



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Επίδραση Φορτίου Αφαλάτωσης σε Νησιωτικό Σύστημα Ενέργειας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ Α. ΚΟΥΚΟΥΤΣΑΚΗΣ

Επιβλέπων : Νικόλαος Δ. Χατζηαργυρίου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.
Αντώνιος Γ. Τσικαλάκης
Υ.Δ.Ε.Μ.Π

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2007



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Επίδραση Φορτίου Αφαλάτωσης σε Νησιωτικό Σύστημα Ενέργειας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ Α. ΚΟΥΚΟΥΤΣΑΚΗΣ

Επιβλέπων : Νικόλαος Δ. Χατζηαργυρίου
Καθηγητής Ε.Μ.Π
Αντώνιος Γ. Τσικαλάκης
Υ.Δ Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 13η Σεπτεμβρίου 2007.

.....
Νικόλαος Χατζηαργυρίου
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Γεώργιος Κορρές
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Σταύρος Παπαθανασίου
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2007

.....
ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ Α. ΚΟΥΚΟΥΤΣΑΚΗΣ

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ Α. ΚΟΥΚΟΥΤΣΑΚΗΣ 2007

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Η εργασία αυτή ασχολείται με την επίπτωση που θα έχει σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας η εγκατάσταση ενός φορτίου αφαλάτωσης στο νησί της Μήλου

Η καινοτομία στην εγκατάσταση της αφαλάτωσης είναι η διασύνδεση της με μια ανεμογεννήτρια ώστε να υπάρχει οικονομία στην αγοραζόμενη ενέργεια από την αφαλάτωση αλλά και πωλήσεις στο δίκτυο του νησιού. Μάλιστα θα πρέπει να τονιστεί ότι κάποιους μήνες του χρόνου υπάρχει πλήρης αυτονομία ενέργειας του εργοστασίου αφαλάτωσης. Το πρόγραμμα παραγωγής της αφαλάτωσης θα είναι βασισμένο τόσο στις ανάγκες του νησιού σε νερό (μεταφράζεται σε στάθμη δεξαμενής), όσο και στην αιολική παραγωγή.

Αφού θα υπάρχει στενή σχέση της παραγωγής νερού με την αιολική παραγωγή, θα πρέπει η επιχείρηση αφαλάτωσης να επιλέξει και να εγκαταστήσει ένα σύστημα πρόβλεψης της αιολικής παραγωγής. Τέτοια συστήματα εξετάζονται στην παρούσα εργασία ώστε αποφασιστεί πιο είναι το πιο συμφέρον για την επιχείρηση.

Τα μοντέλα αυτά είναι το 24ωρο και το 4ωρο σταθερό μοντέλο, και ένα έξυπνο στατιστικό μοντέλο. Αρχικά γίνεται λόγος για πρόβλεψη ανέμου και στην συνέχεια για πρόβλεψη αιολικής παραγωγής. Όπως είναι αναμενόμενο, το στατιστικό μοντέλο παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με την πραγματική αιολική παραγωγή αλλά λόγω των αργών φαινομένων που επηρεάζουν τον άνεμο, και το 4ωρο σταθερό μοντέλο εξήγαγε αρκετά ικανοποιητικές προβλέψεις.

Οι χρονοσειρές αιολικής παραγωγής που παρήχθησαν λειτούργησαν σαν είσοδοι σε ένα αλγόριθμο προσομοίωσης της λειτουργίας του εργοστασίου αφαλάτωσης ώστε να εξαχθεί το πρόγραμμα παραγωγής αυτού σύμφωνα και με τις ανάγκες νερού. Τα προγράμματα παραγωγής χρησιμοποιήθηκαν στην προσομοίωση του συστήματος της Μήλου ώστε να εξαχθούν οικονομικά αποτελέσματα για τον ιδιοκτήτη της αφαλάτωσης αλλά και για την επιχείρηση ηλεκτρισμού.

Ο ιδιοκτήτης της αφαλάτωσης θα παρουσιάζει ετήσιες ζημιές περίπου 53000€ με οποιοδήποτε μοντέλο χρησιμοποιήσει για τον προγραμματισμό λειτουργίας που πρέπει να μετακυλυθούν στους καταναλωτές. Η διαφορά των μοντέλων είναι ότι γίνεται καλύτερη διαχείριση της αιολικής ενέργειας σε σχέση με την παραγωγή. Η μη μείωση των ζημιών του επιχειρηματία οδηγεί τελικά στην επιλογή για εγκατάσταση του 4ωρου σταθερού μοντέλου πρόβλεψης της αιολικής παραγωγής. Οι ζημιές του επιχειρηματία μπορούν να μειωθούν αλλά και να μετατραπούν σε κέρδος αν δημιουργηθούν δύο διαφορετικές επιχειρήσεις, μίας αφαλάτωσης και μίας παραγωγής ενέργειας, που όμως θα συνεργάζονται για την εξαγωγή του προγράμματος παραγωγής.

Η επιχείρηση ηλεκτρισμού από την άλλη πλευρά, θα έχει οικονομικές απώλειες αν ενταχθεί το φορτίο της αφαλάτωσης. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι θα πρέπει να λειτουργήσουν παραπάνω μονάδες που λειτουργούν με πρώτη ύλη πετρέλαιο diesel που είναι αρκετά ακριβό καύσιμο. Οι ετήσιες ζημιές της επιχείρησης ηλεκτρισμού θα φθάσουν τις 43000€ ενώ αν υπήρχαν δύο διαφορετικές επιχειρήσεις εκμετάλλευσης των μονάδων θα έφθαναν τις 108000€. Άρα η επιλογή του επιχειρηματία για

διασύνδεση της αφαλάτωσης και της ανεμογεννήτριας θα είναι λιγότερο ζημιογόνα για την επιχείρηση ηλεκτρισμού.

Ο τρίτος ενδιαφερόμενος στην επιχείρηση της αφαλάτωσης είναι ο δήμος της Μήλου ο οποίος πληρώνει υπέρογκα ποσά για την μεταφορά νερού από την ενδοχώρα με πλοία. Το κόστος για την μεταφορά ήταν περίπου 8€ για κάθε κυβικό μέτρο το οποίο αναμένεται να μειωθεί δραματικά αφού το κόστος παραγωγής για την επιχείρηση αφαλάτωσης θα είναι μόλις 0,74€/m³ και πλέον δεν θα απαιτείται να μεταφέρει νερό.

Τέλος, έγιναν μελέτες ευαισθησίας για τις επιπτώσεις που θα είχαν στους ενδιαφερομένους κάποιες αλλαγές στο εργοστάσιο και στην πολιτική παραγωγής της αφαλάτωσης. Τα πιο σημαντικά σημεία είναι ότι αποδείχτηκε ότι η αντικατάσταση των νησίδων αφαλάτωσης με οικονομικότερες θα έχει κέρδη τόσο για την αφαλάτωση αλλά και για την επιχείρηση ηλεκτρισμού. Επίσης ότι αν δεν γίνει εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας στο νησί, οι οικονομικές απώλειες για την επιχείρηση ηλεκτρισμού θα είναι μεγάλες πέρα από το αυξημένο πόσο που θα πρέπει να πληρώνει η επιχείρηση αφαλάτωσης στη ΔΕΗ. Ακόμα, οι επιχειρήσεις θα παρουσιάσουν καλύτερα οικονομικά αποτελέσματα αν γίνει προγραμματισμός παραγωγής με βάση την ετήσια αιολική παραγωγή που όμως θα επιφέρει αυξημένο κόστος για τον δήμο αφού θα πρέπει να γίνουν και πάλι μεταφορές νερού.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Αφαλάτωση, πρόβλεψη αιολικής παραγωγής, ανεμογεννήτρια, προγραμματισμός παραγωγής, αυτόνομο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, τιμολόγηση ηλεκτρικής ενέργειας.

Abstract

This thesis is about the potential impact caused by the installation of a desalination plant combined with a wind turbine on an island power system, like Milos, one of the biggest islands of Cyclades.

The novelty of the approach is that the desalination plant will be interconnected with a wind turbine in order to reduce power flows from the power supplier and also to sell power to it. The production plan will depend on the water needs of the island and also on the wind production of the turbine. In that case, the desalination plant is supposed to have installed a wind power prediction model.

The prediction models that this thesis examines are three: a 24hour persistence, a 4hour persistence and an advanced statistic model. It is expected that the statistic model will be more precise, but the results of the 4hour persistence model will also provide very satisfying predictions.

The wind production is used as an input to an algorithm that simulates the production of the desalination plant in order to develop its production plan. Then, the production plans are used in the simulation of the electrical system of Milos. The results of those simulations are useful not only for the owner of the desalination plant but also for the power company.

The owner of the desalination plant will have to face annual economic loss estimated around 53000€ - regardless of the prediction model applied-because wind power production only is not sufficient to meet the water requirements. This problem is worse during the summer months, especially August, when the energy bill is 14000€. The difference between the prediction models is that the power usage is better in the short-term prediction model such as the statistic one. While the energy cost of the desalination plant has no great difference between the prediction models, the use of the 4hour persistence will be preferred.

The energy cost of the desalination plant can be reduced –and even turn into profit-, if the owner of the desalination and the wind turbine chooses to create two different enterprises, one that will desalinate water and one that produces energy via the wind turbine. In that case, the production plan of the desalination will still use the wind power prediction model.

The electric company on the other hand, will have to face economic loss if it has to supply the electrical power needed by the desalination plant. This happens because the extra power has to be produced by quite expensive diesel-fueled generators. The economic loss of the electric company will be around 43000€ but in case there were two different companies, loss will be around 108000€. So the choice of the owner of the desalination plant to interconnect the desalination load with the wind turbine is more profitable to the power company.

The third party concerned, is the municipality of Milos, which buys water from the mainland and has it transported to the island by ships. The cost of the water is about 8€ per cubic meter, which is bound to be reduced dramatically following the installation of the desalination, since the production cost of the plant is only 0,74€/m³.

Finally, sensitivity analysis has been carried out in order to assess the effects that will occur in case there are changes in the politics or the hardware of the plant. The most interesting results are concentrated in the installation of more energy-saving desalination modules. In that case, the economic results are better, both for the desalination plant and the electric company. Moreover, if the wind turbine hasn't been installed, the effects in the production cost of the electric company will have been severe. One last interesting scenario is that the production plan is based only in the wind production. The economic results are better for the companies but the municipality will have to transport water for the mainland again which will increase the total cost.

KEYWORDS: Desalination, wind power prediction, wind turbine, production plan, autonomous power systems, tariff scheme.

Σε Οικογένεια και Φίλους

Περιεχόμενα

| | |
|--|----|
| Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή..... | 15 |
| 1.1 Γενικά..... | 15 |
| 1.2 Ποιότητα νερού..... | 15 |
| 1.3 Ιστορική αναδρομή ² | 16 |
| 1.4 Αφαλάτωση..... | 18 |
| 1.4.1 Μέθοδοι αφαλάτωσης..... | 20 |
| 1.5 Αντίστροφη ώσμωση (RO)..... | 21 |
| 1.5.1 Θεωρητικά..... | 21 |
| 1.5.2 Περιγραφή τεχνολογίας..... | 22 |
| 1.5.2 Ιδιότητες της μεθόδου..... | 23 |
| 1.6 Σύγκριση τεχνολογιών αφαλάτωσης..... | 23 |
| 1.6.1 Ποιότητα νερού..... | 24 |
| 1.6.2 Ικανότητα παραγωγής νερού..... | 24 |
| 1.6.3 Οικονομικά στοιχεία αφαλάτωσης..... | 25 |
| 1.7 Πηγές ενέργειας..... | 26 |
| 1.8 Η αφαλάτωση σήμερα..... | 27 |
| 1.8.1 Η αφαλάτωση σε παγκόσμιο επίπεδο..... | 27 |
| 1.8.2 Η αφαλάτωση στην Ελλάδα..... | 28 |
| 1.9 Περιεχόμενα εργασίας..... | 30 |
| Κεφάλαιο 2: Ανάλυση δεδομένων αιολικού δυναμικού..... | 32 |
| 2.1 Εισαγωγή- Θεωρία..... | 32 |
| 2.1.1 Είδη μοντέλων πρόβλεψης..... | 32 |
| 2.2 Σενάρια για τον άνεμο..... | 34 |
| 2.2.1 Σταθερή τιμή ανέμου για 24 ώρες..... | 34 |
| 2.2.2 Σταθερή τιμή ανέμου για 4 ώρες..... | 34 |
| 2.2.3 Τυχαία χρονοσειρά ανέμου..... | 35 |
| 2.3 Πραγματική ανεμοσειρά..... | 36 |
| 2.4 Σύγκριση των σεναρίων..... | 36 |
| 2.4.1 Σύγκριση με χρήση μέσων όρων και τυπικών αποκλίσεων..... | 36 |
| 2.4.2 Σύγκριση με εύρος σφάλματος..... | 39 |
| Κεφάλαιο 3: Αιολική παραγωγή..... | 40 |
| 3.1 Εισαγωγή..... | 40 |
| 3.2 Στοιχεία ανεμογεννήτριας..... | 40 |
| 3.2.2 Μοντελοποίηση της ανεμογεννήτριας..... | 41 |
| 3.3 Παραγωγή ενέργειας με βάση τα σενάρια του αέρα..... | 41 |
| 3.4 Κριτήριο κανονικού σφάλματος και στατιστική..... | 42 |
| 3.4.1 Μαθηματικά σύμβολα..... | 42 |
| 3.4.2 Μοντέλο αναφοράς..... | 42 |
| 3.4.3 Ορισμός του κριτηρίου σφάλματος..... | 43 |
| 3.4.4 Σύγκριση των μοντέλων..... | 45 |
| 3.5 Εφαρμογή των κριτηρίων..... | 45 |
| 3.6 Εύρος σφάλματος..... | 46 |
| Κεφάλαιο 4: Πολιτική και Μικροπραγματισμός Αντλιών..... | 49 |
| 4.1 Εισαγωγή..... | 49 |
| 4.2 Συνθήκες και πολιτική λειτουργίας νησιωτικής μονάδος αφαλάτωσης..... | 49 |
| 4.2.1 Λειτουργία modules..... | 49 |
| 4.2.2 Πολιτική εργοστασίου απέναντι στην εταιρία ηλεκτρισμού..... | 50 |
| 4.2.3 Συνθήκες λειτουργίας εργοστασίου..... | 50 |

| | |
|--|-----|
| 4.3 Είσοδοι- έξοδοι του αλγορίθμου προσομοίωσης της λειτουργίας του εργοστασίου | 51 |
| 4.3.1 Είσοδοι | 51 |
| 4.3.2 Έξοδοι | 51 |
| 4.4 Επεξήγηση αλγορίθμου | 52 |
| 4.4.1 Μεταβλητές | 52 |
| 4.4.2 Αρχικοποιήσεις | 52 |
| 4.4.3 Αλγόριθμος μικροπρογραμματισμού νησίδων με βάση τον άνεμο | 53 |
| 4.4.4 Αλγόριθμος υπολογισμού στάθμης | 55 |
| 4.4.5 Αλγόριθμος ελέγχου της στάθμης | 56 |
| 4.5 Αλγόριθμος μικροπρογραμματισμού νησίδων | 63 |
| 4.6 Παραδείγματα λειτουργίας του αλγορίθμου προσομοίωσης της λειτουργίας της αφαλάτωσης | 64 |
| 4.6.1 Παράδειγμα υπερχείλισης | 64 |
| 4.6.2 Παράδειγμα έλλειψης νερού | 66 |
| Κεφάλαιο 5: Οικονομική λειτουργία συστήματος θερμικών σταθμών παραγωγής | 67 |
| 5.1 Εισαγωγή | 67 |
| 5.2 Εφεδρεία συστήματος | 67 |
| 5.2.1 Γενικά | 67 |
| 5.2.2 Υπολογισμός εφεδρείας | 68 |
| 5.3 Ένταξη μονάδων | 70 |
| 5.3.1 Γενικά | 70 |
| 5.3.2 Unit commitment στις προσομοιώσεις ¹⁸ | 71 |
| 5.4 Οικονομική κατανομή ¹⁸ | 73 |
| Κεφάλαιο 6: Εφαρμογή στο ΣΗΕ της Μήλου | 75 |
| 6.1 Εισαγωγή ¹⁷ | 75 |
| 6.2 Το ηλεκτρικό σύστημα της Μήλου | 75 |
| 6.2.1 Γενικά ²¹ | 75 |
| 6.2.2 Διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας | 76 |
| 6.2.3 Αιχμές φορτίου | 77 |
| 6.2.4 Συμβατικός σταθμός παραγωγής | 78 |
| 6.2.3 Παραγωγή από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας | 82 |
| 6.3 Το πρόβλημα του νερού | 84 |
| 6.4 Η μονάδα αφαλάτωσης | 86 |
| Κεφάλαιο 7: Παρουσίαση αποτελεσμάτων μονάδας αφαλάτωσης | 87 |
| 7.1 Εισαγωγικά | 87 |
| 7.2 Στάθμη δεξαμενής | 87 |
| 7.3 Παραγόμενο νερό | 90 |
| 7.4 Ενέργεια και Ισχύς | 92 |
| 7.4.1 Ενέργεια | 92 |
| 7.4.2 Ισοζύγιο Ισχύος | 93 |
| 7.4.3 Ισοζύγιο Ενέργειας | 103 |
| 7.5 Ισοζύγιο προς την επιχείρηση ηλεκτρισμού | 111 |
| 7.6 Συνολική επίπτωση στο φορτίο του νησιού | 112 |
| Κεφάλαιο 8: Οικονομικά αποτελέσματα ιδιοκτήτη αφαλάτωσης | 115 |
| 8.1 Γενικά | 115 |
| 8.2 Τιμολόγια ΔΕΗ | 115 |
| 8.2.1 Τιμολόγιο χαμηλής τάσης | 115 |
| 8.2.2 Τιμολόγιο μέσης τάσης | 115 |
| 8.2.3 Πώληση ενέργειας | 116 |
| 8.2.4 Ολικό μηνιαίο ισοζύγιο ενέργειας | 116 |

| | |
|--|-----|
| 8.3 Οικονομικά αποτελέσματα..... | 116 |
| 8.3.1 Κόστος από αγορά ενέργειας | 116 |
| 8.3.2 Κόστος αποπληρωμής και λειτουργικά έξοδα | 119 |
| 8.4 Περίπτωση δύο επιχειρήσεων | 122 |
| Κεφάλαιο 9: Επίδραση στο ΣΗΕ της Μήλου..... | 125 |
| 9.1 Εισαγωγή..... | 125 |
| 9.2 Επίδραση στην παραγωγή | 125 |
| 9.2.1 Πίνακες μεταβολής..... | 125 |
| 9.2.2 Γραφική απεικόνιση μεταβολών παραγωγής..... | 129 |
| 9.3 Κόστος ενέργειας | 134 |
| 9.3.1 Κόστος καυσίμου | 134 |
| 9.3.2 Κατανάλωση καυσίμων..... | 135 |
| 9.3.3 Μεταβολή παραχθείσας ενέργειας | 137 |
| 9.3.4 Αποκοπή αιολικής παραγωγής..... | 138 |
| 9.4 Οικονομικά αποτελέσματα..... | 139 |
| 9.5 Έσοδα από πωλήσεις ενέργειας | 143 |
| Κεφάλαιο 10: Ανάλυση ενυαισθησίας καλοκαιρινού μήνα..... | 145 |
| 10.1 Εισαγωγή..... | 145 |
| 10.2 Μειωμένη κατανάλωση νερού- Παραγωγή ελεγχόμενη από την αιολική παραγωγή | 145 |
| 10.2.1 Κατανάλωση νερού | 145 |
| 10.2.2 Αποτελέσματα νερού | 146 |
| 10.2.2 Ισοζύγια ενέργειας και ισχύος..... | 147 |
| 10.2.3 Επίδραση στην επιχείρηση ηλεκτρισμού | 150 |
| 10.2.4 Μεταφορά νερού | 152 |
| 10.3 Περίπτωση χωρίς αιολική παραγωγή | 153 |
| 10.3.1 Αποτελέσματα νερού | 153 |
| 10.3.2 Ισοζύγια ενέργειας και ισχύος..... | 154 |
| 10.3.3 Επίδραση στην επιχείρηση ηλεκτρισμού | 155 |
| 10.3.4 Περίπτωση χωρίς ύπαρξη ανεμογεννήτριας | 157 |
| 10.4 Οικονομικότερα modules αφαλάτωσης | 158 |
| 10.4.1 Αποτελέσματα νερού | 158 |
| 10.4.2 Ισοζύγια ενέργειας και ισχύος..... | 160 |
| 10.4.3 Επίδραση στην επιχείρηση ηλεκτρισμού | 161 |
| 10.4.4 Επιδότηση από εταιρεία ηλεκτρισμού | 163 |
| 10.5 Συνολικά αποτελέσματα..... | 163 |
| 10.5.1 Αποτελέσματα για επιχείρηση αφαλάτωσης..... | 163 |
| 10.5.2 Αποτελέσματα επιχείρησης ηλεκτρισμού | 164 |
| Κεφάλαιο 11: Συμπεράσματα | 167 |
| 11.1 Εισαγωγή..... | 167 |
| 11.2 Ιδιοκτήτης αφαλάτωσης | 167 |
| 11.3 Συμπεράσματα για την επιχείρηση ηλεκτρισμού..... | 169 |
| 11.4 Συμπεράσματα για το δήμο της Μήλου | 170 |
| 11.5 Σύνοψη | 171 |
| Βιβλιογραφία..... | 172 |

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Το νερό είναι ένα από τα πιο σημαντικά αγαθά της ανθρωπότητας, βασικός παράγοντας και στοιχείο της ανθρώπινης εξέλιξης και του πολιτισμού. Όμως μια σειρά γεγονότων, όπως η ραγδαία αύξηση της κατανάλωσης του νερού λόγω της μεγάλης πληθυσμιακής αύξησης, καθώς και η αυξανόμενη μόλυνση των υδάτινων πόρων του πλανήτη έχουν αρχίσει να επιφέρουν έλλειψη καθαρού νερού, η οποία συνεχώς μεγαλώνει, απειλώντας την ζωή των οργανισμών που ζουν πάνω στην γη. Το πρόβλημα γίνεται οξύτερο αν ληφθεί υπόψη η ύπαρξη μεγάλων, παραδοσιακά ξηρών, περιοχών του πλανήτη όπου η ηλιακή ακτινοβολία είναι σε υψηλότερα επίπεδα και η βροχόπτωση σπάνια.¹

Μια από τις ευρέως χρησιμοποιούμενες λύσεις για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού είναι η αφαλάτωση του θαλασσιού ή υφάλμυρου νερού. Το προϊόν της αφαλάτωσης είναι κυρίως πόσιμο νερό.

1.2 Ποιότητα νερού²

Παγκοσμίως έχουν τεθεί κάποιες προδιαγραφές που αφορούν την ποιότητα του χρησιμοποιούμενου νερού από τον άνθρωπο. Οι προδιαγραφές αυτές είναι ελαστικές όσο αφορά την βιομηχανική και την κοινοτική χρήση, αλλά είναι ιδιαίτερος αυστηρές στην περίπτωση του πόσιμου νερού.

Οι προδιαγραφές για το πόσιμο νερό έχουν δοθεί από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας και δεν είναι τίποτα άλλο από ανώτερες συγκεντρώσεις κάποιων αλάτων που δεν πρέπει να υπερβαίνονται. Αν γίνει η υπέρβαση αυτή το νερό παύει να θεωρείται πόσιμο. Για τα άλατα οι τιμές των προδιαγραφών παρουσιάζονται στον πίνακα 1.1. που ακολουθεί:

| Συστατικά | Περιεκτικότητα σε mg/lit | |
|--------------------------------------|--------------------------|-------------------|
| | Ανώτατο δεκτό | Ανώτατο επιτρεπτό |
| Υλικά διαλυμένα άλατα TDS | 500 | 1500 |
| Χλωριούχα Cl | 200 | 600 |
| Θειικά SO ₄ ²⁺ | 200 | 400 |
| Ασβέστιο Ca ²⁺ | 75 | 100 |
| Μαγνήσιο Mg ²⁺ | 30 | 150 |
| Φθοριούχα F ⁻ | 0.7 | 1.7 |
| Νιτρικά NO ₃ ⁻ | <50 | 100 |
| Χαλκός Cu ²⁺ | 0.05 | 1.5 |
| Σίδηρος Fe ³⁺ | 0.10 | 1.0 |
| Χλωριούχο Νάτριο NaCl | 250 | - |

| | | |
|----|-------------|-------------|
| pH | 7.0 έως 8.5 | 6.5 έως 9.2 |
|----|-------------|-------------|

Πίνακας 1-1 Προδιαγραφές πόσιμου νερού της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας

Πέρα από αυτά τα άλατα που βρίσκονται στην φύση, υπάρχει και η μόλυνση από τις ανθρώπινες δραστηριότητες άρα αποτελούν στοιχεία μόλυνσης. Τα όρια των πιο γνωστών ουσιών ακολουθούν στον πίνακα 1.2:

| Συστατικά μόλυνσης | Ανώτατη περιεκτικότητα |
|--------------------|------------------------|
| Νιτρικά, ως N | 10.0 mg/l |
| Φθοριούχα | 1.4-2.4 mg/l |
| Βάριο | 1.0 mg/l |
| Άργυρος | 0.05 mg/l |
| Αρσενικό | 0.05 mg/l |
| Μόλυβδος | 0.05 mg/l |
| Χρώμιο | 0.05 mg/l |
| Κάδμιο | 0.01 mg/l |
| Σελήνιο | 0.01 mg/l |
| Υδράργυρος | 0.002 mg/l |
| Θολότητα | 1-5 NTU |
| Κολοβακτηρίδια | 1/100 ml |
| Ράδιο 226 και 228 | 5 pCi/l |
| Στρόντιο 90 | 8 pCi/l |
| Ακτινοβολία α | 15 pCi/l |
| Ακτινοβολία β | 50 pCi/l |

Πίνακας 1-2 Ανώτατες περιεκτικότητες συστατικών μόλυνσης

1.3 Ιστορική αναδρομή²

Το νερό ως φυσική πηγή ζωής, έχει απασχολήσει στο παρελθόν, ήδη από τους αρχαίους χρόνους, πρωτοπόρους ερευνητές και κυρίως πολλούς φιλοσόφους, οι οποίοι διατύπωσαν τις φιλοσοφικές ιδέες τους, για την φύση του νερού, τις ιδιότητες του και την δυνατότητα παραγωγής γλυκού νερού από αλμυρά νερά, σε διάφορα συγγράμματα.

Παρ' όλο όμως που υπάρχει εκτεταμένη βιβλιογραφία από την αρχαιότητα μέχρι τον μεσαίωνα πάνω σε θέματα σχετικά με το θαλάσσιο νερό και την δυνατότητα μετατροπής του σε γλυκό νερό, οι περιγραφές παρέμειναν σε θεωρητικό και φιλοσοφικό επίπεδο χωρίς καμία πρακτική εφαρμογή. Μεμονωμένες περιγραφές πρακτικής εφαρμογής φανερώνουν πολύ πρωτόγονους τρόπους μετατροπής του θαλάσσιου νερού σε πόσιμο.

Κατά τον μεσαίωνα ο Giovanni Battista della Porta, στο πολύτομο βιβλίο του "Magiae Naturalis" περιέγραφε διάφορους τρόπους αφαλάτωσης και μια μέθοδο παραγωγής πόσιμου νερού από την

υγρασία της ατμόσφαιρας. Από όλες τις περιγραφές του για αφαλάτωση, μεγαλύτερης σημασίας είναι εκείνη που αναφέρεται στην χρησιμοποίηση της ηλιακής ενέργειας, ως πηγής θερμότητας για την παραγωγή πόσιμου νερού από θάλασσα ή αλμυρά νερά.

Το 1675 κατατίθεται το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για μία συσκευή απόσταξης θαλάσσιου νερού, για την παραγωγή πόσιμου νερού και αργότερα το 1683 ένα δεύτερο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας επίσης για την απόσταξη θαλάσσιου νερού. Εγκαταστάθηκαν τρεις αποστακτήρες, οι πρώτοι σε έδαφος, δύο σε νησιά της Μάγχης και ένας στην Ηπειρωτική Αγγλία για να αποδειχθεί η καλή λειτουργία της νέας εφεύρεσης για την παραγωγή γλυκού νερού από την θάλασσα.

Η πρώτη αναφορά για την αφαλάτωση του θαλάσσιου νερού με πλήρη περιγραφή των επιτευγμάτων της εποχής του και ιδιαίτερα για την παραγωγή γλυκού νερού από θάλασσα σε ποντοπόρα πλοία, δόθηκε από τον Γάλλο ναύαρχο, A.F.B Deslanes το 1724. Αργότερα, το 1739 ο μεγάλος φυσιολόγος Stephan Hales εξέδωσε ένα βιβλίο, φημισμένο στην εποχή του, το οποίο περιείχε λεπτομερή περιγραφή όλων των προβλημάτων σχετικά με την αφαλάτωση και επιπλέον εκτεταμένη βιβλιογραφία.

Το 1870 κατατίθεται στις ΗΠΑ το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για αφαλάτωση με ηλιακή ενέργεια. Το δίπλωμα αυτό ευρεσιτεχνίας περιγράφει με λεπτομέρεια όλα όσα ακόμα και σήμερα εφαρμόζονται στην συμβατική αφαλάτωση με ηλιακή ενέργεια. Περιγράφεται το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η συμπύκνωση και επαναξάτμιση, η χρήση της μαύρης επιφάνειας για μεγαλύτερη απορροφητικότητα, τέλος γίνεται αναφορά στην διάβρωση των υλικών του αποστακτήρα. Αναφέρουν μεγάλες παροχές αφαλατωμένου νερού, περιστρέφοντας τον αποστακτήρα ώστε να ακολουθεί την ηλιακή πρόσπτωση.

Δυο χρόνια αργότερα ο Σουηδός μηχανικός Carlos Wilson σχεδίασε και κατασκεύασε την πρώτη μεγάλη εγκατάσταση αφαλάτωσης με ηλιακή ενέργεια παροχής 22.5 m³/d. Οι αποστακτήρες εγκαταστάθηκαν στο Chacabuco, Las Salinas της Χιλής, μια περιοχή με υψόμετρο 1200 μέτρα, όπου λειτουργούσαν διάφορα ορυχεία ορυκτών αλάτων και αργύρου. Η αφαλάτωση λειτούργησε το 1874 και τροφοδοτείτο με την άλμη της έκπλυσης των ορυκτών αλάτων, παρέχοντας πόσιμο νερό που κάλυπτε τις ανάγκες τόσο των εργαζομένων στα ορυχεία του νιτρικού αμμωνίου όσο και αυτών στο παρακείμενο ορυχείο αργύρου. Η εγκατάσταση λειτούργησε επί σαράντα συνεχή χρόνια έως ότου εξαντλήθηκαν τα ορυχεία.

Το ενδιαφέρον για την αφαλάτωση αναζωπυρώθηκε στην Καλιφόρνια κατά το 1930, όταν η περιοχή πλήγηκε από πολύ μεγάλη ξηρασία, η οικονομική κρίση όμως της δεκαετίας 30 δεν επέτρεψε την έρευνα του θέματος.

Μετά το τέλος του δευτέρου παγκοσμίου πολέμου άρχισε να εκδηλώνεται τεράστιο ενδιαφέρον για την αφαλάτωση, το οποίο προήλθε από την ραγδαία αύξηση της ζήτησης καλής ποιότητας νερού, τόσο για τα αστικά κέντρα όσο και σε απόμακρες ή ημιέρημες περιοχές, όπου εγκαταστάθηκαν διάφορες ομάδες πληθυσμού. Η τεράστια αύξηση της βιομηχανίας συνέτεινε επίσης στην αναζήτηση νέων πηγών νερού. Η ζήτηση αυτή είχε ως αποτέλεσμα την εντατική έρευνα για την ανεύρεση νέων

υδάτινων πόρων και την προώθηση της αφαλάτωσης για περιοχές όπου υπήρχαν μόνο αλμυρά ή υφάλμυρα νερά.

Πρωτοπόρες χώρες στον τομέα της έρευνας της αφαλάτωσης είναι οι ΗΠΑ που με κυβερνητικά προγράμματα στην αρχή και στην συνέχεια με την ιδιωτική πρωτοβουλία κατασκευάστηκαν εγκαταστάσεις πιλότοι για έρευνα. Συγχρόνως όμως και άλλα κράτη προώθησαν την έρευνα για την αφαλάτωση με σημαντικά επιτεύγματα στην τεχνολογία των μεθόδων.

Σήμερα λειτουργούν σε όλο τον κόσμο περίπου 9900 εγκαταστάσεις αφαλάτωσης, μέσης ή μεγάλης παροχής με συνολική παραγωγή περίπου $18700000 \text{ m}^3/\text{d}$, το πυκνότερο δε δίκτυο των εγκαταστάσεων βρίσκεται στις περιοχές του Περσικού Κόλπου, στις Αραβικές χώρες και στα Εμιράτα.

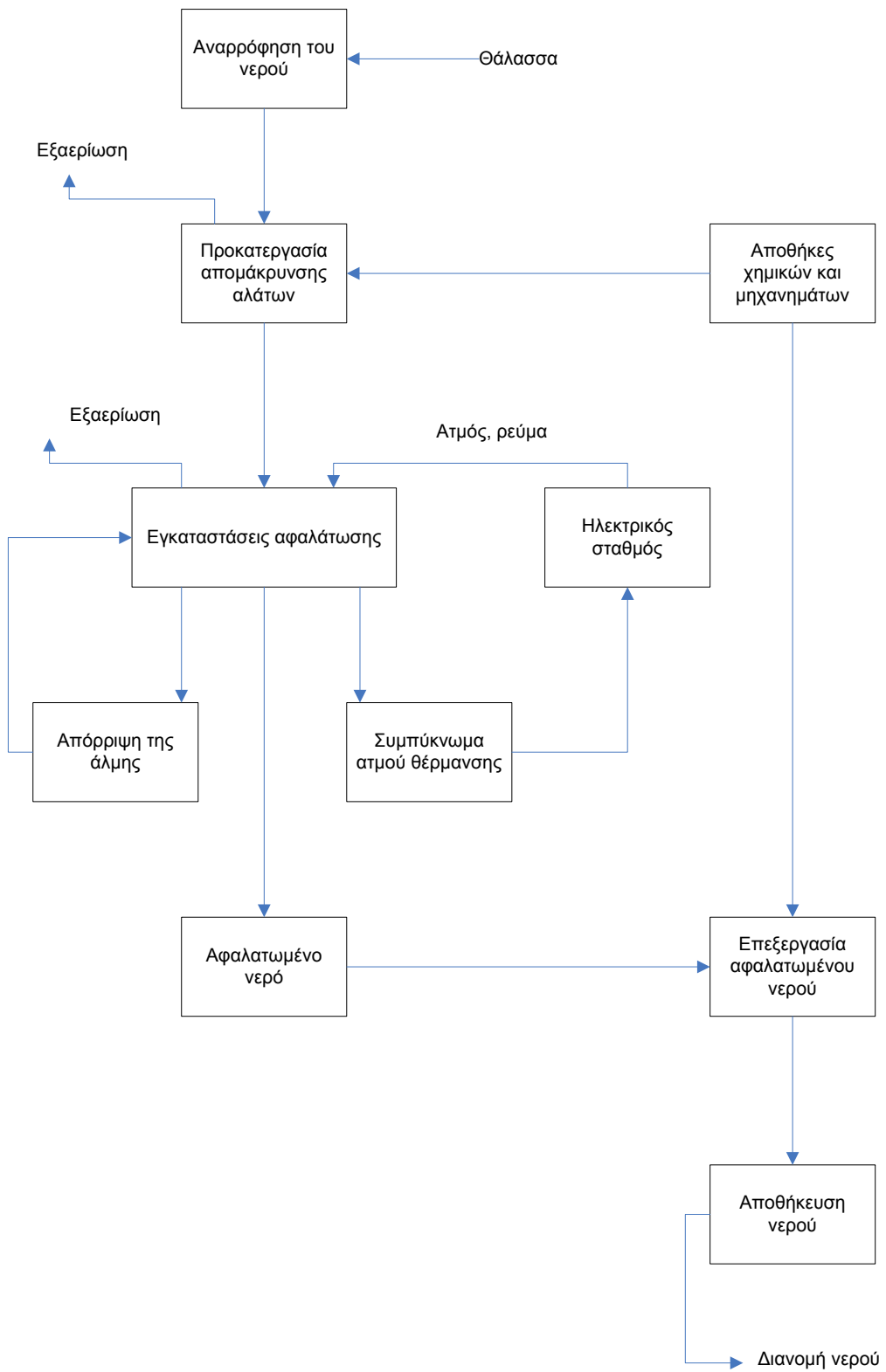
1.4 Αφαλάτωση

Η αφαλάτωση είναι μια φυσική διεργασία αποχωρισμού αλάτων και νερού από υδατικά διαλύματα και χρησιμοποιείται σε μεγάλη κλίμακα, ως καθαρά βιομηχανική μέθοδος, για την παραγωγή καθαρού νερού για κάθε χρήση. Είναι μια διεργασία κατά την οποία εφαρμόζεται με διάφορες μεθόδους που είτε απομακρύνουν τα άλατα από το νερό είτε το νερό από τα άλατα. Επειδή είναι βιομηχανικό προϊόν, το κόστος του αφαλατωμένου νερού είναι πάντοτε κατά πολύ μεγαλύτερο από το κόστος του φυσικού νερού το οποίο μεταφέρεται από μια πηγή σε σχετικά μέτρια χιλιομετρική απόσταση.

Ως πρώτη ύλη για την τροφοδότηση μιας εγκατάστασης αφαλάτωσης χρησιμοποιείται θαλάσσιο ή αλμυρό νερό, ή ακόμα και υφάλμυρα νερά που η περιεκτικότητα των σε άλατα είναι μεγαλύτερη από το επιτρεπτό όριο των προδιαγραφών για συγκεκριμένη χρήση. Το μεγαλύτερο ποσοστό του αφαλατωμένου νερού που παράγεται από τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις αφαλάτωσης ανά τον κόσμο είναι για κοινοτική χρήση. Μεγάλες βιομηχανίες έχουν επίσης εγκαταστήσει συστήματα αφαλάτωσης τόσο για την παραγωγή καθαρού νερού όσο και για τον καθαρισμό των λυμάτων.³

Στο σχήμα 1 που βρίσκεται παρακάτω, παρουσιάζεται ο βασικός τρόπος λειτουργίας μίας μονάδας αφαλάτωσης που της παρέχεται θαλάσσιο νερό. Αρχικά γίνεται η αναρρόφηση ή άντληση του νερού από την θάλασσα και στην συνέχεια γίνεται μια αρχική επεξεργασία αυτού. Κυρίως πρόκειται για φιλτράρισμα μεγάλων μορίων αλάτων και άλλων στοιχείων που βρίσκονται στο νερό.

Στην συνέχεια δίνεται ατμός ή ηλεκτρική ενέργεια από τις εγκαταστάσεις του ηλεκτρικού σταθμού για το κύριο μέρος της αφαλάτωσης. Ο ατμός δίνεται κυρίως για εγκαταστάσεις απόσταξης, όπου θερμαίνεται το νερό ή ακόμα και για την κίνηση των μηχανικών μερών σε περιπτώσεις αντίστροφης όσμωσης. Προϊόν αυτού του σταδίου είναι το αφαλατωμένο νερό και άλμη, δηλαδή τα άλατα που είχε το νερό πριν την αφαλάτωση. Τέλος γίνεται μια τελευταία επεξεργασία του νερού, ώστε να πληρεί τα κριτήρια καθαρότητας για την εκάστοτε χρήση του νερού και στην συνέχεια ακολουθεί η αποθήκευση του νερού και η διανομή του στους καταναλωτές.⁴



Εικόνα 1-1 Διάγραμμα λειτουργίας μονάδος αφαλάτωσης

1.4.1 Μέθοδοι αφαλάτωσης⁵

Από τις μεθόδους αφαλάτωσης που έχουν προταθεί, λίγες μόνο έχουν βρει ευρεία εφαρμογή και κυκλοφορούν στο εμπόριο. Αυτές είναι οι ακόλουθες:

- Η εξάτμιση ή απόσταξη
- Η ηλεκτροδιάλυση
- Η αντίστροφη όσμωση (RO)
- Οι υβριδικές μέθοδοι
- Η ψύξη

Η εξάτμιση λειτουργεί με ενέργεια που προσφέρεται από κυρίως ως θερμότητα από ατμό θέρμανσης, από ηλεκτρικό ρεύμα ή από εναλλακτικές πηγές θερμότητας. Η θερμότητα αποχωρίζει το νερό από τα άλατα κάνοντας το νερό ατμό και έπειτα ακολουθεί συμπύκνωση των ατμών πάλι σε υγρό. Η διεργασία αυτή γίνεται μέσα σε συσκευές που ονομάζονται εξατμηστήρια.

Η ηλεκτροδιάλυση ενώ στην αρχή είχε χρήση μόνο σε υφάλμυρα ύδατα, πλέον έχει εφαρμογή και σε θαλάσσιο νερό. Η βασική αρχή της ηλεκτροδιάλυσης είναι ο αποχωρισμός των αλάτων από το νερό με εφαρμογή ηλεκτρικού ρεύματος σε ιοντικές μεμβράνες.

Η αντίστροφη όσμωση βρίσκει εφαρμογές τα τελευταία 30 χρόνια σε βιομηχανική κλίμακα για αφαλάτωση θαλάσσιου νερού. Η RO χρησιμοποιεί μηχανική ενέργεια για την λειτουργία της, υπό μορφή πίεσης σε ημιπερατές μεμβράνες και διαχωρίζει το νερό από τα περιεχόμενα άλατα σε ένα διάλυμα με μικρή γενικά κατανάλωση ενέργειας.

Οι υβριδικές μέθοδοι είναι ένας συνδυασμός διαφόρων μεθόδων αφαλάτωσης σε παράλληλη λειτουργία ώστε να γίνεται οικονομικότερη εκμετάλλευση της ενέργειας. Μέχρι σήμερα οι υβριδικές μέθοδοι έχουν βρει μόνο μεμονωμένες εφαρμογές.

Η μέθοδος της ψύξης βασίζεται στην ιδιότητα του νερού που όταν παγώνει, το γλυκό νερό σχηματίζει τον πάγο ενώ τα άλατα συγκεντρώνονται στην επιφάνεια του πάγου. Η μέθοδος αυτή δεν έχει βρει εφαρμογή λόγω της δυσκολίας σχηματισμού μεγάλων κρυστάλλων πάγου. Ακόμα, για να γίνει ο καθαρισμός του πάγου από τα άλατα, πρέπει να χρησιμοποιηθεί ποσότητα νερού ίση περίπου με το μισό του παραγόμενου. Αυτός είναι ο λόγος που η μέθοδος αυτή έχει κριθεί αντικοινωνική.

Στην εργασία αυτή θα γίνει αναφορά και μελέτη μόνο της μεθόδου αφαλάτωσης με χρήση της μεθόδου της αντίστροφης όσμωσης. Έτσι η ανάλυση που θα ακολουθήσει θα αφορά μόνο αυτή την μέθοδο.

1.5 Αντίστροφη ώσμωση (RO)⁶

1.5.1 Θεωρητικά

Η διεργασία της αντίστροφης ώσμωσης είναι συνέπεια της εφαρμογής μιας εξωτερικής πίεσης P , μεγαλύτερης της οσμωτικής Π , σε ένα πυκνό διάλυμα το οποίο διαχωρίζεται από ένα αραιό διάλυμα με ένα ημιπερατό τοίχωμα ή μια διεκλεκτική μεμβράνη.

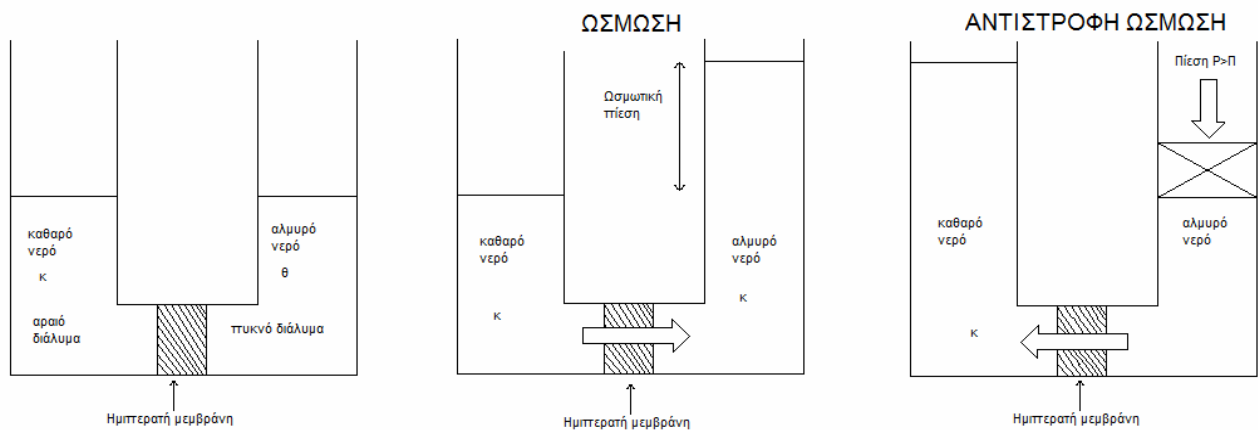
Στο σχήμα που ακολουθεί διακρίνονται δύο θάλαμοι, ο κ και ο θ. Στον θάλαμο κ υπάρχει καθαρό νερό ενώ στον θ θαλάσσιο ή αλμυρό νερό. Τα δύο νερά χωρίζονται από μια διεκλεκτική μεμβράνη Μ και βρίσκονται σε συνηθισμένη ατμοσφαιρική πίεση. Λόγω της διαφοράς δυναμικού στις δύο πλευρές της μεμβράνης, παρατηρείται διάχυση νερού από τον θάλαμο κ προς τον θάλαμο θ, μέσω της μεμβράνης. Δεν είναι κανονική ροή δια των πόρων της μεμβράνης αλλά διάχυση των μορίων του νερού μέσα από τα κενά της μοριακής δομής του πλέγματος της μεμβράνης.

Η κινητικότητα των μορίων του νερού στην διεπιφάνεια νερού-μεμβράνης είναι μεγαλύτερη από αυτή των αλάτων με αποτέλεσμα τα άλατα να απορρίπτονται από την μεμβράνη και να παραμείνουν στον θάλαμο κ. Το καθαρό νερό που διαχέεται μέσα από την μεμβράνη ελαττώνει την πίεση και αυξάνει την συγκέντρωση των αλάτων του καθαρού νερού, ενώ σύγχρονα αραιώνει το θαλάσσιο νερό και αυξάνει την πίεση στον θάλαμο θ. Η αύξηση αυτή εμφανίζεται σαν υδροστατική διαφορά της στάθμης των δύο διαλυμάτων. Αυτή η αύξηση της υδροστατικής πίεσης έχει σαν συνέπεια την βαθμιαία ελάττωση της ροής του νερού. Σε κάποιο σημείο της διαρκώς ελαττωμένης ποσότητας νερού που διαχέεται προς τον θάλαμο θ, η αύξηση της υδροστατικής πίεσης αντισταθμίζει την ροή και αποκαθίσταται μια κινητική ισορροπία όπου το νερό ρέει προς τις δύο κατευθύνσεις. Στο σημείο της ισορροπίας η υδροστατική διαφορά της πίεσης ονομάζεται οσμωτική πίεση. Εφόσον δεν επεμβαίνουν άλλοι εξωτερικοί παράγοντες παραμένει σταθερή στο σημείο ισορροπίας.

Εάν τώρα εφαρμοστεί μια εξωτερική πίεση στην επιφάνεια του θαλάσσιου νερού μεγαλύτερη της οσμωτικής $\Delta P >> \Delta \Pi$ το φαινόμενο της ώσμωσης αντιστρέφεται και τα μόρια του νερού διαχέονται από το θαλάσσιο νερό προς το καθαρό, από τον θάλαμο θ προς τον θάλαμο κ. Η ταχύτητα ροής του νερού είναι ανάλογη με την κινούσα δύναμη της αντιστροφής, δηλαδή την διαφορά της εφαρμοζόμενης πίεσης ΔP και της οσμωτικής $\Delta \Pi$.

Στην διεργασία της αντίστροφης ώσμωσης η ροή του νερού τροφοδότησης είναι συνεχής ενώ η ταχύτητα του ρυθμίζεται, ώστε η συγκέντρωση άλμης να κρατείται σε ορισμένα όρια που να μην ελαττώνουν την ροή του καθαρού νερού για την επικρατούσα πίεση.

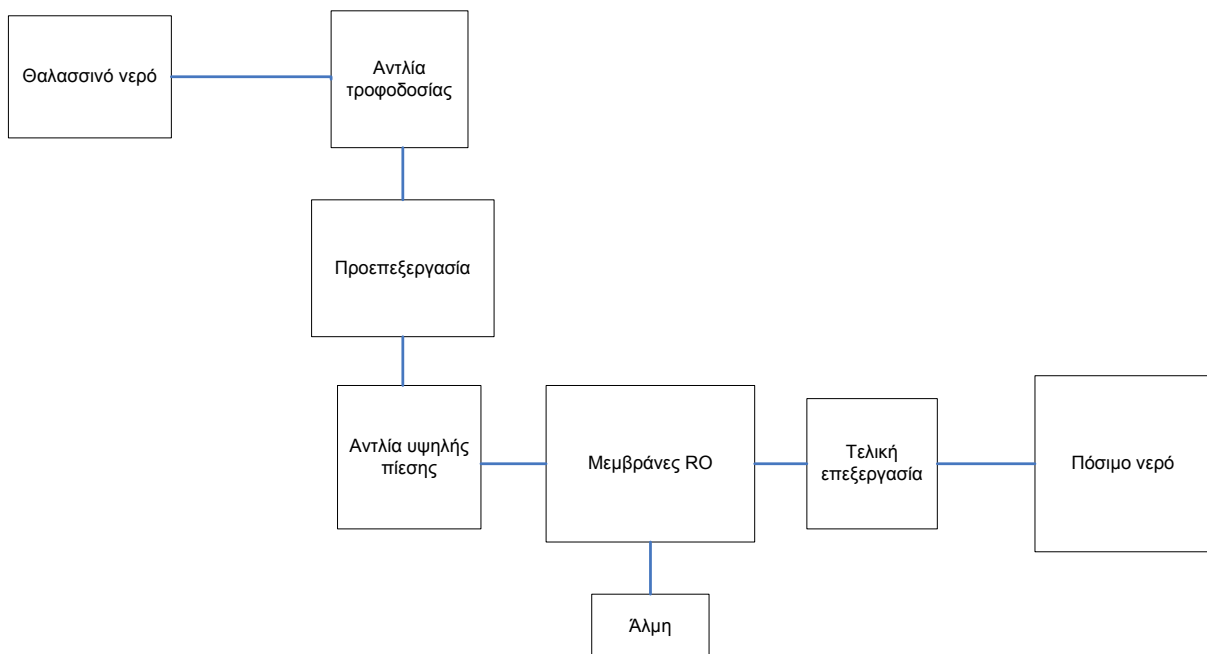
Οι παραπάνω διαδικασίες φαίνονται σχηματικά στο σχήμα 1 που ακολουθεί.



Εικόνα 1-2 Η μέθοδος της αντίστροφης όσμωσης

1.5.2 Περιγραφή τεχνολογίας⁷

Στο σχήμα που ακολουθεί, παρουσιάζεται ένα χαρακτηριστικό διάγραμμα λειτουργίας μια μονάδας αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση.



Εικόνα 1-3 Διάγραμμα λειτουργίας μονάδας αφαλάτωσης με την μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης

Αρχικά γίνεται η άντληση νερού από την θάλασσα και στην συνέχεια γίνεται η προεπεξεργασία του νερού αυτού. Αυτό γίνεται ώστε με να απομακρυνθούν μεγάλα μόρια αλάτων που θα μπορούσαν να φράξουν τους πόρους των μεμβρανών και να αναπτύξουν μικροοργανισμούς στο νερό.

Έπειτα μέσω μιας αντλίας υψηλής πίεσης, το νερό περνάει μέσα από τις μεμβράνες όπου και γίνεται η αφαλάτωση του. Η πίεση της αντλίας ποικίλλει από 17-27 bar για υφάλμυρο νερό και από 55-82 bar

για θαλασσινό νερό. Από τις μεμβράνες εξέρχεται το αφαλατωμένο νερό και νερό με μεγάλη περιεκτικότητα σε άλατα, η λεγόμενη άλμη.

Τέλος, η τελική επεξεργασία αποτελείται από συστήματα αποστείρωσης, σταθεροποίησης και εμπλουτισμού του νερού με μεταλλικά στοιχεία ώστε να πληρούνται οι επιθυμητές προδιαγραφές για την χρήση του.

1.5.2 Ιδιότητες της μεθόδου

Στον πίνακα 1.3 που ακολουθεί παρουσιάζεται η απαιτούμενη ενέργεια για την αφαλάτωση ενός κιλού νερού καθώς και ο βαθμός απόδοσης της μεθόδου⁸.

| Μέθοδος αφαλάτωσης | Απαιτούμενη ενέργεια W(kJ/kg) | Βαθμός απόδοσης R(kg/2330kJ) |
|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Αντίστροφη όσμωση | 30 | 77 |
| Ηλεκτροδιάλυση | 50 | 46 |
| Ψύξη υπό κενό, συμπίεση ατμών | 102 | 25 |
| Απόσταξη πολλών βαθμίδων | 125 | 19 |

Πίνακας 1-3 Απαιτούμενη ενέργεια και βαθμός απόδοσης μεθόδων αφαλάτωσης

Είναι εμφανές ότι την χαμηλότερη κατανάλωση και τον καλύτερο βαθμό απόδοσης από αυτές της μεθόδους την έχει η μέθοδος της αντίστροφης όσμωσης. Αυτό είναι και το κύριο πλεονέκτημα της μεθόδου έναντι της υπόλοιπες, η μικρή κατανάλωση ενέργειας.

Αυτό το χαρακτηριστικό είναι πολύ σημαντικό για το νησιωτικό σύστημα που εξετάζεται, διότι η μέγιστη ισχύς και ενέργεια που μπορεί να προσφέρει η ηλεκτρική επιχείρηση έχει κάποια όρια.

Επιπλέον, λόγω του ότι ο σταθμός παραγωγής είναι συμβατικός, η καύσιμη ύλη για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι κυρίως πετρέλαιο ή παράγωγα αυτού (μαζούτ, diesel ακόμα και βενζίνη), οπότε υπάρχουν και περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Το κόστος αυτών των καυσίμων είναι ιδιαίτερα ανεβασμένο και λόγω του ότι θα πρέπει να γίνει και μεταφοράς αυτών στο νησί, το κόστος μεγαλώνει περισσότερο για την επιχείρηση ηλεκτρισμού. Άρα και την ίδια την εταιρία ηλεκτρισμού την συμφέρει να γίνεται αφαλάτωση με την μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης σε σχέση με τις αντίστροφες μεθόδους.

1.6 Σύγκριση τεχνολογιών αφαλάτωσης⁹

Η επιλογή της μεθόδου αφαλάτωσης που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από πολλούς παράγοντες της είναι η περιοχή εγκατάστασης, οι τοπικές περιστάσεις και η ενεργειακή διαθεσιμότητα. Οι βασικότεροι από της παράγοντες αναφέρονται στην συνέχεια

1.6.1 Ποιότητα νερού

Της σημαντικός παράγοντας για την επιλογή μιας εγκατάστασης αφαλάτωσης είναι η ποιότητα του νερού που θα πρέπει να παράγεται. Οι θερμικές μέθοδοι αφαλάτωσης παράγουν νερό με πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε άλατα (σχεδόν αποσταγμένο) , ενώ στη μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης η περιεκτικότητα σε άλατα είναι μεγαλύτερη αλλά και πάλι είναι μέσα στα όρια που χαρακτηρίζουν ένα νερό πόσιμο.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των πιο σημαντικών μεθόδων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού.

| Μέθοδος | Κατάταξη μεθόδου | Περιεκτικότητα παραγόμενου νερού (ppm) |
|--|------------------|--|
| Απόσταξη πολυδιάστατης εκτόνωσης (MSF) | Θερμική | 10 |
| Απόσταξη πολλών σταδίων (MED) | Θερμική | 10 |
| Συμπύεση ατμού (VC) | Θερμική | 10 |
| Αντίστροφη όσμωση (RO) | Μεμβράνες | 350-500 |

Πίνακας 1-4 Περιεκτικότητα σε άλατα αφαλατωμένου νερού

1.6.2 Ικανότητα παραγωγής νερού

Ένας άλλος παράγοντας για την επιλογή μιας μεθόδου αφαλάτωσης είναι η ποσότητα αφαλατωμένου νερού που θα πρέπει να παράγεται κάθε μέρα. Με τις θερμικές μεθόδους (απόσταξη), είναι δυνατή η αφαλάτωση μεγάλων ποσοτήτων νερού. Από τις θερμικές μεθόδους που παρουσιάστηκαν στον παραπάνω πίνακα, μόνο η μέθοδος της συμπύεσης ατμού χρησιμοποιείται σε μικρή και μεσαία κλίμακα ενώ οι άλλες συνήθως σε μεγάλη. Οι μέθοδοι που κάνουν χρήση μεμβρανών μπορούν να προσαρμοστούν σε οποιαδήποτε μέγεθος παραγωγής ζητείται. Άρα η μέθοδος της αντίστροφης όσμωσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε μικρή και σε μεγάλη κλίμακα.

Στον πίνακα στην συνέχεια, παρουσιάζονται οι τυπικές μέγιστες ικανότητες παραγωγής νερού από τις προαναφερόμενες μεθόδους.

| Μέθοδος | Τυπικές μέγιστες ικανότητες παραγωγής νερού (m ³ /d) |
|---------|---|
| MSF | 5000-60000 |
| MED | 5000-20000 |
| VC | 2400 |
| RO | 128000 |

Πίνακας 1-5 Ικανότητες παραγωγής νερού από μονάδες αφαλάτωσης

1.6.3 Οικονομικά στοιχεία αφαλάτωσης

Οι δαπάνες της αφαλάτωσης εξαρτώνται σε ένα μεγάλο μέρος από την μέθοδο, την ποιότητα του νερού τροφοδοσίας, τις απαιτήσεις ποιότητας του παραγόμενου νερού, την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας κλπ. Το συνολικό κόστος του παραγόμενου νερού μπορεί να χωριστεί σε τρεις συνιστώσες: στο κόστος επένδυσης, στο λειτουργικό κόστος και στο κόστος συντήρησης.

Το αρχικό κόστος επένδυσης περιλαμβάνει το κόστος εγκατάστασης, το κόστος εξοπλισμού και το κόστος των συμπληρωματικών εργασιών. Οι μέθοδοι με απόσταξη έχουν υψηλότερο κόστος επένδυσης αλλά χαμηλότερα λειτουργικά έξοδα από τις μεθόδους μεμβρανών. Ακόμα είναι αναγκαία μεγαλύτερη έκταση για την εγκατάσταση του εξοπλισμού σε σχέση με τις μεθόδους μεμβρανών.

Στο λειτουργικό κόστος και στο κόστος συντήρησης περιλαμβάνονται οι ενεργειακές ανάγκες, το κόστος προσωπικού και τα αναλώσιμα υλικά. Η συντήρηση περιλαμβάνει τον καθαρισμό των συστημάτων και την αντικατάσταση του εγκατεστημένου εξοπλισμού όταν υπάρχει πρόβλημα σε αυτόν. Στις μονάδες που χρησιμοποιούν μεμβράνες η αντικατάσταση των μεμβρανών αποτελεί την μεγαλύτερη δαπάνη.

Σε οποιαδήποτε μέθοδο αφαλάτωσης, η κατανάλωση ενέργειας εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες όπως η συγκέντρωση των αλάτων, η θερμοκρασία λειτουργίας (μέθοδος μεμβρανών), τις απώλειες θερμότητας, την διαφορά θερμοκρασίας (θερμικές μέθοδοι) κ.α. Οι μέθοδοι που στηρίζονται σε αλλαγή της φάσης του νερού, θερμικές μέθοδοι, έχουν και την μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας.

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζεται μια εκτίμηση για την ενεργειακή κατανάλωση μιας τυπικής μονάδας αφαλάτωσης με παραγωγή από 10000 έως 20000 κυβικά μέτρα νερό την μέρα για θαλασσινό νερό. Στην μέθοδο της συμπίεσης ατμού τα στοιχεία είναι από μια μονάδα παραγωγής 2500 m³/d.

| Μέθοδος | Ισοδύναμη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας kWh/m ³ |
|---------|--|
| MSF | 10-14.5 |
| MED | 6-9 |
| VC | 7-15 |
| RO | 4-6 με ανάκτηση ενέργειας 7-13 χωρίς ανάκτηση ενέργειας |

Πίνακας 1-6 Ισοδύναμη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας

Στην μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης μπορούν να εγκατασταθούν συστήματα ενεργειακής ανάκτησης που μπορούν να ανακτήσουν το 40% της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας. Αυτό γίνεται σε μεγάλες εγκαταστάσεις όπου η ενέργεια πίεσης της απορριπτόμενης άλμης ανακτάται από ένα στρόβιλο.

| Μέθοδος | Αρχικό κόστος επένδυσης(€/m ³ -day) | Ενέργεια (€/m ³) | Αναλώσιμα (€/m ³) | Εργατικά (€/m ³) | Συντήρηση (€/m ³) | Συνολικό ειδικό κόστος (€/m ³) |
|---------|--|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|--|
| MSF | 1000-2000 | 0.6-1,8 | 0.03-0.09 | 0.03-0.20 | 0.02-0.06 | 0.68-2.15 |
| MED | 900-1800 | 0.38-1.12 | 0.02-0.15 | 0.03-0.20 | 0.02-0.06 | 0.45-1.53 |
| VC | 900-2500 | 0.56-2.24 | 0.02-0.15 | 0.03-0.20 | 0.02-0.08 | 0.63-2.83 |
| RO | 800-1600 | 0.32-1.28 | 0.09-0.25 | 0.03-0.20 | 0.02-0.05 | 0.46-1.78 |

Πίνακας 1-7 Κόστος μεθόδων αφαλάτωσης

Αν και το κόστος της ενέργειας είναι μειωμένο σε σχέση με τις άλλες μεθόδους, η τιμή του αφαλατωμένου νερού με την μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης είναι αυξημένο, λόγω κυρίως της συντήρησης που θα πρέπει να γίνεται στα μηχανικά μέρη της εγκατάστασης (κυρίως στις αντλίες). Επιπλέον, θα πρέπει αν 3-4 χρόνια να γίνεται αντικατάσταση των μεμβρανών διότι αυτές με την συνεχή χρήση χάνουν τις επιθυμητές τους ιδιότητες. Τα τελευταία χρόνια βέβαια η τεχνολογία των μεμβρανών έχει αναπτυχθεί και το κόστος αυτό είναι μειωμένο σε σχέση με τα παλαιότερα χρόνια.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι τα εργοστάσια αφαλάτωσης έχουν νησίδες (modules) αφαλάτωσης. Αντί να υπάρχει μια μόνο παραγωγική διαδικασία της αφαλάτωσης, υπάρχουν περισσότερες αλλά πιο μικρές οι οποίες δουλεύουν παράλληλα.

1.7 Πηγές ενέργειας

Η εγκαταστάσεις της αφαλάτωσης χρησιμοποιούν, ανάλογα με την μέθοδο, είτε ατμό χαμηλής πίεσης είτε ηλεκτρικό ρεύμα χαμηλής τάσης. Η ενέργεια αυτή προέρχεται από ηλεκτρικές εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν κυρίως συμβατικά καύσιμα είτε πυρηνική ενέργεια. Σε μερικές περιπτώσεις, ο ατμός από τα θερμοηλεκτρικά εργοστάσια χρησιμοποιείται στην βιομηχανία της αφαλάτωσης, δηλαδή ένα είδος συμπαραγωγής.

Έχουν αναπτυχθεί και συστήματα με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την λειτουργία των εγκαταστάσεων αφαλάτωσης. Κυρίως τέτοια συστήματα χρησιμοποιούν ηλιακή ενέργεια και σε μερικές περιπτώσεις αιολική.

Η χρήση της ηλιακής ενέργειας, όπως και των άλλων ανανεώσιμων πηγών, δεν μολύνει το περιβάλλον και δεν εξαντλείτε εν αντιθέσει με τα ορυκτά καύσιμα. Ακόμα, υπάρχει το πλεονέκτημα της χωρίς κόστους παροχής αλλά και μειονεκτήματα όπως το υψηλό κόστος των κατόπτρων.

Στην περίπτωση του νησιωτικού συστήματος που θα εξεταστεί σε αυτή την εργασία, η επιχείρηση αφαλάτωσης θα λειτουργεί με βάση την αιολική παραγωγή από ένα αιολικό πάρκο. Η τεχνολογία της

αιολικής ενέργειας έχει αναπτυχθεί παραπάνω από ότι αυτή της ηλιακής και έτσι υπάρχει μικρότερο κόστος και μεγαλύτερη απόδοση των αιολικών πάρκων σε σχέση με τα φωτοβολταϊκά.

Με την χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, μειώνεται το κόστος ενέργειας για την επιχείρηση αφαλάτωσης ενώ παράλληλα προστατεύεται και το περιβάλλον. Κέρδος θα υπάρξει και για την επιχείρηση ηλεκτρισμού καθώς δεν θα χρειάζεται να προσφέρει εξολοκλήρου την ισχύ που χρειάζεται για να λειτουργήσει η αφαλάτωση. Τέλος και το ίδιο το σύστημα δεν θα επιβαρυνθεί με την είσοδο παραπάνω φορτίου.¹⁰ Αυτό μελετάται στην εργασία αυτή και πιο συγκεκριμένα στα κεφάλαια 7 και 8.

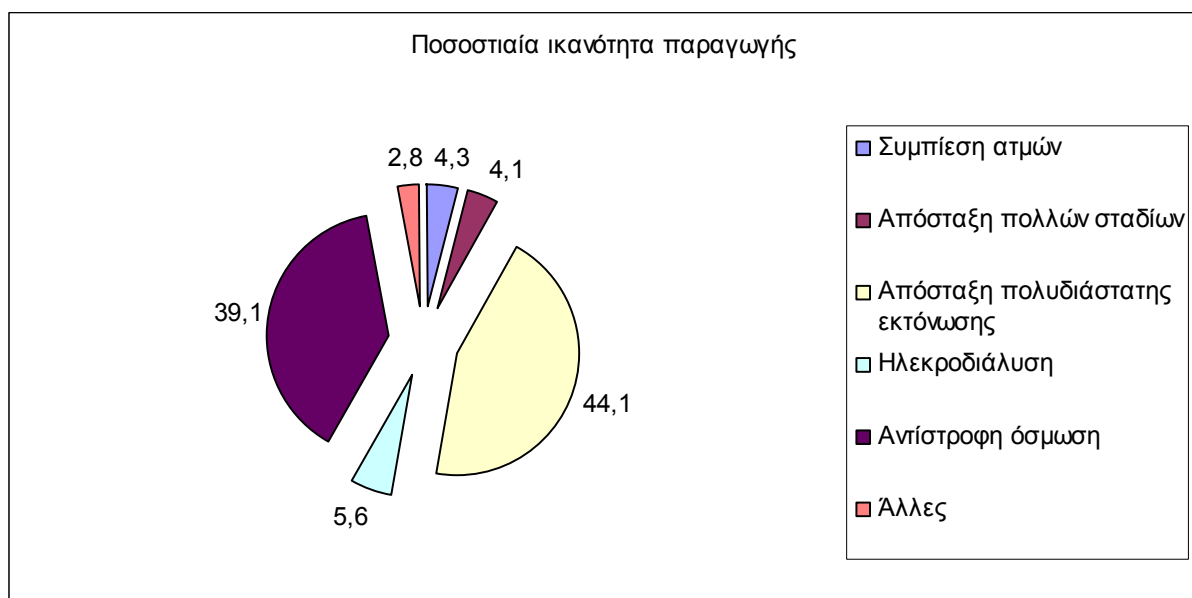
1.8 Η αφαλάτωση σήμερα

1.8.1 Η αφαλάτωση σε παγκόσμιο επίπεδο¹¹

Κατά το έτος 2005, η παγκόσμια ικανότητα παραγωγής αφαλατωμένου νερού έφτανε τα 55 εκατομμύρια κυβικά μέτρα κάθε μέρα από τα περίπου 22,7 εκατομμύρια που ήταν το 1998. Το 2005 υπήρχαν συνολικά 10597 εργοστάσια αφαλάτωσης στον κόσμο.

Το 1998, το 24% του συνολικού αφαλατωμένου νερού παραγόταν στην Σαουδική Αραβία, ενώ το 50% του παραγόμενου νερού προερχόταν από εργοστάσια της Μέσης Ανατολής και της Βόρειας Αφρικής.

Στο σχεδιάγραμμα που ακολουθεί, παρουσιάζεται το ποσοστό ικανότητας παραγωγής που αντιστοιχεί σε κάθε βασική μέθοδο αφαλάτωσης.



Διάγραμμα 1-1 Ποσοστιαία ικανότητα παραγωγής μεθόδων αφαλάτωσης

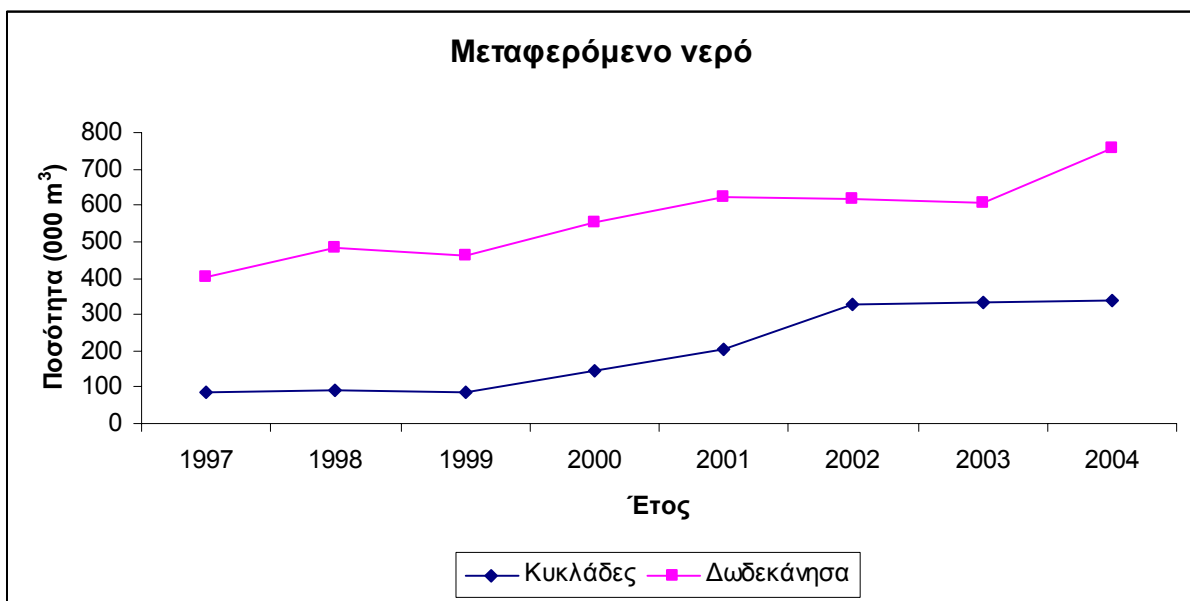
1.8.2 Η αφαλάτωση στην Ελλάδα¹²

Στον Ελλαδικό χώρο, έχουν εγκατασταθεί μονάδες αφαλάτωσης κυρίως στα νησιά των Κυκλάδων και των Δωδεκανήσων όπου οι ανάγκες για νερό δεν μπορούν να καλυφθούν από τις βροχοπτώσεις και από τα υπόγεια νερά των νησιών. Το πρόβλημα γίνεται ακόμα μεγαλύτερο ειδικά τους καλοκαιρινούς μήνες.

