



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΡΕΥΣΤΩΝ**

**Ανάπτυξη Αλγορίθμου για Προσομοίωση και Βέλτιστο Σχεδιασμό
Αυτόνομου Συστήματος Αφαλάτωσης Τροφοδοτούμενο από
Υβριδικό Σύστημα Α.Π.Ε. με Αντλησιοταμίευση**



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΙΩΑΝΝΗΣ Δ. ΣΠΥΡΟΥ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Ι. ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ

ΑΘΗΝΑ 2009

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ABSTRACT	6
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο - ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
1.1 Γενικά στοιχεία για το νερό.....	9
1.2 Το παγκόσμιο πρόβλημα της λειψυδρίας.....	10
1.3 Η κατάσταση στην Ελλάδα	11
1.4 Μέθοδοι αντιμετώπισης λειψυδρίας.....	13
1.5 Ο ρόλος των Α.Π.Ε στο πρόβλημα της λειψυδρίας	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο – ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ	16
2.1 Εισαγωγή	16
2.1.1 Γενικά.....	16
2.1.2 Αρχές Λειτουργίας	17
2.2 Μέθοδοι αφαλάτωσης	18
2.2.1 Άμεση απόσταξη πολλαπλών βαθμίδων - MSF.....	19
2.2.2 Απόσταξη πολλαπλής επίδρασης – ME	20
2.2.3 Απόσταξη με συμπίεση ατμών - VC.....	21
2.2.4 Ηλιακή απόσταξη - SD	22
2.2.5 Ηλεκτροδιάλυση - ED.....	23
2.2.6 Αντίστροφης ώσμωσης - RO	24
2.2.6.1 Αρχή λειτουργίας.....	24
2.2.6.2 Συστήματα ανάκτησης ενέργειας	25
2.3 Παράμετροι επιλογής μεθόδου αφαλάτωσης	28
2.3.1 Γενικά.....	28
2.3.2 Ενεργειακές απαιτήσεις – Πηγή ενεργειακής τροφοδοσίας μονάδας.....	29
2.3.3 Κόστος εξοπλισμού - Κόστος παραγωγής πόσιμου νερού	30

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο - ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	32
3.1 Εισαγωγή	32
3.2 Αιολική Ενέργεια.....	33
3.2.1 Άνεμος.....	33
3.2.2 Άνεμογεννήτριες	34
3.2.2.1 Γενικά στοιχεία.....	34
3.2.2.2 Χαρακτηριστικά Άνεμογεννητριών.....	35
3.2.2.3 Παραγωγή Ενέργειας.....	37
3.3 Ηλιακή Ενέργεια.....	40
3.3.1 Εισαγωγή.....	40
3.3.2 Φωτοβολταϊκά.....	41
3.3.2.1 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο.....	41
3.3.2.2 Τα φωτοβολταϊκά συστήματα	42
3.3.2.3 Παραγωγή ενέργειας.....	43
3.4 Υβριδικά συστήματα	45
3.5 Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας	47
3.5.1 Γενικά.....	47
3.5.2 Σύστημα αντλησιοταμίευσης	47
3.5.2.1 Εισαγωγή	47
3.5.2.2 Αντλίες.....	49
3.5.2.3 Αντλητική εγκατάσταση.....	53
3.5.2.4 Υδροστρόβιλος	56
3.5.2.5 Υδροηλεκτρικό έργο.....	59
3.5.2.6 Λειτουργία συστήματος αντλησιοταμίευσης	62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο - ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΚΑΙ Α.Π.Ε.	64
4.1 Εισαγωγή	64
4.2 Παρουσίαση μελετών/εφαρμογών συστημάτων ΑΠΕ – αφαλάτωσης RO.....	66
4.2.1 Εισαγωγή.....	66
4.2.2 Παρουσίαση μελετών.....	66
4.2.3 Παρουσίαση εφαρμογών.....	73
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ & ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	75
5.1 Το προτεινόμενο από την εργασία σύστημα	75
5.2 Η φιλοσοφία διαχείρισης της ενέργειας του συστήματος	78
5.3 Περιγραφή του υπολογιστικού κώδικα	79
5.3.1 Γενικά στοιχεία	79
5.3.2 Λογικό Διάγραμμα	81
5.3.3 Δεδομένα Εισόδου	83

Περιεχόμενα

5.3.3.1	Τεχνικά δεδομένα	83
5.3.3.2	Οικονομικά δεδομένα	90
5.3.4	Φιλοσοφία λειτουργίας συστήματος	92
5.3.5	Αποτελέσματα – Δείκτες αξιολόγησης	102
5.3.5.1	Τεχνικά μεγέθη	102
5.3.5.2	Οικονομικά μεγέθη	108
5.3.6	Στόχοι προσομοίωσης	112

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ..... 114

6.1	Εισαγωγή	114
6.2	Παρουσίαση προσομοίωσης.....	115
6.2.1	Τιμές παραμέτρων αναφοράς και δεδομένων εισόδου	115
6.2.2	Διαγράμματα λειτουργίας του υβριδικού συστήματος	117
6.2.2.1	Ετήσια διαγράμματα λειτουργίας.....	117
6.2.2.2	Μηνιαία διαγράμματα λειτουργίας.....	122
6.2.2.3	Εβδομαδιαία διαγράμματα λειτουργίας.....	129
6.2.2.4	Ημερήσια διαγράμματα λειτουργίας	135
6.2.3	Τιμές αθροιστικών μεγεθών και δεικτών αξιολόγησης	141
6.3	Παραμετρική ανάλυση	145
6.3.1	Χωρητικότητα άνω ταμιευτήρα	146
6.3.2	Εγκατεστημένη ισχύς υδροστροβίλου	147
6.3.3	Χωρητικότητα δεξαμενής πόσιμου νερού.....	148
6.3.4	Εγκατεστημένη ισχύς αφαλάτωσης.....	149
6.3.5	Εγκατεστημένη ισχύς ανεμογεννητριών	150
6.3.6	Εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών	151
6.3.7	Εγκατεστημένη ισχύς αντλιών	152
6.3.8	Μόνιμος πληθυσμός νησιού.....	153
6.3.9	Τιμή πώλησης μονάδας όγκου πόσιμου νερού	154
6.3.10	Σχολιασμός παραμετρικών διαγραμμάτων	155

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο – ΒΕΛΤΙΣΤΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ..... 159

7.1	Εισαγωγή	159
7.2	Θεωρητικά στοιχεία για τη βελτιστοποίηση	160
7.2.1	Εισαγωγή.....	160
7.2.2	Εξελικτικοί αλγόριθμοι βελτιστοποίησης.....	160
7.2.3	Πρόγραμμα βελτιστοποίησης «EASY»	162
7.3	Παρουσίαση αποτελεσμάτων βελτιστοποίησης	165
7.3.1	Βελτιστοποίηση ενός στόχου	165
7.3.1.1	Βελτιστοποίηση για μεσαίων αναγκών νησί (2.500 μόνιμοι κάτοικοι)	167

Περιεχόμενα

7.3.1.2 Βελτιστοποίηση για υψηλών αναγκών νησί (15.000 μόνιμοι κάτοικοι).....	175
7.3.1.3 Συμπεράσματα βελτιστοποίησης απλού στόχου	180
7.3.2 Βελτιστοποίηση διπλού στόχου	181
7.3.2.1 Βελτιστοποίηση για νησί μεσαίων αναγκών (2.500 μόνιμοι κάτοικοι)	183
7.3.2.2 Βελτιστοποίηση για νησί υψηλών αναγκών (15.000 μόνιμοι κάτοικοι).....	188
7.3.2.3 Συμπεράσματα βελτιστοποίησης διπλού στόχου	192
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο - ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ.....	194
8.1 Σύνοψη εργασίας.....	194
8.2 Συμπεράσματα εργασίας	195
8.3 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	198
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	199
A. Υπολογιστικός κώδικας.....	199
B. Λίστα συμβόλων κώδικα και έκθεσης.....	214
Γ. Πρόσκληση για υποβολή προτάσεων για αντιμετώπιση της λειψυδρίας στα νησιά του Αιγαίου από το Υπουργείο Εμπ. Ναυτιλίας, Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής	219
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	233

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας αποτελεί η ενεργειακή προσομοίωση και η τεχνοοικονομική βελτιστοποίηση αυτόνομου υβριδικού συστήματος αφαλάτωσης. Το υπό μελέτη σύστημα συνίσταται από μια μονάδα αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης, η οποία τροφοδοτείται αποκλειστικά από υβριδικό σύστημα τεχνολογιών εκμετάλλευσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το υβριδικό αυτό σύστημα αποτελείται από ανεμογεννήτριες και συστοιχίες φωτοβολταϊκών, καθώς και από διάταξη αντλησιοταμίευσης που λειτουργεί ως μέσο αποθήκευσης ενέργειας. Βασικό μέρος της εργασίας αποτέλεσε η προσομοίωση του πλήρους συστήματος. Για το σκοπό αυτό, αναπτύχθηκε υπολογιστικός κώδικας, ο οποίος με χρονικό βήμα προσομοίωσης τη μία ώρα και έχοντας ως δεδομένα εισόδου χρονοσειρές μετεωρολογικών δεδομένων, είναι σε θέση προσομοιώσει τη λειτουργία συστήματος συγκεκριμένης διαστασιολόγησης για το χρονικό διάστημα ενός έτους. Επίσης, εξάγει τις τιμές διάφορων υπολογιζόμενων τεχνοοικονομικών μεγεθών, βάσει των οποίων αξιολογείται το συγκεκριμένο σύστημα. Από τη προσομοίωση του συστήματος, καταλήγουμε σε γενικά συμπεράσματα σχετικά με την επίδραση των υποσυστημάτων του τόσο στη λειτουργία και την απόδοση του όσο και στη μεταξύ τους συνεργασία. Στη συνέχεια, θέλοντας να αποφανθούμε για τους βέλτιστους συνδυασμούς σχεδιαστικών παραμέτρων του συστήματος (π.χ. εγκατεστημένη ισχύς ανεμογεννητριών, εγκατεστημένη ισχύς μονάδας αφαλάτωσης, χωρητικότητα δεξαμενής πόσιμου νερού) και κάνοντας χρήση κατάλληλου λογισμικού, βελτιστοποιούμε το σύστημα ως προς συγκεκριμένους στόχους-δείκτες αξιολόγησης, όπως το κόστος παραγωγής πόσιμου νερού και το ποσοστό ικανοποίησης των ετήσιων αναγκών σε πόσιμο νερό. Έτσι, προκύπτουν συγκεκριμένα βέλτιστα συστήματα, για δύο ενδεικτικά νησιά του Αιγαίου, μεσαίου και μεγάλου μεγέθους, με ανάλογες ανάγκες. Τέλος, εξετάζεται αν και υπό ποιες προϋποθέσεις η εφαρμογή ενός τέτοιου συστήματος αποτελεί μια, λειτουργικά και οικονομικά, βιώσιμη λύση για τις περιοχές που πλήττονται από λειψυδρία.

ABSTRACT

Subject of this diploma thesis is the energy simulation and techno-economic optimization of a stand-alone hybrid desalination system. The considered system consists of a reverse osmosis desalination unit, which is powered exclusively by hybrid technologies of renewable energy sources. The hybrid system consists of photovoltaic arrays and wind turbines, and has a pumped-storage subsystem as a means of energy storage. The basic aim of the present work was the numerical simulation of the whole system. To this end, a calculating code is developed which using time step of an hour and having as input time series of meteorological data, is able to simulate the operation of the system with any specific dimensioning for a period of one year. In addition, the calculating code has the ability to export the values of various techno-economic quantities, under which the specific system is being evaluated. From the simulation of the system, we arrived at general conclusions about the effect of its subsystems not only in the operation and the performance of the system but also in their cooperation and independence. Then, in order to decide about the best combinations of the system design parameters (e.g. installed wind turbines power, installed desalination unit power, potable water tank capacity) and using appropriate optimization software, the system is being optimized to specific objectives-evaluation indicators, as the production cost of drinking water and the degree of satisfaction of annual demands for potable water. Two different systems are specifically optimized for two indicative islands of medium and high level needs. Finally, it is considered whether and under what conditions the implementation of such a system is functionally and economically viable solution for areas affected by drought.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το εκτεταμένο πρόβλημα λειψυδρίας που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια στη νησιωτική Ελλάδα καθώς και η ανάγκη σε παγκόσμιο επίπεδο για ανεξάρτηση από την ηλεκτροπαραγωγή μέσω συμβατικών μέσων, λόγω των περιβαλλοντικών επιπτώσεων τους, αποτέλεσαν την αιτία για τον καθορισμό του θέματος της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Προσδοκώντας στην ικανοποίηση και των δύο παραπάνω απαιτήσεων, θεωρήθηκε ενδιαφέρον να προταθεί ένα σύστημα που αποτελείται από μια μονάδα αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης, η οποία τροφοδοτείται αποκλειστικά από ένα υβριδικό σύστημα τεχνολογιών εκμετάλλευσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το υβριδικό αυτό σύστημα παροχής ενέργειας, συνιστούν συστοιχίες ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών, καθώς και σύστημα αποθήκευσης ενέργειας.

Μέχρι σήμερα πλήθος μελετών έχουν προτείνει τέτοιου είδους συστήματα. Παρ' όλα αυτά η πλειοψηφία αυτών, έχει περιοριστεί στη χρήση μπαταριών ως σύστημα αποθήκευσης ενέργειας. Κρίθηκε, λοιπόν, καινοτόμο για τα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας να συμπεριληφθεί σύστημα αντλησιοταμίευσης, στο υβριδικό σύστημα αφαλάτωσης, ως μέσο αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες και τα φωτοβολταϊκά. Επίσης, το σύστημα αντλησιοταμίευσης θα είναι σε θέση να καλύπτει τις προκύπτουσες ενεργειακές απαιτήσεις της αφαλάτωσης, σε χρονικές περιόδους όπου επικρατεί άπνοια και νέφωση.

Έχοντας ως στόχο την τεχνοοικονομική αξιολόγηση του προτεινόμενου υβριδικού συστήματος αφαλάτωσης, αναπτύχθηκε υπολογιστικός κώδικας ο οποίος προσομοιώνει ενεργειακά το αυτόνομο αυτό σύστημα, με χρονικό βήμα μίας ώρας. Έτσι, δίνεται η δυνατότητα όχι μόνο να προκύψουν κάποια συγκεντρωτικά αποτελέσματα που βοηθούν στην αξιολόγηση του συστήματος αλλά και να παρακολουθηθεί η αλληλεπίδραση των υποσυστημάτων κατά τη διάρκεια ενός έτους. Μάλιστα, προκειμένου να αποκτηθεί μια άποψη για τη λειτουργία των υποσυστημάτων, παρουσιάζεται η προσομοίωση ενός, τυχαίων τιμών παραμέτρων, συστήματος για ένα άνυδρο νησί του Αιγαίου, την Αμοργό.

Βέβαια, λόγω του ότι το προτεινόμενο σύστημα συνίσταται από υποσυστήματα που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, κρίθηκε αναγκαίο να βελτιστοποιηθεί, αφού χωρίς τη βελτιστοποίηση του συστήματος δεν θα μπορούσαμε να είχαμε εποπτεία για τις βέλτιστες δυνατότητες του, αλλά και να αποφανθούμε τελικά αν το υβριδικό αυτό σύστημα αποτελεί ανταγωνίσιμη, λειτουργικά και οικονομικά, λύση για τα νησιά του Αιγαίου. Έτσι, μελετάται η βελτιστοποίηση του συστήματος για δύο νησιά, την Αμοργό και την Κάλυμνο, για τα οποία προκύπτουν οι βέλτιστες λύσεις και συμπεραίνεται αν είναι ελκυστική η εφαρμογή του συστήματος σε αυτά τα νησιά. Συγχρόνως, τα αποτελέσματα που προκύπτουν μας οδηγούν σε κάποια γενικά συμπεράσματα σχετικά με την εφαρμογή του υβριδικού συστήματος αφαλάτωσης

Πρόλογος

σε περιοχές, όπως είναι τα νησιά του Αιγαίου, αλλά και την αλληλεπίδραση των διαφορετικών τεχνολογιών του συστήματος.

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να ευχαριστήσω κάποιους ανθρώπους που διαδραμάτισαν σημαντικό ρόλο στην περάτωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας:

- Τον κ. Ιωάννη Αναγνωστόπουλο, επίκουρο καθηγητή του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π. και επιβλέπων αυτής της εργασίας, για τη πρόταση του θέματος της εργασίας, αλλά πρωτίστως, για την άρτια συνεργασία, την καθοδήγηση και την υποστήριξη που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της προετοιμασίας της.
- Τον κ. Δημήτριο Παπαντώνη, καθηγητή του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π., για τη συνδρομή του στον καθορισμό του θέματος της εργασίας, αλλά και για τις συμβουλές του σχετικά με τη διπλωματική μου εργασία κατά το χρονικό διάστημα μέχρι την υλοποίησή της.
- Τον κ. Κυριάκο Γιαννάκογλου, αναπληρωτή καθηγητή του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π., για την παροχή άδειας χρήσης του λογισμικού βελτιστοποίησης «EASY», προϊόντος της ερευνητικής ομάδας του εργαστηρίου Θερμικών Στροβιλομηχανών, που ο ίδιος διευθύνει.
- Τον κ. Δημήτριο Μανωλάκο, Μηχανολόγο Μηχανικό και μέλος του Εργαστηρίου Γεωργικής Μηχανολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, για την φιλοξενία και την ξενάγηση στο χώρο που μελετώνται πειραματικά παρόμοια συστήματα με το προτεινόμενο από την παρούσα διπλωματική εργασία σύστημα, καθώς και για το χρόνο που διέθεσε για να με συμβουλευτεί και να με καθοδηγήσει σε διάφορα θέματα που αφορούν τη μελέτη τέτοιου είδους συστημάτων.
- Την οικογένεια μου, για την υποστήριξη που μου παρέχουν σε κάθε μου απόφαση και βήμα.
- Τους φίλους, που με στήριξαν στα ιδιαίτερα, από κάθε άποψη, δύο τελευταία έτη των σπουδών μου.

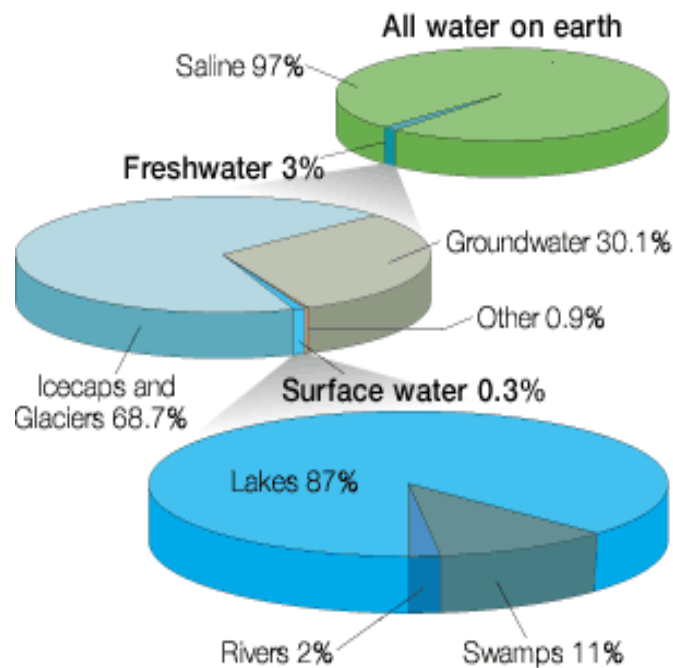
Ελπίζω, η διπλωματική αυτή εργασία να μπορέσει να συμβάλει, όσο είναι δυνατόν, στην έρευνα για την ανάπτυξη υβριδικών συστημάτων αποτελούμενων από τεχνολογίες εκμετάλλευσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Γιάννης Σπύρου
jspyrou@gmail.com

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά στοιχεία για το νερό

Αναμφίβολα, το νερό αποτελεί το πιο βασικό συστατικό της ζωής του πλανήτη, αλλά και την κινητήρια δύναμη για την ανθρώπινη εξέλιξη. Όμως, το γλυκό νερό αποτελεί μόλις το 3% του συνολικού υδάτινου αποθέματος, από το οποίο το 30,1% είναι τα υπόγεια ύδατα και μόνο το 0,3% βρίσκεται στην επιφάνεια της γης (Σχήμα 1.1).



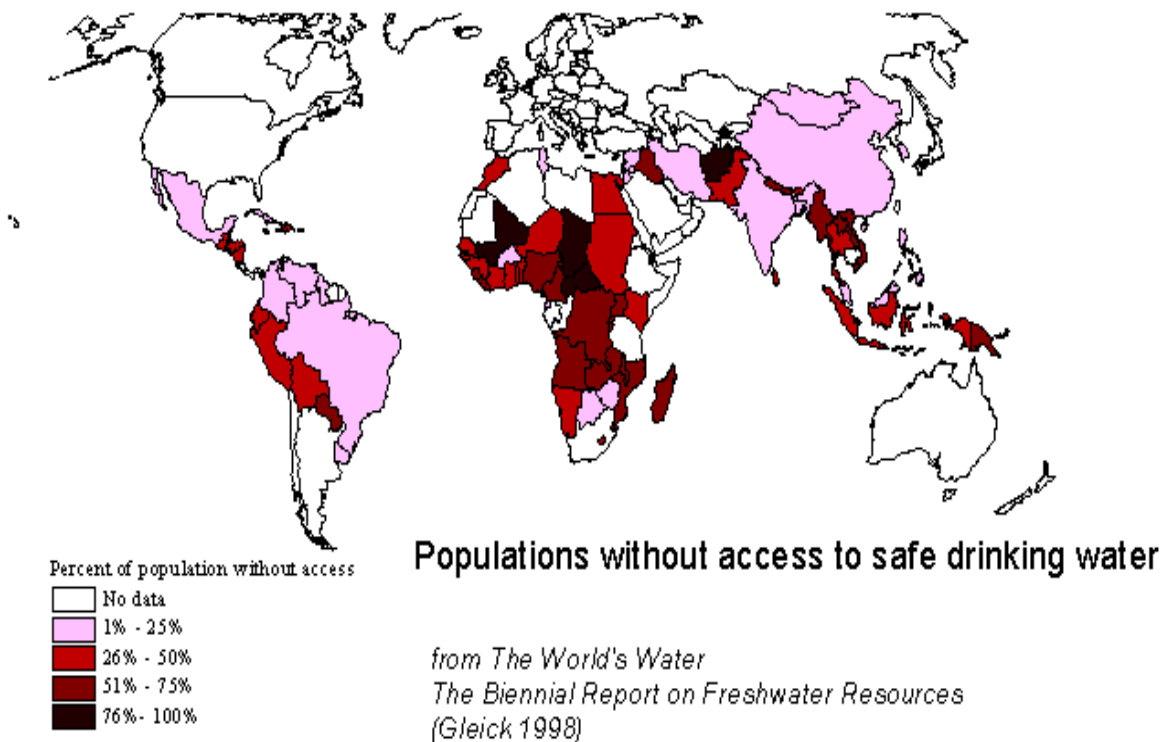
Σχήμα 1.1 Διασπορά υδάτινων πόρων της γης

Τα υπόγεια και τα επιφανειακά ύδατα, λοιπόν, αποτελούν την μέχρι σήμερα την πρώτη επιλογή για παροχή πόσιμου νερού. Τις τελευταίες δεκαετίες, όμως, παρατηρείται μια διαρκής μείωση των αποθεμάτων αυτών, η οποία έχει αντίκτυπο στην ζωή εκατομμυρίων ανθρώπων στον πλανήτη.

1.2 Το παγκόσμιο πρόβλημα της λειψυδρίας

Η διαθεσιμότητα του πόσιμου νερού δεν επαρκεί για να καλύψει τις ανάγκες της σύγχρονης εποχής και διαρκώς μειώνεται. Κυριότερες αιτίες αυτής της κατάστασης είναι:

- Η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού της γης
- Η μετανάστευση μεγάλου μέρους του πληθυσμού στις αστικές περιοχές
- Η μαζική κατανάλωση
- Η κατάχρηση των φυσικών πόρων
- Η μόλυνση του νερού



Σχήμα 1.2 Πληθυσμοί χωρίς πρόσβαση σε πόσιμο νερό

Για αυτό το λόγο, το νερό αποτελεί στρατηγικής σημασίας αγαθό σε όλη την υφήλιο και αιτία για πολλές πολιτικές διενέξεις. Πολλοί έχουν προβλέψει ότι το καθαρό νερό θα γίνει το πετρέλαιο του μέλλοντος καθιστώντας χώρες με πλεονάζοντα αποθέματα νερού τις πιο πλούσιες χώρες του πλανήτη. Σύμφωνα με την έρευνα της UNESCO που πραγματοποιήθηκε το 2003 για τα παγκόσμια αποθέματα νερού, στα επόμενα 20 χρόνια η ποσότητα του νερού που αναλογεί στον καθένα προβλέπεται να μειωθεί κατά 30%. Ακόμα, το 40% από τους ανθρώπους που ζουν στη γη δεν έχουν επαρκές νερό ακόμα και για υποτυπώδη υγιεινή (Σχήμα 1.2). Περισσότεροι από 2,2 εκατομμύρια άνθρωποι πέθαναν το 2000 από ασθένειες που σχετίζονται

με την κατανάλωση μολυσμένου νερού ή με ξηρασία. Το 2004, σε μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τη φιλανθρωπική οργάνωση WaterAid αναφέρεται ότι στη Βρετανία ένα παιδί πεθαίνει κάθε 15 δευτερόλεπτα από ασθένειες που σχετίζονται με το νερό.

Συνοπτικά, κάποιες επιπτώσεις της έντονης λειψυδρίας στον πληθυσμό είναι:

- Αύξηση ασθενειών και θανάτων
- Μείωση παραγωγής αγαθών
- Μείωση βιοποικιλότητας
- Διατάραξη της λειτουργίας του οικοσυστήματος
- Μετανάστευση πληθυσμών
- Ερημοποίηση περιοχών
- Φτώχεια

Όπως είναι αντιληπτό, η διαχείριση του προβλήματος αποτελεί πολύ υψηλής σημασίας θέμα για την ανθρωπότητα και θα πρέπει να αντιμετωπιστεί καταλλήλως για την αποφυγή μη αντιστρεπτών καταστάσεων.

1.3 Η κατάσταση στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα, αν και ακόμα το πρόβλημα δεν είναι ίδιου μεγέθους με άλλες περιοχές του πλανήτη, οι ενδείξεις δείχνουν ότι είναι πολύ πιθανό στο άμεσο μέλλον να αντιμετωπίσουμε σοβαρό πρόβλημα λειψυδρίας. Αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στην άσκοπη χρήση αλλά και στην επαναλαμβανόμενη τα τελευταία χρόνια μείωση των βροχοπτώσεων.

Βέβαια, ήδη, πολλά νησιά της χώρας μας ή είναι άνυδρα ή αντιμετωπίζουν περιόδους λειψυδρίας ιδιαίτερα την καλοκαιρινή περίοδο που έχουμε αύξηση της ζήτησης. Αποτελέσματα αυτής της κατάστασης είναι η ύφεση της εξέλιξης της ζωής σε αυτά τα νησιά, η μείωση του μόνιμου πληθυσμού τους, αλλά και η μείωση του τουρισμού που επηρεάζει όχι μόνο την οικονομία των νησιών αλλά και ολόκληρης της χώρας.

Περίπου σε 20 νησιά των Κυκλάδων και της Δωδεκανήσου αναμένεται αύξηση των ελλειμμάτων νερού από 25-40% στα επόμενα χρόνια, ενώ συνολικά παρά τη μεταφορά περίπου 6.000.000 m³ την τελευταία οκταετία, το πρόβλημα οξύνεται αφού συνολικά το ετήσιο υδατικό έλλειμμα στις Κυκλάδες (σε 20 χρόνια) υπολογίζεται γύρω στα 1.300.000 m³ και στα Δωδεκάνησα 1.600.000 m³ εφόσον δεν υπάρξει μέριμνα για μείωση του ελλείμματος με κατασκευή έργων ή λήψη διαχειριστικών μέτρων.

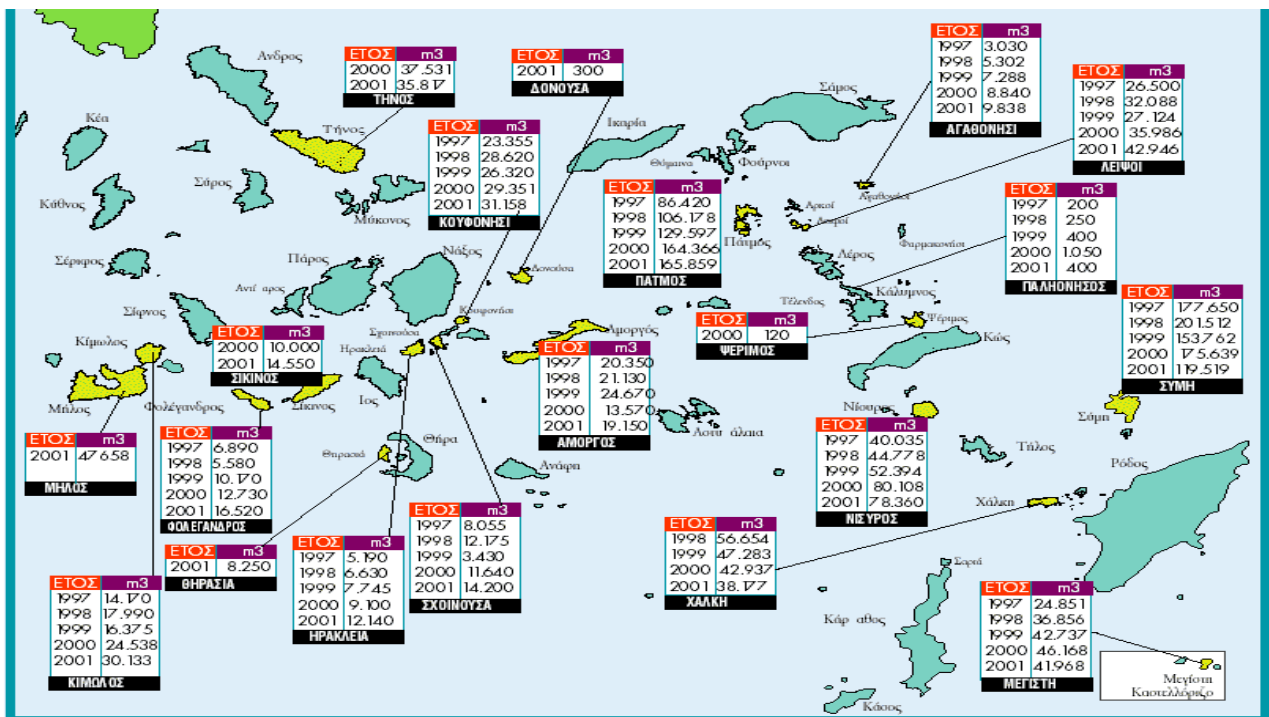
Προς το παρόν, το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με μεταφορά νερού με δεξαμενόπλοια από την ηπειρωτική Ελλάδα ή από γειτονικά νησιά όπου υπάρχουν υδάτινα αποθέματα (Ρόδος). Η αλήθεια είναι ότι αυτή η λύση δεν είναι καθόλου συμφέρουσα αφού το κόστος της μεταφοράς είναι αρκετά υψηλό. Συγκεκριμένα, το 2007, σύμφωνα με τη σύμβαση μεταξύ του υπουργείου

Αιγαίου και των εταιρειών, το κόστος ήταν 7,9 €/m³ για τις Κυκλάδες, ενώ για τα Δωδεκάνησα 5,08 €/m³.

ΕΤΟΣ	Ν.Α. ΚΥΚΛΑΔΩΝ			Ν.Α. ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΟΥ			ΣΥΝΟΛΑ	
	Ποσότητες m ³	Δαπάνες € (με ΦΠΑ)	Δαπάνη (€/m ³)	Ποσότητες m ³	Δαπάνες € (με ΦΠΑ)	Δαπάνη (€/m ³)	Ποσότητες m ³	Δαπάνες €
1997	86.525	311.078	3,60	402.295	933.802	2,32	488.820	1.244.881
1998	91.050	650.755	7,15	484.994	1.312.419	2,71	576.044	1.963.174
1999	87.760	672.712	7,67	461.855	1.407.916	3,05	549.615	2.080.628
2000	145.570	1.158.370	7,96	555.212	2.004.234	3,61	700.782	3.162.604
2001	203.792	1.625.093	7,97	621.297	2.722.540	4,38	825.089	4.347.633
2002	329.343	2.561.278	7 78	617.745	3.109.358	5,03	947.088	5.670.637
2003	336.777	2.772.718	8,23	605.019	3.214.680	5,31	941.796	5.987.398
2004	338.812	2.787.235	8,23	759.737	4.034.203	5,31	1.098.549	6.821.438
2005	464.562	4.006.916	8,63	969.676	5.082.935	5,24	1.434.238	9.089.852
2006	567.719	4.677.686	8,24	1.005.338	4.905.044	4,88	1.573.057	9.582.730
2007	697.117	5.802.509	8,32	1.101.628	5.403.900	4,91	1.798.745	11.206.409
ΣΥΝ.	3.349.027	27.026.353		7.584.796	34.131.036		10.933.823	61.157.390

Πίνακας 1.1 Πίνακας δαπανών και μεταφερόμενων ποσοτήτων νερού ανά έτος στις Ν.Α Κυκλάδες & στα Δωδεκάνησα

Από τα στατιστικά του υπουργείου Αιγαίου, παρατηρούμε ότι μέσα σε 10 χρόνια ο συνολικός όγκος μεταφερόμενου νερού τετραπλασιάστηκε ενώ οι δαπάνες του κράτους για τη μεταφορά του δεκαπλασιάστηκαν (Πίνακας 1.1). Όσον αφορά το κάθε νησί ξεχωριστά, το σχήμα 1.3, από το Υπουργείο Αιγαίου, είναι αντιπροσωπευτικό της διακύμανσης της μεταφοράς.



Σχήμα 1.3 Ποσότητες μεταφερόμενου νερού στα διάφορα νησιά

Η λύση, όμως, αυτή που έχει επιλεγθεί, δεν αποτελεί την βέλτιστη, αφού το μόνο που κατορθώνεται είναι να καλυφθεί η ζήτηση μόνο για μια συγκεκριμένη περίοδο, και με όχι οικονομικό τρόπο. Έτσι δεν δημιουργούνται οι υποδομές για επίλυση του προβλήματος σε βάθος χρόνου. Ως στόχος, λοιπόν, πρέπει να τεθεί η ανεύρεση μιας οικονομικά συμφέρουσας λύσης που θα καθιστά την μεταφορά νερού με υδροφόρες ως επιλογή ανάγκης και όχι ως επικρατούσα λύση του προβλήματος.

1.4 Μέθοδοι αντιμετώπισης λειψυδρίας

Όπως είναι κατανοητό, είναι αναγκαίο να παρθούν αποφάσεις από τοπικούς φορείς και περιβαλλοντικές οργανώσεις, προκειμένου να εξοικονομηθεί νερό και να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της λειψυδρίας. Οι προτεινόμενες λύσεις για τέτοιες περιπτώσεις είναι οι εξής:

- Κατασκευή λιμνοδεξαμενών και φραγμάτων.
- Κατασκευή μονάδων αφαλάτωσης.
- Βελτίωση των υποδομών με αντικατάσταση των πεπαλαιωμένων δικτύων για περιορισμό των απωλειών.
- Ενημέρωση καταναλωτών για ορθότερη χρήση του νερού.
- Κατασκευή παράλληλου δικτύου κατώτερης ποιότητας νερού για χρήσεις στις οποίες δεν απαιτείται άριστης ποιότητας νερό.
- Επεξεργασία των λυμάτων και ανακύκλωση του νερού εξόδου του βιολογικού καθαρισμού για δευτερεύουσες χρήσεις (πότισμα, καθαριότητα, οικοδομικές εργασίες, πλυντήρια αυτοκινήτων, χρήση στα λιμάνια κ.λπ.).
- Μεταφορά νερού με πλοία από το πλησιέστερο γειτονικό νησί που διαθέτει νερό, ως λύση ανάγκης σε περιπτώσεις που οι άλλες λύσεις δεν εφαρμόζονται.

Στην εργασία αυτή, από τις παραπάνω μεθόδους, θα ασχοληθούμε μόνο με την μελέτη μονάδων αφαλάτωσης. Μέχρι σήμερα, η κατασκευή νέων μονάδων αφαλάτωσης στα νησιά του Αιγαίου δεν ακολουθούσε το μέγεθος της ζήτησης. Στον πίνακα 1.2, δίνεται μια λίστα με τις εγκατεστημένες μονάδες αφαλάτωσης σε νησιά του Αιγαίου καθώς και κάποια σχετικά στοιχεία (δυνατή παραγωγή, έτος εγκατάστασης).

Νησί	Περιοχή	Δυνατή παραγωγή (m ³ /d)	Έτος εγκατάστασης
Σύρος	Άνω Σύρος	120	1993
		250	2000
		500	2002
	Ερμούπολη	800	1992
		800	1997
		250 (2 μονάδες)	2001
		800 (4 μονάδες)	2002

Νησί	Περιοχή	Δυνατή παραγωγή (m ³ /ημέρα)	Έτος εγκατάστασης
	Ποσειδωνία	750 (3 μονάδες)	2002
Τος	Μυλοπότας	1000	2001
Μύκονος	Κόρφος	1200 (2 μονάδες)	1989
		2250 (3 μονάδες)	2001
Πάρος	Νάουσα	1200	2002
Σίφνος	Καμάρες	500	2001
Τήνος	Τήνος	500	2001
Σαντορίνη	Οία	380	1995
		400	1994
		150	1998
Μεγίστη	Μεγίστη	50	1990
Νίσυρος	Νίσυρος	300	1991
		350	2002
Χίος	Ομηρούπολη	600	2000
Ιθάκη		500	1983
Μήλος		2600	2007
Ηρακλεία	Πλωτή μονάδα	70	2008

Πίνακας 1.2 Εγκατεστημένες μονάδες αφαλάτωσης στα νησιά του Αιγαίου και του Ιονίου

Στην παραπάνω λίστα θα πρέπει να προσθέσουμε, μονάδες αφαλάτωσης που είναι υπό κατασκευή στη Σχοινούσα και στη Μύκονο, και μονάδες, για τις οποίες δεν έχουμε στοιχεία, στα ακόλουθα νησιά: Κω, Σίφνο, Πάτμο, Σκιάθο, Σύμη, Καστελλόριζο, Αίγινα (Tzen,2001-Karagiannis,Soldatos, 2006).

Όμως, το 2008, προκηρύχθηκε πρόσκληση από το υπουργείο Εμπορικής Ναυτιλίας, Αιγαίου, και Νησιωτικής πολιτικής, προς κάθε ενδιαφερόμενο, για υποβολή προτάσεων αντιμετώπισης του προβλήματος της λειψυδρίας στα νησιά με μέγιστη τιμή πώλησης του νερού τα 2,5 €/ m³. Η πρόσκληση αυτή, δείχνει την πρόθεση της πολιτείας να λύσει μακροπρόθεσμα το πρόβλημα της λειψυδρίας και αποτελεί ελπίδα για το μέλλον των άνυδρων νησιών (Πίνακας 1.3). Μάλιστα, ήδη, βρίσκονται υπό μελέτη μονάδες αφαλάτωσης σε αρκετά νησιά του Αιγαίου.

Άνυδρα νησιά του Αιγαίου					
1	Αμοργός	8	Δονούσα	15	Σύμη
2	Κουφονήσι	9	Τήνος	16	Αγαθονήσι
3	Κίμωλος	10	Σίκινο	17	Λειψοί
4	Ηρακλεία	11	Θηρασιά	18	Μεγίστη
5	Σχοινούσα	12	Μήλος	19	Νίσυρος
6	Φολέγανδρος	13	Πάτμος	20	Χάλκη
7	Κάλυμνος	14	Ψέριμος		

Πίνακας 1.3 Τα άνυδρα νησιά του Αιγαίου

1.50 ρόλος των Α.Π.Ε στο πρόβλημα της λειψυδρίας

Το κόστος παραγωγής νερού από μια μονάδα αφαλάτωσης αποτελεί, ίσως, τον πιο σημαντικό παράγοντα στην απόφαση για την εγκατάσταση της. Έτσι, λαμβάνοντας υπ' όψη ότι αρκετά μεγάλο μέρος του κόστους παραγωγής νερού από μια μονάδα αφαλάτωσης διαμορφώνεται από τη «πηγή» ενέργειας η οποία την τροφοδοτεί, η επιλογή τρόπου ηλεκτροδότησης αποτελεί ένα επίσης σημαντικό θέμα προς μελέτη. Η πρώτη σκέψη για την εξυπηρέτηση της αφαλάτωσης είναι η σύνδεση της με μια συμβατική μονάδα ηλεκτροπαραγωγής, αν το νησί είναι διασυνδεδεμένο με το δίκτυο ή αυτόνομο. Όμως αυτή η λύση δεν αποτελεί την ενδεδειγμένη για τους εξής λόγους:

- Η πλειονότητα των νησιών που αντιμετωπίζουν πρόβλημα λειψυδρίας δεν είναι διασυνδεδεμένα ή έχουν εγκατεστημένες μονάδες ισχύος που δεν επαρκούν για τις ενεργειακές ανάγκες μιας μονάδας αφαλάτωσης.
- Τις τελευταίες δεκαετίες σε παγκόσμιο επίπεδο, κρίνεται επιτακτική η, όσο το δυνατό μεγαλύτερη, απεξάρτηση της ηλεκτροπαραγωγής από το πετρέλαιο και τον άνθρακα. Άλλωστε, όχι μόνο τα αποθέματα των πηγών αυτών έχουν αρχίσει και εξαντλούνται με αποτέλεσμα να αυξάνεται και το κόστος τους, αλλά και οι επιπτώσεις που έχουν στο περιβάλλον, οι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί που χρησιμοποιούν τέτοιου είδους καύσιμα, είναι δύσκολα αντιστρέψιμες και επηρεάζουν τη ζωή όλου του πλανήτη.

Έτσι, και ειδικά, όταν θέλουμε να καλύψουμε τις ενεργειακές ανάγκες μιας μικρής σχετικά και αποκεντρωμένης περιοχής (νησί), στρεφόμαστε προς την επιλογή ανανεώσιμων μορφών ενέργειας, ενός συνεχώς εξελισσόμενου κλάδου που αποτελεί το παρόν και το μέλλον στην ηλεκτροπαραγωγή. Την σκέψη αυτή ενισχύουν, τα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά της χώρας μας και πιο πολύ των νησιών, όπου οι πηγές ενέργειας (άνεμος, ηλιακή ακτινοβολία) είναι άφθονες και καθιστούν την εκμετάλλευσή τους ιδιαίτερα επικερδή σε πολλούς τομείς.

Τέλος, αναφέρουμε επιγραμματικά κάποια πλεονεκτήματα των Α.Π.Ε. (Ζερβός, 2007):

- Πρακτικά ανεξάντλητες πηγές
- Συμβάλλουν στην ενεργειακή αυτάρκεια της χώρας
- Απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα
- Χαμηλό λειτουργικό κόστος
- Σχετικά μικρή διάρκεια κατασκευής
- Δημιουργία θέσεων εργασίας
- Φιλικές προς το περιβάλλον

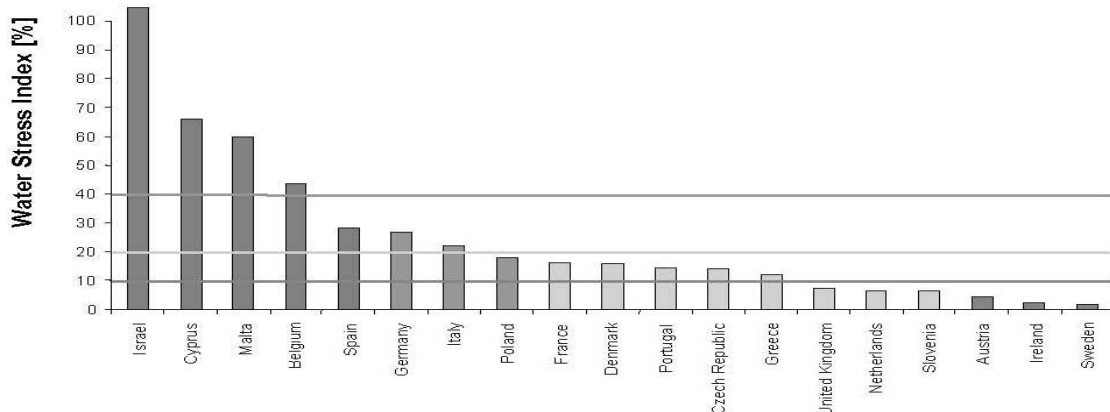
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο – ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ

2.1 Εισαγωγή

2.1.1 Γενικά

Αναμφίβολα, το συνεχώς διογκωμένο πρόβλημα της λειψυδρίας, οδηγεί σε αναζήτηση τρόπων αντιμετώπισης του. Όπως προαναφέραμε στο εισαγωγικό κεφάλαιο, η αφαλάτωση αποτελεί μια νέα τάση προς αυτή την κατεύθυνση και μια περιοχή που επιδέχεται περαιτέρω έρευνας.

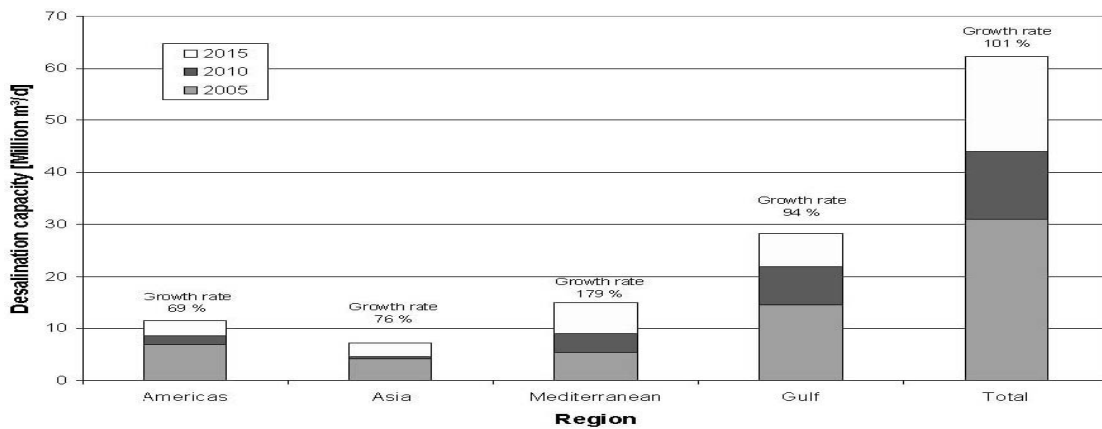
Η έλλειψη πόσιμου νερού, όχι μόνο σε άνυδρες περιοχές, ουσιαστικά είναι η διαφορά προσφοράς και ζήτησης (Σχήμα 2.1). Η μείωση των αποθεμάτων νερού οφείλεται στη ρύπανση και στην χωρίς μέτρο εκμετάλλευση των υπόγειων και επιφανειακών υδάτινων πόρων. Από την άλλη πλευρά, η αύξηση του πληθυσμού, ο νέος τρόπος ζωής που επιβάλλει μεγαλύτερη κατανάλωση αλλά και η αύξηση της βιομηχανικής και αγροτικής δραστηριότητας, είναι οι αιτίες για μεγαλύτερες ανάγκες σε νερό.



Σχήμα 2.1 Λόγος ζήτησης και προσφοράς πόσιμου νερού σε διάφορες χώρες

Παρόλο που οι άμεσα εκμεταλλεύσιμοι υδάτινοι πόροι ολοένα και δεν επαρκούν, υπάρχουν πηγές που βρίσκονται σε αφθονία αλλά πρέπει να επεξεργαστούν για να δοθούν για κατανάλωση. Δεν πρέπει, λοιπόν, να ξεχνάμε ότι το 97% των υδάτινων πόρων του πλανήτη είναι το θαλασσινό νερό. Ασφαλώς, το θαλασσινό νερό λόγω της σύστασης του είναι ακατάλληλο για κάθε είδους χρήση. Σε αυτό το σημείο, βασίζεται ουσιαστικά η ιδέα της αφαλάτωσης. Άλλωστε, ο στόχος της αφαλάτωσης είναι μέσω μιας σειράς διαδικασιών, αφαίρεση των αλάτων και μετάλλων από το θαλασσινό νερό, προκειμένου να είναι κατάλληλο για κατανάλωση. Πρέπει να πούμε ότι, μια μονάδα αφαλάτωσης μπορεί να επεξεργαστεί εκτός από θαλασσινό, υφάλμυρο νερό αλλά και επεξεργασμένα λύματα. Έτσι, η αφαλάτωση μπορεί να αποτελέσει μια εναλλακτική πηγή προσφοράς πόσιμου νερού, το οποίο ειδάλως θα έμενε ανεκμετάλλευτο, σε περιοχές που παρουσιάζεται πρόβλημα, για ιδιωτική, βιομηχανική και αγροτική χρήση. Στο

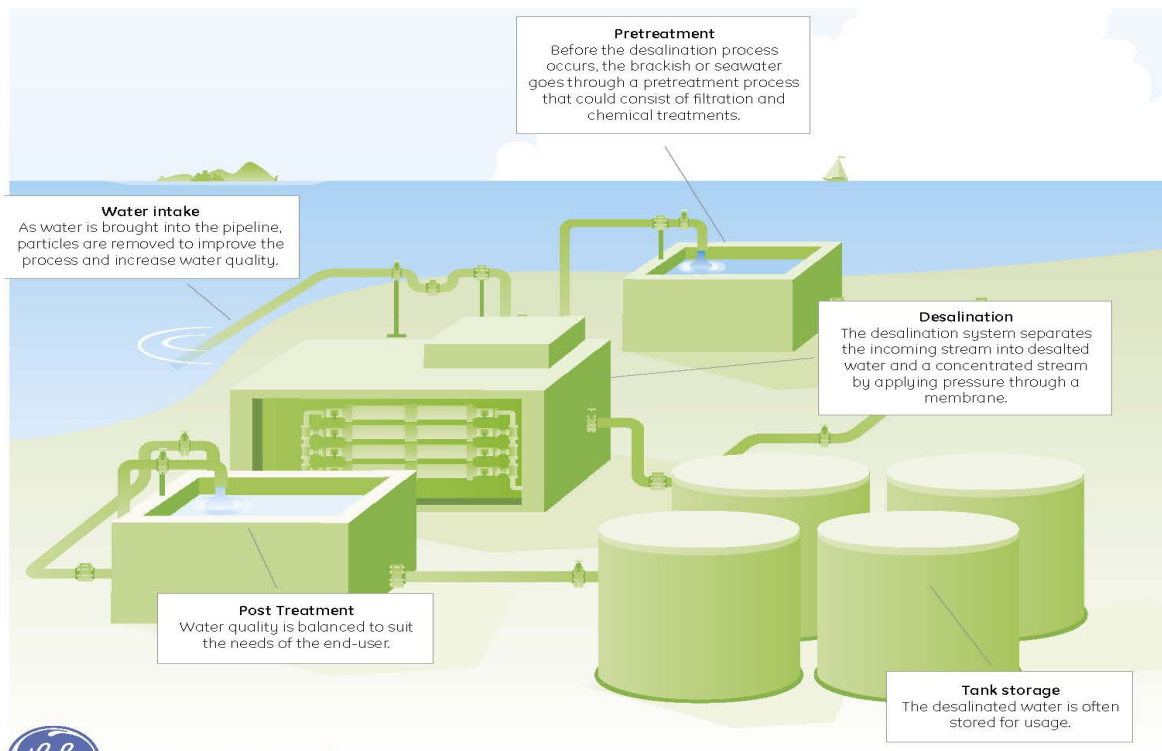
σχήμα 2.2 παρουσιάζεται το, μέχρι σήμερα, συνολικό μέγεθος των εγκατεστημένων μονάδων αφαλάτωσης καθώς και την προβλεπόμενη ανάπτυξη τα επόμενα χρόνια, σε διάφορες περιοχές της γης.



Σχήμα 2.2 Συνολικό μέγεθος εγκατεστημένων μονάδων και η προβλεπόμενη ανάπτυξη στο μέλλον

2.1.2 Αρχές Λειτουργίας

Αν και έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι αφαλάτωσης, οι οποίες θα αναλυθούν παρακάτω, η βασική διαδικασία και τα επί μέρους στάδια όλου του συστήματος παραμένουν ίδια. Σε αυτή την ενότητα, θα γίνει προσπάθεια να περιγραφεί ένα τυπικό σύστημα αφαλάτωσης (Σχήμα 2.3).



Σχήμα 2.3 Αναπαράσταση ενός συστήματος αφαλάτωσης

Αρχικά, λοιπόν, το θαλασσινό νερό συλλέγεται μέσω σωληνώσεων, ενώ συγχρόνως αφαιρούνται σωματίδια προκειμένου να έχει καλύτερη απόδοση η διαδικασία αλλά και να βελτιωθεί η ποιότητα του νερού (Water intake). Στη συνέχεια, το ρεύμα θαλασσινού νερού διέρχεται από μια διαδικασία, η οποία προηγείται της αφαλάτωσης, όπου φιλτράρεται ή και επεξεργάζεται χημικά αναλόγως τη μέθοδο αφαλάτωσης (Pretreatment). Το νερό μετά από αυτό το στάδιο είναι έτοιμο για να «περάσει» από το κύριο μέρος της εγκατάστασης (Desalination). Εδώ, το σύστημα αφαλάτωσης διαχωρίζει το ρεύμα εισόδου σε ένα ρεύμα με αφαλατωμένο νερό και σε ένα ρεύμα με συμπυκνωμένη άλμη.

Η μέθοδος με την οποία διαχωρίζεται το ρεύμα θαλασσινού νερού ποικίλει. Έχουν αναπτυχθεί αρκετές διεργασίες αφαλάτωσης, των οποίων στοιχεία θα αναλυθούν στην αντίστοιχη ενότητα. Αξίζει να αναφέρουμε επίσης, ότι η απόρριψη αυτής της άλμης στη θάλασσα, είναι πιθανόν να έχει επιπτώσεις στη θαλάσσια πανίδα. Συνεπώς η εκμετάλλευση της είναι αναγκαία (παραγωγή άλατος).

Επανερχόμενος στη διαδικασία, το αφαλατωμένο νερό επεξεργάζεται εκ νέου, για να ικανοποιηθούν κάποιες απαιτήσεις ποιότητας, προκειμένου να είναι κατάλληλο για χρήση (Post Treatment). Τέλος, πολλές φορές, το παραγόμενο νερό αποθηκεύεται σε δεξαμενές στην περίπτωση που η εκμετάλλευση του δεν απαιτείται να είναι άμεση (Water Storage).

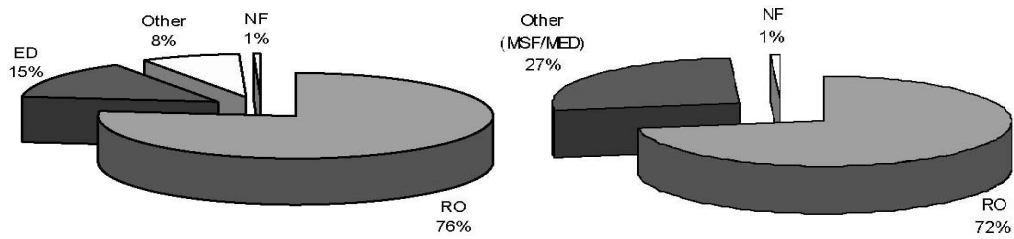
2.2 Μέθοδοι αφαλάτωσης

Τις τελευταίες δεκαετίες, λόγω και του αυξημένου ενδιαφέροντος, έχουν αναπτυχθεί αρκετές μέθοδοι αφαλάτωσης, άλλες σε θεωρητικό επίπεδο και άλλες εφαρμόσιμες στην πράξη. Στην παρούσα ενότητα θα παρουσιάσουμε τις μεθόδους που έχουν εφαρμοστεί και παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον.

Οι μέθοδοι αφαλάτωσης μπορούν να ταξινομηθούν, ανάλογα τον μηχανισμό διαχωρισμού, σε αυτές όπου το μέσο αλλάζει φάση εκμεταλλευόμενο κάποια πηγή θερμότητας και σε αυτές που μέσω μεμβρανών, ύστερα από επιβολή πίεσης, γίνεται ο διαχωρισμός του θαλασσινού νερού. Αναφέρουμε συνοπτικά τις μεθόδους αφαλάτωσης που χρησιμοποιούνται:

- **Αλλαγής φάσης (Phase-change processes)**
 - Άμεση απόσταξη πολλαπλών βαθμίδων (MSF)
 - Απόσταξη πολλαπλής επίδρασης (ME)
 - Απόσταξη με συμπίεση ατμών (VC)
 - Ηλιακή απόσταξη (Solar Distillation)
 - Πάγωμα
 - Ύγρανση/Αφύγρανση

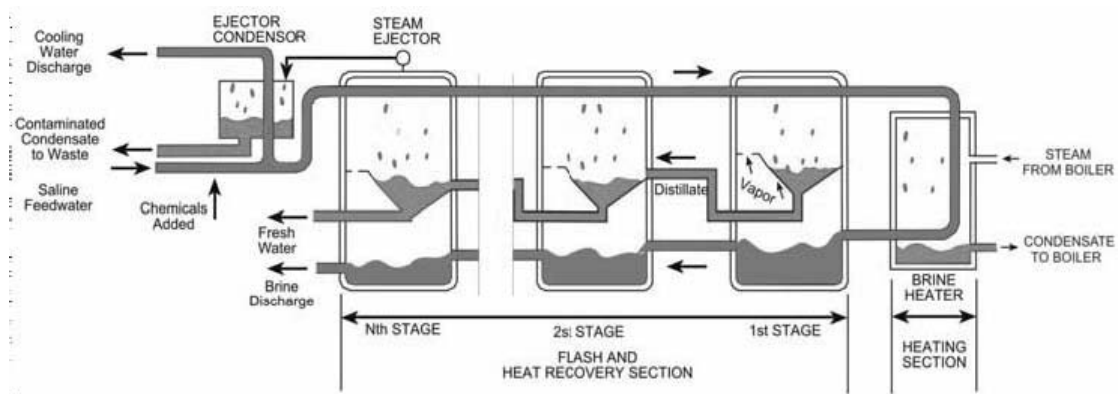
- **Διεργασίες Μεμβρανών (Membrane based desalination technologies)**
 - Αντίστροφη Ώσμωση (RO)
 - Ηλεκτροδιάλυση (ED)
 - Νανόφιλτρα (NF)



Σχήμα 2.4 Αγορά μεθόδων αφαλάτωσης υφάλμυρου (αριστερά) και θαλασσινού (δεξιά) νερού

Από τις παραπάνω μεθόδους, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.4, αυτές που κατέχουν το μεγαλύτερο μέρος της αγοράς της Ευρώπης για θαλασσινό νερό, είναι οι θερμικές MSF και MED καθώς και από τις διεργασίες μεμβρανών, η αντίστροφη ώσμωση (RO), ενώ για υφάλμυρο νερό, η αντίστροφη ώσμωση (RO) και η ηλεκτροδιάλυση (ED). Στις ενότητες που έπονται, δίνονται κάποια λειτουργικά στοιχεία για τις μεθόδους που έχουν αναπτυχθεί εμπορικά.

2.2.1 Άμεση απόσταξη πολλαπλών βαθμίδων - MSF



Σχήμα 2.5 Αρχή λειτουργίας μεθόδου MSF

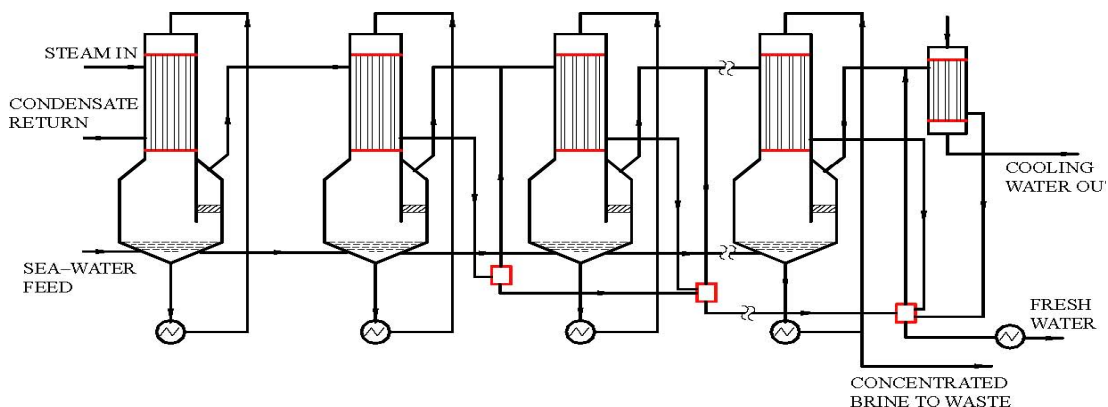
Η άμεση απόσταξη πολλαπλών βαθμίδων βασίζεται στη δημιουργία ατμού από το θαλασσινό νερό, η οποία οφείλεται σε μια απότομη μείωση της πίεσης όταν το ρεύμα του θαλασσινού νερού εισέρχεται σε έναν θάλαμο κενού (Kalogirou, 2005). Η διαδικασία επαναλαμβάνεται, έχοντας χαμηλότερη πίεση από θάλαμο σε θάλαμο. Η μέθοδος απαιτεί εξωτερική τροφοδοσία ατμού θερμοκρασίας περίπου 100 °C. Η απόδοση της περιορίζεται, λόγω του μέγιστου της θερμοκρασίας που επιτρέπεται, εξ' αιτίας της συγκέντρωσης άλατος. Παρακάτω αναλύεται η λειτουργία της μεθόδου, όπως απεικονίζεται στο σχήμα 2.5.

Αναλυτικά, η άμεση απόσταξη πολλαπλών βαθμίδων αποτελεί μια μέθοδο αφαλάτωσης με επί μέρους στάδια επεξεργασίας (συνήθως 10-30 στάδια). Σε κάθε στάδιο, συμπύκνωμα ατμού χρησιμοποιείται για να προθερμάνει το τροφοδοτούμενο θαλασσινό νερό. Με τον «διαχωρισμό» της διαφοράς θερμοκρασίας ανάμεσα στη θερμή πηγή και στο θαλασσινό νερό, σε ένα μεγάλο αριθμό από στάδια (2 °C πτώση ανά στάδιο), το σύστημα αποκτά την ιδανική ολική λανθάνουσα θερμότητα.

Το σύστημα, πρακτικά, διαιρείται σε ένα τμήμα ανάκτησης θερμότητας και σε ένα τμήμα απόρριψης θερμότητας (Kalogirou, 2005). Το θαλασσινό νερό τροφοδοτείται μέσω του τμήματος απόρριψης θερμότητας, το οποίο απορρίπτει θερμότητα από την μονάδα και αποβάλλει το παραγόμενο ρεύμα και το ρεύμα της άλμης στη χαμηλότερη δυνατή θερμοκρασία. Το θαλασσινό νερό αναμιγνύεται με μεγάλης μάζας νερό, το οποίο ανακυκλοφορεί συνεχώς μέσα στην μονάδα. Το αναμεμιγμένο ρεύμα, στη συνέχεια, διέρχεται μέσα από μια σειρά εναλλακτών θερμότητας για να αυξήσει την θερμοκρασία του. Μετά τους εναλλάκτες θερμότητας, το ρεύμα διέρχεται από τον θερμαντή της άλμης προκειμένου να αυξήσει την θερμοκρασία του τόσο ώστε να πλησιάσει την θερμοκρασία κορεσμού στη μέγιστη για το σύστημα πίεση. Έπειτα, εισάγεται στο πρώτο στάδιο μέσω μιας οπής (orifice) όπου έχουμε πτώση πίεσης. Έτσι, από τη στιγμή που βρισκόταν σε θερμοκρασία κορεσμού για υψηλότερη πίεση, τώρα υπερθερμαίνεται και μεταπίπτει σε ατμό. Ο παραγόμενος ατμός περνά μέσα από ένα διάτρητο δίσκο (demister) για να αφαιρεθούν υπολείμματα άλατος, και από εκεί στον εναλλάκτη θερμότητας (1^ο στάδιο) όπου συμπυκνώνεται και συλλέγεται. Ποσότητα που δεν ατμοποιείται, περνά στο δεύτερο στάδιο όπου επικρατεί χαμηλότερη πίεση, μειώνοντας, έτσι, το σημείο βρασμού. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται, στα επόμενα στάδια. Ο ατμός που συμπυκνώνεται σε κάθε στάδιο συλλέγεται, ενώ μετά το τελευταίο στάδιο, έχουμε την απόρριψη της άλμης.

Η χρήση αυτής της μεθόδου ενδείκνυται όταν υπάρχει απαίτηση για μεγάλη ημερήσια παραγωγή νερού, υψηλής ποιότητας και είναι διαθέσιμη κάποια πηγή θερμότητας. Εκτός των συμβατικών πηγών, έχουν χρησιμοποιηθεί ηλιακοί συλλέκτες ως πηγή θερμότητας. Ένα από τα κυριότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι το γεγονός ότι η ατμοποίηση προέρχεται από ρεύμα θαλασσινού νερού τροφοδοσίας και όχι από τις θερμαινόμενες επιφάνειες στις οποίες η εξάτμιση προκαλεί σχηματισμό στρωμάτων επικάλυψης και επομένως σταδιακή μείωση των συντελεστών μετάδοσης θερμότητας (Σταματόπουλος, 2007). Μειονέκτημα της μεθόδου η αργή εκκίνηση, και η αυξημένη ειδική κατανάλωση ενέργειας.

2.2.2 Απόσταξη πολλαπλής επίδρασης – ΜΕ



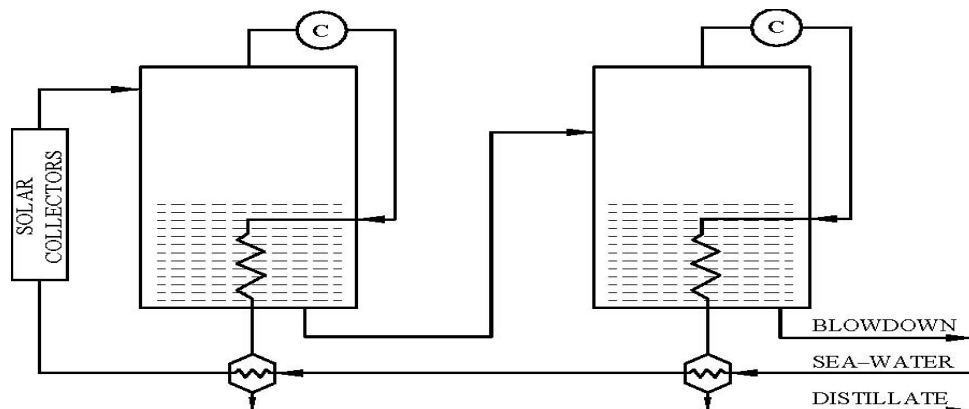
Σχήμα 2.6 Αρχή λειτουργίας μεθόδου ΜΕ

Η απόσταξη πολλαπλής επίδρασης είναι η παλαιότερη μέθοδος αφαλάτωσης και με μεγάλο θερμικό βαθμό απόδοσης. Το σχήμα 2.6 είναι αντιπροσωπευτικό της αρχής λειτουργίας της μεθόδου.

Η μέθοδος, λοιπόν, λαμβάνει χώρα σε μια σειρά από ατμοποιητές, αποκαλούμενα ως στάδια (effects), και χρησιμοποιεί την αρχή μειούμενης πίεσης περιβάλλοντος στα διάφορα στάδια (Khawaji κλπ, 2007). Αυτή η διαδικασία, επιτρέπει στο ρεύμα τροφοδοσίας να «υποβληθεί» σε πολλαπλή ατμοποίηση χωρίς να χρειάζεται πρόσδωση θερμότητας μετά το πρώτο στάδιο. Το θαλασσινό νερό εισέρχεται στο πρώτο στάδιο και φτάνει στο σημείο βρασμού μετά την προθέρμανση του στους σωλήνες. Μάλιστα ψεκάζεται στην επιφάνεια των σωλήνων του ατμοποιητή προκειμένου να επιταχυνθεί η ατμοποίηση. Οι σωλήνες μέσω των οποίων μεταφέρεται ο ατμός, απορροφούν θερμότητα από τον ατμό που κυκλοφορεί. Ο ατμός (περίπου 70 °C) συνήθως παρέχεται από θερμοηλεκτρικό σταθμό. Στο εσωτερικό των σωλήνων ο ατμός συμπυκνώνεται, ενώ το συμπύκνωμα ατμού επιστρέφει στον θερμοηλεκτρικό σταθμό. Μόνο ένα μέρος του θαλασσινού νερού που ψεκάζεται στο πρώτο στάδιο ατμοποιείται. Το υπόλοιπο διοχετεύεται στο δεύτερο στάδιο και ψεκάζεται στη συστοιχία σωλήνων. Αυτοί οι σωλήνες, με τη σειρά τους, θερμαίνονται από τον ατμό που έχει δημιουργηθεί στο πρώτο στάδιο. Ο ατμός συμπυκνώνεται σε καθαρό νερό το οποίο συλλέγεται, ενώ προσδίδει θερμότητα για να ατμοποιηθεί το υπόλοιπο θαλασσινού νερού στο επόμενο στάδιο. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται από στάδιο σε στάδιο σε ολοένα χαμηλότερη πίεση και θερμοκρασία.

Όπως και στη μέθοδο MSF, απαιτείται ποσότητα ατμού, κάτι το οποίο προϋποθέτει γειτονική θερμοηλεκτρική μονάδα ή ηλιακούς συλλέκτες. Έχει μικρότερη κατανάλωση ισχύος σε σχέση με την MSF και συγχρόνως υψηλότερο λόγο απόδοσης. Ως μειονέκτημα θα μπορούσαμε να αναφέρουμε, την εξάτμιση που γίνεται στις επιφάνειες συναλλαγής θερμότητας και καθιστά την διεργασία επιρρεπή στο σχηματισμό στρωμάτων επικάλυψης (Σταματόπουλος, 2007).

2.2.3 Απόσταξη με συμπίεση ατμών - VC

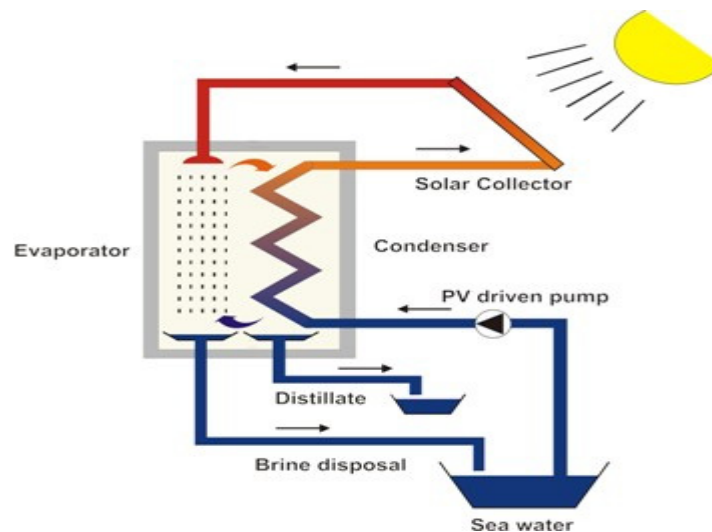


Σχήμα 2.7 Αρχή λειτουργίας μεθόδου VC

Στην απόσταξη με συμπίεση ατμών (Σχήμα 2.7), η θερμότητα για την ατμοποίηση του θαλασσινού νερού προέρχεται από τη συμπίεση του ατμού. Η μέθοδος εκμεταλλεύεται την αρχή σύμφωνα με την οποία, η μείωση της θερμοκρασίας σημείου βρασμού επιτυγχάνεται μειώνοντας την πίεση (Khawaji κλπ, 2007). Για την συμπύκνωση του ατμού, που θα προσδώσει θερμότητα προκειμένου να ατμοποιηθεί το θαλασσινό νερό, χρησιμοποιείται ένας συμπιεστής. Ο συμπιεστής δημιουργεί κενό στον ατμοποιητή και στη συνέχεια συμπιέζει τον ατμό, προερχόμενο από τον ατμοποιητή, και τον συμπυκνώνει μέσα στη συστοιχία σωλήνων. Το θαλασσινό νερό ψεκάζεται στην επιφάνεια των σωλήνων και ατμοποιείται μερικώς, παράγοντας περισσότερο ατμό.

Αποτελεί μια μέθοδο απλή, αξιόπιστη και αποδοτική η οποία απαιτεί μόνο ισχύ. Έχοντας μεγάλης ισχύος συμπιεστή, η διαδικασία γίνεται σε θερμοκρασίες μικρότερες των 70 °C, οπότε αποφεύγεται ο ένα βαθμό η διάβρωση. Χρησιμοποιείται για μεσαίου μεγέθους μονάδες αφαλάτωσης, ενώ έχει χαμηλότερη ειδική ενεργειακή κατανάλωση σε σχέση με τις προηγούμενες μεθόδους.

2.2.4 Ηλιακή απόσταξη - SD

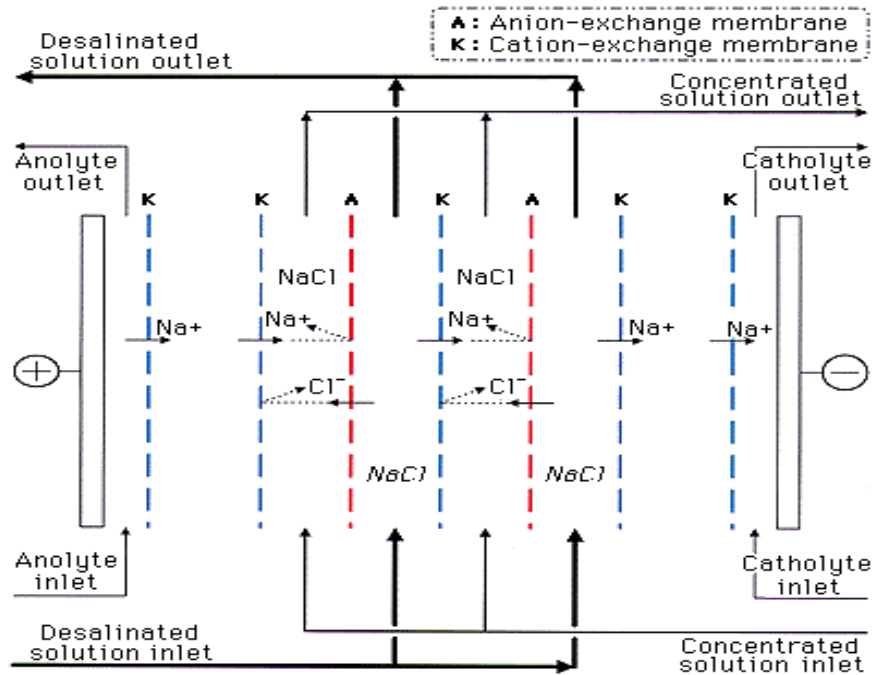


Σχήμα 2.8 Αρχή λειτουργίας μεθόδου SD

Η μέθοδος αποτελεί κομμάτι του υδρολογικού κύκλου. Το θαλασσινό νερό, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.8, διοχετεύεται μέσω σωλήνων στο εσωτερικό του ηλιακού συλλέκτη, όπου θερμαίνεται από τις ακτίνες του ήλιου και παράγεται ατμός (Khawaji κλπ, 2007). Στη συνέχεια, ο ατμός συμπυκνώνεται σε μια ψυχρή επιφάνεια και το συμπύκνωμα συλλέγεται ως πόσιμο νερό.

Η ηλιακή απόσταξη εφαρμόζεται σε περιοχές με υψηλά ποσοστά ηλιοφάνειας κατά τη διάρκεια του έτους, αλλά μειονεκτήματα της μεθόδου είναι υψηλές απαιτήσεις σε ενέργεια και η χαμηλή απόδοση της.

2.2.5 Ηλεκτροδιάλυση - ED



Σχήμα 2.9 Αρχή λειτουργίας μεθόδου ED

Η ηλεκτροδιάλυση πραγματοποιείται, μειώνοντας την αλατότητα του νερού με μεταφορά ιόντων (Σχήμα 2.9). Αυτό γίνεται μέσω μεμβρανών, υπό την επιρροή ηλεκτρικού πεδίου. Το αλμυρό νερό τροφοδοσίας περιέχει διαλυμένα άλατα με θετικά και αρνητικά ιόντα. Τα ιόντα θα μετακινηθούν προς το αντίθετο φορτισμένο ηλεκτρόδιο περνώντας μέσα από μεμβράνες. Η κίνηση των ιόντων μειώνει τη συγκέντρωση άλατος στο νερό τροφοδοσίας του θαλάμου στο οποίο προϋπήρχαν ενώ αυξάνει την συγκέντρωση στους γειτονικούς θαλάμους. Δεκάδες τέτοιοι θάλαμοι συναποτελούν μια μονάδα ηλεκτροδιάλυσης και δημιουργούν εναλλασσόμενα τμήματα καθαρού νερού και άλμης.

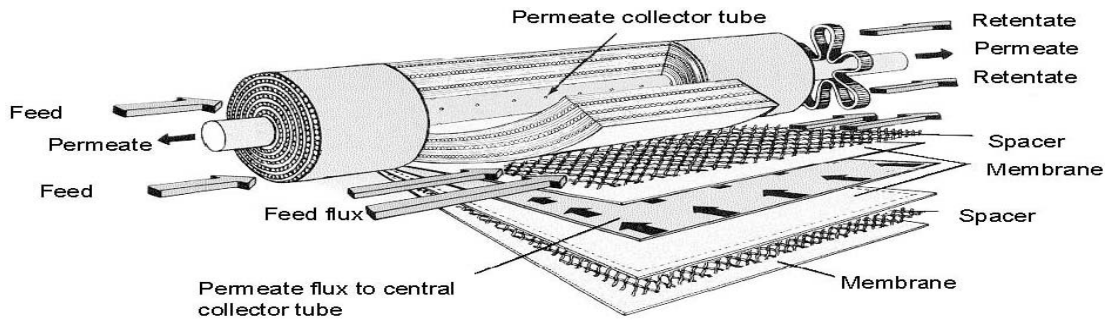
Για την αποφυγή δημιουργίας στρωμάτων επικάλυψης, αντιστρέφεται η φορά της διεργασίας, αντιστρέφοντας τη φορά του ηλεκτρικού ρεύματος κάθε 20 min. Έτσι προλαμβάνεται η συσσώρευση ποσότητας άλατος στις μεμβράνες (Kalogirou, 2005).

Η μέθοδος χρησιμοποιείται συνήθως για υφάλμυρο νερό, ενώ η απαίτηση για συνεχές ρεύμα καθιστά τα φωτοβολταϊκά ιδανική λύση για τη λειτουργία της μεθόδου (περισσότερες λεπτομέρειες για τη συνεργασία Α.Π.Ε και μονάδων αφαλάτωσης θα δοθούν σε επόμενο κεφάλαιο).

2.2.6 Αντίστροφης ώσμωσης - RO

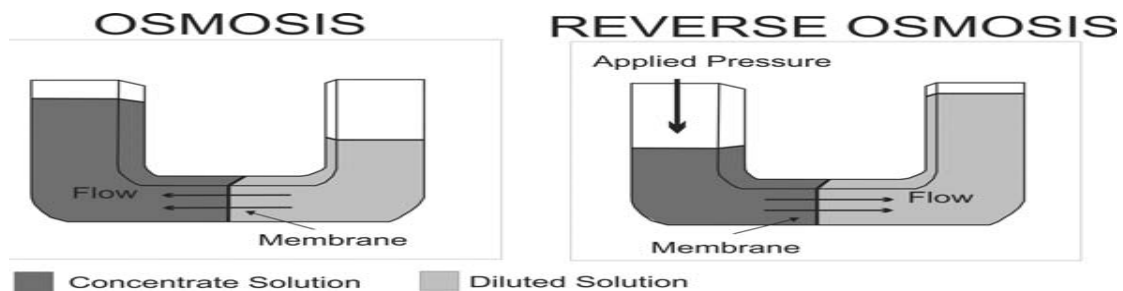
2.2.6.1 Αρχή λειτουργίας

Η μέθοδος αντίστροφης ώσμωσης αποτελεί την πιο διαδεδομένη διεργασία αφαλάτωσης που χρησιμοποιεί μεμβράνες (Σχήμα 2.10).



Σχήμα 2.10 Διαμόρφωση μεμβράνης μεθόδου RO

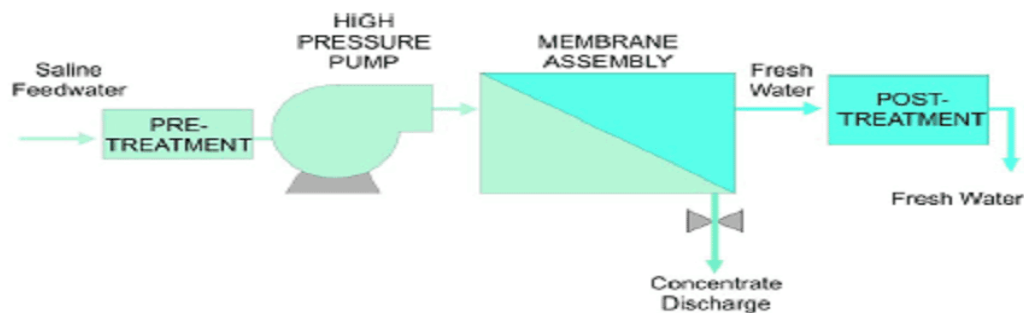
Η μέθοδος βασίζεται στην επιλεκτική διαπερατότητα ορισμένων πολυμερών. Ενώ, λοιπόν, είναι πολύ διαπερατά στο νερό, καθιστούν δύσκολη τη διέλευση διαφόρων ουσιών. Εφαρμόζοντας διαφορά πίεσης δια μέσου της μεμβράνης, το ρεύμα του θαλασσινού νερού αναγκάζεται να διέλθει από τη μεμβράνη. Σε αυτό το σημείο, πρέπει να τονιστεί ότι η εφαρμοζόμενη πίεση είναι αναγκαίο να υπερβαίνει την ωσμωτική πίεση που δημιουργείται εκατέρωθεν της μεμβράνης προκειμένου να είναι δυνατή η διέλευση του θαλασσινού νερού τροφοδοσίας. Σε θαλασσινού νερού εφαρμογές, η απαιτούμενη πίεση συνήθως κυμαίνεται από 55 έως 68 bar (Fritzmann κλπ, 2006).



Σχήμα 2.11 Το φαινόμενο της ώσμωσης και η επίτευξη της αντίστροφης ώσμωσης

Το φαινόμενο της ώσμωσης (Σχήμα 2.11) εμφανίζεται όταν μια ημι-περατή μεμβράνη χωρίζει δύο υδάτινα ρεύματα διαφορετικής συγκέντρωσης. Σε μηδενική διαφορά πίεσης και θερμοκρασίας ανάμεσα στις δύο πλευρές, η φορά ροής είναι από αυτή της μικρότερης σε αυτή της μεγαλύτερης συγκέντρωσης, μέχρι να ισοσταθμιστούν οι συγκεντρώσεις τους. Αυτή η διαδικασία, συνεχίζεται μέχρι η διαφορά πίεσης ανάμεσα στις δύο πλευρές να πάρει μια συγκεκριμένη τιμή που εξαρτάται από την αντίστοιχη διαφορά συγκεντρώσεων και ονομάζεται ωσμωτική πίεση.

Στη μέθοδο αυτή, γίνεται προσπάθεια να «εξαλειφθεί» το φαινόμενο, εφαρμόζοντας διαφορά πίεσης μεγαλύτερη της ωσμωτικής, έτσι ώστε να αντιστραφεί η ροή από την πλευρά της μεγαλύτερης συγκέντρωσης προς αυτή της μικρότερης. Η πίεση που εφαρμόζεται στη πλευρά τροφοδοσίας είναι συνεχώς αυξανόμενη, καλύπτοντας την ωσμωτική. Έτσι προκύπτει ρεύμα εξόδου αμελητέας συγκέντρωσης σε σχέση με το ρεύμα εισόδου. Η μονάδα αποτελείται από συστοιχία μεμβρανών για την παραγωγή καλύτερου ποιοτικά προϊόντος. Στο σχήμα 2.12 δίνεται μια γενική απεικόνιση ενός συστήματος αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης. Το ρεύμα θαλασσινού νερού αφού προεπεξεργάζεται (πχ αφαίρεση αντικειμένων), αντλείται σε υψηλή πίεση για να είναι σε θέση να διαπεράσει την συστοιχία των μεμβρανών. Έτσι, προκύπτουν δύο ρεύματα. Το ρεύμα της άλμης που απορρίπτεται, αν δεν υπάρχει μέσο εκμετάλλευσης του, και το ρεύμα του πόσιμου νερού το οποίο αφού επεξεργαστεί τελικώς, είναι διαθέσιμο για χρήση.



Σχήμα 2.12 Αλληλουχία υποσυστημάτων ενός συστήματος αφαλάτωσης RO

2.2.6.2 Συστήματα ανάκτησης ενέργειας

Την επιτυχία της η μέθοδος την οφείλει, κατά πολύ, στο χαμηλό σχετικά κόστος αλλά και στις χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις. Αυτό επιτεύχθηκε, με την εφαρμογή και την ανάπτυξη συστημάτων ανάκτησης ενέργειας. Τα συστήματα αυτά, γενικά, εκμεταλλεύονται, την απομένουσα ενέργεια του ρεύματος της άλμης, που ειδάλτως απορρίπτεται, και συμβάλει στην παροχή της απαιτούμενης πίεσης από την αντλία. Έτσι, μειώνεται η ισχύς της αντλίας ανύψωσης της πίεσης του ρεύματος τροφοδοσίας και συγχρόνως η ενεργειακές απαιτήσεις της μονάδας.

Τα συστήματα ανάκτησης ενέργειας (energy recovery systems - ER) που χρησιμοποιούνται στις εφαρμογές αντίστροφης ώσμωσης μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες (Fritzmann κλπ, 2006):

- «Εναλλάκτες πίεσης» (Pressure exchangers), οι οποίοι μεταφέρουν άμεσα πίεση από την άλμη σε μέρος του ρεύματος τροφοδοσίας (Σχήμα 2.13).
- Συστήματα στροβίλων (Turbine systems), οι οποίοι μετατρέπουν την ενέργεια της ρεύματος της άλμης σε μηχανική, είτε τροφοδοτώντας την αντλία σαν συμπλήρωμα, είτε άμεσα το ρεύμα τροφοδοσίας.

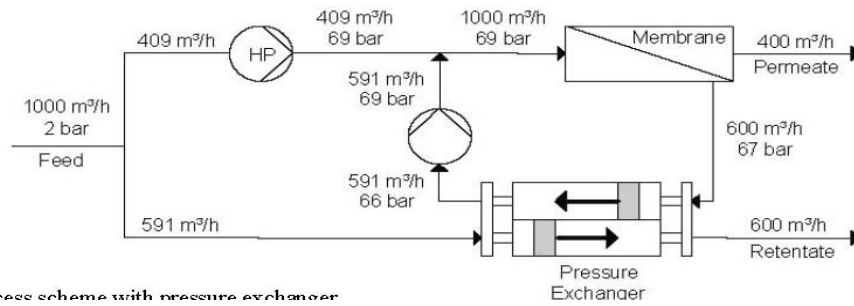
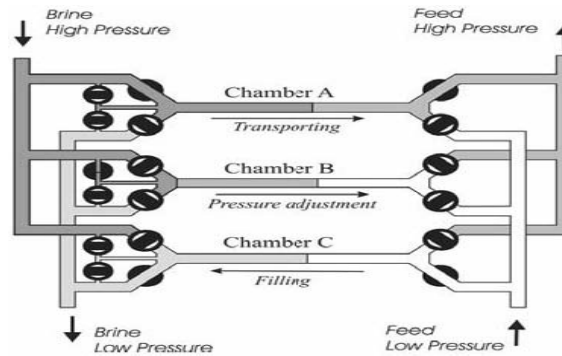


Fig. 32 Process scheme with pressure exchanger

Σχήμα 2.13 Μέθοδος RO με εναλλάκτη πίεσης

Η γενική αρχή λειτουργίας των εναλλακτών πίεσης (Σχήμα 2.14) έχει ως εξής: Το θαλασσινό νερό οδηγείται σε έναν αγωγό που στη συνέχεια κλείνει από μια βάνα. Μια άλλη βάνα ανοίγει, και επιτρέπει το υψηλής πίεσης ρεύμα άλμης να εισαχθεί στον αγωγό.

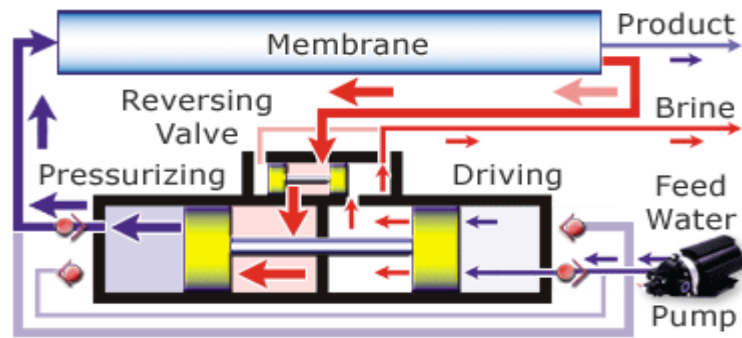


Σχήμα 2.14 Αρχή λειτουργίας εναλλάκτη πίεσης

Με αυτό το τρόπο, το ρεύμα τροφοδοσίας αυξάνει την πίεση του. Στην συνέχεια, αναμιγνύεται με το ρεύμα τροφοδοσίας από την αντλία υψηλής πίεσης και οδηγούνται στις μεμβράνες. Χρησιμοποιώντας εναλλάκτες πίεσης, μόνο ένα μέρος της συνολικής τροφοδοσίας χρειάζεται ανύψωση της πίεσης του από την αντλία.

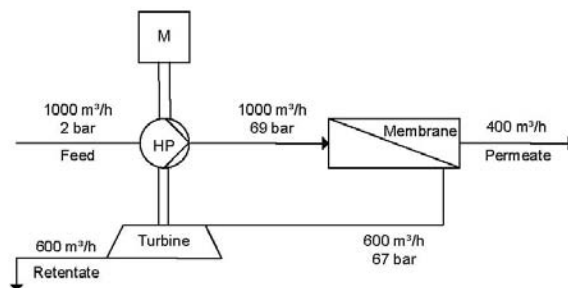
Να αναφέρουμε ότι, ένας εναλλάκτης πίεσης που χρησιμοποιείται στην πλειονότητα των εφαρμογών είναι ο Clark pump της εταιρείας Spectra Watermakers (Σχήμα 2.15). Οι μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των συστημάτων αντίστροφης ώσμωσης τα τελευταία χρόνια οφείλεται, κατά ένα μεγάλο βαθμό, στην ενσωμάτωση Clark pump.

Ο εναλλάκτης Clark pump χρησιμοποιεί δύο αντίθετα τοποθετημένους κυλίνδρους και έμβολα που ενώνονται με μία ράβδο. Η πίεση του νερού τροφοδοσίας χρησιμοποιείται από το ένα κύλινδρο για να εξαναγκάσει τον άλλον να δώσει πίεση και να κυκλοφορήσει το υφάλμυρο νερό προς την μεμβράνη. Η πρόσδοση πίεσης επιτυγχάνεται όταν η ράβδος, όπως «σπρώχνεται» μέσα στον κύλινδρο, οδηγεί το νερό στο κλειστό βρόγχο. Η πίεση, στιγμιαία, αυξάνει σε σημείο που ο εκτοπιζόμενος όγκος νερού απορρίπτεται από τη μεμβράνη ως αφαλατωμένο νερό. Όταν το έμβολο ενός κυλίνδρου ακουμπά στη βάση, η διαδικασία αντιστρέφεται.



Σχήμα 2.15 Αρχή λειτουργίας Clark pump

Από την άλλη, στα συστήματα στροβίλων, η αντλία υψηλής πίεσης έχει να κάνει με το σύνολο του ρεύματος τροφοδοσίας. Τα συστήματα αυτά είναι είτε ένα στρόβιλος Pelton είτε ένα σύστημα συνεργασίας αντλίας-στροβίλου (turbocharger).



Σχήμα 2.16 Μέθοδος RO με στρόβιλο Pelton

Στο σύστημα ανάκτησης ενέργειας με στρόβιλο Pelton (Σχήμα 2.16), το απορριπτόμενο ρεύμα άλμης υψηλής πίεσης εισέρχεται στο στρόβιλο μέσω ενός ακροφύσιου. Η πίεση του ρεύματος μεταφέρεται στον ρότορα του στροβίλου, που με τη σειρά του μεταφέρει ισχύ στην αντλία υψηλής πίεσης μέσω της κοινής τους ατράκτου. Η άλμη απορρίπτεται σε πίεση ίση με την ατμοσφαιρική.

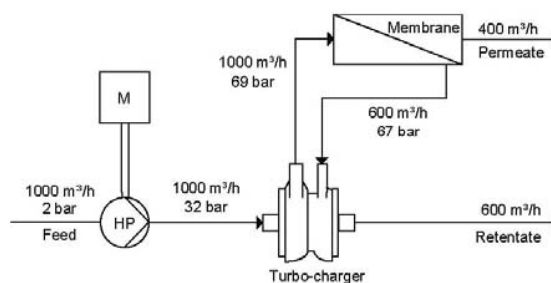


Fig. 34. Process scheme with turbocharger.

Σχήμα 2.17 Μέθοδος RO με turbocharger

Οι turbochargers αποτελούνται από μια αντλία και ένα στρόβιλο συνδεδεμένα σε ένα κιβώτιο. Τόσο η αντλία όσο και ο στρόβιλος περιέχουν μία απλή βαθμίδα ρότορα. Η υδραυλική ενέργεια του ρεύματος της άλμης μετατρέπεται σε μηχανική από τον ρότορα του στροβίλου. Στη συνέχεια, η αντλία ξαναμετατρέπει την ενέργεια σε πίεση με την οποία τροφοδοτεί το ρεύμα του θαλασσινού νερού. Η διεργασία παρουσιάζεται στο σχήμα 2.17, όπου η αντλία υψηλής πίεσης αυξάνει την πίεση της τροφοδοσίας σε μια μέση τιμή και στη συνέχεια αυξάνεται περαιτέρω από το σύστημα ανάκτησης ενέργειας (turbocharger).

Συγκριτικά, οι turbochargers αποτελούν την επικρατούσα τεχνολογία στο χώρο αυτό, παρόλο που οι εναλλάκτες πίεσης έχουν αρκετά πλεονεκτήματα όσον αφορά την απόδοση της μονάδας. Οι εναλλάκτες πίεσης διατηρούν τον βαθμό απόδοσης τους ανεξάρτητα από οποιεσδήποτε αλλαγές μπορούν να συμβούν λόγω χρόνων λειτουργίας της μονάδας ή συντήρησης, σε αντίθεση με τους στρόβιλους που με μια τέτοια αλλαγή, μπορεί να μεταβάλει το σημείο λειτουργίας τους και να λειτουργούν με μειωμένη απόδοση (εκτός του κανονικού σημείου λειτουργίας). Όμως, οι εναλλάκτες πίεσης απαιτούν κάποιο πρόσθετο εξοπλισμό, όπως κυκλοφορητές. Έτσι αυξάνονται τα κόστη εξοπλισμού και συντήρησης. Επίσης, ο τρόπος λειτουργίας τους αυξάνει την αλατότητα του ρεύματος με αποτέλεσμα μεγαλύτερη ωσμωτική πίεση.

Συμπερασματικά, η εφαρμογή συστημάτων ανάκτησης πίεσης, έχει ως αποτέλεσμα την μείωση ειδικής ενεργειακής κατανάλωσης της μονάδας. Σε μονάδες εφοδιασμένες με συστήματα ανάκτησης ενέργειας η ενεργειακή απαίτηση κυμαίνεται στις αρκετά χαμηλές τιμές των 2-4 kWh/m³ για θαλασσινό νερό (Fritzmann κλπ, 2006).

2.3 Παράμετροι επιλογής μεθόδου αφαλάτωσης

2.3.1 Γενικά

Κατά τη μελέτη εγκατάστασης μιας μονάδας αφαλάτωσης, πρέπει να εξετάζονται διαφορές παράμετροι, για να επιλεγεί η κατάλληλη μέθοδος. Οι παράμετροι αυτές είναι (Kalogirou, 2005):

- Πηγή ενεργειακής τροφοδοσίας μονάδας
- Ενεργειακές απαιτήσεις
- Το μέγεθος της παραγωγής και η ποιότητα του πόσιμου νερού
- Απαιτήσεις επεξεργασίας θαλασσινού νερού
- Το κόστος εξοπλισμού
- Η επιφάνεια γης που απαιτείται για την εγκατάσταση του εξοπλισμού

Στις επόμενες ενότητες, δίνονται στοιχεία σχετικά με τις παραμέτρους επιλογής που θα εξεταστούν σε αυτή τη διπλωματική εργασία.

2.3.2 Ενεργειακές απαιτήσεις – Πηγή ενεργειακής τροφοδοσίας μονάδας

Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση μιας μεθόδου, ίσως αποτελεί τον πιο σημαντικό παράγοντα για την επιλογή μεθόδου αφαλάτωσης. Στον πίνακα 2.1, δίνονται κάποια στοιχεία σχετικά με τις απαιτήσεις σε μορφές ενέργειας των μεθόδων. Εύκολα μπορούν εξαχθούν κάποια γενικά συμπεράσματα.

Process	Heat input (kJ/kg)	Mechanical power input (kWh/m ³)	Prime energy consumption (kJ/kg) ^a
MSF	294	2.5–4 (3.7)	338.4
MEB	123	2.2	149.4
VC	–	8–16 (16)	192
RO	–	5–13 (10)	120
ER-RO	–	4–6 (5)	60
ED	–	12	144
Solar still	2330	0.3	2333.6
a	Θεωρώντας απόδοση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας:30%		

Πίνακας 2.1 Μέθοδοι και ενεργειακές απαιτήσεις

Όπως έχουμε προαναφέρει, οι διεργασίες αλλαγής φάσης (MSF, MEB, Solar still), απαιτούν για την λειτουργία τους παροχή ατμού. Αυτό προσθέτει ένα μειονέκτημα στις θερμικές μεθόδους, αφού είναι αναγκαία η παραγωγή ατμού που συνήθως γίνεται με την θερμότητα ενός θερμοηλεκτρικού σταθμού. Αντιλαμβανόμαστε, λοιπόν, ότι η λειτουργία μονάδων αφαλάτωσης αλλαγής φάσης σε περιοχές χωρίς σταθμούς, όπως είναι πολλά νησιά του Αιγαίου, είναι αδύνατη. Βέβαια, θα πρέπει να τονίσουμε ότι σε περίπτωση ύπαρξης προεγκατεστημένου σταθμού παραγωγής ενέργειας, η εγκατάσταση μονάδας αφαλάτωσης αποτελεί μια πολύ καλή λύση για την εκμετάλλευση της απορριπτόμενης θερμότητας του σταθμού. Σε αυτό συμβάλει και η χαμηλή απαίτηση μηχανικής ενέργειας που έχουν αυτές οι μέθοδοι. Η αλήθεια είναι ότι, τέτοιου είδους μονάδες μπορούν να τροφοδοτηθούν και από εναλλακτικές μορφές ενέργειας, όπως η γεωθερμία και η ηλιακή ενέργεια (Kalogirou, 2005). Μάλιστα, έχει μελετηθεί ότι μονάδες αφαλάτωσης που τροφοδοτούνται από γεωθερμία, είναι το ίδιο συμφέρουσες με αυτές που τροφοδοτούνται από μεγάλους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς. Επικρατέστερη επιλογή από τις θερμικές διεργασίες αποτελεί η απόσταξη πολλαπλής επίδρασης (ME), με την μικρότερη κατανάλωση ανάμεσα τους.

Όσον αφορά τις συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις, η μέθοδος που υπερτερεί είναι της αντίστροφης ώσμωσης με ανάκτηση ενέργειας (ER-RO), έχοντας την μικρότερη κατανάλωση. Αυτό το χαρακτηριστικό, καθιστά την μέθοδο RO, την πρώτη επιλογή για μια μονάδα

αφαλάτωσης, κάτι το οποίο δείχνει και η διείσδυση της στην αγορά τα τελευταία χρόνια. Ακολουθούν στη συνέχεια, η αντίστροφης ώσμωσης χωρίς ανάκτηση ενέργειας (RO), η ηλεκτροδιάλυση (ED), και η απόσταξη πολλαπλής επίδρασης (ME).

Σχετικά με την τροφοδοσία της αφαλάτωσης με μεθόδους που δεν απαιτούν παροχή ατμού, όπως η αντίστροφης ώσμωσης και η ηλεκτροδιάλυση, οι επιλογές ποικίλουν. Συνήθως όταν η περιοχή είναι διασυνδεδεμένη, η μονάδα τροφοδοτείται από το δίκτυο. Όμως, η ανάγκη για ανεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, καθώς και οι ιδιαιτερότητες κάθε περιοχής (μετεωρολογικά χαρακτηριστικά, τρόπος παροχής ηλεκτρισμού), καθιστούν τη συνεργασία Α.Π.Ε και μονάδων αφαλάτωσης αρκετά αποδοτική επιλογή. Παρακάτω παραθέτουμε τον πίνακα 2.2 (Tzen και Morris, 2003) με πιθανούς συνδυασμούς μεθόδων αφαλάτωσης και τεχνολογιών εκμετάλλευσης Α.Π.Ε.

RES technology	Feed water salinity	Desalination technology
Solar thermal	Seawater Seawater	Multi-effect distillation (MED) Multi-stage flashing (MSF)
Photovoltaics	Seawater -Brackish Brackish	Reverse osmosis (RO) Electrodialysis (ED)
Wind energy	Seawater -Brackish Seawater	Reverse osmosis (RO) Mechanical vapor compression (MVC)
Geothermal	Seawater	Multi-effect distillation (MED)

Πίνακας 2.2 Συνδυασμοί μεθόδων αφαλάτωσης – ΑΠΕ

Κλείνοντας την υποενότητα, θα πρέπει να σημειώσουμε ότι η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης παρατηρείται να είναι η επικρατέστερη αφού έχει τη χαμηλότερη ενεργειακή κατανάλωση αλλά και μπορεί να συνεργαστεί με τις πιο διαδεδομένες τεχνολογίες Α.Π.Ε, όπως είναι τα φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτριες.

Η εφαρμογή των μελετών αυτού του επιστημονικού χώρου, αποτελεί ιδανική λύση για πολλά από τα νησιά του Αιγαίου, που παρουσιάζεται, ακόμα και σήμερα, έντονο το φαινόμενο της λειψυδρίας και συγχρόνως το αιολικό και ηλιακό δυναμικό αφθονεί.

2.3.3 Κόστος εξοπλισμού - Κόστος παραγωγής πόσιμου νερού

Για όλες τις μεθόδους, τα διάφορα κόστη έχουν μειωθεί σε ένα πολύ μεγάλο βαθμό, τις τελευταίες δεκαετίες. Η μείωση του κόστους οφείλεται στην προσπάθεια για βελτιστοποίηση της λειτουργίας των μονάδων αφαλάτωσης αλλά και στη μαζικότερη παραγωγή του απαιτούμενου εξοπλισμού.

Ένα ενδεικτικό εύρος κόστους εξοπλισμού, που ορίζεται ως ο λόγος του κόστους επένδυσης προς την ημερήσια δυνατότητα παραγωγής, για τις διάφορες μεθόδους αφαλάτωσης (Kalogirou, 2005), δίνεται στον πίνακα 2.3.

Item	MSF	MEB	VC	RO	Solar still
Scale of application	Medium–large	Small–medium	Small	Small–large	Small
Equipment price (€/m ³ /day)	950–1900	900–1700	1500–2500	900–2500 membrane replacement every 4-5 years	800–1000

Πίνακας 2.3 Μέθοδοι αφαλάτωσης και κόστος εξοπλισμού

Να σημειώσουμε ότι οι μικρότερες τιμές του ειδικού κόστους εξοπλισμού αντιστοιχούν στο μεγαλύτερο μέγεθος μονάδας κάθε μεθόδου. Παρατηρούμε ότι, το χαμηλότερο κόστος εμφανίζεται στην ηλιακή απόσταξη, αλλά η μέθοδος μειονεκτεί στο ότι απαιτούνται μεγάλες εκτάσεις γης για την εγκατάσταση. Οι υπόλοιπες μέθοδοι κυμαίνονται στα ίδια περίπου επίπεδα με την μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης να παρουσιάζει μεγαλύτερο κόστος εξοπλισμού στις μικρές μονάδες αλλά να είναι σε θέση να λειτουργήσει για κάθε μέγεθος εφαρμογής.

Σχετικά με το κόστος παραγωγής νερού, σύμφωνα με έρευνα (Karagiannis, Soldatos, 2007), ο πίνακας 2.4 δείχνει την διακύμανση του κόστους παραγωγής σε σχέση με το είδος της μεθόδου. Τα στοιχεία έχουν προκύψει από διάφορες εφαρμογές.

Desalination method	Size of plant (m ³ /day)	Cost (€ /m ³)
MED	<100	2-8
	12.000-55.000	0,76-1,56
	>91.000	0,42-0,81
MSF	23.000-528.000	0,42-1,40
VC	1000-1200	1,61-2,13
RO	<100	1,2-15
	250-4800	0,56-3,14
	15.000-320.000	0,36-0,53

Πίνακας 2.4 Μέθοδοι αφαλάτωσης – Μέγεθος – Κόστος Παραγωγής νερού

Από τον πίνακα, αντιλαμβανόμαστε ότι μια μονάδα αφαλάτωσης κρίνεται συμφέρουσα όσο μεγαλύτερη είναι. Γενικά, μικρού μεγέθους μονάδες παρουσιάζουν αρκετά υψηλό κόστος. Η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης είναι αρκετά ανταγωνιστική, ειδικά σε μεγάλου μεγέθους εγκαταστάσεις, σε σχέση με τις θερμικές διεργασίες. Μάλιστα, τα στοιχεία για την αντίστροφη ώσμωση δείχνουν πολύ μικρή διακύμανση του κόστους στα μεγάλα μεγέθη μονάδων.

Τέλος, να επισημάνουμε ότι ο παράγοντας του κόστους παραγωγής νερού είναι ο πλέον κρίσιμος για την απόφαση της εγκατάστασης μιας μονάδας, αφού αποτελεί το σημείο σύγκρισης με την υφιστάμενη κατάσταση παροχής νερού στην περιοχή και συγκεκριμένα στον ελλαδικό χώρο όπου χρησιμοποιούνται υδροφόρες με κόστος μεταφοράς νερού της τάξης των 5-8 €/m³.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο - ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

3.1 Εισαγωγή

Τις τελευταίες δεκαετίες, και ειδικά τα τελευταία πέντε περίπου χρόνια, εμφανίζονται ως μείζονα θέματα, η κάλυψη της συνεχώς αυξανόμενης ενεργειακής ζήτησης, και οι επιπτώσεις της ενεργειακής δραστηριότητας στο περιβάλλον.

