αντλιών αποταμίευσης των ανατρέψιμων ΥΗΕ είναι πολύ σημαντικό και γι' αυτό έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές εκκίνησης. Για να γίνει περισσότερο σαφές το πρόβλημα αναφέρονται στη συνέχεια τα ακόλουθα στοιχεία:

α) η ισχύς που απορροφά η αντλία στην κανονική ταχύτητα περιστροφής και με κλειστά τα ρυθμιστικά πτερύγια είναι της τάξεως του 35% της ονομαστικής της ισχύος

β) η ισχύς που απορροφά η αντλία στην κανονική ταχύτητα περιστροφής της με ανοικτά τα ρυθμιστικά πτερύγια αλλά κλειστή τη βάνα της κατάθλιψης είναι της τάξεως του 65% της ονομαστικής ισχύος.

γ) το ολικό ύψος για μηδενική παροχή είναι μεγαλύτερο από το ολικό ύψος στο κανονικό σημείο λειτουργίας (για την κανονική ταχύτητα περιστροφής) αλλιώς η χαρακτηριστική θα ήταν ασταθής.

δ) η ισχύς που απορροφά η αντλία στην κανονική ταχύτητα περιστροφής όταν είναι κενή από νερό (λειτουργεί σε αέρα) είναι της τάξεως του 1-3% της ονομαστικής ισχύος (πρόκειται για τις μηχανικές απώλειες εδράνων).

Διακρίνονται οι ακόλουθοι μέθοδοι εκκίνησης της αντλίας:

1) Εκκίνηση με την περωτή γεμάτη (πλημμυρισμένη στο νερό) και τη στεφάνη των ρυθμιστικών περυγίων κλειστή. Η μέθοδος αυτή μπορεί να εφαρμοσθεί όταν προηγούμενα το στροφέιο της αντλίας φθάσει στη συνθήκη συγχρονισμού, δηλαδή στην ονομαστική ταχύτητα περιστροφής του. Σύμφωνα με την παρατήρηση α) για να γίνει αυτό, θα πρέπει να υπάρχει βοηθητικός υδροστρόβιλος (στο ίδιο ή σε γειτονικό ΥΗΕ) που θα προσδώσει την απαιτούμενη ισχύ, της τάξεως του 35% της ονομαστικής ισχύος της αντλίας. Μετά την επίτευξη της σύγχρονης ταχύτητας περιστροφής ανοίγουν σταδιακά τα περύγια μέχρι την επίτευξη του επιθυμητού σημείου λειτουργίας. Η μεταβατική αυτή κατάσταση λειτουργίας της αντλίας είναι θορυβώδης και ασταθής. Όσο διάστημα τα ρυθμιστικά περύγια είναι κλειστά, η σημαντική ενέργεια που απορροφάται μετατρέπεται σε θερμότητα στο εσωτερικό της μηχανής και γι' αυτό μέσω ανεξάρτητου κυκλώματος διατηρείται μια μικρή παροχή νερού στο εσωτερικό της μηχανής μέσω της οποίας απάγεται η θερμότητα.

2) Εκκίνηση με την περωτή κενή (στον αέρα), τα ρυθμιστικά περύγια κλειστά και ανοικτή τη βάνα της κατάθλιψης. Η περωτή εκκενώνεται από το νερό μέσω πεπιεσμένου αέρα που εκχύεται από ακροφύσιο στο επίπεδο του σπειροειδούς κελύφους. Η πίεση ρυθμίζεται συνεχώς έτσι ώστε η ελεύθερη στάθμη του νερού στον αγωγό αναρρόφησης να είναι χαμηλότερη από το κατώτερο σημείο της περωτής. Στη συνέχεια το στροφέιο τίθεται σε περιστροφή μέχρι την επίτευξη της ονομαστικής ταχύτητας περιστροφής μέσω βοηθητικού υδρ/λου ή με κατευθείαν σύζευξη στο δίκτυο υπό χαμηλή τάση. Ο συγχρονισμός του στροφείου στην περίπτωση αυτή είναι σχετικά πιο εύκολος λαμβάνοντας υπόψη την πολύ μικρή ισχύ που απορροφά το στροφέιο (βλ. παρατήρηση δ). στη συνέχεια όμως η διαδικασία είναι ιδιαίτερα κρίσιμη. Ακολουθώντας την πλέον απλή διαδικασία, δηλαδή μειώνοντας σταδιακά την πίεση του αέρα οπότε η στάθμη του νερού ανεβαίνει, το φαινόμενο εξελίσσεται κρουστικά την χρονική στιγμή κατά την οποία η στάθμη του νερού ξεπεράσει ολόκληρη την ακμή εισόδου των περυγίων: λόγω της περιστροφής της περωτής το νερό φυγοκεντρείται, γεμίζει απότομα η περωτή και αυξάνει απότομα η απορροφούμενη ισχύς (από 1-3% φθάνει το 30-40%) της ονομαστικής ισχύος). Για την αποφυγή αυτών των κρουστικών φαινομένων, έχουν δοκιμαστεί διάφοροι άλλοι τρόποι όπως η πλήρωση της περωτής από τον πάνω ταμιευτήρια μέσω βοηθητικού αγωγού που καταλήγει στο σπειροειδές κέλυφος μεταξύ της περωτής και της στεφάνης των ρυθμιστικών περυγίων ή η τροφοδοσία με δέσμες νερού που προκαλούν περιστροφική κίνηση ενώ σταδιακά ο αέρας αφαιρείται από την κοίλη άτρακτο. Όταν πλέον πληρωθεί η αντλία ανοίγουν σταδιακά τα ρυθμιστικά περύγια, όπως και κατά τη προηγούμενη μέθοδο εκκίνησης.

Κατά την εκκίνηση της αντλία, ιδιαίτερα όταν ο αγωγός αναρρόφησης (αγωγός απαγωγής για την λειτουργία υδρ/λου) έχει μεγάλο μήκος, για την μείωση της έντασης του υδραυλικού πλήγματος που αναπτύσσεται κατασκευάζεται πύργος εκτόνωσης ο οποίος όμως προκαλεί ταλαντώσεις μικρής μεγάλης περιόδου μέχρι την αποκατάσταση της τελικής μόνιμης κατάστασης.

1.6 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΥΠΩΝ ΥΔΡ/ΛΩΝ

1.6.1 Γενικά χαρακτηριστικά στοιχεία

Σύμφωνα με πειράματα υπάρχει συσχέτιση του ειδικού αριθμού στροφών και άρα και του τύπου του υδρ/λου, με τη διαθέσιμη υδραυλική πτώση στο κανονικό σημείο λειτουργίας. Σύμφωνα με τη συσχέτιση αυτή για ορισμένες περιοχές της διαθέσιμης υδραυλικής πτώσης είναι αποδεκτή η επιλογή δύο τύπων υδρ/λων: για $H=100-500$ mΣΥ περίπου είναι δυνατή η επιλογή υδρ/λου Pelton ή υδρ/λου Francis. Επίσης για το διάστημα $H=25-60$ mΣΥ περίπου είναι δυνατή η επιλογή υδρ/λου Francis ή υδρ/λου αξονικής ροής. Στις παραγράφους που ακολουθούν γίνεται μια συστηματικότερη διερεύνηση των κύριων χαρακτηριστικών (διαστάσεις – κόστος, ρύθμιση, παραγωγή ενέργειας) των διαφόρων τύπων υδρ/λων ώστε να γίνει δυνατή η σωστότερη επιλογή για μία συγκεκριμένη περίπτωση. Επίσης διερευνάται η πλέον κατάλληλη διάταξη των υδρ/λων, δηλαδή οριζόντιου ή κατακόρυφου άξονα.

Στη συνέχεια και με σκοπό τη διευκόλυνση της σύγκρισης μεταξύ των διαφόρων τύπων υδρ/λων συνοψίζονται τα κύρια χαρακτηριστικά του κάθε τύπου.

α) Υδρ/λος Pelton

- Υδρ/λος δράσεως
- Κατάλληλος για μεγάλες υδρ. Πτώσεις ($H= 300-1800$ mΣΥ)
- Ισχύς μέχρι 400 MW
- Ιδανική προσαρμογή για λειτουργία υπό μεταβαλλόμενη παροχή.
- Άσχημη προσαρμογή σε λειτουργία με μεταβλητή υδρ. Πτώση H.

β) Υδρ/λος Francis αργόστροφος (χαμηλού ειδικού αρ. στροφών)

- Κατάλληλος για αρκετά μεγάλες υδρ. Πτώσεις ($H= 150-750$ mΣΥ)
- Ισχύς μέχρι 400 MW
- Καλή προσαρμογή για λειτουργία υπό μεταβαλλόμενη παροχή
- Μέτρια προσαρμογή για λειτουργία με μεταβλητή υδρ. πτώση.

γ) Υδρ/λος Francis ταχύστροφος (υψηλού ειδικού αρ. στροφών)

- Κατάλληλος για μεσαίες υδρ. πτώσεις ($H= 20-150$ mΣΥ)
- Ισχύς μέχρι 800 MW
- Μέτρια προσαρμογή για λειτουργία με μεταβαλλόμενη παροχή.
- Σχετικά καλή προσαρμογή για λειτουργία με μεταβλητή υδραυλική πτώση H.

δ) Υδρ/λος Deriaz

- Ο Υδρ/λος Deriaz αποτελεί το ενδιάμεσο μεταξύ των υδρ/λων francis (από τον οποίο διατηρεί τον χαρακτήρα της ακτινικής – μικτής ροής) και Kaplan (από τον οποίο διατηρεί τη διπλή ρύθμιση των πτερυγίων της πτερωτής και των ρυθμιστικών πτερυγίων)

- Κατάλληλος για μεσαίες υδρ. πτώσεις ($H= 20-150$ mΣΥ)
- Ισχύς μέχρι 150 MW λόγω των φορτίων που παραλαμβάνουν τα πτερύγια σε πρόβολο
- Καλή προσαρμογή για λειτουργία με μεταβαλλόμενη παροχή
- Καλή προσαρμογή για λειτουργία με μεταβλητή υδρ. πτώση H

ε) Υδρ/λος Kaplan

- Κατάλληλος για χαμηλές υδρ. πτώσεις ($H= 10-80$ mΣΥ)
- Ισχύς μέχρι 200 MW
- Καλή προσαρμογή για λειτουργία με μεταβαλλόμενη παροχή (καλύτερη αυτής του Υδρ/λου Deriaz λόγω απουσίας φυγόκεντρων φαινομένων στη ροή).
- Καλή προσαρμογή για λειτουργία με μεταβλητή υδρ. πτώση.

ζ) Βολβοειδής (bulb) υδρ/λος

- Κατάλληλος για μικρές υδρ. πτώσεις ($H= 5-20$ mΣΥ)
- χαρακτηριστικά λειτουργία αντίστοιχα του Kaplan

1.6.2 Σύγκριση μεταξύ υδρ/λων Pelton και Francis

Η σύγκριση αυτή είναι και η πλέον πολύπλοκη δεδομένου ότι πρόκειται για υδρ/λους εντελώς διαφορετικούς, ο ένας δράσεως και ο άλλος αντιδράσεως. Με σκοπό τη σύγκριση των δύο τύπων υδρ/λων γίνεται εφαρμογή της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε στις προηγούμενες παραγράφους για τη δραστηριοποίησή τους και για την περίπτωση μιας τιμής της διαθέσιμης υδρ. πτώσης H για την οποία είναι δυνατή η εγκατάσταση τόσο υδρ/λου Francis όσο και υδρ/λου Pelton. Εκλέγεται λοιπόν $H=400$ mΣΥ και ονομαστική ισχύς $N=50$ MW. Από την εφαρμογή αυτή προκύπτουν τα κύρια χαρακτηριστικά και διαστάσεις του πίνακα 7 που ακολουθεί.

	Pelton	Francis
Διαθέσιμη υδρ.πτώση H(m)	400,000	400,00
Ισχύς N (MW)	50,000	50,00
Ειδικός αρ. στροφών ns	46,900	75,00
Ταχύτητα περιστροφής n (RPM)	375,000	600,00
Εξ. Διάμετρος πτερωτής DO, D2e (m)	2,740	1,40
Διάμετρος δέσμης d (m)	0,187	-
Διάμετρος εισόδου De (m)	1,510	1,33
Μήκος τροφοδοσίας E+W (m)	9,150	5,65
Ύψος τοποθέτησης Ηπ (m)	2,550	-3,30

Πίνακας 7: Σύγκριση διαστάσεων υδρ/λων Pelton και Francis

α) Πλεονεκτήματα υδρ/λου Pelton

- Η στάθμη τοποθέτησης του υδρ/λου Pelton είναι μεγαλύτερη από αυτή του Francis και φυσικά μεγαλύτερη από την μέγιστη στάθμη του κάτω ταμειυτήρα. Το πλεονέκτημα αυτό είναι πολύ σημαντικό στην περίπτωση κατά την οποία ο ΥΗΣ του Pelton είναι υπέργειος και λιγότερο σημαντικό όταν είναι υπόγειος.
- Δεν υπάρχει κίνδυνος να πλημμυρήσει ο ΥΗΣ ούτε από ανάντι ούτε από κατάντι.
- Δεν απαιτείται διάταξη προστασίας του αγωγού φυγής από υδραυλικό πλήγμα (χάρη στον όνυχα εκτροπής της δέσμης), ακόμα και εάν το μήκος του είναι σημαντικό, ενώ για την αντίστοιχη περίπτωση υδρ/λου Francis είναι απαραίτητη η κατασκευή πύργου εκτονώσεως.
- Ο ολικός βαθμός απόδοσης είναι καλύτερος στα μερικά φορτία, δηλαδή για ισχύ εξόδου μικρότερη του 0,65 N_{max} και η περιοχή λειτουργίας είναι πολύ εκτεταμένη (από 10-100% της N_{max} περίπου)
- Η αποσυναρμολόγηση του υδρ/λου και ιδιαίτερα της πτερωτής είναι σημαντικά πιο εύκολη και γρήγορη από ότι στον Francis.
- Ελεγχόμενη και μικρότερης έντασης υπερπιέσεις στον αγωγό τροφοδοσίας κατά τα μεταβατικά φαινόμενα.
- Ευκολία στην εν κενό λειτουργία (για την διόρθωση του $\cos\phi$ του δικτύου) χωρίς να απαιτείται το άδειασμα του υδρ/λου, όπως στην περίπτωση του Francis δεδομένου ότι η πτερωτή είναι πάντοτε έξω από το νερό.

β) Πλεονεκτήματα υδρ/λου francis

- Η διαθέσιμη υδρ. πτώση είναι μεγαλύτερη στον francis δεδομένου ότι η περωτή του Pelton πρέπει να τοποθετείται υψηλότερα από τη μέγιστη δυνατή στάθμη του κάτω ταμιευτήρα.

- Ο ολικός βαθμός απόδοσης είναι υψηλότερος στο κανονικό σημείο λειτουργίας και για την περιοχή από 65-100% της μέγιστης ισχύος N_{max} που είναι και η συχνότερη.

- Η ταχύτητα περιστροφής του francis είναι υψηλότερη από αυτή του Pelton με αποτέλεσμα οι ολικές διαστάσεις και το κόστος του francis να είναι μικρότερα. Επίσης μικρότερο είναι το μέγεθος της γεννήτριας και το κόστος της, ιδιαίτερα για ταχύτητες περιστροφής μικρότερες των 750 ή 1000 RPM οπότε δεν αντιμετωπίζονται προβλήματα συντονισμού (κρίσιμης ταχύτητας περιστροφής)

- Το κόστος των έργων πολιτικού μηχανικού της ΥΗΣ είναι μικρότερο

- Το κόστος του αγωγού απαγωγής είναι μικρότερο στον francis λόγω των μεγαλύτερων ταχυτήτων και μικρότερων διατομών της αντίστοιχης υπό πίεσης ροής.

- Η ρύθμιση του υδρ/λου francis μέσω της στεφάνης των ρυθμιστικών πτερυγίων είναι περισσότερο ικανοποιητική ιδιαίτερα όσον αφορά τη διατήρηση της συχνότητας του ρεύματος σε αυτόνομο ηλ. Δίκτυο.

- Η μηχανική διάβρωση των διαρρέομενων στοιχείων υδρ/λου francis (περωτή, λαβύρινθοι, ρυθμιστικά πτερύγια) επηρεάζει τα λειτουργικά χαρακτηριστικά λιγότερο από ότι η φθορά των ακμών των σκαφιδίων ή της βελόνης τροφοδοσίας του Pelton. Η επιμετάλλωση ενός ρυθμιστικού πτερυγίου είναι επίσης πιο εύκολη από αυτήν ενός σκαφιδίου Pelton.

- Το πρόβλημα κόπωσης της περωτής Pelton (λόγω των εναλλασσόμενων φορτίσεων) απαιτεί συχνότερους προληπτικούς ελέγχους από ότι η αντίστοιχη περωτή francis.

Συμπερασματικά τα προηγούμενα σημεία δικαιολογούν τη σύγχρονη τάση: το όριο κατασκευής υδρ/λου Pelton σε χαμηλότερες τιμές της διαθέσιμης υδρ. πτώσης H δεν κατεβαίνει προς τα κάτω ενώ αντίθετα υπάρχει τάση μετατόπισης προς υψηλότερες τιμές του άνω ορίου του H κατασκευής υδρ/λων francis δηλαδή τα πλεονεκτήματα των υδρ/λων francis φαίνονται να είναι περισσότερο καθοριστικά.

1.6.3. Σύγκριση μεταξύ υδρ/λων francis και Kaplan

Με σκοπό τη σύγκριση των υδρ/λων francis και Kaplan γίνεται κατ' αρχήν εφαρμογή της μεθοδολογίας διαστασιοποίησης των υδρ/λων αυτού του τύπου, όπως αναπτύχθηκε στις προηγούμενες παραγράφους, για μια τιμή της διαθέσιμης υδρ. πτώσης H και για την οποία είναι δυνατή η επιλογή και των δύο τύπων υδρ/λων και για την ίδια ον. Ισχύ. Η εφαρμογή γίνεται λοιπόν $H=50$ mΣΥ και $N=50$ MW. Τα κύρια χαρακτηριστικά και διαστάσεις των δύο υδρ/λων δίνονται στον πίνακα 8 που ακολουθεί:

	Francis	Kaplan
Διαθέσιμη υδρ.πτώση H(m)	50,00	50,00
Ισχύς N (MW)	50,00	50,00
Ειδικός αρ. στροφών ns	310,00	358,00
Ταχύτητα περιστροφής n (RPM)	179,00	213,00
Εξ. Διάμετρος πτερωτής DO, D2e (m)	3,55	-
Διάμετρος δέσμης d (m)	-	3,83/1,54
Διάμετρος εισόδου De (m)	4,03	4,95
Μήκος τροφοδοσίας E+W (m)	10,11	11,80
Μήκος απαγωγής S (m)	16,19	18,00
Ύψος τοποθέτησης Ηπ (m)	-1,89	47,00
		-6,30

Πίνακας 8: Σύγκριση διαστάσεων υδρ/λων francis και Kaplan

α) πλεονεκτήματα υδρ/λου francis

- Για την ίδια εφαρμογή η διάμετρος της πτερωτής και το μέγεθος του σπειροειδούς κελύφους είναι μικρότερα των αντίστοιχων του Kaplan (κατά 15% περίπου).
- Η μηχανική διαμόρφωση του francis είναι περισσότερο απλή ενώ στον β) η δυνατότητα περιστροφής των πτερυγίων της πτερωτής αυξάνει την πολυπλοκότητα και το κόστος.
- Η αξονική δύναμη είναι μικρότερη οπότε μικρότερο είναι το μέγεθος του ωστικού εδράνου.
- Η παράμετρος σπηλαίωσης είναι μικρότερη και άρα μικρότερες οι εκσκαφές για την ασφαλή τοποθέτηση του υδρ/λου.
- Τα μεταβατικά φαινόμενα είναι πιο απλά και πιο εύκολα στον έλεγχο τους (δεν απαιτείται συνδυασμός στην κλίση πτερυγίων πτερωτής και στεφάνης ρυθμιστικών πτερυγίων) ενώ επίσης η λειτουργία με την ταχύτητα φυγής είναι λιγότερο κρίσιμη.
- Η δυνατότητα λειτουργίας σε αυτόνομο ηλ. δίκτυο με διατήρηση σταθερής της συχνότητας είναι πολύ πιο εύκολη, ακόμη και σε δίκτυο με έντονες διαταραχές.
- Συμπερασματικά ο υδρ/λος francis είναι συνολικά περισσότερο οικονομική λύση (υδρ/λος, γεννήτρια, έργα πολιτικού μηχανικού).

β) πλεονεκτήματα υδρ/λου Kaplan

- Το βασικό πλεονέκτημα αναφέρεται στην ενεργειακή απόδοση λαμβάνοντας υπόψη την περισσότερο πεπλατυσμένη μορφή της καμπύλης του ολικού βαθμού απόδοσης: η μέγιστη τιμή του ολικού βαθμού απόδοσης είναι ελαφρά μεγαλύτερη της αντίστοιχης του francis ενώ επιπλέον μειώνεται πολύ λιγότερο γρήγορα όσο μειώνεται η παροχή και το ύψος σε σχέση αυτά του κανονικού σημείου λειτουργίας. Αποτέλεσμα των προηγούμενων είναι η ετήσια παραγωγή περισσότερης ενέργειας.

- Δυνατότητα ομαλής λειτουργίας του υδρ/λου Kaplan ακόμα και σε μερικά φορτία ή σημαντικά μειωμένες τιμές υδρ. πτώσης ενώ ο αντίστοιχος francis, λόγω της έντονα ασταθούς λειτουργίας και κραδασμών υπό αυτές τις συνθήκες δεν είναι δυνατόν να λειτουργεί.

Συμπερασματικά στη πλειονότητα των περιπτώσεων οι οικονομοτεχνική μελέτη δίνει το προβάδισμα σε υδρ/λους francis και για υδρ. πτώση μεγαλύτερη του $H > 30$ mΣΥ. Σε ορισμένες όμως περιπτώσεις, κυρίως όταν η στάθμη του κάτω ταμιευτήρα ανυψώνεται σημαντικά, η επιλογή υδρ/λου Kaplan είναι σχεδόν υποχρεωτική και αποτελεί την μόνη ικανοποιητική λύση για υδρ. πτώσεις μέχρι 80 mΣΥ.