Η μόνη λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι είτε η μεταφορά νερού από την ηπειρωτική ενδοχώρα είτε η κατασκευή μονάδων αφαλάτωσης ώστε να υπάρχει αυτονομία όσον αφορά τον τομέα του νερού. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η ποσότητα του νερού που μεταφέρθηκε το έτος 2004 στον νομό Κυκλάδων. Ακόμα παρουσιάζεται η γραφική παράσταση όπου παρουσιάζεται η μεταφερόμενη ποσότητα νερού στον ίδιο νομό για τα έτη από 1997 έως 2004.

| Μεταφερόμενο νερό στις Κυκλάδες | |
|---------------------------------|-----------------------|
| | Χιλιάδες κυβικά μέτρα |
| 1ο τρίμηνο | 33 |
| 2ο τρίμηνο | 88 |
| 3ο τρίμηνο | 148 |
| 4ο τρίμηνο | 68 |
| Σύνολο | 337 |

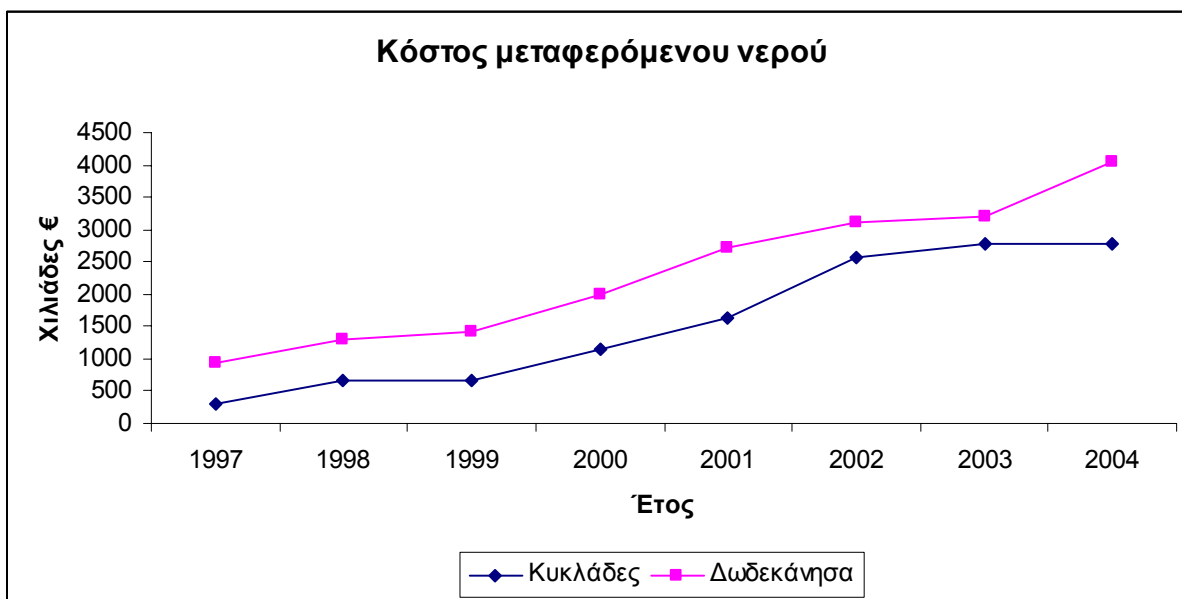
Πίνακας 1-8 Ποσότητες μεταφερόμενου νερού στις Κυκλάδες



Διάγραμμα 1-2 Μεταφερόμενο νερό

Όπως φαίνεται από την γραφική παράσταση του μεταφερόμενου νερού, οι ανάγκες των νομών, άρα και των νησιών μεμονωμένα, για νερό αυξάνονται με το πέρασμα των ετών. Είναι χαρακτηριστικό ότι στον νομό Δωδεκανήσων, η ποσότητα του μεταφερομένου νερού διπλασιάστηκε μέσα σε 8 χρόνια ενώ στις Κυκλάδες σχεδόν πενταπλασιάστηκε.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί, παρουσιάζεται το κόστος του μεταφερομένου νερού.



Διάγραμμα 1-3 Κόστος μεταφερόμενου νερού

Από το διάγραμμα αυτό παρατηρείται ότι στις Κυκλάδες αν και η ποσότητα νερού που μεταφέρεται διπλασιάστηκε, το συνολικό κόστος σχεδόν πενταπλασιάστηκε. Αυτό οφείλεται στο ότι το μεταφερόμενο νερό έρχεται από την εταιρεία ύδρευσης του νομού Αττικής, άρα και το μεταφορικό κόστος είναι μεγαλύτερο. Στα Δωδεκάνησα αντίθετα, το νερό που μεταφέρεται με τα υδροφόρα πλοία προέρχεται από το νησί της Ρόδου που είναι πιο κοντά στα υπόλοιπα νησιά άρα και το κόστος μεταφοράς θα είναι μικρότερο.

Σήμερα λειτουργούν αρκετές μονάδες αφαλάτωσης στα νησιά του Αιγαίου Πελάγους. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η εγκατεστημένη ικανότητα αφαλάτωσης σε κάθε νησί, ανεξαρτήτου μεθόδου αφαλάτωσης. Θα πρέπει στο σημείο αυτό να προστεθεί ότι στα νησιά Σύρος και Μύκονος υπάρχουν παραπάνω από ένα εργοστάσια αφαλάτωσης

| Νησί | Εγκατεστημένη ικανότητα (m ³ /d) |
|-------------------|--|
| Κυκλάδες | |
| Σύρος | 4270 |
| Τος | 1000 |
| Μύκονος | 3450 |
| Πάρος | 1200 |
| Σίφνος | 500 |
| Τήνος | 500 |
| Σαντορίνη | 380 |
| Δωδεκάνησα | |

| | |
|---------|-----|
| Μεγίστη | 50 |
| Νίσυρος | 650 |

Πίνακας 1-9 Εγκατεστημένη ικανότητα αφαλάτωσης σε νησιά της Ελλάδος

Στην συνέχεια της εργασίας θα παρουσιαστούν αναλύσεις για την εγκατάσταση μιας ακόμη μονάδος αφαλάτωσης στον νομό των Κυκλάδων και πιο συγκεκριμένα στο νησί της Μήλου.

1.9 Περιεχόμενα εργασίας

Η εργασία αυτή αφορά την παραγωγή πόσιμου νερού από ένα εργοστάσιο αφαλάτωσης και ενέργειας από μία ανεμογεννήτρια που είναι συνδεδεμένη με την αφαλάτωση καθώς και την οικονομική επίπτωση που θα έχει στον ιδιοκτήτη της όσο και στο δίκτυο του νησιού που συνδέεται. Οι δύο αυτές εγκαταστάσεις έχουν κοινή διαχείριση. Με τον τρόπο αυτό, γίνεται εξοικονόμηση ενέργειας από την επιχείρηση της αφαλάτωσης καθώς και οι επιπτώσεις πάνω στο ηλεκτρικό σύστημα του νησιού είναι μικρότερες. Άρα ο ιδιοκτήτης του εργοστασίου αφαλάτωσης θα θεωρείται σαν αυτοπαραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας.

Αρχικά θα παρουσιαστούν κάποια μοντέλα πρόβλεψης ανέμου και στην συνέχεια τα μοντέλα αυτά θα επεκταθούν στην πρόβλεψη της αιολικής παραγωγής (κεφάλαια 2 και 3). Στην συνέχεια θα παρουσιαστεί ένας αλγόριθμος προγραμματισμού μιας μονάδας αφαλάτωσης που θα έχει σαν είσοδο την αιολική παραγωγή και την στάθμη της δεξαμενής όπου αποθηκεύεται το αφαλατωμένο νερό (κεφάλαιο 4). Το πρόγραμμα παραγωγής θα μεταφραστεί σε ζητούμενη ισχύ ανά 20λεπτο και αυτό θα προστεθεί στο ήδη υπάρχον φορτίο του νησιού.

Στο νησί υπάρχει ένας θερμικός σταθμός ενέργειας που θα πρέπει να μπορεί να παράγει την ζητούμενη ποσότητα ενέργειας που θα του ζητείται από τους καταναλωτές του νησιού. Λόγω της ύπαρξης του αιολικού δυναμικού θα χρησιμοποιηθεί ο αλγόριθμος Dynucom που επιλύει τα προβλήματα της εφεδρείας της αιολικής παραγωγής και επίσης επιλύει προβλήματα unit commitment και economic dispatch (κεφάλαιο 5).

Στο κεφάλαιο 6 θα δοθούν στοιχεία για την Μήλο, για την κατανάλωση ενέργειας της, για την υπάρχουσα εγκατεστημένη ισχύ στο νησί και τέλος για την κατανάλωση νερού. Στο επόμενο κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της μονάδος αφαλάτωσης με βάση τα προγράμματα παραγωγής που προήλθαν από τα τρία μοντέλα πρόβλεψης αιολικής παραγωγής. Τα οικονομικά αποτελέσματα όσον αφορά το ενεργειακό κομμάτι για την επιχείρηση αφαλάτωσης παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 8. Από τα συστήματα πρόβλεψης που εξετάστηκαν, θα επιλεγεί ένα για εγκατάσταση στην μονάδα αφαλάτωσης και με αυτό θα γίνεται η πρόβλεψη της παραγωγής.

Στα υπόλοιπα κεφάλαια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που θα έχει η είσοδος του φορτίου αφαλάτωσης στην παραγωγή του θερμικού σταθμού του Μήλου και οι οικονομικές επιπτώσεις που θα επιφέρει στην εταιρεία ηλεκτρισμού (κεφάλαιο 9).

Στο δέκατο κεφάλαιο γίνεται μια ανάλυση ευαισθησίας για ένα καλοκαιρινό μήνα. Στο κεφάλαιο αυτό θα εξεταστούν οι επιπτώσεις που θα υπάρξουν στις εμπλεκόμενες επιχειρήσεις αν αλλάξουν κάποιοι συντελεστές της παραγωγής όπως είναι οι νησίδες της αφαλάτωσης και ο προγραμματισμός της παραγωγής του εργοστασίου αφαλάτωσης.

Στο ενδέκατο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα αυτής της εργασίας για την επιχείρηση αφαλάτωσης την επιχείρηση ηλεκτρισμού και για τον δήμο της Μήλου.

Κεφάλαιο 2: Ανάλυση δεδομένων αιολικού δυναμικού

2.1 Εισαγωγή- Θεωρία

Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα της αιολικής ενέργειας, συγκρινόμενη βέβαια με την ενέργεια που παράγεται από συμβατικούς σταθμούς, είναι η εξάρτηση της από τον αέρα, που συνήθως παρουσιάζει μεγάλη αστάθεια. Η συμπεριφορά αυτή συμβαίνει σε όλες τις χρονικές κλίμακες αλλά δύο από αυτές παρουσιάζουν μεγαλύτερο ενδιαφέρον: ο πρώτος είναι η χρονική κλίμακα για τον έλεγχο της ηλεκτρικής γεννήτριας (χρονική περίοδος από milliseconds μέχρι seconds) και ο δεύτερος για την ενσωμάτωση της αιολικής ενέργειας στο δίκτυο. Θα πρέπει να τονιστεί ότι στην δεύτερη περίπτωση η χρονικές περιόδους είναι της τάξεως των λεπτών έως και εβδομάδων και εξαρτώνται από τις σταθερές του δικτύου του ίδιου.

Η πρόβλεψη της αιολικής παραγωγής βρίσκεται πεδίο εφαρμογής σε τρεις τομείς. Ο πρώτος είναι η βελτιστοποίηση του παραγωγής ενέργειας από τους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής, δηλαδή η επίλυση προβλημάτων unit commitment και economic dispatch στην περίπτωση που υπάρχει και αιολική παραγωγή. Ο επιθυμητός ορίζοντας πρόβλεψης για αυτή την εφαρμογή κυμαίνεται από τρεις έως 24-48 ώρες. Τέτοιες εφαρμογές θα αναλυθούν στην συνέχεια της εργασίας.

Ο δεύτερος τομέας όπου χρειάζεται πρόβλεψη για τον άνεμο είναι για την βελτιστοποίηση της τιμής πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας. Τέτοιες προβλέψεις απαιτούνται από πολλούς τελικούς χρήστες (εγκαταστάσεις, TSOs, ESPs, IPPs κ.α.) και για διάφορες εφαρμογές και η χρονική περίοδος η οποία αναφέρονται είναι έως και 48 ώρες.

Τέλος, παρουσιάζονται εφαρμογές που χρειάζεται πρόβλεψη του ανέμου για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα ακόμα και της τάξης μερικών ημερών. Τέτοιες εφαρμογές παρουσιάζονται κυρίως στον σχεδιασμό της συντήρησης συμβατικών μονάδων, αιολικών γεννητριών ή γραμμών μεταφοράς. Είναι αναμενόμενο βέβαια ότι η πρόβλεψη χάνει την ακρίβεια της για τόσο μεγάλα χρονικά διαστήματα και τέτοια συστήματα τώρα παρουσιάζουν ενδιαφέρον, τόσο ερευνητικά όσο και στην πραγματικότητα. Στην περίπτωση της συντήρησης off-shore ανεμογεννητριών, χρειάζεται πιο βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη από αυτή.¹³

Στην εργασία αυτή, το ενδιαφέρον μας θα εστιαστεί στην πρόβλεψη του ανέμου για εφαρμογή της πρώτης περίπτωσης σε ένα απομονωμένο νησιωτικό σύστημα.

2.1.1 Είδη μοντέλων πρόβλεψης

Η πρόβλεψη της παραγωγής ενέργειας από ανεμογεννήτριες είναι στενά συνδεδεμένη με την πρόβλεψη των αλλαγών συγκεκριμένων ατμοσφαιρικών μεταβλητών, όπως η ταχύτητα και η κατεύθυνση του ανέμου όπως και η πυκνότητα αυτού, σε μικρά χρονικά διαστήματα και σε τοπικά

επίπεδα. Με την έννοια τοπικά επίπεδα εννοούνται οι τοποθεσίες στις οποίες είναι εγκατεστημένες ανεμογεννήτριες είτε αιολικά πάρκα.

Η πρόβλεψη του ανέμου παραμένει ακόμα και σήμερα ένα πολύ δύσκολο πρόβλημα λόγω των πολλών παραμέτρων που επηρεάζουν τις ατμοσφαιρικές μεταβλητές. Για τον λόγο αυτό, οι προβλέψεις έχουν χωριστεί σε τρεις κατηγορίες: στην πολύ βραχυπρόθεσμη (0-6 ώρες), στην βραχυπρόθεσμη (6-72 ώρες) και τέλος στην μέση πρόβλεψη (3-10 μέρες).¹³

Τις τελευταίες δεκαετίες, που η αιολική ενέργεια έχει διεισδύσει περισσότερο στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, η έρευνα για την πρόβλεψη του ανέμου έχει γίνει όλο και πιο σημαντική. Τα αποτελέσματα αυτής είναι η δημιουργία μοντέλων πρόβλεψης του ανέμου που για την περίπτωση που εξετάζεται σε αυτή την εργασία-πολύ βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη- τα μοντέλα που έχουν παρουσιαστεί είναι δύο ειδών: τα φυσικά μοντέλα και τα στατιστικά μοντέλα. Τα τελευταία χρόνια έχουν παρουσιαστεί μοντέλα που είναι ένας συνδυασμός αυτών των δύο. Παραδείγματα μοντέλων είναι το Prediktor το οποίο είναι φυσικό μοντέλο, το WPPT που είναι στατιστικό και το Zephyr, το οποίο είναι ένα υβριδικό μοντέλο που συνδυάζει το Prediktor και το WPPT.

Όλα αυτά τα μοντέλα όμως μπορούν να διακριθούν αναλόγως αν περιλαμβάνουν μαθηματικό μοντέλο για την πρόβλεψη του ανέμου (Numerical Weather Prediction model- NWP) ή όχι. Ένα παράδειγμα NWP μοντέλου είναι το HIRLAM το οποίο δημιουργήθηκε από τα μετεωρολογικά ινστιτούτα την Δανία, Γαλλία, Νορβηγία, Φινλανδία, Ισπανία και Ιρλανδία. Συνήθως, το NWP χρησιμοποιείται για προβλέψεις για περίοδο που κυμαίνεται μεταξύ τριών και έξι ωρών.

Τα φυσικά μοντέλα χρησιμοποιούν ‘φυσικά’ στοιχεία για την παραγωγή της καλύτερης δυνατής πρόβλεψης, ενώ στην συνέχεια για καλύτερα αποτελέσματα κάνουν χρήση στατιστικών μοντέλων εξόδου (Model Output Statistics- MOS). Τα δε στατιστικά μοντέλα, στην αρχική τους μορφή, προσπαθούν να βρουν την σχέση μεταξύ ενός μεγάλου αριθμού από μεταβλητές και δεδομένα κάνοντας χρήση επαναληπτικών μεθόδων. Στα δεδομένα αυτά βρίσκονται και δεδομένα από NWP μοντέλα.¹³

Σε αυτή την εργασία θα παραχθούν τρεις διαφορετικές ανεμοσειρές, οι οποίες θα αποτελέσουν την είσοδο για να βρεθεί η παραγόμενη ισχύς από την ανεμογεννήτρια. Όλες οι ανεμοσειρές βασίζονται σε στοιχεία για τον άνεμο που έπνεε σε ένα γειτονικό νησί της Μήλου, της νήσου Κύθνου. Οι δύο ανεμοσειρές θα βασίζονται στο persistence, δηλαδή η τιμή του ανέμου θα θεωρείται σταθερή για κάποιο χρονικό διάστημα, και η τρίτη σε μία στατιστική ανάλυση της υπάρχουσας ανεμοσειράς της Κύθνου.

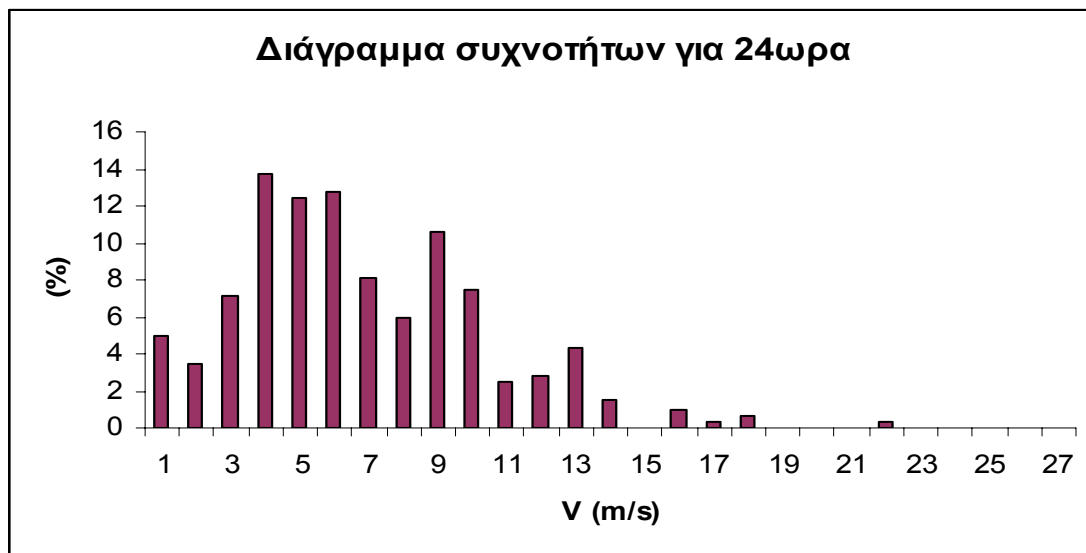
Η μέθοδος του persistence είναι μία από τις πιο συχνά χρησιμοποιημένες μεθόδους πρόβλεψης ανέμου εξαιτίας της απλότητας χρήσης της. Για πολύ βραχυπρόθεσμες προβλέψεις, η μέθοδος αυτή θεωρείται σαν σημείο αναφοράς για όλες τις άλλες μεθόδους. Όσο όμως αυξάνει η χρονική κλίμακα, η ακρίβεια της μεθόδου αυτής μειώνεται, πράγμα που θα πρέπει να θεωρηθεί αναμενόμενο.¹³

Η χρονοσειρά του ανέμου που έχουμε είναι αποτελέσματα από ένα σύστημα SCADA. Οι τιμές του ανέμου που είναι στην διάθεση μας είναι για χρονική περίοδο εικοσάλεπτου, δηλαδή έχουμε μία τιμή ανέμου για κάθε είκοσι λεπτά ή τρεις τιμές του ανέμου για κάθε μία ώρα.

2.2 Σενάρια για τον άνεμο

2.2.1 Σταθερή τιμή ανέμου για 24 ώρες

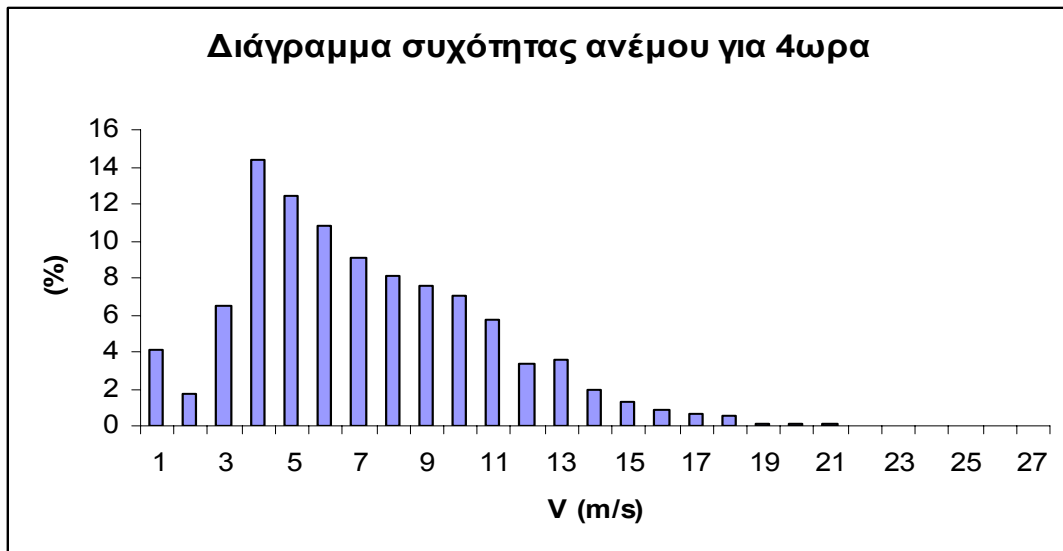
Η δεύτερη μέθοδος είναι παρόμοια με την πρώτη, μόνο που σε αυτή την περίπτωση, ο άνεμος θεωρείται σταθερός για όλο το εικοσιτετράωρο. Από τις μετρήσεις που έχουμε, θα θεωρούμε ότι ο άνεμος παραμένει σταθερός για 72 συνεχόμενες τιμές. Το διάγραμμα συχνότητας ανέμου ακολουθεί (διάγραμμα 2):



Διάγραμμα 2-1 Συχνότητα ταχύτητας ανέμου για 24ωρο μοντέλο πρόβλεψης

2.2.2 Σταθερή τιμή ανέμου για 4 ώρες

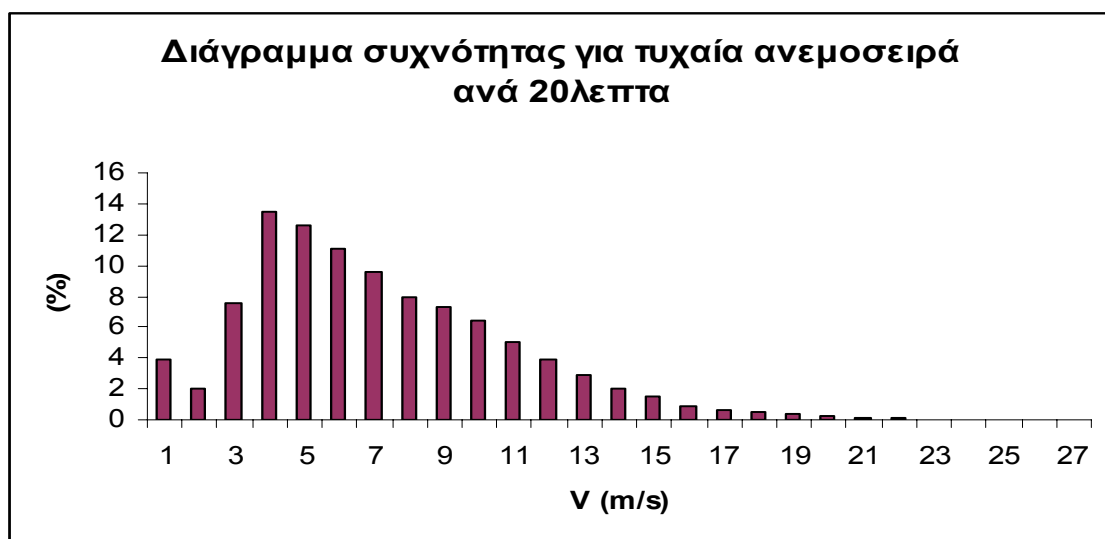
Η πρώτη μέθοδος που θα χρησιμοποιήσουμε για την μοντελοποίηση του ανέμου είναι -σύμφωνα με την μέθοδο του persistence- ο σταθερός για τέσσερις ώρες άνεμος. Σύμφωνα με τα στοιχεία του ανέμου, θα θεωρήσουμε σταθερή την τιμή του ανέμου για δώδεκα τιμές του εικοσάλεπτου. Ακολουθεί το διάγραμμα συχνότητας ανέμου με βήμα 1m/s (διάγραμμα 1).



Διάγραμμα 2-2 Συχνότητα ταχύτητας ανέμου για 4ωρο μοντέλο πρόβλεψης

2.2.3 Τυχαία χρονοσειρά ανέμου

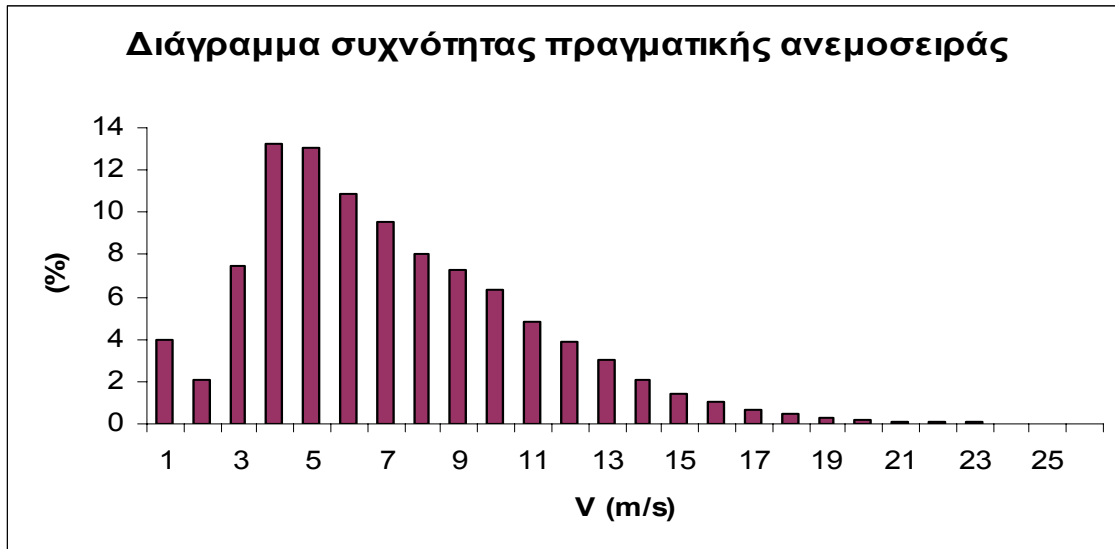
Η τρίτη μέθοδος πρόβλεψης του ανέμου παράγεται από ένα στατιστικό μοντέλο. Ως βάση έχει και αυτή την πραγματική ανεμοσειρά της Κύθνου. Στην συνέχεια παράγεται ένας τυχαίος αριθμός ο οποίος θα καθορίζει αν η τιμή της Κύθνου θα αυξηθεί ή θα μειωθεί. Αυτή η μεταβολή θα είναι το γινόμενο της τιμής του ανέμου πολλαπλασιασμένου με έναν δεύτερο τυχαίο αριθμό ο οποίος θα έχει μέση τιμή $0,1103^{14}$ και τυπική απόκλιση $\frac{0,1103}{3,27} \approx 0,0337$. Ο αριθμός που επιλέχθηκε, αντιστοιχεί στο 99,5% των περιπτώσεων της κανονικής κατανομής του ανέμου. Με αυτό τον τρόπο θα παραχθούν τυχαίες τιμές εικοσάλεπτου, τόσες τον αριθμό όσες και το πλήθος της ανεμοσειράς της Κύθνου. Στο διάγραμμα 3 φαίνεται η συχνότητα του ανέμου.



Διάγραμμα 2-3 Συχνότητα ταχύτητας ανέμου για στατιστικό μοντέλο πρόβλεψης

2.3 Πραγματική ανεμοσειρά

Στο σημείο αυτό θα παρουσιαστεί η πραγματική χρονοσειρά ανέμου, δηλαδή ο άνεμος που μετρήθηκε ανά 20 λεπτά όλο το έτος 2002. Κάποιες χρονικές στιγμές, το σύστημα SCADA μέτρησης του ανέμου παρουσίασε εμπλοκές. Οι μετρήσεις αυτές δεν θα ληφθούν υπόψη μας, ούτε βεβαίως λήφθηκαν στις προηγούμενες περιπτώσεις. Στο διάγραμμα 4 φαίνεται η συχνότητα ανέμου της Κύθνου.



Διάγραμμα 2-4 Συχνότητα ταχύτητας ανέμου για τον πραγματικό άνεμο

Στην συνέχεια με χρήση προγράμματος λογιστικών φύλλων, υπολογίζεται η μέση τιμή του ανέμου καθώς και η τυπική απόκλιση της. Θα είναι:

$$\bar{V} = 6.64 \text{ m/s}$$

$$\sigma = 3.65 \text{ m/s}$$

2.4 Σύγκριση των σεναρίων

2.4.1 Σύγκριση με χρήση μέσων όρων και τυπικών αποκλίσεων

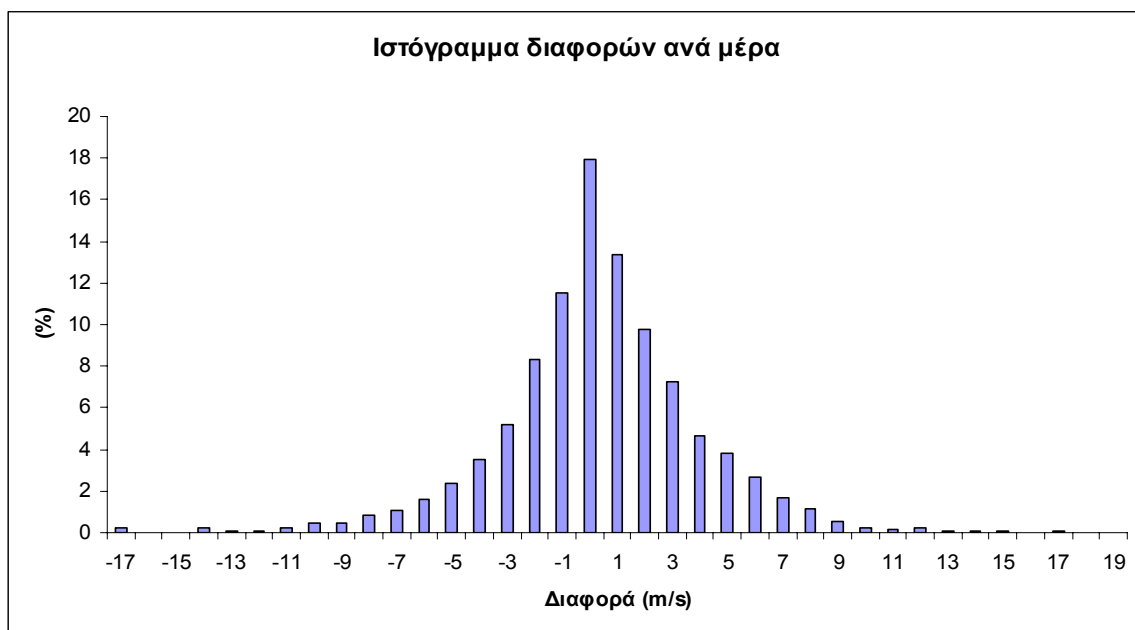
Στο σημείο αυτό θα γίνει μια ποιοτική σύγκριση των διαφόρων μεθόδων πρόβλεψης του ανέμου με βάση την πραγματική ανεμοσειρά της Κύθνου. Αρχικά θα γίνει η εξέταση με βάση τους μέσους όρους τιμών και τις τυπικές αποκλίσεις αυτών που υπολογιστήκαν έπειτα από κάθε παρουσίαση των μεθόδων.

Όπως μπορούμε να δούμε από την στοιχειώδη αυτή στατιστική ανάλυση, η μέθοδος που έχει τα χειρότερα αποτελέσματα είναι το persistence με βάση το 24ωρο. Η θεώρηση του ότι ο άνεμος παραμένει σταθερός όλο το 24ωρο μπορεί μεν να είναι πολύ απλός και εύκολος στην χρήση, και με λιγότερους υπολογισμούς βεβαίως, αλλά η ποιότητα των αποτελεσμάτων του δεν είναι η ζητούμενη. Βλέπουμε ότι υπάρχει σημαντική πτώση του μέσου όρου της ταχύτητας καθώς και αύξηση της τυπικής της απόκλισης, σε σχέση με την πραγματική.

Από την διεθνή βιβλιογραφία είναι γνωστό ότι η μέθοδος του persistence δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα για χρονικό ορίζοντα λεπτών έως και μερικών ωρών και όχι σε βάθος χρόνου 24ώρου. Στην χρονοσειρά με 4ωρο persistence, παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα είναι πολύ καλύτερα από ότι ανά 24 ώρες, και μάλιστα είναι πολύ κοντά και στην τυχαία αλλά και στην πραγματική ανεμοσειρά. Αυτό είναι και εμφανές ακόμα και από τα διαγράμματα συχνοτήτων του ανέμου. Παρατηρούμε την ομοιότητα των διαγραμμάτων, τόσο του 4ωρου persistence, της τυχαίας και της πραγματικής, εν αντιθέσει με το 24ωρο persistence.

Οι μέσες τιμές και οι τιμές της τυπικής απόκλισης δίνουν μία εικόνα για την συμπεριφορά του κάθε μοντέλου. Δεν δίνουν όμως αρκετές πληροφορίες στην περίπτωση που η κατανομή δεν είναι γνωστή για την συμπεριφορά του μοντέλου. Για αυτό το λόγο θα εξεταστεί και μία μέθοδος με σφάλματα που ακολουθεί.

Αρχικά θα υπολογιστεί για κάθε 20λεπτο η τιμή του ανέμου και για τις τρεις μεθόδους προβλέψεως. Στην συνέχεια θα υπολογιστεί η διαφορά αυτών σε σχέση με την πραγματική ανεμοσειρά και έτσι θα έχει υπολογιστεί το σφάλμα που παρουσιάζουν οι μέθοδοι μας. Σε όποιες γίνεται χρήση του persistence, θα θεωρούνται για 72 εικοσάλεπτα -για την ημερήσια- και για 12 εικοσάλεπτα -για την τετράωρη- σταθερές τιμές για τον άνεμο. Στην συνέχεια θα γίνει ένα ιστόγραμμα των διαφορών αυτών με βήμα ένα για όλες τις μεθόδους. Το διάγραμμα 5 είναι το ιστόγραμμα διαφορών για την ανά μέρα σταθερή πρόβλεψη.

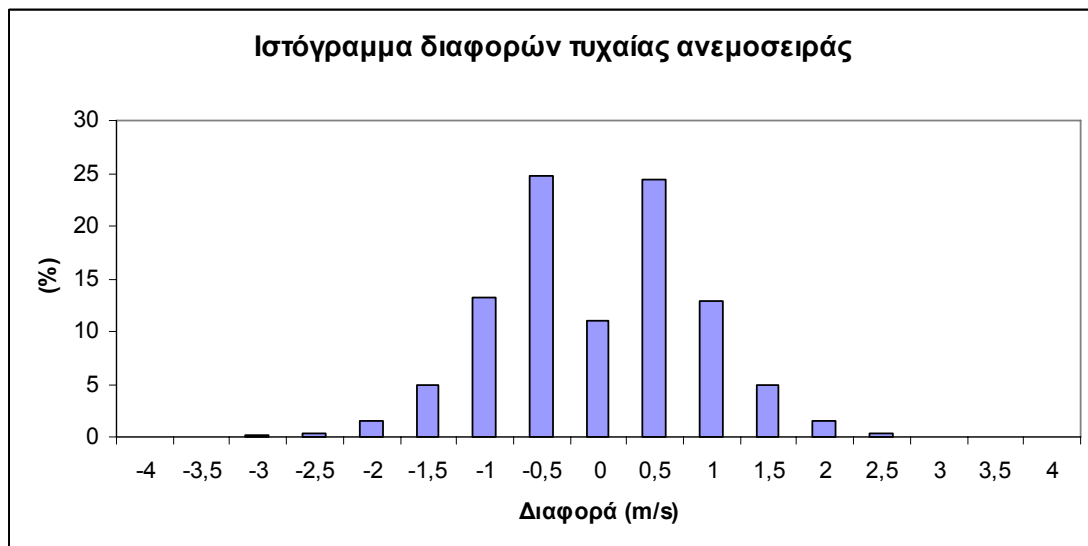


Διάγραμμα 2-5 Ιστόγραμμα σφαλμάτων ανέμου για το 24ωρο σταθερό μοντέλο

Το διάγραμμα 6 είναι το ιστόγραμμα για την τετράωρη πρόβλεψη και το έβδομο διάγραμμα για την πρόβλεψη με βάση το στατιστικό μοντέλο:



Διάγραμμα 2-6 Ιστόγραμμα σφαλμάτων ανέμου για 4ωρο σταθερό μοντέλο



Διάγραμμα 2-7 Ιστόγραμμα σφαλμάτων ανέμου για το στατιστικό μοντέλο

Από τα ανωτέρω διαγράμματα, παρατηρείται η ποιοτική διαφορά των μεθόδων μεταξύ τους. Στην τυχαία ανεμοσειρά, τα σφάλματα είναι πολύ πιο μικρά σε σχέση με τις άλλες δύο μεθόδους. Είναι ενδεικτικό ότι η μεγαλύτερη διαφορά είναι η 3.82 m/s για θετική διαφορά ενώ η μέγιστη αρνητική είναι -3.53 m/s. Για την μέθοδο του persistence με 4ωρη βάση, τα μέγιστα και τα ελάχιστα σφάλματα είναι 15.8 και -17.6 m/s αντίστοιχα. Για την 24ωρη σταθερή τιμή του ανέμου θα είναι 19 και -17 m/s. Επιπλέον, στην τυχαία ανεμοσειρά το 38% των σφαλμάτων είναι περίπου ίσα με το μηδέν, ποσοστό που είναι παρόμοιο με το 4ωρο persistence ενώ στην 24ωρη πρόβλεψη μόλις το 17% είναι μικρότερο της μονάδας. Στον πίνακα που ακολουθεί έχουν υπολογιστεί οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις των σφαλμάτων:

| | Μέσος Όρος (m/s) | Τυπική απόκλιση (m/s) |
|-------------------|------------------|-----------------------|
| Τυχαία Ανεμοσειρά | 0.0075 | 0.875 |
| 4ωρο persistence | 0.0047 | 1.870 |
| 24ωρο persistence | 0.3785 | 3.657 |

Πίνακας 2-1 Στατιστικά στοιχεία σφαλμάτων

Λαμβάνοντας σαν μέτρο σύγκρισης μόνο την τυπική απόκλιση, αποδεικνύεται το αναμενόμενο, ότι δηλαδή η τυχαία ανεμοσειρά είναι πολύ καλύτερη από τις άλλες δύο. Είναι ενδεικτικό αυτού, ότι η 4ωρη πρόβλεψη έχει διπλάσια τυπική απόκλιση σε σχέση με την τυχαία, όπως επίσης ότι η 24ωρη είναι σχεδόν διπλάσια ακόμα και από την 4ωρη.

2.4.2 Σύγκριση με εύρος σφάλματος

Ένα τελευταίο στατιστικό στοιχείο που θα παρουσιαστεί είναι το εύρος του σφάλματος. Αρχικά θα γίνει μια κατάταξη των τιμών του σφάλματος, από το μικρότερο στο μεγαλύτερο, δηλαδή σε αύξουσα σειρά. Έπειτα θα βρεθούν για κάποια διαστήματα (99%, 95% και 90%) οι τιμές των σφαλμάτων. Για το διάστημα 90% θα βρεθούν τα όρια του που είναι το 5% και το 95%. Με αυτό τον τρόπο τα διαστήματα έχουν εύρος το επιθυμητό. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την στατιστική ανάλυση.

| | 99% | | 95% | | 90% | |
|--------------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | 0.50 % | 99.50% | 2.5% | 97.5% | 5% | 95% |
| | (m/s) | (m/s) | (m/s) | (m/s) | (m/s) | (m/s) |
| 24ωρο -persistence | -12.70 | 12.50 | -7.40 | 7.80 | -5.50 | 6.30 |
| 4ωρο persistence | -5.70 | 5.30 | -3.60 | 4.00 | -2.80 | 3.00 |
| Στατιστικό μοντέλο | -2.22 | 2.26 | -1.66 | 1.65 | -1.37 | 1.39 |

Πίνακας 2-2 Εύρος σφάλματος

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται πόση μεγάλη είναι η διασπορά του σφάλματος σε κάθε μέθοδο. Η διασπορά του σφάλματος για το 24ωρο μοντέλο έχει εξαπλάσια τιμή από αυτή του στατιστικού μοντέλου. Εδώ φαίνεται η διαφορά αυτού του κριτηρίου από τον μέσο όρο. Οι μέσοι όροι του στατιστικού και του 4ωρου μοντέλου είναι σχεδόν ίσοι ενώ οι τιμές των ορίων της διασποράς είναι σχεδόν διπλάσιες.

Κεφάλαιο 3: Αιολική παραγωγή

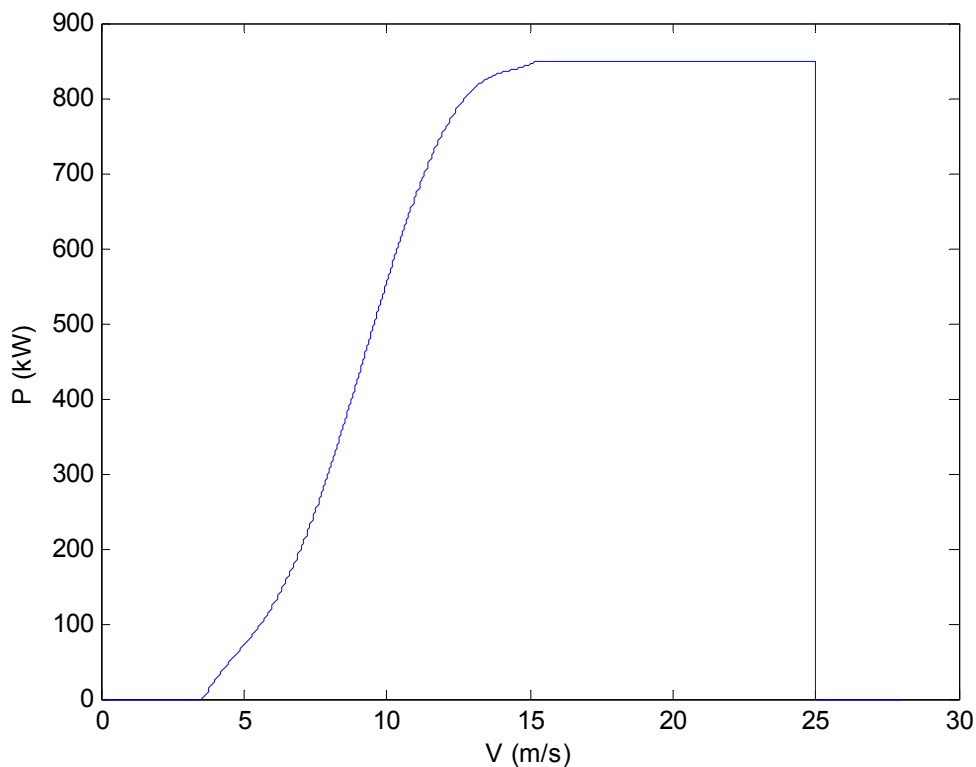
3.1 Εισαγωγή

Στο προηγούμενο κεφάλαιο παρουσιάστηκαν τρία διαφορετικά μοντέλα πρόβλεψης ανέμου. Τα μοντέλα αυτά θα χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη στην συνέχεια της αιολικής παραγωγής. Επειδή η εργασία αυτή στην συνέχεια θα διαπραγματευθεί το ηλεκτρικό σύστημα της νήσου Μήλος, θα επιλέξουμε ως ανεμογεννήτρια το μοντέλο V-52 της εταιρίας VESTAS. Αφού μοντελοποιηθεί η ανεμογεννήτρια στο πρόγραμμα MATLAB, θα εφαρμοστούν τα μοντέλα ανέμου από πριν. Στην συνέχεια θα γίνει μια στατιστική ανάλυση των μοντέλων αυτών ώστε να προσδιοριστεί το αναμενόμενο σφάλμα παραγωγής για την ανεμογεννήτρια.

3.2 Στοιχεία ανεμογεννήτριας

3.2.1 Η ανεμογεννήτρια VESTAS V-52

Η ανεμογεννήτρια που θα εγκατασταθεί θα είναι η VESTAS V-52. Η γεννήτρια αυτή έχει συμπαγές διαστάσεις, κάνοντας την εύκολα μεταφερόμενη στην ξηρά. Επιπλέον η ανεμογεννήτρια αυτή είναι τύπου pitch και έτσι έχει βελτιστοποιημένα αποτελέσματα σε μεσαίες και μεγάλες ταχύτητες ανέμου. Τέλος το ύψος της ανεμογεννήτριας κυμαίνεται μεταξύ 40 και 86 μέτρων. Ακολουθεί η γραφική παράσταση της παραγομένης ισχύος σε σχέση με την ταχύτητα του ανέμου (εικόνα 1)¹⁵



Εικόνα 3-1 Καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας Vestas V-52

3.2.2 Μοντελοποίηση της ανεμογεννήτριας

Για την διαδικασία της προσομοίωσης της λειτουργίας της ανεμογεννήτριας, θα πρέπει να μοντελοποιηθεί η ανεμογεννήτρια με την χρήση του Matlab. Ο άνεμος που αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο θα είναι η είσοδος στο μοντέλο της γεννήτριας.

Από την γραφική παράσταση θα έχουμε τέσσερις περιοχές παραγόμενης ισχύος. Η πρώτη θα είναι από το 0 m/s έως τα 4 m/s περίπου όπου δεν έχουμε παραγωγή ισχύος, η δεύτερη από 4 m/s έως 12 m/s όπου η παραγόμενη ισχύς συνεχώς αυξάνεται, η τρίτη από 12 m/s έως 25 m/s όπου η παραγόμενη ενέργεια είναι ίση με την μέγιστη (850 kW) και τέλος η τέταρτη για ταχύτητες άνω των 25 m/s η ανεμογεννήτρια μπαίνει σε αποκοπή για λόγους ασφαλείας. Η μαθηματική περιγραφή για αυτή την καμπύλη ισχύος δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$P = \begin{cases} 0kW & 0 - 3.59(m/s) \\ (0.035929u^5 - 1.6999u^4 + 29.338u^3 - 225.7u^2 + 839.38u - 1201)kW & 3.59 - 15.27(m/s) \\ 850kW & 15.27 - 25(m/s) \\ 0kW & 25 - 30(m/s) \end{cases}$$

3.3 Παραγωγή ενέργειας με βάση τα σενάρια του ανέμου

Σε προηγούμενο κεφάλαιο έχουν αναφερθεί οι τρεις τρόποι με τους οποίους θα γίνει η μοντελοποίηση του ανέμου. Επιγραμματικά αυτοί ήταν το 24ωρο persistence, το 4ωρο persistence και τέλος ένα στατιστικό μοντέλο με βάση την πραγματική ανεμοσειρά.

Στο σημείο αυτό θα υπολογιστεί η συνολική παραγόμενη ενέργεια από τα υπάρχοντα τρία σενάρια και τέλος με βάση τον πραγματικό άνεμο. Τα αποτελέσματα από τα μοντέλα υπάρχουν συγκεντρωμένα στον ακόλουθο πίνακα:

| Σενάριο | Συνολική ενέργεια για 12 μήνες (MWh) |
|--------------------|--------------------------------------|
| 24ωρο Persistence | 2090,44 |
| 4ωρο Persistence | 2269,53 |
| Στατιστικό μοντέλο | 2245,28 |
| Πραγματικός άνεμος | 2263,04 |

Πίνακας 3-1: Ετήσια αιολική παραγωγή

Όπως μπορεί κάποιος να παρατηρήσει υπάρχουν αποκλίσεις μεταξύ των σεναρίων και του πραγματικού ανέμου. Όπως μπορούμε να δούμε, το καλύτερο μοντέλο είναι το στατιστικό καθώς δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ της παραγόμενης ενέργειας με την πραγματική. Στην συνέχεια είναι το 4ωρο persistence αλλά με μικρή διαφορά με το στατιστικό μοντέλο και τέλος το 24ωρο persistence. Η μαθηματική διαδικασία με την οποία επάγεται ποια μέθοδος είναι καλύτερη ακολουθεί.

3.4 Κριτήριο κανονικού σφάλματος και στατιστική

Σε αυτό το σημείο θα εισαχθούν τα μαθηματικά σύμβολα που χρησιμοποιούνται συχνά στην πρόβλεψη της αιολικής παραγωγής. Στην συνέχεια, αφού παρουσιαστεί η μέθοδος η οποία θεωρείται σωστή που στην περίπτωση μας είναι η αληθινή αιολική παραγωγή, θα οριστούν τα σφάλματα και η στατιστική αυτών. Με τα αποτελέσματα αυτά θα συγκρίνουμε τα μοντέλα και θα εξαχθεί το καλύτερο από αυτά.

3.4.1 Μαθηματικά σύμβολα

| | |
|----------------------------|---|
| P_{inst} | Εγκατεστημένη ισχύς αιολικού πάρκου |
| $k = 1, 2, \dots, k_{max}$ | Ορίζοντας πρόβλεψης (αριθμός βημάτων χρόνου) |
| k_{max} | Μέγιστος ορίζοντας πρόβλεψης |
| N | Αριθμός δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την αποτίμηση των μοντέλων |
| $P(t+k)$ | Μετρούμενη ισχύς τον χρόνο $t+k$ |
| $\hat{P}(t+k t)$ | Πρόβλεψη για την ισχύ τον χρόνο $t+k$ που έγινε την χρονική στιγμή t |
| $e(t+k t)$ | Σφάλμα που αντιστοιχεί στον χρόνο $t+k$ για πρόβλεψη που έγινε την χρονική στιγμή t |
| $\varepsilon(t+k t)$ | Κανονικοποιημένο σφάλμα πρόβλεψης (κανονικοποιήθηκε με την εγκατεστημένη ισχύ) |

3.4.2 Μοντέλο αναφοράς

Αξίζει να σχεδιασθεί και να υλοποιηθεί ένα προηγμένο εργαλείο πρόβλεψης της αιολικής παραγωγής το οποίο θα είναι καλύτερο από τα μοντέλα αναφοράς, τα οποία είναι συνήθως αποτελέσματα απλών σκέψεων και όχι κάποιου μοντέλου. Ίσως το πιο σύνηθες των μοντέλων αναφοράς είναι η μέθοδος του persistence.

Αυτή η απλοϊκή πρόβλεψη προβλέπει ότι η μελλοντική αιολική παραγωγή θα είναι η ίδια με την τελευταία μετρούμενη ισχύ, δηλαδή:

$$\hat{P}_p(t+k|t) = P(t) \quad (1)$$

Παρά την φαινομενική του απλότητα, το μοντέλο του persistence είναι δύσκολο να ξεπεραστεί για βραχυπρόθεσμες προβλέψεις των 4-6 ωρών, λόγω του ότι οι αλλαγές στην ατμόσφαιρα είναι αργές.

Μια γενίκευση του persistence είναι η αντικατάσταση της τελευταίας τιμής από την μέση των προηγούμενων n μετρούμενων τιμών:

$$\hat{P}_{MA,n}(t+k|t) = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} P(t-i) \quad (2)$$

Τέτοιου είδους μοντέλα αναφέρονται και σαν προβλέψεις κινητού μέσου όρου. Ασυμπτωτικά (όταν το n πλησιάζει το άπειρο), τείνουν στον ολικό μέσο όρο:

$$\hat{P}_o(t+k|t) = \bar{P}(t) \quad (3)$$

όπου $P(t)$ είναι η μέση τιμή όλων των διαθέσιμων παρατηρήσεων της αιολικής ισχύς τον χρόνο t . Αυτό το τελευταίο μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν μοντέλο αναφοράς, αλλά επειδή δεν είναι αρκετά δυναμικό, η απόδοση του δεν είναι αρκετά καλή για τα πρώτα χρονικά διαστήματα. Όμως, όσο ο χρόνος μεγαλώνει, οι προβλέψεις γίνονται πολύ καλύτερες από αυτές της μεθόδου με το persistence.

Στην δική μας περίπτωση, έχουμε 3 διαφορετικά μοντέλα. Από αυτά, τα 2 χρησιμοποιούν την μέθοδο του persistence για 24ώρες και για 4ώρες ενώ το τρίτο είναι ένα στατιστικό μοντέλο. Σαν μοντέλο αναφοράς θα χρησιμοποιηθεί η πραγματική αιολική παραγωγή και με βάση αυτό θα βρεθούν και θα αναλυθούν τα σφάλματα για κάθε περίπτωση. Βέβαια θα πρέπει να αναφερθεί ότι και η πραγματική παραγωγή έχει στοιχεία persistence καθώς θεωρεί τον άνεμο σταθερό για 20 λεπτά.

3.4.3 Ορισμός του κριτηρίου σφάλματος¹⁶

3.4.3.1 Ορισμός του σφάλματος πρόβλεψης

Στο πεδίο του χρόνου γενικότερα, το σφάλμα πρόβλεψης ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ της μετρούμενης και της μετρούμενης τιμής. Για αυτό τον λόγο, από την στιγμή που θεωρούμε ξεχωριστά κάθε πρόβλεψη, το σφάλμα πρόβλεψης για τον χρόνο t ορίζεται ως:

$$e(t+k|t) = P(t+k) - \hat{P}(t+k|t) \quad (4)$$

Αρκετά συχνά είναι βολικό να οριστεί και το κανονικοποιημένο σφάλμα πρόβλεψης:

$$\varepsilon(t+k|t) = \frac{1}{P_{inst}} (P(t+k) - \hat{P}(t+k|t)) \quad (5)$$

Κάθε σφάλμα πρόβλεψης μπορεί να αναλυθεί στο συστηματικό σφάλμα μ_e και στο τυχαίο ξ_e . Ισχύει δηλαδή:

$$e = \mu_e + \xi_e \quad (6)$$

Όπου μ_e είναι μια σταθερά και το ξ_e είναι μια τυχαία μεταβλητή με μηδενικό μέσο όρο.

3.4.3.2 Ορισμός των κριτηρίων σφάλματος

Η στατιστική απόκλιση, η οποία αντιστοιχεί στο συστηματικό σφάλμα, υπολογίζεται ως ο μέσος όρος των σφαλμάτων πάνω σε όλη την χρονική περίοδο που αποτιμάται και υπολογίζεται ως εξής:

$$BIAS(k) = \hat{\mu}_e(k) = \bar{e}(k) = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N e(t+k|t) \quad (7)$$

Υπάρχουν 2 βασικά κριτήρια που απεικονίζουν την απόδοση ενός μοντέλου πρόβλεψης: το μέσο απόλυτο σφάλμα (Mean Absolute Error MAE) και η ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (Root Mean Squared Error RMSE). Το μέσο απόλυτο σφάλμα ορίζεται:

$$MAE(k) = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N |e(t+k|t)| \quad (8)$$

Πρέπει στο σημείο αυτό να λεχθεί ότι τόσο το συστηματικό όσο και το τυχαίο σφάλμα συνεισφέρουν στην τιμή του μέσου απόλυτου σφάλματος..

Πριν παρουσιαστεί ο μαθηματικός ορισμός της ρίζας του μέσου τετραγωνικού σφάλματος, είναι χρήσιμο να οριστεί πρώτα το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (MSE):

$$MSE(k) = \frac{\sum_{t=1}^N (e(t+k|t))^2}{N} \quad (9)$$

Η ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος είναι απλά:

$$RMSE(k) = \sqrt{MSE} = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^N (e(t+k|t))^2}{N}} \quad (10)$$

Τόσο το συστηματικό όσο και το τυχαίο σφάλμα συνεισφέρουν στην τιμή του RMSE.

Στατιστικά οι τιμές των BIAS και MAE συνδέονται με το σφάλμα πρόβλεψης στην ίδια δύναμη, άρα και τα κριτήρια συνδέονται άμεσα με την παραγομένη ενέργεια. Η τιμή του RMSE συνδέεται με την τετραγωνική δύναμη, άρα και με την στατιστική διακύμανση του σφάλματος πρόβλεψης.

Όλα τα κριτήρια σφάλματος που παρουσιάστηκαν παραπάνω μπορούν να υπολογιστούν κάνοντας χρήση του σφάλματος πρόβλεψης ή του κανονικοποιημένου σφάλματος. Το κέρδος από με την χρήση των κανονικοποιημένων μεγεθών είναι ότι τα αποτελέσματα θα είναι ανεξάρτητα από το μέγεθος της αιολικής εγκατάστασης.

3.4.4 Σύγκριση των μοντέλων

Είναι ενδιαφέρον να υπογραμμιστεί και να ποσοτικοποιηθεί το κέρδος του να προτιμάται ένα προηγμένο μοντέλο από το αναφοράς. Αυτό το κέρδος ορίζεται σαν:

$$\text{Im } p_{ref,EC}(k) = \frac{EC_{ref}(k) - EC(k)}{EC_{ref}(k)} \quad (11)$$

Όπου σαν EC μπορούν να θεωρηθούν είτε τα MAE είτε τα RMSE, ακόμα και τα κανονικοποιημένα αντίστοιχα ποσά.

Ένας άλλος τρόπος που αποδεικνύει την καλύτερη απόδοση των προηγμένων μοντέλων πρόβλεψης είναι η χρήση του συντελεστή αποφασιστικότητας R^2 . Ο συντελεστής αυτός αντιπροσωπεύει την ικανότητα του μοντέλου να εξηγήσει την μεταβολή των δεδομένων. Η τιμή του συντελεστή είναι μεταξύ των τιμών 0 και 1 και για λόγους απλότητας δεν θα χρησιμοποιηθεί σε αυτή την εργασία.

3.5 Εφαρμογή των κριτηρίων

Σε αυτό το σημείο θα εφαρμόσουμε την ανωτέρω στατιστική ανάλυση για την αιολική παραγωγή. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται συγκεντρωμένες οι τιμές του BIAS, MAE και RMSE. Επιπλέον δίνονται και οι τιμές των κανονικοποιημένων αυτών μεγεθών.

| | BIAS (kW) | MAE (kW) | RMSE (kW) | NMAE | NRMSE |
|--------------------|-----------|----------|-----------|-------|-------|
| 24ωρο persistence | 24,37 | 180.32 | 272.64 | 0.212 | 0.321 |
| 4ωρο persistence | -0.55 | 81.11 | 140.79 | 0.095 | 0.166 |
| Στατιστικό μοντέλο | 0.53 | 51.85 | 73.12 | 0.061 | 0.086 |

Πίνακας 3-2: Μέτρα σφάλματος

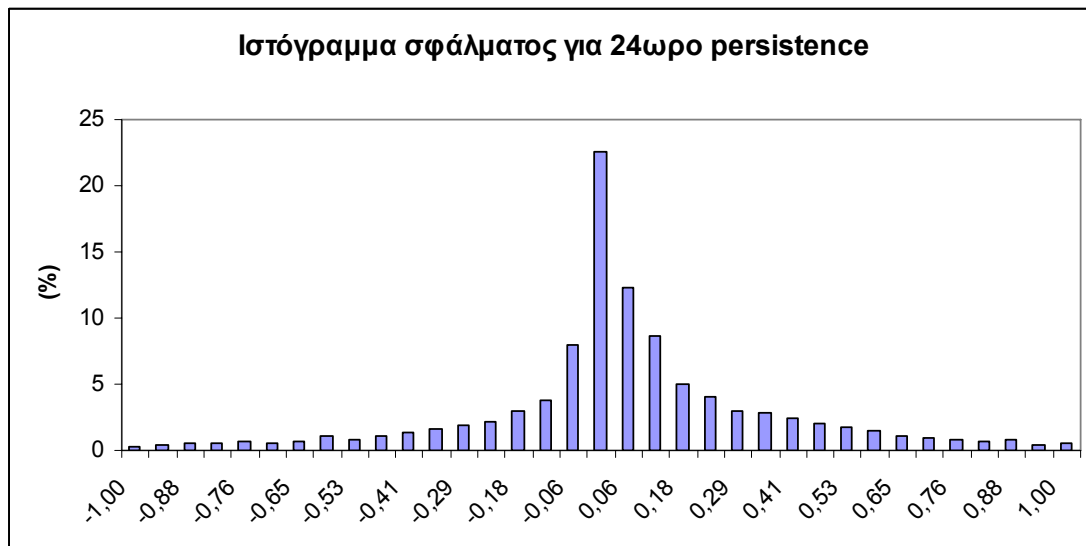
Σε αυτή την εργασία, σαν μοντέλο αναφοράς θεωρείται η ίδια η πραγματική αιολική παραγωγή. Άρα δεν μπορεί να γίνει άμεση σύγκριση των αποτελεσμάτων με βάση το κέρδος ή τον συντελεστή αποφασιστικότητας. Άρα η όποια σύγκριση θα γίνει με βάση τις τιμές BIAS, NMAE και NRMSE.

Με βάση την BIAS, βλέπουμε πόσο κοντά σε ποιότητα είναι τα αποτελέσματα του 4ωρου persistence και του στατιστικού μοντέλου, ενώ τα αποτελέσματα του 24ωρου persistence είναι απογοητευτικά. Το ίδιο ισχύει και για τα NMAE και NRMSE, όπου οι τιμές του 24ωρου persistence είναι σχεδόν διπλάσιες από τα άλλα δύο μοντέλα.

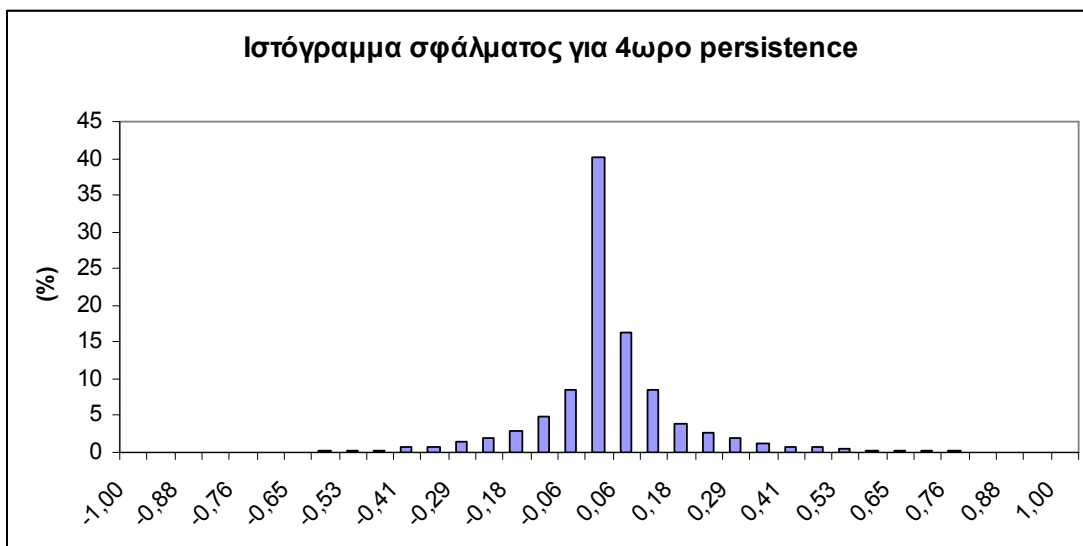
Στην σύγκριση του στατιστικού μοντέλου με το 4ωρο persistence, κάνοντας χρήση του BIAS, βλέπουμε ότι τα δύο αυτά μοντέλα δεν απέχουν πολύ μεταξύ τους. Όμως με βάση τα άλλα δύο κριτήρια σφάλματος, βλέπουμε ότι τα αποτελέσματα του στατιστικού μοντέλου είναι καλύτερα ποιοτικά. Εύκολα λοιπόν συνάγεται το συμπέρασμα ότι το στατιστικό μοντέλο σαν προηγμένο σύστημα πρόβλεψης έχει τα καλύτερα αποτελέσματα. Ένας άλλος τρόπος απόδειξης αυτού είναι και με χρήση των διαστημάτων εμπιστοσύνης που ακολουθούν.

3.6 Εύρος σφάλματος

Στο σημείο αυτό θα παρουσιαστούν τα ιστογράμματα του σφάλματος για κάθε ένα μοντέλο. Τα παρακάτω διαγράμματα είναι τα ιστογράμματα για το 24ωρο persistence (διάγραμμα 3-1), 4ωρο persistence (διάγραμμα 3-2) και για το στατιστικό μοντέλο (διάγραμμα 3-3).



Διάγραμμα 3-1: Ιστόγραμμα σφάλματος αιολικής παραγωγής για 24ωρο σταθερό μοντέλο πρόβλεψης



Διάγραμμα 3-2: Ιστόγραμμα σφάλματος αιολικής παραγωγής για 4ωρο μοντέλο πρόβλεψης



Διάγραμμα 3-3: Ιστόγραμμα σφάλματος αιολικής παραγωγής για στατιστικό μοντέλο πρόβλεψης

Είναι εμφανές από τα ιστογράμματα του σφάλματος ότι το στατιστικό μοντέλο πρόβλεψης της αιολικής παραγωγής έχει μικρότερα σφάλματα από ότι τα μοντέλα με το σταθερό persistence. Αυτό θα φανεί καλύτερα αν γίνει και πάλι η ανάλυση για τα διάφορα διαστήματα σφάλματος. Τα διαστήματα αυτά είναι όπως και πριν τα 90%, 95% και 99%. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης:

| | 99% | | 95% | | 90% | |
|--------------------|-----------|------------|-----------|------------|---------|----------|
| | 0.5% (kW) | 99.5% (kW) | 2.5% (kW) | 97.5% (kW) | 5% (kW) | 95% (kW) |
| 24ωρο persistence | -810.29 | 824.69 | -633.20 | 657.76 | -478.37 | 513.65 |
| 4ωρο persistence | -522.42 | 598.89 | -304.46 | 341.96 | -222.87 | 228.38 |
| Στατιστικό μοντέλο | -177.67 | 210.11 | -146.83 | 163.43 | -127.61 | 137.41 |

Πίνακας 3-3: Εύρος σφάλματος αιολικής παραγωγής

Η πληροφορία του παραπάνω πίνακα μπορεί να φανεί καλύτερα αν αντί για τιμές ισχύος, παρουσιαστούν ποσοστιαίες τιμές. Μετά την διαίρεση με την εγκατεστημένη ισχύ ο πίνακας θα είναι:

| | 99% | | 95% | | 90% | |
|--------------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| | 0.5% | 99.5% | 2.5% | 97.5% | 5% | 95% |
| | (%) | (%) | (%) | (%) | (%) | (%) |
| 24ωρο persistence | -95,33 | 97,02 | -74,49 | 77,38 | -56,28 | 60,43 |
| 4ωρο persistence | -61,46 | 70,46 | -35,82 | 40,23 | -26,22 | 26,87 |
| Στατιστικό μοντέλο | -20,90 | 24,72 | -17,27 | 19,23 | -15,01 | 16,17 |

Πίνακας 3-4: Κανονικοποιημένο εύρος σφάλματος

Από τον πίνακα που μόλις παρουσιάστηκε φαίνεται πόσο καλύτερο είναι το στατιστικό μοντέλο απέναντι στα μοντέλα που κάνουν χρήση του persistence. Οι μεγαλύτερες διαφορές εμφανίζονται στο διάστημα 99% και αυτό γιατί το στατιστικό μοντέλο δεν παρουσιάζει τόσες μεγάλες ακραίες τιμές όπως τα άλλα μοντέλα.

Κεφάλαιο 4: Πολιτική και Μικροπρογραμματισμός Αντλιών

4.1 Εισαγωγή

Σε προηγούμενο κεφάλαιο αναλύθηκε η αιολική παραγωγή, πως δηλαδή με βάση τον άνεμο που πνέει στο νησί που εξετάζεται, υπολογίζεται η παραγομένη ισχύς με 20λέπτα χρονικά βήματα. Η ισχύς αυτή θα εκμεταλλεύεται από μια μονάδα αφαλάτωσης για την παραγωγή πόσιμου ύδατος όπως επίσης θα μπορεί να πουληθεί στην εταιρία ηλεκτρισμού. Το εργοστάσιο αποτελείται από νησίδες-modules για τις οποίες στην συνέχεια θα περιγράψουν ορισμένες συνθήκες που θα πρέπει να πληρούνται στην λειτουργία τους. Ακόμα θα περιγραφεί η πολιτική της επιχείρησης αφαλάτωσης απέναντι στην Εταιρία Ηλεκτρισμού και τέλος οι ακραίες συνθήκες στην λειτουργία και στην παραγωγή του εργοστασίου.

4.2. Συνθήκες και πολιτική λειτουργίας νησιωτικής μονάδος αφαλάτωσης.

4.2.1 Λειτουργία modules

Αρχικά θα εξηγηθεί ο όρος νησίδα αφαλάτωσης. Με τον όρο αυτό εννοείται μια σειρά από διαδικασίες και μηχανισμούς που έχουν αποτέλεσμα την παραγωγή πόσιμου από θαλάσσιο ή υφάλμυρο νερού. Συνήθως υπάρχει εγκατεστημένη μία αντλία γεώτρησης η οποία μεταφέρει το μη πόσιμο νερό από τον χώρο που βρίσκεται (θάλασσα ή γεώτρηση) στο εργοστάσιο. Έπειτα υπάρχει ο μηχανισμός της αφαλάτωσης που συνήθως είναι ο μηχανισμός της αντίστροφης όσμωσης και τέλος μία ακόμα αντλία η οποία μεταφέρει το πόσιμο πλέον νερό από το εργοστάσιο σε ένα αποθηκευτικό χώρο (δεξαμενή). Άρα με τον όρο νησίδα, θα εννοείται ότι χρειάζεται για να λειτουργήσει μία μονάδα αφαλάτωσης.

Η λειτουργία των modules θα προγραμματίζεται από πριν με βάση τον άνεμο και την προβλεπόμενη στάθμη του νερού στην δεξαμενή. Υπάρχει όμως και ένας περιορισμός στην λειτουργία του εργοστασίου: στην περίπτωση που για κάποια αιτία ένα module πάψει να λειτουργεί, τότε δεν θα μπορεί να επανενταχθεί στην παραγωγή αμέσως αλλά θα πρέπει να μείνει εκτός κάποιο χρονικό διάστημα. Το διάστημα αυτό εξαρτάται κυρίως από την πολιτική συντήρησης του εργοστασίου.

Αυτή η παύση λειτουργίας θα γίνεται για να μην καταπονούνται τα μηχανικά μέρη των μεμβρανών της αφαλάτωσης. Θα αφήνεται δηλαδή ικανό χρονικό διάστημα στην μονάδα παραγωγής για να ηρεμήσουν τα συστήματα λειτουργίας. Συνήθως το διάστημα αυτό διαρκεί από κάποια λεπτά έως και ώρες. Όσο πιο μεγάλες και ισχυρές είναι οι μηχανές, τόσο μεγαλύτερος θα πρέπει να είναι ο χρόνος σβέσης.

Η εργασία αυτή θα έχει σαν μία από τις εξόδους της τον μικροπρογραμματισμό της παραγωγής του εργοστασίου. Συγκεκριμένα για χρονικό βήμα της τάξης των 20 λεπτών θα προβλέπεται όχι μόνο ο

αριθμός των μονάδων αφαλάτωσης αλλά και ποιες συγκεκριμένα θα λειτουργούν. Η ανάλυση αυτή θα γίνει σε επίπεδο ώρας και στην συνέχεια θα γίνει η κατανομή των νησίδων σε 20λεπτα. Λόγω του ότι η ανάλυση γίνεται σε ωριαία βάση θα δημιουργηθούν προβλήματα σε σχέση τον χρόνο σβέσης των νησίδων. Σε παρακάτω εδάφιο του κεφαλαίου θα παρουσιαστεί ένας αλγόριθμος διόρθωσης ο οποίος διορθώνει τα όποια προβλήματα. Η πολιτική που θα ακολουθηθεί απέναντι στο πρόβλημα είναι η διατήρηση της νησίδας σε λειτουργία αν το χρονικό διάστημα σβέσης της δεν είναι αρκετό. Η λύση αυτή θα επιφέρει την μικρότερη δυνατή φθορά στις μηχανές αλλά θα είναι ασύμφορη οικονομικά λόγω του ότι θα αγοράζεται ενέργεια από την εταιρία ηλεκτρισμού.

4.2.2 Πολιτική εργοστασίου απέναντι στην εταιρία ηλεκτρισμού

Το εργοστάσιο αφαλάτωσης λειτουργεί καθαρά σαν καταναλωτής, δηλαδή όποτε χρειάζεται ισχύ από τις τοπικές μονάδες παραγωγής θα πρέπει να την έχει. Για λόγους εξοικονόμησης ενέργειας θα εγκατασταθεί μια ανεμογεννήτρια η οποία θα συνδεθεί απευθείας στο εργοστάσιο αφαλάτωσης του οποίου η λειτουργία θα βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην αιολική παραγωγή της ανεμογεννήτριας.

Λαμβάνοντας υπόψη την αιολική παραγωγή, το εργοστάσιο θα μπορεί να υπολογίζει την ποσότητα του νερού που θα μπορεί να αφαλάτωση θέτοντας σε λειτουργία τον κατάλληλο αριθμό νησίδων. Η αιολική παραγωγή θα χρησιμοποιείται από το εργοστάσιο αφαλάτωσης, και το τυχόν πλεόνασμα θα πωλείται στην επιχείρηση ηλεκτρισμού και όποτε υπάρχει έλλειμμα ισχύος, το εργοστάσιο θα αγοράζει ενέργεια από το ηλεκτρικό σύστημα.

4.2.3 Συνθήκες λειτουργίας εργοστασίου

Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο, το εργοστάσιο θα βασίζεται στην αιολική παραγωγή της ανεμογεννήτριας του. Όση ισχύς του παρέχεται από εκεί, θα χρησιμοποιείται στην λειτουργία των modules του εργοστασίου εκτός από κάποιες περιπτώσεις όπου υπάρχει πρόβλημα.

Αυτές είναι:

1. Όταν η στάθμη του νερού είναι κάτω από ένα κατώτερο όριο
2. Όταν η στάθμη του νερού είναι πάνω από ένα ανώτερο όριο

Στην πρώτη περίπτωση θα αγοραστεί ενέργεια από τις τοπικές μονάδες παραγωγής. Στην εργασία αυτή, η αγορά γίνεται την χρονική στιγμή όπου το εργοστάσιο θα μπορεί να αγοράσει την λιγότερη ενέργεια ώστε να είναι σε θέση να λειτουργήσει σύμφωνα με το πρόγραμμα χωρίς προβλήματα. Αυτό υλοποιείται σε αλγόριθμο που θα εξηγηθεί παρακάτω.