Τον προηγούμενο αιώνα, η παραγωγή ενέργειας βασίστηκε στην καύση ορυκτών καυσίμων λόγω του αρκετά χαμηλού κόστους τους. Όμως, η ανεξέλεγκτη άντληση τους, έχει οδηγήσει σήμερα, σε μια επικείμενη εξάντληση των αποθεμάτων. Ίσως το πιο σημαντικό μειονέκτημα των συμβατικών πηγών ενέργειας είναι οι επιπτώσεις που έχει στο περιβάλλον η εκμετάλλευση και η χρήση τους. Πλέον, η αυξανόμενη μόλυνση του περιβάλλοντος επηρεάζει τη ζωή κάθε ανθρώπου. Γεγονότα σε παγκόσμιο επίπεδο όπως, η αύξηση της θερμοκρασίας, η μείωση των βροχοπτώσεων, η μείωση των υδάτινων αποθεμάτων, τα μη αναμενόμενα καιρικά φαινόμενα, αποτελούν τα ορατά αποτελέσματα της ενεργειακής δραστηριότητας και φιλοσοφίας του προηγούμενων χρόνων. Είναι κατανοητό, λοιπόν, ότι πρέπει να ενισχυθούν άλλες, αναξιοποίητες μέχρι σήμερα, λύσεις για την παραγωγή ενέργειας, αφού μια μείωση της ζήτησης κρίνεται απίθανη λόγω του νέου τρόπου ζωής των ανθρώπων. Επιπλέον, θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στον αντίκτυπο που έχει η εκμετάλλευση κάθε πηγής ενέργειας στο περιβάλλον. Ακόμα, η βελτίωση των υπάρχουσών εγκαταστάσεων και η δημιουργία περιβαλλοντικής πολιτικής κρίνεται αναγκαία.

Η απαίτηση για όσο το δυνατόν μεγαλύτερη, ανεξάρτηση από τις συμβατικές πηγές ενέργειας, αλλά και η προσπάθεια για μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος, οδηγούν στη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Α.Π.Ε) που δίνουν σε μεγάλο βαθμό λύση στα παραπάνω θέματα. Πηγές ενέργειας όπως η αιολική, η ηλιακή και η υδάτινη χαρακτηρίζονται ως ανανεώσιμες αφού ανανεώνονται συνεχώς και είναι άμεσα εκμεταλλεύσιμες από τον άνθρωπο.

Οι Α.Π.Ε έχοντας ξεπεράσει τα μειονεκτήματα του παρελθόντος, κρίνονται πλέον ανταγωνιστικές για την παραγωγή ενέργειας. Η μαζικότερη παραγωγή, και εκτεταμένη έρευνα στο χώρο, έχουν οδηγήσει σε μείωση του κόστους παραγωγής και αύξηση της απόδοσης των συστημάτων. Η τάση για εφαρμογή πειραματικών μελετών τεχνολογιών Α.Π.Ε, θα συμβάλλουν στην ανεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, θα συνεισφέρουν στην ενεργειακή αυτάρκεια και ανάπτυξη απομονωμένων μέχρι σήμερα περιοχών. Τέλος, θα δημιουργηθούν νέες θέσεις εργασίας και το σημαντικότερο θα αντικατασταθούν οι ρυπογόνοι τρόποι παραγωγής ενέργειας, με φιλικά προς το περιβάλλον συστήματα.

3.2 Αιολική Ενέργεια

3.2.1 Άνεμος

Οι άνεμοι αποτελούν κίνηση αέριας μάζας και κυρίως προκαλούνται από την ηλιακή ακτινοβολία. Ειδικότερα, είναι αποτέλεσμα των θερμοκρασιακών διαφορών που δημιουργούνται στην Τροπόσφαιρα είτε λόγω γεωγραφικού πλάτους είτε λόγω διαφορετικής θερμοκρασίας της επιφάνειας της Γης (Μπεργελές, 2005).

Όπως θα αναφέρουμε και παρακάτω, το κύριο χαρακτηριστικό του ανέμου είναι η ταχύτητα του. Άλλωστε, ένδειξη για το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής αποτελεί η μέση ταχύτητα του ανέμου κατά τη διάρκεια ενός έτους. Όμως, επειδή η οριζόντια συνιστώσα της ταχύτητας του ανέμου μεταβάλλεται ανάλογα με το ύψος, για να είναι συγκρίσιμα τα μεγέθη διαφορετικών περιοχών, είτε πρέπει να λαμβάνονται μετρήσεις στο ίδιο ύψος, είτε να ανάγονται στο ίδιο ύψος σύμφωνα με το εκθετικό νόμο:

$$V_2 = V_1 \left(\frac{z_2}{z_1} \right)^a$$

Όπου V_2 η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος z_2 , V_1 η μετρούμενη ταχύτητα σε ύψος z_1 . Ο εκθέτης a είναι ενδεικτικός της επιφάνειας του εδάφους. Για παράδειγμα, για ανοιχτά πεδία είναι $a=0.17$, για μικρές πόλεις με μικρές κατασκευές είναι $a=0.20$, ενώ για μεγάλες πόλεις με μεγάλες κατασκευές $a=0.25$.

Βέβαια ο εκθετικός νόμος, χρησιμοποιείται και για την αναγωγή της μετρούμενης ταχύτητας στο ύψος της ανεμογεννήτριας (Α/Γ), αφού σε αυτό το ύψος γίνεται η εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας του ανέμου, όπου έχουμε διαφορετικά δεδομένα σε σχέση με το ύψος μέτρησης.

Η ενέργεια που μεταφέρεται από τον άνεμο είναι κινητική και ορίζεται ως:

$$E = \frac{1}{2} mV^2$$

Αν αντικαταστήσουμε την μάζα με τη σχέση της πυκνότητας:

$$\dot{m} = \rho AV$$

,όπου \dot{m} η μάζα του αέρα που διέρχεται από μια επιφάνεια A ανά δευτερόλεπτο και ρ η πυκνότητα του αέρα, τότε προκύπτει η κινητική ενέργεια του ανέμου ανά δευτερόλεπτο ή αλλιώς η ισχύς του ανέμου:

$$P = \dot{E} = \frac{1}{2} \rho AV^3$$

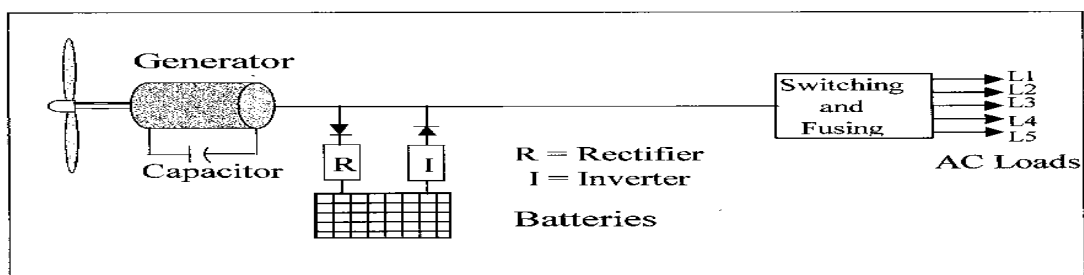
Παρατηρούμε ότι, η ισχύς του ανέμου είναι ανάλογη της επιφάνειας που διέρχεται ο άνεμος (δηλαδή, την επιφάνεια που καλύπτουν τα πτερύγια της Α/Γ), και ανάλογη του κύβου της ταχύτητας του. Τέλος, να πούμε ότι η ισχύς του ανέμου μπορεί να είναι εκμεταλλεύσιμη μόνο κατά ένα ποσοστό, λόγω των σημαντικών απωλειών κατά τη διαδικασία της δέσμευσης της από την Α/Γ.

3.2.2 Ανεμογεννήτριες

3.2.2.1 Γενικά στοιχεία

Η αξιοποίηση της κινητικής ενέργειας του ανέμου γίνεται μέσω των ανεμογεννητριών. Η κινητική ενέργεια, λοιπόν, μετατρέπεται σε μηχανικό έργο με τη βοήθεια μιας αεροδυναμικής διάταξης. Αυτό το μηχανικό έργο μπορεί να γίνει εκμεταλλεύσιμο επί τόπου (άντληση), και έτσι να αποφευχθούν οι απώλειες από τη μετατροπή του σε άλλη μορφή ενέργειας. Το σύνηθες όμως, είναι να μετατρέπεται το μηχανικό έργο σε ηλεκτρική ενέργεια, λόγω της εύκολης μεταφοράς της στον τόπο κατανάλωσης και της ικανότητας αποθήκευσης της (μπαταρίες, σύστημα αντλησιοταμίευσης). Βέβαια, το μηχανικό έργο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή επί τόπου υδρογόνου που μπορεί να αποθηκευθεί ή να μεταφερθεί και να καεί ως αέριο καύσιμο. Η παραπάνω λύση αποτελεί τη βέλτιστη πρόταση αξιοποίησης λόγω του ότι δεν έχει καμία επίπτωση στο περιβάλλον, αφού κατά την καύση του υδρογόνου παράγεται μόνο νερό σε μορφή υδρατμών (Μπεργελές, 2005).

Η αρχή λειτουργίας της ανεμογεννήτριας και η αλληλουχία των βημάτων για την παραγωγή μέχρι την αξιοποίηση της ηλεκτρικής ενέργειας, χονδρικά, για ένα τυπικό αυτόνομο σύστημα (Σχήμα 3.1) έχουν ως εξής:



Σχήμα 3.1 Αυτόνομο σύστημα παραγωγής ηλ. ενέργειας από Α/Γ

- Καθώς ο άνεμος αλληλεπιδρά με τον δρομέα της Α/Γ προκαλείται μια ροπή
- Η σχετικά χαμηλή συχνότητα περιστροφής του δρομέα αυξάνεται μέσω ενός μετατροπέα στροφών, του οποίου ο άξονας εξόδου περιστρέφει μια γεννήτρια
- Το μεταβλητής συχνότητας ρεύμα που παράγει η γεννήτρια, μετατρέπεται σε συνεχές (DC) μέσω ενός μετατροπέα (rectifier) και φορτίζει τις μπαταρίες, που αποτελούν το πιο κλασικό μέσο αποθήκευσης και συμβάλουν στη σταθερότητα του συστήματος.

- Στη συνέχεια, ένας άλλος μετατροπέας (inverter) μετατρέπει το ανορθωμένο συνεχές ρεύμα, αποφορτίζοντας τις μπαταρίες, σε ορισμένης τάσης και συχνότητας εναλλασσόμενο ρεύμα (AC), το οποίο είναι άμεσα αξιοποιήσιμο από το τοπικό σύστημα.

Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες οφείλουν την κίνηση των πτερυγίων τους στην άνωση που ασκείται πάνω τους από τον άνεμο. Σε αυτή την ιδέα στηρίχθηκε η ανάπτυξη των ανεμογεννητριών γενικά και ειδικότερα των ανεμογεννητριών οριζοντίου άξονα, οι οποίες έχουν γνωρίσει την μεγαλύτερη εμπορική ανάπτυξη. Μια τυπική ανεμογεννήτρια σήμερα είναι οριζόντιου άξονα με ισχύ από 800 kW έως 3000 kW.

Σημαντικό χαρακτηριστικό κάθε ανεμογεννήτριας αποτελεί ο συντελεστής ισχύος C_p :

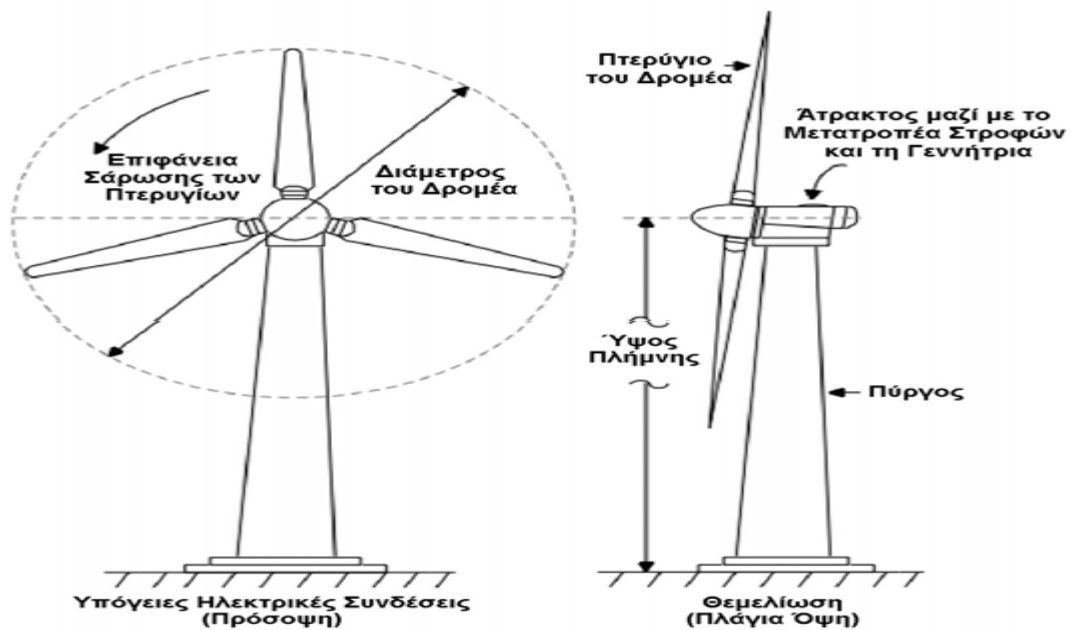
$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2}\rho AV^3} \Rightarrow P = \frac{1}{2}C_p\rho AV^3$$

που ορίζεται ως ο λόγος της ισχύος που αποδίδεται από την ανεμογεννήτρια P προς την ισχύ του ανέμου που διέρχεται από την επιφάνεια A . Ο συντελεστής ισχύος εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της μηχανής. Έτσι, η αεροδυναμική σχεδίαση των πτερυγίων των σύγχρονων μηχανών, έχει οδηγήσει σε υψηλότερους συντελεστές ισχύος και μεγαλύτερη ενεργειακή παραγωγή για δεδομένη ταχύτητα ανέμου. Όπως φαίνεται από τη σχέση του συντελεστή ισχύος, η αποδιδόμενη ισχύς είναι ανάλογη του κύβου της στιγμιαίας ταχύτητας του ανέμου. Για να υπολογίσουμε, λοιπόν, την ισχύ που παράγει μια συγκεκριμένη ανεμογεννήτρια, χρειαζόμαστε μόνο την στιγμιαία ταχύτητα του ανέμου στο ύψος του δρομέα. Επίσης πρέπει να σημειώσουμε ότι ο συντελεστής ισχύος έχει ως άνω όριο, όπως έδειξε ο Betz, την τιμή $C_p = \frac{19}{27}$ που ονομάζεται όριο του Betz. Συνεπώς, η αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού από την ανεμογεννήτρια μπορεί να γίνει μόνο μέχρι ένα ποσοστό της τάξης του 59%. Η μέγιστη τιμή αυτή, στην πράξη, δεν μπορεί να επιτευχθεί λόγω διαφόρων απωλειών κατά την αξιοποίηση της ενέργειας του ανέμου, και ένα τυπικό εύρος τιμών του συντελεστή είναι 20-40%.

3.2.2.2 Χαρακτηριστικά Ανεμογεννητριών

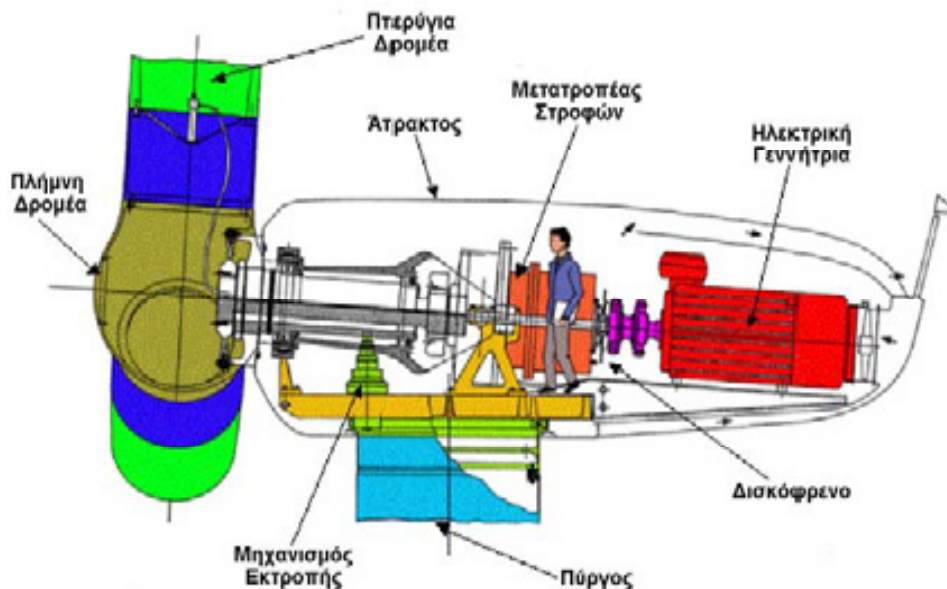
Οι ανεμογεννήτριες ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τη προσανατολισμό του άξονα, σε οριζόντιου και κατακόρυφου άξονα. Έχοντας μεγαλύτερη, κατά πολύ, ανάπτυξη, θα δώσουμε παρακάτω, συνοπτικά, κάποια χαρακτηριστικά των Α/Γ οριζοντίου άξονα.

Στο σχήμα 3.2 δίνονται η πρόοψη καθώς και η πλάγια όψη μιας ανεμογεννήτριας οριζοντίου άξονα, ενώ στο σχήμα 3.3 σημειώνονται πιο λεπτομερώς τα κύρια μέρη της ανεμογεννήτριας.



Σχήμα 3.2 Ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα

Τα κύρια μέρη των ανεμογεννητριών οριζοντίου άξονα είναι ο δρομέας, το σύστημα αύξησης στροφών (κιβώτιο ταχυτήτων), το σύστημα πέδησης, τα έδρανα του άξονα και οι ελαστικοί σύνδεσμοι, η ηλεκτρική γεννήτρια, το σύστημα προσανατολισμού, ο πύργος στήριξης και τα θεμέλια.



Σχήμα 3.3 Κύρια μέρη Α/Γ οριζοντίου άξονα

Ο δρομέας είναι ίσως το πιο βασικό ζήτημα στη σχεδίαση του όλου συστήματος. Αποτελείται από την πλήμνη και τα πτερύγια. Το πτερύγιο έχει αεροδυναμικό σχήμα και μπορεί να είναι ενιαίο ή να διαθέτει ακροπτερύγιο. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (αριθμός πτερυγίων, κατανομή πλάτους, επιλογή αεροτομής, συστροφή) προκύπτουν από τη βελτιστοποίηση της

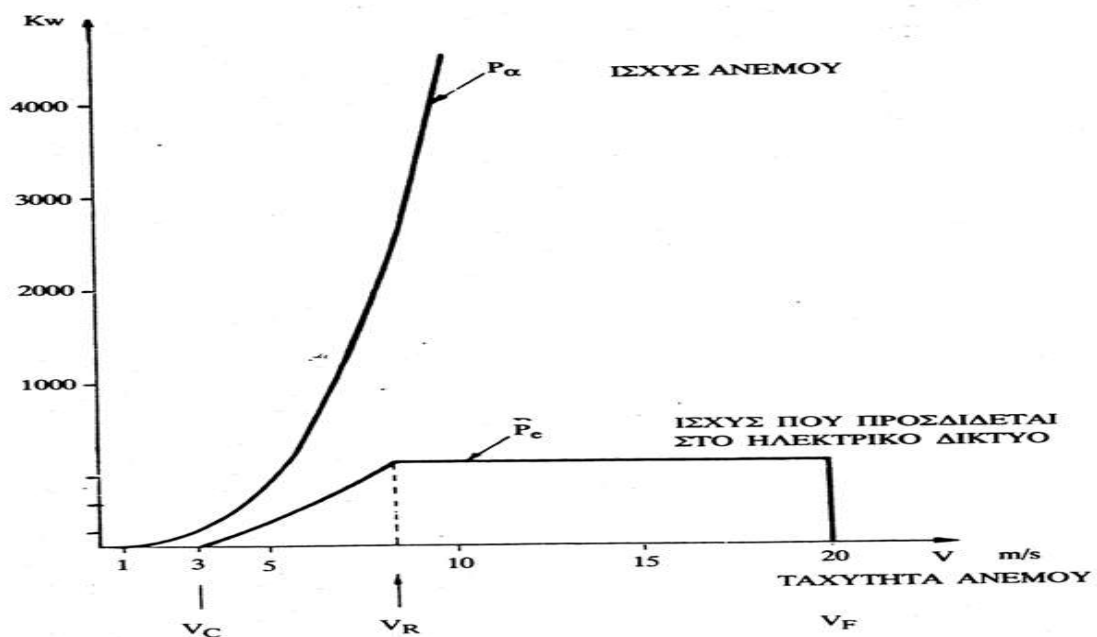
αεροδυναμικής σχεδίασης. Η ηλεκτρική γεννήτρια μπορεί να είναι ασύγχρονη ή σύγχρονη γεννήτρια. Γενικά προτιμούνται οι ασύγχρονες γεννήτριες λόγω της απλότητας κατασκευής, αν και οι ασύγχρονες έχουν καλύτερη συμπεριφορά σε αδύνατα δίκτυα (Ζερβός, 2007). Το σύστημα προσανατολισμού είναι ένας σερβοκινητήρας ο οποίος ελέγχεται από τον ανεμοδείκτη του ανεμογράφου και αναγκάζει το δρομέα να παρακολουθεί την κατεύθυνση του ανέμου και να παραμένει κάθετος σε αυτήν. Ο πύργος της ανεμογεννήτριας στηρίζει τη νασέλλα και το δρομέα. Μπορεί να είναι τύπου δικτυώματος, σωληνωτός και σπανιότερα σκυρόδεμα. Η θεμελίωση γίνεται με οπλισμένο σκυρόδεμα πάνω στο οποίο τοποθετείται με βίδες ο πύργος. Ο πύργος έχει σχήμα κώνου που εξυπηρετεί στην αύξηση της αντοχής και στην εξοικονόμηση υλικών με τη διάμετρο να αυξάνεται όσο πλησιάζουμε τη βάση. Μεγάλης σημασίας έχει η γείωση που πρέπει να έχει η μεταλλική κατασκευή της ανεμογεννήτριας.

3.2.2.3 Παραγωγή Ενέργειας

Καμπύλη ισχύος

Η παραγωγή ισχύος μιας Α/Γ μεταβάλλεται με την ταχύτητα του ανέμου, και κάθε μηχανή χαρακτηρίζεται από την καμπύλη ισχύος της, η οποία εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και το σχεδιασμό της. Η καμπύλη ισχύος χαρακτηρίζεται από τρεις τιμές ταχύτητας:

- V_{cut-in} Ταχύτητα έναρξης λειτουργίας
- V_F Ταχύτητα διακοπής λειτουργίας
- V_R Ονομαστική ταχύτητα



Σχήμα 3.4 Καμπύλη ισχύος ανέμου και Α/Γ

Το σχήμα 3.4 είναι χαρακτηριστικό της παραγόμενης ισχύος από την Α/Γ σε σχέση με την ταχύτητα και την ισχύ του ανέμου. Παρατηρούμε λοιπόν, ότι μια ανεμογεννήτρια ξεκινάει να παράγει ισχύ στην ταχύτητα έναρξης λειτουργίας V_{cut-in} , σταματάει τη λειτουργία της για λόγους ασφαλείας σε ταχύτητες μεγαλύτερες της ταχύτητας διακοπής λειτουργίας V_F , ενώ παράγει την ονομαστική της ισχύ για ταχύτητες μεγαλύτερες της ονομαστικής V_R . Γνωρίζοντας, έτσι, την στιγμιαία ταχύτητα του ανέμου μπορούμε να πούμε πόση ισχύ μπορεί να παράγει μια Α/Γ, μέσω της καμπύλης ισχύος της.

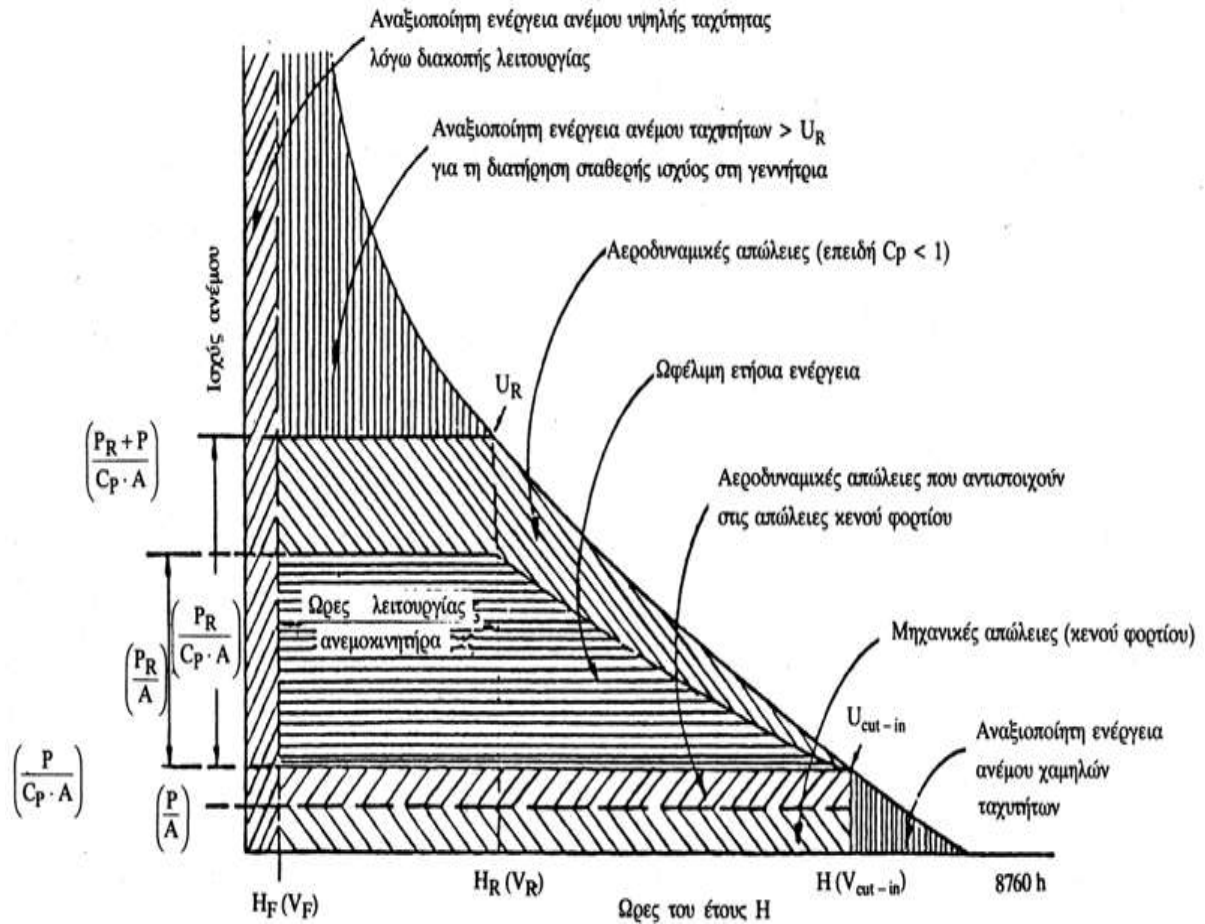
Απώλειες ενέργειας

Μια Α/Γ δεν μπορεί να αξιοποιήσει όλη την ετήσια ενέργεια του ανέμου για τους εξής λόγους (Μπεργελές, 2005):

- Αποδίδει ισχύ μόνο όταν η ισχύς του ανέμου είναι μεγαλύτερη από τις απώλειες κενού φορτίου (τριβές, άξονα, μειωτήρα, γεννήτριας). Έτσι, σε περιόδους με ταχύτητες μικρότερες της V_{cut-in} , η ενέργεια του ανέμου μένει ανεκμετάλλευτη, αφού δεν είναι σε θέση δώσει ροπή στον δρομέα.
- Για ταχύτητες μεγαλύτερης της ονομαστικής, επιδιώκεται να διατηρηθεί η παραγόμενη ισχύς σταθερή, αλλάζοντας τη γωνία κλίσης των πτερυγίων ή με τα μεταπτερύγια ή με την αλλαγή της γωνιακής θέσης του δρομέα ως προς τον άνεμο ή την αλλαγή της γωνιακής ταχύτητας του δρομέα, ανάλογα φυσικά με την γεννήτρια που έχει το σύστημα. Άρα για ταχύτητες μεγαλύτερες της V_R χάνεται ένα ποσό του αιολικού δυναμικού.
- Για υψηλές ταχύτητες ανέμου, η Α/Γ παύει να λειτουργεί για λόγους ασφαλείας. Συνεπώς, η ενέργεια του ανέμου σε αυτές τις περιπτώσεις μένει τελείως αναξιοποίητη.
- Κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας έχουμε αεροδυναμικές απώλειες (συντελεστής ισχύος).
- Κατά τη λειτουργία έχουμε ακόμα μηχανικές απώλειες στον άξονα, στον μειωτήρα και στη γεννήτρια. Ένα ποσοστό της τάξεως του 10% της ονομαστικής ισχύος της μηχανής είναι αντιπροσωπευτικό των μηχανικών απωλειών.

Το σχήμα 3.5 παρουσιάζει τις ενεργειακές απώλειες μιας τυπικής Α/Γ βάσει της προηγούμενης περιγραφής.

Θα πρέπει να τονίσουμε ότι, εκτός των απωλειών ενέργειας του ανέμου, παρατηρούνται απώλειες της παραγόμενης ενέργειας από την ανεμογεννήτρια κατά τη μεταφορά (καλώδια) αλλά και την μετατροπή του ηλεκτρικού ρεύματος (αναστροφείς, συστήματα ελέγχου) έτσι ώστε να μπορεί να εκμεταλλευτεί με ασφάλεια και αξιοπιστία από τα φορτία.



Σχήμα 3.5 Απώλειες ισχύος ανέμου κατά της εκμετάλλευση από Α/Γ

Έτσι αν υποθέσουμε ως E την παραγόμενη από την ανεμογεννήτρια ενέργεια, όπως υπολογίζεται από την καμπύλη ισχύος της για δεδομένη ταχύτητα ανέμου, τότε η ενέργεια που παρέχεται στο φορτία E_{net} θα είναι μειωμένη κατά ένα ποσοστό και θα δίνεται από τη σχέση:

$$E_{wind} = nE$$

όπου n ο βαθμός απόδοσης του συστήματος ανεμογεννητριών με τυπική τιμή 0.90.

3.3 Ηλιακή Ενέργεια

3.3.1 Εισαγωγή

Η ενέργεια που εκπέμπεται από τον ήλιο και φτάνει ως τη γη με τη μορφή ηλιακής ακτινοβολίας, είναι η κύρια πηγή ενέργειας γι' αυτήν, αφού συντελεί στη διατήρηση της θερμοκρασίας της, τροφοδοτεί τις άλλες πηγές ενέργειας και δίνει, μέσω της φωτοσύνθεσης, ζωή στα φυτά και, συνακόλουθα, στα ζώα. Παρά το γεγονός ότι η ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει στα όρια της ατμόσφαιρας είναι παντού σταθερή, δεν συμβαίνει το ίδιο με αυτή που φθάνει στο έδαφος, η ισχύς της οποίας σπάνια ξεπερνά τα 1000 W ανά τετραγωνικό μέτρο. Καθημερινά, προσπίπτει στην επιφάνεια της γης μια τεράστια ποσότητα ηλιακής ενέργειας, η οποία αν και αποτελεί ένα μικρό μόλις μέρος της ολικής ενέργειας που παράγεται από τον ήλιο, εντούτοις είναι 20.000 φορές μεγαλύτερη από την ενέργεια που καταναλώνεται σήμερα σε ολόκληρο τον κόσμο και με οποιαδήποτε μορφή. Η προσπίπτουσα στο έδαφος ακτινοβολία εξαρτάται από την εποχή του έτους, την ώρα της ημέρας, την παρουσία νεφών, ομίχλης και σκόνης, ενώ εξασθενεί τόσο περισσότερο όσο μικρότερη είναι η γωνία πρόσπτωσης της στην επιφάνεια του εδάφους και συνεπώς μεγαλύτερη η διαδρομή της μέσα στην ατμόσφαιρα.

Η ηλιακή ακτινοβολία γίνεται άμεσα αντιληπτή ως θερμότητα. Στο παρελθόν, αποτελούσε τη κύρια πηγή για την κάλυψη των θερμικών αναγκών του ανθρώπου. Στην Ελλάδα, λόγω της γεωγραφικής της θέσης και της υψηλής ηλιοφάνειας, προσπίπτουν ετησίως 1570 kWh ηλιακής ενέργειας σε κάθε τετραγωνικό μέτρο της οριζόντιας επιφάνειας της. Έτσι, είναι δυνατή η ,οικονομικά επωφελής, εφαρμογή τεχνολογιών εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας, κάτι που αποδεικνύεται από την ευρεία χρήση ηλιακών συλλεκτών.

Όμως, στη σύγχρονη εποχή, η ποιότητα ζωής των ανθρώπων βασίζεται στην εξασφάλιση των ενεργειακών τους αναγκών μέσω της ηλεκτρικής ενέργειας. Σε αυτό το σημείο, η αποδοτική εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας μπορεί να συμβάλει στην προσπάθεια για διεύρυνση των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή. Τα τελευταία χρόνια, συστήματα αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας, ονομαζόμενα ως φωτοβολταϊκά, γνωρίζουν ραγδαία ανάπτυξη. Αυτό οφείλεται στη βελτίωση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών αλλά και στη μείωση του κόστους τους λόγω της μαζικότερης παραγωγής τους. Τα φωτοβολταϊκά ,αν και δεν μπορούν να αποτελέσουν την κύρια πηγή ηλεκτροπαραγωγής μιας περιοχής, εντούτοις μπορούν να αντικαταστήσουν κατά ένα σημαντικό ποσοστό τις συμβατικές εφαρμογές (Κ.Α.Π.Ε., 2001). Άλλωστε, για την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας από φωτοβολταϊκά, απαιτούνται για την εγκατάσταση τους μεγάλες εκτάσεις γης. Παρόλα αυτά, σε περιοχές με υψηλή ηλιοφάνεια κατά τη διάρκεια του έτους, ενδείκνυται η εφαρμογή τους αφού κρίνεται οικονομικά συμφέρουσα με την ισχύουσα νομοθεσία. Ακόμα, δίνει την δυνατότητα ενεργειακής αυτονομίας σε μη διασυνδεδεμένες περιοχές. Το μέλλον κρίνεται ευοίωνο για τα συστήματα αξιοποίησης ηλιακής ενέργειας, αφού υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για την βελτίωση της λειτουργίας τους και γενικότερα για την μεγαλύτερη συνεισφορά τους στην ενεργειακή παραγωγή της χώρας.

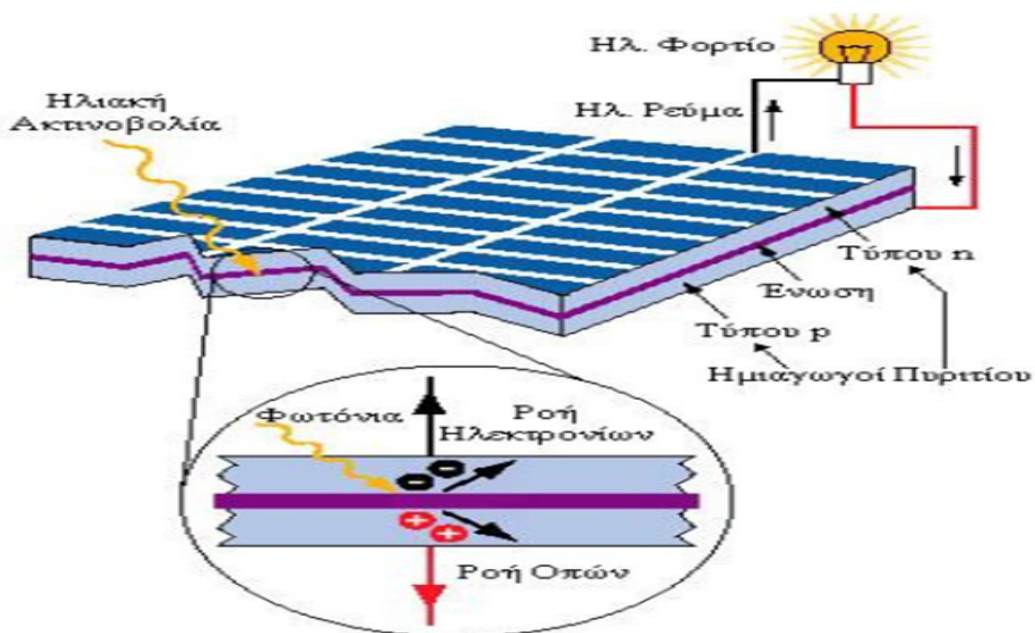
3.3.2 Φωτοβολταϊκά

3.3.2.1 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Το ηλιακό φως αποτελείται από ενεργειακά σωματίδια που ονομάζονται φωτόνια, τα οποία έχουν κοινή ταχύτητα αλλά διαφορετική ενέργεια, ανάλογα με το μήκος κύματος της περιοχής του ηλιακού φάσματος στην οποία ανήκουν. Αυτά όταν προσπίπτουν επάνω σε υλικό με ημιαγωγικές ιδιότητες, αλλά το διαπερνούν και άλλα απορροφώνται, ανάλογα με την ενέργεια που μεταφέρουν. Τα φωτόνια με μεγάλη ενέργεια, τα οποία απορροφώνται, προκαλούν την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Όσα δεν απορροφώνται (υπέρυθρη ακτινοβολία), διαπερνούν τον ημιαγωγό χωρίς καμία επίδραση.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.4, η λειτουργία ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου έχει ως εξής (Κ.Α.Π.Ε., 2001):

Όταν η ηλιακή ακτινοβολία, προσπίπτει σε κρυστάλλους πυριτίου, ένα φωτόνιο διεισδύει σ' ένα άτομο πυριτίου και εκδιώκει ένα ηλεκτρόνιο από την τροχιά του, δημιουργώντας έναν κενό δεσμό, μια οπή στην τετραεδρική κρυσταλλική δομή. Το απελευθερωμένο ηλεκτρόνιο, αρχίζει να κινείται μέσα στους κρυστάλλους αναζητώντας την οπή του, ένα θετικό φορτίο. Η οπή, όμως, κινείται επίσης, αλλάζοντας θέσεις με κοντινά ηλεκτρόνια, αρχικά, και στη συνέχεια, με πιο απομακρυσμένα ηλεκτρόνια. Έτσι, το ηλεκτρόνιο και η οπή του θα διαχωρίζονταν για πολύ σύντομο χρονικό διάστημα, πριν ξαναενωθούν και απολέσουν την ενέργεια του φωτός, υπό μορφή θερμότητας. Αν όμως, μερικά άτομα πυριτίου αντικατασταθούν στη μια πλευρά του κρυστάλλου με άτομα βορίου και στην άλλη με άτομα φωσφόρου, η μια πλευρά εμφανίζει σταθερά θετικά φορτία και η άλλη σταθερά αρνητικά.



Σχήμα 3.4 Αρχή λειτουργίας- χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκού στοιχείου

Στο σημείο επαφής των δύο αντιθέτως φορτισμένων πλευρών δημιουργείται ένα πολύ μικρού πάχους ενεργειακό φράγμα όπου, λόγω της ισχυρής διαφοράς δυναμικού που εμφανίζεται εκεί, τα ηλεκτρόνια μπορούν να κινηθούν από τη θετικά στην αρνητικά φορτισμένη πλευρά, αλλά όχι κατά την αντίθετη κατεύθυνση. Αυτή είναι η βασική ιδιότητα ενός ημιαγωγού. Κατά αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται ο μόνιμος διαχωρισμός των ηλεκτρονίων από τις οπές τους, αφού αυτές συσσωρεύονται στην αρνητικά φορτισμένη πλευρά του κρυστάλλου πυριτίου, ενώ οι οπές συσσωρεύονται στη θετικά φορτισμένη πλευρά του.

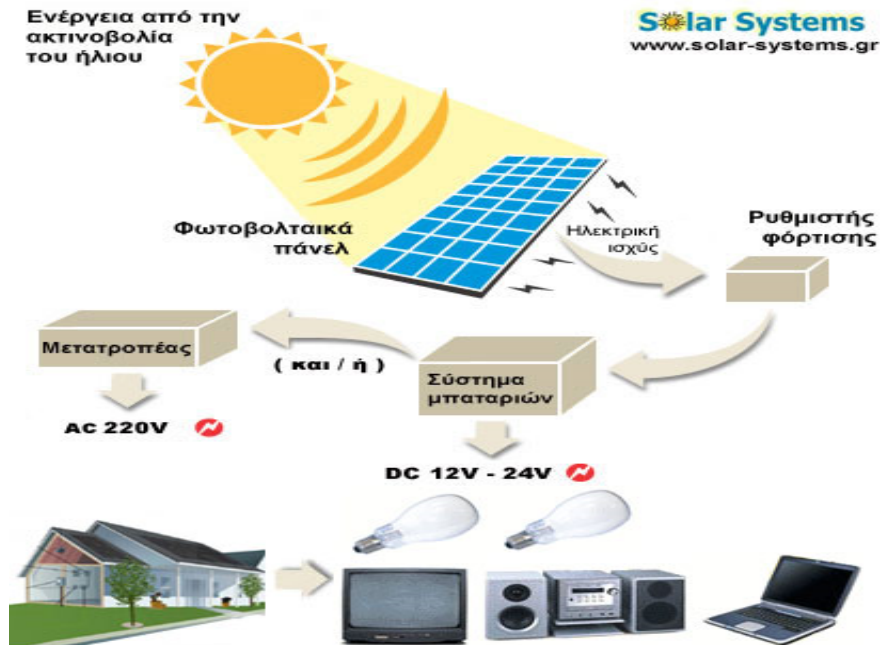
Αυτός ο ημιαγωγός ονομάζεται φωτοβολταϊκό στοιχείο. Εάν στις δύο πλευρές συνδεθούν ακροδέκτες και το κύκλωμα «κλείσει» με μια ηλεκτρική συσκευή, τα ηλεκτρόνια διοχετεύονται στο κύκλωμα, διέρχονται από τη συσκευή όπου παράγουν έργο. Έτσι παράγεται το ηλεκτρικό ρεύμα με τη χρήση ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου. Η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος συνεχίζεται όσο προσπίπτει ηλιακή ακτινοβολία στο στοιχείο, ενώ και σε περιόδους συννεφιάς έχουμε παραγωγή με πολύ, όμως, μειωμένη απόδοση. Σοβαρό μειονέκτημα των φωτοβολταϊκών αποτελεί η μειωμένη απόδοση τους σε περιόδους καύσωνα, καθώς η υψηλή θερμοκρασία επηρεάζει αρνητικά τον βαθμό απόδοσης τους.

3.3.2.2 Τα φωτοβολταϊκά συστήματα

Η ενέργεια που παράγεται από ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι περιορισμένη. Για το λόγο αυτό, προκειμένου να παραχθεί σημαντική ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας, πολλά φωτοβολταϊκά στοιχεία μαζί συνδέονται μεταξύ τους ηλεκτρονικά, σχηματίζοντας μια φωτοβολταϊκή γεννήτρια (Κ.Α.Π.Ε., 2001). Για λόγους μηχανικής αντοχής και ευχρηστίας, τα στοιχεία αυτά έχουν ενσωματωμένα στο περίγραμμα τους μεταλλικά ελάσματα ανωδιωμένου αλουμινίου και για λόγους προστασίας, είναι αεροστεγώς και υδατοστεγώς κλεισμένα μέσα σε ειδικό τζάμι και ειδικά μονωτικά πλαστικά. Η συνολική ηλεκτρική ισχύς μιας γεννήτριας είναι ίση με το άθροισμα της ισχύος των φωτοβολταϊκών στοιχείων που την αποτελούν. Πολλές φωτοβολταϊκές γεννήτριες, συνδεδεμένες παράλληλα μεταξύ τους σχηματίζουν μια φωτοβολταϊκή συστοιχία.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια τοποθετούνται επάνω σε στρεφόμενα στηρίγματα που ακολουθούν την τροχιά του ήλιου. Έτσι μεγιστοποιείται η προσπίπτουσα ακτινοβολία και συνακόλουθα η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Συνήθως τα πλαίσια τοποθετούνται σε σταθερά στηρίγματα, σχηματίζοντας παράλληλες σειρές. Σχετικά με τον προσανατολισμό τους, στις περισσότερες εφαρμογές επιλέγεται να είναι από νοτιοανατολικός μέχρι και νοτιοδυτικός (Ζερβός, 2007). Ενώ η κλίση τις επιφάνειες, συνήθως, επιλέγεται να είναι ίση με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής εγκατάστασης, έτσι ώστε η ακτινοβολία να πέφτει κάθετα το μεσημέρι του Μαρτίου και του Σεπτεμβρίου (Ζερβός, 2007). Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στην απόσταση των φωτοβολταϊκών πλαισίων, προκειμένου να περιορίζεται η σκίαση τους στις πρώτες πρωινές ώρες ή στις τελευταίες απογευματινές.

Οι φωτοβολταϊκές γεννήτριες, συνδυαζόμενες με άλλες συσκευές σχηματίζουν τα λεγόμενα φωτοβολταϊκά συστήματα. Ο κύριος διαχωρισμός των συστημάτων αυτών είναι σε αυτόνομα και διασυνδεδεμένα, ανάλογα με το αν είναι συνδεδεμένα με το δίκτυο ή όχι. Παρακάτω θα γίνει μια σύντομη περιγραφή ενός τυπικού αυτόνομου συστήματος (Σχήμα 3.5).



Σχήμα 3.5 Υποσυστήματα αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος

Ένα τυπικό αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από τα εξής υποσυστήματα:

- Τις φωτοβολταϊκές γεννήτριες, οι οποίες μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρικό ρεύμα συνεχούς τάσης.
- Τη διάταξη αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας, που συνήθως είναι κάποια μπαταρία.
- Τον ηλεκτρικό ρυθμιστή φόρτισης, ο οποίος προστατεύει τις μπαταρίες από έντονη φόρτιση και από έντονη εκφόρτιση.
- Τον αντιστροφέα, ο οποίος μετατρέπει τη συνεχή τάση του παραγόμενου ρεύματος σε εναλλασσόμενη, που απαιτεί η πλειονότητα των φορτίων.

3.3.2.3 Παραγωγή ενέργειας

Η παραγόμενη (ωριαία/ημερήσια/μηνιαία) ηλεκτρική ενέργεια ενός φωτοβολταϊκού συστήματος υπολογίζεται από τη σχέση (Κτενίδης, 2008):

$$E_{pv} = G_T S_k a$$

Όπου,

G_T , η (ωριαία/ημερήσια/μηνιαία) ολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο γωνίας και προσανατολισμού ίσο με αυτό που έχουν εγκατασταθεί τα φωτοβολταϊκά πλαίσια

$S_k = NS$, η συνολική ενεργός επιφάνεια πλαισίων (N ο αριθμός των πλαισίων, S ενεργός επιφάνεια κάθε πλαισίου)

a , η συνολική απόδοση της εγκατάστασης

Η απόδοση της εγκατάστασης επηρεάζεται από παράγοντες όπως:

- Την ονομαστική απόδοση της φωτοβολταϊκής γεννήτριας, n_{mod} .

Η τιμή της δίνεται από τον κατασκευαστή, μετρούμενη υπό πρότυπες συνθήκες

- Τον βαθμό απόδοσης των αντιστροφών, n_{inv} (τυπική τιμή: 0.95).
- Τις απώλειες των καλωδίων, a_{cab} (τυπική τιμή: 0.01).
- Τις απώλειες λόγω σκίασης, a_{sh} (τυπική τιμή: 0.01).
- Τον συντελεστή καθαρότητας του πλαισίου, σ_p (τυπική τιμή: 0.95).
- Τον θερμοκρασιακό συντελεστή, σ_θ .

Αν T_c η μέση (ωριαία/ημερήσια/μηνιαία) θερμοκρασία του στοιχείου, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι μεταβάλλεται γραμμικά με τη μέση (ωριαία/ημερήσια/μηνιαία) θερμοκρασία περιβάλλοντος T_a , σύμφωνα με τη σχέση:

$$T_c = T_a + h_w G_T$$

όπου h_w χαρακτηριστικός συντελεστής φωτοβολταϊκών πλαισίων με τυπική τιμή $0,03 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$.

Ο θερμοκρασιακός συντελεστής υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\sigma_\theta = 1 - 0,005(T_c - 25)$$

Τελικά, η συνολική απόδοση της εγκατάστασης δίνεται από την σχέση:

$$a = n_{mod} n_{inv} (1 - a_{cab}) (1 - a_{sh}) \sigma_p \sigma_\theta$$

3.4 Υβριδικά συστήματα

Η διακύμανση της παραγόμενης ενέργειας των αιολικών μηχανών, λόγω της στοχαστικότητας του ανέμου, αλλά και η, σχεδόν συγκεκριμένης διάρκειας κατά την διάρκεια της ημέρας, παραγωγή ενέργειας των φωτοβολταϊκών συστημάτων, αποτελούν εμπόδιο στην εκτεταμένη εκμετάλλευση της αιολικής και ηλιακής ενέργειας σε μη διασυνδεδεμένα νησιά (Ζερβός, 2007).

Ένα ηλεκτρικό σύστημα χαρακτηρίζεται από την παραγωγή (προσφορά) και την κατανάλωση (ζήτηση) ενέργειας. Η ηλεκτρική ενέργεια έχει το χαρακτηριστικό να μη μπορεί να αποθηκεύεται σε μεγάλες ποσότητες, αφού κάτι τέτοιο αυξάνει αρκετά το κόστος. Αυτό σημαίνει ότι η προσφορά πρέπει να βρίσκεται σε συνεχή ισορροπία με τη ζήτηση. Όπως προαναφέραμε, όμως, τόσο οι ανεμογεννήτριες όσο και τα φωτοβολταϊκά δεν είναι σε θέση να ικανοποιήσουν την απαίτηση αυτή, για το λόγο ότι στηρίζονται σε μη προβλέψιμα μετεωρολογικά δεδομένα.

Το πρόβλημα είναι ακόμα πιο έντονο σε μικρά αυτόνομα συστήματα, όπως πολλά ελληνικά νησιά, όπου η ζήτηση παρουσιάζει έντονες διακυμάνσεις. Η έλλειψη τοπικής βιομηχανίας που να καταναλώνει σημαντική ενέργεια τη νύχτα, καθώς και η κατακόρυφη αύξηση της ζήτησης τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω του τουρισμού και της εκτεταμένης χρήσης κλιματιστικών συσκευών, προκαλούν έντονες ανομοιομορφίες στο προφίλ της ζήτησης (Ζερβός, 2007).

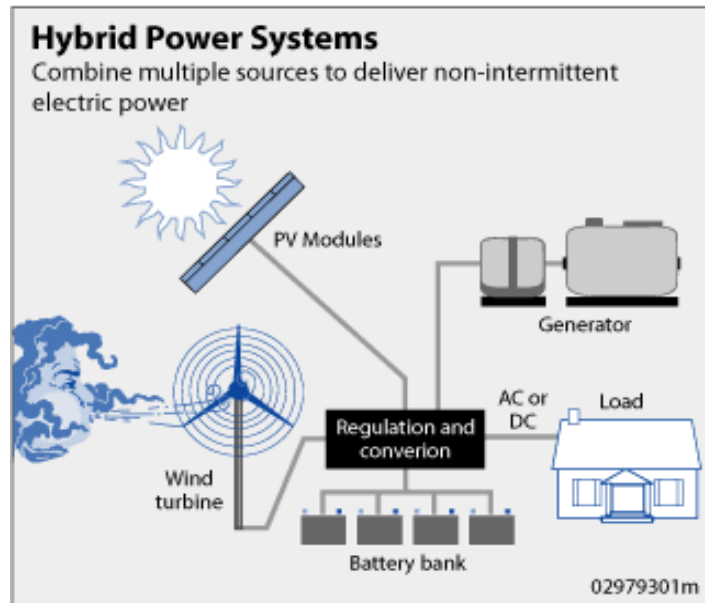
Να τονίσουμε σε αυτό το σημείο, ότι ένα σύστημα αφαλάτωσης παρουσιάζει παρόμοια διακύμανση στη ζήτηση ενέργειας, αφού οι ανάγκες σε πόσιμο νερό, σε ημερήσιο επίπεδο, ουσιαστικά παρουσιάζονται την ημέρα, και σε μηνιαίο επίπεδο, παρουσιάζουν ραγδαία αύξηση τους καλοκαιρινούς μήνες, λόγω του τουρισμού και της αύξησης της θερμοκρασίας.

Η ανομοιομορφία της ζήτησης τόσο κατά τη διάρκεια της ημέρας όσο και του έτους, αλλά και η στοχαστικότητα παραγωγής ενέργειας από τις Α/Γ και τα Φ/Β, καθιστούν την εγκατάσταση τους σ' ένα μη διασυνδεδεμένο νησί, μη αποδοτική και συνεπώς ασύμφορη οικονομικά. Έτσι, λοιπόν, απαιτείται ο συνδυασμός τεχνολογιών ή/και η χρήση συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας.

Ο συνδυασμός διαφορετικών τεχνολογιών είτε συμβατικών είτε ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ονομάζεται υβριδικό σύστημα. Τέτοια συστήματα, μελετώνται ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια, στην κατεύθυνση για παραγωγή ενέργειας από φιλικές προς το περιβάλλον τεχνολογίες αλλά και συγχρόνως, για αξιόπιστη και ασφαλής προσφορά ενέργειας στον καταναλωτή. Πρόκληση, λοιπόν, αποτελεί η απαλοιφή των μειονεκτημάτων των τεχνολογιών ΑΠΕ και η αύξηση της διείσδυσης τους, με εφαρμογή υβριδικών συστημάτων ή/και με συνδυασμό τους με συστήματα αποθήκευσης ενέργειας.

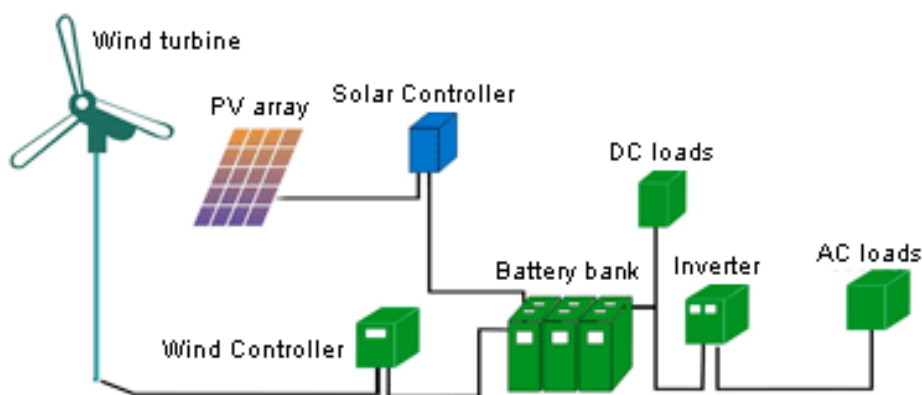
Μια ευρύτατα εφαρμοσμένη τεχνολογία είναι η παράλληλη χρήση αιολικών συστημάτων με μηχανές εσωτερικής καύσης diesel (Σχήμα 3.6). Σε τέτοια συστήματα οι αιολικές μηχανές λειτουργούν ως εφεδρεία και η χρήση τους αποσκοπεί στην εξοικονόμηση καυσίμου και στη

μείωση της ρύπανσης που προκαλείται, αλλά όχι στην μείωση της εγκατεστημένης ισχύος των μηχανών diesel. Είναι γεγονός, ότι σε πολλά νησιά της Ελλάδας, είναι εγκατεστημένες μηχανές diesel για την κάλυψη της ζήτησης. Συνεπώς, η εγκατάσταση Α/Γ ή/και Φ/Β θα οδηγήσει σ' ένα ποσοστό στην απεξάρτηση του νησιού από την αγορά καυσίμου.



Σχήμα 3.6 Υβριδικό σύστημα με Α/Γ, Φ/Β, μηχανές Diesel και μπαταρίες

Ακόμα, υπάρχουν τύποι υβριδικών συστημάτων που συνδυάζουν μόνο τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Σχήμα 3.7). Παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών είναι ο συνδυασμός Α/Γ με Φ/Β με ή χωρίς σύστημα αποθήκευσης, Α/Γ και Φ/Β με αφαλάτωση, ενώ η παράλληλη χρήση μικρών υδροηλεκτρικών μπορεί να αυξήσει την αξιοπιστία του συστήματος, λόγω της προβλέψιμης λειτουργίας και της γρήγορης απόκρισης τους. Σε περιπτώσεις εφαρμογής υβριδικών συστημάτων γίνεται βελτιστοποίηση στη διαστασιολόγηση των μονάδων, και δίνεται έμφαση στο σύστημα ελέγχου.



Σχήμα 3.7 Υβριδικό σύστημα με Α/Γ, Φ/Β και μπαταρίες

3.5 Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας

3.5.1 Γενικά

Όπως έγινε κατανοητό από τις προηγούμενες ενότητες, η χρήση κάποιου συστήματος αποθήκευσης ενέργειας είτε σε απλά είτε σε υβριδικά αυτόνομα συστήματα, κρίνεται απαραίτητη για τη βέλτιστη λειτουργία του συστήματος. Οι Α/Γ και τα Φ/Β δεν είναι σε θέση να καλύψουν τη ζήτηση κάθε στιγμής κατά τη διάρκεια του έτους, και η χρήση τέτοιων συστημάτων επιτρέπει την γρήγορη κάλυψη ενδεχόμενης απώλειας των τεχνολογιών εκμετάλλευσης ΑΠΕ, πριν το σύστημα οδηγηθεί σε αδυναμία κάλυψης φορτίων (black-out).

Επιγραμματικά, αναφέρουμε κάποια συστήματα αποθήκευσης ενέργειας (Patel, 1999):

- Μπαταρίες
- Σύστημα αντλησιοταμίευσης
- Σφόνδυλος (Flywheel)
- Συμπιεσμένος αέρας (Compressed air)
- Υπεραγώγιμο πηνίο (superconducting coil)

Από τα παραπάνω θα εστιάσουμε στο σύστημα αντλησιοταμίευσης στην επόμενη υποενότητα.

Περαιτέρω ανάλυση για τα υπόλοιπα συστήματα ξεφεύγει από τα όρια της διπλωματικής εργασίας.

3.5.2 Σύστημα αντλησιοταμίευσης

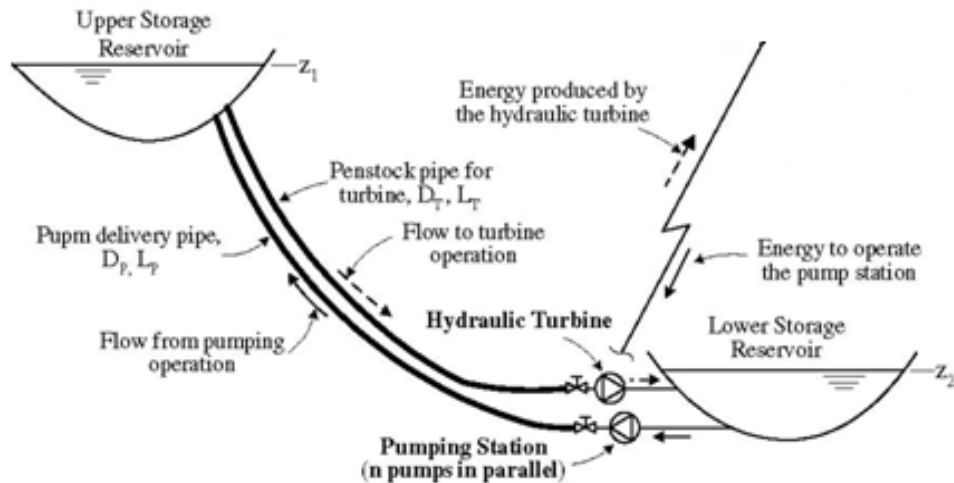
3.5.2.1 Εισαγωγή

Η αντλησιοταμίευση αποτελεί μια πολύ καλή λύση για την αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας, όταν αυτά παράγονται με κάποιο τρόπο (Α/Γ, Φ/Β), μια δεδομένη χρονική στιγμή, κατά την οποία δεν μπορούν να απορροφηθούν. Τα αποθηκευμένα αυτά ποσά ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν μια άλλη χρονική όταν προκύψει σχετική ανάγκη για παροχή ενέργειας και οι βασικές μονάδες παραγωγής δεν είναι σε θέση να καλύψουν το σύνολο της ζήτησης.

Ένα τυπικό σύστημα αντλησιοταμίευσης (Σχήμα 3.8) αποτελείται από τα παρακάτω μέρη:

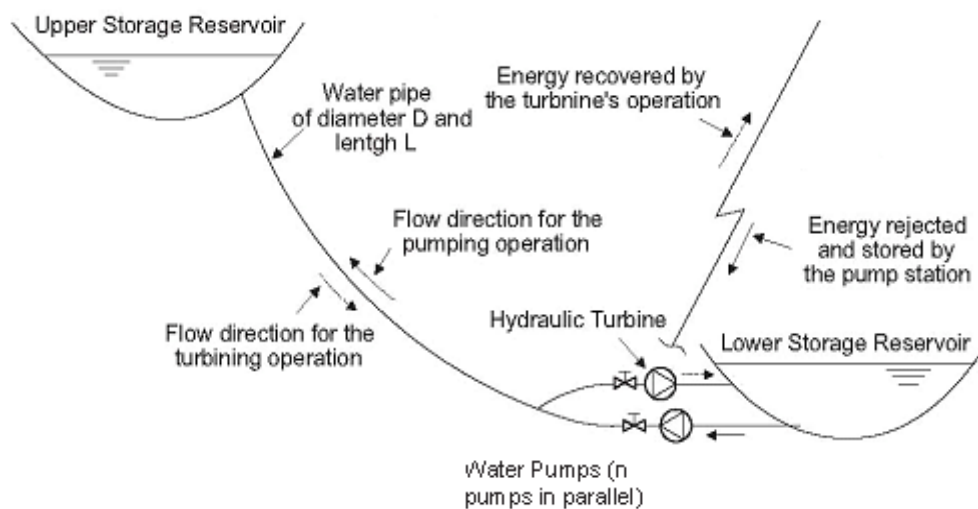
- Μία αντλία ή ένα σύστημα αντλιών
- Έναν υδροστρόβιλο ή ένα σύστημα υδροστροβίλων
- Δύο δεξαμενές νερού, οι οποίες βρίσκονται σε ικανή υψομετρική διαφορά μεταξύ τους

- Ένα σύνολο σωληνώσεων για την άντληση του νερού από την κάτω δεξαμενή προς την άνω
- Ένα σύνολο σωληνώσεων για την προσαγωγή νερού από την άνω δεξαμενή προς την κάτω μέσω του υδροστροβίλου για την παραγωγή ηλ. ενέργειας
- Μια ηλεκτρική μηχανή που λειτουργεί είτε ως κινητήρας είτε ως γεννήτρια σε κοινή άτρακτο με την αντλία και τον υδροστροβίλο.



Σχήμα 3.8 Τυπικό σύστημα αντλησιοταμίευσης με διπλή σωλήνωση

Πολλές φορές, στο παραπάνω σύστημα χρησιμοποιείται μονή σωλήνωση (Σχήμα 3.9), σε περιπτώσεις που δεν απαιτείται η παράλληλη λειτουργία των δύο μηχανών, και πλεονεκτεί στο ότι μειώνονται τα έξοδα εγκατάστασης.



Σχήμα 3.9 Αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό σύστημα με μονή σωλήνωση

Βέβαια, υπάρχει και μια δεύτερη κατηγορία συστήματος αντλησιοταμίευσης, το λεγόμενο αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό σύστημα. Η εγκατάσταση αυτή περιλαμβάνει μια αναστρέψιμη υδροδυναμική μηχανή που λειτουργεί είτε ως αντλία είτε ως στρόβιλος και μονή σωλήνωση αντί για διπλή.

Συγκριτικά, η πρώτη λύση υπερτερεί στο ότι κάθε μηχανή επιλέγεται έτσι ώστε να λειτουργεί στο κανονικό της σημείο λειτουργίας (λεπτομέρειες θα δοθούν στη συνέχεια), αλλά μειονεκτεί στο αυξημένο κόστος ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού σε σχέση με τη δεύτερη λύση (Παπαντώνης, 2004). Επίσης, όταν η διαθέσιμη υδραυλική πτώση είναι σημαντική, ο υδροστρόβιλος δεν μπορεί να λειτουργήσει ως αντλία, και είναι απαραίτητη η εγκατάσταση ανεξάρτητης αντλίας που θα εξασφαλίζει τη λειτουργία της αποταμίευσης.

Θα λέγε κανείς, ότι ένα σύστημα αντλησιοταμίευσης, αποτελεί ένα συνδυασμό αντλητικής εγκατάστασης (αποταμίευση ενέργειας) και υδροηλεκτρικού έργου (παραγωγή ενέργειας). Παρακάτω θα γίνει αναφορά για κάθε μέρος του τυπικού συστήματος ξεχωριστά, και τέλος θα αναλυθούν τα χαρακτηριστικά της λειτουργίας του.

3.5.2.2 Αντλίες

Εισαγωγή

Οι αντλίες αποτελούν μια κατηγορία στροβιλομηχανών και ειδικότερα ανήκουν στις εργοστροβιλομηχανές και ορίζονται ως οι μηχανές μέσω των οποίων γίνεται εναλλαγή της μηχανικής ενέργειας (η οποία προσδίδεται από έναν κινητήρα στην στρεφόμενη άτρακτο και από αυτή στην πτερωτή) σε ενέργεια ρευστού.

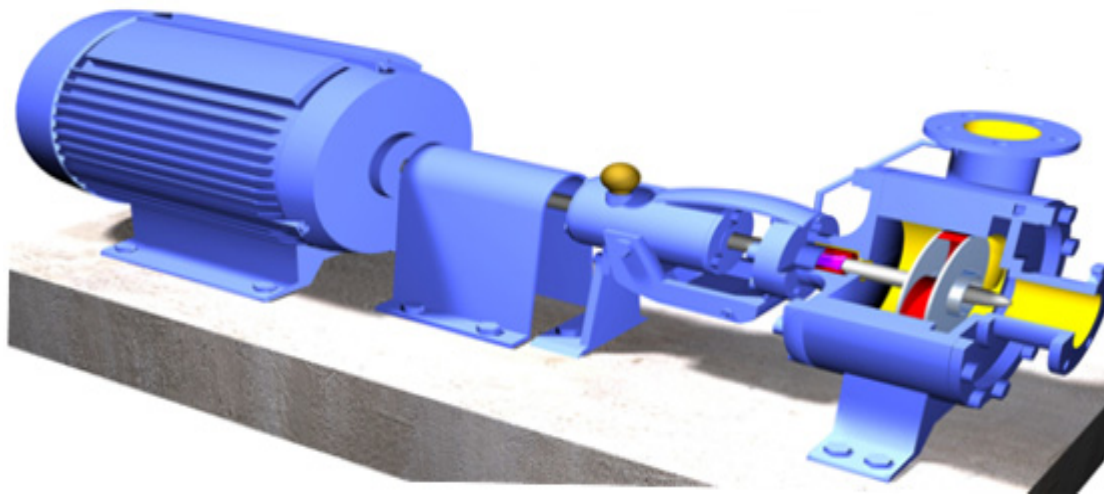
Σκοπός των αντλιών είναι η διακίνηση υγρών από μια δεξαμενή σε μια άλλη που βρίσκεται σε μεγαλύτερη συνήθως στάθμη από την πρώτη. Οι αντλίες προσδίδουν ενέργεια στο υγρό η οποία αντιστοιχεί στην ενεργειακή αναβάθμιση του υγρού μεταξύ άνω και κάτω δεξαμενής και στην ενέργεια που δαπανάται λόγω υδραυλικών απωλειών στη σωλήνωση μέσω της οποίας γίνεται η διακίνηση του υγρού.

Διαμόρφωση Αντλιών

Τα κύρια μέρη μιας αντλίας, όπως φαίνονται στο σχήμα 3.10, είναι (Παπαντώνης, 2004):

- Η πτερωτή, ένα στρεφόμενο τμήμα της μηχανής, στο οποίο λαμβάνει χώρα η μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ενέργεια του ρευστού.
- Το τμήμα εισόδου, που εξασφαλίζει την οδήγηση του ρευστού από τη διατομή εισόδου της μηχανής μέχρι την διατομή εισόδου της πτερωτής.

- Το τμήμα εξόδου, ρόλος του οποίου είναι η συλλογή του ρευστού που εξέρχεται από την περωτή και η οδήγηση στην διατομή εξόδου της μηχανής.



Σχήμα 3.10 Διαμόρφωση αντλίας σε τομή

Για είναι δυνατή η λειτουργία της μηχανής θα πρέπει να υπάρχουν και άλλα τμήματα τα οποία εξασφαλίζουν τη λειτουργία και συνεργασία των κύριων τμημάτων, όπως το εξωτερικό κέλυφος με το οποίο συνδέονται τα υπόλοιπα τμήματα έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η στεγανότητα της μηχανής, η μεταφορά των δυνάμεων και ροπών που αναπτύσσονται σε αυτά, η στρεφόμενη άτρακτος μέσω της οποίας γίνεται η μεταφορά της μηχανικής ροπής, τα έδρανα της ατράκτου, ο μηχανισμός στεγανότητας (στυπιοθλίπτες) κλπ.

Το ρευστό εισέρχεται στο τμήμα εισόδου, όπου εξασφαλίζεται η ομοιομορφία της ροής, που απαιτείται στην είσοδο της περωτής. Όταν εισέρχεται στην περωτή, το ρευστό είναι απαλλαγμένο συστροφής. Περνώντας από την περωτή, το ρευστό αποκτά ενέργεια και συστροφή. Τέλος, συλλέγεται από το τμήμα εξόδου της αντλίας και οδηγείται στην έξοδο της μηχανής, όπου έχει ομοιόμορφη ροή και μια συγκεκριμένη τιμή πίεσης.

Γενικές εξισώσεις

Η ανά μονάδα μάζας ενέργεια H που παραλαμβάνει το υγρό από την αντλία, εκφρασμένης σε μέτρα στήλης υγρού (mΣΥ), ονομάζεται πραγματικό ολικό ύψος της αντλίας (Παπαντώνης, 2004), και ορίζεται ως η διαφορά ολικής ενέργειας της μονάδας μάζας του υγρού, μεταξύ της συμβατικής διατομής εξόδου a (κατάθλιψης) και της συμβατικής διατομής εισόδου e (αναρρόφησης):

$$H = H_{oa} - H_{oe} = \frac{c_a^2}{2g} + \frac{p_a}{\rho g} + z_a - \left(\frac{c_e^2}{2g} + \frac{p_e}{\rho g} + z_e \right)$$

Όπου c η ταχύτητα (κινητική ενέργεια), p η στατική πίεση (ενέργεια εντατικής κατάστασης), και z το γεωδαιτικό ύψος ως προς μια στάθμη αναφοράς (δυναμική ενέργεια), στην συγκεκριμένη θέση.

Συμβολίζοντας με Q την παροχή όγκου του υγρού που διακινείται από την αντλία, η θεωρητική ισχύς N_i , δηλαδή η ανά μονάδα χρόνου ενέργεια που παραλαμβάνεται από το διερχόμενο υγρό, είναι ίση προς:

$$N_i = \gamma QH$$

όπου $\gamma = \rho g$ το ειδικό βάρος του υγρού με τιμή στις συνήθεις συνθήκες θερμοκρασίας $\gamma = 1000 \text{ kp/m}^3$

Η πραγματική ισχύς N όμως που απορροφάται από τον κινητήρα της αντλίας για την διακίνηση της παροχής Q και την πρόσδοση ενέργειας H ανά μονάδα μάζας του υγρού θα είναι μεγαλύτερη από αυτή που παραλαμβάνει το υγρό, N_i , κατά τις διάφορες απώλειες (υδραυλικές, ογκομετρικές, μηχανικές) που λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό της αντλίας κατά την λειτουργία της. Ορίζεται ο ολικός βαθμός απόδοσης της αντλίας ως:

$$\eta_P = \frac{N_i}{N}$$

Τελικά, η ισχύς που απαιτεί μια αντλία για να διακινήσει υγρό παροχής, Q , και να του προσδώσει ενέργεια ανά μονάδα μάζας του, H , δίνεται από τη σχέση:

$$N = \frac{\gamma HQ}{\eta_P}$$

Σε μονάδες μετρικού συστήματος όπου η ισχύς N εκφράζεται σε kW, το ειδικό βάρος γ σε kp/m^3 , η παροχή Q σε m^3/s , και το πραγματικό ολικό ύψος H της αντλίας σε mΣΥ, η προηγούμενη εξίσωση γράφεται ως εξής (Παπαντώνης, 2004):

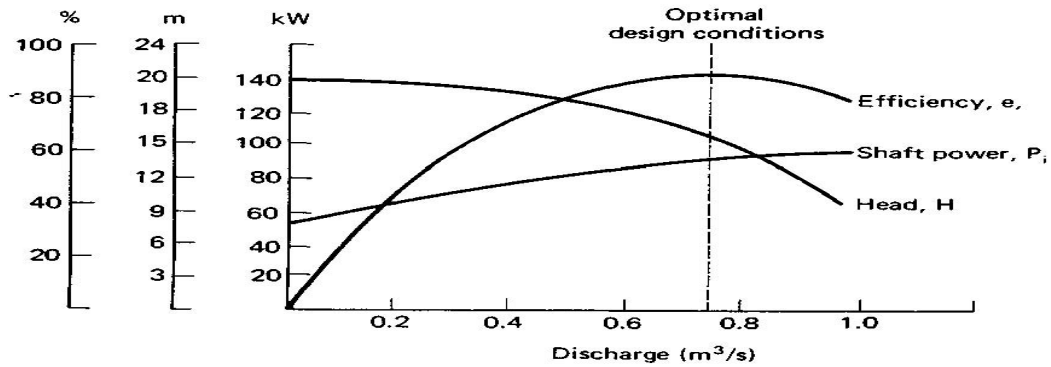
$$N = \frac{9,81HQ}{\eta_P}$$

Χαρακτηριστικές καμπύλες

Κάθε αντλία χαρακτηρίζεται από τις καμπύλες λειτουργίας της, οι οποίες δίνουν στοιχεία σχετικά με τη μεταβολή της απόδοσης, του ολικού ύψους, και της ισχύος της πτερωτής συναρτήσει της παροχής υγρού, για σταθερή ταχύτητα περιστροφής.

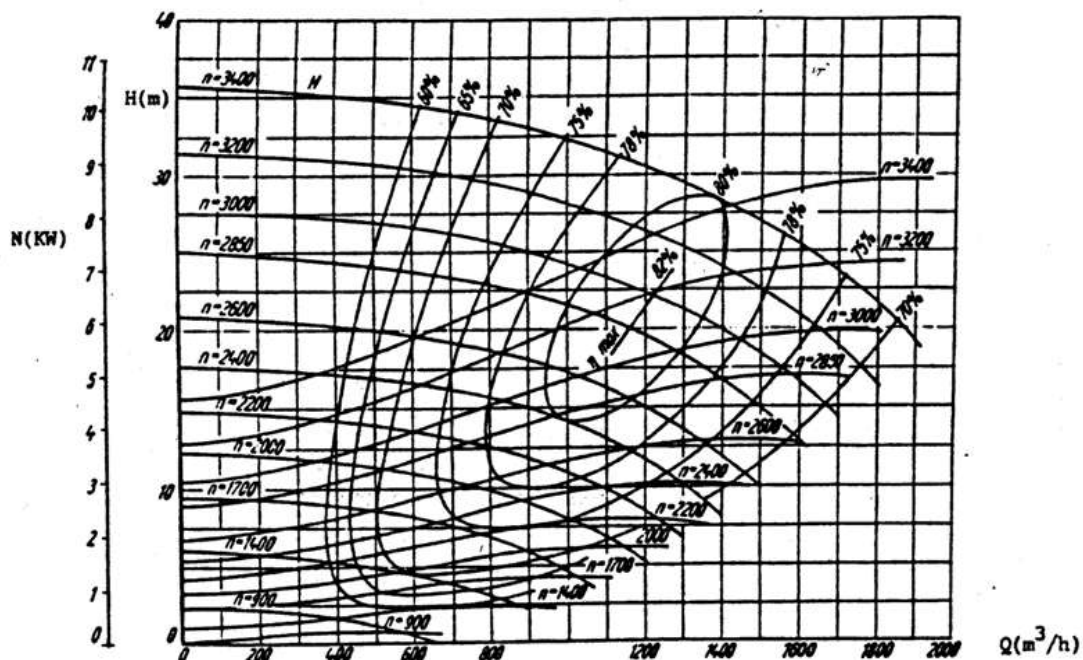
Από το σχήμα 3.11, στο οποίο δίνονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες μιας αντλίας, παρατηρούμε ότι υπάρχει ένα σημείο όπου σημειώνεται ο μεγαλύτερος βαθμός απόδοσης της

μηχανής και ονομάζεται κανονικό σημείο λειτουργίας. Η αντλία επιδιώκεται να «δουλεύει» στα χαρακτηριστικά H, Q του σημείου αυτού. Σε αντίθετη περίπτωση, η αντλία θα έχει μειωμένη απόδοση (Παπαντώνης, 2004).



Σχήμα 3.11 Χαρακτηριστικές καμπύλες αντλίας σταθερής ταχύτητας περιστροφής

Όμως μια αντλία είναι σε θέση να λειτουργεί σε διάφορες ταχύτητες περιστροφής, και για κάθε μία υπάρχει μια διαφορετική καμπύλη λειτουργίας. Το σχήμα 3.12 είναι ενδεικτικό:



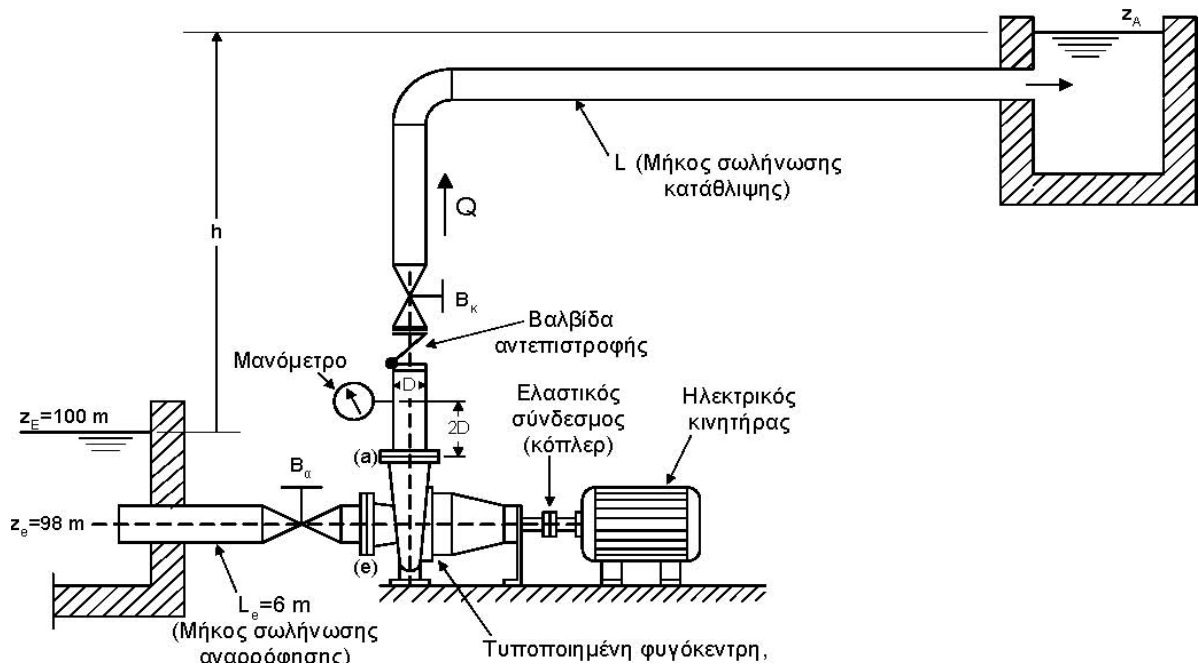
Σχήμα 3.12 Χαρακτηριστικές καμπύλες για διάφορες ταχύτητες περιστροφής

Δίνονται, λοιπόν, οι καμπύλες λειτουργίας για διάφορες ταχύτητες περιστροφής καθώς και οι βρόγχοι ίσου βαθμού απόδοσης. Παρατηρούμε ότι εμφανίζεται μια μέγιστη τιμή του βαθμού απόδοσης για μια ταχύτητα περιστροφής της αντλίας, η οποία καλείται κανονική ταχύτητα περιστροφής.

3.5.2.3 Αντλητική εγκατάσταση

Εισαγωγή

Μια αντλία, όπως προαναφέραμε, διακινεί υγρά μέσω σωλήνωσης από μια δεξαμενή, την δεξαμενή αναρρόφησης, προς μια άλλη, την δεξαμενή κατάθλιψης, που βρίσκεται σε μεγαλύτερο ύψος. Το υγρό στην δεξαμενή κατάθλιψης έχει μεγαλύτερη ολική ενέργεια ανά μονάδα μάζας από όση είχε στην δεξαμενή αναρρόφησης. Η επιπλέον αυτή ενέργεια προσδίδεται στο υγρό από την αντλία, η οποία καλύπτει, επίσης, τις απώλειες ενέργειας που συμβαίνουν κατά τη διακίνηση του υγρού μέσω της σωλήνωσης. Μια αντλητική εγκατάσταση (Σχήμα 3.13), λοιπόν, περιλαμβάνει την αντλία, τη σωλήνωση αναρρόφησης (από τη δεξαμενή αναρρόφησης μέχρι τη διατομή εισόδου της αντλίας e), την σωλήνωση κατάθλιψης (από τη διατομή εξόδου της αντλίας a μέχρι τη δεξαμενή κατάθλιψης), τον χώρο αναρρόφησης και κατάθλιψης, και τα σχετικά εξαρτήματα που σχετίζονται με την ασφάλεια, λειτουργία, και συντήρηση (Παπαντώνης, 2004).



Σχήμα 3.13 Λεπτομερής διάταξη μιας αντλητικής εγκατάστασης

Έστω z_E και z_A η στάθμη της ελεύθερης επιφάνειας του υγρού στις δεξαμενές αναρρόφησης και κατάθλιψης αντίστοιχα μετρημένες από κοινή στάθμη αναφοράς. Ορίζεται ως γεωμετρικό ύψος ανύψωσης h , τη διαφορά στάθμης μεταξύ της δεξαμενής κατάθλιψης και της δεξαμενής αναρρόφησης και το οποίο είναι ανεξάρτητο της στάθμης τοποθέτησης της αντλίας:

$$h = z_A - z_E$$

Καθορισμός σημείου λειτουργίας αντλητικής εγκατάστασης

Η πλέον απλή περίπτωση διακίνησης υγρού είναι αυτή μεταξύ δύο δεξαμενών με ελεύθερη επιφάνεια υπό ατμοσφαιρική πίεση. Στην μόνιμη λειτουργία της αντλίας και της αντλητικής εγκατάστασης η ολική πίεση (mΣΥ) στην διατομή εισόδου και εξόδου της αντλίας e και a αντίστοιχα εκφράζεται εφαρμόζοντας τη γενικευμένη εξίσωση Bernoulli:

$$H_{oa} = H_a + z_a + \frac{c_a^2}{2g} = H_B + z_A + \delta h_{faA}$$

$$H_{oe} = H_e + z_e + \frac{c_e^2}{2g} = H_B + z_E - \delta h_{feE}$$

Όπου H η στατική πίεση, H_B η ατμοσφαιρική πίεση, και δh_f οι υδραυλικές απώλειες της σωλήνωσης που εξαρτώνται από τα στοιχεία που απαρτίζουν την κάθε σωλήνωση (μήκος αγωγών, τραχύτητα τοιχωμάτων, διάφορα εξαρτήματα) και από τη διακινούμενη παροχή Q.

Αφαιρώντας κατά μέλη τις παραπάνω εξισώσεις έχουμε το ολικό ύψος της αντλίας:

$$H = H_{oa} - H_{oe} = h + (\delta h_{faA} + \delta h_{feE}) = h + \delta h_{fEA}$$

Το μέγεθος δh_{fEA} αποτελεί τις υδραυλικές απώλειες της σωλήνωσης που είναι το άθροισμα των υδραυλικών απωλειών στις σωλήνες αναρρόφησης και κατάθλιψης, και εκφράζεται συναρτήσει της παροχής Q ως:

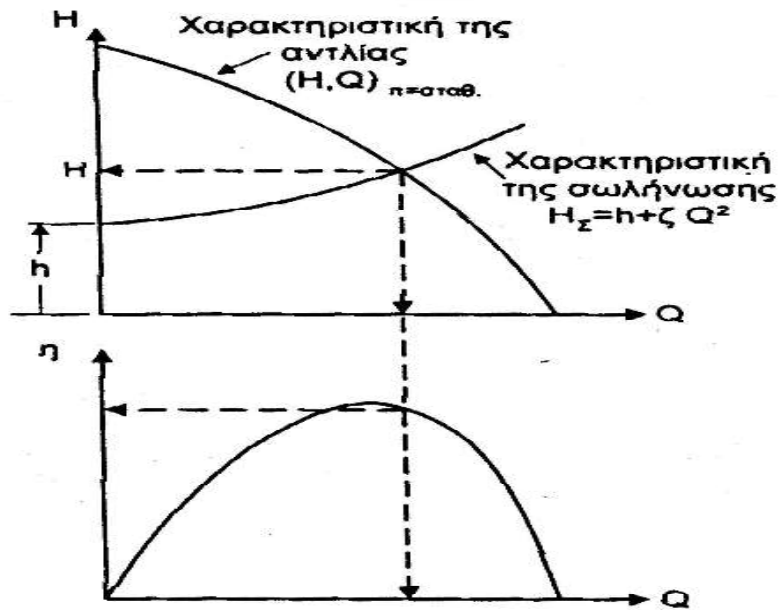
$$\delta h_{fEA} = \zeta_{EA} Q^2$$

Το μέγεθος ζ_{EA} αποτελεί συντελεστή που χαρακτηρίζει το σύνολο των απωλειών κατά τη διακίνηση του υγρού.

Συνδυάζοντας τις προηγούμενες σχέσεις έχουμε την χαρακτηριστική της σωλήνωσης και εκφράζει την ενέργεια ανά μονάδα μάζας που πρέπει έχει το υγρό για να διακινηθεί μέχρι τη δεξαμενή κατάθλιψης:

$$H = H_\Sigma = h + \zeta_{EA} Q^2$$

Όπως εύκολα αντιλαμβανόμαστε από το σχήμα 3.14, το σημείο λειτουργίας της αντλητικής εγκατάστασης με δεδομένη χαρακτηριστική της αντλίας, θα προκύπτει ως το σημείο τομής της χαρακτηριστικής της αντλίας (H,Q) με τη χαρακτηριστική της σωλήνωσης (H_Σ ,Q) αφού πρέπει να ικανοποιούνται και οι δύο απαιτήσεις συγχρόνως. Στη συνέχεια, γνωρίζοντας το σημείο λειτουργίας της αντλητικής εγκατάστασης, υπολογίζουμε από το δεύτερο διάγραμμα του σχήματος 3.14, τον βαθμό απόδοσης που θα έχει η αντλία στη συγκεκριμένη εγκατάσταση.



Σχήμα 3.14 Εύρεση σημείου λειτουργίας εγκατάστασης

Έχοντας βρει το σημείο λειτουργίας της εγκατάστασης υπολογίζουμε από τις χαρακτηριστικές καμπύλες της αντλίας την μηχανική ισχύ που απαιτεί η αντλία από τον κινητήρα υπολογίζεται από τη σχέση, όπως είδαμε προηγουμένως:

$$N = \frac{9,81HQ}{\eta_P}$$

Ακόμα, υπολογίζουμε την ηλεκτρική ισχύ που απορροφά τον κινητήρα για να απορροφηθεί από την αντλία ισχύς N , λαμβάνοντας υπ' όψη τις διάφορες απώλειες κατά μετατροπή της ενέργειας η_{mr} :

$$N_P = \frac{N}{\eta_{mr}}$$

Τελικά, η ηλεκτρική ισχύς σε kW που απαιτείται για να απορροφήσει το υγρό παροχής Q , ενέργεια ανά μονάδα μάζας H , δίνεται από τη σχέση:

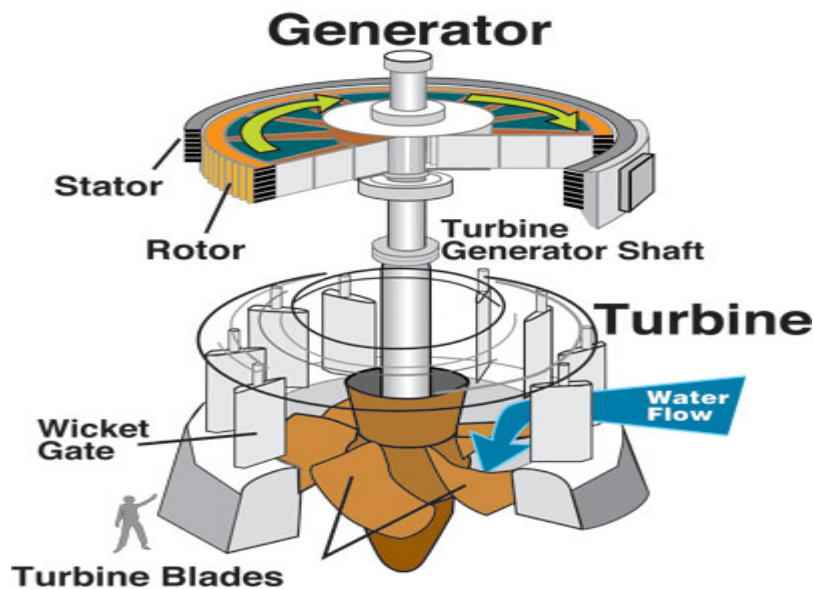
$$N_P = \frac{9,81HQ}{\eta_{mr}\eta_P} = \frac{9,81HQ}{\eta}$$

Με τυπική τιμή βαθμού απόδοσης του συστήματος αντλίας-κινητήρα: $\eta = 0.85$

3.5.2.4 Υδροστρόβιλος

Εισαγωγή

Ως υδροστρόβιλος ορίζεται η μηχανή που μετατρέπει την ενέργεια ενός υγρού (νερού) σε μηχανική ενέργεια μέσω συνεχούς ροής του υγρού και σταθερής περιστροφικής κίνησης. Η μετατροπή της ενέργειας του διερχόμενου υγρού υπό σταθερή παροχή σε μηχανική ενέργεια γίνεται στο στρεφόμενο μέρος της μηχανής, το οποίο καλείται δρομέας, μέσω ανάπτυξης κινητήριας ροπής. Η κινητήρια ροπή μεταφέρεται στην άτρακτο του δρομέα, η οποία είναι συζευγμένη με την άτρακτο της ηλεκτρικής γεννήτριας που με τη σειρά της μετατρέπει την μηχανική ισχύ N σε ηλεκτρική N_e . Σχηματική απεικόνιση ενός υδροστρόβιλου σε τομή δίνεται στο σχήμα 3.15.



Σχήμα 3.15 Λειτουργία υδροστρόβιλου

Τύποι – Διαμόρφωση υδροστρόβιλων

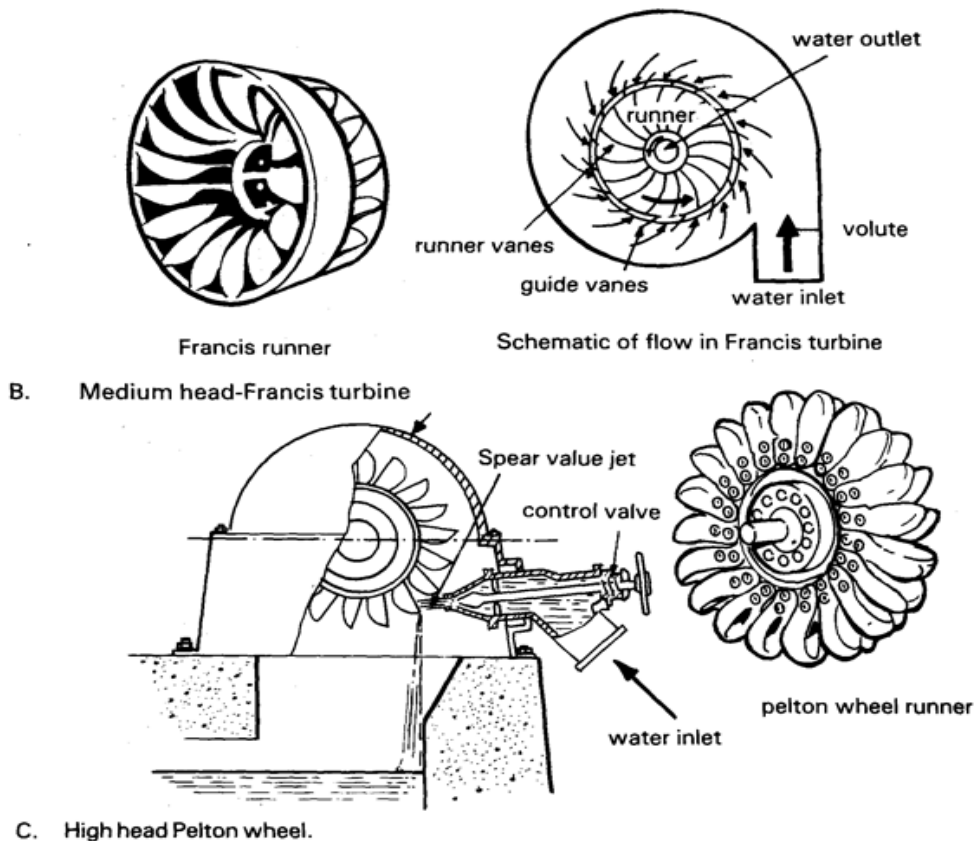
Οι σύγχρονοι υδροστρόβιλοι διακρίνονται σε δύο κατηγορίες (Παπαντώνης, 2004):

- Δράσεως ή μερικής προσβολής
- Αντιδράσεως ή ολικής προσβολής

Η διάκριση τους βασίζεται στο ότι στους υδροστρόβιλους μερικής προσβολής, μόνο ένα τμήμα του δρομέα συμβάλλει στην μετατροπή της ενέργειας, ενώ στους ολικής προσβολής το αντίθετο. Ακόμα, στους μερικής προσβολής, ο δρομέας λειτουργεί σε χώρο ομοιόμορφης στατικής πίεσης

(μηδενικός βαθμός αντίδρασης), ενώ στους ολικής προσβολής, η ροή μέσω του δρομέα γίνεται με παράλληλη μεταβολή της στατικής πίεσης του υγρού.

Χαρακτηριστικοί τύποι υδροστροβίλων δράσεως είναι οι τύπου Pelton, ενώ στους υδροστροβίλους αντιδράσεως ανήκουν υδροστροβίλοι τύπου Kaplan (αξονικής ροής) και Francis (ακτινικής και μικτής ροής). Στη συνέχεια θα αναλύσουμε σύντομα τη διαμόρφωση, των ίσως πιο διαδεδομένων τύπων υδροστροβίλων, Pelton, ο οποίος είναι κατάλληλος ειδικά για μεγάλες τιμές της διαθέσιμης υδραυλικής πτώσης ($H > 50\text{m}$), και Francis. Το σχήμα 3.16 είναι ενδεικτικό των δύο παραπάνω κατηγοριών υδροστροβίλων.



Σχήμα 3.16 Χαρακτηριστικά παραδείγματα των δύο κατηγοριών υδροστροβίλων

Όπως, και οι αντλίες, ένας υδροστροβίλος έχει τρία κύρια μέρη: το τμήμα εισόδου, τον δρομέα, και το τμήμα εξόδου.

Το τμήμα εισόδου αποτελείται από ένα ή περισσότερα ακροφύσια σκοπός των οποίων είναι η μετατροπή της ενέργειας εντατικής κατάστασης του υγρού σε κινητική, διαμορφώνοντας δέσμη κυκλικής διατομής. Κάθε δέσμη προσπίπτει στον δρομέα με αποτέλεσμα την ανάπτυξη ώθησης σε αυτόν κατά την περιφερειακή διεύθυνση και η οποία δημιουργεί κινητήρια ροπή. Στην περίπτωση υδροστροβίλου Pelton, σε κάθε χρονική στιγμή, μόνο 2-3 σκαφίδια του δρομέα δέχονται τη δέσμη του νερού και τα οποία εναλλάσσονται διαδοχικά. Ο δρομέας είναι τοποθετημένος πάνω από την ελεύθερη στάθμη της διώρυγας απαγωγής για την εξασφάλιση της ομαλής λειτουργίας. Σε αντίθεση με τον Pelton, ο δρομέας του Francis, αποτελείται από

περύγια με δυνατότητα περιστροφής ως προς τον δρομέα, τα οποία «απορροφούν» την ενέργεια του νερού και στρέφουν την άτρακτο του δρομέα. Το νερό που πέφτει από τον δρομέα λόγω της βαρύτητας οδηγείται από το τμήμα εξόδου στη διώρυγα απαγωγής και στη συνέχεια στην κοίτη του υδατορεύματος ή σε δεξαμενή ανάλογα με την εφαρμογή.

Γενικές Εξισώσεις

Παρακάτω θα δοθούν οι εξισώσεις που χαρακτηρίζουν τον υδροστροβίλο, όπως έγινε με τις αντλίες. Τα σύμβολα είναι ίδια με αυτά των εξισώσεων των αντλιών.

Ορίζεται θεωρητικό ύψος υδροστροβίλου, που εκφράζει την ανά μονάδα μάζας ενέργεια του υγρού που διατίθεται στον υδροστροβίλο ώστε να τη μετατρέψει σε μηχανική ενέργεια από τον δρομέα, ως:

$$H_u = (H_{oe} - H_{oa}) - \delta h_{fea}$$

Η διαθέσιμη από την εγκατάσταση ενέργεια H προκύπτει από τη σχέση:

$$H = H_u + \frac{c_a^2}{2g} + \delta h_{fea}$$

Θα μπορούσαμε να πούμε ότι το θεωρητικό ύψος προκύπτει αν αφαιρέσουμε από το διαθέσιμο, τις απώλειες δh_{fea} στο εσωτερικό της μηχανής (υδραυλικές, ογκομετρικές, μηχανικές) και την κινητική ενέργεια $\frac{c_a^2}{2g}$ του υγρού στην έξοδο, που φεύγει αναξιοποίητη.

Τέλος, ορίζουμε την πραγματική μηχανική ισχύ N που αποδίδεται στην άτρακτο του υδροστροβίλου:

$$N = \gamma H Q \eta_T$$

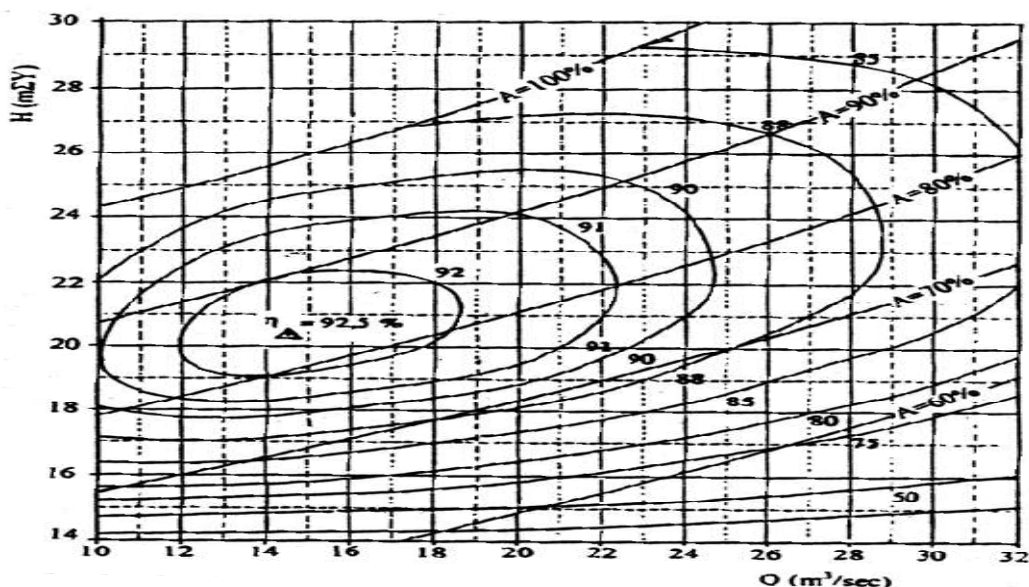
όπου η_T ο βαθμός απόδοσης του υδροστροβίλου.

Σε μονάδες μετρικού συστήματος όπου η ισχύς N εκφράζεται σε kW, το ειδικό βάρος $\gamma=1000$ σε kp/m^3 , η παροχή Q σε m^3/s , και το διαθέσιμο ύψος H του υδροστροβίλου σε mΣΥ, η προηγούμενη σχέση γράφεται ως εξής:

$$N = 9,81 H Q \eta_T$$

Χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας

Ως χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας υδροστροβίλου εννοούνται οι καμπύλες μεταβολής της διαθέσιμης υδραυλικής πτώσης H συναρτήσει της παροχής Q με παράμετρο το άνοιγμα A των ρυθμιστικών περυγίων (υδροστρόβιλοι αντιδράσεως) και για σταθερή ταχύτητα περιστροφής. Ένα παράδειγμα αποτελεί το σχήμα 3.17.



Σχήμα 3.17 Χαρακτηριστικές καμπύλες υδροστροβίλου

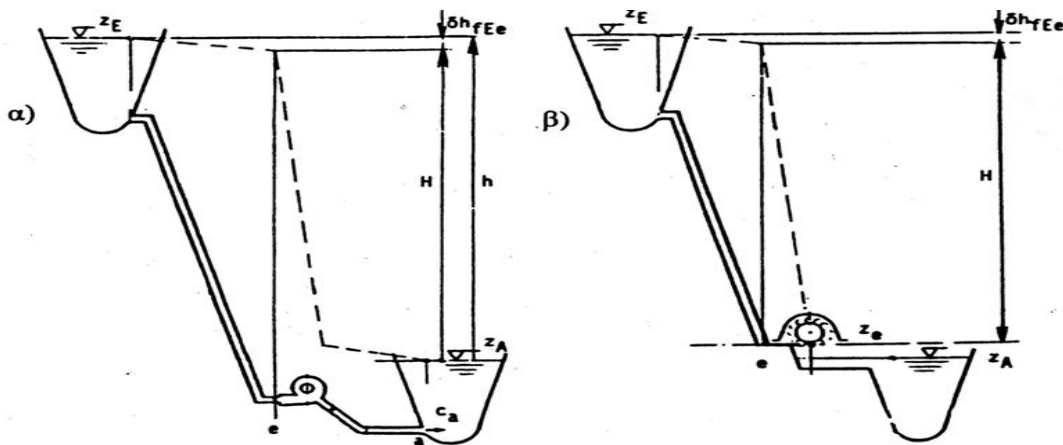
Οι χαρακτηριστικές καμπύλες υδροστροβίλου έχουν την μορφή πλέγματος καμπυλών με θετική κλίση και προκύπτουν από την πρόσθεση στην θεωρητική καμπύλη (H_u, Q), των υδραυλικών απωλειών και την κινητική ενέργεια στην διατομή εξόδου. Επίσης, στο ίδιο διάγραμμα χαράσσονται καμπύλες ίσου βαθμού απόδοσης, οι οποίες είναι κλειστές και ισοϋψείς. Στην κορυφή τους αντιστοιχεί το κανονικό σημείο λειτουργίας, όπου εμφανίζεται ο μέγιστος ολικός βαθμός απόδοσης. Το κανονικό σημείο λειτουργίας αντιστοιχεί σε μια συγκεκριμένη τιμή του ανοίγματος των ρυθμιστικών περυγίων και σε μια τιμή της παροχής και της διαθέσιμης υδραυλικής πτώσης H για τα οποία ικανοποιούνται δύο συνθήκες: η ροή στη είσοδο του δρομέα γίνεται χωρίς κρούση, και η συστροφή του υγρού στην έξοδο του δρομέα είναι σχεδόν μηδενική (Παπαντώνης, 2004).

3.5.2.5 Υδροηλεκτρικό έργο

Εισαγωγή

Ουσιαστικά, το αποκαλούμενο υδροηλεκτρικό έργο (Σχήμα 3.18) σε μια εφαρμογή αντλησιοταμίευσης, αποτελεί το αντίστροφο μιας αντλητικής εγκατάστασης. Το νερό που είναι αποθηκευμένο στη δεξαμενή κατάθλιψης χαρακτηρίζεται από δυναμική ενέργεια λόγω της υψομετρικής διαφοράς από την επιφάνεια της θάλασσας. Αυτή η ενέργεια, μέσω αυτού του

συστήματος επιδιώκεται να εκμεταλλευτεί. Το νερό από την άνω δεξαμενή μέσω σωλήνωσης διέρχεται από τον υδροστροβίλο, όπου μετατρέπεται η ενέργεια του υγρού σε μηχανική ενέργεια, δηλαδή σε κινητήρια ροπή στην στρεφόμενη άτρακτο του δρομέα. Στη συνέχεια, επειδή η μηχανική ενέργεια δεν μπορεί να μεταφερθεί στο τόπο κατανάλωσης, μετατρέπεται αμέσως σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω της γεννήτριας που είναι συζευγμένη στην άτρακτο του υδροστροβίλου. Τέλος, το νερό που εξέρχεται από τον υδροστροβίλο είναι απαλλαγμένο συστροφής και οδηγείται στη δεξαμενή αναρρόφησης μέσω σωλήνωσης.



Σχήμα 3.18 Αξιοποίηση υδραυλικής πτώσης σε εγκατάσταση υδροστροβίλου αντιδράσεως και δράσεως

Ροή ενέργειας

Η δυναμική ενέργεια του νερού είναι ίση με την υδραυλική πτώση :

$$h = z_E - z_A$$

Η διαθέσιμη υδραυλική πτώση, όμως, θα είναι μειωμένη κατά τις απώλειες στο σύστημα προσαγωγής και θα δίνεται από τη σχέση:

$$H = h - \delta h_{fEe} = h - k_e Q^2$$

Άρα η διαθέσιμη υδραυλική ισχύς θα είναι:

$$N_i = \gamma H Q$$

Δεδομένου όμως των απωλειών κατά την μετατροπή της υδραυλικής ενέργειας σε μηχανική στον υδροστροβίλο, η παραγόμενη μηχανική ισχύς θα είναι:

$$N = N_i \eta_T = \gamma H Q \eta_T$$

όπου η_T ο βαθμός απόδοσης του υδροστροβίλου.