1.6.4 Σύγκριση μεταξύ υδρ/λων Deriaz και Kaplan

Θα πρέπει καταρχήν να σημειωθεί ότι στην περίπτωση αναστρέψιμης μονάδας υδρ/λος-αντλία Deriaz έχει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με το αντίστοιχο τύπο του francis, ιδιαίτερα όταν η υψομετρική διαφορά μεταβάλλεται και εφόσον το ολικό ύψος (για λειτουργία αντλίας) δεν ξεπερνά τα 150 mΣΥ. Από την σύγκριση υδρ/λων Deriaz και Kaplan για υδρ. πτώση $H=55$ mΣΥ προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

Για τον υδρ/λο Deriaz η διατομή εισόδου στην περωτή είναι μεγαλύτερη και άρα οι αντίστοιχες ταχύτητες μικρότερες.

Η τιμή της παραμέτρου σπηλαιώσης είναι για τον Deriaz κατά 20% περίπου μικρότερη από αυτή του αντίστοιχου Kaplan και άρα οι αναγκαίες εκσκαφές είναι μικρότερες.

Η ταχύτητα φυγής είναι στον Deriaz κατά 20% περίπου μικρότερη από αυτή του αντίστοιχου Kaplan οπότε προκύπτει μικρότερο το κόστος της γεννήτριας.

Οι φυγόκεντρες δυνάμεις που αναπτύσσονται στα πτερύγια της περωτής του Deriaz είναι μικρότερες από αυτές του Kaplan.

Λόγω της κωνικής πλήμνης ο μηχανισμός περιστροφής των πτερυγίων της περωτής είναι απλούστερος στον Deriaz

Το διάκενο μεταξύ πτερυγίων της περωτής και ακίνητου κελύφους ρυθμίζεται εύκολα στον Deriaz μέσω της αξονικής μετατόπισης του στρεφόμενου συστήματος στο ωστικό έδρανο.

Συμπερασματικά, για υδρ. πτώσεις μεγαλύτερες των 40 mΣΥ ο υδρ/λος Deriaz έχει πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τον αντίστοιχο Kaplan χωρίς όμως να έχει πετύχει τη διάδοση που θα έπρεπε. Για λόγους αξιοπιστίας πολλές φορές αντί του Deriaz επιλέγεται ο αντίστοιχος francis.

1.6.5 Σύγκριση μεταξύ υδρ/λων Kaplan και βολβοειδούς

Για μικρές υδρ. πτώσεις, η μεταξύ 10 και 20 mΣΥ, οι υδρ/λοι Kaplan βολβοειδείς ανταγωνίζονται. Στη συνέχεια συγκρίνονται οι δύο τύποι υδρ/λων σε διάφορους τομείς.

α) Έργα πολιτικού μηχανικού. Η μείωση των έργων πολιτικού μηχανικού και του κόστους που αντιστοιχεί είναι της τάξεως του 15% υπέρ του βολβοειδούς.

β) Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός. Από την σύγκριση των στοιχείων που αφορούν του YHE Pierre – Benite (Γαλλία 1966) προκύπτουν οι ακόλουθες μάζες του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού:

Στοιχείο	Κατακόρυφος Kaplan	Οριζ. Βολβοειδής	Μείωση
Υδροστρόβιλος	720t	575t	20
Γεννήτρια	270t	145t	45
Μονάδα	990t	720t	27

Τα αποτελέσματα αυτά δικαιολογούνται από την αυξημένη τιμή του ειδικού αρ. στροφών του βολβοειδούς σε σύγκριση με τον Kaplan, δηλαδή ο Βολβοειδής είναι περισσότερο συμπαγής.

γ) Λειτουργικά χαρακτηριστικά. Η μέγιστη τιμή του ολ. βαθμού απόδοσης είναι μεγαλύτερη στα μερικά φορτία και μικρές τιμές της διαθέσιμης υδρ. πτώσης. Το κέρδος στην παραγωγή ενέργειας που αντιστοιχεί είναι της τάξεως του 1 έως 2% υπέρ του βολβοειδούς.

Η μέγιστη τιμή από πλευρά σπηλαίωσης είναι υψηλότερη για τον βολβοειδή από την οποία προκύπτει επιπρόσθετη μείωση του κόστους των έργων πολιτικού μηχανικού.

Όσον αφορά την προστασία των μονάδων μικρής υδρ. πτώσης έναντι της ταχύτητας φυγής (χωρίς φορτίο) οι βολβοειδείς υδρ/λοι έχουν ένα σημαντικό πλεονέκτημα καθόσον είναι δυνατή σε αυτούς ο έλεγχος του φαινομένου μέσω αυτόματης κατάντι βάνας γρήγορου χειρισμού, ενώ στον Kaplan ο έλεγχος γίνεται μέσω της ανάντι βάνας προσέχοντας παράλληλα την ένταση των μεταβατικών φαινομένων που αναπτύσσονται. Το κλείσιμο της παροχής κατάντι της βάνας του υδρ/λου είναι ικανοποιητικό καθόσον με το κλείσθμο της βάνας, αυξάνεται η πίεση στη θέση της περωτής, απομακρύνεται ο κίνδυνος σπηλαίωσης και μειώνεται η υδρ. πτώση και η παροχή σταδιακά μέχρι το πλήρες σταμάτημα της μονάδας.

Στα έργα κατά τον ρού του ποταμού ο βολβοειδής υδρ/λος έχει τη δυνατότητα εν κενώ λειτουργίας διακινώντας παροχή της τάξεως του 80% της ονομαστικής στρεφόμενος με ταχύτητα περιστροφής της τάξεως του 65% της ονομαστικής. Η δυνατότητα αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία σε ποταμούς με ναυσιπλοΐα.

δ) Συντήρηση. Οι βολβοειδείς υδρ/λοι της πρώτης γενιάς είχαν κάποια προβλήματα που σχετίζονταν με την αποσυναρμολόγηση της γεννήτριας. Το πρόβλημα αυτό βελτιώθηκε τοποθετώντας τον ρότορα της γεννήτριας σε πρόβολο (όπως είναι και η πτερωτή του υδρ/λου).

Συμπερασματικά για υδρ. πτώσεις μικρότερες των 20 mΣΥ ο βολβοειδής υδρ/λος είναι προτιμητέος σε σύγκριση με τον Kaplan.

2. ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

2.1 Η ΣΗΜΕΡΙΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ.

Στη Κρήτη σήμερα λειτουργούν τρία θερμικά εργοστάσια, ένα στο νομό Ηρακλείου, ένα στο νομό Χανίων και ένα στο νομό



Λασιθίου. Τα εργοστάσια αυτά με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 639,2 MW παράγουν το 88,7 % της συνολικής καθαρής παραγωγής στο νησί. Το υπόλοιπο 11,3 % παράγεται από ΑΠΕ (υδροηλεκτρικές μονάδες και αιολικά πάρκα) με συνολική παραγωγή 81,8 MW.

- Η συνολική παραγωγή ενέργειας το 2003 ήταν 2.444.726,7 MWh, αυξημένη κατά 6,1% σε σχέση με το 2002.

2.2 Η ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

2.2.1 Ατμοηλεκτρικές Μονάδες

Πρόκειται για μονάδες στις οποίες το εργαζόμενο μέσο είναι ο ατμός, ενώ σαν καύσιμο χρησιμοποιείται το μαζούτ (3500).

Μέχρι σήμερα τέτοιες μονάδες βρίσκονται στο εργοστάσιο των Λινοπεραμάτων καθώς και στη μονάδα του συνδυασμένου κύκλου που βρίσκεται στο εργοστάσιο των Χανίων.

Η δυναμικότητά τους φτάνει τα 109,2 MW και κατέχουν ένα σημαντικό μερίδιο στην παραγωγή ενέργειας από όλες τις μονάδες. Κύριο χαρακτηριστικό των μονάδων αυτών που έχει και μεγάλη επίπτωση στη παρούσα μελέτη, είναι ότι είναι συνεχούς λειτουργίας και ότι διαθέτουν τεχνικά ελάχιστα. Αυτό σημαίνει ότι σε αντίθεση με τις μονάδες Diesel και τους αεριοστρόβιλους, όχι μόνο δεν διακόπτουν τη λειτουργία τους κατά τη διάρκεια της ελάχιστης ζήτησης, αλλά επιβάλλεται να λειτουργούν με ένα ελάχιστο φορτίο σε σχέση με την ονομαστική τους ισχύ.

Οι ατμομονάδες είναι οι αμέσως φθηνότερες μονάδες βάσης μετά τις Diesel. Σε ένα σύστημα αντλησιοταμιευτήρα η συμμετοχή τους στην άντληση θα είναι κερδοφόρα. Τις ώρες της χαμηλής ζήτησης λειτουργούν στο τεχνικό ελάχιστο και αυξάνουν την ισχύ τους αμέσως μετά την εξάντληση της ικανότητας των Diesel.

Ατμ/λοι	Τεχνικά Ελάχιστα (MW)	Ον.Ισχύς (MW)
1	1,8	6,2
2	7,0	15,0
3	7,0	15,0
4	12,0	25,0
5	12,0	24,0
6	12,0	24,0
ΣΥΝΟΛΟ	51,8	109,2

Πίνακας 9: Σύνθεση ατμοστροβίλων θερμοηλεκτρικού σταθμού Λινοπεραμάτων Ηρακλείου.

2.2.2 Ντιζελομηχανές (Diesel)

Πρόκειται για μονάδες που και αυτές χρησιμοποιούν για καύσιμο το μαζούτ (3500).

Οι μονάδες αυτές είναι εγκατεστημένες στα Λινοπεράματα και στον Αθρινόλακο και είναι οι φθηνότερες μονάδες του συστήματος και γι' αυτό το λόγο βρίσκονται πρώτες στη σειρά ένταξης μετά τα τεχνικά ελάχιστα (ΤΕ). Τις ώρες και τους μήνες της χαμηλής ζήτησης οι μονάδες μπορούν αντί να απενεργοποιούνται, να προσφέρουν την ισχύ τους για άντληση αποταμιεύοντας ενέργεια για τις ώρες αιχμής. Η συνολική ικανότητά τους σήμερα είναι 146 MW.

Ντίτζελ	Τεχνικά Ελάχιστα(MW)	Ον.Ισχύς (MW)
1	3	11
2	3	11
3	3	11
4	3	11
ΣΥΝΟΛΟ	12	44

Πίνακας 10: Σύνθεση μηχανών ντίτζελ θερμοηλεκτρικού σταθμού Λινοπεραμάτων Ηρακλείου.

Ντίτζελ	Τεχνικά Ελάχιστα (MW)	Ον.Ισχύς (MW)
1	12	51
2	12	51
ΣΥΝΟΛΟ	24	102

Πίνακας 11: Σύνθεση μηχανών ντίτζελ θερμοηλεκτρικού σταθμού Αθερινόλακου Λασιθίου.

2.2.3 Συνδυασμένος Κύκλος (Σ.Κ.)

Είναι ο συνδυασμός αεριοστροβίλων με ατμοηλεκτρική μονάδα. Η ατμομονάδα αντί να καίει μαζούτ, εκμεταλλεύεται τα θερμά καυσαέρια των αεριοστροβίλων αυξάνοντας το βαθμό απόδοσης και την αποδιδόμενη ισχύ της εγκατάστασης. Ο συνδυασμός των παραπάνω μηχανών μειώνει αισθητά το κόστος λειτουργίας και γι' αυτό ο συνδυασμένος κύκλος λειτουργεί ως μονάδα βάσης. Λόγω της ατμομονάδας ο (ΣΚ) δεν μπορεί να μειώνει την ισχύ του κάτω από το τεχνικό του ελάχιστο.

Στο συνδυασμένο κύκλο Χανίων (ΣΚΧ) γίνεται συνδυασμός των αεριοστροβίλων 6X(Χανίων) και 7X με την ατμομονάδα 1X. Όταν και οι δύο αεριοστροβίλοι είναι συνδυασμένοι με την ατμομονάδα, τότε λέγεται ότι ο συνδυασμένος κύκλος λειτουργεί πλήρης. Η δυναμικότητά του τότε φτάνει τα 110,6MW και το TE είναι 40MW. Όταν είναι συνδυασμένος μόνο ο ένας από τους δύο αεριοστροβίλους, τότε ο ΣΚ λέγεται ότι λειτουργεί μισός. Η δυναμικότητά του τότε φτάνει τα 73,7 MW και το TE είναι 20 MW. Τέλος οι δύο αεριοστροβίλοι είναι δυνατόν να αποδεσμευτούν τελείως από την ατμομονάδα και να λειτουργήσουν αυτόνομα, ενώ το ίδιο συμβαίνει με το ένα από τους δύο που περισσεύει όταν ο ΣΚ είναι μισός. Κάθε μονάδα του ΣΚ απαιτείται να βγαίνει εκτός λειτουργίας ένα μήνα κάθε χρόνο για την απαραίτητη συντήρηση. Ο ΣΚ προηγείται στη σειρά ένταξης των αεριοστροβίλων και ακολουθεί αμέσως μόλις οι ατμομονάδες φτάσουν στο μέγιστο της δυναμικότητάς τους.

Συνδ.Κύκλος	Τεχνικά Ελάχιστα (MW)	Ον.Ισχύς (MW)
Αερ.6	10	37,0
Αερ.7	10	37,0
Ατμ/λος	20	36,6
ΣΥΝΟΛΟ	40	110,6

Πίνακας 12: Σύνθεση συνδυασμένου κύκλου θερμοηλεκτρικού σταθμού Ξηροκαμάρας Χανίων.

2.2.4 Αεριοστρόβιλοι

Χαρακτηρίζονται σαν μονάδες αιχμής και δραστηριοποιούνται τελευταίοι στη σειρά ένταξης προσφέροντας την ισχύ που υπολείπεται από τις μονάδες βάσης και τα αιολικά για την κάλυψη της ζήτησης. Οι αεριοστρόβιλοι γενικά έχουν το υψηλότερο κόστος λειτουργίας από όλες τις προαναφερόμενες μονάδες.

Αν και για κάθε μία από τις προηγούμενες κατηγορίες μονάδων, μπορεί να θεωρηθεί ένα σταθερό ειδικό κόστος παραγωγής ενέργειας (σε ευρώ/MWh) στους αεριοστρόβιλους εμφανίζεται η ανάγκη διαφοροποίησής τους σε τρεις οικονομικές κατηγορίες.

- Οι μεγάλοι αεριοστρόβιλοι είναι η κατηγορία που περιλαμβάνει του 3Λ, 4Λ, 11X και 12X. έχουν γενικά καλύτερους βαθμούς απόδοσης από τους άλλους και ως συνέπεια το χαμηλότερο ειδικό κόστος από τις άλλες δύο κατηγορίες. Οι δύο καινούριοι 3Λ και 4Λ των Λινοπεραμάτων αν και είναι μικρότερης ικανότητας από τους δύο μεγάλους 11X και 12X των Χανίων, έχουν καλό βαθμό απόδοσης λόγω της κατασκευής τους η οποία είναι τελευταίας τεχνολογίας.

- Οι μεσαίοι αεριοστρόβιλοι είναι η κατηγορία που περιλαμβάνει τους 6X και 7X του ΣΚΧ όταν βέβια αυτοί είναι αποσυνδεδεμένοι από το ΣΚΧ (οπότε αυτός είναι μισός ή εκτός λειτουργίας) και λειτουργούν ανεξάρτητα από την ατμομονάδα.

- Μικροί αεριοστρόβιλοι είναι οι υπόλοιποι 1Λ, 2Λ, 1X, 4X και 5X. Λόγω της χαμηλής ισχύος τους και της παλιάς κατασκευής τους, έχουν το μεγαλύτερο κόστος λειτουργίας από όλες τις μονάδες και όπως είναι φυσικό, βρίσκονται τελευταίοι στη σειρά ένταξης του συστήματος.

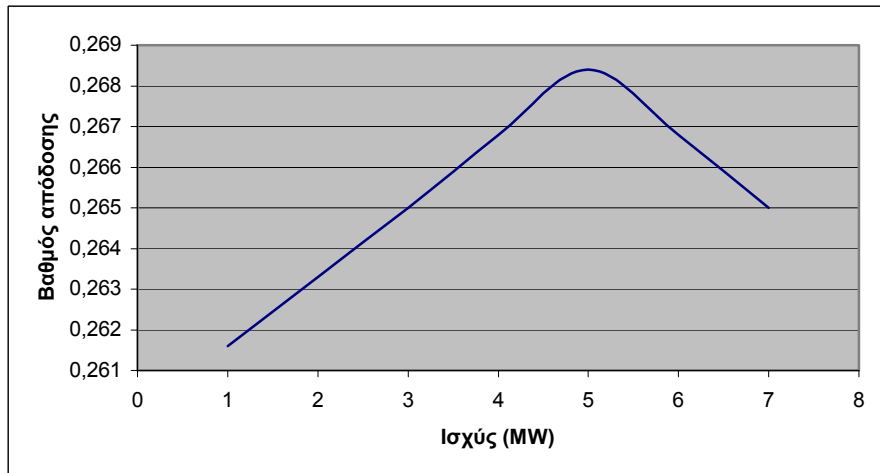
Αερ/λοι	Τεχνικά Ελάχιστα (MW)	Ον.Ισχύς (MW)
1	3	14
2	3	14
3	3	43
4	3	13
5	3	32
ΣΥΝΟΛΟ	15	116

Πίνακας 13: Σύνθεση αεριοστροβίλων θερμοηλεκτρικού σταθμού Λινοπεραμάτων Ηρακλείου.

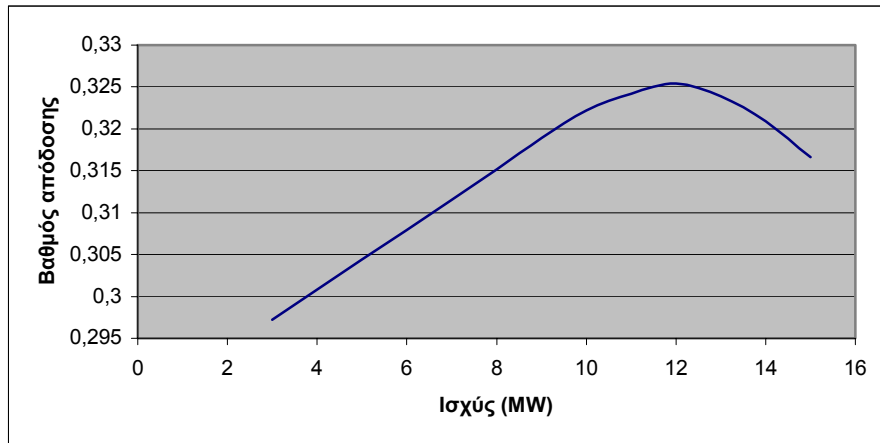
Αερ/λοι	Τεχνικά Ελάχιστα (MW)	Ον.Ισχύς (MW)
1	3	12
4	3	13
5	5	29
11	8	55
12	8	55
13	3	32
ΣΥΝΟΛΟ	30	196

Πίνακας 14: Σύνθεση αεριοστροβίλων θερμοηλεκτρικού σταθμού Ξηροκαμάρας Χανίων..

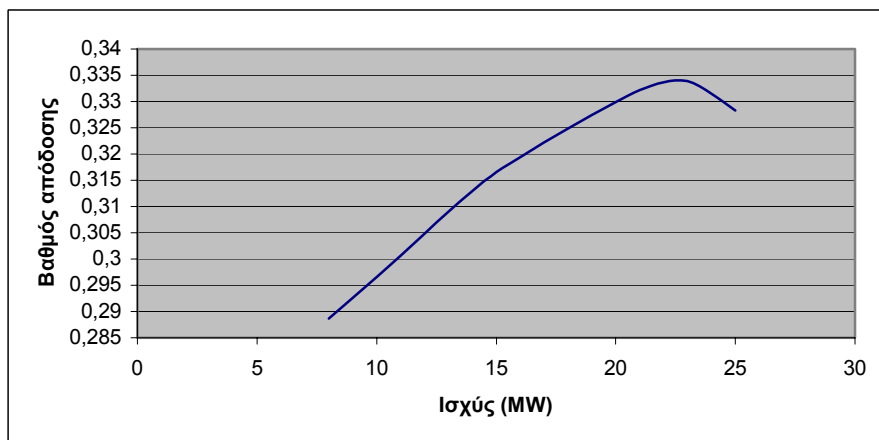
Παρακάτω παρατίθενται οι χαρακτηριστικές καμπύλες ισχύος-βαθμού απόδοσης των διαφόρων ομάδων μηχανών που απαρτίζουν το σύστημα.



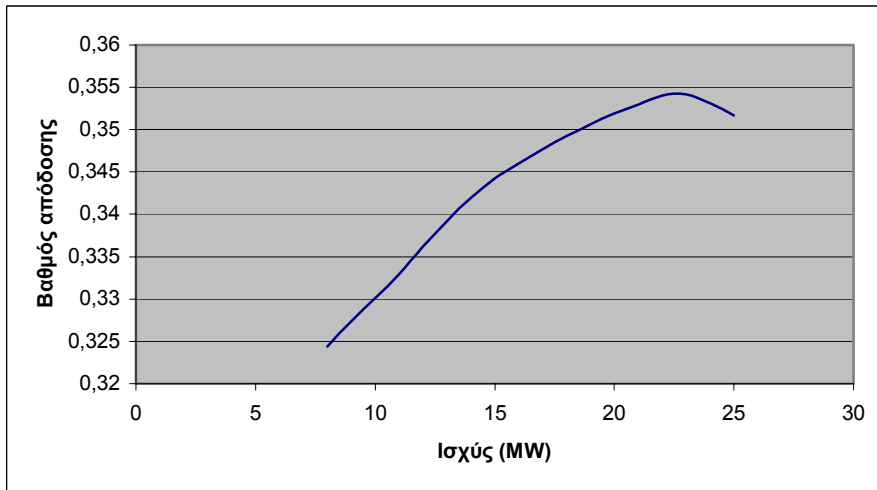
Σχήμα 2.1: Καμπύλη ισχύος-βαθμού απόδοσης ατμοστρόβιλου 1 Λινοπεραμάτων.