Στην δεύτερη περίπτωση, όπου το νερό αναμένεται να υπερβεί το άνω όριο ασφαλείας, θα κλείνουν κάποιες νησίδες και η ενέργεια θα πωλείται στην εταιρία ηλεκτρισμού. Οι νησίδες που θα σβήσουν είναι αυτές που χρησιμοποιούνται την περισσότερη ώρα μέσα στα χρονικά πλαίσια της προσομοίωσης. Με αυτό τον τρόπο, θα επιτυγχάνεται η λιγότερη καταπόνηση των μηχανών. Θα

πρέπει να υπογραμμιστεί ότι το επιθυμητό αποτέλεσμα λειτουργίας του εργοστασίου είναι στο τέλος κάθε ώρας η στάθμη στην δεξαμενή να είναι πάνω από το κατώτερο όριο και κάτω από το ανώτερο. Δηλαδή θα πρέπει να ισχύει:

$$\min_level < level_i < \max_level \quad (12)$$

όπου \min_level είναι το κατώτερο όριο και \max_level το ανώτερο.

Παρακάτω ακολουθεί η επεξήγηση του αλγορίθμου που κατασκευάστηκε για την προσομοίωση της λειτουργίας του εργοστασίου.

4.3 Είσοδοι- έξοδοι του αλγορίθμου προσομοίωσης της λειτουργίας του εργοστασίου

4.3.1 Είσοδοι

Οι είσοδοι του αλγορίθμου είναι οι εξής:

| | |
|---------------|--|
| ar_stathmi | Η αρχική στάθμη της δεξαμενής πριν εκτελεστεί ο αλγόριθμος που είναι η τελευταία γνωστή πριν την ανανέωση προβλέψεων |
| Aioliki | Η αιολική παραγωγή από την συνδεδεμένη γεννήτρια |
| Katanalwsi | Η κατανάλωση του νερού |
| teleut_katast | Η τελευταία κατάσταση λειτουργίας των νησίδων αφαλάτωσης για να ληφθεί υπόψη στον προγραμματισμό παραγωγής |
| Counter | Οι μετρητές σβέσης των νησίδων |
| Started | Μεταβλητή όπου είναι αποθηκευμένες ποιες νησίδες έχουν ενταχθεί σε λειτουργία |

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονιστεί ότι η αιολική παραγωγή και η κατανάλωση θα πρέπει να δίνονται για μικρά χρονικά διαστήματα. Επίσης η τελευταία κατάσταση λειτουργίας των αντλιών, οι μετρητές σβέσης και οι αντλίες που ήδη έχουν λειτουργήσει είναι είσοδοι από αρχεία.

4.3.2 Έξοδοι

Οι έξοδοι του αλγορίθμου θα είναι κάθε φορά οι ακόλουθοι:

| | |
|----------------|--|
| isozigio | Το ισοζύγιο ισχύος για κάθε χρονικό διάστημα |
| microprog | Ο χρονοπρογραμματισμός των νησίδων αφαλάτωσης |
| teliki_stathmi | Η τελική στάθμη στο τέλος των ωρών λειτουργίας |
| teleut_katast | Η τελευταία κατάσταση του χρονοπρογραμματισμού των νησίδων |
| counter | Οι μετρητές σβέσης των modules της αφαλάτωσης |
| started | Μεταβλητή όπου αποθηκεύονται οι νησίδες οι οποίες έχουν μπει σε λειτουργία |

Το ισοζύγιο ισχύος που θα δίνεται στην έξοδο θα έχει τον ίδιο χρονικό ορίζοντα με της προβλέψεις της εισόδου (αιολική παραγωγή και κατανάλωση) ενώ η τελική στάθμη των αντλιών θα είναι ωριαία. Οι μεταβλητές `teleut_katast`, `counter` και `started`, θα αποθηκεύονται σε αρχεία `txt` και θα χρησιμοποιούνται σαν είσοδοι για την επόμενη εκτέλεση του αλγορίθμου.

4.4 Επεξήγηση αλγορίθμου

4.4.1 Μεταβλητές

Αρχικά θα γίνει η επεξήγηση των μεταβλητών που θα χρησιμοποιηθούν ξεχωριστά. Αυτό έχει γίνει στον παρακάτω πίνακα:

| | |
|--|---|
| <code>akeraies_antlies:</code> | Αριθμός των αντλιών που λειτουργούν ανά 20 λεπτά με βάση την αιολική παραγωγή |
| <code>ypoloipo_antliwn:</code> | Αριθμός αντλιών που μπορούν να μπουν έξτρα σε κάθε εικοσάλεπτο |
| <code>unused_power:</code> | Πόση ισχύς μένει αδιάθετη σε κάθε 20λεπτό |
| <code>ikanes_antlies:</code> | Πόσες αντλίες μπορούν να λειτουργήσουν από την αδιάθετη ενέργεια κάθε ώρα |
| <code>ar_antl:</code> | Ο αριθμός των αντλιών που λειτουργούν με βάση τον άνεμο για κάθε ώρα |
| <code>metavliti_isxys</code> | Η ισχύς που καταναλώνει κάθε αντλία κάθε ώρα |
| <code>stathmi:</code> | Η στάθμη της δεξαμενής στο τέλος κάθε ώρας |
| <code>telikos_arithmos_antliwn:</code> | Ο τελικός αριθμός αντλιών που θα λειτουργήσουν με βάση τον άνεμο και την στάθμη της δεξαμενής |

Στο σημείο αυτό θα επεξηγηθεί κάθε σημείο του κώδικα αναλυτικά

4.4.2 Αρχικοποιήσεις

Αρχικά θα περαστούν στον πρόγραμμα οι χρονοσειρές κατανάλωσης νερού σε ορίζοντα 20λέπτου και η αιολική παραγωγή, επίσης στον ίδιο χρονικό ορίζοντα. Από το μέγεθος των εισόδων θα εξαρτηθεί και ο χρόνος των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης, δηλαδή για πόσο χρονικό διάστημα θα παράγει το πρόγραμμα αποτελέσματα. Ακόμα ορίζεται και ο αριθμός των μονάδων αφαλάτωσης που υπάρχουν στην μεταβλητή `arithmos_antliwn`. Επιπλέον θα οριστεί και η αρχική στάθμη της δεξαμενής

για την προσομοίωση. Η στάθμη αυτή της δεξαμενής θα λαμβάνεται από ένα αρχείο όπου είναι αποθηκευμένη από προηγούμενη χρήση του προγράμματος, δηλαδή η τελική στάθμη της προηγούμενης προσομοίωσης.

Στην συνέχεια θα υπολογιστεί ο αριθμός των νησίδων σε 20λεπτη βάση που μπορούν να λειτουργήσουν με βάση την αιολική παραγωγή. Ο αριθμός αυτός υπολογίζεται εύκολα με την διαίρεση της ισχύς που παράγεται κάθε εικοσάλεπτο με την απαιτούμενη ισχύ της κάθε γεννήτριας. Η μεταβλητή αυτή είναι η *antlies* και με χρήση αυτής θα αρχικοποιηθούν και οι υπόλοιπες μεταβλητές.

Ακολούθως θα υπολογιστούν οι μεταβλητές *akeraias_antlies*, *ypoloipo_antliwn* και *unused_power*. Αυτές υπολογίζονται από τις παρακάτω σχέσεις. Αρχικά δίνεται ο τύπος από τον οποίο εξάγεται ο αριθμός των αντλιών:

$$antlies = \frac{aioliki_isxys}{isxys_antlias} \quad (13)$$

$$akeraias_antlies = \lfloor antlies \rfloor \quad (14)$$

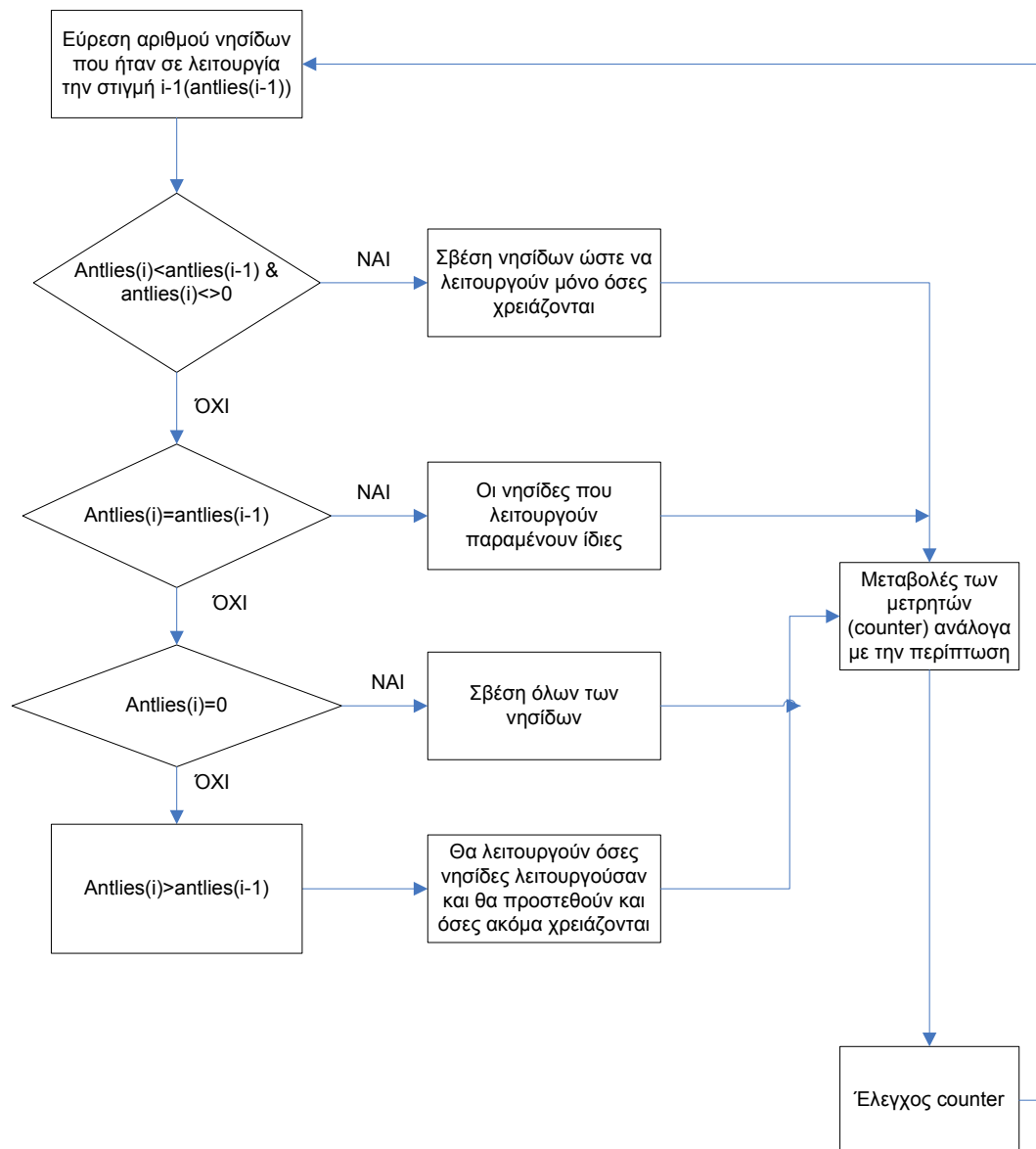
$$ypoloipo_antliwn = antlies - akeraias_antlies \quad (15)$$

$$unused_power = ypoloipo_antliwn * isxys_antlias \quad (16)$$

Ο χρόνος σβέσης των νησίδων αναπαρίσταται με ένα μετρητή, *counter* για κάθε αντλία του εργοστασίου. Ο μετρητής αυτός είναι σημαντικός για την πρώτη ώρα προσομοίωσης καθώς μόνο με αυτό τον τρόπο θα μπορούν τα *modules* να λειτουργούν χωρίς να παραβιάζετε ο περιορισμός σβέσης. Έτσι αρχικά θα υπολογιστεί ο μεγαλύτερος αριθμός 20λέπτων που μπορούν να λειτουργήσουν την πρώτη ώρα με βάση τους μετρητές. Ο αριθμός αυτός αποθηκεύεται στη μεταβλητή *maximum_arithmos_1*. Η χρήση της μεταβλητής αυτής θα παρουσιαστεί παρακάτω.

4.4.3 Αλγόριθμος μικροπρογραμματισμού νησίδων με βάση τον άνεμο

Στο διάγραμμα ροής που ακολουθεί φαίνεται ο αλγόριθμος που υλοποιήθηκε για τον μικροπρογραμματισμό των νησίδων του εργοστασίου για κάθε εικοσάλεπτο με βάση μόνο τον άνεμο (σχήμα 4-1) και τις εξισώσεις της προηγούμενης ενότητας (13,14):



Σχήμα 4-1: Αλγόριθμος προγραμματισμού νησίδων αφαλάτωσης με βάση την αιολική παραγωγή

Για να λειτουργήσει ο παραπάνω αλγόριθμος χρειάζεται σαν δεδομένα, πέρα από τον αριθμό των modules που μπορούν να λειτουργήσουν με βάση τον άνεμο, την τιμή των μετρητών σβέσης και τον αριθμό και την κατανομή των modules ένα εικοσάλεπτο πριν την έναρξη του προγραμματισμού, δηλαδή ποιες ήταν οι αντλίες που βρισκόντουσαν ήδη σε λειτουργία.

Πάνω σε αυτή την πληροφορία βασίζεται ο αλγόριθμος που έχει υλοποιηθεί. Στην αρχή αφού βρεθεί ο αριθμός των εν λειτουργία modules, θα συγκριθεί με αυτά που μπορούν να λειτουργήσουν στο επόμενο χρονικό διάστημα (20 λεπτά). Σύμφωνα με το αποτέλεσμα αυτής της σύγκρισης μπορούν να υπάρξουν οι ακόλουθες περιπτώσεις:

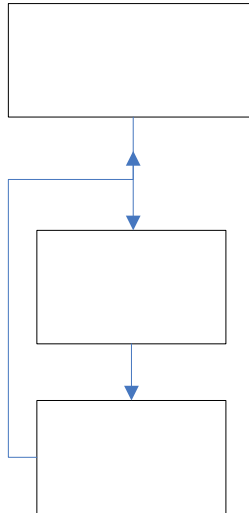
1. Οι υπάρχουσες νησίδες να είναι λιγότερες από αυτές που ήταν σε λειτουργία αλλά να είναι διαφορετικές από μηδέν. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε σβέση νησίδων ώστε να διατίθεται στο δίκτυο αιολική παραγωγή
2. Αν οι νησίδες είναι ίσες με αυτές της προηγούμενης κατάστασης, όσες ήταν σε λειτουργία θα συνεχίσουν να λειτουργούν.
3. Αν οι νησίδες που μπορούν να λειτουργήσουν με βάση τον άνεμο είναι μηδενικές, τότε όλες οι νησίδες θα σβήσουν.
4. Αν οι νησίδες που θα λειτουργήσουν είναι παραπάνω από αυτές που είναι ήδη σε λειτουργία, τότε αυτές θα συνεχίσουν να λειτουργούν και υπό προϋποθέσεις θα μπου και άλλες σε λειτουργία.

Αφού βρεθούν οι νησίδες που θα λειτουργήσουν σε κάποιο 20λεπτο, στην συνέχεια θα μεταβληθούν κατάλληλα οι μετρητές σβέσης (counter). Η μεταβλητή counter έχει μέγεθος όσο είναι και ο αριθμός των στοιχείων αφαλάτωσης. Ανάλογα με τον διάρκεια του χρόνου σβέσης, γίνονται και οι μεταβολές. Στο τέλος κάθε 20λέπτου ελέγχεται ποιοι counter έχουν καλύψει τον χρόνο λειτουργίας τους και μπορούν οι αντίστοιχες νησίδες να μπου σε λειτουργία. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για κάθε 20λεπτο.

4.4.4 Αλγόριθμος υπολογισμού στάθμης

Στην συνέχεια με χρήση ενός απλού for-loop, θα υπολογιστεί ο αριθμός των μονάδων αφαλάτωσης που είναι σε λειτουργία κάθε ώρα, δηλαδή πόσα 20λεπτα κάθε ώρα λειτουργούν οι νησίδες. Τα αποτελέσματα αυτά αποθηκεύονται στην μεταβλητή `ar_antl` που είναι ένας πίνακας-γραμμή με μέγεθος ίσο με τις ώρες που είναι επιθυμητή η πρόβλεψη.

Με βάση τα 20λεπτα που υπολογίστηκαν παραπάνω, θα βρεθεί η στάθμη του νερού. Η στάθμη υπολογίζεται σε επίπεδο ώρας και είναι ίσο με την αρχική στάθμη αυξανόμενη κατά την παραγωγή του νερού στο διάστημα της μίας ώρας (με βάση την μεταβλητή `ar_antl`) μειωμένο δε κατά την κατανάλωση της ώρας. Η στάθμη που θα προκύψει θα είναι η αρχική στάθμη της επόμενης ώρας. Στο σχήμα 4-2 που ακολουθεί περιγράφεται με διάγραμμα ροής.



Σχήμα 4-2: Αλγόριθμος υπολογισμού στάθμης

Το αποτέλεσμα του αλγορίθμου αυτού είναι η μεταβλητή *teliki_stathmi* όπου έχει μέγεθος ίσο με τις ώρες της πρόβλεψης. Η τιμή της μεταβλητής αυτής δε θα είναι η τελική στάθμη καθώς στην συνέχεια θα γίνει ο έλεγχος για το κατά πόσο πληρούνται οι συνθήκες της στάθμης.

Τέλος υπολογίζεται η μεταβλητή *metavliti_isxys* η οποία είναι ίση με την ισχύ που χρησιμοποιείται κάθε ώρα. Η ισχύς αυτή είναι καθαρά προϊόν της αιολικής παραγωγής και δεν κοστίζει τίποτα η χρήση της στο εργοστάσιο.

4.4.5 Αλγόριθμος ελέγχου της στάθμης

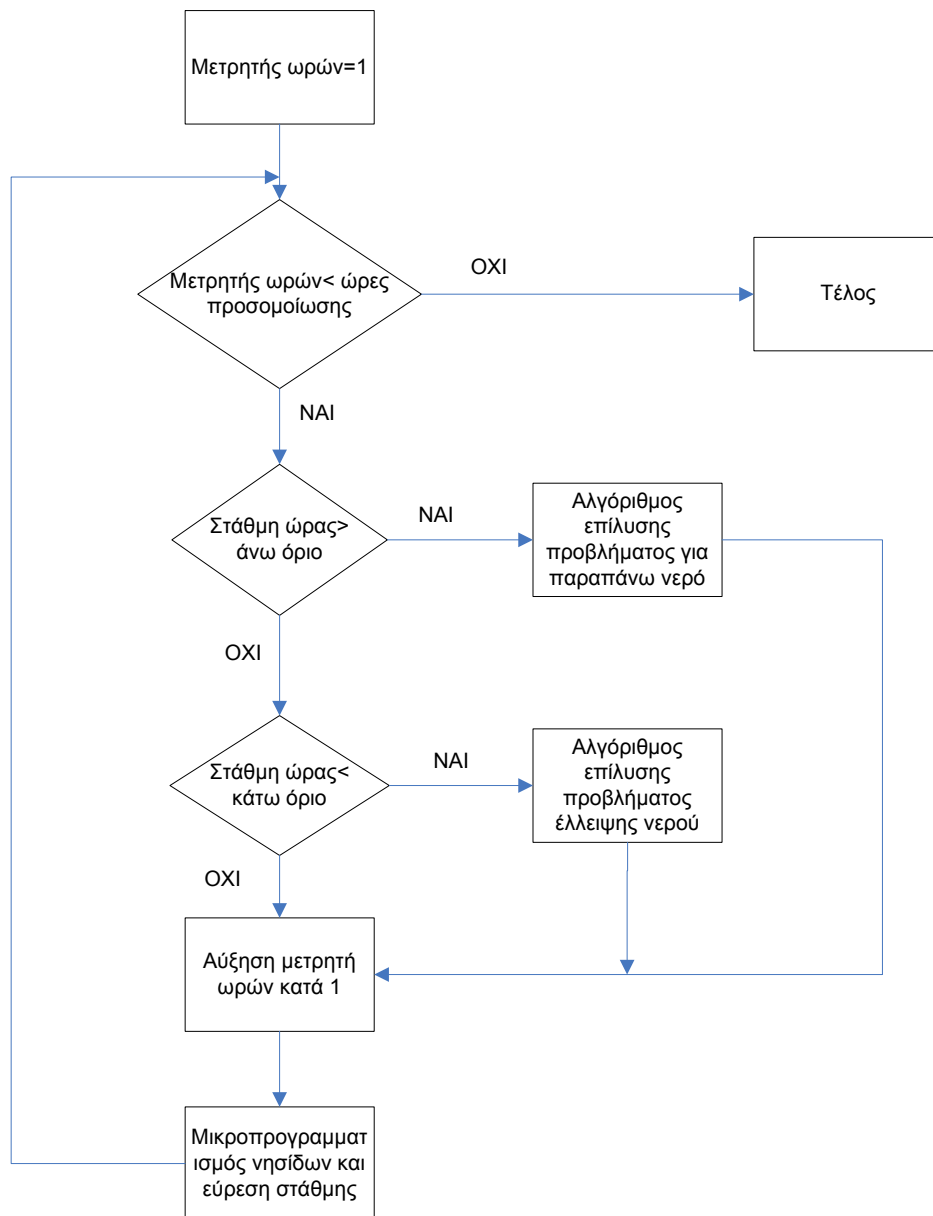
Στην συνέχεια θα γίνει ο έλεγχος της στάθμης του νερού στην δεξαμενή. Η στάθμη του νερού δεν θα πρέπει να ξεπερνάει ένα ανώτατο όριο και να μην πέφτει κάτω από ένα κατώτατο που θα καθορίζεται από το χρήστη λαμβάνοντας και τυχόν παραμέτρους αξιοπιστίας και αυτονομίας. Το ανώτατο όριο θεσπίζεται για λόγους μη υπερχειλίσεως της δεξαμενής, ενώ το κατώτατο για να υπάρχει αρκετό νερό ακόμα και σε περίπτωση βλάβης του εργοστασίου ή κάποιας μονάδας παραγωγής.

Η εξέταση της στάθμης αρχίζει χρονολογικά από την μικρότερη ώρα. Στο διάγραμμα ροής που ακολουθεί περιγράφεται ο αλγόριθμος που δημιουργήθηκε (σχήμα 4-3):

Εύρεση το
Λειτουργία
αιολική
(an

Στάθμη
στάθμη
V
κατανάλ

A
στάθμη



Σχήμα 4-3: Αλγόριθμος ελέγχου στάθμης

Το πρόγραμμα ελέγχει όλες τις ώρες που θα λειτουργήσει η προσομοίωση. Αν δεν υπάρχει πρόβλημα, τότε το πρόγραμμα των μονάδων αφαλάτωσης είναι αυτό που δίνεται με τον αλγόριθμο που εξηγήθηκε προηγουμένως. Σε περίπτωση που υπάρχει πρόβλημα, έχουν υλοποιηθεί δύο υποαλγόριθμοι διόρθωσης. Έπειτα την επίλυση αυτών των προβλημάτων, τότε αυξάνει ο μετρητής της ώρας (δηλαδή προχωράει ο έλεγχος για την επόμενη ώρα) και γίνεται ο μικροπρογραμματισμός των νησίδων αφαλάτωσης όπως επίσης υπολογίζεται η στάθμη της δεξαμενής στο τέλος κάθε ώρας.

4.4.5.1 Αλγόριθμος αποφυγής υπερχειλίσης

Αν η προβλεπόμενη στάθμη έχει υπερβεί το ανώτερο όριο ασφαλείας στο τέλος μιας ώρας, τότε αρχικά ο αλγόριθμος αναγνωρίζει την ώρα που συνέβη αυτό και έπειτα βρίσκεται η ώρα κατά την οποία ο αριθμός των 20λέπτων λειτουργίας των νησίδων είναι μέγιστος. Κατά την ώρα αυτή, η χρησιμοποιούμενη ενέργεια από το εργοστάσιο αφαλάτωσης θα είναι μέγιστη. Η ώρα αυτή θα είναι το πολύ ίση με την ώρα που υπάρχει το πρόβλημα και θα αφαιρεθούν από αυτή 20λεπτα λειτουργίας των νησίδων. Θα αφαιρούνται κάθε φορά τρία εικοσάλεπτα λειτουργίας, δηλαδή τουλάχιστον μια νησίδα θα σβήνει πλήρως. Ο αριθμός αυτός δεν επιλέχθηκε τυχαία αλλά συμπίπτει με τον περιορισμό έναυσης σβέσης.

Στο παρακάτω σχήμα δίνονται όλες οι περιπτώσεις λειτουργίας των νησίδων. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις θα γίνει αφαίρεση τριών εικοσάλεπτων λειτουργίας και έπειτα θα γίνει και διόρθωση του μικροπρογραμματισμού για να πληρούνται οι όροι και οι χρόνοι σβέσης.

Στην στήλη α, είναι οι πιθανές κατανομές των εικοσάλεπτων στις νησίδες αφαλάτωσης. Στο σχήμα φαίνονται και οι τρεις δυνατές περιπτώσεις που μπορεί να υπάρξουν στην κατανομή των 20λεπτων. Στην συνέχεια, αφαιρούνται τρία εικοσάλεπτα από κάθε περίπτωση (β) και στην γ φάση, έχει διορθωθεί η κατάσταση με τον αλγόριθμο διόρθωσης για τον χρόνο σβέσης. Όπως φαίνεται και στις τρεις αυτές περιπτώσεις, πάντα θα υπάρχει μεταβολή στον ολικό αριθμό των εικοσάλεπτων λειτουργίας, άρα και μεταβολή στην στάθμη. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγονται περιπτώσεις όπου ο αλγόριθμος θα εισχωρούσε σε ένα ατέρμονο loop και έτσι δίνονται εγγυήσεις για την ύπαρξη τελικής επίλυσης του προβλήματος της υπερχειλίσης.

Αν ο χρόνος λειτουργίας των αντλιών δεν ξεπερνά τα τρία εικοσάλεπτα, τότε θα σβήνουν όλες οι νησίδες για εκείνη την ώρα, δηλαδή τα 20λεπτα λειτουργίας του εργοστασίου θα μηδενίζονται για εκείνη την ώρα.

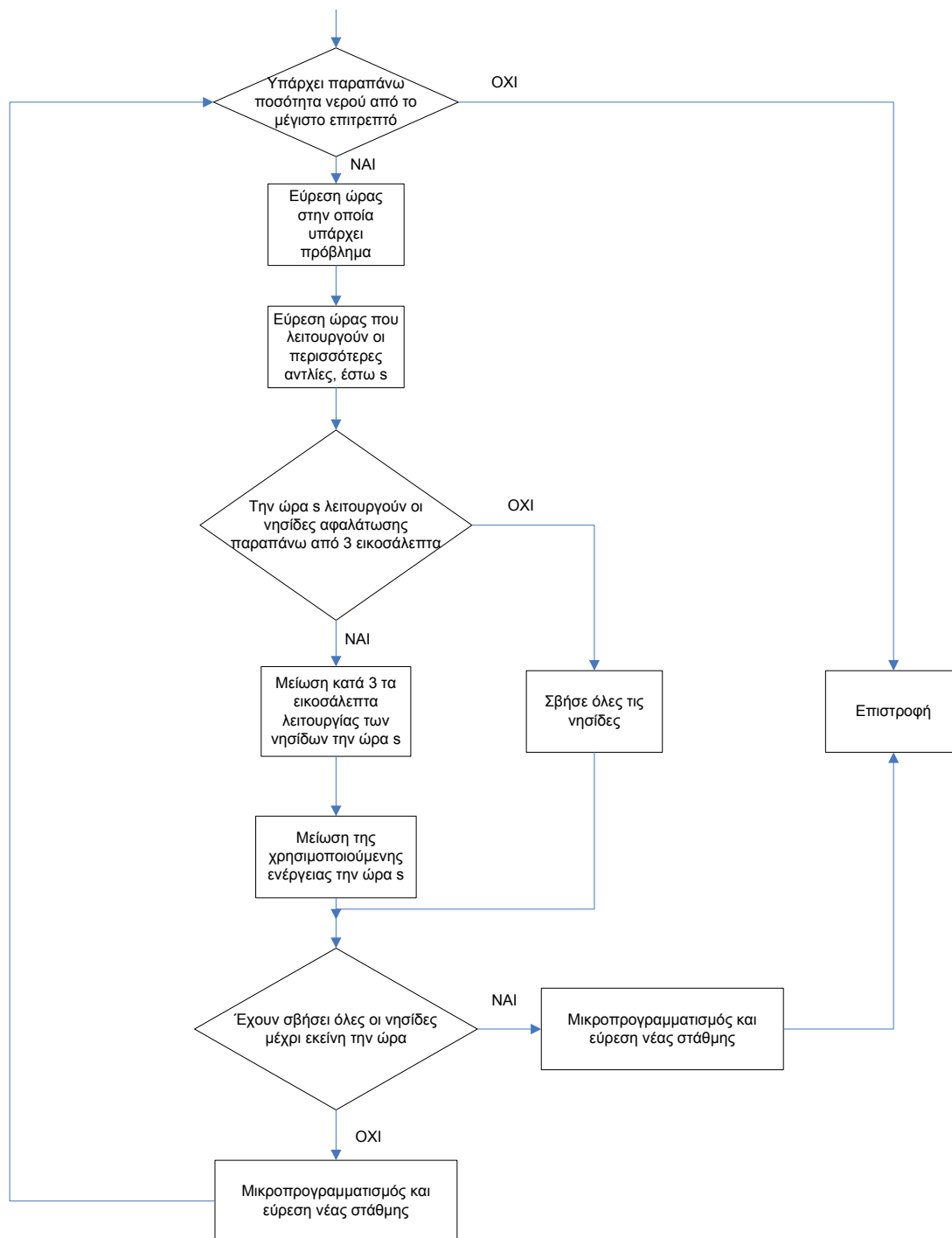
Έπειτα από κάθε αλλαγή στα 20λεπτα λειτουργίας, γίνεται μεταβολή στην χρησιμοποιούμενη ισχύ για κάθε ώρα. Ανάλογα με τον αριθμό των 20λέπτων λειτουργίας των νησίδων, υπολογίζεται και η χρησιμοποιούμενη ισχύς.

Στην συνέχεια θα γίνεται εκ νέου μικροπρογραμματισμός των νησίδων αφαλάτωσης και εύρεση του νέου επιπέδου στάθμης για όλες τις ώρες. Αυτό γίνεται γιατί οι όποιες αλλαγές γίνονται κάποια ώρα δεν μπορούν αν αφήσουν ανεπηρέαστες τις υπόλοιπες ώρες.

Έπειτα θα ξαναγίνει έλεγχος για την στάθμη και αν χρειάζεται θα ξαναγίνει η διαδικασία που εξηγήθηκε παραπάνω. Ο αλγόριθμος θα επιστρέφει μόνο όταν λυθεί το πρόβλημα είτε παύσει να λειτουργεί το εργοστάσιο μέχρι εκείνη την ώρα, άρα και δεν θα υπάρχει λύση, που να μην παραβιάζει τους περιορισμούς διάρκειας έναυσης/ σβέσης.

| | | | | | | | | | | | |
|----------|------------------|---|--|---------|-------------------|---|--|----------|-------------------|---|--|
| α | A | | | β | | | | γ | Μετά από διόρθωση | | |
| | Αρχική κατάσταση | | | | Αφαίρεση 20λεπτων | | | | | | |
| 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | |
| 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 0 | | 1 | 1 | 0 | |
| 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 0 | | 1 | 1 | 0 | |
| 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 0 | | 1 | 1 | 0 | |
| 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | |
| α | B | | | β | | | | γ | | | |
| 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | |
| 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 0 | | 1 | 1 | 0 | |
| 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 0 | | 1 | 1 | 0 | |
| 1 | 1 | 0 | | 1 | 0 | 0 | | 1 | 1 | 0 | |
| 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | |
| α | Γ | | | β | | | | γ | | | |
| 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | |
| 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 0 | | 1 | 1 | 0 | |
| 1 | 1 | 0 | | 1 | 0 | 0 | | 1 | 1 | 0 | |
| 1 | 1 | 0 | | 1 | 0 | 0 | | 1 | 1 | 0 | |
| 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | |

Στο σχήμα 4-4 δίνεται το διάγραμμα ροής του αλγορίθμου διόρθωσης στην περίπτωση που η στάθμη του νερού ξεπεράσει το ανώτατο όριο:



Σχήμα 4-4: Αλγόριθμος ελέγχου και αποτροπής υπερχειλίσης

4.4.5.2 Αλγόριθμος αποφυγής έλλειψης νερού

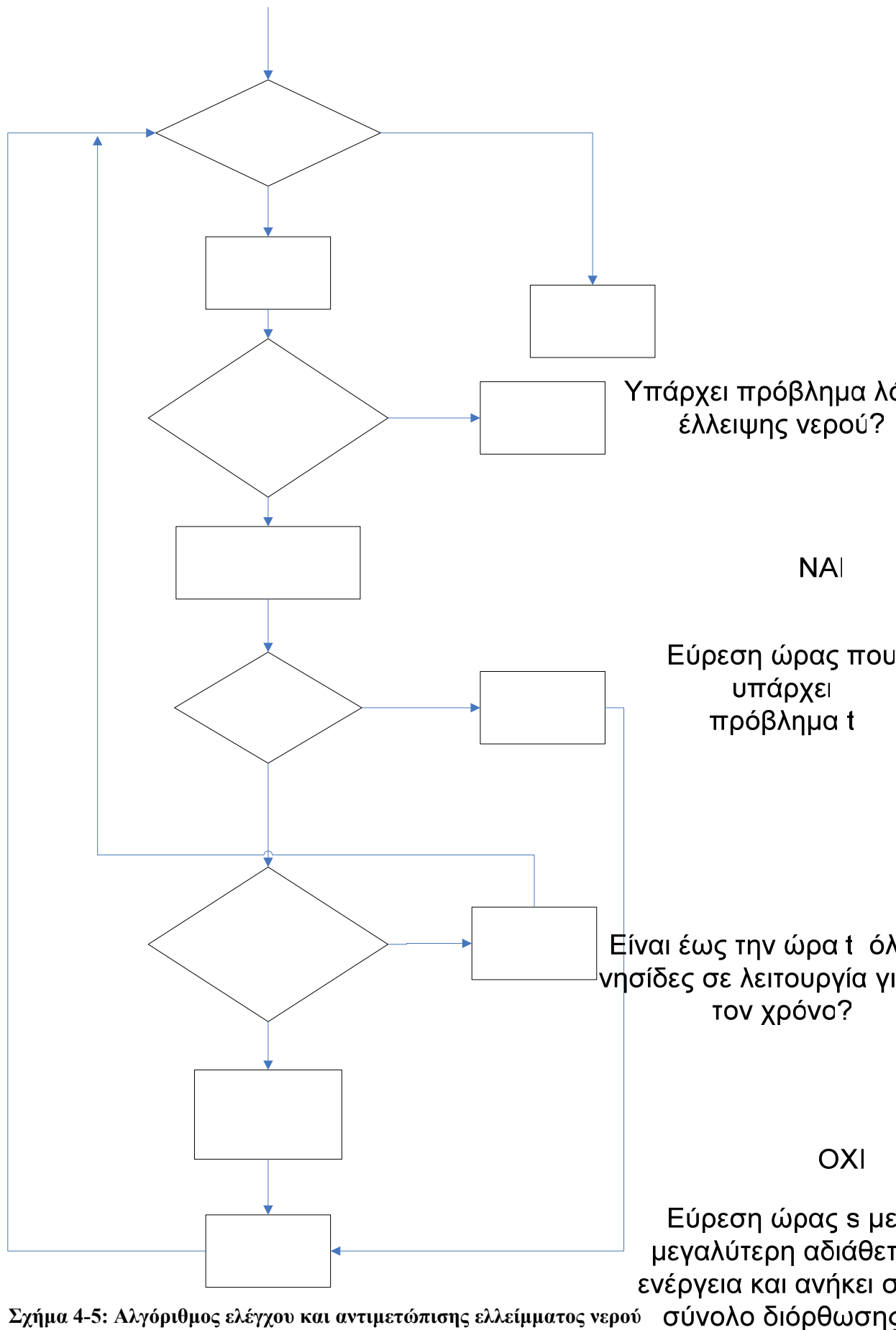
Στην περίπτωση που ο έλεγχος δείξει ότι υπάρχει κάποια ώρα κατά την οποία η στάθμη του νερού είναι κάτω από τα επιτρεπτά όρια, τότε όπως και πριν θα βρεθεί αυτή η ώρα. Όπως είναι κατανοητό, η ώρα αυτή θα είναι το πολύ ίση με την ώρα που υπάρχει το πρόβλημα. Ενώ πριν γινόταν αφαίρεση 20λεπτων λειτουργίας των νησίδων, εδώ θα γίνεται προσθήκη 20λεπτων λειτουργίας την ώρα που υπάρχει περισσότερη διαθέσιμη ισχύς ώστε να μειωθεί η επίπτωση της επιπλέον ενέργειας που απαιτείται.

Αρχικά γίνεται έλεγχος για το αν λειτουργεί το εργοστάσιο με πλήρες δυναμικό, δηλαδή δουλεύουν όλα τα modules συνεχώς έως το διάστημα που υπάρχει το πρόβλημα. Αν γίνεται αυτό, τότε το πρόγραμμα είτε έχει λυθεί είτε όχι το πρόβλημα, συνεχίζει στην επόμενη ώρα αφού δεν υπάρχει περιθώριο βελτίωσης και δίνει σήμα alarm. Δηλαδή στην περίπτωση αυτή θα υπάρχει έλλειμμα νερού στην δεξαμενή ότι και να γίνει.

Ειδική μέριμνα έχει δοθεί στην περίπτωση της πρώτης ώρας. Αυτό επειδή κατά την πρώτη ώρα, οι μετρητές σβέσης επηρεάζουν τον μέγιστο αριθμό 20λέπτων λειτουργίας των αντλιών. Η περίπτωση αυτή είναι επικίνδυνη για τον αλγόριθμο λόγω του ότι θα μπορούσε ο αλγόριθμος αν μπει σε μια ατέρμονη σειρά επαναλήψεων. Τώρα, αν επιλεγθεί να λειτουργήσουν παραπάνω μονάδες την πρώτη ώρα, γίνεται έλεγχος κατά το πόσο μπορεί το εργοστάσιο να ανταπεξέλθει σε μία τέτοια αλλαγή. Αν μπορεί, θα προστεθεί μια μονάδα κάθε φορά μέχρι να λυθεί το πρόβλημα. Αν οι μονάδες αυτές υπερβούν τον μέγιστο αριθμό λειτουργίας των μονάδων της πρώτης ώρας (που είναι αποθηκευμένος στην μεταβλητή max_arithmos_1), τότε η πρώτη ώρα δεν θα ξαναεξεταστεί. Στην ειδική περίπτωση που το πρόβλημα υπήρχε στην πρώτη ώρα προσομοίωσης, τότε θα αλλάξει και ο μετρητής ώρας, δηλαδή θα συνεχιστεί το πρόγραμμα είτε έχει επιλυθεί το πρόβλημα είτε όχι. Από την στιγμή που θα συμβεί αυτό, δηλαδή η μη τήρηση των ορίων λειτουργίας, τότε θα ενεργοποιηθεί ένα alarm.

Τέλος στην συνήθη περίπτωση που δεν υπάρχει κάποιο πρόβλημα στην ένταξη επιπλέον 20λεπτων λειτουργίας των αντλιών, κάποια νησίδα θα λειτουργήσει για ένα 20λεπτο παραπάνω για την επιλεγμένη ώρα και μειώνετε η αδιάθετη ισχύς.

Στην συνέχεια ο υποαλγόριθμος επιστρέφει στον κύριο αλγόριθμο ελέγχου και συνεχίζεται ο έλεγχος για τις υπόλοιπες ώρες. Στην συνέχεια δίδεται το διάγραμμα ροής του αλγόριθμου ελέγχου για την περίπτωση ελλείμματος νερού (σχήμα 4-5).



Σχήμα 4-5: Αλγόριθμος ελέγχου και αντιμετώπισης ελλείμματος νερού

4.5 Αλγόριθμος μικροπρογραμματισμού νησίδων

Στο εδάφιο αυτό θα αναλυθεί ο τρόπος με τον οποίο μικροπρογραμματίζονται οι νησίδες σε επίπεδο 20λέπτου. Με την επεξεργασία που έχει γίνει μέχρι τώρα, είναι γνωστός ο αριθμός των εικοσάλεπτων που θα πρέπει να λειτουργούν κάθε ώρα. Το μέγιστο των 20λεπτων είναι ο αριθμός των μονάδων αφαλατώσεως επί το τρία, δηλαδή ο αριθμός των 20λέπτων σε μία ώρα και το ελάχιστο είναι το μηδέν.

Η λογική του μικροπρογραμματισμού των νησίδων είναι ότι μπαίνει σε λειτουργία πρώτα μια νησίδα και αν ο αριθμός των εικοσάλεπτων εκείνης της ώρας είναι μικρότερος από 3 τότε δεν λειτουργεί καμία άλλη. Δηλαδή η καταπόνηση πηγαίνει μόνο σε ένα module. Αν είναι παραπάνω από τρία τα εικοσάλεπτα που θα πρέπει να λειτουργήσει το εργοστάσιο, τότε μόνο θα μπει και μία δεύτερη νησίδα σε λειτουργία.

Την πρώτη ώρα θα πρέπει να τονιστεί ότι ασκούν επίδραση στο προγραμματισμό της λειτουργίας και οι μετρητές σβέσης από την προηγούμενη προσομοίωση του συστήματος. Ανάλογα με τη τιμή του μετρητή και τον απαραίτητο χρόνο σβέσης την πρώτη ώρα μπορεί να μην λειτουργήσουν οι νησίδες που ήταν αναμενόμενο.

Ακόμα, επειδή εξετάζεται μία ώρα κάθε φορά, πολλές φορές κάποιες νησίδες παύουν να λειτουργούν για λιγότερο χρόνο από αυτόν που πρέπει. Για να ξεπεραστεί αυτός ο σκόπελος, αποφασίστηκε να λειτουργούν οι νησίδες αυτές χωρίς διακοπή και έτσι υπάρχει μια ομαλότητα στην λειτουργία αυτών παράγοντας περισσότερο νερό. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνεται ένα παράδειγμα μιας τέτοιας περίπτωσης:

| | Αρχική κατάσταση | | | Τελική κατάσταση | | |
|--------------------|------------------|---|---|------------------|---|---|
| 1 ^η ώρα | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 2 ^η ώρα | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |

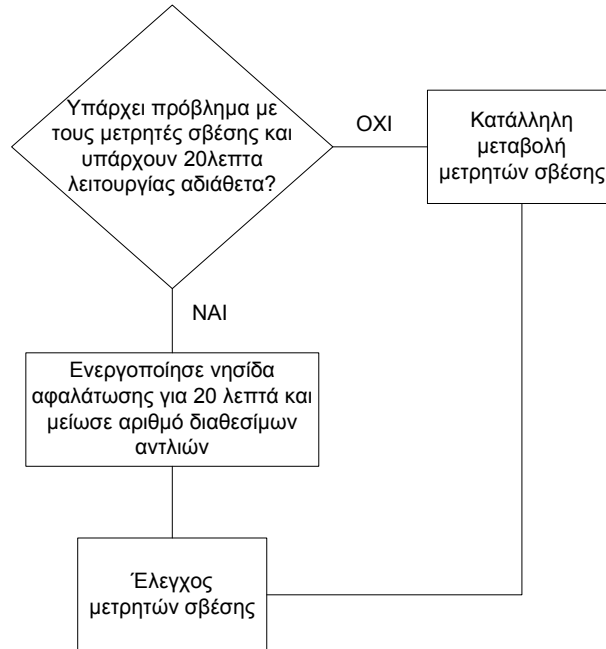
Πίνακας 4-1: Παράδειγμα λειτουργίας αλγόριθμου ελέγχου σβέσης

Αρχικά, θα έπρεπε να λειτουργούν οι νησίδες για 4 εικοσάλεπτα την πρώτη ώρα και για 5 την δεύτερη ώρα. Στην συνέχεια και αφού ενεργοποιηθεί ο αλγόριθμος διόρθωσης, θα λειτουργήσουν την πρώτη ώρα 6 και την δεύτερη 5. Με αυτό τον τρόπο καταναλώνεται περισσότερη ενέργεια από το εργοστάσιο αφαλάτωσης, αλλά δεν καταπονούνται τα μηχανικά του μέρη.

Μια ακόμη συνέπεια αυτού είναι η παραπάνω παραγωγή νερού, που όμως δεν είναι πρόβλημα καθότι η νέα στάθμη βρίσκεται μετά το πέρας του αλγόριθμου διόρθωσης. Άρα και στην χειρότερη

περίπτωση που παρουσιάζεται άνοδος πάνω από τα επιτρεπτά όρια, επεμβαίνει ο αλγόριθμος ελέγχου για υπερχειλίση και έτσι δεν παρουσιάζεται πρόβλημα.

Στο λογικό διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται ο αλγόριθμος του μικροπρογραμματισμού των αντλιών (σχήμα 4-6).



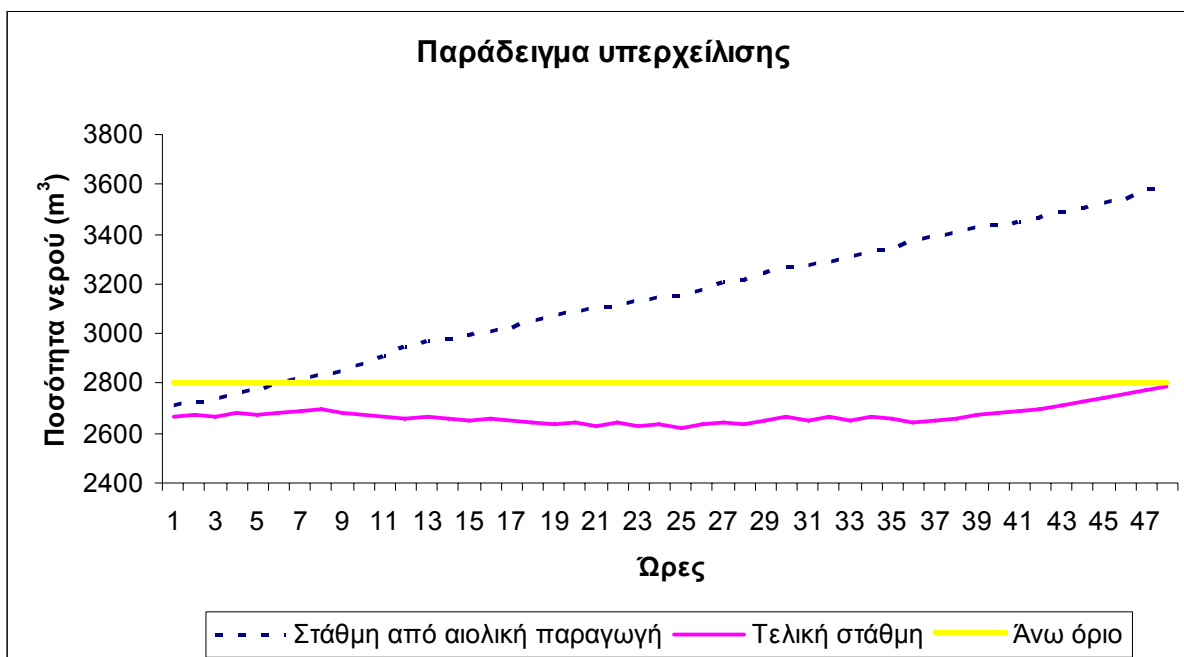
Σχήμα 4-6: Αλγόριθμος ελέγχου μετρητών

4.6 Παραδείγματα λειτουργίας του αλγόριθμου προσομοίωσης της λειτουργίας της αφαλάτωσης

Στο σημείο αυτό θα παρουσιαστούν δύο παραδείγματα της λειτουργίας του αλγόριθμου λειτουργίας του εργοστασίου αφαλάτωσης. Το πρώτο θα αφορά την περίπτωση όπου παρουσιάζεται υπερχειλίση και το δεύτερο την περίπτωση όπου υπάρχει έλλειψη νερού.

4.6.1 Παράδειγμα υπερχειλίσης

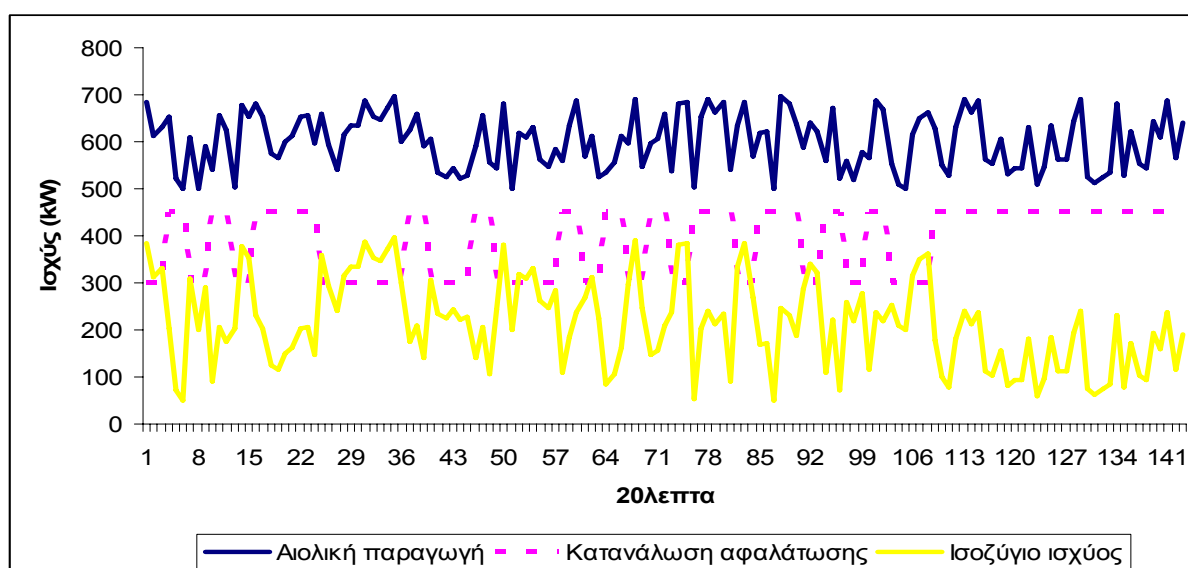
Σε στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται μια περίπτωση όπου θα παρουσιαστεί υπερχειλίση στην δεξαμενή της αφαλάτωσης. Οι προσομοιώσεις έγιναν με βάση τα στοιχεία του εργοστασίου αφαλάτωσης που θα παρουσιαστούν στην συνέχεια.



Διάγραμμα 4-1: Αντιμετώπιση υπερχείλισης

Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζεται μια περίπτωση υπερχείλισης που μπορεί να αντιμετωπίσει το εργοστάσιο αφαλάτωσης. Παρουσιάζεται αρχικά η στάθμη της δεξαμενής με βάση την παραγωγή του εργοστασίου με βάση την αιολική παραγωγή και στην συνέχεια η στάθμη της δεξαμενής αφού λειτουργήσει ο αλγόριθμος αποφυγής υπερχείλισης που παρουσιάστηκε παραπάνω. Τέλος, παρουσιάζεται και το άνω όριο ασφαλείας της δεξαμενής που στην περίπτωση της Μήλου που θα εξεταστεί θα είναι ίσο με 2800 κυβικά μέτρα.

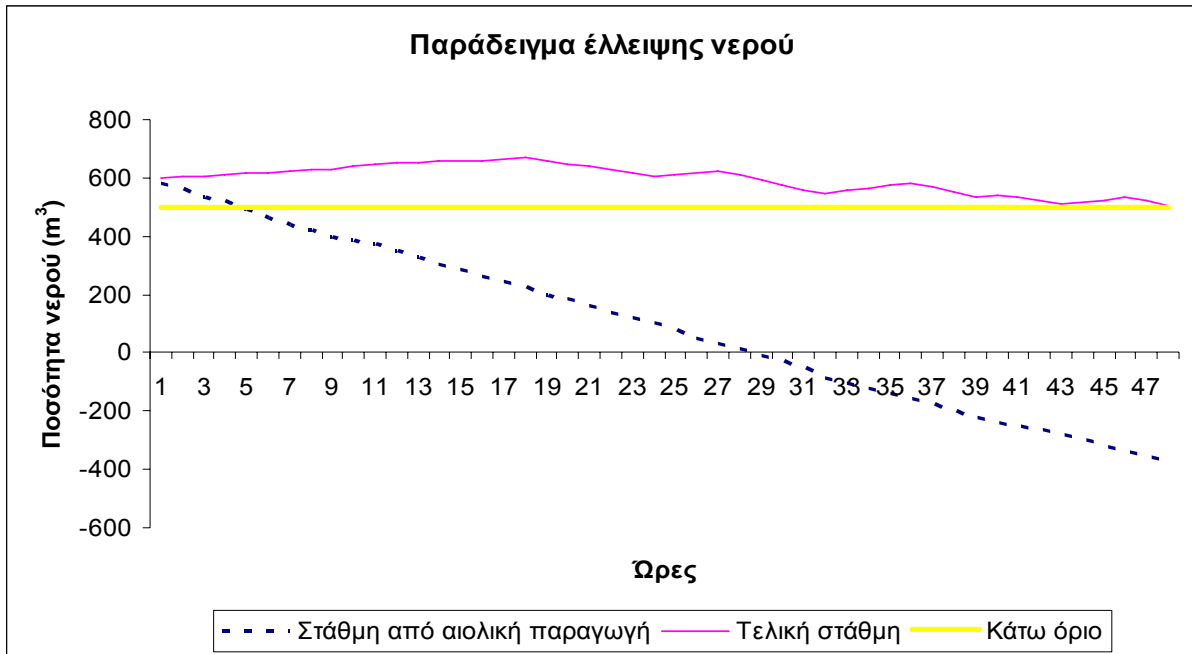
Στην συνέχεια παρουσιάζεται και το ισοζύγιο ισχύος του εργοστασίου για την χρονική διάρκεια που προσομοιώθηκε η λειτουργία του.



Διάγραμμα 4-2: Ισοζύγιο ισχύος

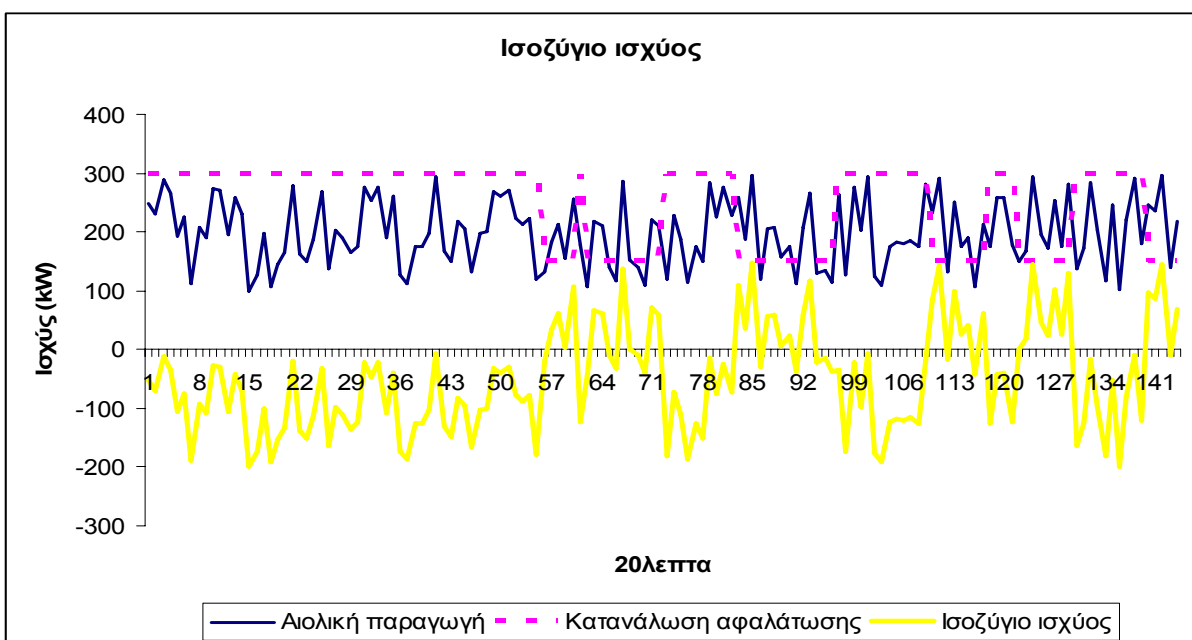
4.6.2 Παράδειγμα έλλειψης νερού

Ακολουθεί ένα διάγραμμα όπου παρουσιάζεται η περίπτωση της έλλειψης νερού και η αντιμετώπιση του σύμφωνα με τον αλγόριθμο αποφυγής έλλειψης νερού.



Διάγραμμα 4-3: Αντιμετώπιση έλλειψης νερού

Στο διάγραμμα αυτό φαίνεται ότι η στάθμη του νερού δεν πέφτει καθόλου κάτω από το κατώτερο όριο λειτουργίας που στην περίπτωση αυτή είναι 500 κυβικά μέτρα. Τέλος ακολουθεί και διάγραμμα όπου παρουσιάζεται το ισοζύγιο ισχύος της αφαλάτωσης.



Διάγραμμα 4-4: Ισοζύγιο ισχύος

Κεφάλαιο 5: Οικονομική λειτουργία συστήματος θερμικών σταθμών παραγωγής

5.1 Εισαγωγή

Από την χρήση του αλγορίθμου εύρεσης στάθμης του προηγούμενου κεφαλαίου, θα υπολογιστεί πέρα από την στάθμη, και η κατανάλωση ενέργειας από το εργοστάσιο αφαλάτωσης. Έτσι, στην συνέχεια θα αντιμετωπίζεται το εργοστάσιο αφαλάτωσης σαν ένα παραπάνω φορτίο που θα αθροιστεί στο υπάρχον φορτίο του νησιωτικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας και θα μελετηθεί η επίδραση του στο σύστημα.

Το συνολικό φορτίο του νησιού θα πρέπει να εξυπηρετηθεί από τον τοπικό σταθμό παραγωγής ο οποίος θα δουλεύει παράλληλα με τα αιολικά πάρκα και ανεμογεννήτριες που υπάρχουν στο νησί. Με χρήση έτοιμων αλγορίθμων μπορεί να γίνει η προσομοίωση λειτουργίας του νησιωτικού ΣΗΕ ώστε να φανούν οι επιπτώσεις που θα έχει σε αυτό η είσοδος του εργοστασίου αφαλάτωσης στο συνολικό εγκατεστημένο φορτίο.

Ένα ζητούμενο φορτίο κατανάλωσης είναι δυνατόν να τροφοδοτηθεί από ένα ΣΗΕ το οποίο περιλαμβάνει πολλές μονάδες παραγωγής και δίκτυα μεταφοράς. Καλύτερος τρόπος τροφοδοτήσεως είναι εκείνος ο οποίος παρέχει την οικονομικότερη λειτουργία του συστήματος, δηλαδή το κριτήριο λειτουργίας είναι οικονομικό, άρα η προσπάθεια συνίσταται στην ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής με την χρησιμοποίηση του καταλληλότερου καυσίμου, την μείωση του κόστους μεταφοράς καυσίμου και των απωλειών του δικτύου.

Στην περίπτωση που εξετάζεται σε αυτή την εργασία, στο απομονωμένο νησιωτικό σύστημα όπου υπάρχει μόνο ένα εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας, το κόστος μεταφοράς θεωρείται ίδιο για τα καύσιμα και οι απώλειες θεωρούνται μικρές έως μηδενικές λόγω του μεγέθους του νησιού.

Για την επίλυση του προβλήματος της βέλτιστης κατανομής θα πρέπει να αποφασιστούν αρχικά τα επίπεδα της εφεδρείας, στην συνέχεια να λυθεί το πρόβλημα του unit commitment (ποιες μονάδες θα λειτουργήσουν) και τέλος το πρόβλημα του economic dispatch (σε ποιο επίπεδο φόρτισης θα είναι κάθε γεννήτρια). Στα παρακάτω εδάφια αναπτύσσεται κάθε πτυχή του προβλήματος ξεχωριστά.

5.2 Εφεδρεία συστήματος

5.2.1 Γενικά

Η εφεδρεία παραγωγής στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας είναι η επιπλέον ισχύς που μπορεί να παραχθεί σε περίπτωση όπου υπάρχει απώλεια ισχύος. Στα περισσότερα συστήματα ηλεκτρικής

ενέργειας είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε υπό κανονικές συνθήκες η εφεδρεία αν είναι ίση με την ονομαστική ισχύ της μεγαλύτερης γεννήτριας αυξανομένης με ένα κλάσμα του φορτίου αιχμής.

Η εφεδρεία μπορεί να χωριστεί σε δύο κατηγορίες, στην στρεφόμενη εφεδρεία και στην στάτη. Η στρεφόμενη εφεδρεία είναι η παραπάνω ισχύς που μπορούν να παράγουν οι γεννήτριες που είναι ήδη σε λειτουργία και η αύξηση αυτή επιτυγχάνεται με την αύξηση της μηχανικής ροπής στον ρότορα της γεννήτριας.

Η στατή εφεδρεία είναι η παραπάνω ισχύς που μπορεί να παραχθεί από το σύστημα από τις γεννήτριες που δεν είναι σε λειτουργία αλλά μπορούν να μπουν μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα. Στα απομονωμένα συστήματα, η μη στρεφόμενη εφεδρεία συμπίπτει με την ισχύ που είναι διαθέσιμη από γεννήτριες με μικρό χρόνο έναρξης. Στα διασυνδεδεμένα συστήματα από την άλλη, η εφεδρεία αυτή μπορεί να καλυφθεί από εισαγωγές ισχύος από άλλα συστήματα ή από την παύση των εξαγωγών που ίσως να κάνει το σύστημα προς άλλα.

Οι γεννήτριες που είναι επιφορτισμένες για την κάλυψη της εφεδρείας, είτε της στρεφόμενης είτε της μη, θα πρέπει να είναι σε θέση να μπορούν να παράγουν την εφεδρεία μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα. Η πολιτική των περισσοτέρων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας είναι το μεγαλύτερο μέρος της εφεδρείας να είναι στρεφόμενη επειδή αυτή είναι πιο αξιόπιστη (μπορούν να υπάρξουν προβλήματα στην εκκίνηση της γεννήτριας) και επειδή μπορεί να παραχθεί σε μικρό χρονικό διάστημα, εν αντιθέσει με την μη στρεφόμενη εφεδρεία που υπάρχει πάντα μια καθυστέρηση στην εκκίνηση των γεννητριών.¹⁷

5.2.2 Υπολογισμός εφεδρείας¹⁸

Ένα νησιωτικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας είναι ένα απομονωμένο σύστημα. Λόγω αυτού θα πρέπει η στρεφόμενη εφεδρεία να είναι αυξημένη ώστε να μπορεί να ανταπεξέλθει σε προβλήματα που τυχόν μπορεί να συμβούν. Επιπλέον, τα τεχνικά ελάχιστα των θερμικών μονάδων μπορεί να οδηγήσουν σε αποκοπή της αιολικής παραγωγής σε περιπτώσεις που θα πρέπει να γίνουν παραβιάσεις αυτών.

Όσο μεγαλύτερη είναι η αβεβαιότητα της πρόβλεψης του φορτίου και της αιολική παραγωγής, ιδίως σε απομονωμένα συστήματα με μεγάλη διείσδυση της αιολικής παραγωγής, τόσο πιο συχνά γίνεται αποκοπή της αιολικής παραγωγής. Μερικές φορές σε τέτοια συστήματα, οι χειριστές θεωρούν ακόμα την αιολική πρόβλεψη τελείως αναξιόπιστη, δίνοντας εντολή να κρατείται 100% εφεδρεία για την αιολική παραγωγή, δηλαδή όση ενέργεια παράγουν τα αιολικά πάρκα, τόση εφεδρεία να κρατείται.

Κάτω από αυτές τις συνθήκες, η ικανοποιητική πρόβλεψη ανέμου και φορτίου είναι αρκετά σημαντική για την ασφαλή και οικονομική λειτουργία των αυτόνομων συστημάτων. Μελέτες έχουν δείξει ότι μια καλή πρόβλεψη της αιολικής παραγωγής έχει σημαντικά οικονομικά αποτελέσματα τόσο στον παραγωγό όσο και στην επιχείρηση ηλεκτρισμού.

Θα πρέπει λοιπόν να δίνονται στους χειριστές στοιχεία για τα σφάλματα των προβλέψεων ώστε να γίνεται πιο οικονομική η λειτουργία του συστήματος. Μια πολύ καλή τέτοια πληροφορία εξάγεται από τα διαστήματα εμπιστοσύνης τα οποία δίνουν στον χειριστή το εύρος της αβεβαιότητας της αιολικής παραγωγής. Με αυτή την πληροφορία θα μπορεί αυτός να καθορίσει την στρεφόμενη εφεδρεία για την αναπλήρωση της αιολικής παραγωγής. Η αβεβαιότητα για τα διάφορα μοντέλα πρόβλεψης της αιολικής παραγωγής έχει παρουσιαστεί στο κεφάλαιο 3. Για τον υπολογισμό του σφάλματος πρόβλεψης της αιολικής παραγωγής χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα από την ανάλυση που έγινε για το στατιστικό μοντέλο το οποίο είχε παρουσιάσει τα μικρότερα σφάλματα πρόβλεψης.

Πέρα από την αβεβαιότητα για την αιολική παραγωγή, χρειάζεται να είναι γνωστή και η αβεβαιότητα για την ίδια την πρόβλεψη του φορτίου που θα πρέπει να εξυπηρετηθεί. Πάλι με την χρήση κάποιων μοντέλων πρόβλεψης εξάγεται η αβεβαιότητα για το φορτίο.

Το σφάλμα του φορτίου υπολογίζεται ως η διαφορά της πραγματικής από την εκτιμώμενη τιμή και οι τιμές των σφαλμάτων θα ακολουθούν την κανονική κατανομή. Για την περίπτωση της Μήλου που θα εξεταστεί στα επόμενα κεφάλαια θα είναι η μέση τιμή του NMAE ίση με 7.09% και η κανονική κατανομή του θα έχει μέση τιμή μηδέν και η τυπική απόκλιση

$$\sigma = \frac{NMAE}{2} \sqrt{2\pi} = 0.0809 = 8.09\% \quad (17)$$

Ο παραπάνω τύπος είναι αποτέλεσμα της μεθόδου Half- Normal¹⁹ που αφορά την σχέση μεταξύ μετρήσιμων σφαλμάτων και του μέτρου. Η μέθοδος βασίζεται στην παρατήρηση πως αν έστω η μεταβλητή X ακολουθεί την κανονική κατανομή με μέση τιμή μηδέν και το τετραγωνική απόκλιση σ^2 ,

η απόλυτη τιμή του X θα ακολουθεί την Half-Normal κατανομή με μέση τιμή ίση με $\sigma \sqrt{\frac{2}{\pi}}$.

Έτσι θεωρώντας ως μεταβλητή X τα σφάλματα του φορτίου και υποθέτοντας ότι ακολουθούν την κανονική κατανομή με μέση τιμή μηδέν, υπολογίζεται εύκολα η μέση τιμή και η απόκλιση της.

Αρχικά θα γίνει η υπόθεση ότι για κάθε χρονικό διάστημα τα σφάλματα πρόβλεψης φορτίου και αιολικής παραγωγής είναι τυχαίες μεταβλητές με γνωστές συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας.

Η ολική αβεβαιότητα για το φορτίο που θα πρέπει να παραχθεί από τις θερμικές μονάδες για κάθε χρονικό διάστημα, οφείλεται στο άθροισμα των σφαλμάτων της πρόβλεψης φορτίου και αιολικής παραγωγής και είναι και αυτό τυχαία μεταβλητή και δίνεται από τον τύπο:

$$l_{ue}(t) = l_e(t) + w_e(t) \quad (18)$$

Όπου $l_e(t)$ το σφάλμα φορτίου και $w_e(t)$ το σφάλμα της αιολικής παραγωγής.

Και τα δύο σφάλματα πρόβλεψης είναι στατιστικώς ανεξάρτητα και έτσι η συνάρτηση πυκνότητα πιθανότητας της $l_{ue}(t)$ μπορεί να δοθεί αν γίνει η συνέλιξη των συναρτήσεων πυκνότητας πιθανότητας του φορτίου και της αιολικής παραγωγής, δηλαδή θα ισχύει:

$$l_{ue}(t) = l_e(t) \otimes w_e(t) \quad (19)$$

Αφού υπολογιστεί η συνολική συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας, ο χειριστής του συστήματος θα μπορεί να υπολογίσει τα διαστήματα εμπιστοσύνης για την αναμενόμενη αβεβαιότητα για το φορτίο που θα πρέπει να παραχθεί από τις μονάδες.

Στην εργασία αυτή, η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της αιολικής παραγωγής δεν είναι συνεχής αλλά διακριτή κατανομή. Έτσι θα χρησιμοποιηθεί διακριτή κατανομή για το σφάλμα πρόβλεψης e_r .

Η μαθηματική περιγραφή αυτής της διακριτής κατανομής δίνεται με την βοήθεια της κρουστικής (Dirac) συνάρτησης δ και ισχύει:

$$f_{w_e(t)}(w_e(t)) = \sum_{k=1}^m G_k \cdot \delta(w_e(t) - H_k) \quad (20)$$

Με m παριστάνεται ο αριθμός των διακριτών παλμών που χρησιμοποιούνται στην αναπαράσταση, G_k η πιθανότητα εμφάνισης του παλμού και H_k η τιμή του θεωρούμενου σφάλματος.

Αν για το σφάλμα πρόβλεψης φορτίου, $l_e(t)$, υποθέσουμε κανονική κατανομή, τότε το αποτέλεσμα της συνέλιξης των σ.π.π των σφαλμάτων δεν είναι τίποτε άλλο από τη συνέλιξη κανονικής με διακριτή κατανομή, όπως δίνεται από την:

$$f_w(w) = f_N(x_N) \cdot f_D(x_D) = \sum_{k=1}^m \frac{G_k}{\sigma_N \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{(w - \mu_{wk})^2}{2 \cdot \sigma_N^2}\right) \quad (21)$$

Όπου σ_N είναι η τυπική απόκλιση της κανονικής κατανομής, ενώ $\mu_{wk} = \mu_N + H_k$, με μ_N τη μέση τιμή της κανονικής κατανομής.

5.3 Ένταξη μονάδων

5.3.1 Γενικά²⁰

Η ένταξη μονάδων είναι ένα πρόβλημα απόφασης για το ποιες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να λειτουργήσουν για κάποια περίοδο ώστε να εξυπηρετηθεί το προβλεπόμενο φορτίο ζήτησης. Το πρόβλημα είναι ενδιαφέρον επειδή σε ένα τυπικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας υπάρχει μια ποικιλία από μονάδες διαθέσιμες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και κάθε μια από αυτές τις μονάδες έχει τα δικά της χαρακτηριστικά.

Τα χαρακτηριστικά των μονάδων είναι συνήθως το τεχνικό ελάχιστο, το τεχνικό μέγιστο, η σχέση παραγόμενης ισχύος και κόστους και το κόστος εκκίνησης. Το πρόβλημα του unit commitment

καλείτε να λυθεί λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά αυτά. Κάποιες μονάδες παραγωγής έχουν τέτοια χαρακτηριστικά που κάνουν τις μονάδες αυτές κατάλληλες για ορισμένες χρήσεις.

Στο ένα άκρο είναι οι θερμικοί σταθμοί που μπορούν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια με πολύ μικρό οριακό κόστος για κάθε επιπλέον μεγαβατώρας ενέργειας που παράγεται αλλά με πολύ μεγάλο κόστος εκκίνησης σε περίπτωση που έχει βγει εκτός λειτουργίας και χρειάζεται αρκετή ώρα για να φτάσει στην πλήρη ισχύ της. Στο άλλο άκρο βρίσκονται οι αεριοστρόβιλοι οι οποίοι μπορούν να ανακτήσουν πλήρη ισχύ σε λίγα μόνο λεπτά αλλά το οριακό τους κόστος είναι πιο μεγάλο.

Μια προφανής πολιτική είναι όσο αυξάνει η ζήτηση, να μπαίνουν στην παραγωγή πρώτα οι αξιόπιστες αλλά με μεγάλο κόστος εκκίνησης γεννήτριες και στην συνέχεια οι γεννήτριες με μικρό κόστος εκκίνησης αλλά με μικρότερη αξιοπιστία. Στην περίπτωση που η ζήτηση μειώνεται, θα βγαίνουν από την παραγωγή με την αντίστροφη σειρά από αυτή που εισήλθαν.

Το πρόβλημα γίνεται ακόμα πιο περίπλοκο αν υπάρχει μια αιχμή στην ζήτηση για ένα μικρό χρονικό διάστημα. Στην περίπτωση αυτή μπορεί να είναι πιο οικονομικό να παραληφθεί μια αξιόπιστη μονάδα και στην θέση της να εκκινήσει μια με μικρότερη αξιοπιστία αλλά με μικρότερο κόστος εκκίνησης για την περίοδο κατά την οποία παρουσιάζεται η αιχμή.

5.3.2 Unit commitment στις προσομοιώσεις ¹⁸

Οι χειριστές του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να δώσουν εντολή να παραχθεί ισχύς ίση με την ζήτηση φορτίου μείον την αιολική παραγωγή, ενώ λαμβάνεται υπόψη και η αβεβαιότητα της πρόβλεψης. Η πλέον δύσκολη περίπτωση στην πρόβλεψη είναι να έχει υπερεκτιμηθεί η αιολική παραγωγή και να έχει υποεκτιμηθεί το επίπεδο του φορτίου. Για αυτήν την περίπτωση θα πρέπει να δίνεται στους χειριστές η πιθανότητα για να συμβεί αυτή η περίπτωση ώστε να αποφεύγονται τέτοιες περιπτώσεις.