Τέλος, έχουμε μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Η καθαρή ηλεκτρική ενέργεια N_T που θα παράγεται θα είναι μειωμένη κατά τις απώλειες της ηλεκτρικής γεννήτριας και του μετασχηματιστή(Παπαντώνης, 2004). Έτσι, προκύπτει:

$$N_T = \eta_G \eta_{Tr} N$$

όπου η_G ο βαθμός απόδοσης της γεννήτριας και η_{Tr} ο βαθμός απόδοσης του μετασχηματιστή

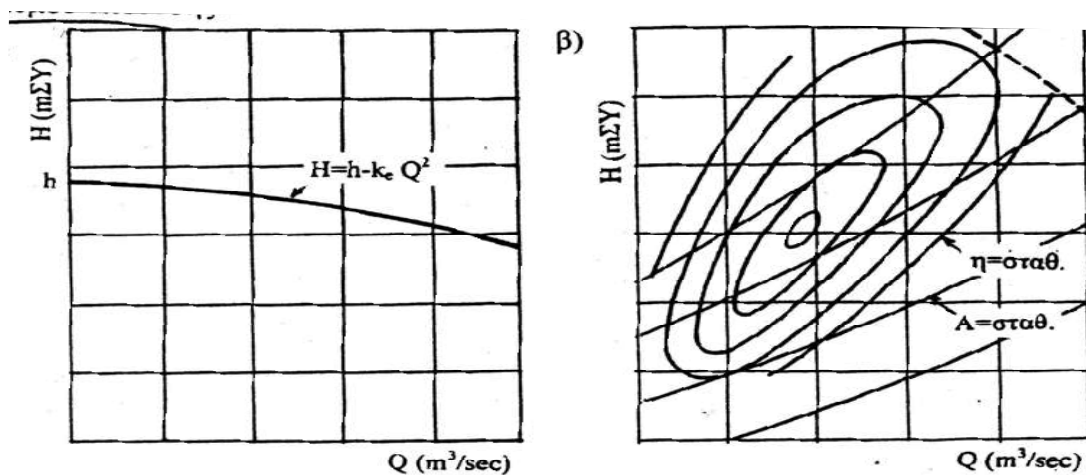
Συνδυάζοντας τις παραπάνω σχέσεις και με μονάδες μετρικού συστήματος, η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς από τον υδροστροβίλο είναι :

$$N_T = 9.81 \eta_G \eta_{Tr} \eta_T H Q = 9,81 \eta H Q$$

Με τυπική τιμή του ολικού βαθμού απόδοσης του συστήματος υδροστροβίλου-γεννήτριας-μετασχηματιστή: $\eta=0.85$

Καθορισμός σημείου λειτουργίας

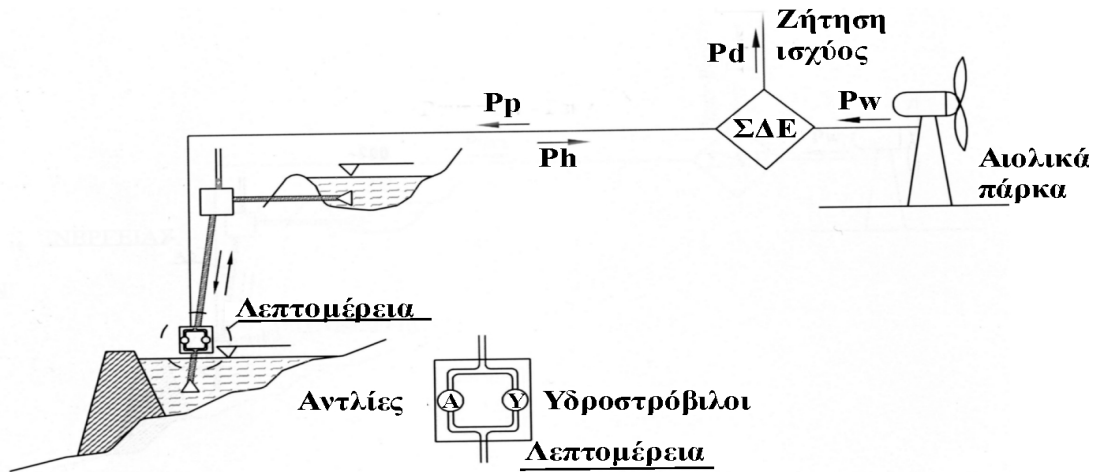
Όπως δείξαμε προηγουμένως, η διαθέσιμη υδραυλική πτώση H σε μια συγκεκριμένη εγκατάσταση εκφράζεται συναρτήσει της διακινούμενης παροχής Q , και έχει τη μορφή παραβολής όπως φαίνεται στο σχήμα 3.19.



Σχήμα 3.19 Χαρακτηριστική σωλήνωσης και χαρακτηριστική υδροστροβίλου

Εάν ένας υδροστροβίλος, με χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας όπως στο σχήμα β , εγκατασταθεί σε υδραυλική εγκατάσταση με χαρακτηριστική όπως στο σχήμα α, το μόνο δυνατά σημεία λειτουργίας είναι αυτά της διαθέσιμης υδραυλικής πτώσης H της εγκατάστασης. Χαράσσοντας τη χαρακτηριστική της εγκατάστασης, στο διάγραμμα με τις χαρακτηριστικές καμπύλες του υδροστροβίλου, αντιλαμβανόμαστε ότι η λειτουργία του υδροστροβίλου στην εγκατάσταση έχει ένα συγκεκριμένο εύρος λειτουργίας. Αυτό το εύρος είναι ακόμα πιο περιορισμένο προκειμένου να επιτευχθεί ομαλή λειτουργία της μηχανής και συγχρόνως υψηλός βαθμός απόδοσης.

Τα συστήματα αντλησιοταμίευσης μπορούν να λειτουργήσουν εξαιρετικά συνδυαζόμενα με αιολικά πάρκα, ή με θερμικά συστήματα, αποθηκεύοντας πάντα περίσσεια παραγόμενης ενέργειας ή ενέργειας που δεν μπορεί να απορροφηθεί. Σχηματικά, ένα σύστημα αντλησιοταμίευσης συνδυαζόμενο με αιολικά πάρκα φαίνεται στο σχήμα 3.21 (Κατσαπρακάκης, 2006):



Σχήμα 3.21 Αιολικό πάρκο με σύστημα αντλησιοταμίευσης

Η ανεμογεννήτρια παριστάνει το αιολικό πάρκο, από το οποίο προέρχεται όλη η ενέργεια που παράγει το σύστημα. Το αιολικό πάρκο τροφοδοτεί το σύστημα με ηλεκτρική ισχύ P_w . Το σύστημα διαχείρισης ενέργειας (Σ.Δ.Ε) ελέγχει αν η παρεχόμενη ηλεκτρική ισχύς από το αιολικό πάρκο είναι μεγαλύτερη από τη στιγμιαία ζήτηση P_ϕ . Διακρίνουμε τις εξής περιπτώσεις:

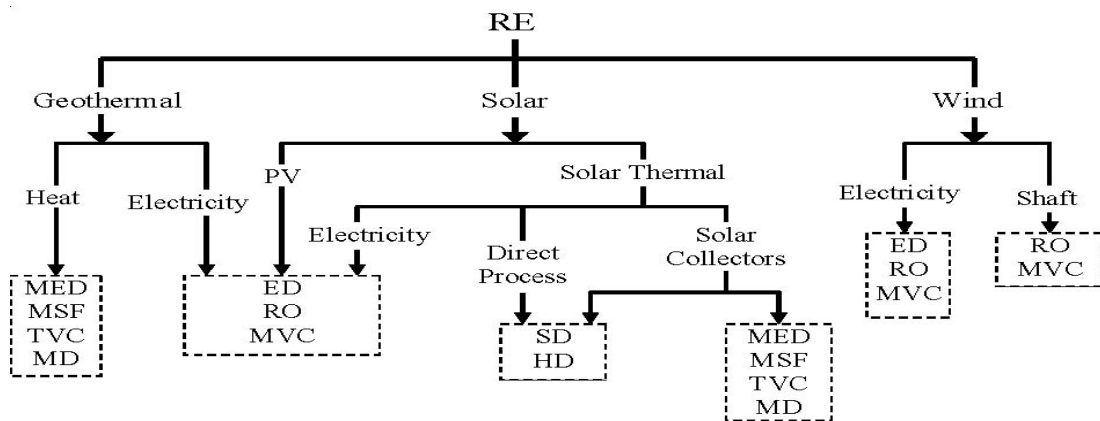
- Αν $P_w > P_\phi$, τότε το αιολικό πάρκο καλύπτει εξ' ολοκλήρου τη στιγμιαία ζήτηση φορτίου και η περίσσεια της παρεχόμενης από αυτό ενέργειας τροφοδοτεί την αντλία του υδροηλεκτρικού συστήματος προκειμένου να αποταμιευτεί μέσω της ανύψωσης του νερού από την κάτω στην άνω δεξαμενή. Αν υποθέσουμε ότι η πάνω δεξαμενή είναι γεμάτη, τότε είτε απορρίπτουμε την περίσσεια της παρεχόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, είτε την αξιοποιούμε με κάποιο άλλο τρόπο (π.χ. αφαλάτωση), είτε μειώνουμε την παραγόμενη ισχύ από το αιολικό πάρκο.
- Αν $P_w < P_\phi$, τότε όλη η ενέργεια που παράγεται από το αιολικό πάρκο διοχετεύεται στην κατανάλωση, ενώ παράλληλα παράγεται ένα επιπλέον ποσό ενέργειας από τον υδροστρόβιλο για την κάλυψη της ζητούμενης ισχύος.

Ιδιαίτερα ελκυστικά μεγέθη εξάγονται επίσης από το συνδυασμό συστημάτων αντλησιοταμίευσης με θερμικά συστήματα για εξοικονόμηση σε περιπτώσεις λειτουργίας του συστήματος σε ισχύεις μεγαλύτερες από τις απαιτούμενες, λόγω τεχνικών ελαχίστων. Αποδεικνύεται ότι μπορεί να επιτευχθεί σημαντική εξοικονόμηση καυσίμου και γρήγορη απόσβεση των αρχικών κεφαλαίων επένδυσης με τη χρήση συστήματος αντλησιοταμίευσης (Κατσαπρακάκης, 2006).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο - ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΚΑΙ Α.Π.Ε.

4.1 Εισαγωγή

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.) και οι μονάδες αφαλάτωσης αποτελούν δύο διαφορετικές τεχνολογίες, οι οποίες όμως μπορούν να συνεργασθούν. Η συνεργασία τους στηρίζεται στην τροφοδοσία της αφαλάτωσης με την ενέργεια που παράγουν συστήματα που εκμεταλλεύονται τις ΑΠΕ (Mathioulakis κλπ, 2006). Αυτή η ενέργεια μπορεί να είναι θερμική, ηλεκτρική ή μηχανική αναλόγως τη μέθοδο της αφαλάτωσης και των διαθέσιμων πηγών ενέργειας. Οι δυνατοί συνδυασμοί τεχνολογιών ΑΠΕ και μεθόδων αφαλάτωσης δίνονται στο παρακάτω σχήμα 4.1.



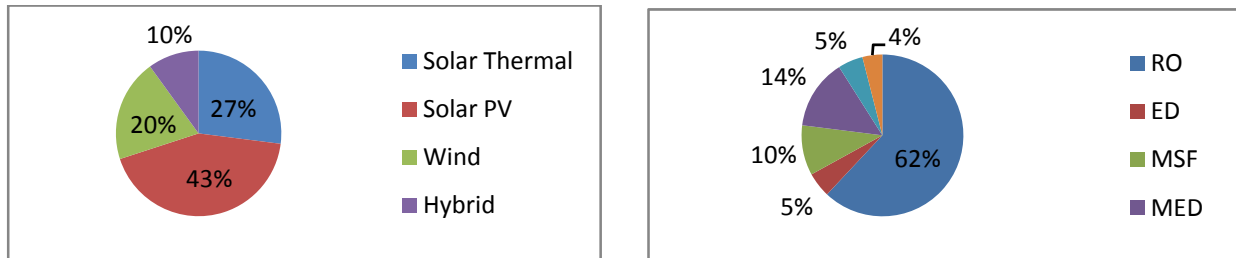
Σχήμα 4.1 Δυνατοί συνδυασμοί κύριων τεχνολογιών εκμετάλλευσης ΑΠΕ- μεθόδων αφαλάτωσης

Η γενικότερη τάση στο συνδυασμού μεθόδων αφαλάτωσης και ΑΠΕ, είναι η συνεργασία τεχνολογιών παραγωγής θερμικής ενέργειας (ηλιακοί συλλέκτες, γεωθερμία) με θερμικές μεθόδους (MSF, ME, SD), ενώ τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ή μηχανικής ενέργειας (Α/Γ, Φ/Β) συνδυάζονται με μεθόδους που απαιτούν ηλεκτρική ή μηχανική ισχύ (RO, ED, VC).

Η επιλογή της ΑΠΕ που θα τροφοδοτήσει μια μονάδα αφαλάτωσης εξαρτάται κατά ένα μεγάλο ποσοστό από την περιοχή εγκατάστασης (μετεωρολογικά δεδομένα, τοπογραφία κτλ). Πολλές φορές, ειδικά σε μη διασυνδεδεμένες περιοχές, χρησιμοποιούνται υβριδικά συστήματα ενώ επιβάλλεται η χρήση αποθηκευτικού μέσου, αφού οι μονάδες αφαλάτωσης απαιτούν σταθερή ισχύ τροφοδοσίας και οι ΑΠΕ χαρακτηρίζονται από μεταβαλλόμενη παραγωγή.

Σχετικά με τη μέθοδο αφαλάτωσης, όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, επιλέγουμε τη μέθοδο που έχει τη μικρότερη ενεργειακή κατανάλωση, παράγει νερό σύμφωνα με τις απαιτήσεις ποιότητας και μπορεί να συνεργαστεί με τεχνολογίες ΑΠΕ που αφθονούν στην περιοχή.

Βέβαια, δεν αποτελούν όλοι οι συνδυασμοί, αποδοτικά οικονομικά συμφέροντα αλλά και πρακτικά εφαρμόσιμα συστήματα. Αποτέλεσμα αυτού του γεγονότος είναι κάποιοι συνδυασμοί να παρουσιάζουν περισσότερο ενδιαφέρον για έρευνα και να αποτελούν την πρώτη επιλογή για πιθανή εγκατάσταση. Στο σχήμα 4.2 δίνονται κάποια στατιστικά στοιχεία ενδεικτικά των προτιμήσεων σε εφαρμογές τέτοιου είδους συστημάτων.



Σχήμα 4.2 Προτίμηση ΑΠΕ σε μονάδες αφαλάτωσης (αριστερά) και προτίμηση μεθόδων σε μονάδες τροφοδοτούμενες από ΑΠΕ (δεξιά)

Παρατηρούμε από τα σχήματα ότι, η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης (RO) επικρατεί σε εφαρμογές ΑΠΕ. Η συγκεκριμένη μέθοδος απαιτεί μόνο ηλεκτρική ή μηχανική τροφοδοσία, κάτι που καθιστά τη συνεργασία της με Φ/Β ή/και Α/Γ δυνατή. Από τεχνολογικής άποψης, ο συνδυασμός αυτός αποτελεί την πιο ώριμη επιλογή. Η συνεχόμενη αύξηση της απόδοσης των τεχνολογιών ΑΠΕ σε συνδυασμό με τη μείωση του κόστους τους αλλά και η βελτίωση των ενεργειακών απαιτήσεων της μεθόδου RO είναι οι λόγοι που πλέον αποτελεί τον επικρατέστερο συνδυασμό αφαλάτωσης και ΑΠΕ. Παρότι ο συνδυασμός αυτός προτιμάται, υπάρχουν ακόμα πολλά περιθώρια βελτίωσης του. Έτσι, πολλές έρευνες έχουν δημοσιευθεί, στις οποίες μελετώνται διάφοροι συνδυασμοί τεχνολογιών αλλά και διαφορετικές λογικές λειτουργίας των συστημάτων με σκοπό πάντα την παροχή σταθερής ισχύος. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον σε συστήματα ΑΠΕ-RO, έχει το θέμα της αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας, αφού η στοχαστικότητα των ΑΠΕ είναι απαγορευτική για την παροχή σταθερής ισχύος στην αφαλάτωση.

Επιγραμματικά, τα αντικείμενα των μελετών γι' αυτόν το συνδυασμό, συνήθως, είναι :

- Συνεργασία διαφορετικών τεχνολογιών εκμετάλλευσης ΑΠΕ.
- Εισαγωγή βελτιωμένων ή νέων μέσων αποθήκευσης της περίσσειας ενέργειας.
- Βέλτιστη διαχείριση των μονάδων αφαλάτωσης ανάλογα με τη διαθέσιμη ενέργεια.
- Εφαρμογή νέων μεθόδων ελέγχου και διαχείρισης της παραγόμενης ενέργειας.
- Χρήση διάφορων συστημάτων ανάκτησης ενέργειας στις μονάδες αφαλάτωσης.

Στην επόμενη υποενότητα, γίνεται μια σύντομη παρουσίαση μελετών και εφαρμογών για μονάδες αφαλάτωσης τροφοδοτούμενες από Α/Γ ή/και Φ/Β. Τέλος, να σημειώσουμε ότι και άλλοι συνδυασμοί αφαλάτωσης – ΑΠΕ ερευνώνται και μάλιστα δείχνουν ενθαρρυντικές προοπτικές για το μέλλον, αλλά κρίθηκε ότι η ανάλυση τους ξεφεύγει από τα όρια της διπλωματικής εργασίας.

4.2 Παρουσίαση μελετών/εφαρμογών συστημάτων ΑΠΕ – αφαλάτωσης RO

4.2.1 Εισαγωγή

Θεωρήθηκε αναγκαίο, πριν αναλυθεί το προτεινόμενο σύστημα από την εργασία, να γίνει μια σύντομη ανασκόπηση των δημοσιεύσεων και των διπλωματικών, που έχουν ως θέμα μονάδες αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης τροφοδοτούμενες από ΑΠΕ. Θα πρέπει να τονιστεί ότι αυτές οι μελέτες αποτέλεσαν οδηγό για την ιδέα αλλά και την υλοποίηση της διπλωματικής εργασίας αυτής. Τέλος, γίνεται αναφορά σε διάφορες είτε ερευνητικές είτε επιχειρηματικές εφαρμογές που έχουν λάβει χώρα παγκοσμίως.

4.2.2 Παρουσίαση μελετών

- *A direct coupled photovoltaic seawater reverse osmosis desalination system toward battery based systems — a technical and economical experimental comparative study (Essam Sh. Mohamed, G. Papadakis, E. Mathioulakis, V. Belessiotis-2007)*

Στο άρθρο αυτό, δοκιμάζεται πειραματικά ένα σύστημα αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης με σύστημα ανάκτησης ενέργειας, το οποίο τροφοδοτείται από φωτοβολταϊκά αλλά δεν περιλαμβάνει μπαταρίες, ως προσπάθεια για ανάλυση της λειτουργίας συστήματος μικρότερου κόστους επένδυσης. Στον πίνακα 4.1 δίνονται τα αποτελέσματα μεγεθών για τα δύο συγκρινόμενα συστήματα (με ή χωρίς μπαταρίες).

Results summary		
	Battery based system	Direct coupled system
Available solar energy (kWh/d)	32.8	29.2
PV energy production (kWh/d)	2.9	1.6
DC motor energy consumption (kWh/d)	2.6	1.6
Solar energy transformed to electricity (%)	8.8	5.5
Total product (m ³ /d)	0.6	0.35
Specific energy consumption (kWh/m ³)	4.3	4.6
Annual water production for the same amount of DC energy consumption (m ³ /year)	321	300
Product quality (μS/cm)	350	390
Water production cost (h/m ³)	8.00	7.8
Total system efficiency (motor energy/solar energy) (%)	8	5.5

Πίνακας 4.1 Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων της προσομοίωσης

Το σύστημα αναμένεται να παράγει 0,35 m³/day το χειμώνα με ειδική ενεργειακή κατανάλωση 4,6 kWh/ m³ και κόστος 7,8 €/ m³. Τέλος, γίνεται σύγκριση με το σύστημα που

περιλαμβάνει μπαταρίες, χωρίς να παρουσιάζονται μεγάλες διαφορές, αφού αποτελούν αρκετά μικρά συστήματα.

- *Designing cost-effective seawater reverse osmosis system under optimal energy options (Asmerom M. Gilau, Mitchell J. Small-2007)*

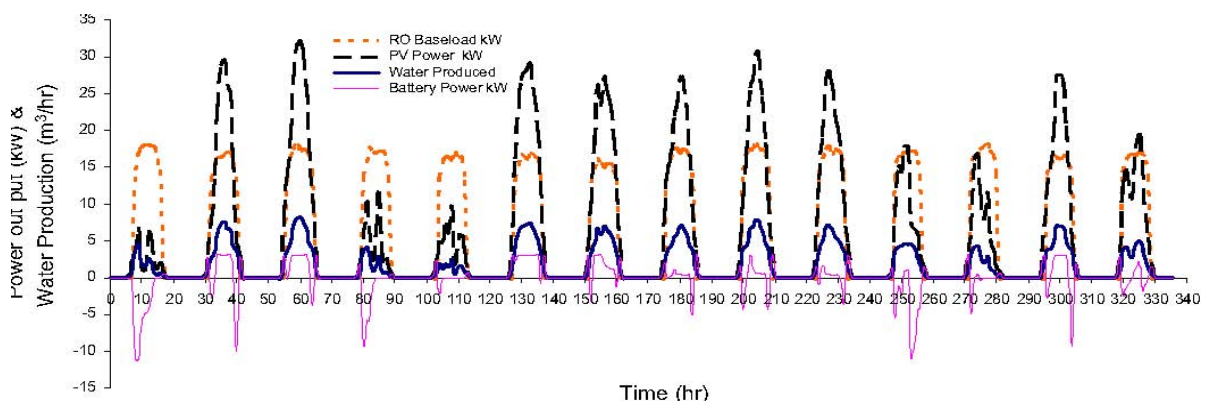
Σε αυτή τη δημοσίευση, διερευνάται ένα μοντέλο προσομοίωσης, συστήματος αφαλάτωσης RO τροφοδοτούμενο από Α/Γ ή/και Φ/Β. Μέσω κάποιων παρεμβάσεων στο σύστημα αφαλάτωσης (πιο αποδοτικές μεμβράνες, χρήση στροβίλου για ανάκτηση ενέργειας), η ειδική ενεργειακή κατανάλωση μειώνεται στην τιμή των 2,33 kWh/m³, ενώ το κόστος παραγόμενου νερού προκύπτει για τις Α/Γ 0,5 €/ m³ και για τα Φ/Β 1 €/ m³.

Summary of power and water costs for different energy options									
Energy options	W_B	W_PV_B	W_D_B	W_PV_D_B	W_D	W_PV_D	PV	D	PV_B
Power cost (\$/kW h)	0.18	0.18	0.26	0.27	0.29	0.30	0.30	0.40	0.40
Water cost (\$/m3)	0.53	0.57	0.74	0.74	0.79	0.82	0.82	1.04	1.05

Note: W_B: wind and battery; W_PV_B: wind, photovoltaic, and battery; W_D_B: wind diesel battery; W_PV_D_B: wind, photovoltaic, diesel, and battery; W_D: wind and diesel; W_PV_D: wind, photovoltaic, and diesel; PV: photovoltaic; D: diesel only; and PV_B: photovoltaic and battery.

Πίνακας 4.2 Συγκεντρωτικός πίνακας με τα κόστη παραγωγής ισχύος και νερού για τα διάφορα εναλλακτικά συστήματα

Μελετώνται διάφορες περιπτώσεις όπως υβριδικά συστήματα με Α/Γ ή/και Φ/Β ή/και γεννήτρια Diesel με ή χωρίς σύστημα αποθήκευσης ενέργειας (μπαταρίες), και υπολογίζεται η μεταβολή, σημαντικών για μια επένδυση, μεγεθών όπως το κόστος παραγωγής νερού (Πίνακας 4.2), ενώ αναπαριστάται η παραγωγή ενέργειας και νερού σε σχέση με το χρόνο (Σχήμα 4.3).



Σχήμα 4.3 Μεταβολή φορτίου αφαλάτωσης, παραγόμενης ενέργειας από Φ/Β και από τις μπαταρίες, παραγόμενου νερού, για 2 εβδομάδες του Ιανουαρίου

- *Economic feasibility of alternative designs of a PV-RO desalination unit for remote areas in the United Arab Emirates (A.M. Helal, S.A. Al-Malek, E.S. Al-Katheeri – 2007)*

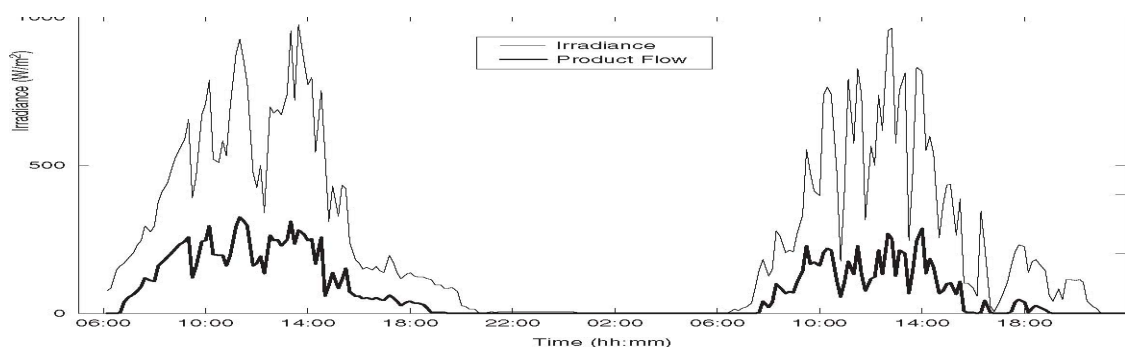
Ένα μοντέλο προσομοίωσης αυτόνομου συστήματος αφαλάτωσης δυναμικής 20 m³/day. Εξετάζονται 3 περιπτώσεις τροφοδοσίας του συστήματος, αποκλειστικά από γεννήτρια Diesel, υβριδικό σύστημα από γεννήτρια και φωτοβολταϊκά, και αποκλειστικά από φωτοβολταϊκά χωρίς μπαταρίες. Υπολογίζονται τεχνοοικονομικά μεγέθη (Πίνακας 4.3) και προκύπτουν τιμές για το κόστος παραγόμενου νερού 7,21-7,64-7,34 €/ m³ αντίστοιχα.

<i>Specific costs</i>	Diesel assisted	Fully diesel driven	Fully solar driven	
Water cost	7.21	7.64	7.34	\$/m ³
Specific power consumption	7.73	7.74	7.33	kW h/m ³
Specific Energy cost [including fuel + generators + panels cost]	1.81	2.14	1.31	\$/m ³
Specific capital cost	14874.29	14875.76	18277.59	\$/m ³ /d

Πίνακας 4.3 Ειδικά κόστη ανάλογα με τις περιπτώσεις τροφοδοσίας της αφαλάτωσης

- *Laboratory demonstration of a photovoltaic-powered seawater reverse-osmosis system without batteries (Murray Thomson, David Infield – 2005)*

Αποτελεί την παρουσίαση των αποτελεσμάτων μιας εργαστηριακής εγκατάστασης στο πανεπιστήμιο Loughborough. Η εγκατάσταση περιλαμβάνει μονάδα αφαλάτωσης που λαμβάνει ισχύ από φωτοβολταϊκά χωρίς μπαταρίες.



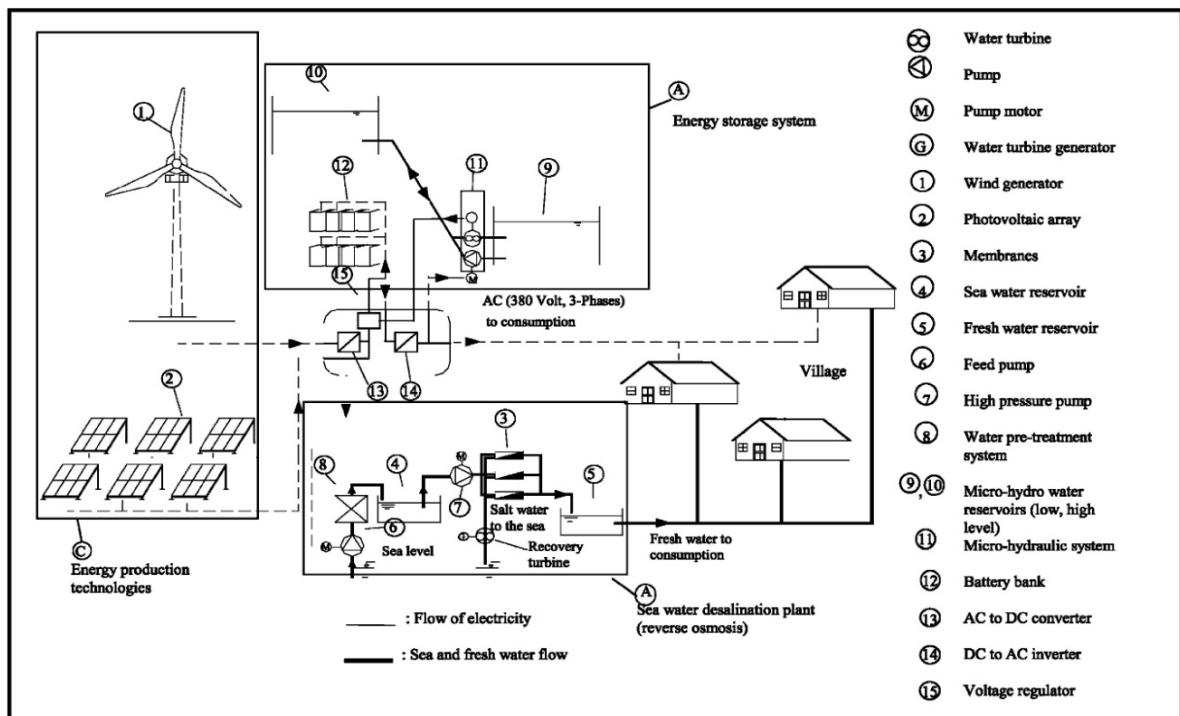
Σχήμα 4.4 Ηλιακή ακτινοβολία και παροχή παραγόμενου νερού για 2 ημέρες

Η παραγωγή νερού γίνεται ανάλογα με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας (Σχήμα 4.4). Η μονάδα περιλαμβάνει σύστημα ανάκτησης ενέργειας Clark pump. Λαμβάνονται μετρήσεις για 2 ημέρες λειτουργίας και προκύπτει ειδική κατανάλωση ενέργειας λιγότερο από 4 kWh/m³.

- *A wind-powered seawater reverse-osmosis system without batteries (Marcos S. Miranda, David Infield – 2002)*

Μοντέλο προσομοίωσης συστήματος με σύστημα ανάκτησης ενέργειας, Clark pump, τροφοδοτούμενο αποκλειστικά από Α/Γ χωρίς μπαταρίες. Η αφαλάτωση λειτουργεί ανάλογα με τη παρεχόμενη ισχύ από την Α/Γ, ενώ χρησιμοποιείται λογική ελέγχου με σκοπό την μεγιστοποίηση της παραγόμενης ενέργειας και του παραγόμενου νερού. Τέλος υπολογίζεται μια μέση τιμή για την ενεργειακή κατανάλωση της τάξεως των 3,4 kWh/m³.

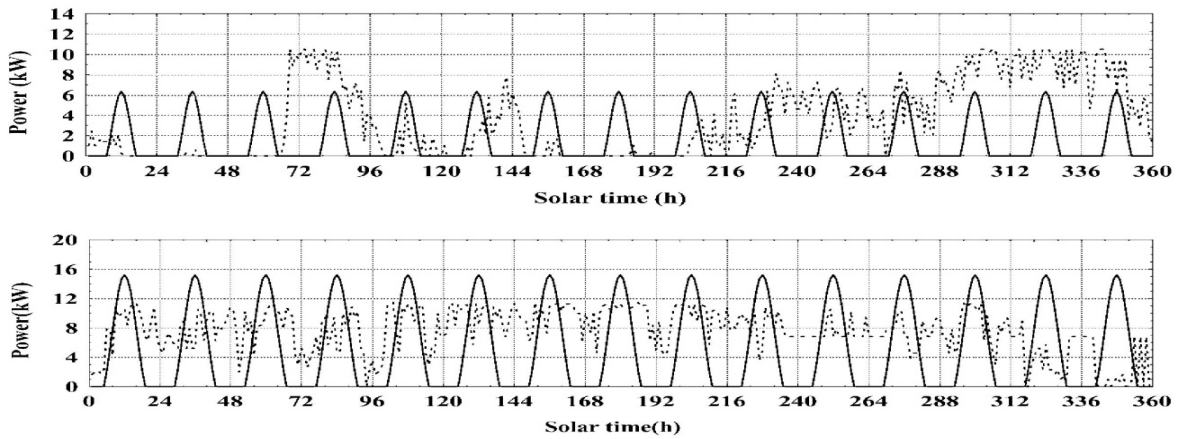
- *A simulation-optimization programme for designing hybrid energy systems for supplying electricity and fresh water through desalination to remote areas Case study: the Merssini village, Donoussa island, Aegean Sea, Greece (D. Manolakos, G. Papadakis, D. Papantonis, S. Kyritsis - 1998)*



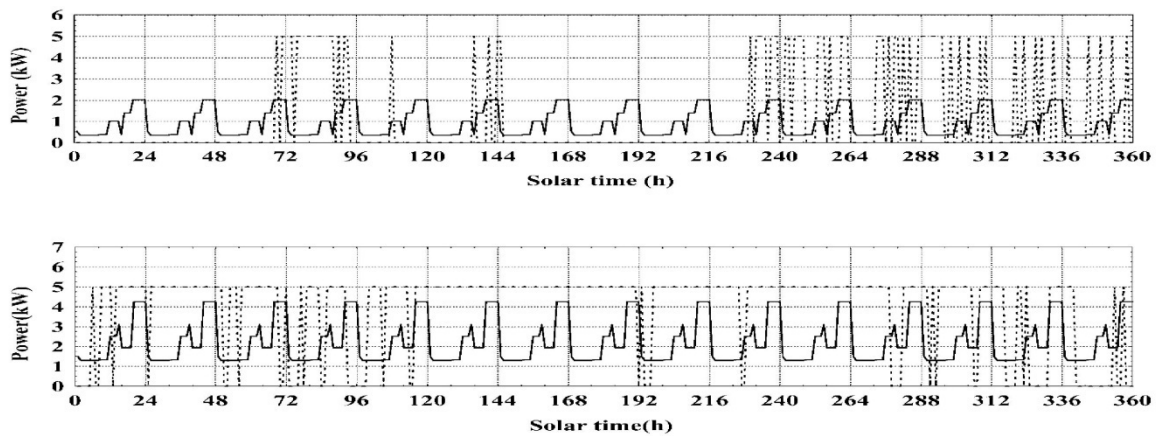
Σχήμα 4.5 Σχηματική απεικόνιση προτεινόμενου συστήματος

Ένα πρόγραμμα προσομοίωσης μονάδας αφαλάτωσης τροφοδοτούμενη από υβριδικό σύστημα ΑΠΕ. Το υβριδικό σύστημα περιέχει Α/Γ, Φ/Β, σύστημα αντλησιοταμίευσης και μπαταρίες (Σχήμα 4.5). Έκτος της παροχής νερού, το σύστημα διαστασιοποιείται και για παροχή ηλεκτρισμού σε μια περιοχή. Προτείνεται μια συγκεκριμένη φιλοσοφία λειτουργίας και μάλιστα, μελετάται η περίπτωση χωριού της νήσου Δονούσας. Θα μπορούσαμε να πούμε, το θέμα της διπλωματικής έχει αρκετά κοινά στοιχεία με τη συγκεκριμένη έρευνα. Τα σχήμα 4.6,4.7,4.8 είναι ενδεικτικά της προσομοίωσης:

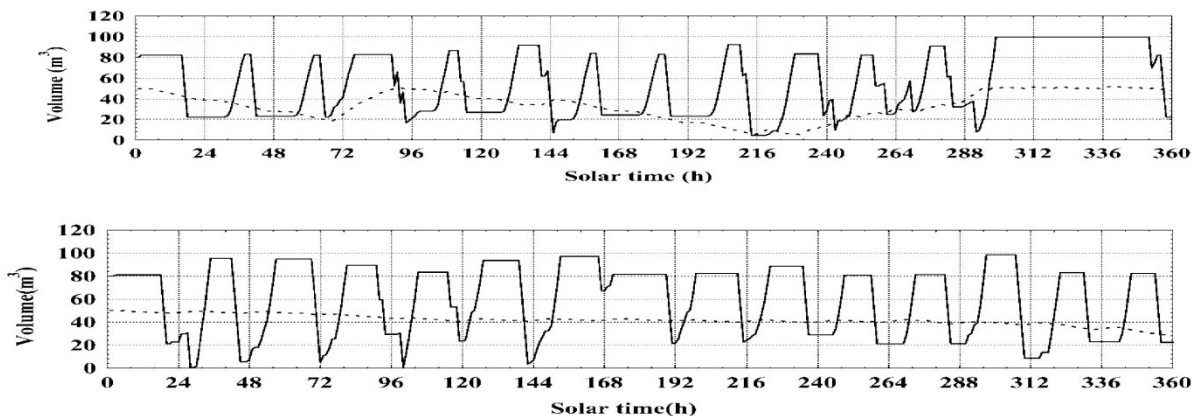
Κεφάλαιο 4^ο – Αφαλάτωση και Α.Π.Ε.



Σχήμα 4.6 Παραγωγή ενέργειας από Α/Γ (διακεκομμένη) και από Φ/Β (συνεχής) για τον Ιανουάριο (πάνω) και τον Ιούλιο (κάτω)



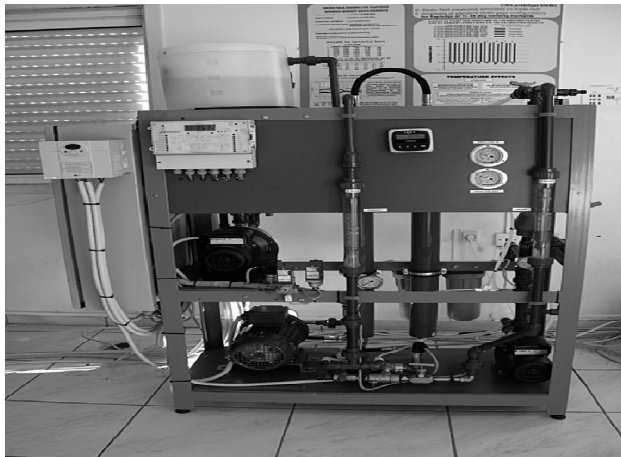
Σχήμα 4.7 Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (συνεχής) και κατανάλωση ενέργειας από την αφαλάτωση (διακεκομμένη) για τον Ιανουάριο (πάνω) και τον Ιούλιο (κάτω)



Σχήμα 4.8 Μεταβολή αποθηκευμένου όγκου νερού στον αντλιοσταμεικτήρα (συνεχής) και στην δεξαμενή πόσιμου νερού (διακεκομμένη) για τον Ιανουάριο (πάνω) και τον Ιούλιο (κάτω)

- *Autonomous reverse osmosis units driven by RE sources experiences and lessons learned (E. Tzen, D. Theofiloyianakos, Z. Kologios – 2007)*

Αναφορά στο υπό λειτουργία σύστημα αφαλάτωσης, το οποίο λαμβάνει ισχύ υβριδικό σύστημα Α/Γ και Φ/Β (Σχήμα 4.9), που έχει εγκατασταθεί στο Λαύριο από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ). Γίνεται παρουσίαση των μετρήσεων που έχουν ληφθεί στα χρόνια λειτουργίας του, αλλά και περιγράφονται προβλήματα που παρουσιάστηκαν, το πώς αντιμετωπίστηκαν, και τι επιπτώσεις είχαν αυτές οι αλλαγές στη λειτουργία του συστήματος. Τέλος, γίνεται αναφορά σε παρόμοιες εγκαταστάσεις στον κόσμο.



Σχήμα 4.9 Εγκατεστημένο αιολικό πάρκο 900 W (δεξιά) και μονάδα αφαλάτωσης (αριστερά) από το ΚΑΠΕ

- *Design, simulation, and economic analysis of a stand-alone reverse osmosis desalination unit powered by wind turbines and photovoltaics (Essam Sh. Mohamed, G. Papadakis – 2003)*

Ένα υβριδικό σύστημα από Α/Γ και Φ/Β τροφοδοτεί μια μονάδα αφαλάτωσης που περιλαμβάνει σύστημα ανάκτησης ενέργειας. Δημιουργείται απλοποιημένο μοντέλο προσομοίωσης που αναλύει τεχνοοικονομικά τη λειτουργία του συστήματος και καταλήγει σε κόστος παραγωγής νερού 5,2 €/m³.

- *Hybrid wind/PV and conventional power for desalination in Libya—GECOL's facility for medium and small scale research at Ras Ejder (Sultan A. Kershman, Jurgen Rheinlander, Thomas Neumann, Olaf Goebel – 2005)*

Μελέτη ομάδας συμβούλων για ερευνητική εγκατάσταση μονάδας αφαλάτωσης δυναμικότητας 300 m³/day και υβριδικού συστήματος παραγωγής ενέργειας με Α/Γ και Φ/Β. Το σύστημα είναι συνδεδεμένο με το δίκτυο, ενώ σε περίπτωση άπνοιας και χωρίς ηλιακή ακτινοβολία, στο σύστημα παρέχουν ενέργεια μπαταρίες και μια γεννήτρια Diesel.

Εξετάζονται όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί και εξάγονται συμπεράσματα μέσω ενός μοντέλου προσομοίωσης τόσο για τη λειτουργία αλλά και για το ειδικό κόστος του κάθε συστήματος. Να πούμε ότι το ειδικό κόστος που προέκυψε κυμαίνεται από 1,41 €/ m³ (τροφοδοσία μόνο από το δίκτυο) μέχρι 2,76 €/ m³ (τροφοδοσία μόνο από φωτοβολταϊκά ισχύος 200 kW).

- *Renewable energy driven desalination systems modeling (C. Koroneos, A. Dompros, G. Roumbas – 2005)*

Περιγραφή προγράμματος προσομοίωσης που μελετά τεχνοοικονομικά τη συνεργασία μεθόδων αφαλάτωσης με Α/Γ και Φ/Β. Το σχήμα 4.10 παρουσιάζει τα υπολογιζόμενα κόστη παραγωγής πόσιμου νερού για τους διάφορους συνδυασμούς μεθόδων αφαλάτωσης – ΑΠΕ.

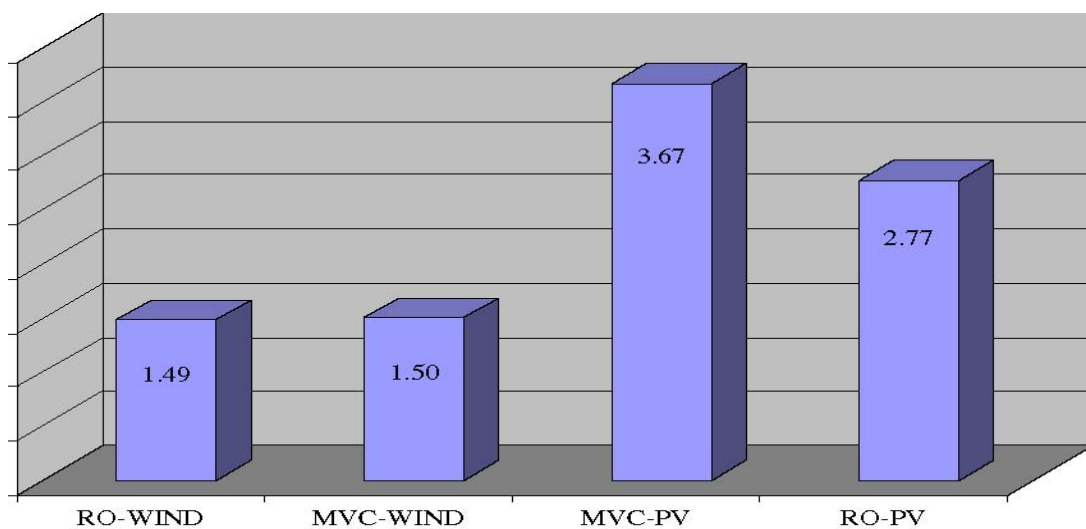


Fig. 13. Water production cost.

Σχήμα 4.10 Υπολογιζόμενο ειδικό κόστος παραγωγής μονάδας όγκου νερού σε € για διάφορους συνδυασμούς ΑΠΕ- μεθόδων αφαλάτωσης.

- *Συνδυασμός παραγωγής ηλεκτρισμού και πόσιμου νερού με αφαλάτωση από αιολική ενέργεια. Εφαρμογή στη Νίσυρο (Χρ. Σταματόπουλος – 2007)*

Μεταπτυχιακή εργασία που μελετά την ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρισμού και νερού με αφαλάτωση από Α/Γ. Η καινοτομία της εργασίας έγκειται στη μηχανική σύνδεση της Α/Γ με την αντλία της αφαλάτωσης, έτσι ώστε να αποφευχθούν οι απώλειες κατά την μετατροπή της ενέργειας. Εξετάζεται ως πιθανός τόπος εγκατάστασης, η νήσος Νίσυρος και αξιολογείται οικονομικά η επένδυση. Η επένδυση κρίνεται συμφέρουσα δεδομένου κάποιων ετήσιων αυξήσεων στην τιμή πώλησης του νερού (1 €/ m³) και ταυτόχρονης διάθεσης ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο.

- *Προοπτικές αφαλάτωσης με αιολική ενέργεια στην Κύπρο (Φρ. Ταβέλης – 2004)*

Διπλωματική εργασία που μελετά το ενδεχόμενο εγκατάστασης μονάδας αφαλάτωσης τροφοδοτούμενης από Α/Γ στην Κύπρο, βάσει προγράμματος προσημείωσης Excel. Γίνεται εκτεταμένη αναφορά στην μεταβολή οικονομικών δεικτών συναρτήσει με άλλα μεγέθη του συστήματος. Ακόμα λαμβάνεται υπ' όψη η περίπτωση παροχής ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο.

- *Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και μονάδες αφαλάτωσης. Προοπτικές ένταξης στο ν. Δωδεκανήσου (Β. Χαντζιάρας – 2000)*

Διπλωματική εργασία που εξετάζει την τροφοδοσία μονάδων αφαλάτωσης είτε από Α/Γ είτε από Φ/Β στα Δωδεκάνησα. Χρησιμοποιείται το πρόγραμμα MedCoDesal και μελετάται κάθε νησί ξεχωριστά για αιολικό και για φωτοβολταϊκό πάρκο. Η βέλτιστη τιμή πώλησης νερού κυμαίνεται από 0.021 € (Λειψοί - Αιολικό πάρκο) μέχρι 1,763 € (Αγαθονήσι - Ηλιακό πάρκο).

4.2.3 Παρουσίαση εφαρμογών

Εκτός των εφαρμογών που παρουσιάζονται σε κάποιες από τις παραπάνω δημοσιεύσεις, κρίθηκε απαραίτητο να αναφέρουμε επιγραμματικά και άλλες προσπάθειες που έχουν γίνει στο χώρο αυτό. Είναι αλήθεια ότι οι περισσότερες εφαρμογές συστημάτων αφαλάτωσης, με τη μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης, σε συνεργασία με τεχνολογίες ΑΠΕ έχουν γίνει στα Κανάρια νησιά στην Ισπανία. Ενδεικτικά αναφέρονται εγκατεστημένες μονάδες τόσο στην Ισπανία αλλά και γενικότερα στον πλανήτη (Kalogirou,2005-Mathioulakis κλπ,2006-Tzen,2001):

- Μονάδα τροφοδοτούμενη από Αιολική ενέργεια δυναμικής 200 m³/day στα Κανάρια νησιά.
- Στη περιοχή Lampedousa της Ιταλίας , φωτοβολταϊκό πάρκο ισχύος 100 kW τροφοδοτεί μονάδα δυναμικής 5 m³/h.
- Μονάδα ικανότητας παραγωγής 2,5 m³/h στην Almeria της Ισπανίας, λειτουργεί με ενέργεια παραγόμενη από Φ/Β ισχύος 23,5 kW.
- Υβριδικό σύστημα γεννήτριας Diesel και Α/Γ παρέχει ισχύ στην αφαλάτωση (56 m³/day) και στο τοπικό δίκτυο της Pahara (νησί Fuerteventura).
- Πιλοτικό πρόγραμμα με μονάδα τροφοδοτούμενη από Α/Γ χωρίς σύστημα αποθήκευσης ενέργειας στο Τεχνολογικό Ινστιτούτο των Κανάριων νήσων.
- Επίσης, από το Τεχνολογικό Ινστιτούτο των Κανάριων νήσων αναπτύχθηκε αυτόνομο σύστημα, δεχόμενο ισχύ από Α/Γ, δυναμικής από 5 m³/day μέχρι 50 m³/day.
- Υβριδικό σύστημα γεννήτριας Diesel και Α/Γ παρέχει ισχύ στην αφαλάτωση (25 m³/day) στην Μέση Ανατολή.

- Σε νησί της Δαλματίας έχει εγκατασταθεί μονάδα αντίστροφης ώσμωσης τροφοδοτούμενη από Α/Γ.
- Υβριδικά συστήματα Φ/Β και Α/Γ συνδεδεμένα με μονάδες αφαλάτωσης έχουν εγκατασταθεί στο Ισραήλ ($3 \text{ m}^3/\text{day}$), και στο Ομάν ($1 \text{ m}^3/\text{h}$).

Όσον αφορά την Ελλάδα, το 1995 τέθηκε σε λειτουργία σύστημα Α/Γ που τροφοδοτούσε μονάδα αφαλάτωσης στο Δρέπανο της Αχαΐας. Τα τελευταία χρόνια, έχει οξυνθεί σε αρκετά μεγάλο βαθμό το πρόβλημα της λειψυδρίας στη νησιά, και είναι επιτακτική η εγκατάσταση μονάδων αφαλάτωσης. Προς αυτή την κατεύθυνση, το 2007 ολοκληρώθηκε η εγκατάσταση μονάδας αφαλάτωσης στη Μήλο δυναμικότητας $2600 \text{ m}^3/\text{day}$ με ορίζοντα επέκτασης το 2015 κατά $1120 \text{ m}^3/\text{day}$. Το σύστημα τροφοδοτείται από το υφιστάμενο αιολικό πάρκο στο οποίο προστέθηκε Α/Γ ισχύος 850 kW για να αντισταθμίζεται η ισχύς που καταναλώνει η αφαλάτωση από το δίκτυο. Τέλος, ένα πολύ σημαντικό έργο και ιδιαίτερα πρωτοποριακό σε παγκόσμιο επίπεδο, είναι η κατασκευή αυτόνομης πλωτής μονάδας αφαλάτωσης (Σχήμα 4.11), η οποία εκμεταλλεύομενη την ενέργεια που παράγουν το ενσωματωμένο υβριδικό σύστημα Α/Γ και Φ/Β, είναι σε θέση να παράγει $70 \text{ m}^3/\text{day}$. Η δυνατότητα κίνησης της μονάδας αποτελεί πλεονέκτημα αφού μπορεί να ικανοποιήσει ανάγκες πολλών μικρών άνυδρων νησιών. Ακόμα, εκτός των θετικών επιπτώσεων που θα έχει στον ελλαδικό χώρο, είναι ένα πρώτο βήμα για την κατασκευή πλωτών μονάδων.



Σχήμα 4.11 Πλωτή μονάδα αφαλάτωσης εγκατεστημένη στην Ηρακλεία

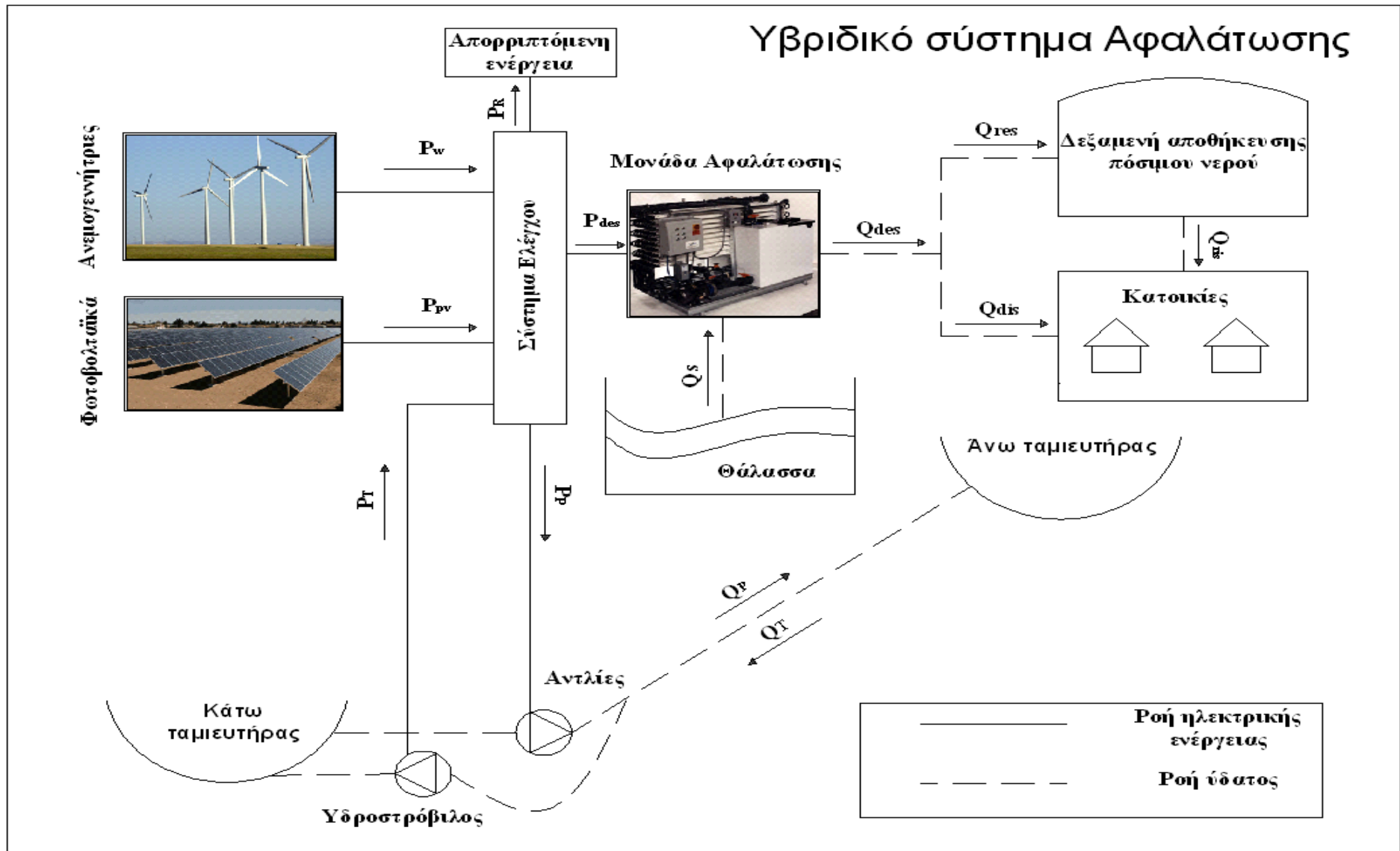
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ & ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

5.1 Το προτεινόμενο από την εργασία σύστημα

Η ταυτόχρονη ανάγκη για παραγωγή πόσιμου νερού αλλά και για απεξάρτηση από την παραγωγή ενέργειας με εκμετάλλευση ορυκτών καυσίμων αποτέλεσε το κίνητρο για τη μελέτη ενός συστήματος που θα ικανοποιεί και τις δύο απαιτήσεις. Μέχρι σήμερα, έχουν μελετηθεί, όπως είδαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο, αρκετά συστήματα που βασίζονται σε αυτή τη λογική. Προς αυτή την κατεύθυνση, «κινείται» και το σύστημα που προτείνεται από την εργασία αυτή.

Το προτεινόμενο, λοιπόν, σύστημα, αποτελείται από μια μονάδα αφαλάτωσης, μεθόδου αντίστροφης ώσμωσης, η οποία τροφοδοτείται, πρωτίτως, από την ενέργεια που παράγουν ένας αριθμός ανεμογεννητριών και μια συστοιχία φωτοβολταϊκών και, δευτερευόντως, από το υποσύστημα αποθήκευσης ενέργειας. Το σύστημα που μελετάται είναι αυτόνομο, δηλαδή δεν απαιτεί παροχή ενέργειας από το δίκτυο της περιοχής, και έχει ως σκοπό την κάλυψη του συνόλου ή ενός μέρους των αναγκών σε πόσιμο νερό μιας περιοχής. Πιθανές, λοιπόν, περιοχές στις οποίες μπορεί να υλοποιηθεί το προτεινόμενο σύστημα είναι νησιά του Αιγαίου που πλήττονται από έλλειψη πόσιμου νερού, ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες, και η ηλεκτροδότηση τους βασίζεται σε τοπικές μονάδες παραγωγής ισχύος που όμως το μέγεθος τους δεν επιτρέπει την εισαγωγή μονάδων αφαλάτωσης.

Η καινοτομία του συστήματος βασίζεται στο σύστημα αποθήκευσης της ενέργειας που παράγουν οι δύο τεχνολογίες εκμετάλλευσης των ΑΠΕ. Η ένταξη ενός υποσυστήματος αποθήκευσης ενέργειας, κρίνεται επιτακτική, για την ομαλή αλλά και συγχρόνως αποδοτική λειτουργία του όλου συστήματος, αφού η παραγωγή ενέργειας μέσω εκμετάλλευσης ΑΠΕ χαρακτηρίζεται από στοχαστικότητα κατά τη διάρκεια ενός μεγάλου χρονικού διαστήματος (π.χ. 1 έτος). Το συνηθέστερο μέσο αποθήκευσης ενέργειας είναι οι μπαταρίες, που όμως χαρακτηρίζονται από υψηλά κόστη επένδυσης αλλά και συντήρησης. Έτσι, έχοντας ως στόχο την πρόταση ενός εναλλακτικού συστήματος, σε αυτή την εργασία, εισάγεται σύστημα αντλησιοταμίευσης, μέσω του οποίου θα γίνεται η αποθήκευση της περίσσειας της παραγόμενης ενέργειας αλλά και η πρόσδοση ποσότητας ενέργειας που απαιτείται από την αφαλάτωση, όταν η παραγωγή από Α/Γ και Φ/Β δεν είναι σε θέση να καλύψει το σύνολο των ενεργειακών αναγκών.



Σχήμα 5.1 Απεικόνιση προτεινόμενου συστήματος

Σχετικά με το σύστημα αντλησιοταμίευσης, η συνεργασία του με αιολικά πάρκα για παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος έχει αποτελέσει αντικείμενο έρευνας διαφόρων δημοσιεύσεων (Anagnostopoulos, Papantonis, 2007) και διδακτορικών διατριβών (Κάραλης, 2007 – Κατσαπρακάκης, 2006). Σκοπός της εισαγωγής συστημάτων αντλησιοταμίευσης σε αιολικά πάρκα είναι η μεγιστοποίηση της διείσδυσης των αιολικών πάρκων στα ενεργειακά συστήματα με τα οποία είναι διασυνδεδεμένα. Τα αποτελέσματα των μελετών αυτών είναι ιδιαίτερα ενθαρρυντικά αφού η εγκατεστημένη ισχύς των ανεμογεννητριών γίνεται εκμεταλλεύσιμη σε μεγαλύτερο ποσοστό, μειώνεται η στοχαστικότητα της παρεχόμενης ενέργειας στο δίκτυο, ενώ η επένδυση κρίνεται οικονομικά συμφέρουσα. Άλλωστε, ήδη βρίσκεται υπό κατασκευή στην Ικαρία, σύστημα συνεργασίας ανεμογεννητριών (2,4 MW) με αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό έργο (3,1 MW). Έτσι κρίθηκε ενδιαφέρον, σε ερευνητικό τουλάχιστον επίπεδο, να συμπεριληφθεί στο προτεινόμενο από την εργασία σύστημα, ως μέσο αποθήκευσης ενέργειας.

Το σύστημα μας, όπως είναι διακριτό από το σχήμα 5.1, διαιρείται στα εξής επιμέρους υποσυστήματα:

- Αιολικό πάρκο
- Φωτοβολταϊκό πάρκο
- Αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό έργο
- Μονάδα αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης

Τα χαρακτηριστικά των υποσυστημάτων έχουν περιγραφεί εκτενώς σε προηγούμενα κεφάλαια.

Να τονίσουμε ότι, η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται τόσο από τις ανεμογεννήτριες όσο και από τα φωτοβολταϊκά δεν είναι άμεσα αξιοποιήσιμη, λόγω μη συμβατής ποιότητας. Έτσι, μέχρι τον πίνακα ελέγχου, όπου καθορίζονται οι απαιτήσεις της αφαλάτωσης και διαμοιράζεται η παραγόμενη ενέργεια, παρεμβάλλονται διάφορες ηλεκτρικές συσκευές (μετατροπείς, ανορθωτές), προκειμένου η παρεχόμενη ισχύς να χαρακτηρίζεται από ποιότητα που θα καθιστά τη λειτουργία της αφαλάτωσης και των αντλιών του συστήματος αντλησιοταμίευσης, ασφαλή. Βέβαια, στην διπλωματική εργασία, αυτή, τέτοιες συσκευές τις αντιμετωπίζουμε ως κομμάτι των υποσυστημάτων και η επιρροή τους περιορίζεται σε μια μικρή μείωση του βαθμού απόδοσης των υποσυστημάτων.

Στις υποενότητες που θα ακολουθήσουν, θα γίνει ανάλυση της λογικής λειτουργίας που προτείνεται και του υπολογιστικού κώδικα που δημιουργήθηκε για να προσομοιωθεί το σύστημα. Τα υποσυστήματα, αντιμετωπίζονται ως κλειστές ενεργειακές μονάδες, λαμβάνοντας υπ' όψη μόνο τα δεδομένα εισόδου και εξόδου τους. Αναλύονται, δύο ειδών ροές, όπως φαίνεται στο σχήμα απεικόνισης του συστήματος, της ενέργειας και του ύδατος. Συνεπώς, το σύστημα μελετάται, καθαρά, σε ενεργειακό επίπεδο, ενώ μέσω των ενεργειακών χαρακτηριστικών της μονάδας αφαλάτωσης, γίνεται αντιστοίχιση παρεχόμενης ενέργειας και παραγόμενου πόσιμου νερού.

5.2 Η φιλοσοφία διαχείρισης της ενέργειας του συστήματος

Αρχικά, να σημειώσουμε ότι στη συγκεκριμένη υποενότητα θα δοθεί μια γενική εικόνα για τη φιλοσοφία διαχείρισης της ενέργειας του συστήματος. Εκτενής ανάλυση της προτεινόμενης φιλοσοφίας λειτουργίας του συστήματος θα γίνει με την περιγραφή του υπολογιστικού κώδικα σε επόμενη υποενότητα.

Αν σε μια δεδομένη χρονική στιγμή, παράγεται ισχύς P_{PV} από τα φωτοβολταϊκά, P_W από τις ανεμογεννήτριες και συνολικά $P_{PR} = P_W + P_{PV}$, ενώ οι απαιτήσεις της αφαλάτωσης είναι P_{DES} , εύκολα διακρίνουμε τις εξής περιπτώσεις:

1. Αν $P_{PR} > P_{DES}$, τότε οι ανάγκες καλύπτονται εξ' ολοκλήρου από τα φωτοβολταϊκά και τις ανεμογεννήτριες, η μονάδα αφαλάτωσης είναι σε θέση να παράγει την απαιτούμενη ποσότητα νερού, ενώ η περίσσεια ενέργειας, $P_P = P_{PR} - P_{DES}$, χρησιμοποιείται για άντληση. Έτσι, τροφοδοτούνται οι αντλίες του συστήματος, οι οποίες μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε δυναμική, την παρέχουν σε ποσότητα ύδατος του κάτω ταμιευτήρα, που με τη σειρά του, έχοντας αποκτήσει την απαιτούμενη ενέργεια, διοχετεύεται μέσω σωληνώσεων στον άνω ταμιευτήρα, ο οποίος βρίσκεται σε κάποιο ύψος σε σχέση με τον κάτω ταμιευτήρα. Στην περίπτωση που ο άνω ταμιευτήρας γεμίσει ή είναι γεμάτος, η διαθέσιμη περίσσεια ισχύος μένει ανεκμετάλλευτη και απορρίπτεται (P_R).
2. Αν $P_{PR} < P_{DES}$, δηλαδή όταν η παραγόμενη ενέργεια δεν επαρκεί για την κάλυψη των αναγκών της αφαλάτωσης, η παραγόμενη ενέργεια ικανοποιεί ένα μέρος, μόνο, των αναγκών, ενώ το έλλειμμα, $P_T = P_{DES} - P_{PR}$, που παρουσιάζεται, καλείται να καλυφθεί από τον υδροστρόβιλο. Συνεπώς, ποσότητα ύδατος που υπάρχει στον άνω ταμιευτήρα, διοχετεύεται μέσω των σωληνώσεων στον υδροστρόβιλο. Ο υδροστρόβιλος εκμεταλλεύεται την δυναμική ενέργεια του νερού, λόγω της υψομετρικής διαφοράς των δύο δεξαμενών, και την μετατρέπει σε ηλεκτρική ενέργεια, με την οποία τροφοδοτείται η αφαλάτωση. Πολύ σημαντική παράμετρος της προσομοίωσης του συστήματος, η οποία θα αναλυθεί σε επόμενη υποενότητα, είναι η χωρητικότητα των δύο ταμιευτήρων. Θα πρέπει να διαστασιολογηθούν, έτσι ώστε, να μην υπάρξει περίπτωση, όπου ο άνω ταμιευτήρας δεν περιέχει ικανή ποσότητα νερού για να ικανοποιηθούν οι υπόλοιπες ανάγκες από τον υδροστρόβιλο. Σε μια τέτοια κατάσταση, ο υδροστρόβιλος δεν είναι σε θέση να τροφοδοτήσει την αφαλάτωση με την απαιτούμενη ισχύ, και έτσι η μονάδα αφαλάτωσης τίθεται εκτός λειτουργίας.

Είναι κατανοητό ότι, η μονάδα αφαλάτωσης στηρίζεται αποκλειστικά σε μονάδες παραγωγής ισχύος που δεν είναι σε θέση, ξεχωριστά, να παρέχουν σταθερή ποσότητα ισχύος κάθε χρονική στιγμή. Η διαστασιολόγηση, λοιπόν, των αλληλεπιδρόμενων συνιστωσών ενός τέτοιου αυτόνομου συστήματος, είναι ιδιαίτερα σημαντική και θα πρέπει να γίνει με στόχο την κάλυψη

100% των ενεργειακών αναγκών της αφαλάτωσης, που είναι συνάρτηση των αναγκών σε πόσιμο νερό των κατοίκων της περιοχής.

5.3 Περιγραφή του υπολογιστικού κώδικα

5.3.1 Γενικά στοιχεία

Ο κώδικας, που δημιουργήθηκε για τις ανάγκες της διπλωματικής εργασίας, αποτελεί μια προσπάθεια για την προσομοίωση του αυτόνομου συστήματος που περιγράφηκε προηγουμένως. Ουσιαστικά, είναι το βασικό μέρος της εργασίας και αναπτύχθηκε σε γλώσσα Fortran 90, εκ του μηδενός.

Σχετικά με τις δυνατότητες του, είναι σε θέση να διαστασιολογεί και να αναλύει σε τεχνοοικονομικό επίπεδο, συστήματα αποτελούμενα από μονάδες αφαλάτωσης οι οποίες τροφοδοτούνται, αποκλειστικά, από ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά καθώς και από σύστημα αντλησιοταμίευσης. Ο χρήστης μπορεί, λοιπόν, εισάγοντας τα μετεωρολογικά και δημογραφικά δεδομένα μιας περιοχής, αλλά και δίνοντας τα χαρακτηριστικά των επί μέρους συστημάτων (ονομαστικές ισχύεις, βαθμοί απόδοσης, κλπ), να αποκτήσει μια πρώτη άποψη για το αν το σύστημα, των δοθέντων χαρακτηριστικών, ικανοποιεί τις ανάγκες της συγκεκριμένης περιοχής σε πόσιμο νερό και αν κρίνεται η εγκατάσταση του συστήματος, οικονομικά, συμφέρουσα.

Αρκετά επιγραμματικά, ο κώδικας έχει ως εξής:

- Εισαγωγή δεδομένων (χρονοσειρές ανέμου και ηλιακής ακτινοβολίας, πληθυσμός περιοχής σε μηνιαία βάση, χαρακτηριστικά υποσυστημάτων, διάφορα οικονομικά στοιχεία)
- Υπολογίζεται η δυνατή παραγωγή Φ/Β-Α/Γ, με τη βοήθεια των χρονοσειρών ανέμου και ηλιακής ακτινοβολίας βήματος 1 h , και οι απαιτήσεις της αφαλάτωσης, βάσει των αναγκών σε πόσιμο νερό, οι οποίες έχουν αναχθεί και αυτές σε βήμα 1 h.
- Τα δύο παραπάνω μεγέθη συγκρίνονται και ακολουθείται, ανάλογα, η λογική διαχείρισης της ενέργειας.
- Υπολογίζονται διάφορα μεγέθη, που χαρακτηρίζουν το σύστημα, σε χρονικό βήμα 1 h.
- Ολοκληρώνοντας το χρονικό διάστημα προσομοίωσης (1 έτος), υπολογίζονται διάφορα αθροιστικά μεγέθη και τεχνοοικονομικοί δείκτες αξιολόγησης.

Είναι αλήθεια ότι, το γεγονός ότι η ενεργειακή προσομοίωση του συστήματος γίνεται βάσει της μεθόδου των χρονοσειρών αποτελεί μια διαφοροποίηση σε σχέση με τις έρευνες ίδιου επιπέδου

(διπλωματικές). Χρησιμοποιούνται πραγματικές χρονοσειρές μετεωρολογικών δεδομένων της περιοχής μελέτης, αν και η συνήθης τακτική είναι η χρήση μεθόδων που βασίζονται σε πιθανότητες. Με την εισαγωγή χρονοσειρών δίνεται η δυνατότητα να μελετηθεί η μεταβολή μεγεθών κατά τη διάρκεια του έτους και να ληφθούν αποφάσεις σχετικά με τη λογική και τη φιλοσοφία λειτουργίας του συστήματος. Βέβαια, μελέτες έχουν δείξει ότι δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις δύο μεθόδους (Κάραλης, 2007)

Αρκετά σημαντικό κομμάτι του κώδικα είναι η παραμετρική ανάλυση, δηλαδή η επανάληψη της παραπάνω διαδικασίας αλλάζοντας κάθε φορά την τιμή των κύριων παραμέτρων του συστήματος. Οι κύριες παράμετροι του συστήματος είναι:

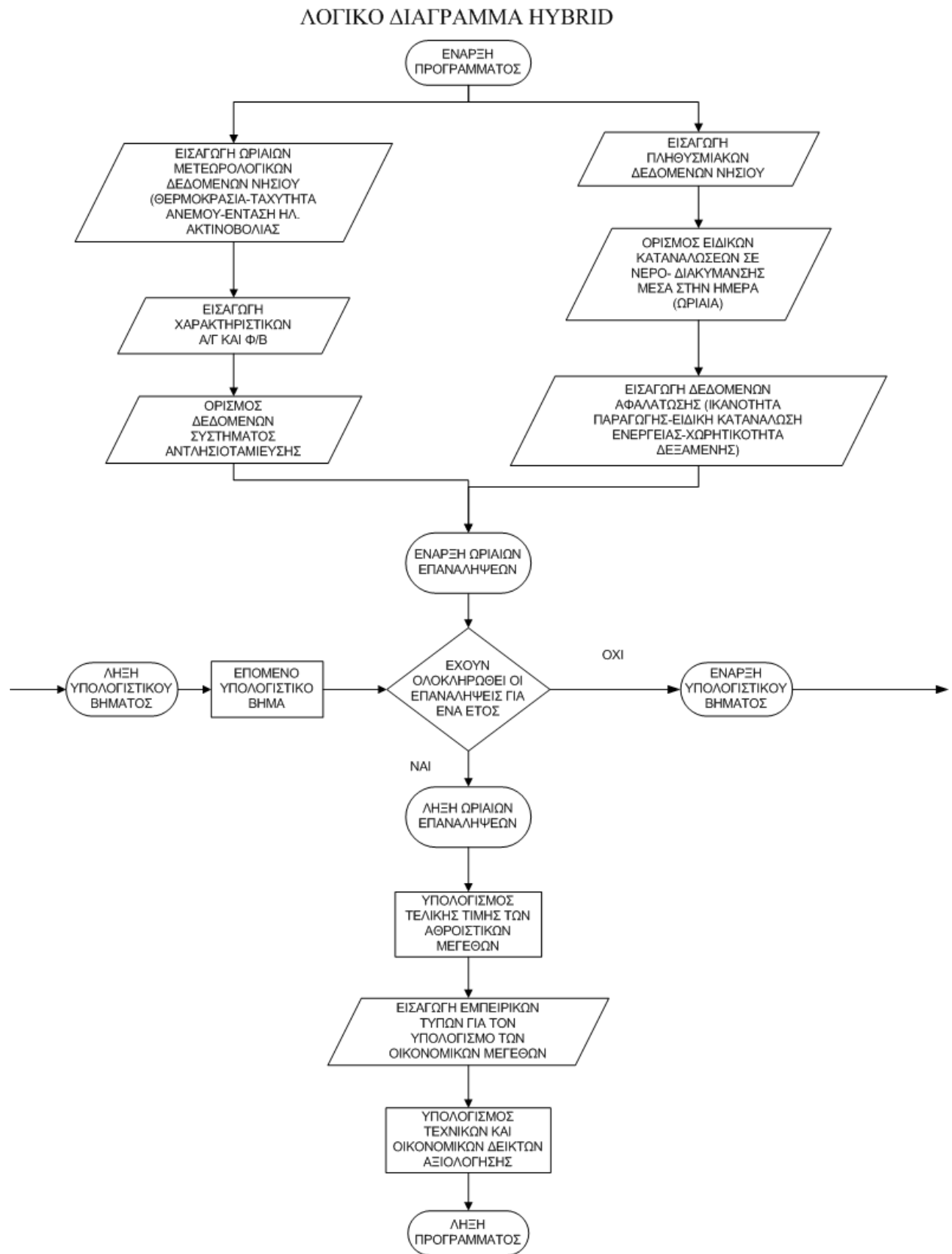
- Εγκατεστημένη ισχύς μονάδας αφαλάτωσης
- Εγκατεστημένη ισχύς υδροστροβίλου
- Εγκατεστημένη ισχύς αντλιών
- Εγκατεστημένη ισχύς ανεμογεννητριών
- Εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών
- Χωρητικότητα δεξαμενής αποθήκευσης πόσιμου νερού
- Χωρητικότητα ταμιευτήρων
- Ανάγκες σε πόσιμο νερό της περιοχής (ή ο αριθμός των μόνιμων κατοίκων)
- Τιμή πώλησης πόσιμου νερού

Έτσι, μπορούμε να παρακολουθήσουμε το πώς μεταβάλλονται κάποιοι σημαντικοί δείκτες όπως το ποσοστό ικανοποίησης των ετήσιων αναγκών σε πόσιμο νερό και το κόστος παραγωγής πόσιμου νερού, συναρτήσει των κύριων παραμέτρων αλλά και να εντοπίσουμε την περιοχή τιμών των παραμέτρων για την οποία εξάγονται τα βέλτιστα αποτελέσματα.

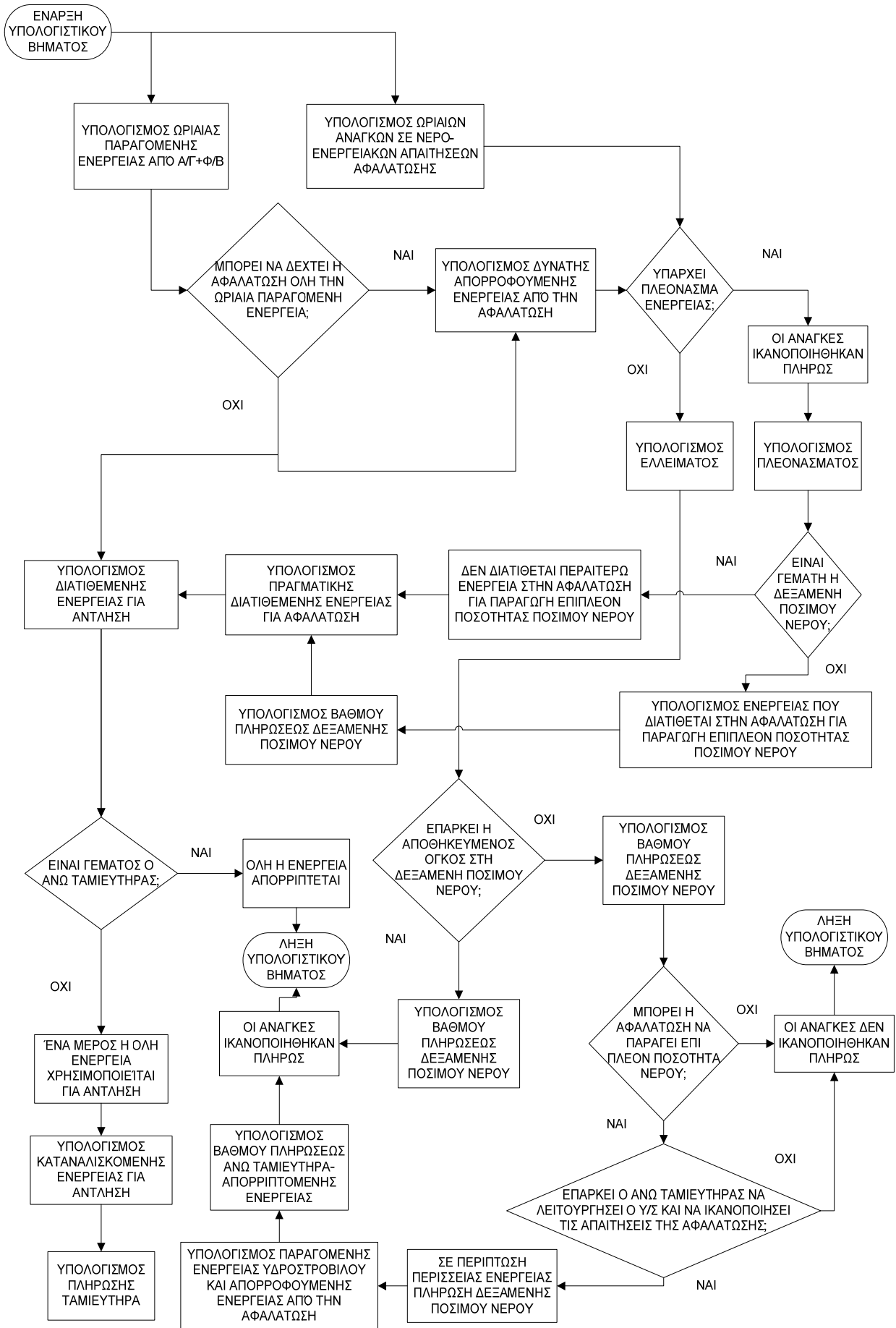
Ακόμα να αναφέρουμε ότι, θέλοντας να αποφανθούμε για τη βέλτιστη διαστασιολόγηση του συστήματος, χρησιμοποιούμε λογισμικό βελτιστοποίησης, ο οποίος επαναλαμβάνει τον κώδικα έχοντας διαφορετικό συνδυασμό τιμών παραμέτρων κάθε φορά. Μετά από μεγάλο πλήθος συνδυασμών, καταλήγουμε στον συνδυασμό που δίνει την βέλτιστη τιμή για συγκεκριμένους δείκτες, οι οποίοι έχουν ορισθεί στην έναρξη της βελτιστοποίησης. Περισσότερες λεπτομέρειες και εκτενέστερη ανάλυση θα δοθεί στο αντίστοιχο κεφάλαιο.

Κλείνοντας την εισαγωγική, αυτή, υποενότητα, θα πρέπει να αναφέρουμε ότι ο κώδικας επιδέχεται βελτίωσης, επέκτασης ή και αλλαγών. Μάλιστα, θεωρείται ότι με κάποιες αλλαγές, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συστήματα διαφορετικής δομής και λογικής. Ας ελπίσουμε, ότι θα αποτελέσει τη βάση και το εργαλείο για περαιτέρω έρευνα.

5.3.2 Λογικό Διάγραμμα



Κεφάλαιο 5^ο – Περιγραφή & Προσομοίωση του Συστήματος



5.3.3 Δεδομένα Εισόδου

Στην παρούσα υποενότητα, θα γίνει αναφορά στα δεδομένα που απαιτούνται και τους υπολογισμούς που γίνονται, πριν εκτελεστεί η φιλοσοφία λειτουργίας του συστήματος. Οι λέξεις «ενέργεια» και «ισχύς», που χρησιμοποιούνται παρακάτω, αποτελούν ταυτόσημες έννοιες αφού γίνεται αναφορά σε ωριαίο επίπεδο, όπου τα μεγέθη και οι μονάδες (kW, kWh) ταυτίζονται. Ακόμα, τα ωριαία μεγέθη, X , θα ακολουθούν τον εξής συμβολισμό $X(i)$, όπου i η ώρα του έτους. Έχει γίνει διακριτοποίηση του έτους σε 8760 χρονικά διαστήματα (ώρες).

5.3.3.1 Τεχνικά δεδομένα

- *Μετεωρολογικά δεδομένα περιοχής μελέτης*

Ο κώδικας περιλαμβάνει εντολές με τις οποίες «ανοίγει» και «διαβάζει» αρχεία που περιέχουν χρονοσειρές μετεωρολογικών δεδομένων, όπως η θερμοκρασία, η ταχύτητα του ανέμου και η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι χρονοσειρές αυτές περιλαμβάνουν τιμές των δεδομένων σε ωριαία βάση για τη συγκεκριμένη περιοχή. Αναλυτικότερα για κάθε δεδομένο έχουμε:

Θερμοκρασία

Αποτελεί την θερμοκρασία περιβάλλοντος $TA(i)$, και δίνεται σε μονάδες $^{\circ}C$. Το μέγεθος της θερμοκρασίας χρησιμοποιείται, χωρίς αλλαγές, κατά τον υπολογισμό του βαθμού απόδοσης των φωτοβολταϊκών, που θα αναλυθεί παρακάτω.

Ταχύτητα ανέμου

Η ταχύτητα του ανέμου $V_1(i)$ είναι το βασικό μέγεθος για τον υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες. Δίνεται σε μονάδες m/s, και θεωρείται ότι η τιμή της προκύπτει από μετρήσεις σε ύψος $z_1 = 10\text{ m}$ από το έδαφος. Για να είναι αξιοποιήσιμες οι τιμές της ταχύτητας του ανέμου που δίνονται στο αρχείο εισόδου, ανάγονται στο ύψος του δρομέα z_2 της πρότυπης ανεμογεννήτριας, και προκύπτει η ανηγμένη ταχύτητα $V_2(i)$, σύμφωνα με τη σχέση:

$$V_2(i) = V_1(i) \left(\frac{z_2}{z_1} \right)^a$$

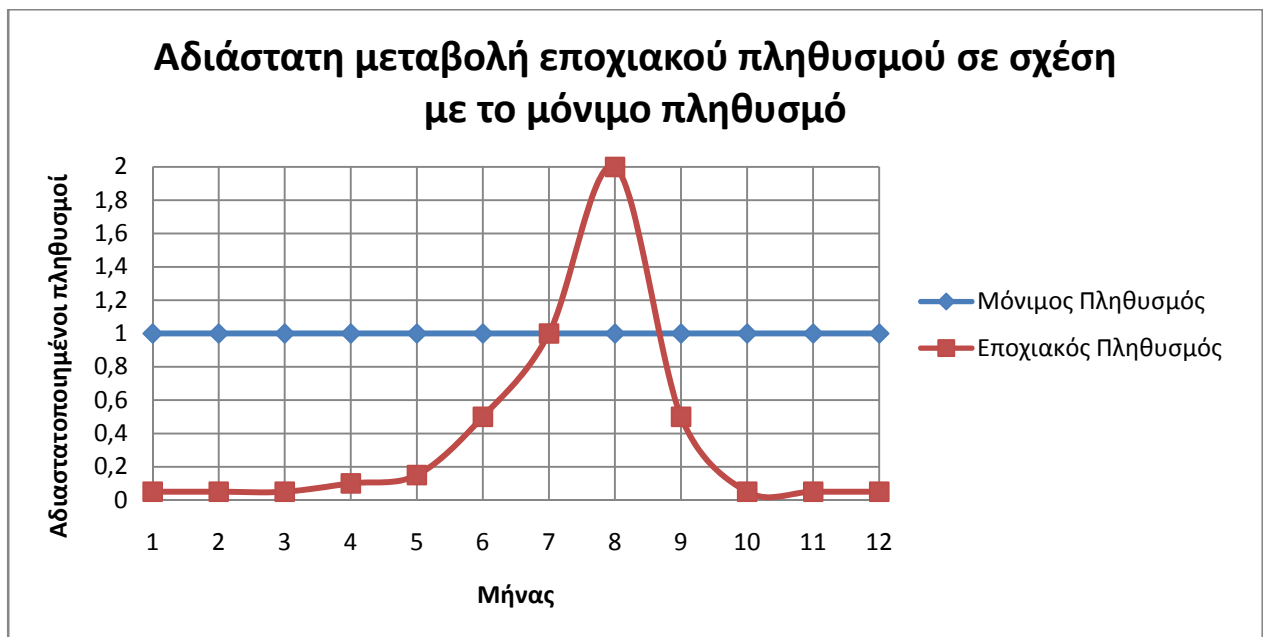
Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας $HSR(i)$, δίνεται σε μονάδες kWh/m^2 . Εκφράζει, δηλαδή, την ενέργεια που φέρει η δέσμη της ακτινοβολίας ανά τετραγωνικό μέτρο. Χρησιμοποιείται για

τον υπολογισμό της ενέργειας που παράγουν τα φωτοβολταϊκά. Οι τιμές της συγκεκριμένης χρονοσειράς δεν απαιτούν καμία μετατροπή, αφού αποτελούν την ολική ακτινοβολία που δέχεται η περιοχή και είναι υπολογισμένες για κεκλιμένο επίπεδο κλίσης ίσου με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής και νότιου προσανατολισμού. Όπως έχουμε αναφέρει, φωτοβολταϊκά πλαίσια τέτοιων χαρακτηριστικών, παράγουν τη μέγιστη δυνατή ενέργεια για χρονικό διάστημα του ενός χρόνου.

- Δεδομένα σχετικά με τον πληθυσμό της περιοχής

Είναι αναγκαίο να γνωρίζουμε τόσο τον μόνιμο όσο και τον εποχιακό πληθυσμό της περιοχής ανά μήνα του έτους. Επειδή μόνο για τον μόνιμο πληθυσμό έχουμε αποδεδειγμένα στοιχεία, για τον εποχιακό πληθυσμό θα εφαρμοστεί μια θεωρία που πλησιάζει αρκετά την πραγματικότητα. Έτσι, αν ορίσουμε ως $RP(n)$, τον μόνιμο πληθυσμό (με n τον μήνα του έτους), ο εποχιακός πληθυσμός $SP(n)$ θα εκφράζεται ως ποσοστό του μόνιμου. Το παρακάτω σχήμα είναι αντιπροσωπευτικό:



Σχήμα 5.2 Μεταβολή εποχιακού πληθυσμού συγκριτικά με το μόνιμο

Όπως φαίνεται και στο σχήμα, θεωρήθηκε ότι ο συνολικός πληθυσμός της περιοχής αυξάνεται ραγδαία κατά τους καλοκαιρινούς μήνες (διπλασιάζεται τον Ιούλιο και τριπλασιάζεται τον Αύγουστο), γεγονός που είναι χαρακτηριστικό των ελληνικών νησιών. Άλλωστε, οι μήνες του καλοκαιριού, αποτελούν περίοδο αιχμής της ζήτησης του νερού, κάτι που αποδεικνύεται από την αυξημένη μεταφορά νερού στα νησιά.

- *Ειδική κατανάλωση νερού*

Έγινε παραδοχή ότι η ειδική κατανάλωση του νερού εξαρτάται από την φύση του καταναλωτή αλλά και την εποχή κατανάλωσης. Έτσι, θεωρήθηκαν οι τιμές που δίνονται στον πίνακα 5.1, για την ειδική κατανάλωση νερού, $SDWC_1$, για τον μόνιμο και , $SDWC_2$, για τον εποχιακό πληθυσμό :

Χρονική Περίοδος	Μέση Ειδική Κατανάλωση Νερού (λίτρα/κάτοικο/ημέρα)	
	Οκτώβριος – Μάρτιος	Απρίλιος – Σεπτέμβριος
Μόνιμος Πληθυσμός	150	250
Εποχιακός Πληθυσμός	200	300

Πίνακας 5.1 Ειδική κατανάλωση νερού

- *Διακύμανση κατανάλωσης νερού κατά τη διάρκεια της ημέρας*

Θέλοντας να κάνουμε σύγκριση της ενεργειακής παραγωγής και των ενεργειακών αναγκών σε χρονικό βήμα 1 ώρας, υπήρξε ανάγκη για γνώση της μέσης ωριαίας κατανάλωσης νερού. Έτσι, χρησιμοποιήθηκε μια μέση διακύμανση της κατανάλωσης νερού κατά τη διάρκεια μιας ημέρας του χειμώνα (Οκτώβριος – Μάρτιος) και μιας του καλοκαιριού (Απρίλιος – Σεπτέμβριος). Το σχήμα 5.3 είναι ενδεικτικό:



Σχήμα 5.3 Διακύμανση ημερήσιας κατανάλωσης κατά τη διάρκεια της ημέρας

Από εδώ και στο εξής, ο λόγος που αντιστοιχεί σε κάθε ώρα της ημέρας ορίζεται ως $PER(j)$, με j την ώρα της ημέρας.

- Υπολογισμός ωραίων αναγκών σε πόσιμο νερό

Έχοντας γνωστά τα δεδομένα που αναφέρθηκαν προηγουμένως για κάθε ώρα του έτους, μπορούμε να υπολογίσουμε τις ωραίες ανάγκες σε πόσιμο νερό, THC (m^3), για τη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης, σύμφωνα με τη σχέση:

$$THC(i) = 0.001 * [(PER(j))(SDWC_1)(RP(n)) + (PER(j))(SDWC_2)(SP(n))]$$

Να σημειώσουμε ότι ο πληθυσμός λαμβάνει την ίδια τιμή για όλες τις ώρες ενός μήνα.

- Χαρακτηριστικά μονάδας αφαλάτωσης – Μετατροπή αναγκών σε νερό, σε ενεργειακές ανάγκες

Όταν η μονάδα αφαλάτωσης το σύστημα που παράγει το πόσιμο νερό χρησιμοποιώντας συγκριμένα ποσά ενέργειας, τα χαρακτηριστικά της θα μας βοηθήσουν για να αντιστοιχίσουμε την παραγωγή νερού με την κατανάλωση ενέργειας. Έναν δείκτη που υπολογίζουν, συνήθως, οι μελέτες σε συστήματα αφαλάτωσης, είναι η ειδική κατανάλωση ενέργειας SDC (kWh/m^3), και εκφράζει την ενέργεια που καταναλώνεται για την παραγωγή ενός κυβικού μέτρου νερού. Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο της αφαλάτωσης, πλέον, οι σύγχρονες μονάδες αφαλάτωσης με μέθοδο αντίστροφης ώσμωσης, έχουν ειδική κατανάλωση ενέργειας της τάξεως 2 - 4 kWh/m^3 . Σε αυτή την προσομοίωση, επιλέχθηκε μια μέση τιμή των 3 kWh/m^3 , θεωρώντας ότι με την πάροδο κάποιων χρόνων λειτουργίας δεν είναι ρεαλιστικές χαμηλότερες τιμές της ειδικής ενεργειακής κατανάλωσης. Βέβαια, το μέλλον κρίνεται αρκετά ευοίωνο, αφού κατασκευάζονται μονάδες με ολοένα και χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας.

Η ωριαία ενεργειακή απαίτηση, $HTEN$, σε kWh υπολογίζεται, απλά, από τη σχέση:

$$HTEN(i) = (THC(i))(SDC)$$

Επίσης, σημαντικό χαρακτηριστικό της μονάδας είναι η δυνατότητα παραγωγής νερού σε μία ώρα DFC (m^3/h). Ουσιαστικά, αποτελεί το πρώτο «φίλτρο» για το αν μπορούν να ικανοποιηθούν οι ωριαίες ανάγκες σε νερό. Επειδή, η ισχύς της αφαλάτωσης DP αποτελεί παράμετρο του συστήματος, επιλέγεται μικρή τιμή δυνατότητας παραγωγής μίας μονάδας (50 m^3/h), προκειμένου να υπάρχει «ευελιξία» κατά τη διαστασιολόγηση, εισάγοντας τον συντελεστή εγκατεστημένης ισχύος αφαλάτωσης DPN . Ο συντελεστής DPN μπορεί να εκφραστεί και ως ο αριθμός των εγκατεστημένων μονάδων αφαλάτωσης.

Έτσι, η συνολική δυνατότητα παραγωγής νερού σε μία ώρα (m^3/h) είναι :

$$TDFC = (DPN)(DFC)$$

Εύκολα, υπολογίζεται και η ονομαστική ισχύς της αφαλάτωσης σε kW:

$$DP = (TDFC)(SDC)$$

Μια ακόμη παράμετρος που έχει να κάνει με το σύστημα της αφαλάτωσης είναι η χωρητικότητα της δεξαμενής αποθήκευσης του πόσιμου νερού, RTC . Συνήθης τακτική σχετικά με τη διαστασιολόγηση της είναι η απαίτηση για ορισμένες μέρες αυτονομίας, δηλαδή να υπάρχει η δυνατότητα, η περιοχή να τροφοδοτηθεί με το αποθηκευμένο νερό σε μέρες που η αφαλάτωση δεν μπορεί να λειτουργήσει για διάφορους λόγους (άπνοια-νέφωση, συντήρηση). Επίσης, ορίζονται η ελάχιστη πλήρωση της δεξαμενής, όπου επιλέγεται να ισούται με το 10% της συνολικής χωρητικότητας, καθώς και ο αρχικός όγκος νερού που υπάρχει στην δεξαμενή, ο οποίος θεωρείται ίσος με τον ελάχιστο επιτρεπτό, ενώ ο ωριαίος αποθηκευμένος όγκος πόσιμου νερού στη δεξαμενή συμβολίζεται ως $CRL(i)$.

Ελάχιστη πλήρωση της δεξαμενής: $TMWV = 0.1(RTC)$

Πλήρωση δεξαμενής κατά την έναρξη της προσομοίωσης: $CRL(0) = TMWV$

Τέλος, ορίζεται ο ωριαίος βαθμός πλήρωσης της δεξαμενής:

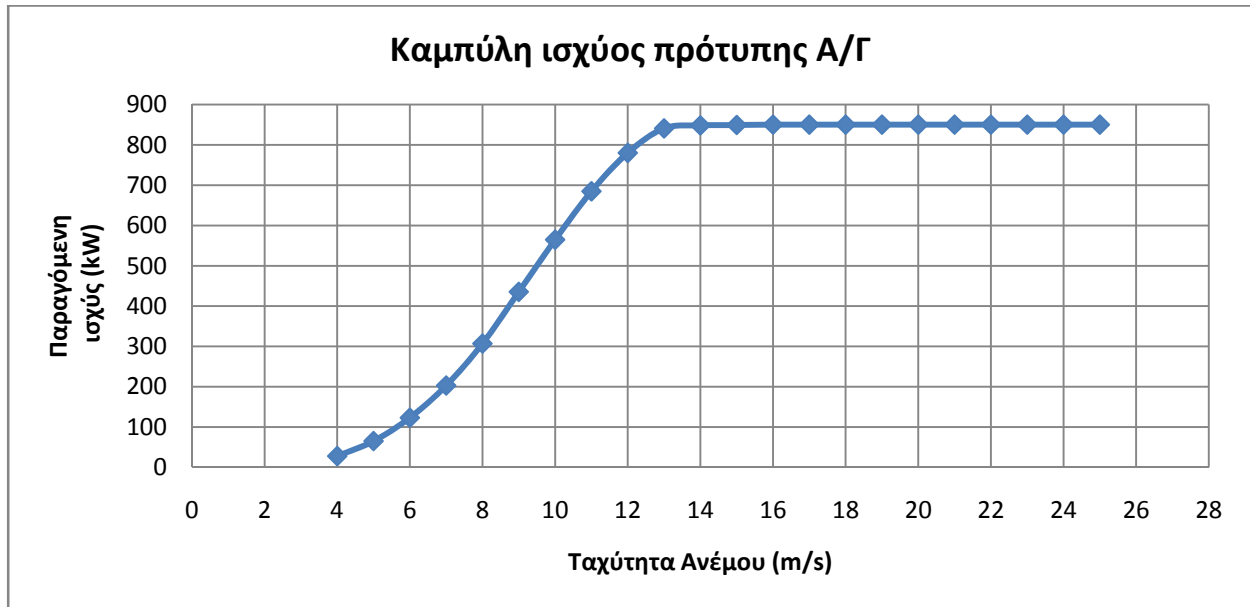
$$PCRL(i) = \frac{CRL(i)}{RTC}$$

- Υπολογισμός παραγόμενης ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες

Επιλέγεται μια πρότυπη ανεμογεννήτρια, και μέσω της καμπύλης ισχύος της, υπολογίζεται η ωριαία παραγόμενη ενέργεια. Αναλυτικότερα, για μια δεδομένη ταχύτητα του ανέμου στο ύψος του δρομέα $V_2(i)$, όπως υπολογίστηκε προηγουμένως, έχουμε αντιστοιχία με μια συγκεκριμένη τιμή της παραγόμενης ισχύος $HWEP(i)$, από την καμπύλη ισχύος της μίας εκ των WN όμοιων ανεμογεννητριών. Βέβαια, η τιμή αυτή, δεν αποτελεί την πραγματική παρεχόμενη ενέργεια προς την αφαλάτωση, λόγω διαφόρων απωλειών κατά τη μεταφορά της στη μονάδα. Έτσι, αν θεωρήσουμε $SEWT$, τον συνολικό βαθμό απόδοσης, τότε η παραγόμενη ενέργεια σε μία ώρα από το αιολικό πάρκο $HWTEP(i)$ σε kWh είναι:

$$HWTEP(i) = (SEWT)(WN)(HWEP(i))$$

Η ανεμογεννήτρια που χρησιμοποιήθηκε είναι το μοντέλο **GAMESA G52**, ονομαστικής ισχύος 850 kW, ύψος δρομέα 49 m, με την καμπύλη ισχύος του σχήματος 5.4:



Σχήμα 5.4 Καμπύλη ισχύος πρότυπης Α/Γ

Σχετικά με το βαθμό απόδοσης *SEWT* επιλέγεται τιμή 0.9, ενώ ο αριθμός των όμοιων ανεμογεννητριών *WN* εκφράζεται ως συντελεστής εγκατεστημένης ισχύος ανεμογεννητριών, αφού η συνολική ισχύς των ανεμογεννητριών αποτελεί παράμετρο του συστήματος. Συνεπώς, η τιμή που λαμβάνει, είναι μεταβαλλόμενη και εξαρτάται από τον χρήστη. Ο συντελεστής, *WN*, επιτρέπεται να λάβει και δεκαδικές τιμές, δεχόμενοι ότι μια διαφορετικής ονομαστικής ισχύος Α/Γ, θα έχει καμπύλη ισχύος ανάλογη της πρότυπης.

- Υπολογισμός παραγόμενης ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά

Υπολογίζουμε αρχικά, τον θερμοκρασιακό συντελεστή, που επηρεάζει αρνητικά τον ολικό βαθμό απόδοσης του φωτοβολταϊκού πάρκου. Έτσι, δεδομένης της ωριαίας θερμοκρασίας περιβάλλοντος $TA(i)$, και της ωριαίας ολικής προσπίπτουσας ακτινοβολίας $HSR(i)$, υπολογίζουμε την ωριαία θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού στοιχείου $TC(i)$:

$$TC(i) = TA(i) + \frac{h_w(HSR)}{1000}$$

Ο θερμοκρασιακός συντελεστής σ_θ υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\sigma_\theta(i) = 1 - 0,005(TC(i) - 25)$$

Στη συνέχεια, βρίσκουμε τον ολικό βαθμό απόδοσης του φωτοβολταϊκού α που μεταβάλλεται ωριαία λόγω της μεταβολής του θερμοκρασιακού συντελεστή:

$$\alpha(i) = n_{mod}n_{inv}(1 - a_{cab})(1 - a_{sh})\sigma_\rho\sigma_\theta(i)$$

Τελικά, η ωριαία παραγόμενη ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά $HSEP(i)$ σε kWh είναι:

$$HSEP(i) = (HSR(i))(PN)(E)(a(i))$$

όπου E το εμβαδό της επιφάνειας του πρότυπου φωτοβολταϊκού πλαισίου, ενώ PN είναι ο αριθμός των φωτοβολταϊκών και αποτελεί παράμετρο του συστήματος, αφού ουσιαστικά είναι συντελεστής της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών.

Στο πρόγραμμα μας χρησιμοποιείται το μοντέλο BP 3160, ονομαστικής ισχύος $PV = 160 W$, επιφάνειας $E = 1,25847 m^2$, και απόδοσης $n_{mod} = 0,127$. Σχετικά με τα υπόλοιπα μεγέθη, δίνουμε τις ακόλουθες τυπικές τιμές:

$$h_w = 0,03 m^2 \text{ } ^\circ C/W \quad n_{inv} = 0,95 \quad a_{cab} = 0,01 \quad a_{sh} = 0,01 \quad \sigma_p = 0,95$$

Τέλος, να ορίσουμε τη συνολική εγκατεστημένη ισχύ των Φ/Β PVN (kW):

$$PVN = (PV)(PN)$$

- Υπολογισμός συνολικής παραγόμενης ενέργειας από Φ/Β και Α/Γ

Η συνολική παραγόμενη ενέργεια $THEP(i)$ σε kWh αποτελεί στο πρόγραμμα μας συγκρίσιμο μέγεθος με τις ενεργειακές δυνατότητες της αφαλάτωσης, ωριαία. Υπολογίζεται αθροίζοντας τις δύο επί μέρους παραγωγές:

$$THEP(i) = HWTEP(i) + HSEP(i)$$

- Χαρακτηριστικά συστήματος αντλησιοταμίευσης

Θεωρείται ότι το ύψος της αντλίας HP και το ύψος του υδροστροβίλου HT είναι ίδια και έχουν τη σταθερή τιμή των 300 m.

$$H = HP = HT = 300 m$$

Ακόμα, ο άνω και ο κάτω ταμιευτήρας έχουν την ίδια χωρητικότητα TTC , ενώ τα χαρακτηριστικά τους σχετικά με την ελάχιστη πλήρωση και τον αρχικό όγκο νερού είναι αντίστοιχα με τη δεξαμενή πόσιμου νερού. Επίσης, ο ωριαίος όγκος νερού στον άνω ταμιευτήρα θα συμβολίζεται από εδώ και στο εξής ως $CTV(i)$, ενώ ορίζεται και ο ωριαίος βαθμός πλήρωσης του ταμιευτήρα ως:

$$PCTV(i) = \frac{CTV(i)}{TTC}$$

Η χωρητικότητα του ταμιευτήρα, αποτελεί παράμετρο του συστήματος, οπότε, η τιμή της μπορεί να μεταβληθεί και ορίζεται από τον χρήστη.

Να σημειώσουμε ότι η μελέτη αυτή, δεν περιλαμβάνει υπολογισμούς που έχουν να κάνουν με τη διάμετρο των σωληνώσεων.

Σχετικά με την εγκατεστημένη ισχύ, τόσο η ισχύς των αντλιών *PP* όσο η ισχύς του υδροστροβίλου *TP* είναι παράμετροι του συστήματος και ορίζονται από τον χρήστη.

Τέλος, εισάγονται οι βαθμοί απόδοσης τόσο της άντλησης όσο και της παραγωγής του υδροστροβίλου. Οι βαθμοί απόδοσης, περιλαμβάνουν το σύνολο των απωλειών του συστήματος (υδραυλικές, μηχανικές, ηλεκτρικές). Έτσι, ορίζουμε:

Βαθμός απόδοσης άντλησης *PE* = 0.85

Βαθμός απόδοσης παραγωγής υδροστροβίλου *TE* = 0.85

Καταλήγουμε, λοιπόν, σε μια συνολική απόδοση του συστήματος αντλησιοταμίευσης της τάξεως του 72 %.

5.3.3.2 Οικονομικά δεδομένα

Στο σημείο αυτό, θα δοθούν διάφοροι εμπειρικοί τύποι υπολογισμού του κόστους των επί μέρους συστημάτων. Σε κάθε υποσύστημα, δίνονται σχέσεις για το «κόστος επένδυσης», το οποίο αποτελεί το κόστος κατά την έναρξη λειτουργίας και περιλαμβάνει το κόστος αγοράς του εξοπλισμού και το κόστος εγκατάστασής του, αλλά και για το «κόστος συντήρησης και λειτουργίας», το οποίο είναι τα πάγια έξοδα που έχει το σύστημα για κάθε έτος λειτουργίας. Ακόμα, σε κάποια υποσυστήματα υπολογίζονται διάφορα άλλα κόστη, τα οποία αναλόγως της φύσεως τους εντάσσονται στο κόστος επένδυσης ή στο κόστος συντήρησης & λειτουργίας. Τα κόστη του όλου συστήματος θα αποτελέσουν το άθροισμα των αντίστοιχων των υποσυστημάτων, ενώ το κόστος σύνδεσης του υβριδικού με την αφαλάτωση θεωρείται ότι περιέχεται στα επί μέρους κόστη επένδυσης.

Η οικονομική ανάλυση, που γίνεται με τον κώδικα, δεν μπορεί να χαρακτηριστεί λεπτομερής και απόλυτα ακριβής, αλλά έχει ως στόχο να δώσει μια εικόνα για την οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης, και τη δυνατή τιμή πώλησης του παραγόμενου πόσιμου νερού.

Οι εμπειρικοί τύποι που δίνονται παρακάτω προέρχονται από διάφορες βιβλιογραφικές πηγές και τα αποτελέσματα τους επηρεάζονται από τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των υποσυστημάτων, τα οποία είτε εισάγονται από τον χρήστη είτε υπολογίζονται στο τέλος της προσομοίωσης. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις ακόλουθες σχέσεις είναι σε Euro (€).