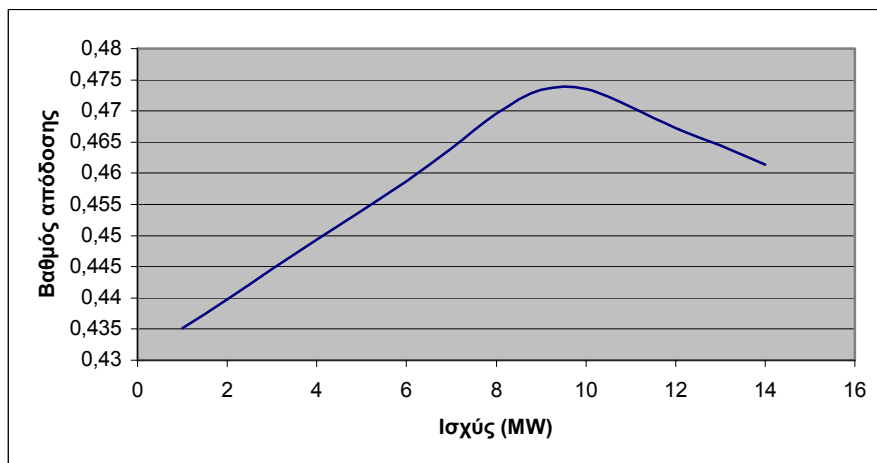
Σχήμα 2.2: Καμπύλη ισχύος-βαθμού απόδοσης ατμοστρόβιλων 2 και 3 Λινοπεραμάτων



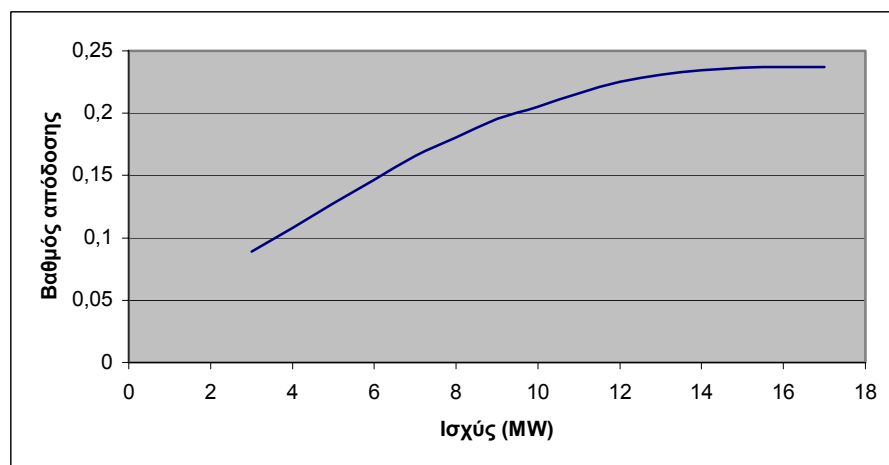
Σχήμα 2.3: Καμπύλη ισχύος-βαθμού απόδοσης ατμοστρόβιλου 4 Λινοπεραμάτων



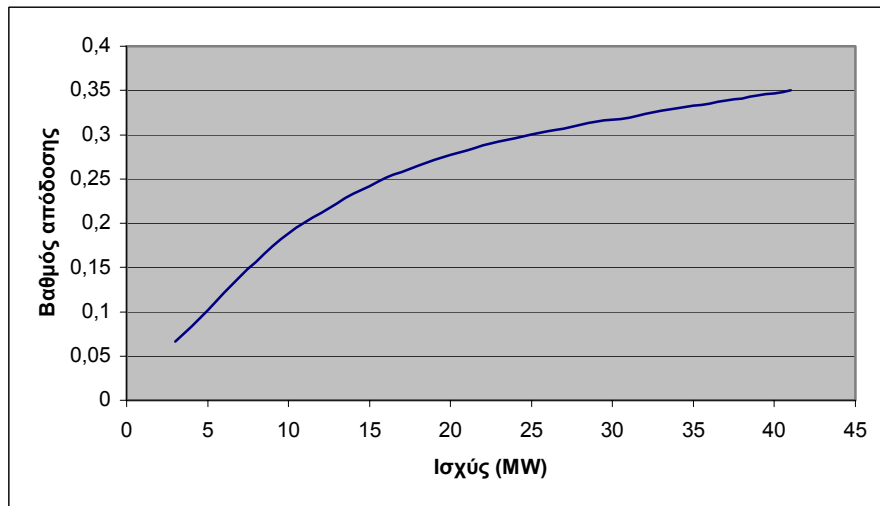
Σχήμα 2.4: Καμπύλη ισχύος-βαθμού απόδοσης ατμοστρόβιλων 5 και 6 Λινοπεραμάτων



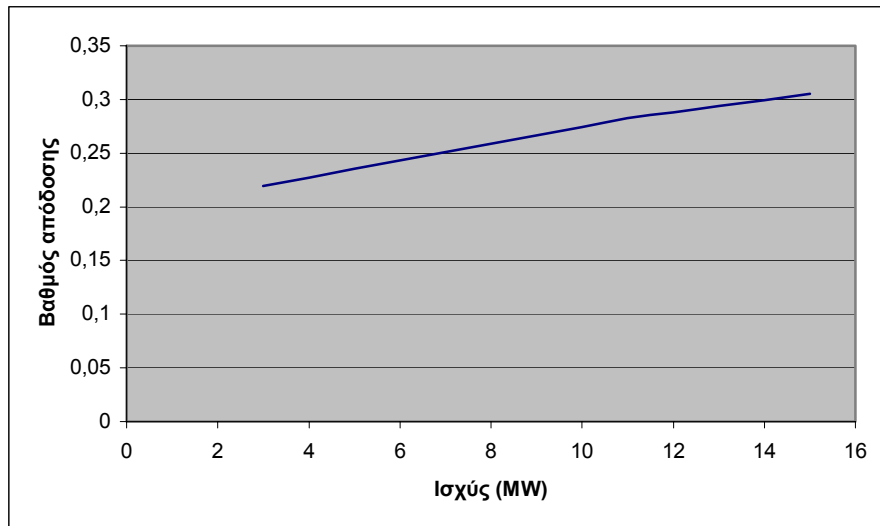
Σχήμα 2.5: Καμπύλη ισχύος-βαθμού απόδοσης Diesel 1, 2, 3 και 4 Λινοπεραμάτων



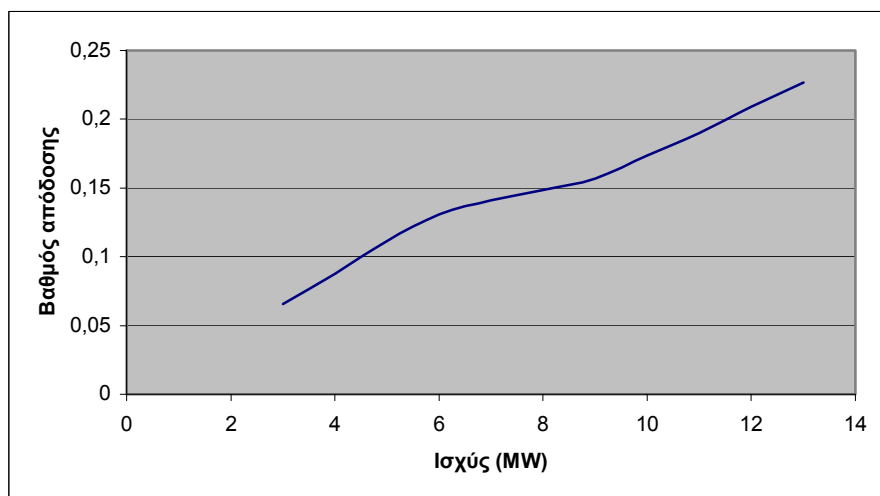
Σχήμα 2.6: Καμπύλη ισχύος-βαθμού απόδοσης αεριοστρόβιλων 1 και 2 Λινοπεραμάτων



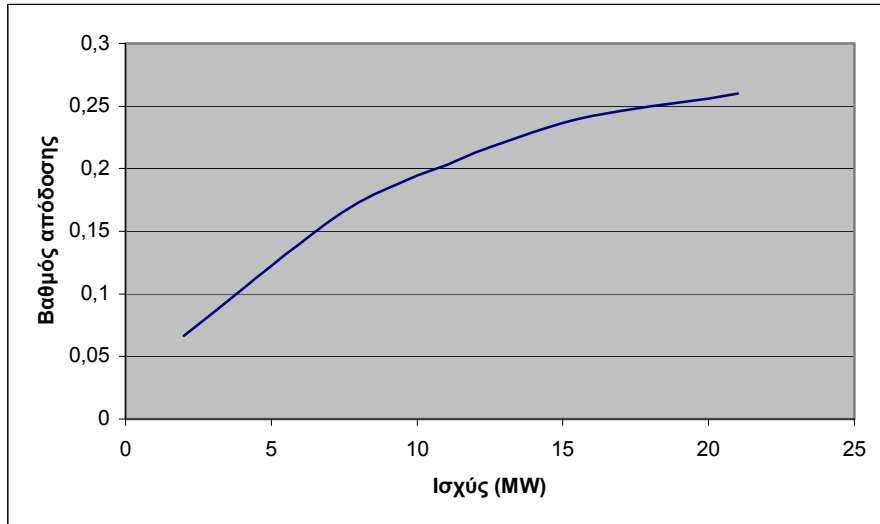
Σχήμα 2.7: Καμπύλη ισχύος-βαθμού απόδοσης αεριοστρόβιλου 3 Λινοπεραμάτων



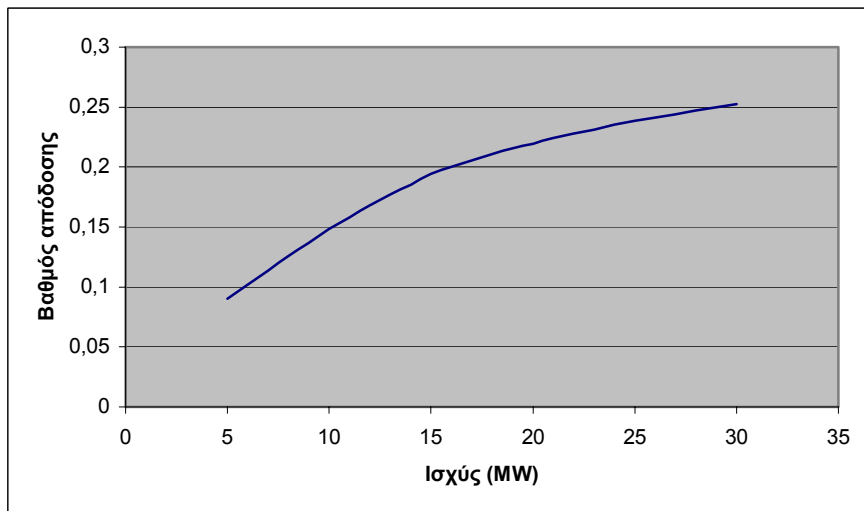
Σχήμα 2.8: Καμπύλη ισχύος-βαθμού απόδοσης αεριοστρόβιλου 4 Λινοπεραμάτων



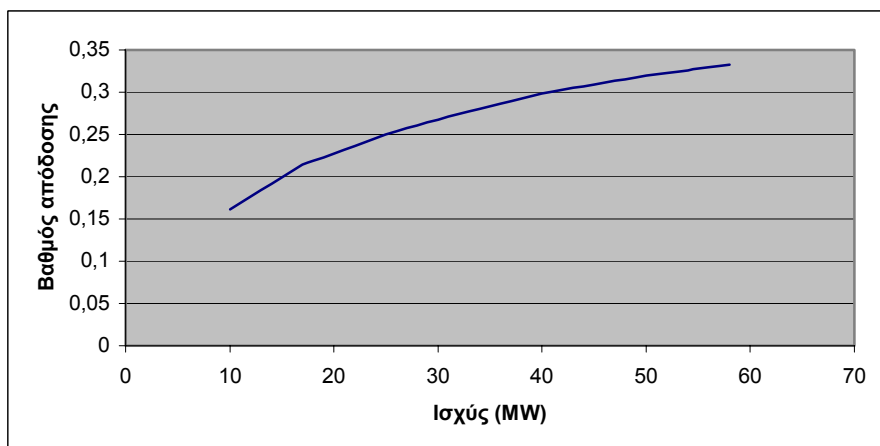
Σχήμα 2.9: Καμπύλη ισχύος-βαθμού απόδοσης αεριοστρόβιλου 1 Χανίων



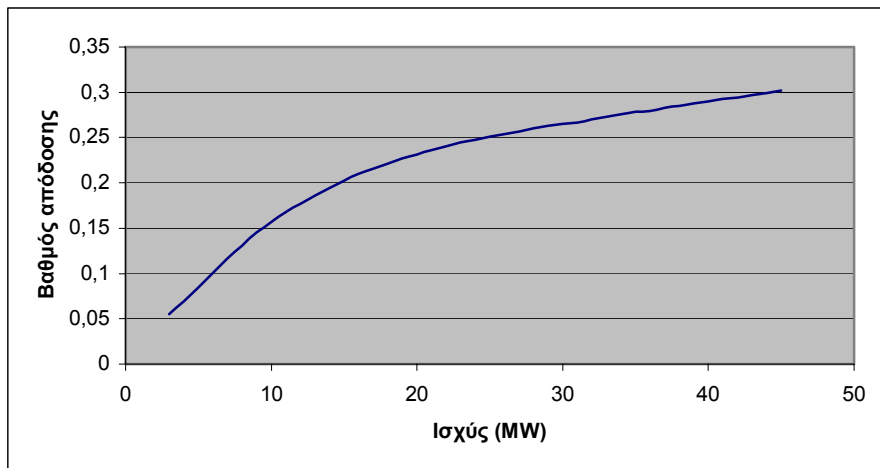
Σχήμα 2.10: Καμπύλη ισχύος-βαθμού απόδοσης αεροστροβίλου 4 Χανίων



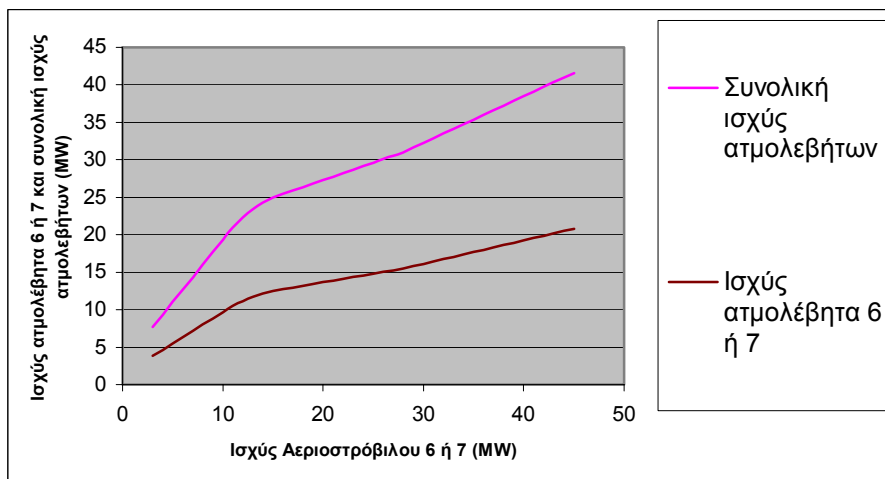
Σχήμα 2.11: Καμπύλη ισχύος-βαθμού απόδοσης αεροστροβίλου 5 Χανίων



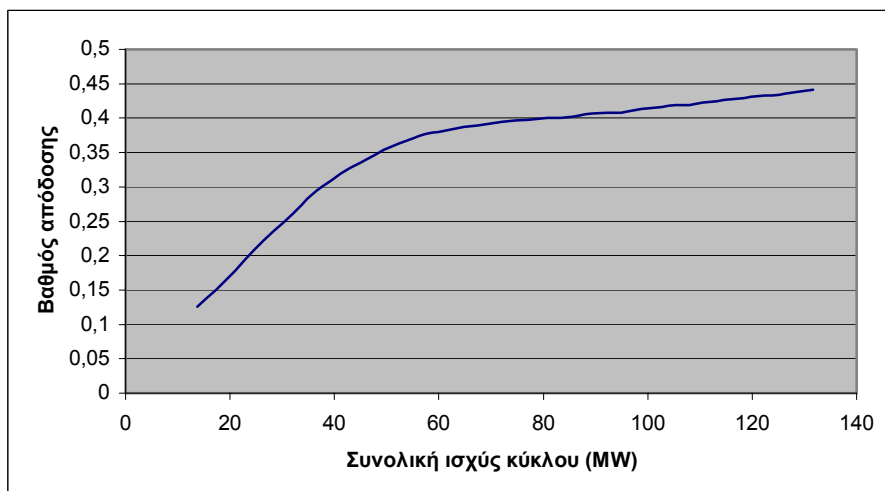
Σχήμα 2.12: Καμπύλη ισχύος-βαθμού απόδοσης αεροστροβίλων 11 και 12 Χανίων



Σχήμα 2.13: Καμπύλη ισχύος-βαθμού απόδοσης αεριοστρόβιλων 6 και 7 συνδυασμένου κύκλου Χανίων



Σχήμα 2.14: Καμπύλη ισχύος ατμολεβητών-ισχύων αεριοστρόβιλων συνδυασμένου κύκλου Χανίων



Σχήμα 2.15: Καμπύλη ισχύος-βαθμού απόδοσης συνδυασμένου κύκλου Χανίων

2.2.5 Αιολικά Πάρκα

Στη Κρήτη σήμερα λειτουργούν 14 αιολικά πάρκα, ο μεγαλύτερος αριθμός των οποίων είναι συγκεντρωμένος στην ανατολική Κρήτη, με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 75 MW. Παράλληλα με τις νέες αδειοδοτήσεις που δρομολογούνται η συνολική εγκατεστημένη ισχύ πρόκειται να αυξηθεί ακόμα



περισσότερο.

Στην παρούσα κατάσταση, η τεχνικά αποδεκτή διείσδυση συνολικής 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 Υ.Α. 8295/95 που καθορίζει ως όριο διείσδυσης των ΑΠΕ στα μη διασυνδεδεμένα νησιά το ποσοστό του 30% της ισχύος αιχμής της μέγιστης ωριαίας ζήτησης του προηγούμενου έτους. Η υπουργική αυτή απόφαση καταργείται λόγω μη ανταπόκρισης στις πραγματικές συνθήκες και πλέον θα ακολουθείται μια άλλη μέθοδος υπολογισμού του μεγίστου ορίου διείσδυσης με τη βοήθεια πιθανοτικής ανάλυσης 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.

Από την άλλη μεριά συχνά παρατηρείται «απόρριψη» μέρους της παραγόμενης αιολικής ενέργειας. Στο σύστημα της ΔΕΗ στην Κρήτη υπάρχουν λόγοι, οι οποίοι αναφέρονται παρακάτω, για τους οποίους μερικές φορές είναι αδύνατο να απορροφηθεί όλη η προσδιδόμενη αιολική ισχύς. Όταν συμβαίνει αυτό, αν και το αιολικό δυναμικό εκείνη την ώρα είναι μεγάλο, το πρόγραμμα επικοινωνίας (SCADA) της ΔΕΗ με τα Α/Π αναγκάζεται να βγάλει από το δίκτυο μερικές Α/Γ, μειώνοντας έτσι τη συνολική ισχύ του πάρκου μέχρι ένα μέγιστο όριο ισχύος (set-point) που ορίζει η ΔΕΗ. Αυτή η μη απορρόφηση ενός μέρους της προσδιδόμενης αιολικής ενέργειας, λέγεται απόρριψη και συμβαίνει κυρίως για δύο λόγους:

- Όταν μεταξύ των τεχνικών ελαχίστων και της ζήτησης εκείνη τη στιγμή δεν υπάρχει αρκετό περιθώριο για τη διοχέτευση της αιολικής ισχύος. Έστω ότι στις 5:00 το πρωί η ζήτηση είναι 140MW και τα ΤΕ του συστήματος 100MW. Υπάρχει ένα περιθώριο 40 MW που μπορεί να καλυφθεί από τα αιολικά. Αν τα αιολικά εκείνη τη στιγμή μπορούν να προσφέρουν περισσότερα από 40 MW, τότε θα έχουμε απόρριψη αιολικής ισχύος.

Όταν το κλάσμα της προσδιδόμενης αιολικής ισχύος προς τη ζήτηση ξεπερνάει το όριο ασφαλείας που ορίζει η ΔΕΗ. Το κλάσμα αυτό ονομάζεται συντελεστής διείσδυσης (ΣΔ) και για το σύστημα της Κρήτης είναι γύρω στο 0,3 (30%). Το όριο αυτό έχει σαν στόχο να προστατέψει το δίκτυο από τις βλαβερές συνέπειες της απρόβλεπτης διακύμανσης ή απώλειας της αιολικής ισχύος. Όσο πιο μικρό τόσο μεγαλύτερη η ασφάλεια για το σύστημα, τόσο όμως μεγαλύτερη είναι και η αιολική απόρριψη. Έστω ότι και πάλι κάποια χρονική στιγμή η ζήτηση είναι 140 MW τα ΤΕ 90 και τα αιολικά παράγουν 60MW. Το επιτρεπόμενο όριο διείσδυσης επιτρέπει την απορρόφηση $0,3 \cdot 140 = 42$ αιολικών MW. Από την άλλη λόγω τεχνικών ελαχίστων το περιθώριο που μένει για τα αιολικά είναι $140 - 90 = 50$ MW. Προφανώς η αιολική ισχύς θα είναι μόνο 42MW και η απόρριψη $(60 - 42) = 18$ MW) θα καταλογισθεί στο περιορισμό του ΣΔ και όχι των ΤΕ.

2.2.6 ΜΕΓΙΣΤΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ

Σε μια προσπάθεια καθορισμού του μέγιστου οικονομικά βιώσιμου ποσοστού αιολικής διείσδυσης, πρέπει να υπογραμμιστεί ότι οι ανεμοκινητήρες είναι μηχανές μεταβαλλόμενης παραγωγής ενέργειας, δεδομένου ότι αξιοποιούν ένα φυσικό φαινόμενο με στοχαστική συμπεριφορά – τη ροή του ανέμου. Η εισαγωγή τους συνεπώς σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο, πέρα από τα σημαντικά θετικά στοιχεία που προσφέρει, προκαλεί επίσης ικανό αριθμό διαταραχών (διακύμανση τάσεως – συχνότητας, ασυμμετρία δικτύου, επαγωγικά φορτία κλπ) που αν και ασήμαντες για ισχυρά δίκτυα, είναι εν τούτοις συχνά απαγορευτικές για μικρά ασθενή νησιώτικα δίκτυα. Για την αντιμετώπιση της πραγματικότητας αυτής, οι Ηλεκτρικές Εταιρίες (π.χ. ΔΕΗ επιτρέπουν την ενεργειακή συμμετοχή αιολικών μηχανών μόνο σε ποσοστό 30% της στιγμιαίας ζήτησης φορτίου κατά μέγιστο, ιδιαίτερα σε νησιά που καλύπτονται με ηλεκτροπαραγωγή ζεύγη στηριζόμενα σε εμβολοφόρες μηχανές εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ). Το ποσοστό αυτό καθορίζεται σε συνδυασμό με το επιλεγμένο σημείο λειτουργίας των ΜΕΚ του αυτόνομου σταθμού παραγωγής (ΑΣΠ) και της ελαστικότητας φορτίου αυτών, ώστε σε περίπτωση ξαφνικής απώλειας της παραγωγής των αιολικών μηχανών (βλάβη, πτώση ταχύτητας ανέμου) να είναι δυνατή η στιγμιαία ανάληψη του απαιτούμενου φορτίου από τις εν λειτουργία ευρισκόμενες ΜΕΚ του ΑΣΠ, χωρίς δημιουργία προβλήματος στο τοπικό δίκτυο (απώλεια φορτίου, πλήρες black out κλπ). Σε περίπτωση ύπαρξης αεριοστροβίλων είτε υδροστροβίλων, λόγω της ικανότητας άμεσης ανάληψης φορτίου (χρόνος αντίδρασης περίπου 4''), παρέχεται η δυνατότητα μεγαλύτερης συμμετοχής των αιολικών μηχανών στο δίκτυο.

Ωστόσο, από πλευρά οικονομικής αξιολόγησης μιας αντίστοιχης επένδυσης είναι κατανοητό ότι η δημιουργία αιολικών σταθμών ονομαστικής ισχύος έως το 30% του φορτίου αιχμής του τοπικού δικτύου (προϋπόθεση έγκρισης χωροθέτησης Υ.Α. 8295195) αποτελεί άνευ πρακτικής σημασίας όριο, άρα γραφειοκρατικό περιορισμό, καθώς το μέγιστο φορτίο του δικτύου εμφανίζεται ελάχιστες φορές ετησίως. Πράγματι, από τα διαθέσιμα επίσημα στοιχεία προκύπτει ότι ο συντελεστής φορτίου των ΑΣΠ του Αιγαίου κυμαίνεται σε επίπεδα 35% έως 50%. Το γεγονός αυτό οδηγεί στο εξής πρακτικό αποτέλεσμα: «Εφόσον σε νησιώτικα δίκτυα δημιουργηθούν αιολικές εγκαταστάσεις μεγέθους ίσου με το 30% του φορτίου αιχμής του δικτύου, η δυνατότητα απορρόφησης της παραγόμενης ενέργειας δεν μπορεί να ξεπερνά το 10% ($\approx 0,35 \times 30\%$) έως 15% ($\approx 0,50 \times 30\%$) της ετήσιας

ενεργειακής κατανάλωσης του νησιού, ακόμα και στην απίθανη περίπτωση πλήρους συγχρονισμού υψηλής ζήτησης ενέργειας και υψηλής ταχύτητας ανέμου». Πιο συγκεκριμένα, με βάση εκτεταμένη έρευνα που παρουσιάστηκε στο παρελθόν βασισμένη σε πραγματικά αναλυτικά στοιχεία, η μέγιστη ενεργειακή συμμετοχή των προτεινόμενων αιολικών πάρκων σε νησιά όπως η Σύρος, η Άνδρος και η Κέα (μη διασυνδεδεμένα την εποχή εκείνη) δεν ξεπερνά το 9% ετησίως.

Συνεπώς, βάσει των παραπάνω προκύπτει ότι το θεωρητικό μέγιστο της αιολικής διείσδυσης σε απομονωμένα δίκτυα, στα οποία λειτουργούν ΑΣΠ, δεν υπερβαίνει το 15% ενώ στην πραγματικότητα η επιτυγχανόμενη μέγιστη διείσδυση – απουσία έργων αποθήκευσης αιολικής / ηλεκτρικής ενέργειας – δεν υπερβαίνει το 8% ετησίως.

Για την επιβεβαίωση της ισχύουσας πραγματικότητας, υπενθυμίζεται ότι η ΔΕΗ – μετά από ισχυρές πιέσεις – σε συμφωνίες αγοράς αιολικής ενέργειας από ιδιώτες παραγωγούς (P.P.A.), ακόμα και σε μεγάλα νησιά με σαφώς ισχυρότερο δίκτυο, όπως η Κρήτη, εγγυάται την είσοδο των αιολικών πάρκων μεγέθους ίσου με το 30% του φορτίου αιχμής του δικτύου, ενώ σε μικρότερα νησιά όπως π.χ. η Χίος, οι ώρες εγγυημένης αιολικής απορρόφησης σε πλήρη ανάπτυξη των αιολικών πάρκων κυμαίνονται στην περιοχή των 4000+4500 ωρών κατά έτος.

Συνοψίζοντας, καθίσταται προφανές ότι σε περίπτωση εξάντλησης του ορίου του 30% της επιτρεπόμενης διείσδυσης αιολικής ισχύος σε ένα ασθενές ηλεκτρικό δίκτυο, η απορρόφηση της παραγόμενης αιολικής ενέργειας θα κυμαίνεται σε ποσοστά μικρότερα του 30% περιορίζοντας αντίστοιχα και τα αναμενόμενα έσοδα, καθιστώντας τις αιολικές επενδύσεις μη βιώσιμες. Αντίθετα, για την επίτευξη ικανοποιητικών εσόδων απαιτείται η εγκατάσταση αιολικών σταθμών μεγέθους έως το 10% του φορτίου αιχμής του κάθε δικτύου, ώστε να είναι δυνατή η απρόσκοπτη συμμετοχή τους στο τοπικό ενεργειακό ισοζύγιο.

3. Η ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗΣ ΣΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

3.1 Γενικά

Η Κρήτη, όπως και πολλά άλλα νησιά της Ελλάδας, αποτελεί ένα απομονωμένο ενεργειακό σύστημα, ένα σύστημα δηλαδή το οποίο είναι αποκομμένο από το κεντρικό ηπειρωτικό δίκτυο της ΔΕΗ.

Το γεγονός αυτό έχει σαν συνέπεια να παρουσιάζονται ορισμένα προβλήματα που αφορούν τόσο την επάρκεια της ενέργειας όσο και την ποιότητά της. Παρατηρούνται έτσι, συχνά προβλήματα στην επάρκεια του ρεύματος, κυρίως την καλοκαιρινή περίοδο, όπου ο τουρισμός αυξάνει κατακόρυφα, με αποτέλεσμα τις συχνές διακοπές του ρεύματος σε πολλές περιοχές του νησιού. Από την άλλη, παρουσιάζονται προβλήματα και στη συχνότητα του ρεύματος, γεγονός που επηρεάζει τη λειτουργία πολλών ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών.

Το αιολικό δυναμικό της Κρήτης μπορεί να δώσει μια συνολική εγκατεστημένη Αιολική Ισχύ περισσότερη από 1,8GW. Το ανάγλυφο της Κρήτης προσφέρει πολλές περιοχές στις οποίες είναι εφικτή η εγκατάσταση συστημάτων άντλησης – ταμίευσης, συνολικής ονομαστικής ισχύος μεγαλύτερης των 700 MW, όπου κατάλληλες δεξαμενές αποθήκευσης μπορούν να λειτουργήσουν ως υποδομές για ανάπτυξη αναστρέψιμων υδροηλεκτρικών έργων. Ο σχεδιασμός των συστημάτων αυτών γίνεται με σκοπό την ολική κάλυψη των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια στο νησί από τον άνεμο και τη μερική κάλυψη σε νερό άρδευσης μέρους των γειτονικών προς τις δεξαμενές περιοχών. Η ανάπτυξη του συστήματος σχεδιάζεται για τα επόμενα 20 χρόνια, δίνοντας σταδιακά ένα ρόλο θερμής εφεδρείας στις πιο σύγχρονες από τις σημερινές θερμικές μηχανές της ΔΕΗ. Το προτεινόμενο σύστημα είναι ανταγωνιστικό σε σχέση με οποιοδήποτε άλλο σύστημα βασιζόμενο σε εισαγόμενα, ορυκτά καύσιμα. Η σύγκριση ανάμεσα στα δύο συστήματα βασίζεται κυρίως σε οικονομικές παραμέτρους, πέρα από περιβαλλοντικά οφέλη, κοινωνικές αντιδράσεις στις θερμικές μονάδες, κοινή αποδοχή των υδροηλεκτρικών έργων, παράλληλη ανάπτυξη τουριστικών έργων, κλπ που μπορούν να προκύψουν από τα προτεινόμενα έργα.

Είναι προφανές ότι η ενεργειακή κατανάλωση αυξάνει ραγδαία. Όλες οι πληροφορίες και οι μελέτες σχετικά με την οικονομική ανάπτυξη του νησιού οδηγούν στις ίδιες προβλέψεις. Η διεύθυνση της Αιολικής Ενέργειας έχει αποδειχτεί ως προοπτική τεχνικά και οικονομικά ελκυστική. Οι επενδυτές τέτοιων συστημάτων είναι σήμερα πολύ καλά ενημερωμένοι και προετοιμασμένοι να προχωρήσουν στην υλοποίηση μεγάλων επενδύσεων εξαιτίας του καλά ορισμένου και κάτω υπό συνεχή βελτίωση νομικού και οικονομικού πλαισίου.

Η τοπική κοινωνία έχει παράδοση στην εκμετάλλευση της Αιολικής Ενέργειας και το τοπικό τεχνικό και κοινωνικό περιβάλλον έχει ήδη αποδεχθεί την ιδέα ευρείας εκμετάλλευσης του Αιολικού Δυναμικού του νησιού. Το διαθέσιμο σήμερα ποσό αιολικής ισχύος προς διεύθυνση στο ηλεκτρικό δίκτυο της ΔΕΗ (30% της ετήσιας ισχύος του περασμένου έτους) έχει καλυφθεί μετά από μια εντυπωσιακή ανταπόκριση των επενδυτών σε πρόσκληση υποβολής προτάσεων από την Περιφέρεια Κρήτης. Μετά λοιπόν από όλες αυτές τις προβλέψεις και τις πληροφορίες

και τις προφανείς προοπτικές, απορρέει το ερώτημα σχετικά με το ποιο θα είναι το μέλλον της ενεργειακής παραγωγής στην Κρήτη.

Δύο βασικές έννοιες πρέπει να ληφθούν υπόψη. Η κοινώς χρησιμοποιούμενη έννοια των θερμικών μονάδων παραγωγής και η παραδοσιακή έννοια των ανανεώσιμων πηγών. Η πρώτη λύση φαίνεται να είναι η αγαπημένη των διοικήσεων της ΔΕΗ έως σήμερα. Οι λόγοι αυτής της αγάπης μπορεί να αποτελέσει θέμα έρευνας, τα αποτελέσματα της οποίας ίσως αποδειχθούν εξαιρετικά ενδιαφέροντα για την κατανόηση της κοινωνικής μας δομής και συμπεριφοράς.

Η περίπτωση της Κρήτης έχει ήδη μελετηθεί για διάφορους τρόπους υλοποίησης συστημάτων άντλησης – ταμίευσης. Έχει ερευνηθεί επίσης η συνεργασία τέτοιων μονάδων με Αιολικά Πάρκα καθώς και η συμβολή τους στη διαχείριση θερμικών μονάδων.

Τα βασικά αποτελέσματα από τις ανωτέρω μελέτες αποδεικνύουν ότι οι μονάδες άντλησης – ταμίευσης μπορούν να συνδράμουν πολλά προς την ελαχιστοποίηση του κόστους ενεργειακής παραγωγής από τις υπάρχοντες θερμικές μονάδες και τη μεγιστοποίηση της Αιολικής Διείσδυσης.

3.2 Το πρόβλημα του συστήματος

Η μεταβλητότητα της ζήτησης τόσο από περίοδο σε περίοδο όσο και από μέρα σε νύχτα αναγκάζει τη ΔΕΗ, εκτός από τις μονάδες βάσεως να χρησιμοποιεί και πιο ευέλικτες μονάδες για τη κάλυψη των αιχμών ζήτησης όπως οι αεριοστρόβιλοι. Το γεγονός αυτό εκτός από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που έχει, οδηγεί και σε σημαντική αύξηση του κόστους παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας.

Σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν προτύτερα οι ατμοηλεκτρικές μονάδες έχουν μεγαλύτερη προτεραιότητα εκμετάλλευσης συγκρινόμενες με τις ντιζελομηχανές και αυτό γιατί οι μονάδες αυτές δεν μπορούν να ξεκινάνε και να σταματάνε σε καθημερινή βάση, με αποτέλεσμα να λειτουργούν συνεχώς. Παράλληλα οι αεριοστρόβιλικές μονάδες σαν πιο ευέλικτες παραλαμβάνουν τα φορτία αιχμής, επιβαρύνοντας έτσι σημαντικά το κόστος παραγωγής ενέργειας.

Σημαντική εναλλακτική λύση στο παραπάνω πρόβλημα, αποτελούν οι ΑΠΕ και συγκεκριμένα τα αιολικά συστήματα, η εφαρμογή των οποίων σε ένα περιβάλλον όπως αυτό της Κρήτης μπορεί να ευδοκιμήσει σημαντικά. Τόσο το αιολικό δυναμικό της Κρήτης όσο και το ανάγλυφό της ευνοούν σημαντικά τη χρήση αιολικών συστημάτων γεγονός που συμβάλλει και στην κάλυψη των αναγκών του νησιού αλλά και στην προστασία του περιβάλλοντος.

Ανασταλτικό παράγοντα ενός τέτοιου εγχειρήματος αποτελεί η στοχαστικότητα της αιολικής ενέργειας, πρόβλημα το οποίο σε απομονωμένα συστήματα όπως αυτό της Κρήτης, γίνεται ακόμα μεγαλύτερο. Ο άνεμος είναι μια μορφή ενέργειας μη ελέγξιμη και στοχαστική με αποτέλεσμα να μη μπορεί να γίνει ένας έγκυρος προγραμματισμός για την αναμενόμενη παραγωγή ενέργειας σε μια δεδομένη χρονική περίοδο. Η ΔΕΗ για να προστατεύσει το δίκτυο από τυχόν προβλήματα που απορρέουν από αυτό το γεγονός, περιορίζει την εκμετάλλευση των Α/Π απορρίπτοντας μέρος της παραγόμενης ενέργειας, κάνοντας χρήση του συντελεστή διείσδυσης (ΣΔ) και άλλων μέτρων που θέτει σε εφαρμογή.

Λύση στο μεγάλο αυτό πρόβλημα δίνουν τα συστήματα αντλησιοταμίευσης, τα οποία πλέον πρέπει να αποτελούν αλληλένδετο κρίκο με τα αιολικά συστήματα για ένα ολοκληρωμένο υβριδικό σύστημα ενέργειας.

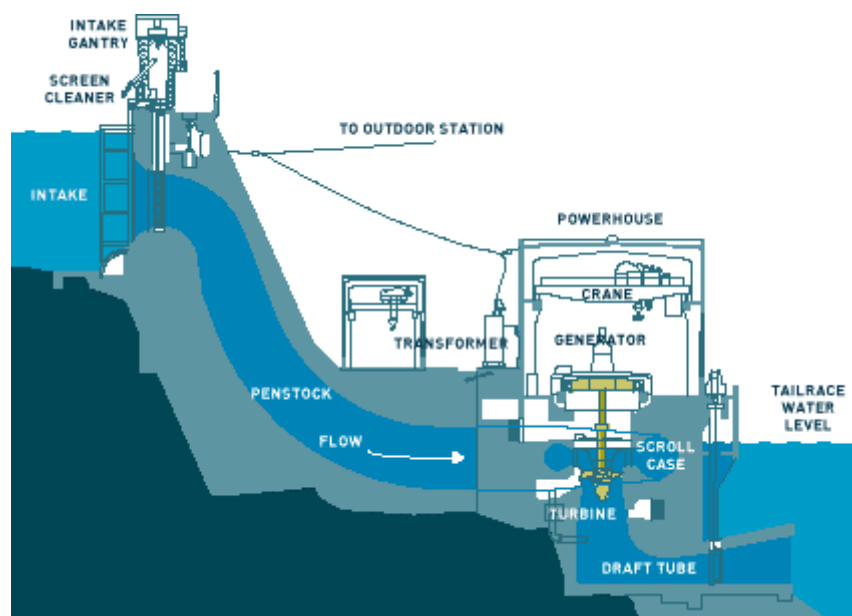
3.3. Υβριδικό Σύστημα αποτελούμενο από ΑΠΕ και συμβατικές μονάδες παραγωγής

Υβριδικά συστήματα θεωρούνται τα αυτόνομα ενεργειακά συστήματα βέλτιστης συνεργασίας περισσότερων πηγών ενέργειας με στόχο τη μέγιστη οικονομική διείσδυση των ΑΠΕ στα δίκτυα που συνδέονται.

Στο πάνελ του ενεργειακού συστήματος της Κρήτης που αποτελείται από τις συμβατικές μονάδες και τα αιολικά συστήματα, έρχεται τώρα να προστεθεί και ένα σύστημα αντλησιοταμίευσης που όπως ειπώθηκε στη προηγούμενη παράγραφο, θα δώσει λύση σε πάρα πολλά προβλήματα.

Με τον όρο αντλησιοταμίευση εννοούμε την αποθήκευση ενέργειας με άντληση νερού σε δεξαμενές που βρίσκονται σε ικανοποιητική υψομετρική διαφορά από το σημείο

άντλησης. Η αποθηκευμένη με τον τρόπο αυτό ενέργεια αποδίδεται με την αντίστροφη λειτουργία του αντλητικού συγκροτήματος ή με την εισαγωγή παράλληλα με το αντλητικό συγκρότημα, μιας ανεξάρτητης υδροτροβλικής μονάδας. Με τον τρόπο αυτό η στοχαστική αιολική



ενέργεια μετατρέπεται υπό τη μορφή της δυναμικής ενέργειας του νερού σε ενέργεια «εγγυημένης ισχύος». Επιτυγχάνεται έτσι σημαντική εξοικονόμηση καυσίμων, βελτίωση του βαθμού απόδοσης των μονάδων παραγωγής καθώς και βελτίωση της ποιότητας ισχύος με την άρση των επιπτώσεων στη διακύμανση της τάσης και της συχνότητας σε απότομες μεταβολές του φορτίου.

3.3.1 Βελτίωση της ποιότητας ενέργειας με τη χρήση A/T

Δύο είναι τα σημαντικά σημεία στα οποία αποσκοπεί η χρήση συστήματος αντλησιοταμίευσης. Το πρώτο σημείο είναι η αποκοπή των ακροτάτων ισχύος. Τα συνήθη τεχνικά ελάχιστα ισχύος αυξάνουν με την άντληση και τη ταμίευση ενέργειας ενώ τα ημερήσια μέγιστα παραλαμβάνονται από τις υδροτροβλικές μονάδες. Έτσι οι μονάδες παραγωγής μπορούν να ρυθμιστούν να λειτουργούν στο μέγιστο δυνατό βαθμό απόδοσής τους με προφανή αποτελέσματα στην εξοικονόμηση καυσίμου για την ίδια αποδιδόμενη ισχύ.

Το δεύτερο σημαντικό σημείο είναι η δυνατότητα διείσδυσης μονάδων μη εγγυημένης ισχύος όπως τα αιολικά πάρκα σήμερα. Η δυνατότητα αυτή συμβάλει τα μέγιστα στην απρόσκοπτη διείσδυση των αιολικών συστημάτων με προφανή, σημαντική, μείωση των απαιτούμενων καυσίμων ή άλλων μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Η ταμίευση ανανεώσιμης ενέργειας δεν έχει εφαρμοστεί πλατιά αν και η χρηματοοικονομική διαχείριση τέτοιων έργων έχει παρουσιάσει ελκυστικά αποτελέσματα για επενδύσεις. Οι λόγοι είναι πολλοί, ο βασικότερος από αυτούς είναι η συγκέντρωση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλους σταθμούς, πολλές τάξεις μεγέθους μεγαλύτερους αυτών των σταθμών μη εγγυημένης ισχύος (συνήθως αιολικών). Η ραγδαία ανάπτυξη αιολικών σταθμών σε περιοχές όπου το δίκτυο είναι ασθενές και σε απομονωμένα συστήματα, οδηγεί στη διαχείριση της ισχύος σε τοπικό και όχι μόνο επίπεδο για την άρση των προβλημάτων που θεραπεύονται μέσω της γρήγορης αποθήκευσης και, κυρίως απολαβής ενέργειας, κύριο χαρακτηριστικό των αντλησιοταμιευτήρων.

Τα απομονωμένα ασθενή δίκτυα, σε απομακρυσμένες περιοχές, παρουσιάζουν προβλήματα ποιότητας ισχύος, προβλήματα που μεγαλώνουν με τη διείσδυση αιολικών πάρκων μεγάλης ισχύος σε σχέση με τις τοπικές καταναλώσεις. Στις περιπτώσεις αυτές, η αποθήκευση αμβλύνει τα προβλήματα αυτά, μεγαλώνοντας τη δυνατότητα διείσδυσης στο δίκτυο αιολικών σταθμών. Οι αντλησιοταμιευτήρες που εξυπηρετούν τέτοιες περιπτώσεις, μπορούν να έχουν ισχύ της τάξης μεγέθους των τοπικών φορτίων ή και μεγαλύτερη και επιτρέπουν τη βέλτιστη διαχείριση τόσο του αιολικού δυναμικού όσο και του ευρύτερου δικτύου μεταφοράς και διανομής.