Στην συνέχεια ορίζεται ως $perc(q, l_{u_e}(t))$ η λύση της εξίσωσης

$$F_{l_{u_e}(t)}(l_{u_e}(t)) = q \quad (22)$$

Δηλαδή υπολογίζεται το q διάστημα εμπιστοσύνης της $F_{l_{u_e}(t)}(l_{u_e}(t))$ όπου είναι η συσσωρευτική συνάρτηση διασποράς της $l_{u_e}(t)$ συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας. Συνήθως η τιμή του q είναι μεγάλη ώστε να μειώνεται ο κίνδυνος να υπάρξει υποεκτίμηση του φορτίου και υπερεκτίμηση της αιολικής παραγωγής.

Συνολικά θα πρέπει η ισχύς που θα πρέπει να παραχθεί από τις μονάδες θα πρέπει να είναι ίση με:

$load_to_units(t) = perc(q, l_{u_e}(t)) + load(t) - WP(t)$, όπου $load$ είναι η τιμή του φορτίου από το εργαλείο πρόβλεψης όπως και η WP , η προβλεπόμενη αιολική παραγωγή.

Αφού έχει υπολογιστεί το φορτίο το οποίο θα παραχθεί στις μονάδες, τότε θα πρέπει να λυθεί το πρόβλημα του unit commitment. Η αντικειμενική συνάρτηση που θα πρέπει να ελαχιστοποιηθεί είναι η ακόλουθη:

$$Min(OC(t)) = Min \sum_{i=1}^N (u_{i,t} FC(Pg_i(t)) + u_{i,t} (u_{i,t-1}) SUC_i(t)) \quad (23)$$

Όπου OC είναι το λειτουργικό κόστος, FC(Pg(t)) το κόστος καυσίμου που εξαρτάται από την συνάρτηση παραγωγή Pg (στην περίπτωση της Μήλου συνάρτηση αυτή είναι τετραγωνική), $u_{i,t}$ είναι η κατάσταση της γεννήτριας (0 κλειστή, 1 σε λειτουργία) και τέλος η SUC είναι το κόστος εκκίνησης για κάθε μηχανή.

Οι περιορισμοί του προβλήματος θα είναι οι ακόλουθοι:

$$\sum_{i=1}^N u_{i,t} P_i^{\max} \geq Load_to_units(t) \quad (24)$$

$$P_i^{\min} \leq Pg_i(t) \leq P_i^{\max}$$

Ο πρώτος περιορισμός υποδηλώνει ότι η συνολική φόρτιση των μηχανών δεν θα πρέπει να είναι μικρότερη από το φορτίο που θα πρέπει να ικανοποιηθεί, και ο δεύτερος περιορισμός ότι η παραγωγή κάθε μονάδας θα πρέπει να είναι μέσα στα τεχνικά χαρακτηριστικά της.

Για την επίλυση του προβλήματος χρησιμοποιείται η μέθοδος της priority list. Σε αυτή την μέθοδο, οι μονάδες που μπαίνουν πρώτες στην παραγωγή έχουν μικρότερο κόστος σε κατάσταση πλήρους φορτίου και στην συνέχεια οι υπόλοιπες μηχανές ώστε να εξυπηρετηθεί πλήρως το φορτίο.

Θα πρέπει να προστεθεί στο σημείο αυτό ότι σε περίπτωση που εμφανιστεί κάποιο πρόβλημα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά των μηχανών (κυρίως προβλήματα με τα τεχνικά ελάχιστα) τότε ένα μέρος της αιολικής παραγωγής αποκόπτεται.

Αποκοπή αιολικής ενέργειας συμβαίνει όταν υπάρχει υποεκτίμηση του αιολικού δυναμικού και υπερεκτίμηση του φορτίου. Σε αυτή την περίπτωση το φορτίο που θα πρέπει να εξυπηρετηθεί από τις μονάδες θα είναι μειωμένο από το αναμενόμενο. Σε μερικές περιπτώσεις το άθροισμα των τεχνικών ελαχίστων των μονάδων που θα λειτουργήσουν είναι μεγαλύτερο από το φορτίο που θα πρέπει να εξυπηρετηθεί, δηλαδή:

$$\sum_{j \in IN(t)} P_j^{\min} \geq load(t) - WP(t) + perc(p, lw_e(t)) \quad (25)$$

όπου IN(t) είναι το σύνολο των μονάδων που θα λειτουργήσουν και p η τιμή του διαστήματος εμπιστοσύνης.

Με τον όρο τεχνικό ελάχιστο δεν εννοείται μόνο το χαρακτηριστικό της μονάδος που δίνεται από τον κατασκευαστή της, αλλά η παραγωγή που θα μπορεί να επιτευχθεί από την γεννήτρια αν ληφθεί

υπόψη και η ικανότητα αύξησης και μείωσης της παραγωγής. Δηλαδή, η ενέργεια που θα μπορεί να παράγει μέσα στο επιθυμητό χρονικό ορίζοντα προκύπτει από την αρχική παραγωγή και την ικανότητα μεταβολής της παραγωγής της. Το ικανό επίπεδο παραγωγής θα είναι τελικά αυτό που θα λαμβάνεται υπόψη για τον υπολογισμό της αποκόπτουσας ενέργειας.

Αν η προηγούμενη συνθήκη πληρείται, τότε ένα μέρος από την αιολική ενέργεια θα αποκοπεί, δηλαδή δεν θα αξιοποιηθεί για την εξυπηρέτηση του φορτίου αν και η επιχείρηση ηλεκτρισμού θα πρέπει βάση νόμου να το αγοράσει. Στην περίπτωση της αποκοπής αιολικής παραγωγής, η μέγιστη τιμή της αιολικής ενέργειας που τελικά θα χρησιμοποιηθεί θα είναι ίση με:

$$WP(t) = load(t) + perc(p, lw_e(t)) - \sum_{j \in IN(t)} P_j^{\min}. \quad (26)$$

5.4 Οικονομική κατανομή¹⁸

Αφού λυθεί το πρόβλημα του unit commitment θα επιλύεται το πρόβλημα της οικονομικής κατανομής της παραγωγής στις μονάδες που επιλεχθήκαν. Το πρόβλημα περιγράφεται ως εξής: ελαχιστοποίησε το κόστος καυσίμου ώστε να παράγετε η επιθυμητή ισχύς χωρίς να παραβιάζονται τα χαρακτηριστικά των μηχανών (κυρίως το τεχνικό ελάχιστο). Για την επίλυση του προβλήματος του economic dispatch, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του Sequential Quadratic Programming.

Το κόστος καυσίμου δίνεται από τον τύπο:

$$\min \sum_{j \in N(t)} FC(Pg_j(t)) \quad (27)$$

, ενώ η συνολική παραγόμενη ισχύς είναι

$$\sum_{j \in N(t)} Pg_j(t) = load(t) - WP(t) \quad (28)$$

Οι περιορισμοί φόρτισης δίνονται στον τύπο

$$P_i^{\min} \leq Pg_i(t) \leq P_i^{\max} \quad (29)$$

Το τεχνικό μέγιστο και ελάχιστο εξαρτώνται από την αύξηση ή μείωση του ρυθμού παραγωγής κάθε γεννήτριας. Δηλαδή η μέγιστη παραγωγή της γεννήτριας θα είναι ίση με:

$P_i^{\max} = \min(P_i^{\max}, P_{i-1} + ramp)$, όπου P_i^{\max} είναι η μέγιστη φόρτιση της γεννήτριας που έχει δοθεί από τον κατασκευαστή της, P_{i-1} η φόρτιση την προηγούμενη χρονική στιγμή από αυτή που εξετάζεται και $ramp$ ο ρυθμός αύξησης της παραγωγής. Η μέγιστη δηλαδή παραγωγή για κάθε γεννήτρια θα είναι ίση με την προηγούμενη αυξανόμενη κατά το ποσό αύξησης στην μονάδα του χρόνου. Αν το

ποσό αυτό είναι μεγαλύτερο του τεχνικού μέγιστου της γεννήτριας, τότε η μέγιστη παραγωγή θα είναι το τεχνικό μέγιστο του κατασκευαστή.

Ομοίως για την εύρεση του τεχνικού ελάχιστου ισχύει: $P_i^{\min} = \max(P_i^{\min}, P_{i-1} - ramp)$, δηλαδή όπως και πριν το τεχνικό ελάχιστο θα είναι ίσο είτε με το τεχνικό ελάχιστο του κατασκευαστή είτε με την προηγούμενη φόρτιση μειωμένη με τον ρυθμό μείωσης της παραγωγής για κάθε γεννήτρια.

Ο αλγόριθμος Dynucop που θα χρησιμοποιηθεί για τις προσομοιώσεις του συστήματος, έχει κατασκευαστεί για την βελτιστοποίηση προβλημάτων όπου δίνεται το κόστος παραγωγής για κάθε γεννήτρια με την εξής μορφή: $FC_i = a_i P g_i^i + \dots + a_1 P g_1 + c$, δηλαδή το κόστος παραγωγής είναι πολυωνυμική συνάρτηση της παραγωγής. Για τις γεννήτριες που λειτουργούν στο νησί όμως δίνεται το κόστος μόνο ως συνάρτηση του τετραγώνου της παραγωγής, πράγμα που δεν επηρεάζει τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων.

Κεφάλαιο 6: Εφαρμογή στο ΣΗΕ της Μήλου

6.1 Εισαγωγή¹⁷

Η Μήλος είναι ένα από τα πολλά νησιά της Ελλάδος. Βρίσκεται στον νοτιοδυτικό χώρο των Κυκλάδων, ενός από τα τέσσερα νησιωτικά συμπλέγματα του Αιγαίου Πελάγους. Απέχει δε από την πόλη της Αθήνας 86 ναυτικά μίλια, περίπου δηλαδή 160 χιλιόμετρα.

Η έκτασή της είναι 151 τετραγωνικά χιλιόμετρα (το πέμπτο σε μέγεθος νησί των Κυκλάδων) και το μήκος των ακτών της 125 χιλιόμετρα περίπου με πλούσιο διαμελισμό. Η θέση της και οι συντεταγμένες της είναι 36° 44' 35" βόρειο πλάτος και 24° 25' 28" ανατολικό μήκος (περιοχή Πλάκας). Θεωρείται γενικά χαμηλό νησί. Η ψηλότερη κορυφή, αυτή του Προφήτη Ηλία, έχει ύψος 751 μέτρα και βρίσκεται στο νοτιοδυτικό τμήμα του νησιού. Επίσης το Χονδρό Βουνό, μια άλλη κορυφή στην ίδια περιοχή, έχει ύψος 636 μέτρα. Όλες οι άλλες κορυφές είναι κάτω από 400 μέτρα. Χαρακτηριστικό της Μήλου ο μεγαλοπρεπής της κόλπος που είναι ένα φυσικό λιμάνι. Είναι ένα από τα μεγαλύτερα της Μεσογείου και, σε συνδυασμό με τον ορुकτό της πλούτο, έπαιξε και παίζει σημαντικό ρόλο στην ιστορία, τον πολιτισμό, την οικονομία και την εξέλιξη των κατοίκων αυτού του νησιού τα τελευταία 7.000-8.000 χρόνια.

Οι κάτοικοι του νησιού είναι περίπου 5000 (4771, σύμφωνα με την απογραφή του έτους 2001). Ο πληθυσμός όμως του νησιού σχεδόν πενταπλασιάζεται κατά τους θερινούς μήνες. Οι πλειοψηφία των κατοίκων ζει στο βόρειο τμήμα του νησιού που είναι και το πιο πεδινό, σε οχτώ συνολικά χωριά: την Πλάκα (πρωτεύουσα), τον Τριοβάσαλο, τον Πέρα Τριοβάσαλο, την Τρυπητή, τα Πολλώνια, την Ζεφυρία και τον Αδάμαντα.

Διοικητικά ανήκει στο νομό Κυκλάδων, με πρωτεύουσα του νομού την Ερμούπολη της Σύρου. Ακόμα, για λόγους διοικητικής αποκέντρωσης, ο νομός των Κυκλάδων έχει χωριστεί σε τέσσερις επαρχίες. Μία απ' αυτές είναι η επαρχία της Μήλου, με έδρα τη Μήλο, που περιλαμβάνει και τα νησιά Κίμωλο, Σίφνο και Σέριφο.

6.2 Το ηλεκτρικό σύστημα της Μήλου

6.2.1 Γενικά²¹

Το νησί Μήλος είναι ένα απομονωμένο σύστημα όσο αφορά την ηλεκτρική ενέργεια. Το σύστημα αυτό τροφοδοτείται από έναν αυτόνομο σταθμό παραγωγής εγκατεστημένη ισχύ ίση με 14760kW. Ακόμα στο νησί είναι εγκατεστημένο ένα αιολικό πάρκο που έχει εγκατεστημένη ισχύ 2050kW.

Η μέγιστη ζήτηση από το σύστημα του νησιού είναι της των 5970kW κατά το έτος 2001 αλλά το 2006 είχε φτάσει ακόμα και στα 9880kW. Τέλος η απορροφημένη ενέργεια είναι ίση με 36457MWh σε χρονική περίοδο ενός έτους (2006).

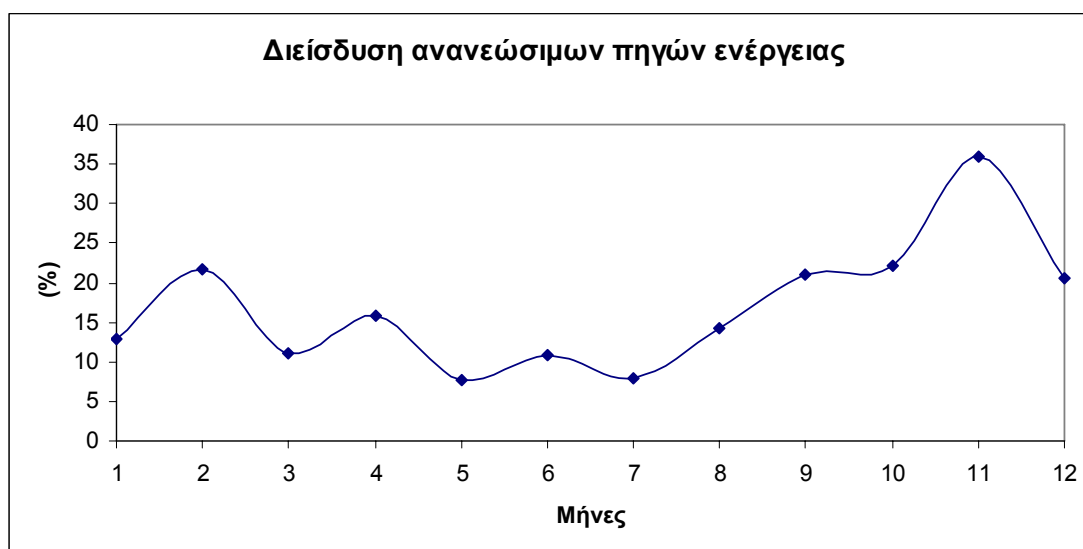
6.2.2 Διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας²¹

Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται στοιχεία για την διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ηλεκτρικό σύστημα το έτος 2006.

| Μήνας | Σύστημα Μήλου | | Διείσδυση |
|---------------|-------------------|------------------|--------------|
| | ΕΝΕΡΓΕΙΑ (kWh) | | |
| | ΑΣΠ / ΤΣΠ | ΑΠΕ | |
| Ιανουάριος | 2.541.472 | 327.150 | 12,87 |
| Φεβρουάριος | 2.409.636 | 522.300 | 21,68 |
| Μάρτιος | 2.501.904 | 275.250 | 11 |
| Απρίλιος | 2.343.754 | 372.000 | 15,87 |
| Μάιος | 2.440.056 | 187.200 | 7,67 |
| Ιούνιος | 2.451.340 | 263.400 | 10,75 |
| Ιούλιος | 3.813.759 | 300.380 | 7,88 |
| Αύγουστος | 4.210.227 | 601.136 | 14,28 |
| Σεπτέμβριος | 2.779.580 | 585.817 | 21,08 |
| Οκτώβριος | 1.840.241 | 405.600 | 22,04 |
| Νοέμβριος | 1.860.834 | 670.200 | 36,02 |
| Δεκέμβριος | 2.284.015 | 469.800 | 20,57 |
| Σύνολο | 31.476.818 | 4.980.233 | 15,82 |

Πίνακας 6-1: Διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Μήλο

Στο γράφημα που ακολουθεί παρουσιάζεται η μεταβολή της διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο νησί με μηνιαία βάση.



Διάγραμμα 6-1: Διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

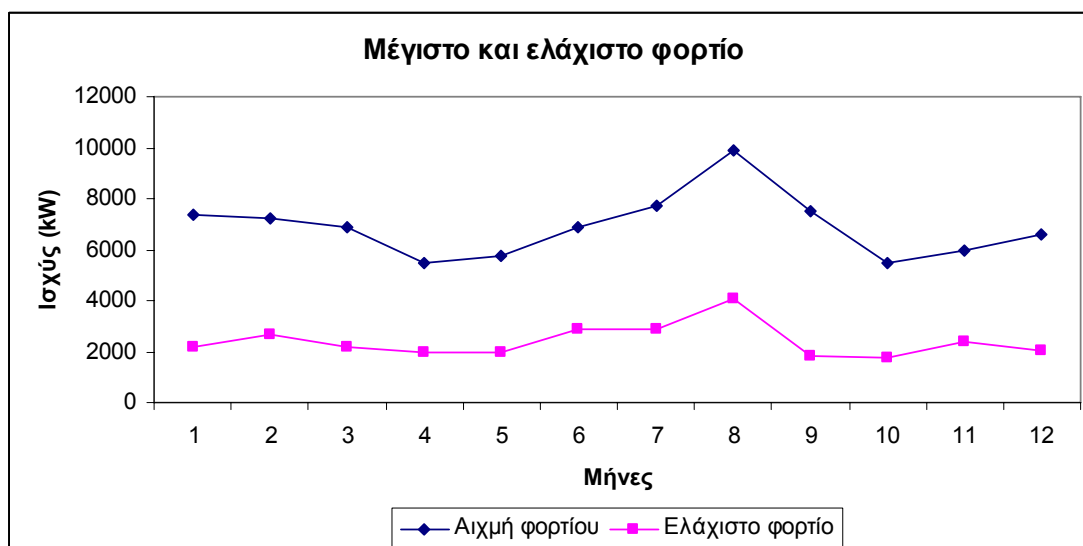
Είναι φανερό ότι τους χειμερινούς μήνες η διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι μεγαλύτερη από αυτή των καλοκαιρινών μηνών. Αυτό οφείλεται κυρίως στην μεγάλη ζήτηση ενέργειας κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.

6.2.3 Αιχμές φορτίου²²

Στην συνέχεια θα παρουσιαστεί πρώτα σε πίνακα και μετά σε γραφική μορφή η μηνιαία αιχμή του συστήματος, δηλαδή το μέγιστο φορτίο που θα πρέπει να εξυπηρετηθεί από την επιχείρηση ηλεκτρισμού κάθε μήνα και το ελάχιστο φορτίο. Με μια απλή διαίρεση αυτών υπολογίζεται και ο συντελεστής φορτίου για κάθε μήνα.

| Μήνας | Αιχμή φορτίου (kW) | Ελάχιστο φορτίο(kW) | Συντελεστής φορτίου (%) |
|-------------|--------------------|---------------------|-------------------------|
| Ιανουάριος | 7350 | 2150 | 29,25 |
| Φεβρουάριος | 7200 | 2650 | 36,81 |
| Μάρτιος | 6900 | 2150 | 31,16 |
| Απρίλιος | 5500 | 1950 | 35,45 |
| Μάιος | 5750 | 1950 | 33,91 |
| Ιούνιος | 6900 | 2910 | 42,17 |
| Ιούλιος | 7750 | 2890 | 37,29 |
| Αύγουστος | 9880 | 4100 | 41,50 |
| Σεπτέμβριος | 7500 | 1850 | 24,67 |
| Οκτώβριος | 5450 | 1750 | 32,11 |
| Νοέμβριος | 5950 | 2420 | 40,67 |
| Δεκέμβριος | 6600 | 2030 | 30,76 |

Πίνακας 6-2: Συντελεστής φορτίου



Διάγραμμα 6-2:Μηνιαία αιχμή και ελάχιστο φορτίο

Αν και η Μήλος είναι σχετικά μικρό νησί και με λίγους κατοίκους τους χειμερινούς μήνες, παρατηρείται ότι η αιχμή του φορτίου είναι σχετικά μεγάλη. Αυτό οφείλεται κυρίως στα ορυχεία που υπάρχουν στο έδαφος της. Δεν παρατηρούνται δηλαδή φαινόμενα όπως σε άλλα νησιά όπου η αιχμή φορτίου κατά τους θερινούς μήνες είναι υπερδιπλάσια από αυτή τους καλοκαιρινούς. Ο ετήσιος συντελεστής φορτίου υπολογίζεται από τον μέσο όρο των μηνιαίων συντελεστών και είναι ίσος με 34,65%.

6.2.4 Συμβατικός σταθμός παραγωγής

6.2.4.1 Μόνιμες Γεννήτριες²³

Η εγκατεστημένη ισχύ του συμβατικού σταθμού παραγωγής είναι ίση με 14760kW. Ο σταθμός διαθέτει οκτώ εγκατεστημένες μονάδες που καταναλώνουν είτε πετρέλαιο τύπου μαζούτ είτε diesel. Αναλυτικότερα, οι μονάδες είναι οι εξής:

| | Ονομαστική ισχύς (kW) | Αποδιδόμενη ισχύς (kW) | Τύπος καυσίμου |
|------------------|-----------------------|------------------------|----------------|
| SULZER, 7TAF48 | 2.224 | 1.750 | Μαζούτ |
| SULZER, 7TAF48 | 2.224 | 1.750 | Μαζούτ |
| MAN, G9V30/45 | 965 | 700 | Μαζούτ |
| MAN, G9V30/45 | 965 | 700 | Μαζούτ |
| MAN, G9V30/45 | 965 | 700 | Μαζούτ |
| CKD, 12V27,5-B8S | 2.600 | 2.000 | Diesel |

| | | | |
|---------------------------|--------|--------|--------|
| CKD, 12V27,5-B8S | 2.600 | 1.900 | Diesel |
| FINCANTIERI, BL230.12P | 2.217 | 1.750 | Diesel |
| Σύνολο | 14.760 | 11.250 | |

Πίνακας 6-3: Γεννήτριες συμβατικού σταθμού παραγωγής

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα στοιχεία των γεννητριών που είναι εγκατεστημένες στο νησί.

Πίνακας 6-4: Τεχνικά χαρακτηριστικά γεννητριών

| A/a | Όνομα μονάδος | Όνομα κατασκευαστή | Καύσιμο | Pg_i^{\min} (kW) | Pg_i^{\max} (kW) | sqcoeff (Kg/kWh ²) | lincoeff (Kg/kWh) | const coeff (Kg-lt) | startup_cost (€) | reserves (kW/kW) |
|-----|---------------|--------------------|---------|-----------------------|--------------------|-----------------------------------|----------------------|---------------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | ΜΟΝΑΔΑ Νο 2 | SULZER | Μαζούτ | 880 | 1750 | 0.03 | 0.16092 | 81.082 | 37.881 | 0.02 |
| 2 | ΜΟΝΑΔΑ Νο 3 | SULZER | Μαζούτ | 880 | 1750 | 0.03 | 0.16092 | 81.082 | 37.881 | 0.02 |
| 3 | ΜΟΝΑΔΑ Νο 4 | MAN | Μαζούτ | 350 | 700 | 0.06 | 0.1662 | 26.201 | 14.328 | 0.02 |
| 4 | ΜΟΝΑΔΑ Νο 5 | MAN | Μαζούτ | 350 | 700 | 0.06 | 0.1662 | 26.201 | 14.328 | 0.02 |
| 5 | ΜΟΝΑΔΑ Νο 6 | MAN | Μαζούτ | 350 | 700 | 0.06 | 0.1662 | 26.201 | 14.328 | 0.02 |
| 6 | ΜΟΝΑΔΑ Νο 7 | CKD | Diesel | 1000 | 2000 | 0.02 | 0.1659 | 55.082 | 38.907 | 0.015 |
| 7 | ΜΟΝΑΔΑ Νο 8 | CKD | Diesel | 1000 | 1900 | 0.02 | 0.16593 | 52.328 | 36.65 | 0.015 |
| 8 | ΜΟΝΑΔΑ Νο 10 | FINGANTIERI | Diesel | 850 | 1750 | 0.02 | 0.1751 | 51.76 | 34.953 | 0.015 |

Όπου:

| | | |
|-------------------|---|------------------------|
| Pg_i^{\min} | Τεχνικό ελάχιστο μονάδας | (kW) |
| Pg_i^{\max} | Τεχνικό μέγιστο μονάδας | (kW) |
| $sqcoeff_i$ | Τετραγωνικός όρος εξίσωσης κόστους μονάδας | (Kg/MWh ²) |
| $lincoeff_i$ | Γραμμικός όρος εξίσωσης κόστους μονάδας | (Kg/MWh) |
| $constcoeff_i$ | Σταθερός όρος εξίσωσης κόστους μονάδας | (Kg) |
| $startup_cost_i$ | Κόστος εκκίνησης μονάδας | (€) |
| $reserves_i$ | Ποσοστό στρεφόμενης εφεδρείας για κάθε μονάδα | |

Η συνάρτηση κόστους για κάθε γεννήτρια δίνεται από την σχέση:

$$cost = sqcoeff \cdot isxys^2 + lincoeff \cdot isxys + conscoeff \quad (30)$$

Συνήθως στην παραπάνω σχέση κόστους υπάρχει και κυβικός όρος αλλά σε αυτή την περίπτωση δεν έχουν δοθεί στοιχεία για τον όρο αυτό.

Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο, οι γεννήτριες μπορούν να αυξάνουν και να μειώνουν την παραγωγή τους με ένα σταθερό ρυθμό. Ο ρυθμός αύξησης και μείωσης (είναι κοινός σε αυτή την περίπτωση) των γεννητριών του συμβατικού σταθμού είναι οι ακόλουθοι:

| Όνομα μονάδος | Ρυθμός αύξησης-μείωσης (kW/hour) |
|---------------|-------------------------------------|
| ΜΟΝΑΔΑ Νο 2 | 1650 |
| ΜΟΝΑΔΑ Νο 3 | 1650 |
| ΜΟΝΑΔΑ Νο 4 | 1200 |
| ΜΟΝΑΔΑ Νο 5 | 1200 |
| ΜΟΝΑΔΑ Νο 6 | 1200 |
| ΜΟΝΑΔΑ Νο 7 | 3150 |
| ΜΟΝΑΔΑ Νο 8 | 3150 |
| ΜΟΝΑΔΑ Νο 10 | 2850 |

Πίνακας 6-5: Ρυθμοί αύξησης και μείωσης παραγωγής γεννητριών

6.2.4.2 Ηλεκτροπαραγωγή ζεύγη²³

Κατά τους θερινούς μήνες η κατανάλωση ενέργειας αυξάνετε κατακόρυφα λόγω της τουριστικής περιόδου. Για τον λόγο αυτό ενοικιάζονται κατά τους θερινούς μήνες ηλεκτροπαραγωγή ζεύγη για την ασφάλεια και την επάρκεια του δικτύου. Συνολικά ενοικιάζονται 5 Η/Ζ κατά τους θερινούς μήνες.

Επιπλέον κατά το 2^ο τρίμηνο του χρόνου ενοικιάστηκε ένα Η/Ζ επειδή την περίοδο αυτή γινόταν συντήρηση των υπάρχων μόνιμων μονάδων του συμβατικού σταθμού.

Τα στοιχεία των Η/Ζ δίνονται στην συνέχεια:

| A/a | Όνομα μονάδος | Καύσιμο | Pg_i^{\min} (kW) | Pg_i^{\max} (kW) | sqcoeff (Kg/kWh ²) | lincoeff (Kg/kWh) | constcoeff (Kg-lt) | startup_cost (€) | reserves (kW/kW) |
|-----|---------------|---------|--------------------|--------------------|--------------------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|
| 1 | H/Z 1 | Diesel | 550 | 1032 | 0.01 | 0.158 | 45 | 22 | 0.01 |
| 2 | H/Z 2 | Diesel | 550 | 1032 | 0.01 | 0.158 | 45 | 22 | 0.01 |
| 3 | H/Z 3 | Diesel | 550 | 1032 | 0.01 | 0.158 | 45 | 22 | 0.01 |
| 4 | H/Z 4 | Diesel | 550 | 1032 | 0.01 | 0.158 | 45 | 22 | 0.01 |
| 5 | H/Z 5 | Diesel | 850 | 1600 | 0.01 | 0.156 | 72 | 22 | 0.01 |

Πίνακας 6-6: Τεχνικά χαρακτηριστικά ενοικιαζόμενων Η/Ζ

Αν και η αρχική συμφωνία προέβλεπε κατά τους θερινούς μήνες την ενοικίαση γεννητριών με παραγωγή 4MW, η εταιρία που έδωσε ζεύγη με μεγαλύτερη ικανότητα ώστε σε περίπτωση βλάβης να μη υπάρξει ποινική ρήτρα.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι ρυθμοί αύξησης και μείωσης της παραγωγής σε σχέση με τον χρόνο των Η/Ζ.

| Όνομα μονάδος | Ρυθμός αύξησης-μείωσης (kW/hour) |
|---------------|----------------------------------|
| H/Z 1 | 2550 |
| H/Z 2 | 2550 |
| H/Z 3 | 2550 |
| H/Z 4 | 2550 |
| H/Z 5 | 3150 |

Πίνακας 6-7: Ρυθμός αύξησης και μείωσης παραγωγής Η/Ζ

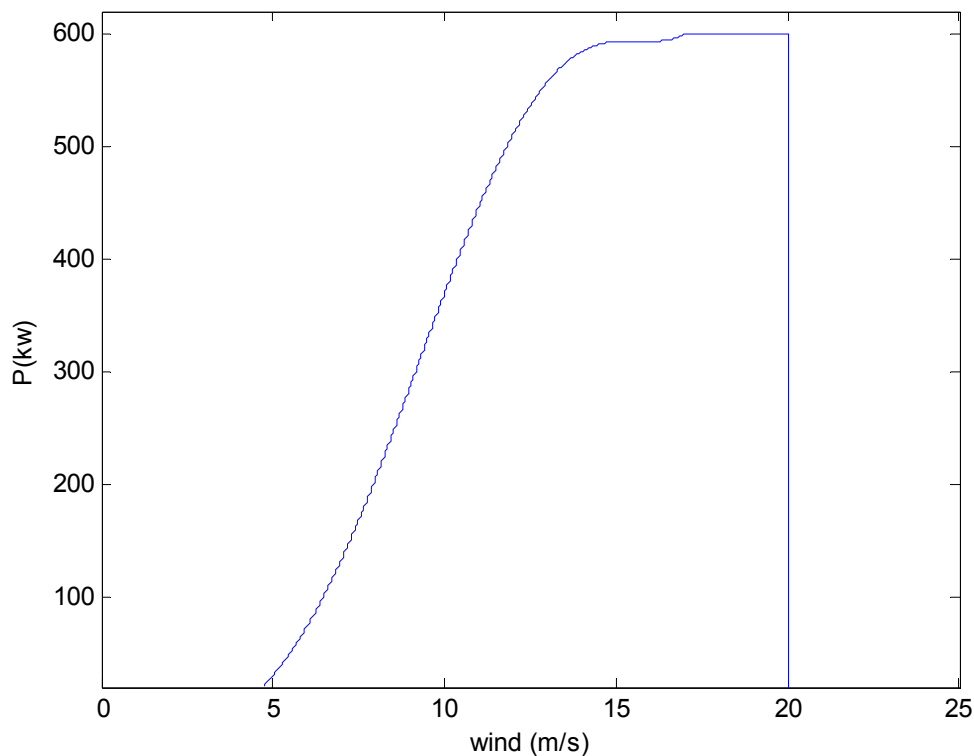
Λόγω έλλειψης στοιχείων για το Η/Ζ του 2^{ου} τριμήνου του έτους, θεωρείται ότι εγκαταστάθηκε ένα από τα τέσσερα όμοια ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη του καλοκαιριού.

6.2.3 Παραγωγή από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Στο νησί της Μήλου και πιο συγκεκριμένα στην θέση Κουτσουνοράχη είναι εγκατεστημένο αιολικό πάρκο αποτελούμενο από δύο ανεμογεννήτριες. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς ήταν 1200kW κατά το έτος 2001. Το τελευταίο διάστημα έχει προστεθεί και μια τρίτη ανεμογεννήτρια με εγκατεστημένη ισχύ 850kW ανεβάζοντας έτσι την εγκατεστημένη ισχύ στα 2050kW.

Οι δύο αρχικές ανεμογεννήτριες είναι μοντέλα V-44 της εταιρίας Vestas¹⁵. Η νέα ανεμογεννήτρια είναι της ίδιας εταιρίας αλλά το μοντέλο είναι αυτή την φορά το V-52 που είχε παρουσιαστεί αναλυτικά στο κεφάλαιο 3. Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η γραφική παράσταση ισχύς

ανέμου της V-44 και στην συνέχεια οι εξισώσεις ισχύος συναρτήσεϊ του ανέμου. Οι εξισώσεις αυτές εξήχθησαν με την βοήθεια του προγράμματος MATLAB όπως και σε προηγούμενο κεφάλαιο.



Σχήμα 6-1: Καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας Vestas V-44

$$P = \begin{cases} 0kW & 0 - 4.0398(m/s) \\ (0.01634u^5 - 0.50743u^4 + 8.4081u^3 - 57.067u^2 + 197.95u - 298.98)kW & 4.0398 - 16.9684(m/s) \\ 600kW & 16.9684 - 20(m/s) \\ 0kW & 20 - 30(m/s) \end{cases}$$

Όπως είναι εμφανές οι δύο τύποι ανεμογεννήτριας, έχουν διαφορετική ταχύτητα ένταξης και διαφορετική αποκοπή. Υπάρχουν δηλαδή σημεία όπου θα μπορούν να παράγουν ισχύ μόνο μερικές από τις ανεμογεννήτριες και όχι όλες. Τέτοια περίπτωση είναι για άνεμο μεταξύ των 20 και 25m/s, όπου λειτουργεί μόνο η V-52 και όχι οι δύο V-44. Μετά από εκτεταμένο έλεγχο, βρέθηκε ότι ο άνεμος που πνέει μεταξύ 20 και 25m/s είναι μόνο το 0.68% όλων των περιπτώσεων, οπότε δεν αλλοιώνει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά.

Με την είσοδο της μονάδος αφαλάτωσης στο σύστημα θα συνδεθεί και μια τέταρτη ανεμογεννήτρια Vestas V-52. Αυτή θα συνδεθεί απευθείας με το εργοστάσιο αφαλάτωσης και σύμφωνα με το πρόγραμμα λειτουργίας του, θα μπορεί να συνεισφέρει και αυτή στο ενέργεια στο ηλεκτρικό σύστημα του νησιού.

6.3 Το πρόβλημα του νερού²⁴

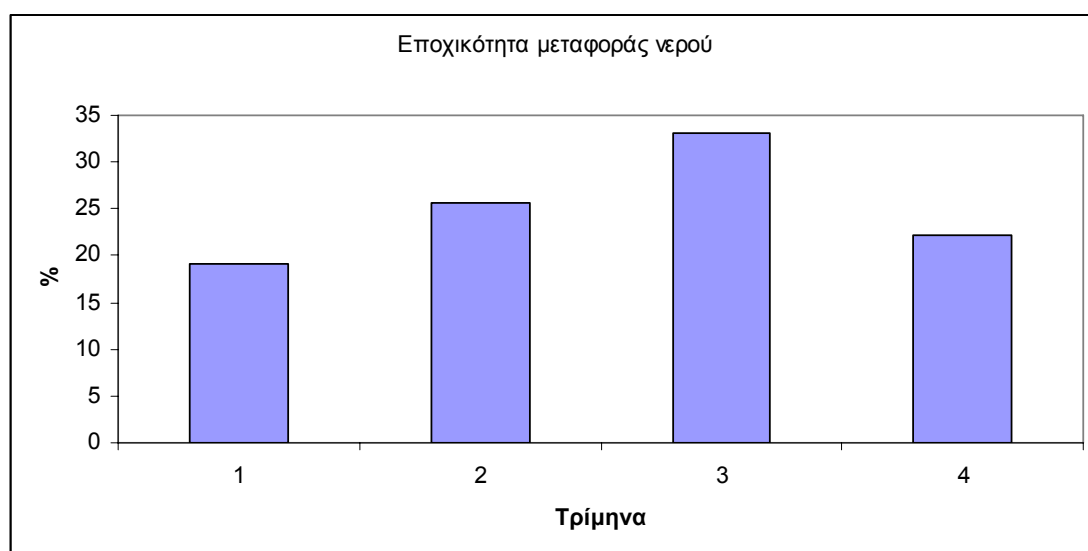
Αν και είναι ένα από τα μεγαλύτερα σε έκταση νησιά στον Ελληνικό χώρο, δεν παρατηρούνται πολλές βροχοπτώσεις που έχει σαν αποτέλεσμα την έλλειψη νερού στο νησί. Το πρόβλημα γίνεται ακόμα εντονότερο τους καλοκαιρινούς μήνες όπου ο πληθυσμός του νησιού πολλαπλασιάζεται, όπως φυσικά και η ανάγκη για νερό.

Μια πρόχειρη λύση για αυτό το πρόβλημα είναι η μεταφορά πόσιμου ύδατος από την ηπειρωτική χώρα. Οι μεταφορές ύδατος με υδροφόρα πλοία ξεκίνησαν το έτος 2001 για δύο μήνες, όπου μεταφέρθηκαν μικρές ποσότητες νερού από την εταιρεία ύδρευσης της περιοχής της πρωτεύουσας της Ελλάδας (ΕΥΔΑΠ).

Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται στοιχεία για το μεταφερόμενο νερό. Από τον πίνακα αυτόν εξήχθει και η γραφική παράσταση της εποχικότητας μεταφοράς του νερού που ακολουθεί.

| | Μεταφερόμενο νερό το έτος 2002 (χιλιάδες m ³) | Μεταφερόμενο νερό το έτος 2003 (χιλιάδες m ³) | Μεταφερόμενο νερό το έτος 2004 (χιλιάδες m ³) |
|------------------------|---|---|---|
| 1 ^ο τρίμηνο | 39 | 28 | 18 |
| 2 ^ο τρίμηνο | 44 | 52 | 46 |
| 3 ^ο τρίμηνο | 59 | 67 | 56 |
| 4 ^ο τρίμηνο | 45 | 36 | 38 |
| Σύνολο | 187 | 183 | 158 |

Πίνακας 6-8: Ποσότητα μεταφερόμενου νερού



Σχήμα 6-2: Εποχικότητα μεταφοράς νερού

Λόγω έλλειψης στοιχείων για την κατανάλωση, εκληφθεί σαν κατανάλωση τριμήνου η μεγαλύτερη τιμή από αυτές του πίνακα με το μεταφερόμενο νερό και στην συνέχεια διπλασιάστηκε η τιμή του. Δηλαδή στις προσομοιώσεις η συνολική κατανάλωση νερού για κάθε τρίμηνο είναι:

| | Συνολική κατανάλωση νερού (χιλιάδες m ³) |
|------------------------|--|
| 1 ^ο τρίμηνο | 78 |
| 2 ^ο τρίμηνο | 104 |
| 3 ^ο τρίμηνο | 134 |
| 4 ^ο τρίμηνο | 90 |
| Σύνολο | 406 |

Πίνακας 6-9: Κατανάλωση νερού

Με την χρήση του χειρότερου σεναρίου από πλευράς κατανάλωσης τα αποτελέσματα δεν θα είναι απόλυτα ακριβή, αλλά θα μπορούν να επιβεβαιώσουν την λειτουργία της εγκατάστασης αφαλάτωσης σε ακραίες συνθήκες.

Τέλος, παρουσιάζεται σε πίνακα η κατανάλωση νερού σε επίπεδο 20λέπτου για όλους τους μήνες του χρόνου. Η κατανάλωση λόγω έλλειψης στοιχείων θεωρείται σταθερή όλο το 24ωρο, αν και η γενική πρακτική στα νησιά είναι όποτε υπάρχει νερό οι καταναλωτές να γεμίζουν τις δεξαμενές τους.

| Μήνας | 20λεπτη κατανάλωση (m³) |
|--------------|---|
| Ιανουάριος | 12,04 |
| Φεβρουάριος | 12,04 |
| Μάρτιος | 12,04 |
| Απρίλιος | 9,26 |
| Μάιος | 16,46 |
| Ιούνιος | 21,87 |
| Ιούλιος | 20,22 |
| Αύγουστος | 21,76 |
| Σεπτέμβριος | 18,66 |
| Οκτώβριος | 19,13 |
| Νοέμβριος | 10,77 |
| Δεκέμβριος | 10,77 |

Πίνακας 6-10: 20λεπτη κατανάλωση

6.4 Η μονάδα αφαλάτωσης

Η μονάδα αφαλάτωσης που θα εγκατασταθεί στο νησί θα επιλύσει σε ένα πολύ μεγάλο βαθμό ή ακόμα και πλήρως το πρόβλημα της έλλειψης νερού και θα παύσει η μεταφορά πόσιμου ύδατος με υδροφόρες.

Το εργοστάσιο θα αποτελείται από 4 νησίδες (modules) αφαλάτωσης με την μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης. Οι κάθε νησίδα συνήθως αποτελείται από την αντλία άντλησης του αλμυρού ή υφάλμυρου νερού, τις μονάδες προκατεργασίας του νερού τροφοδότησης, τις αντλίες της αντίστροφης ώσμωσης και τέλος τις μονάδες τελικής κατεργασίας του αφαλατωμένου ύδατος. Στην περίπτωση της Μήλου, θα υπάρχουν και αντλίες όπου θα μεταφέρουν το αφαλατωμένο νερό σε δεξαμενή σε υψόμετρο μεγαλύτερο από αυτό του εργοστασίου. Με την ύπαρξη της δεξαμενής σε μεγάλο υψόμετρο επιτυγχάνετε εξοικονόμηση ενέργειας μέσω της φυσικής ροής του νερού στους καταναλωτές.

Στην περιγραφή του αλγορίθμου έχουν αναφερθεί εκτενώς τα διάφορα ποσά και μεγέθη τα οποία θα πρέπει να είναι γνωστά για την εκτέλεση των προσομοιώσεων. Συνοπτικά για την εγκατάσταση αφαλάτωσης της Μήλου τα ποσά αυτά είναι:

| | |
|--------------------------------------|---------------------|
| Αριθμός νησίδων αφαλάτωσης | 4 |
| Παραγωγή νερού ανά 20λεπτο | 7 m ³ |
| Απαιτούμενη ισχύς νησίδας αφαλάτωσης | 150kW |
| Συνολική χωρητικότητα δεξαμενής | 3000 m ³ |
| Άνω όριο δεξαμενής | 2800 m ³ |
| Κάτω όριο δεξαμενής | 500 m ³ |
| Απαιτούμενος χρόνος σβέσης νησίδας | 60 λεπτά |

Πίνακας 6-11: Τεχνικά στοιχεία αφαλάτωσης

Το κατώτερο όριο της δεξαμενής έχει παρθεί ίσο με 500 m³ που δίνει αυτονομία νερού στο νησί για περίπου 8 ώρες κατά τους μήνες όπου παρουσιάζεται η μεγαλύτερη κατανάλωση. Ο χρόνος αυτός είναι μικρότερος βέβαια από τους τυπικούς χρόνους αποκατάστασης βλαβών για βλάβη στην μέση τάση, αλλά αν ληφθεί υπόψη το μικρό μέγεθος του νησιού, μπορεί να θεωρηθεί ικανοποιητικός.

Κεφάλαιο 7: Παρουσίαση αποτελεσμάτων μονάδας αφαλάτωσης

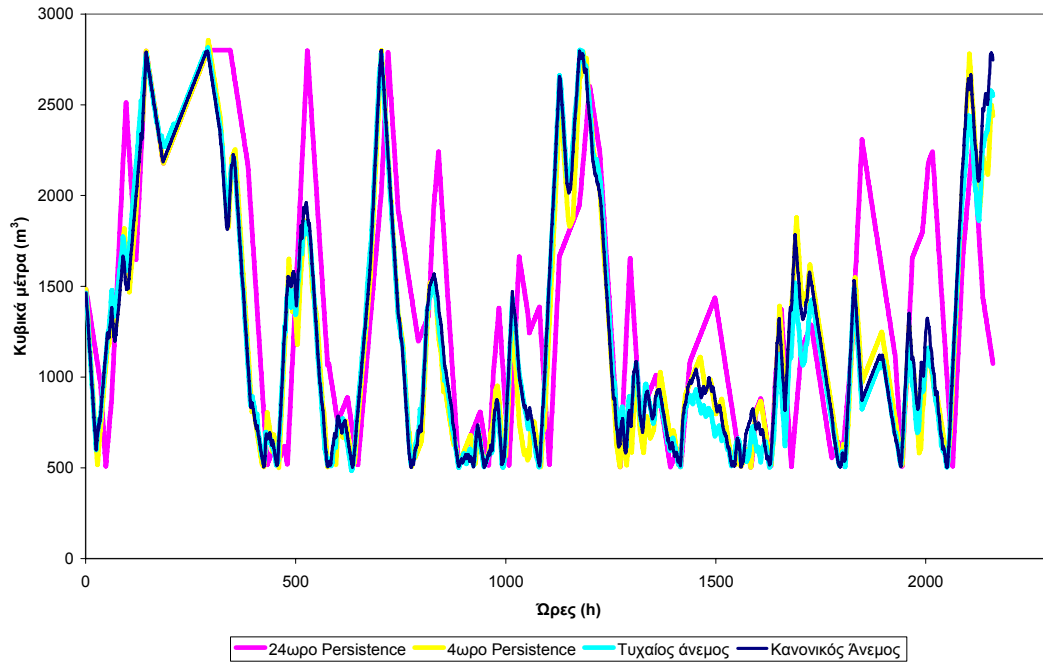
7.1 Εισαγωγικά

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα από την ανάλυση με τους τρεις τρόπους λειτουργίας της εγκατεστημένης μονάδος αφαλάτωσης για ένα χρόνο. Έχοντας γίνει προσομοιώσεις της λειτουργίας της μονάδος με τον αλγόριθμο που παρουσιάστηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, συγκεντρώθηκαν στοιχεία για το παραγόμενο νερό, την στάθμη της δεξαμενής καθώς και για το ισοζύγιο ισχύος και ενέργειας κάνοντας χρήση και των τριών μοντέλων πρόβλεψης της αιολικής παραγωγής. Στα κεφάλαια που ακολουθούν θα παρουσιαστούν και θα αναλυθούν όλα τα αποτελέσματα διεξοδικά. Θα πρέπει εδώ να τονιστεί ότι η λειτουργία του εργοστασίου προσομοιώθηκε ανά μήνα και ο μήνας στην συνέχεια έσπασε σε εξαήμερα προσομοίωσης.

7.2 Στάθμη δεξαμενής

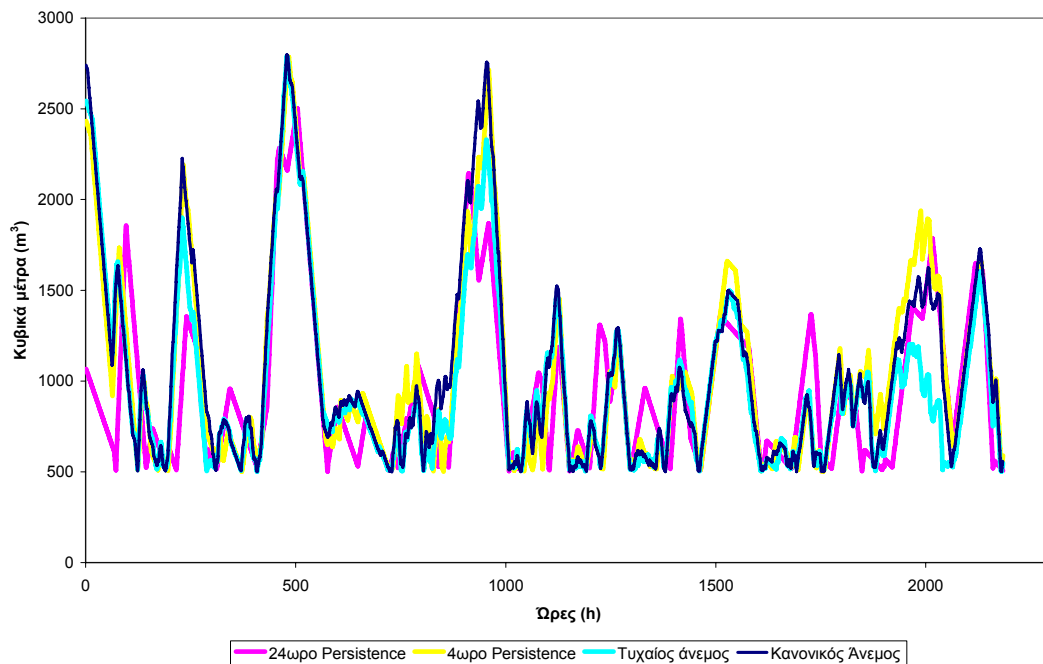
Όπως έχει προαναφερθεί, η δεξαμενή έχει χωρητικότητα ίση με 3000m^3 και για την εργασία αυτή έχουν θεωρηθεί τα ανώτερα και τα κατώτερα όρια λειτουργίας, 500 m^3 και 2800 m^3 . Η στάθμη δεν θα πρέπει να πέσει κάτω από το χαμηλό όριο αλλά δεν θα πρέπει να υπερβεί και το άνω όριο. Ο έλεγχος αυτός γίνεται με ειδικές ρουτίνες στον αλγόριθμο. Παρακάτω ακολουθούν τα διαγράμματα 7.1 έως 7.4 όπου παρουσιάζεται η στάθμη της δεξαμενής για ένα χρόνο λειτουργίας της μονάδος αφαλάτωσης. Τα διαγράμματα είναι χωρισμένα ανά 3 ημερολογιακούς μήνες και περιέχουν και τους τρία μοντέλα πρόβλεψης αλλά και την πρόβλεψη με την κανονική αιολική παραγωγή. Η αρχική στάθμη θεωρήθηκε ίση με 1500 m^3 και για τα τρία μοντέλα προσομοίωσης.

Στάθμη δεξαμενής 1^{ου} τριμήνου



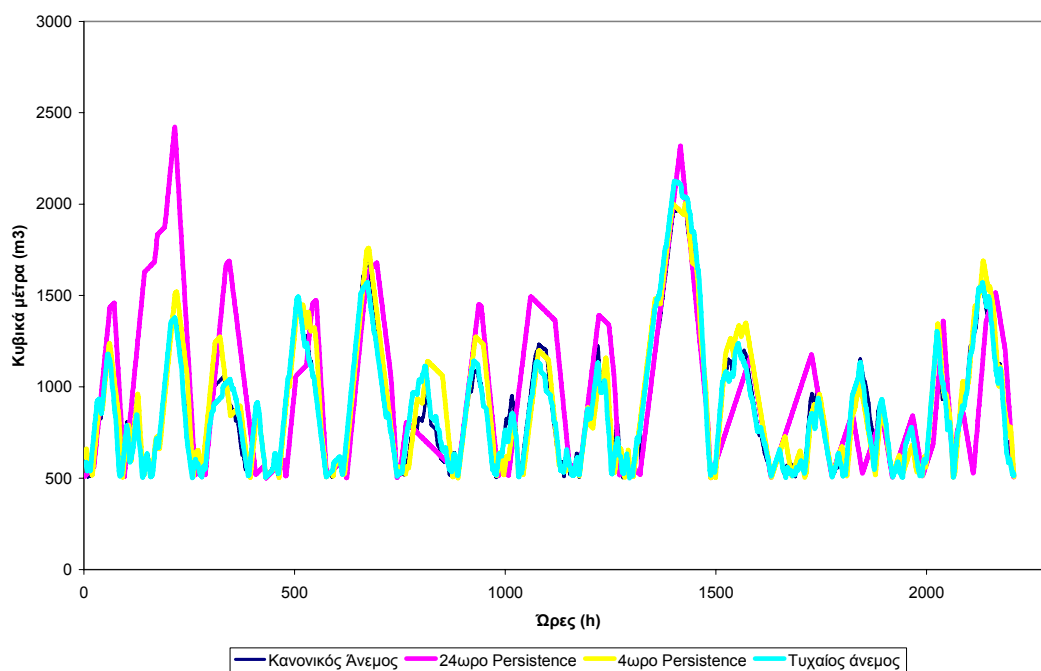
Σχήμα 7-1 Στάθμη δεξαμενής 1^{ου} τριμήνου

Στάθμη δεξαμενής 2^{ου} τριμήνου



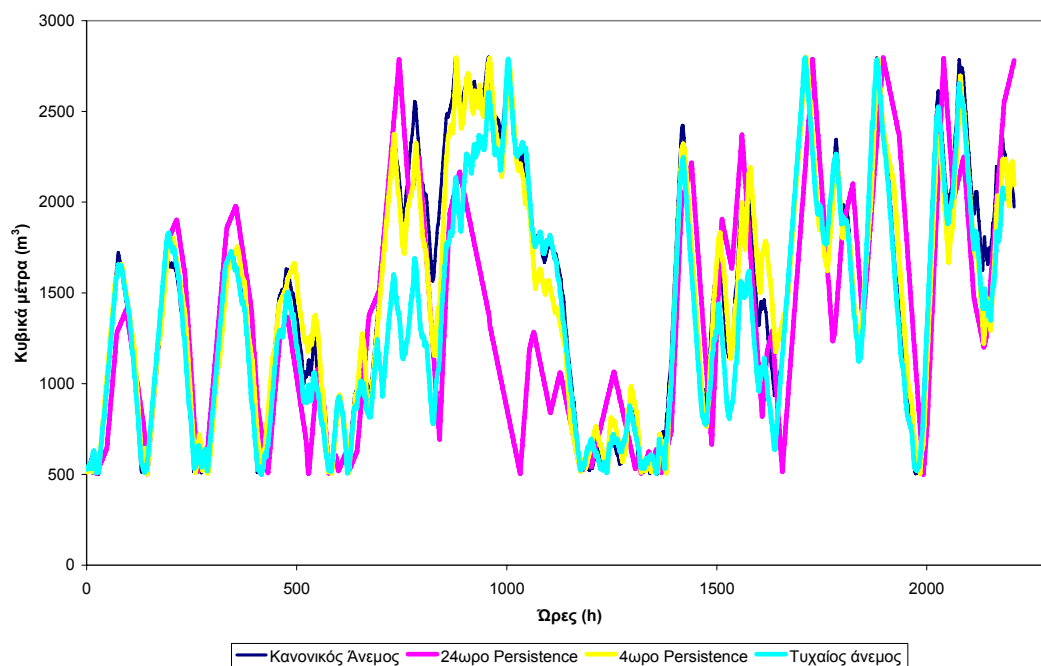
Σχήμα 7-2 Στάθμη δεξαμενής 2^{ου} τριμήνου

Στάθμη δεξαμενής 3ου τριμήνου



Σχήμα 7-3 Στάθμη δεξαμενής 3ου τριμήνου

Στάθμη δεξαμενής 4^{ου} τριμήνου



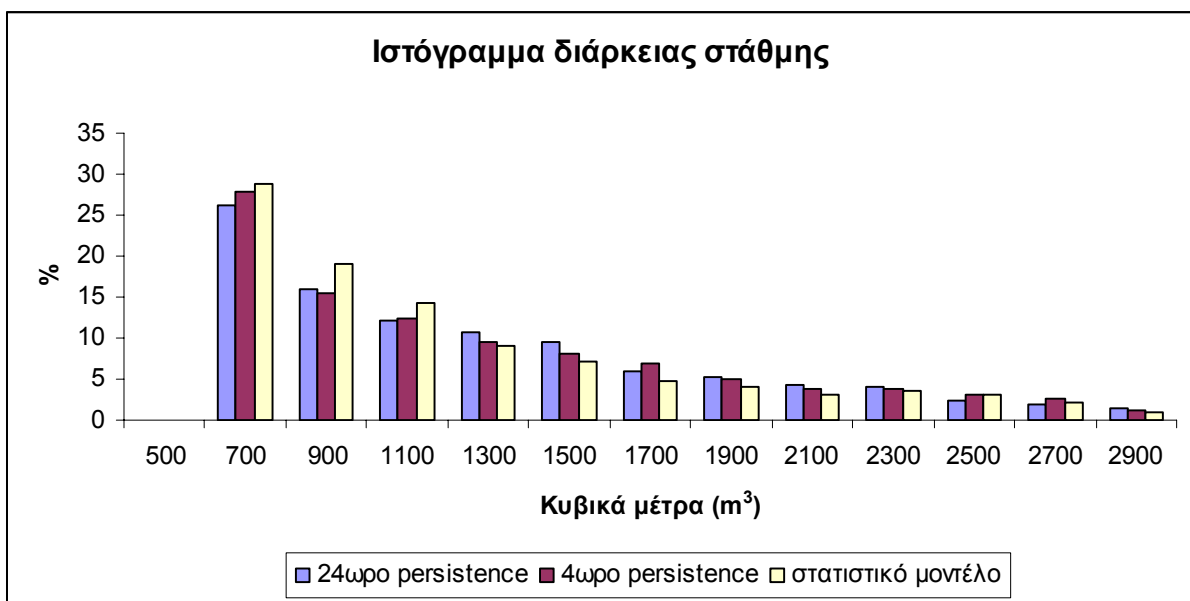
Σχήμα 7-4 Στάθμη δεξαμενής 4ου τριμήνου

Όπως μπορεί κάποιος να παρατηρήσει, οι συμπεριφορές των μοντέλων είναι τις περισσότερες φορές ίδιες. Με την έννοια συμπεριφορά εννοείται ότι σε όλα τα μοντέλα η στάθμη είτε αυξάνεται είτε

μειώνετε μαζί. Οι μόνες διαφορές που είναι ευδιάκριτες είναι αυτές του 24ωρου μοντέλου, που όπως έχει αποδειχθεί δεν είναι ιδιαίτερα καλό μοντέλο πρόβλεψης αιολικής παραγωγής.

Ακόμα είναι φανερό ότι υπάρχει ένα μοτίβο στην στάθμη της δεξαμενής. Σε πολλές περιπτώσεις η στάθμη ξεκινάει από το ελάχιστο όριο των 500 κυβικών μέτρων και αφού αυξάνει στην συνέχεια μειώνεται έως το ελάχιστο όριο. Αυτό οφείλεται στον σχεδιασμό του αλγόριθμου που προβλέπει την ύπαρξη ελλείμματος νερού και το αντιμετωπίζει σε χρονικές στιγμές που συμφέρει περισσότερο την εταιρία διαχείρισης του εργοστασίου.

Στην συνέχεια παρουσιάζεται η καμπύλη διάρκειας της στάθμης, ένα ιστόγραμμα όπου παρουσιάζεται η στάθμη του νερού στην δεξαμενή για τον χρόνο με τα τρία μοντέλα πρόβλεψης αιολικής παραγωγής. Όπως παρατηρείται, η στάθμη είναι πάντα πάνω από το κατώτερο όριο ασφαλείας για όλα τα μοντέλα, ενώ ελάχιστες φορές υπερβαίνει το άνω όριο που επιφέρει την ενεργοποίηση του σήματος alarm. Ακόμα, το μεγαλύτερο ποσοστό στάθμης παρουσιάζεται μεταξύ 500 και 600 κυβικών μέτρων, πράγμα που προϋποθέτει ότι θα υπάρχει έλλειμμα νερού και θα ενεργοποιείται συχνά ο αλγόριθμος αποφυγής ελλείμματος.



Σχήμα 7-5: Ιστόγραμμα διάρκειας στάθμης

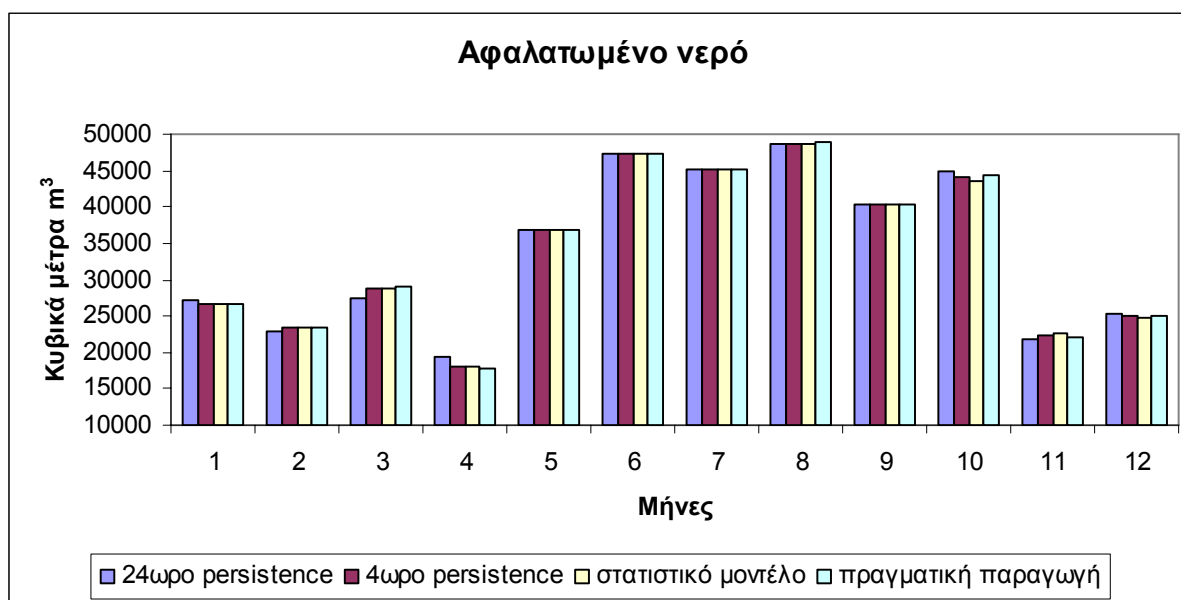
7.3 Παραγόμενο νερό

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζετε το συνολικό νερό που παράχθηκε από την μονάδα αφαλάτωσης κάθε μήνα του έτους:

| | 24ωρο Persistence (m ³) | 4ωρο Persistence (m ³) | Τυχαίο μοντέλο (m ³) |
|---------------|---|--|--|
| Ιανουάριος | 27286 | 26719 | 26691 |
| Φεβρουάριος | 22855 | 23422 | 23450 |
| Μάρτιος | 27433 | 28798 | 28910 |
| Απρίλιος | 19446 | 18095 | 17969 |
| Μάιος | 36743 | 36729 | 36806 |
| Ιούνιος | 47243 | 47327 | 47222 |
| Ιούλιος | 45122 | 45052 | 45087 |
| Αύγουστος | 48559 | 48545 | 48566 |
| Σεπτέμβριος | 40327 | 40320 | 40320 |
| Οκτώβριος | 44975 | 44212 | 43568 |
| Νοέμβριος | 21910 | 22218 | 22715 |
| Δεκέμβριος | 25382 | 25144 | 24892 |
| Σύνολο | 407281 | 406581 | 406196 |

Πίνακας 7-1: Παραγόμενο νερό

Ακολουθεί η γραφική παράσταση του παραγόμενου νερού κάθε μήνα



Σχήμα 7-6: Παραγόμενο νερό

Είναι φανερό πως ανεξαρτήτως του τρόπου πρόβλεψης της αιολικής παραγωγής, το ποσό του νερού που θα αφαλατωθεί παραμένει σχεδόν το ίδιο, καθώς η κατανάλωση ανά 20λεπτο παραμένει σταθερή

και η αρχική τιμή της στάθμης είναι η ίδια για όλα τα μοντέλα (1500 κυβικά μέτρα), μιας και η λειτουργία βασίζεται στην ικανοποίηση των αναγκών σε νερό.

7.4 Ενέργεια και Ισχύς

7.4.1 Ενέργεια

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια από την μονάδα αφαλάτωσης. Όπως είναι αναμενόμενο δεν υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις από μέθοδο σε μέθοδο, από την στιγμή που κύριο ρόλο στην λειτουργία του συστήματος παίζει η στάθμη της δεξαμενής και όχι η παραγόμενη ενέργεια, ήταν φυσικό τα αποτελέσματα να είναι παρόμοια.

| Μήνας | 24ωρο Persistence (kWh) | 4ωρο Persistence (kWh) | Τυχαίο μοντέλο (kWh) |
|---------------|-------------------------|------------------------|----------------------|
| Ιανουάριος | 194900 | 190850 | 190650 |
| Φεβρουάριος | 163250 | 167300 | 167500 |
| Μάρτιος | 195950 | 205700 | 206500 |
| Απρίλιος | 138900 | 129250 | 128350 |
| Μάιος | 262450 | 262350 | 262900 |
| Ιούνιος | 337450 | 338050 | 337300 |
| Ιούλιος | 322300 | 321800 | 322050 |
| Αύγουστος | 346850 | 346750 | 346900 |
| Σεπτέμβριος | 288050 | 288000 | 288000 |
| Οκτώβριος | 321250 | 315800 | 311200 |
| Νοέμβριος | 156500 | 158700 | 162250 |
| Δεκέμβριος | 181300 | 179600 | 177800 |
| Σύνολο | 2909150 | 2904150 | 2901400 |

Πίνακας 7-2: Καταναλισκόμενη ενέργεια

Στο σημείο αυτό θα παρουσιαστούν και τα προβλεπόμενα αποτελέσματα από την παραγωγή της ανεμογεννήτριας, δηλαδή η μηνιαία παραγωγή ενέργειας από την ανεμογεννήτρια που θα συνδεθεί με το εργοστάσιο αφαλάτωσης σύμφωνα με τα τρία μοντέλα πρόβλεψης αιολικής παραγωγής.

| Μήνας | 24ωρο Persistence (kWh) | 4ωρο Persistence (kWh) | Τυχαίο μοντέλο (kWh) |
|-------------|-------------------------|------------------------|----------------------|
| Ιανουάριος | 293837 | 310907 | 307134 |
| Φεβρουάριος | 145676 | 164639 | 167290 |
| Μάρτιος | 158380 | 157759 | 158377 |
| Απρίλιος | 109211 | 134437 | 127525 |

| | | | |
|---------------|----------------|----------------|----------------|
| Μάιος | 112046 | 202315 | 202370 |
| Ιούνιος | 209266 | 254158 | 250015 |
| Ιούλιος | 213084 | 130812 | 130721 |
| Αύγουστος | 168223 | 173720 | 167869 |
| Σεπτέμβριος | 67756 | 96063 | 97737 |
| Οκτώβριος | 225431 | 218292 | 214926 |
| Νοέμβριος | 110991 | 162206 | 168381 |
| Δεκέμβριος | 276539 | 264219 | 252935 |
| Σύνολο | 2090440 | 2269527 | 2245279 |

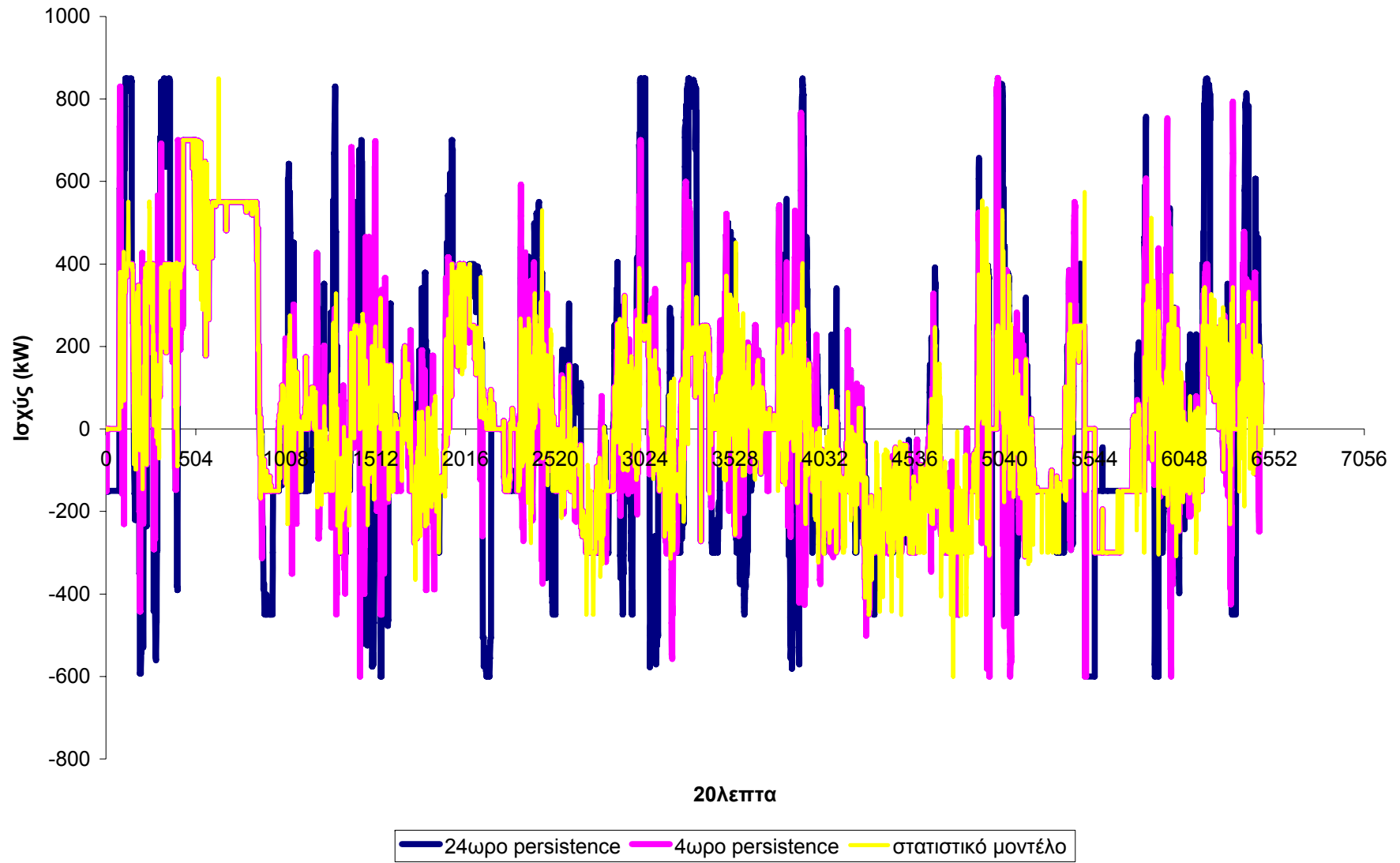
Πίνακας 7-3: Προβλεπόμενη αιολική παραγωγή

7.4.2 Ισοζύγιο Ισχύος

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζονται τα ισοζύγια ισχύος από και προς το δίκτυο. Όταν υπάρχει αγορά ενέργειας από την εταιρεία ηλεκτρισμού, το ισοζύγιο είναι αρνητικό ενώ στην περίπτωση πώλησης στο δίκτυο θετικό. Σαν ισοζύγιο ισχύος ορίζεται το υπόλοιπο της αφαίρεσης της πραγματικής αιολικής παραγωγής της ανεμογεννήτριας με την κατανάλωση ισχύος του εργοστασίου για κάθε 20λεπτο. Οι τιμές του ισοζυγίου θεωρητικά εκτείνονται από τα 850kW έως τα -600kW. Η μέγιστη τιμή είναι για όταν δεν υπάρχει παραγωγή νερού για κάποιον λόγο και η αιολική παραγωγή είναι μέγιστη. Αντίθετα η ελάχιστη τιμή είναι για την περίπτωση όπου δεν υπάρχει αιολική παραγωγή και είναι σε λειτουργία και οι τέσσερεις νησίδες αφαλάτωσης.