- *Κόστη φωτοβολταϊκού πάρκου (Ζερβός, 2007)*

Κόστος επένδυσης: $PVINVEST = 6000(PVN)$

Κόστος λειτουργίας & συντήρησης: $PVMAINT = 0.02(PVINVEST)$

- *Κόστη αιολικού πάρκου (Ζερβός, 2007)*

Κόστος επένδυσης: $WINDINVEST = 1300(WPN)$

Κόστος λειτουργίας & συντήρησης: $WINDMAINT = 0.02(WINDINVEST)$

- *Κόστη συστήματος αντλησιοταμίευσης (Παπαντώνης, 2007)*

Κόστος επένδυσης υδροστροβίλου: $TURBINEINVEST = 5000 \left(\frac{TP}{HT^{0.3}} \right)^{0.82}$

Κόστος επένδυσης αντλιών: $PUMPINVEST = 5000 \left(\frac{PP}{HP^{0.3}} \right)^{0.82}$

Κόστος επένδυσης ταμιευτήρων: $TANKINVEST = 2(420(TTC)^{0.7})$

Κόστος επένδυσης σωληνώσεων: $PIPEINVEST = 200(3HP)$

Άλλα κόστη:

$HYDROOTHE = 0.35(TURBINEINVEST + PUMPINVEST + TANKINVEST + PIPEINVEST)$

Συνολικό κόστος επένδυσης συστήματος αντλησιοταμίευσης:

$HYDROINVEST = TURBINEINVEST + PUMPINVEST + TANKINVEST + PIPEINVEST + HYDROOTHE$

Κόστος λειτουργίας & συντήρησης: $HYDROMAINT = 0.02(HYDROINVEST)$

- *Κόστη μονάδας αφαλάτωσης (Fritzmann κλπ, 2006)*

Κόστος επένδυσης: $DESINVEST = 7100(TDFC)^{0.85}$

Κόστος Δεξαμενής: $DESRES = 25(RTC)$

Άλλα κόστη (μεμβράνες, χημικά, εργατικά): $DESOTH = 0.08(DESINVEST)$

Κόστος λειτουργίας & συντήρησης:

$$DESMOINT = 0.02(DESINVEST + DESRES) + DESOTH$$

- Υπολογισμός συνολικού κόστους επένδυσης

Το συνολικό κόστος επένδυσης του συστήματος υπολογίζεται αθροίζοντας τα κόστη επένδυσης των υποσυστημάτων.

$$HYBRIDINVEST = PVINVEST + WINDINVEST + HYDROINVEST + DESINVEST$$

- Υπολογισμός συνολικού κόστους λειτουργίας και συντήρησης

Αντίστοιχα υπολογίζεται και το συνολικό κόστος λειτουργίας και συντήρησης.

$$HYBRIDMOINT = PVMOINT + WINDMOINT + HYDROMOINT + DESMOINT$$

5.3.4 Φιλοσοφία λειτουργίας συστήματος

Στη συγκεκριμένη υποενότητα, αναλύεται η λογική με την οποία προτείνουμε να λειτουργήσει το σύστημα, και αποτελεί το βασικό μέρος του υπολογιστικού κώδικα. Η ανάλυση που γίνεται, είναι σε καθαρά ενεργειακό επίπεδο και έχει ως στόχο να δώσει μια εικόνα για την ροή της ενέργειας στο σύστημα. Επίσης, η λογική λειτουργίας εκτελείται σε κάθε χρονικό βήμα του κώδικα, που εδώ έχει οριστεί η μία ώρα. Επειδή οι υποπεριπτώσεις του κώδικα είναι αρκετά πολύπλοκες, έγινε προσπάθεια η ανάλυση να αρκестεί σε απλή περιγραφή της φιλοσοφίας και όχι να γίνει εκτενής αναφορά στους διάφορους υπολογισμούς που εκτελούνται στο κομμάτι αυτό του προγράμματος.

Διερεύνηση περιορισμών λόγω χαρακτηριστικών μονάδας αφαλάτωσης

Αρχικά, ερευνάται αν η παραγόμενη ενέργεια από τις Α/Γ και τα Φ/Β, $THEP(i)$, μπορεί να τροφοδοτήσει την μονάδα αφαλάτωσης για όλη την ώρα ή για μέρος της ώρας. Έτσι, έχουμε τις ακόλουθες περιπτώσεις:

- Υψηλότερη παραγωγή ενέργειας από τις δυνατότητες απορρόφησης της αφαλάτωσης

Αν $THEP(i) > DP$, τότε η ωριαία παραγωγή ενέργειας (Α/Γ και Φ/Β) δεν μπορεί να απορροφηθεί στο σύνολο της από την μονάδα αφαλάτωσης. Η εγκατεστημένη ισχύς της αφαλάτωσης λειτουργεί σε πλήρες φορτίο ενώ παρουσιάζεται περίσσεια ενέργειας, η οποία

μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άντληση. Να τονίσουμε ότι, σε αυτή την περίπτωση, η μονάδα αφαλάτωσης έχει εξαντλήσει τις δυνατότητες παραγωγής της και δεν υφίσταται θέμα τροφοδότησης από τον υδροστρόβιλο.

Η δυνάμενη να απορροφηθεί, από την αφαλάτωση, ενέργεια θα είναι:

$$DPAE(i) = DP$$

Ενώ η περίσσεια ενέργειας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άντληση, $DDE(i)$:

$$DDE(i) = THEP(i) - DAE(i)$$

- Χαμηλότερη παραγωγή ενέργειας από τις δυνατότητες απορρόφησης της αφαλάτωσης

Αν $THEP(i) < DP$, τότε η ωριαία παραγωγή ενέργειας (Α/Γ και Φ/Β) δεν είναι σε θέση να τροφοδοτήσει την αφαλάτωση για όλη την ώρα. Δεν υπάρχει, λοιπόν, η δυνατότητα η αφαλάτωση να παράγει τη μέγιστη ποσότητα νερού που επιτρέπουν τα χαρακτηριστικά της, ενώ δεν υπάρχει, σε αυτήν την περίπτωση, ενέργεια για άντληση. Αντίθετα με την προηγούμενη περίπτωση, η αφαλάτωση μπορεί να τροφοδοτηθεί από τον υδροστρόβιλο προκειμένου να ικανοποιήσει πιθανές επιπλέον ανάγκες. Έτσι, αντίστοιχα, έχουμε:

$$DPAE(i) = THEP(i)$$

$$DDE(i) = 0$$

Με τον παραπάνω περιορισμό, η διαδικασία συνεχίζεται, έχοντας εξασφαλίσει ότι η υπολογιζόμενη παραγωγή νερού δεν υπερβαίνει τις συγκεκριμένες δυνατότητες της αφαλάτωσης.

Ανάλυση περιπτώσεων λειτουργίας ανάλογα με την ύπαρξη, ελλείμματος ή πλεονάσματος ενέργειας

Μετά τον υπολογισμό της ενέργειας που μπορεί να απορροφήσει η αφαλάτωση $DAE(i)$, λαμβάνουμε υπ' όψη, τις ωριαίες ενεργειακές ανάγκες $HTEN(i)$, όπως υπολογίστηκαν στην προηγούμενη υποενότητα, και διακρίνουμε τις εξής γενικές περιπτώσεις (αναλύοντας, συγχρόνως, τις επί μέρους υποπεριπτώσεις):

1) Πλεόνασμα ενέργειας

Αν $DPAE(i) > HTEN(i)$, τότε οι ωριαίες ενεργειακές ανάγκες ικανοποιούνται πλήρως από την παραγόμενη ενέργεια των Α/Γ και των Φ/Β, παράγεται η απαιτούμενη ποσότητα πόσιμου νερού, και τροφοδοτείται άμεσα η περιοχή με νερό. Συγχρόνως, παρουσιάζεται μια περίσσεια ενέργειας

που μπορεί να αξιοποιηθεί, πρωτίστως, παράγοντας επιπλέον ποσότητα νερού, η οποία θα αποθηκευτεί στην δεξαμενή, για μελλοντική περίπτωση όπου δεν θα επαρκεί η παραγωγή ενέργειας. Επίσης, αν ο βαθμός πληρώσεως της δεξαμενής δεν επιτρέπει την πλήρη εκμετάλλευση της περίσσειας ενέργειας από την αφαλάτωση, τότε το υπόλοιπο της ενέργειας χρησιμοποιείται για άντληση, εφόσον υπάρχει χώρος στον άνω ταμιευτήρα. Διαφορετικά, απορρίπτεται.

a) *Εξυπηρέτηση άμεσων αναγκών και πλήρωση δεξαμενής πόσιμου νερού*

Αναλυτικά, η περίσσεια ενέργειας που παρουσιάζεται, $ES(i)$, ορίζεται ως η διαφορά παραγωγής και αναγκών:

$$ES(i) = DPAE(i) - HTEN(i)$$

Αν θεωρήσουμε ότι ο βαθμός πληρώσεως της δεξαμενής δίνει τη δυνατότητα να αποθηκευτεί (σε υδάτινη μορφή) μέρος ή το σύνολο της περίσσειας ενέργειας, τότε η συνολική απορροφούμενη ενέργεια από την αφαλάτωση σε μία ώρα, συμβολίζοντας ως $REP(i)$ την επιπλέον ενέργεια που απορροφάται από την αφαλάτωση για την παραγωγή νερού προς αποθήκευση στη δεξαμενή, θα είναι:

$$TDA(i) = HTEN(i) + REP(i)$$

Να σημειώσουμε, ότι σε περίπτωση που η δεξαμενή είναι γεμάτη, η αφαλάτωση τροφοδοτείται μόνο για τις άμεσες ωριαίες ανάγκες της περιοχής, αφού περαιτέρω παραγωγή πόσιμου νερού θα μείνει αναξιοποίητη. Αντίστοιχα με παραπάνω θα έχουμε,

$$TDA(i) = HTEN(i) \qquad REP(i) = 0$$

Σε κάθε περίπτωση όμως, η τροφοδοσία της αφαλάτωσης γίνεται αποκλειστικά από τις Α/Γ και τα Φ/Β. Συνεπώς, η κατανάλωση ενέργειας των Α/Γ και των Φ/Β από την αφαλάτωση, $DAE(i)$, θα είναι ίση με την συνολική $TDA(i)$:

$$DAE(i) = TDA(i)$$

Αν, λοιπόν, δεν γίνεται εκμεταλλεύσιμη πλήρως η περίσσεια ενέργειας $ES(i)$, παραμένει ένα υπόλοιπο ενέργειας $RRE(i)$, συμπεριλαμβανομένης της ενέργειας $DDE(i)$ που δεν μπορεί να αξιοποιηθεί από την αφαλάτωση, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άντληση:

$$RRE(i) = DDE(i) + DPAE(i) - DAE(i)$$

b) *Αντληση*

Βέβαια, δεν είναι δυνατό σε κάθε χρονικό βήμα, η ενέργεια $RRE(i)$ να αποθηκεύεται στο σύνολο της με τη μορφή δυναμικής ενέργειας στον άνω ταμιευτήρα. Οι περιορισμοί που υφίστανται είναι η εγκατεστημένη αντλητική ισχύς καθώς και η χωρητικότητα του άνω ταμιευτήρα. Να σημειώσουμε ότι στην ανάλυση μας δεν λαμβάνεται υπ' όψη η χωρητικότητα του κάτω ταμιευτήρα, αφού έχει θεωρηθεί ότι οι δυο ταμιευτήρες είναι όμοιοι.

Εξετάζοντας αρχικά τον περιορισμό λόγω της αντλητικής ισχύος, έχουμε τις εξής περιπτώσεις:

- Αν $RRE(i) > PP$, οι αντλίες μπορούν να λειτουργήσουν σε πλήρες φορτίο για όλη την ώρα, αλλά δεν αξιοποιούν πλήρως την διαθέσιμη ενέργεια για άντληση. Συμβολίζοντας με $PAE(i)$, την δυνατή αξιοποιήσιμη από τις αντλίες ενέργεια, και με $PRE(i)$, την απορριπτόμενη ενέργεια, λόγω της αντλητικής ισχύος, έχουμε:

$$PAE(i) = PP$$

$$PRE(i) = RRE(i) - PAE(i)$$

- Αν $RRE(i) < PP$, οι αντλίες είναι σε θέση να απορροφήσουν, από πλευράς εγκατεστημένης ισχύος, το σύνολο της διαθέσιμης ενέργειας, λειτουργώντας για ένα μέρος της ώρας. Αντίστοιχα, έχουμε:

$$PAE(i) = RRE(i)$$

$$PRE(i) = 0$$

Λαμβάνοντας υπ' όψη τον βαθμό πληρώσεως του άνω ταμιευτήρα, θα μπορέσουμε να καταλήξουμε στην πραγματική καταναλισκόμενη ενέργεια από τις αντλίες, $PEC(i)$. Ανάλογα με την πλήρωση του ταμιευτήρα, η διαθέσιμη ενέργεια, $PAE(i)$, είτε αξιοποιείται από τις αντλίες, $PEC(i)$, είτε απορρίπτεται από το σύστημα, $FRE(i)$

$$PAE(i) = PEC(i) + FRE(i)$$

Έτσι, αν μπορεί το σύνολο της δυνατής παροχής από τις αντλίες να διοχετευτεί στον άνω ταμιευτήρα, αξιοποιείται όλη η περίσσεια ενέργειας, και η τελικώς απορριπτόμενη ενέργεια από το σύστημα $RE(i)$ είναι μηδέν.

$$PEC(i) = PAE(i)$$

$$FRE(i) = 0$$

Αντίθετα, αν ο ταμιευτήρας είναι γεμάτος οι αντλίες τίθενται εκτός λειτουργίας και όλη η ενέργεια απορρίπτεται:

$$PEC(i) = 0$$

$$FRE(i) = PAE(i)$$

Τέλος, σε περίπτωση που ένα μέρος της δυνατής παροχής των αντλιών μπορεί να αποθηκευτεί στον άνω ταμιευτήρα, η διαθέσιμη ενέργεια κατά ένα ποσοστό αξιοποιείται για άντληση, ενώ η

υπόλοιπη απορρίπτεται. Η αναλογία των μεγεθών αυτών εξαρτάται, σε κάθε χρονικό βήμα προσομοίωσης, από τη διαθέσιμη ενέργεια αλλά και από την στάθμη του ταμιευτήρα.

Σε κάθε περίπτωση όμως, ο όγκος του νερού που διοχετεύεται στον άνω ταμιευτήρα, $QP(i)$ σε m^3/h , από τις αντλίες θα δίνεται από τη σχέση:

$$QP(i) = \frac{PEC(i) * PE}{9.81 * HP} * 3600$$

ενώ η συνολικά απορριπτόμενη ενέργεια από το σύστημα $RE(i)$, θα είναι το άθροισμα της απορριπτόμενης ενέργειας λόγω εγκατεστημένης αντλητικής ισχύος $PRE(i)$ αλλά και της ενέργειας που δεν αξιοποιείται λόγω πληρότητας του άνω ταμιευτήρα $FRE(i)$, και θα δίνεται από τη σχέση:

$$RE(i) = PRE(i) + FRE(i)$$

2) Έλλειμμα ενέργειας

Αν $DPAE(i) < HTEN(i)$, οι ανάγκες της περιοχής δεν μπορούν να ικανοποιηθούν πλήρως από την ενέργεια που παράγουν οι Α/Γ και τα Φ/Β και την οποία μπορεί να εκμεταλλευτεί η αφαλάτωση. Έτσι, ερευνάται αν ο όγκος του νερού που είναι αποθηκευμένος στη δεξαμενή επαρκεί για την κάλυψη των εναπομεινάντων αναγκών. Αν και μετά την αξιοποίηση της δεξαμενής του πόσιμου νερού παρατηρούνται ανικανοποίητες ανάγκες, και αν η αφαλάτωση δεν έχει παράγει τη μέγιστη δυνατή ποσότητα νερού, στο ίδιο χρονικό βήμα, τίθεται σε λειτουργία ο υδροστρόβιλος. Βέβαια, η αφαλάτωση θα τροφοδοτηθεί από τον υδροστρόβιλο μόνο στην περίπτωση που ο άνω ταμιευτήρας δεν είναι άδειος. Ακόμα, λαμβάνουμε υπ' όψη την περίπτωση που οι δυνατότητες της αφαλάτωσης έχουν εξαντληθεί και δεν είναι σε θέση να παράγει περισσότερο νερό. Τότε, οι ανάγκες που μένουν δεν ικανοποιούνται, αλλά υπάρχει ενέργεια που έχει απορριφθεί αρχικά λόγω της ισχύος της αφαλάτωσης. Η ενέργεια, αυτή, χρησιμοποιείται για άντληση.

a) *Εν μέρει κάλυψη αναγκών από Α/Γ - Φ/Β, αξιοποίηση δεξαμενής αποθήκευσης πόσιμου νερού*

Αναφερόμενοι εκτενέστερα στη συγκεκριμένη περίπτωση, παρατηρείται έλλειμμα στην παραγωγή ενέργειας από Α/Γ και Φ/Β, το οποίο ορίζεται ως η διαφορά της ωριαίας απορροφούμενης ενέργειας από την αφαλάτωση $DAE(i)$, η οποία ισούται σε αυτή την περίπτωση με τη δυνάμενη $DPAE(i)$, και των προβλεπόμενων αναγκών $HTEN(i)$ και δίνεται από τη σχέση:

$$EPD(i) = HTEN(i) - DAE(i) \quad \mu\epsilon \quad DAE(i) = DPAE(i)$$

Το ενεργειακό έλλειμμα $EPD(i)$, καλείται να καλυφθεί αρχικά από την δεξαμενή αποθήκευσης πόσιμου νερού. Θα μπορούσε να αναρωτηθεί κανείς, πως γίνεται να υπάρχει αντιστάθμιση ενέργειας μέσω ενός, ουσιαστικά, αποθηκευτικού μέσου, της δεξαμενής πόσιμου νερού και όχι μιας μηχανής. Θεωρείται, λοιπόν, ότι η αναρρόφηση μιας ποσότητας νερού από την δεξαμενή ισοδυναμεί με αντίστοιχη παραγωγή νερού από την αφαλάτωση, καταναλώνοντας μια ποσότητα ενέργειας $REG(i)$. Έτσι, γενικά, για τις ανικανοποίητες ανάγκες $FEN(i)$ μετά την εκμετάλλευση της δεξαμενής, τις οποίες καλείται να καλύψει ο υδροστρόβιλος, ισχύει η ακόλουθη σχέση:

$$FEN(i) = EPD(i) - REG(i)$$

Αν ο αποθηκευμένος όγκος νερού στη δεξαμενή επαρκεί για την κάλυψη του ελλείμματος τότε:

$$REG(i) = EPD(i) \quad \text{και} \quad FEN(i) = 0$$

Ενώ, αν η δεξαμενή είναι άδεια, οι ανάγκες δεν μπορούν να ικανοποιηθούν από τη δεξαμενή και η μόνη επιλογή πλέον είναι η λειτουργία του υδροστροβίλου, αν βεβαίως είναι εφικτή. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε, αντίστοιχα:

$$REG(i) = 0 \quad \quad FEN(i) = EPD(i)$$

Σε αυτό το σημείο διερευνάται αν, στο συγκεκριμένο χρονικό βήμα, οι δυνατότητες παραγωγής νερού της αφαλάτωσης έχουν εξαντληθεί ή όχι, όπως αναλύθηκε στην αρχή της υποενότητας. Σε περίπτωση που δεν υπάρχει περιθώριο περαιτέρω παραγωγής νερού, η μόνη λειτουργία που μπορεί να επιτελέσει το σύστημα είναι η διοχέτευση της μη αξιοποιήσιμης ενέργειας, $DDE(i)$, από την αφαλάτωση, στην αντλητική εγκατάσταση, με παράλληλη όμως μη ικανοποίηση του συνόλου των ωριαίων αναγκών. Αντίθετα, αν υπάρχουν ακόμα περιθώρια για παραγωγή νερού από την αφαλάτωση, ελέγχεται αν επιτρέπει η στάθμη του άνω ταμιευτήρα να ικανοποιηθούν πλήρως ή τουλάχιστον σ' ένα βαθμό οι απομείναντες ανάγκες, $FEN(i)$, με την τροφοδότηση της αφαλάτωσης από τον υδροστρόβιλο. Οι δύο αυτές συνθήκες θα αναλυθούν παρακάτω.

b) Αντληση

Στην πρώτη περίπτωση, όπου η παραγωγή ενέργειας υπερβαίνει τις δυνατότητες απορρόφησης της αφαλάτωσης, ένα μέρος της ενέργειας θα απορριπτόταν αν δεν υπήρχε η δυνατότητα άντλησης. Η άντληση έχει ως στόχο να αποθηκεύει μια ποσότητα ενέργειας υπό την μορφή δυναμικής ενέργειας προκειμένου να αξιοποιηθεί σε περίπτωση ελλείμματος ενέργειας.

Αρχικά να τονίσουμε ότι, υπό αυτές τις συνθήκες, δεν μπορούν να ικανοποιηθούν οι εναπομένουσες ανάγκες, $FEN(i)$, λόγω του ότι η αφαλάτωση έχει παράγει, στο συγκεκριμένο χρονικό βήμα, τη μέγιστη δυνατή ποσότητα πόσιμου νερού. Τελικώς, οι ανάγκες που μένουν ανικανοποίητες, $EN(i)$, είναι:

$$EN(i) = FEN(i)$$

ενώ η τροφοδοσία της αφαλάτωσης γίνεται αποκλειστικά από τις Α/Γ και τα Φ/Β και στην περίπτωση αυτή η απορροφούμενη ενέργεια από την αφαλάτωση θα είναι ίση με την ονομαστική ισχύ της:

$$TDA(i) = DAE(i) = DP$$

Σχετικά, με την εκμετάλλευση της μη αξιοποιήσιμης ενέργειας $DDE(i)$, από την αντλητική εγκατάσταση, εφαρμόζεται η ίδια λογική που ακολουθήθηκε στην περίπτωση πλεονάσματος ενέργειας. Για την ομοιομορφία των συμβολισμών, στην περίπτωση αυτή η διαθέσιμη ενέργεια για άντληση $RRE(i)$ θα είναι:

$$RRE(i) = DDE(i)$$

Σε αυτό το σημείο, εξετάζουμε τους δύο περιορισμούς που υπάρχουν για την εκμετάλλευση της διαθέσιμης αυτής ενέργειας από την αντλητική εγκατάσταση. Επειδή, η διαδικασία που ακολουθείται είναι ακριβώς ίδια με αυτήν που αναλύθηκε στην περίπτωση πλεονάσματος ενέργειας, δεν κρίθηκε σκόπιμο να επαναληφθεί και σε αυτήν την περίπτωση. Γίνεται, λοιπόν, παραπομπή στο τμήμα 1b. Οι συμβολισμοί που χρησιμοποιούνται είναι κοινοί για τις δύο περιπτώσεις.

Ολοκληρώνοντας την ανάλυση της υποπερίπτωσης αυτής, θα ήταν ενδιαφέρον να αναφερόμασταν σε ένα αρκετά οξύμωρο γεγονός. Παρατηρούμε ότι, υπάρχει πιθανότητα να συνυπάρχουν στο τέλος του ίδιου χρονικού βήματος, τόσο ανικανοποίητες ανάγκες $EN(i)$, όσο και απορριπτόμενη ενέργεια $RE(i)$. Αυτό συμβαίνει γιατί παρουσιάζονται ανάγκες που δεν μπορούν να ικανοποιηθούν από το σύστημα, λόγω της μικρής ισχύος της μονάδας αφαλάτωσης, παρά την επαρκή παραγωγή ενέργειας από τις Α/Γ και τα Φ/Β. Συγχρόνως, όμως, η απορριπτόμενη ενέργεια από την αφαλάτωση, δεν χρησιμοποιείται για άντληση αφού το μέγεθος του ταμιευτήρα δεν το επιτρέπει. Πρωταρχικό μέλημα της διαστασιολόγησης, θα πρέπει να είναι ο ορισμός ισχύος αφαλάτωσης που θα επιτρέπει την ικανοποίηση αναγκών σε περιόδους αιχμής της ζήτησης (καλοκαίρι). Περισσότερα, περί διαστασιολόγησης και στόχων, θα δοθούν στην τελευταία υποενότητα του παρόντος κεφαλαίου.

c) Τροφοδοσία αφαλάτωσης από τον υδροστρόβιλο, κάλυψη εναπομεινάντων αναγκών και πιθανή πλήρωση της δεξαμενής

Από την άλλη, αν οι δυνατότητες της αφαλάτωσης δεν έχουν αξιοποιηθεί πλήρως και υπάρχει ικανή ποσότητα ύδατος στον άνω ταμιευτήρα, τότε μπορεί να τεθεί σε λειτουργία ο υδροστρόβιλος, προκειμένου να τροφοδοτηθεί η αφαλάτωση και να ικανοποιηθούν ανάγκες που δεν καλύφθηκαν από την παραγόμενη ενέργεια των Α/Γ και των Φ/Β. Σε αυτή την υποπερίπτωση επιχειρείται να αποδοθεί στο σύστημα η ενέργεια που είχε αποθηκευτεί, σε προηγούμενα βήματα με την άντληση ύδατος από τον κάτω στον άνω ταμιευτήρα.

Θα πρέπει σε αυτό το σημείο να δοθούν κάποιες λεπτομέρειες σχετικά με την λειτουργία του υδροστροβίλου. Όπως έχουμε προαναφέρει, η ονομαστική ισχύς του υδροστροβίλου αποτελεί παράμετρο της προσομοίωσης. Έτσι, κάθε φορά επιλέγεται μια συγκεκριμένη τιμή της ισχύος του. Λαμβάνουμε άλλη μια παραδοχή, σύμφωνα με την οποία ο υδροστροβίλος λειτουργεί σε πλήρες φορτίο για όσο μέρος του χρονικού βήματος του επιτρέπει ο βαθμός πλήρωσης του άνω ταμιευτήρα. Η διάρκεια λειτουργίας του υδροστροβίλου μέσα στο χρονικό βήμα προσομοίωσης εξαρτάται, λοιπόν, μόνο από την ποσότητα του νερού στον άνω ταμιευτήρα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, ο υδροστροβίλος να λειτουργεί για διάστημα του χρονικού βήματος, όπου οι ανάγκες που υπήρχαν έχουν ήδη καλυφθεί. Βέβαια, η ενέργεια που παράγεται σε μια τέτοια περίπτωση είτε αξιοποιείται, αν είναι εφικτό, από την αφαλάτωση για να παράγει πόσιμο νερό που θα αποθηκευτεί στην δεξαμενή, είτε απορρίπτεται. Αντιλαμβανόμαστε, λοιπόν, ότι αν η αφαλάτωση δεν μπορεί να δεχτεί την ενέργεια του υδροστροβίλου, ο υδροστροβίλος συνεχίζει να λειτουργεί, αδειάζοντας, άσκοπα, τον άνω ταμιευτήρα. Με την παραπάνω λογική λειτουργίας του υδροστροβίλου, έγινε προσπάθεια να συμπεριληφθεί στην προσομοίωση, η αδυναμία των υδροστροβίλων σε συχνές εκκινήσεις.

Αναλύοντας την συγκεκριμένη υποπερίπτωση, ελέγχεται αρχικά ο διαθέσιμος όγκος νερού στον άνω ταμιευτήρα. Αν ο ταμιευτήρας είναι άδειος ο υδροστροβίλος δεν λειτουργεί, δεν αποδίδεται ενέργεια στην αφαλάτωση και οι απομείναντες ανάγκες, $FEN(i)$, δεν ικανοποιούνται. Έτσι, έχουμε:

$$TEP(i) = 0 \quad EN(i) = FEN(i)$$

Σε περίπτωση που ο ταμιευτήρας δεν είναι άδειος, αλλά δίνει το δικαίωμα στον υδροστροβίλο να λειτουργήσει για μέρος της ώρας, η ενέργεια, $TEP(i)$, που διατίθεται στο σύστημα είναι ανάλογη του αποθηκευμένου όγκου νερού.

Αν η ποσότητα του νερού στον άνω ταμιευτήρα επαρκεί για να λειτουργήσει ο υδροστροβίλος σε ολόκληρο το χρονικό βήμα, τότε η ενέργεια που παρέχεται στο σύστημα, $TEP(i)$, είναι ίση με την ονομαστική ισχύ του TP :

$$TEP(i) = TP$$

Σε κάθε περίπτωση, αν ο υδροστροβίλος παράγει ενέργεια $TEP(i)$, τότε η παροχή υδροστροβίλου, $QT(i)$ σε m^3/h , θα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$QT(i) = \frac{TEP(i)}{9.81 * HT * TE} * 3600$$

Στη συνέχεια, συγκρίνουμε την παραγόμενη ενέργεια από τον υδροστροβίλο, $TEP(i)$, με τις ανάγκες που καλείται ο υδροστροβίλος να καλύψει, $FEN(i)$, καθώς και με την ενέργεια που είναι σε θέση να δεχτεί η αφαλάτωση ακόμα, $RDE(i)$, η οποία ορίζεται ως:

$$RDE(i) = DP - DAE(i) = DP - THEP(i)$$

δηλαδή η διαφορά της ονομαστικής ισχύος της αφαλάτωσης με την, μέχρι στιγμής, απορροφούμενη ενέργεια, που προήλθε από τις Α/Γ και τα Φ/Β.

Διακρίνουμε, λοιπόν, τις εξής περιπτώσεις:

i) Αν $TEP(i) > RDE(i) > FEN(i)$, η αφαλάτωση τροφοδοτείται από τον υδροστρόβιλο και ικανοποιεί πλήρως τις ανάγκες που εμφανίζονται. Μάλιστα, σε περίπτωση που η δεξαμενή αποθήκευσης πόσιμου νερού, δεν είναι γεμάτη, η αφαλάτωση έχει τη δυνατότητα να συνεχίσει την λειτουργία της και να παράγει νερό που θα διοχετευθεί στην δεξαμενή για μελλοντική χρήση. Υποθέτοντας ότι η καταναλισκόμενη ενέργεια για την παραγωγή επιπλέον ποσότητας νερού συμβολίζεται ως $ESTP(i)$, τότε η απορροφούμενη ενέργεια υδροστροβίλου από την αφαλάτωση, $FDAE(i)$, θα είναι σύμφωνη με τις παρακάτω σχέσεις:

$$FDAE(i) = ESTP(i) + FEN(i) \quad \text{και} \quad FDAE(i) \leq RDE(i)$$

Έτσι, η συνολική απορροφούμενη ενέργεια από την αφαλάτωση στο συγκεκριμένο βήμα θα είναι το άθροισμα της προσδιδόμενης ενέργειας από τις Α/Γ και τα Φ/Β, και από τον υδροστρόβιλο (η ακόλουθη σχέση ισχύει και για όλες τις επόμενες περιπτώσεις):

$$TDA(i) = DAE(i) + FDAE(i)$$

Ακόμα, ένα μέρος της παραγόμενης ενέργειας από τον υδροστρόβιλο μένει ανεκμετάλλευτο και απορρίπτεται (η ακόλουθη σχέση ισχύει και για επόμενες περιπτώσεις όπου απορρίπτεται ενέργεια):

$$RE(i) = TEP(i) - FDAE(i)$$

Σε περίπτωση που η δεξαμενή είναι γεμάτη, η αφαλάτωση σταματάει να λειτουργεί, δεν παράγει επιπλέον ποσότητα νερού. Βέβαια, ισχύουν οι παραπάνω σχέσεις, θέτοντας $EAP(i) = 0$.

ii) Αν $TEP(i) > FEN(i) > RDE(i)$, παρά την επαρκή παραγωγή ενέργειας από τον υδροστρόβιλο, οι ανάγκες δεν μπορούν να ικανοποιηθούν πλήρως λόγω των όχι αρκετά μεγάλων περιθωρίων παραγωγής της αφαλάτωσης. Έτσι, η ενέργεια του υδροστροβίλου που απορροφά η αφαλάτωση και εξαντλεί τις δυνατότητες της είναι:

$$FDAE(i) = RDE(i)$$

Στη συγκεκριμένη κατάσταση εμφανίζονται όχι μόνο ανικανοποίητες ανάγκες αλλά και απορριπτόμενη ενέργεια. Για την απορριπτόμενη ενέργεια, $RE(i)$, εφαρμόζεται η σχέση που δόθηκε στην προηγούμενη περίπτωση. Σχετικά με τις ανικανοποίητες ανάγκες, προκύπτει

εύκολα από τον τύπο (ισχύει και για επόμενες περιπτώσεις όπου εμφανίζονται ανικανοποίητες ανάγκες):

$$EN(i) = FEN(i) - FDAE(i)$$

iii) Αν $FEN(i) > TEP(i) > RDE(i)$, οι ανάγκες δεν ικανοποιούνται πλήρως, τόσο λόγω μη ικανής παραγωγής ενέργειας από τον υδροστρόβιλο, όσο και λόγω των μικρών περιθωρίων παραγωγής νερού από την αφαλάτωση.

Η απορροφούμενη ενέργεια υδροστρόβιλου από την αφαλάτωση θα είναι ίση με το υπόλοιπο απορρόφησης της αφαλάτωσης:

$$FDAE(i) = RDE(i)$$

Και σε αυτή την περίπτωση έχουμε ενέργεια, $RE(i)$, που απορρίπτεται και ανάγκες, $EN(i)$, που δεν καλύπτονται.

iv) Αν $FEN(i) > RDE(i) > TEP(i)$, οι ανάγκες δεν ικανοποιούνται στο σύνολο τους. Η παραγωγή ενέργειας από τον υδροστρόβιλο δεν επαρκεί, ενώ δεν εξαντλούνται οι δυνατότητες της αφαλάτωσης στο συγκεκριμένο χρονικό βήμα.

Η ενέργεια που παράγεται από τον υδροστρόβιλο διατίθεται όλη στην μονάδα αφαλάτωσης:

$$FDAE(i) = TEP(i)$$

Για άλλη μια περίπτωση εμφανίζονται ανικανοποίητες ανάγκες, $EN(i)$.

v) Αν $RDE(i) > FEN(i) > TEP(i)$, έχουμε ανάγκες που δεν μπορούν να καλυφθούν για το λόγο ότι δεν επαρκεί η ενεργειακή παραγωγή του υδροστρόβιλου.

Η υδροστρόβιλος τροφοδοτεί την αφαλάτωση χωρίς απόρριψη ενέργειας, με την απορροφούμενη ενέργεια να είναι:

$$FDAE(i) = TEP(i)$$

Ενώ η συνθήκη αυτή χαρακτηρίζεται από ανάγκες, $EN(i)$, που δεν καλύπτονται.

vi) Αν $RDE(i) > TEP(i) > FEN(i)$, καλύπτονται πλήρως οι ανάγκες, ενώ υπάρχει η δυνατότητα περαιτέρω τροφοδότησης της αφαλάτωσης για παραγωγή νερού προς αποθήκευση στη δεξαμενή.

Αν η δεξαμενή δεν είναι γεμάτη, μπορεί να αποθηκευθεί ποσότητα νερού. Έτσι, αντίστοιχα με ανάλογη περίπτωση, η προσδιδόμενη ενέργεια στην αφαλάτωση θα είναι:

$$FDAE(i) = FEN(i) + ESTP(i) \quad \mu\epsilon \quad ESTP(i) \leq TEP(i) - FEN(i)$$

Μάλιστα, αν $EAP(i) < TEP(i) - FEN(i)$, ποσότητα ενέργειας υδροστροβίλου απορρίπτεται:

$$RE(i) = TEP(i) - FDAE(i)$$

Τέλος, αν η δεξαμενή είναι γεμάτη η αφαλάτωση δεν παράγει περισσότερο νερό. Έτσι, οι παραπάνω σχέσεις εφαρμόζονται θέτοντας $EAP(i) = 0$.

Κλείνοντας την υποενότητα αυτή, όπου αναλύθηκε η φιλοσοφία λειτουργίας του συστήματος, θα πρέπει να επισημανθεί μια αρκετά σημαντική παρατήρηση. Εφαρμόζοντας την συγκεκριμένη φιλοσοφία, δεν επιτρέπουμε, όπως έγινε αντιληπτό και από την ανάλυση, την ταυτόχρονη λειτουργία των αντλιών και του υδροστροβίλου στο ίδιο χρονικό βήμα. Κάτι τέτοιο μας δίνει τη δυνατότητα να πούμε ότι το σύστημα αντλησιοταμείωσης μπορεί να λειτουργήσει με μονή σωλήνωση, χωρίς να υπάρχουν αλλαγές στη λογική. Αυτή η σχεδίαση μας οδηγεί σε μείωση του κόστους επένδυσης του συστήματος. Σε αυτό το σημείο, λοιπόν, δικαιολογούμε την επιλογή μας να λάβουμε υπ' όψη στα οικονομικά στοιχεία εισόδου, κόστος επένδυσης για μονή σωλήνωση.

5.3.5 Αποτελέσματα – Δείκτες αξιολόγησης

Εκτός των ωριαίων ενεργειακών μεγεθών που ορίστηκαν στις προηγούμενες υποενότητες και η παρουσίαση τους θα δώσει μια εικόνα για την μεταβολή τους κατά τη διάρκεια ενός έτους, στην συγκεκριμένη υποενότητα ορίζονται μεγέθη που προκύπτουν από τα ωριαία ενεργειακά μεγέθη στο τέλος των επαναλήψεων, και χρησιμοποιούνται για την τεχνοοικονομική αξιολόγηση του συστήματος.

5.3.5.1 Τεχνικά μεγέθη

Στο σημείο αυτό θα δοθούν οι ορισμοί χαρακτηριστικών για την απόδοση του συστήματος μεγεθών. Παρακάτω, έγινε διαχωρισμός των μεγεθών αυτών σε αθροιστικά και δείκτες αξιολόγησης. Τα αποτελέσματα των αθροιστικών μεγεθών αποτελούν τη βάση για τον υπολογισμό των δεικτών αξιολόγησης, οι οποίοι είναι ενδεικτικοί, της αποδοτικότητας του όλου συστήματος αλλά και της λειτουργίας των υποσυστημάτων, για ένα συγκεκριμένο συνδυασμό τιμών των παραμέτρων του συστήματος.

Αθροιστικά μεγέθη

1) Ετήσιες ενεργειακές ανάγκες:

$$AEN = \sum_{i=1}^{8760} HTEN(i)$$

2) Ετήσια παραγωγή ενέργειας από Α/Γ:

$$WEP = \sum_{i=1}^{8760} HWTEP(i)$$

3) Ετήσια παραγωγή ενέργειας από Φ/Β:

$$SEP = \sum_{i=1}^{8760} HSEP(i)$$

4) Ετήσια παραγωγή ενέργειας από Α/Γ και Φ/Β:

$$EP = WEP + SEP$$

5) Ετήσια διατιθέμενη ενέργεια, από Α/Γ και Φ/Β, για άντληση λόγω μη αξιοποίησης της από την αφαλάτωση:

$$TDDE = \sum_{i=1}^{8760} DDE(i)$$

6) Ετήσια απορρόφηση συνολικής παραγόμενης ενέργειας από την αφαλάτωση:

$$STDA = \sum_{i=1}^{8760} TDA(i)$$

7) Ετήσια απορρόφηση παραγόμενης ενέργειας υδροστροβίλου από την αφαλάτωση:

$$SFDAE = \sum_{i=1}^{8760} FDAE(i)$$

8) Ετήσια απορρόφηση παραγόμενης ενέργειας Α/Γ και Φ/Β από την αφαλάτωση:

$$SDAE = STDA - SFDAE$$

9) *Ετήσιες ανάγκες που καλείται να καλύψει ο υδροστρόβιλος:*

$$TEN = \sum_{i=1}^{8760} FEN(i)$$

10) *Ετήσια απορρόφηση ενέργειας A/Γ και Φ/B από τις αντλίες:*

$$PUMP = \sum_{i=1}^{8760} PEC(i)$$

11) *Ετήσια παραγωγή ενέργειας από τον υδροστρόβιλο:*

$$TURBINE = \sum_{i=1}^{8760} TEP(i)$$

12) *Ετήσια συνολική παραγωγή ενέργειας:*

$$YEP = EP + TURBINE$$

13) *Ετήσια απορριπτόμενη, από το σύστημα, ενέργεια:*

$$CRE = \sum_{i=1}^{8760} RE(i)$$

14) *Άθροισμα ωριαίων βαθμών πλήρωσης δεξαμενής:*

$$TR = \sum_{i=1}^{8760} PCRL(i)$$

15) *Άθροισμα ωριαίων βαθμών πλήρωσης άνω ταμιευτήρα:*

$$TT = \sum_{i=1}^{8760} PCTV(i)$$

16) *Ετήσιος όγκος παροχής στον άνω ταμιευτήρα :*

$$SQP = \sum_{i=1}^{8760} QP(i)$$

17) Ετήσια απορριπτόμενη ενέργεια υδροστρόβιλου:

$$DTE = \sum_{i=1}^{8760} (TEP(i) - FDAE(i))$$

18) Ετήσιες ανικανοποίητες ενεργειακές ανάγκες:

$$UN = \sum_{i=1}^{8760} EN(i)$$

19) Ετήσια παραγωγή νερού όταν η αφαλάτωση τροφοδοτείται από Α/Γ και Φ/Β:

$$SFWP = \sum_{i=1}^{8760} (SDAE(i)) (SDC)$$

20) Ετήσια παραγωγή νερού όταν η αφαλάτωση τροφοδοτείται από τον υδροστρόβιλο:

$$STWP = \sum_{i=1}^{8760} (FDAE(i)) (SDC)$$

21) Ετήσια συνολική παραγωγή νερού:

$$SWP = SFWP + STWP$$

22) Ετήσιες ανάγκες σε πόσιμο νερό:

$$TPC = \sum_{i=1}^{8760} THC(i)$$

23) Ετήσιο πλεόνασμα ενέργειας από Α/Γ και Φ/Β (η άθροιση γίνεται μόνο στην περίπτωση καθαρού πλεονάσματος παραγωγής):

$$SURE = \sum_{i=1}^{8760} (THEP(i) - HTEN(i)) \text{ μόνο αν } THEP(i) > HTEN(i)$$

24) Ώρες λειτουργίας μηχανών συστήματος κατά τη διάρκεια του έτους:

Σε κάθε χρονικό βήμα, ελέγχεται αν οι Α/Γ, τα Φ/Β, ο υδροστρόβιλος παράγουν, ή οι αντλίες καταναλώνουν, ενέργεια, και ανάλογα γίνεται αντιληπτό ότι βρίσκονται σε λειτουργία. Έτσι, τα

παρακάτω μεγέθη, στο τέλος των επαναλήψεων, μας δίνουν τις ώρες λειτουργίας της κάθε μηχανής:

Ωρες λειτουργίας Ανεμογεννητριών :	WH
Ωρες λειτουργίας Φωτοβολταϊκών :	SH
Ωρες λειτουργίας Αντλιών :	PH
Ωρες λειτουργίας Υδροστροβίλου :	TH

25) Ωρες που δεν ικανοποιείται το σύνολο των ωριαίων αναγκών σε νερό κατά τη διάρκεια του έτους:

Στο τέλος κάθε χρονικού βήματος, υπολογίζονται οι ανάγκες που δεν ικανοποιήθηκαν τελικά, $EN(i)$. Αν η τιμή του μεγέθους δεν είναι μηδενική, το χρονικό βήμα χαρακτηρίζεται ως ώρα που δεν ικανοποιήθηκαν οι ανάγκες. Έτσι στο τέλος των επαναλήψεων, ορίζεται το σύνολο αυτών των ωρών ως LD .

Δείκτες αξιολόγησης

1) Ποσοστό ικανοποίησης αναγκών σε πόσιμο νερό:

$$VD = 1 - \frac{UN}{AEN}$$

2) Ποσοστό ετήσιας συνολικής παραγόμενης ενέργειας, που τελικά απορρίπτεται:

$$UD = \frac{CRE}{EP + TURBINE}$$

3) Ποσοστό ετήσιας παραγωγής νερού λόγω ενέργειας υδροστροβίλου ως προς την συνολική παραγωγή νερού:

$$DT = \frac{STWP}{SWP}$$

4) Ποσοστό ετήσιας εκμετάλλευσης εγκατεστημένου ισχύος ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών:

$$PWU = \frac{SDAE + PUMP}{8760 * (PVN + WPN)}$$

5) Ποσοστό ετήσιας παραγόμενης ενέργειας από Α/Γ και Φ/Β, που αξιοποιείται:

$$VB = \frac{SDAE + PUMP}{EP}$$

6) Ποσοστό ετήσιων αναγκών που ικανοποιήθηκαν από τον υδροστρόβιλο (ως προς τις ανάγκες που δεν καλύφθηκαν από τις Α/Γ, τα Φ/Β, και την δεξαμενή):

$$AD = 1 - \frac{UN}{TEN}$$

7) Ποσοστό παραγόμενης ενέργειας από τον υδροστρόβιλο, που τελικά απορρίπτεται :

$$PD = \frac{DTE}{TURBINE}$$

8) Ποσοστό ετήσιου πλεονάσματος ενέργειας από Α/Γ και Φ/Β, που τελικά απορρίπτεται:

$$ED = \frac{CRE - DTE}{SURE}$$

9) Μέση επιπλέον απαιτούμενη εγκατεστημένη ισχύς:

$$EXP = \frac{UN}{LD}$$

10) Ποσοστό ετήσιας εκμετάλλευσης εγκατεστημένης ισχύος αφαλάτωσης:

$$TD = \frac{TDAE}{8760 * DP}$$

11) Ποσοστό ετήσιας εκμετάλλευσης εγκατεστημένης ισχύος υδροστροβίλου:

$$TPU = \frac{SFDAE}{8760 * TP}$$

12) Ποσοστό ετήσιας εκμετάλλευσης ανεμογεννητριών:

$$WU = \frac{WH}{8760}$$

13) Ποσοστό ετήσιας εκμετάλλευσης φωτοβολταϊκών:

$$SU = \frac{SH}{8760}$$

14) Ποσοστό ετήσιας εκμετάλλευσης αντλιών:

$$PU = \frac{PH}{8760}$$

15) Ποσοστό ετήσιας εκμετάλλευσης χωρητικότητας δεξαμενής πόσιμου νερού:

$$PUR = \frac{TR}{8760}$$

16) Ποσοστό ετήσιας εκμετάλλευσης χωρητικότητας άνω ταμιευτήρα:

$$PUT = \frac{TT}{8760}$$

17) Λόγος ετήσιου διακινούμενου όγκου νερού στον άνω ταμιευτήρα προς την χωρητικότητα του ταμιευτήρα:

$$BK = \frac{SQP}{TTC}$$

5.3.5.2 Οικονομικά μεγέθη

Η εγκατάσταση και η λειτουργία ενός συστήματος όπως το προτεινόμενο αποτελεί μια επένδυση. Δεν θα μπορούσε, λοιπόν, να μην αξιολογηθεί οικονομικά. Άλλωστε, ένα έργο δεν πρέπει μόνο να ικανοποιεί το σκοπό λειτουργίας του αλλά να είναι οικονομικά, προσοδοφόρο για τον επενδυτή και συμφέρον για τον καταναλωτή. Στην υποενότητα αυτή θα παρουσιαστούν οι δείκτες που θα χρησιμοποιηθούν για την οικονομική αξιολόγηση του.

Πριν προχωρήσουμε στην παρουσίαση των οικονομικών δεικτών, καλό θα ήταν να αναφέρουμε κάποια βασικά στοιχεία οικονομικής ανάλυσης που λήφθηκαν υπ' όψη κατά την προσομοίωση.

- Χρονική διάρκεια έργου n

Η διάρκεια ζωής των υποσυστημάτων κυμαίνεται από 15 χρόνια ως 30 χρόνια. Στο τέλος της διάρκειας ζωής του έργου αποφασίζεται είτε η ανανέωση του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού είτε η πλήρης ανακατασκευή του έργου. Στην ανάλυση μας θεωρούμε ότι η χρονική διάρκεια n του έργου είναι:

$$n = 20 \text{ έτη}$$

- Προεξοφλητικό επιτόκιο r

Το προεξοφλητικό επιτόκιο λαμβάνεται υπ' όψη στον υπολογισμό της παρούσας αξίας ενός χρηματικού ποσού, που θα δαπανηθεί ή θα εισπραχθεί στο μέλλον. Συνήθως, λαμβάνεται

υψηλότερο από το επιτόκιο δανεισμού έτσι ώστε να ληφθούν υπ' όψη διάφορες αβεβαιότητες κατά τη διάρκεια λειτουργίας ζωής του έργου. Κατά την προσομοίωση θεωρήθηκε ότι:

$$r = 10\%$$

- Πληθωρισμός e

Ως πληθωρισμός χαρακτηρίζεται το φαινόμενο αύξησης ή μείωσης των τιμών των αγαθών και των υπηρεσιών με το πέρασμα του χρόνου κατά μη ομοιόμορφο τρόπο. Η τιμή του εξαρτάται τόσο από την εθνική οικονομία όσο και από τις διεθνείς εξελίξεις, και είναι δύσκολο να προβλεφθεί σε βάθος εικοσαετίας, που είναι η διάρκεια ζωής του έργου. Στην ανάλυση μας λαμβάνουμε:

$$e = 4\%$$

- Αναγωγή σε παρούσα αξία

Λόγω των επιτοκίων, η σημερινή αξία A_0 , ενός ποσού A_n , που θα δαπανηθεί ή θα εισπραχθεί μετά από n χρόνια δίνεται από τη σχέση:

$$A_0 = \frac{A_n}{(1+r)^n}$$

Ορίζεται λοιπόν ο συντελεστής παρούσας αξίας:

$$R = \frac{1}{(1+r)^n}$$

Στον υπολογισμό του ετήσιου κόστους λειτουργίας αλλά και των ετήσιων εσόδων που θα γίνει παρακάτω, τα ποσά ανάγονται σε παρούσα αξία.

Δείκτες αξιολόγησης

1) Κόστος Παραγόμενου Νερού

Το μέγεθος αυτό προκύπτει ως ο λόγος των συνολικών ετήσιων δαπανών προς τον όγκο του πόσιμου νερού που αναμένεται να παραχθεί σε ένα έτος, SWP (m^3). Ως ετήσιες δαπάνες λαμβάνεται το άθροισμα των λειτουργικών δαπανών, $HYBRIDMAINT$, και της ετήσιας απόσβεσης A . Η ετήσια σταθερή απόσβεση προκύπτει από την απαίτηση το συνολικό κόστος επένδυσης, $HYBRIDCOST$, να είναι ίσο προς την παρούσα αξία των χρηματικών ποσών A , κατά τη διάρκεια ζωής της επένδυσης, δηλαδή:

$$HYBRIDCOST = \sum_{i=1}^n \frac{A}{(1+r)^i} = A \frac{1 - (1+r)^{-n}}{r} \quad \Rightarrow \quad A = \frac{HYBRIDCOST * r}{1 - (1+r)^{-n}}$$

Έτσι, το κόστος παραγόμενου νερού προκύπτει από τη σχέση:

$$WPC = \frac{A + HYBRIDMAINT}{SWP} \quad \text{σε } \text{€/m}^3$$

Το αποτέλεσμα του συγκεκριμένου δείκτη θα αποτελέσει συγκρίσιμο μέγεθος με την υπάρχουσα κατάσταση στην περιοχή. Η επένδυση θα κριθεί συμφέρουσα και ελκυστική, κατ' αρχήν, αν το ειδικό αυτό κόστος είναι χαμηλότερο του αντίστοιχου της, μέχρι σήμερα, τροφοδοσίας της περιοχής με πόσιμο νερό, η οποία γίνεται με υδροφόρες.

2) Κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί ένα συχνά υπολογιζόμενο μέγεθος για μελέτες συστημάτων ΑΠΕ. Βέβαια, στην συγκεκριμένη διπλωματική, ο συνδυασμός των ΑΠΕ έχει ως στόχο μόνο την κάλυψη των αναγκών μιας μονάδας αφαλάτωσης και όχι την προσφορά ηλεκτρικής ενέργειας σε μια περιοχή. Για λόγους πληρότητας, ορίζουμε το μέγεθος κατά όμοιο τρόπο με το προηγούμενο μέγεθος, ως τον λόγο των ετήσιων συνολικών δαπανών, προς τη συνολική παραγόμενη ενέργεια (Α/Γ,Φ/Β, υδροστρόβιλος):

$$EPC = \frac{A + HYBRIDMAINT}{EP + TURBINE} \quad \text{σε } \text{€/kWh}$$

3) Λόγος εσόδων προς έξοδα BCR

Ο λόγος εσόδων προς τα έξοδα εκφράζει το πηλίκο του αθροίσματος B_0 των εσόδων καθ' όλη τη διαχειριστική περίοδο n ετών, προς το άθροισμα των εξόδων C_0 (και τα δύο μεγέθη ανάγονται σε παρούσα αξία):

$$BCR = \frac{B_0}{C_0} = \frac{\sum_{j=0}^n \frac{B_j}{(1+r)^j}}{C_0 + \sum_{j=1}^n \frac{C_j}{(1+r)^j}}$$

Όπου B_j , τα ετήσια έσοδα κατά το έτος j μετά την έναρξη της επένδυσης. Ως ετήσια έσοδα του έργου έχουμε τα έσοδα από την πώληση του παραγόμενου πόσιμου νερού. Έτσι, αν WSP , η τιμή πώλησης του νερού στην περιοχή, τότε τα ετήσια έσοδα του πρώτου χρόνου υπολογίζονται από τη σχέση:

$$B_0 = HYBRIDINC = WSP * SWP$$

ενώ για τα επόμενα χρόνια, θεωρούμε την παραγωγή σταθερή και συμπεριλαμβάνουμε στην τιμή πώλησης τον πληθωρισμό. Συνεπώς, για κάθε χρόνο έχουμε:

$$B_j = B_{j-1} * e$$

Αντίστοιχα, τα ετήσια έξοδα C_j , αποτελούν τα κόστος συντήρησης και λειτουργίας, *HYBRIDMAINT*, που ορίστηκε σε προηγούμενη υποενότητα, ενώ περιλαμβάνουμε και το κόστος επένδυσης του έργου κατά την έναρξη λειτουργίας του. Λαμβάνοντας υπ' όψη και την τιμή του πληθωρισμού, έχουμε:

$$C_0 = \text{HYBRIDCOST} \quad C_1 = \text{HYBRIDCOST} * e \quad C_j = C_{j-1} * e$$

Για να είναι οικονομικά βιώσιμη η επένδυση θα πρέπει ο λόγος *BCR* να είναι μεγαλύτερος της μονάδας, δηλαδή να προκύπτουν μεγαλύτερα τα έσοδα από τα έξοδα. Το αποτέλεσμα του θα πρέπει να κρίνεται ανάλογα με το ύψος των εξόδων, και η καθαρή τιμή του δεν είναι ενδεικτική των καθαρών οφελών (Παπαντώνης, 2007). Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιούμε τον δείκτη *NPV*, που θα οριστεί παρακάτω.

4) Καθαρή παρούσα αξία *NPV*

Η καθαρή παρούσα αξία της επένδυσης εκφράζεται από την διαφορά της παρούσας αξίας του αθροίσματος των εσόδων μείον την παρούσα αξία του αθροίσματος των εξόδων. Χρησιμοποιώντας μεγέθη που ορίστηκαν στον προηγούμενο δείκτη, η καθαρή παρούσα αξία της επένδυσης υπολογίζεται από τη σχέση (Παπαντώνης, 2007):

$$NPV = B_0 - C_0 = \left[\sum_{j=0}^n \frac{B_j}{(1+r)^j} \right] - \left[C_0 + \sum_{j=1}^n \frac{C_j}{(1+r)^j} \right]$$

Για να είναι η επένδυση οικονομικά βιώσιμη θα πρέπει η τιμή της καθαρής παρούσας αξίας να είναι θετική. Ο δείκτης χρησιμεύει για κατάταξη διαφόρων εναλλακτικών λύσεων κατά σειρά οικονομικής βιωσιμότητας, με πιο αποδοτικό να είναι αυτό με την υψηλότερη τιμή καθαρής παρούσας αξίας.

5) Εσωτερικός συντελεστής απόδοσης *IRR*

Ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης *IRR*, είναι το υπολογιζόμενο επιτόκιο με το οποίο η καθαρή παρούσα αξία μηδενίζεται, δηλαδή η παρούσα αξία των εξόδων ισούται με αυτή των εσόδων:

$$NPV = 0 \quad \Rightarrow \quad \left[\sum_{j=0}^n \frac{B_j}{(1+IRR)^j} \right] = \left[C_0 + \sum_{j=1}^n \frac{C_j}{(1+IRR)^j} \right]$$

Από τη σύγκριση της τιμής του *IRR*, με το επίσημο επιτόκιο της αγοράς *r*, συμπεραίνεται η αποδοτικότητα (αν ο *IRR* είναι μεγαλύτερος) ή μη του σχεδίου επένδυσης (αν ο *IRR* είναι μικρότερος). Ο υπολογισμός του γίνεται με δοκιμές. Σε περίπτωση εναλλακτικών σχεδίων, επιλέγεται το σχέδιο που εμφανίζει τον υψηλότερο *IRR* (Ζερβός,2007).

6) Διάρκεια αποπληρωμής

Εκφράζει το πλήθος των ετών που απαιτούνται ώστε τα αναμενόμενα καθαρά έσοδα (έσοδα μείον τα λειτουργικά έξοδα) να αποπληρώσουν το ποσό της επένδυσης. Υπολογίζεται χωρίς την αναγωγή των διαφόρων ποσών σε παρούσα αξία (Παπαντώνης, 2007). Έτσι, ορίζεται ως εξής (τα μεγέθη που χρησιμοποιούνται έχουν ορισθεί προηγουμένως):

$$T = \frac{HYBRIDINVEST}{B_0 - HYBRIDMAINT}$$

Η διάρκεια αποπληρωμής δεν πρέπει να ξεπερνά τα 7-8 έτη για να κριθεί οικονομικά βιώσιμο. Το κριτήριο αυτό δεν μπορεί να κατατάξει βάσει οικονομικής απόδοσης, παρόμοιες επενδύσεις αφού δεν λαμβάνει υπόψη την απόδοση της επένδυσης καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του έργου.

5.3.6 Στόχοι προσομοίωσης

Η προσομοίωση του συστήματος που επιδιώκεται με την ανάπτυξη και την εκτέλεση του υπολογιστικού κώδικα, έχει ως κύριο στόχο την ανάλυση και μελέτη της συμπεριφοράς του, αλλά και την εύρεση της βέλτιστης διαστασιολόγησης για διάφορες περιπτώσεις. Μάλιστα, επιλέχθηκε χρονικό βήμα προσομοίωσης, η 1 ώρα, έτσι ώστε να είναι πιο λεπτομερής η μελέτη της μεταβολής των διαφόρων μεγεθών κατά τη διάρκεια ενός έτους. Αρκετά ενδιαφέρον είναι το πως ικανοποιούνται οι ενεργειακές ανάγκες της αφαλάτωσης και πως αλληλεπιδρούν τα διάφορα υποσυστήματα. Επίσης, η προσεκτική μελέτη των διαγραμμάτων που απεικονίζουν σημαντικά ωριαία μεγέθη θα βοηθήσει στο να αντιληφθούμε σε ποια χρονική περίοδο του έτους εμφανίζονται ανάγκες που δεν μπορούν να ικανοποιηθούν με τον συγκεκριμένο συνδυασμό τιμών παραμέτρων, να καταγραφεί η διακύμανση της πλήρωσης των δεξαμενών, αλλά και να διαπιστωθεί το πόσο συχνή είναι η χρήση του συστήματος αντλησιοταμίευσης. Περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με τα συμπεράσματα που εξάγονται από τα διαγράμματα θα δοθούν στο επόμενο κεφάλαιο, όπου θα γίνει η περιγραφή μιας απλής εκτέλεσης του κώδικα για ένα συγκεκριμένων χαρακτηριστικών σύστημα.

Ακόμα, με σκοπό την αξιολόγηση του συστήματος που χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένες τιμές παραμέτρων, επιλέχθηκε, ο κώδικας να εξάγει τα αποτελέσματα διαφόρων τεχνικών δεικτών, ενδεικτικών της λειτουργίας και της αποδοτικότητας του συγκεκριμένου συστήματος. Η ανάγνωση της τιμής των δεικτών προσφέρει μια άμεση εποπτεία για την απόδοση του όλου συστήματος, τη λειτουργία και την απόδοση των υποσυστημάτων, αλλά και τη καταλληλότητα ή μη του συγκεκριμένου συνδυασμού τιμών παραμέτρων. Όμως, όπως αναλύθηκε προηγουμένως,

ο κώδικας περιλαμβάνει και οικονομικής φύσεως ανάλυση και αξιολόγηση. Η οικονομική ανάλυση που επιλέχθηκε, αν και δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ακριβής, αφού στηρίζεται σε εμπειρικούς τύπους, εντούτοις, είναι σε θέση να δώσει μια γενικότερη άποψη για την οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης αλλά και να γίνει κατανοητό αν ένα τέτοιο έργο, με εκτενέστερη μελέτη, είναι ελκυστικό για να εφαρμοστεί ή όχι.

Εκτός των παραπάνω, σημαντικό πλεονέκτημα του κώδικα αποτελεί η δυνατότητα για παραμετρική ανάλυση του συστήματος, που μπορεί να πραγματοποιήσει. Ο κώδικας εκτελείται για διαδοχικές τιμές μιας παραμέτρου, έχοντας σταθερές τις υπόλοιπες παραμέτρους του συστήματος. Στόχος της ανάλυσης αυτής είναι η απεικόνιση της μεταβολής των κύριων τεχνοοικονομικών δεικτών αξιολόγησης συναρτήσει κάθε παραμέτρου ξεχωριστά. Η σωστή μελέτη των διαγραμμάτων της παραμετρικής ανάλυσης θα μας οδηγήσει στην εξαγωγή σημαντικών συμπερασμάτων σχετικά με την ευαισθησία της συμπεριφοράς του συστήματος σε κάθε παράμετρο σχεδιασμού και λειτουργίας του καθώς και η επίδραση κάθε παραμέτρου στο όλο σύστημα και στον εντοπισμό των περιοχών των παραμετρικών τιμών που δίνουν τις βέλτιστες τιμές για τους δείκτες αξιολόγησης.

Επίσης, χρησιμοποιώντας το γενικό λογισμικό βελτιστοποίησης «EASY», θα υπάρξει η δυνατότητα να αποφανθούμε για τον βέλτιστο συνδυασμό των παραμέτρων που δίνει την επιθυμητή τιμή για έναν ή περισσότερους τεχνοοικονομικούς δείκτες. Κάτι τέτοιο, έχει ως στόχο τη δημιουργία ορισμένων βέλτιστων συνδυασμών παραμέτρων, η καταγραφή των οποίων θα βοηθήσει στο να αντιληφθούμε αν μπορούμε να έχουμε δεκτές τιμές για διάφορους δείκτες αξιολόγησης, ταυτοχρόνως. Στη συνέχεια, μπορεί να βρεθεί ο βέλτιστος συνδυασμός για μια συγκεκριμένη περιοχή (π.χ νησί). Οι δείκτες αξιολόγησης που αφορούν τα επιμέρους συστήματα, θα δείξουν αν ήταν ορθή ή όχι, η ενσωμάτωσή τους και αν συμβάλλουν στην βελτίωση της απόδοσης του συστήματος. Τέλος, οι οικονομικοί δείκτες, θα υποδείξουν αν το σύστημα μπορεί να υπολογίζεται ως οικονομικά βιώσιμη και ελκυστική πρόταση για την συγκεκριμένη περιοχή, συγκριτικά με την επικρατούσα πρακτική (π.χ μεταφορά νερού με πλοία).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

6.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο, παρουσιάζονται τόσο τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του συστήματος για μια συγκεκριμένη διαστασιολόγηση του υβριδικού συστήματος αφαλάτωσης εγκατεστημένη σε συγκεκριμένο νησί, όσο και η ευαισθησία των διαφόρων δεικτών αξιολόγησης με στη μεταβολή της τιμής των παραμέτρων σχεδιασμού και λειτουργίας.

Σχετικά με την επιλογή των τιμών των παραμέτρων, θεωρήθηκε σκόπιμο να επιλεγεί για παρουσίαση ένας συνδυασμός, του οποίου τα αποτελέσματα, δίνουν σαφή εικόνα για την αλληλεπίδραση των υποσυστημάτων κατά τη διάρκεια ενός έτους. Άλλωστε, στόχος του συγκεκριμένου κεφαλαίου είναι ανάλυση και διερεύνηση της λειτουργίας του συστήματος. Η εύρεση του βέλτιστου σχεδιασμού θα γίνει στο 7^ο Κεφάλαιο.

Έτσι, λοιπόν, στην υποενότητα 6.2 , αφού δοθούν οι τιμές των παραμέτρων του προτεινόμενου συστήματος, παραθέτονται τα διαγράμματα στα οποία παρουσιάζεται η χρονική μεταβολή των πιο χαρακτηριστικών για τη λειτουργία του συστήματος, μεγεθών. Μάλιστα, προκειμένου να διαμορφωθεί σαφέστερη αντίληψη της λειτουργίας του συστήματος για το συγκεκριμένο συνδυασμό τιμών παραμέτρων, τα διαγράμματα που δίνονται είναι ετήσια, μηνιαία, εβδομαδιαία, και ημερήσια. Στο τέλος της υποενότητας, παρουσιάζονται οι τιμές των αθροιστικών μεγεθών καθώς και οι τιμές των τεχνοοικονομικών δεικτών αξιολόγησης (βλ. Κεφ. 5).

Ακόμα, στην τελευταία υποενότητα, πραγματοποιείται η παραμετρική ανάλυση του συστήματος. Δίνονται τα διαγράμματα που αποτυπώνουν την επίδραση της μεταβολής της κάθε παραμέτρου ξεχωριστά στους τεχνοοικονομικούς δείκτες αξιολόγησης, οι οποίοι χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά και την απόδοση του συστήματος. Ο συνδυασμός που επιλέχθηκε στην υποενότητα 6.0, αποτελεί τη βάση της παραμετρικής ανάλυσης. Κρατώντας σταθερές τις υπόλοιπες παραμέτρους, μεταβάλλουμε την τιμή της υπό μελέτη παραμέτρου, και παρακολουθούμε την μεταβολή των σημαντικότερων δεικτών αξιολόγησης.

6.2 Παρουσίαση προσομοίωσης

6.2.1 Τιμές παραμέτρων αναφοράς και δεδομένων εισόδου

Προτού αναφερθούμε στις τιμές των παραμέτρων που επιλέχθηκαν, θα πρέπει να δώσουμε κάποια στοιχεία σχετικά με τις χρονοσειρές μετεωρολογικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν, αλλά και την περιοχή για την οποία εξετάζουμε την εφαρμογή του συστήματος.

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή, έγινε χρήση χρονοσειρών ταχύτητας ανέμου, έντασης ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας, οι οποίες προέκυψαν από μετρήσεις στο νησί της Νάξου. Θεωρήθηκε ότι οι συγκεκριμένες χρονοσειρές είναι αντιπροσωπευτικές για κάθε νησί των Κυκλάδων. Έτσι, δίνεται η δυνατότητα να γίνει προσομοίωση του συστήματος για διάφορα νησιά στην περιοχή των Κυκλάδων, όπου παρατηρείται ιδιαίτερα οξυμένο το πρόβλημα της λειψυδρίας. Ασφαλώς, ο κώδικας μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για διαφορετικές περιοχές, εισάγοντας αντίστοιχες χρονοσειρές.

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να τονίσουμε ότι στην παρούσα εργασία η μελέτη ενός νησιού περιορίζεται στην χρήση κατάλληλων χρονοσειρών και στην εισαγωγή του μόνιμου πληθυσμού του. Δεν λαμβάνονται υπ' όψη, λοιπόν, διάφοροι άλλοι παράγοντες (π.χ τοπογραφία) που επηρεάζουν την απόφαση για εγκατάσταση του συστήματος ή όχι. Συνεπώς η επιλογή του υπό μελέτη, νησιού των Κυκλάδων θα βασίζεται στην τιμή του μόνιμου πληθυσμού του. Να υπενθυμίσουμε ότι, ο εποχιακός πληθυσμός ανά μήνα του έτους, εκφράζεται ως ποσοστό του μόνιμου πληθυσμού. Θεωρείται ότι η διακύμανση του εποχιακού πληθυσμού ισχύει για κάθε μεγέθους (βάσει του μόνιμου πληθυσμού) νησί.

Τα διαγράμματα και τα αποτελέσματα που θα παρουσιαστούν παρακάτω, προκύπτουν από την προσομοίωση συστήματος με τις ακόλουθες τιμές αναφοράς των παραμέτρων του πίνακα 6.1:

ΤΙΜΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ			
A/A	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΤΙΜΗ	ΜΟΝΑΔΕΣ
1	Χωρητικότητα Ταμιευτήρων (Παράμετρος-1)	30.000,00	m ³
2	Ισχύς Υδροστροβίλου (Παράμετρος-2)	220,00	kW
3	Χωρητικότητα Δεξαμενής πόσιμου νερού (Παράμετρος-3)	200,00	m ³
4	Ισχύς Αφαλάτωσης (Παράμετρος-4)	475,00	kW
5	Ισχύς Ανεμογεννητριών (Παράμετρος-5)	1.088,50	kW
6	Ισχύς Φωτοβολταϊκών (Παράμετρος-6)	86,00	kW
7	Ισχύς Αντλιών (Παράμετρος-7)	160,00	kW
8	Μόνιμος Πληθυσμός νησιού (Παράμετρος-8)	2.500	κάτοικοι
8	Τιμή πώλησης νερού (Παράμετρος-9)	2,5	€/m ³

Πίνακας 6.1 Τιμές αναφοράς παραμέτρων συστήματος

Οι τιμές των υπόλοιπων δεδομένων εισόδου παραμένουν όπως ορίστηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο και παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον πίνακα 6.2.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ (εκτός των παραμέτρων)			
A/A	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΤΙΜΗ	ΜΟΝΑΔΕΣ
1	Μέση Κατανάλωση Μόνιμου Κατοίκου (Χειμώνας)	150	l/ημέρα
2	Μέση Κατανάλωση Μόνιμου Κατοίκου (Καλοκαίρι)	250	l/ημέρα
3	Μέση Κατανάλωση Εποχιακού Κατοίκου (Χειμώνας)	200	l/ημέρα
4	Μέση Κατανάλωση Εποχιακού Κατοίκου (Καλοκαίρι)	300	l/ημέρα
5	Ειδική Κατανάλωση ενέργειας μονάδας αφαλάτωσης	3	kWh/m ³
6	Βαθμός Απόδοσης Α/Γ (επί της καμπύλης ισχύος)	0,9	-
7	Ύψος δρομέα Α/Γ	48	m
8	Ύψος αναφοράς ταχύτητας ανέμου	10	m
8	Ονομαστικός Βαθμός Απόδοσης Φ/Β	0,127	-
10	Επιφάνεια Φ/Β	1,258	m ²
11	Ποσοστό ελάχιστης πλήρωσης δεξαμενής πόσιμου	10	%
12	Ποσοστό αρχικής πλήρωσης δεξαμενής πόσιμου	10	%
13	Δυναμικό παραγωγής αφαλάτωσης (μέγεθος που προκύπτει από τιμή παραμέτρου)	158	m ³ /h
14	Ύψος άντλησης	300	m
15	Υδραυλική πτώση	300	m
16	Βαθμός απόδοσης άντλησης	0,85	-
17	Βαθμός απόδοσης παραγωγής ενέργειας από υδροστρόβιλο	0,85	-
18	Ποσοστό ελάχιστης πλήρωσης άνω ταμιευτήρα	10	%
18	Ποσοστό αρχικής πλήρωσης άνω ταμιευτήρα	10	%
20	Επιτόκιο προεξόφλησης	10	%
21	Διάρκεια ζωής έργου	20	έτη
22	Πληθωρισμός	4	%
23	Μετεωρολογικά Δεδομένα	island meteo.dat	
24	Διακύμανση εποχιακού πληθυσμού	Seasonal Population Fluctuation.dat	
25	Καμπύλη ισχύος Α/Γ	power curve wind turbine.dat	
26	Διακύμανση κατανάλωσης νερού (χειμώνας)	Water consumption fluctuation winter.dat	
27	Διακύμανση κατανάλωσης νερού (καλοκαίρι)	Water consumption fluctuation summer.dat	

Πίνακας 6.2 Τιμές λοιπών δεδομένων εισόδου

Τέλος, η τιμή του μόνιμου πληθυσμού, θα μπορούσε να πει κανείς ότι αντιστοιχεί σε ένα νησί με μέγεθος σαν την Αμοργό, όπου υπάρχει έντονο πρόβλημα λειψυδρίας, ενώ η τιμή πώλησης του νερού αποτελεί την μέγιστη επιτρεπτή τιμή που περιείχε η πρόσφατη πρόσκληση του υπουργείου για υποβολή προτάσεων για την αντιμετώπιση του προβλήματος της λειψυδρίας στα νησιά του Αιγαίου (Βλ Παράρτημα).

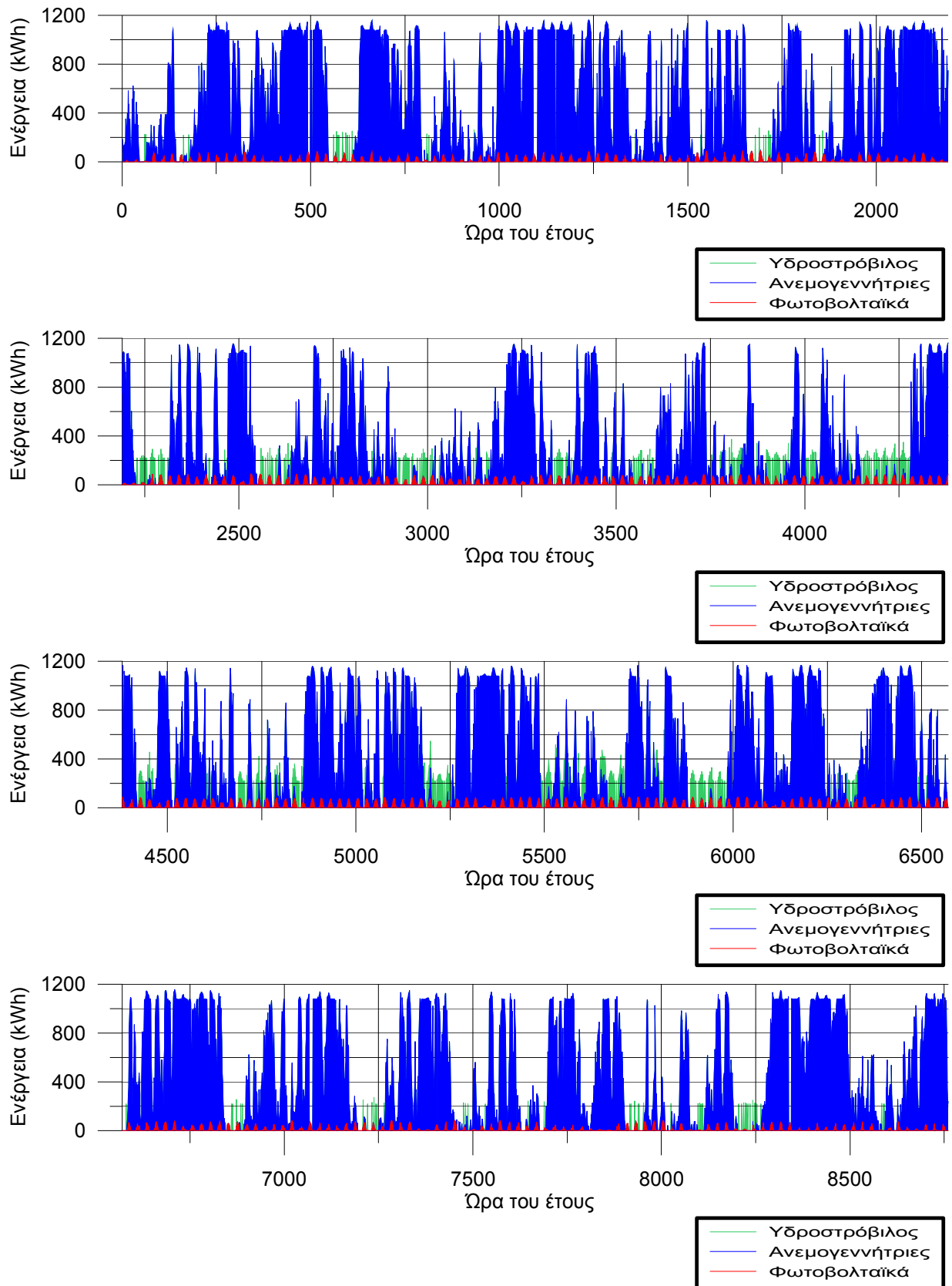
6.2.2 Διαγράμματα λειτουργίας του υβριδικού συστήματος

6.2.2.1 Ετήσια διαγράμματα λειτουργίας

Μελετώντας τα ετήσια διαγράμματα που προκύπτουν από τον συγκεκριμένο συνδυασμό παραμέτρων, προκύπτουν ορισμένα γενικά συμπεράσματα για τη λειτουργία του συστήματος:

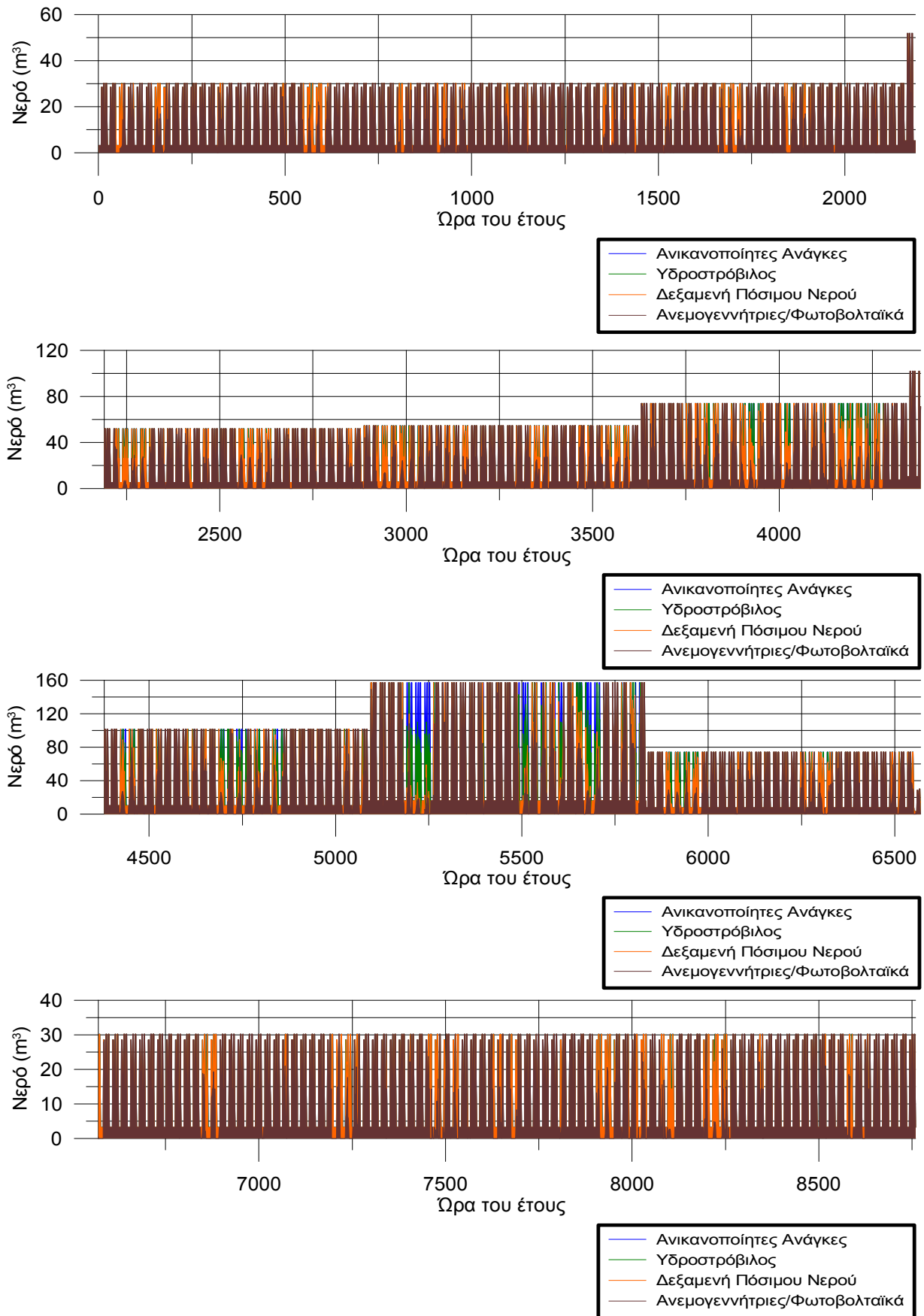
- Οι ανεμογεννήτριες (μπλε, σχήμα 6.1) αποτελούν την κύρια πηγή παραγωγή ενέργειας σε όλη τη διάρκεια του έτους με παραγωγή που φτάνει ως και πενταπλάσια από αυτή των φωτοβολταϊκών (κόκκινο, σχήμα 6.1), ενώ η λειτουργία του υδροστροβίλου (πράσινο, σχήμα 6.1) αν και εντοπίζεται κυρίως στους θερινούς μήνες όπου έχουμε αύξησης της ζήτησης, παρατηρείται και σε άλλες περιόδους του έτους με σχεδόν πάντα την 100% εκμετάλλευση της παραγόμενης ενέργειας από την αφαλάτωση (Σχήμα 6.7).
- Οι ανάγκες σε πόσιμο νερό ικανοποιούνται, ως επί το πλείστον, λόγω της τροφοδοσίας της αφαλάτωσης από τις Α/Γ και τα Φ/Β (καφέ, σχήμα 6.2) ενώ ο υδροστροβίλος λειτουργεί ως εφεδρεία (Σχήμα 6.4). Η δεξαμενή πόσιμου νερού χρησιμοποιείται κυρίως τους μήνες από Απρίλιο μέχρι Σεπτέμβριο (πορτοκαλί, σχήμα 6.2, σχήμα 6.5).
- Παρατηρούνται ορισμένες ώρες το καλοκαίρι που οι ανάγκες δεν ικανοποιούνται πλήρως (μπλε, σχήμα 6.2). Μάλιστα, είναι ορατό ότι, τις ώρες όπου η παραγωγή από Α/Γ και Φ/Β είναι αρκετά μικρή και η δεξαμενή πόσιμου νερού δεν επαρκεί, ο υδροστροβίλος (πράσινο, σχήμα 6.2), αν και τίθεται σε λειτουργία, δεν είναι σε θέση να ικανοποιήσει πλήρως τις ενεργειακές απαιτήσεις της αφαλάτωσης λόγω της μικρής ισχύος υδροστροβίλου(Σχήμα 6.2),
- Σχετικά με τη διάθεση της παραγόμενης ενέργειας, είναι χαρακτηριστικό ότι απορρίπτεται (μπλε, σχήμα 6.3) μέχρι και το 80% της παραγωγής τους χειμερινούς μήνες (Σχήμα 6.3). Η ισχύς των αντλιών (Σχήμα 6.6) καθώς και ο βαθμός πλήρωσης του άνω ταμιευτήρα (Σχήμα 6.8) επιτρέπουν μόνο κατά ένα μικρό ποσοστό την αξιοποίηση της διατιθέμενης ενέργειας.

Κεφάλαιο 6^ο – Αποτελέσματα Προσομοίωσης Λειτουργίας του Συστήματος



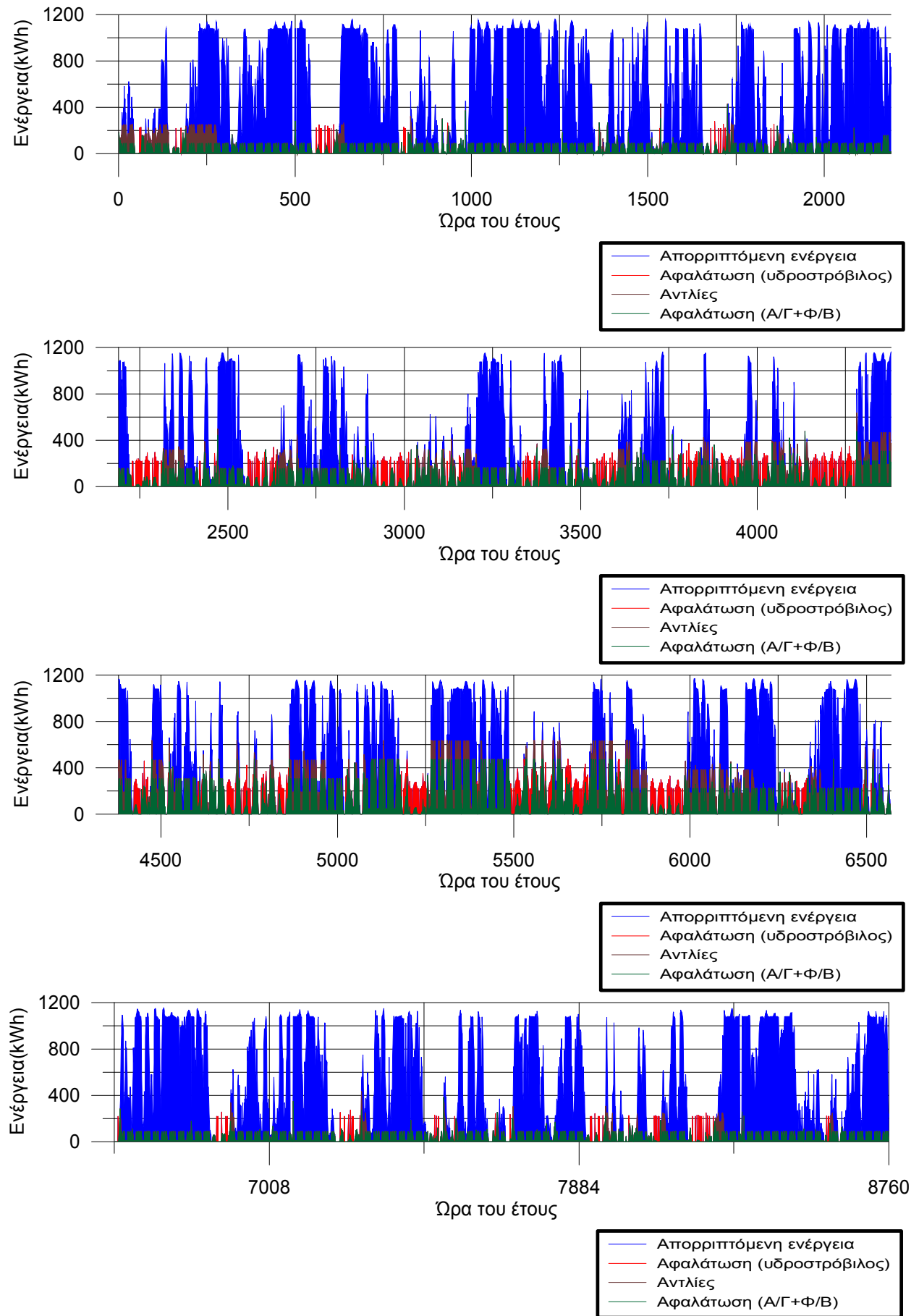
Σχήμα 6.1 Παραγόμενη ενέργεια ανάλογα με την πηγή (ετήσιο)

Κεφάλαιο 6^ο – Αποτελέσματα Προσομοίωσης Λειτουργίας του Συστήματος



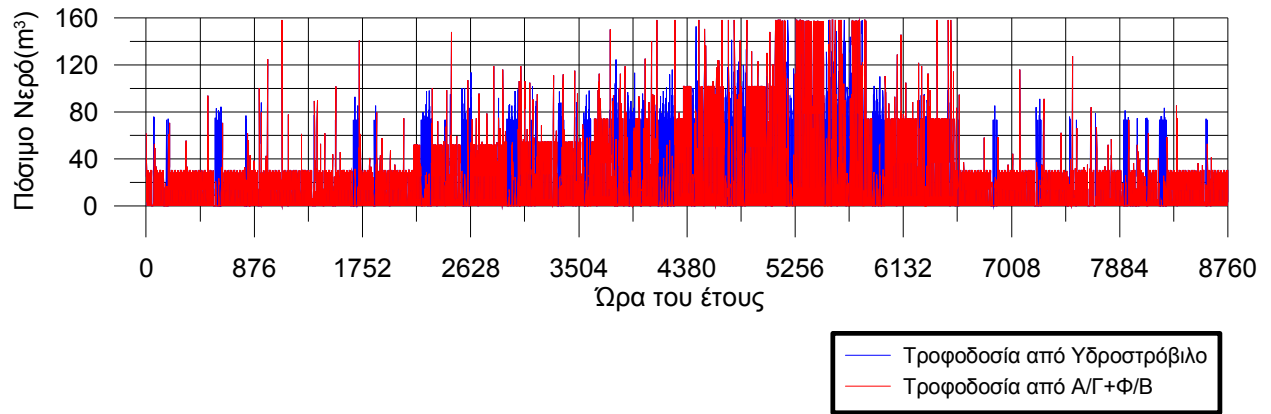
Σχήμα 6.2 Τρόπος ικανοποίησης αναγκών σε νερό(ετήσιο)

Κεφάλαιο 6^ο – Αποτελέσματα Προσομίωσης Λειτουργίας του Συστήματος

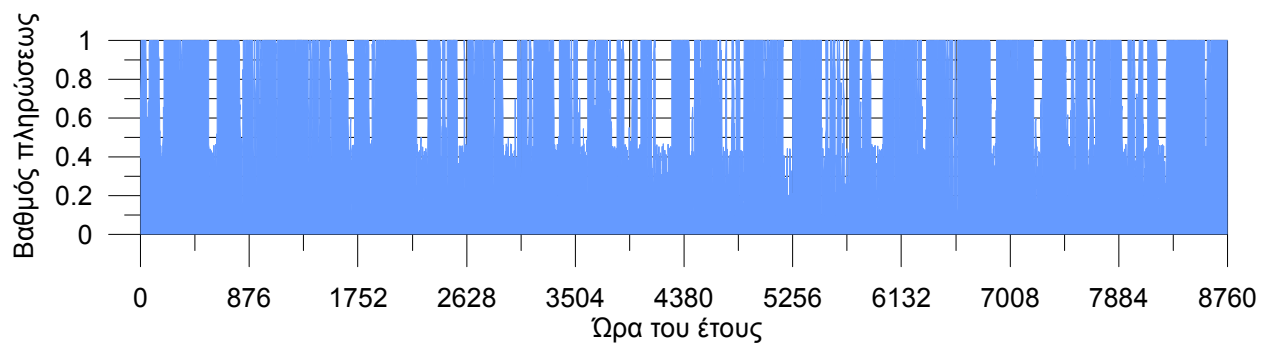


Σχήμα 6.3 Τρόπος κατανάλωσης της παραγόμενης ενέργειας (ετήσιο)

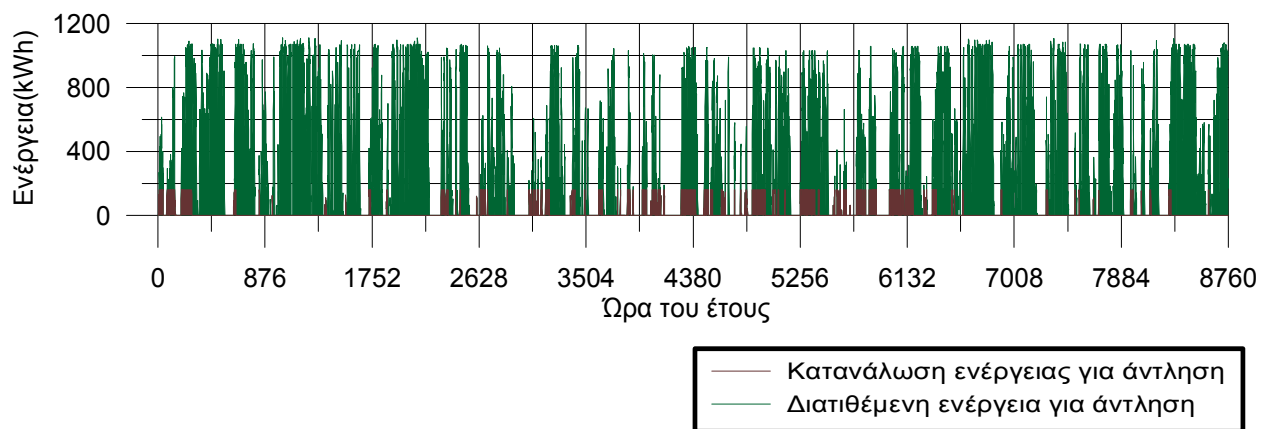
Κεφάλαιο 6^ο – Αποτελέσματα Προσομοίωσης Λειτουργίας του Συστήματος



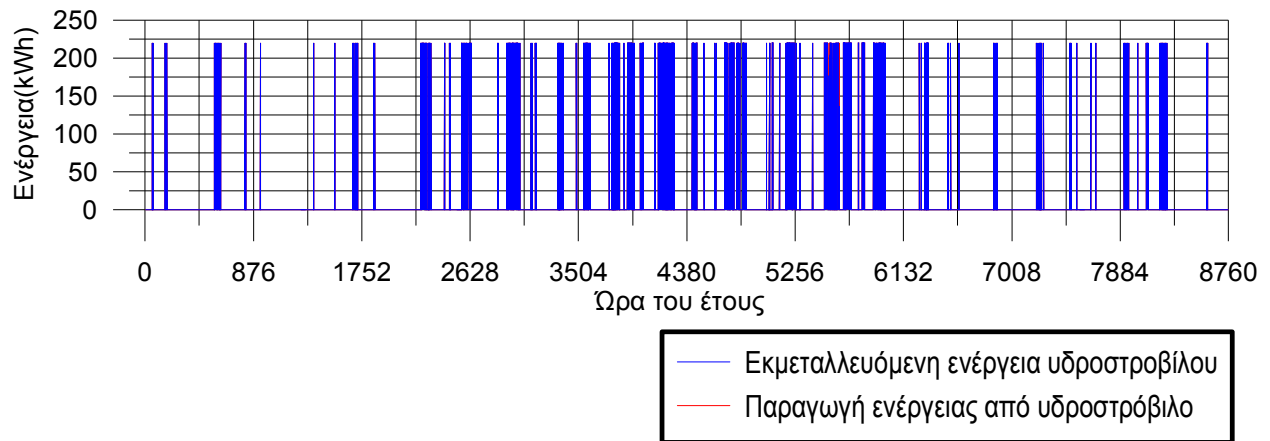
Σχήμα 6.4 Τροφοδοσία αφαλάτωσης(ετήσιο)



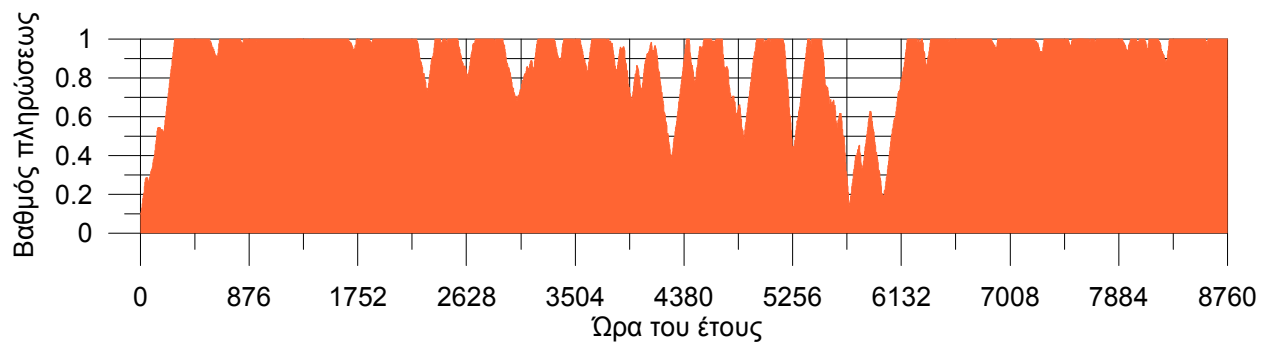
Σχήμα 6.5 Διακύμανση βαθμού πλήρωσεως δεξαμενής πόσιμου νερού (ετήσιο)



Σχήμα 6.6 Διατιθέμενη και καταναλισκόμενη ενέργεια για άντληση (ετήσιο)



Σχήμα 6.7 Παραγόμενη & εκμεταλλεζόμενη από την αφαλάτωση ενέργεια υδροτροβίλου (ετήσιο)



Σχήμα 6.8 Διακύμανση βαθμού πλήρωσεως άνω ταμιευτήρα (ετήσιο)

6.2.2.2 Μηνιαία διαγράμματα λειτουργίας

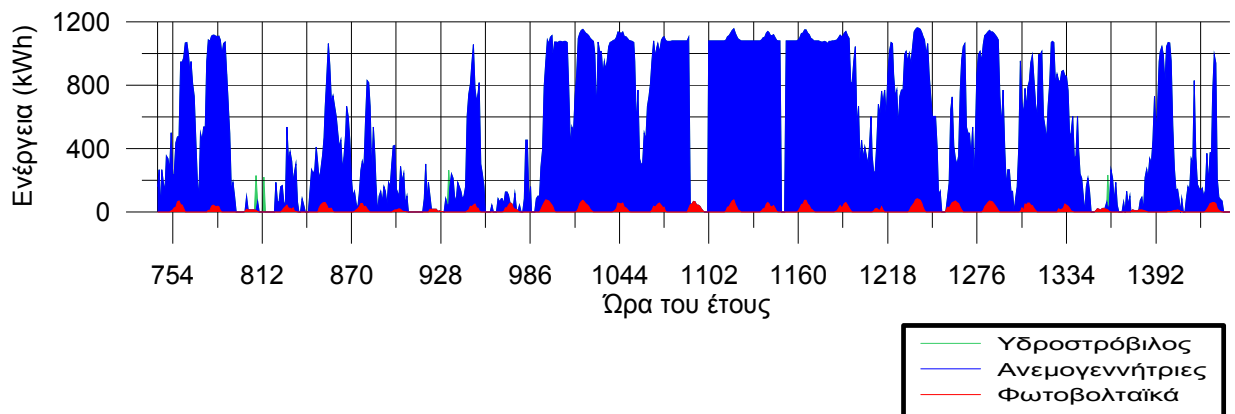
Επιλέχθηκαν δύο μήνες του έτους, ένας με τις ελάχιστες (Φεβρουάριος) και ένας με τις μέγιστες (Αύγουστος) ανάγκες σε νερό κατά τη διάρκεια του έτους, οι οποίοι είναι αρκετά ενδεικτικοί για τη λειτουργία των υποσυστημάτων. Πριν από τα διαγράμματα κάθε μήνα διατυπώνονται κάποια σχετικά σχόλια.

Φεβρουάριος (Μέγιστες ωριαίες ανάγκες σε νερό: 30 m^3)

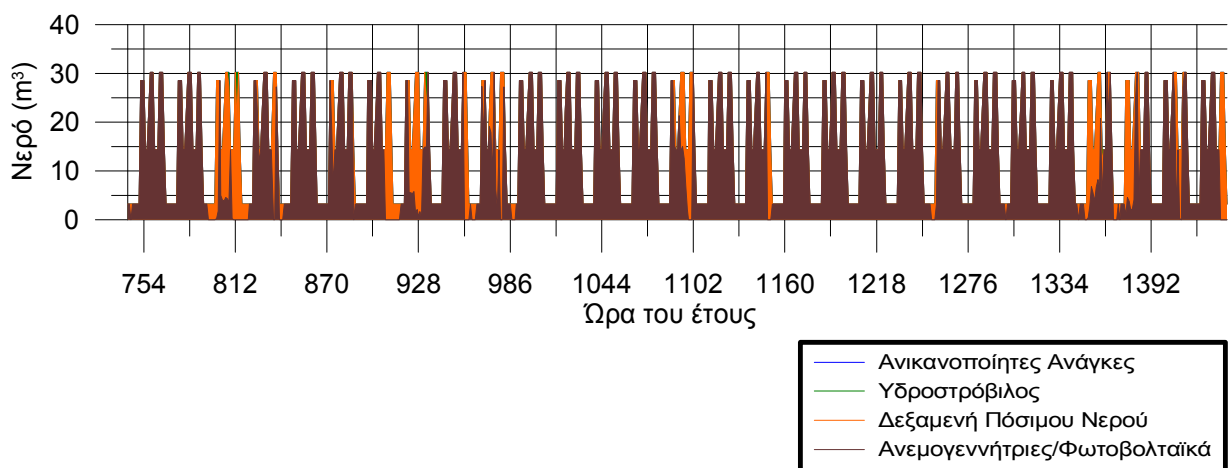
- Η παραγόμενη ενέργεια, που προέρχεται κυρίως από τις Α/Γ (Σχήμα 6.9), τροφοδοτεί την αφαλάτωση κατά το μεγαλύτερο μέρος του μήνα (Σχήμα 6.12). Λόγω αυξημένης παραγωγής ενέργειας και της μικρής σχετικά ενεργειακής απαίτησης από την αφαλάτωση του μήνα αυτού, μεγάλες ποσότητες ενέργειας διατίθενται για άντληση (Σχήμα 6.14). Παρ' όλα αυτά οι αντλίες δεν αξιοποιούν το σύνολο της διατιθέμενης ενέργειας, αφού το μεγαλύτερο διάστημα του μήνα ο άνω ταμιευτήρας είναι γεμάτος

(Σχήμα 6.16). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να γίνεται υψηλή απόρριψη της παραγόμενης ενέργειας (Σχήμα 6.11).

- Ο υδροστρόβιλος λειτουργεί ελάχιστες ώρες (Σχήμα 6.15), αφού η δεξαμενή πόσιμου νερού συμπληρώνει κατά μεγάλο ποσοστό τα όποια ενεργειακά ελλείμματα (Σχήμα 6.10).
- Ο βαθμός πλήρωσης της δεξαμενής πόσιμου νερού (Σχήμα 6.13) μεταβάλλεται ιδιαίτερα στις αρχές του μήνα όπου δεν επαρκεί η παραγωγή ενέργειας από Φ/Β και Α/Γ.
- Οι προβλεπόμενες ανάγκες σε νερό ικανοποιούνται πλήρως τον συγκεκριμένο μήνα (Σχήμα 6.11).