3.3.2 Εξοικονόμηση καυσίμου από τη χρήση Α/Τ

Λαμβάνοντας υπόψη τη συνολική παραγωγή αλλά και κατανάλωση καυσίμου το κόστος για κάθε μονάδα θερμοηλεκτρικών μηχανών, προκύπτει ως εξής:

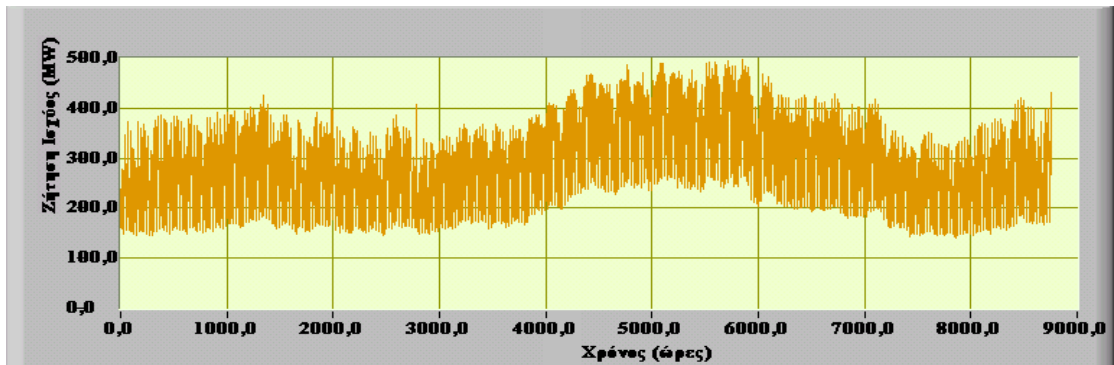
- Ντιζελομηχανές	27,951074 (Μ€)
- Συνδ. Κύκλος	47,964525 (Μ€)
- Αεριοστρόβιλοι	3,314418 (Μ€)
- Ατμ. Μονάδες	41,058461 (Μ€)

Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω, συμπεραίνουμε ότι στο ενεργειακό σύστημα της Κρήτης, το υψηλό κόστος (σε σχέση με την συνεισφορά τους στη παραγωγή) της ηλεκτρικής ενέργειας οφείλεται κυρίως στη λειτουργία του συνδυασμένου κύκλου και των αεριοστροβίλων των μηχανών δηλαδή που καίνε καύσιμο ντίζελ.

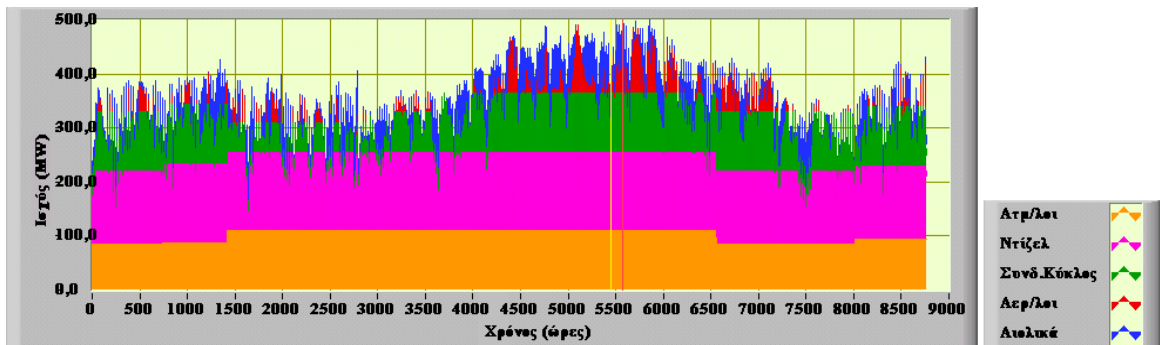
Επομένως για να μειώσουμε το κόστος αυτό θα πρέπει να περιορίσουμε στο ελάχιστο τις ώρες λειτουργίας των μηχανών αυτών και να τις αντικαταστήσουμε με άλλες που θα παράγουν με χαμηλότερο κόστος παραγωγής, όπως γίνεται στη περίπτωση των αντλησιοταμιευτήρων.

Για την υλοποίηση όμως ενός τέτοιου εγχειρήματος απαιτείται σημαντική και σχολαστική δουλειά κυρίως όσον αφορά την εξέταση της ενεργειακής ζήτησης της Κρήτης αλλά και του τρόπου λειτουργίας και εκμετάλλευσης των υπάρχοντων μηχανών του συστήματος.

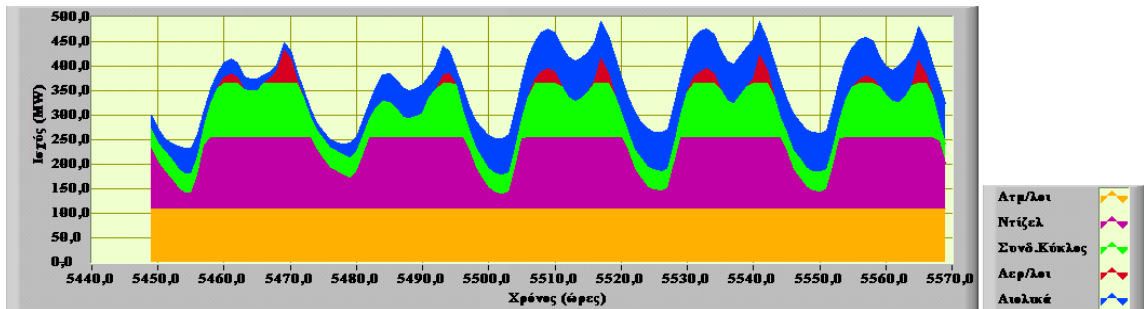
Παρακάτω παρατίθεται η καμπύλη ζήτησης της Κρήτης, καθώς επίσης και η σύνθεση παραγωγής κάθε ομάδας μηχανών.



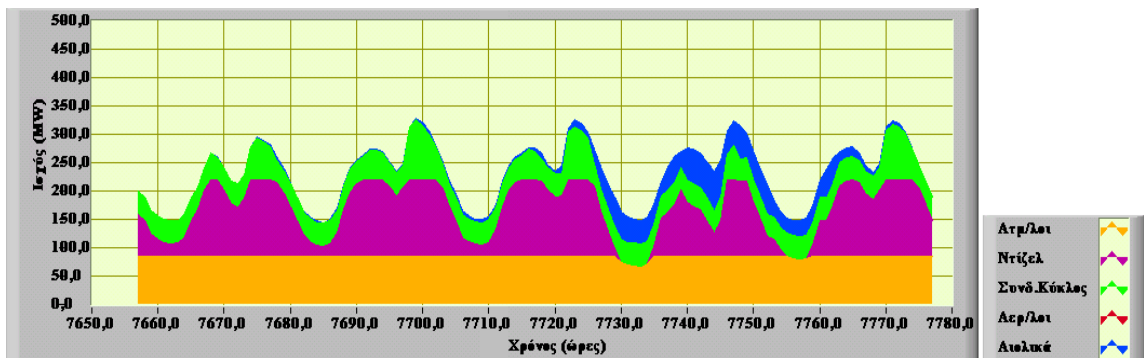
Σχήμα 3.1: Καμπύλη ζήτησης ηλεκτρικής ισχύος στην Κρήτη το 2003



Σχήμα 3.2: Σύνθεση παραγωγής στη Κρήτη για το 2003.



Σχήμα 3.3: Σύνθεση παραγωγής στη Κρήτη από 15 έως 20 Αυγούστου του 2003.



Σχήμα 3.4: Σύνθεση παραγωγής στη Κρήτη από 15 έως 20 Νοεμβρίου του 2003.

Παρατηρούμε λοιπόν την προτεραιότητα που έχουν οι ατμοηλεκτρικές μονάδες όσον αφορά την εκμετάλλευσή τους, συγκρινόμενες με τις ντιζελομηχανές, παρόλο που οι πρώτες παρουσιάζουν μεγαλύτερο κόστος παραγωγής μονάδας ενέργειας, από τις δεύτερες. Το παραπάνω αιτιολογείται από το γεγονός ότι οι ατμοηλεκτρικές μονάδες δε μπορούν να σταματούν και να ξεκινούν σε καθημερινή βάση, με αποτέλεσμα να διατηρούνται σε συνεχή λειτουργία. Αντιθέτως η λειτουργία των ντιζελομηχανών διακόπτεται κάθε βράδυ όταν φυσικά η ενεργειακή ζήτηση είναι χαμηλή.

Η σειρά ένταξης των θερμικών μηχανών στη παραγωγή υπαγορεύεται από τις παρακάτω παραμέτρους:

- Την ευστάθεια και την ασφάλεια του συστήματος, καθώς και την εξασφάλιση της διαρκούς ικανοποίησης της ζήτησης ηλεκτρικής ισχύος.
- Την οικονομική λειτουργία του συστήματος.

Η πρώτη παράμετρος επιβάλλει την συνεχή λειτουργία των θερμικών μηχανών με χαμηλή απόκριση στις διακυμάνσεις φορτίου και με αργή εκκίνηση, δηλαδή των ατμοστρόβιλων και του συνδυασμένου κύκλου. Συνεπάγεται επομένως ότι οι μηχανές αυτές κατά τη διάρκεια χαμηλών φορτίσεων, λειτουργούν με χαμηλή απόδοση κοντά στα τεχνικά τους ελάχιστα ή ακόμα και ως θερμή εφεδρεία, χωρίς δηλαδή να διαθέτουν στην κατανάλωση την παραγόμενη ενέργεια. Η επιβάρυνση στο κόστος παραγωγής σε αυτές τις περιπτώσεις είναι σημαντική, ιδιαίτερα λόγω της υποχρεωτικής λειτουργίας του συνδυασμένου κύκλου, που καταναλώνει ακριβό καύσιμο ντίζελ. Ταυτόχρονα οι οικονομικές θερμικές μηχανές ντίζελ που θεωρητικά θα μπορούσαν να καλύψουν αυτές τις χαμηλές φορτίσεις, τίθενται εκτός λειτουργίας.

Οι περιπτώσεις αυτές συναντώνται στη μεγαλύτερη διάρκεια του έτους και ιδιαίτερα κατά το φθινόπωρο και την άνοιξη, όταν οι φορτίσεις του συστήματος είναι πολύ χαμηλές.

Η δεύτερη παράμετρος επιβάλλει την ένταξη των θερμικών μονάδων στην παραγωγή ως εξής:

ντίζελ
ατμοστρόβιλοι
συνδυασμένος κύκλος
αεριοστρόβιλοι

Η σειρά αυτή τηρείται όταν δε τίθενται περιορισμοί ευστάθειας του συστήματος, με τους ατμοστρόβιλους και το συνδυασμένο κύκλο να δουλεύουν πάντα στα τεχνικά τους ελάχιστα ανεξάρτητα από τη σειρά ένταξης.

Στα σχήματα 3.3 και 3.5 παρουσιάζονται χαρακτηριστικές καμπύλες σύνθεσης παραγωγής σε δύο διαφορετικές περιόδους, μία σε περίοδο υψηλών φορτίσεων (15-20 Αυγούστου) και μία σε περίοδο χαμηλών φορτίσεων (15-20 Νοεμβρίου).

Από τα γραφήματα αυτά συμπεραίνουμε λοιπόν ότι ακόμα και τη θερινή περίοδο, το σύστημα πολλές φορές αναγκάζεται να χαμηλώσει την παραγωγή από τις ντίζελ, προκειμένου να διατηρήσει το συνδυασμένο κύκλο στα τεχνικά του ελάχιστα. Οι ατμοστρόβιλοι λειτουργούν μόνιμα στην ονομαστική τους ισχύ ενώ οι αεριοστρόβιλοι εντάσσονται μόνο για την κάλυψη αιχμών φορτίου.

Κατά τη φθινοπωρινή περίοδο χαμηλών φορτίσεων το πρόβλημα οξύνεται ακόμα περισσότερο αφού οι μηχανές ντίζελ σπάνια λειτουργούν στη ονομαστική τους ισχύ, ενώ κατά τις πρωινές ώρες διακόπτουν εντελώς τη λειτουργία τους. Ακόμα και οι ατμοστρόβιλοι πολλές φορές δεν λειτουργούν στην ονομαστική τους ισχύ, ενώ ο συνδυασμένος κύκλος δουλεύει μόνιμα στα τεχνικά του ελάχιστα, σε πολύ χαμηλή απόδοση και με ιδιαίτερα υψηλό κόστος καυσίμου.

Είναι προφανές λοιπόν ότι ένα μέρος της ενέργειας χαμηλού κόστους που θα μπορούσε να παράγεται από τις μηχανές που καίνε καύσιμο μαζούτ, τελικώς δεν παράγεται ενώ το μέρος της ενέργεια αυτής υποκαθίσταται από τη λειτουργία των μηχανών που καίνε ακριβό καύσιμο ντίζελ.

Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω, γίνεται προφανής η ανάγκη χρησιμοποίησης συστήματος αντλησιοταμίευσης. Με τον τρόπο αυτό ουσιαστικά αντικαθίσταται μια «σπάταλη» οικονομικά μονάδα παραγωγής, από μια άλλη, που εκτός από το αρχικό κόστος επένδυσης, έχει πολύ χαμηλό κόστος λειτουργίας.

4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

4.1 ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα εργασία προσεγγίζει την εισαγωγή συστημάτων αντλησιοταμίευσης σε απομονωμένα ενεργειακά συστήματα με μια νέα φιλοσοφία, σε σχέση με παλαιότερες σχετικές εργασίες. Η βασική φιλοσοφία έγκειται στη μη τήρηση χρονοδιαγράμματος του κύκλου άντλησης - ταμίευσης και παραγωγής από υδροστροβίλους. Συνήθως, η τακτική που ακολουθείται είναι η αποθήκευση φτηνής ενέργειας κατά τις βραδινές ώρες και η αντικατάσταση ακριβής ενέργειας κατά τις ώρες αιχμής της ημέρας. Ο αλγόριθμος υπολογισμού της παρούσας εργασίας αποθηκεύει ενέργεια όποτε αυτό είναι δυνατό, ανεξάρτητα χρονοδιαγράμματος, και υποκαθιστά ενέργεια που παράγεται από τις ακριβές θερμικές μηχανές, όχι μόνο αποκλειστικά κατά τις αιχμές ζήτησης ισχύος.

Παρόλο που η εργασία αυτή είναι μια μελέτη εφαρμογής για τη νήσο Κρήτη, εισάγει μια νέα μεθοδολογία εισαγωγής αντλησιοταμίευσης σε απομονωμένα ενεργειακά συστήματα, η οποία προσαρμοζόμενη στα χαρακτηριστικά του εκάστοτε εξεταζόμενου συστήματος, μπορεί να καταδείξει τη μέγιστη δυνατότητα μείωσης του ειδικού κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

4.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ--ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Για τη διεξαγωγή των αποτελεσμάτων στην υπολογιστική αυτή διαδικασία κάναμε χρήση του προγράμματος Lab View όπου με τη χρήση κατάλληλων αλγόριθμων καταφέραμε να επεξεργαστούμε τα δεδομένα μας και να εξάγουμε τα εκάστοτε αποτελέσματα κάθε φορά προσομοιώνοντας ουσιαστικά το υφιστάμενο σύστημα.

Τα δεδομένα μας αφορούν αφενός την παραγωγή και αφετέρου τη ζήτηση. Στην παραγωγή συμπεριλήφθησαν δεδομένα τόσο από τις συμβατικές μονάδες παραγωγής, όσο και από τα αιολικά πάρκα της Κρήτης ενώ στη ζήτηση, στοιχεία που είχαν να κάνουν στο σύνολο της παραγόμενης ισχύος στο νησί.

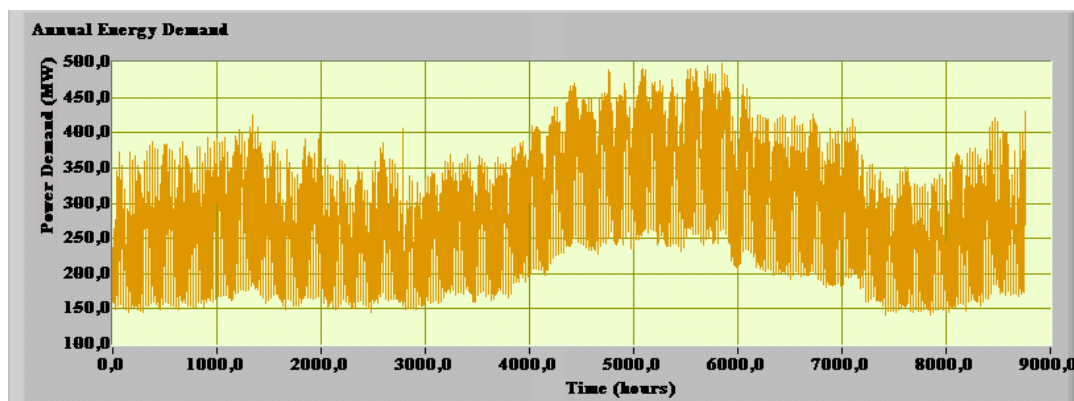
Οι παράμετροι που έπρεπε να εξεταστούν από την άλλη, ήταν ποικίλοι και πολύπλοκοι, γεγονός που απαιτούσε ιδιαίτερη προσοχή στο χειρισμό του προγράμματος για την εξαγωγή σωστών αποτελεσμάτων.

Καταγράφονται λοιπόν στοιχεία όπως τα τεχνικά ελάχιστα των διαφόρων μονάδων παραγωγής, οι ονομαστικές τους ισχύεις, οι καμπύλες ισχύος λειτουργίας-βαθμού απόδοσης.

Σημαντικό ρόλο επίσης για τη διεξαγωγή σωστών αποτελεσμάτων, παίζει και ο συνυπολογισμός των περιόδων διακοπής της λειτουργίας των μονάδων για συντήρηση, καθώς επίσης και η σειρά ένταξης των μονάδων στην παραγωγική διαδικασία. Κατασκευάζονται λοιπόν μήτρες σύνθεσης παραγωγής, σύμφωνα με τις

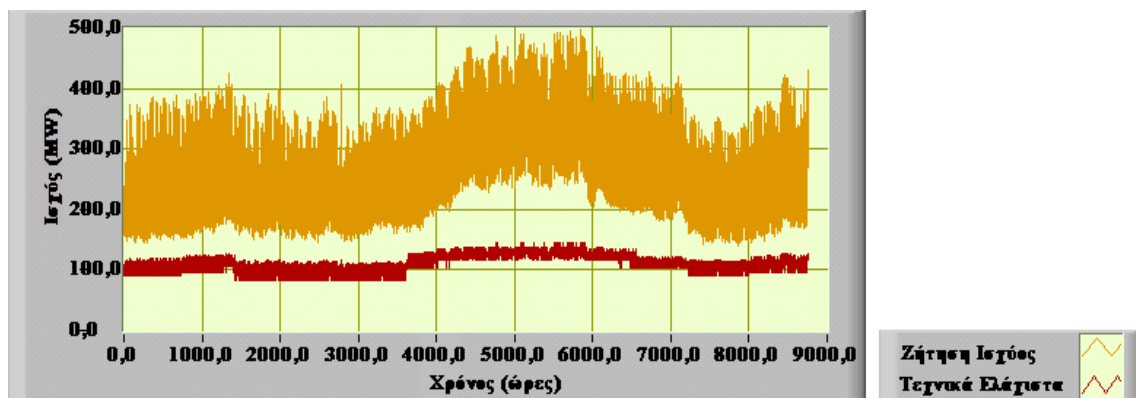
παραπάνω παραμέτρους. Οι μηχανές οι οποίες χρήζουν συντήρησης είναι οι ατμοστρόβιλοι, οι ντίζελ Λινοπεραμάτων και ο συνδυασμένος κύκλος. Οι μηχανές αυτές υποτίθεται ότι συντηρούνται διαδοχικά βάσει προγραμματισμού από τον Οκτώβριο μέχρι το Μάιο. Το σύστημα λειτουργεί σε πλήρη σύνθεση μόνο τους καλοκαιρινούς μήνες καθώς και το Σεπτέμβριο. Δημιουργούνται έτσι εννέα διαφορετικές μήτρες σύνθεσης παραγωγής, κάθε μία για τις εννέα προκύπτουσες διαφορετικές περιόδους.

Στη συνέχεια εισάγουμε στο πρόγραμμα την ετήσια καμπύλη ζήτησης η οποία έχει ως έτος αναφοράς το 2003 και η οποία παρουσιάζεται παρακάτω.



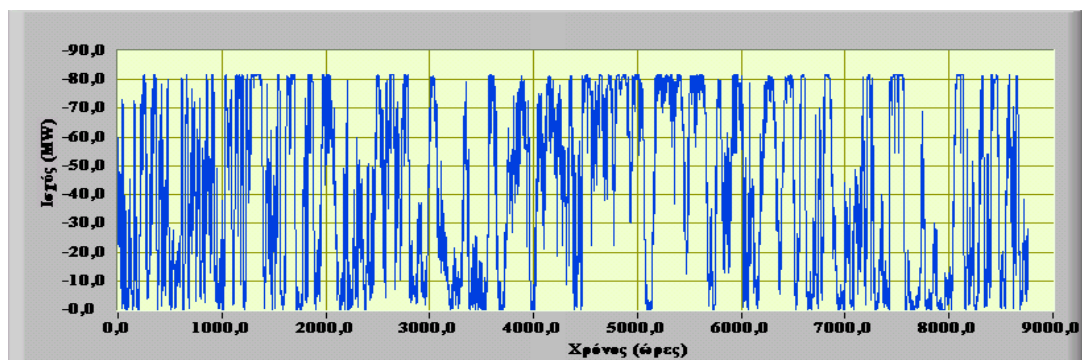
Σχήμα 4.1: Καμπύλη ζήτησης ηλεκτρικής ισχύος στην Κρήτη το 2003

Σύμφωνα με την εισαχθείσα καμπύλη ζήτησης και με τις μήτρες σύνθεσης παραγωγής, υπολογίζονται τα συνολικά τεχνικά ελάχιστα των θερμικών μηχανών που απαιτούνται σε κάθε στιγμιαία τιμή φορτίου ώστε να καλυφθεί η ζήτηση.



Σχήμα 4.2: Καμπύλη ζήτησης ηλεκτρικής ισχύος και τεχνικά ελάχιστα ενταγμένων θερμικών μηχανών.

Κάνοντας χρήση πραγματικών χρονοσειρών ταχυτήτων ανέμου του έτους αναφοράς και υιοθετώντας ένα σενάριο διασποράς αιολικών πάρκων όσο γίνεται πιο ρεαλιστικό, κατασκευάζουμε μια καμπύλη ισχύος από τα υπάρχοντα αιολικά πάρκα. Η εν λόγω καμπύλη παρουσιάζεται παρακάτω.