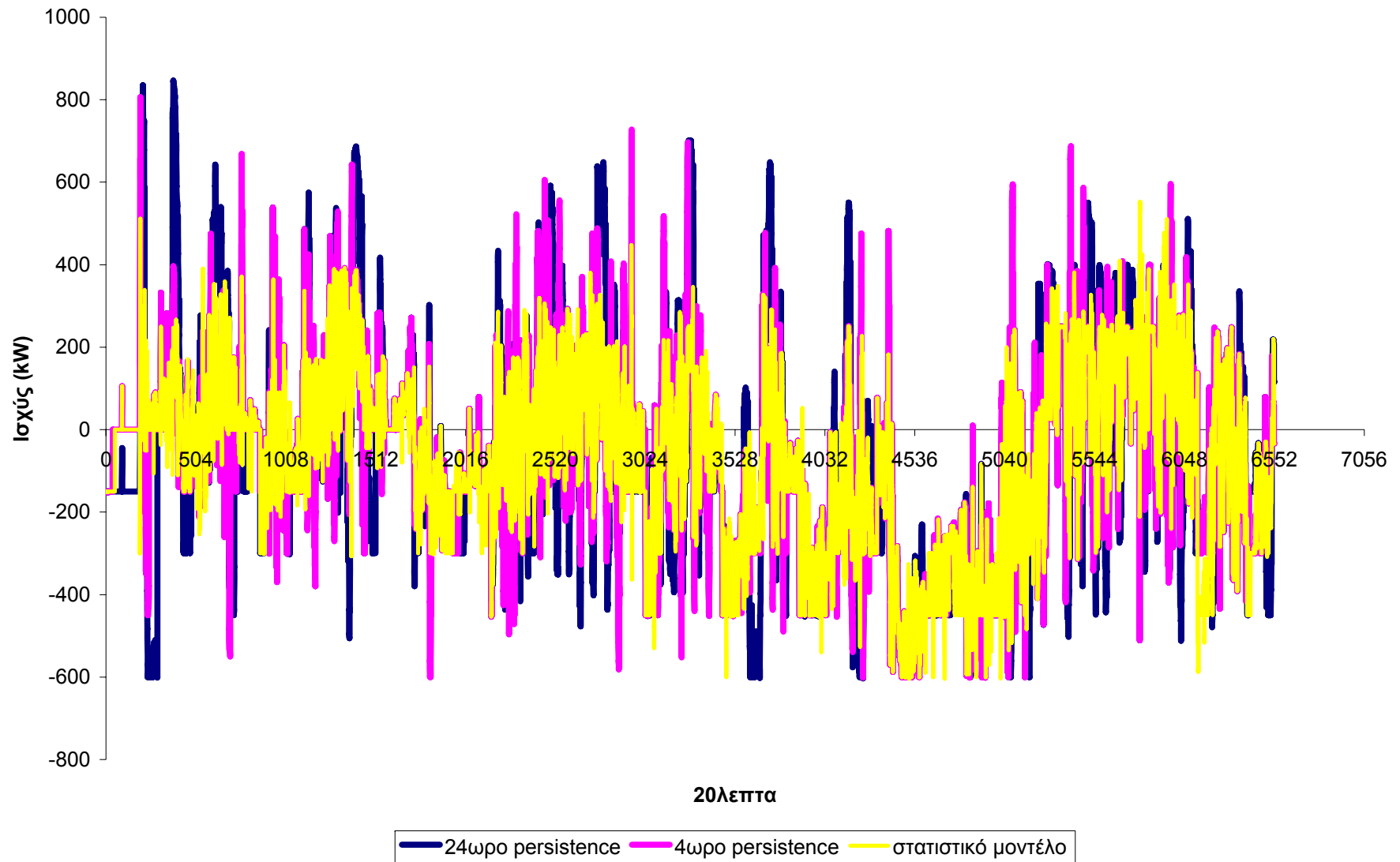
Πάλι έχει γίνει ο διαμερισμός σε τρίμηνα για καλύτερη παρουσίαση των αποτελεσμάτων:

Ισοζύγιο ισχύος 1ου τριμήνου



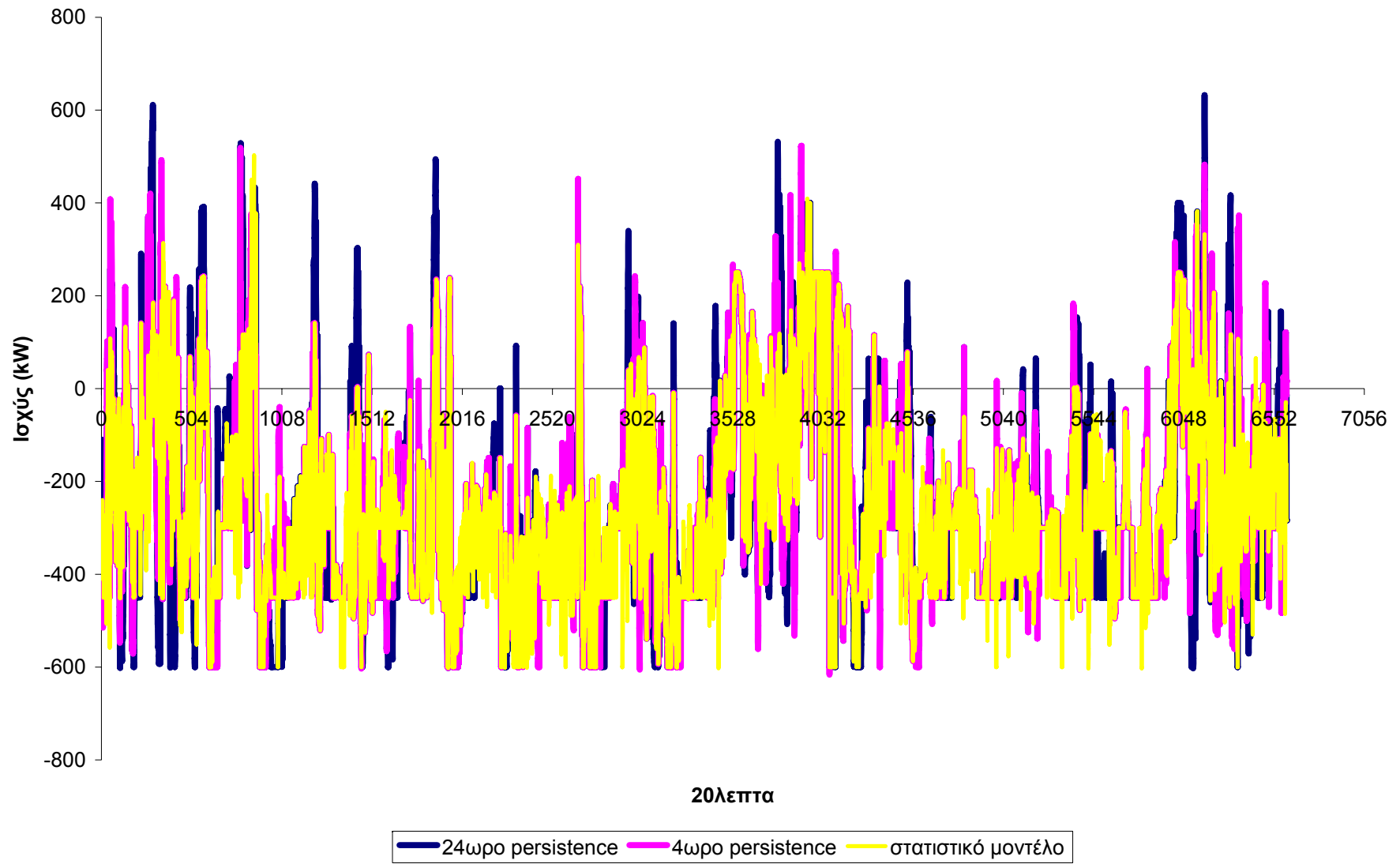
Σχήμα 7-7: Ισοζύγιο ισχύος μοντέλων πρόβλεψης πρώτου τριμήνου

Ισοζύγιο ισχύος 2ου τριμήνου



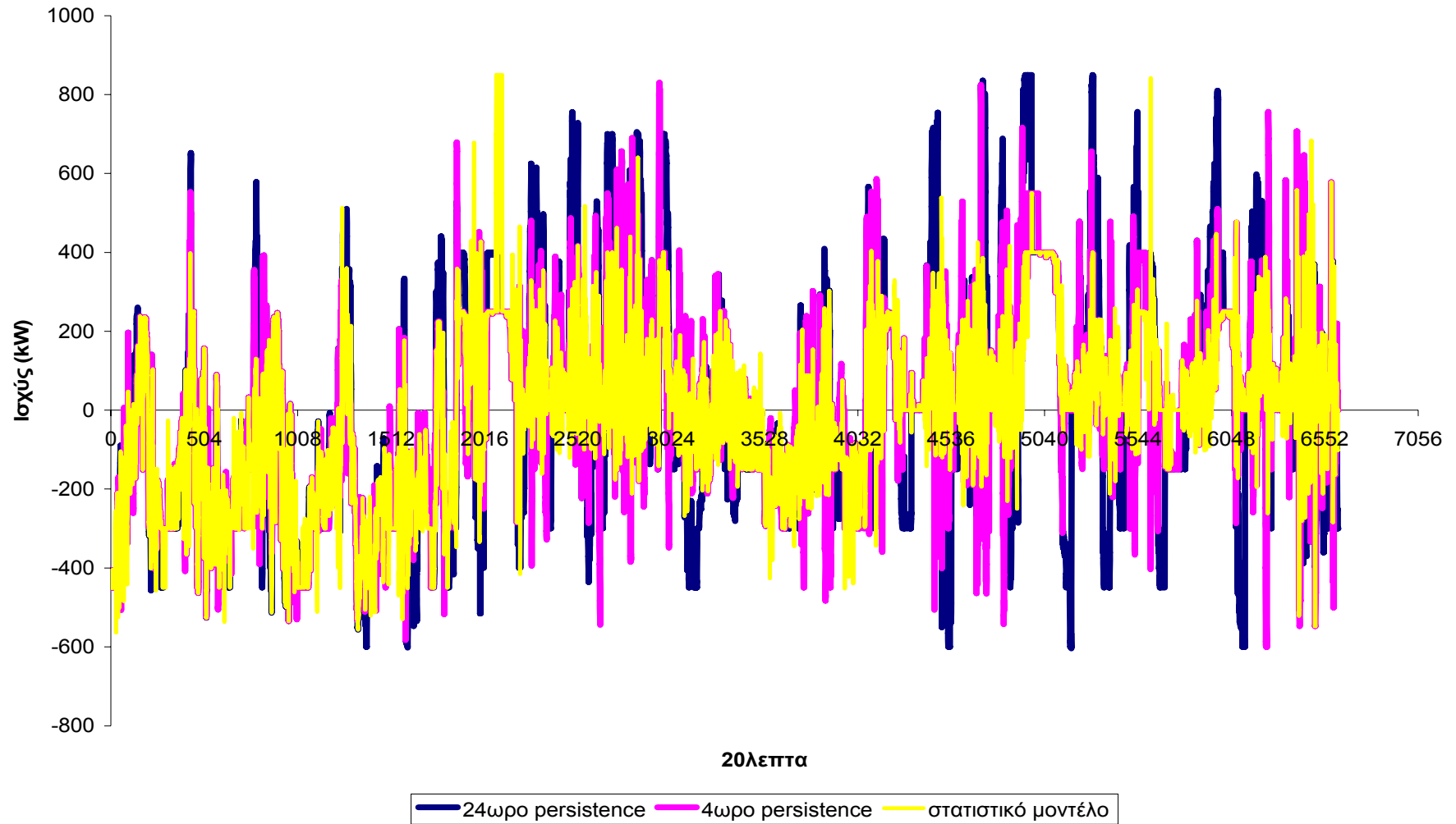
Σχήμα 7-8: Ισοζύγιο ισχύος μοντέλων πρόβλεψης δευτέρου τριμήνου

Ισοζύγιο ισχύος 3ου τριμήνου



Σχήμα 7-9: Ισοζύγιο ισχύος μοντέλων πρόβλεψης τρίτου τριμήνου

Ισοζύγιο ισχύος 4ου τριμήνου



Σχήμα 7-10: Ισοζύγιο ισχύος μοντέλων πρόβλεψης τετάρτου τριμήνου

Όταν υπάρχει θετικό ισοζύγιο, η επιχείρηση διαχείρισης της αφαλάτωσης θα μπορεί να πουλάει την ισχύ που δεν χρειάζεται, ενώ σε περίπτωση που το ισοζύγιο είναι αρνητικό, θα πρέπει η επιχείρηση να προβαίνει σε αγορά ισχύς από την επιχείρηση ηλεκτρισμού. Αντί βέβαια να υπάρχει πώληση της μη χρησιμοποιούμενης ισχύος, θα μπορούσαν να κατασκευαστούν εγκαταστάσεις αποθήκευσης της (αντλητικός σταθμός) και χρήσης της σε στιγμή όπου δεν υπάρχει επάρκεια ή αυτονομία.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές του ισοζυγίου ισχύος για κάθε μήνα.

| | 24ωρο Persistence | | 4ωρο Persistence | | Τυχαίο μοντέλο | |
|-------------|-------------------|-------------|------------------|-------------|----------------|-------------|
| | Max (kW) | Min (kW) | Max (kW) | Min (kW) | Max (kW) | Min (kW) |
| Ιανουάριος | 850 | -600 | 830,41 | -600,00 | 850,00 | -365,57 |
| Φεβρουάριος | 850 | -580,88 | 763,08 | -556,07 | 528,38 | -450,00 |
| Μάρτιος | 850 | -600 | 850,00 | -600,00 | 566,15 | -600,00 |
| Απρίλιος | 846,29 | -600 | 806,15 | -600,00 | 506,15 | -450,00 |
| Μάιος | 700 | -600 | 724,81 | -599,32 | 440,14 | -600,00 |
| Ιούνιος | 550 | -600 | 686,58 | -600,00 | 550,00 | -600,00 |
| Ιούλιος | 606,12 | -600 | 518,21 | -600,00 | 497,46 | -600,00 |
| Αύγουστος | 528,38 | -600 | 522,32 | -600,00 | 407,17 | -600,00 |
| Σεπτέμβριος | 228,38 | -600 | 313,53 | -600,00 | 163,53 | -600,00 |
| Οκτώβριος | 651,97 | -600 | 678,72 | -580,88 | 850,00 | -560,66 |
| Νοέμβριος | 756,12 | -450 | 830,41 | -538,43 | 637,40 | -450,00 |
| Δεκέμβριος | 850 | -600 | 813,53 | -542,81 | 841,72 | -249,52 |

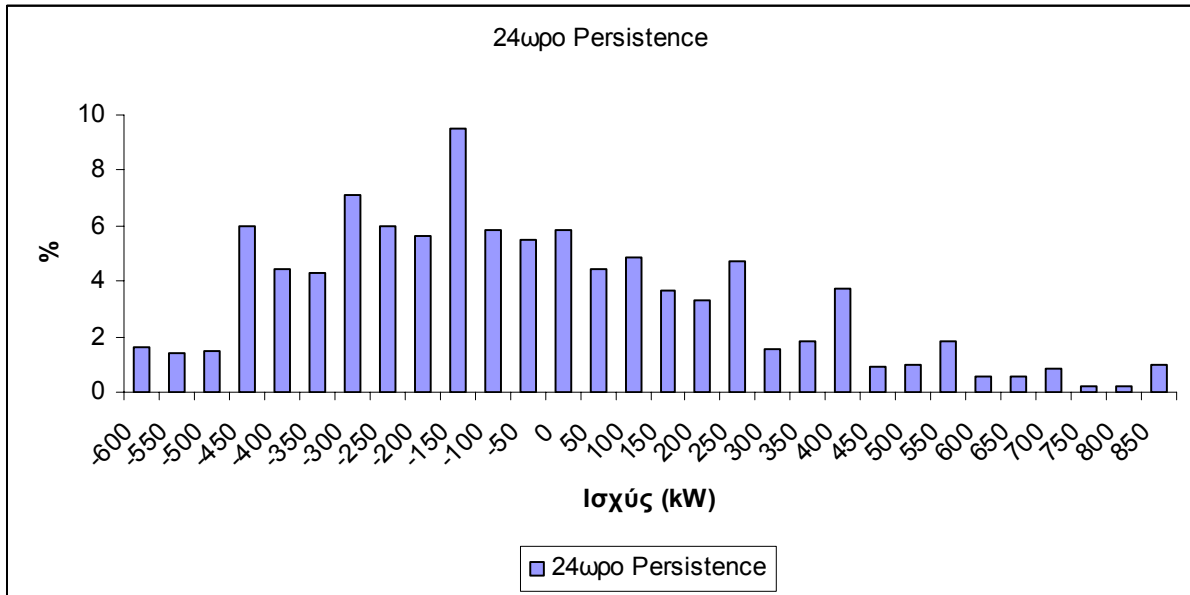
Πίνακας 7-4: Μέγιστες και ελάχιστες τιμές ισοζυγίου ισχύος

Σε όλα τα μοντέλα η ελάχιστη τιμή του ισοζυγίου είναι τα 600kW, δηλαδή πλήρη λειτουργία του εργοστασίου και μηδενική παραγωγή αιολικής ισχύος. Αντίθετα οι μέγιστες τιμές του ισοζυγίου ποικίλουν από μοντέλο σε μοντέλο και από μήνα σε μήνα. Από αυτή την ανάλυση εξάγεται το συμπέρασμα ότι θα πρέπει το εργοστάσιο αφαλάτωσης να υπογράψει κάποιο είδος σύμβασης με την επιχείρηση ηλεκτρισμού με την οποία θα δίνονται διαβεβαιώσεις ότι μπορεί η ηλεκτρική εταιρεία να παρέχει 600kW ισχύος κάθε στιγμή.

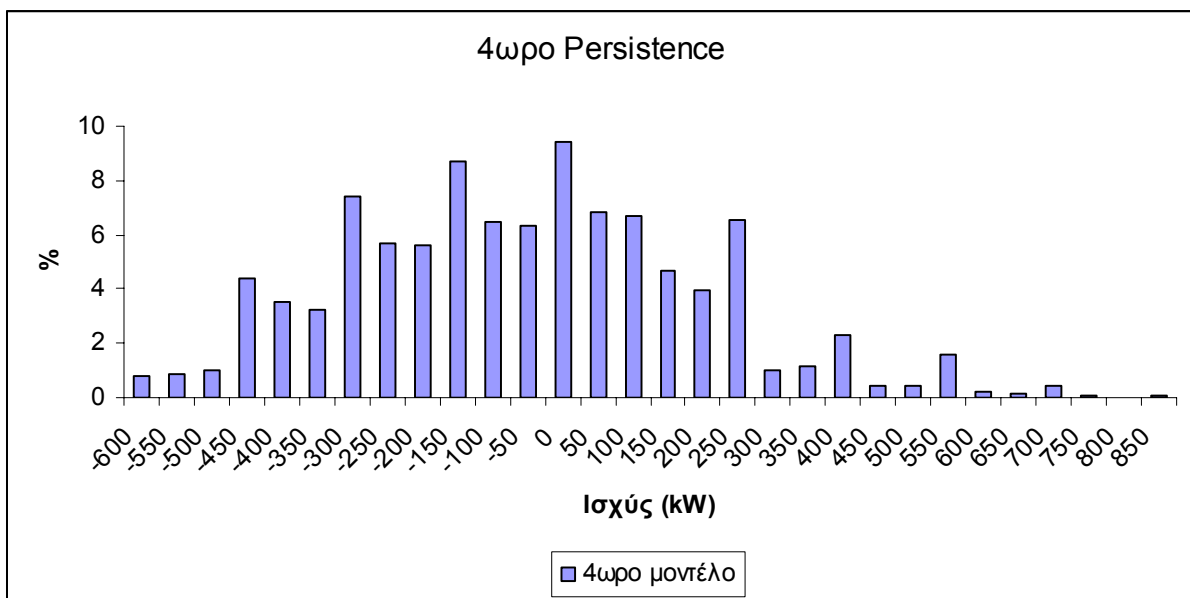
Ο παραπάνω πίνακας έχει και άλλη μια χρήση που θα φανεί σε επόμενο κεφάλαιο. Κάθε μήνα η μεγαλύτερη ποσότητα ισχύος που θα αγοράζεται, είναι ένας παράγοντας τιμολόγησης της επιχείρησης αφαλάτωσης από την επιχείρηση ηλεκτρισμού. Άρα σε αυτό το σημείο φαίνεται να υπερτερεί το τυχαίο μοντέλο αφού το μέγιστο φορτίο για το οποίο θα πρέπει να αγοραστεί ενέργειας είναι το μικρότερο από τα άλλα τρία.

Στην συνέχεια θα εξεταστεί κατά το πόσο αξίζει να εγκατασταθεί ένα εξελιγμένο σύστημα πρόβλεψης αιολικής παραγωγής παρά ένα που κάνει χρήση του persistence. Αρχικά όμως μπορεί κάποιος να παρατηρήσει ότι οι ελάχιστες τιμές του ισοζυγίου (οι μεγαλύτερες τιμές αγοράς) είναι μικρότερες στο στατιστικό και στο 4ωρο σταθερό μοντέλο από ότι στο 24ωρο.

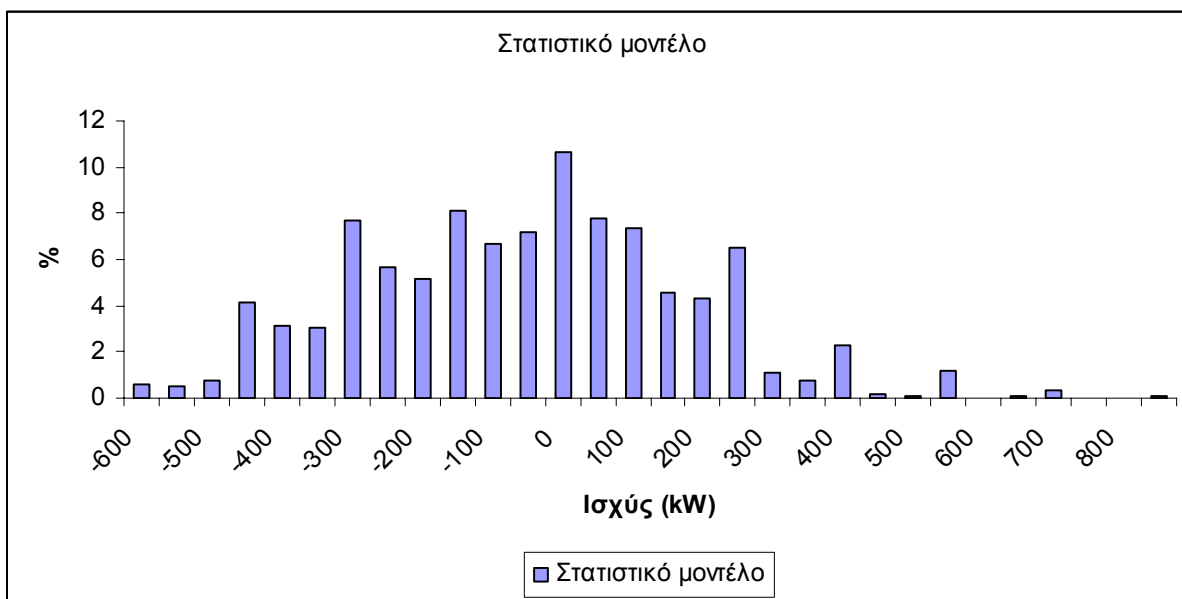
Ακολουθούν τα ιστογράμματα του ισοζυγίου ισχύος για κάθε ένα μοντέλο πρόβλεψης για ένα έτος.



Σχήμα 7-11: Ιστόγραμμα ισοζυγίου 24ωρου persistence



Σχήμα 7-12: Ιστόγραμμα ισοζυγίου 4ωρου persistence



Σχήμα 7-13: Ιστογράμμα ισοζυγίου στατιστικού μοντέλου

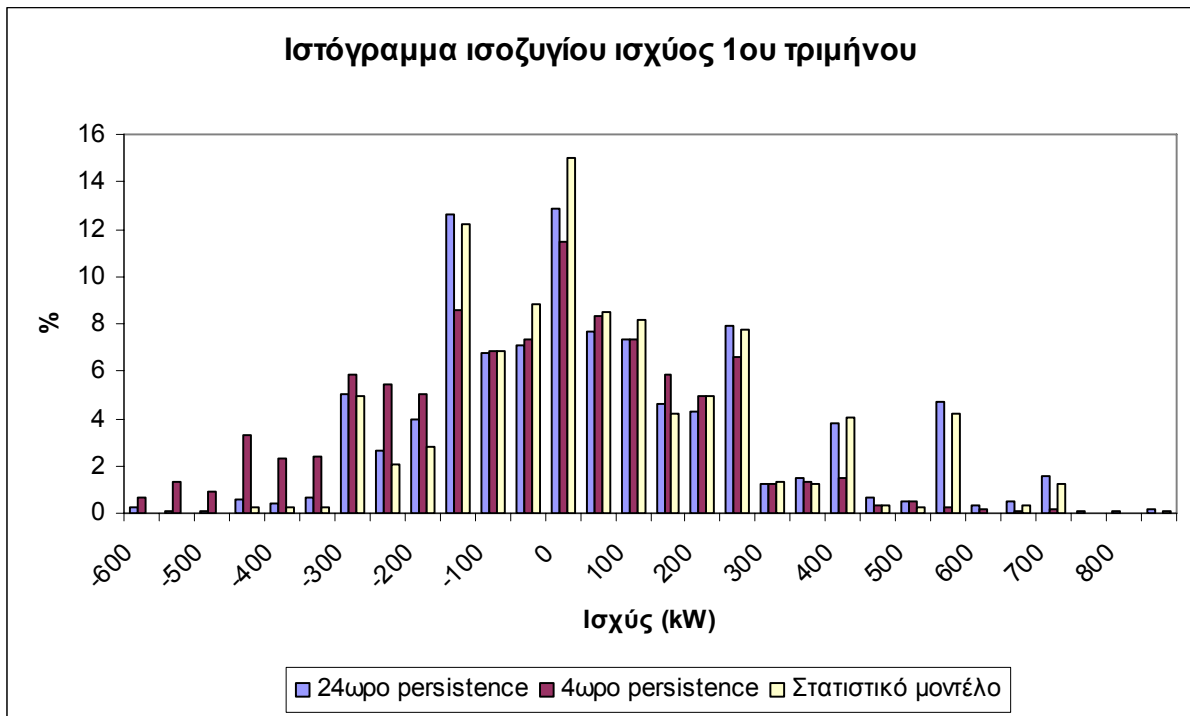
Στον πίνακα που ακολουθεί, παρουσιάζεται το ποσοστό του έτος κατά το οποίο έχουμε θετικό και αρνητικό ισοζύγιο ενέργειας.

| Μοντέλο πρόβλεψης | Θετικό ισοζύγιο(%) | Αρνητικό ισοζύγιο(%) |
|--------------------|--------------------|----------------------|
| 24ωρο Persistence | 41,14 | 58,86 |
| 4ωρο Persistence | 45,93 | 54,07 |
| Στατιστικό μοντέλο | 47,22 | 52,78 |

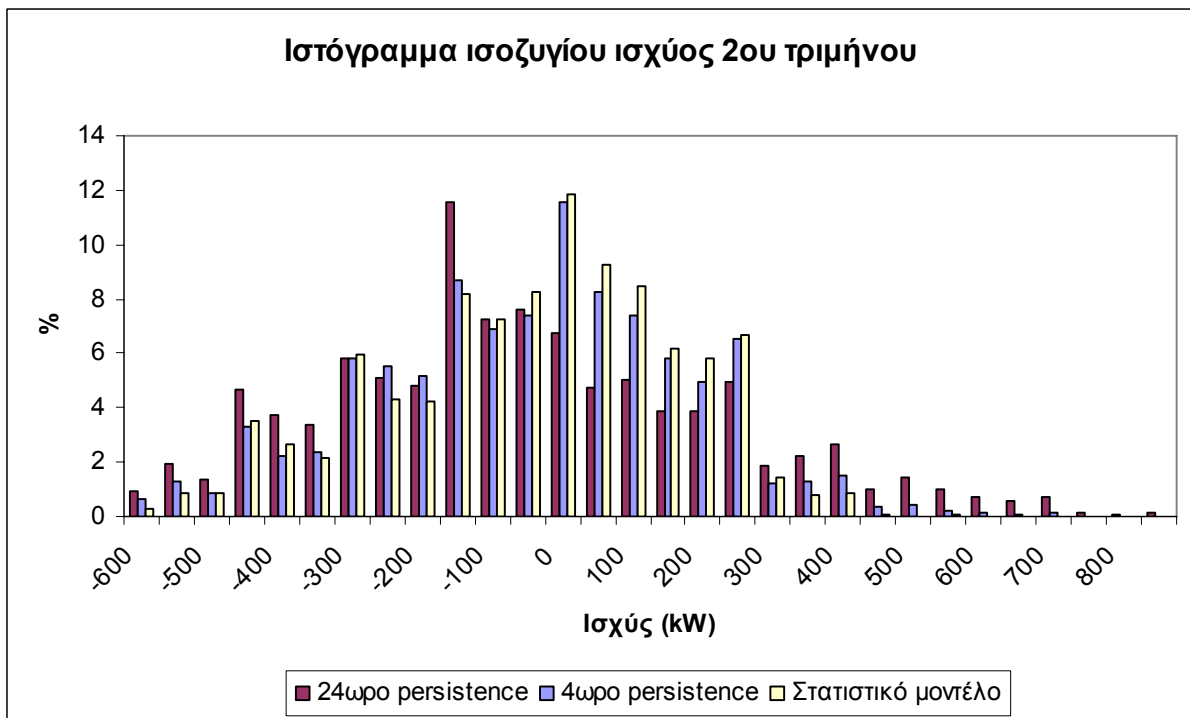
Πίνακας 7-5: Ποσοστό θετικό και αρνητικού ισοζυγίου

Όπως φαίνεται τον περισσότερο χρόνο θα υπάρχει αγορά ενέργειας και το λιγότερο πώληση. Αυτό ισχύει για όλα τα μοντέλα αιολικής πρόβλεψης.

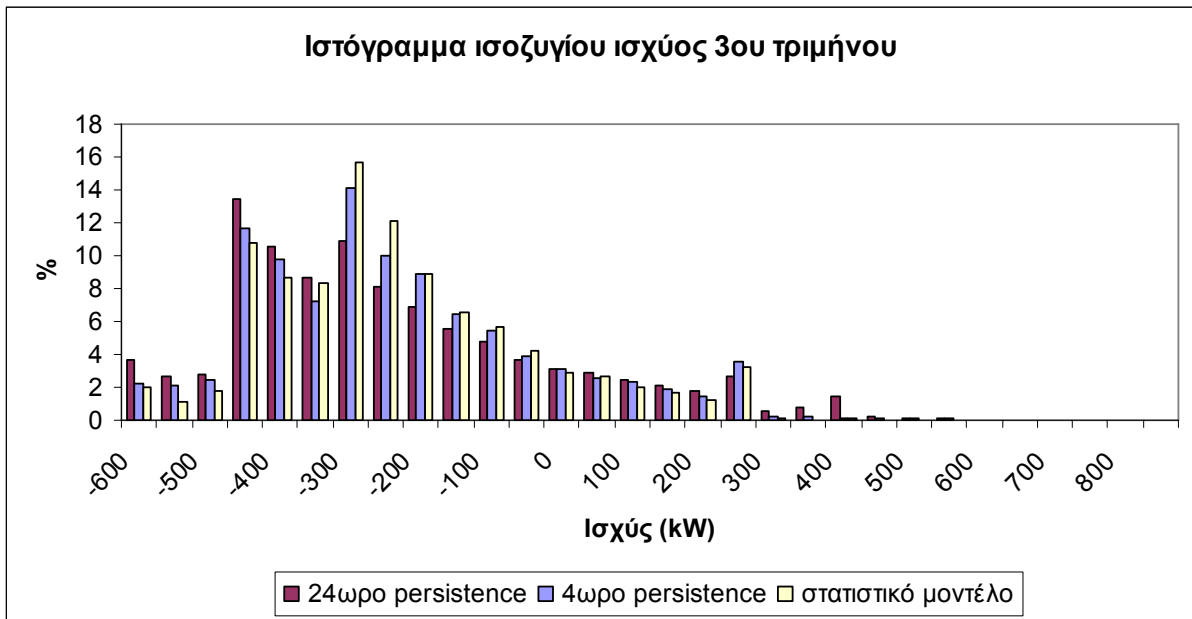
Επιπλέον παρουσιάζονται και τα συνδυασμένα ιστογράμματα ισοζυγίου για κάθε τρίμηνο του χρόνου.



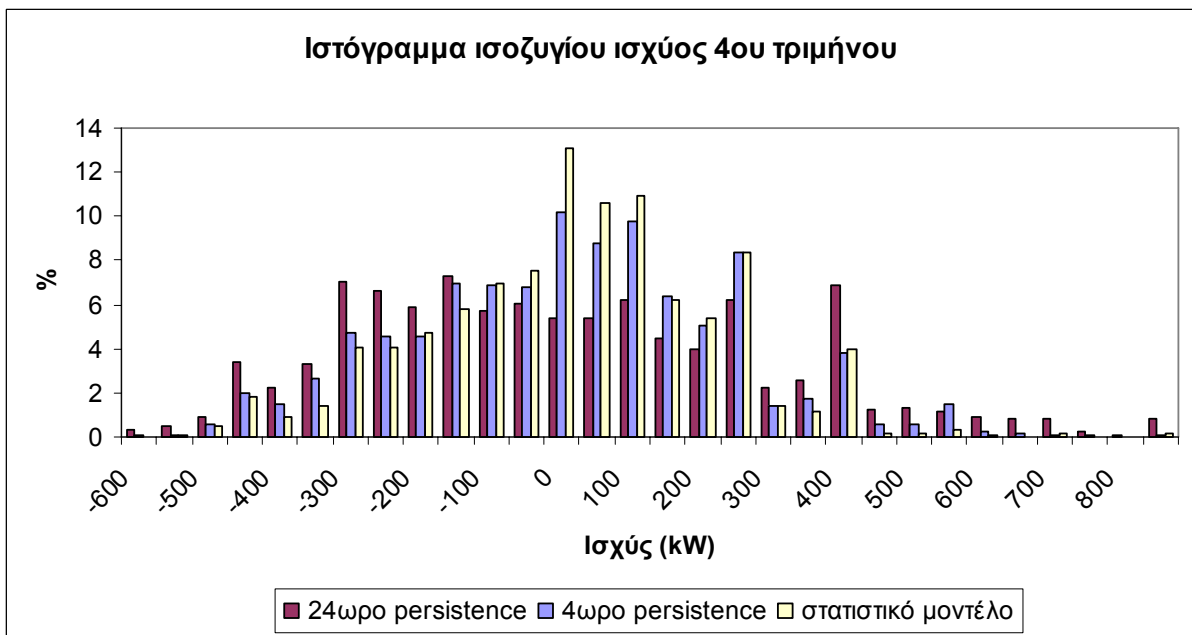
Σχήμα 7-14: Συνδυασμένο ιστόγραμμα ισοζυγίων μοντέλων πρόβλεψης πρώτου εξαμήνου



Σχήμα 7-15: Συνδυασμένο ιστόγραμμα ισοζυγίων μοντέλων πρόβλεψης δευτέρου εξαμήνου



Σχήμα 7-16: Συνδυασμένο ιστογράμμο ισοζυγίων μοντέλων πρόβλεψης τρίτου εξαμήνου



Σχήμα 7-17: Συνδυασμένο ιστογράμμο ισοζυγίων μοντέλων πρόβλεψης τετάρτου εξαμήνου

Από τα παραπάνω ιστογράμματα φαίνεται ότι το στατιστικό μοντέλο είναι πιο συγκεντρωμένο κοντά στο μηδέν από τα υπόλοιπα μοντέλα. Ακόμα, όπως θα φανεί και στην συνέχεια, το 24ωρο σταθερό μοντέλο και αγοράζει παραπάνω από τα υπόλοιπα (αρνητικό ισοζύγιο), αλλά και πουλάει παραπάνω (θετικό ισοζύγιο). Τέλος κατά το τρίτο τρίμηνο παρατηρείται μια κοινή συμπεριφορά όλων των μοντέλων. Το τρίτο τρίμηνο (καλοκαίρι) λόγω της μεγαλύτερης ανάγκης για νερό, υπάρχει ζήτηση για περισσότερη ενέργεια σε κάθε περίπτωση και έτσι το ιστογράμμο του ισοζυγίου είναι σχεδόν ίδιο (σχήμα 7.15)

7.4.3 Ισοζύγιο Ενέργειας

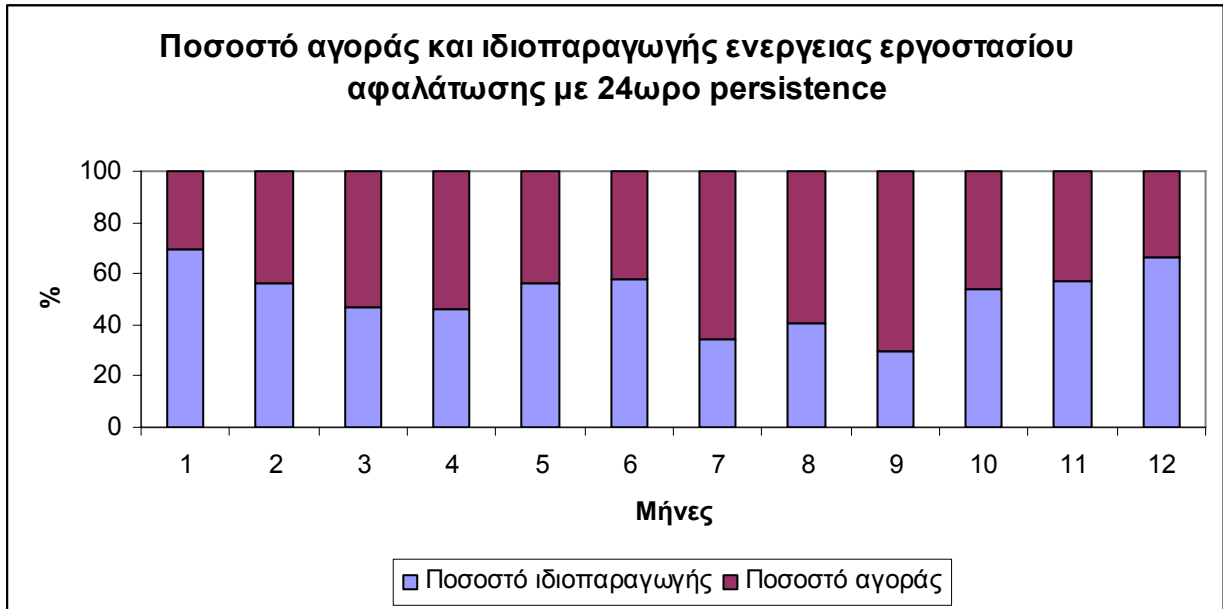
7.4.3.1 Αγορά ενέργειας

Στην συνέχεια παρουσιάζεται η ποσότητα της ενέργειας που αγοράστηκε από την επιχείρηση αφαλάτωσης και αυτή που παράχθηκε από την ανεμογεννήτρια και καταναλώθηκε από το φορτίο της αφαλάτωσης. Στον πίνακα που ακολουθεί, στην στήλη ποσοστό, παρουσιάζεται το ποσοστό της αγορασμένης ενέργειας σε σχέση με την ολική ενέργεια της μονάδος αφαλάτωσης.

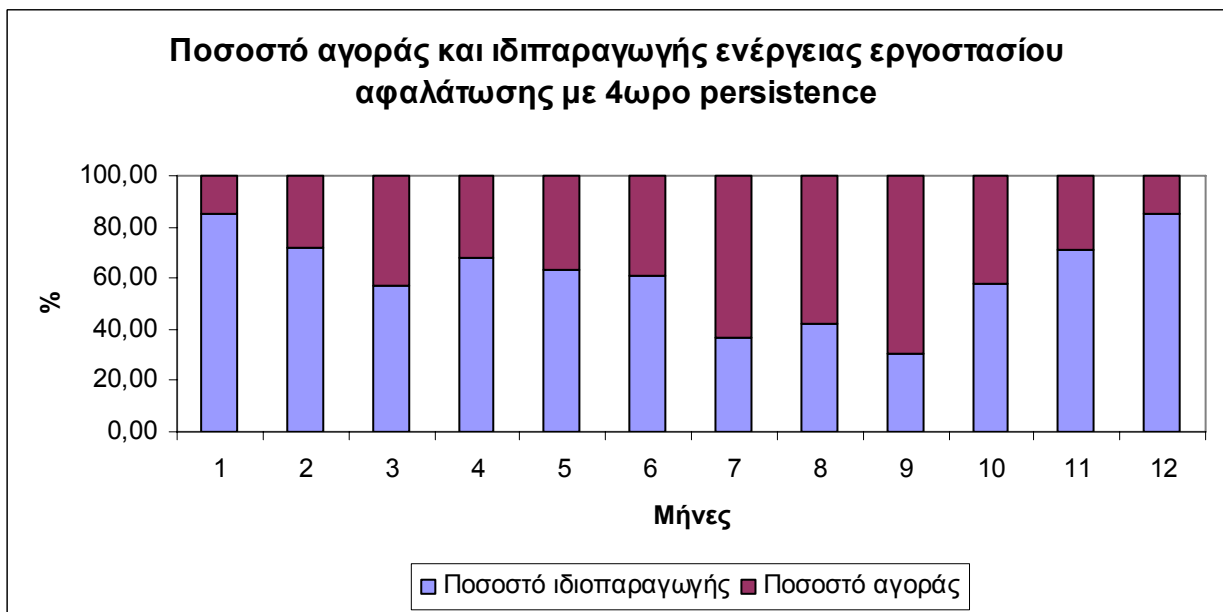
Πίνακας 7-6: Αγορά και ιδιοπαραγωγή ενέργειας

| | 24ωρο Persistence | | | 4ωρο Persistence | | | Τυχαίο μοντέλο | | |
|-------------|-------------------|-----------------------|-------|------------------|-----------------------|-------|----------------|-----------------------|-------|
| | Αγορά (kWh) | Ιδιοπαραγωγή (kWh) | % | Αγορά (kWh) | Ιδιοπαραγωγή (kWh) | % | Αγορά (kWh) | Ιδιοπαραγωγή (kWh) | % |
| Ιανουάριος | 59974 | 134926 | 30,77 | 28668 | 162182 | 15,02 | 20569 | 170081 | 10,79 |
| Φεβρουάριος | 72057 | 91193 | 44,14 | 46453 | 120847 | 27,77 | 38610 | 128890 | 23,05 |
| Μάρτιος | 103400 | 92550 | 52,77 | 88023 | 117677 | 42,79 | 81834 | 124666 | 39,63 |
| Απρίλιος | 72215 | 64414 | 52,85 | 41245 | 88005 | 31,91 | 35327 | 93023 | 27,52 |
| Μάιος | 116430 | 148290 | 43,98 | 97145 | 165205 | 37,03 | 88399 | 174501 | 33,62 |
| Ιούνιος | 142150 | 195300 | 42,12 | 131960 | 206090 | 39,04 | 130730 | 206570 | 38,76 |
| Ιούλιος | 212760 | 109540 | 66,01 | 203060 | 118740 | 63,10 | 201010 | 121040 | 62,42 |
| Αύγουστος | 206520 | 140330 | 59,54 | 200940 | 145810 | 57,95 | 198930 | 147970 | 57,35 |
| Σεπτέμβριος | 202830 | 85220 | 70,41 | 199210 | 88790 | 69,17 | 196630 | 91370 | 68,27 |
| Οκτώβριος | 147240 | 174010 | 45,83 | 132810 | 182990 | 42,06 | 130600 | 180600 | 41,97 |
| Νοέμβριος | 66944 | 89556 | 42,78 | 44609 | 114091 | 28,11 | 37039 | 125211 | 22,83 |
| Δεκέμβριος | 61192 | 120108 | 33,75 | 27367 | 152233 | 15,24 | 9788 | 168012 | 5,51 |
| Σύνολο | 1463712 | 1445437 | 50,31 | 1241489 | 1662661 | 42,75 | 1169466 | 1731934 | 40,31 |

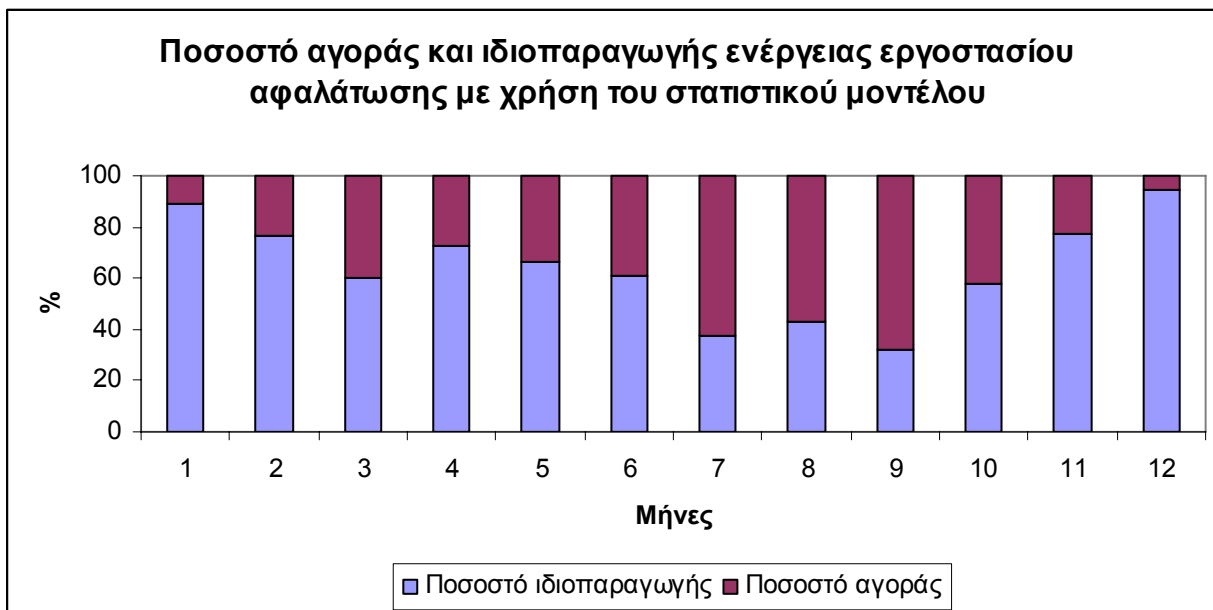
Στο σημείο αυτό θα γίνουν οι γραφικές παραστάσεις για το ποσοστό της αγορασμένης ενέργειας προς το ποσοστό της ιδιοπαραγωγής από την ανεμογεννήτρια:



Σχήμα 7-18: Ποσοστά παραγωγής με την μέθοδο του 24ωρου persistence

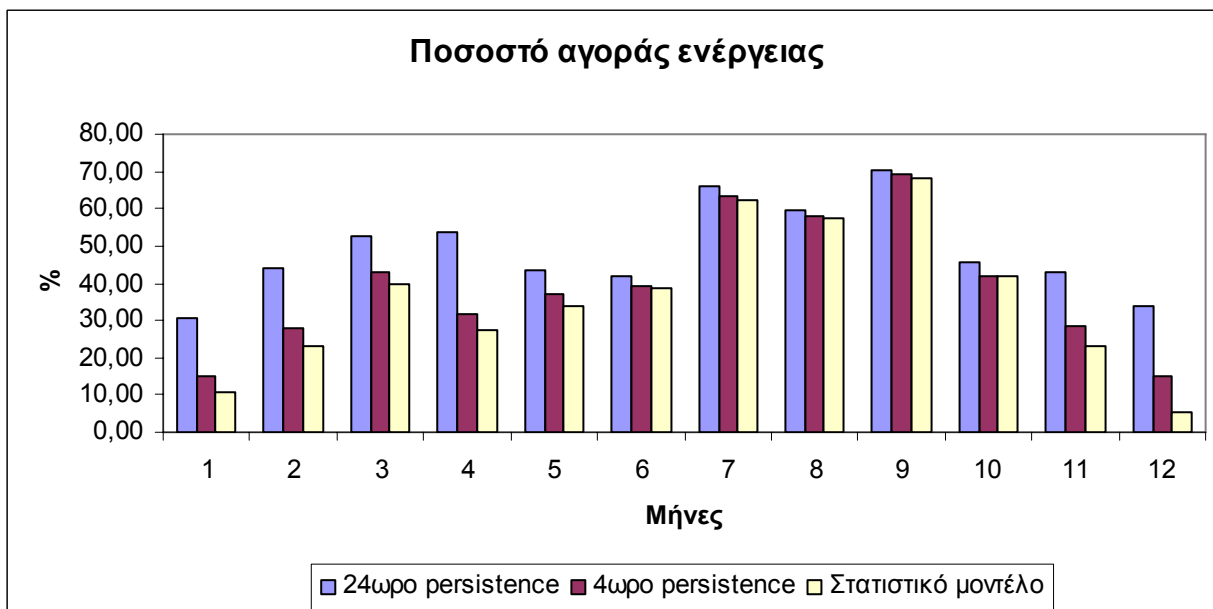


Σχήμα 7-19: Ποσοστά παραγωγής με την μέθοδο του 4ωρου persistence



Σχήμα 7-20: Ποσοστά παραγωγής με βάση το στατιστικό- τυχαίο μοντέλο

Τέλος στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η εξέλιξη των ποσοστών της αγορασμένης ενέργειας σε σχέση με τους μήνες λειτουργίας της μονάδος. Το διάγραμμα είναι κοινό και για τα τέσσερα μοντέλα αιολικής παραγωγής.



Σχήμα 7-21: Συνδυασμένα ποσοστά αγορασμένης ενέργειας

Από τα παραπάνω διαγράμματα και αποτελέσματα συνάγεται το συμπέρασμα ότι με το εξελιγμένο σύστημα πρόβλεψης αιολικής παραγωγής, αγοράζεται λιγότερη ενέργεια από τα μοντέλα του persistence. Οι σημαντικότερες διαφορές είναι μεταξύ 24ωρο persistence και στατιστικού μοντέλου

(αναμενόμενο) από ότι αυτού του 4ωρου. Άρα λιγότερη ενέργεια θα αγοράζετε αν εγκατασταθεί το στατιστικό μοντέλο.

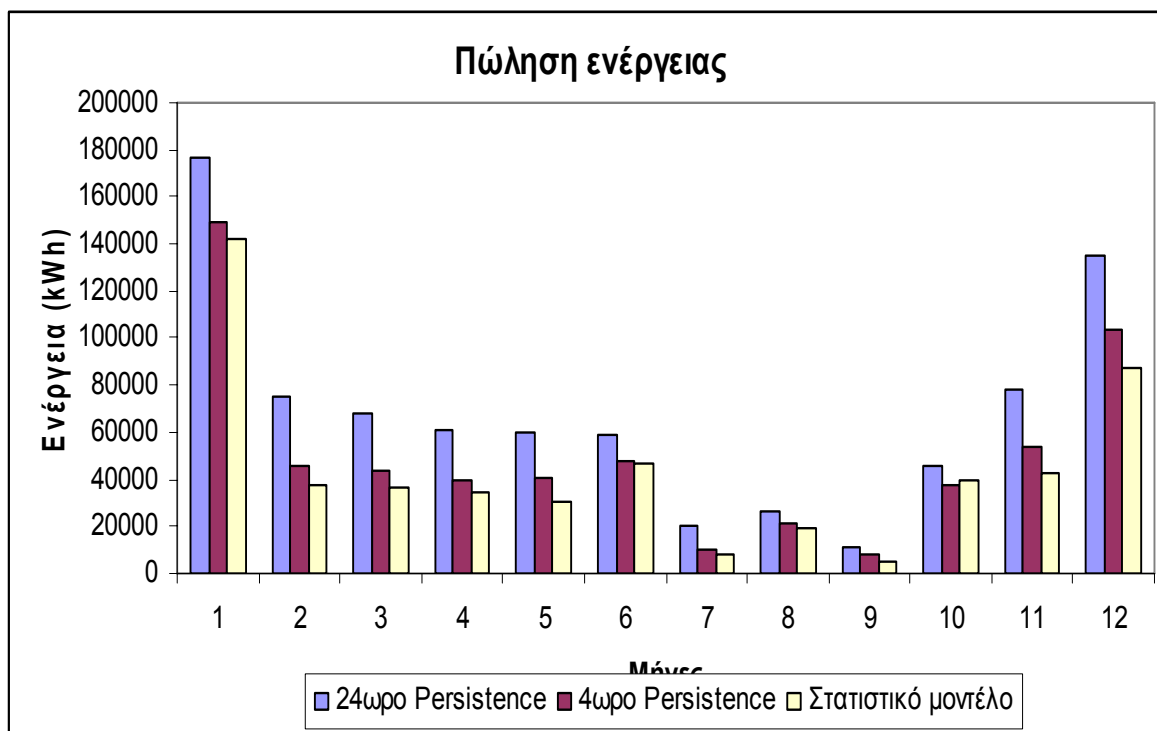
Γενικότερα, από τα διαγράμματα και από τα ποσά της παραγόμενης και αγορασμένης ενέργειας βγαίνει το συμπέρασμα ότι σε κανένα μήνα του χρόνου δεν μπορεί να υπάρξει ενεργειακή ανεξαρτησία για την επιχείρηση αφαλάτωσης. Κρίνοντας από τα μοντέλα, το χαμηλότερο ποσοστό αγορασμένης ενέργειας συμβαίνει κατά τον τελευταίο μήνα του χρόνου, όπου βέβαια οι ανάγκες για νερό είναι περιορισμένες, ενώ τα μεγαλύτερα ποσοστά είναι τους καλοκαιρινούς μήνες όπου η παραγωγή του νερού πρέπει να είναι μεγάλη λόγω της μεγάλης κατανάλωσης.

7.4.3.2 Πώληση ενέργειας

Η ενέργεια που δεν χρειάζεται και μένει αναξιποίητη πωλείται στην τοπική εταιρία ηλεκτρισμού. Στο πίνακα και στο γράφημα (7.12) που ακολουθούν παρουσιάζεται η συνολική τιμή της ενέργειας που πωλείται από την επιχείρηση αφαλάτωσης για κάθε μήνα με τα τρία μοντέλα πρόβλεψης αολικής παραγωγής.

| Μήνας | 24ωρο Persistence (kWh) | 4ωρο Persistence (kWh) | Στατιστικό μοντέλο (kWh) |
|---------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Ιανουάριος | 176966 | 149710 | 141811 |
| Φεβρουάριος | 75625 | 45971 | 37928 |
| Μάρτης | 68295 | 43168 | 36179 |
| Απρίλης | 63549 | 39958 | 34940 |
| Μάης | 57150 | 40235 | 30939 |
| Ιούνιος | 58408 | 47618 | 47138 |
| Ιούλιος | 19838 | 10638 | 8338 |
| Αύγουστος | 26676 | 21196 | 19036 |
| Σεπτέμβριος | 11619 | 8049 | 5469 |
| Οκτώβριος | 46072 | 37092 | 39482 |
| Νοέμβριος | 78010 | 53475 | 42355 |
| Δεκέμβριος | 135392 | 103267 | 87488 |
| Σύνολο | 817599 | 600375 | 531102 |

Πίνακας 7-7: Πωλούμενη ενέργεια



Σχήμα 7-22: Γράφημα πώλησης ενέργειας

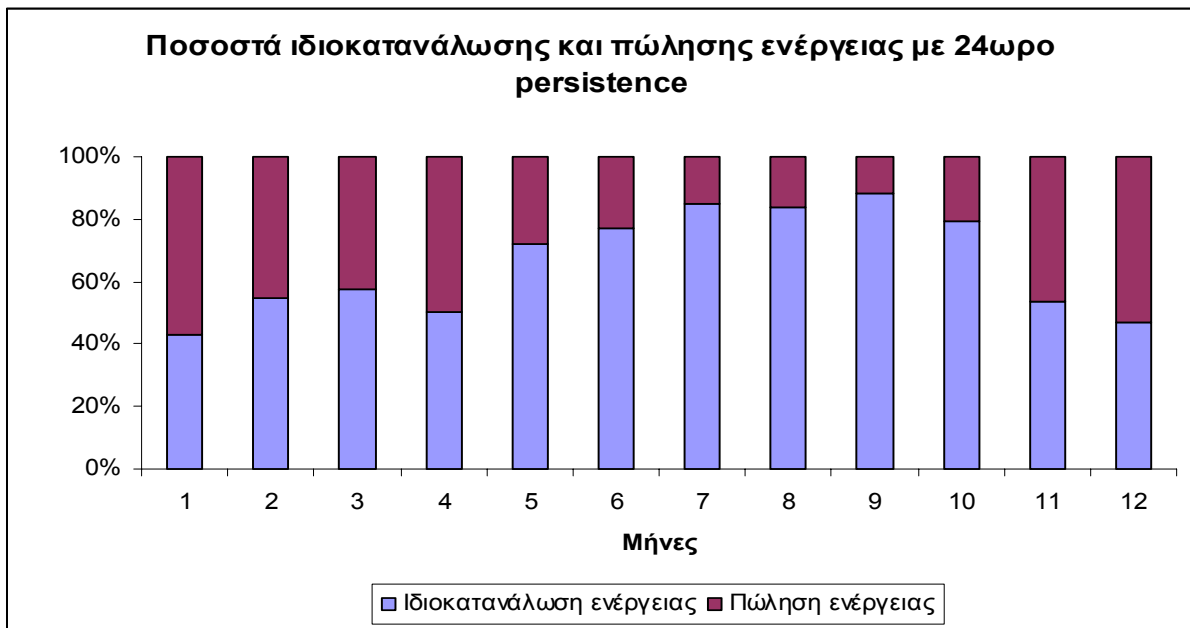
Όπως παρατηρείται, το στατιστικό μοντέλο και το μοντέλο πρόβλεψης με το 4ωρο persistence δεν έχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις. Αντίθετα αρκετά μεγάλες αποκλίσεις σε σχέση με τις άλλες δύο μεθόδους και την πραγματική αιολική παραγωγή παρουσιάζει το 24ωρο persistence.

Στον πίνακα που ακολουθεί, παρουσιάζονται τα συνολικά ποσά ενέργειας που παρήχθησαν από την ανεμογεννήτρια που είναι συνδεδεμένη με την αφαλάτωση, το ποσό της ενέργειας από την αιολική παραγωγή που καταναλώθηκε από την αφαλάτωση και τέλος το ποσό της ενέργειας που πουλήθηκε στην εταιρία ηλεκτρισμού.

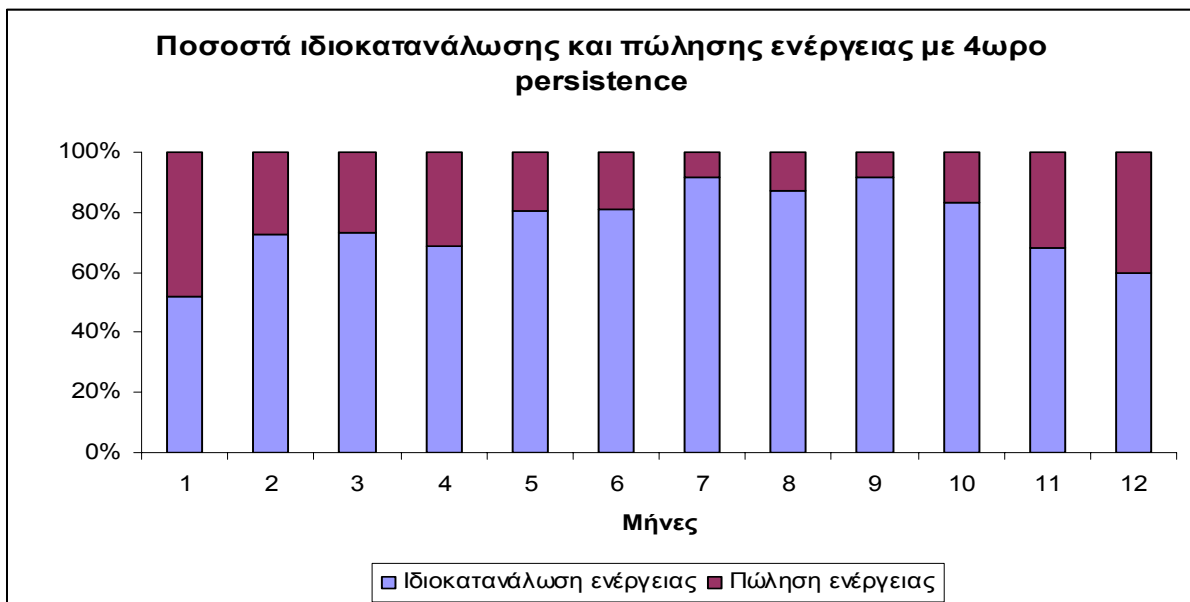
Πίνακας 7-8: Ιδιοκατανάλωση και πώληση ενέργειας

| Μήνας | 24ωρο Persistence(kWh) | | | 4ωρο Persistence (kWh) | | | Στατιστικό μοντέλο(kWh) | | |
|---------------|------------------------|---------------|-------------------------|------------------------|---------------|-------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------|
| | Κατανάλωση (kWh) | Πώληση (kWh) | Συνολική παραγωγή (kWh) | Κατανάλωση (kWh) | Πώληση (kWh) | Συνολική παραγωγή (kWh) | Κατανάλωση (kWh) | Πώληση (kWh) | Συνολική παραγωγή (kWh) |
| Ιανουάριος | 134926 | 176966 | 311892 | 162182 | 149710 | 311892 | 170081 | 141811 | 311892 |
| Φεβρουάριος | 91193 | 75625 | 166818 | 120847 | 45971 | 166818 | 128890 | 37928 | 166818 |
| Μάρτης | 92550 | 68295 | 160845 | 117677 | 43168 | 160845 | 124666 | 36179 | 160845 |
| Απρίλης | 64414 | 63549 | 127963 | 88005 | 39958 | 127963 | 93023 | 34940 | 127963 |
| Μάης | 148290 | 57150 | 205440 | 165205 | 40235 | 205440 | 174501 | 30939 | 205440 |
| Ιούνιος | 195300 | 58408 | 253708 | 206090 | 47618 | 253708 | 206570 | 47138 | 253708 |
| Ιούλιος | 109540 | 19838 | 129378 | 118740 | 10638 | 129378 | 121040 | 8338 | 129378 |
| Αύγουστος | 140330 | 26676 | 167006 | 145810 | 21196 | 167006 | 147970 | 19036 | 167006 |
| Σεπτέμβριος | 85220 | 11619 | 96839 | 88790 | 8049 | 96839 | 91370 | 5469 | 96839 |
| Οκτώβριος | 174010 | 46072 | 220082 | 182990 | 37092 | 220082 | 180600 | 39482 | 220082 |
| Νοέμβριος | 89556 | 78010 | 167566 | 114091 | 53475 | 167566 | 125211 | 42355 | 167566 |
| Δεκέμβριος | 120108 | 135392 | 255500 | 152233 | 103267 | 255500 | 168012 | 87488 | 255500 |
| Σύνολο | 1445437 | 817599 | 2263036 | 1662661 | 600375 | 2263036 | 1731934 | 531102 | 2263036 |

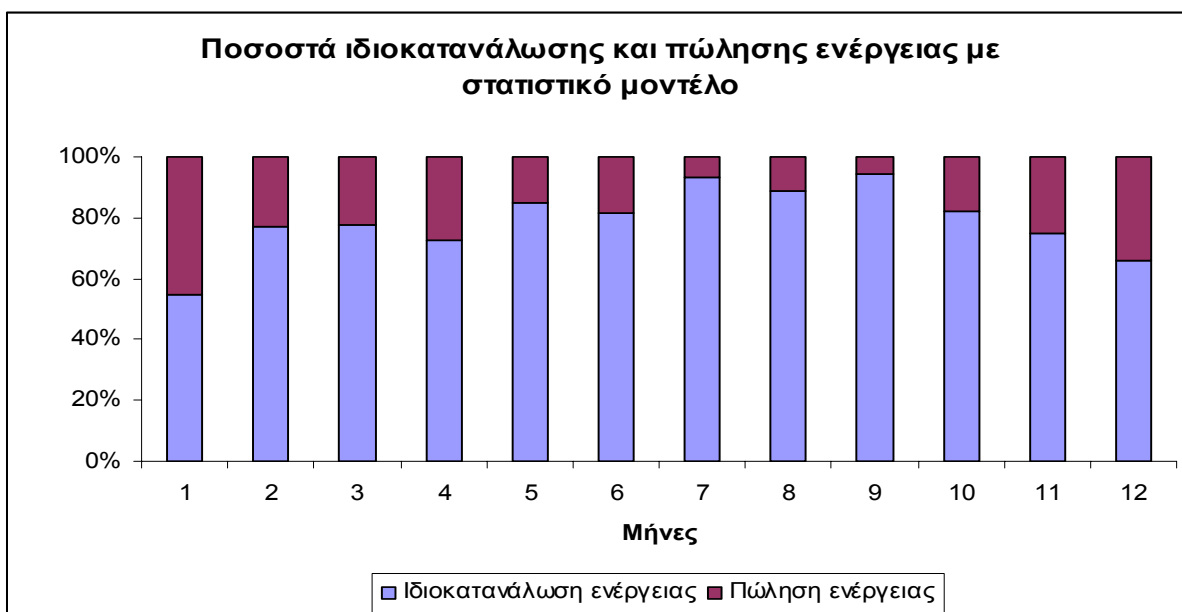
Τέλος στο διάγραμμα 7.13 έως 7.15 παρουσιάζονται τα ποσοστά κατανάλωσης και πώλησης της συνολικής παραγωγής από την ανεμογεννήτρια της αφαλάτωσης με βάση τα μοντέλα πρόβλεψης αολικής παραγωγής.



Σχήμα 7-23: Γράφημα ποσοστών ιδιοκατανάλωσης και πώλησης ενέργειας με βάση 24ωρο persistence



Σχήμα 7-24: Γράφημα ποσοστών ιδιοκατανάλωσης και πώλησης ενέργειας με βάση 4ωρο persistence



Σχήμα 7-25: Γράφημα ποσοστών ιδιοκατανάλωσης και πώλησης ενέργειας με βάση το στατιστικό μοντέλο

7.5 Ισοζύγιο προς την επιχείρηση ηλεκτρισμού

Στον πίνακα που ακολουθεί, παρουσιάζονται τα συνολικά ποσά ενέργειας που αγοράστηκαν και πωλήθηκαν σε μηνιαία βάση και με τα τρία μοντέλα πρόβλεψης.

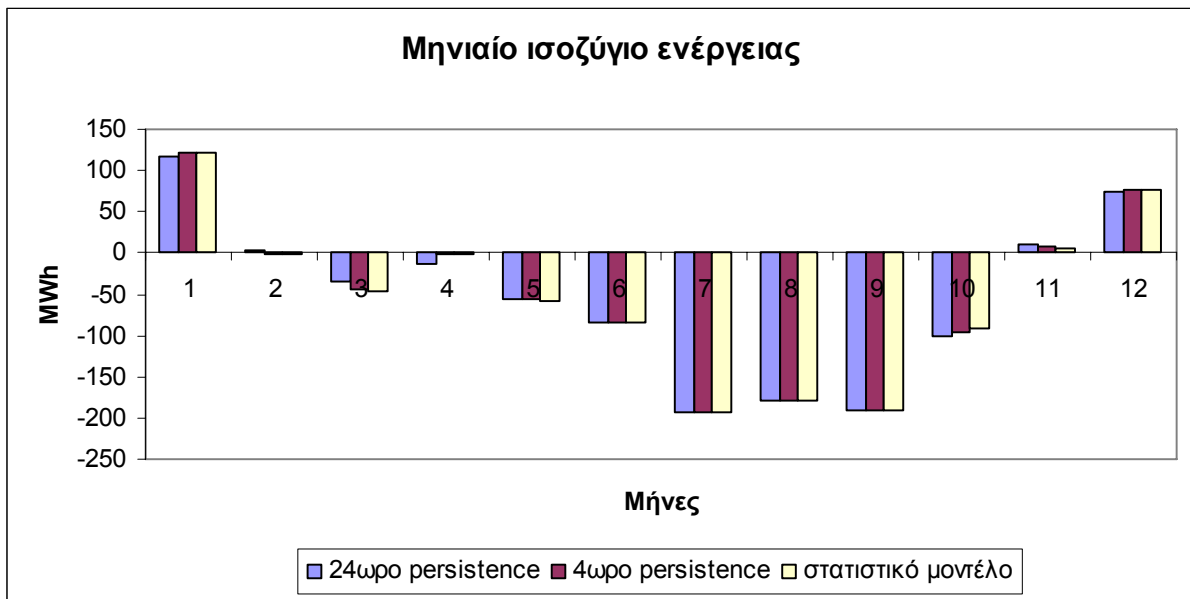
| Μήνας | 24ωρο Persistence | | | 4ωρο Persistence | | | Στατιστικό μοντέλο | | |
|-------------|-------------------|--------------|----------------|------------------|--------------|----------------|--------------------|--------------|----------------|
| | Αγορά (kWh) | Πώληση (kWh) | Ισοζύγιο (kWh) | Αγορά (kWh) | Πώληση (kWh) | Ισοζύγιο (kWh) | Αγορά (kWh) | Πώληση (kWh) | Ισοζύγιο (kWh) |
| Ιανουάριος | 59974 | 176966 | 116992 | 28668 | 149710 | 121042 | 20569 | 141811 | 121242 |
| Φεβρουάριος | 72057 | 75625 | 3568 | 46453 | 45971 | -482 | 38610 | 37928 | -682 |
| Μάρτης | 103400 | 68295 | -35105 | 88023 | 43168 | -44855 | 81834 | 36179 | -45655 |
| Απρίλης | 72215 | 63549 | -8666 | 41245 | 39958 | -1287 | 35327 | 34940 | -387 |
| Μάης | 116430 | 57150 | -59280 | 97145 | 40235 | -56910 | 88399 | 30939 | -57460 |
| Ιούνιος | 142150 | 58408 | -83742 | 131960 | 47618 | -84342 | 130730 | 47138 | -83592 |
| Ιούλιος | 212760 | 19838 | -192922 | 203060 | 10638 | -192422 | 201010 | 8338 | -192672 |
| Αύγουστος | 206520 | 26676 | -179844 | 200940 | 21196 | -179744 | 198930 | 19036 | -179894 |
| Σεπτέμβριος | 202830 | 11619 | -191211 | 199210 | 8049 | -191161 | 196630 | 5469 | -191161 |
| Οκτώβριος | 147240 | 46072 | -101168 | 132810 | 37092 | -95718 | 130600 | 39482 | -91118 |
| Νοέμβριος | 66944 | 78010 | 11066 | 44609 | 53475 | 8866 | 37039 | 42355 | 5316 |
| Δεκέμβριος | 61192 | 135392 | 74200 | 27367 | 103267 | 75900 | 9788 | 87488 | 77700 |
| Σύνολο | 1463712 | 817599 | -646113 | 1241489 | 600375 | -641114 | 1169466 | 531102 | -638364 |

Πίνακας 7-9: Αγοραζόμενη και πωλούμενη ενέργεια

Τα πρώτα συμπεράσματα που μπορούν να βγουν από τον παραπάνω πίνακα είναι ότι η περισσότερη ενέργεια πωλείται στην περίπτωση του 24ωρο persistence ενώ η λιγότερη με την χρήση του στατιστικού μοντέλου. Το αντίθετο συμβαίνει όταν γίνεται αγορά ενέργεια. Με το στατιστικό μοντέλο η αγοραζόμενη ενέργεια είναι σαφώς μικρότερη από τα μοντέλα με το persistence.

Οι διαπιστώσεις αυτές ήταν αναμενόμενες καθότι με το πιο εξελιγμένο μοντέλο γίνεται καλύτερη διαχείριση της ενέργειας που παράγεται, δηλαδή μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας ιδιοκαταναλώνεται αντί να πωλείται σε αντίθεση με τα άλλα μοντέλα.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί, παρουσιάζεται η συμπεριφορά του ισοζυγίου ενέργειας για κάθε μήνα.



Σχήμα 7-26: Ετήσιο ισοζύγιο ενέργειας

Όπως ήταν αναμενόμενο, το ισοζύγιο ενέργειας έχει την ίδια συμπεριφορά και για τα τρία μοντέλα. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι η συνολική παραγωγή νερού είναι η ίδια. Επιπλέον από τον τρόπο ορισμού του ισοζυγίου, διαφορά πωλούμενης και αγορασμένης ενέργειας, οι τιμές των μοντέλων είναι αρκετά κοντά λόγω του ότι στα μοντέλα persistence πουλάει περισσότερο και αγοράζει παραπάνω ενώ στο στατιστικό αγοράζει λιγότερο και πουλάει λιγότερο.

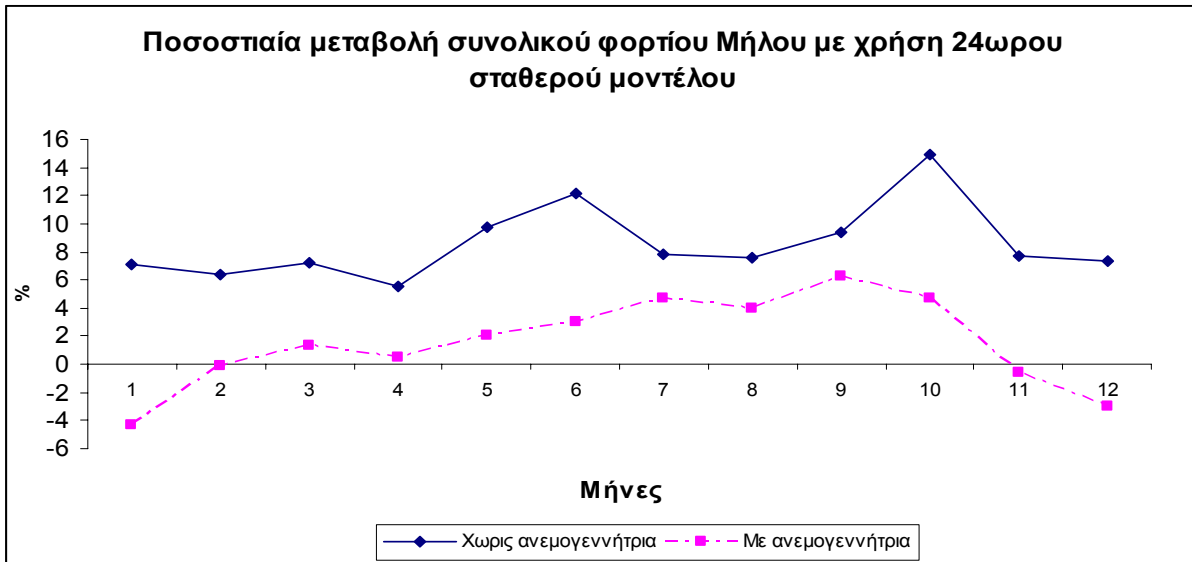
7.6 Συνολική επίπτωση στο φορτίο του νησιού

Στο σημείο αυτό, θα παρουσιαστούν τα γραφήματα που παρουσιάζουν την επίπτωση στο φορτίο του νησιού που θα έχει η αφαλάτωση με και χωρίς την ανεμογεννήτρια.