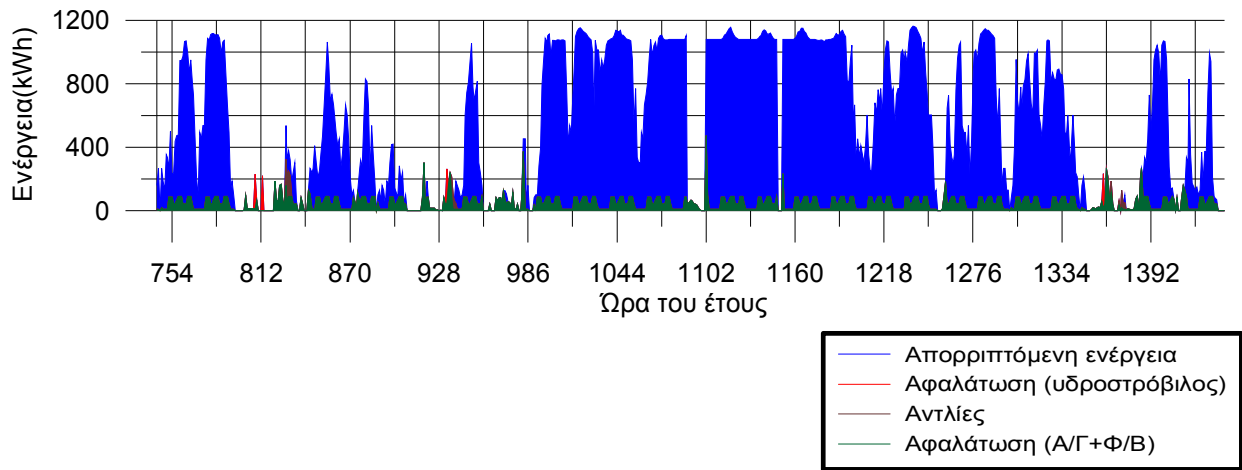


Σχήμα 6.9 Παραγόμενη ενέργεια ανάλογα με την πηγή (Φεβρουάριος)

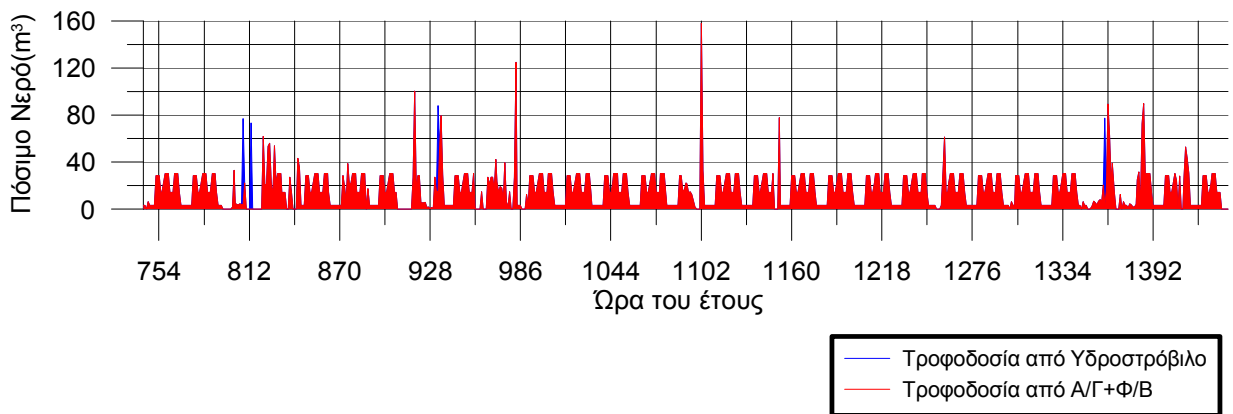


Σχήμα 6.10 Τρόπος ικανοποίησης αναγκών σε νερό (Φεβρουάριος)

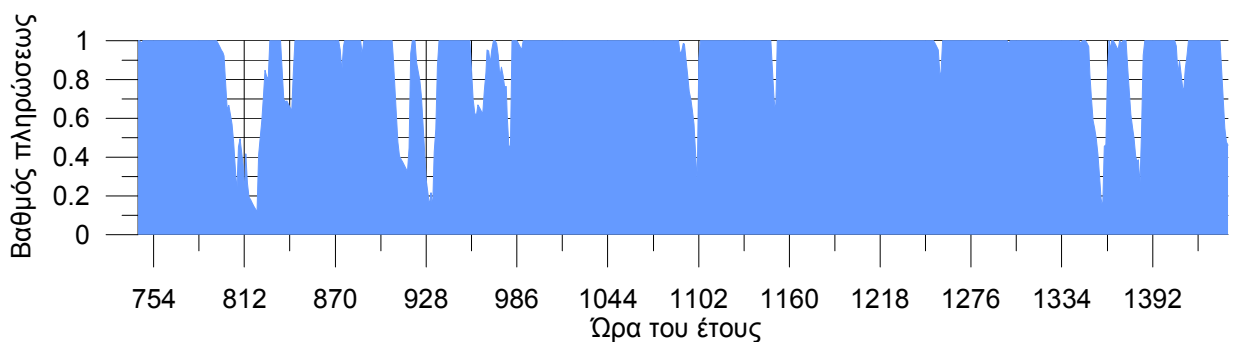
Κεφάλαιο 6^ο – Αποτελέσματα Προσομοίωσης Λειτουργίας του Συστήματος



Σχήμα 6.11 Τρόπος κατανάλωσης της παραγόμενης ενέργειας (Φεβρουάριος)

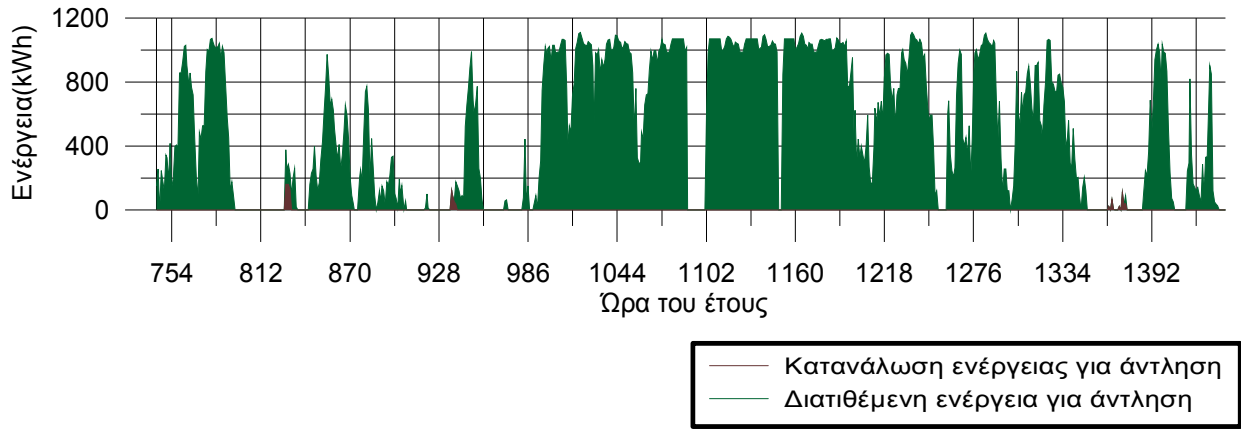


Σχήμα 6.12 Τροφοδοσία αφαλάτωσης (Φεβρουάριος)



Σχήμα 6.13 Διακύμανση βαθμού πληρώσεως δεξαμενής πόσιμου νερού (Φεβρουάριος)

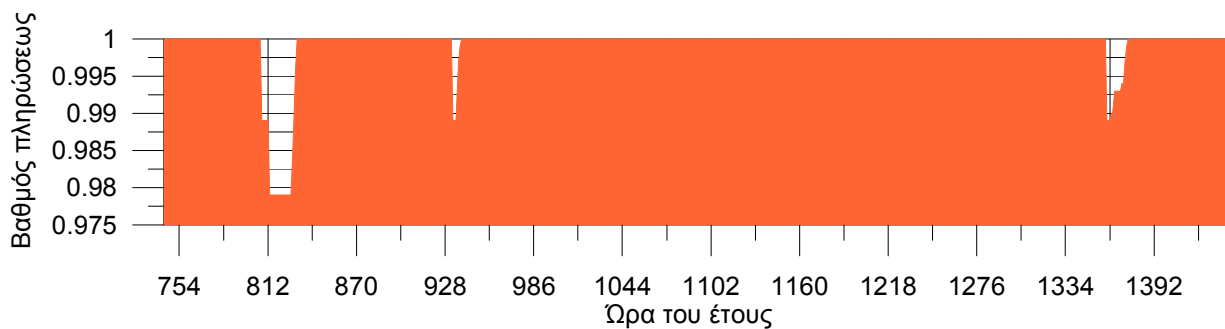
Κεφάλαιο 6^ο – Αποτελέσματα Προσομοίωσης Λειτουργίας του Συστήματος



Σχήμα 6.14 Διατιθέμενη και καταναλισκόμενη ενέργεια για άντληση (Φεβρουάριος)



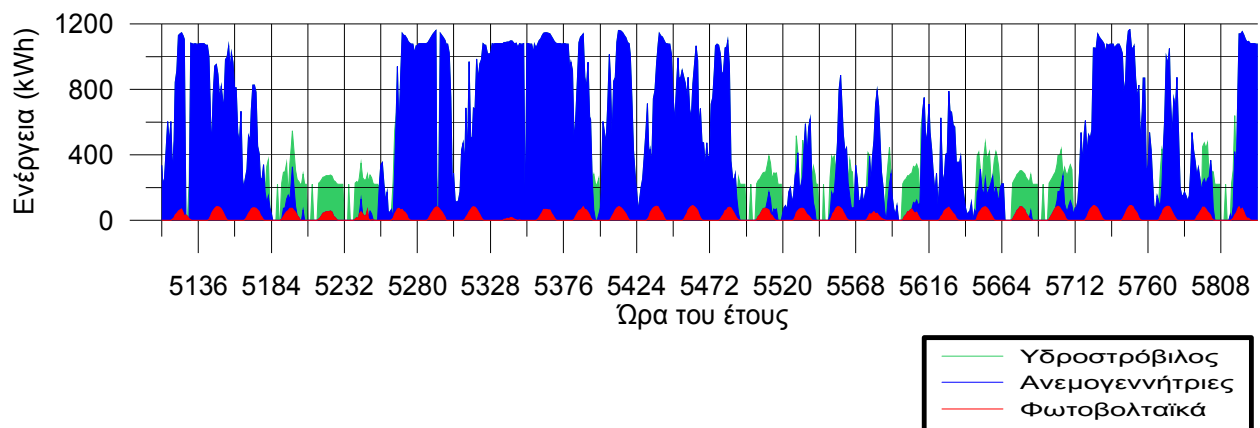
Σχήμα 6.15 Παραγόμενη & εκμεταλλεούμενη από την αφαλάτωση ενέργεια υδροστροβίλου (Φεβρουάριος)



Σχήμα 6.16 Διακύμανση βαθμού πληρώσεως άνω ταμιευτήρα (Φεβρουάριος)

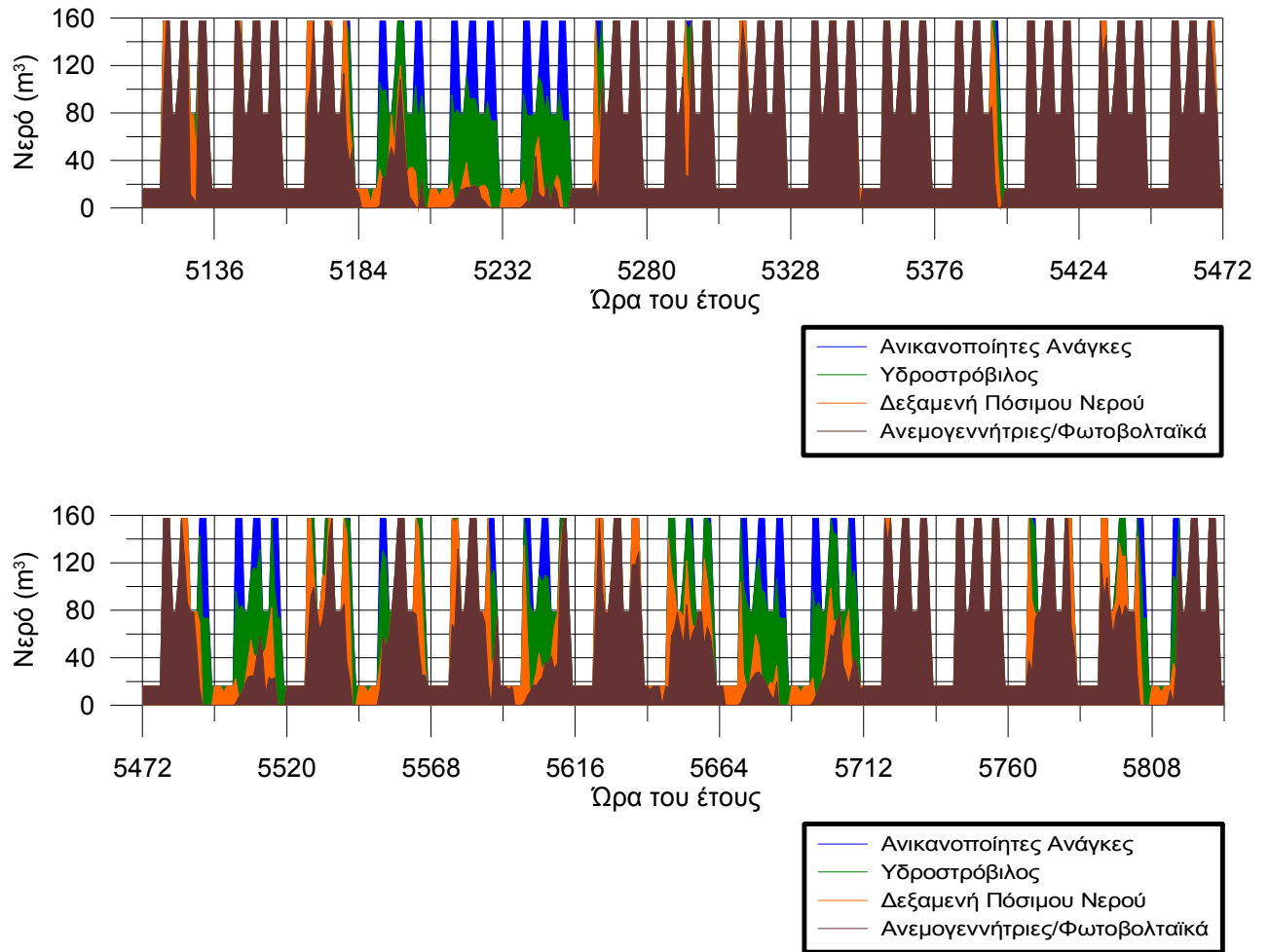
Αύγουστος (Μέγιστες ωριαίες ανάγκες σε νερό: 158 m³)

- Οι Α/Γ εμφανίζουν υψηλές τιμές παραγωγής ενέργειας αλλά όχι όλες τις ώρες του μήνα (Σχήμα 6.17). Όταν έχουμε υψηλή παραγωγή ενέργειας από Α/Γ και Φ/Β, παρατηρείται περίσσεια ενέργειας που διατίθεται για άντληση (Σχήμα 6.22), αλλά δεν αξιοποιείται πλήρως από τις αντλίες και απορρίπτεται (Σχήμα 6.19) .
- Οι ανάγκες σε νερό είναι οι μέγιστες για όλο το έτος με αποτέλεσμα να μην ικανοποιούνται πλήρως (Σχήμα 6.18). Αυτό συμβαίνει επειδή η δεξαμενή πόσιμου νερού σε αρκετά σημεία φθάνει στην ελάχιστη επιτρεπτή στάθμη (Σχήμα 6.21) και η ισχύς του υδροστρόβιλου δεν επαρκεί, όταν επικρατεί άπνοια (απουσία παραγωγής από Α/Γ). Σε αυτές τις ώρες οι ανάγκες θα μπορούσαν να ικανοποιηθούν πλήρως αν η ισχύς του υδροστρόβιλου ήταν μεγαλύτερη.
- Ο υδροστρόβιλος τίθεται σε λειτουργία αρκετές ώρες του μήνα (Σχήμα 6.23) και συμβάλλει στην τροφοδοσία της αφαλάτωσης (Σχήμα 6.20). Έτσι, ο βαθμός πληρώσεως του άνω ταμιευτήρα μετά τα μέσα του μήνα αρχίζει και μειώνεται, μέχρι που φτάνει στα ελάχιστα επιτρεπτά (Σχήμα 6.24)

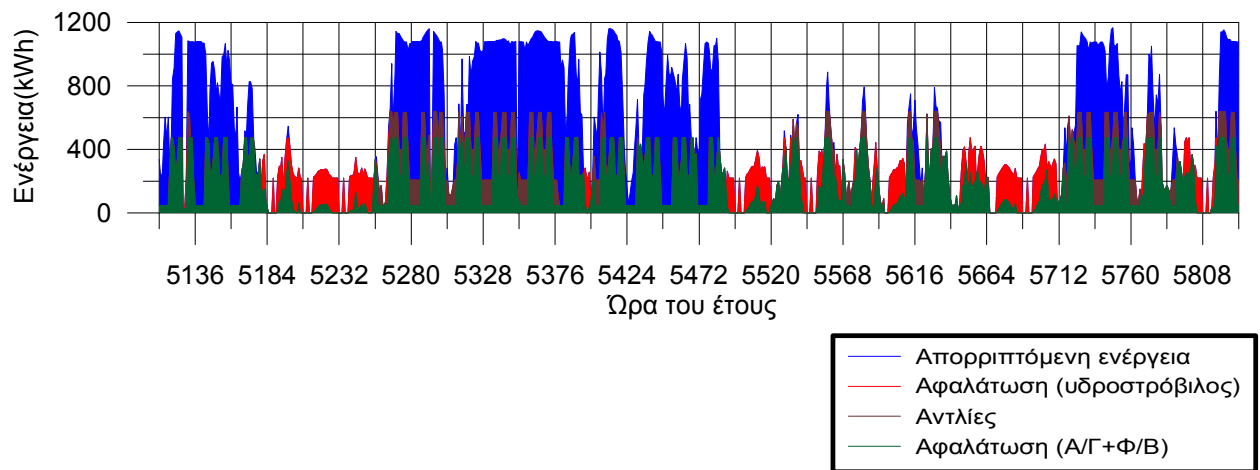


Σχήμα 6.17 Παραγόμενη ενέργεια ανάλογα με την πηγή (Αύγουστος)

Κεφάλαιο 6^ο – Αποτελέσματα Προσομοίωσης Λειτουργίας του Συστήματος

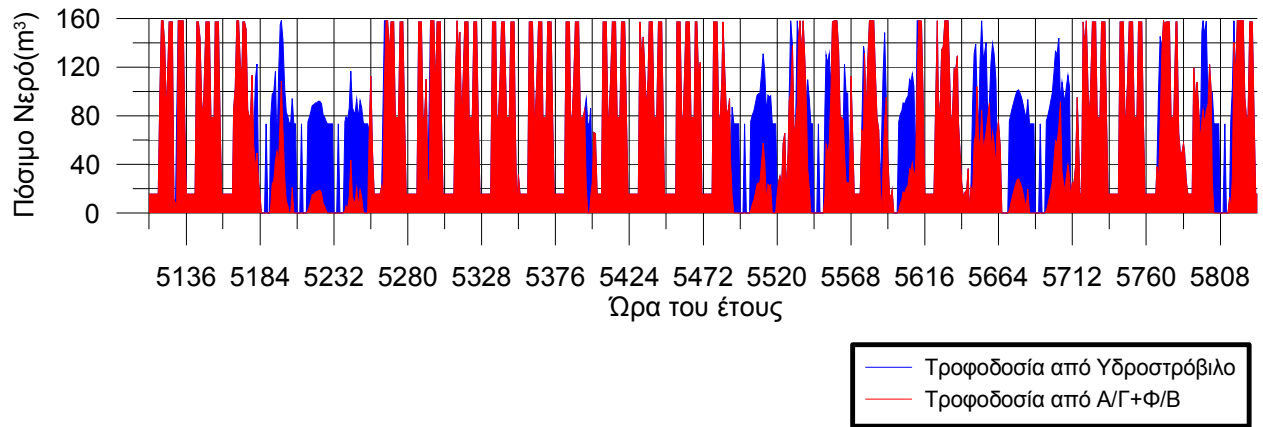


Σχήμα 6.18 Τρόπος ικανοποίησης αναγκών σε νερό (Αύγουστος)

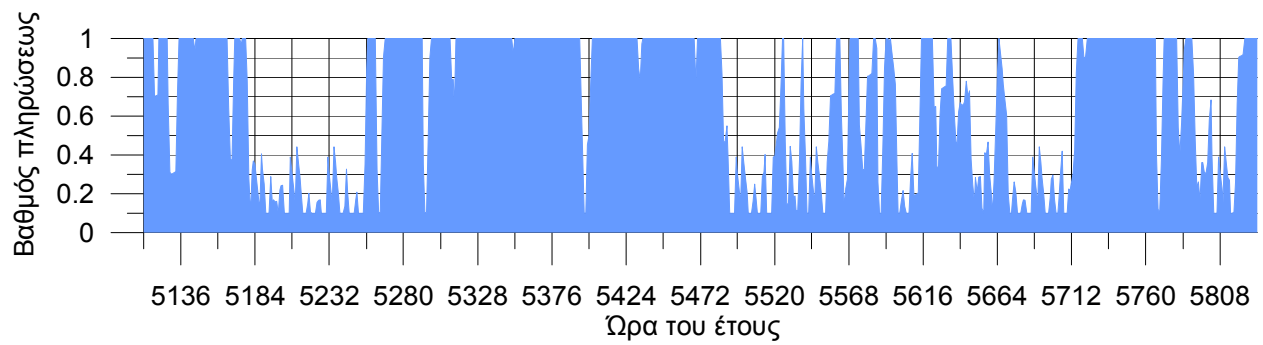


Σχήμα 6.19 Τρόπος κατανάλωσης της παραγόμενης ενέργειας (Αύγουστος)

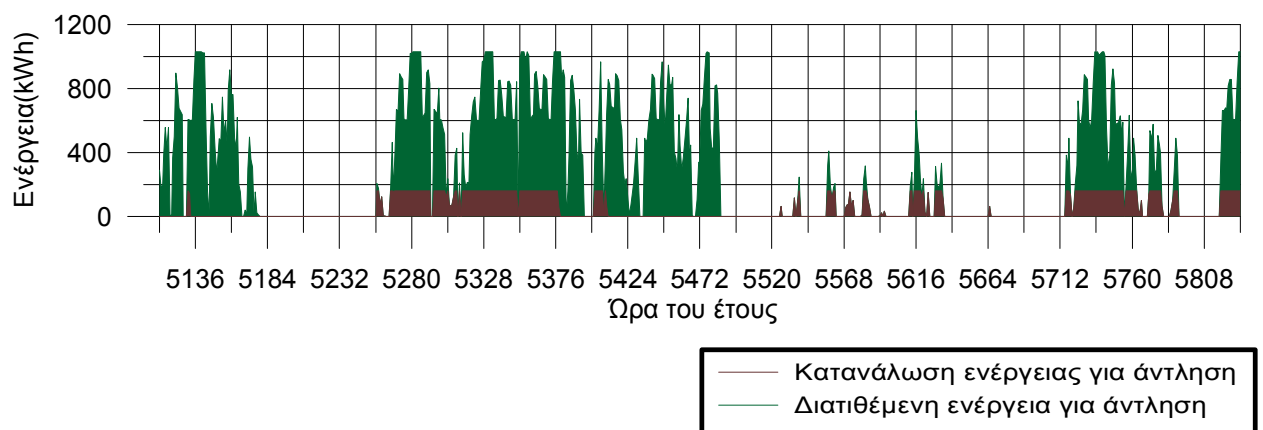
Κεφάλαιο 6^ο – Αποτελέσματα Προσομοίωσης Λειτουργίας του Συστήματος



Σχήμα 6.20 Τροφοδοσία αφαλάτωσης (Αύγουστος)



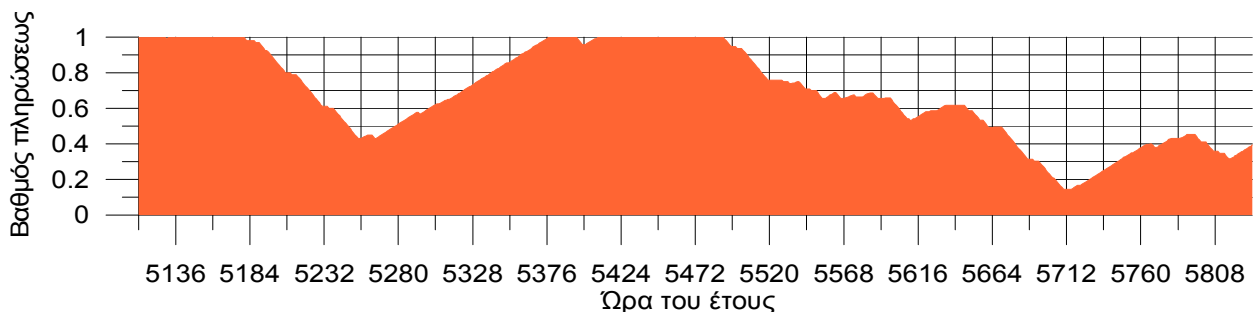
Σχήμα 6.21 Διακύμανση βαθμού πληρώσεως δεξαμενής πόσιμου νερού (Αύγουστος)



Σχήμα 6.22 Διατιθέμενη και καταναλισκόμενη ενέργεια για άντληση (Αύγουστος)



Σχήμα 6.23 Διακύμανση βαθμού πλήρωσης άνω ταμιευτήρα (Αύγουστος)



Σχήμα 6.24 Διακύμανση βαθμού πλήρωσης άνω ταμιευτήρα (Αύγουστος)

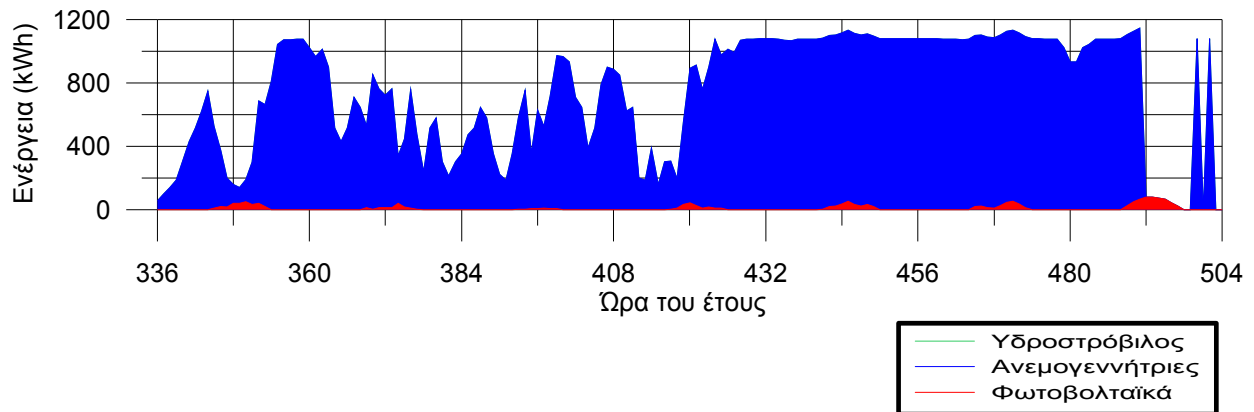
6.2.2.3 Εβδομαδιαία διαγράμματα λειτουργίας

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα για μια αντιπροσωπευτική εβδομάδα του Ιανουαρίου και του Ιουλίου, και δίνονται κάποια γενικά συμπεράσματα. Οι εβδομάδες αυτές χαρακτηρίζονται είτε από συνεχή και υψηλής έντασης πνοής ανέμου (Ιανουαρίου) είτε από διαστήματα με άπνοια (Αυγούστου).

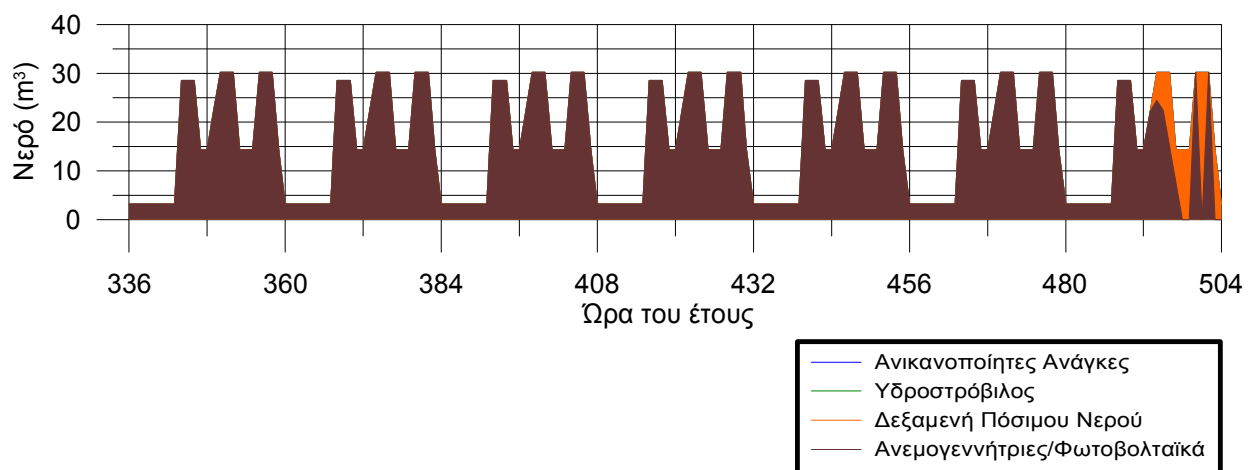
14-21 Ιανουαρίου

- Οι Α/Γ παράγουν υψηλές ποσότητες ενέργειας που δεν μπορούν να συγκριθούν με την παραγωγή των Φ/Β (Σχήμα 6.25), οι οποίες δεν μπορούν να αξιοποιηθούν από την αφαλάτωση λόγω των λίγων αναγκών της εβδομάδας αλλά και από τις αντλίες λόγω της πληρότητας του άνω ταμιευτήρα καθ' όλη την εβδομάδα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να απορρίπτεται μεγάλο μέρος της παραγόμενης ενέργειας (Σχήμα 6.27).

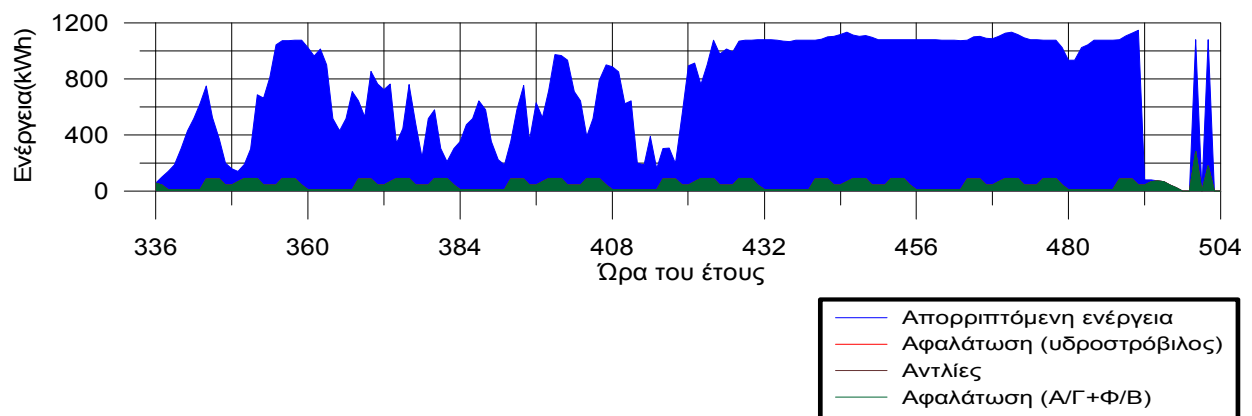
- Οι αφαλάτωση τροφοδοτείται μόνο από τις Α/Γ και τα Φ/Β (Σχήμα 6.28), και καλύπτει άμεσα τις ανάγκες (Σχήμα 6.26), εκτός από μια περίπτωση στο τέλος της εβδομάδας που το νησί τροφοδοτείται με νερό από τη γεμάτη δεξαμενή πόσιμου νερού (Σχήμα 6.29).
- Το σύστημα αντλιοσταμίου δεν βρίσκεται σε λειτουργία (Σχήματα 6.28, 6.30). Το σύνολο της διατιθέμενης ενέργειας για άντληση απορρίπτεται (Σχήμα 6.30) αφού ο άνω ταμιευτήρας είναι γεμάτος.



Σχήμα 6.25 Παραγόμενη ενέργεια ανάλογα με την πηγή (14-21 Ιανουαρίου)

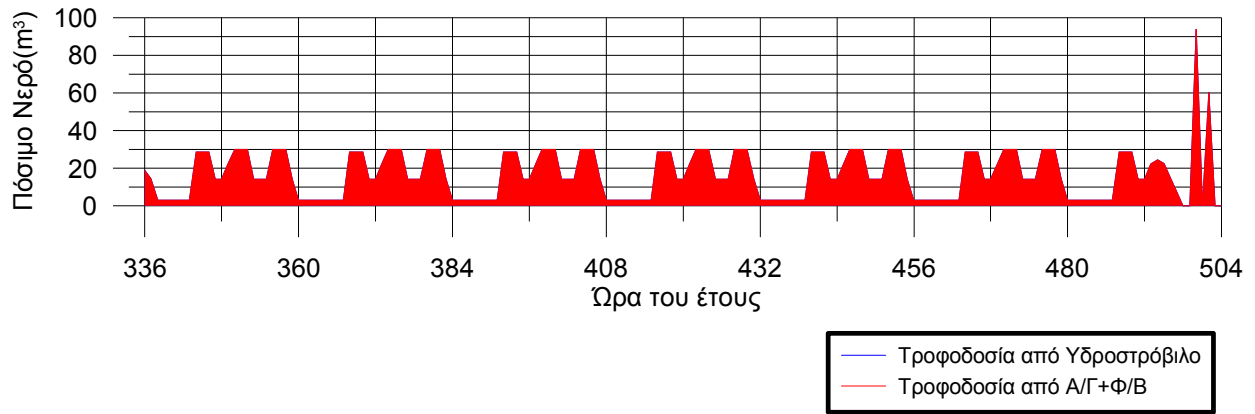


Σχήμα 6.26 Τρόπος ικανοποίησης αναγκών σε νερό (14-21 Ιανουαρίου)

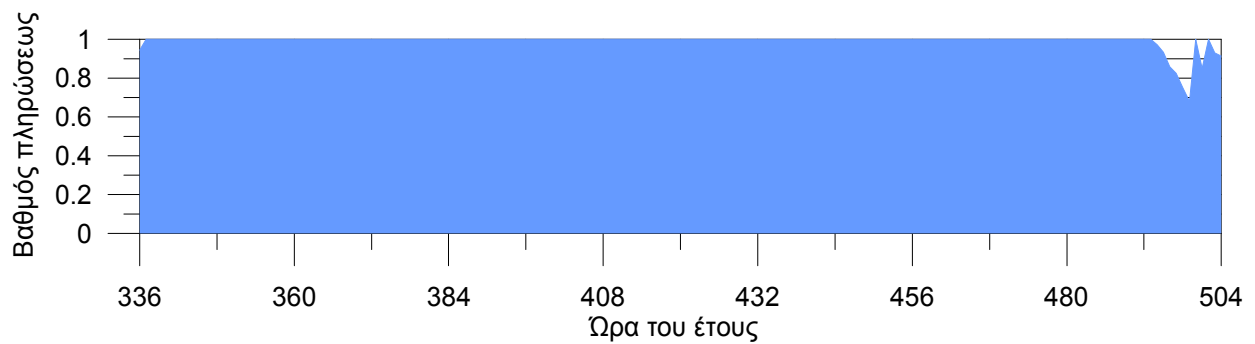


Σχήμα 6.27 Τρόπος κατανάλωσης της παραγόμενης ενέργειας (14-21 Ιανουαρίου)

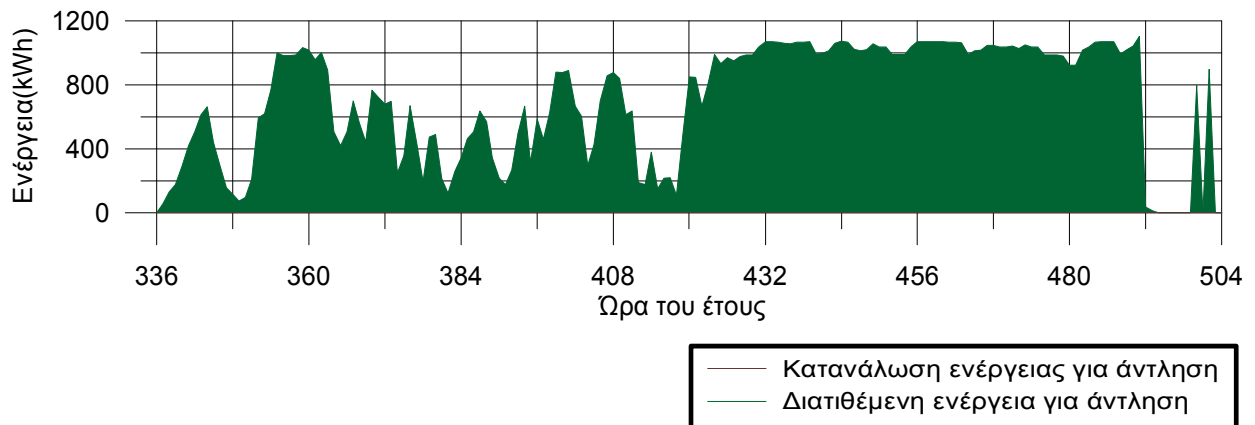
Κεφάλαιο 6^ο – Αποτελέσματα Προσομοίωσης Λειτουργίας του Συστήματος



Σχήμα 6.28 Τροφοδοσία αφαλάτωσης (14-21 Ιανουαρίου)



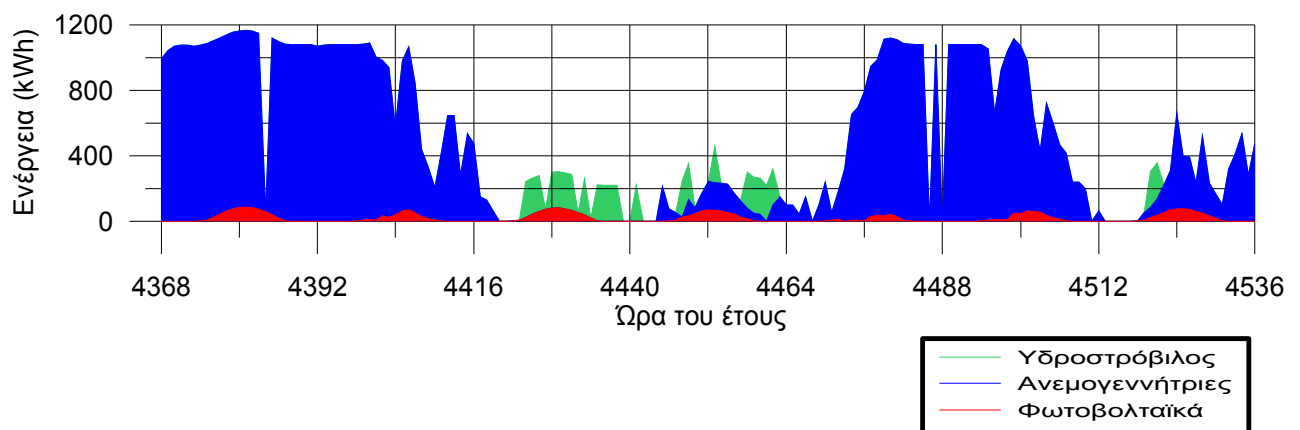
Σχήμα 6.29 Διακύμανση βαθμού πλήρωσεως δεξαμενής πόσιμου νερού (14-21 Ιανουαρίου)



Σχήμα 6.30 Διατιθέμενη και καταναλισκόμενη ενέργεια για άντληση (14-21 Ιανουαρίου)

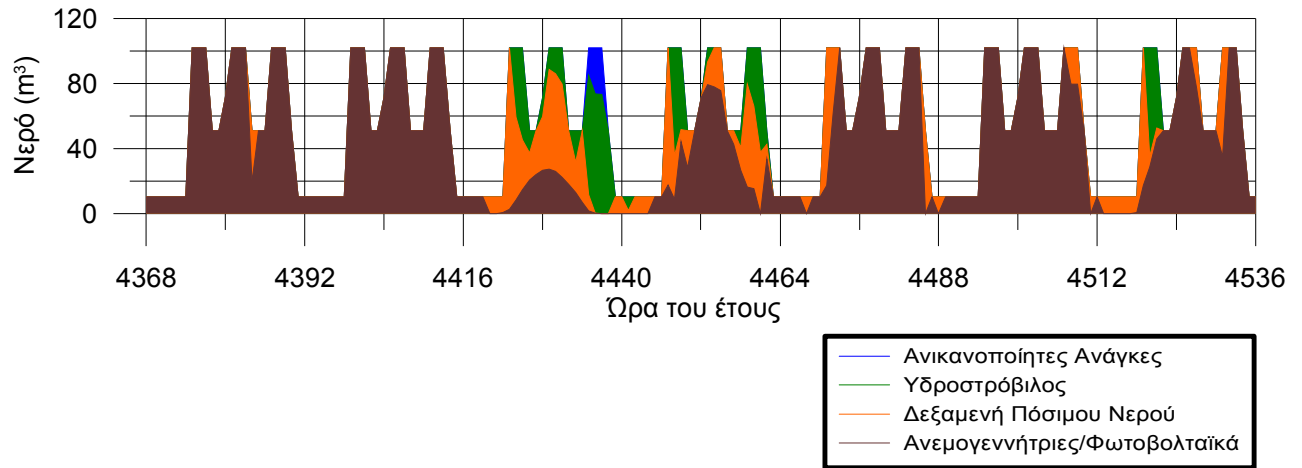
1-8 Ιουλίου

- Η παραγωγή ενέργειας προέρχεται και από τις τρεις πηγές με ισχυρότερη αυτή των Α/Γ (Σχήμα 6.31). Παρ' όλα αυτά παρατηρείται διάστημα 50 ωρών (4420-4470 ώρες) κατά το οποίο η παραγωγή ενέργειας από τις Α/Γ είναι πολύ χαμηλή και είτε αξιοποιείται η δεξαμενή πόσιμου νερού είτε τίθεται σε λειτουργία ο υδροστρόβιλος για την τροφοδοσία της αφαλάτωσης. Είναι εμφανές, όμως, ότι θα απαιτούνταν μεγαλύτερης ισχύος υδροστρόβιλος για να καλύπτονται οι ανάγκες τέτοιων περιόδων (άπνοιας και υψηλών σχετικά αναγκών).
- Η αφαλάτωση τροφοδοτείται και από τον υδροστρόβιλο (Σχήμα 6.34), όταν δεν επαρκεί η παραγωγή ενέργειας από Α/Γ και Φ/Β (Σχήμα 6.32) και η δεξαμενή πόσιμου νερού αδειάζει (Σχήμα 6.35), χωρίς όμως, πάντα, να ικανοποιεί πλήρως τις ανάγκες (Σχήμα 6.32).
- Ακόμα διατίθενται ενέργεια για άντληση και εν μέρει αξιοποιείται από τις αντλίες (Σχήμα 6.36). Ο υδροστρόβιλος όταν τίθεται σε λειτουργία παράγει ενέργεια που χρησιμοποιείται πλήρως για την αφαλάτωση (Σχήμα 6.37). Βέβαια, ο βαθμός πληρώσεως του άνω ταμιευτήρα δεν μειώνεται αισθητά, φτάνοντας το 75-80% (Σχήμα 6.38).

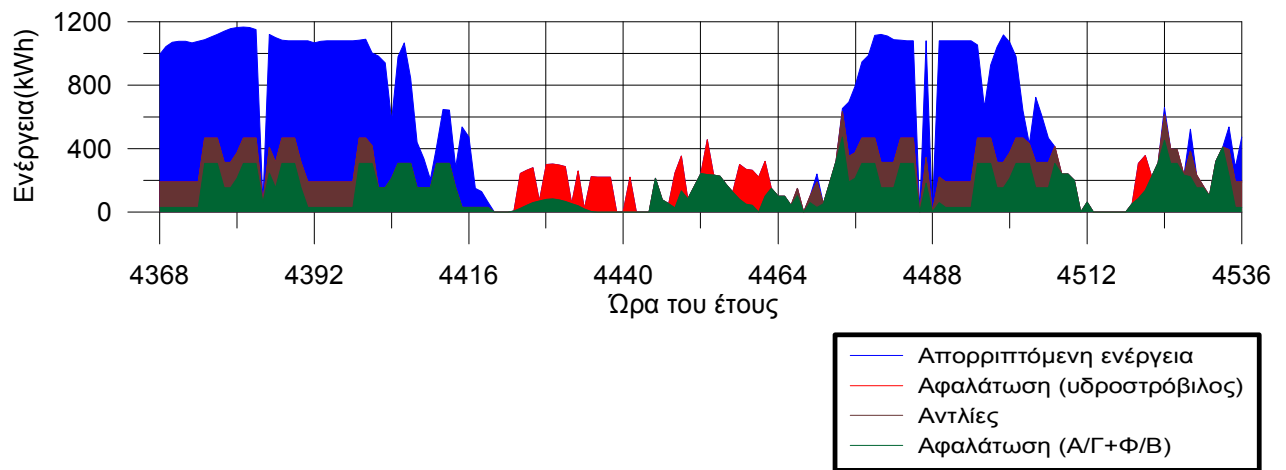


Σχήμα 6.31 Παραγόμενη ενέργεια ανάλογα με την πηγή (1-8 Ιουλίου)

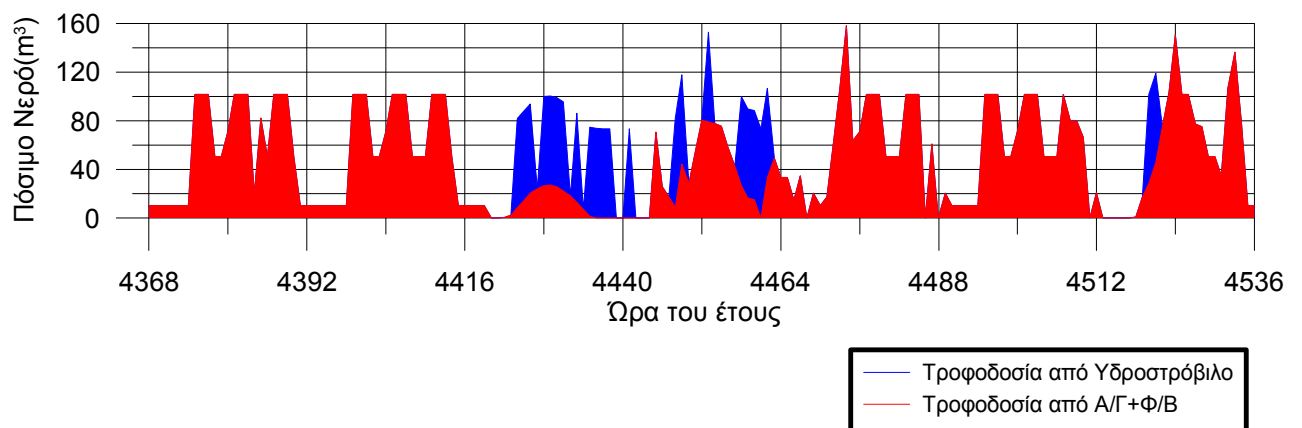
Κεφάλαιο 6^ο – Αποτελέσματα Προσομοίωσης Λειτουργίας του Συστήματος



Σχήμα 6.32 Τρόπος ικανοποίησης αναγκών σε νερό (1-8 Ιουλίου)

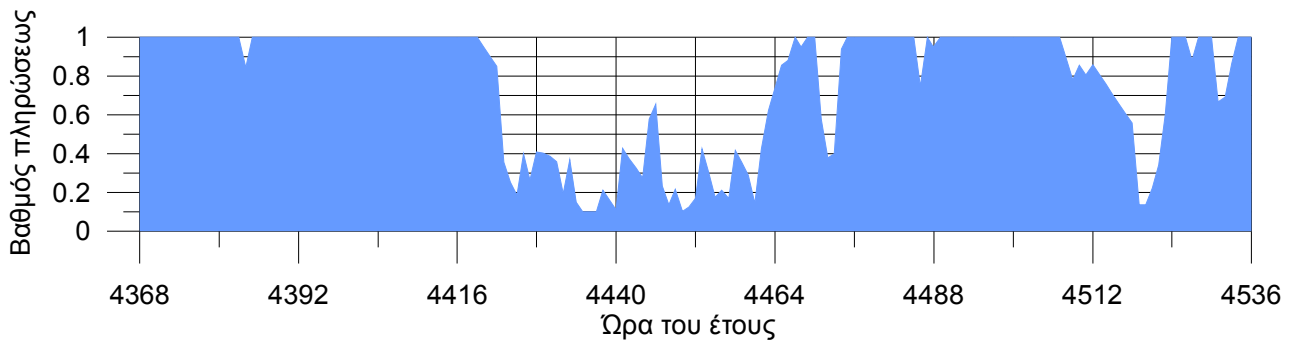


Σχήμα 6.33 Τρόπος κατανάλωσης της παραγόμενης ενέργειας (1-8 Ιουλίου)

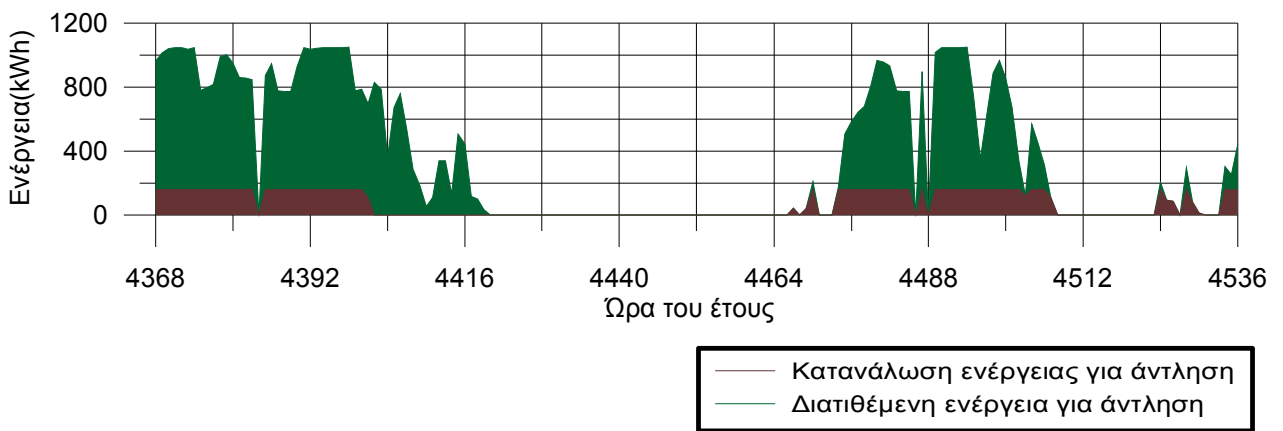


Σχήμα 6.34 Τροφοδοσία αφαλάτωσης (1-8 Ιουλίου)

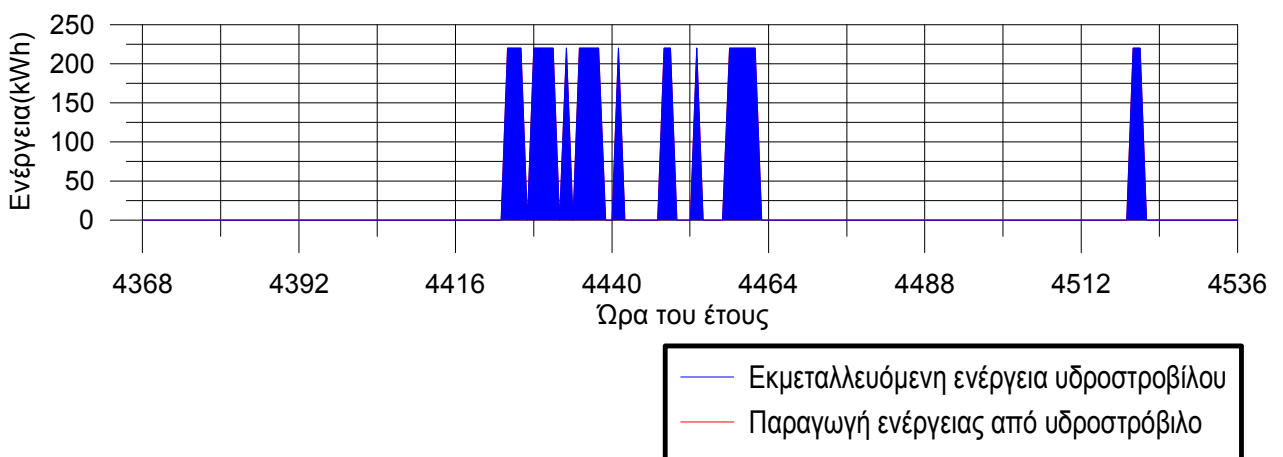
Κεφάλαιο 6^ο – Αποτελέσματα Προσομοίωσης Λειτουργίας του Συστήματος



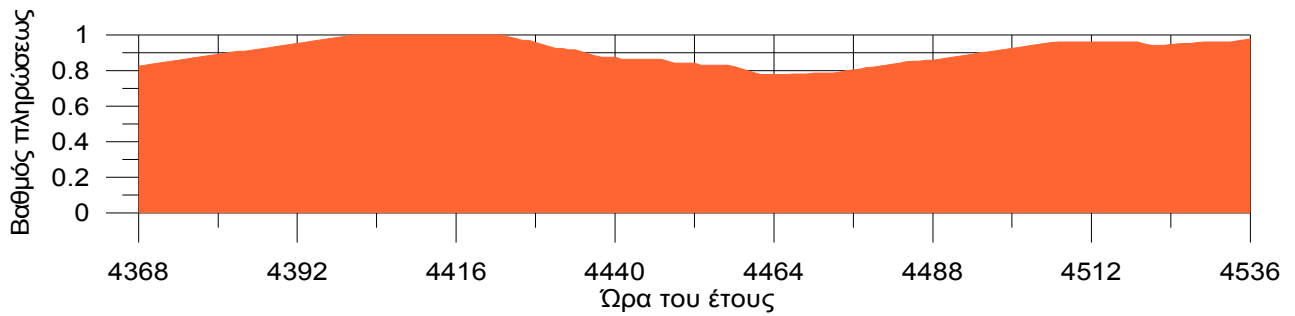
Σχήμα 6.35 Διακύμανση βαθμού πληρώσεως δεξαμενής πόσιμου νερού (1-8 Ιουλίου)



Σχήμα 6.36 Διατιθέμενη και καταναλισκόμενη ενέργεια για άντληση (1-8 Ιουλίου)



Σχήμα 6.37 Διακύμανση βαθμού πληρώσεως άνω ταμιευτήρα (1-8 Ιουλίου)



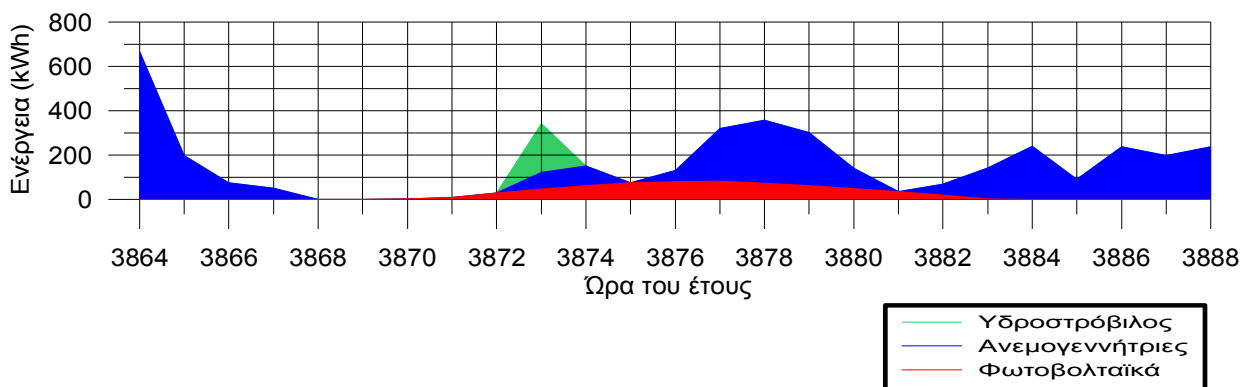
Σχήμα 6.38 Διακύμανση βαθμού πληρώσεως άνω ταμιευτήρα (1-8 Ιουλίου)

6.2.2.4 Ημερήσια διαγράμματα λειτουργίας

Τέλος, παρατίθενται τα διαγράμματα δύο χαρακτηριστικών ημερών του Απριλίου και του Αυγούστου, τα οποία σχολιάζονται. Επιλέχθηκαν οι συγκεκριμένες μέρες με κριτήριο τη συνεχή λειτουργία του υδροστροβίλου ή όχι κατά τη διάρκεια της ημέρας.

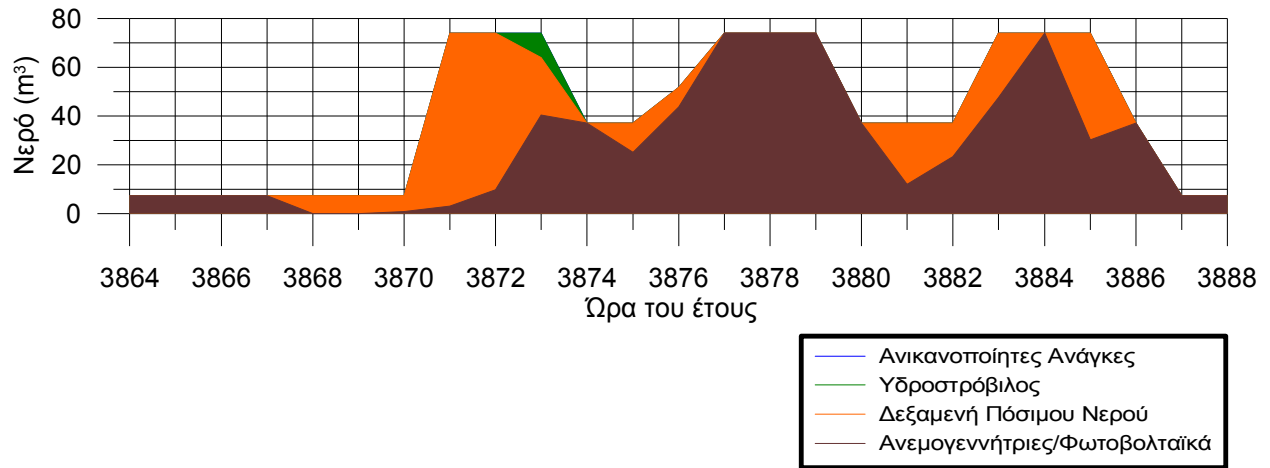
10 Απριλίου

- Σχετικά με τη λειτουργία των Α/Γ, ο ταχύτητα του ανέμου έχει μεγάλες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας, ενώ τα Φ/Β φτάνουν στη μέγιστη παραγωγή ακολουθώντας την αναμενόμενη διακύμανση. Βέβαια να σημειώσουμε ότι δεν υπάρχει παραγωγή από τις 04:00 μέχρι τις 08:00.
- Οι ανάγκες τις ώρες αυτές που δεν υπάρχει ούτε ηλιοφάνεια, ικανοποιούνται από τη δεξαμενή πόσιμου νερού (Σχήμα 6.39,6.40), και για μια ώρα τίθεται σε λειτουργία ο υδροστροβίλος (Σχήμα 6.45), ο οποίος τροφοδοτεί την αφαλάτωση (Σχήμα 6.42).
- Οι αντλίες λειτουργούν μόνο κάποιες βραδινές ώρες (Σχήμα 6.41-6.44), όπου καταναλώνουν την ενέργεια που απορρίπτεται από την αφαλάτωση, λόγω πολύ μικρών αναγκών και γεμάτης δεξαμενής πόσιμου νερού (Σχήμα 6.43)
- Ο άνω ταμιευτήρας είναι σχεδόν γεμάτος και παραμένει σε υψηλά επίπεδα πληρότητας καθ' όλο το 24ώρο (Σχήμα 6.46).

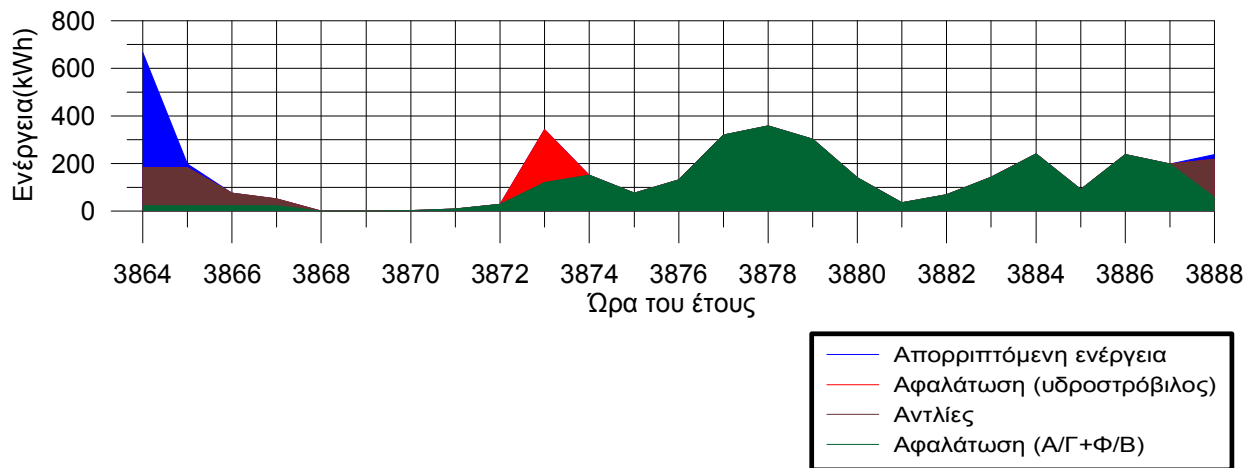


Σχήμα 6.39 Παραγόμενη ενέργεια ανάλογα με την πηγή (10 Απριλίου)

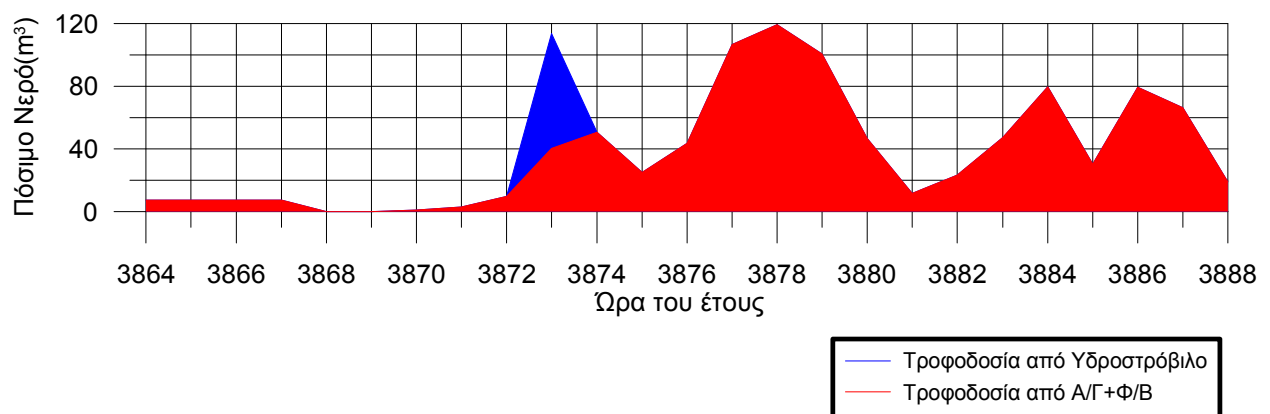
Κεφάλαιο 6^ο – Αποτελέσματα Προσομοίωσης Λειτουργίας του Συστήματος



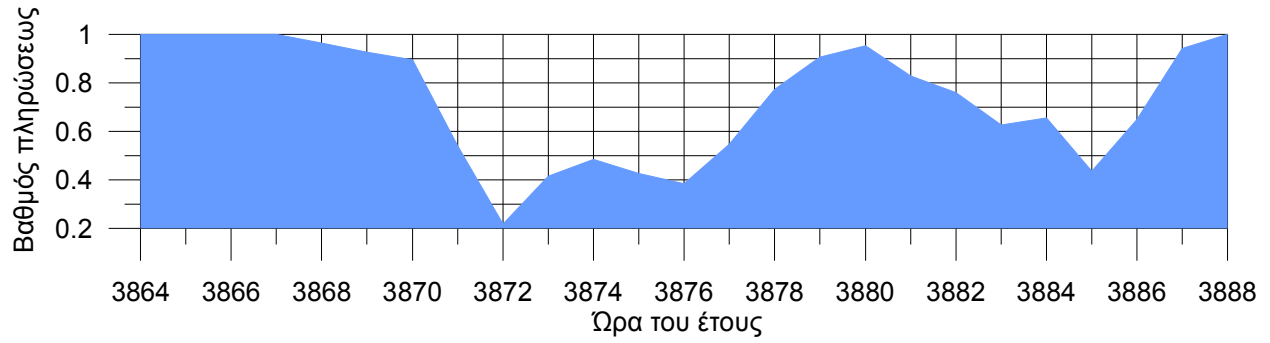
Σχήμα 6.40 Τρόπος ικανοποίησης αναγκών σε νερό (10 Απριλίου)



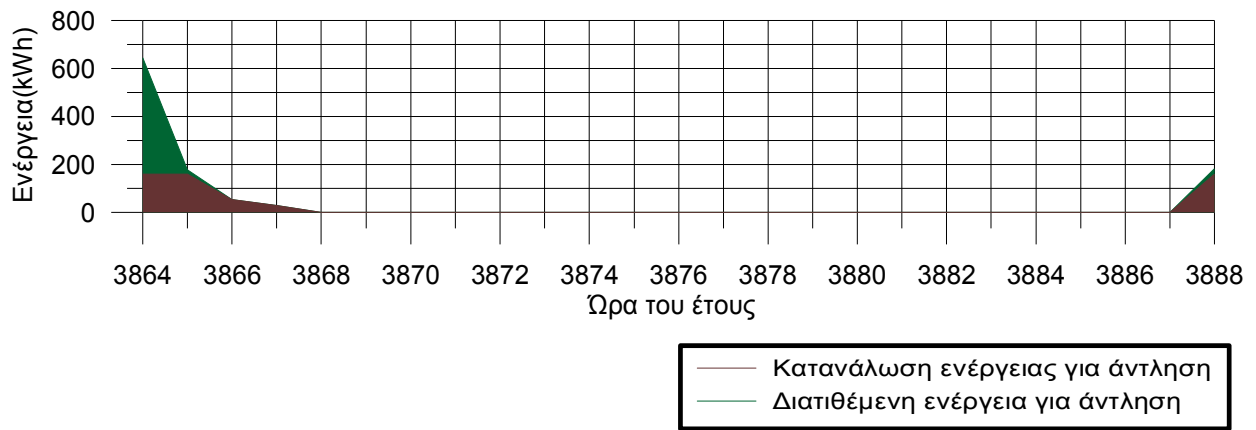
Σχήμα 6.41 Τρόπος κατανάλωσης της παραγόμενης ενέργειας (10 Απριλίου)



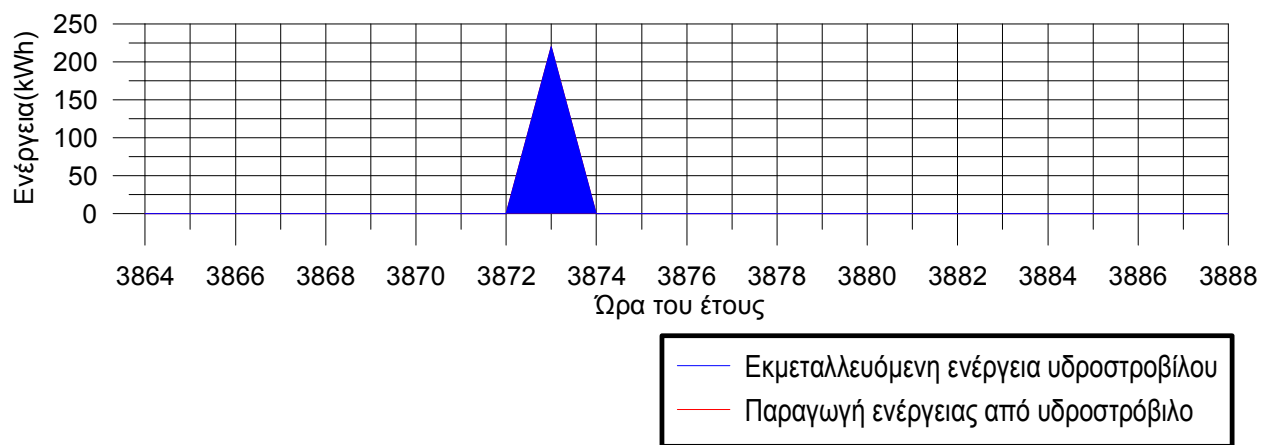
Σχήμα 6.42 Τροφοδοσία αφαλάτωσης (10 Απριλίου)



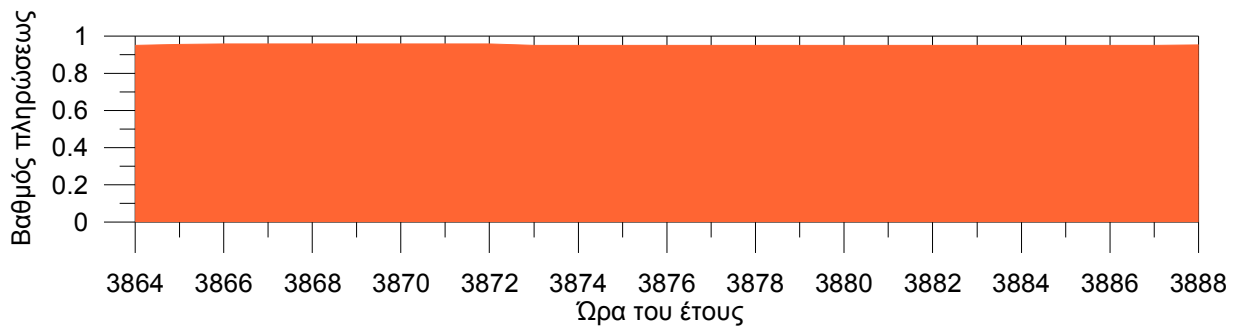
Σχήμα 6.43 Διακύμανση βαθμού πληρώσεως δεξαμενής πόσιμου νερού (10 Απριλίου)



Σχήμα 6.44 Διατιθέμενη και καταναλισκόμενη ενέργεια για άντληση (10 Απριλίου)



Σχήμα 6.45 Παραγόμενη & εκμεταλλεζόμενη από την αφαλάτωση ενέργεια υδροστρόβιλου (10 Απριλίου)

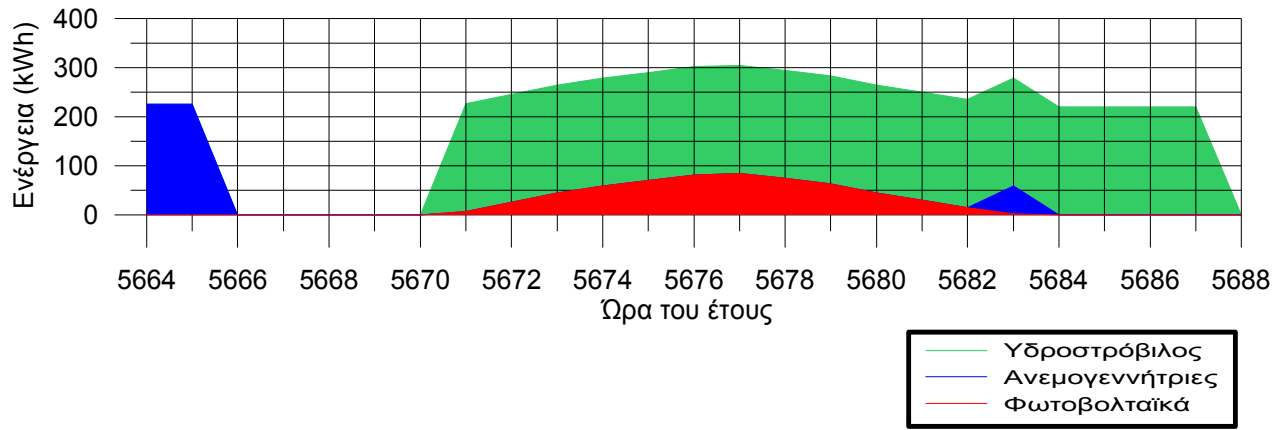


Σχήμα 6.46 Διακύμανση βαθμού πληρώσεως άνω ταμιευτήρα (10 Απριλίου)

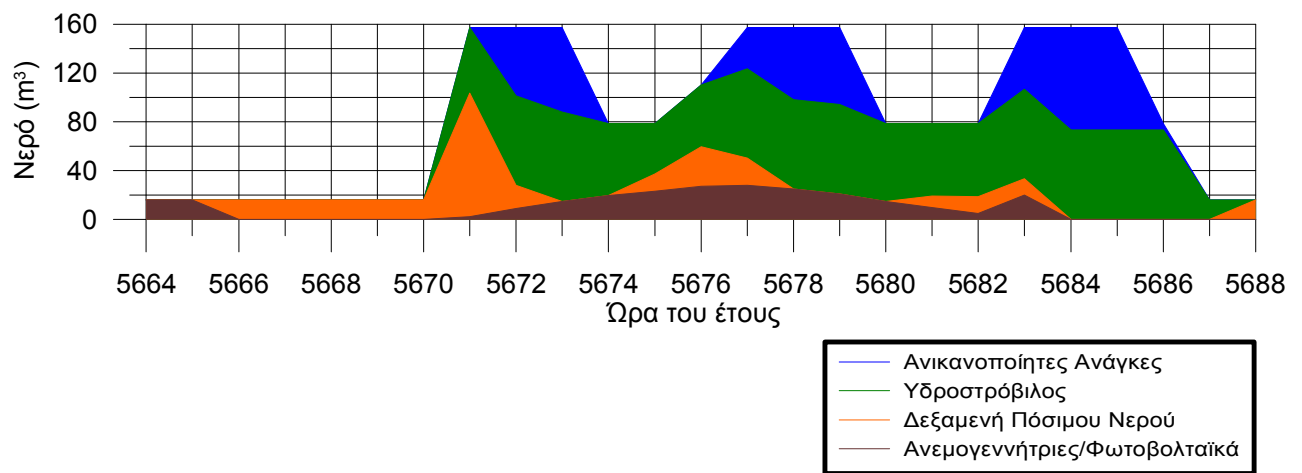
23 Αυγούστου

- Λόγω των αυξημένων αναγκών που παρουσιάζονται και της απουσίας ενεργειακής παραγωγής από Α/Γ σχεδόν για όλη την ημέρα (Σχήμα 6.47), καλείται ο υδροστρόβιλος να τροφοδοτήσει την αφαλάτωση (Σχήμα 6.50). Παρ' όλα αυτά, οι ανάγκες δεν ικανοποιούνται πλήρως (Σχήμα 6.48), λόγω και του ότι δεν επαρκεί ο αποθηκευμένος όγκος πόσιμου νερού στην δεξαμενή (Σχήμα 6.51), και ο υδροστρόβιλος δεν παρέχει την απαιτούμενη ισχύ στην αφαλάτωση, αφού η ισχύς του είναι η μισή περίπου της μονάδας αφαλάτωσης. Αντιλαμβανόμαστε, ακόμα, ότι οι ανάγκες αυτές θα καλύπτονταν αν η ισχύς των Φ/Β ήταν μεγαλύτερη, αφού οι μέρες του καλοκαιριού όπως η συγκεκριμένη, χαρακτηρίζονται από ηλιοφάνεια τις ώρες που εμφανίζεται το μέγιστο της ζήτησης.
- Οι αντλίες λειτουργούν μόνο για μία ώρα, όπου οι ανάγκες είναι ελάχιστες, η δεξαμενή πόσιμου νερού είναι ακόμα γεμάτη, και αναγκαστικά διατίθεται η παραγόμενη από τις Α/Γ ενέργεια (Σχήμα 6.52).
- Ιδιαίτερα σημαντικό χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης ημέρας, και γενικότερα των ημερών του Αυγούστου, είναι ότι ο υδροστρόβιλος λειτουργεί σε πλήρη ισχύ, για αρκετές ώρες της ημέρας (Σχήμα 6.53) όπου η παραγόμενη ενέργεια από Α/Γ και Φ/Β είναι μικρή (Σχήμα 6.49), στην αφαλάτωση. Σε αντίθετη περίπτωση, οι ανάγκες που θα έμεναν ανικανοποίητες θα ήταν πολύ περισσότερες.
- Στο τέλος της ημέρας, η πληρότητα του άνω ταμιευτήρα μειώνεται κατά περίπου 20% από την αρχή της (Σχήμα 6.54).

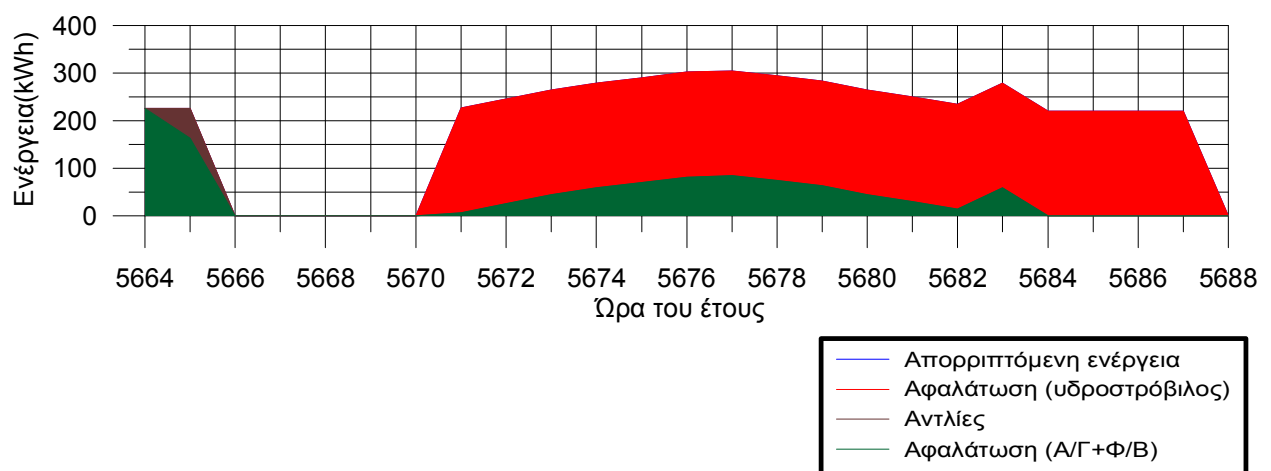
Κεφάλαιο 6^ο – Αποτελέσματα Προσομοίωσης Λειτουργίας του Συστήματος



Σχήμα 6.47 Παραγόμενη ενέργεια ανάλογα με την πηγή (23 Αυγούστου)

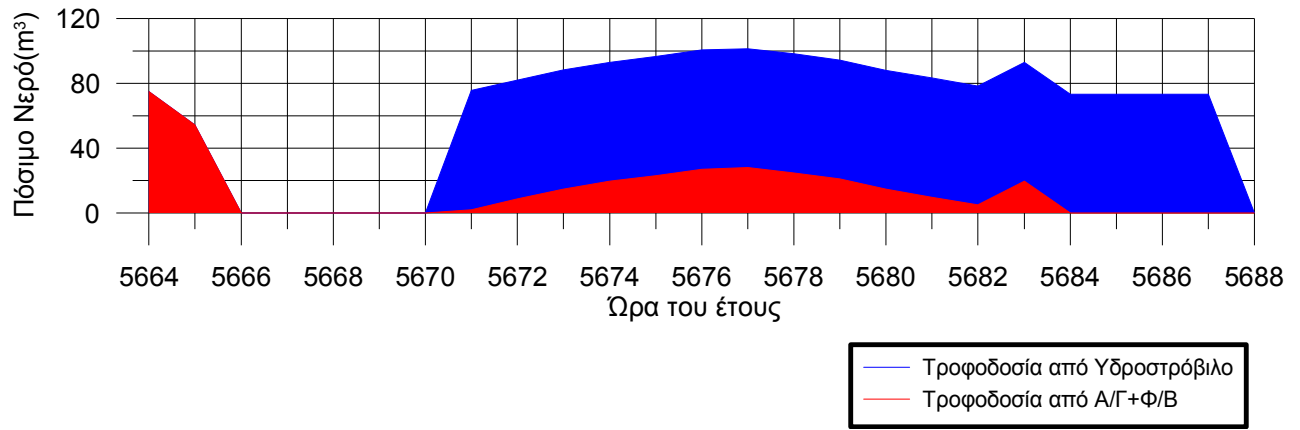


Σχήμα 6.48 Τρόπος ικανοποίησης αναγκών σε νερό (23 Αυγούστου)

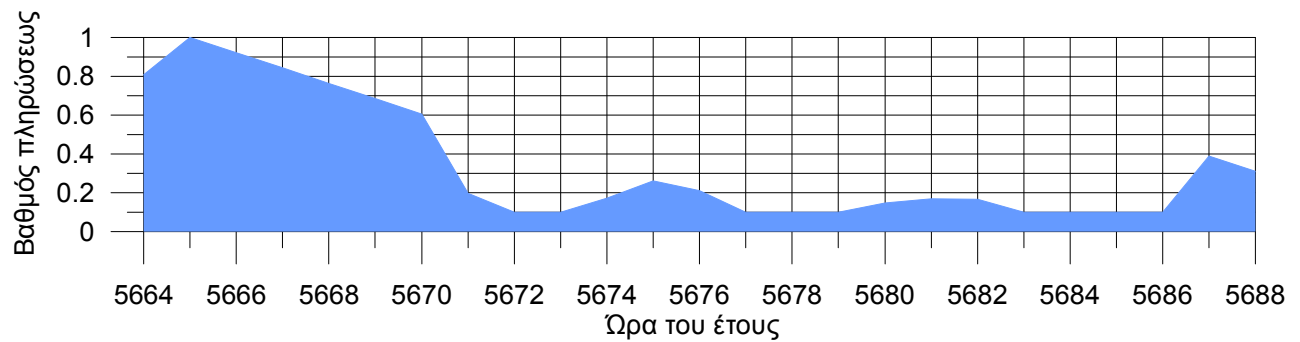


Σχήμα 6.49 Τρόπος κατανάλωσης της παραγόμενης ενέργειας (23 Αυγούστου)

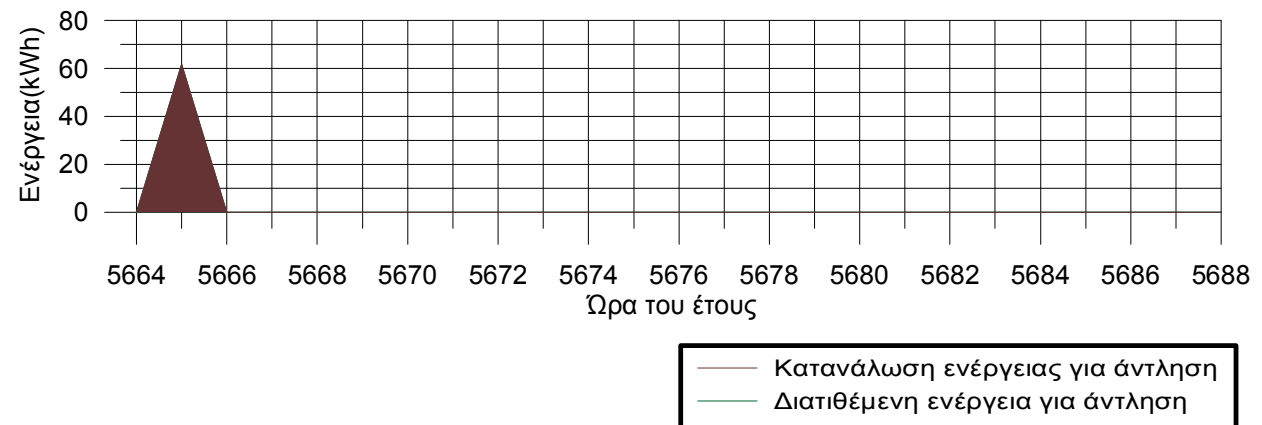
Κεφάλαιο 6^ο – Αποτελέσματα Προσομοίωσης Λειτουργίας του Συστήματος



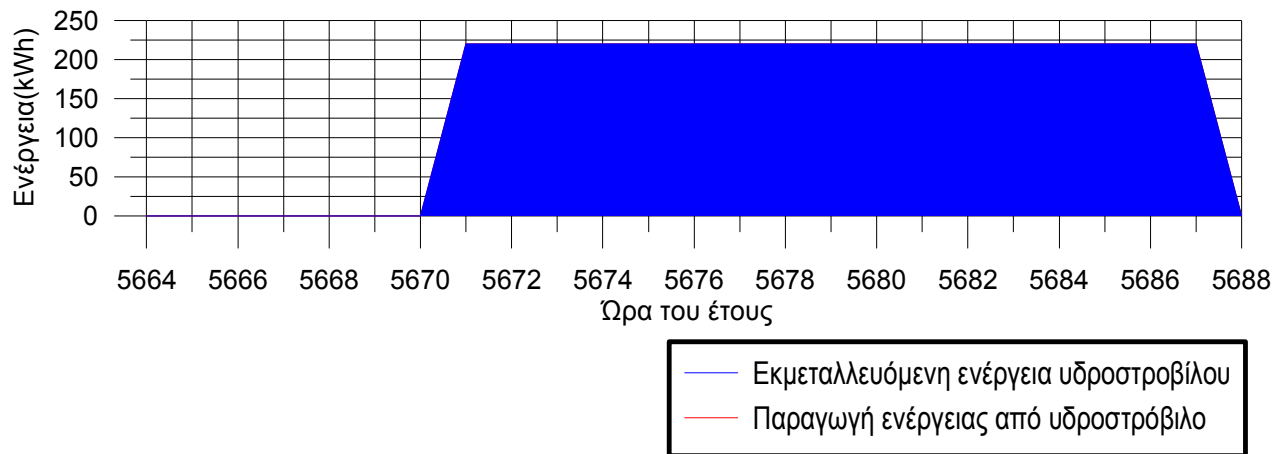
Σχήμα 6.50 Τροφοδοσία αφαλάτωσης (23 Αυγούστου)



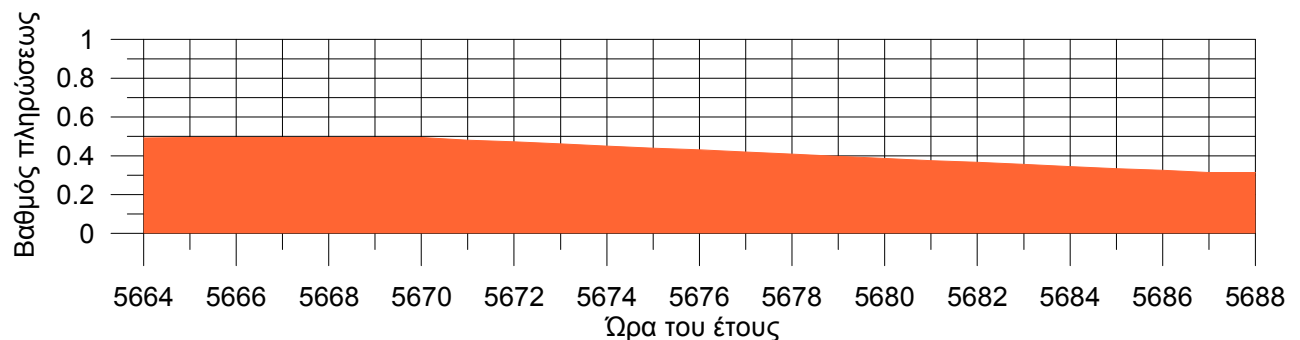
Σχήμα 6.51 Διακύμανση βαθμού πληρώσεως δεξαμενής πόσιμου νερού (23 Αυγούστου)



Σχήμα 6.52 Διατιθέμενη και καταναλισκόμενη ενέργεια για άντληση (23 Αυγούστου)



Σχήμα 6.53 Διακύμανση βαθμού πληρώσεως άνω ταμιευτήρα (23 Αυγούστου)



Σχήμα 6.54 Διακύμανση βαθμού πληρώσεως άνω ταμιευτήρα (23 Αυγούστου)

6.2.3 Τιμές αθροιστικών μεγεθών και δεικτών αξιολόγησης

Στη συγκεκριμένη υποενότητα δίνονται συγκεντρωμένα στον πίνακα 6.3 το σύνολο των τιμών των αθροιστικών μεγεθών και των δεικτών αξιολόγησης, που ορίστηκαν στο κεφάλαιο 5. Η μελέτη των τιμών θα μας δώσει μια ικανοποιητική εικόνα της λειτουργίας και της απόδοσης του συστήματος για τον συγκεκριμένο συνδυασμό παραμέτρων σχεδιασμού. Έτσι, από τις τιμές που δίνονται στον πίνακα 6.3 μπορούν να εξαχθούν τα εξής συμπεράσματα:

- Ο συγκεκριμένος συνδυασμός παραμέτρων δεν κρίνεται αποδεκτός αφού παρατηρούνται 110 ώρες του έτους που δεν ικανοποιούνται. Καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, ικανοποιείται το 98,5 % των αναγκών σε νερό. Παράγονται ετησίως 280.926 m³, εκ των οποίων τα 234.436 m³ οφείλονται στην τροφοδοσία από τις Α/Γ και τα Φ/Β.
- Η παραγωγή ενέργειας από Α/Γ και Φ/Β είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από τις ενεργειακές απαιτήσεις της αφαλάτωσης, αλλά αξιοποιείται αρκετά μικρό ποσοστό αυτής (22,8%), λόγω της πολύ υψηλής εγκατεστημένης ισχύος Α/Γ που όμως αποδίδεται σε περιόδους που οι

ανάγκες δεν είναι αντίστοιχες. Μια πιθανή λύση για μείωση της απόρριψης ενέργειας, θα ήταν η σχετική μείωση της ισχύος των Α/Γ, με ταυτόχρονη αύξηση της ισχύος των Φ/Β, που η παραγωγή τους είναι λιγότερο στοχαστική και αποδίδεται σε ώρες που υπάρχουν και ανάγκες. Βέβαια, αυτό ίσως θα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους παραγωγής. Θα πρέπει να τονίσουμε ότι στην συγκεκριμένη εφαρμογή, σκόπιμα επιλέχθηκε υψηλή εγκατεστημένη ισχύς Α/Γ προκειμένου να έχουμε υψηλότερη διείσδυση της αντλησιοταμίευσης στο υβριδικό σύστημα.

- Σχετικά με τη χρήση του συστήματος αντλησιοταμίευσης, ο υδροστρόβιλος συμβάλει κατά 16,5% στην τροφοδοσία της αφαλάτωσης, κάτι που κρίνεται αρκετά ικανοποιητικό. Ακόμα, καλύπτει το 82,2% των αναγκών που καλείται να καλύψει. Είναι πιθανό με αύξηση της ισχύος υδροστρόβιλου να αυξηθεί το προηγούμενο ποσοστό και να μειωθούν οι ανικανοποίητες ανάγκες. Από την άλλη, οι αντλίες καταναλώνουν μόλις το 6,6% της διατιθέμενης ενέργειας. Αυτό προκύπτει είτε από την υπερβολική περίσσεια ενέργειας Α/Γ και Φ/Β, είτε από την χαμηλή εγκατεστημένη αντλητική ισχύς. Βέβαια, υπάρχει περίπτωση η άντληση να μην επιτρέπεται λόγω μικρής χωρητικότητας του άνω ταμιευτήρα.
- Τόσο η δεξαμενή πόσιμου νερού, όσο και ο άνω ταμιευτήρας εμφανίζουν ικανοποιητικά ποσοστά αξιοποίησης (80,7% και 90% αντίστοιχα), εκμεταλλευόμενοι αρκετά καλά την χωρητικότητά τους. Έτσι συμπεραίνουμε ότι η διαστασιολόγηση τους βρίσκεται εντός των αποδοτικών ορίων τιμών.
- Η μονάδα αφαλάτωσης λειτουργεί για 7835 ώρες του έτους και αξιοποιεί κατά 20,3 % την ισχύ της. Το αποτέλεσμα αυτό είναι αναμενόμενο αφού η αφαλάτωση καλείται να καλύψει άμεσα τις αρκετά μεγάλες ανάγκες του καλοκαιριού ενώ τους άλλους μήνες του έτους αρκείται σε λειτουργία χωρίς να εκμεταλλεύεται πλήρως το δυναμικό παραγωγής της λόγω των μικρών, σε σχέση με τους θερινούς μήνες, αναγκών. Έτσι οδηγούμαστε σε εγκατάσταση ισχύος αφαλάτωσης με βάση τις υψηλότερες εμφανιζόμενες ανάγκες λόγω του ότι η αποθήκευση πόσιμου νερού στη δεξαμενή για αρκετές μέρες δεν είναι επιτρεπτή για ποιοτικούς λόγους και η ικανοποίηση των αναγκών πρέπει να είναι σχετικά άμεση.
- Υπολογίζεται το συνολικό κόστος επένδυσης του συστήματος να είναι της τάξεως των 4.500.000 €, με το αιολικό πάρκο και το σύστημα αντλησιοταμίευσης να αποτελούν μαζί περίπου το 75% του συνολικού κόστους.
- Προβλέπονται περίπου 700.000 € ετήσια έσοδα, και 135.000 € συνολικά ετήσια κόστη συντήρησης και λειτουργίας.
- Η επένδυση κρίνεται οικονομικά βιώσιμη αφού οι τιμές των οικονομικών δεικτών αξιολόγησης είναι αποδεκτές. Για παράδειγμα, ο δείκτης BCR παίρνει τιμή 1,32 ενώ ο IRR δίνει ένα πολύ ικανοποιητικό, για την επένδυση, ποσοστό της τάξης του 15%. Να υπενθυμίσουμε ότι έχει θεωρηθεί τιμή πώλησης του νερού τα 2,5 €/m³, που αποτελεί τη μέγιστη επιτρεπτή τιμή της πρόσκλησης ενδιαφέροντος από το Υπουργείο (βλ. Παράρτημα).

- Τέλος, το υπολογιζόμενο κόστος παραγωγής του νερού είναι ιδιαίτερα ελκυστικό (2,423 €/m³), συγκριτικά με το κόστος της μεταφοράς νερού με υδροφόρες στα νησιά (περίπου 7 €/m³) αν και, όπως διαφαίνεται ο συγκεκριμένος συνδυασμός παραμέτρων δεν είναι ο βέλτιστος.

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ					
A/A	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΤΙΜΗ	ΜΟΝΑΔΕΣ	
ΑΦΟΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ	1	Ετήσιες ανάγκες σε νερό	TPC	285.163	m ³
	2	Ετήσια παραγωγή νερού	SWP	280.926	m ³
	3	Ετήσια παραγωγή νερού από ενέργεια Α/Γ+Φ/Β	SFWP	234.436	kWh
	4	Ετήσια παραγωγή νερού από ενέργεια υδροστροβίλου	STWP	46.490	kWh
	5	Ετήσιες ανικανοποίητες ενεργειακές ανάγκες	UN	13.249	kWh
	6	Επιπλέον μέση απαιτούμενη ισχύς	EXP	120	kW
	7	Ετήσια απορριπτόμενη ενέργεια	CRE	3.132.721	kWh
	8	Ετήσιες ενεργειακές ανάγκες αφαλάτωσης	AEN	855.488	kWh
	9	Ετήσια παραγωγή ενέργειας από Α/Γ	WEP	3.907.938	kWh
	10	Ετήσια παραγωγή ενέργειας από Φ/Β	SEP	147.271	kWh
	11	Ετήσια παραγωγή ενέργειας από Α/Γ+Φ/Β	EP	4.055.208	kWh
	12	Ετήσια ενεργειακή παραγωγή υδροστροβίλου	TURBINE	139.920	kWh
	13	Ετήσια ενεργειακή παραγωγή	YEP	4.195.128	kWh
	14	Ετήσιο πλεόνασμα παραγωγής ενέργειας από Α/Γ+Φ/Β	SURE	3.417.932	kWh
	15	Ετήσια απορριπτόμενη ενέργεια Α/Γ+Φ/Β από αφαλάτωση	TDDE	1.637.042	kWh
	16	Ετήσια απορροφούμενη ενέργεια Α/Γ+Φ/Β από αφαλάτωση	SDAE	703.308	kWh
	17	Ετήσιες ενεργειακές ανάγκες που πρέπει να ικανοποιηθούν από τον στρόβιλο	TEN	74.342	kWh
	18	Ετήσια απορροφούμενη ενέργεια στροβίλου από αφαλάτωση	SFDAE	139.471	kWh
	19	Ετήσια απορριπτόμενη ενέργεια υδροστροβίλου	DTE	449	kWh
	20	Ετήσια απορροφούμενη ενέργεια από αφαλάτωση (συνολικά)	TDAE	842.779	kWh
	21	Ετήσια ενεργειακή κατανάλωση για άντληση	PUMP	219.629	kWh
	22	Ετήσια απορριπτόμενη ενέργεια που διατέθηκε για άντληση	DPE	3.132.272	kWh
	23	Ετήσια διατιθέμενη ενέργεια για άντληση	RPE	3.351.900	kWh
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ	24	Ώρες που δεν ικανοποιούνται οι ανάγκες	LD	110	h
	25	Ώρες που καλείται να λειτουργήσει ο υδροστροβίλος	KH	636	h
	26	Ώρες που δουλεύει η αφαλάτωση σ' ένα έτος	DH	7835	h
	27	Ώρες που γίνεται άντληση σ' ένα έτος	PH	1675	h
	28	Ώρες που λειτουργεί ο υδροστροβίλος σ' ένα έτος	TH	636	h
	29	Ώρες που παράγει ενέργεια η Α/Γ σ' ένα έτος	WH	6691	h
	30	Ώρες που παράγουν ενέργεια τα Φ/Β σ' ένα έτος	SH	4362	h
	31	Ώρες που υπάρχει πλεόνασμα παραγωγής από Α/Γ +Φ/Β	PW	6181	h
	32	Φορές που "γέμισε" ο άνω ταμιευτήρας σ' ένα έτος	BK	7,612	-

Κεφάλαιο 6^ο – Αποτελέσματα Προσομοίωσης Λειτουργίας του Συστήματος

ΠΟΣΟΣΤΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ	33	Ποσοστό ικανοποίησης αναγκών σε νερό	VD	98,5	%	
	34	Ποσοστό απόρριψης ενεργειακού πλεονάσματος από Α/Γ+Φ/Β	ED	91,6	%	
	35	Ποσοστό απόρριψης ενεργειακής παραγωγής	UD	74,7	%	
	36	Ποσοστό αξιοποίησης παραγόμενης ενέργειας από Α/Γ +Φ/Β	VB	22,8	%	
	37	Ποσοστό ικανοποιημένων επιπλέον ενεργειακών αναγκών λόγω στροβίλου	AD	82,2	%	
	38	Ποσοστό συμμετοχής στροβίλου στην ετήσια παραγωγή νερού	DT	16,5	%	
	39	Ποσοστό αξιοποίησης διατιθέμενης ενέργειας για άντληση	PPD	6,6	%	
	40	Ποσοστό απορριπτόμενης ενέργειας στροβίλου προς συνολικής παραγωγής στροβίλου	PD	0,3	%	
	41	Ποσοστό εκμετάλλευσης Α/Γ	WU	76,4	%	
	42	Ποσοστό εκμετάλλευσης Φ/Β	SU	49,8	%	
	43	Ποσοστό εκμετάλλευσης αντλιών	PU	19,1	%	
	44	Ποσοστό εκμετάλλευσης υδροστροβίλου	TU	7,3	%	
	45	Ποσοστό εκμετάλλευσης ισχύος Α/Γ+Φ/Β	PWU	8,1	%	
	46	Ποσοστό εκμετάλλευσης ισχύος υδροστροβίλου	TPU	7,2	%	
	47	Ποσοστό εκμετάλλευσης ισχύος αντλιών	PPU	15,7	%	
	48	Ποσοστό εκμετάλλευσης ισχύος αφαλάτωσης	TD	20,3	%	
	49	Ποσοστό αξιοποίησης δεξαμενής πόσιμου	PUR	80,7	%	
	50	Ποσοστό αξιοποίησης άνω ταμιευτήρα	PUT	90	%	
	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ	51	Κόστος Επένδυσης Ηλιακού Πάρκου	PVINVEST	576.000	€
		52	Κόστος Επένδυσης Αιολικού Πάρκου	WINDINVEST	1.558.050	€
53		Κόστος Επένδυσης Συστήματος αντλησιοταμίευσης	HYDROINVEST	1.978.336	€	
54		Κόστος Επένδυσης Μονάδας Αφαλάτωσης	DESINVEST	530.895	€	
55		Συνολικό Κόστος Επένδυσης	HYBRIDCOST	4.643.281	€	
56		Κόστος Συντήρησης & Λειτουργίας Ηλιακού Πάρκου	PVMANT	11.520	€	
57		Κόστος Συντήρησης & Λειτουργίας Αιολικού Πάρκου	WINDMANT	31.161	€	
58		Κόστος Συντήρησης & Λειτουργίας Συστήματος αντλησιοταμίευσης	HYDROMANT	39.567	€	
59		Κόστος Συντήρησης & Λειτουργίας Μονάδας Αφαλάτωσης	DESMANT	52.689	€	
60		Συνολικό Κόστος Συντήρησης & Λειτουργίας	HYBRIDMANT	134.937	€	
61		Προβλεπόμενα Ετήσια Έσοδα	HYBRIDINC	702.316	€	
62		Κόστος παραγωγής νερού	WPC	2,422	€/m ³	
63		Κόστος παραγωγής ενέργειας	EPC	0,671	€/kWh	
64		Χρόνος αποπληρωμής	T	8,184	έτη	
65		Δείκτης BCR	BCR	1,320	-	
66		Δείκτης NPV	NPV	1.988.197	€	
67		Δείκτης IRR	IRR	14,993	%	

Πίνακας 6.3 Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων

6.3 Παραμετρική ανάλυση

Στη συγκεκριμένη υποενότητα μελετούμε την επίδραση που έχουν οι παράμετροι σχεδιασμού και λειτουργίας (Πίνακας 6.4) στην λειτουργία των υποσυστημάτων.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ & ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	
A/A	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
1	Χωρητικότητα Ταμιευτήρων (Παράμετρος-1)
2	Ισχύς Υδροστροβίλου (Παράμετρος-2)
3	Χωρητικότητα Δεξαμενής πόσιμου νερού (Παράμετρος-3)
4	Ισχύς Αφαλάτωσης (Παράμετρος-4)
5	Ισχύς Ανεμογεννητριών (Παράμετρος-5)
6	Ισχύς Φωτοβολταϊκών (Παράμετρος-6)
7	Ισχύς Αντλιών (Παράμετρος-7)
8	Μόνιμος Πληθυσμός νησιού (Παράμετρος-8)
9	Τιμή πώλησης νερού (Παράμετρος-9)

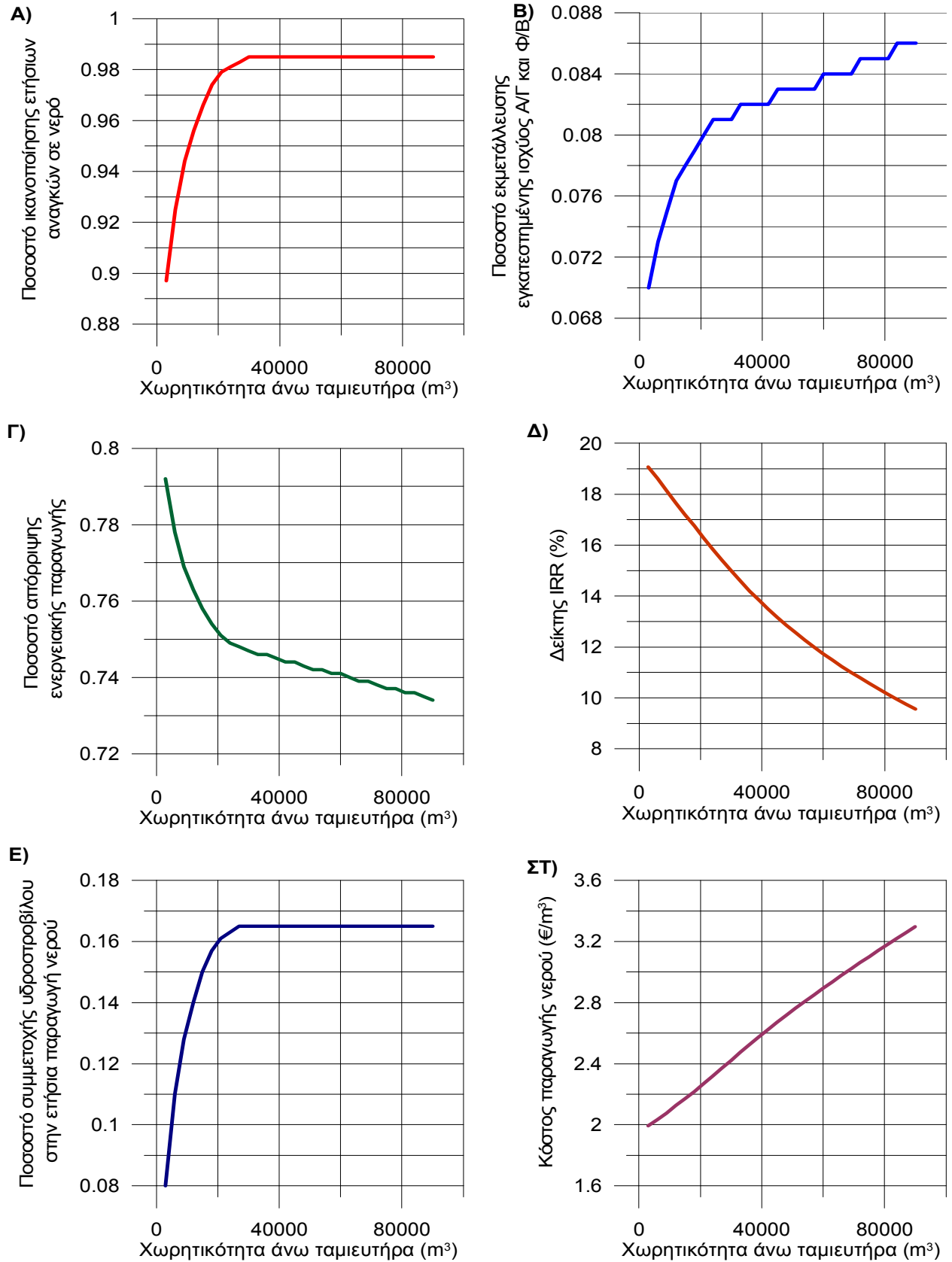
Πίνακας 6.4 Παράμετροι λειτουργίας & σχεδιασμού

Για το λόγο αυτό, μεταβάλλοντας την τιμή κάθε παραμέτρου ξεχωριστά έχοντας ως περίπτωση αναφοράς την εφαρμογή που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη υποενότητα, εκτελούμε τον κώδικα διαδοχικά, και αναλύουμε την μεταβολή των εξής σημαντικών δεικτών αξιολόγησης:

- Ποσοστό ικανοποίησης αναγκών σε νερό, VD
- Ποσοστό εκμετάλλευσης εγκατεστημένης ισχύος A/Γ και Φ/Β, PWU
- Ποσοστό απόρριψης συνολικής ενεργειακής παραγωγής, UD
- Ποσοστό συμμετοχής υδροστροβίλου στην τροφοδοσία της αφαλάτωσης, DT
- Κόστος παραγωγής νερού, WPC
- Δείκτης IRR , IRR

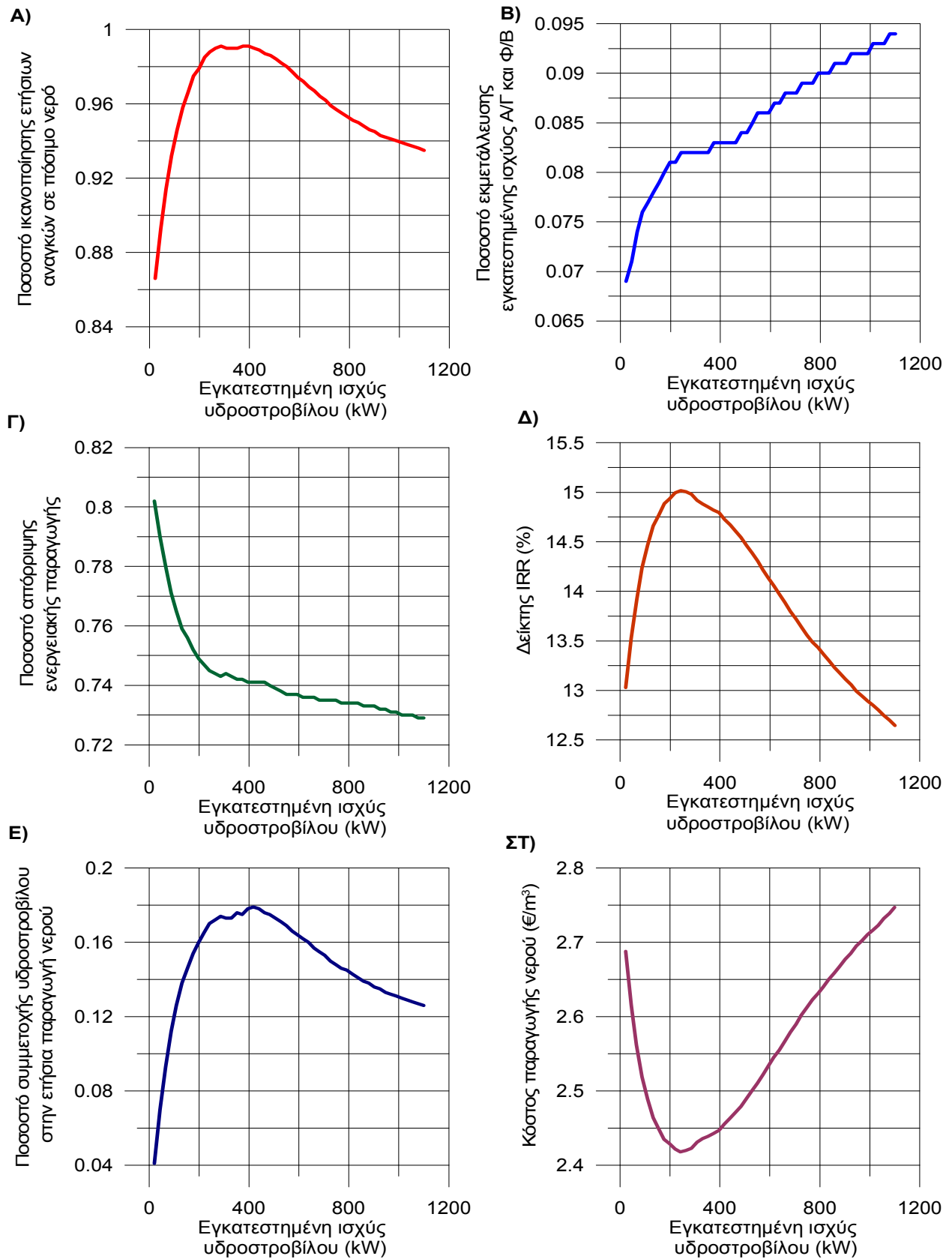
Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα των δεικτών για κάθε παράμετρο ξεχωριστά, παραθέτοντας στην τελευταία υποενότητα κάποια σχόλια. Να σημειώσουμε ότι στην τελευταία παράμετρο (τιμή πώλησης νερού) μελετώνται οι οικονομικοί δείκτες, λόγω του ότι η παράμετρος δεν έχει επίδραση στη λειτουργία του συστήματος. Τέλος, οι δείκτες αξιολόγησης που είναι ποσοστά είναι ανηγμένοι στη μονάδα στα παρακάτω παραμετρικά διαγράμματα.