Σχήμα 4.3: Καμπύλη παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος από τα υφιστάμενα αιολικά πάρκα.

Κατόπιν υπολογίζεται το ποσοστό απόρριψης της αιολικής ισχύος κατά τη διάρκεια του έτους. Αυτό συμβαίνει όταν:

- Το ποσοστό διείσδυσης υπερβεί το 30% της στιγμιαίας ζήτησης φορτίου.
- Η απορρόφηση ολόκληρης της διαθέσιμης αιολικής ισχύος συνεπάγεται τη μείωση της ισχύος λειτουργίας των υποχρεωτικά ενταγμένων θερμικών μηχανών από τα τεχνικά ελάχιστα.

Πάντα υπάρχει μέριμνα ώστε να μη συμβαίνει καμία από τις παραπάνω περιπτώσεις. Το ποσοστό απόρριψης για το έτος αναφοράς με τις συγκεκριμένες παραμέτρους, υπολογίστηκε σε 3,63 % αναφερόμενο σε καθαρό ποσό απορριφθείσας ενέργειας και όχι σε ποσοστό ωρών περικοπής.

Στη συνέχεια εισάγοντας στο πρόγραμμα τις θερμογόνες ικανότητες των καυσίμων καθώς επίσης και τα ειδικά κόστη τους, και σε συνάρτηση με τις εισαχθείσες καμπύλες ισχύος λειτουργίας- βαθμού απόδοσης των θερμικών μηχανών, υπολογίζονται:

- Οι ετήσιες καταναλώσεις και τα ετήσια κόστη καυσίμων.
- Οι συνεισφορές των διαφόρων μονάδων στη κάλυψη της ζήτησης και στη διαμόρφωση του συνολικού κόστους.
- Το συνολικό ετήσιο κόστος καυσίμου και το συνολικό ετήσιο ειδικό κόστος καυσίμου.

Στα τελευταία αυτά κόστη συμπεριλαμβάνεται και το κόστος αγοράς της αιολικής ενέργειας.

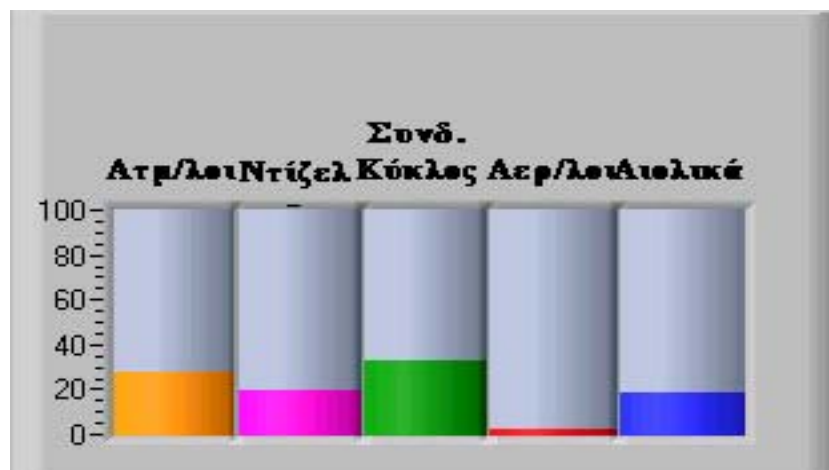
	Μαζούτ (tn)	Ντίζελ (klt)	Αιολ. Ενέργεια (MWh)
Κατανάλωση	396.674,910	112.926,587	345.113,187
Κόστος(Μ€)	69,009534	45,022701	27,360574

Πίνακας 15: Καταναλώσεις και κόστη καυσίμων για τη λειτουργία του υφιστάμενου συστήματος παραγωγής.

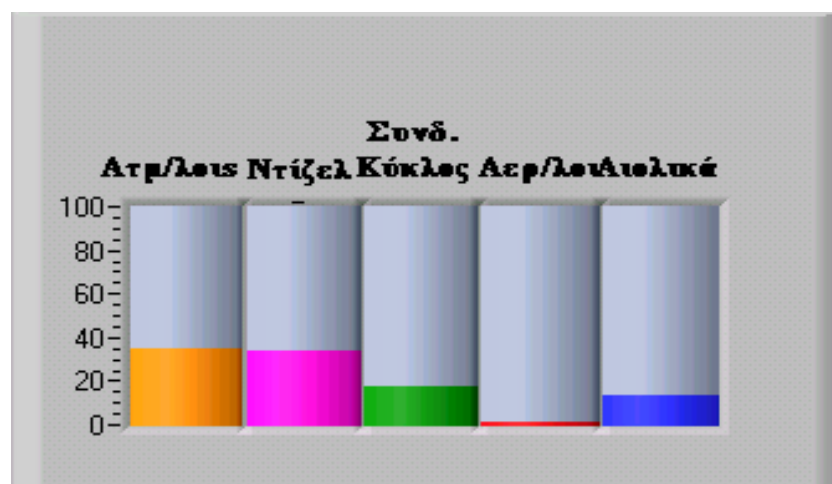
Συν. Κόστος Καυσίμου (Μ€)	141,392809
Ειδικό μέσο κόστος καυσίμου (Μ€)	0,056484

Πίνακας 16: Κόστος καυσίμου για το υφιστάμενο σύστημα παραγωγής.

Σ' αυτό το σημείο είναι χρήσιμο να αναφερθεί ότι σε όλους τους υπολογισμούς που γίνονται, δεν έχει ληφθεί υπόψη κανένα άλλο κόστος παραγωγής, (μισθοί, αποσβέσεις μηχανών, συντηρήσεις κλπ) πέραν του κόστους καυσίμου. Αυτό γίνεται γιατί όλα αυτά θεωρείται ότι δε θα μεταβληθούν με την εισαγωγή του συστήματος αντλησιοταμίευσης, οπότε δε θα επηρεάσουν τις συγκρίσεις μας.



Σχήμα 4.4: Διάγραμμα ποσοστιαίας συνεισφοράς των διαφόρων ομάδων μηχανών στη διαμόρφωση του συνολικού ετήσιου κόστους καυσίμου.



Σχήμα 4.5: Διάγραμμα ποσοστιαίας συνεισφοράς των διαφόρων ομάδων μηχανών στην ενεργειακή κάλυψη

Από τα παραπάνω σχήματα παρατηρούμε πως η συνεισφορά του συνδυασμένου κύκλου στη παραγωγική διαδικασία, είναι αρκετά μικρή και αντιφατική με το υψηλό ποσοστό συμμετοχής του στο συνολικό κόστος καυσίμου. Γίνεται λοιπόν εύκολα αντιληπτό, ότι οποιαδήποτε προσπάθεια για μείωση του κόστους παραγωγής, θα πρέπει να στοχεύει κυρίως στον περιορισμό της χρήσης του συνδυασμένου κύκλου.

4.3 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗΣ

Η προτεινόμενη φιλοσοφία λειτουργίας του συστήματος αντλησιοταμίευσης μπορεί να παρουσιαστεί αναλυτικά ως εξής.

Αρχικά υπολογίζουμε τη δυνατότητα αποθήκευσης της ενέργειας για κάθε χρονικό βήμα υπολογισμού, έχοντας σαν κριτήριο τη σειρά προτεραιότητας, όπως: την απόρριψη αιολικής ισχύος, τη διαφορά της συνολικής ισχύος λειτουργίας των αμμοστροβίλων από τη συνολική ονομαστική ισχύ, τη διαφορά της συνολικής ισχύος λειτουργίας των ντίζελ από τη συνολική ονομαστική ισχύ.

Καταλήγουμε έτσι να έχουμε υπολογίσει μια συνολική ισχύ αποθήκευσης για κάθε χρονικό βήμα υπολογισμού.

Στη συνέχεια και πάλι για κάθε χρονικό βήμα υπολογίζεται η δυνατότητα άμεσης αντικατάστασης λειτουργίας του συνδυασμένου κύκλου από αμμοστροβίλους και ντίζελ. Η συνολική ισχύς των αμμοστροβίλων και των ντίζελ που τελικά υπολογίζεται ότι μπορεί να αντικαταστήσει άμεσα ισχύ λειτουργίας του συνδυασμένου κύκλου, αφαιρείται από το αντίστοιχο χρονικό βήμα της προηγούμενα υπολογισμένης ισχύος αποθήκευσης.

Με τον τρόπο αυτό αποκλείεται η ταυτόχρονη λειτουργία αντλιών και υδροστροβίλων, γεγονός που ουσιαστικά θεωρείται άτοπο. Δεν υφίσταται λόγος ελέγχου δυνατότητας άμεσης αντικατάστασης λειτουργίας αεριοστροβίλων από αμμοστροβίλους ή ντίζελ, γιατί είναι αυτονόητο ότι οι αεριοστροβίλοι-ως μονάδες κάλυψης αιχμών φορτίου- εντάσσονται στη παραγωγική διαδικασία όταν έχει εξαντληθεί η δυνατότητα παραγωγής από οποιαδήποτε άλλη μονάδα.

Μια άλλη παράμετρος η οποία υπολογίζεται σε κάθε χρονικό βήμα, είναι η διαθέσιμη προς αντικατάσταση ισχύς λειτουργίας κατά σειρά προτεραιότητας, αεριοστροβίλων και συνδυασμένου κύκλου, και αυτή που τελικά αντικαθιστάται βάσει της επιλεγείσας ονομαστικής ισχύος του υδροστροβίλου.

Πρέπει να αναφερθεί ότι σε όλη την παραπάνω περιγραφείσα διαδικασία δεν λαμβάνεται πουθενά περιορισμός χωρητικότητας της άνω δεξαμενής του συστήματος αντλησιοταμίευσης. Αντίθετα γίνεται υπολογισμός του όγκου της άνω δεξαμενής βάση των ποσοτήτων ενέργειας που αποθηκεύονται και αφαιρούνται από αυτήν, οι οποίες μεταφράζονται σε ποσότητες νερού δεδομένου του διατιθέμενου ύψους υδατόπτωσης.

Μια άλλη αρχική σύμβαση η οποία γίνεται είναι η θεώρηση την οποία κάνουμε ότι η δεξαμενή περιέχει αρχικά ικανή ποσότητα νερού ώστε να μην επηρεαστεί η λειτουργία του συστήματος από πιθανή ανεπάρκεια αποθηκευμένου μέσου. Τέλος καθώς η ενέργεια που αποθηκεύεται στη άνω δεξαμενή είναι πάντα τουλάχιστον ίση με αυτή που καταναλώνεται από τον υδροστροβίλο, στο τέλος της χρονικής περιόδου είναι εξασφαλισμένο ότι στην άνω δεξαμενή θα υπάρχει ποσότητα νερού, τουλάχιστον ίση, με αυτή που υπήρχε στην αρχή.

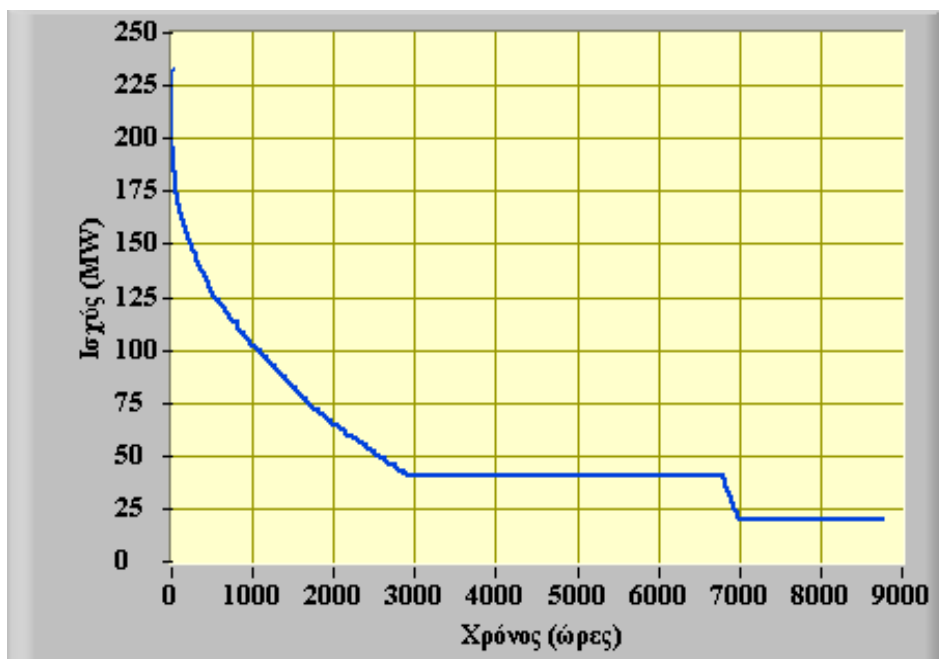
Υιοθετούμε τέλος ένα σενάριο διαστασιολόγησης του συστήματος αντλησιοταμίευσης, κάτι που θεωρείται απαραίτητο για την υλοποίηση της υπολογιστικής διαδικασίας. Τα μεγέθη τα οποία επιλέχθησαν παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα.

Ονομαστική ισχύς υδρ/λων (MW)	70,00
Ονομαστική ισχύς αντλιών (MW)	70,00
Ύψος υδατόπτωσης (m)	800,00
Συνολικός μέσος βαθμός απόδοσης υδροστροβίλων	0,90
Συνολικός μέσος βαθμός απόδοσης αντλιών	0,65
Διάμετρος σωληνώσεων (m)	2,30
Μήκος σωληνώσεων (m)	4000,00
Τραχύτητα σωληνώσεων (mm)	0,10

Πίνακας 17: Συνολικές διαστάσεις του προτεινόμενου συστήματος αντλησιοταμίευσης.

Οι ονομαστικές ισχείς υδροστροβίλων και αντλιών επιλέχθηκαν με βάση την καμπύλη διάρκειας της συνολικής ισχύος λειτουργίας αεριοστροβίλων και συνδυασμένου κύκλου, η οποία παρουσιάζεται στο σχήμα 4.6.

Από το σχήμα 4.6 προκύπτει ότι επιλέγοντας συνολική ισχύ υδροστροβίλων 70 MW καλύπτουμε το μεγαλύτερο ποσοστό της παραγόμενης ενέργειας από αεριοστροβίλους και συνδυασμένο κύκλο. Συγκεκριμένα, 1841 ώρες το χρόνο συμβαίνει η συνολική ισχύς λειτουργίας του συνδυασμένου κύκλου και των αεριοστροβίλων να είναι μεγαλύτερη των 70 MW. Αυτό σημαίνει ότι η ισχύς αυτή των υδροστροβίλων θα επαρκεί για να υποκαθιστά πλήρως την ισχύ λειτουργίας του συνδυασμένου κύκλου και των αεριοστροβίλων για 6.919 ώρες το χρόνο, δηλαδή για το 79 % περίπου του έτους. Η συνολική ονομαστική ισχύς των αντλιών επιλέγεται τουλάχιστον ίση με αυτή των υδροστροβίλων.



Σχήμα 4.6: Καμπύλη διάρκειας συνολικής ισχύος λειτουργίας αεριοστροβίλων και συνδυασμένου κύκλου.

Το ύψος υδατόπτωσης και το μήκος των σωληνώσεων επιλέχθηκαν βάσει πραγματικής τοποθεσίας. Η διάμετρος των σωληνώσεων υπολογίστηκε με βάση τη σχέση του Gordon-Penman, δεδομένης της ονομαστικής ισχύς υδροστροβίλων και αντλιών και του ύψους υδατόπτωσης, από τα οποία προκύπτει η μέγιστη ονομαστική παροχή που προβλέπεται να διέλθει μέσα από τις σωληνώσεις.

Η τραχύτητα των σωληνώσεων επιλέχθηκε βάση βιβλιογραφίας για χαλύβδινους συγκολλητούς σωλήνες. Τέλος επιλέχθηκαν χαρακτηριστικοί συνολικοί μέσοι βαθμοί απόδοσης αντλιών και υδροστροβίλων. Η εισαγωγή καμπύλων λειτουργίας αντλιών και υδροστροβίλων προϋποθέτει την εισαγωγή συγκεκριμένων τύπων μηχανών, κάτι που αίρει τη γενικότητα της εργασίας.

4.4 ΟΙ ΕΚΔΟΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟΥ ΚΥΚΛΟΥ

Όπως έχει αναφερθεί και προηγούμενα για την εκκίνηση του συνδυασμένου κύκλου, απαιτείται μεγάλο χρονικό διάστημα. Επιπλέον ο συνδυασμένος κύκλος είναι μονάδα που από τον κατασκευαστή της δε μπορεί να έχει περισσότερες από δύο εκκινήσεις το χρόνο. Οι λόγοι αυτοί ουσιαστικά καθιστούν το συνδυασμένο κύκλο μονάδα βάσης, μονάδα δηλαδή που δεν κλείνει ποτέ παρά μόνο για συντήρηση, έστω και αν χρειαστεί να λειτουργεί μη αποδοτικά στα τεχνικά του ελάχιστα. Την άνοιξη η λειτουργία του συνδυασμένου κύκλου γίνεται εξαιρετικά μη αποδοτική, όταν διαδοχικά κάθε μήνα τίθεται κι από μία από τις μονάδες που τον απαρτίζουν εκτός λειτουργίας για συντήρηση. Μη αποδοτικά λειτουργεί επίσης το φθινόπωρο, λόγω χαμηλών φορτίων του όλου συστήματος.

Οι δύο αυτές εποχές λοιπόν (άνοιξη-φθινόπωρο) είναι τα προφανή διαστήματα κατά τα οποία υπάρχει προοπτική ολοκληρωτικού σβησίματος του συνδυασμένου κύκλου. Έτσι δίνεται η δυνατότητα αντικατάστασης της λειτουργίας του από οικονομικές θερμικές μηχανές και από τους υδροστροβίλους. Στην υπολογιστική δοκιμή που υλοποιήθηκε, αποδεικνύεται ότι υπάρχει οικονομικό όφελος από τη μη λειτουργία του συνδυασμένου κύκλου, ακόμα και το χειμώνα. Αυτό μπορεί να δικαιολογηθεί λόγω των φορτίσεων της χειμερινής περιόδου, οι οποίες παραμένουν σε χαμηλά επίπεδα.

Προκειμένου όμως να σβήσει εντελώς για κάποια διαστήματα ο συνδυασμένος κύκλος θα πρέπει, αφενός να υπάρχει περίσσεια αποθηκευμένης ενέργειας και αφετέρου να επαρκεί η ονομαστική ισχύς των υδροστροβίλων.

Η υλοποίηση υπολογιστικών δοκιμών έδειξε ότι πράγματι η λειτουργία του συστήματος μπορεί να εξασφαλιστεί ακόμα και με το συνδυασμένο κύκλο εντελώς εκτός λειτουργίας για τις εποχές της άνοιξης και του φθινοπώρου ακόμα και του χειμώνα, εξασφαλίζοντας παράλληλα αισθητή μείωση του κόστους κατανάλωσης καυσίμου. Προβλήματα όσον αφορά τη μη επάρκεια της διατιθέμενης αποθηκευμένης ενέργεια δεν προέκυψαν. Ωστόσο προέκυψαν χρονικά βήματα υπολογισμού στα οποία δεν επαρκούσε η ονομαστική ισχύς των υδροστροβίλων για την ανάληψη όλης της ισχύος του συνδυασμένου κύκλου, ιδιαίτερα όταν στα ίδια αυτά χρονικά βήματα υπήρχε και παραγωγή αεριοστροβίλων. Τα διαστήματα αυτά, σύμφωνα με τη καμπύλη διάρκειας του σχήματος 4.6, αναμένεται να αντιστοιχούν περίπου στο 21 % του έτους. Στις περιπτώσεις αυτές αναγκαστικά το έλλειμμα στη παραγωγή θα πρέπει να καλυφθεί με ένταξη αεριοστροβίλων. Ακόμα όμως και με τη χρήση αεριοστροβίλων, για μικρά χρονικά διαστήματα, αντί να διατηρείται ο συνδυασμένος κύκλος συνεχώς σε λειτουργία, το σύστημα λειτουργεί με πολύ χαμηλότερο κόστος από ότι σήμερα.

5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

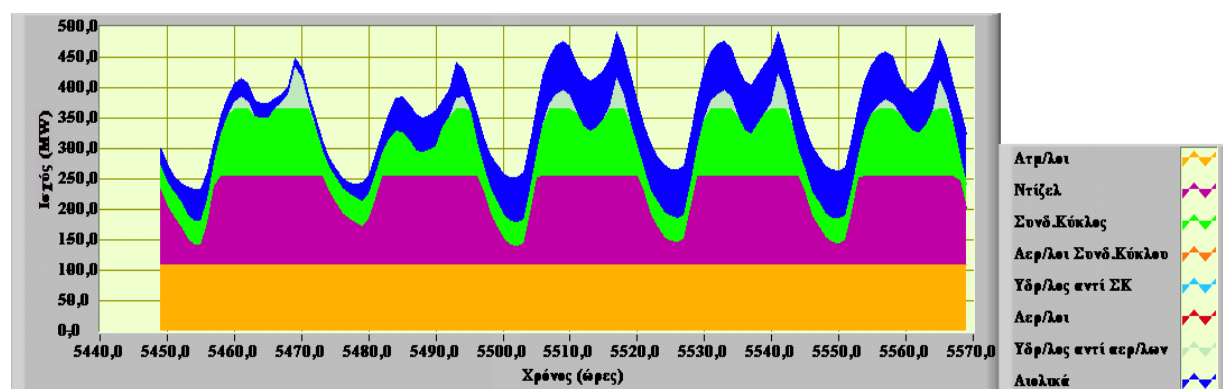
5.1 ΣΥΝΘΕΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗΣ

Με τη διαστασιολόγηση που δόθηκε παραπάνω στο σύστημα αντλησιοταμίευσης και ακολουθώντας την περιγραφείσα υπολογιστική διαδικασία, κατασκευάζουμε νέα γραφήματα σύνθεσης παραγωγής για τις ίδιες χρονικές περιόδους με αυτές των σχημάτων 3.3 και 3.5.