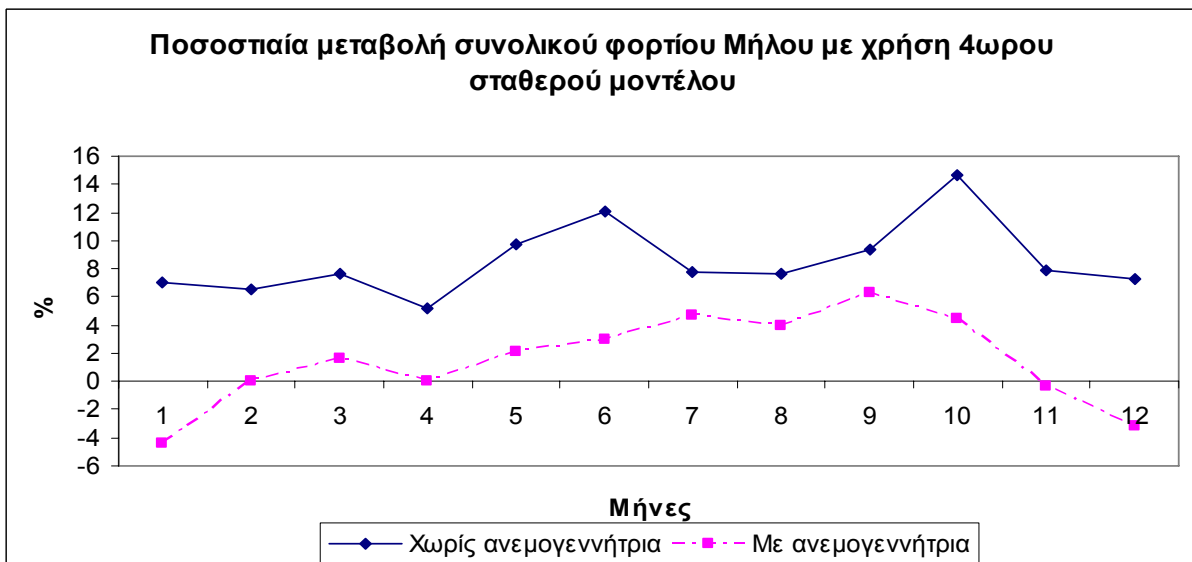
Η συνολική ενέργεια που καταναλώνεται στο νησί χωρίς την εγκατάσταση της αφαλάτωσης είναι γνωστή από τα στοιχεία της εταιρείας ηλεκτρισμού. Αν δεν υπήρχε η ανεμογεννήτρια, για την εύρεση του συνολικού φορτίου θα γινόταν απλά πρόσθεση των δύο φορτίων, ενώ στην περίπτωση που

υπάρχει συνδεδεμένη η ανεμογεννήτρια, θα γίνει η πρόσθεση του ισοζυγίου ενέργειας της μονάδος αφαλάτωσης.

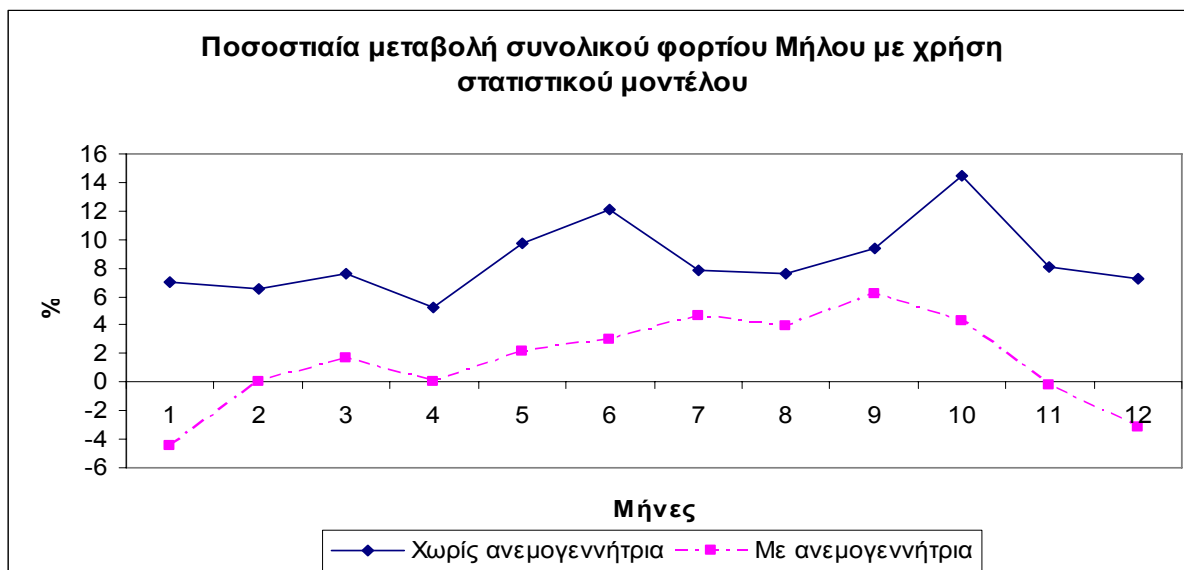
Για την εύρεση των ποσοστών που παρουσιάζονται στην συνέχεια, υπολογίστηκε ο λόγος του φορτίου της αφαλάτωσης προς το συνολικό φορτίο του νησιού αυξανόμενου κατά το φορτίο της αφαλάτωσης, ενώ αν έχει γίνει η σύνδεση με την ανεμογεννήτρια, ο λόγος είναι το συνολικό ισοζύγιο της αφαλάτωσης προς το φορτίο νησιού και αφαλάτωσης.



Σχήμα 7-27: Ποσοστιαία μεταβολή φορτίου με και χωρίς την ανεμογεννήτρια με 24ωρο persistence



Σχήμα 7-28: Ποσοστιαία μεταβολή φορτίου με και χωρίς την ανεμογεννήτρια με 4ωρο persistence



Σχήμα 7-29: Ποσοστιαία μεταβολή φορτίου με και χωρίς την ανεμογεννήτρια με χρήση του στατιστικού μοντέλου

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται ότι αν δεν υπήρχε η σύνδεση του εργοστασίου με την επιχείρηση αφαλάτωσης, θα είχαμε μια σημαντική αύξηση του φορτίου στο νησί. Αν όμως γίνει η σύνδεση τότε η αύξηση αυτή μειώνεται αρκετά κάποιους μήνες ενώ σε κάποιους άλλους όπου υπάρχει θετικό καθαρό ισοζύγιο, η ενέργεια που θα πρέπει να παραχθεί θα μειωθεί καθώς η ανεμογεννήτρια της αφαλάτωσης πουλάει ενέργεια στο δίκτυο. Οι μήνες αυτοί είναι κυρίως οι χειμερινοί, όπου οι ανάγκες για νερό είναι περιορισμένες.

Τέλος θα πρέπει να δοθεί ειδική προσοχή στην μείωση που συμβαίνει στην ποσοστιαία μεταβολή του φορτίου κατά τους θερινούς μήνες. Είναι γνωστό ότι τους θερινούς μήνες δημιουργούνται προβλήματα στα απομονωμένα συστήματα λόγω της κατακόρυφης αύξησης του φορτίου. Εφόσον συνδεθεί το φορτίο της αφαλάτωσης θα υπάρξει σίγουρα μια αύξηση στο φορτίο αλλά αυτή θα μειωθεί αισθητά αν γίνει τελικώς η σύνδεση με την ανεμογεννήτρια. Η σύνδεση αυτή πέρα δηλαδή από την ίδια την αφαλάτωση, θα συμφέρει και την επιχείρηση του ηλεκτρισμού καθώς θα πρέπει να παράγει ενέργεια.

Κεφάλαιο 8: Οικονομικά αποτελέσματα ιδιοκτήτη αφαλάτωσης

8.1 Γενικά

Η επιχείρηση της αφαλάτωσης πέρα από το νερό που θα αφαλατώνει και θα πουλάει, θα μπορεί να πουλάει και ηλεκτρική ενέργεια από την ανεμογεννήτρια που είναι συνδεδεμένη στο εργοστάσιο.

Στο κεφάλαιο αυτό, θα παρουσιαστούν τα οικονομικά αποτελέσματα της επιχείρησης για τα αποτελέσματα που παρήχθησαν από την προσομοίωση της λειτουργίας του εργοστασίου. Θα υπολογιστεί το ποσό που θα πρέπει να πληρώσει η επιχείρηση στην εταιρία ηλεκτρισμού για την ενέργεια που αγοράζει και το ποσό που θα έχει σαν έσοδο για την ενέργεια που πουλάει.

8.2 Τιμολόγια ΔΕΗ²⁵

Η ΔΕΗ έχει πολλά και διάφορα τιμολόγια για την αγορά ενέργειας από τους ιδιώτες καταναλωτές. Για την περίπτωση της επιχείρησης αφαλάτωσης υπάρχουν δύο τιμολόγια, από τα οποία μπορεί να επιλέξει η επιχείρηση το πιο συμφέρον, αν η παροχή είναι ΜΤ και ένα αν το εργοστάσιο είναι συνδεδεμένο στην χαμηλή τάση.

8.2.1 Τιμολόγιο χαμηλής τάσης

Αν το εργοστάσιο αφαλάτωσης συνδεθεί την χαμηλή τάση, πράγμα όχι και πολύ πιθανό βέβαια, θα επιλεγεί το τιμολόγιο Γ22/Β. Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτού του τιμολογίου είναι ότι η χρέωση είναι μηνιαία.

Τα χαρακτηριστικά του τιμολογίου είναι εξής:

| | |
|---------------------------------|-------------------------------|
| Πάγιο | 2.45€ |
| Ισχύς | 1.8332€/kW |
| Ενέργεια | 0.08528€/kWh |
| Ελάχιστη τιμή χρεωστέας ζήτησης | 18kW |
| Ελάχιστη χρέωση | Το πάγιο και η ισχύς των 18kW |

8.2.2 Τιμολόγια μέσης τάσης

Αν η αφαλάτωση συνδεθεί με την παροχή μέσης τάσης, θα μπορεί σαν βιομηχανικός πελάτης να επιλέξει από 2 διαφορετικά τιμολόγια χρήσης. Αυτά είναι τα τιμολόγια Β1Β και Β2Β των οποίων τα χαρακτηριστικά δίνονται παρακάτω

- Τιμολόγιο B1B

| | | |
|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Ισχύς | Χρεωστέα Ζήτηση (XZ) | 8,4351€/kW |
| Ενέργεια | Οι πρώτες 400kWh ανά kW | 0.04990€/kWh |
| | Οι υπόλοιπες kWh | 0.03310€/kWh |
| Ελάχιστη χρέωση για $XZ \leq 5kW$ | | 193.32€ |
| Ελάχιστη χρέωση για $XZ > 5kW$ | | $1.9269*(XZ-5)+193.32€$ |

- Τιμολόγιο B2B

| | | |
|-----------------------------------|----------------------|-------------------------|
| Ισχύς | Χρεωστέα Ζήτηση (XZ) | 3.0577€/kW |
| Ενέργεια | Όλες οι kWh | 0.06527€/kWh |
| Ελάχιστη χρέωση για $XZ \leq 5kW$ | | 193.32€ |
| Ελάχιστη χρέωση για $XZ > 5kW$ | | $1.9269*(XZ-5)+193.32€$ |

8.2.3 Πώληση ενέργειας

Στην περίπτωση που υπάρχει πώληση ενέργειας στο μη διασυνδεδεμένο δίκτυο, η τιμή της MWh έχει οριστεί με νόμο να είναι ίση 84.6€. Άρα η ενέργεια που πωλείται θα πολλαπλασιαστεί με αυτή την τιμή και θα υπολογιστούν έτσι τα έσοδα από τις πωλήσεις ενέργειας.

8.2.4 Ολικό μηνιαίο ισοζύγιο ενέργειας²⁶

Σύμφωνα με την υπάρχουσα νομοθεσία (νόμος 3468, άρθρο 13) στην περίπτωση όπου υπάρχει αυτοπαραγωγός (δηλαδή επιχείρηση που μπορεί και να πουλάει αλλά και να αγοράζει ενέργεια), η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται συμψηφίζεται με την ενέργεια που απορροφάτε. Η τιμολόγηση σε αυτή την περίπτωση γίνεται στο τελικό θετικό ή αρνητικό ισοζύγιο σε μηνιαία βάση. Δηλαδή αν υπάρχει θετικό ισοζύγιο ενέργειας (πώληση ενέργειας στην εταιρεία ηλεκτρισμού) τότε το κέρδος θα υπολογίζεται με το τιμολόγιο πώλησης ΑΠΕ, ενώ στην περίπτωση αρνητικού ισοζυγίου, με κάποιο από τα τιμολόγια χρήσης του προηγούμενο εδαφίου. Η τιμολόγηση ή πώληση θα υπολογίζεται αφού γίνει ο συμψηφισμός.

8.3 Οικονομικά αποτελέσματα

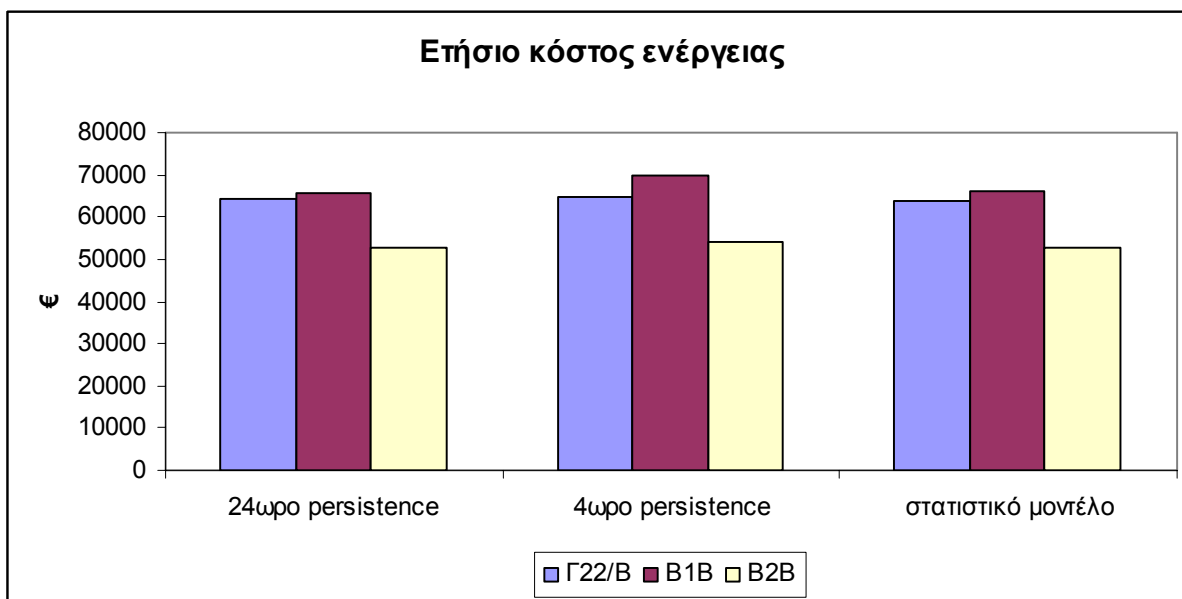
8.3.1 Κόστος από αγορά ενέργειας

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα οικονομικά αποτελέσματα τις επιχείρησης αφαλάτωσης όσο αφορά τον ενεργειακό τομέα. Παρουσιάζονται τα κόστη που θα έχει ανάλογα με τα υπάρχοντα τιμολόγια που υπάρχουν. Στην περίπτωση που σε κάποιον μήνα υπάρχει θετικό ισοζύγιο, τότε αντί για κόστος υπάρχουν κέρδη.

| | 24ωρο persistence | | | 4ωρο Persistence | | | Στατιστικό μοντέλο | | |
|---------------|-------------------|---------------|---------------|------------------|---------------|---------------|--------------------|---------------|---------------|
| | Γ22/B (€) | B1B (€) | B2B (€) | Γ22/B (€) | B1B (€) | B2B (€) | Γ22/B (€) | B1B (€) | B2B (€) |
| Ιανουάριος | 9898 | 9898 | 9898 | 10240 | 10240 | 10240 | 10257 | 10257 | 10257 |
| Φεβρουάριος | 302 | 302 | 302 | -1063 | -4715 | -1731,76 | -886 | -3830 | -1420 |
| Μάρτης | -4096 | -6813 | -4126 | -4928 | -7299 | -4762 | -4996 | -7339 | -4815 |
| Απρίλης | -1841 | -5493 | -2400 | -1212 | -5125 | -1919 | -860 | -3815 | -1401 |
| Μάης | -6158 | -8019 | -5704 | -5954 | -7895 | -5547 | -6003 | -7928 | -5585 |
| Ιούνιος | -8244 | -9240 | -7300 | -8295 | -9270 | -7340 | -8231 | -9232 | -7291 |
| Ιούλιος | -17555 | -14688 | -14427 | -17512 | -14663 | -14394 | -17533 | -14675 | -14410 |
| Αύγουστος | -16439 | -14035 | -13573 | -16431 | -14030 | -13567 | -16444 | -14038 | -13576 |
| Σεπτέμβριος | -17409 | -14602 | -14315 | -17405 | -14600 | -14312 | -17405 | -14600 | -14312 |
| Οκτώβριος | -9730 | -10109 | -8438 | -9230 | -9676 | -8024 | -8801 | -9276 | -7662 |
| Νοέμβριος | 936 | 936 | 936 | 750 | 750 | 750 | 450 | 450 | 450 |
| Δεκέμβριος | 6277 | 6277 | 6277 | 6421 | 6421 | 6421 | 6573 | 6573 | 6573 |
| Σύνολο | -64059 | -65587 | -52870 | -64619 | -69862 | -54184 | -63878 | -67454 | -53192 |

Πίνακας 8-1: Οικονομικά αποτελέσματα ενεργειακών αγορών

Στην παρακάτω γραφική παράσταση, παρουσιάζονται τα ετήσια κόστη ενέργειας για την αφαλάτωση με τα πιθανά τιμολόγια. Όπως είναι φανερό, την επιχείρηση την συμφέρει να επιλέξει το τιμολόγιο μέσης τάσης B2B από το B1B καθώς υπάρχει μεγάλη διαφορά στην τιμή για όλα τα μοντέλα. Αυτό ήταν αναμενόμενο καθώς η ζήτηση είναι σε χαμηλά επίπεδα. Αφού συμβαίνει αυτό, το πάγιο κόστος παίζει σημαντικό ρόλο στην τελική τιμή της ενέργειας, κάνοντας έτσι το B1B πολύ πιο ακριβό από το B2B. Τα δύο αυτά τιμολόγια παρουσιάζουν μικρές αποκλίσεις μόνο στην περίπτωση των καλοκαιρινών μηνών όπου και η ποσότητα της αγοραζόμενης ενέργειας είναι μεγαλύτερη.

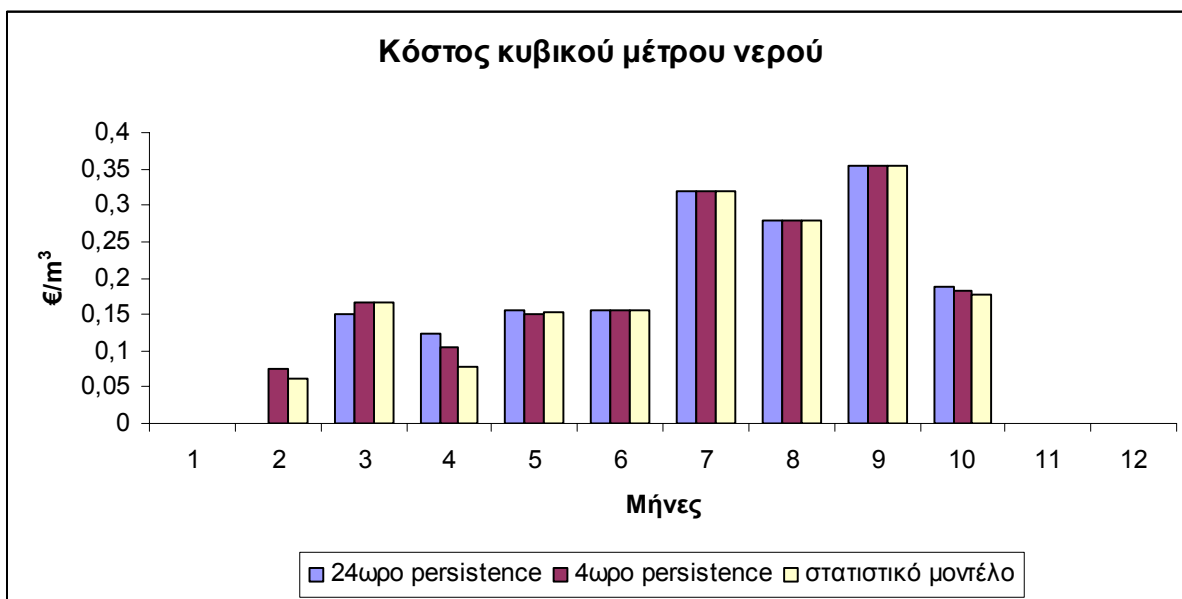


Σχήμα 8-1: Ετήσιο κόστος ενέργειας

Στην συνέχεια θα υπολογιστεί το κόστος του νερού με βάση μόνο την ενέργεια με δεδομένα το συνολικό νερό που παράχθηκε και το ενεργειακό κόστος. Θα βρεθεί με λίγα λόγια ο λόγος κόστους ενέργειας προς κυβικό μέτρο νερού. Για την ανάλυση αυτή θα χρησιμοποιηθεί το τιμολόγιο B2B που είναι το πιο οικονομικό για την επιχείρηση. Θα παρουσιαστούν και τα τρία μοντέλα πρόβλεψης αιολικής παραγωγής.

| | 24ωρο persistence (€/m³) | 4ωρο Persistence (€/m³) | Στατιστικό μοντέλο (€/m³) |
|-------------------|--|---|---|
| Ιανουάριος | 0 | 0 | 0 |
| Φεβρουάριος | 0 | 0,074 | 0,061 |
| Μάρτης | 0,150 | 0,165 | 0,167 |
| Απρίλης | 0,123 | 0,106 | 0,078 |
| Μάης | 0,155 | 0,151 | 0,152 |
| Ιούνιος | 0,155 | 0,155 | 0,154 |
| Ιούλιος | 0,320 | 0,319 | 0,320 |
| Αύγουστος | 0,280 | 0,279 | 0,280 |
| Σεπτέμβριος | 0,355 | 0,355 | 0,355 |
| Οκτώβριος | 0,188 | 0,181 | 0,176 |
| Νοέμβριος | 0 | 0 | 0 |
| Δεκέμβριος | 0 | 0 | 0 |
| Μέσο κόστος νερού | 0,130 | 0,133 | 0,131 |

Πίνακας 8-2: Ενεργειακό κόστος νερού



Σχήμα 8-2: Ενεργειακό κόστος νερού

Η ανάλυση για το κόστος του νερού δεν μπορεί να γίνει για τους μήνες όπου υπάρχει συνολικά κέρδος από τις ενεργειακές αγοραπωλησίες. Αυτό που παρατηρείται από το γράφημα είναι ότι το κόστος του νερού αυξάνεται πολύ κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Αυτό γίνεται λόγω της ανάγκης για περισσότερο νερό που οδηγεί και στην αγορά ενέργειας από το σύστημα. Η αγορά αυτή επιφέρει και μεγαλύτερο κόστος νερού.

Θα πρέπει ακόμα να αναφερθεί ότι δεν μπορεί να διευκρινιστεί εύκολα πιο είναι το καλύτερο μοντέλο με βάση τον λόγο κόστους προς παραγωγή νερού. Αυτό γιατί κανένα μοντέλο δεν είναι οικονομικότερο όλους τους μήνες που εξετάζονται. Για παράδειγμα τον Απρίλιο καλύτερο μοντέλο αποδεικνύεται το στατιστικό ενώ τον Μάιο το 24ωρο σταθερό μοντέλο. Θα πρέπει να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι ο λόγος είναι σχεδόν ίδιος για τα τρία μοντέλα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.

Τέλος, σύμφωνα με τον μέσο ετήσιο κόστος κυβικού μέτρου αφαλατωμένου νερού, το πιο συμφέρον σύστημα πρόβλεψης εμφανίζεται το 24ωρο σταθερό μοντέλο. Δεύτερο πιο συμφέρον μοντέλο είναι το στατιστικό- τυχαίο μοντέλο και τρίτο το 4ωρο persistence. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι υπάρχουν μεγαλύτερα έσοδα από την πώληση του νερού στο 24ωρο μοντέλο. Βέβαια θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι διαφορές στο μέσο κόστος δεν είναι πολύ μεγάλες. Άρα όσον αφορά το κόστος του κυβικού μέτρου νερού, τα τρία μοντέλα πρόβλεψης αιολικής παραγωγής είναι σχεδόν ισοδύναμα.

8.3.2 Κόστος αποπληρωμής και λειτουργικά έξοδα

Για την εύρεση της τιμής πώλησης του νερού ώστε να υπάρχει κέρδος για την επιχείρηση αφαλάτωσης θα πρέπει να ληφθεί υπόψη το κόστος αποπληρωμής της ανεμογεννήτριας καθώς και της εγκατάστασης της αφαλάτωσης. Για την εύρεση του κόστους αποπληρωμής των εγκαταστάσεων θα

γίνει χρήση του παρακάτω τύπου ο οποίος δίνει το ισοδύναμο κόστος αποπληρωμής για κάθε έτος λειτουργίας των εγκαταστάσεων.

$$\text{Ann_Income} = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \cdot \text{InsCost} \quad (31)$$

Όπου i είναι το επιτόκιο αναγωγής, n είναι τα έτη αποπληρωμής και InsCost το αρχικό κόστος εγκατάστασης είτε της ανεμογεννήτριας είτε του εργοστασίου αφαλάτωσης. Το επιτόκιο θεωρείται σταθερό και ίσο με 7,5%, τα έτη αποπληρωμής είναι 20 χρόνια.

Το κόστος της ανεμογεννήτριας θεωρείται 850000€, σύμφωνα με τον εμπειρικό τρόπο υπολογισμού του κόστους της ανεμογεννήτριας (1kW=1000€). Ακόμα το κόστος της επιχείρησης αφαλάτωσης θα ληφθεί ίσο με 342000€. Το ποσό αυτό είναι τυπικό για ένα εργοστάσιο αφαλάτωσης που κάνει χρήση της μεθόδου της αντίστροφης ώσμωσης.

Τέλος θα παρουσιαστούν και τα λειτουργικά έξοδα²⁴ που θα έχει η επιχείρηση αφαλάτωσης. Αυτά βρίσκονται στον πίνακα:

| Είδος εξόδων | Κόστος (€) |
|-----------------------------------|---------------|
| Εργατικά έξοδα (μισθοί) | 78000 |
| Χημικές ύλες | 20000 |
| Μεμβράνες | 20000 |
| Άλλα | 15000 |
| Συνολικά λειτουργικά έξοδα | 133000 |

Πίνακας 8-3: Λειτουργικά έξοδα

Από τον πίνακα φαίνεται ότι το κόστος της ενέργειας αποτελεί ένα μεγάλο ποσοστό των λειτουργικών εξόδων. Τα συνολικά ενεργειακά έξοδα θα είναι το άθροισμα του κόστους ενέργειας και του κόστους αποπληρωμής της ανεμογεννήτριας. Το συνολικό κόστος θα είναι το άθροισμα του συνολικού ενεργειακού κόστους και του κόστους αποπληρωμής του εργοστασίου αφαλάτωσης. Ισχύουν οι τύποι:

$$\begin{aligned} \text{Ενεργειακό κόστος} &= \text{Κόστος αποπληρωμής ανεμογεννήτριας} + \text{Κόστος ενέργειας} \\ \text{Συνολικό κόστος} &= \text{Ενεργειακό κόστος} + \text{Λειτουργικά έξοδα} + \text{Κόστος αποπληρωμής εργοστασίου} \end{aligned} \quad (32)$$

Τα κόστη αποπληρωμής της ανεμογεννήτριας και της εγκατάστασης της αφαλάτωσης είναι σταθερά ανεξαρτήτου μοντέλου πρόβλεψης, όπως και τα λειτουργικά έξοδα. Άρα το πιο οικονομικό μοντέλο θα είναι αυτό που θα έχει το μικρότερο κόστος αγοράς ενέργειας. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται όλα τα κόστη διαιρεμένα με το παραγόμενο νερό. Με αυτό τον τρόπο υπολογίζεται το κόστος για κάθε κυβικό μέτρο αφαλατωμένου νερού, άρα γίνεται και μια πρώτη εκτίμηση για την τιμή πώλησης του. Με τον όρο σταθερά έξοδα αφαλάτωσης εννοούνται τα λειτουργικά και τα έξοδα

αποπληρωμής των εγκαταστάσεων της αφαλάτωσης που είναι σταθερά για όλα τα μοντέλα πρόβλεψης.

| Μοντέλο πρόβλεψης | Κόστος ενέργειας (€) | Κόστος αποπληρωμής ανεμογεννήτριας (€) | Σταθερά έξοδα αφαλάτωσης (€) | Ενεργειακό κόστος (€) | Συνολικό κόστος (€) | Παραγόμενο νερό (m ³) | Ενεργειακό κόστος νερού (€/m ³) | Συνολικό κόστος νερού (€/m ³) |
|--------------------|----------------------|--|------------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------------------|---|---|
| 24ωρο persistence | 52870 | 83378 | 163000 | 136753 | 299248 | 407281 | 0,336 | 0,735 |
| 4ωρο persistence | 54184 | 83378 | 163000 | 138067 | 300562 | 406581 | 0,340 | 0,739 |
| Στατιστικό μοντέλο | 53192 | 83378 | 163000 | 137075 | 299570 | 406196 | 0,337 | 0,738 |

Πίνακας 8-4: Κόστη μοντέλων πρόβλεψης αιολικής παραγωγής

Από τα παραπάνω αποτελέσματα, παρουσιάζεται ότι το πιο οικονομικό μοντέλο πρόβλεψης αιολικής παραγωγής για την επιχείρηση της αφαλάτωσης είναι το 24ωρο μοντέλο. Αυτό είναι σαν συνέπεια της αυξημένης ποσότητας ακριβής ενέργειας (αιολικής) που πουλάει στο δίκτυο. Όμως αν γίνει η αναγωγή σε κάθε παραγόμενο κυβικό μέτρο νερού, τα αποτελέσματα είναι σχεδόν τα ίδια. Χαρακτηριστικά, η διαφορά του πιο συμφέροντος μοντέλου (24ωρο) με το πιο ασύμφορο (4ωρο) είναι μόλις 1,2%. Αν ληφθεί υπόψη το συνολικό κόστος του νερού το ποσοστό μειώνεται ακόμα περισσότερο στο 0,54%.

Τελικά όπως υπολογίζεται, η τιμή στην οποία θα πωλείται θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 0,74€ για κάθε κυβικό μέτρο. Έχει υποθεθεί ότι η τιμή είναι ενιαία για όλο τον χρόνο, δηλαδή σταθερή προαποφασισμένη τιμή αγοράς από τον δήμο του νησιού. Η τιμή αυτή είναι υποπολλαπλάσια του κόστους νερού που μεταφερόταν από τα υδροφόρα πλοία. Χαρακτηριστικά, κάθε κυβικό μέτρο νερού κόστιζε στον δήμο 8€ κατά το έτος 2004. Άρα θα υπάρξει μία μείωση του κόστους νερού κατά 90%.

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να απορριφθεί το στατιστικό μοντέλο. Αυτό συμβαίνει καθότι δεν παρουσιάζονται μεγάλες διαφορές στα οικονομικά αποτελέσματα των μοντέλων πρόβλεψης που να αιτιολογούν το σημαντικό αυξημένο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας του στατιστικού μοντέλου πρόβλεψης.

Αν και το πιο συμφέρον μοντέλο αποδεικνύεται ότι είναι το 24ωρο σταθερό μοντέλο, θα προτιμηθεί η χρήση του 4ωρου persistence. Αυτό γιατί όπως έχει αποδειχθεί σε προηγούμενα κεφάλαια, τα σφάλματα πρόβλεψης είναι αρκετά μικρότερα από το 24ωρο μοντέλο αλλά είναι πιο βολικό για την επιχείρηση ηλεκτρισμού του νησιού καθότι εφόσον υπάρχουν μικρότερα σφάλματα στην πρόβλεψη αιολικής παραγωγής, το φορτίο της αφαλάτωσης δεν θα επιβαρύνει τόσο στην αιχμή του συστήματος.

Αυτό συμβαίνει καθότι η ενέργεια που θα αγοράζεται θα είναι λιγότερη, άρα δεν θα υπάρχει τόση επιβάρυνση και στο ΣΗΕ του νησιού.

Επιπρόσθετα μπορεί να συμβάλλει στην αποτελεσματικότερη διαχείριση του εργοστασίου ανανεώνοντας πιο τακτικά το πρόγραμμα λειτουργίας του.

8.4 Περίπτωση δύο επιχειρήσεων

Αρχικά θα εξεταστεί η περίπτωση όπου αντί για μια αυτοπαραγωγό επιχείρηση αφαλάτωσης, δημιουργηθούν μια επιχείρηση αφαλάτωσης που θα καταναλώνει ενέργεια και μία δεύτερη που θα έχει μόνο σκοπό την παραγωγή και πώληση ρεύματος από την ανεμογεννήτρια. Δηλαδή η μια επιχείρηση θα είναι καταναλωτής μόνο και η άλλη παραγωγός.

Στην περίπτωση αυτή, το σύνολο της παραχθείσας ενέργειας θα πωλείται στην επιχείρηση ηλεκτρισμού και το σύνολο της ενέργειας για την λειτουργία του εργοστασίου θα αγοράζεται από αυτή. Θα πρέπει να τονιστεί ότι σε αυτή την περίπτωση, το εργοστάσιο αφαλάτωσης θα παίρνει την πρόβλεψη παραγωγής της ανεμογεννήτριας για να προγραμματίζει την παραγωγή του. Αυτό σημαίνει ότι το πρόγραμμα παραγωγής θα παραμείνει το ίδιο, απλώς θα αλλάξουν τα οικονομικά αποτελέσματα για τον ιδιοκτήτη των επιχειρήσεων. Δηλαδή οι επιχειρήσεις θα είναι αυτόνομες αλλά θα υπάρχει συνεργασία για τον χρονικό προσδιορισμό της παραγωγής νερού ώστε να διευκολύνεται και η επιχείρηση ηλεκτρισμού στην παραγωγή ενέργειας κυρίως στην αιχμή του φορτίου .

Ο πίνακας που σχεδιάστηκε στην συνέχεια αφορά την επιχείρηση παραγωγής ενέργειας με χρήση της ανεμογεννήτριας. Στον πίνακα αυτό, δίνεται η παραγωγή ενέργειας κάθε μήνα και τα έσοδα από την πώληση αυτής. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι για αυτή την ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο του 4ωρο persistence.

| | Παραγωγή ενέργειας (kWh) | Κέρδος (€) |
|-------------|-----------------------------|---------------|
| Ιανουάριος | 311892 | 26386 |
| Φεβρουάριος | 166818 | 14113 |
| Μάρτης | 160845 | 13607 |
| Απρίλης | 127963 | 10826 |
| Μάης | 205440 | 17380 |
| Ιούνιος | 253708 | 21464 |
| Ιούλιος | 129378 | 10945 |
| Αύγουστος | 167006 | 14129 |
| Σεπτέμβριος | 96839 | 8193 |
| Οκτώβριος | 220082 | 18619 |

| | | |
|---------------|----------------|---------------|
| Νοέμβριος | 167566 | 14176 |
| Δεκέμβριος | 255500 | 21615 |
| Σύνολο | 2263036 | 191453 |

Πίνακας 8-5: Παραγωγή και πώληση ενέργειας

Στο σημείο αυτό θα γίνει ο υπολογισμός του capacity factor της ανεμογεννήτριας. Είναι:

$$Cp = \frac{2263036}{8760 \cdot 850} = 0.3039 = 30.39\%$$

Στην συνέχεια θα γίνει η ανάλυση του κόστους ενέργειας για την επιχείρηση αφαλάτωσης. Στον πίνακα που ακολουθεί, θα παρουσιαστούν τα δύο τιμολόγια μέσης τάσης και θα επιλεγεί αυτό με το μικρότερο κόστος.

| | Κατανάλωση ενέργειας (kWh) | Κόστος B1B (€) | Κόστος B2B (€) |
|---------------|-------------------------------|-------------------|-------------------|
| Ιανουάριος | 190850 | 14584 | 14291 |
| Φεβρουάριος | 167300 | 13409 | 12754 |
| Μάρτης | 205700 | 15325 | 15261 |
| Απρίλης | 129250 | 11510 | 10271 |
| Μάης | 262350 | 14120 | 18958 |
| Ιούνιος | 338050 | 17897 | 23899 |
| Ιούλιος | 321800 | 17087 | 22839 |
| Αύγουστος | 346750 | 18332 | 24467 |
| Σεπτέμβριος | 288000 | 15400 | 20632 |
| Οκτώβριος | 315800 | 16787 | 22447 |
| Νοέμβριος | 158700 | 12980 | 12193 |
| Δεκέμβριος | 179600 | 14023 | 13557 |
| Σύνολο | 2904150 | 181454 | 211569 |

Πίνακας 8-6: Κόστος ενέργειας

Επιλέγεται σε αυτή την περίπτωση το τιμολόγιο μέσης τάσης B1B καθώς είναι λιγότερο δαπανηρό από το B2B. Στον συγκεντρωτικό πίνακα που θα γίνει στην συνέχεια, θα υπολογιστεί το κέρδος του επιχειρηματία αν δημιουργήσει 2 ξεχωριστές εταιρείες.

| | Κέρδη από πώληση ενέργειας (€) | Κόστος από αγορά ενέργειας (€) | Συνολικό κέρδος (€) |
|-------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------|
| Ιανουάριος | 26386 | 14584 | 11802 |
| Φεβρουάριος | 14113 | 13409 | 704 |
| Μάρτης | 13607 | 15325 | -1718 |

| | | | |
|---------------|---------------|---------------|--------------|
| Απρίλης | 10826 | 11510 | -684 |
| Μάης | 17380 | 14120 | 3260 |
| Ιούνιος | 21464 | 17897 | 3567 |
| Ιούλιος | 10945 | 17087 | -6142 |
| Αύγουστος | 14129 | 18332 | -4203 |
| Σεπτέμβριος | 8193 | 15400 | -7207 |
| Οκτώβριος | 18619 | 16787 | 1832 |
| Νοέμβριος | 14176 | 12980 | 1196 |
| Δεκέμβριος | 21615 | 14023 | 7592 |
| Σύνολο | 191453 | 181453 | 10000 |

Πίνακας 8-7: Συνολικό κέρδος

Τον επιχειρηματία τον συμφέρει να ιδρύσει δυο διαφορετικές εταιρείες που η μια θα πουλάει την ενέργεια από την ανεμογεννήτρια μόνο και η άλλη θα αγοράζει από την επιχείρηση ηλεκτρισμού. Ο ισολογισμός του θα είναι θετικός σε αυτή την περίπτωση, σε αντίθεση με το αν ιδρύσει μια αυτοπαραγωγό εταιρεία αφαλάτωσης- παραγωγής ενέργειας όπου δεν θα έχει κέρδη όσο αφορά τον ενεργειακό τομέα. Αυτό συμβαίνει λόγω της υψηλής τιμής πώλησης της ενέργειας από ΑΠΕ και την κλιμακωτή τιμολόγηση που προσφέρει το Β1Β σε περιπτώσεις μεγάλης κατανάλωσης ενέργειας από βιομηχανικό καταναλωτή.

Όπως και στο προηγούμενο εδάφιο, υπολογίστηκε το κόστος παραγωγής του νερού και βρέθηκε ίσο με 0,631€ ανά κυβικό μέτρο για το 4ωρο μοντέλο πρόβλεψης αιολικής παραγωγής. Άρα αν γίνουν δύο ξεχωριστές επιχειρήσεις, μια αφαλάτωσης και μια παραγωγής ηλεκτρισμού, το κόστος παραγωγής του νερού θα μειωθεί κατά το μέγιστο 14,7%.

Κεφάλαιο 9: Επίδραση στο ΣΗΕ της Μήλου

9.1 Εισαγωγή

Από τα μοντέλα που έχουν αναλυθεί μέχρι τώρα, θα προτιμηθεί το μοντέλο με το 4ωρο persistence. Αν και δεν παράγει τα καλύτερα αποτελέσματα για την επιχείρηση αφαλάτωσης, είναι ιδιαίτερα απλό και φθηνό σε αντίθεση με το στατιστικό μοντέλο, και παράγει μικρότερα σφάλματα πρόβλεψης αιολικής παραγωγής εν αντιθέσει με το 24ωρο μοντέλο σταθερής αιολικής παραγωγής. Επιπλέον, με το 4ωρο persistence η αγορά ενέργειας είναι μικρότερη από το 24ωρο και έτσι είναι και πιο εξυπηρετικό για την επιχείρηση ηλεκτρισμού και λιγότερο επιβαρυντικό για το σύστημα.

9.2 Επίδραση στην παραγωγή

9.2.1 Πίνακες μεταβολής

Στον παρακάτω πίνακα, παρουσιάζονται τα ποσά της ενέργειας που παρήχθησαν από τον συμβατικό σταθμό παραγωγής χωρίς το φορτίο της αφαλάτωσης. Συνολικά είναι 13 γεννήτριες, 5 από τις οποίες νοικιάζονται το καλοκαίρι. Η μια από της ενοικιαζόμενες, συνδέεται και το 2^ο τρίμηνο του χρόνου στο σύστημα του νησιού λόγω συντήρησης των μόνιμων γεννητριών.

Πίνακας 9-1: Παραγωγή ενέργειας συμβατικού σταθμού ενέργειας χωρίς φορτίο αφαλάτωσης

| | Γεννήτρια 1 (MWh) | Γεννήτρια 2 (MWh) | Γεννήτρια 3 (MWh) | Γεννήτρια 4 (MWh) | Γεννήτρια 5 (MWh) | Γεννήτρια 6 (MWh) | Γεννήτρια 7 (MWh) | Γεννήτρια 8 (MWh) | H/Z 1 (MWh) | H/Z 2 (MWh) | H/Z 3 (MWh) | H/Z 4 (MWh) | H/Z 5 (MWh) |
|---------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Ιανουάριος | 655,2 | 807,1 | 412,9 | 411,6 | 406,0 | 0,0 | 277,9 | 27,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Φεβρουάριος | 694,1 | 763,7 | 246,0 | 380,6 | 297,9 | 0,0 | 268,8 | 27,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Μάρτιος | 622,2 | 788,5 | 401,2 | 401,2 | 400,6 | 0,0 | 147,8 | 3,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Απρίλιος | 659,5 | 0,0 | 346,8 | 346,8 | 275,2 | 0,0 | 209,2 | 0,6 | 505,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Μάιος | 685,9 | 337,5 | 282,4 | 373,6 | 373,4 | 0,0 | 102,3 | 0,0 | 414,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Ιούνιος | 455,2 | 770,6 | 382,3 | 382,3 | 382,3 | 0,0 | 142,9 | 19,8 | 379,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Ιούλιος | 726,8 | 802,1 | 312,7 | 397,7 | 397,7 | 0,0 | 67,1 | 2,6 | 496,5 | 306,1 | 107,1 | 25,2 | 3,9 |
| Αύγουστος | 752,2 | 756,3 | 302,4 | 372,8 | 372,8 | 0,0 | 4,3 | 0,0 | 699,8 | 599,2 | 415,5 | 203,5 | 83,7 |
| Σεπτέμβριος | 681,0 | 775,7 | 393,5 | 393,5 | 391,9 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 272,1 | 103,9 | 22,0 | 2,0 | 0,0 |
| Οκτώβριος | 398,7 | 722,9 | 295,8 | 381,2 | 375,6 | 0,0 | 39,7 | 1,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Νοέμβριος | 740,0 | 811,1 | 0,0 | 403,1 | 403,1 | 2,7 | 291,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Δεκέμβριος | 649,1 | 800,5 | 91,8 | 409,5 | 407,8 | 15,3 | 259,5 | 2,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Σύνολο | 7720,0 | 8135,9 | 3467,9 | 4653,9 | 4484,5 | 18,0 | 1810,9 | 84,7 | 2767,4 | 1009,1 | 544,6 | 230,7 | 87,6 |

Όπως είναι φανερό, κάποιες γεννήτριες κάποιους μήνες δεν παράγουν. Αυτό γίνεται επειδή είτε είχαν υποστεί βλάβη και δεν λειτουργούσαν, είτε ήταν εκτός παραγωγής για συντήρηση.

Θα πρέπει στο σημείο αυτό να σημειωθεί ότι τα Η/Ζ που νοικιάζονται τους καλοκαιρινούς μήνες έχουν μεγαλύτερο βάρος στην ένταξη τους στην παραγωγή κάθε φορά. Δηλαδή, το σύστημα επιλέγει να λειτουργήσουν αυτά πρώτα και στην συνέχεια να μπουν σε λειτουργία οι μόνιμα εγκατεστημένες μηχανές. Αυτό είναι πολιτική της εταιρείας ηλεκτρισμού ώστε να μην επιβαρύνονται οι μονάδες της ενώ έχει ενοικιάσει ζεύγη.

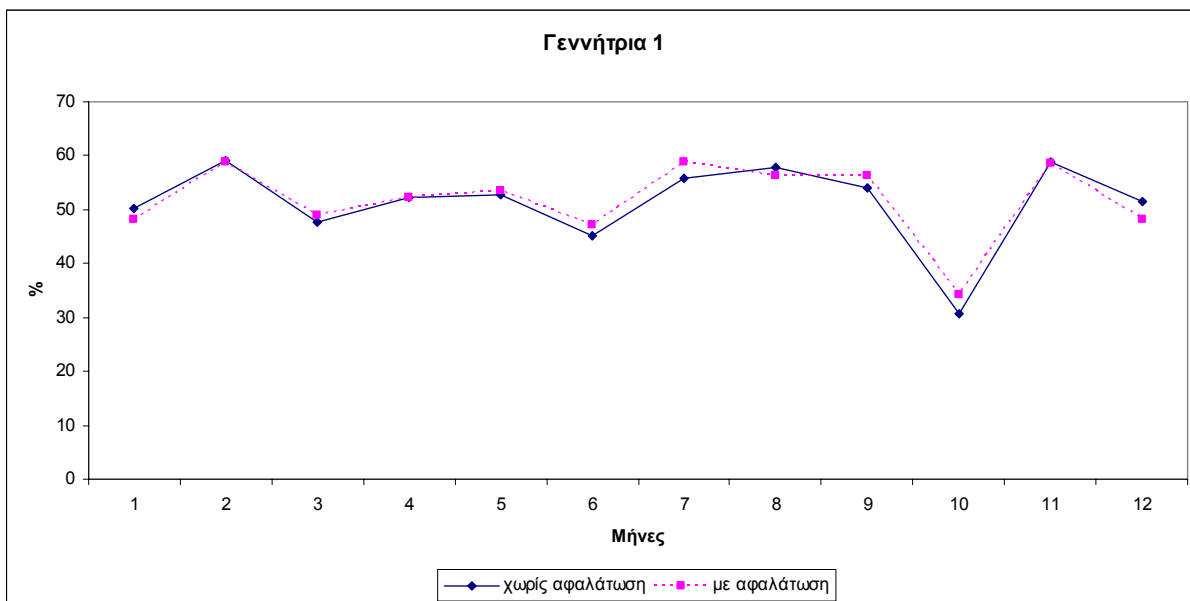
Στην συνέχεια παρουσιάζεται ο ίδιος πίνακας με πριν, μετά την εγκατάσταση του φορτίου αφαλατώσεως. Θα πρέπει να τονιστεί ότι οι προσομοιώσεις έγιναν με τον ίδιο τρόπο και στις δύο περιπτώσεις. Τα χρονικά διαστήματα των προσομοιώσεων είναι τα ίδια καθώς επίσης οι μηχανές που είναι εκτός της μια φορά, είναι εκτός και την άλλη.

Πίνακας 9-2: Παραγωγή ενέργειας μηχανών συμβατικού σταθμού ενέργειας με φορτίο αφαλάτωσης

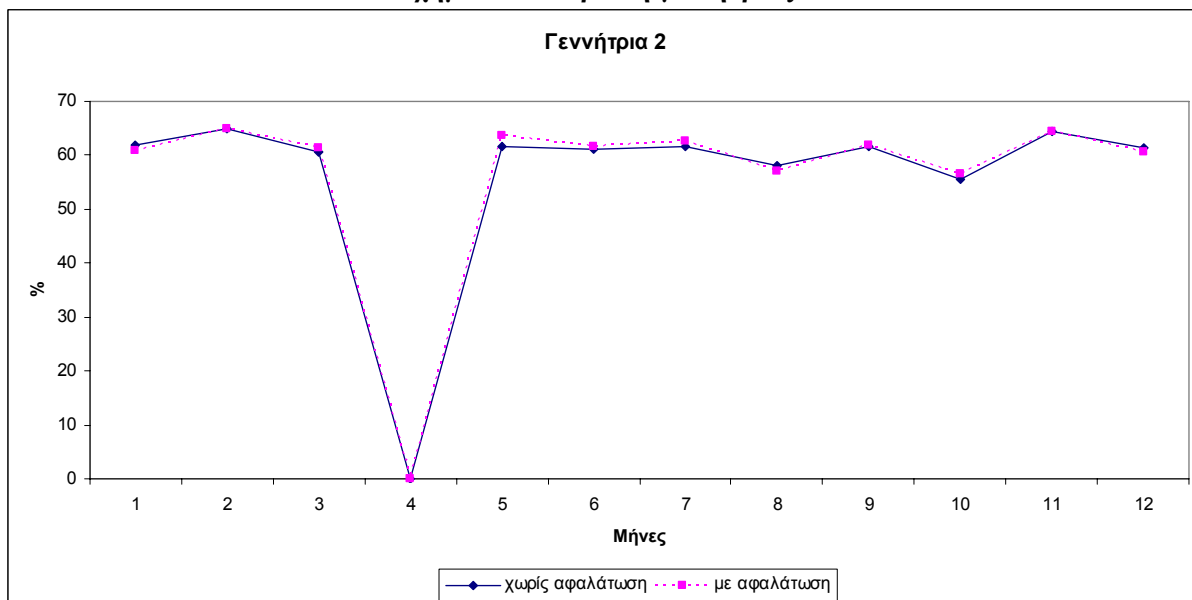
| | Γεννήτρια 1 (MWh) | Γεννήτρια 2 (MWh) | Γεννήτρια 3 (MWh) | Γεννήτρια 4 (MWh) | Γεννήτρια 5 (MWh) | Γεννήτρια 6 (MWh) | Γεννήτρια 7 (MWh) | Γεννήτρια 8 (MWh) | H/Z 1 (MWh) | H/Z 2 (MWh) | H/Z 3 (MWh) | H/Z 4 (MWh) | H/Z 5 (MWh) |
|---------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Ιανουάριος | 627,5 | 791,7 | 409,7 | 407,0 | 400,1 | 0,0 | 275,0 | 30,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Φεβρουάριος | 692,7 | 763,3 | 246,7 | 382,1 | 299,6 | 0,0 | 267,5 | 38,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Μάρτιος | 638,4 | 797,5 | 407,4 | 407,4 | 406,9 | 0,0 | 163,7 | 7,8 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Απρίλιος | 658,2 | 0,0 | 349,3 | 349,3 | 274,9 | 0,0 | 219,5 | 0,9 | 512,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Μάιος | 695,3 | 347,4 | 280,3 | 374,3 | 373,9 | 0,0 | 131,7 | 0,0 | 442,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Ιούνιος | 475,6 | 775,0 | 385,5 | 385,5 | 385,5 | 0,0 | 166,1 | 27,3 | 416,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Ιούλιος | 766,9 | 814,2 | 317,9 | 403,8 | 403,8 | 0,0 | 71,9 | 5,6 | 524,2 | 344,8 | 140,9 | 40,3 | 6,7 |
| Αύγουστος | 733,6 | 743,2 | 295,7 | 365,1 | 365,1 | 0,0 | 13,3 | 0,0 | 707,9 | 628,0 | 474,5 | 288,0 | 128,7 |
| Σεπτέμβριος | 719,9 | 788,1 | 399,6 | 399,6 | 397,8 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 333,5 | 144,4 | 45,1 | 2,0 | 0,0 |
| Οκτώβριος | 444,9 | 736,0 | 302,3 | 388,8 | 383,7 | 0,0 | 69,0 | 1,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Νοέμβριος | 738,8 | 812,0 | 0,0 | 405,4 | 405,4 | 4,3 | 297,9 | 2,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Δεκέμβριος | 626,2 | 789,8 | 91,2 | 408,2 | 405,8 | 18,7 | 258,8 | 0,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Σύνολο | 7808,2 | 8148,7 | 3404,4 | 4670,9 | 4496,9 | 23,0 | 1934,3 | 113,9 | 2962,2 | 1163,6 | 684,5 | 343,0 | 137,0 |

9.2.2 Γραφική απεικόνιση μεταβολών παραγωγής

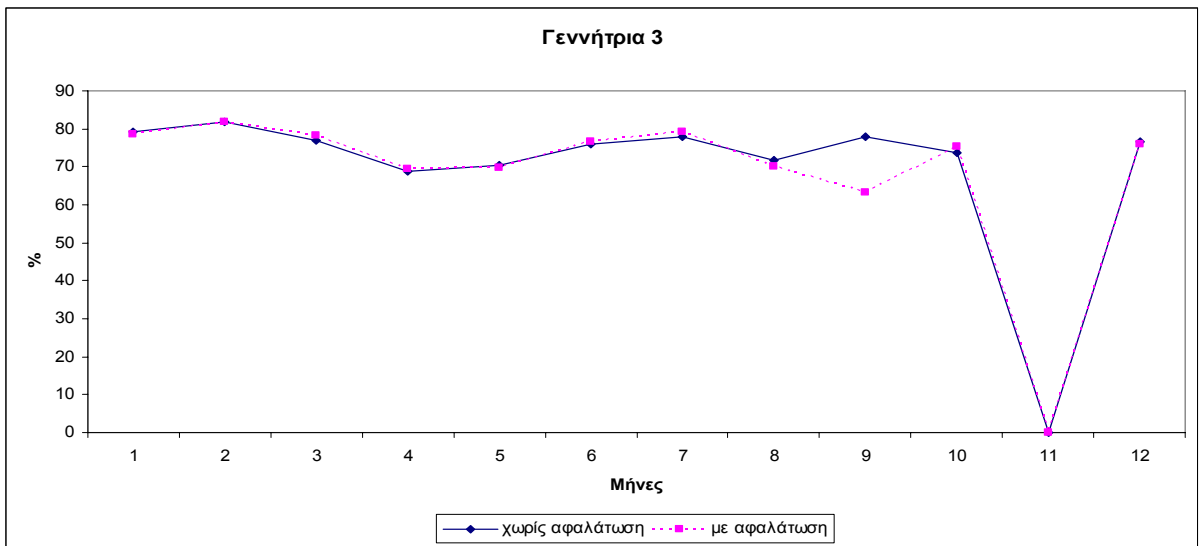
Οι γραφικές παραστάσεις που δίνονται στην συνέχεια απεικονίζουν την φόρτιση της κάθε γεννήτριας και H/Z για όλους τους μήνες. Έχουν ληφθεί υπόψη τα διαστήματα που γινόταν συντήρηση ή που η μηχανή ήταν εκτός παραγωγής. Η πλήρης παραγωγή κάθε μηχανής είναι 100%, που σημαίνει ότι παράγει την πλήρη φόρτιση της για όλες τις ώρες του μήνα. Άρα στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται οι συντελεστές χρησιμοποίησης κάθε γεννήτριας.



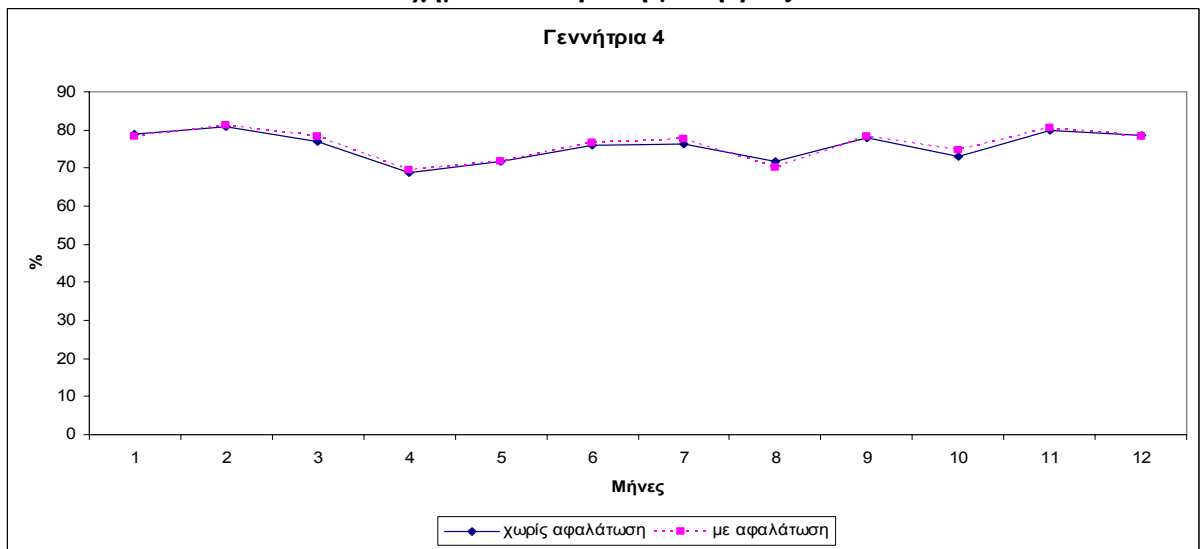
Σχήμα 9-1: Φόρτιση γεννήτριας 1



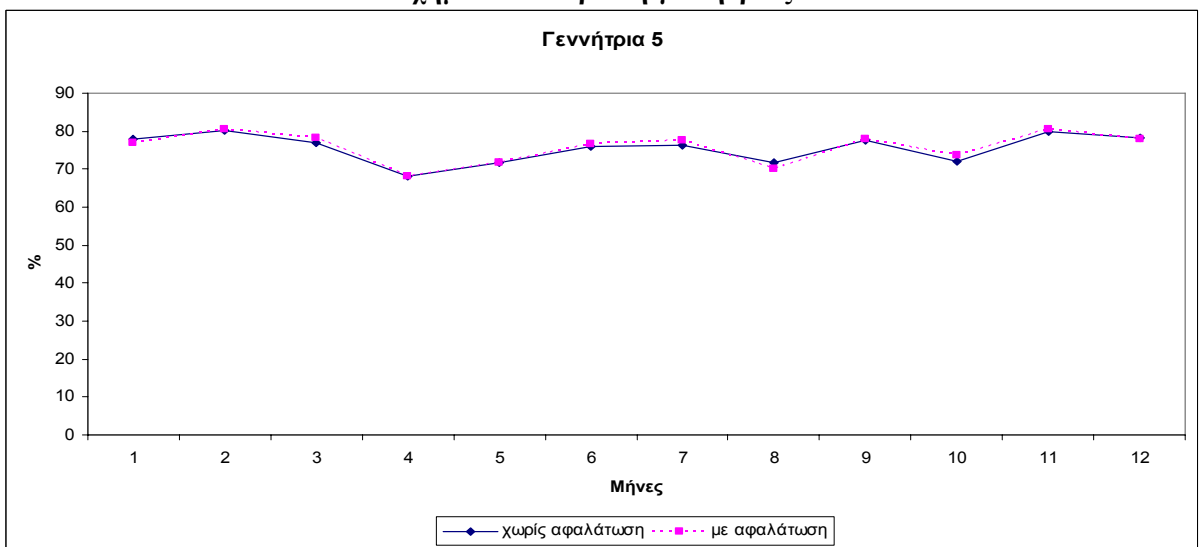
Σχήμα 9-2: Φόρτιση γεννήτριας 2



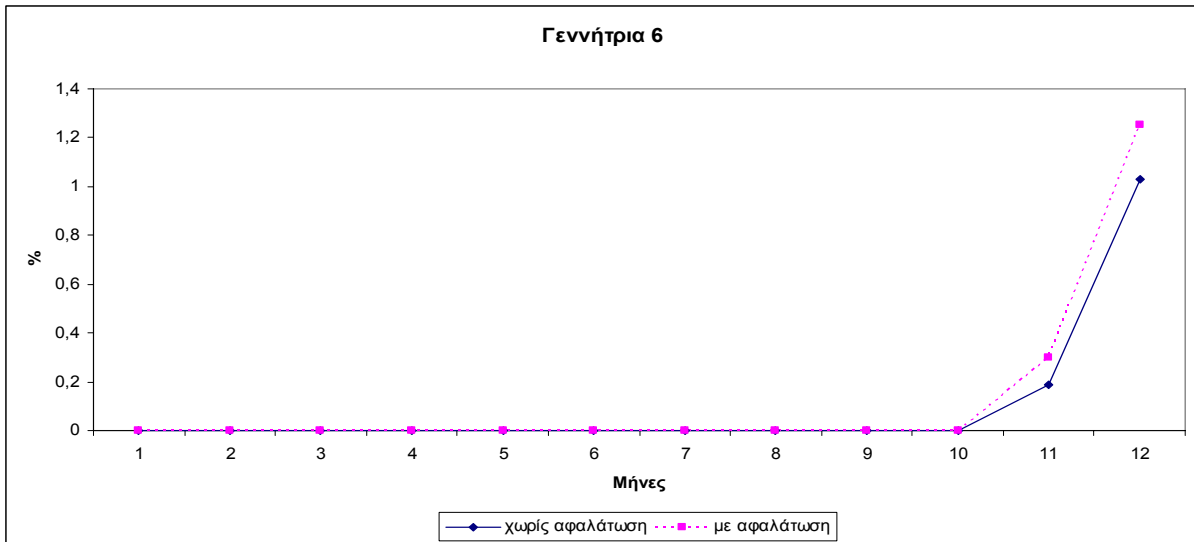
Σχήμα 9-3: Φόρτιση γεννήτριας 3



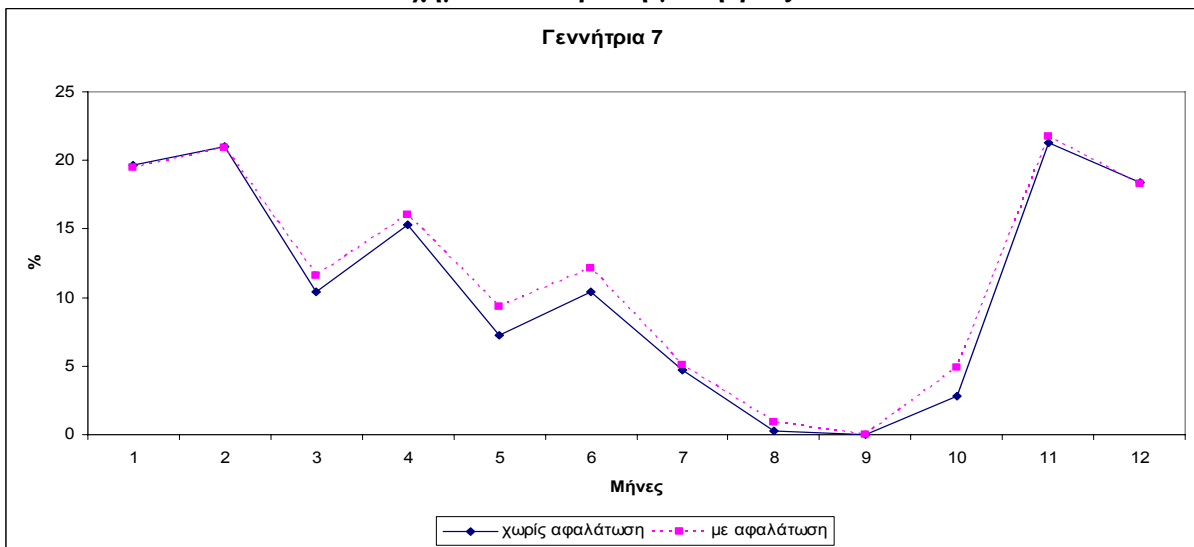
Σχήμα 9-4: Φόρτιση γεννήτριας 4



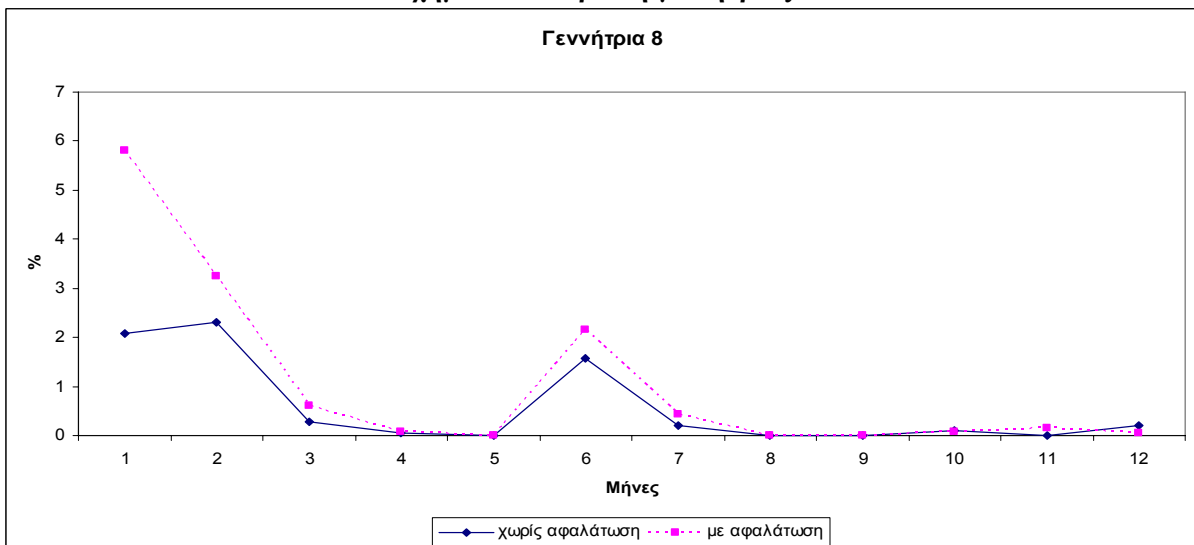
Σχήμα 9-5: Φόρτιση γεννήτριας 5



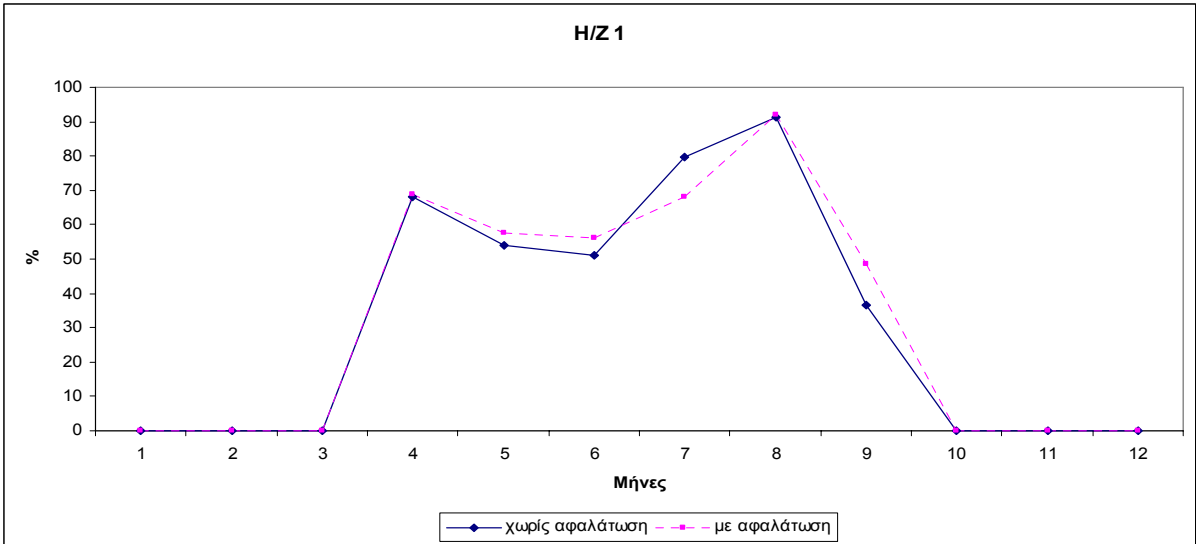
Σχήμα 9-6: Φόρτιση γεννήτριας 6



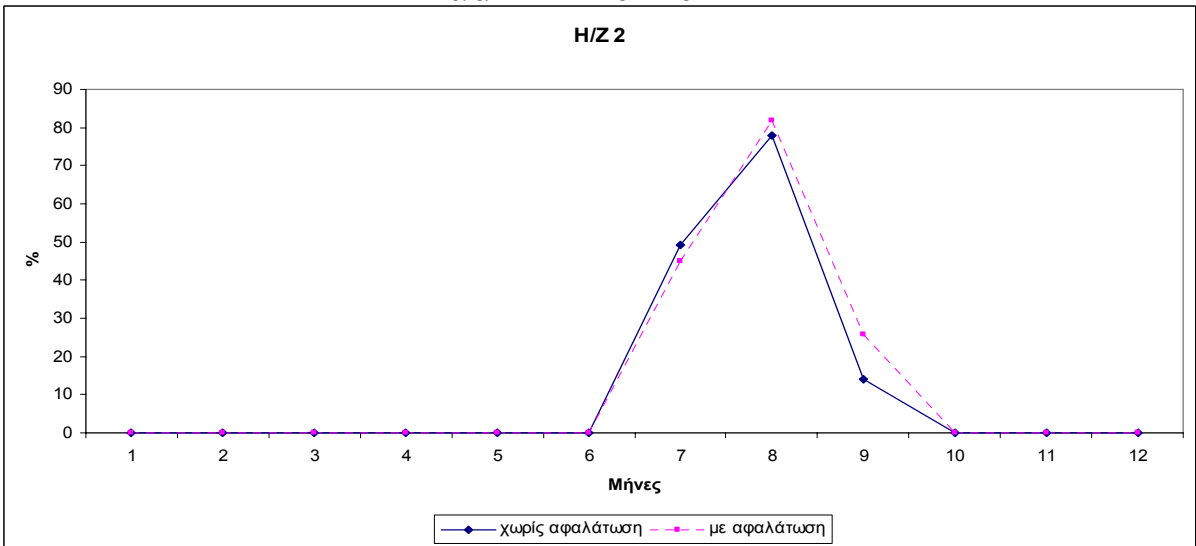
Σχήμα 9-7: Φόρτιση γεννήτριας 7



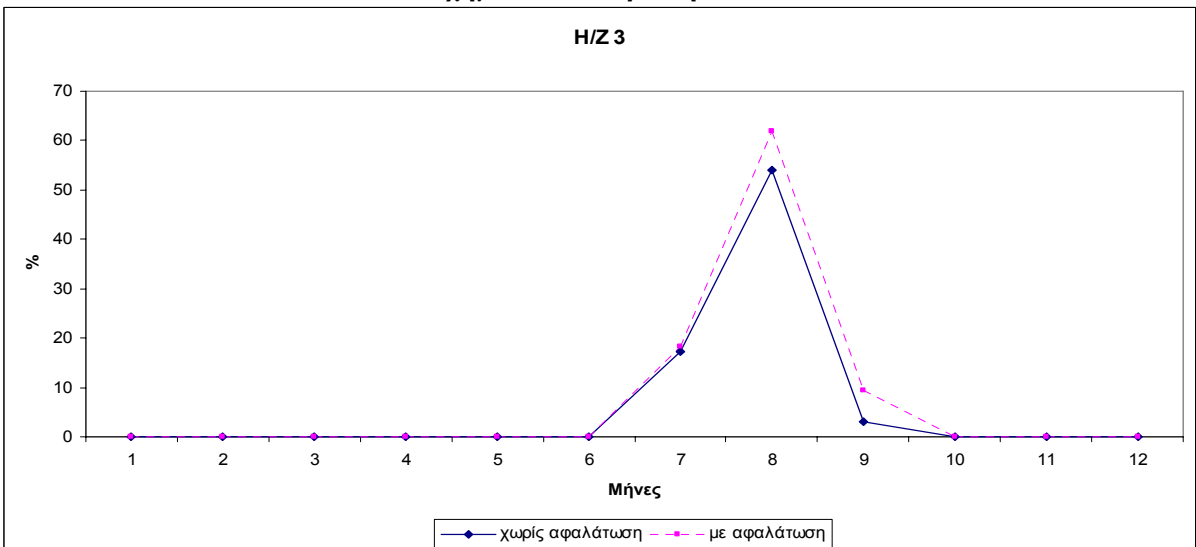
Σχήμα 9-8: Φόρτιση γεννήτριας 8



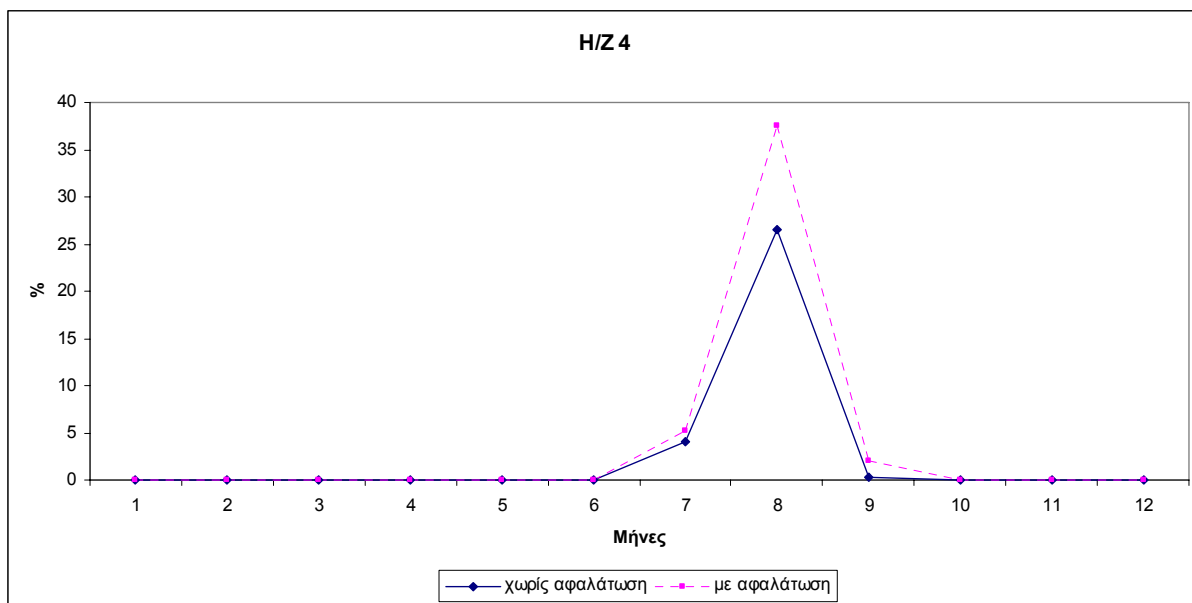
Σχήμα 9-9: Φόρτιση H/Z 1



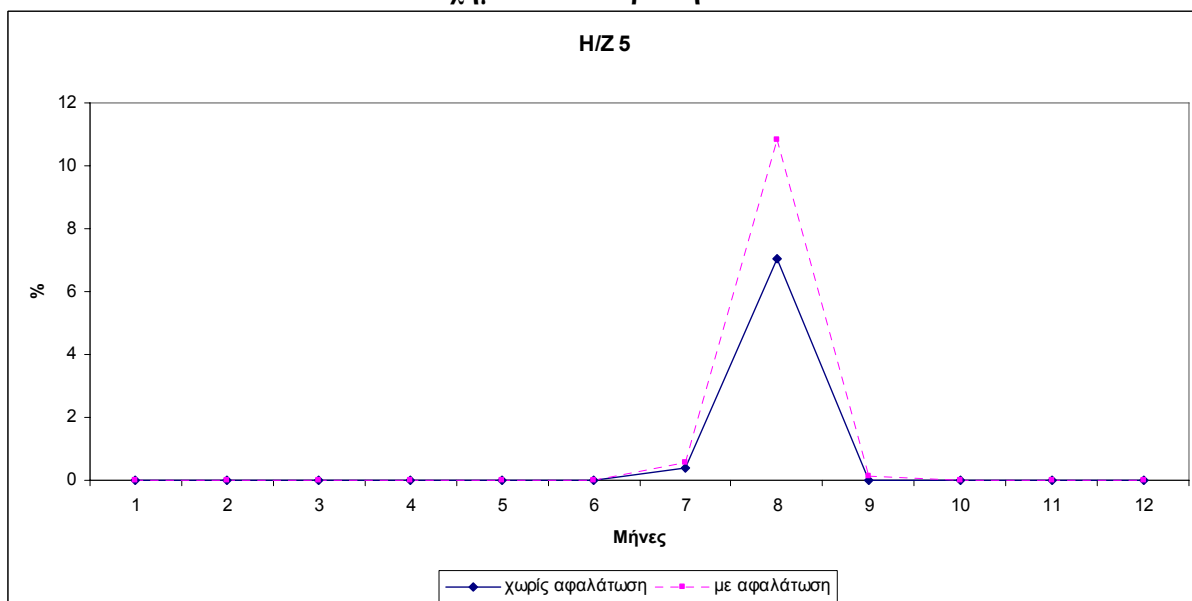
Σχήμα 9-10: Φόρτιση H/Z 2



Σχήμα 9-11: Φόρτιση H/Z 3



Σχήμα 9-12: Φόρτιση H/Z 4



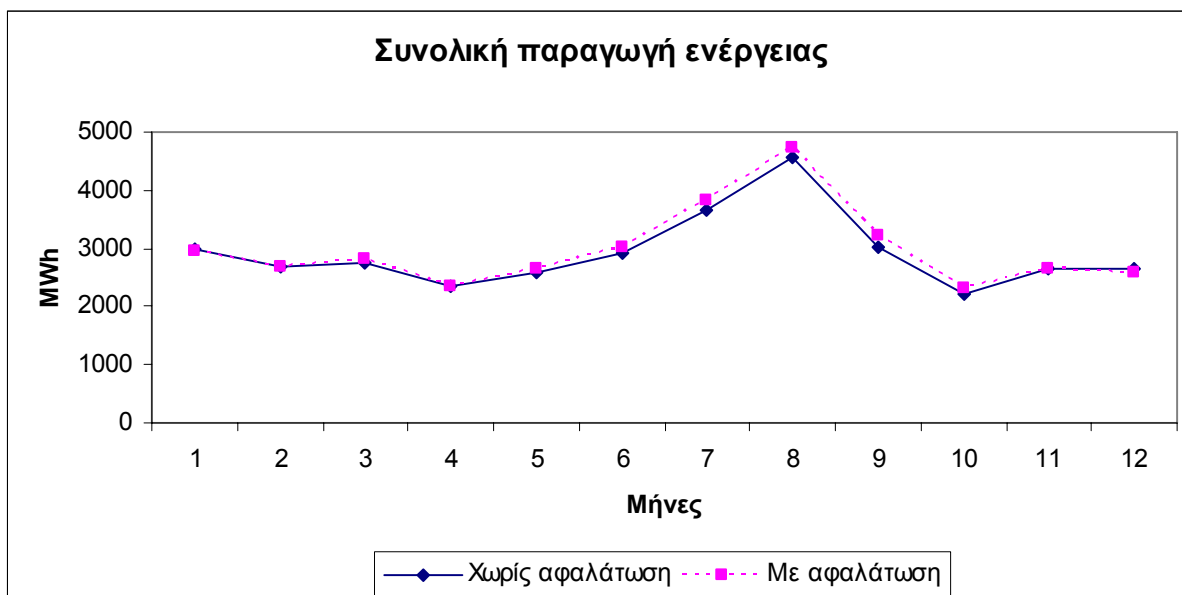
Σχήμα 9-13: Φόρτιση H/Z 5

Όπως φαίνεται από τα σχήματα, για να καλυφθεί η ζήτηση αφού έχει ενταχθεί στο σύστημα η αφαλάτωση, χρειάζεται παραπάνω παραγωγή από των συμβατικό σταθμό. Η παραπάνω αυτή παραγωγή επιμερίζεται κυρίως στις μηχανές παραγωγής που καταναλώνουν diesel.