6.3.1 Χωρητικότητα άνω ταμιευτήρα



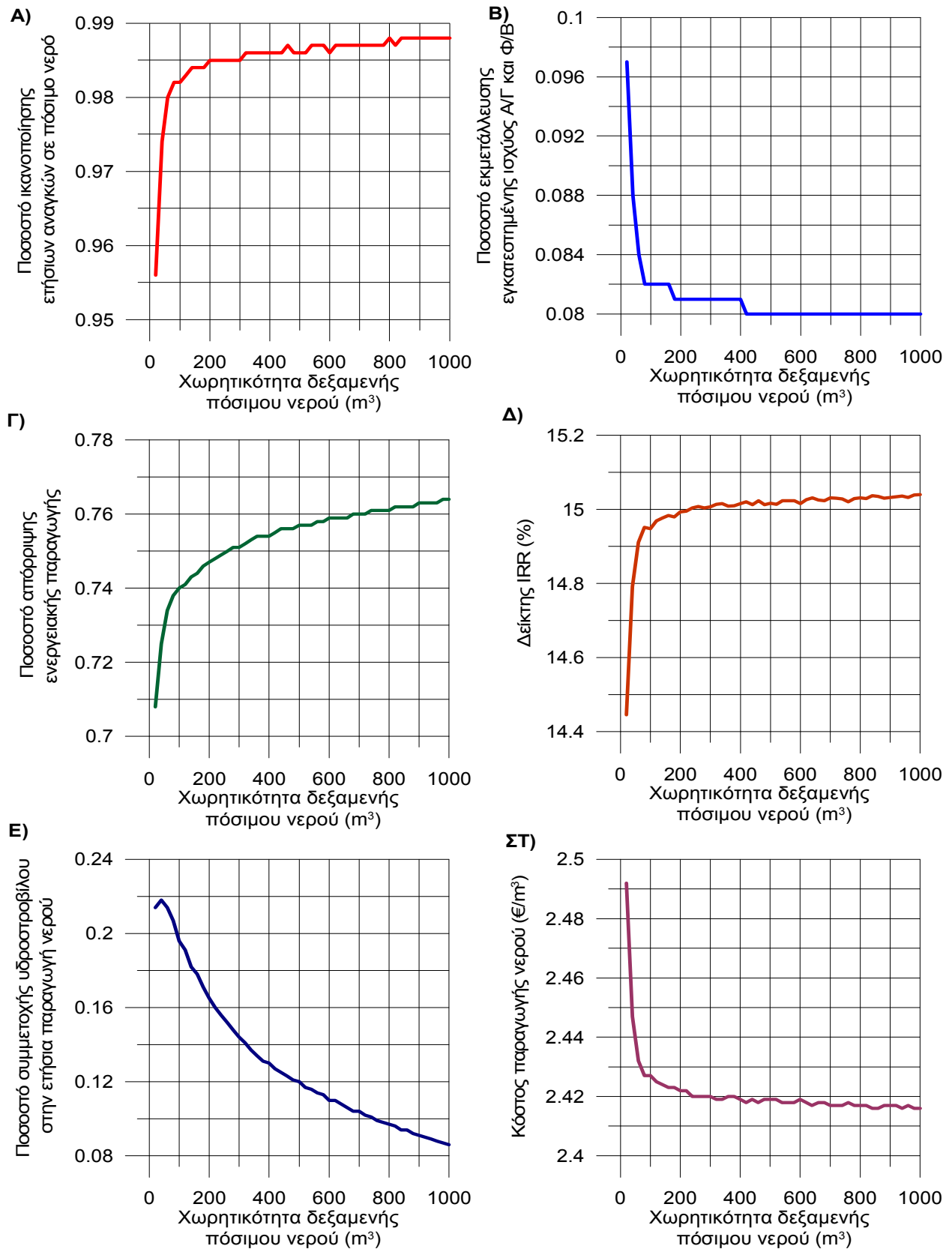
Σχήμα 6.55 Επίδραση χωρητικότητα άνω ταμιευτήρα

6.3.2 Εγκατεστημένη ισχύς υδροτροβίλου



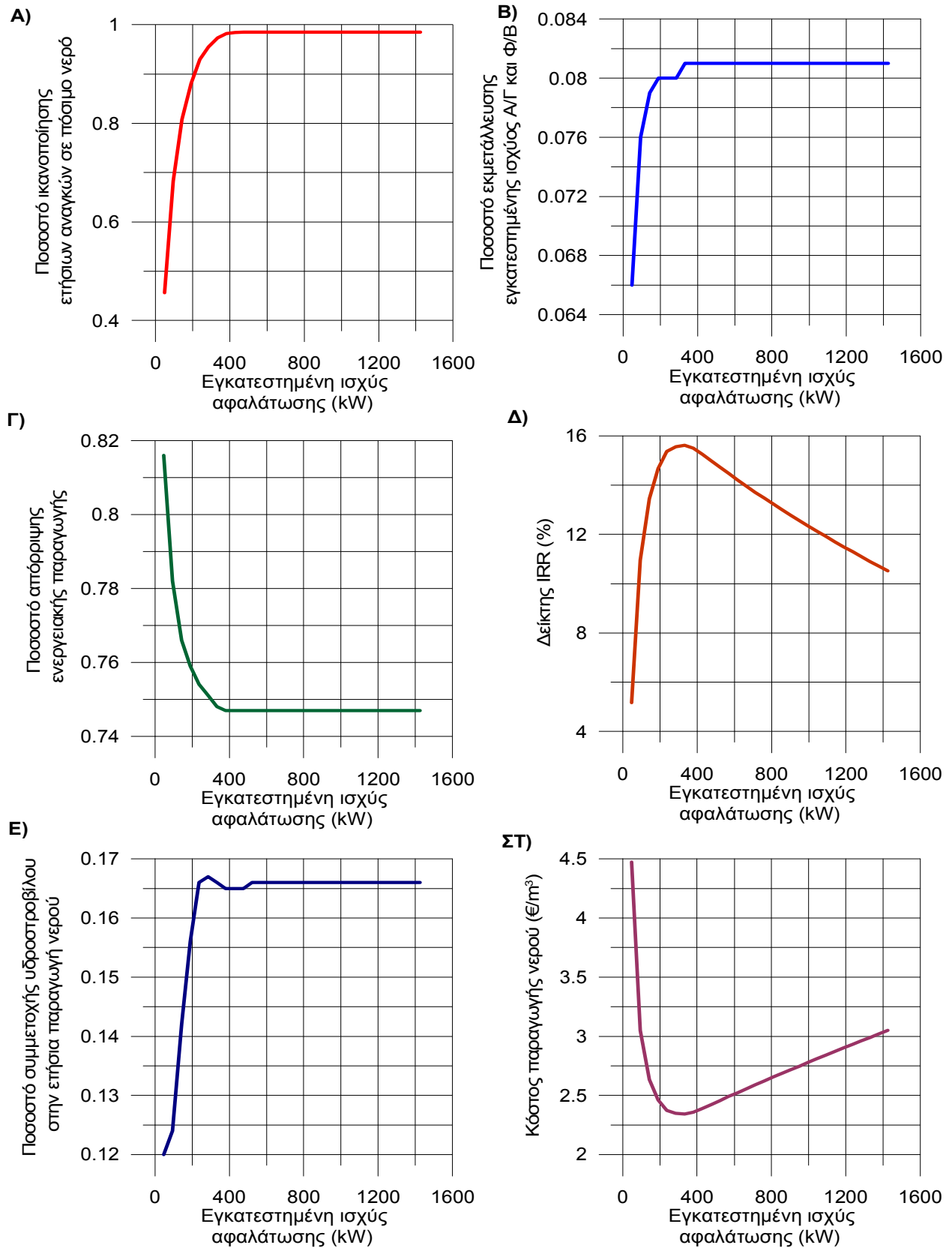
Σχήμα 6.56 Επίδραση εγκατεστημένης ισχύος υδροτροβίλου

6.3.3 Χωρητικότητα δεξαμενής πόσιμου νερού



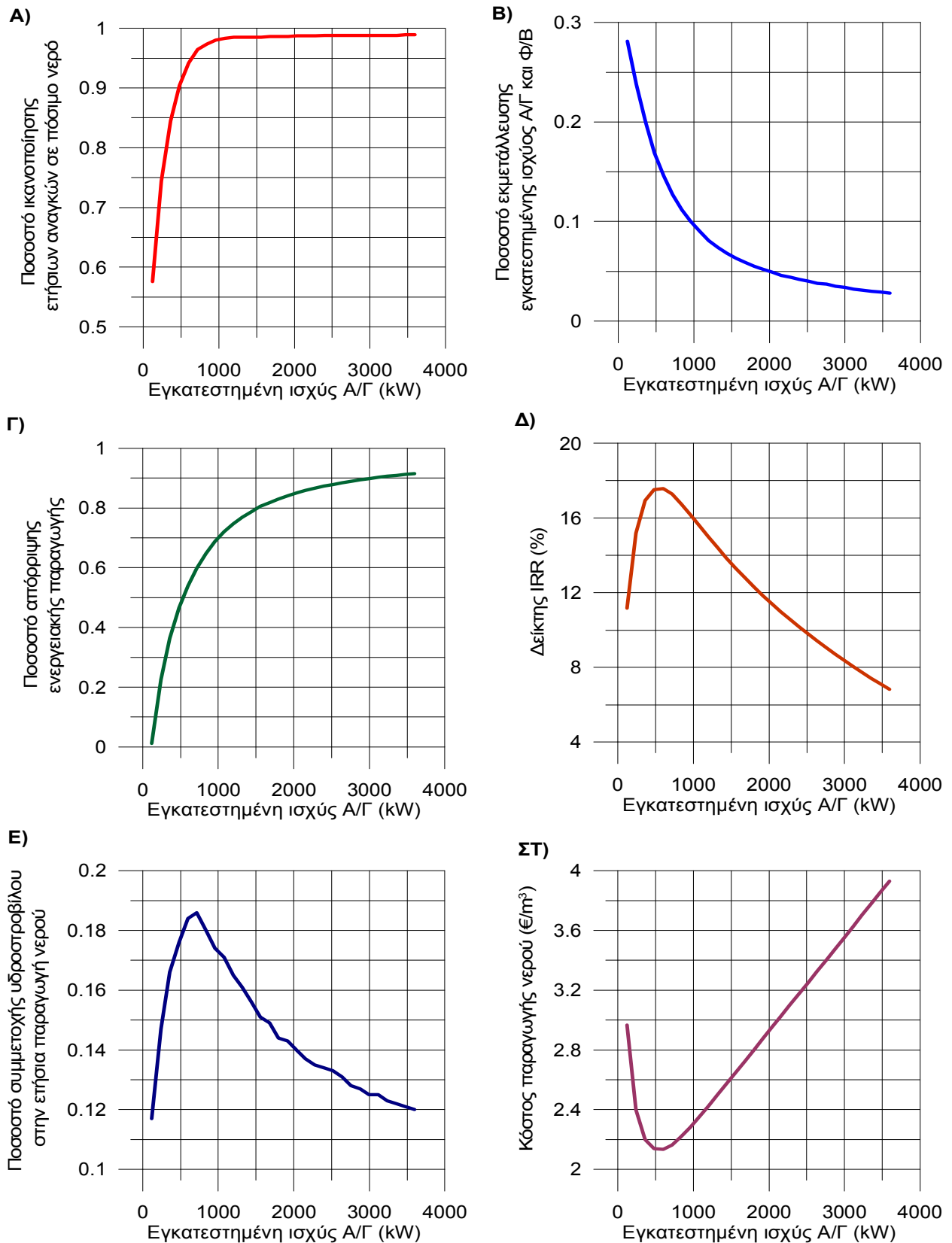
Σχήμα 6.57 Επίδραση χωρητικότητας δεξαμενής πόσιμου νερού

6.3.4 Εγκατεστημένη ισχύς αφαλάτωσης



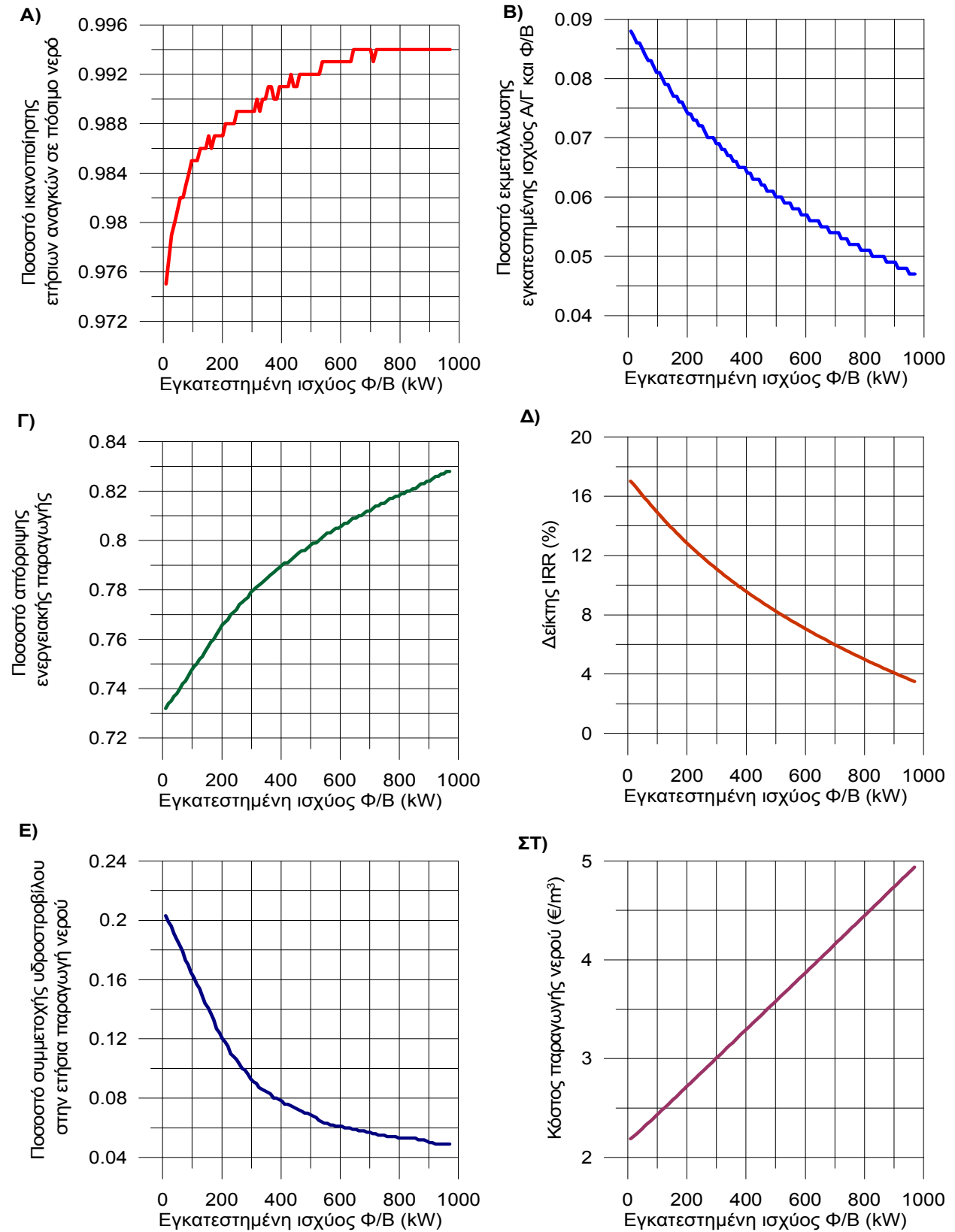
Σχήμα 6.58 Επίδραση εγκατεστημένης ισχύος αφαλάτωσης

6.3.5 Εγκατεστημένη ισχύς ανεμογεννητριών



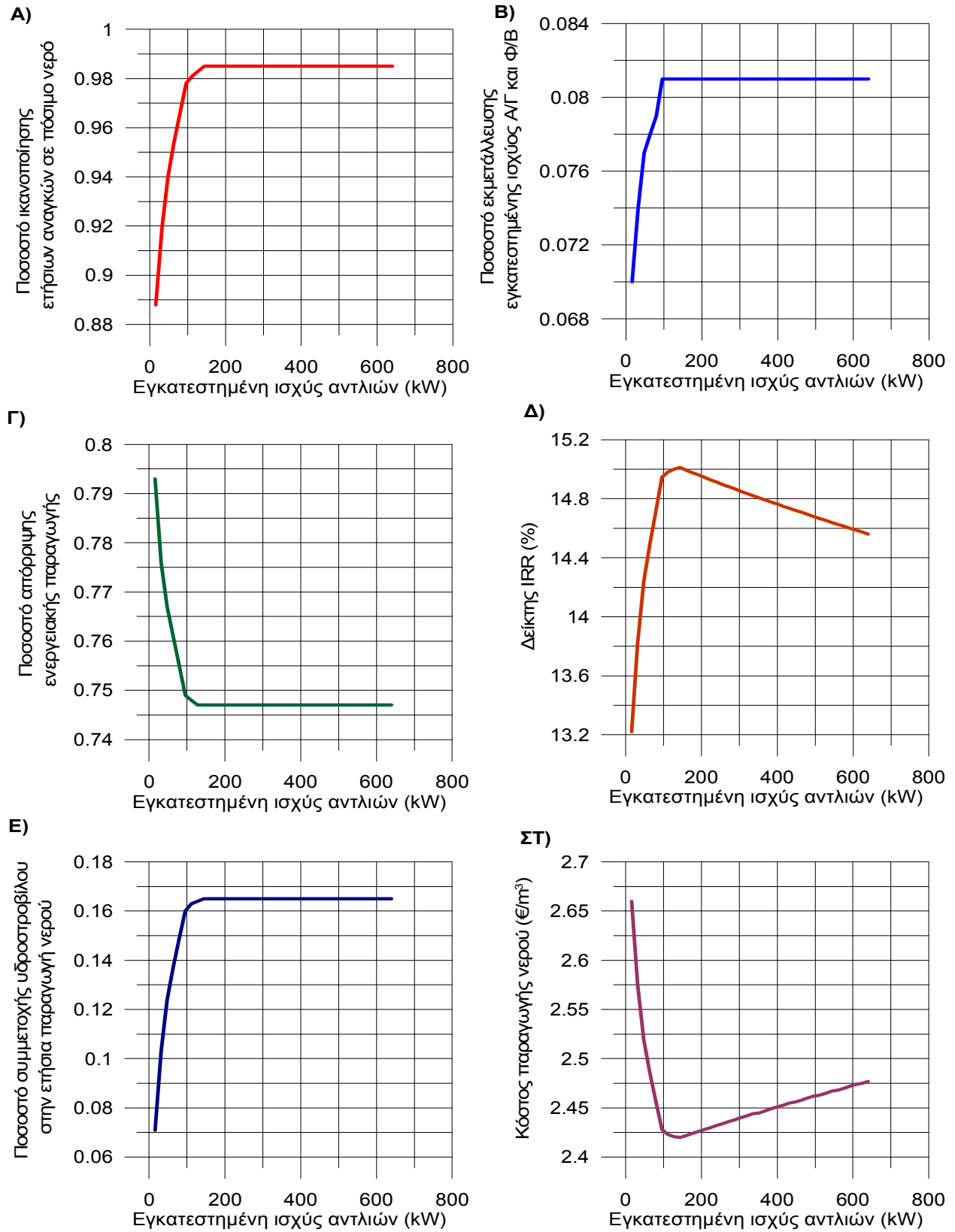
Σχήμα 6.59 Επίδραση εγκατεστημένης ισχύος Α/Γ

6.3.6 Εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών



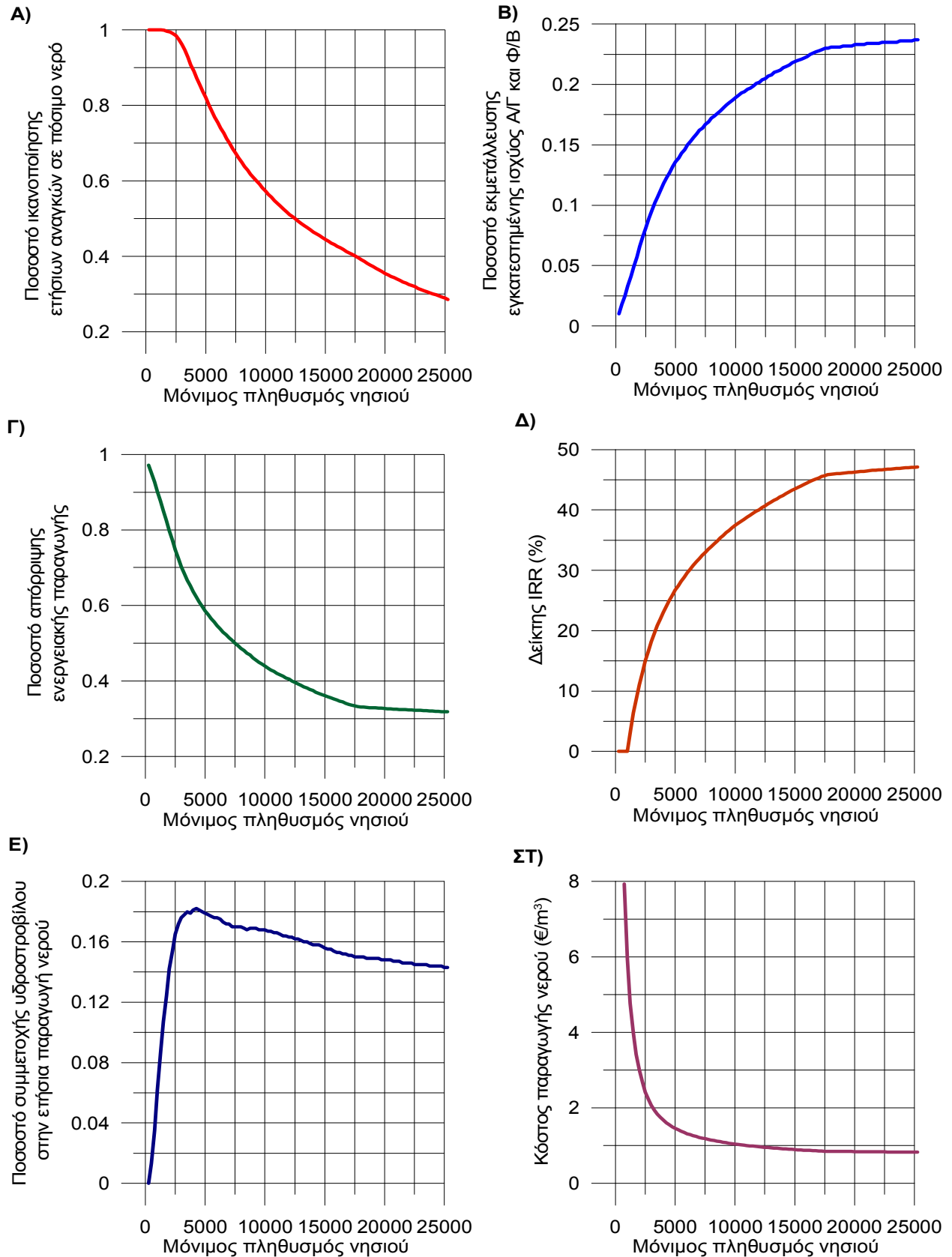
Σχήμα 6.60 Επίδραση εγκατεστημένης ισχύος Φ/Β

6.3.7 Εγκατεστημένη ισχύς αντλιών



Σχήμα 6.61 Επίδραση εγκατεστημένης ισχύος αντλιών

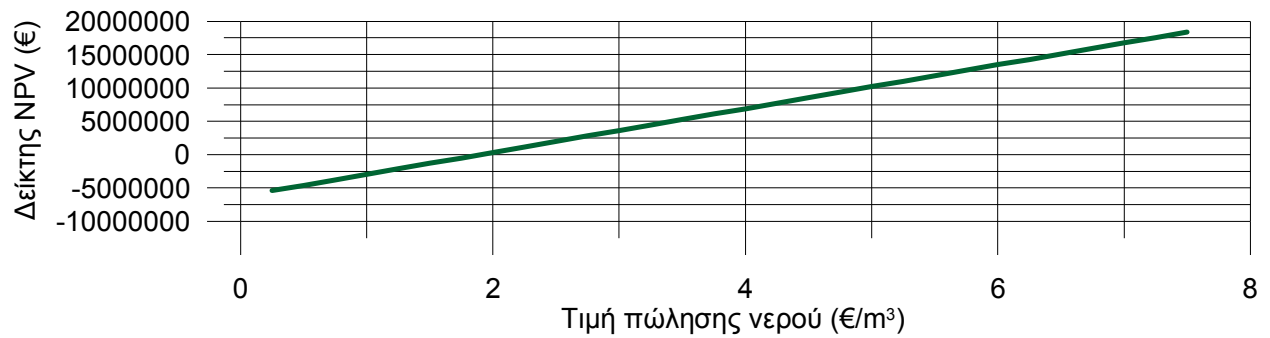
6.3.8 Μόνιμος πληθυσμός νησιού



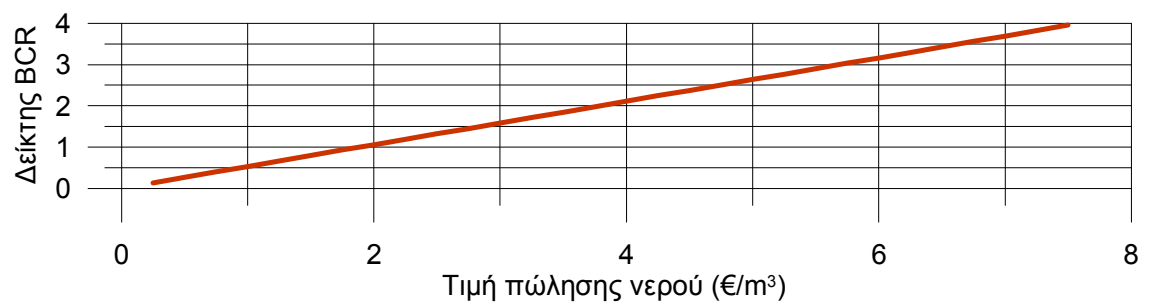
Σχήμα 6.62 Επίδραση μόνιμου πληθυσμού νησιού

6.3.9 Τιμή πώλησης μονάδας όγκου πόσιμου νερού

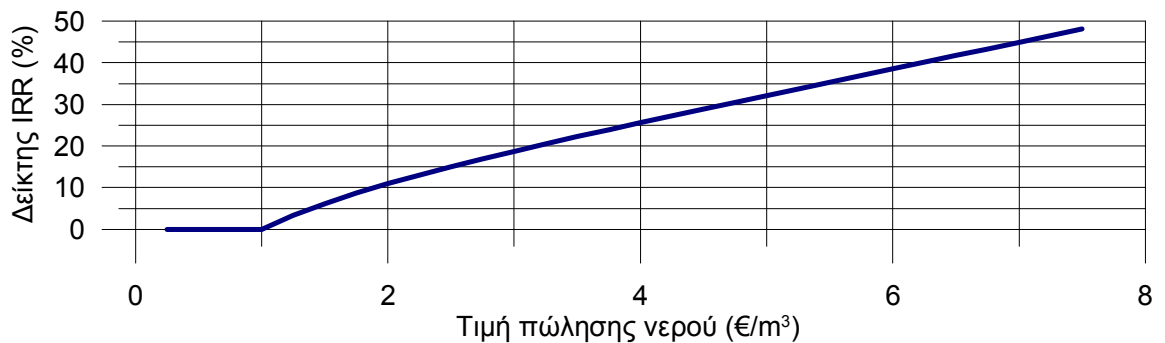
A)



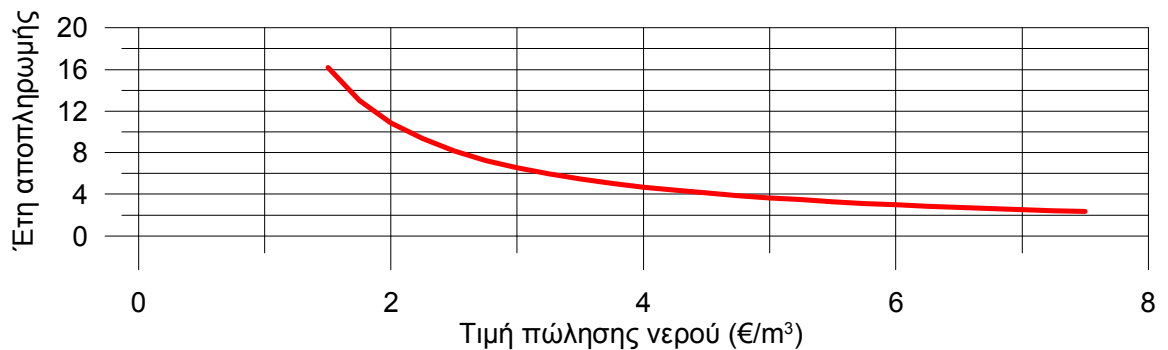
B)



Γ)



Δ)



Σχήμα 6.63 Επίδραση τιμής πώλησης μονάδας όγκου πόσιμου νερού

6.3.10 Σχολιασμός παραμετρικών διαγραμμάτων

Χωρητικότητα άνω ταμιευτήρα (Σχήμα 6.55)

Είναι ορατό ότι από μια συγκεκριμένη τιμή της τάξεως των 22.000 m³ περίπου, έχουμε ελαχιστοποίηση του ποσοστού ικανοποίησης των ετήσιων αναγκών σε πόσιμο νερό στο 98,5%, και συγχρόνως τη μεγιστοποίηση της συμμετοχής του υδροστροβίλου στην ετήσια τροφοδοσία της αφαλάτωση (16.5%). Ακόμα από αυτή την τιμή και μετά, ομαλοποιείται η μείωση του ποσοστού απόρριψης της ενεργειακής παραγωγής, η οποία είναι αντιστρόφως ανάλογη με τη χωρητικότητα του ταμιευτήρα. Σχετικά με τον συντελεστή εκμετάλλευσης της εγκατεστημένης ισχύος Α/Γ και Φ/Β, η αύξηση που παρατηρείται είναι αρκετά μικρή της τάξεως του 1.5% για το εύρος της μεταβολής της παραμέτρου. Βέβαια, όπως αναμενόταν, η αύξηση του μεγέθους του ταμιευτήρα αυξάνει το κόστος παραγωγής και μειώνει το δείκτη IRR, σχεδόν γραμμικά. Η τιμή που έχει επιλεγεί στην περίπτωση αναφοράς κρίνεται ικανοποιητική.

Εγκατεστημένη ισχύς υδροστροβίλου (Σχήμα 6.56)

Μελετώντας τα διαγράμματα της παραμέτρου, μπορούμε να πούμε ότι για μια συγκεκριμένη, σχετικά μικρή, περιοχή τιμών ισχύος υδροστροβίλου από 200 μέχρι 400 kW παρουσιάζονται τα βέλτιστα δυνατά αποτελέσματα για τους δείκτες αξιολόγησης. Στη συγκεκριμένη περιοχή τιμών έχουμε ελαχιστοποίηση του ποσοστού ικανοποίησης των ετήσιων αναγκών σε πόσιμο νερό και του κόστους παραγωγής, καθώς και μεγιστοποίηση της συνεισφοράς του υδροστροβίλου στο σύστημα και του οικονομικού δείκτη IRR (15%). Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι το ποσοστό ικανοποίησης των αναγκών λαμβάνει τη μέγιστη τιμή του (99%) για εγκατεστημένη ισχύ υδροστροβίλου όπου μεγιστοποιείται η συμμετοχή του υδροστροβίλου στην τροφοδοσία της αφαλάτωσης (18%). Ακόμα, ο συντελεστής εκμετάλλευσης ισχύος Α/Γ και Φ/Β έχει αμελητέα μεταβολή. Τέλος, η απόρριψη της ενεργειακής παραγωγής μειώνεται πιο ομαλά από αυτή την περιοχή και μετά. Η επιλογή της ισχύος του υδροστροβίλου στο παράδειγμα βρίσκεται εντός των ορίων της αποδεκτής περιοχής.

Χωρητικότητα δεξαμενής πόσιμου νερού (Σχήμα 6.57)

Η χρήση δεξαμενή πόσιμου νερού αποτελεί εμπόδιο στη διεύδυση του συστήματος της αντλησιοταμίευσης στη λειτουργία του συστήματος. Μάλιστα αυξάνοντας τη χωρητικότητα της μειώνεται η συμμετοχή του υδροστροβίλου στην παραγωγή νερού. Ενδεικτικά για αρκετά μικρή χωρητικότητα δεξαμενής πόσιμου νερού η συμμετοχή υδροστροβίλου ανέρχεται στο 22%. Ακόμα, μετά από κάποια τιμή της χωρητικότητας έχουμε σταθεροποίηση του ποσοστού ικανοποίησης των ετήσιων αναγκών σε πόσιμο νερό στο 98.5-99% , και σε μικρή σχετικά αύξηση της απόρριψης της ενεργειακής παραγωγής, Ο συντελεστής εκμετάλλευσης ισχύος Α/Γ και Φ/Β δεν μειώνεται ουσιαστικά και σταθεροποιείται στο 8% μετά από συγκεκριμένη τιμή της χωρητικότητας της δεξαμενής (400 m³). Τέλος, δεν έχει σοβαρή επίδραση στους οικονομικούς δείκτες αφού το κόστος παραγωγής κυμαίνεται από 2,4 έως 2,5 €/m³, ενώ ο δείκτης IRR είναι

της τάξεως του 14-15%. Η επιλογή της τιμής της παραμέτρου εξαρτάται από τον δείκτη που θέλουμε να βελτιστοποιήσουμε.

Εγκατεστημένη ισχύς αφαλάτωσης (Σχήμα 6.58)

Από τα διαγράμματα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι εμφανίζεται μια περιοχή τιμή της παραμέτρου (300-400kW) όπου οι τεχνικοί δείκτες έχουν τα βέλτιστα αποτελέσματα. Περαιτέρω αύξηση της ισχύος της αφαλάτωσης όχι μόνο δεν έχει καμία επίδραση στους τεχνικούς δείκτες αξιολόγησης όπως η συμμετοχή του στροβίλου στην τροφοδοσία της αφαλάτωσης (16,5%) και το ποσοστό ικανοποίησης αναγκών σε πόσιμο νερό (99%) αλλά και επηρεάζει αρνητικά τους οικονομικούς δείκτες όπως ο δείκτης IRR (15,5%) και το κόστος παραγωγής νερού (2,3 €/m³). Ο συντελεστής εκμετάλλευσης ισχύος Α/Γ και Φ/Β και το ποσοστό ενεργειακής απόρριψης λαμβάνουν τις βέλτιστες τιμές τους στην ίδια περιοχή τιμών της παραμέτρου με 8,1% και 74,8% αντίστοιχα. Η επιλογή που έχει γίνει στο παράδειγμα κρίνεται αποδεκτή.

Εγκατεστημένη ισχύς ανεμογεννητριών (Σχήμα 6.59)

Εύκολα μπορούμε να αντιληφθούμε ότι η αύξηση της ισχύος των Α/Γ πέρα από μια συγκεκριμένη περιοχή τιμών (500-600 kW) δεν έχει ουσιαστική επίδραση στο ποσοστό ικανοποίησης των ετήσιων αναγκών σε πόσιμο νερό λαμβάνοντας τη μέγιστη τιμή του 96%. Στη συγκεκριμένη περιοχή τιμών ο συντελεστής εκμετάλλευσης ισχύος Α/Γ και Φ/Β είναι της τάξεως του 15%, που είναι μια αρκετά ικανοποιητική τιμή για το δείκτη. Επίσης, οι οικονομικοί δείκτες, όπως ο δείκτης IRR (17%) και το κόστος παραγωγής νερού (2,15 €/m³) καθώς και η συμμετοχή του υδροστροβίλου στην ετήσια τροφοδοσία της αφαλάτωσης (18,5%) εμφανίζουν βέλτιστες τιμές για την ίδια περιοχή τιμών ισχύος. Όπως ήταν αναμενόμενο η απόρριψη της ενεργειακής παραγωγής μεταβάλλεται ανάλογα με την ισχύ των ανεμογεννητριών και αποκτά τιμή της τάξεως του 52% για τη συγκεκριμένη περιοχή τιμών της παραμέτρου. Η επιλογή της τιμής της παραμέτρου εξαρτάται από την προτεραιότητα βελτιστοποίησης των δεικτών. Στην περίπτωση μας, θα μπορούσαμε να είχαμε καλύτερες τιμές οικονομικών δεικτών και μεγιστοποίηση της συμμετοχής του υδροστροβίλου με μια μείωση της παραμέτρου στα 600 kW.

Εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών (Σχήμα 6.60)

Συγκριτικά με την ισχύ των ανεμογεννητριών, η ισχύς των φωτοβολταϊκών έχει πιο άμεση επίδραση στο ποσοστό ικανοποίησης των ετήσιων αναγκών σε πόσιμο νερό (άμεση απόκτηση βέλτιστης τιμής, 99%). Η συμμετοχή του υδροστροβίλου στην τροφοδοσία της αφαλάτωσης μειώνεται σχεδόν γραμμικά με την αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος Φ/Β λόγω του ότι η παραγωγή τους συμπύπτει με τις ώρες που εμφανίζονται ανάγκες και δεν απαιτείται η λειτουργία του υδροστροβίλου. Ακόμα, η αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος των Φ/Β, επηρεάζει αρνητικά (γραμμική μείωση) το ποσοστό εκμετάλλευσης της εγκατεστημένης ισχύος Α/Γ και Φ/Β, και τον δείκτη IRR. Τέλος, παρότι αυξάνεται το ποσοστό ικανοποίησης των αναγκών σε νερό, εντούτοις, η αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος των Φ/Β, οδηγεί σε γραμμική αύξηση του

κόστους παραγωγής, εξ' αιτίας του αρκετά μεγάλου κόστους επένδυσης ανά kW των φωτοβολταϊκών. Καταλήγουμε, λοιπόν, στο ότι η επιλογή της εγκατεστημένης ισχύος Φ/Β θα γίνει βάσει του απαιτούμενου ποσοστού ικανοποίησης των αναγκών με ταυτόχρονη αποδοχή χειρότερων αποτελεσμάτων για τους υπόλοιπους δείκτες.

Εγκατεστημένη ισχύς αντλιών (Σχήμα 6.61)

Μπορούμε να αντιληφθούμε ότι από τα διαγράμματα προκύπτει μια βέλτιστη περιοχή τιμών (150-170 kW) για την αντλητική ισχύ, όπου οι υπό μελέτη δείκτες εμφανίζουν τα καλύτερα αποτελέσματα. Οι τεχνικοί δείκτες παραμένουν σταθεροί με περαιτέρω αύξηση της τιμής της παραμέτρου. Έτσι, το ποσοστό ικανοποίησης των ετήσιων αναγκών σε νερό φτάνει μέχρι την τιμή του 98,5%, το ποσοστό απόρριψης της παραγόμενης ενέργειας ελαχιστοποιείται στο 74,6%, ενώ η συμμετοχή του υδροστροβίλου στην τροφοδοσία της αφαλάτωσης λαμβάνει τη μέγιστη τιμή του 16,5%. Ο συντελεστής εκμετάλλευσης της ισχύος των Α/Γ και των Φ/Β σταθεροποιείται στο 8,1%, έπειτα από γραμμική αύξηση. Αντίθετα, οι οικονομικοί δείκτες επηρεάζονται αρνητικά. Ο δείκτης IRR παρουσιάζει μέγιστο στο 15%, ενώ το κόστος παραγωγής πόσιμου νερού ελαχιστοποιείται στο 2,42€/m³. Η επιλογή της παραμέτρου στην εφαρμογή μας κρίνεται ορθή.

Μόνιμος πληθυσμός νησιού (Σχήμα 6.62)

Χρήσιμο συμπέρασμα για την συγκεκριμένη παράμετρο είναι το ότι έχουμε μείωση του κόστους παραγωγής με την αύξηση του πληθυσμού και ουσιαστικά των αναγκών. Αυτό συμβαίνει γιατί το σύστημα εκμεταλλεύεται σε μεγαλύτερο βαθμό τις δυνατότητες του. Ακόμα, μπορούμε να πούμε για ποιο μέγεθος νησιού θα ήταν κατάλληλος ο συνδυασμός παραμέτρων της περίπτωσης αναφοράς. Στο παράδειγμα μας, ο συνδυασμός που χρησιμοποιήθηκε θα ήταν λειτουργικά κατάλληλος (ποσοστό ικανοποίησης αναγκών σε νερό, 100%) για ένα νησί με μόνιμο πληθυσμό των 1500 κατοίκων με 18,5% συμμετοχή του υδροστροβίλου στην τροφοδοσία της αφαλάτωσης, αλλά το κόστος παραγωγής θα ήταν πολύ αυξημένο (6 €/m³) και η επένδυση οικονομικά μη βιώσιμη (IRR<10%). Βέβαια, δεν πρέπει να αποκλείουμε το γεγονός να υπάρχουν συνδυασμοί τιμών παραμέτρων που ίσως ήταν καταλληλότεροι για τον συγκεκριμένο αριθμό μόνιμων κατοίκων, αποτελώντας συγχρόνως μια οικονομικά βιώσιμη επένδυση.

Τιμή πώλησης μονάδας όγκου πόσιμου νερού (Σχήμα 6.63)

Από τους οικονομικούς δείκτες που μελετώνται, μπορούμε να αποφανθούμε ότι η επένδυση είναι οικονομικά βιώσιμη, με τους όρους που αναλύθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο, για τιμή πώλησης νερού 2 €/m³ και ανώτερη. Η συγκεκριμένη τιμή είναι απόλυτα αποδεκτή αφού είναι αρκετά μικρότερη αυτής της υφιστάμενης κατάστασης (μεταφορά νερού με πλοία). Ενδεικτικά μπορούμε να αναφέρουμε ότι για τιμή πώλησης του πόσιμου νερού τα 3 €/m³, προκύπτει NPV=3.250.000 €, ο δείκτης BCR έχει τιμή 1,5 και ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης IRR είναι 18% περίπου. Ακόμα τα έτη αποπληρωμής του έργου ανέρχονται στα 6,5. Σχετικά με το διάγραμμα των ετών αποπληρωμής, κρίθηκε σκόπιμο να μην συμπεριληφθούν τιμές πώλησης

Κεφάλαιο 6^ο – Αποτελέσματα Προσομοίωσης Λειτουργίας του Συστήματος

του πόσιμου νερού μικρότερες του $1,5 \text{ €/m}^3$, αφού προκύπτουν έτη αποπληρωμής ανώτερα των 20, που δεν είναι αποδεκτή τιμή για μια επένδυση. Τέλος, δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι ο συγκεκριμένος συνδυασμός παραμέτρων αποτελεί μια τυχαία επιλογή και δεν είναι η βέλτιστη δυνατή. Οπότε, υπάρχει περίπτωση να προκύπτουν ακόμα καλύτερα αποτελέσματα για τους οικονομικούς δείκτες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο – ΒΕΛΤΙΣΤΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

7.1 Εισαγωγή

Το παρόν κεφάλαιο είναι ουσιαστικά το τελευταίο μέρος αυτής της διπλωματικής εργασίας. Τα αποτελέσματα της μελέτης, που αναλύονται παρακάτω, αποτελούν το πιο σημαντικό κομμάτι της εργασίας, αφού βάσει αυτών θα εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την απόδοση και την οικονομική βιωσιμότητα υβριδικών συστημάτων με τον βέλτιστο σχεδιασμό.

Η ανάλυση μιας εφαρμογής του υπολογιστικού κώδικα, όπως αυτή έγινε στο κεφάλαιο 6, είχε ως στόχο την μελέτη της αλληλεπίδρασης των υποσυστημάτων ενός, τυχαίων τιμών παραμέτρων, συστήματος σε διάφορες χρονικές περιόδους ενός έτους και την παρουσίαση των τιμών των διάφορων δεικτών αξιολόγησης του. Στη συνέχεια, για να αποκτήσουμε μια γενική άποψη σχετικά με την επίδραση της κάθε παραμέτρου στους δείκτες αξιολόγησης του συστήματος, προχωρήσαμε στην παραμετρική μελέτη του συστήματος (υποενότητα 6.3). Έτσι, όμως, δεν μπορούμε να αποφανθούμε για τους βέλτιστους, οικονομικά και λειτουργικά, συνδυασμούς παραμέτρων του συστήματος, και οι οποίοι θα μπορούσαν να αποτελέσουν προτάσεις της παρούσας εργασίας, αφού οι παράμετροι του συστήματος όχι μόνο επιδρούν στη λειτουργία του συστήματος αλλά και αλληλεπιδρούν. Όπως είναι κατανοητό, η μελέτη της επίδρασης των παραμέτρων του συστήματος, τόσο μεταξύ τους όσο και στην τεχνική και οικονομική αξιολόγηση του συστήματος συγχρόνως, δεν μπορεί να γίνει χειροκίνητα ή έστω με απλή μετατροπή του υπολογιστικού κώδικα. Προκειμένου, λοιπόν, να προτείνουμε κάποιους βέλτιστους συνδυασμούς ανάλογα με το/τους στόχο/ους (ελαχιστοποίηση ή μεγιστοποίηση συγκεκριμένων δεικτών αξιολόγησης), χρησιμοποιήσαμε το πρόγραμμα βελτιστοποίησης «EASY».

Το πρόγραμμα βελτιστοποίησης «EASY», αναπτύχθηκε από την ερευνητική ομάδα του εργαστηρίου των Θερμικών Στροβιλομηχανών της σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. Εν συντομία, ο «EASY» είναι ένα πρόγραμμα βελτιστοποίησης που είναι σε θέση να υπολογίσει την βέλτιστη λύση (βελτιστοποίηση ενός στόχου) ή τις βέλτιστες λύσεις (βελτιστοποίηση πολλαπλών στόχων) μέσω γενικευμένων εξελικτικών αλγορίθμων. Κάποια γενικά στοιχεία σχετικά με τους εξελικτικούς αλγορίθμους και τον «EASY» θα δοθούν στην υποενότητα 7.2.

Στην υποενότητα 7.3, παρατίθενται οι βέλτιστοι συνδυασμοί παραμέτρων που προέκυψαν από την εφαρμογή του «EASY» στον υπολογιστικό κώδικα. Μελετώνται περιπτώσεις βελτιστοποίησης τόσο για απλούς (ελαχιστοποίηση ενός δείκτη αξιολόγησης), όσο και για διπλούς στόχους (ταυτόχρονη βελτιστοποίηση δύο δεικτών αξιολόγησης). Συγχρόνως, η ανάλυση των αποτελεσμάτων μας οδηγεί στην ανάγκη για εξακρίβωση της επίδρασης διαφόρων

χαρακτηριστικών των υποσυστημάτων. Έτσι, εξάγονται οι βέλτιστες περιπτώσεις για ένα εύρος τιμών κάποιου χαρακτηριστικού και μελετάται η μεταβολή των παραμέτρων του συστήματος σε αυτές.

Τέλος, η ανάλυση των αποτελεσμάτων της βελτιστοποίησης θα μας βοηθήσει στο να βγάλουμε κάποια χρήσιμα συμπεράσματα για τη λειτουργία αυτόνομων υβριδικών συστημάτων αφαλάτωσης καθώς και για το βαθμό συνεισφοράς των υποσυστημάτων στην συνολική απόδοση του συστήματος. Έτσι, θα μπορέσουμε να αποφανθούμε για το αν και υπό ποιες προϋποθέσεις το προτεινόμενο σύστημα είναι δυνατόν να αποτελέσει μια εφαρμόσιμη και οικονομικά συμφέρουσα λύση για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας στα άνυδρα νησιά του Αιγαίου.

7.2 Θεωρητικά στοιχεία για τη βελτιστοποίηση

7.2.1 Εισαγωγή

Θεωρήθηκε αναγκαίο, πριν παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης του υπολογιστικού κώδικα προσομοίωσης του υβριδικού συστήματος αφαλάτωσης, να γίνει μια σύντομη περιγραφή του εφαρμοζόμενου, από το πρόγραμμα βελτιστοποίησης, τύπου αλγόριθμου και να δοθούν κάποια γενικά στοιχεία σχετικά με το πρόγραμμα βελτιστοποίησης που χρησιμοποιήθηκε.

Η θεωρητική περιγραφή της μεθόδου βελτιστοποίησης που γίνεται στην υποενότητα 7.2.2 έχει ως στόχο να δώσει μια γενική άποψη σχετικά με τη φιλοσοφία της βελτιστοποίησης. Μια εκτεταμένη ανάλυση της μεθόδου βελτιστοποίησης που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα θα ήταν εκτός των ορίων της διπλωματικής εργασίας.

Στην υποενότητα 7.2.3 περιγράφεται, σε γενικές γραμμές, το λογισμικό βελτιστοποίησης «EASY» και αναλύονται τα βήματα που ακολουθήθηκαν κατά την χρήση του.

7.2.2 Εξελικτικοί αλγόριθμοι βελτιστοποίησης

Από τη δεκαετία του 1990 και έκτοτε, η γεωμετρική αύξηση της υπολογιστικής ισχύος και το προσιτό κόστος των μεγάλων και γρήγορων υπολογιστών συνετέλεσαν στην ευρεία αποδοχή και χρήση των στοχαστικών μεθόδων με έναν από τους βασικότερους εκπροσώπους τους εξελικτικούς αλγόριθμους βελτιστοποίησης. Βασικό στοιχείο που οδήγησε στη γρήγορη και ευρεία επικράτηση τους ήταν αφενός το ενδιαφέρον, μη-μαθηματικό υπόβαθρο τους, η ευκολία με την οποία προσαρμόζονται σε κάθε νέο πρόβλημα αρκεί να υπάρχει προγραμματισμένο λογισμικό αξιολόγησης κάθε υποψήφιας λύσης και, κυρίως, η δυνατότητα τους να μην εγκλωβίζονται σε τοπικά ακρότατα. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα τους είναι ότι, πρακτικά, σε ένα νέο πρόβλημα η χρήση τους είναι γενικά άμεση χωρίς παρεμβάσεις στη διαδικασία

βελτιστοποίησης, κάτι που όμως επιβραδύνει το ρυθμό σύγκλισης. Έτσι, βασικό τους μειονέκτημα είναι η απαίτηση μεγάλου αριθμού αξιολογήσεων για τον εντοπισμό της βέλτιστης λύσης. Βασικό γνώρισμα των εξελικτικών αλγορίθμων είναι ότι χειρίζονται πληθυσμούς υποψήφιων λύσεων και όχι μια μεμονωμένη λύση σε κάθε επανάληψη. Μάλιστα, ενώ αρχικά αναπτύχθηκαν για την επίλυση προβλημάτων ενός στόχου, με κατάλληλες μετατροπές μπορούν να αντιμετωπίσουν προβλήματα πολλών στόχων, δίνοντας ένα σύνολο λύσεων.

Με τον όρο «εξέλιξη» χαρακτηρίζουμε την αυτόματη διαδικασία της προσαρμογής κάθε συστήματος στο περιβάλλον. Ο όρος «περιβάλλον» περιλαμβάνει το σύνολο των εξωτερικών συνθηκών που επηρεάζουν το σύστημα. Οι εξελικτικοί αλγόριθμοι είναι υπολογιστικά μοντέλα τα οποία με χρήση αντίστοιχης με τη φύση διαδικασίας προσαρμογής στο περιβάλλον, επιλύουν προβλήματα. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούν στοχαστικούς μηχανισμούς εξέλιξης προερχόμενους από τη φύση και βασίζονται στις αρχές εξέλιξης των ειδών όπως αυτές διατυπώθηκαν αρχικά από το Δαρβίνο, περί το 1960. Οι εξελικτικοί αλγόριθμοι προσομοιώνουν μερικώς και με απλουστευμένο τρόπο την εξέλιξη των φυσικών πληθυσμών. Σύμφωνα με τη θεωρία του Δαρβίνου, τα άτομα ενός πληθυσμού συναγωνίζονται για την απόκτηση πόρων όπως στέγη, τροφή και για την προσέλευση συντρόφου. Τα επιτυχημένα άτομα έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να διαιωνισθούν. Αυτή η φυσική επιλογή, σημαίνει ότι τα γονίδια των επιτυχημένων ατόμων ή των ατόμων που έχουν προσαρμοστεί καλύτερα στο περιβάλλον επιβιώνουν και με την πάροδο των γενεών τα χαρακτηριστικά τους μεταφέρονται σε μεγαλύτερο αριθμό απογόνων. Ο συνδυασμός καλών χαρακτηριστικών από διαφορετικούς επιτυχημένους γονείς ενδεχόμενα να παράγει απογόνους με χαρακτηριστικά καλύτερα από αυτά των γονέων. Με τον τρόπο αυτό οι φυσικοί πληθυσμοί εξελίσσονται και προσαρμόζονται στο εκάστοτε περιβάλλον.

Αντίστοιχα, οι εξελικτικοί αλγόριθμοι χειρίζονται πληθυσμούς λύσεων. Κατά την εξέλιξη που είναι η βασική διαδικασία αναζήτησης της βέλτιστης λύσης, ένας πληθυσμός μ υποψήφιων λύσεων (γονείς κατά τη γενετική ορολογία) εξελίσσεται στον πληθυσμό λ απογόνων. Αυτοί οι απόγονοι είναι νέες λύσεις, που προκύπτουν από τους μ γονείς, έχοντας ενδεχομένως καλύτερα χαρακτηριστικά. Από τους λ απογόνους με κριτήρια την καταλληλότητα τους, επιλέγονται οι μ γονείς της επόμενης γενιάς. Αυτό συνεχίζεται, γενιά με γενιά, μέχρι την ικανοποίηση κάποιου κριτηρίου σύγκλισης, όπως α) το να μη βελτιώνεται περαιτέρω η λύση για ένα αριθμό αξιολογήσεων ή γενεών, β) το να έχει ομογενοποιηθεί ο πληθυσμός ή/και γ) η ανάλωση του υπολογιστικού χρόνου που επέτρεπε ο χρήστης (Γιαννάκογλου, 2003).

Η παραπάνω παρουσίαση του τι συμβαίνει σε έναν εξελικτικό αλγόριθμο μπορεί να θεμελιωθεί αυστηρότερα. Πιο συγκεκριμένα, σε κάθε γενιά g ενός εξελικτικού αλγορίθμου μπορούμε να θεωρήσουμε ότι συνυπάρχουν τρία διακριτά σύνολα ατόμων (Γιαννάκογλου, 2003). Έτσι, υπάρχει το σύνολο των γονιών $S^{g,\mu}$ με μ μέλη, των απογόνων $S^{g,\lambda}$ και των επίλεκτων ή ελίτ ατόμων $S^{g,\epsilon}$. Γίνεται εύκολα αντιληπτό το γιατί, σε έναν αλγόριθμο που βασίζεται στην εξέλιξη, υπάρχουν σύνολα γονέων και απογόνων, σε κάθε γενιά. Το σύνολο $S^{g,\epsilon}$ αποθηκεύει τα επίλεκτα-καλύτερα άτομα (υποψήφιες λύσεις) που έχουν προκύψει από τη διαδικασία της εξέλιξης μέχρι τη γενιά. Ο σκοπός της ύπαρξης του συνόλου είναι διπλός. Ένας λόγος είναι ότι, οποτεδήποτε σταματήσει η εξέλιξη, το σύνολο $S^{g,\epsilon}$ περιέχει την ή τις βέλτιστες λύσεις. Ένας ακόμα λόγος,

είναι ότι κατά την εξέλιξη, χρησιμοποιείται πληροφορία από το σύνολο για την ενίσχυση των καλών χαρακτηριστικών των μελών της νέας γενιάς που θα προκύψει. Αυτή η ενίσχυση αποτελεί τον λεγόμενο ελιτισμό στους εξελικτικούς αλγόριθμους.

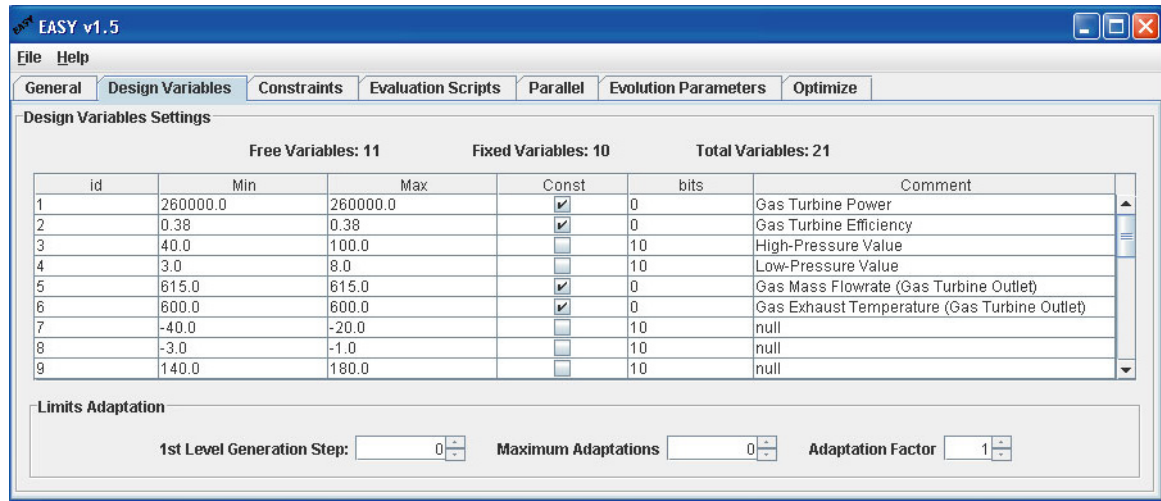
Η παραπάνω περιγραφή έγινε λόγω του ότι το πρόγραμμα βελτιστοποίησης που χρησιμοποιήθηκε στην διπλωματική εργασία βασίζεται στη μέθοδο των εξελικτικών αλγορίθμων βελτιστοποίησης, και θεωρήθηκε αναγκαία η κατανόηση, σε γενικό επίπεδο, της φιλοσοφίας του προγράμματος. Ακολουθεί, στην υποενότητα 7.2.3, η αναφορά για το πρόγραμμα βελτιστοποίησης.

7.2.3 Πρόγραμμα βελτιστοποίησης «EASY»

Ο «EASY» αποτελεί ένα, γενικού σκοπού και υψηλής εμπιστοσύνης, λογισμικό που χρησιμοποιείται για την αναζήτηση βέλτιστων λύσεων σε απλών ή πολλαπλών στόχων προβλήματα. Αναπτύχθηκε και διατέθηκε στην αγορά από την ερευνητική ομάδα του εργαστηρίου Θερμικών Στροβιλομηχανών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (Giannakoglou, 2002).

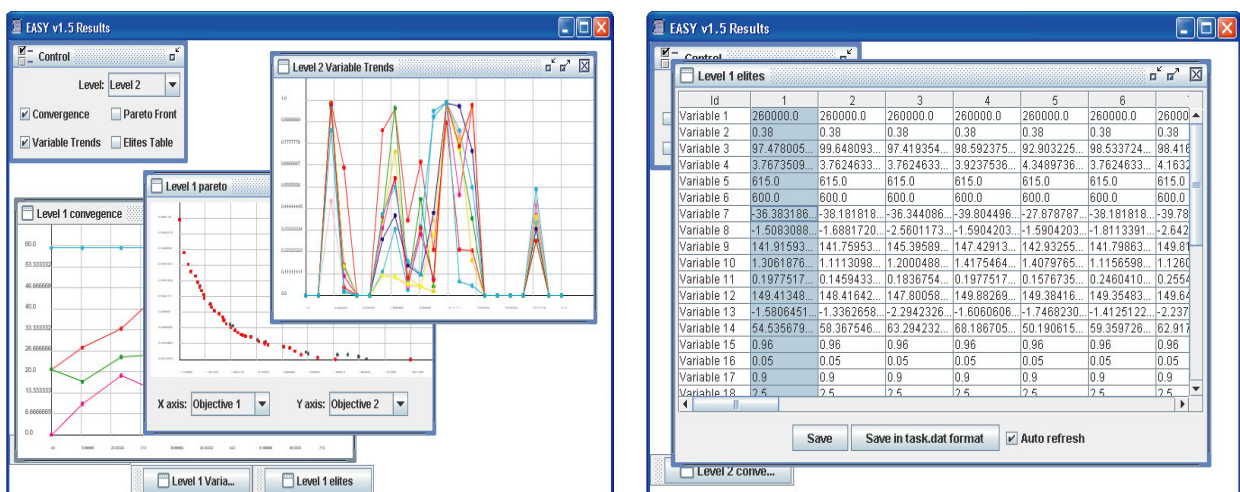
Ο «EASY» χρησιμοποιείται ευρύτατα σε εφαρμογές Μηχανικής. Δίνει τη δυνατότητα στον έμπειρο χρήστη να καθορίσει κάθε χαρακτηριστικό της εξέλιξης ενώ παρέχει στον αρχάριο χρήστη προεπιλεγμένες ρυθμίσεις. Υποστηρίζει τόσο απλούς όσο και πολλαπλούς στόχους, προσέγγιση συναρτήσεων μέσω τεχνητών νευρικών δικτύων για χρονοβόρα προβλήματα, και ένα πλούσιο πακέτο επιλογών που μπορούν να καθορίσουν αλγορίθμους όπως οι γενετικοί και οι εξελικτικοί. Ο χρήστης θεωρείται ότι είναι γνώστης των εξελικτικών αλγορίθμων και του προγραμματισμού. Η διεπαφή του χρήστη με το πρόγραμμα έχει αναπτυχθεί σε πλατφόρμα γλώσσας προγραμματισμού Java, ενώ το βασικό σύστημα αξιολόγησης έχει προγραμματιστεί σε γλώσσα C++ για μέγιστη απόδοση.

Σχετικά με την χρήση του προγράμματος, ο χρήστης πρέπει, αρχικά, με κάποιες καθορισμένες ενέργειες, όπως είναι η δημιουργία συγκεκριμένου τύπου αρχείων, να ορίσει τον τρόπο επικοινωνίας μεταξύ του «EASY» και του προγράμματος (υπολογιστικός κώδικας) που θα χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση των λύσεων. Ακόμα, ορίζονται οι μεταβλητές του υπολογιστικού κώδικα σε ειδικό αρχείο καθώς και ο/οι στόχο/οι βελτιστοποίησης. Στη συνέχεια, το μόνο που πρέπει να κάνει ένας αρχάριος χρήστης είναι να ορίσει το εύρος τιμών των μεταβλητών – παραμέτρων (Σχήμα 7.1), στο οποίο ο «EASY» θα αναζητήσει τις πιθανές βέλτιστες λύσεις, καθώς και τον βαθμό ακρίβειας αναζήτησης της τιμής κάθε μεταβλητής. Άλλωστε, είναι προεπιλεγμένες οι πιο τυπικές επιλογές των υπόλοιπων χαρακτηριστικών βελτιστοποίησης.



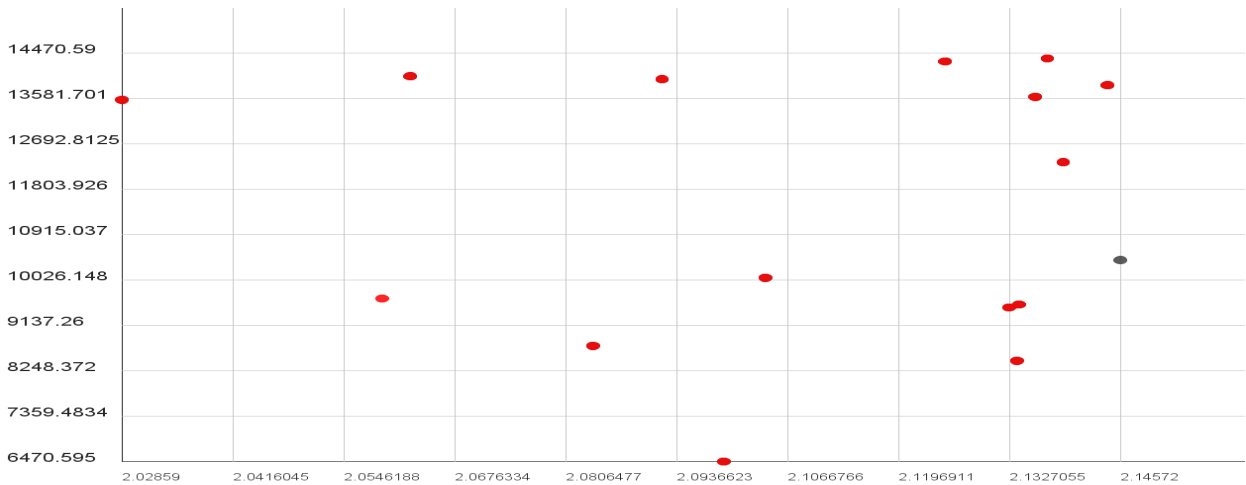
Σχήμα 7.1 Ορισμός εύρους τιμών μεταβλητών

Έπειτα, έχοντας ορίσει τις συνθήκες βελτιστοποίησης, ο «EASY» είναι σε θέση να αρχίσει να αναζητά τις βέλτιστες λύσεις βάσει της φιλοσοφίας των εξελικτικών αλγορίθμων. Κατά τη διάρκεια της αναζήτησης των λύσεων, που κυμαίνεται γύρω στις 10.000-50.000 αξιολογήσεις ανάλογα με τον επιλεγμένο βαθμό ακρίβειας και του εύρους των τιμών των μεταβλητών, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να παρακολουθεί την πορεία σύγκλισης προς τη βέλτιστη λύση μέσω κάποιων διαγραμμάτων και πινάκων (Σχήμα 7.2), τα οποία παρέχονται από τον «EASY». Έτσι, με την παρατήρηση της σύγκλισης, είναι πιθανή η απόφαση για αλλαγή κάποιων επιλογών που δεν είναι σημαντικές για την αναζήτηση και επιβραδύνουν τη σύγκλιση. Για παράδειγμα μετά από κάποιο αριθμό επαναλήψεων, μπορεί να παρατηρηθεί ότι μια μεταβλητή παίρνει τιμές σε μια συγκεκριμένη περιοχή, αρκετά μικρότερη από την ορισμένη. Αλλάζοντας το εύρος τιμών μιας μεταβλητής η σύγκλιση επιταχύνεται, αφού ο «EASY» δεν αναλώνεται σε δοκιμές τιμών, εκτός της περιοχής σύγκλισης.



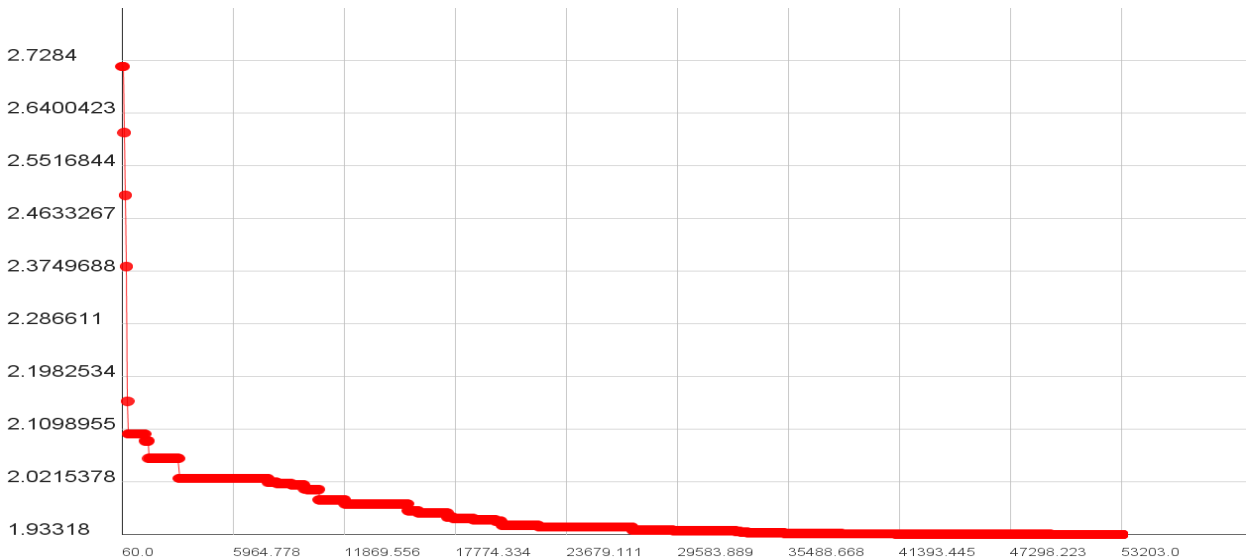
Σχήμα 7.2 Διαγράμματα και πίνακες αποτελεσμάτων κατά τη διάρκεια της αναζήτησης των λύσεων

Γενικότερα, κατά την εξέλιξη της βελτιστοποίησης δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να παρατηρεί τις τιμές που παίρνει η κάθε μεταβλητή σε συγκεκριμένο αριθμό βέλτιστων λύσεων της τρέχουσας γενιάς, όπως φαίνεται και στο σχήμα 7.3 (χωρητικότητα ταμειυτήρα).



Σχήμα 7.3 Τιμές χωρητικότητας ταμειυτήρα σε συνάρτηση με το κόστος παραγωγής πόσιμου νερού των βέλτιστων λύσεων της τρέχουσας γενιάς

Μετά από έναν αριθμό επαναλήψεων, παρατηρείται σύγκλιση σ' έναν συγκεκριμένο συνδυασμό τιμών μεταβλητών, που δίνει τη βέλτιστη τιμή του στόχου, και η αναζήτηση σταματά (Σχήμα 7.4).



Σχήμα 7.4 Τιμές κόστος παραγωγής πόσιμου νερού των βέλτιστων λύσεων συναρτήσει του αύξοντος αριθμού των αξιολογήσεων της βελτιστοποίησης

Κλείνοντας την αναφορά στον «EASY», θα πρέπει να τονίσουμε ότι αποτέλεσε ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για την ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας και το μέσο που βοήθησε στο να διατυπωθούν αρκετά ενδιαφέροντα συμπεράσματα. Συνίσταται για επίλυση κάθε παραμετρικού προβλήματος.

7.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων βελτιστοποίησης

7.3.1 Βελτιστοποίηση ενός στόχου

Γίνεται εύκολα κατανοητό ότι η λειτουργία ενός αυτόνομου υβριδικού συστήματος απαλάτωσης, όπως είναι το προτεινόμενο, θα πρέπει να είναι οικονομικά συμφέρουσα, προκειμένου η εφαρμογή του να είναι ελκυστική για πιθανούς επενδυτές. Έτσι, θεωρήθηκε αναγκαίο το υβριδικό σύστημα να βελτιστοποιηθεί, ως προς το κόστος παραγωγής πόσιμου νερού, *WPC*. Προτού γίνει αναφορά στα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης, θα πρέπει να σημειώσουμε κάποιους περιορισμούς που λήφθηκαν υπ' όψη.

- Η βελτιστοποίηση πραγματοποιήθηκε για συγκεκριμένο αριθμό μόνιμων κατοίκων, *RP*. Θεωρήθηκε, αρχικά, ένα νησί με 2.500 μόνιμους κατοίκους, όπως είναι η Αμοργός και για το οποίο έγινε εφαρμογή του υπολογιστικού κώδικα στο κεφάλαιο 6 και στη συνέχεια μελετήθηκε ένα νησί με 15.000 μόνιμους κατοίκους, όπως είναι η Κάλυμνος. Θα έχουμε, λοιπόν, δύο παραδείγματα, ενός νησιού με μεσαίου επίπεδου ανάγκες και ενός άλλου με υψηλές ανάγκες κατά τη διάρκεια του έτους. Λήφθηκε αυτή η απόφαση προκειμένου να έχουμε άποψη για την εφαρμογή του συστήματος για διαφορετικές απαιτήσεις ικανοποίησης αναγκών. Υπενθυμίζουμε ότι η αναφορά στα συγκεκριμένα νησιά είναι καθαρά τυπική και αντικατοπτρίζει μόνο το ύψος του μόνιμου πληθυσμού ή αλλιώς το επίπεδο των αναγκών σε πόσιμο νερό κατά τη διάρκεια ενός έτους.

$$\begin{aligned} RP &= 2.500 \\ RP &= 15.000 \end{aligned}$$

Αμοργός
Κάλυμνος

Η συγκεκριμένη παράμετρος του συστήματος θεωρείται και στις δύο περιπτώσεις σταθερή κατά τη βελτιστοποίηση. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιες χρονοσειρές μετεωρολογικών δεδομένων για τα δύο νησιά, θεωρώντας ότι δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές.

- Αρχικά, η ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής θα πρέπει να προϋποθέτει την ικανοποίηση των αναγκών της υπό μελέτη περιοχής σε αρκετά υψηλό ποσοστό. Άλλωστε η πρόταση ενός συστήματος, με χαμηλό κόστος παραγωγής αλλά το οποίο δεν είναι σε θέση να ικανοποιήσει τις υπολογιζόμενες ανάγκες των κατοίκων της περιοχής κατά τη διάρκεια του έτους σε ικανοποιητικό βαθμό, είναι ανεδαφική αφού δεν εκπληρώνει τον κύριο λόγο εφαρμογής του. Γι αυτό το λόγο, κατά τη βελτιστοποίηση, τέθηκε ο εξής περιορισμός:

$$VD \geq 99,5\%$$

Σύμφωνα με τον παραπάνω περιορισμό, κατά την «εξέλιξη» της βελτιστοποίησης, στους «πληθυσμούς» υποψήφιων λύσεων συμπεριλαμβάνονται μόνο λύσεις οι οποίες χαρακτηρίζονται από ποσοστά ικανοποίησης ετήσιων αναγκών σε πόσιμο νερό, VD , υψηλότερα του 99,5%. Για να γίνει καλύτερα αντιληπτό, το παραπάνω κατώτατο όριο μη ικανοποίησης των αναγκών αντιστοιχεί συνήθως σε 10 – 20 ώρες το έτος, στις οποίες δεν ικανοποιούνται πλήρως οι ανάγκες σε πόσιμο νερό.

- Ακόμα, θεωρήθηκε ότι η χωρητικότητα δεξαμενής πόσιμου νερού δεν μπορεί να λάβει οποιαδήποτε τιμή. Τέθηκε, λοιπόν, κατώτατο όριο της τάξεως των 500 m^3 , λόγω του ότι το σύστημα πρέπει να περιλαμβάνει δεξαμενή πόσιμου νερού για να ικανοποιούνται ανάγκες σε περιπτώσεις όπου το σύστημα τίθεται εκτός λειτουργίας (συντήρηση, βλάβες κλπ.).

Επίσης, λήφθηκε υπ' όψη ότι το χρονικό διάστημα από την παραγωγή του πόσιμου νερού μέχρι την τροφοδοσία της περιοχής, θα πρέπει να είναι συγκεκριμένο, για λόγους ποιότητας του παρεχόμενου πόσιμου νερού. Σε περιπτώσεις μη δυνατότητας τροφοδοσίας της αφαλάτωσης (άπνοια, νέφωση, «άδειος» ο άνω ταμιευτήρας), η δεξαμενή πόσιμου νερού έχει το ρόλο εφεδρείας. Όμως κρίθηκε, ότι ο παρεχόμενος όγκος πόσιμου νερού δεν θα πρέπει να αποθηκευμένος για πάνω από ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα στη δεξαμενή, αφού κάτι τέτοιο θα έχει επίπτωση στα επίπεδα ποιότητας υγιεινής του νερού. Έτσι, θεωρήθηκε ότι η δεξαμενή πόσιμου νερού θα προσφέρει στο νησί περίπου 2 θερινές μέρες αυτονομίας, που αντιστοιχεί για την Αμοργό σε 4.500 m^3 , και για την Κάλυμνο σε 25.000 m^3 .

Συνεπώς, ο περιορισμός για τη δεξαμενή πόσιμου νερού έχει ως εξής:

$$500 \leq RTC \leq 4.500 \text{ (m}^3\text{)} \quad \text{Αμοργός}$$

$$500 \leq RTC \leq 25.000 \text{ (m}^3\text{)} \quad \text{Κάλυμνος}$$

Τέλος, προκειμένου να ικανοποιήσουμε την παραπάνω απαίτηση για ανώτατη χρονική παραμονή του παραγόμενου πόσιμου νερού στη δεξαμενή και συγχρόνως να υπάρχει αντιστοιχία με την περιγραφή της λειτουργίας του συστήματος που έγινε στο κεφάλαιο 5, θεωρούμε ότι η περιοχή τροφοδοτείται με νερό πάντα μέσω της δεξαμενής. Έτσι, για παράδειγμα για να ικανοποιηθεί μια ποσότητα αναγκών σε πόσιμο νερό, αντλείται από τη δεξαμενή αντίστοιχη ποσότητα, και συγχρόνως παράγεται ίσος όγκος νερού από την αφαλάτωση. Η συγκεκριμένη παραδοχή αναφέρεται μόνο για λόγους κατανόησης και δεν επιφέρει καμία αλλαγή στην προσομοίωση του συστήματος.

- Η παράμετρος, τιμή πώλησης μονάδας όγκου πόσιμου νερού, WSP , δεν συμπεριλαμβάνεται στην βελτιστοποίηση, αφού δεν έχει καμία επίδραση στο στόχο (κόστος παραγωγής πόσιμου νερού).

7.3.1.1 Βελτιστοποίηση για μεσαίων αναγκών νησί (2.500 μόνιμοι κάτοικοι)

Βέλτιστη λύση

Λαμβάνοντας υπ' όψη τους προαναφερθέντες περιορισμούς, και επιτρέποντας στις υπόλοιπες παραμέτρους να παίρνουν οποιαδήποτε τιμή, προέκυψαν τα αποτελέσματα του πίνακα 7.1 για νησί 2.500 μόνιμων κατοίκων.

Βέλτιστος συνδυασμός παραμέτρων για το νησί της Αμοργού			
A/A	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΤΙΜΗ	ΜΟΝΑΔΕΣ
1	Χωρητικότητα Ταμιευτήρων (Παράμετρος-1)	9.992	m ³
2	Ισχύς Υδροστροβίλου (Παράμετρος-2)	400	kW
3	Χωρητικότητα Δεξαμενής πόσιμου νερού (Παράμετρος-3)	4.500	m ³
4	Ισχύς Αφαλάτωσης (Παράμετρος-4)	474	kW
5	Ισχύς Ανεμογεννητριών (Παράμετρος-5)	1420	kW
6	Ισχύς Φωτοβολταϊκών (Παράμετρος-6)	0	kW
7	Ισχύς Αντλιών (Παράμετρος-7)	249	kW
8	Μόνιμος Πληθυσμός νησιού (Παράμετρος-8)	2.500	κάτοικοι
9	Τιμή πώλησης νερού (Παράμετρος-9)	2,50	€/m ³
Υπολογιζόμενο κόστος παραγωγής πόσιμου νερού		1,93	€/m³

Πίνακας 7.1 Η βέλτιστη λύση για την Αμοργό για το ελάχιστο κόστος παραγωγής πόσιμου νερού

Από τον πίνακα 7.1 μπορούμε να κάνουμε τις εξής παρατηρήσεις για το σύστημα που αποτελεί τη βέλτιστη λύση για το συγκεκριμένο νησί:

- Δεν περιέχει καθόλου φωτοβολταϊκά
- Η δεξαμενή πόσιμου νερού έχει λάβει την ανώτατη τιμή χωρητικότητας
- Το κόστος παραγωγής πόσιμου νερού που προκύπτει είναι ιδιαίτερα χαμηλό

Σχετικά με την απουσία των φωτοβολταϊκών, το γεγονός αυτό δικαιολογείται από το υψηλό κόστος επένδυσης που χαρακτηρίζει τα φωτοβολταϊκά, συγκριτικά με το αντίστοιχο των ανεμογεννητριών.

Όσον αφορά τη χωρητικότητα της δεξαμενής πόσιμου νερού, ήταν αναμενόμενο να λάβει την μέγιστη επιτρεπτή τιμή, αφού είναι πολύ πιο οικονομικό μέσο αποθήκευσης ενέργειας (με τη μορφή παραγόμενου πόσιμου νερού) σε σχέση με το σύστημα αντλησιοταμίευσης.

Επίσης, το υπολογιζόμενο κόστος παραγωγής πόσιμου νερού του 1,93 €/m³ είναι αρκετά χαμηλό και καθιστά την επένδυση ιδιαίτερα ελκυστική, συγκριτικά με την υπάρχουσα κατάσταση, όπου το νερό μεταφέρεται στο νησί με υδροφόρες με κόστος 7,9 €/m³. Για λόγους καλύτερης

εποπτείας αυτής της βέλτιστης λύσης παραθέτουμε και τον πίνακα 7.2 με τα αποτελέσματα του συνόλου των αθροιστικών μεγεθών και των δεικτών αξιολόγησης του συστήματος.

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ					
	A/A	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΤΙΜΗ	ΜΟΝΑΔΕΣ
ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ	1	Ετήσιες ανάγκες σε νερό	TPC	285.163	m ³
	2	Ετήσια παραγωγή νερού	SWP	287.798	m ³
	3	Ετήσια παραγωγή νερού από ενέργεια Α/Γ+Φ/Β	SFWP	281.711	kWh
	4	Ετήσια παραγωγή νερού από ενέργεια υδροστροβίλου	STWP	6.087	kWh
	5	Ετήσιες ανικανοποίητες ενεργειακές ανάγκες	UN	4.243	kWh
	6	Επιπλέον μέση απαιτούμενη ισχύς	EXP	236	kW
	7	Ετήσια απορριπτόμενη ενέργεια	CRE	3.749.481	kWh
	8	Ετήσιες ενεργειακές ανάγκες αφαλάτωσης	AEN	855.488	kWh
	9	Ετήσια παραγωγή ενέργειας από Α/Γ	WEP	4.628.551	kWh
	10	Ετήσια παραγωγή ενέργειας από Φ/Β	SEP	0	kWh
	11	Ετήσια παραγωγή ενέργειας από Α/Γ+Φ/Β	EP	4.628.551	kWh
	12	Ετήσια ενεργειακή παραγωγή υδροστροβίλου	TURBINE	18.295	kWh
	13	Ετήσια ενεργειακή παραγωγή	YEP	4.646.845	kWh
	14	Ετήσιο πλεόνασμα παραγωγής ενέργειας από Α/Γ+Φ/Β	SURE	4.024.282	kWh
	15	Ετήσια απορριπτόμενη ενέργεια Α/Γ+Φ/Β από αφαλάτωση	TDDE	2.190.883	kWh
	16	Ετήσια απορροφούμενη ενέργεια Α/Γ+Φ/Β από αφαλάτωση	SDAE	845.134	kWh
	17	Ετήσιες ενεργειακές ανάγκες που πρέπει να ικανοποιηθούν από τον στρόβιλο	TEN	13.008	kWh
	18	Ετήσια απορροφούμενη ενέργεια στροβίλου από αφαλάτωση	SFDAE	18.261	kWh
	19	Ετήσια απορριπτόμενη ενέργεια υδροστροβίλου	DTE	34	kWh
	20	Ετήσια απορροφούμενη ενέργεια από αφαλάτωση (συνολικά)	TDAE	863.394	kWh
	21	Ετήσια ενεργειακή κατανάλωση για άντληση	PUMP	33.971	kWh
	22	Ετήσια απορριπτόμενη ενέργεια που διατέθηκε για άντληση	DPE	3.749.446	kWh
	23	Ετήσια διατιθέμενη ενέργεια για άντληση	RPE	3.783.417	kWh
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ	24	Ώρες που δεν ικανοποιούνται οι ανάγκες	LD	18	h
	25	Ώρες που καλείται να λειτουργήσει ο υδροστροβίλος	KH	61	h
	26	Ώρες που δουλεύει η αφαλάτωση σ' ένα έτος	DH	6.731	h
	27	Ώρες που γίνεται άντληση σ' ένα έτος	PH	256	h
	28	Ώρες που λειτουργεί οΥ/Σ σ ένα έτος	TH	47	h
	29	Ώρες που παράγει ενέργεια η Α/Γ σ' ένα έτος	WH	6.691	h
	30	Ώρες που παράγουν ενέργεια τα Φ/Β σ' ένα έτος	SH	0	h
	31	Ώρες που υπάρχει πλεόνασμα παραγωγής από Α/Γ +Φ/Β	PW	6104,00	h
	32	Φορές που "γέμισε" ο άνω ταμιευτήρας σ ένα έτος	BK	3,53	-

Κεφάλαιο 7^ο – Βέλτιστος Σχεδιασμός Συστήματος

ΠΟΣΟΣΤΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ	33	Ποσοστό ικανοποίησης αναγκών σε νερό	VD	99,5	%	
	34	Ποσοστό απόρριψης ενεργειακού πλεονάσματος από Α/Γ+Φ/Β	ED	93	%	
	35	Ποσοστό απόρριψης ενεργειακής παραγωγής	UD	81	%	
	36	Ποσοστό αξιοποίησης παραγόμενης ενέργειας από Α/Γ +Φ/Β	VB	19	%	
	37	Ποσοστό ικανοποιημένων επιπλέον ενεργειακών αναγκών λόγω στροβίλου	AD	67	%	
	38	Ποσοστό συμμετοχής στροβίλου στην ετήσια παραγωγή νερού	DT	2	%	
	39	Ποσοστό αξιοποίησης διατιθέμενης ενέργειας για άντληση	PPD	1	%	
	40	Ποσοστό απορριπτόμενης ενέργειας στροβίλου προς συνολικής παραγωγής στροβίλου	PD	0	%	
	41	Ποσοστό εκμετάλλευσης Α/Γ	WU	76	%	
	42	Ποσοστό εκμετάλλευσης Φ/Β	SU	0	%	
	43	Ποσοστό εκμετάλλευσης αντλιών	PU	3	%	
	44	Ποσοστό εκμετάλλευσης υδροστροβίλου	TU	1	%	
	45	Ποσοστό εκμετάλλευσης ισχύος Α/Γ+Φ/Β	PWU	7	%	
	46	Ποσοστό εκμετάλλευσης ισχύος υδροστροβίλου	TPU	1	%	
	47	Ποσοστό εκμετάλλευσης ισχύος αντλιών	PPU	2	%	
	48	Ποσοστό εκμετάλλευσης ισχύος αφαλάτωσης	TD	21	%	
	49	Ποσοστό αξιοποίησης δεξαμενής πόσιμου	PUR	90	%	
	50	Ποσοστό αξιοποίησης άνω ταμιευτήρα	PUT	98	%	
	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ	51	Κόστος Επένδυσης Ηλιακού Πάρκου	PVINVEST	0	€
		52	Κόστος Επένδυσης Αιολικού Πάρκου	WINDINVEST	1.845.350	€
53		Κόστος Επένδυσης Συστήματος αντλησιοταμίευσης	HYDROINVEST	1.260.373	€	
54		Κόστος Επένδυσης Μονάδας Αφαλάτωσης	DESINVEST	637.449	€	
55		Συνολικό Κόστος Επένδυσης	HYBRIDCOST	3.743.172	€	
56		Κόστος Συντήρησης & Λειτουργίας Ηλιακού Πάρκου	PVMMAINT	0	€	
57		Κόστος Συντήρησης & Λειτουργίας Αιολικού Πάρκου	WINDMAINT	36.907	€	
58		Κόστος Συντήρησης & Λειτουργίας Συστήματος αντλησιοταμίευσης	HYDROMAINT	25.207	€	
59		Κόστος Συντήρησης & Λειτουργίας Μονάδας Αφαλάτωσης	DESMMAINT	54.745	€	
60		Συνολικό Κόστος Συντήρησης & Λειτουργίας	HYBRIDMAINT	116.859	€	
61		Προβλεπόμενα Ετήσια Έσοδα	HYBRIDINC	719.495	€	
62		Κόστος παραγωγής νερού	WPC	1,93	€/m ³	
63		Κόστος παραγωγής ενέργειας	EPC	0,49	€/kWh	
64		Χρόνος αποπληρωμής	T	6,21	έτη	
65		Δείκτης BCR	BCR	1,65	-	
66		Δείκτης NPV	NPV	3.300.392	€	
67		Δείκτης IRR	IRR	19,72	%	

Πίνακας 7.2 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα βέλτιστης ως προς το κόστος παραγωγής πόσιμου νερού λύσης για το νησί της Αμοργού

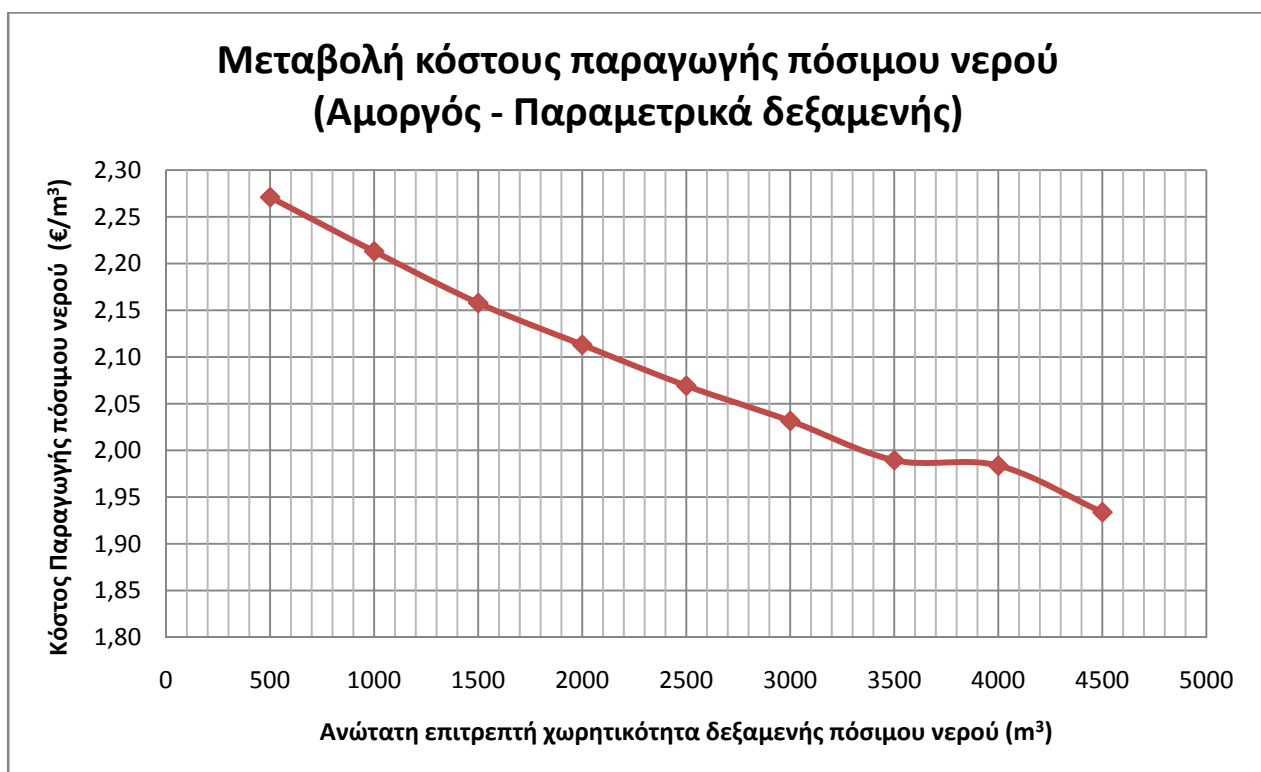
Οι παρατηρήσεις που αναφέρθηκαν προηγουμένως, δημιουργούν κάποια ερωτήματα σχετικά με τα χαρακτηριστικά του συστήματος:

- Τι επίδραση θα είχε στη βέλτιστη λύση μια πιθανή μείωση της ανώτατης επιτρεπτής χωρητικότητας δεξαμενής πόσιμου νερού.
- Με ποια τιμή του κόστους επένδυσής τους, τα φωτοβολταϊκά θα συμπεριλαμβανόντουσαν στη βέλτιστη λύση και θα ήταν ανταγωνιστικά ως προς τις ανεμογεννήτριες.

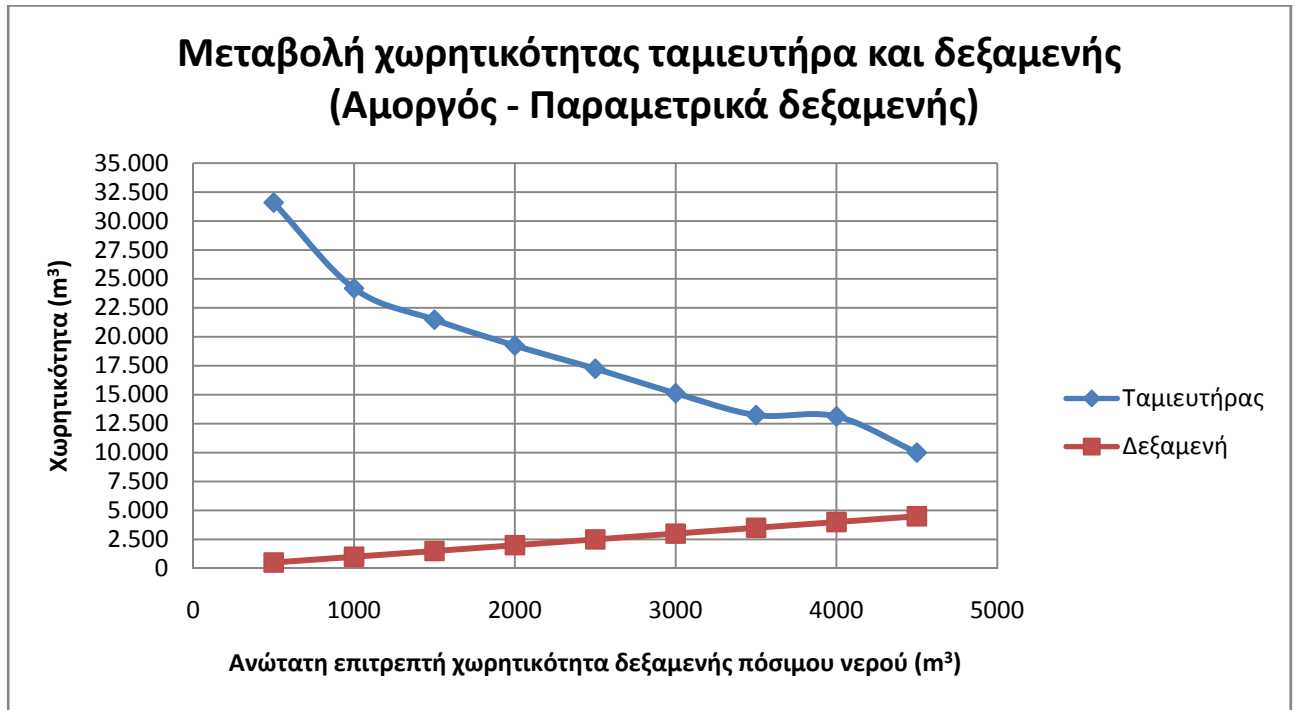
Για να δώσουμε μια απάντηση στα παραπάνω ερωτήματα, πραγματοποιήσαμε παραμετρικές μελέτες βελτιστοποίησης τόσο ως προς την ανώτατη επιτρεπτή τιμή της χωρητικότητας της δεξαμενής πόσιμου νερού όσο και ως προς το κόστος επένδυσης των φωτοβολταϊκών.

Παραμετρική μελέτη ως προς την ανώτατη επιτρεπτή χωρητικότητα δεξαμενής πόσιμου νερού

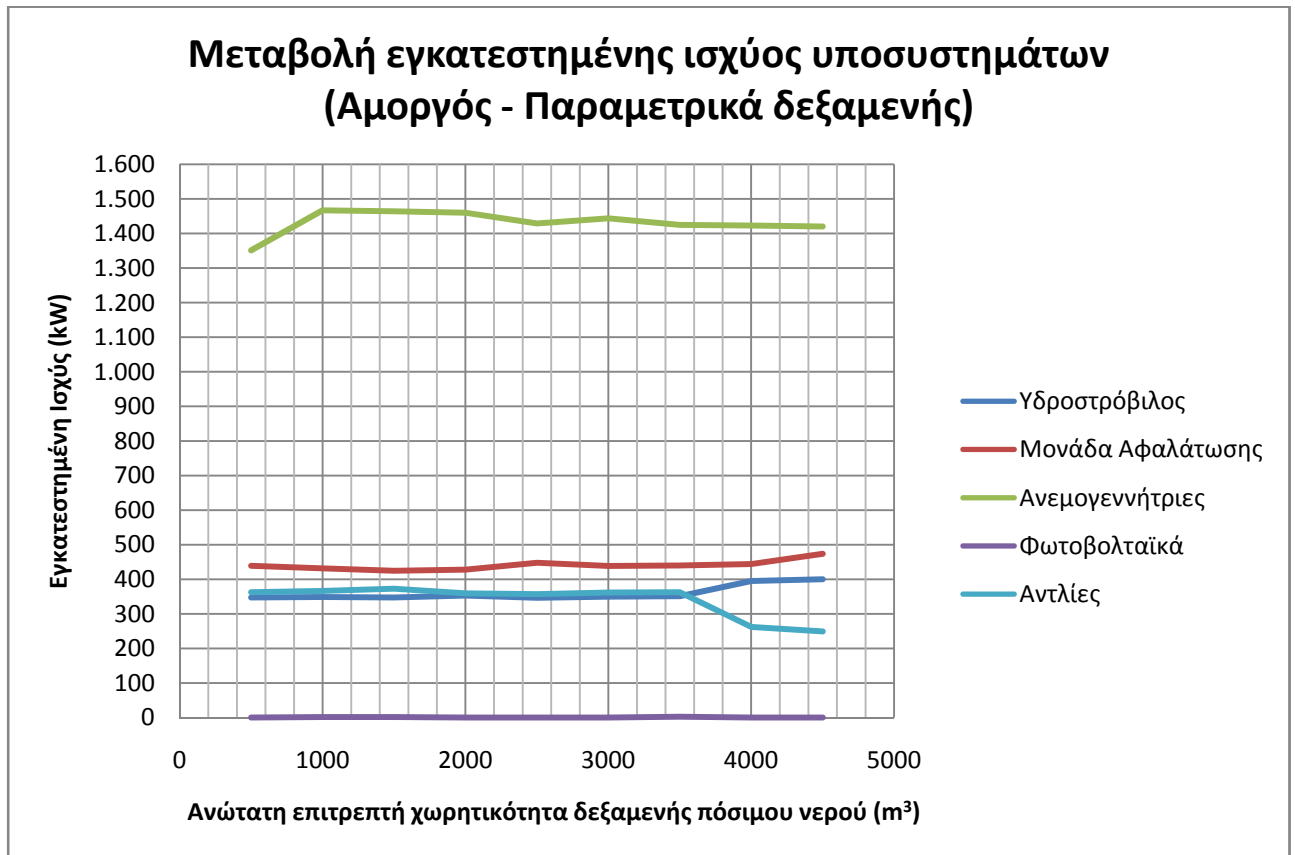
Αρχικά μελετήσαμε τη μεταβολή των βέλτιστων λύσεων για ένα εύρος τιμών ανώτατης χωρητικότητας δεξαμενής πόσιμου νερού, από 500 έως 4500 m³, και προέκυψαν τα σχήματα 7.5-7.7, όπου παρουσιάζεται η διακύμανση του κόστους παραγωγής πόσιμου νερού αλλά και των παραμέτρων των βέλτιστων λύσεων.



Σχήμα 7.5 Μεταβολή βέλτιστου κόστους παραγωγής πόσιμου νερού συναρτήσει της ανώτατης επιτρεπτής τιμής της χωρητικότητας της δεξαμενής



Σχήμα 7.6 Μεταβολή χωρητικότητας άνω ταμιευτήρα συναρτήσει της ανώτατης επιτρεπτής τιμής της χωρητικότητας της δεξαμενής



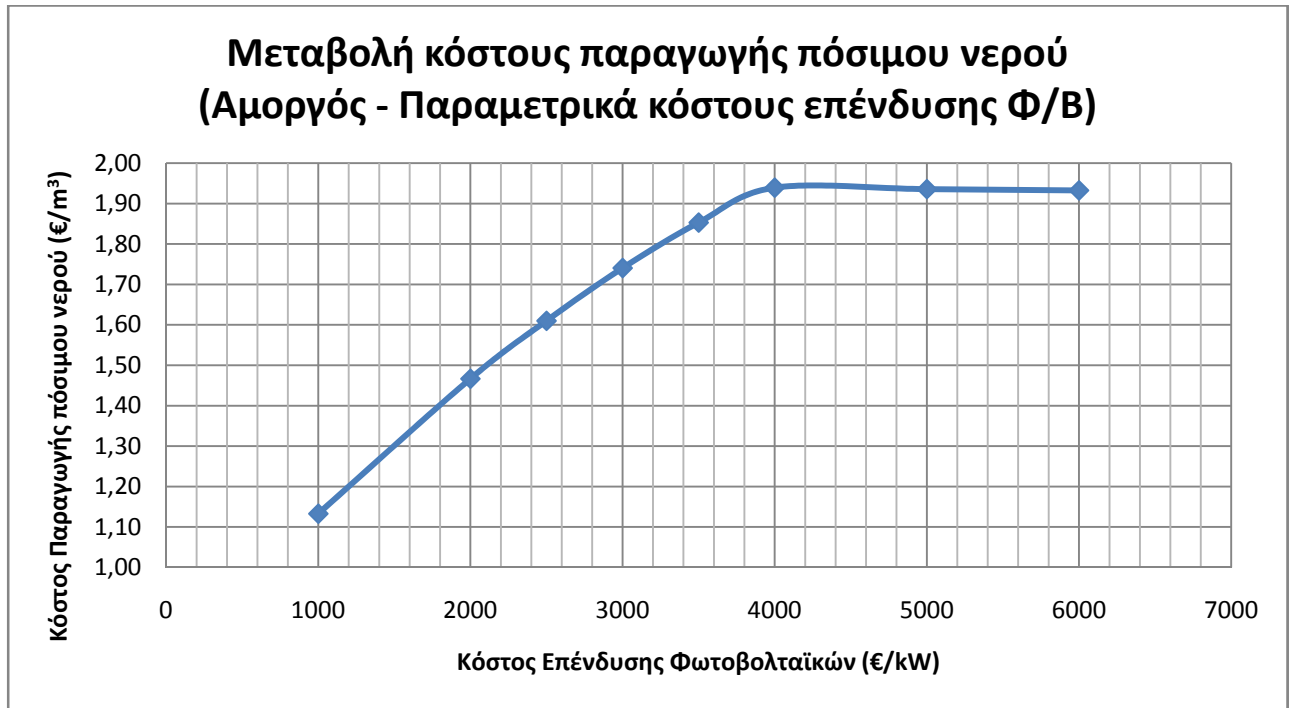
Σχήμα 7.7 Μεταβολή εγκατεστημένης ισχύος υποσυστημάτων συναρτήσει της ανώτατης επιτρεπτής τιμής της χωρητικότητας της δεξαμενής

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε τα εξής:

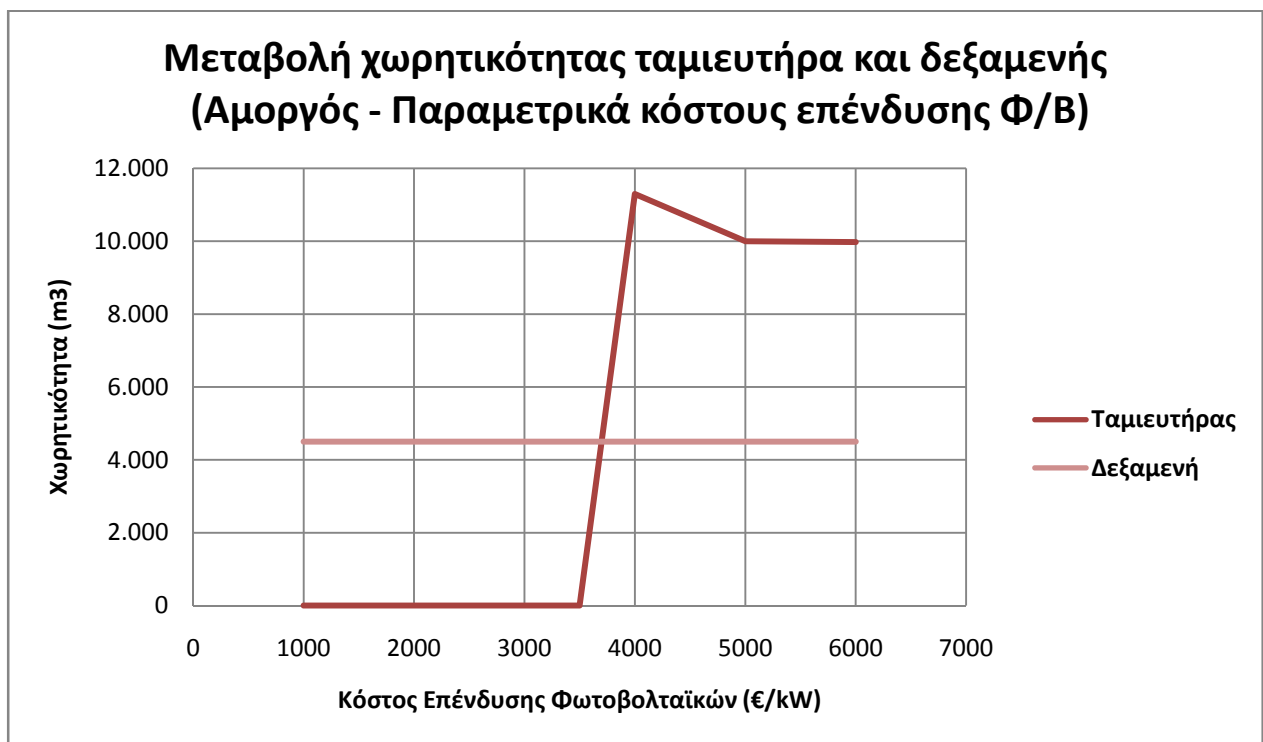
- Η ανώτατη επιτρεπτή χωρητικότητα δεξαμενής πόσιμου νερού ουσιαστικά αποτελεί τη χωρητικότητα της δεξαμενής πόσιμου στη βέλτιστη λύση αφού όπως έχουμε αναφέρει αποτελεί πιο οικονομική επιλογή σε σχέση με το σύστημα αντλησιοταμίευσης. Έτσι, όπως είναι αναμενόμενο, η αύξηση της χωρητικότητας της δεξαμενής συνεπάγεται με μείωση της χωρητικότητας του ταμιευτήρα (Σχήμα 7.6), λόγω του ότι η δεξαμενή είναι σε θέση να ικανοποιήσει μεγαλύτερη ποσότητα αναγκών σε πόσιμο νερό και η απαίτηση για παραγωγή ενέργειας από τον υδροστρόβιλο περιορίζεται.
- Το βέλτιστο κόστος παραγωγής πόσιμου νερού μειώνεται όσο μεγαλύτερη δυνατότητα αποθήκευσης πόσιμου νερού έχουμε αφού έχουμε μείωση του μεγέθους των ταμιευτήρων και ακολούθως του κόστους επένδυσης του συστήματος αντλησιοταμίευσης (Σχήμα 7.5). Ενδεικτικά, για δεξαμενή 500 m³, προκύπτει κόστος παραγωγής περίπου 2,27 €/m³, ενώ για 4500 m³ έχουμε κόστος της τάξεως του 1,93 €/m³. Παρ' όλα αυτά και οι δύο ακραίες περιπτώσεις, χαρακτηρίζονται από αποδεκτή τιμή κόστους παραγωγής πόσιμου νερού, αφού η διαφορά που παρατηρείται είναι σχετικά μικρή.
- Σχετικά με την εγκατεστημένη ισχύ των υποσυστημάτων, δεν παρατηρείται ουσιαστική μεταβολή στην απαιτούμενη εγκατεστημένη ισχύ για το σύνολο των υποσυστημάτων (Σχήμα 7.7). Αυτό το γεγονός οφείλεται στο ότι παρά την αύξηση της χωρητικότητας της δεξαμενής πόσιμου νερού, παρουσιάζονται ανάγκες κατά τη διάρκεια του χρόνου οι οποίες δεν μπορούν να καλυφθούν από τη δεξαμενή λόγω ελάχιστης πληρότητας και απαιτείται ανάλογη εγκατεστημένη ισχύς για την κάλυψη τους. Επίσης, πρέπει να σημειώσουμε ότι όλες οι βέλτιστες λύσεις που προέκυψαν, όπως αναμενόταν, δεν περιέχουν φωτοβολταϊκά.
- Συμπερασματικά, η μεταβολή του μεγέθους της δεξαμενής επιδρά μόνο στο μέγεθος του ταμιευτήρα. Η επίδραση είναι αρνητική αφού τόσο η δεξαμενή όσο και ο ταμιευτήρας λειτουργούν ως μέσα αποθήκευσης ενέργειας, έστω και διαφορετικής μορφής.

Παραμετρική μελέτη ως προς το κόστος επένδυσης Φ/B

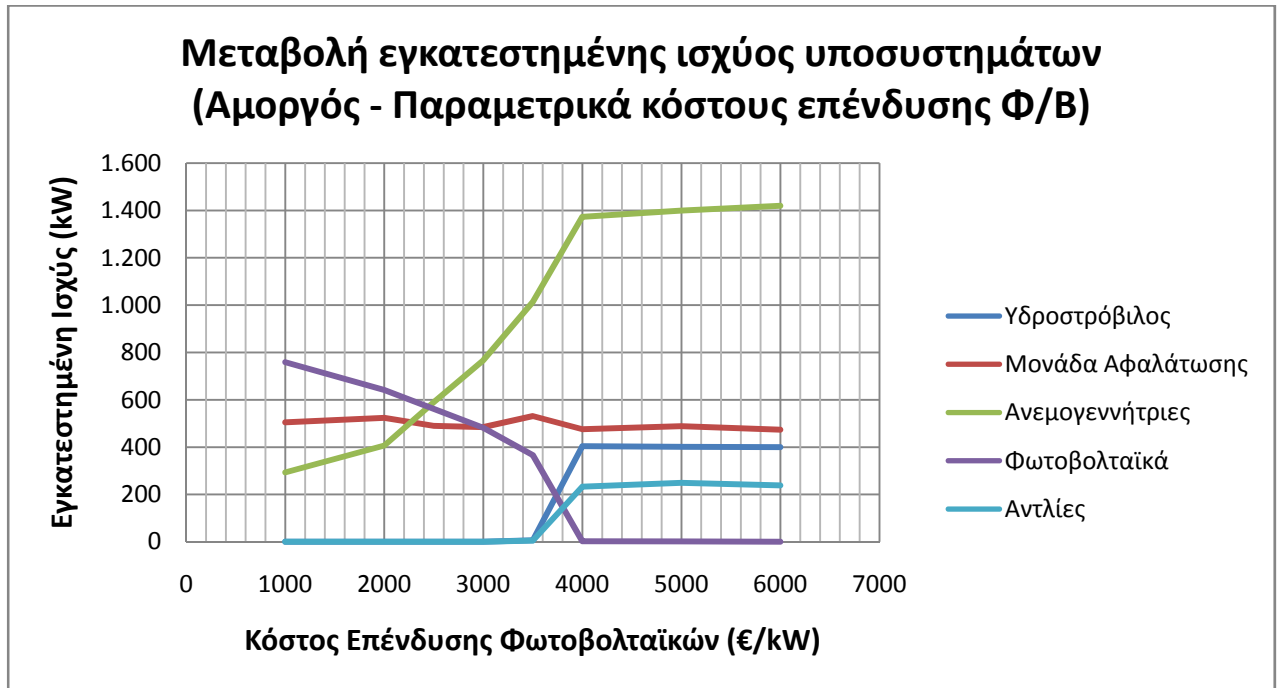
Στη συνέχεια, βελτιστοποιήσαμε το σύστημα ως προς το κόστος παραγωγής πόσιμου νερού αλλά με μεταβαλλόμενο κόστος επένδυσης φωτοβολταϊκών. Με την παρούσα τιμή του κόστους επένδυσης των φωτοβολταϊκών (6.000 €/kW), το να συμπεριληφθούν τα φωτοβολταϊκά στο υβριδικό σύστημα, αποδείχτηκε προηγουμένως ότι δεν αποτελεί την βέλτιστη οικονομικά λύση. Όμως, η αγορά των φωτοβολταϊκών παρουσιάζει συνεχιζόμενη ανάπτυξη, και η μείωση του κόστους επένδυσης τους τα επόμενα χρόνια θεωρείται αρκετά πιθανή. Έτσι, το σύστημα βελτιστοποιήθηκε με διάφορες υποθετικές τιμές του κόστους επένδυσης και προέκυψαν τα σχήματα 7.8-7.10.



Σχήμα 7.8 Μεταβολή κόστους παραγωγής πόσιμου νερού βέλτιστης λύσης συναρτήσει του κόστους επένδυσης των φωτοβολταϊκών



Σχήμα 7.9 Μεταβολή χωρητικότητας ταμιευτήρα και δεξαμενής συναρτήσει του κόστους επένδυσης των φωτοβολταϊκών



Σχήμα 7.10 Μεταβολή εγκατεστημένης ισχύος υποσυστημάτων συναρτήσει του κόστους επένδυσης των φωτοβολταϊκών

Από τα παραπάνω διαγράμματα, συμπεραίνουμε τα εξής:

- Παρατηρούμε ότι η μεταβολή του κόστους παραγωγής πόσιμου νερού συναρτήσει του κόστους επένδυσης των Φ/Β αποτελείται από δύο στάδια (Σχήμα 7.9). Αρχικά, η μείωση του κόστους επένδυσης των Φ/Β μέχρι τα 4.000 €/kW δεν έχει καμία επίπτωση στο κόστος παραγωγής, αφού τα Φ/Β δεν περιλαμβάνονται στις βέλτιστες λύσεις του συστήματος (Σχήμα 7.10). Αντίθετα, περαιτέρω μείωση του κόστους επένδυσης έχει σαν αποτέλεσμα την σχεδόν γραμμική μείωση του κόστους παραγωγής πόσιμου νερού. Για παράδειγμα, με κόστος Φ/Β στα 2.500 €/kW, προκύπτει κόστος παραγωγής 1,6 €/m³.
- Η αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών, για μικρότερα κόστη επένδυσης από 4.000 €/kW, οδηγεί σε απότομη μείωση της εγκατεστημένης ισχύος των ανεμογεννητριών. Αυτό συμβαίνει, λόγω της σύμπτωσης της παραγωγής ενέργειας από τα Φ/Β με τη ζήτηση σε πόσιμο νερό κατά τη διάρκεια της ημέρας, κάτι που δεν ισχύει για τη λειτουργία των ανεμογεννητριών. Μάλιστα, αρκεί το κόστος επένδυσης των Φ/Β να μειωθεί στα 2.500 €/kW για να ισοσταθμιστούν οι απαιτούμενες εγκατεστημένες ισχύεις των Φ/Β και των Α/Γ (Σχήμα 7.10). Να υπενθυμίσουμε ότι το κόστος επένδυσης των Α/Γ που έχουμε λάβει υπ' όψη είναι της τάξεως των 1.300 €/kW.
- Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει, η συσχέτιση της λειτουργίας του συστήματος αντλησιοταμίευσης με τα διείσδυση των φωτοβολταϊκών στο σύστημα. Είναι χαρακτηριστικό ότι από τη στιγμή που τα φωτοβολταϊκά αποτελούν μέρος του συστήματος, το μέγεθος του συστήματος αντλησιοταμίευσης (ισχύς Υ/Σ, ισχύς αντλιών, χωρητικότητα ταμιευτήρα)

μειώνεται μέχρι που δεν απαιτείται η παρουσία του, για κόστος επένδυσης Φ/Β μικρότερο των 3.500 €/kW (Σχήμα 7.9,7.10). Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι οι ώρες της ημέρας που έχουμε παραγωγή ενέργειας από τα Φ/Β, σχεδόν ταυτίζονται με τις ώρες που παρουσιάζονται ανάγκες σε πόσιμο νερό, με αποτέλεσμα το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής των Φ/Β να απορροφάται από την αφαλάτωση και να ελαχιστοποιείται η ανάγκη για αποθήκευση της.

- Ανακεφαλαιώνοντας, τα φωτοβολταϊκά θα είναι σε θέση να συμπεριληφθούν σε υβριδικά συστήματα αφαλάτωσης και να έχουν ως αποτέλεσμα χαμηλότερο κόστος παραγωγής πόσιμου νερού, εάν το κόστος επένδυσης τους μειωθεί σε χαμηλότερα επίπεδα από αυτό των 4.000 €/kW. Όμως, θα αποτελέσουν την κύρια πηγή τροφοδοσίας της αφαλάτωσης και θα υπερτερούν των ανεμογεννητριών μόνο για κόστη επένδυσης μικρότερα των 2.500 €/kW, με την προϋπόθεση πάντα ότι το κόστος επένδυσης των ανεμογεννητριών δεν θα μεταβληθεί σε σχέση με τη παρούσα κατάσταση. Επίσης, από τη στιγμή που θα αποτελέσουν την κύρια πηγή τροφοδοσίας της αφαλάτωσης, η αντλησιοταμίευση δεν περιλαμβάνεται στο βέλτιστο οικονομικά σύστημα. Θα πρέπει να πούμε, όμως, ότι επιδέχεται πιο λεπτομερούς μελέτης η εφαρμογή ενός αυτόνομου συστήματος χωρίς σύστημα αποθήκευσης ενέργειας.

7.3.1.2 Βελτιστοποίηση για υψηλών αναγκών νησί (15.000 μόνιμοι κάτοικοι)

Βέλτιστη λύση

Λαμβάνοντας υπ' όψη τους αντίστοιχους περιορισμούς με το νησί της Αμοργού, βελτιστοποιήθηκε το υβριδικό σύστημα αφαλάτωσης, ως προς το κόστος παραγωγής πόσιμου νερού, για νησί 15.000 μόνιμων κατοίκων, όπως είναι η Κάλυμνος, και προέκυψε η βέλτιστη λύση του πίνακα 7.3.

Βέλτιστος συνδυασμός παραμέτρων για το νησί της Καλύμνου			
A/A	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΤΙΜΗ	ΜΟΝΑΔΕΣ
1	Χωρητικότητα Ταμιευτήρων (Παράμετρος-1)	224.000	m ³
2	Ισχύς Υδροστροβίλου (Παράμετρος-2)	1.840	kW
3	Χωρητικότητα Δεξαμενής πόσιμου νερού (Παράμετρος-3)	25.000	m ³
4	Ισχύς Αφαλάτωσης (Παράμετρος-4)	2.565	kW
5	Ισχύς Ανεμογεννητριών (Παράμετρος-5)	4.790	kW
6	Ισχύς Φωτοβολταϊκών (Παράμετρος-6)	0	kW
7	Ισχύς Αντλιών (Παράμετρος-7)	414	kW
8	Μόνιμος Πληθυσμός νησιού (Παράμετρος-8)	15.000	κάτοικοι
9	Τιμή πώλησης νερού (Παράμετρος-9)	2,5	€/m ³
Υπολογιζόμενο κόστος παραγωγής πόσιμου νερού		1,42	€/m³

Πίνακας 7.3 Η βέλτιστη λύση για την Κάλυμνο για το ελάχιστο κόστος παραγωγής πόσιμου νερού

Παρατηρώντας το βέλτιστο συνδυασμό παραμέτρων που προέκυψε για το νησί της Καλύμνου (Πίνακας 7.3), μπορούμε να σημειώσουμε τα εξής:

- Όπως και στην περίπτωση της Αμοργού, η βέλτιστη λύση δεν περιλαμβάνει φωτοβολταϊκά, ενώ η δεξαμενή έχει τη μέγιστη επιτρεπτή χωρητικότητα. Οι αιτίες και των δύο αυτών αποτελεσμάτων προαναφέρθηκαν στην περίπτωση της Αμοργού.
- Το υπολογιζόμενο κόστος παραγωγής πόσιμου νερού, λαμβάνει την τιμή 1,42 €/m³, η οποία είναι αρκετά μικρότερη συγκριτικά με την αντίστοιχη για το νησί της Αμοργού, και προφανώς κρίνεται αποδεκτή για νησί που αντιμετωπίζει πρόβλημα λειψυδρίας όπως είναι η Κάλυμνος. Κάτι τέτοιο, ήταν αναμενόμενο, αφού είναι λογικό, μεγαλύτερου μεγέθους συστήματα να χαρακτηρίζονται από χαμηλότερα κόστη παραγωγής.

Στη συνέχεια, για καλύτερη εποπτεία της βέλτιστης λύσης, δίνεται ο πίνακας 7.4 με τα συνολικά αποτελέσματα των αθροιστικών μεγεθών και των δεικτών αξιολόγησης του συστήματος.

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ					
	A/A	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΤΙΜΗ	ΜΟΝ.
ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ	1	Ετήσιες ανάγκες σε νερό	TPC	1.710.975	m ³
	2	Ετήσια παραγωγή νερού	SWP	1.724.936	m ³
	3	Ετήσια παραγωγή νερού από ενέργεια Α/Γ+Φ/Β	SFWP	1.621.909	kWh
	4	Ετήσια παραγωγή νερού από ενέργεια υδροστροβίλου	STWP	103.027	kWh
	5	Ετήσιες ανικανοποίητες ενεργειακές ανάγκες	UN	25.618	kWh
	6	Επιπλέον μέση απαιτούμενη ισχύς	EXP	596	kW
	7	Ετήσια απορριπτόμενη ενέργεια	CRE	10.129.829	kWh
	8	Ετήσιες ενεργειακές ανάγκες αφαλάτωσης	AEN	5.132.925	kWh
	9	Ετήσια παραγωγή ενέργειας από Α/Γ	WEP	15.618.709	kWh
	10	Ετήσια παραγωγή ενέργειας από Φ/Β	SEP	0	kWh
	11	Ετήσια παραγωγή ενέργειας από Α/Γ+Φ/Β	EP	15.618.709	kWh
	12	Ετήσια ενεργειακή παραγωγή υδροστροβίλου	TURBINE	312.904	kWh
	13	Ετήσια ενεργειακή παραγωγή	YEP	15.931.612	kWh
	14	Ετήσιο πλεόνασμα παραγωγής ενέργειας από Α/Γ+Φ/Β	SURE	12.278.102	kWh
	15	Ετήσια απορριπτόμενη ενέργεια Α/Γ+Φ/Β από αφαλάτωση	TDDE	4.046.536	kWh
	16	Ετήσια απορροφούμενη ενέργεια Α/Γ+Φ/Β από αφαλάτωση	SDAE	4.865.727	kWh
	17	Ετήσιες ενεργειακές ανάγκες που πρέπει να ικανοποιηθούν από τον στρόβιλο	TEN	197.778	kWh
	18	Ετήσια απορροφούμενη ενέργεια στροβίλου από αφαλάτωση	SFDAE	309.080	kWh
	19	Ετήσια απορριπτόμενη ενέργεια υδροστροβίλου	DTE	3.824	kWh
	20	Ετήσια απορροφούμενη ενέργεια από αφαλάτωση (συνολικά)	TDAE	5.174.807	kWh
	21	Ετήσια ενεργειακή κατανάλωση για άντληση	PUMP	626.976	kWh

Κεφάλαιο 7^ο – Βέλτιστος Σχεδιασμός Συστήματος

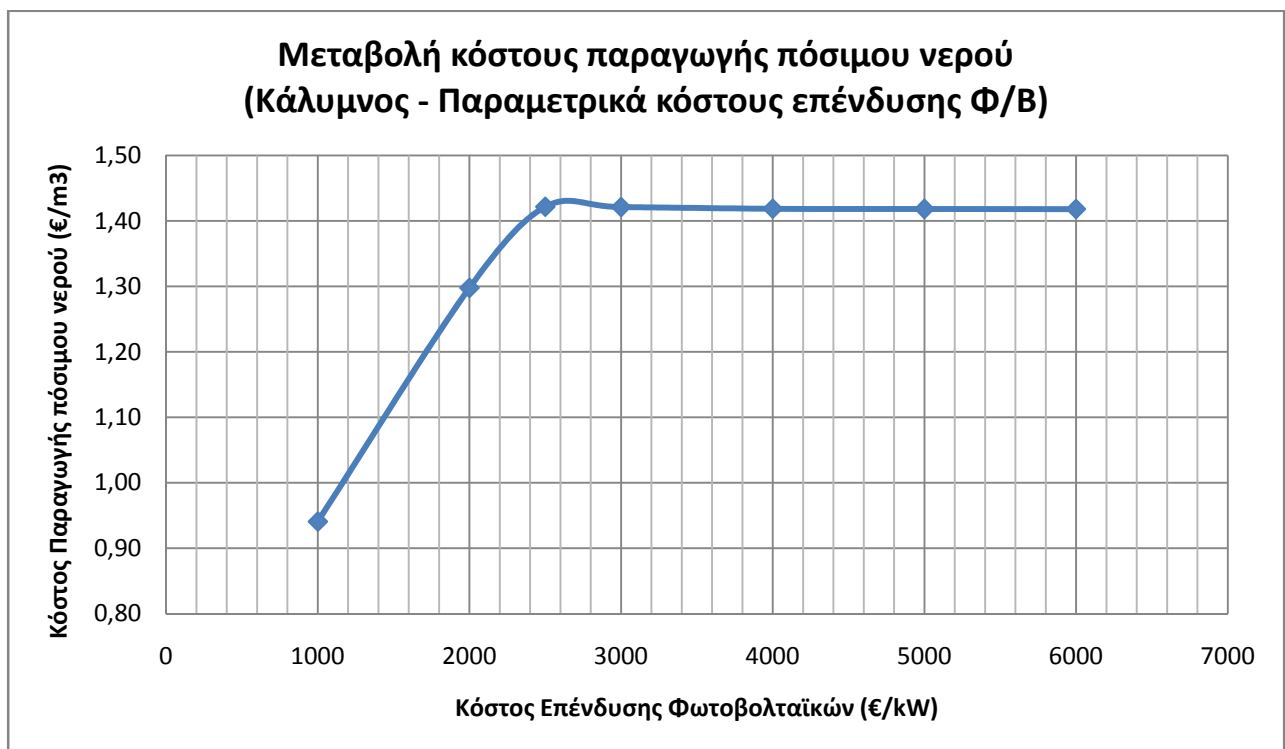
	22	Ετήσια απορριπτόμενη ενέργεια που διατέθηκε για άντληση	DPE	10.126.005	kWh
	23	Ετήσια διατιθέμενη ενέργεια για άντληση	RPE	10.752.982	kWh
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ	24	Ώρες που δεν ικανοποιούνται οι ανάγκες	LD	43	h
	25	Ώρες που καλείται να λειτουργήσει ο υδροστροβίλος	KH	174	h
	26	Ώρες που δουλεύει η αφαλάτωση σ' ένα έτος	DH	6791	h
	27	Ώρες που γίνεται άντληση σ' ένα έτος	PH	1756	h
	28	Ώρες που λειτουργεί οΥ/Σ σ' ένα έτος	TH	171	h
	29	Ώρες που παράγει ενέργεια η Α/Γ σ' ένα έτος	WH	6691	h
	30	Ώρες που παράγουν ενέργεια τα Φ/Β σ' ένα έτος	SH	0	h
	31	Ώρες που υπάρχει πλεόνασμα παραγωγής από Α/Γ +Φ/Β	PW	5661	h
	32	Φορές που "γέμισε" ο άνω ταμιευτήρας σ' ένα έτος	BK	2,91	-
	ΠΟΣΟΣΤΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ	33	Ποσοστό ικανοποίησης αναγκών σε νερό	VD	99,5
34		Ποσοστό απόρριψης ενεργειακού πλεονάσματος από Α/Γ+Φ/Β	ED	82,5	%
35		Ποσοστό απόρριψης ενεργειακής παραγωγής	UD	63,6	%
36		Ποσοστό αξιοποίησης παραγόμενης ενέργειας από Α/Γ +Φ/Β	VB	35,2	%
37		Ποσοστό ικανοποιημένων επιπλέον ενεργειακών αναγκών λόγω στροβίλου	AD	87	%
38		Ποσοστό συμμετοχής στροβίλου στην ετήσια παραγωγή νερού	DT	6	%
39		Ποσοστό αξιοποίησης διατιθέμενης ενέργειας για άντληση	PPD	5,8	%
40		Ποσοστό απορριπτόμενης ενέργειας στροβίλου προς συνολικής παραγωγής στροβίλου	PD	1,2	%
41		Ποσοστό εκμετάλλευσης Α/Γ	WU	76,4	%
42		Ποσοστό εκμετάλλευσης Φ/Β	SU	0	%
43		Ποσοστό εκμετάλλευσης αντλιών	PU	20	%
44		Ποσοστό εκμετάλλευσης υδροστροβίλου	TU	2	%
45		Ποσοστό εκμετάλλευσης ισχύος Α/Γ+Φ/Β	PWU	13,1	%
46		Ποσοστό εκμετάλλευσης ισχύος υδροστροβίλου	TPU	1,9	%
47		Ποσοστό εκμετάλλευσης ισχύος αντλιών	PPU	17,3	%
48		Ποσοστό εκμετάλλευσης ισχύος αφαλάτωσης	TD	23	%
49		Ποσοστό αξιοποίησης δεξαμενής πόσιμου	PUR	83,2	%
50		Ποσοστό αξιοποίησης άνω ταμιευτήρα	PUT	86	%
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ	51	Κόστος Επένδυσης Ηλιακού Πάρκου	PVINVEST	0	€
	52	Κόστος Επένδυσης Αιολικού Πάρκου	WINDINVEST	6.227.000	€
	53	Κόστος Επένδυσης Συστήματος αντλησιοταμίευσης	HYDROINVEST	7.454.523	€
	54	Κόστος Επένδυσης Μονάδας Αφαλάτωσης	DESINVEST	2.829.892	€
	55	Συνολικό Κόστος Επένδυσης	HYBRIDCOST	16.511.415	€
	56	Κόστος Συντήρησης & Λειτουργίας Ηλιακού Πάρκου	PVMAINT	0	€
	57	Κόστος Συντήρησης & Λειτουργίας Αιολικού Πάρκου	WINDMAINT	124.540	€
	58	Κόστος Σ. & Λ. Συστήματος αντλησιοταμίευσης	HYDROMAINT	149.090	€

59	Κόστος Συντήρησης & Λειτουργίας Μονάδας Αφαλάτωσης	DESMINT	232.989	€
60	Συνολικό Κόστος Συντήρησης & Λειτουργίας	HYBRIDMAINT	506.620	€
61	Προβλεπόμενα Ετήσια Έσοδα	HYBRIDINC	4.312.339	€
62	Κόστος παραγωγής νερού	WPC	1,42	€/m ³
63	Κόστος παραγωγής ενέργειας	EPC	0,36	€/kWh
64	Χρόνος αποπληρωμής	T	4,34	έτη
65	Δείκτης BCR	BCR	2,25	-
66	Δείκτης NPV	NPV	27.969.556	€
67	Δείκτης IRR	IRR	27,56	%

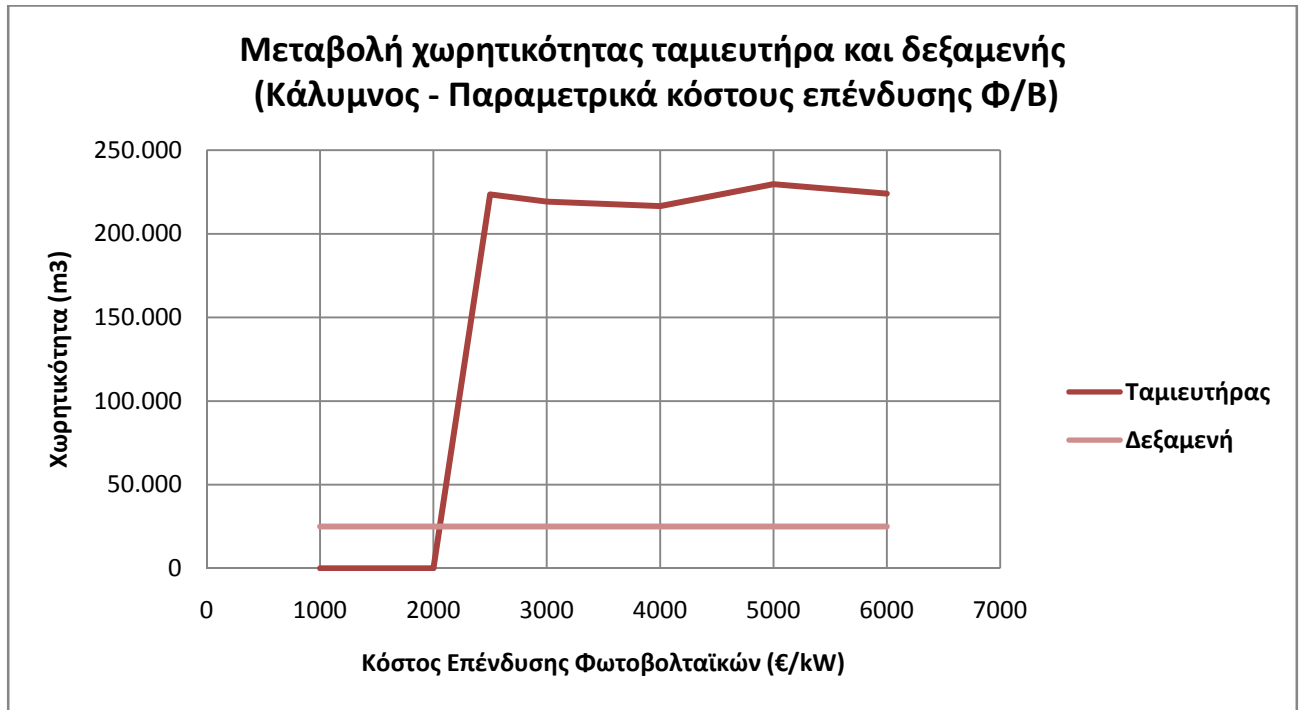
Πίνακας 7.4 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα βέλτιστης ως προς το κόστος παραγωγής πόσιμου νερού λύσης για το νησί της Καλύμνου

Παραμετρική μελέτη ως προς το κόστος επένδυσης Φ/Β

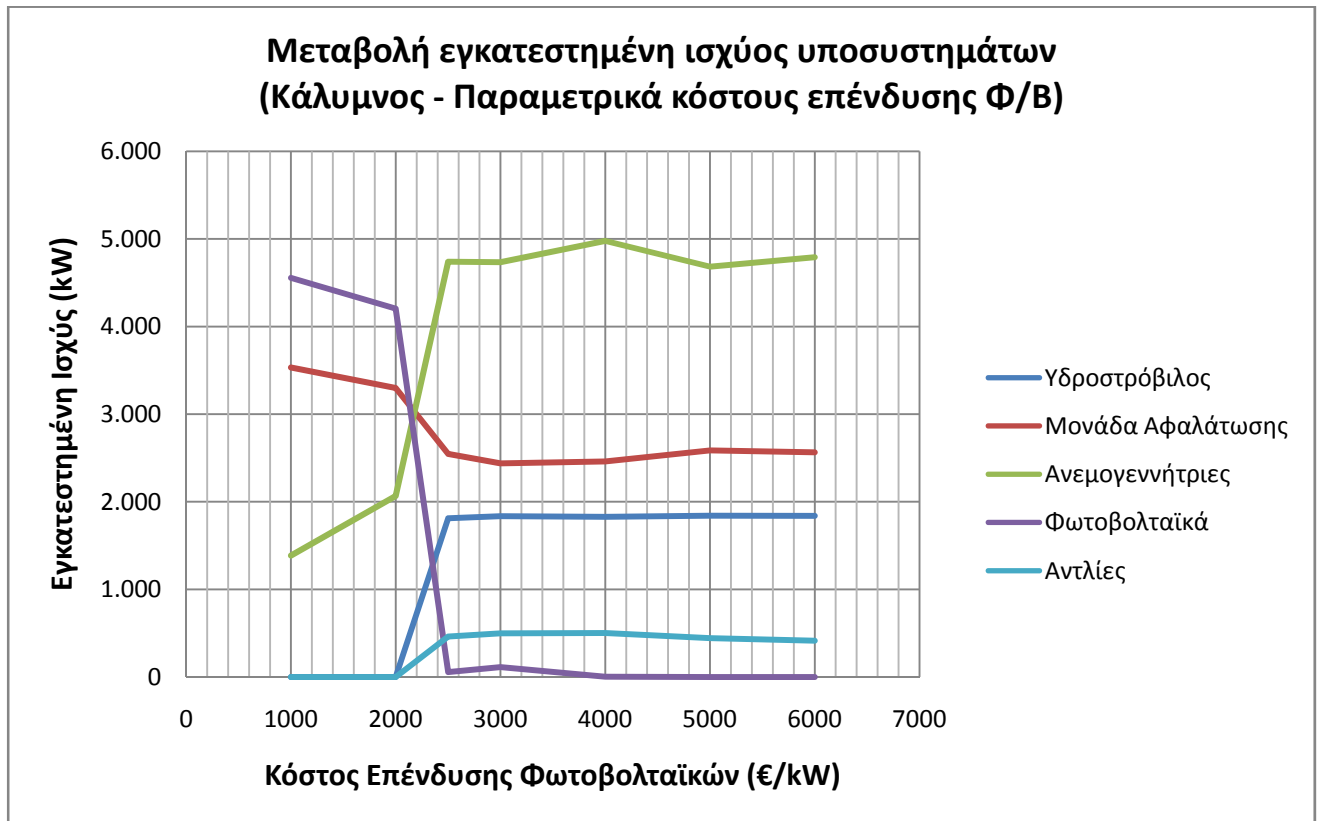
Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, τα φωτοβολταϊκά δεν αποτελούν μέρος της βέλτιστης λύσης του συστήματος λόγω του αυξημένου κόστους επένδυσης. Έτσι, κρίθηκε σκόπιμο να επαναλάβουμε την παραμετρική μελέτη ως προς το κόστος επένδυσης των Φ/Β και για την Κάλυμνο, προκειμένου να αντιληφθούμε αν η μεταβολή των παραμέτρων του συστήματος επηρεάζεται από το μέγεθος του, υπό μελέτη, νησιού. Προέκυψαν, λοιπόν, τα παρακάτω παραμετρικά διαγράμματα:



Σχήμα 7.11 Μεταβολή κόστους παραγωγής πόσιμου βέλτιστων λύσεων για την Κάλυμνο συναρτήσει του κόστους επένδυσης των Φ/Β



Σχήμα 7.12 Μεταβολή χωρητικότητας ταμιευτήρα και δεξαμενής πόσιμου νερού βέλτιστων λύσεων για την Κάλυμνο συναρτήσει του κόστους επένδυσης των Φ/Β



Σχήμα 7.13 Μεταβολή εγκατεστημένης ισχύος υποσυστημάτων βέλτιστων λύσεων για την Κάλυμνο συναρτήσει του κόστους επένδυσης των Φ/Β

Από τα διαγράμματα που προέκυψαν από τη παραμετρική αυτή μελέτη για την Κάλυμνο, μπορούμε να σημειώσουμε τα εξής:

- Αρχικά, αντιλαμβανόμαστε, ότι η μείωση του κόστους επένδυσης των Φ/Β έχει επίδραση στο κόστος παραγωγής βέλτιστων λύσεων για τιμές μικρότερες των 2.500 €/kW (Σχήμα 7.11). Έτσι, όταν το κόστος επένδυσης των Φ/Β, κάποια στιγμή στο μέλλον, κυμανθεί στα επίπεδα των 1.000-2.000 €/kW, το υπολογιζόμενο κόστος παραγωγής πόσιμου νερού θα είναι της τάξεως των 0,94-1,3 €/m³.
- Το κόστος επένδυσης για το οποίο τα φωτοβολταϊκά, αρχίζουν να αποτελούν μέρος του συστήματος, είναι περίπου τα 2.500 €/kW, όπως είναι ορατό στο σχήμα 7.13. Μάλιστα, η απαιτούμενες ισχύεις των ανεμογεννητριών και των φωτοβολταϊκών εξισώνονται για κόστος επένδυσης που κυμαίνεται στα 2.200 €/kW. Από το σημείο αυτό, τα φωτοβολταϊκά αποτελούν την κύρια πηγή τροφοδοσίας της αφαλάτωσης, της οποίας η ισχύς επίσης αυξάνεται.
- Χαρακτηριστική είναι, η μη απαίτηση για σύστημα αντλησιοταμίευσης (ισχύς υδροστροβίλου, ισχύς αντλιών, χωρητικότητα ταμιευτήρα) για κόστος επένδυσης Φ/Β μικρότερο των 2.000 €/kW (Σχήμα 7.12,7.13) όπου τα Φ/Β έχουν τα υψηλότερη εγκατεστημένη ισχύ συγκριτικά με τις υπόλοιπες μονάδες παραγωγής ισχύος (Α/Γ και υδροστρόβιλος). Το γεγονός αυτό οφείλεται, όπως αναφέραμε και για την περίπτωση της Αμοργού, στην ακολουθία παραγωγής ενέργειας από τα Φ/Β με τη ζήτηση πόσιμου νερού κατά τη διάρκεια μιας ημέρας. Βέβαια, θα τονίσουμε για άλλη μια φορά, ότι δεν αποτελεί ενδεδειγμένη λύση η εφαρμογή υβριδικού συστήματος χωρίς σύστημα αποθήκευσης ενέργειας.

7.3.1.3 Συμπεράσματα βελτιστοποίησης απλού στόχου

Κλείνοντας την υποενότητα, όπου παρουσιάστηκε η βελτιστοποίηση του συστήματος ως προς ένα στόχο, το κόστος παραγωγής πόσιμου νερού, καταλήγουμε σε κάποιες γενικές διαπιστώσεις:

- Το κόστος παραγωγής πόσιμου νερού βέλτιστων λύσεων, 1,93 €/m³ για την Αμοργό και 1,42 €/m³ για την Κάλυμνο, αποτελούν ιδιαίτερα ελκυστικές τιμές (συγκριτικά με το κόστος μεταφοράς νερού με υδροφόρες) για πιθανή εφαρμογή του συστήματος. Επίσης, αντιλαμβανόμαστε ότι όσο περισσότερων κατοίκων τις ανάγκες καλείται να καλύψει το σύστημα, τόσο πιο χαμηλό κόστος παραγωγής βέλτιστης λύσης προκύπτει.
- Τα φωτοβολταϊκά, δεν αποτελούν μέρος της βέλτιστης λύσης του συστήματος τόσο για την Αμοργό όσο και για την Κάλυμνο, λόγω του τωρινού υψηλού κόστους επένδυσης τους. Από τις παραμετρικές μελέτες που παρουσιάστηκαν, συμπεράναμε ότι τα φωτοβολταϊκά θα περιληφθούν στο σύστημα για κόστος επένδυσης μικρότερο των 4.000 €/kW για την Αμοργό

και 2.500 €/kW για την Κάλυμνο. Η διαφορά που παρατηρείται οφείλεται στην διαφορά ποσοστού εκμετάλλευσης της εγκατεστημένης ισχύος των ανεμογεννητριών που προέκυψε για τη βέλτιστη λύση ανάμεσα στα δύο νησιά (βλ. Πίνακες 7.2,7.4). Ακόμα ένα συμπέρασμα που προέκυψε είναι ότι για κόστος επένδυσης μικρότερο των 3.500 €/kW για την Αμοργό και 2.000 €/kW για την Κάλυμνο, προκύπτουν βέλτιστα οικονομικά συστήματα που δεν περιλαμβάνουν σύστημα αντλησιοταμίευσης. Αντίστοιχα, οι διαφορετικές αυτές τιμές προέκυψαν λόγω των υψηλότερων ποσοστών χρήσης του συστήματος αντλησιοταμίευσης στην Κάλυμνο συγκριτικά με την Αμοργό. Να σημειώσουμε ότι οι ανεμογεννήτριες και τα φωτοβολταϊκά αποκτούν ίσες εγκατεστημένες ισχύεις στις βέλτιστες λύσεις για τα δύο νησιά, για το ίδιο περίπου εύρος τιμών κόστους που κυμαίνεται μεταξύ 2.000-2.500 €/kW.

- Τα συστήματα βέλτιστων λύσεων των δύο νησιών περιλαμβάνουν δεξαμενή πόσιμου με χωρητικότητα τη μέγιστη επιτρεπτή. Είναι κατανοητό, προτιμάται η αποθήκευση της ενέργειας υπό τη μορφή παραγόμενου πόσιμου νερού, συγκριτικά με την αποθήκευση με μορφή δυναμικής ενέργειας στον ταμιευτήρα, λόγω του χαμηλότερου κόστους της δεξαμενής από το σύστημα αντλησιοταμίευσης. Εντούτοις, ο περιορισμός για ανώτατη επιτρεπτή χωρητικότητα δεξαμενής, για λόγους ποιότητας, καθιστά αναγκαία την χρήση του συστήματος αντλησιοταμίευσης.
- Παρατηρώντας τους πίνακες 7.2 και 7.4 με τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των βέλτιστων λύσεων για τα δύο νησιά, καταλήγουμε ότι η συμμετοχή του υδροστρόβιλου στην τροφοδοσία της αφαλάτωσης κατά τη διάρκεια του έτους (A/A: 38), βρίσκεται σε αρκετά χαμηλό ποσοστό. Μάλιστα, για την Αμοργό παίρνει την τιμή 2%, ενώ για την Κάλυμνο είναι στο 6%. Θα μπορούσε να πούμε, ότι ίσως, αυτό το τόσο χαμηλό ποσοστό να μην δικαιολογεί την εγκατάσταση ενός τόσο μεγάλου σε όγκο, αλλά και υψηλού σε κόστος, συστήματος αποθήκευσης ενέργειας. Παρ' όλα αυτά, δεν μπορούμε να αποφανθούμε, από τις συγκεκριμένες μελέτες, για την βαθμό χρησιμότητας του συστήματος αντλησιοταμίευσης, αφού δεν απαιτήσαμε 100% ικανοποίηση των ετήσιων αναγκών, αποκλείοντας έτσι περιπτώσεις που ο υδροστρόβιλος θα καλούταν να λειτουργήσει. Είναι πιθανό, λοιπόν, τα ποσοστά αυτά, να αυξάνονται σε περίπτωση απαίτησης για πλήρη ικανοποίηση των ετήσιων αναγκών σε πόσιμο νερό των κατοίκων του νησιού. Τέλος, η διαφορά που παρατηρείται στα ποσοστά των δύο νησιών, είναι ενδεικτική του ότι ένα σύστημα αντλησιοταμίευσης είναι καταλληλότερο για μεγάλων μεγεθών υβριδικά συστήματα.

7.3.2 Βελτιστοποίηση διπλού στόχου

Στην προηγούμενη υποενότητα παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης με ένα στόχο. Όμως, ένα σύστημα που χαρακτηρίζεται από τη βέλτιστη τιμή ενός δείκτη αξιολόγησης δεν αποτελεί, απαραίτητα, το επιθυμητό αφού μπορεί συγχρόνως η τιμή ενός άλλου μεγέθους, σημαντικού για την αξιολόγηση του συστήματος, να κρίνεται μη αποδεκτή. Έτσι, θεωρήθηκε αναγκαίο να γίνει βελτιστοποίηση του συστήματος ως κάποια ζεύγη ανταγωνιστικών στόχων.

Τα ζεύγη στόχων που επιλέχθηκαν είναι τα εξής:

- Ποσοστό ικανοποίησης αναγκών, VD – Κόστος παραγωγής πόσιμου νερού, WPC
- Τιμή πώλησης πόσιμου νερού, WSP – Δείκτης IRR
- Ποσοστό απόρριψης ενέργειας, UD – Χωρητικότητα ταμιευτήρα, TTC

Η βελτιστοποίηση διπλού στόχου πραγματοποιήθηκε, όπως και η απλού στόχου, για δύο νησιά διαφορετικού επιπέδου αναγκών σε πόσιμο νερό, την Αμοργό (7.3.2.1) και την Κάλυμνο (7.3.2.2). Αντίθετα με την απλού στόχου, στη βελτιστοποίηση διπλού στόχου προκύπτει ένα πλήθος βέλτιστων λύσεων που ικανοποιούν τις δύο συγκεκριμένες απαιτήσεις. Προκύπτει λοιπόν μια καμπύλη, τα σημεία της οποίας αποτελούν τις βέλτιστες λύσεις ως προς τους δύο στόχους ταυτοχρόνως. Σε κάθε καμπύλη που προέκυψε και παρουσιάζεται για κάθε νησί στις υποενότητες που ακολουθούν, παρατίθενται δύο παραδείγματα συνδυασμών παραμέτρων του συστήματος που δίνουν δύο ζεύγη βέλτιστων τιμών των στόχων, για την καλύτερη εσοπτεία των αποτελεσμάτων.

Σχετικά με την επιλογή των στόχων, κρίθηκε απαραίτητο να συνδυαστούν τόσο τεχνικοί όσο και οικονομικοί στόχοι, είτε αυτοί είναι δείκτες αξιολόγησης είτε είναι παράμετροι του συστήματος. Όπως είναι ορατό από τα ζεύγη που επιλέχθηκαν, οι συνδυασμοί στόχων, ως προς τους οποίους βελτιστοποιήθηκε το σύστημα, αποτελούν περιπτώσεις τεχνοοικονομικής ($VD - WPC$), οικονομικής ($WSP - IRR$), τεχνικής ($UD - TTC$) βελτιστοποίησης. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να σημειώσουμε τους περιορισμούς που συμπεριλήφθηκαν στη βελτιστοποίηση διπλού στόχου.

Ο κοινός, για κάθε βελτιστοποίηση, περιορισμός που λήφθηκε υπ' όψη είναι η ανώτατη επιτρεπτή χωρητικότητα της δεξαμενής. Έτσι, ενώ οι υπόλοιπες παράμετροι είναι σε θέση να λάβουν οποιαδήποτε τιμή, η χωρητικότητα της δεξαμενής πόσιμου νερού μπορεί να είναι μέχρι 4.500 m^3 , για την Αμοργό, και 15.000 m^3 , για την Κάλυμνο, για λόγους που έχουμε ήδη αναφέρει στη παρουσίαση των αποτελεσμάτων της βελτιστοποίησης απλού στόχου. Επίσης, λαμβάνεται ένα κατώτατο όριο για τη χωρητικότητα της δεξαμενής, που όμως δεν έχει καμία επίδραση στη διαδικασία, αφού παρατηρείται ότι σε κάθε περίπτωση βέλτιστων λύσεων, δεξαμενή λαμβάνει τιμές παρόμοιες με την ανώτατη. Έχουμε, λοιπόν

$$500 \leq RTC \leq 4.500 \text{ (m}^3\text{)} \quad \text{Αμοργός}$$

$$500 \leq RTC \leq 25.000 \text{ (m}^3\text{)} \quad \text{Κάλυμνος}$$

Τέλος, στις βελτιστοποιήσεις ($WSP - IRR$) και ($UD - TTC$), τίθεται η προϋπόθεση, οι βέλτιστες λύσεις που προκύπτουν να ικανοποιούν την απαίτηση για συγκεκριμένο ποσοστό ικανοποίησης των ετήσιων αναγκών σε πόσιμο νερό, VD , για τους ίδιους λόγους που έχουν αναφερθεί στη βελτιστοποίηση απλού στόχου. Λαμβάνεται, λοιπόν, κατώτατο όριο ποσοστού ικανοποίησης αναγκών σε πόσιμο νερό της τάξεως του 99,5%:

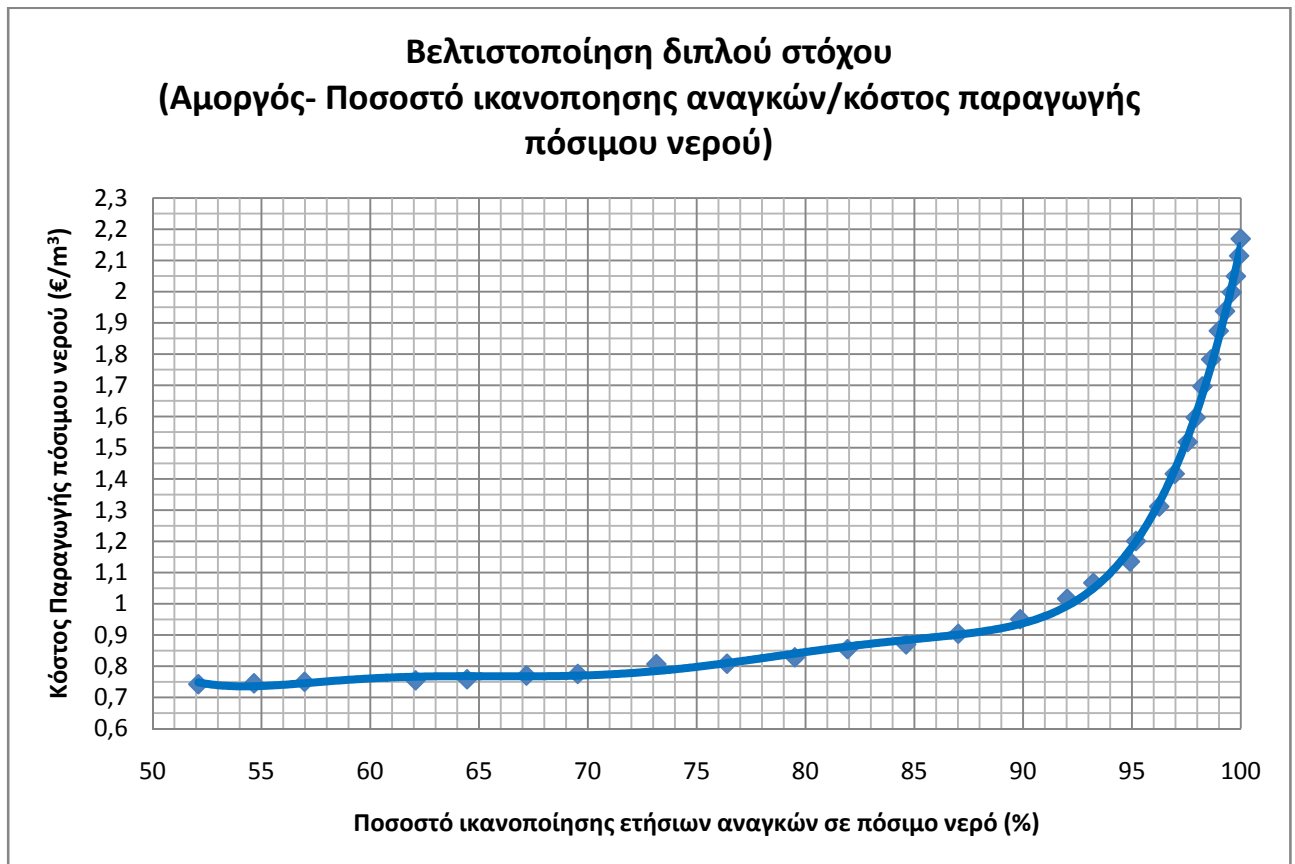
$$VD \geq 99,5\%$$

7.3.2.1 Βελτιστοποίηση για νησί μεσαίων αναγκών (2.500 μόνιμοι κάτοικοι)

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα διαγράμματα βελτιστοποίησης των τριών ζευγών στόχων που προέκυψαν για ένα νησί μεσαίων αναγκών σαν την Αμοργό, καθώς και δύο παραδείγματα συνδυασμών παραμέτρων συστήματος για κάθε βελτιστοποίηση διπλού στόχου. Το κάθε παράδειγμα αποτελεί βέλτιστο συνδυασμό. Λόγω του ότι είναι αντιστρόφως ανάλογα μεγέθη, η τιμή του άλλου μεγέθους δεν θα είναι η τιμή που θα προέκυπτε σε βελτιστοποίηση απλού στόχου, αλλά θα είναι η καλύτερη δυνατή για συγκεκριμένη τιμή του ενός. Έτσι, δίνεται η δυνατότητα επιλογής, αναλόγως της βαρύτητας και της επιθυμητούς τιμής-ορίου ενός εκ των δύο στόχων.

Ποσοστό ικανοποίησης αναγκών, VD – Κόστος παραγωγής πόσιμου νερού, WPC

Ο συγκεκριμένος διπλός στόχος ουσιαστικά αποτελεί διεύρυνση του απλού στόχου που αναλύθηκε στην υποενότητα 7.3.1, αφού και εδώ βελτιστοποιείται το κόστος παραγωγής πόσιμου νερού αλλά συγχρόνως με το ποσοστό ικανοποίησης των ετήσιων αναγκών σε πόσιμο νερό. Το σχήμα 7.14 αντικατοπτρίζει τη συσχέτιση μεταξύ των δύο μεγεθών για τις βέλτιστες, ως προς αυτά, λύσεις του συστήματος. Έτσι, δίνεται δυνατότητα προσαρμοστικότητας της επένδυσης σε διαφορετικές απαιτήσεις ικανοποίησης των αναγκών σε νησιά τέτοιου επιπέδου αναγκών.



Σχήμα 7.14 Βελτιστοποίηση διπλού στόχου – Ποσοστό ικανοποίησης ετήσιων αναγκών/Κόστος παραγωγής πόσιμου νερού – Αμοργός

Από το σχήμα 7.12 παρατηρούμε, όπως ήταν αναμενόμενο, ότι με αύξηση του απαιτούμενου ποσοστού ικανοποίησης αναγκών, οδηγούμαστε σε αυξημένο κόστος παραγωγής πόσιμου νερού, λόγω των μεγαλύτερης ισχύος υποσυστημάτων που απαιτούνται. Βέβαια, για ποσοστό ικανοποίησης αναγκών μικρότερο του 90%, η μεταβολή του κόστους παραγωγής πόσιμου νερού είναι μικρή, αφού κυμαίνεται μεταξύ των 0,75 και 0,9 €/m³. Για ποσοστά ικανοποίησης υψηλότερα του 90%, παρατηρείται κατακόρυφη άνοδος του κόστους, φτάνοντας στα 2,15 €/m³ για πλήρη ικανοποίηση των υπολογιζόμενων αναγκών. Αυτό το 10% των αναγκών, για το οποίο έχουμε ραγδαία μεταβολή στη συσχέτιση των δύο μεγεθών, αντιστοιχεί σε ανάγκες που δεν είναι σε θέση να ικανοποιηθούν από σύστημα που περιέχει μόνο Α/Γ, και απαιτείται σύστημα αντλησιοταμίευσης που επιβαρύνει οικονομικά το σύστημα. Ενδεικτικά αναφέρονται δύο παραδείγματα συστημάτων στον πίνακα 7.5.

Παραδείγματα Συστημάτων για τη Βελτιστοποίηση Διπλού Στόχου				
Αμοργός - Ποσοστό Ικανοποίησης Ετήσιων Αναγκών/Κόστος Παραγωγής Πόσιμου Νερού				
A/A	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	A	B	ΜΟΝΑΔΕΣ
1	Χωρητικότητα Ταμιευτήρων	0	12.157	m ³
2	Ισχύς Υδροστροβίλου	0	498	kW
3	Χωρητικότητα Δεξαμενής πόσιμου νερού	2.259	4.500	m ³
4	Ισχύς Αφαλάτωσης	129	647	kW
5	Ισχύς Ανεμογεννητριών	183	1.533	kW
6	Ισχύς Φωτοβολταϊκών	0	0	kW
7	Ισχύς Αντλιών	0	122	kW
8	Μόνιμος Πληθυσμός νησιού	2.500	2.500	κάτοικοι
9	Τιμή πώλησης νερού	2,5	2,5	€/m ³
Ποσοστό Ικανοποίησης Ετήσιων Αναγκών		52,10	100,00	%
Κόστος Παραγωγής Πόσιμου Νερού		0,74	2,17	€/m ³

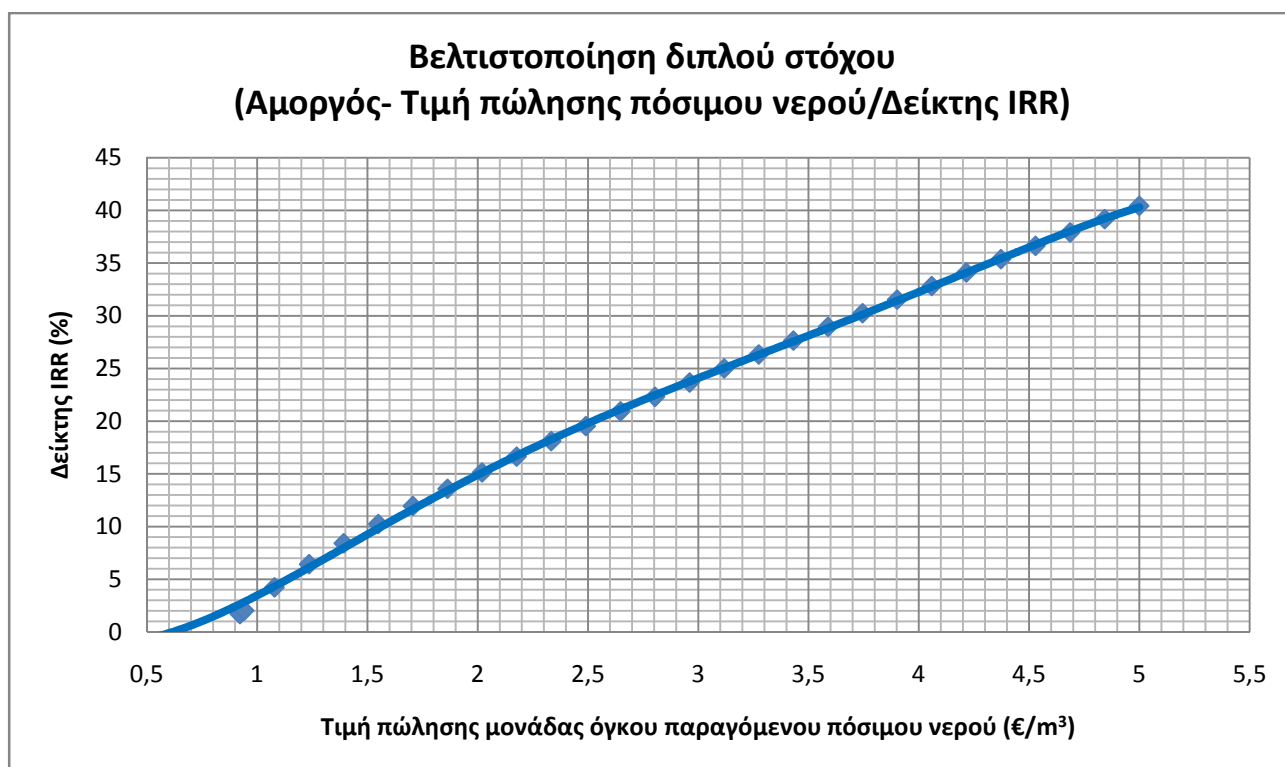
Πίνακας 7.5 Παραδείγματα Συστημάτων για τη Βελτιστοποίηση Διπλού Στόχου - Αμοργός - Ποσοστό Ικανοποίησης Ετήσιων Αναγκών/Κόστος Παραγωγής Πόσιμου Νερού

Είναι φανερό στο παράδειγμα Α του πίνακα 7.5, όπου το σύστημα είναι κατάλληλο για ικανοποίηση μόλις του 52% των ετήσιων αναγκών με κόστος παραγωγής 0,74 €/m³, δεν περιλαμβάνει σύστημα αντλησιοταμίευσης και φωτοβολταϊκά. Βέβαια, θα πρέπει να επαναλάβουμε ότι δεν αποτελεί ρεαλιστική πρακτική η εφαρμογή αυτόνομων συστημάτων ΑΠΕ χωρίς σύστημα αποθήκευσης ενέργειας. Η τροφοδοσία της αφαλάτωσης γίνεται αποκλειστικά από τις Α/Γ, ενώ η χωρητικότητα της δεξαμενής λαμβάνει μια ενδιάμεση τιμή των ορίων. Αντίθετα στο παράδειγμα Β, για πλήρη ικανοποίηση των αναγκών, προκύπτει ένα σύστημα με αρκετά μεγαλύτερες ισχύεις σε κάθε υποσύστημα, και χωρητικότητα δεξαμενής πόσιμου νερού τη μέγιστη δυνατή. Επίσης, λόγω της απαίτησης για πλήρη ικανοποίηση των αναγκών, η βέλτιστη λύση Β περιέχει σύστημα αντλησιοταμίευσης με ταμιευτήρα μεγαλύτερης χωρητικότητας και υδροστροβίλο μεγαλύτερης ισχύος σε σχέση με τη βέλτιστη λύση που προέκυψε από τη βελτιστοποίηση απλού στόχου (Πίνακας 7.1). Κάτι τέτοιο, όπως είναι λογικό,

επιβαρύνει το κόστος παραγωγής ($2,17 \text{ €/m}^3$) αλλά εγγυάται την ικανοποίηση των αναγκών κατά τη διάρκεια του έτους. Τέλος, να σημειώσουμε ότι δεν περιλαμβάνονται φωτοβολταϊκά και στη λύση Β, λόγω της απαίτησης για ελάχιστο κόστος παραγωγής και του υψηλού κόστους επένδυσης των φωτοβολταϊκών.

Τιμή πώλησης πόσιμου νερού, WSP /Δείκτης IRR

Το συγκεκριμένο ζεύγος στόχων αποτελεί μια περίπτωση, καθαρά, οικονομικής βελτιστοποίησης. Η καμπύλη που προέκυψε για το νησί της Αμοργού και παρουσιάζεται στο σχήμα 7.15, αποτελείται από σημεία – βέλτιστες λύσεις που διαφέρουν μόνο στην τιμή πώλησης του πόσιμου νερού, ως προς τις τιμές των παραμέτρων. Ουσιαστικά, λοιπόν, το σχήμα 7.15 αποτελεί μια παραμετρική μελέτη της βέλτιστης λύσης που προέκυψε για την Αμοργό (Πίνακας 7.1), στην οποία μελετάται η μεταβολή του δείκτη IRR συναρτήσει της τιμής πώλησης του πόσιμου νερού. Να σημειώσουμε ότι ο δείκτης IRR, υπολογίζεται βάσει της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε στο κεφάλαιο 5, ενώ η τιμή πώλησης του νερού αποτελεί παρούσα τιμή.



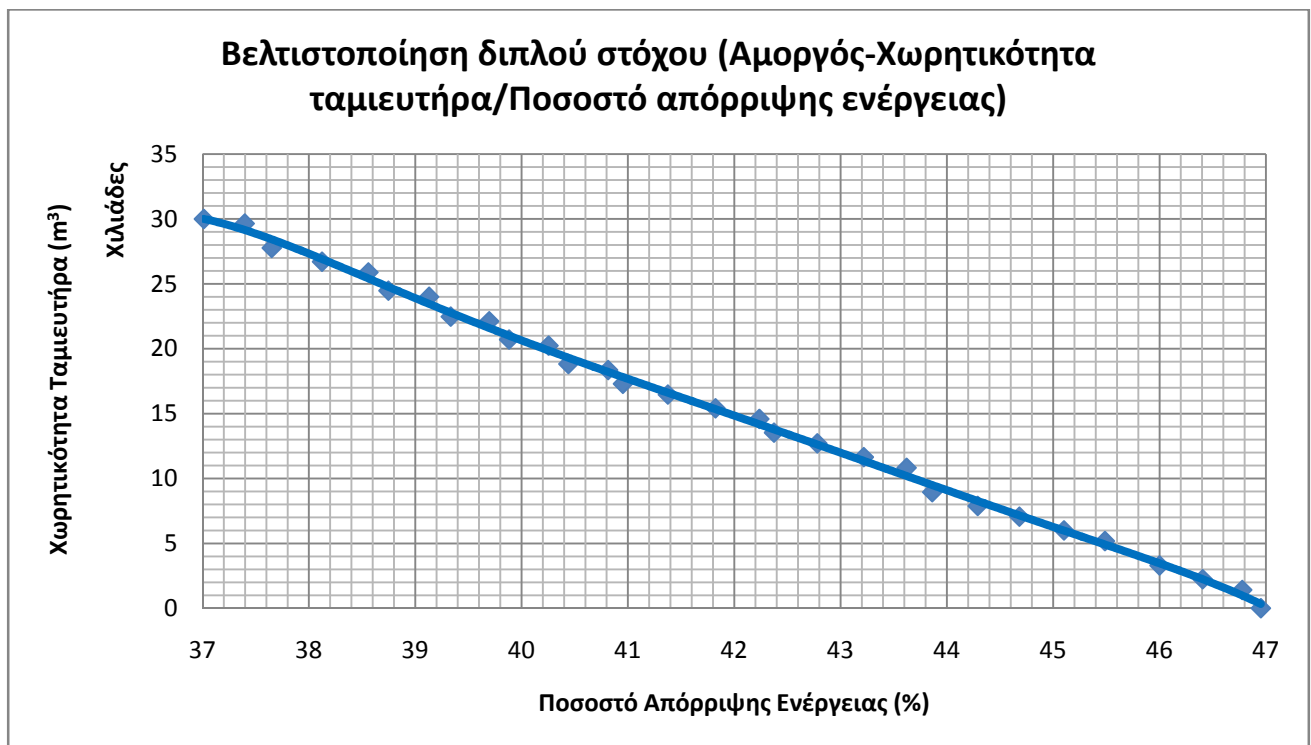
Σχήμα 7.15 Βελτιστοποίηση διπλού στόχου – Τιμή πώλησης πόσιμου νερού/Δείκτης IRR – Αμοργός

Παρατηρούμε στο σχήμα 7.15 ότι προκειμένου η επένδυση να χαρακτηρίζεται από αποδεκτή τιμή του IRR (ανώτερη του 10%), πρέπει η τιμή πώλησης του πόσιμου νερού με σημερινή αξία να είναι μεγαλύτερη των $1,6 \text{ €/m}^3$ ή αντίστοιχα η μέση τιμή πώλησης της 20ετούς διάρκειας ζωής του έργου να είναι μεγαλύτερη των $2,44 \text{ €/m}^3$. Το συγκεκριμένο όριο της τιμής πώλησης κρίνεται εξαιρετικά συμφέρον για έναν επενδυτή, αφού μια πιθανή μεγαλύτερη τιμή πώλησης, όπως για παράδειγμα τα 2 €/m^3 (παρούσα αξία) ή αντίστοιχα $3,04 \text{ €/m}^3$ (μέση τιμή 20ετίας),

δίνει ποσοστό περίπου 15% για το δείκτη *IRR*. Υπενθυμίζουμε ότι το κόστος μεταφοράς του νερού με υδροφόρες σήμερα ανέρχεται στα 7,9 €/m³, ενώ η πρόσκληση ενδιαφέροντος για υποβολή προτάσεων έχει απαίτηση για ανώτατη τιμή πώλησης του νερού (παρούσας αξίας) τα 2,5 €/m³.

Χωρητικότητα ταμιευτήρα, *TTC* /Ποσοστό απόρριψης ενέργειας, *UD*

Κρίθηκε ενδιαφέρον, να βελτιστοποιηθεί το σύστημα, ως προς δύο τεχνικά μεγέθη, και να μελετηθούν οι βέλτιστες λύσεις που προκύπτουν ανεξαρτήτως, των οικονομικών αποτελεσμάτων τους. Επιλέχθηκε, λοιπόν να βελτιστοποιηθεί το σύστημα ως προς το ποσοστό απόρριψης ενέργειας και τη χωρητικότητα του ταμιευτήρα, και προέκυψε η καμπύλη του σχήματος 7.16. Τα αποτελέσματα αυτής της βελτιστοποίησης, θα δώσουν συστήματα που χαρακτηρίζονται από ελάχιστη απόρριψη ενέργειας με το μικρότερο δυνατό μέγεθος ταμιευτήρα. Ας μην ξεχνάμε, ότι η εγκατάσταση μεγάλων ταμιευτήρων παρουσιάζει αρκετές δυσκολίες και επιβαρύνει τον οικονομικό προϋπολογισμό του συστήματος, αλλά συγχρόνως συμβάλλει στην αποθήκευση της περίσσειας της παραγόμενης ενέργειας, γεγονός που καθιστά τους δύο στόχους ανταγωνιστικούς.



Σχήμα 7.16 Βελτιστοποίηση διπλού στόχου – Ποσοστό απόρριψης ενέργειας/Χωρητικότητα ταμιευτήρα – Αμοργός

Από το σχήμα 7.16 συμπεραίνουμε ότι, σε κάθε περίπτωση βέλτιστης λύσης, η απορριπτόμενη ενέργεια θα κυμαίνεται μεταξύ του 37% και 47% της παραγόμενης ενέργειας. Βέβαια, η παρατηρούμενη διαφορά ποσοστού απόρριψης είναι πολύ μικρή για το αρκετά μεγάλο εύρος χωρητικότητας του ταμιευτήρα. Έτσι, ενώ για ταμιευτήρα χωρητικότητας 30.000 m³ έχουμε

απόρριψη ενέργειας στο 37%, για ταμιευτήρα 5.000 m³ το ποσοστό ανέρχεται στο 45,5%. Στον πίνακα 7.6 αναφέρονται δύο χαρακτηριστικά παραδείγματα βέλτιστων λύσεων.

Παραδείγματα Συστημάτων για τη Βελτιστοποίηση Διπλού Στόχου				
Αμοργός - Ποσοστό απόρριψης ενέργειας/Χωρητικότητα ταμιευτήρα				
A/A	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	A	B	ΜΟΝΑΔΕΣ
1	Χωρητικότητα Ταμιευτήρων	30.000	2.235	m ³
2	Ισχύς Υδροστροβίλου	436	364	kW
3	Χωρητικότητα Δεξαμενής πόσιμου νερού	4.500	4.500	m ³
4	Ισχύς Αφαλάτωσης	1.167	1.167	kW
5	Ισχύς Ανεμογεννητριών	0	0	kW
6	Ισχύς Φωτοβολταϊκών	935	1.054	kW
7	Ισχύς Αντλιών	129	129	kW
8	Μόνιμος Πληθυσμός νησιού	2500	2500	κάτοικοι
9	Τιμή πώλησης νερού	2,5	2,5	€/m ³
Ποσοστό απόρριψης ενέργειας		37,01	46,40	%
Χωρητικότητα ταμιευτήρα		30.000	2.235	m³

Πίνακας 7.6 Παραδείγματα Συστημάτων για τη Βελτιστοποίηση Διπλού Στόχου - Αμοργός - Ποσοστό απόρριψης ενέργειας/Χωρητικότητα ταμιευτήρα

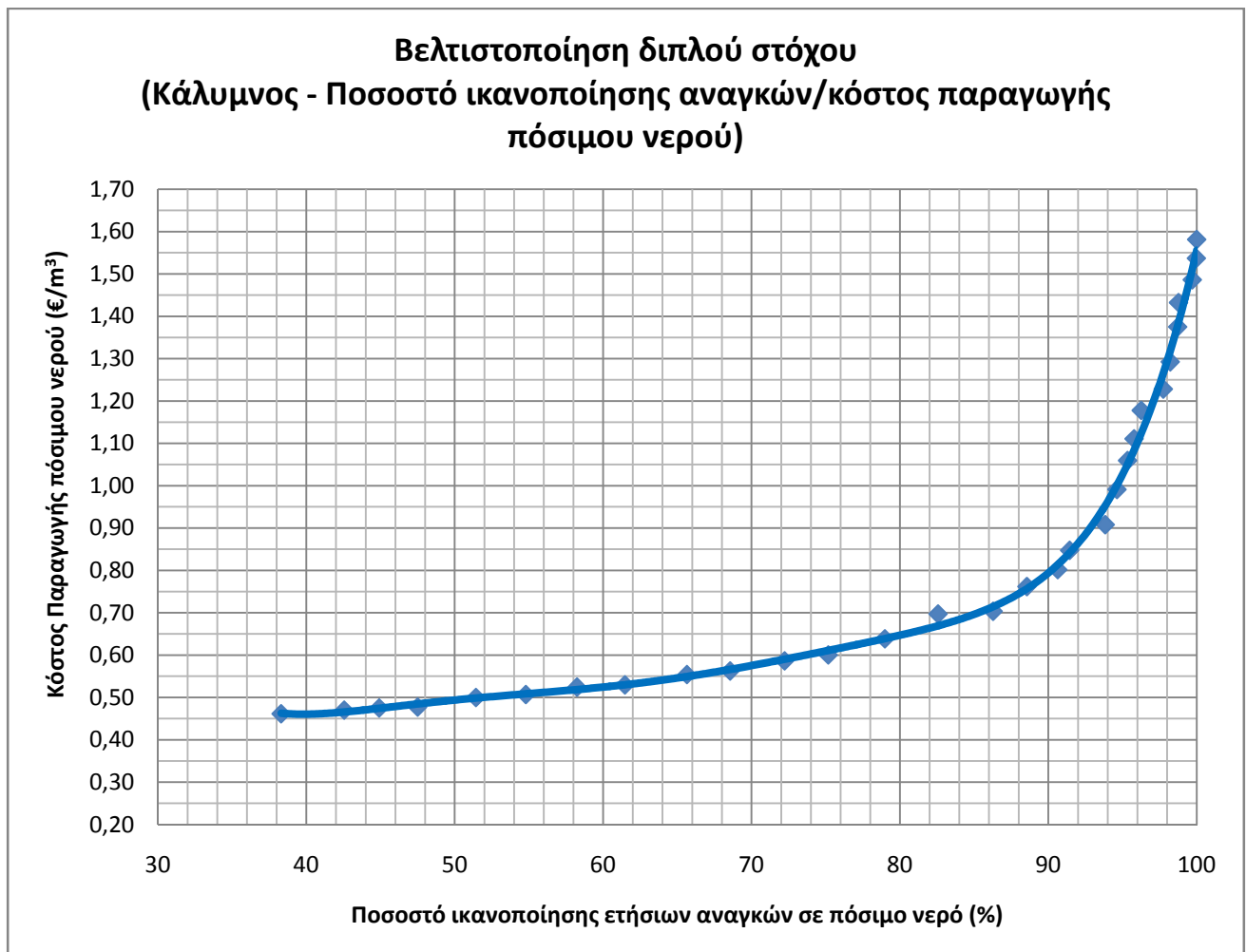
Αυτό που πρέπει να τονιστεί, παρατηρώντας τον πίνακα 7.6, είναι το γεγονός ότι και στα δύο παραδείγματα συστημάτων, η τροφοδοσία της αφαλάτωσης βασίζεται αποκλειστικά στα φωτοβολταϊκά και όχι στις ανεμογεννήτριες όπως σε όλες τις προηγούμενες περιπτώσεις. Αυτό συμβαίνει, για το λόγο ότι λειτουργικά τα φωτοβολταϊκά υπερτερούν των ανεμογεννητριών στο ότι παράγουν ενέργεια σε ώρες της ημέρας που εμφανίζονται αυξημένες ανάγκες σε νερό, με αποτέλεσμα να απορροφάται μεγάλο μέρος της παραγόμενης ενέργειας και να μην απορρίπτεται. Ακόμα, απαιτείται μεγαλύτερης ισχύος μονάδα αφαλάτωσης σε σχέση με τη βέλτιστη λύση (Πίνακας 7.1) λόγω του ότι κάτι τέτοιο οδηγεί σε άμεση αξιοποίηση της παραγόμενης ενέργειας προς παραγωγή πόσιμου νερού. Σχετικά με τα αποτελέσματα των στόχων, το σύστημα A εμφανίζει ποσοστό απόρριψης ενέργειας της τάξεως του 37% με ταμιευτήρα χωρητικότητας 30.000 m³, ενώ το B με χωρητικότητα ταμιευτήρα 2.235 m³ απορρίπτει το 46,4% της παραγόμενης ενέργειας. Όπως είναι κατανοητό, η μείωση της χωρητικότητας του ταμιευτήρα δεν οδηγεί σε αξιοσημείωτη βελτίωση του ποσοστού απόρριψης ενέργειας. Τέλος, να σημειώσουμε ότι οι υπόλοιπες παράμετροι δεν παρουσιάζουν αξιοσημείωτες διαφοροποιήσεις.

7.3.2.2 Βελτιστοποίηση για νησί υψηλών αναγκών (15.000 μόνιμοι κάτοικοι)

Αντίστοιχα με το νησί της Αμοργού, το σύστημα βελτιστοποιήθηκε ως προς τα τρία ζεύγη στόχων για νησί υψηλού επιπέδου αναγκών, όπως είναι η Κάλυμνος με 15.000 μόνιμους κατοίκους. Λαμβάνοντας υπ' όψη τους περιορισμούς, που αναφέρθηκαν στην αρχή της υποενότητας 7.3.2, προέκυψαν τα διαγράμματα που ακολουθούν. Τα σχόλια που έγιναν στην ανάλυση που προηγήθηκε για την Αμοργό σχετικά με την επιλογή των στόχων βελτιστοποίησης, ισχύουν και για την περίπτωση της Καλύμνου, και δεν υπάρχει λόγος να επαναληφθούν.

Ποσοστό ικανοποίησης αναγκών, VD – Κόστος παραγωγής πόσιμου νερού, WPC

Βελτιστοποιώντας το σύστημα, ως προς το ποσοστό ικανοποίησης των ετήσιων αναγκών και το κόστος παραγωγής πόσιμου νερού, για νησί 15.000 μόνιμων κατοίκων προκύπτει η καμπύλη του σχήματος 7.17.



Σχήμα 7.17 Βελτιστοποίηση διπλού στόχου – Ποσοστό ικανοποίησης ετήσιων αναγκών/Κόστος παραγωγής πόσιμου νερού – Κάλυμνος

Η μεταβολή του κόστους παραγωγής πόσιμου νερού συναρτίζεται του ποσοστού ικανοποίησης των αναγκών των βέλτιστων λύσεων του συστήματος, είναι παρόμοια με την αντίστοιχη της Αμοργού. Έτσι, ενώ για εύρος ποσοστών ικανοποίησης των αναγκών 40-90%, η μεταβολή του κόστους είναι σχεδόν γραμμική με μικρή κλίση, για το διάστημα 90-100%, έχουμε λογαριθμική μεταβολή του κόστους, φτάνοντας τα 1,5 €/m³ για πλήρη ικανοποίηση των αναγκών σε πόσιμο νερό. Βέβαια, για ίδια ποσοστά ικανοποίησης αναγκών προκύπτουν χαμηλότερες τιμές κόστους παραγωγής σε σχέση με το νησί της Αμοργού. Ενδεικτικά, αναφέρουμε δύο περιπτώσεις βέλτιστων λύσεων στον πίνακα 7.7.

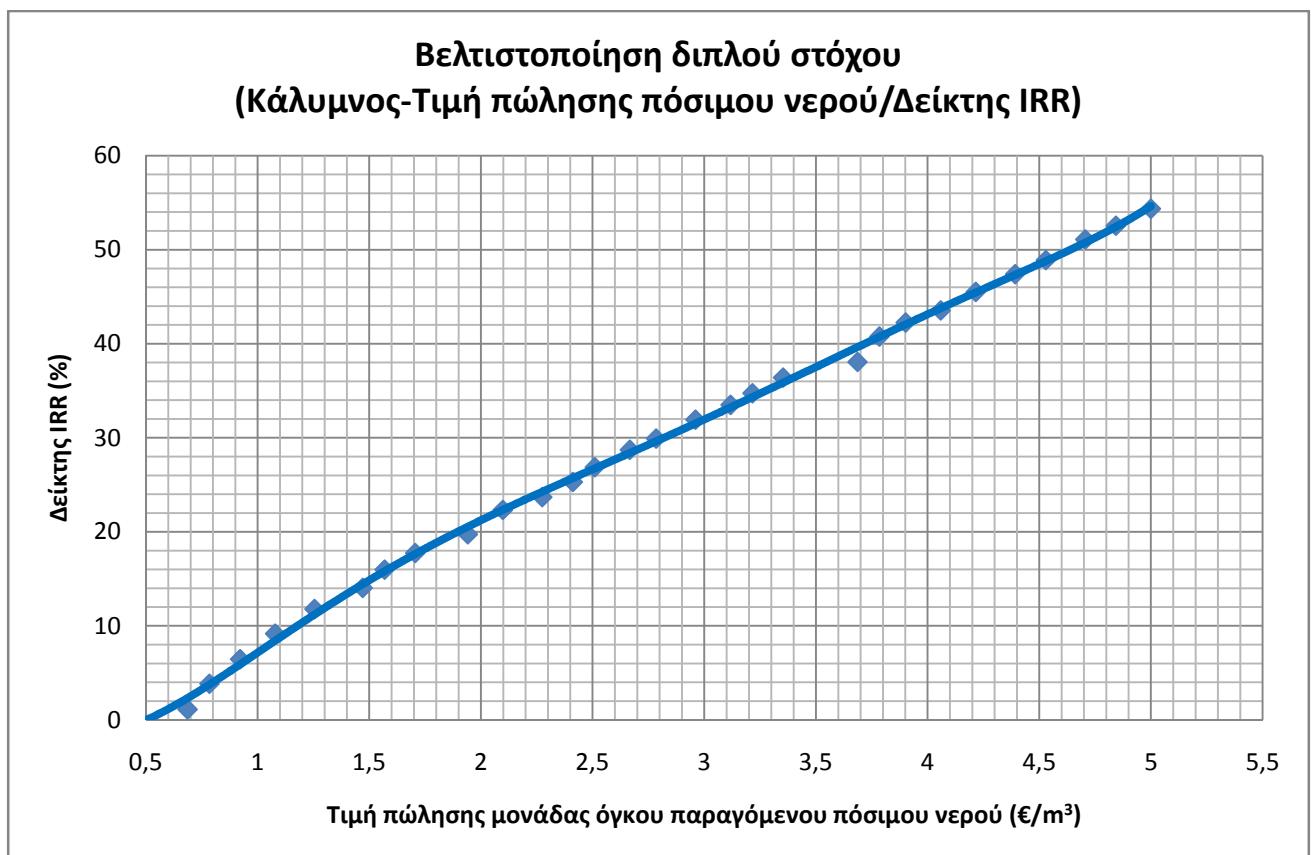
Παραδείγματα Συστημάτων για τη Βελτιστοποίηση Διπλού Στόχου				
Κάλυμνος- Ποσοστό Ικανοποίησης Ετήσιων Αναγκών/Κόστος Παραγωγής Πόσιμου Νερού				
A/A	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	A	B	ΜΟΝΑΔΕΣ
1	Χωρητικότητα Ταμιευτήρων	0	249.020	m ³
2	Ισχύς Υδροστροβίλου	0	2.490	kW
3	Χωρητικότητα Δεξαμενής πόσιμου νερού	6.078	24.902	m ³
4	Ισχύς Αφαλάτωσης	518	2.988	kW
5	Ισχύς Ανεμογεννητριών	700	4.433	kW
6	Ισχύς Φωτοβολταϊκών	0	0	kW
7	Ισχύς Αντλιών	39	1.196	kW
8	Μόνιμος Πληθυσμός νησιού	15.000	15.000	κάτοικοι
9	Τιμή πώλησης νερού	2,50	2,50	€/m ³
Ποσοστό Ικανοποίησης Ετήσιων Αναγκών		38	100	%
Κόστος Παραγωγής Πόσιμου Νερού		0,46	1,49	€/m ³

Πίνακας 7.7 Παραδείγματα Συστημάτων για τη Βελτιστοποίηση Διπλού Στόχου - Κάλυμνος- Ποσοστό Ικανοποίησης Ετήσιων Αναγκών/Κόστος Παραγωγής Πόσιμου Νερού

Από τον πίνακα 7.7, παρατηρούμε ότι στο παράδειγμα Α, όπου προκύπτει ένα σύστημα που είναι κατάλληλο να καλύψει το 38% των ετήσιων αναγκών του νησιού, η αφαλάτωση τροφοδοτείται αποκλειστικά από τις ανεμογεννήτριες, και παράγει πόσιμο νερό με κόστος 0,46 €/m³. Βέβαια, όπως έχουμε προαναφέρει η απουσία μέσου αποθήκευσης ενέργειας (η μικρή αντλητική ισχύς που εμφανίζεται οφείλεται σε μη ολοκληρωμένη διαδικασία βελτιστοποίησης) σε αυτόνομο σύστημα ΑΠΕ δεν ενδείκνυται. Αντίθετα, στο σύστημα Β έχουμε συνεργασία ανεμογεννητριών με το σύστημα της αντλησιοταμίευσης, αφού η απαίτηση για πλήρη ικανοποίηση των αναγκών με ελάχιστο κόστος (1,49 €/m³), οδηγεί στην αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος των υποσυστημάτων, σε σχέση τόσο με την περίπτωση Α όσο και με την βέλτιστη λύση του πίνακα 7.3, εκτός της ισχύος των φωτοβολταϊκών που παραμένει μηδενική λόγω του υψηλού κόστους επένδυσής τους. Τέλος, όπως ήταν αναμενόμενο, η χωρητικότητα της δεξαμενής της περίπτωσης Α είναι 4 φορές μικρότερη σε σχέση με το παράδειγμα Β, όπου πλησιάζει τη μέγιστη επιτρεπτή τιμή.

Τιμή πώλησης πόσιμου νερού, WSP /Δείκτης IRR

Η καμπύλη που προέκυψε από τη βελτιστοποίηση του συστήματος ως προς την τιμή πώλησης του νερού και του δείκτη IRR για το νησί της Καλύμνου, πληροφορεί ένα πιθανό επενδυτή για την ελάχιστη τιμή πώλησης για την οποία η επένδυση κρίνεται οικονομικά συμφέρουσα. Να υπενθυμίσουμε ότι η συγκεκριμένη βελτιστοποίηση αποτελεί ουσιαστικά την παραμετρική μελέτη της βέλτιστης λύσης του πίνακα 7.3, η οποία δίνει ένα σύστημα που είναι σε θέση να καλύψει το 99,5% των αναγκών του νησιού. Η καμπύλη του σχήματος 7.18 είναι το αποτέλεσμα της βελτιστοποίησης ως προς την τιμή πώλησης του νερού και του δείκτη IRR.

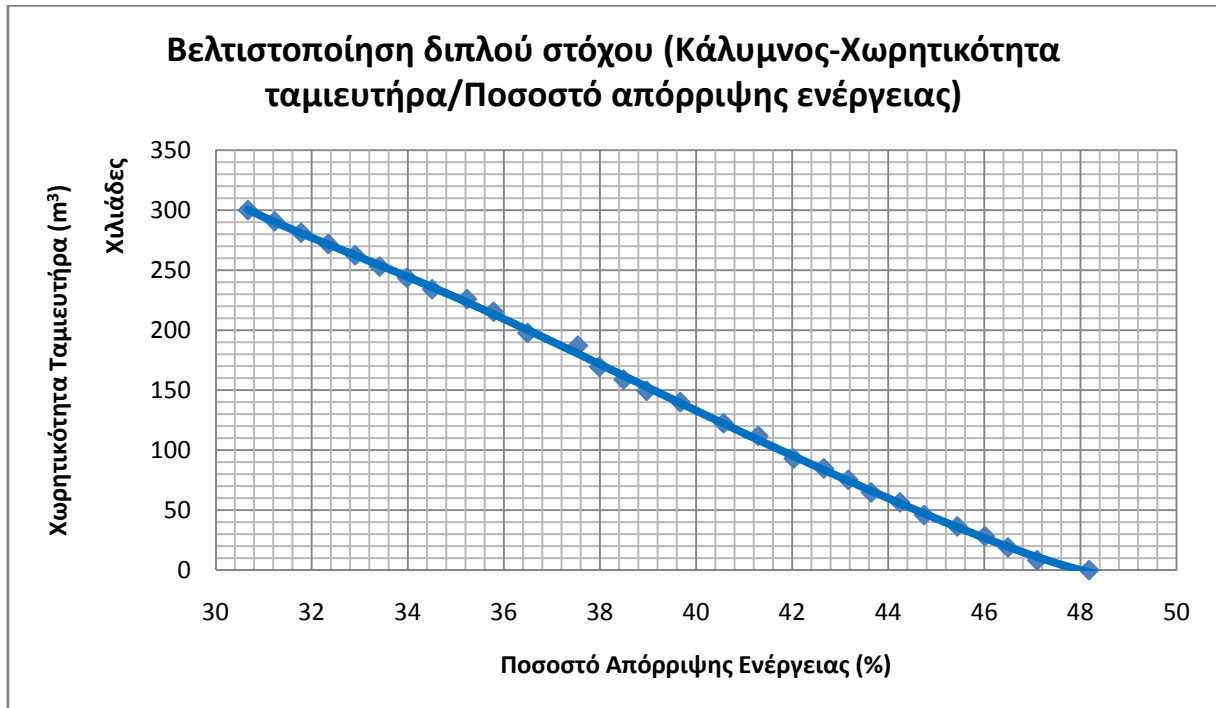


Σχήμα 7.18 Βελτιστοποίηση διπλού στόχου – Τιμή πώλησης πόσιμου νερού/Δείκτης IRR – Κάλυμνος

Το σχήμα 7.16 μας πληροφορεί ότι η κατώτατη τιμή πώλησης του παραγόμενου πόσιμου νερού προκειμένου η επένδυση να είναι οικονομικά συμφέρουσα (δείκτης IRR>10%) ανέρχεται στα 1,2 €/m³ (παρούσα αξία) ή 1,83 €/m³ (μέση τιμή 20ετίας), τιμή μικρότερη από την αντίστοιχη που προέκυψε για το νησί της Αμοργού. Ενδεικτικά, αναφέρουμε ότι για τιμή πώλησης 2 €/m³ (παρούσα αξία) ή αντίστοιχα 3,04 €/m³ (μέση τιμή 20ετίας), η επένδυση χαρακτηρίζεται από τιμή του δείκτη IRR, 21%, που κρίνεται ιδιαίτερα ελκυστική για έναν επενδυτή. Λόγω των σχετικά καλύτερων αποτελεσμάτων που προέκυψαν για την Κάλυμνο σε σχέση με την Αμοργό, καταλήγουμε στο ότι μια μεγάλη επένδυση είναι περισσότερο βιώσιμη οικονομικά.

Χωρητικότητα ταμιευτήρα, TTC /Ποσοστό απόρριψης ενέργειας, UD

Έχοντας την απαίτηση να ελαχιστοποιήσουμε το μέγεθος του ταμιευτήρα, αφού η κατασκευή του μπορεί να παρουσιάζει δυσκολίες και επιβαρύνει το κόστος της επένδυσης, αλλά ταυτόχρονα να απορρίπτεται το ελάχιστο δυνατό ποσοστό παραγόμενης ενέργειας, προέκυψε η καμπύλη του σχήματος 7.19.



Σχήμα 7.19 Βελτιστοποίηση διπλού στόχου – Ποσοστό απόρριψης ενέργειας/Χωρητικότητα ταμιευτήρα – Κάλυμνος

Η καμπύλη που προέκυψε για το νησί της Καλύμνου (Σχήμα 7.17) έχει την ανάλογη μεταβολή με την αντίστοιχη της Αμοργού. Παρατηρούμε ότι το ποσοστό απόρριψης της ενέργειας κυμαίνεται μεταξύ του 30% (για μέγιστη χωρητικότητα ταμιευτήρα μεταξύ των βέλτιστων λύσεων) και του 47% (για ελάχιστη χωρητικότητα ταμιευτήρα). Συμπεραίνουμε, λοιπόν, προκειμένου να ικανοποιείται ο περιορισμός για το ποσοστό ικανοποίησης των αναγκών που αναφέρθηκε στην αρχή της υποενότητας 7.3.2, θα απορρίπτεται τουλάχιστον το 30% της παραγόμενης ενέργειας. Ενδεικτικά, παραθέτουμε στον πίνακα 7.8 δύο παραδείγματα βέλτιστων λύσεων. Αυτό που πρέπει να σημειώσουμε, παρατηρώντας τις τιμές των παραδειγμάτων του πίνακα 7.8, είναι ότι και τα δύο συστήματα (Α και Β), συμπεριλαμβάνουν μεγάλης συνολικής ισχύος φωτοβολταϊκά (5.145-6.306 kW), τα οποία αποτελούν την κύρια πηγή τροφοδοσίας της αφαλάτωσης. Η διείδυση των φωτοβολταϊκών στο σύστημα οφείλεται στο ότι παράγουν ενέργεια στο ίδιο χρονικό διάστημα μιας μέρας κατά το οποίο παρουσιάζονται οι ανάγκες σε πόσιμο νερό. Υπερέχουν λοιπόν των ανεμογεννητριών λόγω του ότι η ενέργεια που παράγουν είναι πιο πιθανό να απορροφηθεί και να μην απορριφθεί. Αποτέλεσμα αυτής της διαπίστωσης είναι η μη απαίτηση και στις δύο βέλτιστες λύσεις εγκατεστημένης ισχύος Α/Γ (η ισχύς που προέκυψε είναι αμελητέα). Οι υπόλοιπες παράμετροι δεν διαφοροποιούνται ουσιαστικά. Τέλος,

αναφέρουμε ότι στην περίπτωση Α για ταμιευτήρα χωρητικότητας 300.000 m³, έχουμε απόρριψη ενέργειας 30,67%, ενώ στην περίπτωση Β για ταμιευτήρα με χωρητικότητα 8.235 m³, η ενέργεια που απορρίπτεται ανέρχεται στο 47,10% της παραγόμενης.

Παραδείγματα Συστημάτων για τη Βελτιστοποίηση Διπλού Στόχου				
Κάλυμνος - Ποσοστό απόρριψης ενέργειας/Χωρητικότητα ταμιευτήρα				
A/A	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	A	B	ΜΟΝΑΔΕΣ
1	Χωρητικότητα Ταμιευτήρων	300.000	8.235	m ³
2	Ισχύς Υδροστροβίλου	2.400	2.400	kW
3	Χωρητικότητα Δεξαμενής πόσιμου νερού	25.000	25.000	m ³
4	Ισχύς Αφαλάτωσης	5.153	5.435	kW
5	Ισχύς Ανεμογεννητριών	40	40	kW
6	Ισχύς Φωτοβολταϊκών	5.145	6.306	kW
7	Ισχύς Αντλιών	1.247	753	kW
8	Μόνιμος Πληθυσμός νησιού	15000	15000	κάτοικοι
9	Τιμή πώλησης νερού	2,5	2,5	€/m ³
Ποσοστό απόρριψης ενέργειας		30,67	47,10	%
Χωρητικότητα ταμιευτήρα		300.000	8.235	m ³

Πίνακας 7.8 Παραδείγματα Συστημάτων για τη Βελτιστοποίηση Διπλού Στόχου - Κάλυμνος- Ποσοστό απόρριψης ενέργειας/Χωρητικότητα ταμιευτήρα

7.3.2.3 Συμπεράσματα βελτιστοποίησης διπλού στόχου

Από τα αποτελέσματα των βελτιστοποιήσεων διπλού στόχου, που παρουσιάστηκαν προηγουμένως για τα δύο νησιά, καταλήγουμε στα εξής συμπεράσματα:

- Για ποσοστά ικανοποίησης αναγκών 50-90%, παρατηρείται μια γραμμική μεταβολή, αλλά με μικρή κλίση, στο κόστος παραγωγής πόσιμου νερού, αφού οι βέλτιστες λύσεις δεν συμπεριλαμβάνουν σύστημα αντλησιοταμίευσης. Βέβαια, κάτι τέτοιο δεν αποτελεί ρεαλιστικό αποτέλεσμα αφού δεν νοείται αυτόνομο σύστημα ΑΠΕ χωρίς αποθηκευτικό μέσο ενέργειας. Αντίθετα, για το υπόλοιπο 10% των αναγκών, απαιτούνται μεγαλύτερης εγκατεστημένης ισχύος υποσυστήματα με συνέπεια την κατακόρυφη αύξηση του κόστους παραγωγής. Για ικανοποίηση ποσοστού 90-100% των αναγκών, η ενεργή συμβολή και η ικανή εγκατεστημένη ισχύς του συστήματος αντλησιοταμίευσης είναι απαραίτητη. Δίνοντας τις δύο ακραίες περιπτώσεις, με 50% και 100% ικανοποίηση των αναγκών, προέκυψαν κόστη παραγωγής 0,75-2,2 €/m³ για την Αμοργό, και 0,5-1,5 €/m³ για την Κάλυμνο, αντίστοιχα. Να σημειώσουμε, ότι τα φωτοβολταϊκά δεν αποτελούν μέρος των βέλτιστων λύσεων λόγω του ασύμφορου κόστους επένδυσής τους.

- Οι επενδύσεις των βέλτιστων λύσεων που προέκυψαν για τα δύο νησιά και παρουσιάστηκαν στην υποενότητα 7.3.1, είναι οικονομικά βιώσιμες ($IRR > 10\%$) για τιμή πώλησης του πόσιμου νερού, μεγαλύτερη των $1,6 \text{ €/m}^3$ για την Αμοργό και $1,2 \text{ €/m}^3$ για την Κάλυμνο. Αυτές οι τιμές πλεονεκτούν της σημερινής κατάστασης όπου το νερό μεταφέρεται με υδροφόρες με κόστος $7,9 \text{ €/m}^3$ για τις Κυκλάδες και $5,08 \text{ €/m}^3$ για τα Δωδεκάνησα, και καθιστούν το βέλτιστου σχεδιασμού σύστημα ελκυστική επένδυση. Επίσης, οι τιμές πώλησης που προέκυψαν για τα δύο νησιά ικανοποιούν την απαίτηση του υπουργείου για προτάσεις με τιμή πώλησης του νερού μικρότερη των $2,5 \text{ €/m}^3$ (Παράρτημα Γ).
- Με μόνη απαίτηση της ικανοποίησης των αναγκών σε ποσοστό 99,5%, από την καθαρά τεχνική βελτιστοποίηση (χωρητικότητα ταμιευτήρα-ποσοστό απόρριψης ενέργειας) προκύπτει ότι υπό οποιαδήποτε χωρητικότητα ταμιευτήρα (εντός ανάλογων ορίων για το μέγεθος κάθε νησιού) η απορριπτόμενη ενέργεια ανέρχεται τουλάχιστον στο 30% της παραγόμενης ενέργειας για την Κάλυμνο και στο 37% για την Αμοργό. Αυτά τα ελάχιστα ποσοστά προκύπτουν για ταμιευτήρα ελάχιστης χωρητικότητας 300.000 m^3 για την Κάλυμνο και 30.000 m^3 για την Αμοργό. Αντίθετα με ελαχιστοποίηση της χωρητικότητας του ταμιευτήρα, το 47 και 48% της παραγόμενης ενέργειας για την Κάλυμνο και την Αμοργό, αντίστοιχα, απορρίπτεται. Θα πρέπει να τονίσουμε ότι, μη λαμβάνοντας υπ' όψη τιμές οικονομικών δεικτών, οι βέλτιστες λύσεις που προέκυψαν για το συγκεκριμένο διπλό στόχο, περιλαμβάνουν υψηλής συνολικής εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκά, τα οποία αποτελούν την κύρια πηγή τροφοδοσίας της αφαλάτωσης, αφού δεν απαιτείται εγκατεστημένη ισχύς Α/Γ. Αυτό το γεγονός οφείλεται στην ακολουθία της παραγωγής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά με τη ζήτηση πόσιμου νερού κατά τη διάρκεια της ημέρας. Σαν συνέπεια, μεγαλύτερο μέρος της παραγόμενης ενέργειας των φωτοβολταϊκών απορροφάται από την αφαλάτωση συγκριτικά με τις ανεμογεννήτριες, των οποίων η παραγωγή χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη στοχαστικότητα. Υπενθυμίζουμε ότι τα συμπεράσματα που αναφέρθηκαν σε αυτή την παράγραφο αφορούν μόνο τον διπλό στόχο βελτιστοποίησης ως προς την χωρητικότητα ταμιευτήρα και το ποσοστό απόρριψης ενέργειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο - ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

8.1 Σύνοψη εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία είχε ως θέμα την προσομοίωση και βελτιστοποίηση ενός αυτόνομου συστήματος αφαλάτωσης, το οποίο τροφοδοτείται από υβριδικό σύστημα Α.Π.Ε (φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτριες) και έχει τη δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας με χρήση αντλησιοταμίευσης.

Θα μπορούσαμε να πούμε ότι εργασία χωρίστηκε σε τρεις ομάδες κεφαλαίων:

- Τα πρώτα τέσσερα κεφάλαια αφιερώθηκαν στην θεωρητική θεμελίωση της εργασίας. Αφού δόθηκαν κάποια γενικά στοιχεία σχετικά με το πρόβλημα της λειψυδρίας που επικρατεί παγκοσμίως αλλά και στα ελληνικά νησιά στο 1^ο κεφάλαιο, στη συνέχεια στο 2^ο κεφάλαιο έγινε εκτενής αναφορά στην λειτουργία της αφαλάτωσης, στις μεθόδους αφαλάτωσης και ειδικότερα στην μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης, η οποία είναι καταλληλότερη για το προτεινόμενο σύστημα. Έπειτα, κρίθηκε αναγκαίο το 3^ο κεφάλαιο να αφιερωθεί στην παράθεση θεωρητικών στοιχείων και εξισώσεων λειτουργίας των υποσυστημάτων που είναι υπεύθυνα για την τροφοδοσία της αφαλάτωσης. Στο 4^ο κεφάλαιο, έγινε μια ανασκόπηση των κυριότερων μελετών που έχουν δημοσιευθεί αλλά και των εφαρμογών συστημάτων αφαλάτωσης που τροφοδοτούνται από τεχνολογίες εκμετάλλευσης Α.Π.Ε.
- Το 5^ο και το 6^ο κεφάλαιο ουσιαστικά αποτέλεσαν την αποτύπωση του κυρίως μέρους της προετοιμασίας της εργασίας, αφού το θέμα τους έχει να κάνει με τον υπολογιστικό κώδικα που αναπτύχθηκε. Στο 5^ο κεφάλαιο έγινε ενδελεχής περιγραφή του υπολογιστικού κώδικα, κάνοντας αναφορά στο σύνολο της δομής του. Στη συνέχεια, στο 6^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται μια εφαρμογή του υπολογιστικού κώδικα, κατά την οποία προσομοιώνεται ένα, τυχαίων χαρακτηριστικών, σύστημα, για ένα μεσαίου επιπέδου αναγκών νησί, την Αμοργό. Μάλιστα, παρατίθεται πλήθος διαγραμμάτων, διαφορετικών χρονικών διαστημάτων εντός ενός έτους, που είναι ενδεικτικά της προσομοίωσης, ενώ δίνονται οι τιμές του συνόλου των δεικτών αξιολόγησης του συστήματος. Ακόμα, στο τέλος του κεφαλαίου παρουσιάζονται οι παραμετρικές μελέτες διαφόρων δεικτών αξιολόγησης που έγιναν προκειμένου να αποκτηθεί μια γενική άποψη για την επίδραση των παραμέτρων του συστήματος σε έξι τεχνικούς και οικονομικούς δείκτες αξιολόγησης.
- Τέλος, το 7^ο κεφάλαιο αφιερώθηκε στην εύρεση βέλτιστων συνδυασμών τιμών των παραμέτρων σχεδιασμού του συστήματος για συγκεκριμένους στόχους (ελαχιστοποίηση ή μεγιστοποίηση μεγεθών), κάνοντας χρήση ενός γενικού λογισμικού βελτιστοποίησης

βασισμένου σε εξελικτικούς αλγορίθμους. Κρίθηκε σκόπιμο, η βελτιστοποίηση του συστήματος να γίνει για δύο διαφορετικού επιπέδου αναγκών νησιά που αντιμετωπίζουν πρόβλημα λειψυδρίας, την Αμοργό και την Κάλυμνο. Και για τα δύο νησιά, βρέθηκαν οι βέλτιστες λύσεις συστημάτων που είναι σε θέση να ικανοποιήσουν σχεδόν πλήρως τις ετήσιες ανάγκες σε πόσιμο νερό για το ελάχιστο κόστος παραγωγής πόσιμου νερού. Επίσης, το σύστημα βελτιστοποιήθηκε ως προς διπλούς στόχους τεχνοοικονομικής, οικονομικής και τεχνικής φύσεως. Να σημειώσουμε, ότι οι βέλτιστες λύσεις που προέκυψαν αποτέλεσαν την αφορμή για εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων σχετικά με την εφαρμογή του προτεινόμενου, από την εργασία συστήματος.

Η μελέτη, που έγινε, είχε ως στόχο την διερεύνηση για το αν ένα τέτοιο αυτόνομο σύστημα μπορεί να αποτελέσει τη λύση στο πρόβλημα της λειψυδρίας για ένα νησί του Αιγαίου, ικανοποιώντας πλήρως τις ανάγκες σε πόσιμο νερό που παρουσιάζονται στο νησί, υπό κόστος παραγωγής πόσιμου νερού το οποίο θα καθιστά τη λειτουργία του προτιμότερη, συγκριτικά με τη μεταφορά νερού με υδροφόρες, και ελκυστική για πιθανούς επενδυτές.

8.2 Συμπεράσματα εργασίας

Τα συμπεράσματα της ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- Προτού προχωρήσουμε στα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρατήρηση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης και της βελτιστοποίησης του συστήματος, θα αναφέρουμε κάποια τελικά σχόλια για τον υπολογιστικό κώδικα, η ανάπτυξη του οποίου αποτέλεσε το βασικό μέρος της διπλωματικής αυτής εργασίας. Ο υπολογιστικός κώδικας που αναπτύχθηκε είναι σε θέση να προσομοιώσει τη λειτουργία του συστήματος που προτάθηκε από την εργασία, απαιτώντας από τον χρήστη μόνο την εισαγωγή των τιμών των 9 παραμέτρων σχεδιασμού του συστήματος (π.χ. εγκατεστημένη ισχύς αφαλάτωσης). Επίσης, μπορούν να εισαχθούν διαφορετικής περιοχής χρονοσειρές για τη μελέτη του συστήματος για άλλο σύμπλεγμα νησιών. Η προσομοίωση πραγματοποιείται σε υπολογιστικό βήμα 1 ώρας, κατά το οποίο εφαρμόζεται η φιλοσοφία λειτουργίας του συστήματος (βλ. Κεφάλαιο 5), υπολογίζονται τα ενεργειακά μεγέθη των υποσυστημάτων που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία διαγραμμάτων λειτουργίας. Μετά το πέρας 8760 υπολογιστικών βημάτων (1 έτος), υπολογίζονται ενεργειακά αθροιστικά μεγέθη, από τα οποία προκύπτουν οι τιμές των δεικτών αξιολόγησης του συστήματος. Να σημειώσουμε ότι ο υπολογιστικός κώδικας περιλαμβάνει ωριαίους και ετήσιους ισολογισμούς μεγεθών για τη βέβαιη ορθότητα των αποτελεσμάτων. Ιδιαίτερα σημαντικό πλεονέκτημα του κώδικα είναι η γρήγορη απόκριση του στην εξαγωγή αποτελεσμάτων, η οποία κυμαίνεται στα 0,5-1 sec. Έτσι, υπάρχει δυνατότητα βέλτιστου σχεδιασμού του συστήματος με χρήση γενικού λογισμικού βελτιστοποίησης σε σχετικά λίγο χρόνο (20-30 min). Ακόμα, η δομή του κώδικα δίνει τη δυνατότητα για μελέτη διαφορετικών συστημάτων Α.Π.Ε., κάνοντας κάποιες

βελτιώσεις και επεκτείνοντας την εφαρμογή του. Θα μπορούσαμε, λοιπόν, να πούμε ότι η ανάπτυξη του υπολογιστικού κώδικα εκπλήρωσε τον αρχικό στόχο, αφού δημιουργήθηκε κώδικας με γρήγορη απόκριση, ο οποίος εξάγει υπολογιστικά ορθά αποτελέσματα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για βελτιστοποίηση και μπορεί να αποτελέσει τη βάση για μελέτη παρόμοιων συστημάτων, λόγω της ευκολίας επεκτασιμότητας του.

- Σχετικά με τη φιλοσοφία λειτουργίας που ακολουθήθηκε κατά τη προσομοίωση (βλ. Κεφάλαιο 5), είχε ως στόχο την καλύτερη δυνατή αξιοποίηση της παραγόμενης ενέργειας. Παρατηρώντας τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη βελτιστοποίηση του συστήματος αλλά και τα διαγράμματα λειτουργίας του συστήματος που δόθηκαν στο κεφάλαιο 5, καταλήγουμε στο ότι η επιλογή της συγκεκριμένης φιλοσοφίας λειτουργία ήταν ορθή, αφού οι τιμές των δεικτών αξιολόγησης είναι αποδεκτές και η αλληλεπίδραση των υποσυστημάτων κρίνεται λογική, αντίστοιχα.
- Τα βέλτιστα συστήματα που προέκυψαν για το ελάχιστο κόστος παραγωγής και για σχεδόν πλήρη ικανοποίηση των ετήσιων αναγκών σε πόσιμο νερό (ποσοστό ικανοποίησης: 99,5%), χαρακτηρίζονται από κόστος παραγωγής 1,93 €/m³ για νησί μεσαίου επιπέδου αναγκών (Αμοργός) και 1,42 €/m³ για νησί υψηλού επιπέδου αναγκών (Κάλυμνος). Οι τιμές αυτές είναι αρκετά χαμηλότερες του κόστους μεταφοράς νερού με υδροφόρες (7 €/m³ για τις Κυκλάδες και 5,08 €/m³ για τα Δωδεκάνησα), όπως σήμερα γίνεται στα νησιά. Υπολογίστηκε ότι η επένδυση των βέλτιστων συστημάτων γίνεται οικονομικά βιώσιμη (IRR=10%) για παρούσας αξίας τιμή πώλησης της τάξεως των 1,6 €/m³ (ή 2,44 €/m³ μέση τιμή 20ετίας) για την Αμοργό και 1,2 €/m³ (ή 1,83 €/m³ μέση τιμή 20ετίας) για την Κάλυμνο. Έτσι, ικανοποιείται η απαίτηση της πρόσκλησης ενδιαφέροντος του υπουργείου (βλ. Παράρτημα) για χαμηλότερη των 2,5 €/m³ τιμή πώλησης του νερού.
- Το σύστημα που προκύπτει ως βέλτιστη λύση για το ελάχιστο κόστος παραγωγής, τόσο της Αμοργού όσο και της Κάλυμνου, δεν συμπεριλαμβάνει φωτοβολταϊκά με αποτέλεσμα η αφαλάτωση να τροφοδοτείται κυρίως από τις ανεμογεννήτριες. Αυτό το γεγονός αποτελεί συνέπεια του υψηλού κόστους επένδυσης των φωτοβολταϊκών και καθιστά τις ανεμογεννήτριες επικρατούσα επιλογή ανάμεσα στις δύο τεχνολογίες αξιοποίησης Α.Π.Ε για υβριδικά συστήματα.
- Τα φωτοβολταϊκά θα αποτελέσουν μέρος του συστήματος από τη στιγμή που το κόστος επένδυσής τους μειωθεί στα 4.000 €/kW για τα μεσαία νησιά και στα 2.500 €/m³ για τα μεγάλα νησιά, από τα 6.000 €/kW που είναι σήμερα. Η διαφορά, ανάμεσα στα δυο νησιά, στο κόστος επένδυσης των φωτοβολταϊκών για το οποίο τα φωτοβολταϊκά γίνονται μέρος του συστήματος, οφείλεται στην διαφορά του συντελεστή εκμετάλλευσης των ανεμογεννητριών που παρατηρείται στις βέλτιστες οικονομικά λύσεις των δύο νησιών. Ειδικότερα, όπως φαίνεται και από τους πίνακες 7.2,7.4, προκύπτει μικρότερο ποσοστό απόρριψης ενέργειας στην Κάλυμνο, λόγω της μεγαλύτερης, αναλογικά, χωρητικότητας ταμιευτήρα βέλτιστης λύσης σε σχέση με την Αμοργό. Έτσι, συμπεραίνουμε ότι η εγκατεστημένη ισχύς των ανεμογεννητριών, στη βέλτιστη οικονομικά λύση, αξιοποιείται

καλύτερα στο υψηλού επιπέδου αναγκών νησί. Συνεπώς, τα φωτοβολταϊκά πρέπει να αποκτήσουν χαμηλότερο κόστος επένδυσης προκειμένου η λειτουργία τους να υπερσχύσει αυτή των ανεμογεννητριών. Βέβαια, η ισοστάθμιση της εγκατεστημένης ισχύος των ανεμογεννητριών και των φωτοβολταϊκών πραγματοποιείται περίπου στο ίδιο εύρος κόστους επένδυσης των φωτοβολταϊκών, 2.000-2.500 €/kW, και για τα δύο, διαφορετικού επιπέδου αναγκών, νησιά.

- Συνέπεια της διεύθυνσης των φωτοβολταϊκών λόγω μείωσης του κόστους επένδυσης τους, είναι η ελαχιστοποίηση της χρήσης και της απαιτούμενης εγκατεστημένης ισχύος του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας. Παρατηρείται, μάλιστα, ότι δεν απαιτείται σύστημα αντλησιοταμίευσης σε βέλτιστα οικονομικά συστήματα για κόστη επένδυσης, 3.500 €/kW για την Αμοργό και 2.000 €/kW για την Κάλυμνο. Αυτό συμβαίνει, λόγω της αντιστοιχίας της παραγωγής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά (σε αντίθεση με τις ανεμογεννήτριες) με τη ζήτηση του πόσιμου νερού κατά τη διάρκεια της ημέρας, ενώ η διαφορά στα όρια κόστους οφείλεται στο υψηλότερο επίπεδο χρήσης του συστήματος αντλησιοταμίευσης που παρατηρείται στο υψηλών αναγκών νησί. Βέβαια, ένα αυτόνομο σύστημα, σαν το προτεινόμενο, είναι επισφαλές να μην συμπεριλαμβάνει σύστημα αποθήκευσης ενέργειας.
- Από τη βελτιστοποίηση διπλού στόχου, συμπεράναμε ότι η χρήση του συστήματος αντλησιοταμίευσης εστιάζεται σε ποσοστά ικανοποίησης ετήσιων αναγκών ανώτερα του 90%, γεγονός που αυξάνει το ελάχιστο κόστος παραγωγής βέλτιστων συστημάτων. Παρατηρήθηκε ότι για ποσοστά ικανοποίησης από 50% μέχρι 90%, το ελάχιστο κόστος παραγωγής είναι αντίστοιχα 0,75-0,90 €/m³ για την Αμοργό και 0,5-0,8 €/m³ για την Κάλυμνο. Επειδή οι ανεμογεννήτριες δεν μπορούν εγγυηθούν μεγαλύτερα του 90% ποσοστά ικανοποίησης αναγκών, το σύστημα αντλησιοταμίευσης είναι απαραίτητο για την ικανοποίηση μεγάλου ποσοστού των αναγκών. Κάτι τέτοιο όμως, αυξάνει αρκετά το κόστος παραγωγής, λόγω του αυξημένου κόστους επένδυσης του συστήματος αντλησιοταμίευσης. Ενδεικτικά για πλήρη ικανοποίηση των αναγκών, έχουμε 1,5 €/m³ και 2,17 €/m³ κόστος παραγωγής πόσιμου νερού, για την Κάλυμνο και την Αμοργό, αντίστοιχα.
- Ο υδροστρόβιλος έχει μεγαλύτερη συμμετοχή στην τροφοδοσία της αφαλάτωσης σε μεγάλο μέγεθος νησιά. Ενδεικτικά, οι βέλτιστες λύσεις που προέκυψαν, ως προς το κόστος παραγωγής, χαρακτηρίζονται από ποσοστό συμμετοχής υδροστρόβιλου στην τροφοδοσία της αφαλάτωσης 2% για την Αμοργό και 6% για την Κάλυμνο. Ίσως, λοιπόν, για μικρού ή μεσαίου επιπέδου αναγκών νησιά είναι προτιμότερο να γίνεται χρήση άλλου, πιο οικονομικού, μέσου αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας, όπως είναι οι μπαταρίες, εκτός αν η αποθηκευμένη ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άλλο σκοπό ή να τροφοδοτήσει το ηλεκτρικό δίκτυο μέσω του υδροστρόβιλου.
- Προτιμάται η εγκατάσταση της μέγιστης επιτρεπτής χωρητικότητας δεξαμενής πόσιμου νερού, ως αποθηκευτικού μέσου ενέργειας με τη μορφή παραγόμενου πόσιμου νερού, συγκριτικά με το σύστημα αντλησιοταμίευσης, λόγω του μικρότερου κόστους επένδυσης

- Υπό οποιαδήποτε χωρητικότητα ταμιευτήρα (εντός ανάλογων ορίων με το μέγεθος του νησιού), η απορριπτόμενη ενέργεια συστήματος, το οποίο καλύπτει μεγαλύτερο ή ίσο ποσοστό από το 99,5% των ετήσιων αναγκών του νησιού, ανέρχεται τουλάχιστον στο 30% της παραγόμενης ενέργειας (για τα υψηλού επιπέδου αναγκών νησιά). Για την ελάχιστη δυνατή χωρητικότητα ταμιευτήρα, το ποσοστό απόρριψης ενέργειας είναι περίπου 47-48% για νησιά σαν την Αμοργό και την Κάλυμνο. Βέβαια, το εύρος μεταβολής του ποσοστού απόρριψης της ενεργειακής παραγωγής είναι αναντίστοιχο του εύρους μεταβολής της χωρητικότητας του ταμιευτήρα.
- Σε βέλτιστα συστήματα για ελάχιστη απόρριψη ενέργειας (δεν έχει ληφθεί υπ' όψη το κόστος), η μονάδα αφαλάτωσης τροφοδοτείται από τα φωτοβολταϊκά και τον υδροστρόβιλο. Λόγω της αντιστοιχίας της καμπύλης παραγωγής ενέργειας των φωτοβολταϊκών με τη ζήτηση πόσιμου νερού, τα φωτοβολταϊκά υπερτερούν των ανεμογεννητριών, με αποτέλεσμα την μη απαίτηση για εγκατεστημένη ισχύ ανεμογεννητριών σε βέλτιστα για ελάχιστη απόρριψη ενέργειας συστήματα.

8.3 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Κάποιες προτάσεις που θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν και να επεκτείνουν την παρούσα μελέτη είναι:

- Λεπτομερέστερη προσομοίωση της λειτουργίας των μηχανών (χαρακτηριστικές καμπύλες, τεχνικοί περιορισμοί, κόστη αντλιών, υδροστροβίλου και ανεμογεννητριών κλπ).
- Επέκταση των απαιτούμενων προς ικανοποίηση αναγκών και σε ανάγκες για άρδευση, με χρήση διαφορετικών καμπυλών ζήτησης.
- Εφαρμογή μεθοδολογίας για νησιά μικρού επιπέδου αναγκών, η πλειοψηφία των οποίων αντιμετωπίζει πρόβλημα λειψυδρίας.
- Επέκταση της μεθοδολογίας για τη διαστασιολόγηση υβριδικών συστημάτων αφαλάτωσης με αντλησιοταμίευση που όχι μόνο θα παράγουν πόσιμο νερό αλλά θα είναι σε θέση να παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια στο τοπικό δίκτυο, καθώς και να απορροφούν από αυτό σε περίπτωση έλλειψης παραγωγής.
- Ενσωμάτωση και άλλων Α.Π.Ε. στο υβριδικό σύστημα (π.χ. θαλάσσια ενέργεια, γεωθερμία).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

A. Υπολογιστικός κώδικας

```

!*****ProgramStart-up*****
!*****13/6/2008-8/3/2009*****
!*****Giannis Spyrou*****
!***Design of a hybrid system,including photovoltaic arrays, wind turbines and a pumped-storage subsystem ,which powers a desalination plant*

    program hybrid
    implicit double precision (a-h,o-z)
    dimension D(0:8760), M(0:8760),
H(0:8760),THEP(0:8760),M1(0:12),EN(0:8760),DIF(0:8760),RRE(0:8760),APV(0:8760),TC(0:8760)
    dimension
DIFF(0:8760),WS(0:8760),HSR(0:8760),V(0:8760),H2(0:24),STP(0:8760),DAE(0:8760),RT1(0:8760),STH(0:8760),DPAE(0:8760)
    dimension HSEP(0:8760),
PSP(0:12),THC(0:8760),HTEN(0:8760),TWP(0:8760),FDAE(0:8760),RT2(0:8760),W1(0:8760),BRE(0:8760),AEXP(0:8760)
    dimension
VVV(0:22),HWEP(0:8760),HWE(0:22),H1(0:24),PERS(0:24),PERW(0:24),PCTV(0:8760),TWPN(0:8760),W2(0:8760),REP(0:8760)
    dimension
FWP(0:8760),CRL(0:8760),RE(0:8760),FWN(0:8760),RWA(0:8760),RWN(0:8760),ESTP(0:8760),RT3(0:8760),W3(0:8760),WPPW(0:8760)
    dimension QP(0:8760),QT(0:8760), CTV(0:8760),
PEC(0:8760),TEP(0:8760),PCRL(0:8760),DDE(0:8760),RT4(0:8760),E1(0:8760),WPT(0:8760)
    dimension
AW(0:8760),REWN(0:8760),TWPC(0:8760),EW(0:8760),REWA(0:8760),FEN(0:8760),DRE(0:8760),RT5(0:8760),E2(0:8760),HINC(0:8760)
    dimension
CT1(0:8760),CT2(0:8760),CT3(0:8760),CT4(0:8760),CT5(0:8760),TA(0:8760),E3(0:8760),W4(0:8760),PAE(0:8760),DAC(0:8760)
    dimension
HYBRIDINC(0:50),ANNUALEXP(0:50),HWTEP(0:8760),WW1(0:8760),WW2(0:8760),REG(0:8760),PRE(0:8760),FRE(0:8760),TDA(0:8760
)
!*****Files*****
    open(1,file='Seasonal Population Fluctuation.dat')
    open(2,file='Water Consumption Fluctuation Summer.dat')
    open(3,file='Water Consumption Fluctuation Winter.dat')
    open(4,file='Island Meteo.dat')
    open(6,file='Power Curve Wind Turbine.dat')
    open(7,file='Energy Production-Needs.dat')
    open(8,file='Energy Summary.dat')
    open(9,file='Water Summary.dat')
    open(10,file='Parameter1.dat')
    open(11,file='Parameter2.dat')
    open(12,file='Parameter3.dat')
    open(13,file='Parameter4.dat')
    open(14,file='Parameter5.dat')
    open(15,file='Parameter6.dat')
    open(16,file='Parameter7.dat')
    open(17,file='Parameter8.dat')
    open(18,file='Parameter9.dat')
    open(19,file='Graph-Energy Consumption.dat')
    open(20,file='Graph-Energy Needs Satisfaction.dat')
    open(21,file='Graph-Energy Production.dat')
    open(22,file='Graph-Water Needs Satisfaction.dat')
    open(23,file='Graph-Desalination Water Production.dat')
    open(24,file='Results.dat')
!*****Input Data*****
    k=8760
!*****Wind turbine data*****
    WP=850
    a=0.17

```

Παράρτημα

```
z0=10.0
z=49.0
s=(z/z0)**a
do j=1,22
read(6,*) VVV(j),HWE(j)
Vin=4.0
Vout=25.0
enddo
!***** Island weather characteristics*****
do i=1,k
read(4,*) D(i),M(i),H(i),WS(i),HSR(i),TA(i)
V(i)=WS(i)*s
enddo
!*****Water Consumption Fluctuation During a Day*****
do n=1,24
read(2,*) H1(n),PERS(n)
read(3,*) H2(n),PERW(n)
enddo
!*****Seasonal Population Fluctuation*****
do c=1,12
read(1,*) M1(c),PSP(c)
enddo
!*****Parameters*****
f1=1.0 !Tank's capacity factor
f2=1.0 !Turbine's power factor
f3=1.0 !Reservoir's capacity factor
f4=1.0 !Desalination power factor
f5=1.0 !Wind Turbines Power factor
f6=1.0 !PV power factor
f7=1.0 !Pump power factor
f8=1.0 !Island Population factor
f9=1.0 !Water selling price factor
!*****Parameter's Exploration*****
do 100 f9=0.1,3.1,0.1
kk=9
!*****Various Data*****
PUMP=0
TURBINE=0
PH=0
TH=0
LD=0
TEN=0
UN=0
SURE=0
SQT=0
RPE=0
TDAE=0
EP=0
CRE=0
SDAE=0
DPE=0
TC=0
SFDAE=0
TDDE=0
WH=0
SH=0
KH=0
DH=0
PIRR=0
WEP=0
TR=0
PW=0
TT=0
SQP=0
```

Παράρτημα

```
DTE=0
RPE=0
TPC=0
SEP=0
AEN=0
BO=0
CO=0
STWP=0
SFWP=0
I=0
!*****Hydraulic Subsystem Data*****
!*****Pump*****
    HP=300 ! Pump Head
    PE=0.85 ! Pump efficiency
    PP=160*f7      !Pump Power
!*****Tank*****
    TTC=30000*f1 ! Tank's capacity
    TMWV=0.1*TTC !Tank's minimum fulfilment
    CTV(0)=TMWV ! Initial tank's fulfilment
!*****Turbine*****
    HT=300 ! Turbine head
    TE=0.85 ! Turbine efficiency
    TP=220*f2 !Turbine power
    TPN=TP      !Turbine power
!*****Fresh Water Reservoir data*****
    RTC=200*f3 !Reservoir's capacity
    RLL=0.1*RTC !Reservoir minimum fulfilment
    CRL(0)=RLL !Initial reservoir's fulfilment
!*****Specific Desalination Consumption*****
    SDC=3 ! (Kwh/m3)
    DPN=3.1667*f4 ! Desalination plant quantity
    DFC=50 ! Desalination Flow Capacity (m3/h)
    TDFC=DPN*DFC !Total Desalination Flow Capacity (m3/h)
    DP=SDC*TDFC      !Desalination power
!*****Photovoltaics*****
    PV=0.16
    PN=600*f6 !Number of Solar Panels
    PVN=PV*PN !Nominal Power pv
!*****Wind Turbines *****
    WN=1.41*f5 !Number of Wind Turbines
    WPN=WP*WN !Wind Turbine nominal power
!*****Resident Population*****
    RP=2500*f8 !Resident Population
!*****Water selling Price*****
    WSP=2.5*f9 ! Water selling price
!*****"Do" Start-up*****
do i=1,k
!*****Hourly Energy Needs Calculation*****
!***** Summer*****
    if (M(i).ge.4 .and. M(i).le.9) then
        SDWC1=250
        SDWC2=300
!***** Consumption Fluctuation*****
do n=1,24
    if (H(i).eq.H1(n)) then
        PER=PERS(n)
    else
        goto 25
    endif
25
enddo
!*****Winter*****
    else
        SDWC1=150
```

Παράρτημα

```

SDWC2=200
!*****Water Consumption Fluctuation***

do n=1,24
  if (H(i).eq.H2(n)) then
    PER=PERW(n)
  else
    goto 35
  endif
enddo
35  endif
SDWC1=SDWC1*PER
SDWC2=SDWC2*PER
!****Island Population per month*****
do c=1,12
  if (M(i).eq.M1(c)) then
    SP=PSP(c)*RP
  else
    goto 5
  endif
enddo
5  endif
!***Water and Energy Needs(m3-kWh)*****
THC(i)=RP*SDWC1+SP*SDWC2
THC(i)=THC(i)*0.001 ! Conversion to m3
HTEN(i)=THC(i)*SDC ! Water needs converted to Energy needs
!***** Energy Production Calculation based on measured data*****
!***** Wind Turbine Function*****
if (V(i).lt.Vin .or. V(i).gt.Vout) then
  HWEP(i)=0
  goto 20
else
  do j=1,22
    if (V(i).eq.VVV(j)) then
      HWEP(i)=HWE(j)
      goto 20
    elseif ((V(i)-VVV(j)).lt.0.999999) then
      HWEP(i)=HWE(j)+ ((V(i)-VVV(j))/(VVV(j+1)-VVV(j)))*(HWE(j+1)-HWE(j))
      goto 20
    else
      goto 10
    endif
  enddo
10  endif
20  endif
!***** Wind Turbines Energy(kWh)*****
SEWT=0.9 ! Wind Turbine efficiency
HWTEP(i)=SEWT*WN*HWEP(i)
!***Photovoltaic Modules data and Energy Production(kWh)*****
PV=0.16 ! Module Nominal Power
AMOD=0.127 !PV module efficiency
AINV=0.95 !Inverter efficiency
ACAB=0.01 ! Losses due to cables
ASH=0.01 ! Losses due to panel's shade
SPA=0.95 ! Losses due to panel's cleanness
!*****
HW=0.03
TC(i)=TA(i)+HW*HSR(i)/1000 !Panel's coefficient
STH(i)=1-(TC(i)-25)*0.005 ! Temperature coefficient
!*****
APV(i)=AMOD*AINV*(1-ACAB)*(1-ASH)*SPA*STH(i) !Total efficiency
E=1.25847 ! Panel area
HSEP(i)=APV(i)*HSR(i)*PN*E
!*****Total Energy production(kWh)-Difference between production and needs*****
THEP(i)=HSEP(i)+HWTEP(i)
DIF(i)=THEP(i)-HTEN(i)

```


Παράρτημα

```
!***** Cases Exploration*****
!****Water Production limitation due to desalination plant's flow capacity*****

    if (THEP(i).gt.DP) then
        DP AE(i)=DP
    else
        DP AE(i)=THEP(i)
    endif
    DDE(i)=THEP(i)-DP AE(i)
!*****
    DIFF(i)=DP AE(i)-HTEN(i)
    FWP(i)=DP AE(i)/SDC
    FWN(i)=HTEN(i)/SDC
    RWN(i)=FWN(i)-FWP(i)
    RWA(i)=FWP(i)-FWN(i)
!*****Cases Exploration (production<needs)*****
    if (DIFF(i).lt.(-0.00000001)) then
        RRE(i)=0
        REP(i)=0
        EW(i)=0
        DAE(i)=DP AE(i)
        RRE(i)=DDE(i)
!***** Reservoir pump out*****
    if (CRL(i-1)-RWN(i).ge.RLL) then
        AW(i)=RWN(i)
        CRL(i)=CRL(i-1)-AW(i)
    elseif (CRL(i-1).gt.RLL) then
        AW(i)=CRL(i-1)-RLL
        CRL(i)=RLL
    else
        AW(i)=0
        CRL(i)=RLL
    endif
    REWN(i)=RWN(i)-AW(i)
    REG(i)=AW(i)*SDC
    FEN(i)=abs(DIFF(i))-REG(i)
!*****Hydraulic Recovery Subsystem*****
!*****In case that dump energy from desalination plant exists**
!*****>>>>Modules cannot product water further!*****
    if (RRE(i).gt.0.0000000001) then
        EN(i)=FEN(i)
        FDAE(i)=0
        TEP(i)=0
        QT(i)=0
        STP(i)=0
        ESTP(i)=0
        DRE(i)=0
        BRE(i)=0
        DAC(i)=0
        TWP(i)=0
        TWPC(i)=0
        TWPN(i)=0
        if (RRE(i).gt.PP) then
            PAE(i)=PP
        else
            PAE(i)=RRE(i)
        endif
        QP(i)=((PAE(i)*PE)/(9.81*HP))*3600 ! Flow (m3/h)
!*****Upper Tank fulfilment exploiting the dump*****
!*****energy from desalination plant*****
    if (CTV(i-1)+QP(i).le.TTC) then
        CTV(i)=CTV(i-1)+QP(i)
        PEC(i)=PAE(i)
    elseif (CTV(i-1).lt.TTC) then
```

Παράρτημα

```
QP(i)=TTC-CTV(i-1)
PEC(i)=((QP(i))*9.81*HP)/(PE*3600)
CTV(i)=TTC
else
CTV(i)=TTC
PEC(i)=0
QP(i)=0
endif
PRE(i)=DDE(i)-PAE(i)
FRE(i)=PAE(i)-PEC(i)
RE(i)=PRE(i)+FRE(i)
!*****No dump energy from desalination plant*****
!*****Quantity of water can be produced*****
else
QP(i)=0
PEC(i)=0
PAE(i)=0
PRE(i)=0
FRE(i)=0
if (FEN(i).gt.0.0000001) then
!*****Turbine is in operation at the*****
!*****longest period of an hour that is capable*****
!*****Tank water volume gives turbine*****
!***the capability to work for the whole hour*****
TEP(i)=TP
QT(i)=(TEP(i)/(9.81*HT*TE))*3600 ! Flow (m3/h)
if ((CTV(i-1)-QT(i)).ge.TMWV) then
CTV(i)=CTV(i-1)-QT(i)
TWPC(i)=TEP(i)/SDC
!*****Various Cases depending on*****
!*****availability of desalination plant*****
if ((DAE(i)+TEP(i)).le.DP) then
TWP(i)=TWPC(i)
DAC(i)=TEP(i)
elseif (DAE(i).lt.DP) then
TWP(i)=TDFC-FWP(i)
DAC(i)=DP-DAE(i)
else
TWP(i)=0
DAC(i)=0
endif
DRE(i)=TEP(i)-DAC(i)
!*****Fulfilment of fresh water reservoir using*****
!*****the surplus of the turbine's energy production*****
if (DAC(i).gt.FEN(i)) then
STP(i)=DAC(i)-FEN(i)
TWPN(i)=(STP(i))/SDC
EN(i)=0
if (CRL(i)+TWPN(i).le.RTC) then
CRL(i)=CRL(i)+TWPN(i)
ESTP(i)=STP(i)
elseif (CRL(i).lt.RTC) then
TWPN(i)=RTC-CRL(i)
ESTP(i)=TWPN(i)*SDC
CRL(i)=RTC
else
TWPN(i)=0
ESTP(i)=0
CRL(i)=RTC
endif
BRE(i)=STP(i)-ESTP(i)
FDAE(i)=FEN(i)+ESTP(i)
RE(i)=DRE(i)+BRE(i)
!*****No energy surplus*****
```

Παράρτημα

```
else
  RE(i)=DRE(i)
  STP(i)=0
  BRE(i)=0
  ESTP(i)=0
  TWPN(i)=0
  CRL(i)=RLL
  FDAE(i)=DAC(i)
  EN(i)=FEN(i)-FDAE(i)
endif
!*****Tank water volume gives turbine*****
!*****the capability to work for a part of the hour*****
elseif (CTV(i-1).gt.TMWV) then
  QT(i)=CTV(i-1)-TMWV
  CTV(i)=TMWV
  TEP(i)=((QT(i))*9.81*HT*TE)/3600
  cb=TEP(i)/TP
  TWPC(i)=TEP(i)/SDC
!*****Various Cases depending on*****
!*****availability of desalination plant*****
  if ((DAE(i)+TEP(i)).le.DP) then
    TWP(i)=TWPC(i)
    DAC(i)=TEP(i)
  elseif (DAE(i).lt.DP) then
    TWP(i)=TDFC-FWP(i)
    DAC(i)=DP-DAE(i)
  else
    TWP(i)=0
    DAC(i)=0
  endif
  DRE(i)=TEP(i)-DAC(i)
  if (DAC(i).gt.FEN(i)) then
!*****Fulfilment of fresh water reservoir using*****
!*****the surplus of the turbine's energy production*****
    STP(i)=DAC(i)-FEN(i)
    TWPN(i)=STP(i)/SDC
    EN(i)=0
    if (CRL(i)+TWPN(i).le.RTC) then
      CRL(i)=CRL(i)+TWPN(i)
      ESTP(i)=STP(i)
    elseif (CRL(i).lt.RTC) then
      TWPN(i)=RTC-CRL(i)
      ESTP(i)=TWPN(i)*SDC
      CRL(i)=RTC
    else
      TWPN(i)=0
      ESTP(i)=0
      CRL(i)=RTC
    endif
    FDAE(i)=FEN(i)+ESTP(i)
    BRE(i)=STP(i)-ESTP(i)
    RE(i)=DRE(i)+BRE(i)
!*****No energy surplus*****
  else
    REP(i)=0
    STP(i)=0
    ESTP(i)=0
    RE(i)=DRE(i)
    TWPN(i)=0
    BRE(i)=0
    CRL(i)=RLL
    FDAE(i)=DAC(i)
    EN(i)=FEN(i)-FDAE(i)
  endif
```

Παράρτημα

```
!*****Turbine's not in operation*****
    else

        EN(i)=FEN(i)
        CTV(i)=TMWV
        TEP(i)=0
        DRE(i)=0
        RE(i)=0
        TWPC(i)=0
        STP(i)=0
        ESTP(i)=0
        QT(i)=0
        DAC(i)=0
        PEC(i)=0
        BRE(i)=0
        FRE(i)=0
        FDAE(i)=0
        TWP(i)=0
        TWPN(i)=0
        REP(i)=0
    endif
!*****No extra needs*****
    else
        REP(i)=0
        DRE(i)=0
        TWPC(i)=0
        STP(i)=0
        ESTP(i)=0
        RE(i)=0
        EN(i)=0
        BRE(i)=0
        DAC(i)=0
        CTV(i)=CTV(i-1)
        QT(i)=0
        TEP(i)=0
        TWP(i)=0
        PEC(i)=0
        FDAE(i)=0
        TWPN(i)=0
    endif
!*****
endif
!*****Cases Exploration (production>Needs)*****
    else
        FEN(i)=0
        QT(i)=0
        TEP(i)=0
        EN(i)=0
        FDAE(i)=0
        BRE(i)=0
        DAC(i)=0
        STP(i)=0
        ESTP(i)=0
        TWP(i)=0
        TWPC(i)=0
        TWPN(i)=0
        AW(i)=0
        DRE(i)=0
        REWN(i)=0
        REG(i)=0
!***** Reservoir Fill-up*****
        if (CRL(i-1)+RWA(i).le.RTC) then
            CRL(i)=CRL(i-1)+RWA(i)
            EW(i)=RWA(i)
```

Παράρτημα

```
CTV(i)=CTV(i-1)
elseif (CRL(i-1).lt.RTC) then
EW(i)=RTC-CRL(i-1)
CRL(i)=RTC
else
EW(i)=0
CRL(i)=RTC
endif
REP(i)=EW(i)*SDC
DAE(i)=HTEN(i)+REP(i)
RRE(i)=DDE(i)+DPAE(i)-DAE(i)
!*****Hydraulic Recovery Subsystem*****
if (RRE(i).gt.PP) then
PAE(i)=PP
else
PAE(i)=RRE(i)
endif
QP(i)=((PAE(i)*PE)/(9.81*HP))*3600 ! Flow (m3/h)
if (CTV(i-1)+QP(i).le.TTC) then
CTV(i)=CTV(i-1)+QP(i)
PEC(i)=PAE(i)
RE(i)=0
elseif (CTV(i-1).lt.TTC) then
QP(i)=TTC-CTV(i-1)
PEC(i)=((QP(i))*9.81*HP)/(PE*3600)
CTV(i)=TTC
else
CTV(i)=TTC
PEC(i)=0
QP(i)=0
endif
PRE(i)=RRE(i)-PAE(i)
FRE(i)=PAE(i)-PEC(i)
RE(i)=PRE(i)+FRE(i)
!*****
endif
TDA(i)=DAE(i)+FDAE(i) ! Total energy absorbed by desalination
!*****
!*****Data for Graphs*****
WPPW(i)=DAE(i)/SDC ! Water production by wind+pv energy
WPT(i)=FDAE(i)/SDC ! Water production by turbine energy
!*****Tank-reservoir fulfilment's percentage*****
PCRL(i)=CRL(i)/RTC
PCTV(i)=CTV(i)/TTC
!*****Energy Consumption*****
RT1(i)=DAE(i)
RT2(i)=RT1(i)+PEC(i)
RT3(i)=RT2(i)+FDAE(i)
RT4(i)=RT3(i)+RE(i)
RT5(i)=THEP(i)+TEP(i)
!*****Energy needs satisfaction*****
CT1(i)=DAE(i)-REP(i)
CT2(i)=CT1(i)+REG(i)
CT3(i)=CT2(i)+FDAE(i)-ESTP(i)
CT4(i)=CT3(i)+EN(i)
CT5(i)=HTEN(i)
!*****Energy Production*****
E1(i)=HSEP(i)
E2(i)=E1(i)+HWTEP(i)
E3(i)=E2(i)+TEP(i)
!*****Water needs satisfaction*****
W1(i)=CT1(i)/SDC
W2(i)=CT2(i)/SDC
W3(i)=CT3(i)/SDC
```


Παράρτημα

```
write(23,30) i,WW1(i),WW2(i)
!*****

write(7,30) i,HSR(i),HSEP(i),V(i),HWTEP(i),THEP(i),HTEN(i),DIF(i)
30 format(1X,I4,2X,F8.3,2X,F8.3,2X,F8.3,2X,F8.3,2X,F8.3)
!*****

else
endif
!*****
!*****Calculation Annual Data*****
AEN=AEN+HTEN(i) !Annual Energy Needs
EP=EP+THEP(i) ! Counting Energy Production(pv+wind)
WEP=WEP+HWTEP(i) !Counting Energy Production(wind)
SEP=SEP+HSEP(i) !Counting Energy Production(pv)
TDDE=TDDE+DDE(i) ! Desalination Dump Energy
SDAE=SDAE+DAE(i) ! Absorbed Energy by Desalination (wind+pv)
SFDAE=SFDAE+FDAE(i) ! Absorbed Energy by Desalination (turbine)
TDAE=TDAE+TDA(i) ! Total absorbed energy by desalination plant
TEN=TEN+FEN(i) !Initial energy needs (after reservoir pumping out)
PUMP=PUMP+PEC(i) ! Pump Total Energy kWh
TURBINE=TURBINE+TEP(i) !Turbine Total Energy kWh
YEP=WEP+SEP+TURBINE ! Total Energy production
CRE=CRE+RE(i) ! Counting Final Energy Surplus
TR=TR+PCRL(i) ! Sum of percentage fulfilment(reservoir)
TT=TT+PCTV(i) ! Sum of percentage fulfilment(tank)
DPE=DPE+PRE(i)+FRE(i) !Dumped Energy which could be used for pumping
RPE=RPE+RRE(i) ! Energy that can be used for pumping
DTE=DTE+DRE(i)+BRE(i) !Total Turbine Dumped Energy
SFWP=SDAE/SDC ! Total Water Production using wind+pv energy
STWP=SFDAE/SDC !Total Water Production using turbine energy
SWP=SFWP+STWP ! Total Water Production
TPC=TPC+FWN(i) !Total Water Needs
SQP=SQP+QP(i) ! Total pump Flow
SQT=SQT+QT(i) ! Total turbine flow
if (EN(i).gt.0.0000000001) then
LD=LD+1
UN=UN+EN(i)
else
endif
if (FEN(i).gt.0.000000001) then
KH=KH+1
else
endif
if (TDA(i).gt.0.0000000001) then
DH=DH+1
else
endif
if (PEC(i).gt.0) then
PH=PH+1
elseif (TEP(i).gt.0.0000000001) then
TH=TH+1
else
endif
if (HWTEP(i).gt.0.0000000001) then
WH=WH+1
else
endif
if (HSEP(i).gt.0.0000000001) then
SH=SH+1
else
endif
if (DIF(i).gt.0.0000000001) then
SURE=SURE+DIF(i) ! Energy Surplus from Wind-Pv modules
PW=PW+1
```

Παράρτημα

```

else
endif

enddo
!*****END-DO*****
!*****Test(Annual)*****
b=EP-AEN+UN-CRE-(CRL(8760)-CRL(0))*SDC-PUMP+TURBINE
x=PUMP-TURBINE-(SQP*HP/PE-SQT*HT*TE)*9.81/3600
x=TDAE/SDC-(AEN-UN)/SDC-(CRL(8760)-CRL(0))
if ((abs(b).gt.0.001) .or. (abs(x).gt.0.001)) then
write(*,*) b,x,'!'
else
endif
!*****Various Function Rates*****

ED=(CRE-DTE)/SURE !Percentage of energy production(pv+wind) surplus shedding
UD=CRE/(EP+TURBINE) !Percentage of energy production(pv+wind+turbine) shedding
VB=(SDAE+PUMP)/EP !Percentage of energy production(pv+wind) exploited
AD=1-(UN/TEN) ! Percentage of satisfied extra needs because of turbine's function
EXP=UN/LD ! Extra Power Needed kW
WU=WH/8760 !Percentage of wind turbines' hours in operation through the year
SU=SH/8760 !Percentage of pvs' hours in operation through the year
PU=PH/8760 !Percentage of pumps' hours in operation through the year
TU=TH/8760 !Percentage of turbines' hours in operation through the year
TD=TDAE/(DP*8760) !Percentage of desalination power use
PWU=(SDAE+PUMP)/((PVN+WPN)*8760) !Percentage of pv and wind turbines power use
TPU=SFDAE/(TP*8760) !Percentage of turbines power use
PPU=PUMP/(PP*8760) !Percentage of turbines power use
PPD=1-(DPE/RPE) ! Percentage of disposable energy which is used for pumping
PUR=TR/8760 ! Percentage of reservoir's capacity exploitation
PUT=TT/8760 ! Percentage of tank's capacity exploitation
DT=SFDAE/(TDAE) ! Turbine water production to total water production
PD=DTE/TURBINE ! Percentage of turbine dumped energy to turbine's production
BK=SQP/TTC !Tank times of fulfilment
VD=1-(UN/AEN) ! Percentage of satisfied water needs
!*****Economy issues*****
!*****Cost Estimation*****
!*****PV*****
PVINIT=5000*PVN
PVINST=0.2*PVINIT
PVINVEST=PVINIT+PVINST
PVMMAINT=0.02*PVINVEST
!*****Wind*****
WINDINIT=1040*WPN
WINDINST=0.25*WINDINIT
WINDINVEST=WINDINIT+WINDINST
WINDMAINT=0.02*WINDINVEST
!*****Desalination*****
DESINV=7100*((TDFC)**0.85)
DESRES=25*RTC
DESOTH=0.08*DESINV
DESMMAINT=0.02*(DESINV+DESRES)+DESOTH
DESINVEST=DESINV+DESRES
!*****Hydro-power storage system*****
TURBINEINVEST=5000*(TPN/(HT**0.3))**0.82
PUMPINVEST=2500*(PP/(HP**0.3))**0.82
TANKINVEST=2*420*TTC**0.7
PIPEINVEST=3*HP*200
HYDROOTHER=0.35*(TURBINEINVEST+PUMPINVEST+TANKINVEST+PIPEINVEST)
HYDROINVEST=TURBINEINVEST+PUMPINVEST+TANKINVEST+PIPEINVEST+HYDROOTHER
HYDROMMAINT=0.02*HYDROINVEST
!*****ANNUAL EXPENDITURE*****
HYBRIDMAINT=PVMMAINT+WINDMAINT+DESMMAINT+HYDROMMAINT
!*****FINAL INVESTMENT COST*****

```


Παράρτημα

```

HYBRIDCOST=PVINVEST+WINDINVEST+DESINVEST+HYDROINVEST
!*****WATER PRODUCTION COST*****

rr=0.10
q=20
R=rr/(1-(1+rr)**(-q))
WPC=(HYBRIDCOST*R+HYBRIDMAINT)/(TDAE/SDC)
!*****ELECTRICITY PRODUCTION COST*****
EPC=((HYBRIDCOST-DESINVEST)*R+(HYBRIDMAINT-DESMAINT))/((SFWP+STWP)*SDC)
!*****Financial criteria*****
PLITH=0.04 ! Inflation
do l=1,q
HYBRIDINC(0)=(TDAE/SDC)*WSP
ANNUALEXP(0)=HYBRIDMAINT
HYBRIDINC(l)=(1+PLITH)*HYBRIDINC(l-1)
ANNUALEXP(l)=(1+PLITH)*ANNUALEXP(l-1)
HINC(l)=(HYBRIDINC(l))*(1+rr)**(-l)
AEXP(l)=(ANNUALEXP(l))*(1+rr)**(-l)
BO=BO+HINC(l)
CO=CO+AEXP(l)
enddo
CO=CO+HYBRIDCOST
!*****BCR*****
BCR=BO/CO
!*****NPV*****
PNPV=BO-CO
!*****Years of quittance*****
TF=HYBRIDCOST/(HYBRIDINC(0)-HYBRIDMAINT)
!*****IRR*****
do rr=0.01,1,0.00001
BO=0
CO=0
do l=1,q
HYBRIDINC(0)=(TDAE/SDC)*WSP
HYBRIDINC(0)=(TDAE/SDC)*WSP+CRE*ESP
ANNUALEXP(0)=HYBRIDMAINT
HYBRIDINC(l)=(1+PLITH)*HYBRIDINC(l-1)
ANNUALEXP(l)=(1+PLITH)*ANNUALEXP(l-1)
HINC(l)=(HYBRIDINC(l))*(1+rr)**(-l)
AEXP(l)=(ANNUALEXP(l))*(1+rr)**(-l)
BO=BO+HINC(l)
CO=CO+AEXP(l)
enddo
CO=CO+HYBRIDCOST
NIPV=BO-CO
if (NIPV.lt.5000 .and. NIPV.gt.0) then
PIRR=rr*100
goto 200
else
endif
enddo
!*****
200 if (abs(f1-1).lt.0.001 .and. abs(f2-1).lt.0.001 .and. abs(f3-1).lt.0.001 .and. abs(f4-1).lt.0.001 .and. abs(f5-1).lt.0.001 .and. abs(f6-1).lt.0.001 .and. abs(f7-1).lt.0.001 .and. abs(f8-1).lt.0.001 .and. abs(f9-1).lt.0.001) then
!*****Data for Data-tables.xlsx*****
write(24,*) TTC
write(24,*) TP
write(24,*) RTC
write(24,*) DP
write(24,*) WPN
write(24,*) PVN
write(24,*) PP
write(24,*) TDFC
write(24,*) RP

```

Παράρτημα

```
write(24,*) WSP
write(24,*) '*****'
write(24,*) TPC
write(24,*) SWP
write(24,*) SFWP
write(24,*) STWP
write(24,*) UN
write(24,*) EXP
write(24,*) CRE
write(24,*) AEN
write(24,*) WEP
write(24,*) SEP
write(24,*) EP
write(24,*) TURBINE
write(24,*) YEP
write(24,*) SURE
write(24,*) TDDE
write(24,*) SDAE
write(24,*) TEN
write(24,*) SFDAE
write(24,*) DTE
write(24,*) TDAE
write(24,*) PUMP
write(24,*) DPE
write(24,*) RPE
write(24,*) LD
write(24,*) KH
write(24,*) DH
write(24,*) PH
write(24,*) TH
write(24,*) WH
write(24,*) SH
write(24,*) PW
write(24,*) BK
write(24,*) VD
write(24,*) ED
write(24,*) UD
write(24,*) VB
write(24,*) AD
write(24,*) DT
write(24,*) PPD
write(24,*) PD
write(24,*) WU
write(24,*) SU
write(24,*) PU
write(24,*) TU
write(24,*) PWU
write(24,*) TPU
write(24,*) PPU
write(24,*) TD
write(24,*) PUR
write(24,*) PUT
write(24,*) PVINVEST
write(24,*) WINDINVEST
write(24,*) HYDROINVEST
write(24,*) DESINVEST
write(24,*) HYBRIDCOST
write(24,*) PVMMAINT
write(24,*) WINDMAINT
write(24,*) HYDROMAINT
write(24,*) DESMAINT
write(24,*) HYBRIDMAINT
write(24,*) HYBRIDINC(0)
write(24,*) WPC
```

Παράρτημα

```
write(24,*) EPC
write(24,*) TF
write(24,*) BCR
write(24,*) PNPV
write(24,*) PIRR
!*****
else
endif
!*****Parameter-Rates files*****
if (kk.eq.1) then
write(10,19)
TTC,LD,AD,ED,TD,UD,WU,SU,PU,TU,PWU,TPU,PPU,EXP,PUR,PUT,PPD,BK,DT,PD,VB,WPC,BCR,PNPV,PIRR,EPC,VD,TF
elseif (kk.eq.2) then
write(11,19)
TP,LD,AD,ED,TD,UD,WU,SU,PU,TU,PWU,TPU,PPU,EXP,PUR,PUT,PPD,BK,DT,PD,VB,WPC,BCR,PNPV,PIRR,EPC,VD,TF
elseif (kk.eq.3) then
write(12,19)
RTC,LD,AD,ED,TD,UD,WU,SU,PU,TU,PWU,TPU,PPU,EXP,PUR,PUT,PPD,BK,DT,PD,VB,WPC,BCR,PNPV,PIRR,EPC,VD,TF
elseif (kk.eq.4) then
write(13,19)
DP,LD,AD,ED,TD,UD,WU,SU,PU,TU,PWU,TPU,PPU,EXP,PUR,PUT,PPD,BK,DT,PD,VB,WPC,BCR,PNPV,PIRR,EPC,VD,TF
elseif (kk.eq.5) then
write(14,19)
WPN,LD,AD,ED,TD,UD,WU,SU,PU,TU,PWU,TPU,PPU,EXP,PUR,PUT,PPD,BK,DT,PD,VB,WPC,BCR,PNPV,PIRR,EPC,VD,TF
elseif (kk.eq.6) then
write(15,19)
PVN,LD,AD,ED,TD,UD,WU,SU,PU,TU,PWU,TPU,PPU,EXP,PUR,PUT,PPD,BK,DT,PD,VB,WPC,BCR,PNPV,PIRR,EPC,VD,TF
elseif (kk.eq.7) then
write(16,19)
PP,LD,AD,ED,TD,UD,WU,SU,PU,TU,PWU,TPU,PPU,EXP,PUR,PUT,PPD,BK,DT,PD,VB,WPC,BCR,PNPV,PIRR,EPC,VD,TF
elseif (kk.eq.8) then
write(17,19)
RP,LD,AD,ED,TD,UD,WU,SU,PU,TU,PWU,TPU,PPU,EXP,PUR,PUT,PPD,BK,DT,PD,VB,WPC,BCR,PNPV,PIRR,EPC,VD,TF
elseif (kk.eq.9) then
write(18,19)
WSP,LD,AD,ED,TD,UD,WU,SU,PU,TU,PWU,TPU,PPU,EXP,PUR,PUT,PPD,BK,DT,PD,VB,WPC,BCR,PNPV,PIRR,EPC,VD,TF
else
endif
19
format(F15.3,2X,I4,2X,F5.3,2X,F5.3,2X,F5.3,2X,F15.3,2X,F15.3,2X,F15.3,2X,F5.3,2X,F5.3,2X,F5.3,2X,F15.3,2X,F15.3,2X,
X,F15.3,2X,F15.3,2X,F5.3,2X,F5.3,2X,F5.3,2X,F5.3,2X,F5.3,2X,F5.3,2X,F15.3,2X,F15.3,2X,F15.3,2X,F15.3,2X,F15.3,2X,
F15.3,2X,F15.3)
!*****Screen Report*****
write(*,78) LD,WPC,EPC,BCR,PNPV,PIRR,DT
78
format(I4,2X,F5.3,2X,F5.3,2X,F5.3,2X,F15.3,2X,F8.3,2X,F8.3,2X,F10.3,2X,F15.3,2X,F15.3,2X,F15.3,2X,F15.3,2X,F15.3,2X,
X,F15.3,2X,F15.3,2X,F15.3,2X,F15.3,2X,F15.3,2X,F15.3)
!*****
100 enddo
stop
end
!*****END*****
```

Β. Λίστα συμβόλων κώδικα και έκθεσης

ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΣΥΝΤΟΜΕΥΣΕΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ			
A/A	ΣΥΝΤΟΜΕΥΣΗ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ
1	a	-	Συντελεστής τραχύτητας (αναγωγή ταχύτητας ανέμου)
2	ACAB	-	Απώλειες καλωδίων (απόδοση Φ/Β)
3	AD	-	Ποσοστό ικανοποιημένων ενεργειακών αναγκών (πλεόνασμα) λόγω Υ/Σ
4	AEN	kwh	Ετήσιες ενεργειακές ανάγκες
5	AEXP	€	Ανηγμένα ετήσια έξοδα
6	AINV	-	Απόδοση inverter (απόδοση Φ/Β)
7	AMOD	-	Ονομαστική απόδοση Φ/Β
8	ANNUALEXP	€	Ετήσιες δαπάνες με πληθωρισμό
9	APV	-	Ολικός βαθμός απόδοσης Φ/Β συστήματος
10	ASH	-	Απώλειες λόγω σκίασης (απόδοση Φ/Β)
11	AW	m ³	Ωριαία Μείωση όγκου δεξαμενής(αρχική)
12	BCR	€	Δείκτης BCR
13	BK	-	Φορές που "γεμίζει" ο ταμιευτήρας σ'ένα έτος
14	BO	€	Συνολικά έσοδα (ανηγμένα) στα έτη λειτουργίας του έργου
15	BRE	kWh	Απορριπτόμενη ενέργεια υδροστροβίλου λόγω χωρητικότητας δεξαμενής
16	BTE		Ενέργεια που μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για άντληση αλλά απορρίπτεται
17	cb	-	Ποσοστό της ώρας που λειτουργεί ο στρόβιλος
18	CO	€	Συνολικά έξοδα (ανηγμένα) στα έτη λειτουργίας του έργου
19	CRE	kwh	Ετήσιο Ενεργειακό πλεόνασμα (τελικό)
20	CRL	m ³	Στιγμιαίος όγκος νερού στη δεξαμενή αποθήκευσης
21	CT1	kwh	Ενεργειακές ανάγκες που ικανοποιούνται από Α/Γ+Φ/Β
22	CT2	kwh	Ενεργειακές ανάγκες που ικανοποιούνται από δεξαμενή πόσιμου+CT1
23	CT3	kwh	Ενεργειακές ανάγκες που ικανοποιούνται από στρόβιλο+CT2
24	CT4	kwh	Τελικές ανάγκες+CT3
25	CT5	kwh	Αρχικές ανάγκες
26	CTV	m ³	Στιγμιαίος όγκος νερού στην άνω δεξαμενή
27	D	-	Ημέρα
28	DAC	kWh	Δυνατή απορροφούμενη ενέργεια υδροστροβίλου από την αφαλάτωση
29	DAE	kWh	Ωριαία Απορροφούμενη ενέργεια από Α/Γ και Φ/Β από την αφαλάτωση
30	DDE	kWh	Ωριαία Απορριπτ.ενέργεια από Α/Γ και Φ/Β λόγω της ισχύος αφαλάτωσης
31	DESINVEST	€	Κόστος επένδυσης Αφαλάτωσης
32	DESMOINT	€	Κόστος συντήρησης Αφαλάτωσης
33	DESRES	€	Κόστος δεξαμενής Αφαλάτωσης
34	DESOTH	€	Διάφορα κόστη Αφαλάτωσης
35	DFC	m ³	Δυνατή παραγωγή νερού από αφαλάτωση σε μια ώρα
36	DH	-	Ώρες που δουλεύει η αφαλάτωση
37	DIF	kWh	Ωριαία Διαφορά Παραγωγής από Α/Γ και Φ/Β κ Αναγκών σε ενέργεια
38	DIFF	kWh	Διαφορά εκμεταλλεύσιμης παραγωγής (Α/Γ+Φ/Β), αναγκών (ωριαία)
39	DP	kW	Ισχύς Μονάδας αφαλάτωσης
40	DPAE	kWh	Ωριαία δυνατή απορροφούμενη ενέργεια Α/Γ+Φ/Β από αφαλάτωση
41	DPE	-	Ετήσια διατιθέμενη ενέργεια για άντληση που τελικά απορρίπτεται

Παράρτημα

42	DPN	-	Αριθμός μονάδων Αφαλάτωσης (μη ρεαλιστικό μέγεθος)
43	DRE	kWh	Ωριαία απορριπτόμενη ενέργεια από στρόβιλο λόγω ισχύος αφαλάτωσης
44	DT	-	Ποσοστό συμμετοχής στροβίλου στην ετήσια παραγωγή νερού
45	DTE	kWh	Απορριπτ. ενέργεια στροβίλου λόγω μη δυνατότητας αφαλάτωσης (ετήσιο)
46	E	m ²	Επιφάνεια φωτοβολταϊκού πάνελ
47	E1	kWh	Παραγωγή ενέργειας από Φ/Β (ωριαία)
48	E2	kWh	Παραγωγή ενέργειας από Α/Γ (ωριαία)+E1
49	E3	kWh	Παραγωγή ενέργειας από στρόβιλο (ωριαία)+E2
50	ED	kWh	Ποσοστό απόρριψης ενεργειακού πλεονάσματος από Α/Γ+Φ/Β
51	EN	kwh	Πρόσθετη απαιτούμενη ενέργεια(ωριαία)
52	EP	kWh	Συνολική παραγωγή ενέργειας σε ένα χρόνο(Α/Γ+Φ/Β)
53	EPC	€/kWh	Κόστος παραγωγής ενέργειας
54	EPD	kWh	Έλλειμμα ενέργειας Α/Γ +Φ/Β (χρήση στο κεφ.5)
55	ES	kWh	Περίσσεια ενέργειας Α/Γ +Φ/Β (χρήση στο κεφ.5)
56	ESTP	kWh	Πραγματική αποδιδόμενη ενέργεια για την πλήρωση δεξαμενής από Υ/Σ
57	EW	m ³	Ωριαίος προστιθέμενος όγκος νερού στη δεξαμενή πόσιμου
58	EXP	kW	Επιπλέον απαιτούμενη ισχύς (ετήσια)
59	f1	-	Συντελεστής παραμέτρου (ταμειυτήρας)
60	f2	-	Συντελεστής παραμέτρου (ισχύς στροβίλου)
61	f3	-	Συντελεστής παραμέτρου (δεξαμενή πόσιμου)
62	f4	-	Συντελεστής παραμέτρου (ισχύς αφαλάτωσης)
63	f5	-	Συντελεστής παραμέτρου (ισχύς Α/Γ)
64	f6	-	Συντελεστής παραμέτρου (ισχύς Φ/Β)
65	f7	-	Συντελεστής παραμέτρου (ισχύς αντλιών)
66	FDAE	kWh	Ωριαία Απορροφούμενη ενέργεια από την αφαλάτωση (από στρόβιλο)
67	FEN	kWh	Ωριαίες ανάγκες σε ενέργεια(μετά το άδειασμα της δεξαμενής πόσιμου)
68	FRE	kWh	Απορριπτόμενη διαθέσιμη ενέργεια για άντληση λόγω χωρητικ. ταμειυτήρα
69	FWN	m ³	Ανάγκες σε πόσιμο νερό(ωριαία)
70	FWP	m ³	Παραγωγή πόσιμου νερού(ωριαία) Α/Γ +Φ/Β
71	H	-	Ωρα
72	H1	-	Ωρα
73	H2	-	Ωρα
74	HINC	€	Ανηγμένα ετήσια έσοδα
75	HP	m	Καθαρό ύψος άντλησης
76	HSEP	kwh	Παραγόμενη ενέργεια από Φ/Β (ωριαία)
77	HSR	kwh/m ²	Ηλιακή ακτινοβολία σε ωριαία μέτρηση
78	HT	m	Καθαρό ύψος στροβίλου
79	HTEN	kWh	Συνολικές Ενεργειακές Ανάγκες (ωριαία)
80	HW	-	Χαρακτηριστικός συντελεστής φωτοβολταϊκών πλαισίων (απόδοση)
81	HWE	kwh	Παραγόμενη Ισχύς Α/Γ (καμπύλη ισχύος)
82	HWEP	kwh	Παραγόμενη ενέργεια από Α/Γ (ωριαία)
83	HWTEP	kwh	Καθαρή παραγόμενη ενέργεια από Α/Γ
84	HYBRIDCOST	€	Συνολικό κόστος επένδυσης έργου
85	HYBRIDEXP	€	Ετήσιο κόστος συντήρησης έργου
86	HYBRIDINC	€	Ετήσια έσοδα με πληθωρισμό
87	HYDROINVEST	€	Κόστος επένδυσης Συστήματος Αντλιοσταμείωσης
88	HYDROMAINT	€	Κόστος συντήρησης Συστήματος Αντλιοσταμείωσης

Παράρτημα

89	HYDROOTHER	€	Διάφορα κόστη Συστήματος Αντλιοσταμείωσης
90	k	-	αριθμός επαναλήψεων
91	KH	h	Ωρες που καλείται να λειτουργήσει ο υδροστρόβιλος
92	LD	h	Ωρες που δεν ικανοποιούνται πλήρως οι ενεργειακές ανάγκες
93	M	-	Μήνας
94	M1	-	Μήνας
95	PAE	kWh	Δυνατή απορροφούμενη ενέργεια από τις αντλίες
96	PCRL	-	Ποσοστό πλήρωσης δεξαμενής πόσιμου (ωραία)
97	PCTV	-	Ποσοστό πλήρωσης άνω ταμιευτήρα (ωραία)
98	PD	-	Ποσοστό απορριπτόμενης ενέργειας στροβίλου προς συνολικής στροβίλου
99	PE	-	Βαθμός Απόδοσης Αντλίας
100	PEC	kwh	Αποδιδόμενη ενέργεια στην αντλία για πλήρωση άνω δεξαμενής (ωραία)
101	PER	-	Ποσοστό κατανάλωσης νερού για την συγκεκριμένη ώρα
102	PERS	-	Ποσοστό κατανάλωσης νερού για την συγκεκριμένη ώρα (Καλοκαίρι)
103	PERW	-	Ποσοστό κατανάλωσης νερού για την συγκεκριμένη ώρα (Χειμώνας)
104	PH	h	Ωρες που "δουλεύει" η αντλία
105	PIPEINVEST	€	Κόστος επένδυσης σωληνώσεων
106	PIRR	%	Δείκτης IRR
107	PN	-	Αριθμός Φ/Β
108	PNPV	€	Δείκτης NPV
109	PP	kW	Ονομαστική Ισχύς Αντλιών
110	PPD	-	Ποσοστό διατιθέμενης ενέργειας που τελικά καταναλώνεται για άντληση
111	PPU		Ποσοστός εκμετάλλευσης ισχύος αντλιών
112	PRE	kWh	Απορριπτόμενη διαθέσιμη ενέργεια για άντληση λόγω ισχύος αντλιών
113	PU	-	Ποσοστό του έτους που δουλεύουν οι αντλίες
114	PUMP	kWh	Συνολική κατανάλωση από την αντλία σε ένα χρόνο
115	PUMPINVEST	€	Κόστος επένδυσης Αντλίας
116	PUR	-	Ποσοστό αξιοποίησης δεξαμενής πόσιμου
117	PUT	-	Ποσοστό αξιοποίησης δεξαμενής στροβίλου
118	PV	kW	Ισχύς Φ/Β πλαισίου
119	PWU	-	Ποσοστό εκμετάλλευσης ισχύος Φ/Β και Α/Γ
120	PVINIT	€	Αρχικό κόστος Φ/Β
121	PVINST	€	Κόστος εγκατάστασης Φ/Β
122	PVINVEST	€	Κόστος επένδυσης Φ/Β
123	PVMAINT	€	Κόστος συντήρησης Φ/Β
124	PVN	kW	Συνολική ισχύς Φ/Β
125	PW	h	Ωρες που η παραγωγή από Α/Γ +Φ/Β είναι μεγαλύτερη από τις ανάγκες
126	q	χρόνια	Διάρκεια ζωής έργου
127	QP	m ³ /h	Παροχή αντλίας (ωραία)
128	QT	m ³ /h	Παροχή Υδροστροβίλου(ωραία)
129	R	-	Συντελεστής αναγωγής κόστους
130	RDE	kWh	Περιθώριο απορρόφησης ενέργειας από την αφαλάτωση (χρήση στο κεφ.5)
131	RE	kwh	Ετήσια απορριπτόμενη ενέργεια (ωραία)
132	REG	kWh	Ισοδύναμη μείωση της απαιτούμενης ενέργειας με εκμετάλλευση δεξαμενής
133	REWN	m ³	Υπολειπόμενες ανάγκες σε νερό μετά το άδειασμα της δεξαμενής
134	RIP	-	Μόνιμος Πληθυσμός (Αρχείο)
135	RLL	m ³	Ελάχιστος επιτρεπόμενος όγκος νερού στην δεξαμενή αποθήκευσης

Παράρτημα

136	RP	Άτομα	Μόνιμος Πληθυσμός
137	RPE	-	Ετήσια διατιθέμενη ενέργεια για άντληση
138	rr	-	επιτόκιο προεξόφλησης
139	RRE	kWh	Διατιθέμενη ενέργεια για άντληση
140	RT1	kWh	Η ενέργεια που καταναλώνεται από την αφαλάτωση-α μέρος (ωριαία)
141	RT2	kWh	Η ενέργεια που καταναλώνεται από τις αντλίες (ωριαία)+RT1
142	RT3	kWh	Η ενέργεια που καταναλώνεται από την αφαλάτωση- β μέρος (ωριαία)+RT2
143	RT4	kWh	Απορριπτόμενη ενέργεια(ωριαία)+RT3
144	RT5	kWh	Συνολική παραγόμενη ενέργεια (ωριαία)
145	RTC	m ³	Συνολική χωρητικότητα δεξαμενής αποθήκευσης πόσιμου
146	RWA	m ³	Πλεόνασμα Παραγωγής Νερού (ωριαία)
147	RWN	m ³	Καθαρές Ανάγκες σε νερό (ωριαία)
148	s		Δείκτης αναγωγής ταχύτητας ανέμου
149	SDAE	kWh	Ετήσια ενέργεια εκμεταλλεύσιμη ενέργεια από αφαλάτωση(A/Γ+Φ/B)
150	SDC	kwh/ m ³	Ειδική κατανάλωση συστήματος αφαλάτωσης
151	SDWC	m ³ /άτομο	Ημερήσια κατανάλωση νερού ανά άτομο
152	SEP	kWh	Ετήσια παραγωγή ενέργειας από Φ/B
153	SEWT	-	Απόδοση A/Γ
154	SFDAE	kWh	Ετήσια ενέργεια εκμεταλλεύσιμη ενέργεια από αφαλάτωση(στρόβιλος)
155	SFWP	m ³	Ετήσια παραγωγή νερού (A/Γ+Φ/B)
156	SH	h	Ώρες που λειτουργούν τα Φ/B
157	SIP	Άτομα	Εποχιακός Πληθυσμός(Αρχείο)
158	SP	Άτομα	Εποχιακός Πληθυσμός
159	SPA	-	Απώλειες λόγω μη καθαρότητας Φ/B πλαισίου
160	SQP	m ³	Ετήσια παροχή αντλιών
161	SQT	m ³	Ετήσια παροχή υδροστρόβιλου
162	STH	-	Συντελεστής θερμοκρασίας (απόδοση Φ/β)
163	STP	kwh	Ωριαίο πλεόνασμα παραγωγής υδροστρόβιλου
164	STWP	m ³	Ετήσια παραγωγή νερού (στρόβιλος)
165	SU	-	Ποσοστό εκμετάλλευσης Φ/B
166	SURE	kWh	Ετήσιο Πλεόνασμα παραγωγής ενέργειας (Φ/B+A/Γ)
167	SWP	kWh	Ετήσια παραγωγή νερού
168	TA	C	Θερμοκρασία περιβάλλοντος
169	TANKINVEST	€	Κόστος δεξαμενών Συστήματος Αντλιοσταμείωσης
170	TC	C	Θερμοκρασία Φ/B πλαισίου
171	TD	-	Ποσοστό εκμετάλλευσης ισχύος αφαλάτωσης
172	TDA	kWh	Ωριαία κατανάλωση ενέργειας από αφαλάτωση
173	TDAE	kWh	Ετήσια ενέργεια εκμεταλλεύσιμη ενέργεια από αφαλάτωση(συνολική)
174	TDDE	kWh	Ετήσια απορριπτόμενη ενέργεια λόγω ισχύος αφαλάτωσης
175	TDFC	m ³ /h	Δυνατότητα παραγωγής νερού από αφαλάτωση σε μια ώρα
176	TE	-	Απόδοση υδροστρόβιλου
177	TEN	kwh	Ετήσιες ενεργειακές ανάγκες (extra)
178	TEP	kWh	Παραγωγή ενέργειας από υδροστρόβιλο
179	TF	έτη	χρόνος αποπληρωμής έργου
180	TH	h	Ώρες που "δουλεύει" ο υδροστρόβιλος
181	THC	m ³	Ανάγκες σε πόσιμο νερό (ωριαίο)
182	THEP	kwh	Συνολική παραγόμενη ενέργεια (ωριαία)

Παράρτημα

183	TMWV	m ³	Ελάχιστος επιτρεπόμενος όγκος νερού της άνω δεξαμενής
184	TP	kW	Ισχύς Υδροστροβίλου
185	TPC	m ³	Ετήσιες ανάγκες σε νερό
186	TPU	-	Ποσοστό εκμετάλλευσης ισχύος στροβίλου
187	TR	-	Άθροισμα ποσοστών πλήρωσης δεξαμενής πόσιμου
188	TT	-	Άθροισμα ποσοστών πλήρωσης δεξαμενής στροβίλου
189	TTC	m ³	Συνολική χωρητικότητα άνω δεξαμενής
190	TU	-	Ποσοστό εκμετάλλευσης στροβίλου
191	TURBINE	kW	Ισχύς Υδροστροβίλου
192	TURBINEINVEST	€	Κόστος επένδυσης στροβίλου
193	TWP	m ³	Δυνατή παραγωγή νερού από ενέργεια στροβίλου
194	TWPC	m ³	Ιδεατή παραγωγή νερού από στρόβιλο
195	TWPN	m ³	Προστιθέμενος όγκος νερού από ενέργεια στροβίλου
196	UD	-	Ποσοστό απόρριψης ενεργειακής παραγωγής
197	UN	kWh	Ανικανοποίητες Ενεργειακές ανάγκες (ετήσιο)
198	V	m/s	Ταχύτητα ανέμου ανηγμένη
199	VB	-	Ποσοστό αξιοποίησης ενέργειας από Α/Γ +Φ/Β
200	VD	-	Ποσοστό ικανοποίησης αναγκών σε πόσιμο νερό
201	Vin	m/s	Ταχύτητα έναρξης λειτουργίας Α/Γ
202	Vout	m/s	Ταχύτητα λήξης λειτουργίας Α/Γ
203	VVV	m/s	Ταχύτητα ανέμου (Αρχείο Α/Γ)
204	W1	m ³	Ανάγκες σε νερό που ικανοποιούνται από Α/Γ+Φ/Β
205	W2	m ³	Ανάγκες σε νερό που ικανοποιούνται από δεξαμενή πόσιμου+W1
206	W3	m ³	Ανάγκες σε νερό που ικανοποιούνται από στρόβιλο+W2
207	W4	m ³	Τελικές ανάγκες σε νερό+W3
208	WEP	kWh	Ετήσια παραγωγή ενέργειας από Α/Γ
209	WH	h	Ωρες που λειτουργούν οι Α/Γ
210	WINDINIT	€	Αρχικό κόστος Α/Γ
211	WINDINST	€	Κόστος εγκατάστασης Α/Γ
212	WINDINVEST	€	Κόστος επένδυσης Α/Γ
213	WINDMAINT	€	Κόστος συντήρησης Α/Γ
214	WP	h	Ωρες που λειτουργούν οι αντλίες
215	WPC	€/ m ³	Κόστος παραγωγής νερού
216	WPN	kW	Ονομαστική ισχύς Α/Γ
217	WS	m/s	Ταχύτητα ανέμου σε ωριαία μέτρηση
218	WSP	€/ m ³	Τιμή πώλησης νερού
219	WU	-	Ποσοστό εκμετάλλευσης Α/Γ
220	WW1	m ³	Παραγωγή νερού με τροφοδοσία Α/Γ+Φ/Β
221	WW2	m ³	Παραγωγή νερού με τροφοδοσία υδροστροβίλου +WW1
222	YEP	kWh	Ετήσια παραγωγή ενέργειας
223	z0	m	ύψος αναφοράς ταχύτητας ανέμου

Γ. Πρόσκληση για υποβολή προτάσεων για αντιμετώπιση της λειψυδρίας στα νησιά του Αιγαίου από το Υπουργείο Εμπ. Ναυτιλίας, Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΜΠΟΡΙΚΗΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ
ΑΙΓΑΙΟΥ ΚΑΙ ΝΗΣΙΩΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ
ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΑΙΓΑΙΟΥ ΚΑΙ ΝΗΣΙΩΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ
Δ/ΝΣΗ: ΓΕΝΙΚΩΝ ΥΠΟΘΕΣΕΩΝ,
ΔΙΕΘΝΩΝ ΚΑΙ ΕΥΡΩΠΑΪΚΩΝ ΘΕΜΑΤΩΝ
Τμήμα: Γενικών Υποθέσεων
Ταχ. Δ/ση : Μικράς Ασίας 2
Ταχ. Κώδικας 81100 Μυτιλήνη
TELEFAX: 22510-41175
Πληρ.: Σ. Μαστραντωνάς –Ε. Τσιφτσής
Τηλ: 22510-38340, 38323

Μυτιλήνη, 22-4-2008
Αρ.πρ: ΔΓΥ/Φ.728.11/4113

ΚΟΙΝ. : ΟΠΩΣ ΠΚ

Θέμα: Δημοσίευση περίληψης «*Ανοικτής πρόσκλησης υποβολής προτάσεων για μεθόδους κάλυψης υδατικών ελλειμμάτων των άνυδρων νησιών των Νομών Κυκλάδων και Δωδεκανήσου*»

Α Π Ο Φ Α Σ Η **Ο ΥΦΥΠΟΥΡΓΟΣ ΕΜΠΟΡΙΚΗΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΑΙΓΑΙΟΥ ΚΑΙ** **ΝΗΣΙΩΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ**

Έχοντας υπόψη:

1. Τις διατάξεις του Π.Δ. 63/2005 «Κωδικοποίηση της νομοθεσίας για την Κυβέρνηση και τα Κυβερνητικά Όργανα»
2. Τις διατάξεις του Π.Δ. 1/86 (ΦΕΚ 1/Α/15-1-86) «Καθορισμός αρμοδιοτήτων Υπουργείου Αιγαίου», όπως συμπληρώθηκε με το Π.Δ. 326/2000 (ΦΕΚ 267/Α/8-12-00).
3. Την 8555/27-11-90 (ΦΕΚ 741/Β/29-11-90) κοινή απόφαση Υπουργών Προεδρίας της Κυβέρνησης και Αιγαίου "Πράξεις και έγγραφα αρμοδιότητας του Υπουργείου Αιγαίου που εξαιρούνται από τους περιορισμούς της διάταξης του άρθρου 81, παρ.1 του Ν.1892/90".
4. Το Π.Δ. 205/19-9-2007 «Συγχώνευση Υπουργείων» (ΦΕΚ 231/Α/19-9-2007) και το Π.Δ. 215/25-10-2007 (ΦΕΚ 241/Α/25-10-2007) «Σύσταση Γενικών Γραμματειών στο Υπουργείο Εσωτερικών και στο Υπουργείο Εμπορικής Ναυτιλίας, Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής».

5. Την με αριθμ. 5221.1/01/4-1-2008 απόφαση Υπουργού Εμπορικής Ναυτιλίας, Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής σχετικά με «*Ανάθεση αρμοδιοτήτων στον Υφυπουργό Εμπορικής Ναυτιλίας Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής*» (ΦΕΚ Β/Α.Φ.19/14-1-2008)
6. Το γεγονός ότι από την Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής ασκείται το έργο της μεταφοράς ποσίμου ύδατος με υδροφόρα πλοία στα νησιά των Νομών Κυκλάδων και Δωδεκανήσου για κάλυψη των υδατικών τους ελλειμμάτων.
7. Το γεγονός ότι το υδρευτικό πρόβλημα των άνυδρων νησιών των Νομών Κυκλάδων και Δωδεκανήσου είναι ένα από τα σοβαρότερα προβλήματα αναπτυξιακού χαρακτήρα των νησιών αυτών
8. Την ανάγκη διερεύνησης και άλλων πιθανών μεθόδων κάλυψης των υδατικών ελλειμμάτων των νησιών αυτών.
9. Την εγγεγραμμένη πίστωση στον ΚΑΕ 0841 «*Διαφημίσεις και δημοσιεύσεις γενικά*» του Τακτικού προϋπολογισμού της Γενικής Γραμματείας Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής του Υπουργείου Εμπορικής Ναυτιλίας, Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής, έτους 2008

Αποφασίζουμε

1. Εγκρίνουμε την διαδικασία της **«Ανοικτής πρόσκλησης υποβολής προτάσεων για μεθόδους κάλυψης υδατικών ελλειμμάτων των άνυδρων νησιών των Νομών Κυκλάδων και Δωδεκανήσου»** με περιεχόμενο τα αναγραφόμενα στο συνημμένο **“ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α!”**, το οποίο και αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα της παρούσας απόφασης.
2. Εγκρίνουμε την δημοσίευση περίληψης του ως άνω **“ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΟΣ Α!”** στις παρακάτω εφημερίδες, ως το συνημμένο **“ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β!”** το οποίο και αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα της παρούσας απόφασης επίσης:

2.Α. ΗΜΕΡΗΣΙΕΣ ΝΟΜΑΡΧΙΑΚΕΣ ΕΦΗΜΕΡΙΔΕΣ:

2.Α.1. ΝΟΜΟΣ ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΟΥ

- «ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΚΗ ΤΗΣ ΡΟΔΟΥ»
- «ΠΡΟΟΔΟΣ»
- «ΡΟΔΙΑΚΗ»

2.Α.2. ΝΟΜΟΣ ΚΥΚΛΑΔΩΝ

- «ΚΟΙΝΗ ΓΝΩΜΗ»
- «ΚΥΚΛΑΔΙΚΗ»

2.A.3. ΝΟΜΟΣ ΛΕΣΒΟΥ

- «ΑΙΟΛΙΚΑ ΝΕΑ»

2.B. Στις ημερήσιες εφημερίδες

- «ΚΕΡΔΟΣ»,
- «ΔΗΜΟΠΡΑΣΙΩΝ & ΠΛΕΙΣΤΗΡΙΑΣΜΩΝ»
- «Η ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ»

3. Η δαπάνη των δημοσιεύσεων αυτών θα βαρύνει τις πιστώσεις του Τακτικού Προϋπολογισμού της Γενικής Γραμματείας Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής του Υπουργείου Εμπορικής Ναυτιλίας Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής, έτους 2008 και ειδικότερα τον ΚΑΕ 0841 «Διαφημίσεις και δημοσιεύσεις γενικά»

Ο ΥΦΥΠΟΥΡΓΟΣ ΕΜΠΟΡΙΚΗΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΑΙΓΑΙΟΥ ΚΑΙ ΝΗΣΙΩΤΙΚΗΣ

ΠΑΝΟΣ ΚΑΜΜΕΝΟΣ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΟΙΝΟΠΟΙΗΣΕΩΝ

1. Γραφείο Υπουργού Εμπορικής Ναυτιλίας, Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής
2. Γραφείο Υφυπουργού Εμπορικής Ναυτιλίας, Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής

3. Γραφείο Γενικού Γραμματέα Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής του Υ.Ε.Ν.Α.Ν.Π.
4. Προϊστάμενο Γενικής Δ/σης Γεν. Γραμματείας Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής του Υ.Ε.Ν.Α.Ν.Π.
5. **Κεντρική Ένωση Επιμελητηρίων (Κ.Ε.Ε.)**
Γραμματεία Διοίκησης
(με την παράκληση να ενημερωθούν τα μέλη της)
Ακαδημίας 7, 5^{ος} όροφος
106 71 Αθήνα
6. **ΕΟΜΜΕΧ**
Ξενίας 16,
115 28 Αθήνα,
Τηλ.: 210/7491100
7. **ΝΑΥΤΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΟΣ**
Ακτή Μιαούλη 85 & Φλέσσα-Πειραιάς 18538
8. **Γραφείο Νομάρχη Ν.Α. Κυκλάδων**
Ερμούπολη Σύρου
9. **Γραφείο Νομάρχη Ν.Α. Δωδεκανήσου**
Ρόδος
10. **ΤΕΔΚ Κυκλάδων**
Πλατεία Λαϊκής Κυριαρχίας –Ερμούπολη Σύρου
11. **ΤΕΔΚ Δωδεκανήσου**
Πλατεία Ελευθερίας –Ρόδος
12. ΥΔΕ Γενικής Γραμματείας Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής –ΕΝΤΑΥΘΑ

Ε.Δ.

1. Δ/ση Γενικών Υποθέσεων, Διεθνών και Ευρωπαϊκών Θεμάτων
 - Προϊστάμενο Δ/σης
 - Τμήμα Α' Γενικών Υποθέσεων
2. Δ/ση Δ/κου -Οικονομικού
 - Προϊστάμενο Δ/σης Δ/κού –Οικονομικού
 - Τμήμα Οικονομικής Δ/σης & Προμηθειών
(με την παράκληση να προβεί στις ενέργειες δημοσίευσης της περιλήψης στις αναγραφόμενες εφημερίδες)
 - Προϊστάμενο Τμήματος Γραμματείας
(με την παράκληση να αναρτηθεί στον Πίνακα Ανακοινώσεων)
3. Τμήμα Πληροφορικής
(με την παράκληση να αναρτήσει την παρούσα στην ηλεκτρονική διεύθυνση:
<http://samos.yrai.gr/protaseis.pdf>)

ΠΑΡΑΤΗΜΑ Α!

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΜΠΟΡΙΚΗΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΑΙΓΑΙΟΥ ΚΑΙ ΝΗΣΙΩΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ
ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΑΙΓΑΙΟΥ ΚΑΙ ΝΗΣΙΩΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ

**ΑΝΟΙΚΤΗ ΠΡΟΣΚΛΗΣΗ ΥΠΟΒΟΛΗΣ ΠΡΟΤΑΣΕΩΝ
ΓΙΑ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΕΛΛΕΙΜΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΑΝΥΔΡΩΝ ΝΗΣΙΩΝ ΤΩΝ
ΝΟΜΩΝ ΚΥΚΛΑΔΩΝ ΚΑΙ ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΟΥ**

Η Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής, καλεί κάθε ενδιαφερόμενο φορέα (φυσικό ή νομικό πρόσωπο), να υποβάλλει προτάσεις κάλυψης των υδατικών ελλειμμάτων των άνδρων νησιών των Κυκλάδων και της Δωδεκανήσου, προκειμένου αυτές να ληφθούν υπ' όψιν στον σχεδιασμό της επίλυσης του υδρευτικών προβλημάτων των εν λόγω νησιών. Σήμερα, η κάλυψη αυτών των υδατικών ελλειμμάτων γίνεται με την μέθοδο της μεταφοράς πόσιμου ύδατος με υδροφόρα πλοία, με δαπάνες της Γενικής Γραμματείας Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής, ως ακολούθως:

A. ΔΕΔΟΜΕΝΑ

A.1. Μέχρι τώρα η κάλυψη των υδρευτικών αναγκών των "άνδρων νησιών" των Κυκλάδων (βλέπε κατάλογο) γίνεται με μεταφορά του πόσιμου νερού με υδροφόρα πλοία από το δίκτυο της Ε.ΥΔ.Α.Π. στην Αττική ("Λαύριο" ή "Μέγαρα-Λουτρόπυργος"), ως εξής:

ΚΥΚΛΑΔΕΣ

- Αμοργός
- Δονούσα
- Κουφονήσια
- Σχοινούσα
- Ηρακλεία
- Θηρασιά
- Σίκινος
- Φολέγανδρος
- Κίμωλος
- Μήλος
- Τήνος
- Σύρος (Ποσειδωνία)
- Σίφνος
- Κύθνος

και σε οποιοδήποτε άλλο νησί παρουσιασθεί έλλειψη πόσιμου νερού.

Ως πιθανή εναλλακτική πηγή τροφοδοσίας για μια ομάδα των νησιών του παρακάτω Πίνακα 1 με μικρή σχετική κατανάλωση, δύναται να χρησιμοποιείται το δίκτυο ύδρευσης του Δήμου Νάξου, με σημείο υδροληψίας στον λιμένα Νάξου

ΠΙΝΑΚΑΣ 1

<u>ΟΜΑΔΑ ΝΗΣΙΩΝ</u>	<u>ΝΗΣΟΣ</u>	ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ (κμ) (για όλα τα νησιά του Ν.ΚΥΚΛΑΔΩΝ (ΟΜΑΔΑ Α ΚΑΙ ΟΜΑΔΑ Β) για τα οποία προβλέπεται ως ΚΥΡΙΑ πηγή υδροληψίας το Λαύριο	ΚΥΡΙΑ ΠΗΓΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ	ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΠΗΓΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ (κμ) (για τα νησιά ΟΜΑΔΑΣ Β που προβλέπεται ως ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ Πηγή υδροληψίας η Νάξος)
B	Αιολογός	25.500	ΔΙΚΤΥΟ ΕΥΔΑΠ (Λαύριο ή Λουτρόπυργος)	ΔΙΚΤΥΟ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΔΗΜΟΥ ΝΑΞΟΥ	25.500
B	Δονούσα	500	ΔΙΚΤΥΟ ΕΥΔΑΠ (Λαύριο ή Λουτρόπυργος)	ΔΙΚΤΥΟ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΔΗΜΟΥ ΝΑΞΟΥ	500
B	Κουφονήσι	45.500	ΔΙΚΤΥΟ ΕΥΔΑΠ (Λαύριο ή Λουτρόπυργος)	ΔΙΚΤΥΟ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΔΗΜΟΥ ΝΑΞΟΥ	45.500
B	Σχοινούσα	31.400	ΔΙΚΤΥΟ ΕΥΔΑΠ (Λαύριο ή Λουτρόπυργος)	ΔΙΚΤΥΟ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΔΗΜΟΥ ΝΑΞΟΥ	31.400
B	Ηρακλεία	17.100	ΔΙΚΤΥΟ ΕΥΔΑΠ (Λαύριο ή Λουτρόπυργος)	ΔΙΚΤΥΟ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΔΗΜΟΥ ΝΑΞΟΥ	17.100
B	Θηρασιά	12.900	ΔΙΚΤΥΟ ΕΥΔΑΠ (Λαύριο ή Λουτρόπυργος)	ΔΙΚΤΥΟ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΔΗΜΟΥ ΝΑΞΟΥ	12.900
B	Σίκινος	17.300	ΔΙΚΤΥΟ ΕΥΔΑΠ (Λαύριο ή Λουτρόπυργος)	ΔΙΚΤΥΟ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΔΗΜΟΥ ΝΑΞΟΥ	17.300
A	Φοιέγανδρος	60.600	ΔΙΚΤΥΟ ΕΥΔΑΠ (Λαύριο ή Λουτρόπυργος)		
A	Κίμωλος	40.500	ΔΙΚΤΥΟ ΕΥΔΑΠ (Λαύριο ή Λουτρόπυργος)		
A	Μήλος	298.000	ΔΙΚΤΥΟ ΕΥΔΑΠ (Λαύριο ή Λουτρόπυργος)		
A	Τήνος	14.500	ΔΙΚΤΥΟ ΕΥΔΑΠ (Λαύριο ή Λουτρόπυργος)		
A	Σύρος (Ποσειδονία)	7.400	ΔΙΚΤΥΟ ΕΥΔΑΠ (Λαύριο ή Λουτρόπυργος)		
	ΣΥΝΟΛΟ/έτος	≈570.000			≈150.000

Η ποσότητα του νερού που μεταφέρεται σε νησιά του Νομού Κυκλάδων εκτιμάται σε 570.000 κ.μ/έτος. Οι ποσότητες αυτές ενδεικτικά κατανομονται μηνιαίως ως ο κάτωθι Πίνακας 2, και ανά νησί και μήνα ως ο Πίνακας 3:

ΠΙΝΑΚΑΣ 2

ΜΗΝΑΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ (σε κ.μ.)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	25.900
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	23.600
ΜΑΡΤΙΟΣ	29.600
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	44.300
ΜΑΙΟΣ	51.200
ΙΟΥΝΙΟΣ	64.300
ΙΟΥΛΙΟΣ	70.000
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	78.300
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	72.100
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	52.600
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	31.300
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	27.700
ΣΥΝΟΛΑ	≈ 570.000

ΠΙΝΑΚΑΣ 3: ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΜΗΝΙΑΙΑ ΠΟΣΟΤΗΤΗ ΠΟΥ ΜΕΤΑΦΕΡΟΝΤΑΙ ΣΤΑ ΝΗΣΙΑ ΤΩΝ ΚΥΚΛΑΔΩΝ													
	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	ΜΑΡΤΙΟΣ	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	ΣΥΝΟΛΑ
ΑΜΟΡΓΟΣ	1.600,0		1.600,0	1.600,0	1.600,0	1.900,0	4.500,0	5.000,0	4.000,0	1.900,0	1.900,0		25.600,0
ΚΟΥΦΟΝΗΣΙΑ	1.400,0	1.600,0	1.500,0	4.200,0	4.100,0	6.600,0	7.200,0	9.000,0	5.500,0	1.900,0	2.300,0		45.300,0
ΚΙΜΩΛΟΣ	1.600,0	2.000,0	2.000,0	3.100,0	3.200,0	4.200,0	5.000,0	7.200,0	3.700,0	3.300,0	3.200,0	2.100,0	40.600,0
ΗΡΑΚΛΕΙΑ	600,0	1.000,0	1.300,0		1.900,0	2.500,0	2.000,0	3.000,0	1.900,0	700,0	1.400,0	500,0	16.800,0
ΣΧΟΙΝΟΥΣΑ	1.000,0	600,0	1.600,0	1.600,0	2.600,0	3.200,0	5.800,0	5.000,0	3.000,0	1.200,0	3.100,0	1.300,0	30.000,0
ΦΟΛΕΓΑΝΔΡΟΣ	2.200,0	1.600,0	3.200,0	4.800,0	4.700,0	7.600,0	11.000,0	6.900,0	8.000,0	5.500,0	1.900,0	4.100,0	61.500,0
ΤΗΝΟΣ								6.400,0	9.000,0				15.400,0
ΣΙΚΙΝΟΣ					1.800,0	1.900,0	2.500,0	7.000,0	1.800,0	1.900,0			16.900,0
ΘΗΡΑΣΙΑ	1.000,0	1.000,0		1.000,0	800,0	1.100,0	2.000,0	1.800,0	1.000,0	2.000,0		1.000,0	12.700,0
ΜΗΛΟΣ	16.500,0	15.800,0	18.400,0	28.000,0	30.500,0	35.300,0	30.000,0	24.000,0	33.000,0	30.200,0	17.200,0	18.700,0	297.600,0
ΣΥΡΟΣ (ΠΟΣΕΙΔΩΝΙΑ)								3.000,0	1.200,0	4.000,0			8.200,0
ΔΟΝΟΥΣΑ											500,0		500,0
ΣΥΝΟΛΑ	25.900,0	23.600,0	29.600,0	44.300,0	51.200,0	64.300,0	70.000,0	78.300,0	72.100,0	52.600,0	31.500,0	27.700,0	571.100,0

A.2. Η μεταφορά του πόσιμου νερού στα νησιά του Νομού Δωδεκανήσου γίνεται με υδροφόρα πλοία από τις γεωτρήσεις που ευρίσκονται στη περιοχή "Κάλαθος" (περιοχή παλαιού αεροδρομίου νήσου Ρόδου), ως εξής:

- Μεγίστη
- Ρω
- Σύμη (Πέδη –Γυαλός και Μονή Πανορμίτου)
- Νήμος
- Χάλκη
- Μάκρη
- Νίσυρος (Μανδράκι και Πάλλοι)
- Γυαλί (Νισύρου)
- Ψέριμος
- Καλόλιμος
- Παλαιόνησος
- Φαρμακονήσι
- Λέρος
- Πάτιμος (Πάτιμος και Γρίγος)
- Λειψοί
- Αρκιοί (Αρκιοί και Γλιμπάμπα)
- Μαράθι
- Αγαθονήσι
- Λέβιθα
- Κάλυμνο (Πλατύ)

και σε οποιοδήποτε άλλο νησί παρουσιασθεί έλλειψη πόσιμου νερού.

A.2.4. Η ποσότητα του νερού που μεταφέρεται σε νησιά του Νομού Δωδεκανήσου, κατά τη διάρκεια της σύμβασης εκτιμάται σε 1.000.000 μ³/έτος και ενδεικτικά κατανέμεται μηνιαίως ως ο παρακάτω Πίνακας 5 και ανά νησί και μήνα ως ο Πίνακας 6:

ΠΙΝΑΚΑΣ 5

ΜΗΝΑΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	50.600
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	38.500
ΜΑΡΤΙΟΣ	61.700
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	73.400
ΜΑΙΟΣ	90.900
ΙΟΥΝΙΟΣ	112.400
ΙΟΥΛΙΟΣ	111.300
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	119.200
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	107.000
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	99.200
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	81.500
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	63.800
ΣΥΝΟΛΟ	≈1.000.000

ΠΙΝΑΚΑΣ 6: ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΜΗΝΙΑΙΑ ΠΟΣΟΤΗΤΗ ΠΟΥ ΜΕΤΑΦΕΡΟΝΤΑΙ ΣΤΑ ΨΗΛΙΑ ΤΗΣ ΔΩΔΕΚΑΗΣΟΥ													
	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	ΜΑΡΤΟΣ	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	ΜΑΪΟΣ	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	ΣΥΝΟΛΑ
ΑΓΑΘΟΝΗΣΙ	1.800,0	1.300,0	1.800,0	1.000,0	1.800,0	1.600,0	2.600,0	3.200,0	1.600,0	2.500,0	1.100,0	1.600,0	21.900,0
ΚΑΘΑΙΜΝΟΣ													0,0
ΛΕΙΦΟΙ	2.200,0	4.400,0		2.700,0	3.700,0	5.500,0	4.600,0	7.700,0	6.000,0	2.200,0	1.900,0		40.900,0
ΜΕΓΙΣΤΗ	4.700,0	4.000,0	5.200,0	5.900,0	5.500,0	8.300,0	8.900,0	8.500,0	7.400,0	5.300,0	4.300,0	4.500,0	72.500,0
ΝΙΣΥΡΟΣ	1.900,0		1.100,0	1.300,0	4.300,0	1.000,0	4.300,0	3.200,0	2.100,0	3.200,0	1.500,0	2.200,0	26.100,0
ΠΑΛΗΟΝΗΣΟΣ							300,0	300,0					600,0
ΠΑΤΜΟΣ	7.500,0	5.600,0	17.500,0	17.600,0	25.200,0	33.000,0	25.700,0	35.000,0	29.400,0	27.000,0	17.600,0	12.500,0	253.600,0
ΣΥΜΗ	29.000,0	20.000,0	32.600,0	31.000,0	37.300,0	40.500,0	46.600,0	46.300,0	42.500,0	48.500,0	42.300,0	39.200,0	455.800,0
ΧΑΛΚΗ	3.500,0	3.200,0	3.500,0	4.200,0	6.800,0	7.200,0	7.800,0	8.500,0	7.400,0	6.300,0	5.800,0	3.800,0	68.000,0
ΦΕΡΙΜΟΣ					6.000,0	1.300,0			400,0				7.700,0
ΛΕΡΟΣ				9.700,0		14.000,0	10.500,0	6.100,0	10.600,0	4.000,0	7.000,0		61.900,0
ΛΕΒΙΘΑ					300,0					200,0			500,0
ΣΥΝΟΛΑ	50.600,0	38.500,0	61.700,0	73.400,0	90.900,0	112.400,0	111.300,0	119.200,0	107.000,0	99.200,0	81.500,0	63.800,0	1.009.500,0

B. ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΠΟΥ ΘΑ ΔΙΕΠΟΥΝ ΤΙΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

- Θα υπάρξει υποχρέωση παροχής πόσιμου ύδατος στους χώρους αποθήκευσης των νησιών τα οποία θα υδροδοτούνται, ούτως ώστε να καλύπτονται ανελλιπώς οι ανάγκες τους καθώς και υποχρέωση υλοποίησης όλων των απαραίτητων επενδύσεων οι οποίες απαιτούνται γι' αυτό
- Το νερό θα πρέπει να είναι πόσιμο σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία.
- Σε περίπτωση που προταθούν και μονάδες αφαλάτωσης, οι χώροι θα διατεθούν από τον αντίστοιχο Δήμο ή Κοινότητα στον οποίο θα τοποθετηθούν. Θα ληφθεί σοβαρά υπόψη η ενεργειακή αυτονομία των μονάδων και ειδικότερα εάν αυτή προέρχεται από ΑΠΕ
- Οι συμμετέχοντες στην διαδικασία οφείλουν να:
 - ▶ προτείνουν διάρκεια Σύμβασης με το Ελληνικό Δημόσιο, η μέγιστη διάρκεια της οποίας θα είναι το πολύ δέκα έτη, ανάλογα και με την προτεινόμενη μέθοδο, καθώς και λοιπούς προτεινόμενους συμβατικούς όρους, περιορισμούς κλπ
 - ▶ περιγράψουν το προτεινόμενο εταιρικό και χρηματοδοτικό σχήμα, καθώς και την εμπειρία των συμμετεχόντων σε αυτά εταιρίων.
- Οι προτάσεις θα πρέπει να περιλαμβάνουν εκτίμηση του κόστους πώλησης του νερού ανά κυβικό, το οποίο στην παρούσα φάση εκτιμάται ότι δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το ποσό των 2,5 €/κ.μ. Το Ελληνικό Δημόσιο διατηρεί το δικαίωμα αύξησης των υδατικών πόρων των νησιών (π.χ. μέσω ανόρυξης γεωτρήσεων, λιμνοδεξαμενών κ.τ.λ.)

Σε κάθε περίπτωση οι συμμετέχοντες οφείλουν να τεκμηριώνουν επαρκώς τις προτάσεις τους

Γ. ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΤΩΝ ΠΡΟΤΑΣΕΩΝ

1. Τα κείμενα των προτάσεων δύναται να έχουν ενδεικτικά την παρακάτω δομή:
 - α. συνοπτική παράθεση του θεματικού αντικειμένου της πρότασης.
 - β. κυρίως κείμενο
 - γ. παραρτήματα και γλωσσάριο.
2. Το κυρίως κείμενο της πρότασης πρέπει να περιέχει ιδίως:
 - α. ανάλυση του σχετικού εθνικού και κοινοτικού νομικού πλαισίου,
 - β. περιγραφή τεχνικών ζητημάτων που αφορούν τον τομέα της παρούσας ανοικτής πρόσκλησης
 - γ. την ακολουθούμενη διεθνή πρακτική επί παρομοίου θέματος

Ε. ΥΠΟΒΟΛΗ ΑΠΟΦΥΕΩΝ

Ε:\ΕΤΗ_ΚΟΙ\WOR\Δ\ΑΝΔΡΑ ΔΩΔΕΚΑΗΣΟΥ 200 7\ΔΙΑΚΡΙΚΣΙ ΕΚΔΙΟΛΙΣΙ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ ΓΙΑ ΙΔΡΕΤΚΑ ΠΡΟΪΛΜΑΤ Α ΑΝΙΔΡΟΝ ΝΙΣΙΟΝ 2008.doc

1. Οι απαντήσεις / απόψεις των ενδιαφερομένων υποβάλλονται στην Ελληνική γλώσσα μόνον επώνυμα και περιλαμβάνουν τα πλήρη στοιχεία του ενδιαφερομένου (όνομα και επώνυμο ή επωνυμία της επιχείρησης, διεύθυνση, αριθμό τηλεφώνου, ηλεκτρονικό ταχυδρομείο), στην παρακάτω Διεύθυνση:

Υπουργείο Εμπορικής Ναυτιλίας, Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής
Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής
Διεύθυνση Γενικών Υποθέσεων, Διεθνών και Ευρωπαϊκών Θεμάτων
Τμήμα Γενικών Υποθέσεων
Μικράς Ασίας 2, Μυτιλήνη 81100

Υπόψη: κ.κ. Μαστραντωνά Στυλιανού ή Ευάγγελου Τσιφτσή
Τηλέφωνο για πληροφορίες: 22510-38340, 38323

2. Οι σχετικές απαντήσεις υποβάλλονται σε έντυπη και ηλεκτρονική μορφή, σύμφωνα με τις οδηγίες της Γενικής Γραμματείας Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής. Σε περίπτωση διαφοροποίησης της έντυπης έκδοσης από την αντίστοιχη ηλεκτρονική υπερισχύει το κείμενο σε έντυπη μορφή

3. Οι ενδιαφερόμενοι οι οποίοι επιθυμούν να υποβάλλουν σχετικές προτάσεις υποχρεούνται να ακολουθούν τις οδηγίες / κατευθυντήριες γραμμές που περιέχονται στο κείμενο της παρούσας πρόσκλησης

4. Σε περίπτωση κατά την οποία η Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής λάβει απόψεις ενδιαφερομένων, με τρόπο που δεν είναι σύμφωνος με τις οδηγίες / κατευθυντήριες γραμμές του κειμένου της παρούσας πρόσκλησης, δύναται να μην τις λάβει υπόψη της.

5. Οι όποιες προτάσεις κατατεθούν, θα αξιολογηθούν αρμοδίως από την Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής, ούτως ώστε τα όποια στοιχεία κριθούν αξιόλογα, να ληφθούν πιθανώς υπόψη σε σχεδιασμό μελλοντικού διαγωνισμού ανάδειξης αναδόχου κάλυψης των υδατικών ελλειμμάτων των άνυδρων νησιών Δωδεκανήσου και Κυκλάδων, ο οποίος ήθελε προκηρυχθεί από τις Υπηρεσίες της Γενικής Γραμματείας.

ΣΤ. ΟΡΟΙ

- Η διάρκεια υποβολής των προτάσεων ορίζεται σε 50 ημέρες από την τελευταία δημοσίευση της παρούσας ανοικτής πρόσκλησης στον Τύπο
- Ο Γενικός Γραμματέας Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής δύναται να ορίσει μεγαλύτερο χρονικό διάστημα ως διάρκεια υποβολής των προτάσεων το οποίο σε καμία περίπτωση δεν υπερβαίνει τους τρεις μήνες.
- Ο Γενικός Γραμματέας Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής δύναται να παρατείνει τη διάρκεια δημόσιας διαβούλευσης κατόπιν αιτημάτων των ενδιαφερομένων, τα οποία υποβάλλονται στην Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής, το αργότερο τρεις (3) εργάσιμες ημέρες πριν τη λήξη της ορισθείσας προθεσμίας αποστολής των σχετικών προτάσεων

Η απόφαση του Γενικού Γραμματέα Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής για παράταση της διάρκειας υποβολής προτάσεων, και ο ορισμός νέας προθεσμίας υποβολής από τους ενδιαφερόμενους φορείς, ανακοινώνεται στο δικτυακό τόπο της Γενικής Γραμματείας Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής:
<http://samos.ypai.gr/protaseis.pdf>

Αιτήματα ενδιαφερομένων σχετικά με παράταση της διάρκειας υποβολής προτάσεων, που υποβάλλονται εκπρόθεσμα δεν εξετάζονται από την Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής.

Z. ΤΗΡΗΣΗ ΕΜΠΙΣΤΕΥΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

1. Οι απαντήσεις των ενδιαφερομένων καθώς και άλλες πληροφορίες ή στοιχεία που περιέχονται στην Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής κατά την διαδικασία της παρούσας διαδικασίας, είναι αυστηρά εμπιστευτικές, εφόσον έχουν χαρακτηριστεί ως τέτοιες από τα ενδιαφερόμενα μέρη, ή συνάγεται τούτο σαφώς από τη φύση των περιεχόμενων στις απαντήσεις τους στοιχείων.
2. Η Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής δεν αποκαλύπτει οποιαδήποτε πληροφορία που καλύπτεται από το επαγγελματικό απόρρητο και ιδιαίτερα τις πληροφορίες σχετικά με τις επιχειρήσεις, τις επιχειρηματικές τους σχέσεις ή τα στοιχεία κόστους τους, υπό την επιφύλαξη της παραγράφου (3) του παρόντος άρθρου.
3. Η υποχρέωση της Γενικής Γραμματείας Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής προς τήρηση εμπιστευτικότητας δεν επηρεάζει την αρμοδιότητά της να προβαίνει σε δημοσιοποίηση πληροφοριών που είναι αναγκαίες για την εκπλήρωση των καθηκόντων της ή εφόσον τούτο επιτάσσεται στο πλαίσιο ελέγχου που διενεργείται από ελληνικές ή κοινοτικές αρχές.

Η. ΜΑΤΑΙΩΣΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

1. Η Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής δύναται, με απόφαση του Γενικού Γραμματέα ανά πάσα στιγμή να ματαιώσει τη συνέχιση της διαδικασίας σε όποιο στάδιο και αν βρίσκεται
2. Η απόφαση της Γενικής Γραμματείας Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής για ματαίωση της διαδικασίας δημοσιεύεται στον Τύπο.

Ο ΥΦΥΠΟΥΡΓΟΣ ΕΜΠΟΡΙΚΗΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΑΙΓΑΙΟΥ ΚΑΙ ΝΗΣΙΩΤΙΚΗΣ

ΠΑΝΟΣ ΚΑΜΜΕΝΟΣ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β!

E:\ETH_KOIN\WOR\ANIDRA DODEKANISOY 200 7\DIAKIRIKSI EKDILOSIS ENDIAFERONTOS GIA IDREFT KA PROVLMATA ANIDRON NISION 2008.doc

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΜΠΟΡΙΚΗΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΑΙΓΑΙΟΥ ΚΑΙ ΝΗΣΙΩΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ

ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΑΙΓΑΙΟΥ ΚΑΙ ΝΗΣΙΩΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ

«ΑΝΟΙΚΤΗ ΠΡΟΣΚΛΗΣΗ ΥΠΟΒΟΛΗΣ ΠΡΟΤΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΕΛΛΕΙΜΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΑΝΥΔΡΩΝ ΝΗΣΙΩΝ ΤΩΝ ΝΟΜΩΝ ΚΥΚΛΑΔΩΝ ΚΑΙ ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΟΥ»

ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΠΡΟΣΚΛΗΣΗΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ

Η Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής, καλεί κάθε ενδιαφερόμενο φορέα (φυσικό ή νομικό πρόσωπο), να υποβάλλει προτάσεις κάλυψης των υδατικών ελλειμμάτων των άνυδρων νησιών των Κυκλάδων και της Δωδεκανήσου, προκειμένου αυτές να ληφθούν υπ' όψιν στον σχεδιασμό της επίλυσης του υδρευτικών προβλημάτων των εν λόγω νησιών.

A. ΔΕΔΟΜΕΝΑ

A.1. «Άνυδρα νησιά Κυκλάδων: Η μεταφορά του πόσιμου νερού στα "άνυδρα" νησιά γίνεται με υδροφόρα πλοία από το δίκτυο της Ε.ΥΔ.Α.Π. στην Αττική (Λαύριο, ή Μέγαρο -Λουτρόπυργος). Εναλλακτικά για ορισμένα από αυτά γίνεται από το λιμάνι της Νάξου.

Συνολική ποσότητα μεταφερόμενου νερού: περίπου 570.000 κ.μ/έτος.

Μηνιαία διακύμανση από 25.000 έως 80.000 κ.μ/μήνα.

A.2. «Άνυδρα νησιά Δωδεκανήσου. Η μεταφορά του πόσιμου νερού στα "άνυδρα" νησιά γίνεται με υδροφόρα πλοία από τις γεωτρήσεις στη περιοχή "Κάλαθος Ρόδου".

Συνολική ποσότητα μεταφερόμενου νερού: περίπου 1.000.000 κ.μ/έτος

Μηνιαία διακύμανση από 50.000 έως 120.000 κ.μ/μήνα.

B. ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΠΟΥ ΘΑ ΔΙΕΠΟΥΝ ΤΙΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Ανελλιπής κάλυψη πόσιμου (βάσει κείμενης νομοθεσίας) ύδατος στους χώρους αποθήκευσης των άνυδρων νησιών και υποχρέωση υλοποίησης όλων των απαραίτητων επενδύσεων οι οποίες απαιτούνται γι' αυτό

Σε περίπτωση που προταθούν και μονάδες αφαλάτωσης, οι χώροι θα διατεθούν από τον αντίστοιχο Δήμο ή Κοινότητα στον οποίο θα τοποθετηθούν. Θα ληφθεί σοβαρά υπόψη η ενεργειακή αυτονομία των μονάδων και ειδικότερα εάν αυτή προέρχεται από ΑΠΕ

Η μέγιστη χρονική διάρκεια της σύμβασης που προτίθεται να συνάψει η Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής δεν δύναται να υπερβεί τα δέκα έτη.

Οι προτάσεις θα πρέπει να περιλαμβάνουν εκτίμηση του κόστους πώλησης του νερού ανά κυβικό μέτρο, το οποίο στην παρούσα φάση εκτιμάται ότι δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το ποσό των 2,5€/κ.μ.

Γ. ΤΗΡΗΣΗ ΕΜΠΙΣΤΕΥΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Η όλη διαδικασία είναι αυστηρά εμπιστευτική.

Δ. ΥΠΟΒΟΛΗ ΑΠΟΨΕΩΝ

E:\ETH_KOIN\WOR\DI\ANDRA DODEKANISOY 200 7\DI\AKIRIKSI EKDILOSIS EN DIAFERONTOS GIA IDREFT KA PROVLMATA ANIDRON NISION 2008.doc

1. Οι απαντήσεις /απόψεις των ενδιαφερομένων θα πρέπει να υποβληθούν το αργότερο σε 50 ημέρες από την τελευταία δημοσίευση της παρούσας ανοικτής πρόσκλησης στον Τύπο, στην παρακάτω Διεύθυνση:

*Υπουργείο Εμπορικής Ναυτιλίας, Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής
Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής
Διεύθυνση Γενικών Υποθέσεων, Διεθνών και Ευρωπαϊκών Θεμάτων
Τμήμα Γενικών Υποθέσεων
Μικράς Ασίας 2, Μυτιλήνη 81100*

*Υπόψη: κ.κ. Μαστραντωνά Στυλιανού ή Ευάγγελου Τσιφτσή
Τηλέφωνο για πληροφορίες: 22510-38340, 38323*

2. Οι όποιες προτάσεις κατατεθούν, θα αξιολογηθούν αρμοδίως από την Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής, ούτως ώστε τα όποια στοιχεία κριθούν αξιόλογα, να ληφθούν πιθανώς υπ' όψιν σε σχεδιασμό μελλοντικού διαγωνισμού ανάδειξης αναδόχου κάλυψης των υδατικών ελλειμμάτων των άνωδρων νησιών Δωδεκανήσου και Κυκλάδων, ο οποίος ήθελε προκηρυχθεί από τις Υπηρεσίες της Γενικής Γραμματείας Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής.

Ε. ΠΑΡΑΛΑΒΗ ΠΛΗΡΟΥΣ ΚΕΙΜΕΝΟΥ ΠΡΟΣΚΛΗΣΗΣ

Το πλήρες κείμενο της πρόσκλησης οι ενδιαφερόμενοι μπορούν να παραλάβουν, είτε από την Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής στην παραπάνω Διεύθυνση, είτε από τα Γραφεία της Γενικής Γραμματείας στην Αθήνα {Φιλελλήνων 9, Σύνταγμα, κο Λυκούργο Καζάντζα, 210-3314387} τις εργάσιμες ημέρες και ώρες. Το πλήρες κείμενο της διακήρυξης είναι ανηρτημένο στην ηλεκτρονική διεύθυνση: <http://samos.yrai.gr/protaseis.pdf>

Οι παραλήπτες της διακήρυξης θα πρέπει να συμπληρώνουν σχετικό έντυπο με τα στοιχεία των ενδιαφερομένων (όπως επωνυμία, διεύθυνση, τηλέφωνο, φαξ, διεύθυνση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου), έτσι ώστε η Γενική Γραμματεία να έχει στη διάθεση της πλήρη κατάλογο όσων παρέλαβαν τη διακήρυξη, για την περίπτωση που ενδεχομένως χρειαστεί να σταλούν συμπληρωματικά στοιχεία.

Ο ΥΦΥΠΟΥΡΓΟΣ ΕΜΠΟΡΙΚΗΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΑΙΓΑΙΟΥ ΚΑΙ ΝΗΣΙΩΤΙΚΗΣ

ΠΑΝΟΣ ΚΑΜΜΕΝΟΣ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλία

1. Μπεργελές Γ., «Ανεμοκινητήρες», Εκδόσεις Συμεών, 2005
2. Παπαντώνης Δ., «Υδροδυναμικές Μηχανές, Αντλίες – Υδροστρόβιλοι», Εκδόσεις Συμεών, 2004
3. Παπαντώνης Δ., «Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα», Εκδόσεις Συμεών, 2007
4. Ζερβός Α., «Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας», Ε.Μ.Π., 2007
5. Γιαννάκογλου Κ., «Μέθοδοι Βελτιστοποίησης στην Αεροδυναμική», Ε.Μ.Π., 2003
6. Patel M., «Wind and Solar Power Systems», 1999
7. Κ.Α.Π.Ε., «Οδηγός Τεχνολογιών Ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ», 2001

Διδακτορικές Διατριβές

8. Κάραλης Γ., «Ανάπτυξη και Ανάλυση Συστημάτων Ανεμοκινητήρων και Αντλιοσταμειωτήρων», 2007
9. Κατσαπρακάκης Δ., «Μεγιστοποίηση Διείσδυσης Αιολικών Πάρκων σε Απομονωμένα Ενεργειακά Συστήματα», 2006

Μεταπτυχιακές Εργασίες

10. Σταματόπουλος Χ., «Συνδυασμός Παραγωγής Ηλεκτρισμού και Πόσιμου Νερού με Αφαλάτωση από Αιολική Ενέργεια, Εφαρμογή στη Νίσυρο», 2007

Διπλωματικές Εργασίες

11. Κτενίδης Γ., «Μελέτη Διασυνδεδεμένου Φωτοβολταϊκού Σταθμού Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας των 100kW», 2008

Δημοσιεύσεις

12. Anagnostopoulos I., Papantonis D., «Pumping station design for a pumped-storage wind-hydro power plant», 2007

Βιβλιογραφία

13. E. Mathioulakis, V. Belessiotis, E. Delyannis , «Desalination by using alternative energy: Review and state-of-the-art», 2006
14. C. Fritzmann, J. Löwenberg, T. Wintgens, T. Melin, «State-of-the-art of reverse osmosis desalination», 2006
15. Kalogirou S. ,«Seawater desalination using renewable energy sources», 2005
16. Ioannis C. Karagiannis, Petros G. Soldatos, «Water desalination cost literature: review and assessment», 2007
17. Ioannis C. Karagiannis, Petros G. Soldatos ,«Current status of water desalination in the Aegean Islands», 2006
18. Eftihia Tzen, Richard Morris, «Renewable energy sources for desalination», 2003
19. Akili D. Khawaji, Ibrahim K. Kutubkhanah, Jong-Mihn Wie, «Advances in seawater desalination technologies», 2007
20. Giannakoglou, K.C., «Design of optimal aerodynamic shapes using stochastic optimization methods and computational intelligence», Progress in Aerospace Science, 38, 2002.

Παρουσιάσεις

21. Τζεν Ε., «Μέθοδοι Αφαλάτωσης – Συγκριτική Αξιολόγηση και Εφαρμογές στα Νησιά του Αιγαίου», Συμπόσιο «Αιγαίο-Νερό-Βιώσιμη Ανάπτυξη», 2001

Ιστοσελίδες

22. <http://en.wikipedia.org/>
23. <http://www.ypai.gr/>
24. <http://www.spectrawatermakers.com/>