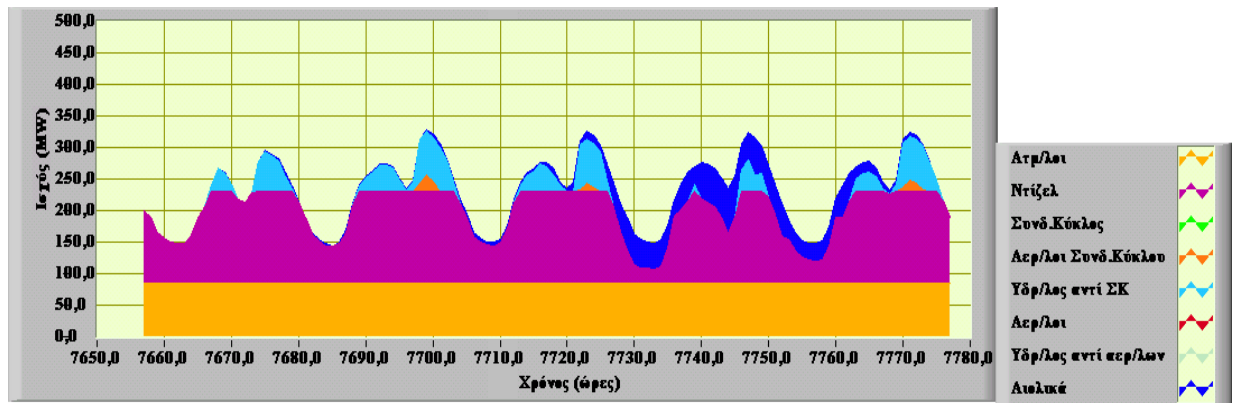
Στο σχήμα 5.1 παρουσιάζεται η σύνθεση παραγωγής με σύστημα αντλησιοταμίευσης για τη χρονική περίοδο από 15/08/2003 έως 20/08/2003 την αντίστοιχη με αυτή του σχήματος 3.3. Μια και είμαστε σε περίοδο καλοκαιριού, η ένταξη των αεριοστροβίλων είναι σημαντική. Όταν η αρχική ισχύς λειτουργίας τους ξεπερνά την ονομαστική ισχύ των υδροστροβίλων, προφανώς δε μπορεί να αντικατασταθεί όλη.

Επίσης η λειτουργία του συνδυασμένου κύκλου στο σχήμα 5.1 είναι σημαντική. Την εποχή του καλοκαιριού ο συνδυασμένος κύκλος έχει επιλεγεί να λειτουργεί κανονικά, ωστόσο η ισχύς λειτουργίας του εμφανίζεται περιορισμένη όπου υπάρχει περίσσια ισχύος υδροστροβίλων, μετά την αντικατάσταση ισχύος των αεριοστροβίλων.

Στο σχήμα 5.2 παρουσιάζεται η σύνθεση παραγωγής με σύστημα αντλησιοταμίευσης για τη χρονική περίοδο από 15/11/2003 έως 20/11/2003 την ίδια με αυτή του σχήματος 3.5. η παραγωγή των αεριοστροβίλων είναι πολύ χαμηλή σε αυτή τη χρονική περίοδο και αντικαθίσταται ολόκληρη από υδροστροβίλους. Επίσης, κατά τη φθινοπωρινή περίοδο ο συνδυασμένος κύκλος έχει τεθεί ολοκληρωτικά εκτός λειτουργίας. Αντί αυτού στην παραγωγή εντάσσονται υδροστροβίλοι και όταν η ισχύς τους δεν επαρκεί, αεριοστροβίλοι. Στο σχήμα 5.2 φαίνεται καθαρά ότι η ενέργεια η οποία υποκαθιστούμε σβήνοντας εντελώς το συνδυασμένο κύκλο είναι αρκετή και, σε κάθε περίπτωση, πολύ μεγαλύτερη από την ενέργεια που καλούνται να παράγουν οι αεριοστροβίλοι όταν δεν επαρκεί η συνολική ισχύς των υδροστροβίλων. Το προφανές αποτέλεσμα είναι ότι με τους υδροστροβίλους και με αυτή τη μικρή χρήση των αεριοστροβίλων αντί του συνδυασμένου κύκλου, η μείωση του κόστους καυσίμου είναι σημαντική.

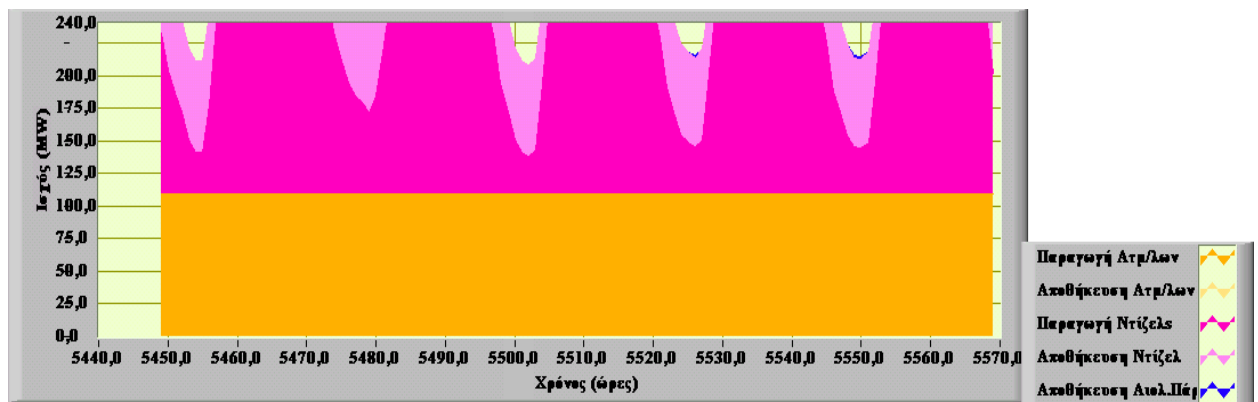


Σχήμα 5.1: Σύνθεση παραγωγής στη Κρήτη από 15-20 Αυγούστου του 2003, με σύστημα αντλησιοταμίευσης.

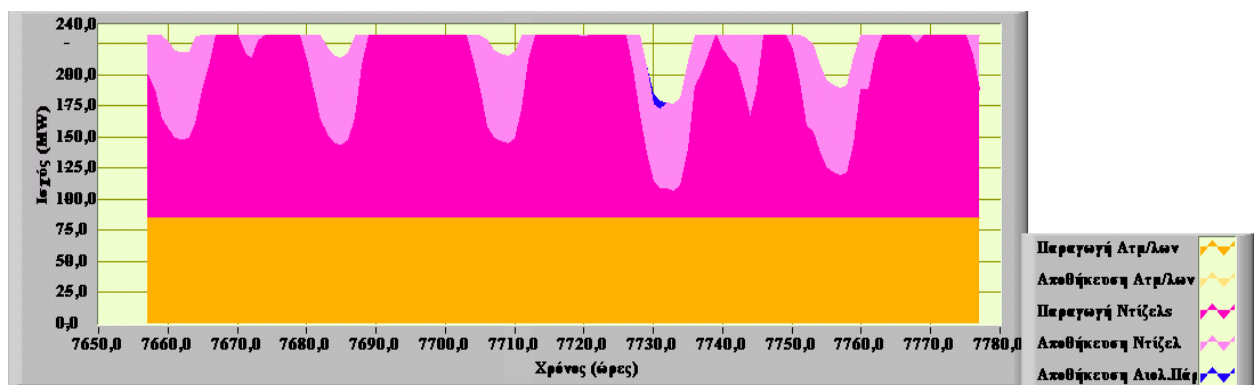


Σχήμα 5.2: Σύνθεση παραγωγής στη Κρήτη από 15-20 Νοεμβρίου του 2003, με σύστημα αντλησιοταμίευσης.

Στα σχήματα 5.3 και 5.4 παρουσιάζονται οι χρονοσειρές παραγωγής για κάλυψη της ζήτησης και αποθήκευσης ενέργειας μέσω αντλησιοταμίευσης από τις ομάδες μηχανών από τις οποίες προέρχεται η αποθηκευμένη ενέργεια στην άνω δεξαμενή, δηλαδή από τους αμοστρόβιλους, τις ντίζελ και τα αιολικά πάρκα. Τα σχήματα 5.3 και 5.4 αναφέρονται στις ίδιες με ανωτέρω χρονικές περιόδους.



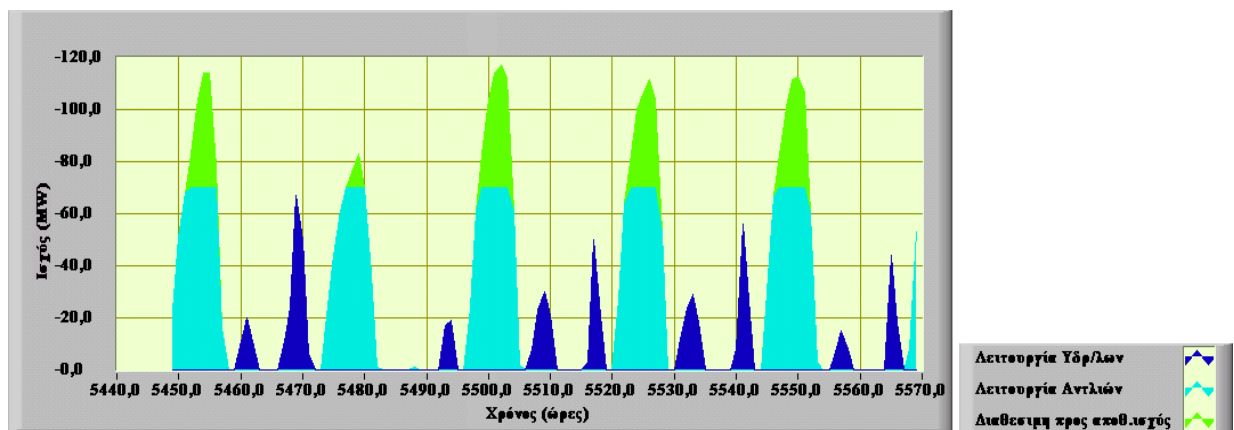
Σχήμα 5.3: Προέλευση αποθήκευσης ενέργειας στην άνω δεξαμενή από 15-20 Αυγούστου του 2003.



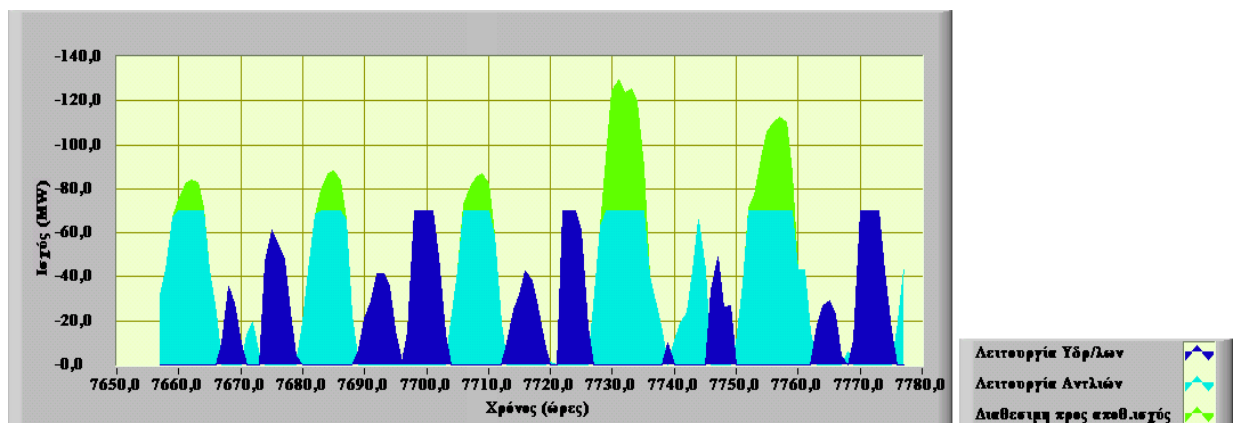
Σχήμα 5.4: Προέλευση αποθήκευσης ενέργειας στην άνω δεξαμενή από 15-20 Νοεμβρίου του 2003.

Όπως φαίνεται από τα σχήματα 5.3 και 5.4, η αποθήκευση ενέργειας στην άνω δεξαμενή του συστήματος αντλησιοταμίευσης προέρχεται κυρίως από τις μηχανές ντίζελ. Τούτο οφείλεται στο ότι, αφενός οι ατμοστρόβιλοι δουλεύουν σχεδόν πάντα πολύ κοντά στην ονομαστική τους ισχύ, αφετέρου η απόρριψη της αιολικής ισχύς είναι πολύ μικρή. Επιπλέον σε καμιά από τις δύο περιόδους δεν αποθηκεύεται όλη η διατιθέμενη προς αποθήκευση ενέργεια, λόγω μη επάρκειας της συνολικής ονομαστικής ισχύος των αντλιών.

Τέλος στα σχήματα 5.5 και 5.6 παρουσιάζονται οι χρονοσειρές λειτουργίας υδροστροβίλων και αντλιών, καθώς και η διαθέσιμη προς αποθήκευση ενέργεια. Από τα σχήματα αυτά διαφαίνεται ο μη ταυτοχρονισμός της λειτουργίας αντλιών και υδροστροβίλων, κάτι που δε τέθηκε πουθενά μέσα στον αλγόριθμο υπολογισμού ως περιορισμός, αντιθέτως προέκυψε από την όλη δομή της υπολογιστικής διαδικασίας που έχει περιγραφεί στην προηγούμενη ενότητα, επαληθεύοντας έτσι την ορθότητα των υπολογισμών. Επίσης στα σχήματα αυτά φαίνονται οι διαθέσιμες προς αποθήκευση ποσότητες ενέργειας που χάνονται λόγω μη επάρκειας ισχύος των αντλιών. Οι ποσότητες αυτές θα μπορούσαν να εκμεταλλευτούν με χρήση αντλιών μεγαλύτερης ισχύος, γεγονός όμως το οποίο αυξάνει το κόστος της επένδυσης.



Σχήμα 5.5: Διάγραμμα λειτουργίας υδροστροβίλων, αντλιών και διαθέσιμης προς αποθήκευση ενέργειας από 15-20 Αυγούστου του 2003.



Σχήμα 5.6: Διάγραμμα λειτουργίας υδροστροβίλων, αντλιών και διαθέσιμης προς αποθήκευση ενέργειας από 15-20 Νοεμβρίου του 2003

5.2 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΚΟΣΤΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ-ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΕΣ

Υπολογίζονται εκ νέου οι καταναλώσεις και τα κόστη καυσίμων, καθώς και οι ενεργειακές παραγωγές των διαφόρων ομάδων μηχανών, όπως διαμορφώνονται μετά την εισαγωγή του συστήματος αντλησιοταμίευσης. Στον πίνακα 18 παρουσιάζονται οι καταναλώσεις και τα κόστη καυσίμων, ενώ στον 19 παρουσιάζονται το συνολικό κόστος καυσίμου και το συνολικό ειδικό κόστος καυσίμου (συμπεριλαμβανομένου και του κόστους αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας παραγόμενης από τα αιολικά πάρκα).

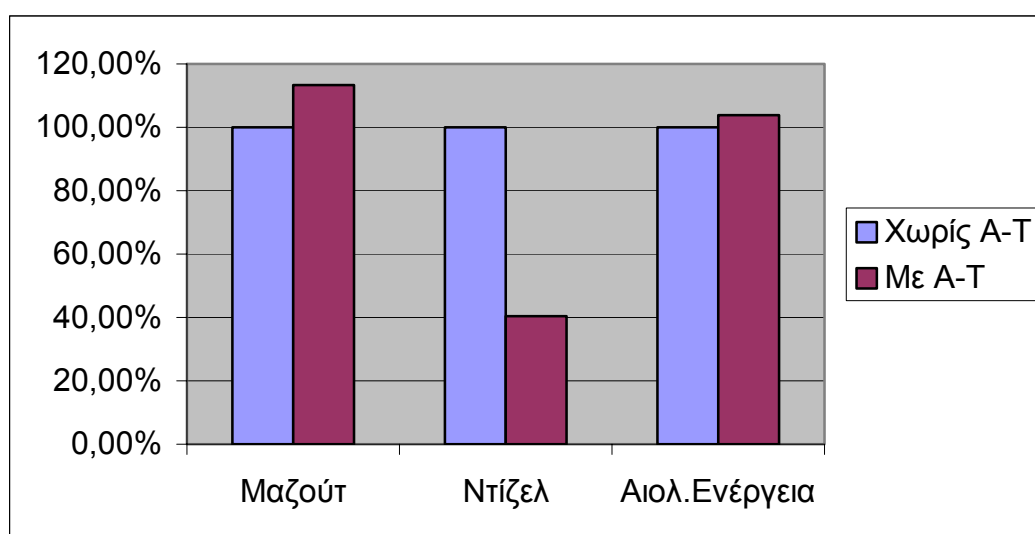
	Μαζούτ (tn)	Ντίζελ (klt)	Αιολ. Ενέργεια (MWh)
Κατανάλωση	449.935,662	45.562,095	358.111,656
Κόστος (Μ€)	78,275307	18,165152	28,391092

Πίνακας 18: Καταναλώσεις και κόστη καυσίμων για τη λειτουργία του συστήματος παραγωγής με χρήση αντλησιοταμίευσης..

Συνολικό κόστος καυσίμου (Μ€)	127,321441
Ειδικό συνολικό κόστος καυσίμου (€/kWh)	0,050862

Πίνακας 19: Συνολικό ετήσιο κόστος και συνολικό ετήσιο ειδικό κόστος καυσίμου για σύστημα παραγωγής με χρήση αντλησιοταμίευσης.

Στο σχήμα 5.7 παρουσιάζονται οι ποσοστιαίες μεταβολές των καταναλώσεων καυσίμων και αιολικής ενέργειας, οι οποίες ταυτίζονται με τις αντίστοιχες ποσοστιαίες μεταβολές για τα κόστη αυτών των πηγών ενέργειας, χωρίς και με τη χρήση αντλησιοταμίευσης. Οι ποσοστιαίες μεταβολές του σχήματος έχουν προκύψει με βάση τα στοιχεία των πινάκων 15 και 18.

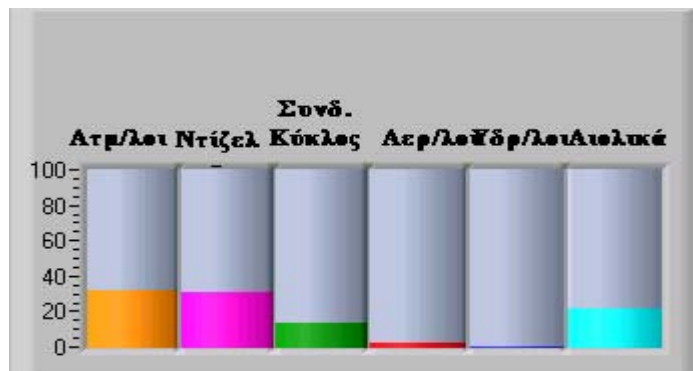


Σχήμα 5.7: Μεταβολές στην κατανάλωση καυσίμου ,με και χωρίς, τη χρήση συστήματος αντλησιοταμίευσης.

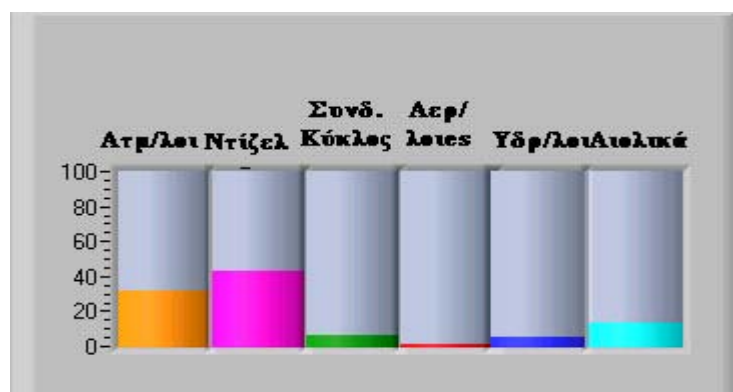
Στο σχήμα 5.7 φαίνεται ότι με μία σχετικά μικρή αύξηση της κατανάλωσης μαζούτ και αιολικής ισχύος, επιτυγχάνεται μεγάλη μείωση στη χρήση καυσίμου ντίζελ. Τούτο μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι μεγάλο ποσοστό από τη λειτουργία του συνδυασμένου κύκλου αντιστοιχεί σε αναγκαστική λειτουργία, λόγω του γεγονότος ότι δε μπορεί να σβήσει, η οποία δεν αντιστοιχεί σε κάλυψη ενεργειακής ζήτησης.

Συγκρίνοντας τις τιμές των πινάκων 16 και 19 προκύπτει ότι το κόστος κατανάλωσης καυσίμου με τη χρήση αντλησιοταμίευσης αντιστοιχεί στο 90,05 % της αντίστοιχης τιμής χωρίς τη χρήση αντλησιοταμίευσης, επιτυγχάνεται δηλαδή μείωση στο κόστος κατανάλωσης καυσίμου κατά **9,95 %**. Η ετήσια εξοικονόμηση χρημάτων ανέρχεται σε **14,071368 Μ€**.

Στα σχήματα 5.8 και 5.9 παρουσιάζονται οι ποσοστιαίες συνεισφορές των διαφόρων ομάδων μηχανών στην κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης και στη διαμόρφωση του συνολικού κόστους. Αν συγκριθούν τα σχήματα αυτά με τα αντίστοιχα σχήματα 4.4 και 4.5 γίνεται προφανής η μείωση της λειτουργίας του συνδυασμένου κύκλου, η αύξηση της λειτουργίας των μηχανών ντίζελ, ενώ οι αεριοστρόβιλοι και οι ατμοστρόβιλοι διατηρούνται σχεδόν στα ίδια επίπεδα. Νέα επίσης στοιχεία είναι η εισαγωγή των υδροστροβίλων και η μικρή αύξηση της παραγωγής των αιολικών.



Σχήμα 5.8 : Διάγραμμα ποσοστιαίας συνεισφοράς των διαφόρων ομάδων μηχανών στη διαμόρφωση του συνολικού ετήσιου κόστους καυσίμου με χρήση αντλησιοταμίευσης.



Σχήμα 5.9 : Διάγραμμα ποσοστιαίας συνεισφοράς των διαφόρων ομάδων μηχανών στην ενεργειακή κάλυψη με χρήση αντλησιοταμίευσης.

Τέλος η απόρριψη αιολικής ισχύος με τη χρήση αντλησιοταμίευσης μηδενίζεται.