Όπως φαίνεται και από τα στοιχεία, οι μηχανές που καταναλώνουν μαζούτ έχουν αρκετά μεγάλο σημείο φόρτισης και έτσι οι μηχανές που δουλεύουν παραπάνω είναι οι diesel. Τους καλοκαιρινούς μήνες, την διαφορά στην ενέργεια την καλύπτουν κατά ένα μεγάλο κομμάτι τα ενοικιαζόμενα H/Z και λιγότερο οι μόνιμες γεννήτριες. Η παραπάνω φόρτιση των μηχανών με κατανάλωση diesel θα έχει ως επίπτωση στο κόστος παραγωγής της ενέργειας όπως θα φανεί στην συνέχεια.

Ακολουθεί ο αθροιστικός πίνακας της παραγόμενης ενέργειας για κάθε μήνα με και χωρίς την αφαλάτωση. Όπως ήταν αναμενόμενο, υπάρχουν διαφορές κυρίως τους θερινούς μήνες όπου η

αφαλάτωση αγοράζει μεγάλες ποσότητες ενέργειας. Τέλος, τον Ιανουάριο και τον Δεκέμβριο η παραγωγή από τον συμβατικό σταθμό είναι μικρότερη λόγω της πώλησης αιολικής παραγωγής από τον ιδιώτη στο δίκτυο. Θα πρέπει να αναφερθεί στο σημείο αυτό ότι ο ετήσιος λόγος του φορτίου της αφαλάτωσης προς το συνολικό φορτίο είναι 6,80%.



Σχήμα 9-14:Συνολική παραγωγή ενέργειας από συμβατικές γεννήτριες

9.3 Κόστος ενέργειας

9.3.1 Κόστος καυσίμου²⁷

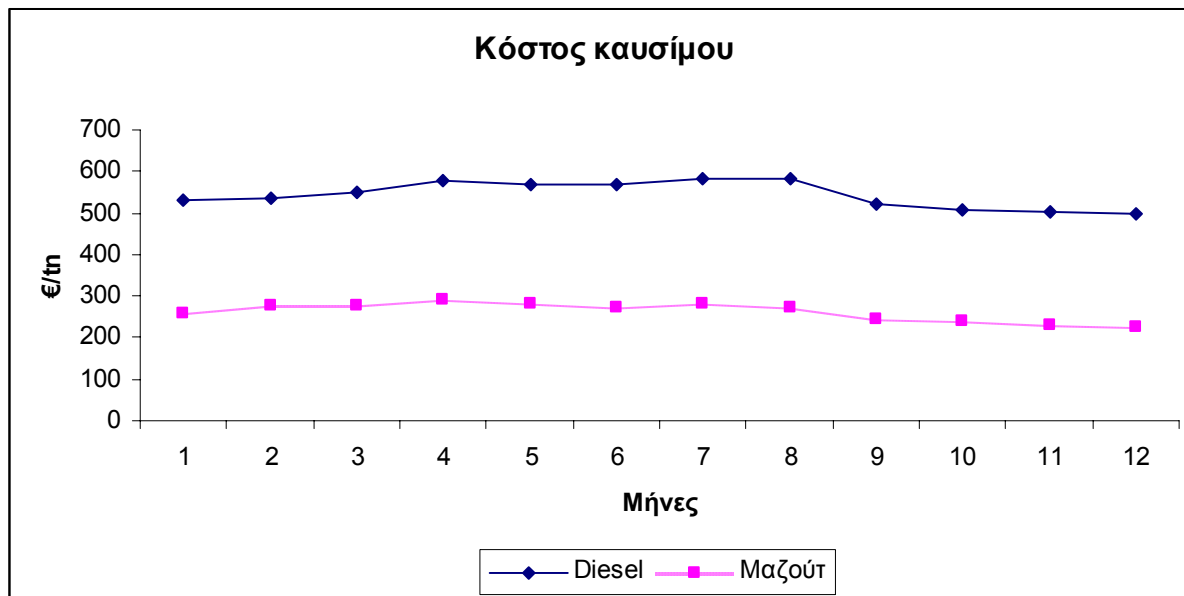
Οι μηχανές του συμβατικού σταθμού όπως έχει αναφερθεί και πριν καταναλώνουν δύο είδη πετρελαιοειδών: μαζούτ και diesel. Στον πίνακα που ακολουθεί, παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών αυτών κατά το χρόνο που έγιναν οι προσομοιώσεις.

| | Diesel (€/tn) | Μαζούτ (€/tn) |
|-------------|---------------|---------------|
| Ιανουάριος | 528,546 | 256,695 |
| Φεβρουάριος | 533,286 | 276,588 |
| Μάρτιος | 547,432 | 278,917 |
| Απρίλιος | 577,017 | 289,981 |
| Μάιος | 569,999 | 280,249 |
| Ιούνιος | 568,046 | 272,245 |
| Ιούλιος | 582,407 | 283,971 |
| Αύγουστος | 581,939 | 271,728 |
| Σεπτέμβριος | 522,129 | 245,579 |
| Οκτώβριος | 506,986 | 238,277 |

| | | |
|------------|---------|---------|
| Νοέμβριος | 502,064 | 231,25 |
| Δεκέμβριος | 498,921 | 225,311 |

Πίνακας 9-3: Τιμές καυσίμων

Ακολουθεί η γραφική παράσταση της μεταβολής του κόστους των καυσίμων.



Σχήμα 9-15: Κόστος καυσίμου

Όπως φαίνεται, το κόστος του μαζούτ είναι περίπου το μισό από ότι το κόστους του diesel.

9.3.2 Κατανάλωση καυσίμων

Στο σημείο αυτό θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων όσον αφορά την κατανάλωση καυσίμων. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται σε 2 πίνακες, έναν για το μαζούτ και έναν για το diesel. Ακόμα δίνεται και γραφική παράσταση της κατανάλωσης ανάλογα με το αν έχει μπει στο δίκτυο η αφαλάτωση. Για να γίνει πιο κατανοητή η μεταβολή των ποσοτήτων καυσίμου παρουσιάζεται και το ποσοστό μεταβολής των ποσοτήτων.

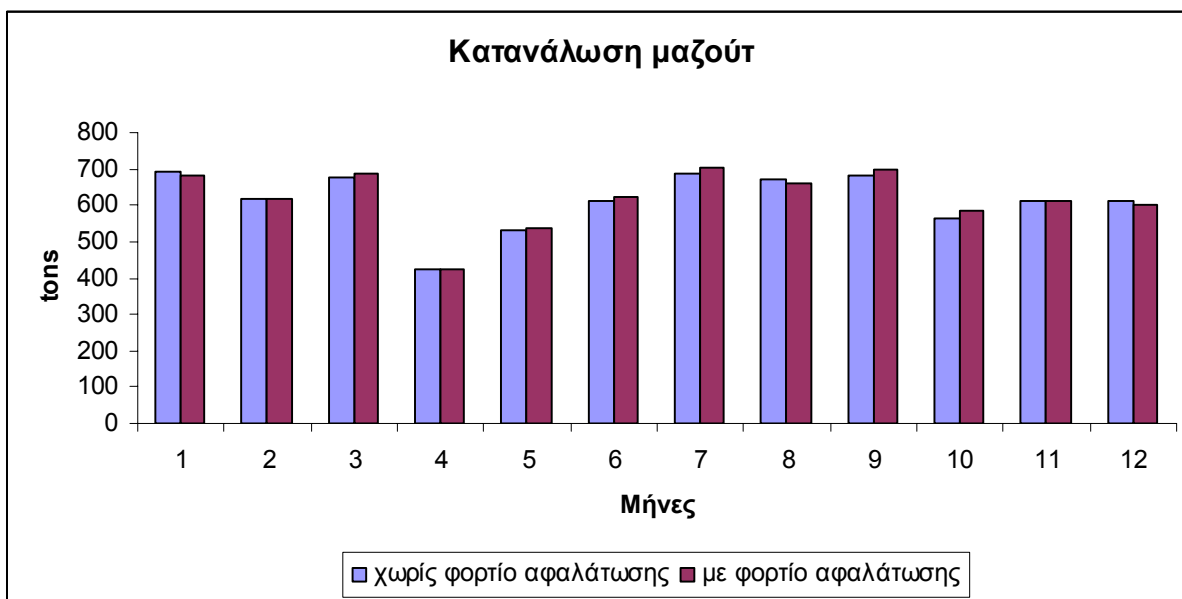
| Μαζούτ | | | |
|-------------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| | Χωρίς φορτίο αφαλάτωσης (tons) | Με φορτίο αφαλάτωσης (tons) | Ποσοστό μεταβολής (%) |
| Ιανουάριος | 694,71 | 680,45 | -2,1 |
| Φεβρουάριος | 617,08 | 617,26 | 0,03 |
| Μάρτιος | 676,42 | 686,56 | 1,48 |
| Απρίλιος | 422,09 | 422,51 | 0,1 |
| Μάιος | 533,10 | 537,68 | 0,85 |
| Ιούνιος | 613,88 | 622,22 | 1,34 |

| | | | |
|---------------|----------------|----------------|-------------|
| Ιούλιος | 685,32 | 702,54 | 2,45 |
| Αύγουστος | 670,49 | 658,22 | -1,86 |
| Σεπτέμβριος | 681,93 | 698,96 | 2,44 |
| Οκτώβριος | 564,71 | 585,04 | 3,47 |
| Νοέμβριος | 613,48 | 614,09 | 0,10 |
| Δεκέμβριος | 612,46 | 602,77 | -1,61 |
| Σύνολο | 7385,67 | 7428,30 | 0,57 |

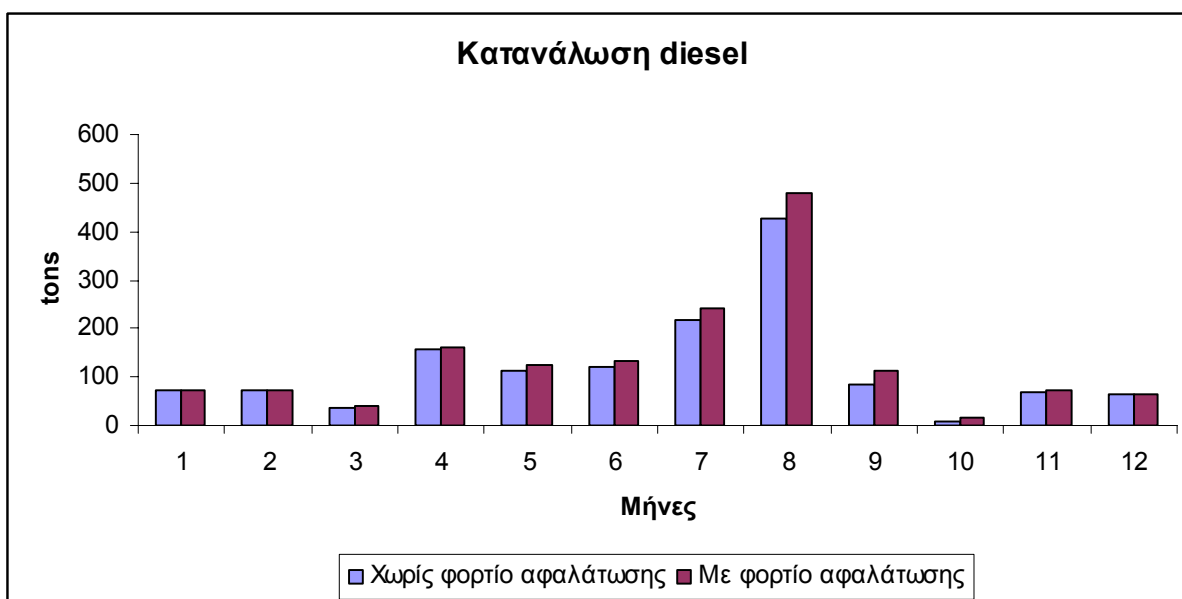
Πίνακας 9-4: Κατανάλωση μαζούτ

| Diesel | | | |
|---------------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| | Χωρίς φορτίο αφαλάτωσης (tons) | Με φορτίο αφαλάτωσης (tons) | Ποσοστό μεταβολής (%) |
| Ιανουάριος | 72,82 | 72,97 | 0,2 |
| Φεβρουάριος | 70,50 | 72,92 | 3,32 |
| Μάρτιος | 36,04 | 40,87 | 11,82 |
| Απρίλιος | 157,52 | 161,41 | 2,41 |
| Μάιος | 112,54 | 125,44 | 10,28 |
| Ιούνιος | 119,63 | 134,84 | 11,28 |
| Ιούλιος | 216,30 | 243,29 | 11,1 |
| Αύγουστος | 427,69 | 478,37 | 10,59 |
| Σεπτέμβριος | 85,03 | 111,62 | 23,82 |
| Οκτώβριος | 9,82 | 16,73 | 41,29 |
| Νοέμβριος | 70,01 | 72,48 | 3,4 |
| Δεκέμβριος | 66,13 | 66,26 | 0,2 |
| Σύνολο | 1444,01 | 1597,19 | 9,59 |

Πίνακας 9-5: Κατανάλωση diesel



Σχήμα 9-16: Μεταβολή κατανάλωσης μαζούτ



Σχήμα 9-17: Μεταβολή κατανάλωσης diesel

9.3.3 Μεταβολή παραχθείσας ενέργειας

Η κατανάλωση πετρελαίου τύπου diesel αυξάνει πάρα πολύ τους καλοκαιρινούς μήνες. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα Η/Ζ καταναλώνουν diesel και ότι τα ζεύγη αυτά λειτουργούν κατά προτεραιότητα σε σχέση με τις άλλες γεννήτριες του εργοστασίου.

Ακόμα θα παρουσιαστεί σε πίνακα και η ποσοστιαία μεταβολή της συνολικής μηνιαίας παραγόμενης ενέργειας.

| | Παραχθείσα ενέργεια χωρίς φορτίο αφαλάτωσης (MWh) | Παραχθείσα ενέργεια με φορτίο αφαλάτωσης (MWh) | Ποσοστιαία μεταβολή (%) |
|---------------|---|--|-------------------------|
| Ιανουάριος | 2997,58 | 2941,406 | -1,91 |
| Φεβρουάριος | 2678,164 | 2690,157 | 0,45 |
| Μάρτιος | 2764,874 | 2829,158 | 2,27 |
| Απρίλιος | 2343,81 | 2363,99 | 0,85 |
| Μάιος | 2569,536 | 2644,902 | 2,85 |
| Ιούνιος | 2914,771 | 3016,546 | 3,37 |
| Ιούλιος | 3645,648 | 3840,927 | 5,08 |
| Αύγουστος | 4562,522 | 4743,154 | 3,81 |
| Σεπτέμβριος | 3035,586 | 3229,978 | 6,02 |
| Οκτώβριος | 2215,313 | 2325,771 | 4,75 |
| Νοέμβριος | 2651,387 | 2665,816 | 0,54 |
| Δεκέμβριος | 2636,091 | 2599,169 | -1,42 |
| Σύνολο | 35015,28 | 35890,97 | 2,44 |

Πίνακας 9-6: Μεταβολή παραχθείσας ενέργειας

Η μεγαλύτερες ποσοστιαίες μεταβολές παρατηρούνται τους καλοκαιρινούς μήνες (μέγιστο τον Σεπτέμβριο) και σε απόλυτα ποσά τον μήνα Αύγουστο.

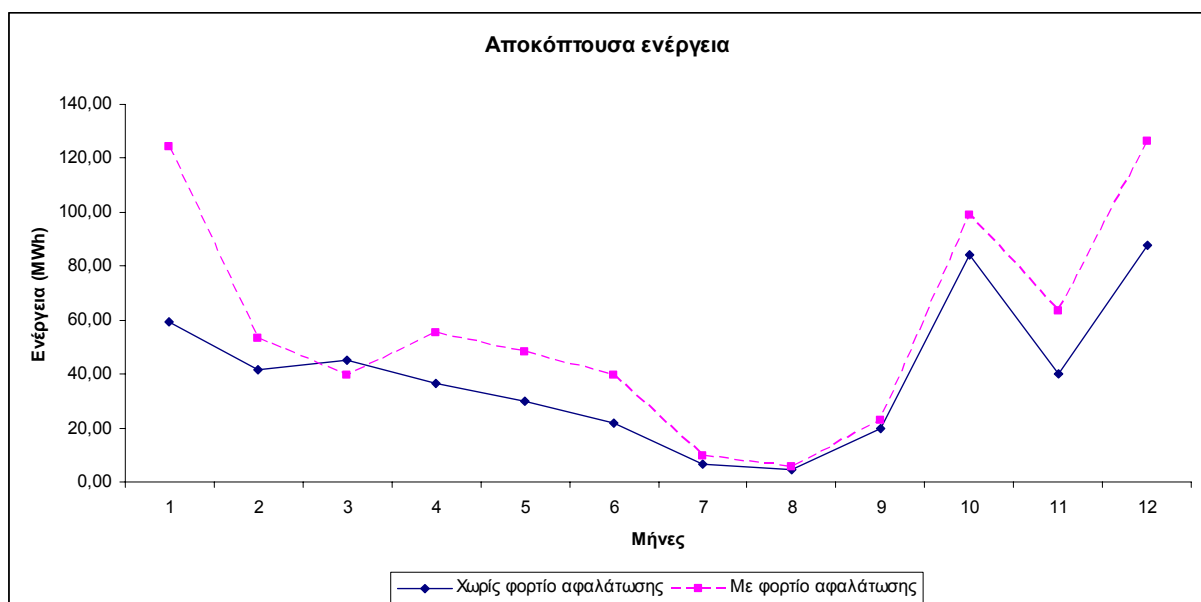
9.3.4 Αποκοπή αιολικής παραγωγής

Όπως έχει εξηγηθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, για λόγους κυρίως μη παραβίασεως των τεχνικών ελάχιστων των συμβατικών μηχανών, υπάρχει περίπτωση να υπάρχει αποκοπή της αιολικής παραχθείσας ενέργειας από τον χειριστή του ΣΗΕ. Στον πίνακα που ακολουθεί, παρουσιάζεται η συνολική αιολική ενέργεια σε μηνιαία βάση που έμεινε ανεκμετάλλευτη από το ΣΗΕ με και χωρίς το φορτίο της αφαλάτωσης. Στην συνέχεια θα παρουσιαστούν τα στοιχεία αυτά σε μια κοινή γραφική παράσταση.

| | Αποκοπόμενη ενέργεια χωρίς φορτίο αφαλάτωσης (MWh) | Αποκοπόμενη ενέργεια με φορτίο αφαλάτωσης (MWh) | Μεταβολή (%) |
|-------------|--|---|--------------|
| Ιανουάριος | 59,31 | 124,18 | 109,38 |
| Φεβρουάριος | 41,70 | 53,21 | 27,60 |
| Μάρτιος | 45,32 | 39,32 | -13,24 |

| | | | |
|---------------|---------------|---------------|--------------|
| Απρίλιος | 36,53 | 55,43 | 51,72 |
| Μάιος | 29,95 | 48,40 | 61,63 |
| Ιούνιος | 21,89 | 39,32 | 79,64 |
| Ιούλιος | 6,76 | 9,61 | 42,27 |
| Αύγουστος | 4,81 | 5,70 | 18,47 |
| Σεπτέμβριος | 19,66 | 22,89 | 16,43 |
| Οκτώβριος | 84,07 | 98,81 | 17,53 |
| Νοέμβριος | 40,26 | 63,56 | 57,86 |
| Δεκέμβριος | 87,55 | 126,52 | 44,52 |
| Σύνολο | 477,81 | 686,96 | 43,77 |

Πίνακας 9-7: Μεταβολή αποκοπτόμενης ενέργειας



Σχήμα 9-18: Μεταβολή αποκοπτόμενης ενέργειας

Από τα παραπάνω στοιχεία είναι φανερό πως η είσοδος του φορτίου αφαλάτωσης θα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του ποσού της μη αξιοποιήσιμης αιολικής παραγωγής. Οι μόνοι μήνες που δεν υπάρχει σημαντική διαφορά στην αποκοπτόμενη ενέργεια είναι οι καλοκαιρινοί.

9.4 Οικονομικά αποτελέσματα

Αφού έχουν υπολογιστεί τα ποσά καυσίμου που καταναλώνονται κάθε μήνα, με ευκολία υπολογίζεται το συνολικό κόστος που θα έχει η επιχείρηση ηλεκτρισμού. Μέσα στο ποσό αυτό είναι και το κόστος που έχει η γεννήτρια όταν ξεκινάει την λειτουργία της (κόστος ένταξης).

Στους πίνακες που ακολουθούν, πέρα από το κόστος, παρουσιάζεται και το ποσό ενέργειας που παράχθηκε και έτσι βρίσκετε το κόστος που αναλογεί σε κάθε κιλοβατώρα.

| Χωρίς φορτίο αφαλάτωσης | | | |
|-------------------------|---------------------------------------|------------------------|----------------------------|
| | Συνολική παραχθείσα ενέργεια (MWh) | Συνολικό κόστος (€) | Κόστος/ενέργεια (€/MWh) |
| Ιανουάριος | 2997,58 | 216817 | 72,33 |
| Φεβρουάριος | 2678,164 | 208274 | 77,77 |
| Μάρτιος | 2764,874 | 208394 | 75,37 |
| Απρίλιος | 2343,810 | 213290 | 91,00 |
| Μάιος | 2569,536 | 213548 | 83,11 |
| Ιούνιος | 2914,771 | 235081 | 80,65 |
| Ιούλιος | 3645,648 | 320586 | 87,94 |
| Αύγουστος | 4562,522 | 431080 | 94,48 |
| Σεπτέμβριος | 3035,586 | 211864 | 69,79 |
| Οκτώβριος | 2215,313 | 139536 | 62,99 |
| Νοέμβριος | 2651,387 | 177017 | 66,76 |
| Δεκέμβριος | 2636,091 | 170988 | 64,86 |
| Σύνολο | 35015,28 | 2746475 | |

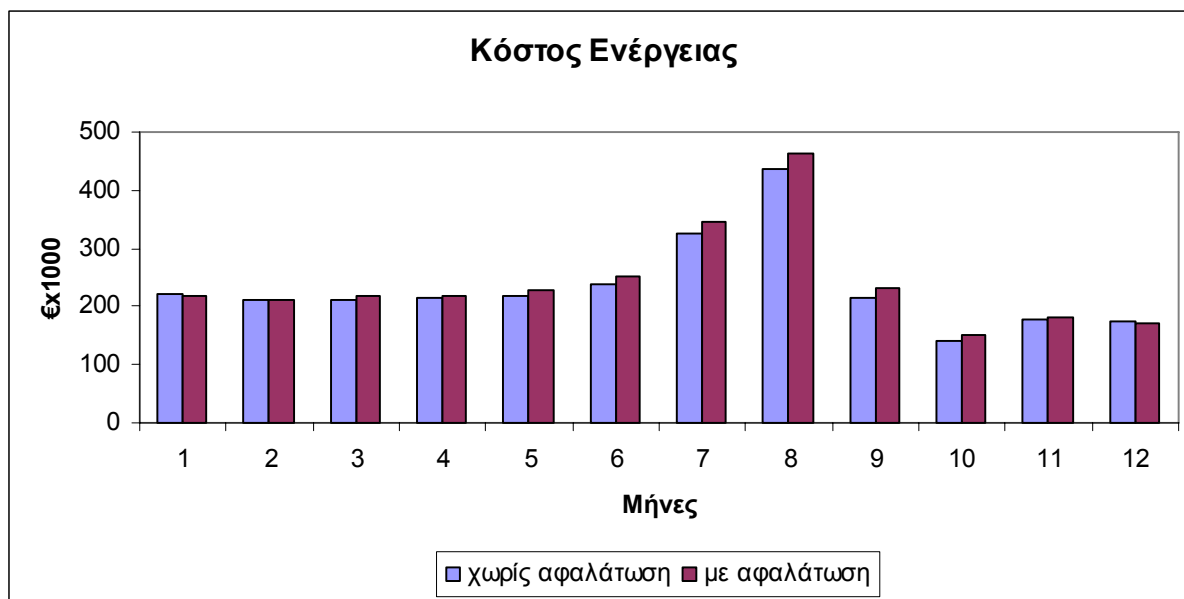
Πίνακας 9-8: Κόστος ενέργειας χωρίς φορτίο αφαλάτωσης

| Με φορτίο αφαλάτωσης | | | |
|----------------------|---------------------------------------|------------------------|----------------------------|
| | Συνολική παραχθείσα ενέργεια (MWh) | Συνολικό κόστος (€) | Κόστος/ενέργεια (€/MWh) |
| Ιανουάριος | 2941,406 | 213236 | 72,49 |
| Φεβρουάριος | 2690,157 | 209614 | 77,92 |
| Μάρτιος | 2829,158 | 213867 | 75,59 |
| Απρίλιος | 2363,99 | 215656 | 91,23 |
| Μάιος | 2644,902 | 222185 | 84,00 |
| Ιούνιος | 3016,546 | 245992 | 81,55 |
| Ιούλιος | 3840,927 | 341195 | 88,83 |
| Αύγουστος | 4743,154 | 457239 | 96,40 |
| Σεπτέμβριος | 3229,978 | 229930 | 71,19 |
| Οκτώβριος | 2325,771 | 147883 | 63,58 |
| Νοέμβριος | 2665,816 | 178398 | 66,92 |
| Δεκέμβριος | 2599,169 | 168869 | 64,97 |
| Σύνολο | 35890,97 | 2844064 | |

Πίνακας 9-9: Κόστος ενέργειας με φορτίο αφαλάτωσης

Παρουσιάζεται μια μεγάλη διαφορά στο κόστος παραγωγής της ενέργειας κατά τον μήνα Απρίλιο. Αυτό οφείλεται στο ότι κατά τον μήνα αυτό, η γεννήτρια 2 που κατανάλωνε μαζούτ βγήκε εκτός λειτουργίας για συντήρηση. Η γεννήτρια αυτή αντικαταστάθηκε από ένα ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος που κατανάλωνε diesel, αυξάνοντας έτσι το κόστος παραγωγής της κάθε μονάδας ενέργειας.

Έπειτα θα παρουσιαστεί σε γραφική παράσταση το κόστος της ενέργειας με και χωρίς το φορτίο της αφαλάτωσης.



Σχήμα 9-19: Κόστος ενέργειας

Από την γραφική παράσταση, παρατηρείται ότι το κόστος ενέργειας είναι μειωμένο μόνο κατά τους μήνες Δεκέμβριο και Ιανουάριο. Αυτοί είναι οι μήνες όπου το ενεργειακό ισοζύγιο της αφαλάτωσης είναι θετικό, δηλαδή υπάρχει παραπάνω αιολική ενέργεια η οποία πωλείται στην επιχείρηση ηλεκτρισμού και έτσι δεν μειώνεται η παραγωγή ενέργειας με συμβατικά ορυκτά καύσιμα.

Στην συνέχεια θα παρουσιαστεί σε πίνακα ο λόγος κόστους προς παραχθείσα ενέργεια με και χωρίς της αφαλάτωση. Μαζί θα παρουσιαστεί και ο λόγος των διαφορών ενέργειας και κόστους μεταξύ αυτών των δύο. Αυτό θα είναι το κόστος της κάθε κιλοβατώρας που παράγει το εργοστάσιο ενέργειας λόγω της ύπαρξης της επιχείρησης αφαλάτωσης.

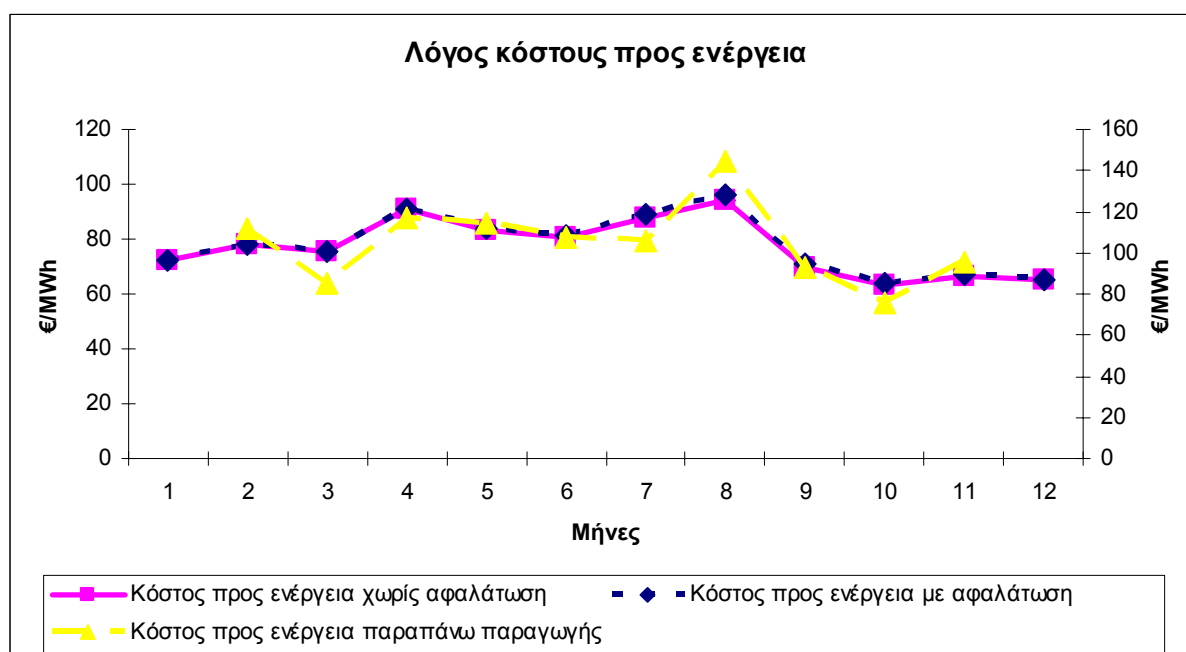
| | Κόστος/Ενέργεια χωρίς αφαλάτωση (€/MWh) | Κόστος/Ενέργεια με αφαλάτωση (€/MWh) | Κόστος/Ενέργεια διαφοράς (€/MWh) |
|-------------|---|--------------------------------------|----------------------------------|
| Ιανουάριος | 72,33 | 72,49 | |
| Φεβρουάριος | 77,77 | 77,92 | 11,993 |
| Μάρτιος | 75,37 | 75,59 | 64,284 |
| Απρίλιος | 91,00 | 91,23 | 20,18 |

| | | | |
|-------------|-------|-------|---------|
| Μάιος | 83,11 | 84,01 | 75,366 |
| Ιούνιος | 80,65 | 81,55 | 101,775 |
| Ιούλιος | 87,94 | 88,83 | 195,279 |
| Αύγουστος | 94,48 | 96,40 | 180,632 |
| Σεπτέμβριος | 69,79 | 71,19 | 194,392 |
| Οκτώβριος | 62,99 | 63,58 | 110,458 |
| Νοέμβριος | 66,76 | 66,92 | 14,429 |
| Δεκέμβριος | 64,86 | 64,97 | |

Πίνακας 9-10: Μεταβολή κόστους ενέργειας

Από την τελευταία στήλη του παραπάνω πίνακα συνάγεται το συμπέρασμα ότι η είσοδος του φορτίου της αφαλάτωσης στο νησιωτικό σύστημα της Μήλου θα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της τιμής της παραγόμενης από τον συμβατικό σταθμό παραγωγής.

Τους δύο μήνες που παράγεται λιγότερη ενέργεια δεν έχει νόημα ο λόγος του κόστους προς την ενέργεια. Στην συνέχεια θα κατασκευαστεί η γραφική παράσταση για τον λόγο αυτό.



Σχήμα 9-20: Μεταβολή λόγου κόστους ενέργειας

Εύκολα συνάγεται το συμπέρασμα ότι η παραπάνω ενέργεια που θα παραχθεί από τον συμβατικό σταθμό, θα είναι ιδιαίτερος ακριβή για την επιχείρηση ηλεκτρισμού. Αυτό έχει και σαν συνέπεια και ο λόγος κόστους ενέργειας να είναι αυξημένος όταν έχει εγκατασταθεί και το φορτίο της αφαλάτωσης. Αυτό συμβαίνει επειδή την επιπλέον παραγωγή ενέργειας γίνεται είτε από γεννήτριες που καταναλώνουν diesel -ακριβό καύσιμο- είτε από γεννήτριες που είναι ήδη με υψηλή φόρτιση. Ακόμα σε αυτό συμβάλει και η υψηλή κατανάλωση νερού που έχει θεωρηθεί για αυτό τον μήνα που επιφέρει την λειτουργία του φορτίου της αφαλάτωσης σε σχεδόν συνεχή ρυθμό.

Ιδιαίτερο πρόβλημα υπάρχει τους καλοκαιρινούς μήνες και ιδιαίτερα τον μήνα Αύγουστο όπου είναι ο μήνας αιχμής του ηλεκτρικού συστήματος. Σε προηγούμενο πίνακα αυτού του κεφαλαίου είχε παρουσιαστεί ο πίνακας μεταβολής παραχθείσας ενέργειας, όπου και πάλι την μεγαλύτερη μεταβολή την είχε ο μήνας Αύγουστος.

Ακόμα μεγαλύτερα προβλήματα θα παρουσιαζόντουσαν αν ο ιδιοκτήτης της αφαλάτωσης αποφάσιζε να έκανε δύο ξεχωριστές επιχειρήσεις αφαλάτωσης και παραγωγής ενέργειας. Το συνολικό κόστος για την επιχείρηση ηλεκτρισμού θα μεγάλωνε καθώς το επιπλέον φορτίο που θα έπρεπε να καλυφθεί, θα εξυπηρετούντο από μηχανές παραγωγής με diesel.

9.5 Έσοδα από πωλήσεις ενέργειας

Στο σημείο αυτό θα υπολογιστούν τα κέρδη που θα έχει η επιχείρηση ηλεκτρισμού από την πώληση ενέργειας στο εργοστάσιο αφαλάτωσης. Τα κέρδη αυτά θα είναι ίσα με την διαφορά των ενεργειακών εξόδων της επιχείρησης αφαλάτωσης από το επιπλέον κόστος παραγωγής ενέργειας της επιχείρησης ηλεκτρισμού.

Αρχικά θα παρουσιαστεί τα οικονομικά αποτελέσματα στην περίπτωση όπου γίνει η σύνδεση της ανεμογεννήτριας με το εργοστάσιο αφαλάτωσης.

| | Έσοδα από πωλήσεις σε αφαλάτωση και αγορά ενέργειας από ΑΠΕ (€) | Έξοδα από επιπλέον παραγωγή (€) | Κέρδη επιχείρησης ηλεκτρισμού (€) |
|---------------|---|---------------------------------------|---|
| Ιανουάριος | -10240 | -3581 | -6659 |
| Φεβρουάριος | 1731 | 1340 | 391 |
| Μάρτης | 4762 | 5473 | -711 |
| Απρίλης | 1919 | 2366 | -447 |
| Μάης | 5547 | 8637 | -3090 |
| Ιούνιος | 7340 | 10911 | -3571 |
| Ιούλιος | 14394 | 20609 | -6215 |
| Αύγουστος | 13567 | 26159 | -12592 |
| Σεπτέμβριος | 14312 | 18066 | -3754 |
| Οκτώβριος | 8024 | 8347 | -323 |
| Νοέμβριος | -750 | 1381 | -2131 |
| Δεκέμβριος | -6421 | -2119 | -4302 |
| Σύνολο | 54184 | 97589 | -43405 |

Πίνακας 9-11: Κέρδη επιχείρησης ηλεκτρισμού με σύνδεση ανεμογεννήτριας - αφαλάτωσης

Στα νησιά της Ελλάδος, η διαχείριση του δικτύου είναι στην δικαιοδοσία της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού και όχι του Διαχειριστή Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

(ΔΕΣΜΗΕ). Έτσι τα έσοδα από πώληση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για τις εταιρείες εκμετάλλευσης τους είναι έξοδα για την επιχείρηση ηλεκτρισμού.

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι η επιχείρηση ηλεκτρισμού θα έχει ζημία της τάξης των 43000€ περίπου κάθε χρόνο από την σύνδεση του φορτίου αφαλάτωσης στο δίκτυο της Μήλου. Αυτό οφείλεται στις ακριβές μορφές ενέργειας που χρησιμοποιεί για την παραγωγή ενέργειας.

Στην συνέχεια θα παρουσιαστεί ο ίδιος πίνακας για την περίπτωση που θα υπάρξουν δύο ξεχωριστές επιχειρήσεις, μιας αφαλάτωσης και μιας που θα εκμεταλλεύεται την ανεμογεννήτρια. Το πρόγραμμα παραγωγής θα είναι κοινό αφού και πάλι η επιχείρηση αφαλάτωσης θα έχει ως έλεγχο την στάθμη της δεξαμενής και την αιολική παραγωγή. Δηλαδή αυτή η μορφή επιχείρησης είναι ένα λογιστικό κόλπο και τίποτα παραπάνω.

| | Έσοδα από πωλήσεις σε αφαλάτωση και αγορά ενέργειας από ΑΠΕ (€) | Έξοδα από επιπλέον παραγωγή (€) | Κέρδη επιχείρησης ηλεκτρισμού (€) |
|---------------|--|------------------------------------|--------------------------------------|
| Ιανουάριος | -11802 | -3581 | -8221 |
| Φεβρουάριος | -704 | 1340 | -2044 |
| Μάρτης | 1718 | 5473 | -3755 |
| Απρίλης | 684 | 2366 | -1682 |
| Μάης | -3260 | 8637 | -11897 |
| Ιούνιος | -3567 | 10911 | -14478 |
| Ιούλιος | 6142 | 20609 | -14467 |
| Αύγουστος | 4203 | 26159 | -21956 |
| Σεπτέμβριος | 7207 | 18066 | -10859 |
| Οκτώβριος | -1832 | 8347 | -10179 |
| Νοέμβριος | -1196 | 1381 | -2577 |
| Δεκέμβριος | -7592 | -2119 | -5473 |
| Σύνολο | -10000 | 97589 | -107589 |

Πίνακας 9-12: Κέρδη επιχείρησης ηλεκτρισμού περίπτωση δύο ξεχωριστών επιχειρήσεων

Η ύπαρξη δύο ξεχωριστών εταιρειών στο νησί θα επιφέρει σημαντικότερα έξοδα στην επιχείρηση αφαλάτωσης. Τα έξοδα της επιχείρησης ηλεκτρισμού υπερδιπλασιάζονται και φθάνουν τις 107000€ περίπου. Άρα σε οποιαδήποτε περίπτωση, η είσοδος του φορτίου αφαλάτωσης θα επιφέρει ζημιές για την εταιρεία ηλεκτρισμού οι οποίες όμως θα είναι αρκετά μειωμένες αν γίνει η υλοποίηση της μιας επιχείρησης συμπαραγωγής νερού και ενέργειας.

Κεφάλαιο 10: Ανάλυση ευαισθησίας καλοκαιρινού μήνα

10.1 Εισαγωγή

Σε προηγούμενο κεφάλαιο παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα που θα έχει το φορτίο της αφαλάτωσης στον παραγωγό της ηλεκτρικής ενέργειας στο νησί της Μήλου. Τα αποτελέσματα για τους καλοκαιρινούς μήνες δεν ήταν καθόλου ενθαρρυντικά, αφού λόγω της μεγάλης κατανάλωσης νερού (περίπου 22 κυβικά μέτρα το 20λεπτο), το εργοστάσιο αφαλάτωσης έπρεπε να δουλεύει αρκετές ώρες σε πλήρη φόρτιση, έχοντας έτσι σημαντική επίδραση στο συνολικό φορτίο (τον ήδη υπερφορτισμένο μήνα Αύγουστο υπήρξε αύξηση περίπου 4% στο συνολικό φορτίο), ακόμα και αν το φορτίο της αφαλάτωσης ήταν συνδεδεμένο με την ανεμογεννήτρια.

Ακόμα, υπήρξαν επιπτώσεις και στο κόστος της ενέργειας όπου το κόστος της μεγαβαττώρας αυξήθηκε κατά 2€ σε σχέση πάντα με την τιμή αναφοράς που είναι όταν δεν υπήρχε εγκατεστημένο το εργοστάσιο αφαλάτωσης. Η παραπάνω ενέργεια που θα πρέπει να παραχθεί για την αφαλάτωση επιφέρει κόστος της τάξεως των 0.15€/kWh, ποσό που είναι πολλαπλάσιο από την τιμή πώλησης της ενέργειας από την επιχείρηση ηλεκτρισμού.

Στο κεφάλαιο αυτό θα επιχειρηθεί μια ανάλυση ευαισθησίας για τον μήνα Αύγουστο. Θα εξεταστεί αρχικά η επίπτωση στα αποτελέσματα που θα έχει η παραγωγή νερού στηριζόμενη στην αναμενόμενη μηνιαία αιολική παραγωγή για το μήνα Αύγουστο και η αντίστοιχη μείωση στην κατανάλωση του νερού (wind driven) και στην συνέχεια η επίδραση που θα είχε στο σύστημα η αφαλάτωση αν δεν υπήρχε αιολική παραγωγή και το πρόγραμμα παραγωγής της αφαλάτωσης ήταν συνάρτηση μόνο της υπάρχουσας στάθμης του νερού στην δεξαμενή. Τέλος θα εξεταστεί η περίπτωση όπου τα modules της αφαλάτωσης κατανάλωναν λιγότερη ενέργεια για την παραγωγή της ίδιας ποσότητας νερού.

10.2 Μειωμένη κατανάλωση νερού- Παραγωγή ελεγχόμενη από την αιολική παραγωγή

10.2.1 Κατανάλωση νερού

Η πρώτη περίπτωση που θα εξεταστεί είναι μια μείωση στην κατανάλωση του νερού. Η τιμή της κατανάλωσης τον μήνα Αύγουστο ήταν περίπου 22 κυβικά μέτρα, πράγμα που θα είχε ως επίπτωση τη σχεδόν συνεχή λειτουργία του εργοστασίου αφαλάτωσης.

Η τιμή της μειωμένης κατανάλωσης νερού θα προέρχεται από τον παρακάτω τύπο:

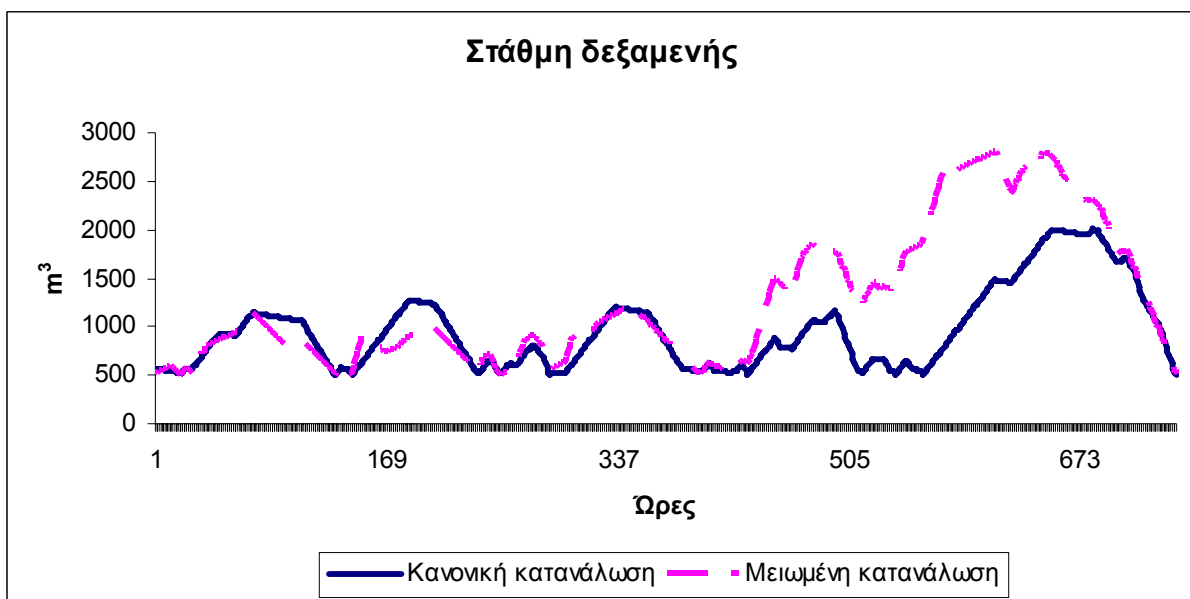
$$\text{Καταναλωση} = \frac{1}{12} \frac{\text{Παραγωμενη αιολικη ενεργεια (kWh)}}{\text{Καταναλωση ενεργειας} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \right)} \quad (33)$$

Στην συνέχεια με βάση την κατανάλωση αυτή, θα βρεθεί το νέο πρόγραμμα παραγωγής της αφαλάτωσης και έπειτα θα υπολογιστούν οι επιπτώσεις που θα έχει το φορτίο της αφαλάτωσης στην παραγωγή ενέργειας από τον συμβατικό σταθμό.

Θα πρέπει στο σημείο αυτό να τονιστεί ότι το αποτέλεσμα αυτής της ανάλυσης ευαισθησίας θα είναι κοινό με την περίπτωση όπου το πρόγραμμα παραγωγής του εργοστασίου αφαλάτωσης ήταν ελεγχόμενο μόνο από την αιολική παραγωγή (wind driven). Για την εύρεση της μηνιαίας ενέργειας που θα παράγει η ανεμογεννήτρια, θα γίνει η διαίρεση μεταξύ της συνολικής παραγόμενης ενέργειας και του αριθμού των μηνών. Αν στην συνέχεια διαιρεθεί η μηνιαία ενέργεια με το κόστος σε ενέργεια κάθε κυβικού μέτρου, υπολογίζεται η τιμή του παραγόμενου νερού με μοναδικό γνώμονα την ενεργειακή παραγωγή της ανεμογεννήτριας.

10.2.2 Αποτελέσματα νερού

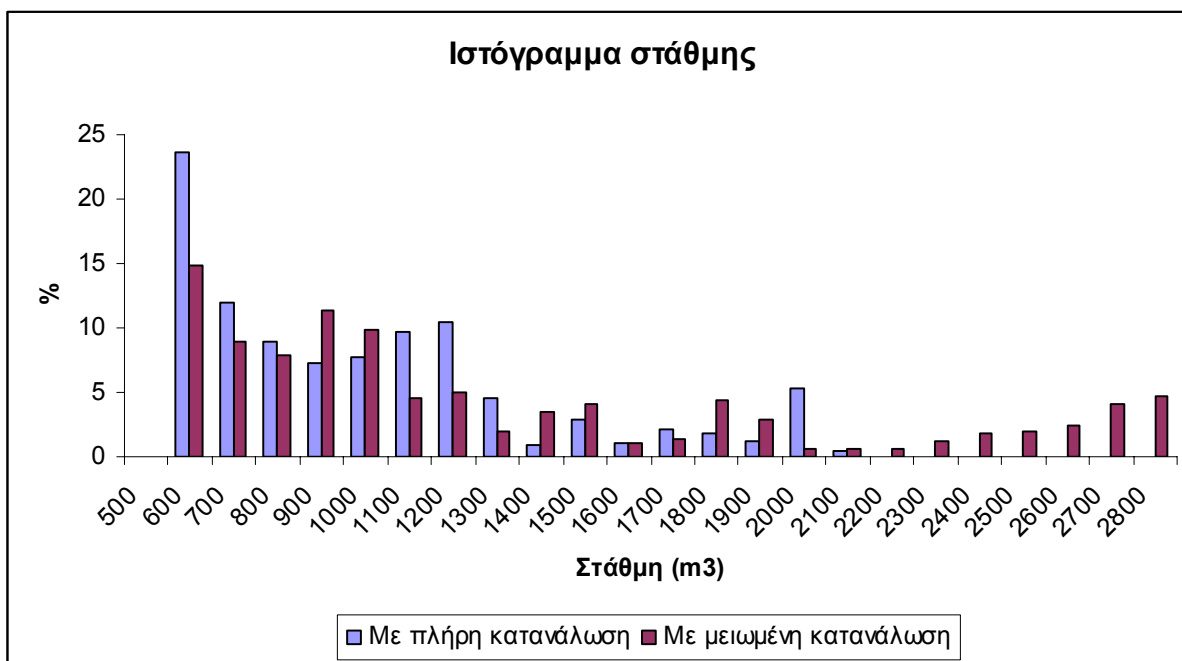
Με χρήση του αλγόριθμου προσομοίωσης που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 4 έγινε η προσομοίωση λειτουργίας του εργοστασίου αφαλάτωσης. Στο διάγραμμα που ακολουθεί, παρουσιάζεται η στάθμη της δεξαμενής σύμφωνα με τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων με την μειωμένη και την πλήρη κατανάλωση.



Σχήμα 10-1: Στάθμη δεξαμενής

Το συνολικό νερό που θα παραχθεί θα είναι ίσο με 26460 κυβικά μέτρα εν αντιθέσει με τα 48545 κυβικά μέτρα που θα παραγότουσαν αν υπήρχε η πλήρης κατανάλωση. Αυτή η μεγάλη διαφορά οφείλεται στην μείωση της κατανάλωσης περίπου 50%. Αφού δεν υπάρχει μεγάλη κατανάλωση δεν χρειάζεται να δουλεύει το εργοστάσιο σε μεγάλους ρυθμούς όπως όταν υπήρχε πλήρης κατανάλωση.

Ακολουθεί το ιστόγραμμα στάθμης για τις δύο περιπτώσεις:

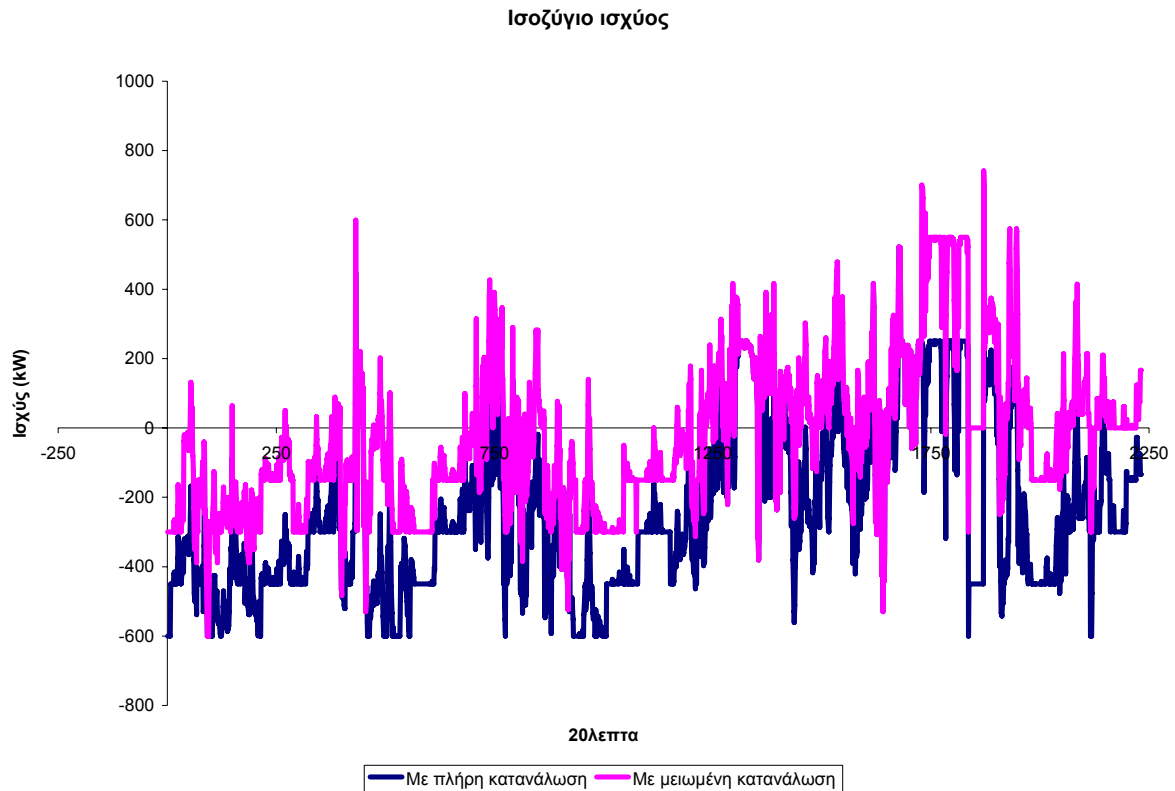


Σχήμα 10-2: Ιστόγραμμα στάθμης

Από το ανώτερο ιστόγραμμα φαίνεται ότι η στάθμη στην περίπτωση που υπάρχει πλήρης κατανάλωση είναι αρκετά πιο μειωμένη από αυτή που είναι με μειωμένη κατανάλωση. Στην περίπτωση της πλήρους κατανάλωσης, η στάθμη φθάνει το μέγιστο όριο που έχει επιβληθεί, ενώ στην πλήρη κατανάλωση μόλις που ξεπερνάει τα 2100 κυβικά μέτρα. Άρα αυτό σημαίνει ότι στην περίπτωση της μειωμένης στάθμης, υπάρχει μεγαλύτερη αυτονομία νερού στο σύστημα ειδικά σε περίπτωση βλάβης.

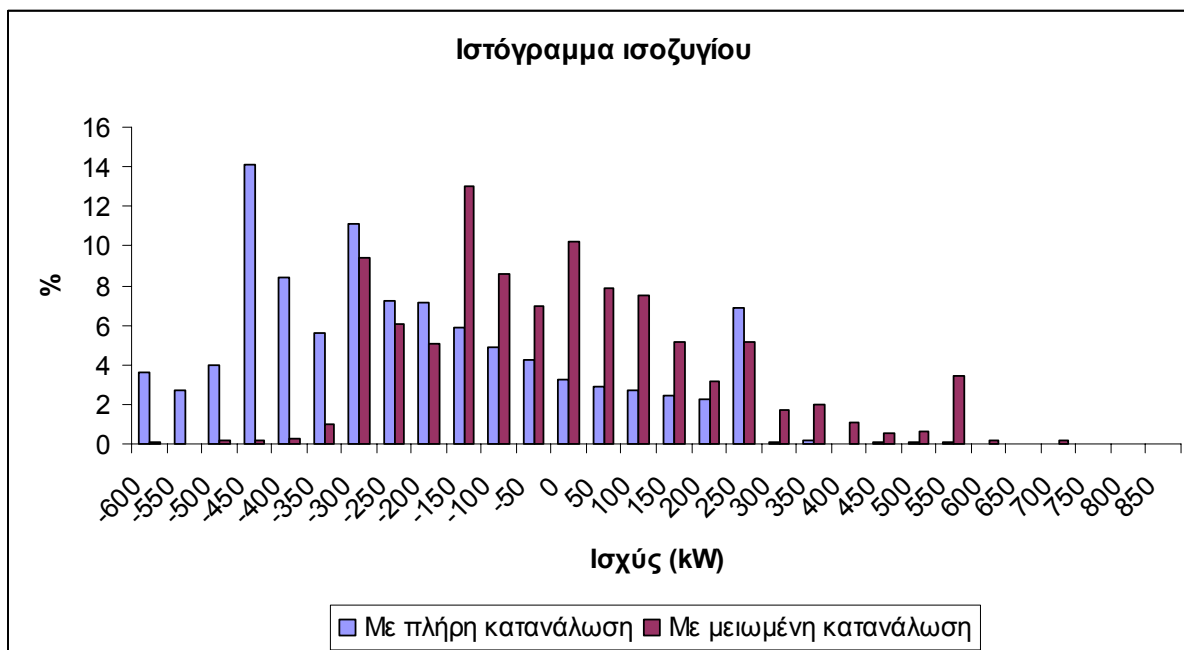
10.2.2 Ισοζύγιο ενέργειας και ισχύος

Στο σχήμα 10.2 παρουσιάζεται το ισοζύγιο ισχύος για την περίπτωση που μελετάται και το ισοζύγιο της κανονικής κατανάλωσης.



Σχήμα 10-3: Ισοζύγιο ισχύος

Από το παραπάνω σχήμα παρατηρείται ότι το ισοζύγιο στην περίπτωση της μειωμένης κατανάλωσης είναι σπανιότερα αρνητικό από αυτό της πλήρους. Αν και τα δύο ισοζύγια έχουν κοινή μέγιστη τιμή αγοράς, (-600kW), στην περίπτωση της μειωμένης κατανάλωσης εμφανίζεται μόνο 3 φορές ενώ στην πλήρη κατανάλωση 80. Στην συνέχεια θα παρουσιαστεί το ιστόγραμμα του ισοζυγίου για τον μήνα Αύγουστο όπου θα φανεί καλύτερα αυτό.



Σχήμα 10-4: Ιστόγραμμα ισοζυγίου

Από το ιστόγραμμα παρατηρείται ότι δεν θα υπάρξει τόσο μεγάλη αγορά ενέργειας όπως πριν και ακόμα ότι θα υπάρχουν μεγαλύτερες πωλήσεις με την μειωμένη κατανάλωση σε σχέση με την πλήρη. Η συνολική ενέργεια που πουλάει η επιχείρηση αφαλάτωσης είναι ίση με 54712kWh ενώ η ενέργεια που αναγκάζεται να αγοράσει φθάνει τις 76706kWh. Άρα το συνολικό καθαρό ισοζύγιο είναι ίσο με -21994kWh.

Συνολικά τα παραπάνω στοιχεία μαζί με το κέρδος από την πώληση του ρεύματος παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Ο πίνακας τις έχει και τα στοιχεία από τις προσομοιώσεις με την πλήρη κατανάλωση νερού που παρουσιάστηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο.

| | Κανονική κατανάλωση | Wind driven |
|-------------------------------------|------------------------|------------------------|
| Συνολικό παραγόμενο νερό | 48545 m ³ | 26460 m ³ |
| Μεγαλύτερη τιμή πωλούμενης ισχύος | 522.32 kW | 748,83 kW |
| Μεγαλύτερη τιμή αγοραζόμενης ισχύος | 600kW | 600kW |
| Αγοραζόμενη ενέργεια | 200940 kWh | 76706kWh |
| Πωλούμενη ενέργεια | 21193 kWh | 54712kWh |
| Κέρδος από ενέργεια | -13567 € | -2658 € |
| Ενεργειακό κόστος νερού | 0,423 €/m ³ | 0,364 €/m ³ |
| Συνολικό κόστος νερού | 0,702 €/m ³ | 0,878 €/m ³ |

Πίνακας 10-1: Αποτελέσματα επιχείρησης αφαλάτωσης

Το ενεργειακό κόστος παρουσιάζει μια μείωση στην μειωμένη κατανάλωση νερού αλλά το κόστος νερού τελικά είναι σημαντικά μεγαλύτερο αφού παράγεται περίπου η μισή ποσότητα νερού από ότι προηγουμένως ενώ το κόστος αποπληρωμής της ανεμογεννήτριας και των εγκαταστάσεων της αφαλάτωσης παραμένει σταθερό.

10.2.3 Επίδραση στην επιχείρηση ηλεκτρισμού

Αρχικά θα παρουσιαστούν σε πίνακα η ενέργεια που παράχθηκε από κάθε μηχανή του συμβατικού σταθμού ενέργειας σε σχέση με την παραγωγή που υπήρχε όταν η κατανάλωση ήταν πλήρης. Ακόμα θα παρουσιαστεί και η ποσοστιαία μεταβολή στην φόρτιση κάθε μηχανής.

| | Με πλήρη κατανάλωση (MWh) | Wind driven (MWh) | Μεταβολή (%) |
|---------------|------------------------------|----------------------|-----------------|
| Γεννήτρια 1 | 733,6 | 735,22 | 0,22 |
| Γεννήτρια 2 | 743,2 | 745,82 | 0,35 |
| Γεννήτρια 3 | 295,7 | 297,22 | 0,51 |
| Γεννήτρια 4 | 365,1 | 366,17 | 0,29 |
| Γεννήτρια 5 | 365,1 | 366,17 | 0,29 |
| Γεννήτρια 6 | 0 | 0,00 | 0,00 |
| Γεννήτρια 7 | 13,3 | 5,67 | -57,37 |
| Γεννήτρια 8 | 0 | 0,00 | 0,00 |
| HZ 1 | 707,9 | 704,07 | -0,54 |
| HZ 2 | 628 | 604,90 | -3,68 |
| HZ 3 | 474,5 | 429,79 | -9,42 |
| HZ 4 | 288 | 237,93 | -17,39 |
| HZ 5 | 128,7 | 96,05 | -25,37 |
| Σύνολο | 4743,1 | 4589,01 | -3,25 |

Πίνακας 10-2: Παραγωγή συμβατικών μηχανών

Παρατηρείται ότι η παραχθείσα ενέργεια από της μηχανές που καταναλώνουν μαζούτ έμεινε σχεδόν σταθερή (παρουσιάστηκε μια πολύ μικρή θετική μεταβολή) ενώ οι μηχανές που καταναλώνουν diesel είχαν μεγάλη μείωση στην παραγόμενη ενέργεια.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται το καταναλισκόμενο καύσιμο από της μηχανές με πλήρη και με μειωμένη κατανάλωση. Ακόμα θα παρουσιαστεί της και πριν η μεταβολή που προήλθε από την μείωση της κατανάλωσης.

| | Με πλήρη κατανάλωση | Wind driven | Μεταβολή |
|--|---------------------|-------------|----------|
|--|---------------------|-------------|----------|

| | (tons) | (tons) | (%) |
|--------|--------|--------|-------|
| Μαζούτ | 658,22 | 659,95 | 0,26 |
| Diesel | 478,37 | 443,40 | -7,31 |

Πίνακας 10-3: Κατανάλωση καυσίμων

Όπως ήταν αναμενόμενο από τον πίνακα με την παραγόμενη ενέργεια, η κατανάλωση μαζούτ έμεινε στα ίδια περίπου επίπεδα, ενώ η κατανάλωση diesel μειώθηκε 7.31%. Η μείωση αυτή θα έχει και επιπτώσεις στο κόστος της επιχείρησης ηλεκτρισμού όπως φαίνεται και στον ακόλουθο πίνακα. Σε αυτόν τον πίνακα παρουσιάζονται και οι οικονομικές ζημιές για την επιχείρηση ηλεκτρισμού.

| | Με πλήρη κατανάλωση (€) | Wind driven (€) | Μεταβολή (%) |
|------------------|----------------------------|--------------------|-----------------|
| Κόστος παραγωγής | 457239 | 437358 | -4,35 |
| Ζημιές | 12592 | 3620 | -71,25 |

Πίνακας 10-4: Ζημιές επιχείρησης ηλεκτρισμού

Αν και η παραγόμενη ενέργεια μειώθηκε κατά 3%, η μεταβολή στο κόστος παραγωγής μειώθηκε ακόμα περισσότερο στο 4%. Αυτό οφείλεται στο ότι οι μηχανές που καταναλώνουν diesel (ακριβότερο καύσιμο από ότι το μαζούτ) δούλεψαν λιγότερο στην περίπτωση προς μειωμένης παραγωγής ενώ αυτές που καταναλώνουν ως πρώτη ύλη μαζούτ δεν παρουσίασαν σπουδαίες μεταβολές. Οι ζημιές δε παρουσίασαν μείωση κατά 71% περίπου. Άρα σε απόλυτα ποσά, η πολιτική αυτή είναι οικονομικότερη για την επιχείρηση ηλεκτρισμού.

Στην συνέχεια θα παρουσιαστεί ο λόγος κόστους ενέργειας προς την ενέργεια για την επιχείρηση ηλεκτρισμού. Σε αυτόν τον πίνακα πέρα από την πλήρη και την μειωμένη κατανάλωση θα παρουσιαστεί και η αρχική τιμή του λόγου αυτού. Η αρχική τιμή είναι αυτή όταν δεν υπήρχε εγκατεστημένη η αφαλάτωση αλλά μόνο το φορτίο του νησιού.

| | Χωρίς φορτίο αφαλάτωσης (€/MWh) | Με αφαλάτωση (€/MWh) | Wind driven (€/MWh) |
|-----------------|------------------------------------|-------------------------|------------------------|
| Κόστος/ενέργεια | 94,48 | 96,40 | 95,30 |

Πίνακας 10-5: Κόστος παραγόμενης ενέργειας

Από τον προηγούμενο πίνακα παρατηρείται ότι το μέσο κόστος της ενέργειας μειώθηκε δραστικά για την επιχείρηση ηλεκτρισμού στην περίπτωση της μειωμένης κατανάλωσης σε σχέση με την πλήρη. Βέβαια παρέμεινε μεγαλύτερη από την περίπτωση που δεν υπήρχε εγκατεστημένη η αφαλάτωση αν και υπάρχει πώληση ενέργειας στο δίκτυο, λόγω των αυξημένων αναγκών για εφεδρεία αιολικής παραγωγής.

10.2.4 Μεταφορά νερού

Αν ακολουθηθεί αυτό το πρόγραμμα παραγωγής για το εργοστάσιο, θα πρέπει η υπηρεσία ύδρευσης της Μήλου να συνεχίζει να αγοράζει νερό και να το μεταφέρει με υδροφόρα πλοία. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι ποσότητες του νερού που παράγεται από την αφαλάτωση με την πλήρη και την μειωμένη κατανάλωση. Η διαφορά αυτών των δύο θα είναι το απαιτούμενο νερό που θα πρέπει να μεταφερθεί στο νησί.

| | Πλήρης παραγωγή (m ³) | Wind driven (m ³) | Μεταφερόμενο νερό (m ³) |
|---------------|--------------------------------------|----------------------------------|--|
| Ιανουάριος | 26864 | 26508 | 356 |
| Φεβρουάριος | 24273 | 23943 | 330 |
| Μάρτιος | 26864 | 26508 | 356 |
| Απρίλιος | 20009 | 25653 | 0 |
| Μάιος | 36744 | 26508 | 10236 |
| Ιούνιος | 47247 | 25653 | 21594 |
| Ιούλιος | 45122 | 26508 | 18614 |
| Αύγουστος | 48562 | 26508 | 22054 |
| Σεπτέμβριος | 40316 | 25653 | 14663 |
| Οκτώβριος | 42703 | 26508 | 16195 |
| Νοέμβριος | 23255 | 25653 | 0 |
| Δεκέμβριος | 24042 | 26508 | 0 |
| Σύνολο | 406000 | 312109 | 104398 |

Πίνακας 10-6: Μεταφερόμενο νερό

Τους μήνες Απρίλιο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο δεν χρειάζεται μεταφορά νερού καθώς ακόμα και με το πρόγραμμα παραγωγής με την μειωμένη κατανάλωση, παράγεται παραπάνω ποσότητα νερού από όση χρειάζεται από τους κατοίκους του νησιού. Άρα τους μήνες αυτούς θα υπάρχει αυτονομία ύδατος με την χρήση της αφαλάτωσης. Άλλο ένα ενδιαφέρον στοιχείο που υπάρχει στον πίνακα είναι ότι κατά τους πρώτους μήνες του χρόνου, η ζήτηση είναι πολύ μικρή πράγμα που σημαίνει ότι πρακτικά θα πρέπει να γίνει μεταφορά νερού μόνο κατά τους μήνες Μάιο-Οκτώβριο.

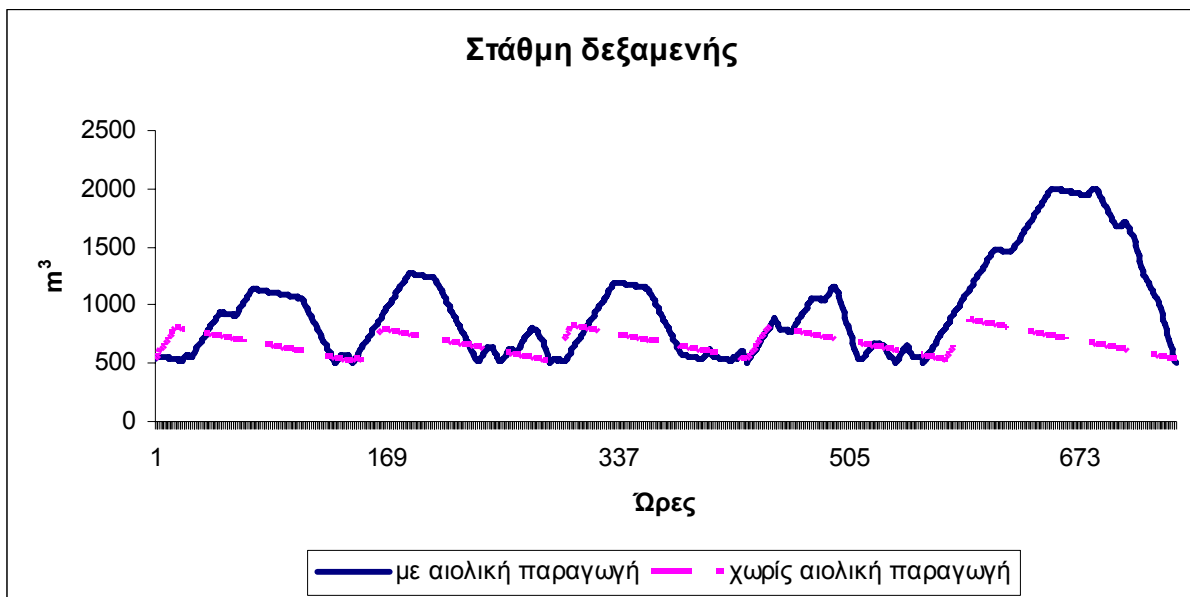
Το επιπλέον νερό που θα πρέπει να μεταφέρεται από τα υδροφόρα πλοία θα αυξάνει το κόστος του νερού για τον δήμο της Μήλου. Σε προηγούμενο σημείο έχει αναφερθεί ότι το κόστος του μεταφερόμενου νερού κατά το έτος 2004 ήταν 8€ για κάθε κυβικό μέτρο. Μόνο για τον μήνα Αύγουστο θα πρέπει λοιπόν ο δήμος να πληρώσει περίπου 175000€ για να εξυπηρετηθούν οι ανάγκες του νησιού σε νερό. Άρα το ελάχιστο ποσό που θα πρέπει να πληρώσει ο δήμος για να έχει τις ποσότητες νερού που χρειάζεται θα είναι 198230€, δηλαδή 4,08€ για κάθε κυβικό μέτρο.

10.3 Περίπτωση χωρίς αιολική παραγωγή

Στην συνέχεια θα παρουσιαστεί η περίπτωση κατά την οποία δεν υπήρχε αιολική παραγωγή από την αφαλάτωση, δηλαδή θα είναι σαν να υπάρχει το φορτίο της αφαλάτωσης στο δίκτυο αλλά δεν λαμβάνεται υπόψη η παραγωγή της ανεμογεννήτριας στην κατάρτιση του προγράμματος παραγωγής της αφαλάτωσης. Είναι σαν να υπάρχουν δηλαδή δύο τελείως διαφορετικές εταιρείες χωρίς κοινά συμφέροντα. Ο προγραμματισμός της παραγωγής του εργοστασίου αφαλάτωσης θα γίνεται λαμβάνοντας υπόψη μόνο την υπάρχουσα στάθμη του νερού στην δεξαμενή, δηλαδή περίπτωση water driven. Ο μήνας που θα γίνει η ανάλυση θα είναι πάλι ο Αύγουστος. Η κατανάλωση νερού θα θεωρηθεί ίση με την πλήρη, δηλαδή περίπου 22 κυβικά μέτρα για κάθε εικοσάλεπτο του μήνα. Η ανάλυση και τα αποτελέσματα που θα παρουσιαστούν θα είναι τα ίδια με την προηγούμενη ανάλυση ευαισθησίας αυτού του κεφαλαίου.

10.3.1 Αποτελέσματα νερού

Αφού αλλάζει η αιολική παραγωγή θα αλλάξει και ο προγραμματισμός των μονάδων της αφαλάτωσης. Η νέα στάθμη παρουσιάζεται παρακάτω σε σχέση με την στάθμη με την κανονική αιολική παραγωγή.



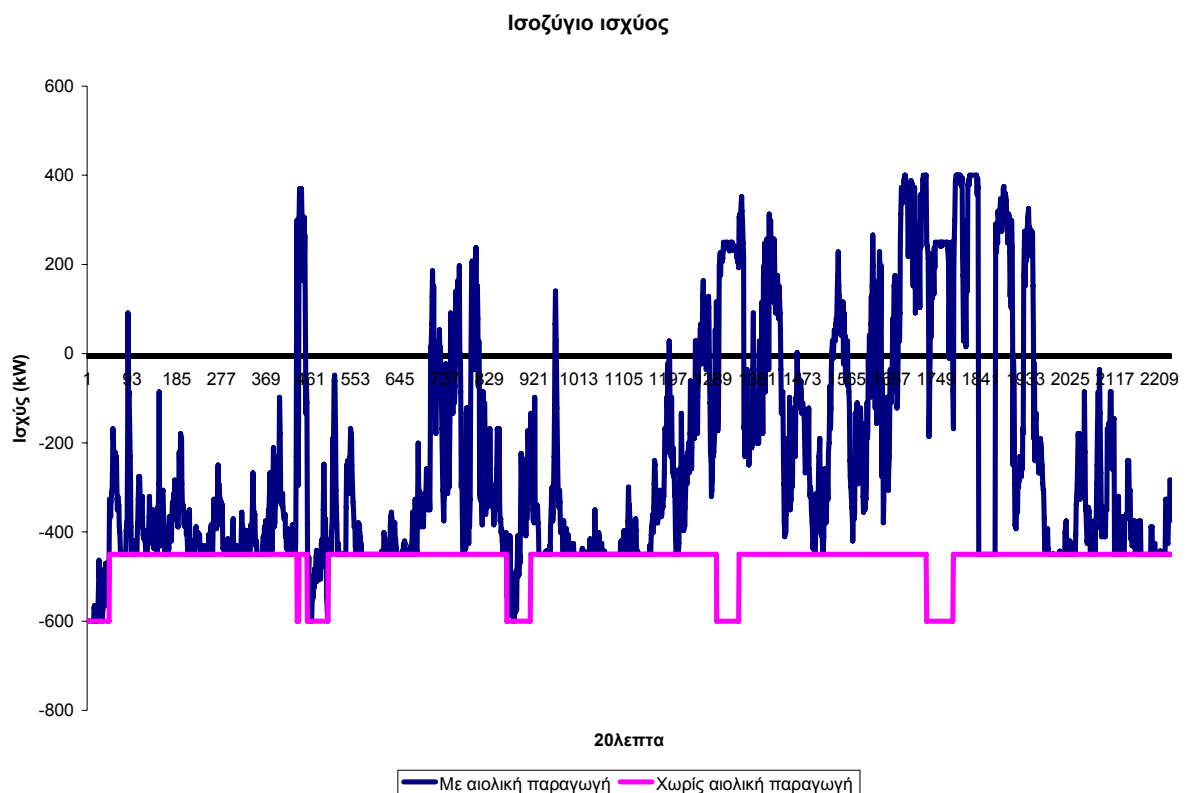
Σχήμα 10-5: Στάθμη δεξαμενής

Όπως φαίνεται από το σχήμα αυτό φαίνεται ότι η στάθμη της δεξαμενής δεν αυξάνεται αλλά παράγεται όσο νερό χρειάζεται ώστε να μην υπάρχει ποτέ έλλειμμα νερού, δηλαδή η στάθμη της δεξαμενής να πέσει κάτω από τα όρια. Αυτό συμβαίνει γιατί όλη η ενέργεια που χρειάζεται για την λειτουργία του εργοστασίου θα πρέπει να αγοραστεί από την επιχείρηση ηλεκτρισμού, επομένως προσπαθεί να ελαχιστοποιήσει την αγορά ενέργειας. Από το διάγραμμα αυτό φαίνεται πως η στάθμη

του νερού στην δεξαμενή θα είναι κοντά στο κατώτερο όριο περισσότερο χρόνο, που σημαίνει ότι δεν θα υπάρχει τόση μεγάλη αυτονομία νερού στο νησί σε περίπτωση προβλήματος.

10.3.2 Ισοζύγια ενέργειας και ισχύος

Στο σχήμα στην συνέχεια παρουσιάζεται το ισοζύγιο ισχύος για την αφαλάτωση στην περίπτωση που δεν υπάρχει αιολική παραγωγή σε σχέση με το ισοζύγιο ισχύος του μήνα Αυγούστου όταν υπήρχε αιολική παραγωγή.



Σχήμα 10-6: Ισοζύγιο ισχύος

Το ισοζύγιο στην περίπτωση που εξετάζεται τώρα είναι πάντα αρνητικό. Θεωρητικά η μεγαλύτερη τιμή του θα μπορούσε να είναι η μηδενική, δηλαδή να μην δουλεύει καθόλου το εργοστάσιο αφαλάτωσης. Αυτό θα μπορούσε να συμβεί μόνο στην περίπτωση που υπήρχε αρκετό νερό έτσι ώστε να μην πέσει η στάθμη κάτω από το κατώτερο όριο λειτουργίας.

Από το ισοζύγιο ισχύος θα υπολογιστεί όπως και πριν και το ισοζύγιο ενέργειας που θα είναι αρνητικό. Η ενέργεια λοιπόν που αγοράζετε είναι ίση με 346750kWh ενώ αυτή που πωλείται είναι ίση με την συνολική παραγωγή της ανεμογεννήτριας για τον μήνα Αύγουστο. Ακόμα στο ισοζύγιο φαίνεται ότι η τιμή της αγοραζόμενης ισχύος δεν πέφτει ποτέ κάτω από τα 450kW, άρα υπάρχει μια σταθερή αύξηση του φορτίου.

Στην συνέχεια θα παρουσιαστεί ο πίνακας με τα συγκεντρωτικά στοιχεία για την περίπτωση αυτή. Μέσα στα στοιχεία αυτά θα είναι και το κέρδος της επιχείρησης αφαλάτωσης με βάση την αιολική παραγωγή. Το κέρδος θα είναι βεβαίως αρνητικό.

| | Με αιολική παραγωγή | Water driven |
|-------------------------------------|------------------------|------------------------|
| Συνολικό παραγόμενο νερό | 48545 m ³ | 48573 m ³ |
| Μεγαλύτερη τιμή πωλούμενης ισχύος | 522.32 kW | 0 kW |
| Μεγαλύτερη τιμή αγοραζόμενης ισχύος | 600kW | 600kW |
| Αγοραζόμενη ενέργεια | 200940 kWh | 346750 kWh |
| Πωλούμενη ενέργεια | 21193 kWh | 0 kWh |
| Κέρδος από ενέργεια | -13567 € | -20422 € |
| Ενεργειακό κόστος νερού | 0,423 €/m ³ | 0,420 €/m ³ |
| Συνολικό κόστος νερού | 0,702 €/m ³ | 0,700 €/m ³ |

Πίνακας 10-7: Αποτελέσματα επιχείρησης αφαλάτωσης

Από τον παραπάνω πίνακα παρουσιάζεται μια πολύ μικρή μεταβολή στο συνολικά παραγόμενο νερό. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί αν ληφθεί υπόψη ότι η αιολική παραγωγή τον μήνα Αύγουστο ήταν περιορισμένη και η κατανάλωση του νερού αυξημένη. Δηλαδή πιο μεγάλο ρόλο έπαιζε στην διαμόρφωση του προγράμματος παραγωγής η ζήτηση του νερού και όχι η αιολική παραγωγή. Ακόμα αν κάποιος συγκρίνει το αποτέλεσμα της αγορασμένης ενέργειας που παρουσιάζεται εδώ, με την συνολική ενέργεια που καταναλώνει το εργοστάσιο της αφαλάτωσης στο κεφάλαιο 7, θα παρατηρήσει ότι είναι σχεδόν ίδια.

Λόγω της μεγάλης ποσότητας της ενέργειας που θα πρέπει να αγοραστεί από την αφαλάτωση, την εταιρεία την συμφέρει να επιλέξει το τιμολόγιο μέσης τάσης B1B που μετά από μία τιμή αγοραζόμενης ενέργειας μειώνεται η τιμή της κιλοβατώρας. Με αυτό το τιμολόγιο εκτιμάται ότι θα πρέπει η αφαλάτωση να πληρώσει στην εταιρεία ηλεκτρισμού περίπου 20500€, δηλαδή ποσό περίπου αυξημένο κατά 52%. Όμως στην περίπτωση αυτή που εξετάζεται εδώ, δεν υπάρχουν έξοδα αποπληρωμής της ανεμογεννήτριας που μειώνει αρκετά το ενεργειακό αλλά και το συνολικό κόστος. Βάση του αποτελέσματος, τα δύο αυτά σενάρια για την αφαλάτωση θα είναι ισοδύναμα.

10.3.3 Επίδραση στην επιχείρηση ηλεκτρισμού

Όπως και πριν θα παρουσιαστεί και θα αναλυθεί ο πίνακας με την παραγόμενη ενέργεια για κάθε μηχανή του συμβατικού σταθμού παραγωγής.

| | Με αιολική παραγωγή | Water driven | Μεταβολή |
|--|---------------------|--------------|----------|
|--|---------------------|--------------|----------|

| | (MWh) | (MWh) | (%) |
|---------------|---------------|---------------|-------------|
| Γεννήτρια 1 | 733,6 | 736,5 | 0,40 |
| Γεννήτρια 2 | 743,2 | 746,4 | 0,43 |
| Γεννήτρια 3 | 295,7 | 297,2 | 0,51 |
| Γεννήτρια 4 | 365,1 | 366,7 | 0,44 |
| Γεννήτρια 5 | 365,1 | 366,7 | 0,44 |
| Γεννήτρια 6 | 0 | 0,0 | 0,00 |
| Γεννήτρια 7 | 13,3 | 14,0 | 5,26 |
| Γεννήτρια 8 | 0 | 0,0 | 0,00 |
| HZ 1 | 707,9 | 706,0 | -0,27 |
| HZ 2 | 628 | 630,2 | 0,35 |
| HZ 3 | 474,5 | 467,3 | -1,52 |
| HZ 4 | 288 | 289,7 | 0,59 |
| HZ 5 | 128,7 | 123,8 | -3,81 |
| Σύνολο | 4743,1 | 4744,5 | 0,03 |

Πίνακας 10-8: Παραγωγή συμβατικών μηχανών

Από τον πίνακα αυτόν, συνάγεται το συμπέρασμα ότι δεν θα υπάρχουν σημαντικές μεταβολές στην παραγωγή των συμβατικών μονάδων ενέργειας για την περίπτωση του water driven. Αυτό το πράγμα προϋποθέτει ότι δεν θα υπάρχουν και σημαντικές μεταβολές στις καταναλώσεις καυσίμων.

Η συνολική καύσιμη ύλη που θα καταναλωθεί θα είναι:

| | Με αιολική παραγωγή (tons) | Water driven (tons) | Μεταβολή (%) |
|--------|-------------------------------|------------------------|-----------------|
| Μαζούτ | 658,22 | 660,64 | 0,37 |
| Diesel | 478,37 | 476,30 | -0,43 |

Πίνακας 10-9: Κατανάλωση καυσίμων

Όπως ήταν αναμενόμενο, οι ποσότητες των καυσίμων έχουν παραμείνει σχεδόν σταθερές. Το κόστος της ενέργειας θα είναι σε αυτή την περίπτωση:

| | Με αιολική παραγωγή (€) | Water driven (€) | Μεταβολή (%) |
|------------------|----------------------------|---------------------|-----------------|
| Κόστος παραγωγής | 457239 | 456692 | -0,12 |
| Ζημιές | 12592 | 19129 | 51,91 |

Πίνακας 10-10: Ζημιές επιχείρησης ηλεκτρισμού

Στις ζημιές της εταιρείας ηλεκτρισμού υπολογίζονται από το παραπάνω κόστος για την παραγωγή ενέργειας, από τα έσοδα από την πώληση της παραπάνω ενέργειας (είναι τα έξοδα αγοράς ενέργειας

από την αφαλάτωση) και τέλος τα έξοδα που θα έχει η επιχείρηση ηλεκτρισμού για την αγορά της ενέργειας από την ανεμογεννήτρια. Δηλαδή:

$$Ζημιές = Cost_{with} - Cost_{without} + Inc_{sell} - Cost_{renew} \quad (33)$$

Όπου $Cost_{with}$ το κόστος παραγωγής με την αφαλάτωση, $Cost_{without}$ το κόστος παραγωγής χωρίς το φορτίο της αφαλάτωσης, Inc_{sell} τα έσοδα από την πώληση ενέργειας και τέλος $Cost_{renew}$ το κόστος από την αγορά της αιολικής ενέργειας. Δηλαδή σαν κόστος αναφοράς είναι το κόστος που θα είχε η επιχείρηση ηλεκτρισμού χωρίς την παρουσία του φορτίου αφαλάτωσης.

Όπως αναμενόταν το κόστος παραγωγής έμεινε σταθερό. Οι ζημιές παρουσίασαν μεγάλη αύξηση καθώς σε αυτή την περίπτωση, η εταιρεία ηλεκτρισμού θα αγοράζει όλο το ρεύμα που παράγει η ανεμογεννήτρια και θα πρέπει να αυξηθεί η παραγωγή από τις συμβατικές μηχανές για την κάλυψη του φορτίου της αφαλάτωσης. Οι συνολικές ζημιές για την εταιρεία ηλεκτρισμού αυξήθηκαν περίπου 50%. Τέλος όπως και στην προηγούμενη περίπτωση θα παρουσιαστεί ο λόγος κόστους ενέργειας προς την ενέργεια, δηλαδή το κόστος της μιας μεγαβατώρας.

| | Χωρίς φορτίο αφαλάτωσης (€/MWh) | Με αιολική παραγωγή (€/MWh) | Water driven (€/MWh) |
|-----------------|------------------------------------|--------------------------------|----------------------|
| Κόστος/ενέργεια | 94,48 | 96,40 | 96,26 |

Πίνακας 10-11: Κόστος παραγόμενης ενέργειας

10.3.4 Περίπτωση χωρίς ύπαρξη ανεμογεννήτριας

Στην περίπτωση που εξετάζεται σε αυτό το κεφάλαιο, η αφαλάτωση λειτουργεί ανεξάρτητα από την αιολική παραγωγή της ανεμογεννήτριας. Η ανεμογεννήτρια είναι όμως συνδεδεμένη με το ηλεκτρικό σύστημα. Έχει ενδιαφέρον να εξεταστεί η περίπτωση όπου η ανεμογεννήτρια δεν συνδέεται καθόλου στο σύστημα της Μήλου, δηλαδή είναι σαν να εγκαθίσταται ένα φορτίο και η εταιρεία ηλεκτρισμού θα πρέπει να το εξυπηρετήσει.

Πάλι έγιναν προσομοιώσεις για τον μήνα Αύγουστο. Το πρόγραμμα παραγωγής είναι βέβαια οδηγούμενο μόνο από την στάθμη της δεξαμενής. Σε αυτή την περίπτωση ενδιαφέρει μόνο η επιχείρηση ηλεκτρισμού.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται όλα τα αποτελέσματα για αυτήν την περίπτωση. Γίνεται ακόμα και μια σύγκριση με την περίπτωση όπου υπάρχει σύνδεση ανεμογεννήτριας και αφαλάτωσης.

| | Σύνδεση αφαλάτωσης και ανεμογεννήτριας | Χωρίς αιολική παραγωγή | Μεταβολή |
|-----------------------------|---|---------------------------|----------|
| Παραγόμενη ενέργεια(MWh) | 4743,1 | 4929,1 | 3,92 |
| Κατανάλωση μαζούτ | 658,21 | 672,09 | 2,11 |

| | | | |
|---------------------------------------|--------|--------|-------|
| (tons) | | | |
| Κατανάλωση diesel (tons) | 478,37 | 500,28 | 4,58 |
| Κόστος παραγωγής (€) | 457239 | 473758 | 3,61 |
| Ζημιές επιχείρησης ηλεκτρισμού (€) | 12592 | 22256 | 76,75 |
| Κόστος/ενέργεια (€/MWh) | 96,40 | 96,11 | -0,30 |

Πίνακας 10-12: Αποτελέσματα επιχείρησης αφαλάτωσης και ηλεκτρισμού

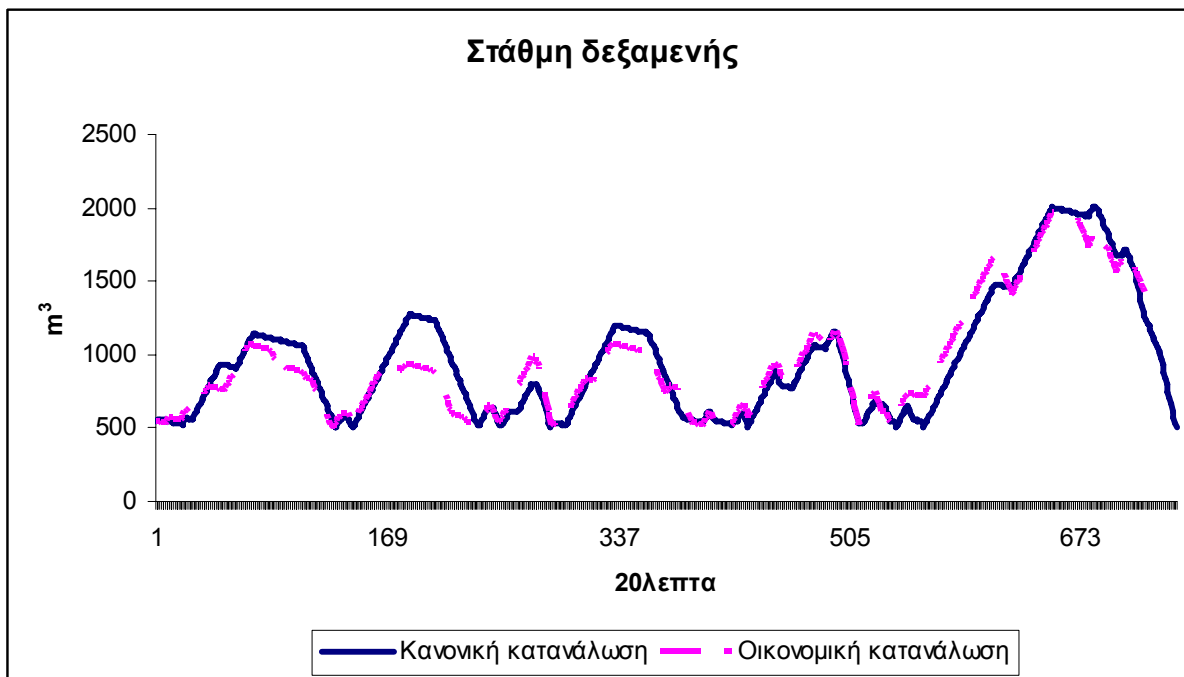
Όπως ήταν αναμενόμενο, υπήρξε μια αύξηση στην παραγωγή των συμβατικών μονάδων παραγωγής ενέργειας που είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της κατανάλωσης καυσίμων καθώς και του συνολικού κόστους παραγωγής. Επιπλέον, οι ζημιές αυξήθηκαν κατά 77% περίπου. Τέλος ο λόγος κόστους προς ενέργεια μειώθηκε καθότι η αύξηση του κόστους παραγωγής ήταν μικρότερη από την μεταβολή της παραγόμενης ενέργειας.

10.4 Οικονομικότερα modules αφαλάτωσης

Στην παράγραφο αυτή θα εξεταστούν τα οικονομικά αποτελέσματα της αφαλάτωσης και η συνολική επίδραση στο ΣΗΕ του νησιού, η αντικατάσταση των modules της αφαλάτωσης με άλλα που θα καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια στον ίδιο χρόνο. Σε αυτή την ανάλυση ευαισθησίας θα μειωθεί η τιμή της ισχύος της κάθε νησίδας από τα 150kW στα 100kW.

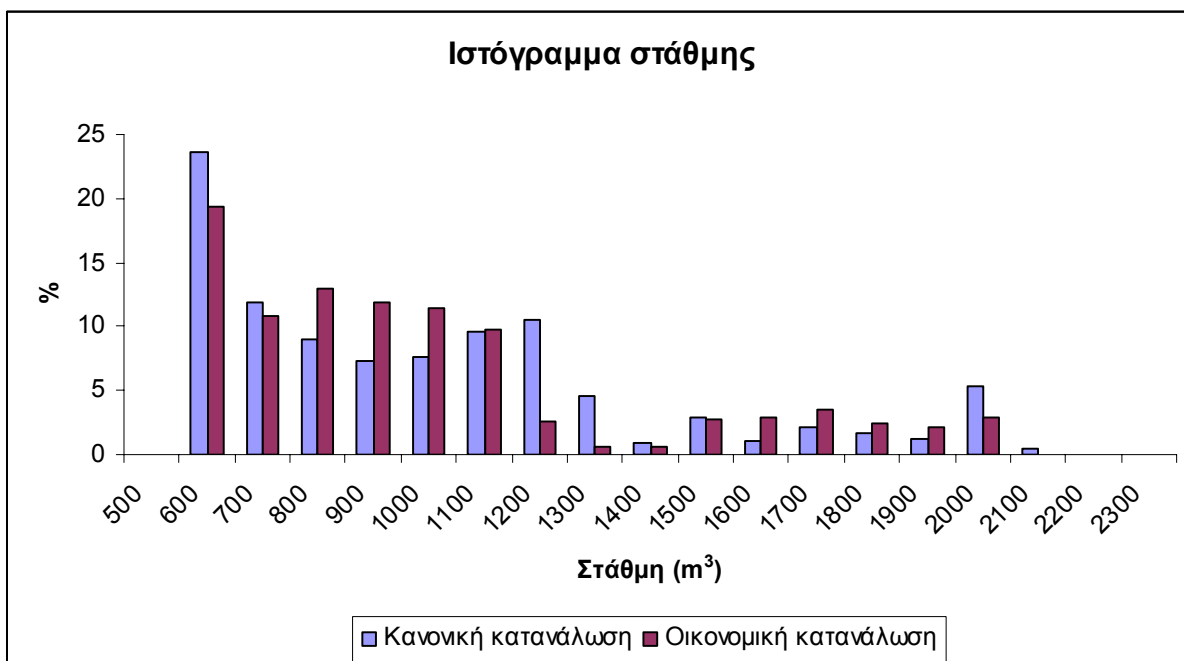
10.4.1 Αποτελέσματα νερού

Στην γραφική παράσταση που ακολουθεί, παρουσιάζεται το κοινό διάγραμμα της στάθμης της δεξαμενής με την κανονική και με την οικονομικότερη κατανάλωση ενέργειας.



Σχήμα 10-7: Στάθμη δεξαμενής

Όπως παρατηρείται, η στάθμη και στις δύο περιπτώσεις θα έχει κοινή συμπεριφορά. Για να βγει καλύτερο συμπέρασμα θα κατασκευαστεί το ιστόγραμμα της στάθμης που ακολουθεί.



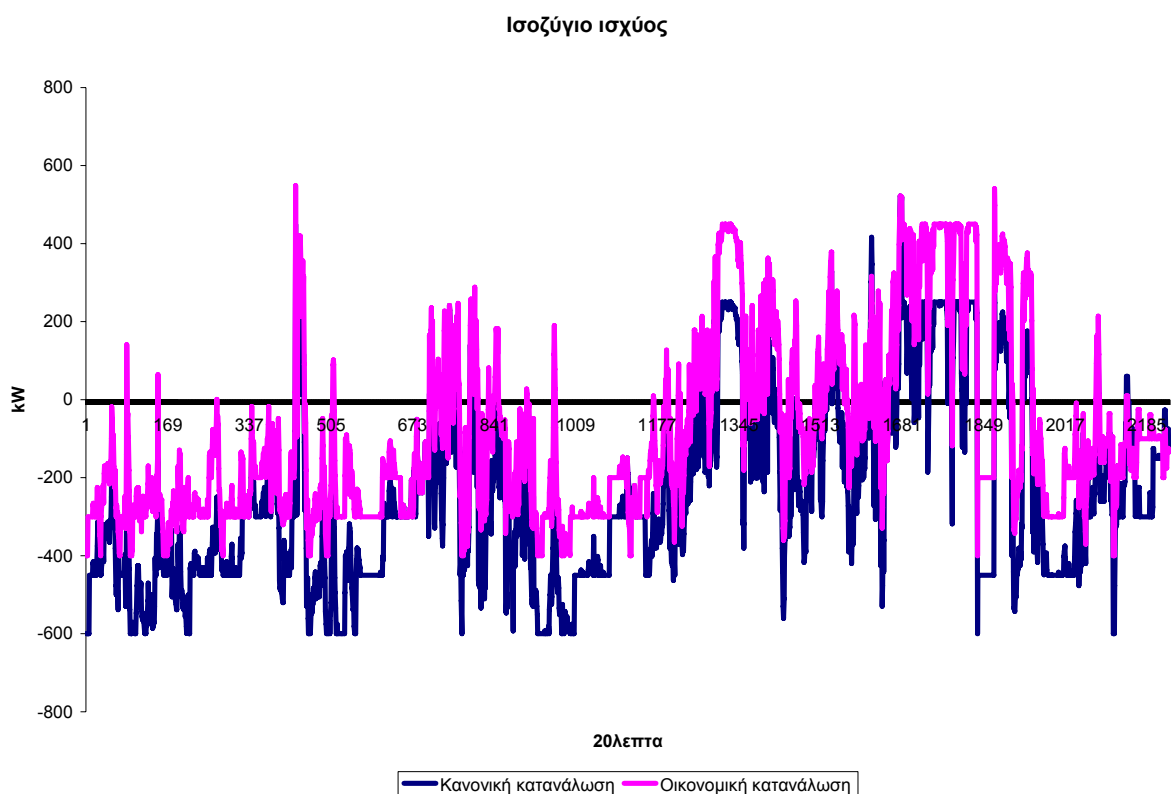
Σχήμα 10-8: Ιστόγραμμα στάθμης

Από το παραπάνω ιστόγραμμα φαίνεται ότι και στις δύο περιπτώσεις που εξετάζονται η στάθμη δεν ξεπερνάει τα 2100 κυβικά μέτρα. Ακόμα, στην περίπτωση της οικονομικής κατανάλωσης ενέργειας,

δεν θα υπάρχει τόσο μεγάλο πρόβλημα έλλειψης ύδατος. Αυτό φαίνεται από το πρώτο κομμάτι του ιστογράμματος, δηλαδή τις τιμές της στάθμης μεταξύ 500 και 600 κυβικών μέτρων όπου από 25% των συνολικών τιμών του μήνα, το ποσοστό έπεσε περίπου στο 20%. Επίσης θα πρέπει να τονιστεί η μετατόπιση που παρουσιάζεται στο ιστόγραμμα της στάθμης προς υψηλότερες τιμές.

10.4.2 Ισοζύγια ενέργειας και ισχύος

Παρακάτω παρουσιάζονται τα ισοζύγια ισχύος για κάθε μια περίπτωση κατανάλωσης ισχύος.



Σχήμα 10-9: Ισοζύγιο ισχύος

Όπως φαίνεται από το παραπάνω ισοζύγιο, η περισσότερη ισχύς που αγοράζεται από την επιχείρηση αφαλάτωσης είναι ίση με 400kW ενώ προηγουμένως ήταν 600kW. Κατά τα άλλα, από την παραπάνω γραφική παράσταση αναμένεται να υπάρχει πάλι έλλειψη ενέργειας, άρα και τελικό αρνητικό ισοζύγιο ενέργειας. Λόγω του ότι υπάρχει σχετικά μικρή αγορά ενέργειας από την επιχείρηση αφαλάτωσης, το πιο συμφέρον τιμολόγιο είναι το B2B. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω, ενώ έχει προστεθεί και μία στήλη όπου παρουσιάζεται και η μεταβολή των αποτελεσμάτων:

| | Κανονική κατανάλωση | Οικονομική κατανάλωση | Μεταβολή (%) |
|---------------------|----------------------|-----------------------|--------------|
| Συνολικό παραγόμενο | 48545 m ³ | 48559 m ³ | 0,03 |

| | | | |
|--|------------------------|------------------------|--------|
| νερό | | | |
| Μεγαλύτερη τιμή πωλούμενης ισχύος | 522.32 kW | 548.81kW | 5,07 |
| Μεγαλύτερη τιμή αγοραζόμενης ισχύος | 600kW | 400kW | -33,33 |
| Αγοραζόμενη ενέργεια | 200940 kWh | 113600kWh | -43,47 |
| Πωλούμενη ενέργεια | 21193 kWh | 49368kWh | 132,94 |
| Κέρδος από ενέργεια | -13567 € | -5416 € | 60,08 |
| Ενεργειακό κόστος νερού | 0,423 €/m ³ | 0,255 €/m ³ | -39,72 |

Πίνακας 10-13: Αποτελέσματα επιχείρησης αφαλάτωσης

Σε αυτή την περίπτωση δεν μπορεί να υπολογιστεί το συνολικό κόστος νερού αφού το κόστος εγκατάστασης της αφαλάτωσης θα είναι διαφορετικό και άγνωστο.

10.4.3 Επίδραση στην επιχείρηση ηλεκτρισμού

Όπως και πριν ο πίνακας της συνολικής παραγωγής του συμβατικού σταθμού παραγωγής και η εκατοστιαία μεταβολή από το πραγματικό πρόγραμμα παραγωγής είναι:

| | Κανονική κατανάλωση (MWh) | Οικονομική κατανάλωση (MWh) | Μεταβολή (%) |
|---------------|------------------------------|--------------------------------|-----------------|
| Γεννήτρια 1 | 733,6 | 734,2 | 0,08 |
| Γεννήτρια 2 | 743,2 | 745,7 | 0,34 |
| Γεννήτρια 3 | 295,7 | 296,1 | 0,14 |
| Γεννήτρια 4 | 365,1 | 365,3 | 0,05 |
| Γεννήτρια 5 | 365,1 | 365,3 | 0,05 |
| Γεννήτρια 6 | 0 | 0 | 0,00 |
| Γεννήτρια 7 | 13,3 | 8,7 | -34,59 |
| Γεννήτρια 8 | 0 | 0 | 0,00 |
| HZ 1 | 707,9 | 700,4 | -1,06 |
| HZ 2 | 628 | 607,3 | -3,30 |
| HZ 3 | 474,5 | 441,3 | -7,00 |
| HZ 4 | 288 | 258,2 | -10,35 |
| HZ 5 | 128,7 | 108,0 | -16,08 |
| Σύνολο | 4743,1 | 4630,6 | -2,37 |

Πίνακας 10-14: Παραγωγή συμβατικών μηχανών

Όπως παρατηρείται υπάρχει μείωση της παραγόμενης συνολικής ενέργειας από τον συμβατικό σταθμό όπως και στην περίπτωση της μειωμένης κατανάλωσης νερού από το νησί. Μόνο που σε αυτή την περίπτωση το συνολικό ποσοστό μεταβολής είναι μικρότερο.

Όπως και πριν μεγάλη διαφορά υπάρχει στις μηχανές που καταναλώνουν diesel για καύσιμο ενώ σε αυτές που καταναλώνουν μαζούτ η παραγωγή έμεινε στα ίδια επίπεδα. Αυτό εμφανίστηκε και σε προηγούμενη ανάλυση ευαισθησίας, που σημαίνει ότι και εδώ θα περιμένουμε παρόμοια αποτελέσματα. Δηλαδή μειωμένη κατανάλωση diesel και μικρότερο κόστος για την επιχείρηση ηλεκτρισμού.

Οι καταναλώσεις των καυσίμων παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

| | Κανονική κατανάλωση (tons) | Οικονομική κατανάλωση (tons) | Μεταβολή (%) |
|--------|-------------------------------|---------------------------------|-----------------|
| Μαζούτ | 658,22 | 659,11 | 0,13 |
| Diesel | 478,37 | 453,32 | -5,24 |

Πίνακας 10-15: Κατανάλωση καυσίμων

Η κατανάλωση του μαζούτ παρέμεινε σταθερή ενώ η κατανάλωση του diesel μειώθηκε κατά περίπου 5%. Γενικά, η μείωση στην παραγόμενη ενέργεια οφείλεται σε μείωση στην παραγωγή των μηχανών που καταναλώνουν diesel. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι οι μηχανές που καταναλώνουν μαζούτ χρησιμοποιούνται για τα φορτία βάσης ενώ οι υπόλοιπες για τα φορτία αιχμής.

Ο τελευταίος πίνακας που ακολουθεί παρουσιάζει το κόστος παραγωγής, την οικονομική ζημία και το λόγο του κόστους προς την ενέργεια που θα έχει η επιχείρηση ηλεκτρισμού.

| | Κανονική κατανάλωση | Οικονομική κατανάλωση | Μεταβολή (%) |
|----------------------------|---------------------|--------------------------|-----------------|
| Κόστος παραγωγής (€) | 457239 | 442903 | -3,14 |
| Ζημιές (€) | 12592 | 6407 | -49,12 |
| Κόστος/ενέργεια (€/MWh) | 96,40 | 95,65 | -0,78 |

Πίνακας 10-16: Ζημιές επιχείρησης ηλεκτρισμού και κόστος ενέργειας

Το κόστος παραγωγής παρουσιάζει μείωση της τάξεως του 3%. Ακόμα μειώνεται και το κόστος της MWh αλλά για πολύ μικρότερο ποσοστό. Αυτό συμβαίνει λόγω της κατανάλωσης diesel για τις αιχμές φορτίου. Στις αιχμές αυτές προστίθεται και το εκάθοστε φορτίο αφαλάτωσης, αυξάνοντας την παραγωγή από της γεννήτριες diesel. Οι ζημιές για την επιχείρηση ηλεκτρισμού μειώνονται περίπου στο μισό λόγω του ότι δεν θα χρειαστεί να λειτουργήσουν οι μηχανές του συμβατικού σταθμού τόσο πολύ όσο στην αρχική περίπτωση.

10.4.4 Επιδότηση από εταιρεία ηλεκτρισμού

Η αντικατάσταση του εξοπλισμού που θα πρέπει να γίνει θα έχει βέβαια επίπτωση στο κόστος της αφαλάτωσης, καθότι είναι προφανές ότι όσο πιο οικονομικές είναι οι μονάδες αφαλάτωσης, τόσο πιο πολύ θα κοστίζουν. Μόνο τον μήνα Αύγουστο υπάρχει όφελος το οποίο αγγίζει τα 8150€ για την επιχείρηση αφαλάτωσης.

Στην εγκατάσταση λιγότερο ενεργοβόρων νησίδων αφαλάτωσης συμφέρει από οικονομική άποψη και την επιχείρηση ηλεκτρισμού. Μάλιστα θα μπορούσε η επιχείρηση ηλεκτρισμού να επιδοτήσει την επιχείρηση αφαλάτωσης ώστε να γίνει η αλλαγή αυτή. Το ποσό αυτό θα μπορεί να είναι ένα μέρος από τις ζημιές που αποφεύγει η επιχείρηση ηλεκτρισμού. Για τον μήνα Αύγουστο που έχει εξεταστεί, μπορεί να είναι έως περίπου 6200€. Μια ιδιαίτερη συμφέρουσα συμφωνία θα ήταν η επιδότηση να είναι ένα μέρος των διαφευγόντων ζημιών της επιχείρησης ηλεκτρισμού, π.χ. 20% για την εγκατάσταση τέτοιων νησίδων.

10.5 Συνολικά αποτελέσματα

10.5.1 Αποτελέσματα για επιχείρηση αφαλάτωσης

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα τεχνικά και οικονομικά αποτελέσματα της αφαλάτωσης με βάση το κανονικό πρόγραμμα παραγωγής και τα προγράμματα με βάση τις αναλύσεις ευαισθησίας.

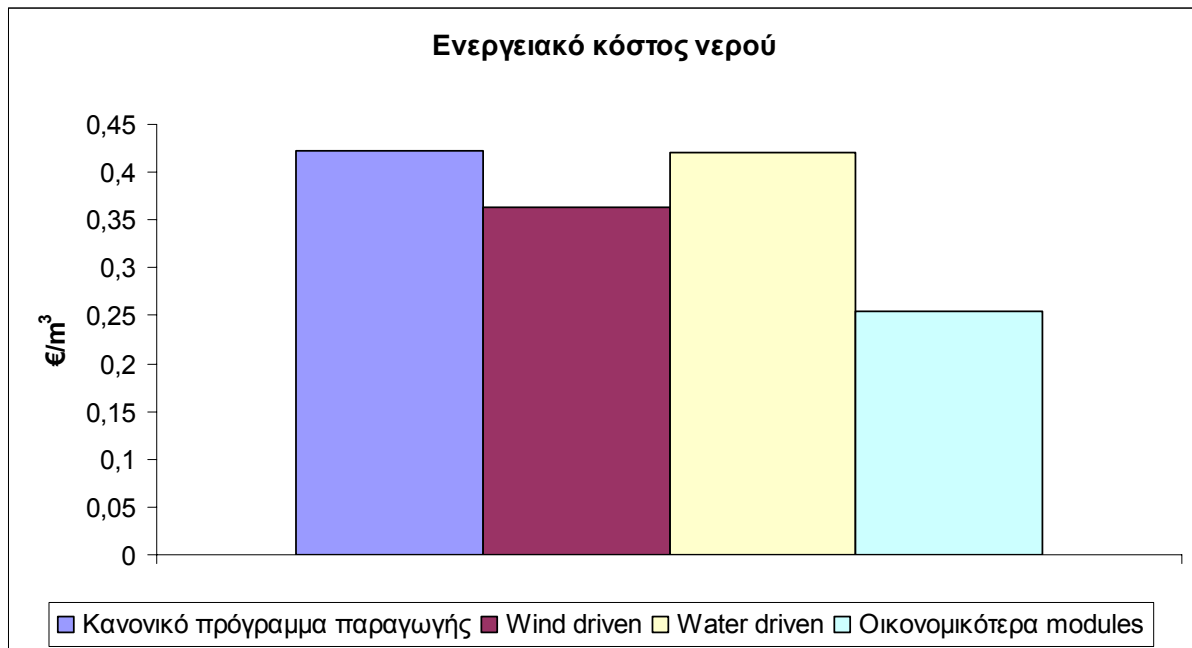
| | Κανονικό πρόγραμμα παραγωγής | Wind driven | Water driven | Με οικονομικότερα modules |
|--|------------------------------|-------------|--------------|---------------------------|
| Συνολικό παραγόμενο νερό (m ³) | 48545 | 26460 | 48573 | 48559 |
| Αγοραζόμενη ενέργεια από αφαλάτωση (kWh) | 200940 | 76706 | 346750 | 113600 |
| Πωλούμενη ενέργεια στο δίκτυο (kWh) | 21193 | 54712 | 0 | 49368 |
| Κέρδος επιχειρηματία από ενεργειακές | -13567 | -2658 | -20422 | -5416 |

| | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|
| αγοραπωλησίες (€) | | | | |
| Ενεργειακό κόστος νερού (€/m ³) | 0,423 | 0,364 | 0,420 | 0,255 |
| Συνολικό κόστος νερού (€/m ³) | 0,702 | 0,878 | 0,700 | - |

Πίνακας 10-17: Συνολικά αποτελέσματα για αφαλάτωση

Αν και το συνολικό κόστος στην τελευταία περίπτωση δεν μπορεί να υπολογιστεί, μπορεί να υπολογιστεί το ποσό που θα μπορεί να δαπανηθεί ώστε το συνολικό κόστος να είναι το πολύ ίσο με 0,702€ για κάθε κυβικό μέτρο νερού. Το ποσό αυτό είναι 21670€ για τον μήνα Αύγουστο.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται σε γραφική αναπαράσταση το ενεργειακό κόστος του νερού για την επιχείρηση αφαλάτωσης:



Σχήμα 10-10: Ενεργειακό κόστος νερού

10.5.2 Αποτελέσματα επιχείρησης ηλεκτρισμού

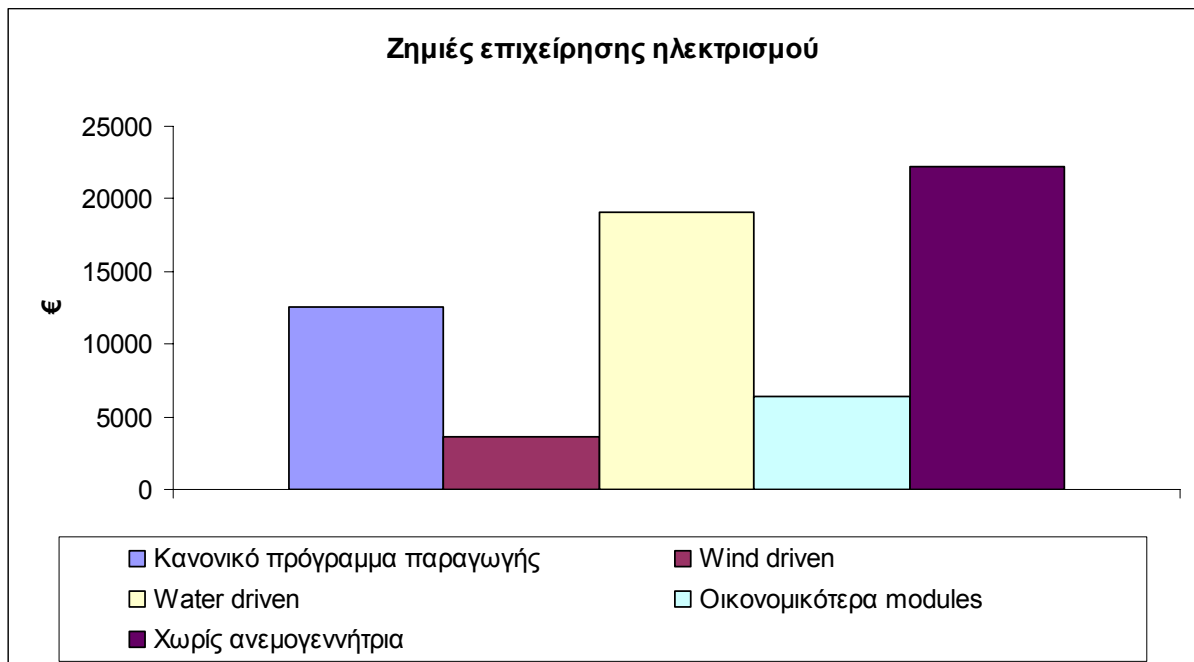
Στο σημείο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την επιχείρηση ηλεκτρισμού:

| | Χωρίς την εγκατάσταση της αφαλάτωσης | Κανονικό πρόγραμμα παραγωγής | Χωρίς την εγκατάσταση Α/Γ | Wind driven | Water driven | Με οικονομικότερα modules |
|--------------------|--------------------------------------|------------------------------|---------------------------|-------------|--------------|---------------------------|
| Παραγωγή εταιρείας | 4562,5 | 4743,1 | 4929,1 | 4589,0 | 4744,5 | 4630,6 |

| | | | | | | |
|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ηλεκτρισμού (MWh) | | | | | | |
| Κατανάλωση μαζούτ (tons) | 670,49 | 658,22 | 672,09 | 659,95 | 660,64 | 659,11 |
| Κατανάλωση diesel (tons) | 427,69 | 478,37 | 500,28 | 443,40 | 476,30 | 453,32 |
| Κέρδη επιχείρησης ηλεκτρισμού (€) | 0 | -12592 | -22256 | -3620 | -19129 | -6407 |
| Κόστος ενέργειας (€/MWh) | 94,48 | 96,40 | 96,11 | 95,30 | 96,26 | 95,65 |

Πίνακας 10-18: Συνολικά αποτελέσματα επιχείρησης ηλεκτρισμού

Σαν ξεχωριστή περίπτωση έχει προστεθεί η περίπτωση όπου δεν γίνεται εγκατάσταση ανεμογεννήτριας. Ακόμα έχουν προστεθεί τα στοιχεία από την περίπτωση όπου δεν υπήρχε εγκατεστημένη η αφαλάτωση. Το κέρδος που υπήρχε σε αυτή την περίπτωση θεωρείται μηδενικό και είναι το κέρδος αναφοράς σύμφωνα με το οποίο υπολογίζονται τα υπόλοιπα κέρδη. Ακολουθεί το γράφημα για τις ζημιές που θα έχει η επιχείρηση ηλεκτρισμού:



Σχήμα 10-11: Ζημιές επιχείρησης ηλεκτρισμού

Είναι φανερό ότι η περίπτωση όπου το πρόγραμμα αφαλάτωσης είναι συνάρτηση μόνο της στάθμης της δεξαμενής (water driven), δεν είναι συμφέρουσα για καμία από τις επιχειρήσεις που εμπλέκονται στο έργο αυτό. Σε αυτή την περίπτωση οι ζημιές που θα παρουσιάσει η επιχείρηση ηλεκτρισμού είναι μεγαλύτερες από αυτές που προκύπτουν από την περίπτωση του κανονικού προγράμματος παραγωγής ενώ το κόστος παραγωγής για την επιχείρηση αφαλάτωσης παραμένει ίδιο. Η πλέον συμφέρουσα περίπτωση είναι αυτή με την οικονομικότερη λειτουργία των νησίδων αφού και οι ζημιές της ηλεκτρικής εταιρείας αλλά και το ενεργειακό κόστος της παραγωγής θα είναι μειωμένο.

Στην περίπτωση που δεν υπάρχει καθόλου εγκατεστημένη ανεμογεννήτρια, τα οικονομικά αποτελέσματα για την επιχείρηση ηλεκτρισμού είναι χειρότερα σε σύγκριση με το αν υπήρχε εγκατεστημένη ανεμογεννήτρια. Άρα θα μπορούσε να γίνει μια σύμβαση ώστε να επιδοτείται η εγκατάσταση τις ανεμογεννήτριας από τον επιχειρηματία από την επιχείρηση ηλεκτρισμού. Για τον μήνα Αύγουστο το ποσό της επιδότησης θα μπορούσε να φτάσει περίπου τις 6000€.

Κεφάλαιο 11: Συμπεράσματα

11.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό συνοψίζει τα αποτελέσματα της εργασίας για τους τρεις εμπλεκόμενους φορείς στην επιχείρηση της αφαλάτωσης. Αυτοί είναι ο ιδιοκτήτης της επιχείρησης αφαλάτωσης, η επιχείρηση ηλεκτρισμού και ο δήμος της Μήλου. Ο κάθε ένας φορέας έχει διαφορετικά συμφέροντα που και θα παρουσιαστούν παρακάτω. Οι επιχειρήσεις αφαλάτωσης και παραγωγής ενέργειας είναι συνεργαζόμενες, καθότι ο προγραμματισμός του φορτίου της αφαλάτωσης λαμβάνει υπόψη την παραγωγή ενέργειας από την ανεμογεννήτρια.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι το πρώτο γενικό συμπέρασμα είναι ότι τόσο την επιχείρηση ηλεκτρισμού όσο και την επιχείρηση της αφαλάτωσης, τις συμφέρει να γίνει η εγκατάσταση και η σύνδεση της ανεμογεννήτριας με το εργοστάσιο αφαλάτωσης. Η περίπτωση όπου δεν υπάρχει αιολική παραγωγή παρουσιάζεται σαν περίπτωση στο κεφάλαιο 10 για τον μήνα Αύγουστο. Από εκεί φαίνεται ότι τα οικονομικά αποτελέσματα θα είναι αποθαρρυντικά και για την αφαλάτωση αλλά και για την επιχείρηση ηλεκτρισμού.

11.2 Ιδιοκτήτης αφαλάτωσης

Ο στόχος της επιχείρησης αφαλάτωσης είναι να επιτύχει τα υψηλότερα δυνατά κέρδη, πράγμα που σημαίνει μείωση του κόστους παραγωγής του νερού. Δηλαδή ο ιδιοκτήτης της αφαλάτωσης επιθυμεί την μικρότερη τιμή ανά κυβικό μέτρο για την ενέργεια που αγοράζει. Στην τιμή αυτή συμπεριλαμβάνεται και το κόστος αποπληρωμής της ανεμογεννήτριας.

Από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων, υπολογίστηκε πως αν η επιχείρηση αφαλάτωσης συνδεθεί με την ανεμογεννήτρια και εγκαταστήσει ένα σύστημα πρόβλεψης αιολικής παραγωγής με 4ωρο persistence, θα έχει έλλειμμα από την αγορά ενέργειας της τάξης των 54000€ το έτος το οποίο θα πρέπει να μετακυληθεί στους καταναλωτές σαν αύξηση στην τιμή του νερού που θα πωλείται στον δήμο της Μήλου. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι όλα τα μοντέλα πρόβλεψης που εξετάστηκαν παρουσίαζαν έλλειμμα πολύ κοντά σε αυτό το ποσό.

Στις αναλύσεις ευαισθησίας που προηγήθηκαν, έγιναν για τον μήνα Αύγουστο μελέτες περιπτώσεων ώστε να γίνει πιο πλήρη ανάλυση των διαφόρων συντελεστών που παίζουν ρόλο στον προσδιορισμό του κόστους. Αρχικά έγινε μελέτη στην περίπτωση όπου το πρόγραμμα παραγωγής της ανεμογεννήτριας ήταν ελεγχόμενο μόνο από τον άνεμο (wind driven), που πρακτικά παρουσιάστηκε ως μειωμένη κατανάλωση νερού από το νησί. Με τον όρο παραγωγή wind driven εννοείται ότι η παραγωγή της αφαλάτωσης θα είναι τέτοια, ώστε σε ετήσια βάση το ενεργειακό ισοζύγιο θα είναι

μηδενικό. Δηλαδή όση ενέργεια θα παράγεται από την ανεμογεννήτρια, τόση θα καταναλώνεται για την αφαλάτωση. Στην περίπτωση αυτή, το συνολικό ετήσιο ενεργειακό ισοζύγιο της αφαλάτωσης είναι σχεδόν μηδενικό καθώς όση ενέργεια παράγεται από την ανεμογεννήτρια, καταναλώνεται από την αφαλάτωση.

Έπειτα παρουσιάστηκαν αποτελέσματα προσομοιώσεων για την περίπτωση όπου δεν είχε γίνει σύνδεση της ανεμογεννήτριας με το εργοστάσιο αφαλάτωσης και το πρόγραμμα παραγωγής της αφαλάτωσης ήταν τελείως ανεξάρτητο από την αιολική παραγωγή και τέλος αν είχαν επιλεγθεί λιγότερο ενεργειακά modules στο εργοστάσιο αφαλάτωσης.

Αρχικά θα πρέπει να δοθεί απάντηση στο ερώτημα αν συμφέρει η σύνδεση του εργοστασίου αφαλάτωσης με την ανεμογεννήτρια. Αυτή είναι η περίπτωση όπου υπάρχουν δύο διαφορετικές επιχειρήσεις και το πρόγραμμα παραγωγής της αφαλάτωσης δεν λάμβανε υπόψη του την αιολική παραγωγή (περίπτωση water driven παραγωγής). Τα οικονομικά αποτελέσματα για τον ιδιοκτήτη της αφαλάτωσης είναι σχεδόν ίδια σε αυτή την περίπτωση γιατί αλλάζει το τιμολόγιο αγοράς ενέργειας αλλά και δεν υπάρχουν έξοδα για την αποπληρωμή της ανεμογεννήτριας. Σε αυτή την περίπτωση δεν λαμβάνονται υπόψη τα κέρδη από την πώληση ενέργειας στην επιχείρηση ηλεκτρισμού από την ανεμογεννήτρια αφού οι δύο εταιρείες (αφαλάτωση και ανεμογεννήτρια) έχουν διαφορετικούς ισολογισμούς και κινούνται ανεξάρτητα.

Άλλη μια περίπτωση που εξετάστηκε είναι αυτή κατά την οποία έχουν δημιουργηθεί δύο διαφορετικές επιχειρήσεις αφαλάτωσης και παραγωγής ενέργειας οι οποίες συνεργάζονται στην κατάρτιση του ημερησίου προγράμματος αφαλάτωσης. Η περίπτωση αυτή δεν έχει εξεταστεί στην ανάλυση ευαισθησίας αλλά είναι σημαντική καθώς με αυτό τον τρόπο αυξάνονται τα έσοδα του ιδιοκτήτη. Πιο συγκεκριμένα, όπως παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 8, οι συνολικές ζημιές περιορίστηκαν στα 4200€ περίπου από 13567€ που είναι στην περίπτωση μιας επιχείρησης αυτοπαραγωγής

Στην περίπτωση που το πρόγραμμα αφαλάτωσης ήταν wind driven, παρήχθησαν λιγότερα κυβικά μέτρα νερό αλλά με μειωμένο κόστος. Συγκεκριμένα παρήχθησαν 26460 κυβικά μέτρα νερού με ενεργειακό κόστος ίσο με 0,364€ για κάθε κυβικό μέτρο νερού. Άρα όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα αυτά, είναι προς το συμφέρον της επιχείρησης αφαλάτωσης αν η παραγωγή νερού γίνει wind driven σε σχέση με την περίπτωση που το πρόγραμμα παραγωγής είναι συνάρτηση της αιολικής παραγωγής και της στάθμης της δεξαμενής.

Παρόμοια αποτελέσματα θα υπάρξουν αν γίνει αντικατάσταση των νησίδων αφαλάτωσης με άλλες οικονομικότερες. Αν γίνει αυτό, το ενεργειακό κόστος του νερού μειώνεται λόγω της μικρότερης αγοράς ενέργειας ενώ παράλληλα γίνονται και μεγαλύτερες πωλήσεις αυτής. Η αντικατάσταση αυτή του εξοπλισμού θα έχει βέβαια επίπτωση στο κόστος της αφαλάτωσης, καθώς είναι προφανές ότι όσο πιο οικονομικές είναι οι μονάδες αφαλάτωσης, τόσο πιο πολύ θα κοστίζουν. Το κόστος για την εγκατάσταση θα μπορεί να βρεθεί αν από τις ζημιές που παρουσιάζονται κατά την κανονική λειτουργία της αφαλάτωσης αφαιρεθούν οι ζημιές από την λειτουργία με τα οικονομικότερα modules.

Χαρακτηριστικά για τον μήνα Αύγουστο που εξετάστηκε, οι ζημιές συρρικνώθηκαν κατά 8000€ περίπου.

11.3 Συμπεράσματα για την επιχείρηση ηλεκτρισμού

Η επιχείρηση ηλεκτρισμού έχει εγκατεστημένο στο νησί της Μήλου έναν σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνει παράγωγα πετρελαίου (μαζούτ και diesel). Το επιθυμητό για την επιχείρηση ηλεκτρισμού είναι να έχει τα περισσότερα κέρδη ή τις λιγότερες το δυνατό ζημιές από την προσθήκη της αφαλάτωσης.

Ακόμα, η επιχείρηση ηλεκτρισμού θέλει να γνωρίζει πόση θα είναι η μεταβολή του φορτίου ιδίως στην αιχμή ώστε να μπορεί να ανταποκρίνεται καλύτερα στην ζήτηση. Αυτό σημαίνει ότι η επιχείρηση της αφαλάτωσης θα πρέπει να στέλνει υποχρεωτικά το πρόγραμμα παραγωγής της στην επιχείρηση ηλεκτρισμού.

Όταν έγινε η είσοδος του φορτίου αφαλάτωσης στο νησιωτικό σύστημα που εξετάζεται, υπήρξε μια αύξηση στην παραγωγή του σταθμού παραγωγής. Η ενέργεια αυτή πουλήθηκε στην επιχείρηση αφαλάτωσης ενώ ταυτόχρονα η επιχείρηση ηλεκτρισμού αγόρασε αναγκαστικά ενέργεια από την ανεμογεννήτρια που συνδέθηκε στην αφαλάτωση. Το συνολικό οικονομικό αποτέλεσμα για την επιχείρηση ηλεκτρισμού είναι ζημιές περίπου 43000€ για κάθε χρόνο.

Ακόμα, υπολογίστηκε ότι θα χρειαστεί για την παραγωγή της επιπλέον ενέργειας περίπου 7500 τόνους μαζούτ και 1600 τόνους πετρελαίου τύπου diesel. Αν γίνει σύγκριση με τις καταναλώσεις χωρίς το φορτίο αφαλάτωσης, προκύπτει ότι υπήρξε αύξηση στο μαζούτ κατά 0,57% ενώ στο diesel κατά 9,59%. Συνολικά το κόστος της ενέργειας αυξήθηκε από 78,43€ η μεγαβατώρα σε 79,24€. Τα αποτελέσματα αυτά είναι σε σχέση με την κατάσταση που επικρατούσε στο ΣΗΕ του νησιού πριν την είσοδο του φορτίου αφαλάτωσης. Όπως φαίνεται από τα οικονομικά στοιχεία, η εγκατάσταση του φορτίου αφαλάτωσης θα αποβεί ζημιογόνα για την επιχείρηση ηλεκτρισμού.

Στις αναλύσεις ευαισθησίας που πραγματοποιήθηκαν για τον μήνα Αύγουστο, εμφανίστηκε μείωση κατά περίπου 70% στις ζημιές της επιχείρησης ηλεκτρισμού καθώς και μείωση κατά 4% του κόστους παραγωγής ενέργειας στην περίπτωση που το πρόγραμμα παραγωγής ήταν wind driven λόγω της σημαντικά μειωμένης ζήτησης από την αφαλάτωση αφού το εργοστάσιο θα λειτουργεί λιγότερες ώρες. Τέλος θα πρέπει να τονιστεί η μεγάλη μείωση κατά 7% περίπου στην κατανάλωση πετρελαίου diesel από τον σταθμό ενέργειας. Άρα, την επιχείρηση ηλεκτρισμού την συμφέρει η παραγωγή νερού να είναι βασισμένη μόνο στον άνεμο και να παράγεται τόσο νερό όσο μπορεί να παραχθεί και το υπόλοιπο να μεταφερθεί.

Στην περίπτωση δε που σχηματιστούν δύο ξεχωριστές επιχειρήσεις για την αφαλάτωση και για την ανεμογεννήτρια, τα αποτελέσματα θα είναι αποθαρρυντικά για την επιχείρηση ηλεκτρισμού. Αν και η συνολική παραγόμενη ενέργεια είναι σχεδόν ίδια και το κόστος παραγωγής μειώνεται ελαφριά, οι ζημιές για την επιχείρηση ηλεκτρισμού αυξάνονται κατά 51%. Σε αυτό συμβάλλει η αλλαγή του

τιμολογίου στο Β1Β καθώς και η συνολική αγορά της ενέργειας από την ανεμογεννήτρια από την επιχείρηση ηλεκτρισμού σε μια αυξημένη τιμή. Σε τελική ανάλυση την επιχείρηση ηλεκτρισμού την συμφέρει να ιδρυθεί μόνο μια επιχείρηση συμπαραγωγής νερού και ενέργειας ώστε να μειώσει την επίδραση στο ΣΗΕ του νησιού. Επιπλέον στην περίπτωση που γίνουν δύο διαφορετικές εταιρείες που όμως θα συνεργάζονται (η αφαλάτωση θα λαμβάνει υπόψη της την αιολική παραγωγή), τότε οι ετήσιες ζημιές για την επιχείρηση ηλεκτρισμού αυξάνονται και ξεπερνούν τις 100000€. Άρα δεν είναι προς το συμφέρον της επιχείρησης ηλεκτρισμού να γίνει κάτι τέτοιο.

Τέλος για την περίπτωση όπου γίνει χρήση πιο οικονομικών modules αφαλάτωσης, θα παρουσιαστούν ζημιές περίπου 6400€, μειωμένες κατά περίπου 50% σε σχέση με την περίπτωση όπου χρησιμοποιηθούν νησίδες με κανονική κατανάλωση. Στην περίπτωση αυτή, θα υπάρξει μείωση στην κατανάλωση diesel κατά 5% και του κόστους ενέργειας κατά 0,75%. Άρα η αντικατάσταση νησίδων με οικονομικότερες θα επιφέρει θετικά αποτελέσματα τόσο στην επιχείρηση αφαλάτωσης όσο και στην επιχείρηση ηλεκτρισμού.

11.4 Συμπεράσματα για το δήμο της Μήλου

Ο δήμος της Μήλου επιθυμεί να έχει αυτονομία νερού με όσο γίνεται πιο μικρό κόστος. Πριν εγκατασταθεί το εργοστάσιο αφαλάτωσης στο νησί, οι ανάγκες σε νερό της Μήλου καλύπτονταν σε ένα μεγάλο ποσοστό από την μεταφορά νερού από την ενδοχώρα. Όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, το κόστος της μεταφοράς ήταν πολύ μεγάλο και έφτανε το έτος 2004 στο ποσό των 8€ για κάθε κυβικό μέτρο νερού.

Η εγκατάσταση της αφαλάτωσης στο νησί θα λύσει το πρόβλημα της έλλειψης νερού στο νησί. Ο δήμος της Μήλου θα αγοράζει νερό από την επιχείρηση αφαλάτωσης σε τιμή που θα συμφέρει και τους δύο εμπλεκόμενους. Η τιμή που θα συμφέρει τον δήμο θα είναι όσο το δυνατό χαμηλότερη από την τιμή του μεταφερόμενου νερού και θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το συνολικό κόστος του παραγόμενου νερού. στο συνολικό κόστος εσωκλείονται και τα κόστη αποπληρωμής τόσο της ανεμογεννήτριας όσο και της εγκατάστασης αφαλάτωσης. Το κόστος αυτό ανέρχεται στα 0,74€ το κάθε κυβικό μέτρο νερού.

Ο δήμος της Μήλου δεν ενδιαφέρεται για το κόστος παραγωγής του εργοστασίου ούτε για το κόστος παραγωγής της ενέργειας της επιχείρησης ηλεκτρισμού. Βασικός στόχος του είναι η συνεχής ύπαρξη νερού για να καλύπτει τις ανάγκες του με το μικρότερο δυνατό κόστος. Ειδική μνεία θα πρέπει να δοθεί στην περίπτωση όπου το πρόγραμμα παραγωγής είναι βασισμένο μόνο στην στάθμη της δεξαμενής του νησιού (wind driven).

Το βασικό μειονέκτημα της επιλογής του wind driven είναι ότι το νησί δεν θα έχει αυτονομία στο νερό κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και θα πρέπει να συνεχιστεί η μεταφορά νερού με υδροφόρα πλοία. Η συνολική ποσότητα νερού που θα μεταφερθεί θα αγγίζει 100000 κυβικά μέτρα, σημαντικά μικρότερη ποσότητα από την υπάρχουσα κατάσταση πριν την εγκατάσταση της αφαλάτωσης. Αυτό

θα εκτινάξει και το συνολικό κόστος για την αγορά νερού το οποίο για τον μήνα Αύγουστο θα είναι περίπου 200000€. Λόγω της μεταφοράς νερού θα υπάρχει και μεγαλύτερη ευελιξία για τον δήμο της Μήλου όσο αφορά την ποσότητα του νερού. Όπως παρουσιάζεται στο προηγούμενο κεφάλαιο, η στάθμη της δεξαμενής δεν θα είναι πάντα στα χαμηλά επίπεδα όπως αναμένεται αν το πρόγραμμα παραγωγής ήταν ελεγχόμενο και από την στάθμη της δεξαμενής, αλλά η στάθμη θα είναι λιγότερη ώρα κοντά στα κατώτερα όρια ασφαλείας καθώς θα υπάρχει μεταφορά νερού που θα βοηθάει σε μεγάλο βαθμό την στάθμη να διατηρείται σε υψηλά επίπεδα. Επιπλέον στην περίπτωση που συμβεί κάποιο σφάλμα στην λειτουργία της αφαλάτωσης, δίνεται παραπάνω χρόνος ώστε να επισκευαστεί το σφάλμα προτού η στάθμη της δεξαμενής πέσει κάτω από τα επιτρεπτά όρια.

Το μεταφερόμενο νερό θα αυξήσει το συνολικό κόστος του νερού που θα πληρώνει ο δήμος. Για αυτό τον λόγο θα μπορούσαν να γίνουν συζητήσεις μεταξύ του δήμου και της επιχείρησης ηλεκτρισμού ώστε να δοθεί ένα είδος επιχορήγησης για αγορά νερού από τον δήμο τους καλοκαιρινούς μήνες ώστε να μην υπάρξει μεγάλη επίπτωση στο ηλεκτρικό σύστημα του νησιού. Για τον μήνα Αύγουστο, η ΔΕΗ θα μπορούσε να επιδοτήσει την μεταφορά νερού με ποσό έως 9000€, την διαφορά δηλαδή του κόστους παραγωγής μεταξύ πλήρους παραγωγής και παραγωγής βασισμένης στον άνεμο.

11.5 Σύνοψη

Συνοψίζοντας, η λύση της σύνδεσης της αφαλάτωσης με την ανεμογεννήτρια είναι συμφέρουσα για τους ενδιαφερομένους οι οποίοι είναι η επιχείρηση ηλεκτρισμού και η επιχείρηση διαχείρισης της αφαλάτωσης. Πλέον κερδισμένος είναι ο δήμος της Μήλου καθώς επιλύει το πρόβλημα της λειψυδρίας με κόστος χαμηλότερο από τον υπάρχον (μεταφορά νερού). Η επιχείρηση ηλεκτρισμού κερδίζει καθώς τα οικονομικά αποτελέσματα αν γίνει η σύνδεση είναι καλύτερα από το αν ήταν δύο διαφορετικές επιχειρήσεις. Τέλος η επιχείρηση της αφαλάτωσης είναι κερδισμένη καθώς η εξάρτηση από το δίκτυο είναι μικρότερη, δηλαδή σε περίπτωση βλάβης της επιχείρησης ηλεκτρισμού, μπορεί να συνεχίσει να λειτουργεί. Ακόμα, αν εξεταστεί μόνο η επιχείρηση της αφαλάτωσης και όχι η σύμπραξη ανεμογεννήτριας και αφαλάτωσης, τα οικονομικά αποτελέσματα είναι καλύτερα όσον αφορά το κόστος νερού σε ενέργεια. Σε κάθε περίπτωση βέβαια, θα πρέπει να δίνεται το πρόγραμμα αφαλάτωσης στην επιχείρηση ηλεκτρισμού ώστε να μπορεί η επιχείρηση ηλεκτρισμού να ανταποκρίνεται στην αύξηση του φορτίου.

Βιβλιογραφία

- ¹ 5^ο Εθνικό συνέδριο για τις ήπιες μορφές ενέργειας, Αθήνα, 6-8 Νοεμβρίου 1996 Τόμος Α, σελ 478
- ² Μέθοδοι και Συστήματα Αφαλάτωσης: Αρχές Διεργασιών Αφαλάτωσης, Ε. Δεληγιάννη, Β. Μπελεσιώτης Κεφάλαιο 1
- ³ Μέθοδοι και Συστήματα Αφαλάτωσης: Αρχές Διεργασιών Αφαλάτωσης, Ε. Δεληγιάννη, Β. Μπελεσιώτης σελ 15-16
- ⁴ Μέθοδοι και Συστήματα Αφαλάτωσης: Αρχές Διεργασιών Αφαλάτωσης, Ε. Δεληγιάννη, Β. Μπελεσιώτης σελ 20
- ⁵ Μέθοδοι και Συστήματα Αφαλάτωσης: Αρχές Διεργασιών Αφαλάτωσης, Ε. Δεληγιάννη, Β. Μπελεσιώτης σελ 16-17
- ⁶ Μέθοδοι και Συστήματα Αφαλάτωσης: Αρχές Διεργασιών Αφαλάτωσης, Ε. Δεληγιάννη, Β. Μπελεσιώτης, Κεφάλαιο 8.
- ⁷ Προσομοίωση της λειτουργίας αυτόνομου συστήματος αφαλάτωσης με ανεμογεννήτριες, Κόκλας Παναγιώτης Φεβρ. 2004, σελ 32
- ⁸ 5^ο Εθνικό συνέδριο για τις ήπιες μορφές ενέργειας, Αθήνα, 6-8 Νοεμβρίου 1996 Τόμος Α, σελ. 493
- ⁹ Προσομοίωση της λειτουργίας αυτόνομου συστήματος αφαλάτωσης με ανεμογεννήτριες, Κόκλας Παναγιώτης Φεβρ. 2004, σελ 34-37
- ¹⁰ Μέθοδοι και Συστήματα Αφαλάτωσης: Αρχές Διεργασιών Αφαλάτωσης, Ε. Δεληγιάννη, Β. Μπελεσιώτης Κεφάλαιο 6.
- ¹¹ www.desware.net: Encyclopedia of Desalination and Water Resources
- ¹² Current status of water desalination in the Aegean Islands, Ioannis C. Karagiannis, Petros G. Soldatos, Απρίλιος 2006, σελ 59
- ¹³ Giebel G, Brownsword R., Kariniotakis G. ANEMOS Project: “State-Of-The-Art on Short-Term wind Prediction Report”. Διαθέσιμο: http://anemos.cma.fr/download/ANEMOS_D1.1_StateOfTheArt_v1.1.pdf Πρόσβαση Σεπτέμβριος 2007
- ¹⁴ X..Wang ,G.Sideratos, N.Hatziargyriou, L.H.Tsoukalas, ”Wind speed forecasting for Power System Operational Planning”, in Proc. of the 8th PMAPS Conference, Iowa, September 2004, paper 081
- ¹⁵ Ιστοσελίδα κατασκευαστή ανεμογεννητριών Vestas www.vestas.com
- ¹⁶ Madsen, H., Kariniotakis, G., Nielsen, H.Aa., Nielsen, T.S., Pinson, P., "A Protocol for Standardising the Performance Evaluation of Short-Term Wind Power Prediction Models", CD-Rom Proceedings of the Global WindPower 2004 Conference, Chicago, Illinois, USA, March 28-31, 2004.σελ 3-8
- ¹⁷ www.wikipedia.org, Wikipedia, the free encyclopedia
- ¹⁸ Antonis G. Tsikalakis, Yiannis A. Katsigiannis, Pavlos S. Georgilakis, Nikos D. Hatziargyriou “Determining and Exploiting the Distribution Function of Wind Power Forecasting error for the Economic Operation of Autonomous Power Systems”, In proc of the 2006 IEEE PES General Meeting 18-22 June 2006, Montreal, Canada, PESGM2006-00959
- ¹⁹ The Half-Normal distribution method for measurements error: two case studies, J. Martin Bland, σελ 1-2
- ²⁰ Electrical Generation Unit Commitment Planning, Lindo Systems, June 2003
- ²¹ Διεύθυνση Περιφέρειας Νήσων, ΔΕΗ ΑΕ., Στοιχεία παραγωγής από ΑΠΕ για τη Νήσο Μήλο, 2006
- ²² Διεύθυνση Περιφέρειας Νήσων, ΔΕΗ ΑΕ., Στοιχεία κατανάλωσης ΑΣΠ Μήλου έτους 2006
- ²³ Διεύθυνση Περιφέρειας Νήσων, ΔΕΗ ΑΕ, Στοιχεία εγκατεστημένης ισχύος ΑΣΠ Μήλου, 2006
- ²⁴ “Current status of water desalination in the Aegean Islands”, Ioannis C. Karagiannis, Petros G. Soldatos, Desalination, Volume 203, Issues 1-3, 5 February 2007, Pages 56-61.
- ²⁵ www.dei.gr, Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, Τιμολόγια Ηλεκτρικής ενέργειας.
- ²⁶ Νόμος 3468/2006, Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, ΦΕΚ 129, 27 Ιουνίου 2006
- ²⁷ Διεύθυνση Περιφέρειας Νήσων, ΔΕΗ ΑΕ., Στοιχεία κόστους καυσίμου, 2006