5.3 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΝΩ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ

Για κάθε χρονικό βήμα υπολογισμού υπολογίζεται η ισχύς με την οποία αποθηκεύεται ενέργεια στην άνω δεξαμενή ή η ισχύς με την οποία αφαιρείται ενέργεια από αυτήν. Οι ισχείς αυτές μετατρέπονται σε ενέργεια και εν συνεχεία σε όγκο εργαζόμενου μέσου, βάσει των στοιχείων.

$$\square P_p = \rho g Q_p H_p / n_p \Leftrightarrow Q_p = n_p P_p / \rho g H_p \Leftrightarrow Q_{pt} = n_p P_{pt} / \rho g H_p \Leftrightarrow V_p = n_p E_p / \rho g H_p$$

$$\square P_T = n_T \rho g Q_T H_T \Leftrightarrow Q_T = P_T / n_T \rho g H_T \Leftrightarrow Q_{Tt} = P_{Tt} / n_T \rho g H_T \Leftrightarrow V_T = E_T / n_T \rho g H_T$$

Όπου:

n_p : ο συνολικός μέσος βαθμός απόδοσης άντλησης.

n_T : ο συνολικός μέσος βαθμός απόδοσης παραγωγής ενέργειας από τους υδροστροβίλους.

ρ : η πυκνότητα του νερού.

g : η επιτάχυνση της βαρύτητας

Q_p : η παροχή λειτουργίας των αντλιών.

Q_T : η παροχή λειτουργίας των υδροστροβίλων.

$H_T = H - \delta h_{FT}$: το συνολικό ύψος υδατόπτωσης συμπεριλαμβανομένων και των απωλειών των σωληνώσεων κατά την παραγωγή από τον υδροστρόβιλο.

$H_p = H + \delta h_{FP}$: το συνολικό ύψος υδατόπτωσης συμπεριλαμβανομένων και των απωλειών των σωληνώσεων κατά τη λειτουργία των αντλιών.

δh_{FT} : γραμμικές απώλειες ροής κατά την παραγωγή των υδροστροβίλων.

δh_{FP} : γραμμικές απώλειες ροής κατά την άντληση.

t : το χρονικό βήμα εκτέλεσης των υπολογισμών (μία ώρα).

E_p : η συνολική ενέργεια που προσδίδεται για αποθήκευση στις αντλίες στο χρονικό βήμα του προβλήματος.

E_T : η συνολική ενέργεια που παράγεται από τους υδροστροβίλους στο χρονικό βήμα του προβλήματος.

V_p : ο συνολικός όγκος νερού που αποθηκεύεται στην άνω δεξαμενή ανά χρονικό βήμα.

V_T : ο συνολικός όγκος νερού που δαπανάται από την άνω δεξαμενή ανά χρονικό βήμα.

Οι γραμμικές απώλειες ροής, άντλησης και παραγωγής προκύπτουν από τις σχέσεις:

$$\delta h_{FT} = \lambda L 8 Q_T^2 / d^5 g \pi^2 \quad \& \quad \delta h_{FP} = \lambda L 8 Q_P^2 / d^5 g \pi^2$$

όπου:

L: το μήκος των σωληνώσεων.

d: η διάμετρος των σωληνώσεων.

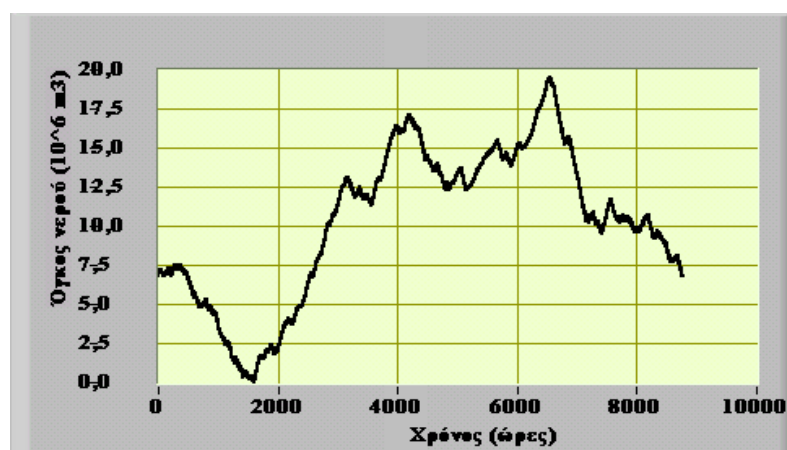
λ : ο αδιάστατος συντελεστής γραμμικών απωλειών, που δίνεται από τη σχέση του Nikuradse για υδραυλικά τραχύ σωλήνα και τυρβώδη ροή:

$$1/\sqrt{\lambda} = 2 \log(1/\varepsilon_s) + 1,14$$

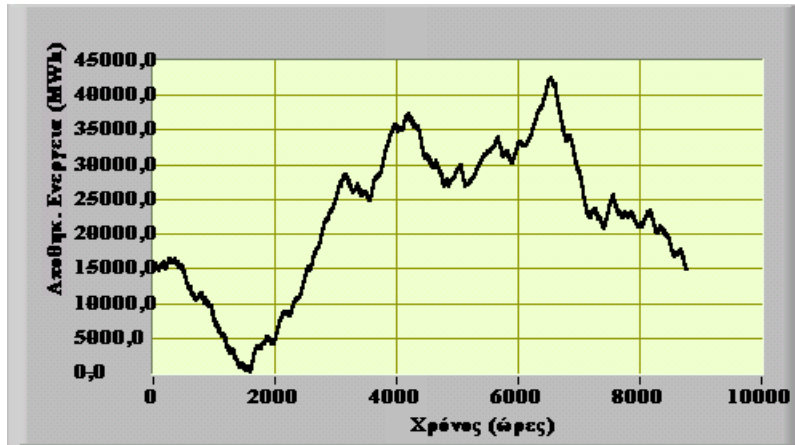
όπου ε_s η απόλυτη τραχύτητα των αγωγών, που όπως αναφέρεται ανωτέρω έχει ληφθεί ίση με 0,10 mm για χαλύβδινο συγκολλητό σωλήνα.

Υπολογίζοντας σε κάθε χρονικό βήμα τον όγκο νερού που αφαιρείται από την ή προστίθεται στην άνω δεξαμενή, και αθροίζοντας τον όγκο νερού που έχει ήδη μείνει στην άνω δεξαμενή από τα προηγούμενα χρονικά βήματα, τελικά παίρνουμε το διάγραμμα του σχήματος 5.10, στο οποίο παρουσιάζεται η χρονική διακύμανση του αποθηκευμένου όγκου νερού στην άνω δεξαμενή του αντλησιοταμιευτήρα.

Η μέγιστη τιμή του σχήματος 5.10 είναι $19,49 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Η τιμή αυτή προφανώς εξαρτάται από τη χρονική διακύμανση ανάμεσα στην παραγωγή και στην άντληση μέσω του συστήματος αντλησιοταμίευσης. Ωστόσο, μπορεί να θεωρηθεί ενδεικτική για την τάξη μεγέθους του απαιτούμενου όγκου της άνω δεξαμενής, προκειμένου να λειτουργήσει το σύστημα χωρίς περιορισμούς χωρητικότητας.



Σχήμα 5.10 : Χρονική διακύμανση αποθηκευμένου όγκου νερού στην άνω δεξαμενή του αντλησιοταμιευτήρα.



Σχήμα 5.11 : Χρονική διακύμανση αποθηκευμένης ενέργειας στην άνω δεξαμενή του αντλησιοσταμιευτήρα.

6. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Έγινε προσπάθεια να αξιολογηθεί το αρχικό κόστος και το κόστος λειτουργίας του προτεινόμενου έργου, βάσει έρευνας αγοράς και βιβλιογραφικών αναφορών, προκειμένου να εξαχθούν ολοκληρωμένα συμπεράσματα αξιολόγησης. Για τα υδροηλεκτρικά έργα, οποιαδήποτε εκτίμηση αρχικού κόστους λειτουργίας δε μπορεί παρά να έχει προσεγγιστικό χαρακτήρα. Οι συνιστώσες στις οποίες αναλύθηκε το αρχικό κόστος παρουσιάζονται στον πίνακα 20.

Για την εκτίμηση του αρχικού κόστους με βάση την ανάλυση του πίνακα 20, υιοθετήθηκαν οι τιμές του πίνακα 17 για τα βασικά ονομαστικά μεγέθη του συστήματος αντλησιοταμίευσης. Επίσης το μήκος εκσκαφής για την τοποθέτηση των σωληνώσεων, θεωρήθηκε ίσο με το 75 % του συνολικού μήκους των σωληνώσεων.

Η χωρητικότητα της άνω δεξαμενής του συστήματος θεωρήθηκε ίση με $19,50 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, βάσει του σχήματος 5.10.

Για την κάτω δεξαμενή του συστήματος μελετήθηκαν δύο σενάρια:

- Ύπαρξη κάτω δεξαμενής με χωρητικότητα $25,50 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
- χρήση θαλασσινού νερού απευθείας από τη θάλασσα αντί της κατασκευής κάτω δεξαμενής.

Τέλος, τα μήκη κατασκευής νέων δρόμων και νέου δικτύου σύνδεσης με το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, θεωρήθηκαν ίσα με 10 km έκαστο.

Περιγραφή συνιστώσας		Κόστος
Υδρ/λοι & γεννήτριες (€/MW)		500.000,00
Αντλίες & κινητήρες (€/MW)		400.000,00
Μετασχηματιστής (€/MW)		20.000,00
Σωληνώσεις	Κόστος υλικού (€/kg)	0,60
	Κόστος εκσκαφής (€/m ³)	5,00
	Κόστος εγκατάστασης	15% του κοστ.υλικού
Δεξαμενές (€/m ³)		2,00
Νέοι δρόμοι (€/km)		30.000,00
Σύνδεση με το δίκτυο (€/km)		40.000,00
Αγορά γης (€)		200.000,00
Οικίσκος εξοπλισμού (€)		100.000,00
Δευτερέων Η-Μ εξοπλισμός (€)		500.000,00
Μονάδα ελέγχου (€)		500.000,00
Μελέτες και επίβλεψη (€)		500.000,00
Διάφορα (€)		300.000,00

Πίνακας 20: Ανάλυση αρχικού κόστους συστήματος αντλησιοταμίευσης.

Τελικά, τα αρχικά κόστη και τα ειδικά αρχικά κόστη, με βάση τις ανωτέρω παραδοχές, παρουσιάζονται στον πίνακα 21.

	Με κάτω δεξαμενή	Με χρήση θάλασσας
Αρχικό κόστος (Μ€)	178,772308	128,102319
Ειδικό αρχικό κόστος (€/kWh)	2.553,89	1.830,03

Πίνακας 21: Αρχικά κόστη και ειδικά αρχικά κόστη.

Για την κάλυψη του αρχικού κόστους υιοθετήθηκε το χρηματοδοτικό σχήμα σύμφωνα με τους ισχύοντες αναπτυξιακούς νόμους:

- Ίδια συμμετοχή 40%
- Δάνεια: 20%, με αποπληρωμή σε 10 έτη και επιτόκιο 5,5%
- Επιχορήγηση 40%

Το ετήσιο κόστος λειτουργίας του συστήματος, αναλύθηκε στις ακόλουθες συνιστώσες:

- Τέλη Ο.Τ.Α 2 % επί των ακαθάριστων εσόδων
- Συντήρηση 200.000,00 €
- Ετήσια πληρωμή δανείων
- Μισθοδοσία 50.000,00 €
- Ασφάλιση 50.000,00 €
- Διάφορα κόστη 35.000,00 €
- Σταθερή μέθοδος απόσβεσης αρχικών κεφαλαίων
- Φορολογία 35% επί των καθαρών εσόδων

Τέλος ως διάρκεια ζωής της επένδυσης θεωρήθηκε ο χρόνος των 20 ετών, ενώ το προεξοφλητικό επιτόκιο λήφθηκε ίσο με 6 %.

Με βάση τα ανωτέρω στοιχεία και αν θεωρηθεί ότι το ετήσιο ακαθάριστο έσοδο της επένδυσης είναι η μείωση του ετήσιου κόστους καυσίμου, ίση με 14,071368 Μ€, υπολογίζονται:

	Με κάτω δεξαμενή	Με χρήση θάλασσας
Χρόνος απόσβεσης (έτη)	10,38	5,22
Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (%)	9,96	19,84
Εδικό κόστος παραγωγής (€/kWh)	0,054538	0,054080

Πίνακας 22: Οικονομικοί δείκτες επένδυσης.

7. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εργασία αυτή καταδεικνύει τη δυνατότητα υλοποίησης συστημάτων αντλησιοταμίευσης για εξοικονόμηση καυσίμου από το σύστημα παραγωγής στη Κρήτη.

Εξετάζει τη μέγιστη δυνατότητα αντικατάστασης παραγωγής ακριβών μονάδων με παραγωγή από φτηνές στο σύστημα της Κρήτης. Αυτό συνεπάγεται μεγάλους απαιτούμενους όγκους δεξαμενών, που αυξάνουν πολύ το αρχικό κόστος επένδυσης. Η εισαγωγή ενός μέγιστου επιτρεπτού όγκου άνω δεξαμενής, αναμένεται να ρίξει αισθητά το αρχικό κόστος της επένδυσης, χωρίς να περιορίσει σημαντικά τη δυνατότητα του συστήματος αντλησιοταμίευσης. Τούτο γίνεται αντιληπτό από το σχήμα 5.10. Η μείωση της αιχμής του αποθηκευμένου όγκου νερού στην άνω δεξαμενή, ακόμα και πολύ κάτω από τα $20 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, δε θα μειώσει σημαντικά το συνολικό όγκο νερού που θα αποθηκευθεί καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Η εκπόνηση επαναληπτικής διαδικασίας με σκοπό την εύρεση των βέλτιστων τιμών για τις ονομαστικές ισχύς αντλιών και υδροστροβίλων αναμένεται να κάνει ακόμα περισσότερο ελκυστική την προτεινόμενη επένδυση. Κριτήριο βελτιστοποίησης αναμένεται να είναι το ειδικό κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Συγκεκριμένα

Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής μπορούν να συνοψισθούν ως εξής:

Το φυσικό περιβάλλον της Κρήτης είναι κατάλληλο για την ανάπτυξη τόσο αιολικών πάρκων όσο και συστημάτων αντλησιοταμίευσης, τα οποία είναι έργα τεχνητά εφικτά που παρέχουν χαμηλό τεχνικό ρίσκο στο φυσικό και τεχνικό περιβάλλον της Κρήτης

Το νομοθετικό πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης μαζί με το ελληνικό χρηματοδοτικό πλαίσιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η εξοικονόμηση και η ορθολογική χρήση ενέργειας δημιουργούν ένα πεδίο δράσης για την ανάπτυξη του εξεταζόμενου υβριδικού συστήματος ενέργειας.

Τα αιολικά πάρκα εμπεριέχουν χαμηλό ρίσκο, αποτελούν δε βιώσιμες και κερδοφόρες επενδύσεις στο ισχύον νομοθετικό πλαίσιο και οικονομικό περιβάλλον

Η εγκατάσταση συστήματος αντλησιοταμίευσης μπορεί να θεωρηθεί σαν εισαγωγή μιας μονάδας φορτίου αιχμής, η οποία αντικαθιστά μέρος των υπαρχόντων συστημάτων συνδ. κύκλου και αεριοστροβίλων, καταναλώνοντας καύσιμο M3500 χαμηλού κόστους. Δηλαδή, η εγκατάσταση συστήματος αντλησιοταμίευσης θα αντικαταστήσει την καύση καυσίμου ντίζελ (συνδ κύκλου και αεριοστροβίλων) που κοστίζει περισσότερο από 0,065€/kWh με καύσιμο M3500 που κοστίζει περίπου 0,030€/kWh.

Το σύστημα αντλησιοταμίευσης μπορεί να εξοικονομήσει καύσιμο αυξάνοντας το βαθμό απόδοσης των μηχανών καύσης και να μειώσει το συνολικό κόστος παραγόμενης ενέργειας στην Κρήτη, με όλες τις γνωστές συνέπειες.

Ένα μικρό ποσοστό αιολικής ενέργειας μπορεί να αντικαταστήσει κατανάλωση συμβατικών καυσίμων εάν τα οικονομικά χαρακτηριστικά το επιτρέψουν.

Η τεχνολογία υλοποίηση συστημάτων αντλησιοταμίευσης, μπορεί να παρέχει τα κίνητρα για διάδοση τεχνολογίας και εμπλουτισμό της νομοθεσίας προκειμένου να καλυφθούν τα περί αντλησιοταμιευτήρων τεχνικά και νομικά θέματα. Για το σκοπό αυτό, τα οικονομικά χαρακτηριστικά επενδύσεων σε συστήματα αντλησιοταμίευσης πρέπει να εξεταστούν προσεκτικά, ενώ επίσης περιεκτικές μελέτες σκοπιμότητας θα πρέπει να υποστηρίξουν τις διαπραγματεύσεις του τιμοκαταλόγου της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Όλα τα παραπάνω μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

Ο συνδυασμός συστήματος αντλησιοταμίευσης με αιολικά πάρκα και τις συμβατικές μονάδες, είναι βιώσιμος και κερδοφόρος για το Ενεργειακό Σύστημα της Κρήτης, καθώς συνεπάγεται:

Εξοικονόμηση καυσίμου ντίζελ

Μείωση κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Διαθεσιμότητα ισχύος για τις αιχμές ζήτησης

Δυνατότητα μεγιστοποίησης της διείσδυσης των Αιολικών Πάρκων

Τα σημαντικότερα υδροηλεκτρικά συστήματα που υπάρχουν στην Ευρώπη είναι:



Cierny Vah

Τοποθεσία: Σλοβακία

Χειριστής: Slovenske
Elektrarny

Σχηματισμός: 6 X 112
MW FPT

Λειτουργία: 1982



Dluho Strane

Τοποθεσία: Τσεχία

Χειριστής : CEZ AS

Σχηματισμός: 2 X 350
MW FPT

Λειτουργία: 1996



Ronkhausen

Τοποθεσία: Γερμανία
Χειριστής: Mark-E AG
Σχηματισμός: 2 X 70
MW RPT
Λειτουργία: 1969



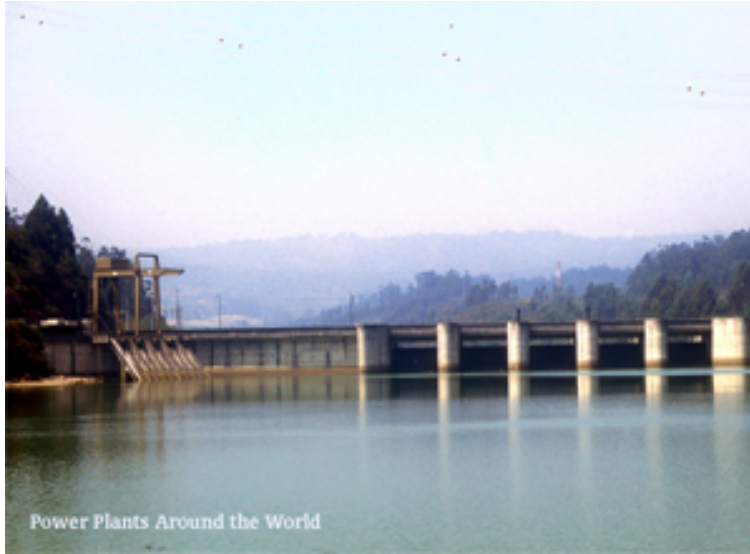
Cortes - La Muela

Τοποθεσία: Ισπανία
Χειριστής: Iberdrola
Σχηματισμός: 3 X 210
MW FPT (La Muela),
2 X 140 MW Francis
(Cortes)
Λειτουργία: 1988-1989



Goldisthal

Τοποθεσία: Γερμανία
Χειριστής: Vattenfall
Europe
Σχηματισμός: 4 X 265
MW FPT
Λειτουργία: 2003-2004



Torrao

Τοποθεσία:
Πορτογαλία
Χειριστής: EDP Group
Σχηματισμός: 2 X 73
MW FPT
Λειτουργία: 1988-1989



Vianden

Τοποθεσία:
Λουξεμβούργο
Χειριστής: SEO
Σχηματισμός: 9 X 100
MW, 1 X 200 MW FPT
Λειτουργία: 1964-1976



Dalesice

Τοποθεσία: Τσεχία
Χειριστής: CEZ AS
Σχηματισμός: 4 X 113
MW FPT
Λειτουργία: 1978



Kruonis

Τοποθεσία: Λιθουανία

Χειριστής: Lietuvos

Energija AB

Σχηματισμός: 4 X 225
MW FPT

Λειτουργία: 1992-1998



Turlough Hill

Τοποθεσία: Ιρλανδία

Χειριστής: Electricity Supply Board

Σχηματισμός: 4 X 73 MW FPT

Λειτουργία: 1973-1974

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1.Μπεργελές Γ «ΑΝΕΜΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ» εκδόσεις ΣΥΜΕΩΝ 1994
- 2.Παπαντώνης Δ «ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ-ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ» εκδόσεις ΣΥΜΕΩΝ 1995
- 3.Κορωνάκης Π «ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΡΕΥΣΤΩΝ» εκδόσεις ΙΩΝ 2001
4. Ζήσιμος – Δανιήλ Μαντάς, Πέτρος Θεοδωρόπουλος, Γεώργιος Μπέτζιος, Αρθούρος Ζερβός «ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗΣ ΓΙΑ ΜΕΓΙΣΤΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΤΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΣΕΡΙΦΟ»
- 5.Χρηστάκης Δ, Κατσαπρακάκης Δ «Η ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΕΣΑΙΩΝ ΚΑΙ ΜΕΓΑΛΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ»
6. Κατσαπρακάκης Δ, Χρηστάκη Δ, Κονταξάκης «ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗΣ ΣΤΟ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ»
7. Φραγκιαδάκης Ι «ΦΥΣΙΚΗ» ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ 2002
8. Φραγκιαδάκης Ι «ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ» ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ 2002
9. Καλδέλλης Κ Ι, Βλάχου Σ «ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΝΗΣΙΑ ΤΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ».
10. Χρηστακης Δ, Μηναδάκης Γ, Νικηφοράκης Μ, Φασουλάς Β «ΠΡΟΣ ΤΗΝ 100 % ΠΑΡΟΧΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΠΕ ΓΙΑ ΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΔΟΤΗΣΗ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ».