



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΚΡΗΤΗΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Μοντελοποίηση Οικονομικής Λειτουργίας Σταθμών  
Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας Συνδυασμένου  
Κύκλου Χανίων και επίπτωση στην Οικονομική  
λειτουργία του ΣΗΕ Κρήτης**

**ΜΠΡΕΛΛΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ  
2009030042**

**ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

Καθηγητής, Καλαϊτζάκης Κωνσταντίνος (επιβλέπων)  
Καθηγητής, Σταυρακάκης Γεώργιος  
Δρ. Τσικαλάκης Αντώνιος

Για το ακαδημαϊκό έτος 2014-2015



## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Καλαϊτζάκη Κωνσταντίνο για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με την παρούσα εργασία.

Ευχαριστώ θερμά τον κ. Τσικαλάκη Αντώνιο για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε και το χρόνο που διάθεσε κατά την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Επίσης ευχαριστώ θερμά τον κ. Θαλασσινάκη και την κ. Γιαντίδου από το ΔΕΔΔΗΕ/ ΔΔΝ/ Υπηρεσίες Κρήτης Ρόδου για την παροχή των στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση αυτής της εργασίας.



## Περίληψη

Οι μονάδες Συνδυασμένου Κύκλου αποτελούν τις πιο διαδεδομένες προσθήκες συμβατικής παραγωγής στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ) λόγω της γρήγορης απόκρισης τους, της σχετικά γρήγορης εκκίνησής τους, της υψηλής πυκνότητας ισχύος και κυρίως λόγω της πολύ καλής απόδοσης που μπορούν να έχουν και αγγίζει το 60% περίπου.

Η εργασία αυτή εστιάζει στη μεγαλύτερη μονάδα του ΣΗΕ Κρήτης του Συνδυασμένου Κύκλου του σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας των Χανίων χρησιμοποιώντας πραγματικά δεδομένα. Κατ' αρχήν συσχετίζει την παραγωγή των αεροστροβίλων που την αποτελούν με τη συνολική παραγωγή της μονάδας. Στη συνέχεια για την παραγωγή των μονάδων και την κατανάλωση καυσίμου που συλλέξαμε από το παροχόμετρο πραγματικού χρόνου της μονάδας βρίσκουμε την καινούργια εξίσωση κατανάλωσης καυσίμου του και όχι βασιζόμενοι σε απολογιστικά στοιχεία όπως μπορούσε να γίνει μέχρι σήμερα.

Στην συνέχεια υλοποιήσαμε ένα αλγόριθμο ανακατανομής ενός μέρους του φορτίου των θερμικών μονάδων για να ελέγξουμε τις επιπτώσεις της καινούργιας εξίσωσης κατανάλωσης καυσίμου του Συνδυασμένου Κύκλου στο Σ.Η.Ε. της Κρήτης. Εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο στις τιμές της πραγματικής κατανομής είδαμε ότι έχουμε αρκετές μεταβολές στην παραγωγή των μονάδων, στην κατανάλωση καυσίμου και στο κόστος λειτουργίας του Σ.Η.Ε. Κρήτης που οφείλονται και στον αλγόριθμο αλλά και στην καινούρια εξίσωση κατανάλωσης του Συνδυασμένου. Η εξοικονόμηση που μπορεί να επιτευχθεί μπορεί να φτάσει έως και 13 εκ. € εξαιτίας της βελτιστοποιημένης λειτουργίας.

Τέλος η ακριβέστερη γνώση της εξίσωσης κατανάλωσης καυσίμου με μετρούμενα μεγέθη και όχι απολογιστικά μπορεί να επιφέρει οικονομική βελτίωση που αγγίζει τα 437 χιλ. € λόγω της αποτελεσματικότερης οικονομικής κατανομής στις μονάδες παραγωγής.

# **Abstract**

Combined Cycle Units are the most popular additions in Power Systems because of their quick response, relatively fast start-up, high power density and mostly because they can have really improved efficiency that can be up to 60%.

In this thesis focus on the largest conventional in the Cretan Power System, the Combined Cycle Unit in Chania power plant, using actual data is given. First of all, a correlation between the production of gas turbines and the whole Combined Cycle Unit production is made. Then actual real-time data from the fuel flow meter correlated with actual power production has been made in order to calculate a more precise fuel consumption curve for this unit rather using monthly statistic data to do so.

Then an algorithm for optimal redistribution of part of the thermal production on the island of Crete was built in order to calculate the potential benefits for the island of Crete of a more efficient Economic Dispatch than the current one. Using actual one years' data significant change in the production of the units, the fuel consumption and the running cost has been noted. The updated equation for the Combined Cycle unit and this optimal redistribution of part of the thermal production leads to savings up to 13 million € compared to actual thermal production.

Finally, the improved knowledge of fuel consumption curve with actual data and not statistic ones can save up to 437 thousand € due to more effective dispatch of power production among the thermal units.

# Περιεχόμενα

1	-Εισαγωγή.....	11
1.1	- Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας Ορισμός .....	11
1.2	- Δομή και Λειτουργία Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας .....	12
1.2.1	Διασυνδεδεμένα και μη Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας .....	15
1.2.1.1	Αυτόνομα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	16
1.2.1.2	Διασυνδεδεμένα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	18
1.3	- Μονάδες Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας .....	20
1.3.1	- Ανανεώσιμες Μονάδες Παραγωγής.....	20
1.3.1.1	- Αιολικά Πάρκα.....	21
1.3.1.2	- Φ/Β .....	21
1.3.1.3	- Υδροηλεκτρικά.....	22
1.3.1.4	- Λοιπές ΑΠΕ .....	22
1.3.2	- Συμβατικές Μονάδες Παραγωγής.....	23
1.3.2.1	- Μονάδες diesel.....	23
1.3.2.2	Μονάδες Ατμοηλεκτρικές .....	24
1.3.2.3	Αεροστροβιλικές Μονάδες Παραγωγής.....	27
1.3.3	Οι μονάδες Συνδυασμένου Κύκλου .....	29
1.3.3.1	Περιγραφή λειτουργίας.....	29
1.3.3.2	Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα.....	30
1.3.3.2.1	Συνδυασμένος κύκλος με ηλιοθερμικό εργοστάσιο .....	31
1.3.3.3	Εγκαταστημένη ισχύς στη χώρα μας.....	33
1.3.3.4	Προσπάθειες μοντελοποίησης μονάδων συνδυασμένου Κύκλου. ....	34
1.3.3.4.1	Με βάση τα στοιχεία του κατασκευαστή .....	35
1.3.3.4.2	Με τη χρήση απολογιστικών στοιχείων (Μηνιαίες εκθέσεις) .....	36
1.3.3.4.3	Χρήση τεχνικών τεχνητής νοημοσύνης.....	37
1.4	Σκοπός και δομή της εργασίας .....	38
1.4.1	Δομή της Εργασίας.....	38

2	Το Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας Κρήτης .....	39
2.1	Γενική περιγραφή της Κρήτης.....	39
2.2	Ιστορική αναδρομή της Ηλεκτρικής ενέργειας στην Κρήτη .....	40
2.3	Γενικά χαρακτηριστικά Ηλεκτρικού Δικτύου Κρήτης .....	41
2.4	Ζήτηση φορτίου Κρήτης .....	43
2.5	Θερμικοί Σταθμοί Παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Κρήτη.....	46
2.5.1	Α.Η.Σ. Λινοπεραμάτων Ηρακλείου.....	47
2.5.2	Α.Η.Σ. Αθρινόλακου Λασιθίου.....	47
2.5.3	Σταθμός παραγωγής Ξυλοκαμάρας Χανίων.....	48
2.5.3.1	Αεροστροβλικές Μονάδες.....	49
2.5.3.1.1	Αεροστρόβιλος 1 Χανίων .....	49
2.5.3.1.2	Αεροστρόβιλος 4 Χανίων .....	49
2.5.3.1.3	Αεροστρόβιλος 5 Χανίων .....	50
2.5.3.1.4	Αεροστρόβιλοι 11 και 12 Χανίων .....	50
2.5.3.1.5	Αεροστρόβιλος 13 Χανίων .....	51
2.5.4	Η μονάδα Συνδυασμένου κύκλου των Χανίων .....	52
2.5.4.1	Τεχνικά χαρακτηριστικά μονάδων που την αποτελούν.....	52
2.5.4.2	Συμπεριφορά μονάδων παραγωγής –συσχέτιση παραγωγής.....	53
2.5.4.2.1	Παραγωγή και ώρες λειτουργίας μονάδων.....	53
2.5.4.2.2	Λειτουργία "Μισού" Συνδυασμένου κύκλου ΑΕΡ6 και ΑΤΜ1 .....	54
2.5.4.2.3	Λειτουργία "Μισού" Συνδυασμένου κύκλου ΑΕΡ7 και ΑΤΜ1 .....	65
2.5.4.2.4	Ολόκληρος συνδυασμένος κύκλος .....	75
2.5.4.3	Συστήματα μετρήσεων καυσίμου .....	90
2.5.4.4	Εξίσωση καμπύλης κατανάλωσης καυσίμου.....	93
2.6	Τεχνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά μονάδων Κρήτης-Σύνοψη.....	95
2.7	Μονάδες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.....	98
2.7.1	Μικρά Υδροηλεκτρικά .....	98
2.7.2	Μονάδες Παραγωγής Βιομάζας .....	99



2.7.3	Αιολικά Πάρκα .....	100
2.7.4	Φωτοβολταϊκά Συστήματα .....	101
3	Περιγραφή μεθοδολογίας προβλήματος -Ανακατανομή φορτίου στις μονάδες .....	102
3.1	Ανακατανομή φορτίου στις μονάδες .....	102
3.2	Περιγραφή λειτουργίας του κώδικα .....	104
4	Αποτελέσματα Εκτέλεσης προγράμματος .....	108
4.1	Επίπτωση βελτιωμένου αλγορίθμου κατανομής .....	108
4.1.1	Μεταβολή παραγωγής μονάδων .....	108
4.1.1.1	Μεταβολή παραγωγής κατά ομάδες μονάδων .....	109
4.1.1.2	Μεταβολή παραγωγής ανά είδος μονάδων .....	112
4.1.2	Μεταβολή παραγωγής εργοστασίων .....	118
4.1.3	Μεταβολή κατανάλωσης καυσίμου .....	123
4.1.3.1	Μεταβολή κατανάλωσης Συνδυασμένου Κύκλου .....	127
4.1.4	Μεταβολή κόστους παραγωγής .....	129
4.1.4.1	Επίδραση στο κόστος ανά MWh .....	134
4.1.4.2	Μεταβολή κόστους Συνδυασμένου Κύκλου .....	135
4.1.5	Μεταβολή Ρύπων συστήματος .....	137
4.2	Επίπτωση ακριβέστερης γνώσης εξίσωσης κατανάλωσης καυσίμου .....	141
4.2.1	Μεταβολή παραγωγής Μονάδων .....	141
4.2.1.1	Μεταβολή παραγωγής κατά ομάδες μονάδων .....	142
4.2.1.2	Μεταβολή παραγωγής είδος μονάδων .....	146
4.2.2	Μεταβολή παραγωγής εργοστασίων .....	152
4.2.3	Μεταβολή Κατανάλωσης Καυσίμου .....	158
4.2.3.1	Μεταβολή κατανάλωσης Συνδυασμένου Κύκλου .....	162
4.2.4	Μεταβολή κόστους παραγωγής .....	163
4.2.4.1	Επίδραση στο κόστος ανά MWh .....	167
4.2.4.2	Μεταβολή κόστους Συνδυασμένου Κύκλου .....	168
4.2.5	Μεταβολή Ρύπων Συστήματος .....	170

5	Συμπεράσματα-Προτάσεις .....	174
5.1	Ως προς την αξία της βελτιστοποιημένης κατανομής .....	175
5.2	Ως προς την αξία της γνώσης των εξισώσεων.....	176
5.3	Προτάσεις.....	178
6	Βιβλιογραφία .....	179

# 1 -Εισαγωγή

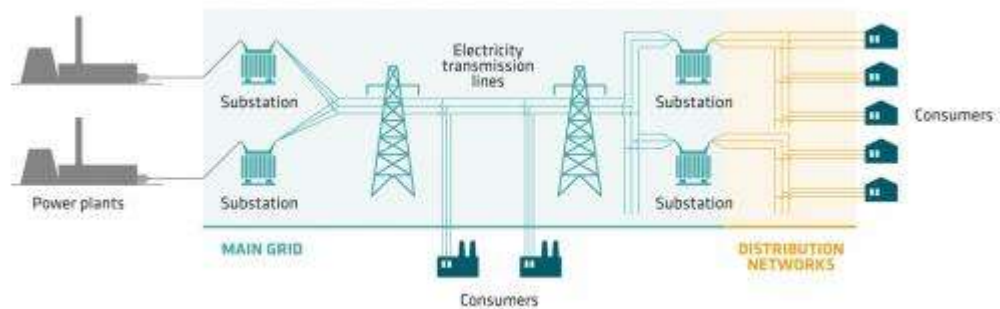
## 1.1 - Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας Ορισμός

Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας (Σ.Η.Ε) είναι το σύνολο των εγκαταστάσεων (γεννήτριες, μετασχηματιστές, γραμμές μεταφοράς, διακόπτες διατάξεις αντιστάθμισης) και μέσων , που χρησιμοποιούνται για να τροφοδοτηθεί με ηλεκτρική ενέργεια ένα σύνολο καταναλωτών. Προορισμός ενός τέτοιου συστήματος είναι η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε μια εξυπηρετούμενη περιοχή καταναλώσεως. Με πιο απλά λόγια ο κύριος σκοπός ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και η μεταφορά της στους τελικούς καταναλωτές. Στο εξωτερικό αναφέρονται στο Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας ή ηλεκτρικό δίκτυο με τον όρο grid.

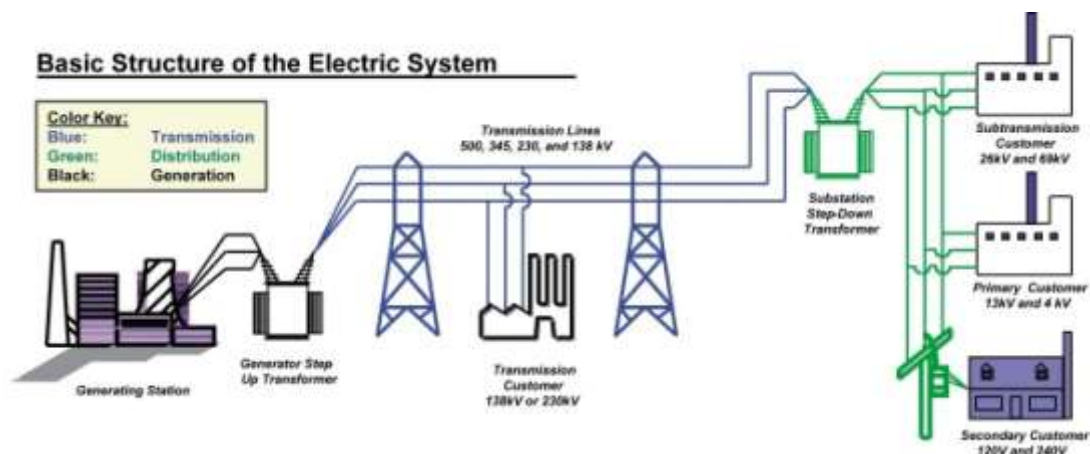
Το 99% των Συστημάτων Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας παράγουν εναλλασσόμενο ρεύμα AC και έχουν την ιδιαιτερότητα ότι από την στιγμή που την παράγουν μέχρι την στιγμή που θα καταναλωθεί η ηλεκτρική ενέργεια βρίσκεται σε μια συνεχή ροή και καθώς δεν μπορεί να αποθηκευτεί πρέπει να καταναλώνεται την ώρα που παράγεται. Η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται στους σταθμούς παραγωγής, οι οποίοι περιέχουν γεννήτριες διάφορων τύπων, και η μεταφορά της γίνεται σε πρώτο στάδιο από τις γραμμές υψηλής τάσης (έως 400kV) , έπειτα από τις γραμμές μέσης τάσης για να φτάσουν στον τελικό καταναλωτή από τις γραμμές χαμηλής τάσης. Όλα τα συστήματα παρόλο που βρίσκονται σε διαφορετικές περιοχές έχουν κάποια κοινά χαρακτηριστικά όπως:

- Σταθερή συχνότητα
- Σταθερή τάση
- Υψηλή αξιοπιστία τροφοδοτήσεως
- Πρέπει να παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια οπουδήποτε υπάρχει ζήτηση.
- Η ζήτηση πραγματικής και άεργου ισχύος μεταβάλλεται με τον χρόνο, και το σύστημα πρέπει να ικανοποιεί αυτή τη συνεχώς μεταβαλλόμενη ζήτηση.
- Η παρεχόμενη ενέργεια πρέπει να ικανοποιεί ορισμένους όρους ποιότητας. Τρεις βασικοί παράγοντες συνιστούν την ποιότητα αυτή:
- Η ενέργεια πρέπει να παρέχεται με τα ελάχιστα οικονομικά και οικολογικά κόστη.
- Πρέπει να σχεδιαστεί και να λειτουργεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε να είναι φιλικό προς το περιβάλλον, ασφαλές, αξιόπιστο και να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια καλής ποιότητας στη χαμηλότερη κατά το δυνατό τιμή.

Μια τυπική μορφή ενός Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας φαίνεται στην Εικόνα 1-1 ενώ η Εικόνα 1-2 μας δείχνει πως φτάνει η ηλεκτρική ενέργεια στον αντίστοιχο προορισμό της.



Εικόνα 1-1: Βασική δομή Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας



Εικόνα 1-2: Πώς φτάνει η ηλεκτρική ενέργεια στον προορισμό της<sup>i</sup>

## 1.2 - Δομή και Λειτουργία Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας<sup>ii</sup>

Ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας διακρίνεται στα εξής ειδικότερα συστήματα, δηλαδή το «Σύστημα Παραγωγής», το «Σύστημα Μεταφοράς» και το «Σύστημα Διανομής». Το Σύστημα Παραγωγής περιλαμβάνει τους σταθμούς παραγωγής, όπου παράγεται το ηλεκτρικό ρεύμα, μαζί με τους υποσταθμούς ανυψώσεως της τάσεως του δικτύου, και τους υποσταθμούς υποβιβασμού της τάσεως σε μέση τάση προς τροφοδότηση των δικτύων διανομής. Μια τυπική μορφή ενός σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας φαίνεται στην Εικόνα 1-3.



Εικόνα 1-3: Σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Οι γεννήτριες των σταθμών παράγουν την ηλεκτρική ενέργεια με τάση 15 kV ή 20 kV. Η τάση των 15 kV ή 20 kV είναι χαμηλή ώστε να μην ενδείκνυται να μεταφερθεί η ηλεκτρική ενέργεια σε μεγάλες αποστάσεις, λόγω μεγάλων απωλειών. Έτσι η τάση ανυψώνεται στα 150 kV ή 400 kV και μετά με τη γραμμή μεταφοράς μεταφέρεται κοντά στους καταναλωτές. Ελάχιστοι καταναλωτές τροφοδοτούνται με τάση 150 kV (π.χ. Πελάτες Υψηλής Τάσης). Η ηλεκτρική ενέργεια διανέμεται με Μ.Τ. στους μεγάλους καταναλωτές (βιομηχανίες κ.λπ.) ενώ στους μικρούς (σπίτια, καταστήματα, βιοτεχνίες) με Χ.Τ. Έτσι υπάρχει ανάγκη και άλλων μετασχηματιστών από Υ.Τ. ή Υ.Υ.Τ. σε Μ.Τ. και μετά από Μ.Τ. σε Χ.Τ. Εκτός από τα προηγούμενα πρέπει να γίνει και η διασύνδεση των σταθμών του συστήματος μιας και από κάπου πρέπει να ξεκινούν οι γραμμές μεταφοράς και διανομής. Όλες οι παραπάνω απαιτήσεις καλύπτονται από τον σχεδιασμό των υποσταθμών (Υ/Σ).

Με το Σύστημα Μεταφοράς η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται από τους σταθμούς παραγωγής προς τις περιοχές καταναλώσεως. Περιλαμβάνει τα δίκτυα των γραμμών μεταφοράς υψηλής ή υπερύψηλης τάσης τα οποία γίνονται αντιληπτά και στην καθημερινότητα από τους τεράστιους πυλώνες που βλέπουμε δίπλα από τις εθνικές ή σε κάποια άλλα σημεία και έχει την μορφή που φαίνεται στην Εικόνα 1-4.

Το σύστημα μεταφοράς περιλαμβάνει τα δίκτυα των γραμμών μεταφοράς υψηλής (Υ.Τ. 150kV) ή υπερύψηλης (Υ.Υ.Τ. 400kV) τάσης, τους Υ/Σ ζεύξης και τους Υ/Σ υποβιβασμού σε μέση τάση (Μ.Τ. 15/20kV). Συνεπώς, μέσω του συστήματος μεταφοράς πραγματοποιείται η διάχυση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τους σταθμούς παραγωγής στο φορτίο.



Εικόνα 1-4: Πυλώνας μεταφοράς υψηλής τάσης

Η μεταφορά του ηλεκτρικού ρεύματος γίνεται με υψηλή τάση, διότι συνεπάγεται μικρότερες ηλεκτρικές απώλειες και συνεπώς οικονομικότερη λειτουργία. Χρησιμοποιούνται διάφορες βαθμίδες τάσεως μεταφοράς, αναλόγως της αποστάσεως και του μεγέθους της ισχύος που πρέπει να μεταφερθεί. Οι εφαρμοζόμενες διεθνώς τάσεις μεταφοράς έχουν τιμές 66 kV, 110 kV, 132 kV, 138 kV, 150 kV, 220kV, 275 kV, 345 kV, 400 kV, 500 kV, 750 kV, 1100 kV, 1500 kV και 2000 kV, από τις οποίες οι τρεις τελευταίες βρίσκονται υπό μελέτη και αφορούν στο μέλλον. Από τις εν λειτουργία τάσεις μεταφοράς οι από 66 έως 220 kV αποτελούν τη βαθμίδα των υψηλών τάσεων (ΥΤ), από

275 έως και 500 kV τη βαθμίδα των υπερύψηλων τάσεων (YYT) και οι άνω των 500 kV τη βαθμίδα των εξαιρετικά υψηλών τάσεων (EYT). Πρέπει να σημειωθεί ότι έχουμε κυρίως μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας με εναλλασσόμενο ρεύμα ενώ η μεταφορά με συνεχές είναι περιορισμένη.

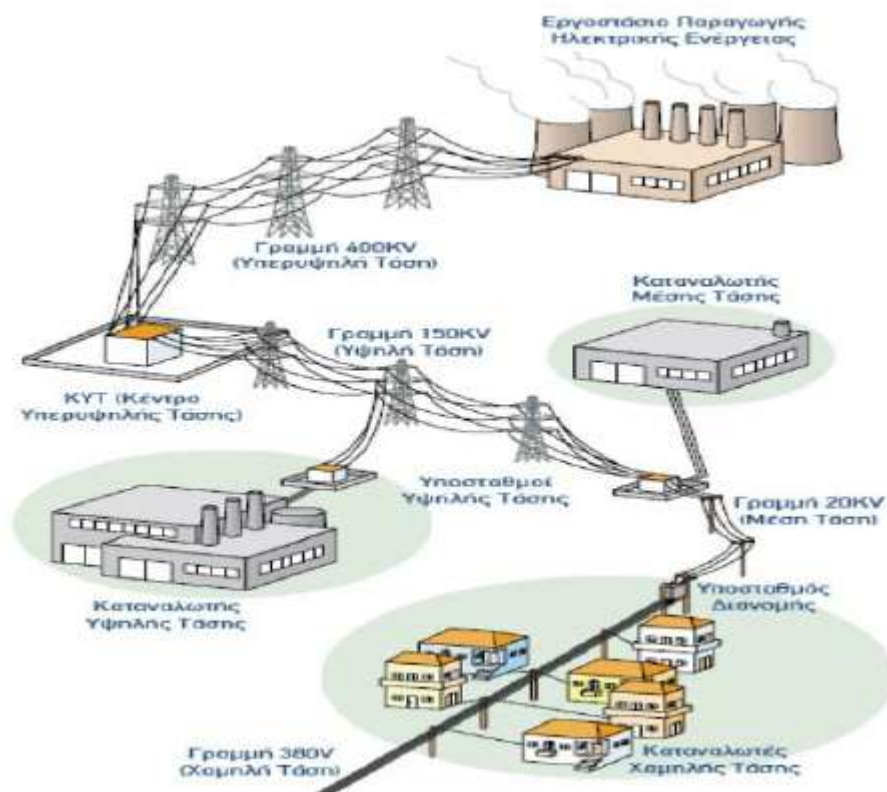
Το Σύστημα Διανομής περιλαμβάνει τα δίκτυα διανομής μέσης και χαμηλής τάσης, στα οποία δίκτυα υπάγονται και οι υποσταθμοί διανομής μέσω των οποίων η μέση τάση υποβιβάζεται σε χαμηλή τάση. Με τα δίκτυα διανομής η ηλεκτρική ενέργεια διανέμεται στις μικρότερες περιοχές φορτίου, και παρέχεται στους καταναλωτές μέσης και χαμηλής τάσης. Το σημείο όπου η μέση τάση γίνεται χαμηλή ξεχωρίζει από τους μετασχηματιστές που υπάρχουν στους πυλώνες που έχουν την μορφή όπως στην Εικόνα 1-5.

Το σύστημα διανομής περιλαμβάνει το λοιπό δίκτυο τροφοδοσίας της μέσης (15/20kV) και χαμηλής τάσης (Χ.Τ.380V) προς του τελικούς καταναλωτές.



Εικόνα 1-5: Πυλώνας με μετασχηματιστή για μετατροπή σε χαμηλή τάση

Για καλύτερη κατανόηση στην Εικόνα 1-6 δίνεται η σχηματική αναπαράσταση της δομής ενός Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας που δείχνει και την διασύνδεση από την παραγωγή μέχρι και την κατανάλωση.



Εικόνα 1-6: Δομή Συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας από την παραγωγή στην κατανάλωση

### 1.2.1 Διασυνδεδεμένα και μη Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η μεγάλη ποικιλία της μορφολογίας του εδάφους έχει ως άμεσο αποτέλεσμα την δημιουργία γεωγραφικά απομονωμένων περιοχών, οι οποίες θα μπορούσαν να θεωρηθούν ως ανεξάρτητα «κομμάτια» μέσα σε ένα γενικότερο γεωγραφικό πλαίσιο. Τέτοια εδάφη είναι κυρίως τα νησιά, μικρού, μεσαίου ή μεγάλου μεγέθους, αλλά και αρκετές απομακρυσμένες και δυσπρόσιτες περιοχές. Η ανάγκη της ενεργειακής κάλυψης τέτοιων περιοχών αποτελεί ένα ξεχωριστό πεδίο έρευνας και εφαρμογής για την επιστήμη των Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας. Η παραγωγή, η μεταφορά αλλά και ο έλεγχος των συγκεκριμένων συστημάτων παρουσιάζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις από τα αντίστοιχα, τα οποία αναπτύχθηκαν σε πολύ μεγαλύτερες γεωγραφικές περιοχές.

Ο σημαντικότερος διαχωρισμός σύμφωνα με τη δομή λειτουργίας τους, είναι:

- ❑ Αυτόνομα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας.
- ❑ Διασυνδεδεμένα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Μεταξύ και των δύο κατηγοριών Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας πρέπει να ικανοποιούνται πάντα δύο σημαντικοί λειτουργικοί παράμετροι, όπως η ικανοποίηση του ενεργειακού ισοζυγίου και η διατήρηση της συχνότητας που είναι βασικές παράμετροι για την ομαλή λειτουργία τους.

Οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κατατάσσονται σε δυο κατηγορίες ανάλογα τον τρόπο λειτουργίας τους:

-Σταθμοί βάσης



-Σταθμοί αιχμής

Οι σταθμοί βάσης λειτουργούν συνήθως για μεγάλα χρονικά διαστήματα (λειτουργία επί 24ωρου βάσεως) και καλύπτουν τις βασικές ανάγκες της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ οι σταθμοί αιχμής λειτουργούν σε ώρες μεγάλης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, ώρες αιχμής, όπως τονίζει και το όνομά τους.

Εδώ αξίζει να αναφερθεί ότι μόνο τα Διασυνδεδεμένα Δίκτυα και τα πολύ μεγάλα Αυτόνομα μπορούν να έχουν μονάδες Συνδυασμένου Κύκλου καθώς είναι από τις μονάδες βάσης που έχουν πολύ μεγάλη παραγωγή άρα πρέπει να το Σ.Η.Ε. στο οποίο βρίσκονται να έχει μεγάλη ζήτηση.

### **1.2.1.1 Αυτόνομα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας**

Αυτόνομα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας χαρακτηρίζονται τα συστήματα εκείνα, τα οποία βρίσκονται εγκατεστημένα σε νησιά ή γενικότερα σε απομονωμένες γεωγραφικές περιοχές, οι οποίες δεν έχουν την δυνατότητα διασύνδεσης με ένα ευρύτερο σύνολο συστημάτων, όπως είναι μέχρι σήμερα η Κύπρος και η Κρήτη. Η απομόνωση ενός δικτύου από ένα τέτοιο πλαίσιο «συνεργασίας», όπου συνυπάρχουν και αλληλοϋποστηρίζονται πολλά διαφορετικά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία μίας ουσιαστικά ανεξάρτητης και αυτόνομης ενεργειακής «νησίδας».

Στα αυτόνομα συστήματα η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια θα πρέπει να καλύπτει κάθε στιγμή την ολοένα αυξανόμενη ζήτηση. Αυτό το γεγονός όμως, συνεπάγεται της παρουσίας ορισμένων ενεργειακών προβλημάτων, που αντιμετωπίζονται σε ένα αυτόνομο Σ.Η.Ε. όπως της Κύπρου, της Κρήτης αλλά και σε πολλά άλλα μικρότερα αυτόνομα νησιωτικά συστήματα της Ελλάδας.

Τα κυριότερα από αυτά είναι:

-Η μεγάλη ενεργειακή εξάρτηση από το πετρέλαιο (diesel, μαζούτ), σε σχέση με την ηπειρωτική Ελλάδα για τον λόγο ότι δεν υπάρχουν τοπικά κοιτάσματα ορυκτών καυσίμων που είναι οικονομικότερα (υψηλό κόστος μεταφοράς και ολοένα αυξανόμενη τιμή πετρελαίου).

-Οι υψηλοί ρυθμοί αύξησης ενεργειακής ζήτησης που οφείλονται στην αλματώδη ανάπτυξη του βιοτικού επιπέδου και του τουρισμού

-Το υψηλό κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, λόγω της υπερλειτουργίας ορισμένων συμβατικών μονάδων παραγωγής με υψηλό κόστος λειτουργίας ιδιαίτερα κατά τις περιόδους αιχμής (καλοκαιρινοί μήνες).

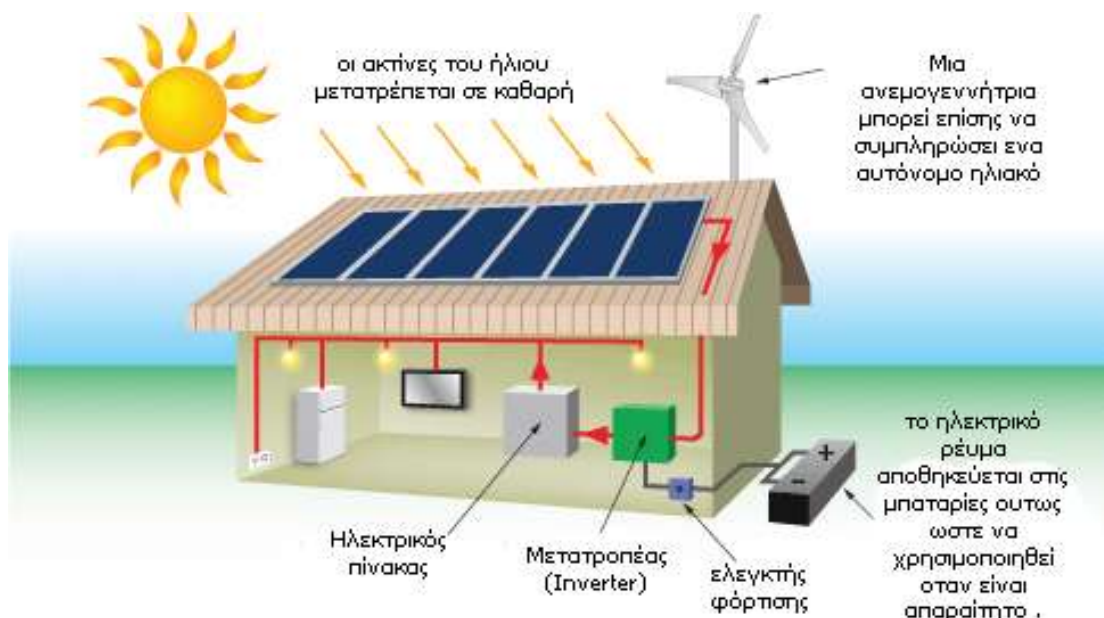
-Η πολλαπλασιαζόμενη αύξηση ενεργειακής ζήτησης κατά τους θερινούς μήνες σε αντίθεση με τους χειμερινούς (μέρη στα οποία κατά τους θερινούς μήνες, ο πληθυσμός πολλαπλασιάζεται, έχουν αρκετά χαμηλό συντελεστή φορτίου, το οποίο είναι αρνητικό, ιδιαίτερα για τα αυτόνομα ΣΗΕ).

Η βασική διαφορά ως προς τον τρόπο λειτουργίας των συμβατικών μονάδων, είναι ο τύπος της καύσιμης ύλης που χρησιμοποιούν. Επειδή είναι πολύ απομακρυσμένα από τους κυρίους αγωγούς φυσικού αερίου και πετρελαίου, σε όσες χώρες υπάρχουν, πρέπει να



ανεφοδιάζονται, κυρίως από πλοία tanker, με το είδος πετρελαίου που χρειάζονται το οποίο αυξάνει σημαντικά το κόστος του πετρελαίου οπότε και το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης πολλές από τις μονάδες που χρησιμοποιούνται, κυρίως στις πιο απομακρυσμένες όπως στην Ελλάδα στα ακριτικά νησιά, είναι παλαιότερες και δεν δέχονται την απαραίτητη συντήρηση που χρειάζονται καθώς είναι επίσης πολύ ακριβή η μετακίνηση ανταλλακτικών και προσωπικού σε μερικές περιοχές.

Εκτός από τις διαφορές που παρουσιάζονται στις μονάδες και στον τρόπο παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας υπάρχουν και σημαντικές διαφορές ως προς το μέγεθος που έχουν τα Αυτόνομα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας. Ουσιαστικά πλέον και με τις καινούργιες εφευρέσεις στον τομέα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, όπως επίσης και με την διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας που πλέον έχουν και το αντίστοιχο μικρό μέγεθος, το μέγεθος των συστημάτων έχει εύρος από ένα σπίτι μέχρι ένα μεγάλο νησί. Παράδειγμα ενός αυτόνομου συστήματος σε σπίτι δίνεται στην Εικόνα 1-7 όπου το σπίτι αυτό μπορεί να καλύψει τις ενεργειακές του απαιτήσεις μόνο με τα στοιχεία που έχει και μπορεί να δώσει και το πλεόνασμά του στο δίκτυο.



Εικόνα 1-7: Αυτόνομο Σ.Η.Ε. σε σπίτι

Συνήθως όμως ένα Αυτόνομο Σ.Η.Ε. είναι πολύ μεγαλύτερο από αυτό και πιάνει σε εύρος ένα ολόκληρο νησί ή κάποια απομονωμένη γεωγραφικά περιοχή. Στην Ελλάδα συναντάμε πολύ συχνά Αυτόνομα Σ.Η.Ε. καθώς τα περισσότερα νησιά είναι πολύ απομακρυσμένα από την Ηπειρωτική χώρα οπότε για να ηλεκτροδοτηθούν χρειάζονται δικές τους μονάδες.

Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι το Σ.Η.Ε. Ρόδου το οποίο είναι Αυτόνομο Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας που ηλεκτροδοτεί ολόκληρο το νησί της Ρόδου, που ο σταθμός παραγωγής του φαίνεται στην Εικόνα 1-8.



Εικόνα 1-8: ΑΗΣ Ρόδου

### 1.2.1.2 Διασυνδεδεμένα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας

Στην περίπτωση των διασυνδεδεμένων συστημάτων υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γειτονικά Σ.Η.Ε (άλλων Χωρών), σε αντίθεση με την περίπτωση των αυτόνομων δικτύων που η δυνατότητα αυτή δεν υπάρχει. Αυτές οι διασυνδέσεις επελήφθησαν από την ανάγκη συνεργασίας διαφορετικών ΣΗΕ με στόχο την οικονομικότερη και πιο αξιόπιστη λειτουργία τους.

Τα διασυνδεδεμένα ΣΗΕ παρέχουν την δυνατότητα περιορισμού των επιπλέον μονάδων παραγωγής που απαιτούνται για την κάλυψη του μεγίστου φορτίου ή των ξαφνικών, απροσδόκητων μεταβολών φορτίου. Αυτό επιτυγχάνεται με τις ανταλλαγές ισχύος που πραγματοποιούν μεταξύ τους. Επίσης οι διασυνδέσεις επιτρέπουν την καλύτερη αξιοποίηση των αποδοτικότερων μονάδων των ΣΗΕ και αυτό μειώνει το κόστος παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτές οι ανταλλαγές ηλεκτρικής ενέργειας στη σημερινή απελευθερωμένη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας της Ευρωπαϊκής Ένωσης αποτελούν το βασικότερο εργαλείο για την οικονομική και αξιόπιστη λειτουργία των ΣΗΕ. Όμως για να μπορέσουν να διασυνδεθούν δύο ΣΗΕ δεν πρέπει μόνο να έχουν την ίδια ονομαστική συχνότητα λειτουργίας, αλλά να υπάρχει και συγχρονισμός μεταξύ όλων των μονάδων παραγωγής των δύο ΣΗΕ. Συνεπώς, μόνο εξελεγμένα ΣΗΕ, που πληρούν αυστηρές τεχνικές προδιαγραφές επιτρέπεται να διασυνδεθούν.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα βασικά πλεονεκτήματα ενός διασυνδεδεμένου συστήματος:

- Μεγάλοι κεντρικοί σταθμοί παραγωγής που εξυπηρετούν ένα ευρύ γεωγραφικό και ποσοτικό φάσμα ηλεκτρικών φορτίων, σε αντίθεση με την αναγκαστική εγκατάσταση μικρών σταθμών παραγωγής σε κάθε ένα από τα επιμέρους απομονωμένα συστήματα, με άμεσο αποτέλεσμα την μείωση του ανοιγμένου (€/MW) κόστους εγκατάστασης για κάθε MW.

- Υπάρχει η δυνατότητα εγκατάστασης μεγαλύτερων και με μικρότερο κόστος λειτουργίας συμβατικών μονάδων παραγωγής, ενώ παράλληλα δίνεται η δυνατότητα μεταφοράς της

παραγόμενης ενέργειας μέσω κεντρικών και πιο οικονομικών γραμμών μεταφοράς υπερύψηλης τάσης ( $\geq 400\text{kV}$ ).

- Υπάρχει μικρότερη ποσοστιαία ανάγκη της στρεφόμενης εφεδρείας, σε αντίθεση πάντα με τα απομονωμένα συστήματα, όπου η στρεφόμενη εφεδρεία είναι ένας από τους πλέον βασικούς παράγοντες της ομαλής και ασφαλούς τους λειτουργίας.

- Υπάρχει διαφοροποίηση της ζήτησης φορτίου μεταξύ περιοχών κατά τη διάρκεια του έτους, συνεπώς απαιτείται μικρότερο πλεόνασμα εγκατεστημένης ισχύος για την κάλυψη του φορτίου μικρών χρονικών περιόδων αιχμής.

- Υπάρχει διαφοροποίηση της ζήτησης φορτίου μεταξύ περιοχών (ετεροχρονισμός) κατά τη διάρκεια του 24ώρου, με αποτέλεσμα την εξομάλυνση της συνολικής εικοσιτετράωρης καμπύλης φορτίου.

- Υπάρχει μεγαλύτερη δυνατότητα διαχείρισης καταστάσεων εκτάκτων αναγκών και αντιμετώπισης ενδεχόμενων διαταραχών, λόγω διασύνδεσης αλλά και μικρής ποσοστιαίας επιρροής των σφαλμάτων στο συνολικό δίκτυο.

Διασυνδεδεμένο Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας είναι και το Σύστημα της Ηπειρωτικής Ελλάδας καθώς είναι Συνδεδεμένο με τα Συστήματα των γειτονικών χωρών. Μια συνολική άποψη του Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας της Ελλάδας και της Διασύνδεσής του με τα γειτονικά Συστήματα δίνεται στην Εικόνα 1-9 όπου φαίνονται καθαρά οι μονάδες βάσης και ισχύος καθώς και οι γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης.



Εικόνα 1-9:Σ.Η.Ε. Ηπειρωτικής Ελλάδας και διασυνδέσεις με γειτονικά

## 1.3 - Μονάδες Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται κυρίως γεννήτριες, που καταναλώνουν καύσιμο ή όχι, που κινούν ένα πηνίο μέσα σε μαγνητικό πεδίο με αποτέλεσμα να παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα. Ανάλογα με τον αν καίνε καύσιμο, κυρίως πετρέλαιο, ή όχι χωρίζονται σε Ανανεώσιμες Μονάδες Παραγωγής και σε Συμβατικές Μονάδες Παραγωγής.

### 1.3.1 - Ανανεώσιμες Μονάδες Παραγωγής

Ονομάζονται ανανεώσιμες γιατί χρησιμοποιούν ενεργειακούς πόρους που ανανεώνονται άρα θεωρητικά είναι και πόροι που δεν θα τελειώσουν ποτέ. Οι κυριότερες είναι τα Αιολικά πάρκα, τα Φωτοβολταϊκά και τα Υδροηλεκτρικά εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Από αυτές τις Ανανεώσιμες Μονάδες Παραγωγής στην Ελλάδα έχουμε μεγάλη παραγωγή ισχύος που καλύπτει ένα μεγάλο ποσοστό της συνολικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στην χώρα. Στον Πίνακα 1-1 φαίνεται η συνολικά παραγωγή από ΑΠΕ για τα έτη 2012 και 2013.

ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΑΠΕ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ		
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW) 2012	ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW) 2013
Αιολικά	1752,01	1808,65
Βιομάζα	44,75	45,81
Μεγάλα Υδροηλεκτρικά	3017,7	3018
Μικρά Υδροηλεκτρικά	213,23	220,14
Φωτοβολταϊκά	1237,76	2205,98
Φωτοβολταϊκά Στεγών	296,53	371,74
<b>Σύνολο</b>	<b>6561,98</b>	<b>7670,32</b>

Πίνακας 1-1:Εγκατεστημένη ισχύς ΑΠΕ στην Ελλάδα<sup>iii</sup>

### 1.3.1.1 - Αιολικά Πάρκα

Τα αιολικά πάρκα, όπως λέει και το όνομά τους, χρησιμοποιούν την αιολική ενέργεια, δηλαδή την ενέργεια των ανέμων, και την μετατρέπουν σε ηλεκτρική. Είναι από τις πιο διαδεδομένες Ανανεώσιμες Μονάδες Παραγωγής καθώς έχουν την δυνατότητα μεγάλης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, για την κάλυψη των αναγκών των καταναλωτών, καθώς και την δυνατότητα να αυτομειώσουν την παραγωγής τους ανάλογα με τις απαιτήσεις του συστήματος. Στην Ελλάδα επειδή υπάρχει πολύ καλό αιολικό δυναμικό, δηλαδή ισχύς του ανέμου ώστε να παράγεται από τις ανεμογεννήτριες αρκετή ηλεκτρική ισχύς, υπάρχουν πολλά αιολικά πάρκα κυρίως στα νησιά που έχουν και το καλύτερο αιολικό δυναμικό στην χώρα, στα οποία υπάρχει και μεγάλη ζήτηση ηλεκτρικής ισχύος που δεν μπορεί να καλυφθεί από τις γεννήτριες του νησιού. Επίσης αιολικά πάρκα εκτός από την στεριά μπαίνουν πλέον και στην θάλασσα καθώς σε μερικές περιοχές υπάρχει υψηλό αιολικό δυναμικό και ο αέρας δεν χάνει την ισχύ του καθώς δεν παρεμβάλλεται τίποτα που να του την μειώνει, όπως π.χ. βουνά και δάση. Κάθε ανεμογεννήτρια ουσιαστικά είναι μια γεννήτρια με μόνη διαφορά ότι την κίνηση του εμβόλου για την παραγωγή ενέργειας την κάνει ο έλικας και κινείται ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου. Περισσότερες πληροφορίες για την τεχνολογία αυτή και την εξέλιξή της μπορούν να βρεθούν στον παρακάτω σύνδεσμο.<sup>iv</sup>

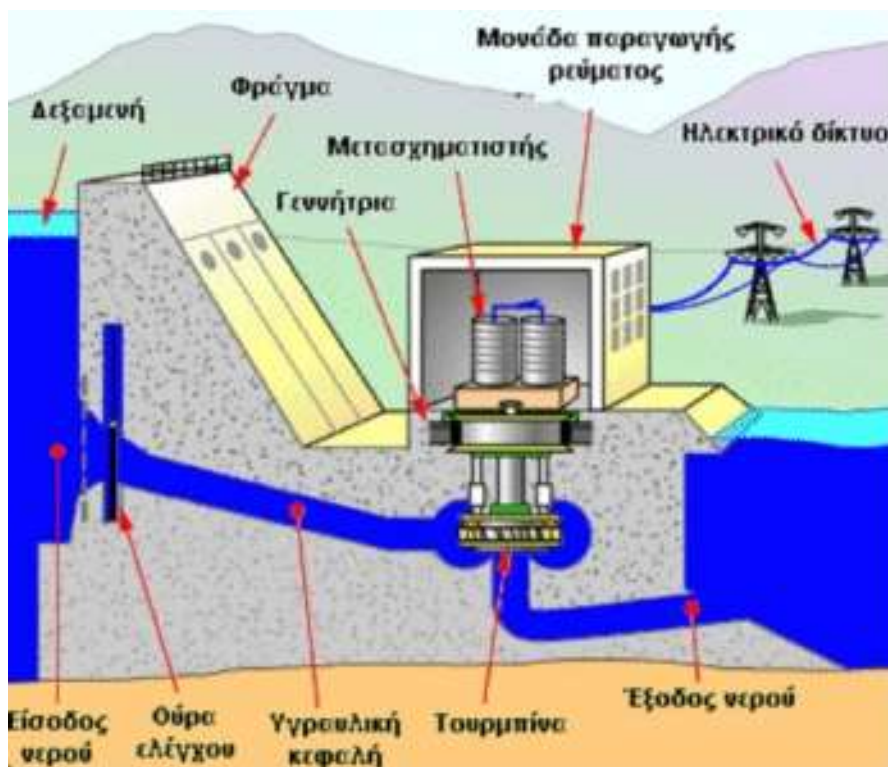
### 1.3.1.2 - Φ/Β

Τα Φωτοβολταϊκά Πάρκα έχουν πάρει και αυτά το όνομά τους από την Ανανεώσιμη Πηγή Ενέργειας που εκμεταλλεύονται για να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια την ηλιακή. Η λειτουργία τους βασίζεται στο φυσικό φαινόμενο ότι όταν κάποια υλικά έρθουν σε επαφή με τις ακτίνες του ήλιου τότε αποκτούν φορτίο. Αυτό το φορτίο με τις κατάλληλες συνδέσεις μπορεί να αποκτήσει κίνηση άρα και να γίνει ρεύμα παράγοντας έτσι ωφέλιμη ηλεκτρική ισχύ. Το μειονέκτημα που έχουν είναι ότι δεν μπορούν να προσαρμόσουν την παραγωγή τους και έτσι πρέπει ανά πάσα στιγμή να δίνουν όλη την ισχύ που παράγουν. Στην Ελλάδα τα Φωτοβολταϊκά Πάρκα είναι επίσης διαδεδομένα καθώς είμαστε μια χώρα που τις περισσότερες μέρες του χρόνου έχουμε ηλιοφάνεια. Για το λόγο αυτό βλέπουμε σε πολλές περιοχές τις Ελλάδας, από χωράφια μέχρι και στέγες σπιτιών, βλέπουμε παντού Φωτοβολταϊκά Πάρκα. Επίσης τα Φωτοβολταϊκά Πάρκα δίνουν ακόμα μια λύση στα νησιά της χώρας μας, που είναι αποκομμένα από τις μεγάλες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της Ηπειρωτικής Χώρας, για να λύσουν τα όποια ενεργειακά προβλήματα έχουν. Περισσότερες πληροφορίες για την τεχνολογία αυτή και την εξέλιξή της μπορούν να βρεθούν στον παρακάτω σύνδεσμο.<sup>v</sup>



### 1.3.1.3 - Υδροηλεκτρικά

Τα Υδροηλεκτρικά Εργοστάσια είναι συνήθως φτιαγμένα κοντά σε ποτάμια, λίμνες και φράγματα καθώς χρησιμοποιούν την ισχύ που έχει το νερό όταν πέφτει από ένα ψηλό σημείο σε ένα χαμηλό. Στο εσωτερικό τους περιέχουν και αυτά μία ή και περισσότερες γεννήτριες των οποίων το έμβολο είναι συνδεδεμένο με μια στρόφιγγα, όπως αυτές που είχαν παλιά οι μύλοι, η οποία γυρνάει ανάλογα με την δύναμη που πέφτει το νερό. Στην Εικόνα 1-10 φαίνονται τα δομικά στοιχεία ενός Υδροηλεκτρικού εργοστασίου.



Εικόνα 1-10: Δομή Υδροηλεκτρικού Εργοστασίου

Τα Υδροηλεκτρικά Εργοστάσια έχουν την δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της τάξεως των GW για αυτό τον λόγο χρησιμοποιούνται σε αρκετές χώρες. Είναι από τις πιο φιλικές στο περιβάλλον Ανανεώσιμες Μονάδες Παραγωγής καθώς δεν παρεμβάλλουν σχεδόν καθόλου ούτε στο περιβάλλον ούτε στην φυσική ροή του νερού. Το κύριο μειονέκτημά τους είναι ότι μπορεί η ροή του νερού να μην είναι αρκετές φορές επαρκής για να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια οπότε ο σταθμός δεν συμβάλει στην ανακούφιση του φορτίου. Αυτό το πρόβλημα έχει λυθεί με την μέθοδο της αποθήκευσης. Δηλαδή φτιάχνεται μία τεχνητή λίμνη δίπλα από το εργοστάσιο όπου με αντλίες, οι οποίες δουλεύουν όπως η γεννήτρια του εργοστασίου, μαζεύεται νερό στην λίμνη ώστε να χρησιμοποιηθεί σε περίπτωση που η ροή δεν είναι επαρκής. Στην Ελλάδα δεν υπάρχουν πολλά υδροηλεκτρικά αλλά αυτά που υπάρχουν, όπως στα Κρεμαστά στο Αγρίνιο, έχουν πολύ μεγάλη παραγωγή και συμβάλουν καθοριστικά στην ικανοποίηση της ζήτησης. Περισσότερες πληροφορίες για την τεχνολογία αυτή και την εξέλιξή της μπορούν να βρεθούν στον παρακάτω σύνδεσμο.<sup>vi</sup>

### 1.3.1.4 - Λοιπές ΑΠΕ

Εκτός από της Ανανεώσιμες Μονάδες Παραγωγής που αναφέραμε πιο πριν, και που είναι οι πιο βασικές, υπάρχουν και άλλες αρκετές άλλες. Οι αμέσως επόμενη πιο διαδεδομένη Ανανεώσιμη Μονάδα Παραγωγής είναι η Μονάδα Καύσης Βιομάζας. Ουσιαστικά

πρόκειται για ένα εργοστάσιο το οποίο έχει συμβατικές γεννήτριες, όπως και τα ατμοηλεκτρικά, με την διαφορά ότι αντί να χρησιμοποιεί ως καύσιμο το πετρέλαιο χρησιμοποιεί βιοκαύσιμα. Τα βιοκαύσιμα είναι καύσιμα φιλικά προς το περιβάλλον τα οποία συνήθως είναι ή κάποιο φυτό, όπως οι αγκινάρες που χρησιμεύουν για να συμπληρώσουν το πετρέλαιο, ή σκουπίδια τα οποία έχουν επεξεργαστεί κατάλληλα. Περισσότερες πληροφορίες για την τεχνολογία αυτή και την εξέλιξή της μπορούν να βρεθούν στον παρακάτω σύνδεσμο.<sup>vii</sup>

Εκτός από Μονάδες Βιομάζας υπάρχουν και Μονάδες που εκμεταλλεύονται την ισχύ των κυμάτων, όπως ο Σταθμός Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας Wavelets στην Νορβηγία, με παρόμοιο τρόπο με αυτόν που δουλεύουν τα Υδροηλεκτρικά Εργοστάσια. Περισσότερες πληροφορίες για την τεχνολογία αυτή και την εξέλιξή της μπορούν να βρεθούν στον παρακάτω σύνδεσμο<sup>viii</sup>.

Επίσης για πολύ μεγάλη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, όμως δεν είναι τόσο διαδεδομένα, χρησιμοποιούνται τα Ηλιοθερμικά Εργοστάσια τα οποία μετατρέπουν την ηλιακή θερμότητα σε ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας παρόμοια τεχνολογία με αυτή των φωτοβολταϊκών με την διαφορά ότι χρησιμοποιούνται υλικά που μετατρέπουν την θερμότητα σε ηλεκτρική ενέργεια, πολύ παρόμοια με τα πάνελ που υπάρχουν στους ηλιακούς θερμοσίφωνες. Περισσότερες πληροφορίες για την τεχνολογία αυτή και την εξέλιξή της μπορούν να βρεθούν στον παρακάτω σύνδεσμο<sup>ix</sup> καθώς και στο κεφάλαιο 1.3.3.2.1.

Τέλος ένας από τους διαδεδομένους τρόπους επίσης είναι και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Γεωθερμία. Ουσιαστικά σε περιοχές που είναι ηφαιστειογενής να γίνει εκμετάλλευση της θερμότητας του εδάφους ώστε έτσι να βράζει ο θάλαμος που περιέχει το αέριο το οποίο εκτονώνεται και θέτει σε λειτουργία ένα ατμοστρόβιλο. Αυτός ο τρόπος χρησιμοποιείται κατά κόρον στην Ισλανδία όπου υπάρχουν περιοχές όπου το μάγμα είναι πιο κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Περισσότερες πληροφορίες για την τεχνολογία αυτή και την εξέλιξή της μπορούν να βρεθούν στον παρακάτω σύνδεσμο.<sup>x</sup>

## **1.3.2 - Συμβατικές Μονάδες Παραγωγής**

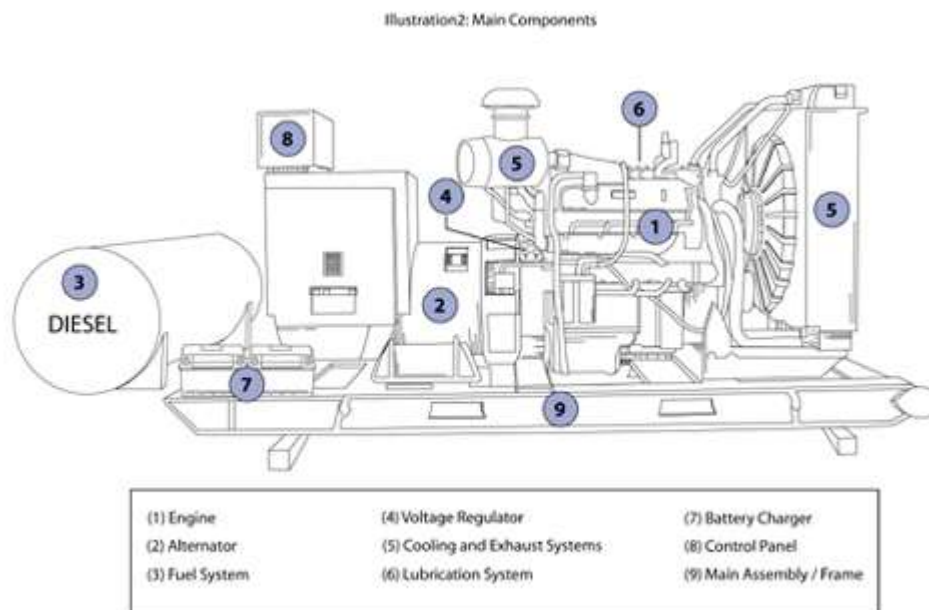
Ως Συμβατικές Μονάδες Παραγωγής αναφερόμαστε στις Μονάδες που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια έχοντας γεννήτριες οι οποίες καίνε κάποιο μη ανανεώσιμο καύσιμο για να λειτουργήσουν, κυρίως ορυκτό. Υπάρχουν πολλές κατηγορίες τέτοιων μονάδων, που συνήθως χωρίζονται σε αυτές τις κατηγορίες ανάλογα με τον κύκλο καύσης που κάνουν καθώς και το καύσιμο που χρησιμοποιούν. Οι γεννήτριες ουσιαστικά χρησιμοποιούν μια τεχνική για να μετατρέψουν την χημική ενέργεια που περιέχεται στο καύσιμο σε ηλεκτρική.

### **1.3.2.1 - Μονάδες diesel**

Οι μονάδες Diesel είναι ουσιαστικά γεννήτριες οι οποίες παίρνουν κίνηση από ένα κινητήρα, που δεν διαφέρει και πολύ από αυτόν που χρησιμοποιείται στην αυτοκίνηση, ο οποίος καίει καύσιμο diesel ή μαζούτ για να λειτουργήσει.

Η λειτουργία μιας μονάδας diesel έχει ως εξής: Ο κινητήρας που είναι στην αρχή της μονάδας καίει το καύσιμο που έχει για να κινηθούν τα έμβολα, ή πιστόνια, του κινητήρα τα οποία δίνουν κίνηση στον άξονα της συνδεδεμένης γεννήτριας.

Για την παραγωγή περισσότερης ενέργειας πρέπει να αυξηθούν οι στροφές του κινητήρα diesel, που γίνεται με την κατάλληλη ρύθμισή του, αυξάνοντας όμως έτσι την κατανάλωση καυσίμου. Στην Εικόνα 1-11 φαίνονται τα βασικά στοιχεία μιας Μονάδας Diesel για την καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας της.



Εικόνα 1-11 : Μονάδα Diesel<sup>xi</sup>

Τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα των μονάδων αυτών είναι ότι καθώς δεν έχουν λέβητα, όπως οι μονάδες παρακάτω, δεν έχουν μεγάλες απώλειες ενέργειας και η απόδοσή τους εξαρτάται από την κατάσταση που βρίσκονται τα επιμέρους χαρακτηριστικά τους. Επίσης πλέον προτιμούνται στην Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας καθώς μπορούν εύκολα να εκκινήσουν παράγοντας ισχύ καθώς και μπορούν πολύ εύκολα να μεταβάλλουν την παραγωγή τους πράγμα που τις καθιστά αναγκαίες όταν υπάρχουν μεγάλες αλλαγές στην ζήτηση. Επιπλέον έχουν σχετικά μικρότερο κόστος καθώς το καύσιμο που καίνε, δηλαδή diesel ή μαζούτ, είναι σχετικά φθηνό και έχουν πολύ καλή κατανάλωση σε σχέση με την ενέργεια που παράγουν.

Οι μονάδες diesel έχουν όμως και πολλά μειονεκτήματα όπως για παράδειγμα ότι κάνουν πολύ θόρυβο όταν λειτουργούν, πράγμα που σημαίνει ότι πρέπει να λειτουργούν σε περιοχές με ηχομόνωση. Επίσης η κατασκευή τους είναι πολύ δύσκολη καθώς χρειάζεται πολύ συγκεκριμένες ρυθμίσεις για να λειτουργήσει σωστά. Με βάση αυτές τις ρυθμίσεις είναι πολύ δύσκολο να μεταβάλλεις το τεχνικό τους μέγιστο και ελάχιστο οπότε αφού ρυθμιστούν δουλεύουν σε αυτά τα όρια μέχρι να χαλάσουν. Όλη αυτή η εξειδίκευση αυξάνει το κόστος παραγωγής τους πολύ πράγμα που σημαίνει ότι πρέπει να αγοράζονται αν είναι απολύτως απαραίτητο.

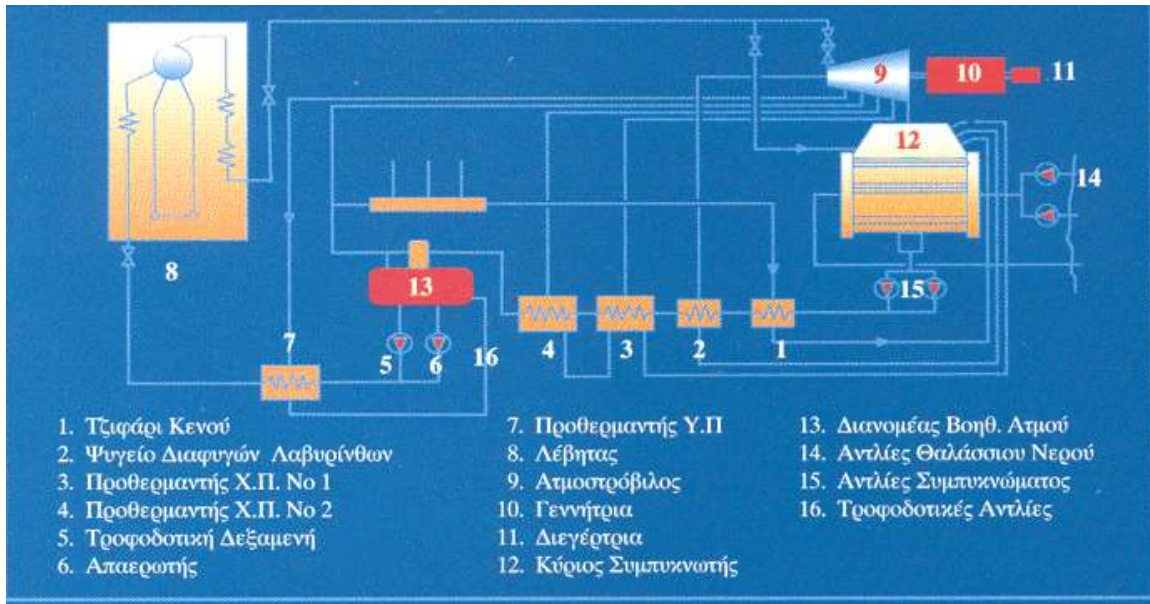
### 1.3.2.2 Μονάδες Ατμοηλεκτρικές<sup>xii</sup>

Μια ατμοηλεκτρική μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι μια συσκευή που εξάγει θερμική ενέργεια από πεπιεσμένο ατμό και το χρησιμοποιεί για να κάνει μηχανικό έργο σε ένα περιστρεφόμενο άξονα εξόδου, ο οποίος με την σειρά του παράγει περιστροφική κίνηση και χρησιμοποιείται για την οδήγηση μιας ηλεκτρικής γεννήτριας. Ουσιαστικά βασίζεται στον κύκλο Carnot και χρησιμοποιείται μία δεξαμενή με νερό το



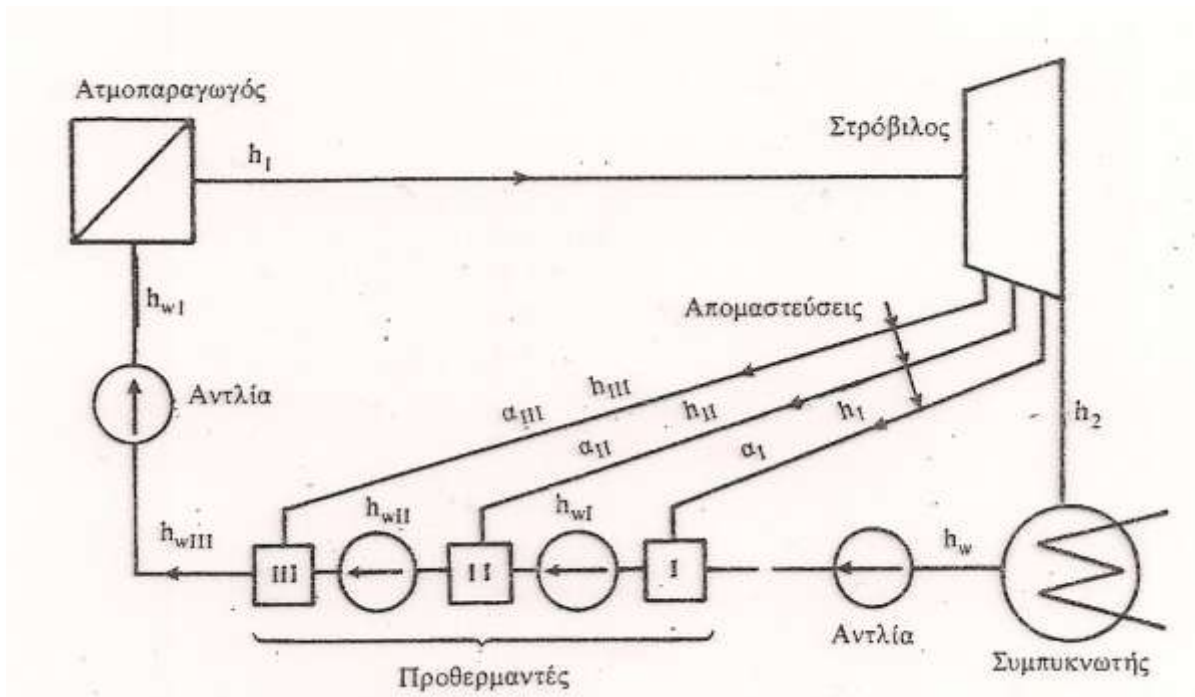
οποίο ζεσταίνεται με την καύση του καυσίμου και ο ατμός που παράγεται έχει την δύναμη να κινήσει τον άξονα εξόδου που αναφέρθηκε προηγουμένως. Ο ατμός αυτός για να κινήσει τον άξονα εξόδου πρέπει να έχει μια συγκεκριμένη θερμοκρασία γύρω στους 500 °C και πίεση της τάξεως περίπου των 100 bar.

Στην Εικόνα 1-12 φαίνεται σε διάγραμμα τα μέρη που αποτελούν μια ατμοηλεκτρική μονάδα και η διασύνδεσή τους για καλύτερη κατανόηση.



Εικόνα 1-12: Ατμοηλεκτρική Μονάδα

Επειδή η παραγωγή του ατμού σε τέτοιες μονάδες είναι πολύ σημαντική για την λειτουργία της μονάδας παραθέτουμε στην Εικόνα 1-13 τον τρόπο δημιουργίας του. Το νερό που χρησιμοποιείται για να παραχθεί ο ατμός προθερμαίνεται μέχρι να φτάσει την απαιτούμενη θερμοκρασία και πίεση που χρειάζεται για να λειτουργήσει ο ατμοστρόβιλος, ενώ αν γίνει αυτό σε κάποιο ενδιάμεσο στάδιο τότε ο ατμός διοχετεύεται στον στρόβιλο απευθείας. Η σχέση που διέπει δύο επίπεδα προθέρμανσης μεταξύ τους είναι:  $h_w + h_1 a_1 = (1 + a_1) h_{w1}$  όπου  $h$  η θερμοκρασία και  $a$  η πίεση.



Εικόνα 1-13: Δημιουργία ατμού και προθέρμανση<sup>xiii</sup>

Οι ατμοηλεκτρικές μονάδες χρησιμοποιούν σχεδόν όλα τα γνωστά ήδη καυσίμου, από πετρέλαιο και φυσικό αέριο μέχρι πυρηνικά, ανάλογα με τον βαθμό απόδοσης καύσης που θέλουν να πετύχουν. Συνήθως οι σταθμοί που περιέχουν μεγάλες ατμοηλεκτρικές μονάδες είναι φτιαγμένοι πολύ κοντά σε μέρη τα οποία περιέχουν κάποιο ορυκτό καύσιμο ώστε να είναι εύκολη η τροφοδότηση του σταθμού με καύσιμα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο Ατμοηλεκτρικός Σταθμός (ΑΗΣ) Πτολεμαΐδας στην Βόρεια Ελλάδα, που είναι και ο μεγαλύτερος σταθμός της χώρας, όπως φαίνεται Εικόνα 1-14.



Εικόνα 1-14: Ατμοηλεκτρικός Σταθμός Πτολεμαΐδας

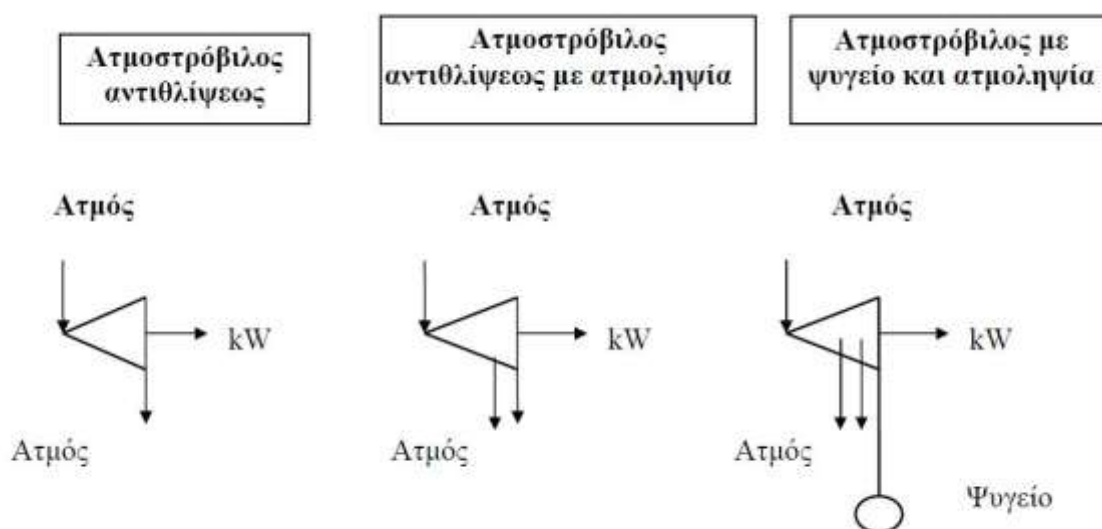
Οι Ατμοηλεκτρικές Μονάδες αποτελούν τις μονάδες βάσης σχεδόν όλων των Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας στον κόσμο (περίπου το 80%). Αυτό συμβαίνει γιατί έχουν συνήθως την δυνατότητα μεγάλης παραγωγής και επειδή αν ενταχθούν στην παραγωγή είναι πολύ δύσκολο να σβήσουν. Στην Ελλάδα η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στηρίζεται σε μεγάλο βαθμό από τις Ατμοηλεκτρικές Μονάδες καθώς είναι μονάδες βάσης σχεδόν σε κάθε Σταθμό Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας καθώς η χώρα έχει αρκετές περιοχές που έχουν ορυκτά καύσιμα όπως ο λιγνίτης.

Από τα κυριότερα πλεονεκτήματά τους είναι ότι αξιοποιούν συνήθως πολύ φθηνά καύσιμα τα οποία, όπως είπαμε και πιο πριν, υπάρχουν σε μεγάλο βαθμό στην Ελλάδα και είναι πολύ

εύκολη η τροφοδότηση τους με αυτά καθώς οι σταθμοί φτιάχνονται κοντά στα σημεία εξόρυξης. Επίσης είναι πολύ αξιόπιστες μονάδες καθώς παρουσιάζουν βλάβη πολύ σπάνια και η παραγωγή τους είναι σταθερή και σε μεγάλες ποσότητες.

Όμως έχουν και αρκετά μειονεκτήματα. Το κυριότερο είναι ότι έχουν αργές μεταβολές στην παραγωγή τους σε σύντομο χρονικό διάστημα με αποτέλεσμα να μην είναι αποτελεσματικές στην αντιμετώπιση φαινομένων απότομης αλλαγής της ζήτησης του φορτίου. Επίσης έχουν πολύ ακριβό κόστος εγκατάστασης το οποίο μπορεί, σε μερικές χώρες, να είναι μεγάλη οικονομική επιβάρυνση. Η συντήρησή τους έχει και αυτή προβλήματα καθώς εκτός του ότι είναι πολύ ακριβή θέλει και πάρα πολύ χρόνο, μπορεί και βδομάδες, με αποτέλεσμα οι μονάδες αυτές να μην είναι διαθέσιμες για άμεση παραγωγή γιατί συνήθως είναι οι μονάδες που καλύπτουν το φορτίο βάσης.

Οι ατμοστρόβιλοι επειδή χρησιμοποιούνται πολύ στην παραγωγή έχουν και διαφορετικά είδη μονάδων ανάλογα με το τι θέλουμε να τους αξιοποιήσουμε. Υπάρχουν τρία βασικά είδη ατμοστρόβιλων οι ατμοστρόβιλοι αντιθλίψεως, οι ατμοστρόβιλοι αντιθλίψεως με ατμοληψία και οι ατμοστρόβιλοι με ψυγείο και ατμοληψία. Οι ατμοστρόβιλοι αντιθλίψεως παράγουν κυρίως ηλεκτρική ενέργεια και δεν έχουν σύστημα ψύξης ούτε δυνατότητα να πάρει τους ατμούς που παράγει για να τους χρησιμοποιήσεις σε κάποια άλλη λειτουργία, κυρίως θέρμανση. Οι ατμοστρόβιλοι αντιθλίψεως με ατμοληψία έχουν ακριβώς την δυνατότητα χρησιμοποίησης των καυσαερίων τους που δεν έχει η προηγούμενη κατηγορία ενώ οι ατμοστρόβιλοι που έχουν και ψυγείο μπορούν να δώσουν καυσαέρια στην κατάλληλη θερμοκρασία. Οι τρεις αυτοί τύποι ατμοστρόβιλων φαίνονται καλύτερα στην Εικόνα 1-15.



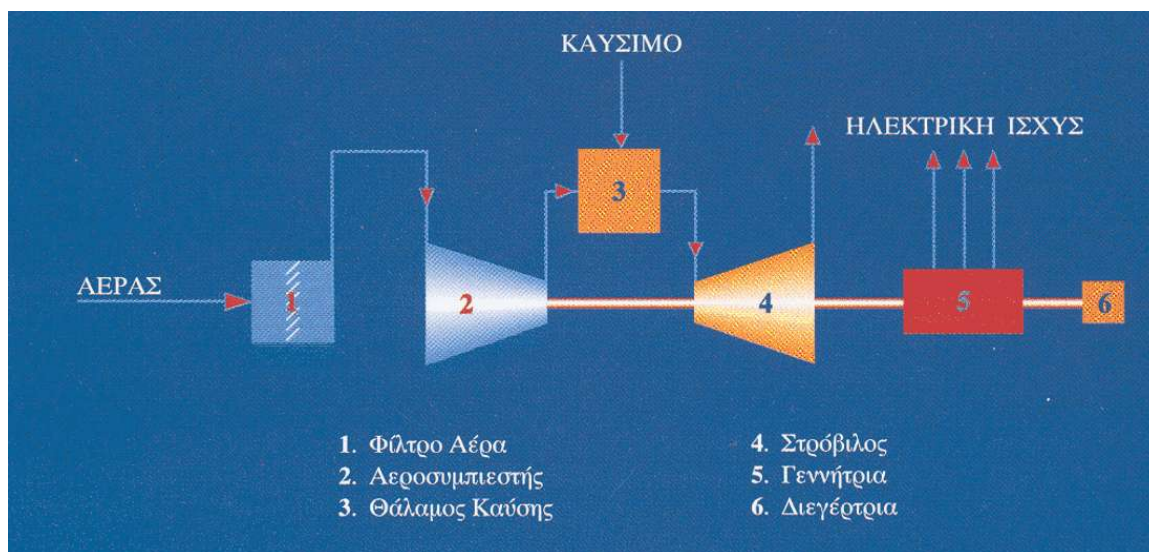
Εικόνα 1-15:Είδη ατμοστρόβιλων

### 1.3.2.3 Αεροστροβιλικές Μονάδες Παραγωγής<sup>xiv</sup>

Οι αεροστροβιλικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λειτουργούν περίπου με τον ίδιο τρόπο με τις ατμοηλεκτρικές μονάδες με την διαφορά ότι αντί για νερό που χρησιμοποιούν αέρα, ή κάποιο άλλο αέριο, που εκτονώνεται στον στρόβιλο της γεννήτριας και έτσι παράγεται ηλεκτρική ενέργεια. Πιο συγκεκριμένα αέρας, ή κάποιο ευγενές αέριο, μπαίνει σε ένα συμπιεστή αέρα όπου αυξάνεται πολύ η πίεσή του. Μετά στο αέριο αυτό ψεκάζεται καύσιμο το οποίο αναφλέγεται με αποτέλεσμα να εκτονωθεί αυτή η πίεση σε ένα



αγωγό που είναι απευθείας συνδεδεμένος σε μια γεννήτρια. Το εκτονωμένο αέριο που έρχεται από τον αγωγό αυτό έχει μεγάλη ώθηση, λόγω της εκτόνωσης, οπότε και αρκετή ενέργεια για να κινήσει τον στρόβιλο της γεννήτριας και με τον τρόπο αυτό να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια. Στην Εικόνα 1-16 φαίνονται τα στοιχεία που αποτελούν μια αεροστροβιλική μονάδα και την λειτουργικότητα που έχουν.



Εικόνα 1-16: Λειτουργικό Διάγραμμα Αεροστροβιλικής Μονάδας

Οι αεροστροβιλικές μονάδες είναι ευρέως διαδεδομένες καθώς χρησιμοποιούνται σαν μονάδες αιχμής σε σχεδόν όλα τα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας σε όλο τον κόσμο, δηλαδή για να συμπληρώσουν το φορτίο στην μέγιστη ζήτηση που μπορεί να προκύψει στο σύστημα. Στην Ελλάδα αεροστροβιλικές μονάδες υπάρχουν σε κάθε σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς όπως είπαμε και πριν μπορούν να ανταπεξέλθουν πολύ καλά σε φορτίο αιχμής, από τους μεγαλύτερους της Ηπειρωτικής χώρας μέχρι και σε σταθμούς σε μερικά νησιά.

Ο λόγος που είναι τόσο διαδεδομένες μονάδες είναι ότι έχουν σχετικά μικρό κόστος εγκατάστασης και θέλουν, σε σχέση με άλλες μονάδες παραγωγής ενέργειας, μικρότερο χώρο για να εγκατασταθούν που έτσι δίνουν την δυνατότητα για εγκατάσταση περισσότερων μονάδων σε ένα σταθμό. Επίσης είναι μονάδες αιχμής σε σταθμούς καθώς έχουν την δυνατότητα να αυξάνουν την παραγωγή τους πολύ γρήγορα με αποτέλεσμα να είναι πολύ αποτελεσματικές στην αντιμετώπιση απότομων αλλαγών της ζήτησης. Επίσης δεν χρειάζεται να είναι συνέχεια σε λειτουργία όπως οι ατμοηλεκτρικές μονάδες καθώς μπορούν σε περίπου 10-15 λεπτά να φτάσουν σε παραγωγή κοντά στο τεχνικό τους μέγιστο.

Όμως έχουν και πολλά μειονεκτήματα όπως ότι έχουν σχετικά χαμηλή απόδοση καυσίμου, δηλαδή της θερμογόνου ικανότητας του καυσίμου που γίνεται εν τέλει ηλεκτρική ενέργεια, περίπου 20-30% που είναι αρκετά χαμηλότερο από τις μονάδες άλλου τύπου. Αυτό το ποσοστό της απόδοσής τους μειώνεται όσο η θερμοκρασία του περιβάλλοντος αυξάνεται πράγμα το οποίο σημαίνει ότι χρειάζονται. Επίσης για να λειτουργήσει η έκχυση καυσίμου που είπαμε πιο πριν πρέπει το καύσιμο που χρησιμοποιείται να είναι "εξευγενισμένο" όπως π.χ. ελαφρύ πετρέλαιο, κηροζίνη ή φυσικό αέριο. Επειδή τα καύσιμα που χρειάζονται θέλουν μια επιπλέον επεξεργασία είναι και πιο ακριβά πράγμα που καθιστά τις αεροστροβιλικές μονάδες αντισυμβατικές συγκρινόμενες με τους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς.

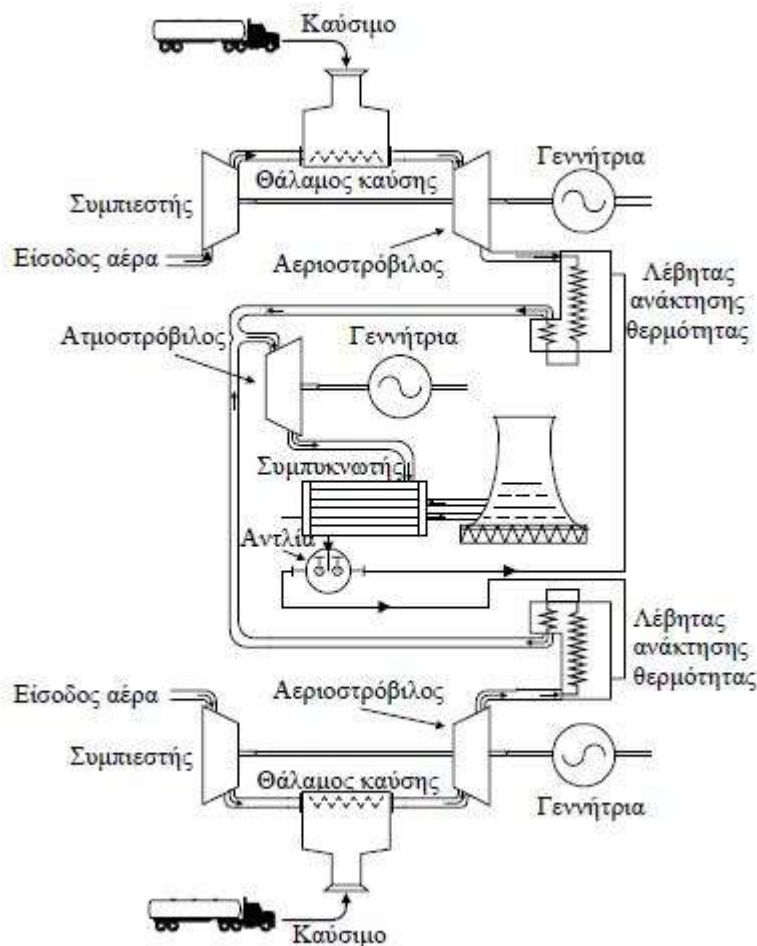
### **1.3.3 Οι μονάδες Συνδυασμένου Κύκλου<sup>xv</sup>**

Άλλη μια διαδεδομένη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι οι μονάδες Συνδυασμένου Κύκλου. Μια μονάδα Συνδυασμένου Κύκλου αποτελείται από δύο Αεροστροβιλικές μονάδες και μία Ατμοηλεκτρική μονάδα. Ο συνδυασμός των μονάδων αυτών στοχεύει στο να εκμεταλλευτεί τα πλεονεκτήματα από τα δύο είδη μονάδων και επιπλέον να βελτιώσει τα μειονεκτήματα που έχουν. Επίσης μια μονάδα Συνδυασμένου Κύκλου μπορεί να συνδυαστεί με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καθώς και σε κάποιο σύστημα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού-θερμότητας.

#### **1.3.3.1 Περιγραφή λειτουργίας**

Μια μονάδα Συνδυασμένου Κύκλου λειτουργεί ως εξής. Οι δύο αεροστροβιλικές μονάδες λειτουργούν με τον τρόπο που περιγράψαμε από πάνω με την διαφορά ότι τα αέρια των μονάδων, μετά την εκτόνωσή τους, δεν οδηγούνται σε γεννήτρια αλλά σε λέβητες ανάκτησης θερμότητας, όπου παράγεται ατμός που χρησιμοποιείται από την ατμοηλεκτρική μονάδα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα οι αεροστρόβιλοι είναι συνδεδεμένοι σε γεννήτριες και παράγουν ηλεκτρική ενέργεια, όπως και πριν, απλώς τα καυσαέρια τους οδηγούνται σε λέβητα ανάκτησης θερμότητας, όπου αυξάνεται η θερμοκρασία να φτάσει περίπου τους 500 °C και η πίεσή τους να φτάσει περίπου τα 90-100 bar και μετά οδηγούνται στον θάλαμο καύσης του ατμοστρόβιλου, ο οποίος είναι και αυτός συνδεδεμένος με γεννήτρια, όπου παράγεται πάλι ηλεκτρική ενέργεια. Ανάλογα με το είδος του ατμοστρόβιλου μπορεί τα καυσαέρια μετά την έξοδό τους από τον ατμοστρόβιλο να χρησιμοποιηθούν π.χ. για παραγωγή θερμότητας.

Στην Εικόνα 1-17 φαίνεται σχηματικά η διάταξη μιας μονάδας Συνδυασμένου Κύκλου για την καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας της.



Εικόνα 1-17: Μονάδα Συνδυασμένου Κύκλου

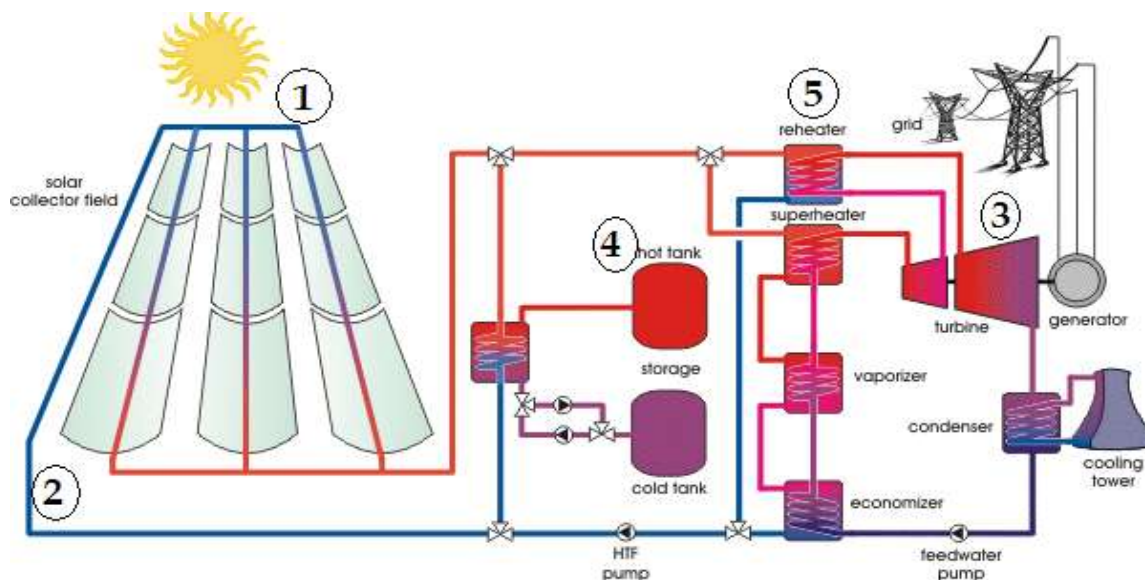
### 1.3.3.2 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα

Ο κύριος λόγος που κατασκευάζονται μονάδες Συνδυασμένου Κύκλου είναι γιατί με αυτή την μέθοδο ο συνολικός βαθμός απόδοσης της μονάδας φτάνει περίπου στο 60%, ως προς την θερμογόνο παραγωγή του καυσίμου, που είναι πολύ βελτιωμένος σε σχέση με το 40% των μεγαλύτερων ατμοηλεκτρικών μονάδων, και χωρίς την απαίτηση η μονάδα συνδυασμένου κύκλου αν έχει τις ίδιες διαστάσεις, με κόστος κατασκευής περίπου το 35% του κόστους κατασκευής των αντίστοιχων ατμοηλεκτρικών σταθμών. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται σαν μονάδες βάσης, σε όσα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας έχουν εγκαταστημένες τέτοιες μονάδες, ενώ επίσης η ανάληψη φορτίου τους γίνεται πιο γρήγορα από τις άλλες ατμοστροβιλικές μονάδες βάσης.

Όπως όμως είναι φυσικό με τον συνδυασμό τριών ειδών μονάδων σε μια μονάδα συνδυασμένου κύκλου θα υπάρχουν και αρκετά μειονεκτήματα τα οποία προκύπτουν κυρίως από την φύση των μονάδων που συνδυάζονται. Καθώς οι αεριοστροβιλικές μονάδες είναι αυτές που δέχονται καύσιμο χρειάζονται, όπως είπαμε και πριν κάποιο πιο ελαφρύ καύσιμο όπως πετρέλαιο diesel ή φυσικό αέριο τα οποία είναι και πιο ακριβά από τα πιο συμβατικά καύσιμα. Επίσης παρόλο που η ανάληψη φορτίου τους είναι πιο γρήγορη από αυτή των ατμοηλεκτρικών μονάδων είναι παρόλα αυτά πιο αργή από όλες τις άλλες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

### 1.3.3.2.1 Συνδυασμένος κύκλος με ηλιοθερμικό εργοστάσιο<sup>xvi</sup>

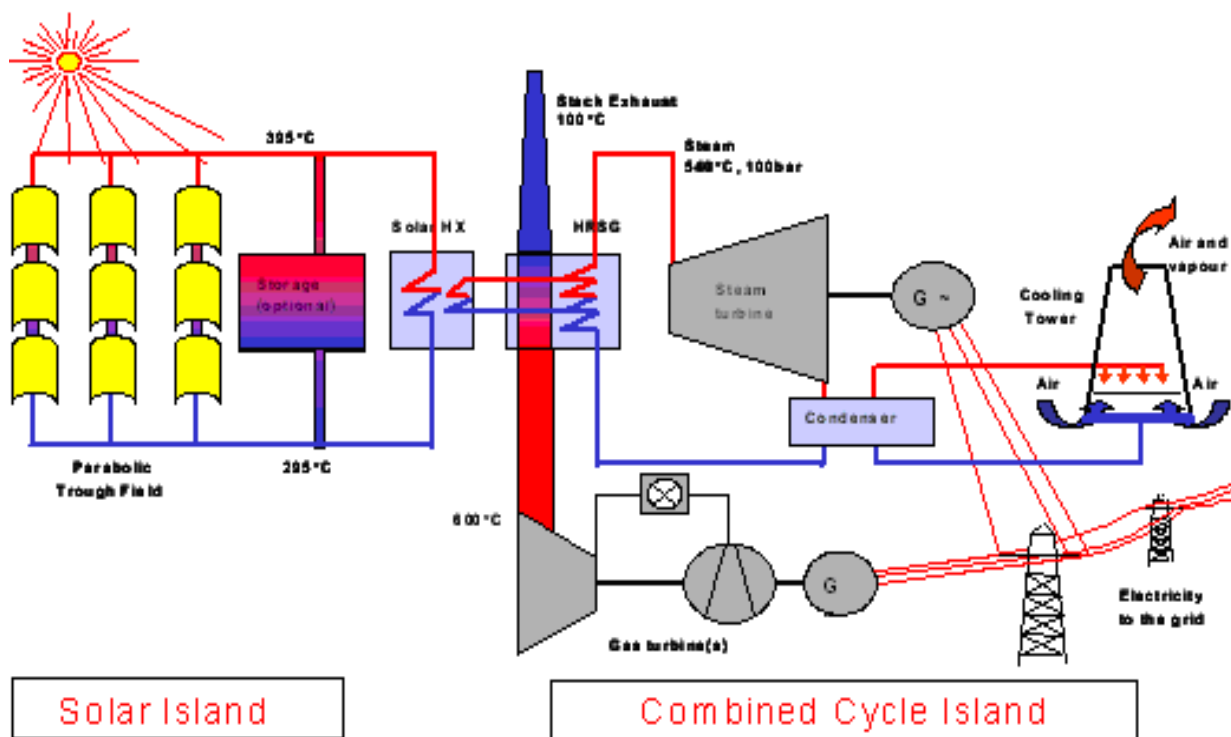
Όπως αναφέρθηκε και πιο πριν (1.3.1.4) ένα ηλιοθερμικό εργοστάσιο, χρησιμοποιώντας ένα σύστημα παραβολικών κατόπτρων, μετατρέπει την θερμότητα του ήλιου σε ηλεκτρική ενέργεια. Η λειτουργία του είναι παρόμοια με αυτή των ατμοηλεκτρικών μονάδων καθώς η ηλιακή θερμότητα ζεσταίνει ένα λέβητα ο οποίος δημιουργεί ατμό για να κινήσει τον στρόβιλο της γεννήτριας. Στην Εικόνα 1-18 φαίνεται σχηματικά η λειτουργία μιας ηλιοθερμικής μονάδας με παραβολικά κάτοπτρα.



Εικόνα 1-18: Ηλιοθερμική μονάδα

Από την λειτουργία των ηλιοθερμικών καταλαβαίνουμε ότι οι μονάδες συνδυασμένου κύκλου και τα ηλιοθερμικά εργοστάσια μπορούν να συνδυαστούν. Το κοινό τους σημείο είναι ο λέβητας από τον οποίο προέρχεται ο ατμός που κινεί την γεννήτρια. Οπότε συνδέοντας ένα μεγαλύτερο λέβητα, που θα ήταν συνδεδεμένος και με την ηλιοθερμική διάταξη αλλά και με τους δύο αεροστρόβιλους που αποτελούν το πρώτο σκέλος μιας μονάδας συνδυασμένου κύκλου, θα είχαμε την διάταξη που θέλουμε. Και οι δύο διατάξεις θα τροφοδοτούν με θερμότητα τον λέβητα της ατμοηλεκτρικής μονάδας ώστε να παράγεται ο απαραίτητος ατμός που θα κινεί την γεννήτρια. Για την θέρμανση του λέβητα αυτού θα χρησιμοποιείται η θερμότητα του ηλιοθερμικού ή η θερμότητα των αεροστροβίλων ή και τα δύο μαζί, αν η θερμότητα του ήλιου δεν επαρκεί ή χρειάζεται μεγαλύτερη παραγωγή. Με αυτό τον τρόπο θα είχαμε μία μονάδα Ηλιοθερμικού Συνδυασμένου Κύκλου ή όπως λέγεται στο εξωτερικό Integrated Solar Combined Cycle unit (ISCC).

Στην Εικόνα 1-19 φαίνεται η διάταξη των δύο μονάδων για καλύτερη κατανόηση.



Εικόνα 1-19: Συνδυασμός παραβολικών κατόπτρων με αεριοστρόβιλο σε συνδυασμένο κύκλο

Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η παραγωγή του εργοστασίου, που περιέχει τις μονάδες, κατά 15%-20%, αλλά εξαρτάται και από το καύσιμο που χρησιμοποιείται για τους αεροστροβίλους. Το κύριο του πλεονέκτημα είναι ότι μπορεί να έχει πάρα πολύ μεγάλη παραγωγή και αρκετά οικονομική καθώς μπορεί το ηλιοθερμικό κομμάτι να παράγει την απαραίτητη θερμότητα εξ' ολοκλήρου για την θέρμανση του λέβητα και έτσι να μην καταναλώνεται καθόλου καύσιμο.

Η κατασκευή ενός τέτοιου εργοστασίου όμως είναι εξαιρετικά δαπανηρή. Για παράδειγμα ο σταθμός του Hassi R'mel στην Αλγερία κόστισε περίπου 300 εκατομμύρια euro. Επίσης η ιδανική του λειτουργία, δηλαδή ο λέβητας του ατμοστροβίλου να τροφοδοτείται αποκλειστικά από τα ηλιοθερμικά κάτοπτρα, γίνεται συνήθως το καλοκαίρι και την διάρκεια της μέρας οπότε τον υπόλοιπο χρόνο θα πρέπει να δουλεύουν και οι αεροστροβίλοι πράγμα που σημαίνει ότι αυξάνεται το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Για καλύτερη κατανόηση θα πούμε δύο λόγια παραπάνω για τον ηλιοθερμικό σταθμό συνδυασμένου κύκλου (ISCC) Hassi R'mel<sup>xvii</sup>, ώστε να γίνει αντιληπτό το μέγεθος τέτοιων σταθμών αλλά και η συμμετοχή των παραβολικών κατόπτρων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα ο σταθμός έχει εγκατεστημένη ισχύ 150 MW και παράγει 1250 GWh το χρόνο. Από τα 150 MW τα 25 παράγονται από το ηλιοθερμικό κομμάτι του σταθμού, δηλαδή μόνο το 16% της ικανότητας του σταθμού παράγεται από τα παραβολικά κάτοπτρα, και αυτό αν βρίσκεται σε ιδανικές συνθήκες ως προς τα καιρικά φαινόμενα. Από τα νούμερα αυτά και μόνο καταλαβαίνουμε, αυτό που σε άλλες χώρες έχει ξεπεραστεί, είναι ότι αν θέλουμε μεγάλες ποσότητες παραγωγής πρέπει να υπάρχουν και θερμικές μονάδες και ουσιαστικά το ηλιοθερμικό κομμάτι να είναι βοηθητικό ως προς μια βέλτιστη εκκίνηση του λέβητα του ατμοστροβίλου του συνδυασμένου κύκλου.<sup>xviii</sup>



### 1.3.3.3 Εγκαταστημένη ισχύς στη χώρα μας

Συγκεκριμένα στην Ελλάδα οι μονάδες Συνδυασμένου Κύκλου είναι πολύ διαδεδομένες καθώς αποτελούν τις μονάδες βάσης σε πολλές περιοχές, επειδή όπως αναφέραμε προηγουμένως είναι οι πιο αξιόπιστες από τις συμβατικές μονάδες παραγωγής. Πιο συγκεκριμένα στην Ηπειρωτική Ελλάδα καθώς και στην Κρήτη η αδειοδοτημένη ισχύς σε συνδυασμένο κύκλο είναι 7483,21 MW.

Πιο συγκεκριμένα στον Πίνακα 1-2 εμφανίζονται όλες οι μονάδες Συνδυασμένου Κύκλου στην Ελλάδα και η ονομαστική τους ισχύς.

Νομός	Δήμος/Κοινότητα	Θέση	Ισχύς(MW)
Αρκαδίας	Μεγαλούπολης	ΑΗΣ Μεγαλούπολης	850
Αττικής	Λαυρεωτικής	ΑΗΣ Λαυρίου	385,25
Αττικής	Ελευσίνας	Χαλυβουργική	880
Βοιωτίας	Χαιρώνειας	Άγιος Βλάσιος	447
Βοιωτίας	Θηβών	Άγιος Νεκτάριος	492
Βοιωτίας	Άγιος Θωμάς Θήβας	Λημαριά	400
Βοιωτίας	Θίσβης	Χαλκόρ Α.Ε.	421,6
Βοιωτίας		Καμάρι	120
Βοιωτίας	Αγίου Νικολάου	ΑΤΕ ΒΕΑΕ	412
Βοιωτίας	Θήβα	Άγιος Νεκτάριος	435
Δωδεκανήσου	Ρόδος	Πλάκα Στενή	120
Έβρου	Τραϊανουπόλεως	Κάτω Λουτρά	447
Εύβοιας	Ταμυνέων	ΑΗΣ Αλιβερίου	360
Ηρακλείου	Γαζίου	Κορακιά	260
Θεσσαλονίκης	Εδεχωρίου	ΕΛΠΕ	390
Καβάλας	Καβάλα	Νέα Κάρβαλη	440
Κορινθίας	Άγιοι Θεόδωροι	MOTOR OIL	395,9
Μαγνησίας	Διμηνίου	ΒΙΠΕ Βόλου	400
Χανίων	Ξυλοκαμάρια	ΑΗΣ Χανίων	132

Πίνακας 1-2: Αδειοδοτημένες Μονάδες Συνδυασμένου Κύκλου και ονομαστική τους ισχύς

Από τις αδειοδοτημένες μονάδες που περιέχει ο πίνακας από πάνω δεν είναι όλες ενταγμένες σε κάποιο Σ.Η.Ε. απλώς έχει δοθεί άδεια από το Ελληνικό κράτος σε αυτές τις εταιρίες να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Οι μονάδες που είναι ενταγμένες σε Σ.Η.Ε. παρουσιάζονται στον Πίνακα 1-3.

Νομός	Δήμος/Κοινότητα	Θέση	Ισχύς(MW)
Αττικής	Λαυρεωτικής	ΑΗΣ Λαυρίου	385,25
Βοιωτίας	Θηβών	Άγιος Νεκτάριος	492
Βοιωτίας	Θίσβης	Χαλκόρ Α.Ε.	421,6
Βοιωτίας	Αγίου Νικολάου	ΑΤΕ ΒΕΑΕ	412
Βοιωτίας	Θήβα	Άγιος Νεκτάριος	435
Εύβοιας	Ταμυνέων	ΑΗΣ Αλιβερίου	360
Θεσσαλονίκης	Εδεχωρίου	ΕΛΠΕ	390
Κορινθίας	Άγιοι Θεόδωροι	MOTOR OIL	395,9

Μαγνησίας	Διμηνίου	ΒΙΠΕ Βόλου	400
Χανίων	Ξυλοκαμάρια	ΑΗΣ Χανίων	132

Πίνακας 1-3: Ενταγμένες Μονάδες Συνδυασμένου Κύκλου και ονομαστική τους ισχύς

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς μονάδων Συνδυασμένου Κύκλου στην Ελλάδα είναι 3823,75 MW, ενώ το Συνδυασμένος Κύκλος των Χανίων είναι η μικρότερη μονάδα Συνδυασμένου Κύκλου στην Ελλάδα. Σύμφωνα με την τελευταία αναφορά του ΑΔΜΗΕ για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα<sup>xix</sup> οι μονάδες Συνδυασμένου Κύκλου παρήγαγαν περίπου 440 GWh που αντιστοιχεί στο 16,68% της συνολικής παραγωγής για το έτος 2014 μέχρι τον μήνα Σεπτέμβριο.

### 1.3.3.4 Προσπάθειες μοντελοποίησης μονάδων συνδυασμένου Κύκλου.

Για την καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας τους καθώς και για διευκόλυνση των ανθρώπων που ελέγχουν την ροή του φορτίου σε ένα Σ.Η.Ε. είναι απαραίτητη η μοντελοποίηση των μονάδων παραγωγής ενέργειας.

Όμως για να κατανοήσουμε την λειτουργία του καλύτερα και για να μοντελοποιήσουμε την λειτουργία του πρέπει να κάνουμε μερικές παραδοχές λόγω της ιδιομορφίας που παρουσιάζει ως προς τον τρόπο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Πρώτη παραδοχή είναι ότι δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι η μονάδα αυτή λειτουργεί ενιαία, δηλαδή με μία ενιαία εξίσωση. Ο λόγος γι' αυτό είναι ότι η μονάδα συνδυασμένου κύκλου μπορεί να λειτουργήσει ακόμη και εάν ο ένας από τους 2 αεριοστρόβιλους είναι εκτός διαθεσιμότητας λόγω συντήρησης, οπότε τα καυσαέρια του ενός πλέον αεροστροβίλου κινούν τον ατμοστροβίλο. Έτσι ο ατμοστροβίλος λειτουργεί με μειωμένη όμως ικανότητα τουλάχιστον κατά το ήμισυ. Έτσι απαιτείται να είναι γνωστή η διαθεσιμότητα ή μη του κάθε αεροστροβίλου καθώς και να μη θεωρείται ενιαία η λειτουργία της μονάδας διότι για παράδειγμα ισχύς 60 MW μπορεί να αποδοθεί είτε εάν οι 2 αεριοστροβίλοι και ο ατμοστροβίλος λειτουργούν στα 20MW, είτε εάν λειτουργεί ο ένας αεριοστροβίλος με ισχύ 30MW και ο ατμοστροβίλος στα 30MW. Η κατανάλωση καυσίμου θα είναι προφανώς διαφορετική σε κάθε περίπτωση.

Δεύτερη παραδοχή είναι ότι ο ατμοστροβίλος δεν μπορεί να θεωρηθεί ανεξάρτητη μονάδα. Το γεγονός αυτό θα είχε ως συνέπεια ανάμεσα στις εξισώσεις των μονάδων του συστήματος να υπάρχει κάποια μονάδα με μηδενικό κόστος λειτουργίας, η οποία συνεχώς θα λειτουργούσε προφανώς στο τεχνικό της μέγιστο. Τούτο όμως δεν μπορεί να συμβεί καθώς η παραγωγή του ατμοστροβίλου εξαρτάται άμεσα από την παραγωγή των αεροστροβίλων. Δεν είναι τεχνικά εφικτό π.χ. ο ατμοστροβίλος να λειτουργεί με ισχύ 40MW και οι 2 αεριοστροβίλοι να λειτουργούν με ισχύ 25MW ο καθένας. Από την άλλη όμως δεν είναι εύκολο να αποδοθεί σε αυτόν κάποια εξίσωση αφού η παραγωγή του δεν είναι ανεξάρτητη των παραγωγών των δύο άλλων μονάδων.

Όμως παρ' όλες τις δυσκολίες, επειδή χρειάζεται για τον καθορισμό της βέλτιστης χρήσης των μονάδων για την ικανοποίηση του φορτίου, έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες για να μοντελοποιηθεί η λειτουργία μιας μονάδας συνδυασμένου κύκλου που κυρίως στοχεύουν στο να βρουν τους βέλτιστους συντελεστές που περιγράφουν καλύτερα την εξίσωση κατανάλωσης καυσίμου της μονάδας.

Ένας τρόπος για την εύρεση των συντελεστών της εξίσωσης είναι με αντικατάσταση. Δηλαδή επειδή η εξίσωση θα είναι της μορφής

$$y = Ax^3 + Bx^2 + Cx + D$$

,όπου  $x$  είναι η ισχύς της μονάδας στα MW και  $y$  η κατανάλωση της μονάδας σε kg\hour, γίνεται αν έχεις 4 διαφορετικές τιμές για τα  $y$  και  $x$  μπορείς αντικαθιστώντας τες να βρεις τους συντελεστές A,B,C,D.

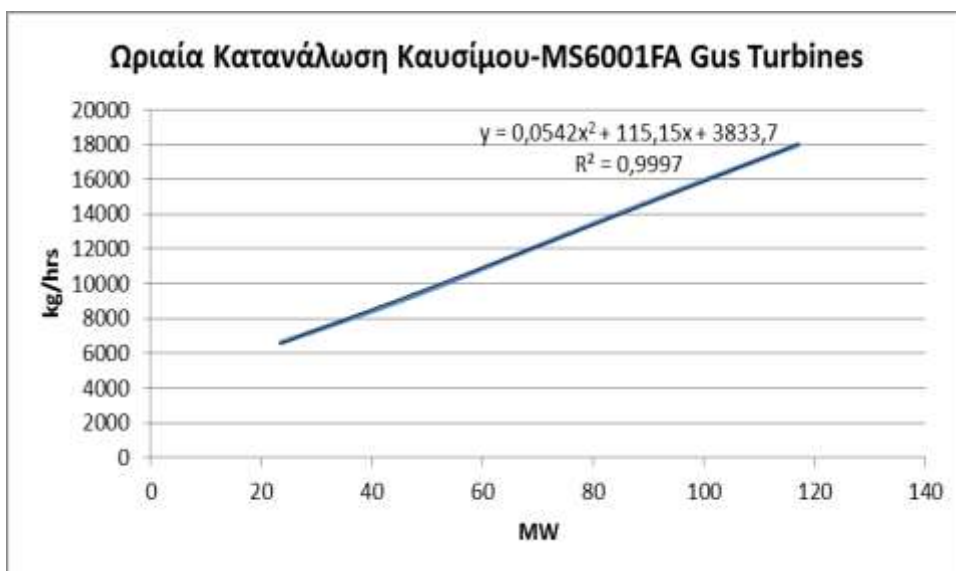
#### 1.3.3.4.1 Με βάση τα στοιχεία του κατασκευαστή

Για παράδειγμα, σε μια προσπάθεια μοντελοποίησης του συνδυασμένου κύκλου του σταθμού του Βασιλικού στην Κύπρο, μετρήθηκε η ισχύς που παράγουν οι αεροστρόβιλοι καθώς και η συνολική ισχύς που έχει ο συνδυασμένος κύκλος στην έξοδο του ατμοστροβίλου σε διάφορα ποσοστά φόρτισης όπως φαίνεται στον Πίνακα 1-4.

Ποσοστό Φόρτισης	Ισχύς(MW)	Ποσοστά απόδοσης	kJ/kWh	Kg/MWh
100%	117,00	1	6580,00	153,90
80%	93,60	0,95	6926,32	162,00
60%	70,20	0,885	7435,03	173,89
40%	46,80	0,78	8435,90	197,30
20%	23,40	0,545	12073,39	282,38

Πίνακας 1-4: Στοιχεία για υπολογισμό παραμέτρων συνδυασμένου κύκλου Βασιλικού

Με βάση αυτά τα στοιχεία και ως θερμογόνο δύναμη του καυσίμου 42756 kJ/Kg βγήκε η καμπύλη κατανάλωσης καυσίμου που φαίνεται στην Εικόνα 1-20



Εικόνα 1-20: Ωριαία κατανάλωση καυσίμου Συνδυασμένου κύκλου Βασιλικού<sup>xx</sup>

### 1.3.3.4.2 Με τη χρήση απολογιστικών στοιχείων (Μηνιαίες εκθέσεις)

Μια άλλη προσπάθεια μοντελοποίησης έγινε ψάχνοντας απευθείας τις παραμέτρους στην εξίσωση κατανάλωσης καυσίμου του Συνδυασμένου Κύκλου χρησιμοποιώντας τα απολογιστικά στοιχεία της μονάδας, από τις μηνιαίες εκθέσεις των μονάδων, με την θεώρηση ότι επειδή μόνο οι αεροστροβίλοι ουσιαστικά καίνε καύσιμο θα ασχοληθούμε με τις εξισώσεις κατανάλωσής τους. Πιο συγκεκριμένα, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι ο ατμοστροβίλος δεν υπάρχει στον Συνδυασμένο Κύκλο και να αλλάξουμε τις εξισώσεις κατανάλωσης των αεροστροβίλων ώστε να αφομοιώσουν τα τεχνικά χαρακτηριστικά και του ατμοστροβίλου. Αφού κάνουμε αυτή την αλλαγή στις εξισώσεις των αεροστροβίλων ψάχνουμε για τους συντελεστές των εξισώσεων που περιγράφουν τον Συνδυασμένο κύκλο όταν δουλεύει μόνο ο ένας αεροστροβίλος ή ο άλλος και όταν δουλεύουν και οι δύο. Οπότε έχοντας τα δεδομένα που θέλουμε για την παραγωγή του Συνδυασμένου σε κάθε περίπτωση μπορούμε να βρούμε εύκολα τους συντελεστές που περιγράφουν την εξίσωση κατανάλωσης καυσίμου.

Για παράδειγμα σε μια προσπάθεια μοντελοποίησης του Συνδυασμένου Κύκλου των Χανίων είχαμε τα εξής χαρακτηριστικά όπως φαίνονται στον Πίνακα 1-5.

Συμβολισμός	Un (kV)	Sn(MV A)	Max MW	Min MW	Max MVAR	Min MVAR
AEP6XAN	11.5	65.25	42	8	26	-7.5
AEP7XAN	11.5	65.25	42	8	26	-7.5
ATM1XAN	11.5	65.25	41	19	26	-7.5

Πίνακας 1-5: Συγκεντρωτικός πίνακας στοιχείων μονάδων Συνδυασμένου Κύκλου

Αφομοιώνοντας τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ατμοστροβίλου 1 στους δύο άλλους αεροστροβίλους που τα ανανεωμένα χαρακτηριστικά τους φαίνονται στον Πίνακα 1-6.

Συμβολισμός	Un (kV)	Sn (MVA)	Max MW	Min MW	Max MVAR	Min MVAR
AEP6XAN,Σ.Κ	11.5	97.85	62.5	12	39	-11.25
AEP7XAN Σ.Κ	11.5	97.85	62.5	12	39	-11.25

Πίνακας 1-6: Συγκεντρωτικός πίνακας στοιχείων μονάδων Συνδυασμένου Κύκλου αν ο ATM1XAN αφομοιωθεί από τους αεροστροβίλους

Οπότε έχοντας ότι η εξίσωση κατανάλωσης καυσίμου των αεροστροβίλων θα είναι:

$$f_{gas}(x) = 0.0034 \cdot x^3 + 0.0225 \cdot x^2 + 227 \cdot x + 5120$$

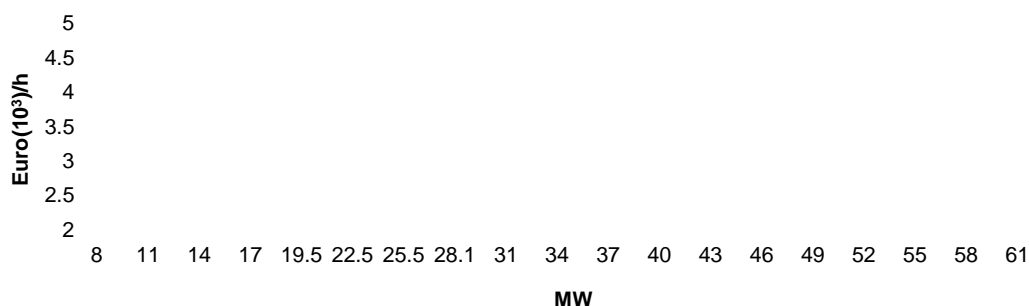
μετράμε την παραγωγή του Συνδυασμένου, αντιστοιχίζουμε πόση παραγωγή αντιστοιχεί σε κάθε μια μονάδα και συγχωνεύοντας τα δεδομένα βρίσκουμε την παραγωγή των αεροστροβίλων σε σχέση με τον ατμοστροβίλο οπότε και τα δεδομένα που θα μας δώσουν τους συντελεστές της εξίσωσης.

Σε αυτό το παράδειγμα από τα δεδομένα αυτά είχαμε τις δύο καμπύλες που αντιστοιχούσαν στους αεροστροβίλους στην Εικόνα 1-21 και στην Εικόνα 1-22 από όπου βγαίνουν η παρακάτω εξίσωση

$$y=0.001x^3+0.01x^2+145.54x+5120$$

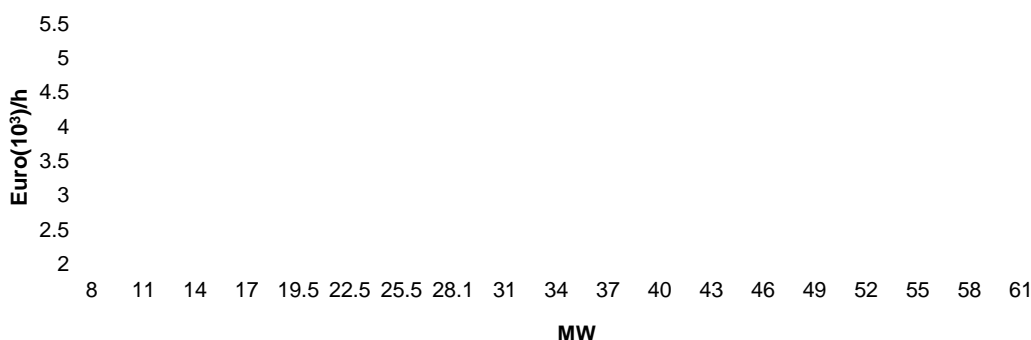
που είναι κοινή και για τους δύο αεροστροβίλους.

**Καμπύλη κόστους AEP6XAN+ΣΚ**



Εικόνα 1-21: Καμπύλη κόστους AEP6XAN και του μισού ATM1XAN

**Καμπύλη κόστους AEP7XAN+ΣΚ**



Εικόνα 1-22: Καμπύλη κόστους AEP7XAN και του μισού ATM1XAN

### 1.3.3.4.3 Χρήση τεχνικών τεχνητής νοημοσύνης

Τέλος υπάρχουν και προσπάθειες μοντελοποίησης με νευρωνικά δίκτυα και ευριστικούς αλγορίθμους. Τέτοιες τεχνικές αναζητούν την εύρεση ενός ίδιου μοτίβου στην παραγωγή των μονάδων ώστε να περιγράψουν την εξίσωση ή να προβλέψουν την παραγωγή μιας μονάδας Συνδυασμένου Κύκλου ανάλογα με την ποσότητα καυσίμου που χρησιμοποιείται στους αεροστροβίλους. Η πρώτη τεχνική σε νευρωνικά δίκτυα αποσκοπεί στο να περιγράψει την συμπεριφορά της μονάδας, όπως και οι προηγούμενες μοντελοποιήσεις, ως προς την κατανάλωση καυσίμου της. Δηλαδή το νευρωνικό δίκτυο προγραμματίζεται ώστε να μπορεί να προβλέψει με βάση την αλλαγή της ζήτησης ποια θα είναι η κατανάλωση καυσίμου της μονάδας<sup>xxi</sup>. Η άλλη τεχνική αφορά την πρόβλεψη παραγωγής της μονάδας. Δηλαδή φτιάχνεται νευρωνικό δίκτυο το οποίο είναι ικανό να προβλέψει την αλλαγή στην ζήτηση και ουσιαστικά με αυτό τον τρόπο να καθορίσει την παραγωγή των μονάδων για

την κάλυψη της ζήτησης. Αυτό επιτυγχάνεται με το να υπάρχουν πολλά νευρωνικά δίκτυα που είναι συνδεδεμένα σε ένα μεγαλύτερο καθολικό το οποίο ελέγχει και τα μικρότερα τα οποία μοντελοποιούν την συμπεριφορά των μονάδων παραγωγής.<sup>xxii</sup>

## 1.4 Σκοπός και δομή της εργασίας

Σε αυτή την εργασία θα μελετήσουμε σε βάθος την συμπεριφορά της μονάδας του Συνδυασμένου Κύκλου που βρίσκεται στον ατμοηλεκτρικό σταθμό των Χανίων. Πιο συγκεκριμένα θα βρούμε την συσχέτιση που έχει η παραγωγή του κάθε αεροστροβίλου καθώς και των δύο μαζί με την συνολική παραγωγή του Συνδυασμένου.

Έχοντας την συσχέτιση αυτή καθώς και την κατανάλωση καυσίμου της μονάδας βρίσκουμε την καινούργια εξίσωση κατανάλωσης καυσίμου που προκύπτει από τις πραγματικές μετρήσεις κατανάλωσης που έχουμε πάρει από το παροχόμετρο της μονάδας και όχι από τα απολογιστικά στοιχεία της μονάδας. Οι μετρήσεις που παίρνουμε από τα παροχόμετρα είναι πραγματικού χρόνου μετρημένες σε  $l/sec$ . Μετά δημιουργούμε ένα αλγόριθμο μερικής ανακατανομής φορτίου για να βρούμε τι οικονομικές επιδράσεις που έχει η καινούργια εξίσωση κατανάλωσης καυσίμου στο Συνδυασμένο στο Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας της Κρήτης καθώς και τι αξία έχει να γνωρίζουμε την πραγματική εξίσωση κατανάλωσης καυσίμου.

### 1.4.1 Δομή της Εργασίας

Στα προηγούμενα κεφάλαια [κεφάλαιο 0] αναφέραμε όλη την θεωρία που χρειάζεται να γνωρίζει κανείς για τα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας, τις μονάδες και τα στοιχεία που τα αποτελούν. Στην συνέχεια στο κεφάλαιο 2 αναφέρουμε όλα τα χαρακτηριστικά του Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας της Κρήτης, τα χαρακτηριστικά των μονάδων που το αποτελούν για να γίνει κατανοητό ποια είναι όλα τα στοιχεία που χρησιμοποιήσαμε για να εφαρμόσουμε τον αλγόριθμο ανακατανομής. Ρίχνουμε το βάρος μας και προσθέτουμε περισσότερα στοιχεία για τις μονάδες του σταθμού Χανίων γιατί είναι οι πιο σημαντικές για αυτή την εργασία.

Στην συνέχεια αναφέρουμε όλα τα στοιχεία που χρησιμοποιήσαμε για τον Συνδυασμένο Κύκλο καθώς και την μελέτη για την συσχέτιση παραγωγής των αεροστροβίλων και την ατμομονάδας με την συνολική παραγωγή της μονάδας και με βάση αυτή την συσχέτιση βγάλαμε την καινούργια εξίσωση κατανάλωσης καυσίμου που βασίζεται στις πραγματικές μετρήσεις κατανάλωσης καυσίμου του Συνδυασμένου. Έπειτα στο κεφάλαιο 3 θα εξηγήσουμε πως λειτουργεί ο αλγόριθμος κατανομής και πως τον υλοποιήσαμε στον υπολογιστή σε πρόγραμμα που γράφτηκε σε γλώσσα matlab.

Στην συνέχεια στο κεφάλαιο 4 θα δούμε τι επιπτώσεις έχει ο αλγόριθμος ανακατανομής καθώς και η καινούργια εξίσωση κατανάλωσης του Συνδυασμένου Κύκλου στην λειτουργία του Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας της Κρήτης. Τις επιπτώσεις αυτές θα τις ελέγξουμε στο πως μεταβάλλεται η παραγωγή των μονάδων ανά είδος και τύπο, η παραγωγή των εργοστασίων, η κατανάλωση καυσίμου καθώς και το κόστος του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας της Κρήτης.

Τέλος στο κεφάλαιο 5 θα παραθέσουμε τα αποτελέσματα που είχαμε από το κεφάλαιο 4 καθώς και τα συμπεράσματα που είχαμε από αυτή την μελέτη και τις προτάσεις που κάνουμε για την βελτίωση της λειτουργίας του Σ.Η.Ε. Κρήτης.

## 2 Το Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας Κρήτης

### 2.1 Γενική περιγραφή της Κρήτης

Η Κρήτη είναι το μεγαλύτερο νησί της Ελλάδας και το 5ο μεγαλύτερο στη Μεσόγειο. Πρωτεύουσα καθώς και μεγαλύτερη πόλη της είναι το Ηράκλειο. Η Κρήτη εδράζει περίπου 160 χλμ. νότια της ελληνικής ηπειρωτικής χώρας εκτεινόμενη κατά διεύθυνση Ανατολή - Δύση, νότια του Αιγαίου πελάγους, του οποίου και αποτελεί το νότιο φυσικό όριο και βόρεια του Λιβυκού. Αποτελεί τμήμα της περιφερειακής διοίκησης της Ελλάδας και χωρίζεται σε τέσσερις περιφερειακές ενότητες: Ηρακλείου, Χανίων, Λασιθίου και Ρεθύμνου.

Η Κρήτη γεωγραφικά είναι το μεγαλύτερο νησί στην Ελλάδα και το δεύτερο μεγαλύτερο (μετά την Κύπρο) της ανατολικής Μεσογείου. Βρίσκεται στο νότιο άκρο του Αιγαίου πελάγους και καλύπτει μια περιοχή 8.336 km<sup>2</sup>. Ο πληθυσμός της είναι 621.340 άνθρωποι (απογραφή 2011). Έχει μήκος 260 χλμ. και ποικίλλει στο πλάτος με ένα μέγιστο 60 χλμ. (από το ακρωτήριο Δίον έως το ακρωτήριο Λίθινο), σε ένα ελάχιστο 12 χλμ. στον ισθμό Ιεράπετρας στην ανατολική Κρήτη. Η ακτογραμμή της παρουσιάζει βαθύ γεωγραφικό διαμελισμό, ο οποίος παρουσιάζει στην Κρήτη πάνω από 1.000 χλμ. ακτών.

Το νησί είναι εξαιρετικά ορεινό και καθορίζεται από μια υψηλή σειρά βουνών που το διασχίζει την από τη δύση ως την ανατολή, διαμορφωμένη από τρεις διαφορετικές ομάδες βουνών. Τα Λευκά όροι, την οροσειρά Ίδη(Ψηλορείτης) και το όρος Δίκτη. Η Κρήτη ανήκει στη μεσογειακή κλιματολογική ζώνη που προσδίδει τον κύριο κλιματικό χαρακτήρα της, ο οποίος χαρακτηρίζεται ως εύκρατος. Η ατμόσφαιρα μπορεί να είναι αρκετά υγρή, ανάλογα με την εγγύτητα στη θάλασσα. Ο χειμώνας είναι αρκετά ήπιος και υγρός, με αρκετές βροχοπτώσεις, ως επί το πλείστο, στα δυτικά τμήματα του νησιού. Η χιονόπτωση είναι σπάνια στις πεδινές εκτάσεις, αλλά αρκετά συχνή στις ορεινές. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, η μέση θερμοκρασία κυμαίνεται στο πλαίσιο των 25-30 βαθμών Κελσίου, οπωσδήποτε χαμηλότερο από εκείνο στην ηπειρωτική Ελλάδα. Η νότια ακτή, συμπεριλαμβανομένης της πεδιάδας της Μεσσαράς και των Αστερούσιων ορέων, απολαμβάνει περισσότερες ηλιόλουστες ημέρες και υψηλότερες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού σε σχέση με την υπόλοιπη μεγαλόνησο. Η χλωρίδα του νησιού απειλείται από τη βαθμιαία ανάπτυξη της κτηνοτροφίας. Η Κρήτη είναι απομονωμένη από τις υπόλοιπες ηπειρωτικές περιοχές της Ευρώπης, της Ασίας και της Αφρικής, γεγονός που αποτυπώνεται έντονα στη γενετική διαφορετικότητα της πανίδας και της χλωρίδας του νησιού. Από τον κρητικό αίγαγρο (κρι-κρι), τον κρητικό αγριόγατο και την Κρητική μυγαλή, ως τα στενοενδημικά αρθρόποδα και τις νυχτερίδες της Κρήτης, η πανίδα της Κρήτης κρύβει πολλά μυστικά για την εξέλιξη των ειδών. Εκτός από τα ζώα, υπάρχουν πολλά ενδημικά είδη φυτών, ακόμη και σε στενοενδημική μορφή, δηλαδή που βρίσκονται απομονωμένα σε περιορισμένες περιοχές, όπως η Μαλοτύρα (*Sideritesyrioca*). Στην Κρήτη υπάρχουν εκατοντάδες είδη orchids, που αποτελούν πόλο έλξης για τους λάτρεις και τους ερευνητές των φυτών. Επίσης γνωστά είναι τα βότανα της Κρήτης, όπως το δίκταμο και η κόκκινη τουλίπα, η οποία πλέον απαντάται σε πολύ λίγα μέρη.

Για να καταλάβουμε καλύτερα την γεωγραφική περιοχή της Κρήτης μπορούμε να παρατηρήσουμε τον χάρτη της Εικόνα 2-1 όπου φαίνεται η γεωγραφική κατανομή της Κρήτης, δηλαδή όσο αφορά τα βουνά και τις πεδιάδες.



Εικόνα 2-1: Γεωγραφική κατανομή Κρήτης

Επίσης για να καταλάβουμε καλύτερα την καλλικρατική της κατανομή στην Εικόνα 2-2 παραθέτουμε την κατανομή της σε νομούς καθώς και την πρωτεύουσα του κάθε νομού και για να καταλάβουμε καλύτερα και την ζήτηση φορτίου που υπάρχει ανάλογα με τους κατοίκους παραθέτουμε στον Πίνακα 2-1 την πληθυσμιακή κατανομή του νησιού.



Εικόνα 2-2: Καλλικρατική κατανομή Κρήτης

Νομοί	Πληθυσμός
Ηρακλείου	304.207
Λασιθίου	75.690
Ρεθύμνου	85.160
Χανίων	156.220

Πίνακας 2-1: Πληθυσμιακή κατανομή νομών Κρήτης

## 2.2 Ιστορική αναδρομή της Ηλεκτρικής ενέργειας στην Κρήτη

Οι διαχρονικές εξελίξεις του Σ.Η.Ε. της Κρήτης είναι αρκετά σημαντικές κυρίως τις τελευταίες δεκαετίες. Στο γεγονός αυτό συντέλεσαν, ο γρήγορος ρυθμός ανάπτυξης του νησιού καθιστώντας νέες ενεργειακές απαιτήσεις οι οποίες αυξάνονται διαρκώς με ανάλογο ρυθμό ως και σήμερα.



Ο πρώτος ατμοηλεκτρικός σταθμός παραγωγής (Α.Η.Σ.) υπάρχει στα Λινοπεράματα Ηρακλείου και λειτουργεί από το 1965 ενώ ο επόμενος κατασκευάστηκε στη Ξυλοκαμάρια των Χανίων. Από τότε άρχισαν να λειτουργούν και άλλοι μικροί τοπικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και στις υπόλοιπες περιοχές της Κρήτης, κυρίως στις μεγάλες πόλεις. Επίσης, η βελτίωση του ηλεκτρικού δικτύου ολοκληρώθηκε με την αλλαγή των γραμμών μεταφοράς της Υ.Τ. από 15 kV σε γραμμές των 66 kV το 1966 και τελικά σε γραμμές των 150 kV το 1979.

Ακόμα σημειώνεται ότι, ο έλεγχος λειτουργίας του συστήματος βασίζεται από το 1993 σε ένα on-Line σύστημα S.C.A.D.A. (Εποπτικός Έλεγχος και Απόκτηση Δεδομένων) που είναι εγκατεστημένο στο Κέντρο Διανομής του Κατσαμπά, της πόλης του Ηράκλειου.

Μέχρι το 1971 η εγκατεστημένη ισχύς του νησιού προερχόμενη από συμβατικές κυρίως και υδροηλεκτρικές μονάδες παραγωγής, ήταν 81 MW και η ωφέλιμη παραγωγή ενέργειας 176 GWh. Ενώ 15 χρόνια αργότερα το 1986, έφθασε στα 209 MW και 769 GWh αντίστοιχα. Αυτή η ανάπτυξη του Σ.Η.Ε. Κρήτης κατά την περίοδο 1971-1986, συμβαδίζει με το Μέσο Όρο των ετήσιων ρυθμών ανάπτυξης, για την εγκατεστημένη ισχύ 6,5 % και για την παραγωγή ωφέλιμης ενέργειας 10,3 %.

Όμως κατά την περίοδο αυτή ο Μέσο Όρος των ετήσιων ρυθμών αύξησης της εγκατεστημένης ισχύος υστερούσε κατά 4% ως προς τον αντίστοιχο ρυθμό αύξησης της ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια. Αυτό σημαίνει ότι κατά την περίοδο 1971-86 η ικανότητα παραγωγής του Σ.Η.Ε. Κρήτης δεν αυξανόταν ισοδύναμα.

Πιο πρόσφατα, από το τέλος του 1986 ως το τέλος του 1996, η εικόνα περίπου αντιστράφηκε δηλαδή ο Μέσο Όρος των ετήσιων ρυθμών αύξησης του Σ.Η.Ε. Κρήτης ήταν 8,4 % για την εγκατεστημένη ισχύ και 7,3 % για την παραγωγή ωφέλιμης ενέργειας. Σήμερα η παραγωγή ωφέλιμης ενέργειας έχει ξεπεράσει τις 3.000 GWh, γεγονός που δείχνει την ακμάζουσα πορεία της ζήτησης, στην διαχρονική εξέλιξη του συστήματος.

Η αιολική ενέργεια στο νησί της Κρήτης, άρχισε να διαφαίνεται από τις αρχές του 1990, συντελώντας έτσι, καταλυτικό παράγοντα στη βελτίωση του ηλεκτροπαραγωγικού δυναμικού της περιοχής. Σε αυτό συνέβαλλε το γεγονός ότι η Κρήτη, όπως και τα υπόλοιπα νησιά του Αιγαίου (κυρίως οι Κυκλάδες), παρουσιάζει υψηλό αιολικό δυναμικό. Αλλά εκτός από αυτό, σπουδαίο ρόλο στην ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας στην ευρύτερη περιοχή, έπαιξαν και τα Ευρωπαϊκά προγράμματα στήριξης των Α.Π.Ε. καθώς και η μερική απελευθέρωση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που μέχρι τότε ήταν μονοπώλιο από την Δ.Ε.Η..

Ειδικά, μετά το 1994, με τον Ν.2244/94 δόθηκε η δυνατότητα σε ιδιώτες επενδυτές να εγκαταστήσουν τέτοια έργα με σταθερή τιμή αποζημίωσης (feed-intariff), συντελώντας έτσι σπουδαίο ρόλο στο γρήγορο ρυθμό ανάπτυξης αυτών των έργων. Περισσότερα στοιχεία για την ισχύ των Α.Π.Ε. θα δείτε στην ενότητα 2.6.

## **2.3 Γενικά χαρακτηριστικά Ηλεκτρικού Δικτύου Κρήτης**

Το Σ.Η.Ε. της Κρήτης είναι το μεγαλύτερο αυτόνομο σύστημα στην Ελλάδα. Η διασύνδεσή του με το Ηπειρωτικό Σύστημα είναι τεχνικά πολύ δύσκολο να πραγματοποιηθεί λόγω της μεγάλης απόστασης που υπάρχει από την ηπειρωτική χώρα. Η διασύνδεση με καλώδιο Α.Σ. (εναλλασσόμενου ρεύματος) είναι τεχνικώς ανέφικτη όχι

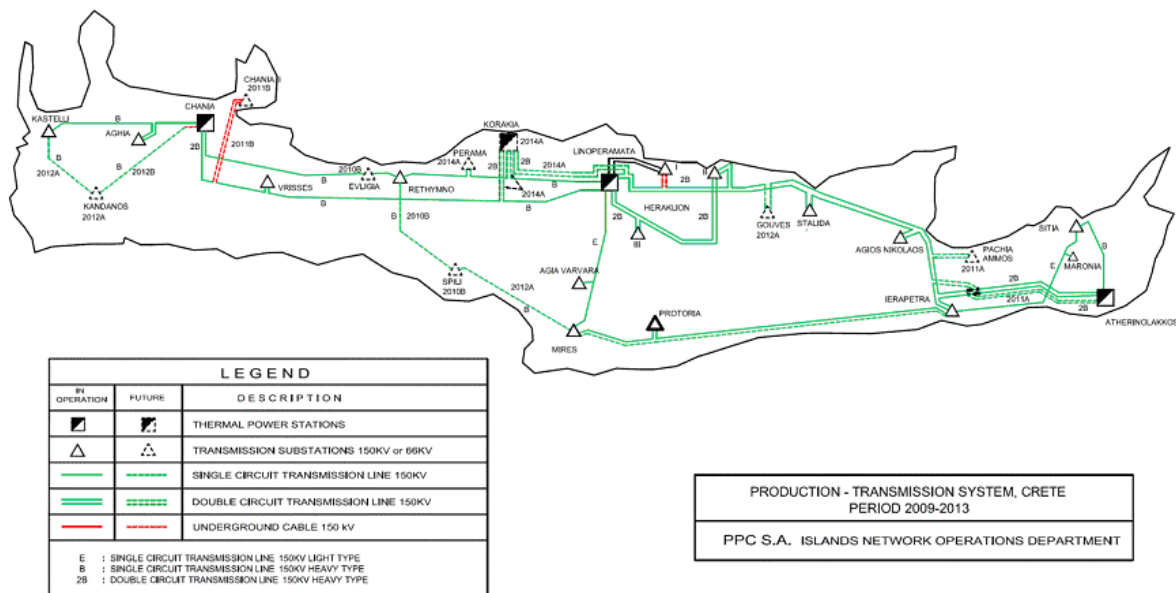
μόνο λόγω της απόστασης αλλά κυρίως λόγω του μεγάλου βάθους που μεσολαβεί μέχρι τα Αντικύθηρα. Έτσι σαν εφικτή αλλά δύσκολα εφαρμόσιμη λύση μπορεί να θεωρηθεί η μεταφορά μέσω καλωδίου H.V.D.C. (συνεχούς ρεύματος), η οποία όμως απαιτεί καλώδιο μήκους 160 χιλιομέτρων. Η διασύνδεση όμως αυτή γίνεται ακόμα πιο δυσχερής λόγω του σχετικά ασθενούς δικτύου της Νότιας Πελοποννήσου. Επομένως το σύστημα της Κρήτης είναι απομονωμένο.

Το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του νησιού, παρουσιάζει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τα οποία το καθιστούν μοναδικό στην Ελλάδα ενώ ταυτόχρονα έχει όλα τα τεχνικά γνωρίσματα ενός αυτόνομου νησιωτικού συστήματος με τα μειονεκτήματα που αυτό συνεπάγεται (αναφέρονται παρακάτω). Μια γεωγραφική απεικόνιση του αυτόνομου Σ.Η.Ε. της Κρήτης παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.2-2.

Το Σ.Η.Ε. της Κρήτης παρουσιάζει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Περιλαμβάνει τρεις Σταθμούς Παραγωγής. Τον σταθμό στα Λινοπεράματα Ηρακλείου, που είναι και ο μεγαλύτερος, τον σταθμό στον Αθρινόλακο Λασιθίου, που είναι ο πιο καινούργιος, και τον σταθμό στην Ξυλοκαμάρα Χανίων.
- Διαθέτει συνολικά 27 εγκατεστημένες συμβατικές μονάδες τις περισσότερες από τις οποίες στα Λινοπεράματα Ηρακλείου.
- Δίκτυα γραμμών μεταφοράς Υψηλής Τάσης (150 kV και 66 kV) και Μέσης Τάσης (20 kV).
- 17 Υποσταθμούς Υψηλής Τάσης.
- Κέντρο κατανομής Φορτίου (στον Υποσταθμό Ηράκλειο II) που χρησιμοποιεί σύστημα τηλεμετρήσεων SCADA από το οποί έχουμε πάρει κι εμείς τα δεδομένα που έχουμε.
- Δύο μικρούς Υδροηλεκτρικούς Σταθμούς της τάξεως των 300 kW στον Αλμυρό Λασιθίου και την Αγιά Ρεθύμνου.
- Αιολικά Πάρκα τα οποία έχουν σημαντική παραγωγή ισχύος [2.7.3].
- Μεγάλο αριθμό Φ/Β Πάρκων που έχουν σημαντική παραγωγή ισχύος [2.7.4].

Στην Εικόνα 2-3 βλέπουμε ένα συνοπτικό χάρτη του Ηλεκτρικού Συστήματος της Κρήτης όπου είναι σημειωμένα και τα βασικά του στοιχεία όπως αναφέραμε και παραπάνω.

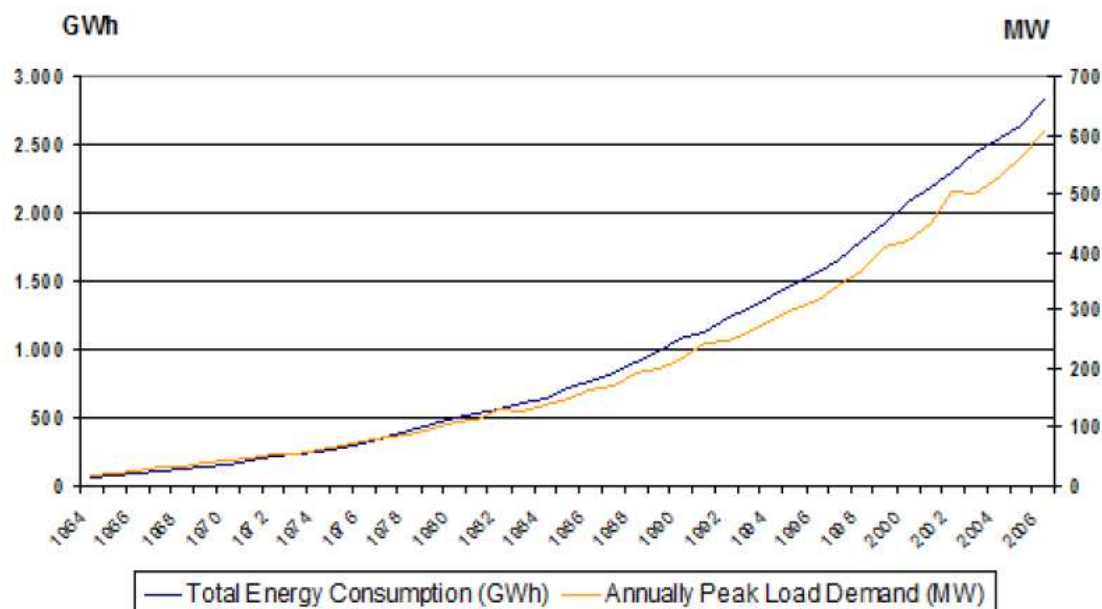


Εικόνα 2-3: Δομή Σ.Η.Ε. Κρήτης

Από τα στοιχεία που αναφέραμε προηγουμένως κυρίως οι 3 ατμοηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής, οι οποίοι περιέχουν και τις μονάδες βάσης, είναι αυτοί που ικανοποιούν κυρίως την ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στο νησί καθώς παράγουν συνήθως το 60-80% της ζήτησης φορτίου. Περισσότερα στοιχεία για τις μονάδες του Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας της Κρήτης θα δούμε στο κεφάλαιο 2.6.

## 2.4 Ζήτηση φορτίου Κρήτης

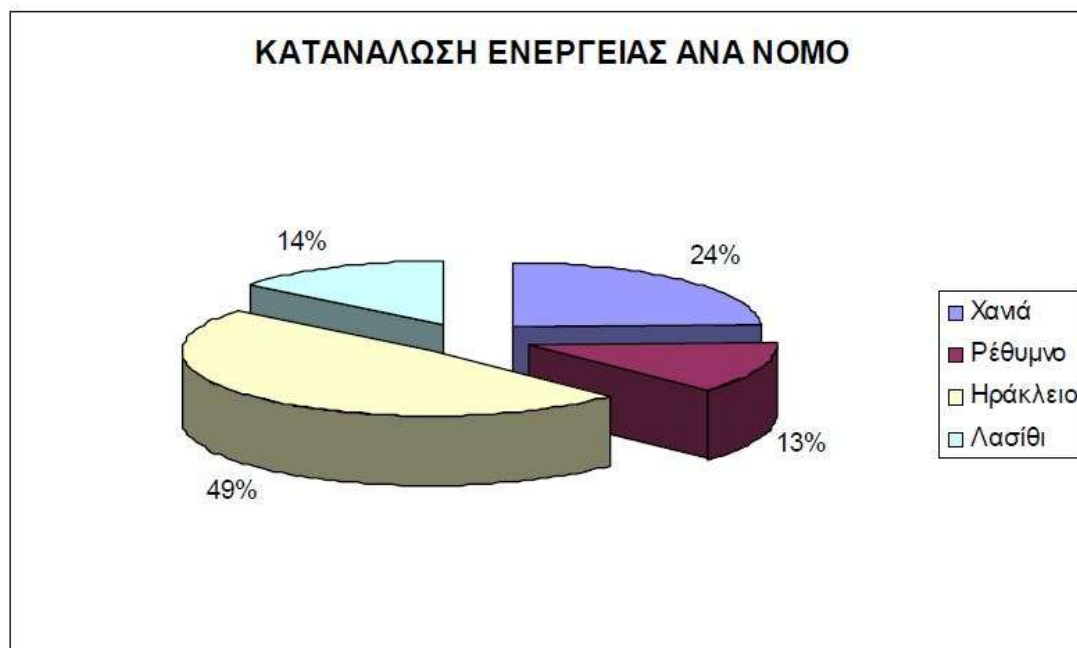
Αυτό που παρατηρείται έντονα στο νησί τα τελευταία χρόνια είναι η απότομη αύξηση της ζήτησης, και κατ' επέκτασης του φορτίου, η οποία σχετίζεται με την ραγδαία αύξηση του νησιού ως προς τον πληθυσμό αλλά κυρίως λόγω της τεράστιας τουριστικής απήχησης που έχει, η οποία έχει ως αποτέλεσμα το καλοκαίρι ο πληθυσμός του νησιού να διπλασιάζεται και η ζήτηση να αυξάνεται πάρα πολύ. Για να γίνουν πιο κατανοητές αυτές οι διαφορές, με βάση τα στοιχεία της Δ.Ε.Η. η συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του Σ.Η.Ε. της Κρήτης μεταξύ των ετών 1998 και 2008, δηλαδή σε μία δεκαετία, αυξήθηκε κατά 84% όπως φαίνεται στην Εικόνα 2-4, ενώ η αύξηση αυτή μεταξύ των ετών 1988 και 2008, δηλαδή μέσα σε είκοσι χρόνια, έφθασε το 235%.



Εικόνα 2-4: Διαχρονική ζήτηση φορτίου Κρήτης

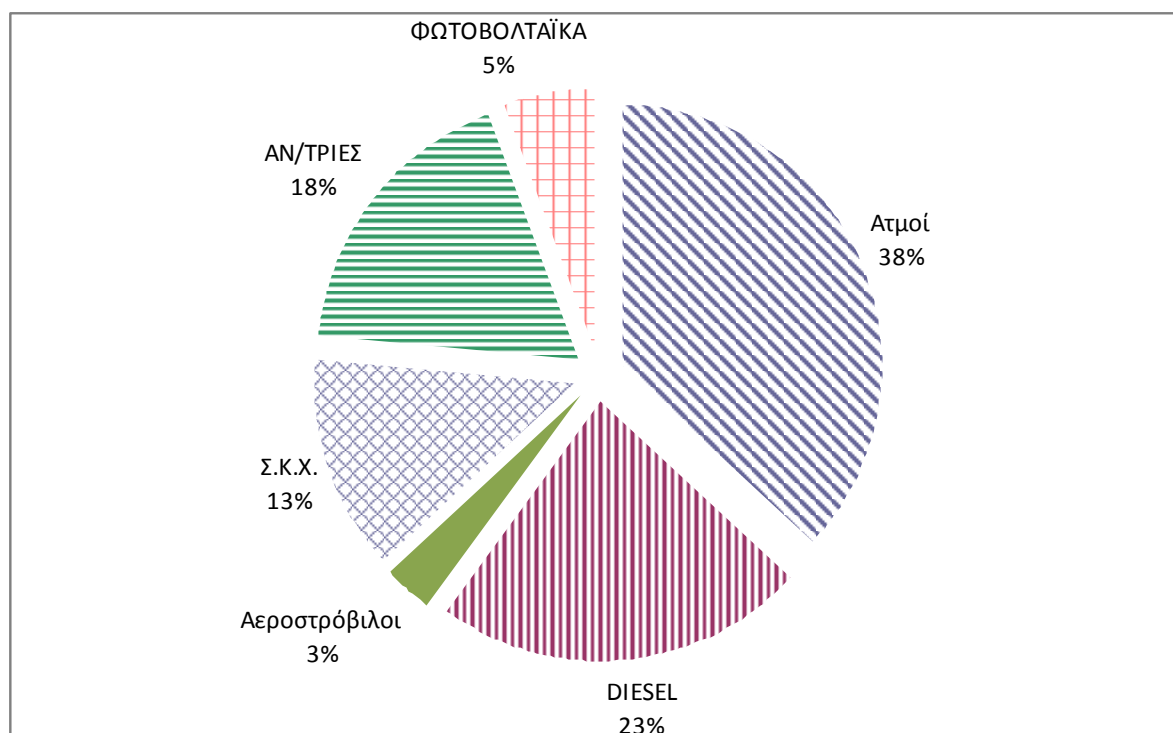
Για να γίνει πιο κατανοητό το μέγεθος της αύξησης του φορτίου, σύμφωνα με στοιχεία της Δ.Ε.Η., η ζήτηση για το έτος 1975 ήταν μόλις 280 GWh ενώ το 2009 είχε ξεπεράσει τις 3 TWh. Ουσιαστικά εδώ μιλάμε για σχεδόν εκθετική αύξηση της ζήτησης.

Όπως όμως είπαμε και πριν κάθε νομός έχει και διαφορετικό πληθυσμό οπότε έχει και διαφορετική ζήτηση φορτίου. Όπως είναι λοιπόν φυσικό (λόγω μεγέθους και πληθυσμού), το μεγαλύτερο μέρος της κατανάλωσης ενέργειας στην Κρήτη αφορά το νομό Ηρακλείου όπου και καταναλώνεται σχεδόν η μισή ενέργεια που παράγεται στο νησί. Ακολουθεί ο νομός Χανίων, όπου και η κατανάλωση φτάνει στο 25% του συνόλου, ενώ με σχεδόν ίδια ποσοστά 13 και 14 % αντίστοιχα, ακολουθούν οι νομοί Ρεθύμνης και Λασιθίου όπως φαίνεται και καλύτερα στην Εικόνα 2-5.



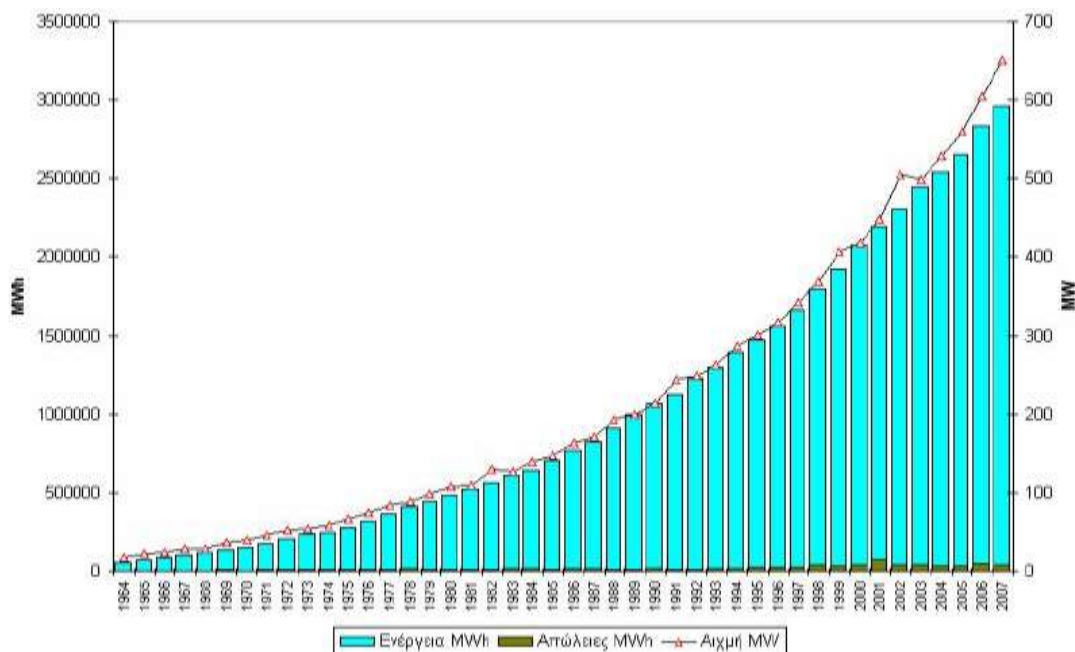
Εικόνα 2-5: Ποσοστιαία ζήτηση φορτίου στην Κρήτη ανά νομό

Αυτή την ζήτηση του φορτίου δεν την ικανοποιούν όλες οι μονάδες παραγωγής εξίσου δηλαδή δεν μοιράζονται οι MWh που χρειάζονται για να ικανοποιήσουν την ζήτηση εξίσου σε όλες τις μονάδες. Υπάρχει ένας τρόπος (unit commitment) ο οποίος υπολογίζει σε κάθε ώρα ποιες μονάδες θα καλύψουν την ζήτηση και πόσα MW θα παράγουν. Ουσιαστικά ο διαχειριστής του συστήματος διανομής ηλεκτρικής ενέργειας έχει μία πρόβλεψη για το φορτίο για κάθε ώρα, και σε συνεννόηση με το προσωπικό του κάθε υποσταθμού, καθορίζει ποιες μονάδες θα λειτουργήσουν και πόσο θα παράγει η κάθε μία. Με βάση αυτά τα στοιχεία βγαίνει ένας μέσος όρος στο πόσο συμμετέχει κάθε είδος μονάδας στην κάλυψη του φορτίου αυτού όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-6. Στην εικόνα βλέπουμε ότι και οι Α.Π.Ε. και κυρίως τα αιολικά πάρα συμβάλλουν έντονα στην κάλυψη του φορτίου και στην ανακούφιση των μονάδων παραγωγής με αποτέλεσμα να μειώνεται το κόστος και να μην υπάρχουν περιβαλλοντικές επιπτώσεις στον ίδιο βαθμό με πριν την εισχώρηση των Α.Π.Ε.



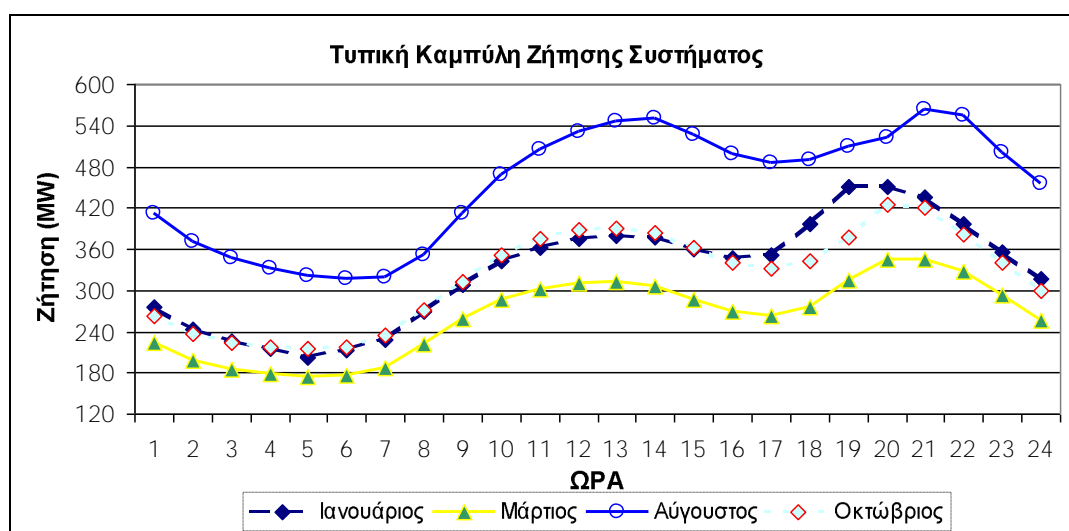
Εικόνα 2-6: Ποσοστιαία συμμετοχή μονάδων ανά είδος στην κάλυψη του φορτίου

Κάτι που επηρεάζει έντονα και την ζήτηση φορτίου είναι η κατακόρυφη αύξηση της αιχμής φορτίου του συστήματος κάτι που έχει ως αποτέλεσμα την ανάγκη να εισχωρήσουν στο Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας της Κρήτης και άλλες μονάδες για να την καλύψουν ή και άλλες Α.Π.Ε. ώστε να μην δημιουργείται πρόβλημα. Για να γίνει πιο κατανοητή η αύξηση της αιχμής παραθέτουμε την Εικόνα 2-7.



Εικόνα 2-7: Διαχρονική εξέλιξη της αιχμής στην Κρήτη

Εκτός από την κατακόρυφη αύξηση του φορτίου που υπάρχει στο Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας της Κρήτης ανά έτος έχουμε και αύξηση του φορτίου μέσα στο ίδιο έτος από χειμώνα σε καλοκαίρι. Το καλοκαίρι έχουμε πολύ μεγαλύτερο φορτίο, κυρίως τον Αύγουστο, καθώς υπάρχει μεγάλη εισροή τουριστών στο νησί με αποτέλεσμα να αυξάνεται η ζήτηση φορτίου και να υπάρχουν μεγάλες διαφορές από χειμώνα σε καλοκαίρι, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-8 όπου παραθέτουμε την ζήτηση που μετρήθηκε στην πιο αντιπροσωπευτική μέρα κάθε μήνα και στις 4 εποχές του χρόνου.



Εικόνα 2-8: Τυπικές καμπύλες ζήτησης για το ΣΗΕ Κρήτης

## 2.5 Θερμικοί Σταθμοί Παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Κρήτη

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως στο Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας Κρήτης υπάρχουν τρεις βασικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής οι οποίοι είναι Θερμικοί σταθμοί παραγωγής. Εκτός από αυτούς τους σταθμούς που αποτελούν την βάση του συστήματος



υπάρχει και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω Α.Π.Ε. καθώς και από υδροηλεκτρικά εργοστάσια και βιομάζα.

Ατμοηλεκτρικοί ονομάζονται οι σταθμοί παραγωγής που χρησιμοποιούν κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας τις συμβατικές μονάδες παραγωγής που αναφέραμε προηγουμένως κι έχουν τουλάχιστον μια ατμομονάδα. Όπως είπαμε και πριν η Κρήτη έχει τρεις τέτοιους σταθμούς στα Λινοπεράματα Ηρακλείου, στην Ξυλοκαμάρα Χανίων και στον Αθερινόλακο Λασιθίου.

### **2.5.1 Α.Η.Σ. Λινοπεραμάτων Ηρακλείου**

Τα Λινοπεράματα του Νομού Ηρακλείου βρίσκονται 6 χιλιόμετρα Δυτικά της πόλης του Ηρακλείου. Εκεί βρίσκεται εγκατεστημένος ο Α.Η.Σ. Παραγωγής Λινοπεραμάτων. Ο Σταθμός Παραγωγής διαθέτει συνολικά, έξι ατμοστροβλικές μονάδες, τέσσερις Μονάδες Εσωτερικής Καύσης Diesel και πέντε αεροστροβλικές μονάδες. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στον υπάρχον Σταθμό Παραγωγής είναι περίπου 265MW. Είναι ο παλαιότερος σταθμός στην Κρήτη και είναι αυτός που χρησιμοποιούταν κατά κόρον για την κάλυψη της ζήτησης μέχρι που φτιάχτηκε ο σταθμός στον Αθερινόλακο. Ο σταθμός αυτός σήμερα προκαλεί αρκετές αντιδράσεις καθώς η πόλη του Ηρακλείου έχει επεκταθεί αρκετά και πλέον ο σταθμός είναι πολύ κοντά σε κατοικημένες περιοχές. Στην Εικόνα 2-9 φαίνεται ο σταθμός αυτός.



Εικόνα 2-9: Ο Α.Η.Σ. Λινοπεραμάτων Ηρακλείου

### **2.5.2 Α.Η.Σ. Αθερινόλακου Λασιθίου**

Στον Αθερινόλακο του Νομού Λασιθίου, περίπου 25 χιλιόμετρα Νότια της πόλης της Σητείας βρίσκεται ο Α.Η.Σ. Παραγωγής Αθερινόλακου. Ο Σταθμός Παραγωγής διαθέτει συνολικά δύο Μ.Ε.Κ. Ντήζελ και δύο ατμοστροβλικές μονάδες. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στο υπάρχον Σταθμό είναι περίπου 190 MW. Είναι ο πιο καινούργιος σταθμός στην Κρήτη και από την κατασκευή του και μετά έχει βελτιωθεί κατά πολύ η ικανότητα κάλυψης της ζήτησης στο Σύστημα της Κρήτης. Στην Εικόνα 2-10 φαίνεται ο σταθμός.



Εικόνα 2-10: Ο Α.Η.Σ. Αθρινόλακου Λασιθίου

### 2.5.3 Σταθμός παραγωγής Ξυλοκαμάρας Χανίων

Η Ξυλοκαμάρα του Νομού Χανίων βρίσκεται 6 χιλιόμετρα Ανατολικά της πόλης των Χανίων και εκεί είναι εγκατεστημένος ο Α.Η.Σ. Παραγωγής Χανίων. Ο Σταθμός Παραγωγής αυτός διαθέτει συνολικά έξι αεροστροβλικές μονάδες και μια μονάδα Συνδυασμένου Κύκλου η οποία αποτελείται από δύο αεροστροβλικές μονάδες και μία ατμοηλεκτρική μονάδα. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στον υπάρχον Σταθμό Παραγωγής είναι περίπου 348 MW. Είναι ο δεύτερος χρονολογικά σταθμός που κατασκευάζεται στην Κρήτη και καλύπτει κυρίως την ζήτηση στον νομό Χανίων. Ο σταθμός φαίνεται στην Εικόνα 2-11.



Εικόνα 2-11: Ο Α.Η.Σ. Ξυλοκαμάρας Χανίων

Ο σταθμός αυτός αποτελείται αποκλειστικά από αεροστροβλικές μονάδες, οι οποίες όπως είπαμε πιο πριν έχουν αρκετά μειονεκτήματα [1.3.2.3], και από μια μονάδα Συνδυασμένου



Κύκλου. Λόγω του ότι αποτελείται από αεροστροβίλους είναι και ο πιο ακριβός σταθμός παραγωγής στην Κρήτη και μερικές μονάδες του, όπως και ο συνδυασμένος κύκλος, λόγω κυρίως του πολύ ακριβότερου καυσίμου που χρησιμοποιούν.

### 2.5.3.1 Αεροστροβιλικές Μονάδες

Όπως είπαμε και πριν ο Α.Η.Σ. Χανίων αποτελείται από αεροστροβιλικές μονάδες από τις οποίες μερικές είναι μονάδες αιχμής και άλλες χρησιμοποιούνται μόνο για εφεδρεία. Θα αναφέρουμε τα τεχνικά χαρακτηριστικά όλων των μονάδων καθώς και τον τρόπο που χρησιμοποιούνται.

#### 2.5.3.1.1 Αεροστρόβιλος 1 Χανίων

Θεωρείται ο ακριβότερος αεροστρόβιλος του Σ.Η.Ε Κρήτης με μέση ειδική κατανάλωση καυσίμου περίπου 580 gr/KWh. Επειδή είναι και ο ακριβότερος δεν χρησιμοποιείται σχεδόν καθόλου για την κάλυψη της ζήτησης και κυρίως είναι στατή εφεδρεία στον σταθμό σε περίπτωση που υπάρχει βλάβη σε κάποια άλλη μονάδα. Τα τεχνικά του χαρακτηριστικά φαίνονται στον Πίνακα 2-2.

Συμβολισμός	Un(kV)	Sn(MVA)	Max MW	Min MW	Max MVA <sub>r</sub>	Min MVA <sub>r</sub>
ΑΕΡΙΧΑΝ	6,3	21,3	14	3	8	2,5

Πίνακας 2-2: Τεχνικά χαρακτηριστικά ΑερίΧαν

Η συνάρτηση κόστους της μονάδας αυτής δίνεται από τον τύπο:

$$f_{\text{ΑΕΡΙΧΑΝ}}(x) = 0.01 \cdot x^2 + 267 \cdot x + 2170$$

Στον Πίνακα 2-3 φαίνονται και τα υπόλοιπα τεχνικά χαρακτηριστικά του

Χρόνος Συγχρονισμού (min)	9
Κατανάλωση Diesel κατά την εκκίνηση (lt)	99
Χρόνος σβέσης (min)	9
Κατανάλωση καυσίμου κατά τη σβέση (lt)	35
Ρυθμός μεταβολής φορτίου	2 MW/min

Πίνακας 2-3: Υπόλοιπα χαρακτηριστικά ΑΕΡΙΧΑΝ

#### 2.5.3.1.2 Αεροστρόβιλος 4 Χανίων

Όπως και ο αεροστρόβιλος 1 έτσι κι αυτός ο αεροστρόβιλος δεν χρησιμοποιείται συχνά και χρησιμεύει ως εφεδρεία σε περίπτωση κάποιας βλάβης. Σε σχέση με τον αεροστρόβιλο 1 πάντως έχει μια κάποια παραγωγή κυρίως στην αντιμετώπιση ζήτησης αιχμής που ξεπερνάει τα όρια των άλλων μονάδων του σταθμού. Τα τεχνικά του χαρακτηριστικά φαίνονται στον Πίνακα 2-4.

Συμβολισμός	Un(kV)	Sn(MVA)	Max MW	Min MW	Max MVA <sub>r</sub>	Min MVA <sub>r</sub>
ΑΕΡ4ΧΑΝ	11	26,75	18,8	3	15	-15

Πίνακας 2-4: Τεχνικά χαρακτηριστικά του Αερί4Χαν

Η συνάρτηση κόστους για αυτή την μονάδα δίνεται από την εξίσωση

$$f_{\text{AEP4XAN}}(x) = 0.01 \cdot x^2 + 219 \cdot x + 2865$$

όπου  $x$  είναι η παραγωγή σε MW και  $f_{\text{AEP4XAN}}(x)$  η κατανάλωση καυσίμου σε Kg/h.

Τα υπόλοιπα τεχνικά χαρακτηριστικά της μονάδας φαίνονται στον Πίνακα 2-5.

Χρόνος Συγχρονισμού (min)	5.5
Κατανάλωση Diesel κατά την εκκίνηση (lt)	1355
Χρόνος σβέσης (min)	5
Κατανάλωση καυσίμου κατά τη σβέση (lt)	34
Ρυθμός μεταβολής φορτίου	2 MW/min

Πίνακας 2-5:Λοιπά χαρακτηριστικά Αερ4Χαν

### 2.5.3.1.3 Αεροστρόβιλος 5 Χανίων

Όπως και ο αεροστρόβιλος 4 έτσι κι αυτός χρησιμοποιείται κυρίως ως εφεδρεία σε περίπτωση βλάβης ή αν η αιχμή της ζήτησης φορτίου είναι πολύ μεγάλη. Τα τεχνικά του χαρακτηριστικά φαίνονται στον Πίνακα 2-6.

Συμβολισμός	Un(kV)	Sn(MVA)	Max MW	Min MW	Max MVA <sub>r</sub>	Min MVA <sub>r</sub>
AEP5XAN	11	39,8	28,1	5	20	-14,1

Πίνακας 2-6:Τεχνικά χαρακτηριστικά Αερ5Χαν

Η συνάρτηση κόστους για αυτή την μονάδα δίνεται από την εξίσωση:

$$f_{\text{AEP5XAN}}(x) = 0.001 \cdot x^2 + 275 \cdot x + 3757$$

Τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά της μονάδας φαίνονται στον Πίνακα 2-7.

Χρόνος Συγχρονισμού (min)	11
Κατανάλωση Diesel κατά την εκκίνηση (lt)	353
Χρόνος σβέσης (min)	11
Κατανάλωση καυσίμου κατά τη σβέση (lt)	45
Ρυθμός μεταβολής φορτίου	2 MW/min

Πίνακας 2-7:Λοιπά χαρακτηριστικά Αερ5Χαν

### 2.5.3.1.4 Αεροστρόβιλοι 11 και 12 Χανίων

Είναι όμοιοι αεροστρόβιλοι και είναι οι μεγαλύτεροι σε ισχύ αεροστρόβιλοι του Σ.Η.Ε. Κρήτης. Έχουν ονομαστική ισχύ 58 MW ο καθένας και χρησιμοποιούνται πάρα πολλές ώρες τον χρόνο ως οι κυριότερες μονάδες αιχμής του συστήματος. Επίσης οι μονάδες αυτές έχουν τρομερή ικανότητα ανάληψης φορτίου πράγμα που τις κάνει ιδανικές για την αντιμετώπιση της αιχμής της ζήτησης. Τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά φαίνονται στον Πίνακα 2-8.

Συμβολισμός	Un(kV)	Sn(MVA)	Max MW	Min MW	Max MVar	Min MVar
ΑΕΡ11ΧΑΝ	11,5	61	58	6	20	-14,1
ΑΕΡ12ΧΑΝ	11,5	61	58	6	20	-14,1

Πίνακας 2-8:Τεχνικά χαρακτηριστικά Αερ11Χαν και Αερ12Χαν

Η συνάρτηση κόστους των μονάδων αυτών είναι η παρακάτω, που είναι κοινή και για τις δύο μονάδες.

$$f_{\text{ΑΕΡ11\&12ΧΑΝ}}(x) = 0.001 \cdot x^3 + 0.209 \cdot x^2 + 219.2 \cdot x + 3966$$

Από την συνάρτηση κόστους καταλαβαίνουμε ότι αυτές οι μονάδες είναι πολύ πιο φθηνές από τους αεροστροβίλους 1,4 και 5 καθώς η εξίσωσή τους έχει μικρούς συντελεστές καθώς και πολύ μικρότερο σταθερό όρο. Τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά τους φαίνονται στον Πίνακας 2-9.

Χρόνος Συγχρονισμού (min)	11
Κατανάλωση Diesel κατά την εκκίνηση (lt)	0.5
Χρόνος σβέσης (min)	11
Κατανάλωση καυσίμου κατά τη σβέση (lt)	0.1
Ρυθμός μεταβολής φορτίου	5MW/min

Πίνακας 2-9:Λοιπά χαρακτηριστικά Αερ11Χαν και Αερ12Χαν

### 2.5.3.1.5 Αεροστρόβιλος 13 Χανίων

Λόγω του ότι η εγκατάσταση των αεροστροβίλων 11 και 12 είχε μεγάλη επιτυχία στην ανακούφιση της αιχμής της ζήτησης, προστέθηκε και άλλος ένας αεροστρόβιλος με παρόμοια χαρακτηριστικά για να κάνει την ίδια δουλειά ή να είναι εφεδρεία όταν κάποιος από τους άλλους δύο πάθει κάποια βλάβη. Ο αεροστρόβιλος αυτός, όπως και ο αεροστρόβιλος 5 των Λινοπεραμάτων (ΑΕΡ5 ΛΙΝ), είναι μοντέλο GM LM2500+ που είναι πιο καινούργιο από τους άλλους αεροστροβίλους καθώς έχει καλύτερη απόδοση και πιο γρήγορη ανάληψη φορτίου.<sup>xxiii</sup> Τα τεχνικά του χαρακτηριστικά φαίνονται στον Πίνακας 2-10.

Συμβολισμός	Un(kV)	Sn(MVA)	Max MW	Min MW	Max MVar	Min MVar
ΑΕΡ13ΧΑΝ	11,5	39,8	28	5	20	-14,1

Πίνακας 2-10: Τεχνικά χαρακτηριστικά ΑΕΡ13ΧΑΝ

Η συνάρτηση κόστους του δίνεται από την παρακάτω εξίσωση

$$f_{\text{ΑΕΡ13ΧΑΝ}}(x) = 0.001 \cdot x^3 + 0.3605 \cdot x^2 + 196.29 \cdot x + 1675.8$$

Τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του φαίνονται στον Πίνακας 2-11.

Χρόνος Συγχρονισμού (min)	11
Κατανάλωση Diesel κατά την εκκίνηση (lt)	0.7
Χρόνος σβέσης (min)	11
Κατανάλωση καυσίμου κατά τη σβέση (lt)	0.1
Ρυθμός μεταβολής φορτίου	5MW/min

Πίνακας 2-11: Λοιπά χαρακτηριστικά ΑΕΡ13ΧΑΝ

## 2.5.4 Η μονάδα Συνδυασμένου κύκλου των Χανίων

Η μονάδα Συνδυασμένου κύκλου Χανίων είναι η μεγαλύτερη μονάδα του συστήματος Κρήτης ονομαστικής ισχύος 132MW. Είναι μονάδα βάσης και η ατμομονάδα λειτουργεί συνολικά το 96% του έτους, για το έτος 2010 και 73% για το έτος 2013. Αποτελείται από δύο αεροστροβίλους, τον ΑΕΡ6ΧΑΝ και τον ΑΕΡ7ΧΑΝ και τον ατμοστροβίλο ΑΤΜ1ΧΑΝ. Οι δύο αεροστροβίλοι καταναλώνουν ελαφρύ πετρέλαιο diesel και τα καυσαέρια της καύσης οδηγούνται στον ατμοστροβίλο ΑΤΜ1ΧΑΝ. Έτσι αντί τα καυσαέρια της καύσης να οδηγούνται άμεσα στην ατμόσφαιρα αποδίδουν έργο μέσω της κίνησης ατμοστροβίλου με αποτέλεσμα να αυξάνεται η συνολική απόδοση της μονάδας κατά 50% καθώς χρησιμοποιώντας την ίδια ποσότητα καυσίμου παράγονται περισσότερα MW.

### 2.5.4.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά μονάδων που την αποτελούν

Για την καλύτερη κατανόηση της μονάδας του Συνδυασμένου Κύκλου θα παραθέσουμε τα τεχνικά χαρακτηριστικά των μονάδων που την αποτελούν.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της κάθε μονάδας παρατίθενται στον Πίνακα 2-12.

Συμβολισμός	Un (kV)	Sn(MV A)	Max MW	Min MW	Max MVAR	Min MVAR
ΑΕΡ6ΧΑΝ	11.5	65.25	42	8	26	-7.5
ΑΕΡ7ΧΑΝ	11.5	65.25	42	8	26	-7.5
ΑΤΜ1ΧΑΝ	11.5	65.25	41	19	26	-7.5

Πίνακας 2-12:Συγκεντρωτικός πίνακας στοιχείων μονάδων Συνδυασμένου Κύκλου

Όμως όπως είπαμε και στο κεφάλαιο 1.3.3.4 επειδή η παραγωγή του ατμοστροβίλου στον Συνδυασμένο Κύκλο δεν μπορεί να θεωρηθεί αυτόνομη η λύση που προτείνεται είναι να θεωρηθεί ότι η μονάδα Συνδυασμένου Κύκλου είναι οι 2 αεροστροβιλικές μονάδες με τροποποιημένα τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά ώστε να περιλαμβάνεται και η ισχύς του ατμοστροβίλου.

Έτσι το τεχνικό μέγιστο των 2 αεροστροβιλικών μονάδων θα προκύψει από το μέγιστο των μονάδων συν το μισό του μέγιστου του ατμοστροβίλου. Το τεχνικό ελάχιστο του κάθε αεροστροβίλου δε θα είναι πλέον το τεχνικό ελάχιστο του αλλά μεγαλύτερο ώστε να συμπεριλάβει περίπου το ένα πέμπτο του τεχνικού ελάχιστου του ατμοστροβίλου. Ο λόγος για αυτό είναι ότι υπάρχει πιθανότητα να λειτουργεί ο ένας αεριοστροβίλος μόνος του χωρίς ο ατμός του να παράγει έργο είτε διότι η ποσότητα ατμού που θα παράγεται θα είναι αρκετά μειωμένη λόγω της χαμηλής φόρτισης ενός μόνο αεροστροβίλου.. Έτσι τα τεχνικά χαρακτηριστικά των δύο μονάδων που θα εισαχθούν αντί του Συνδυασμένου Κύκλου θα είναι βάσει του Πίνακα 2-13:

Συμβολισμός	Un (kV)	Sn (MVA)	Max MW	Min MW	Max MVAR	Min MVAR
ΑΕΡ6ΧΑΝ,Σ.Κ	11.5	97.85	61.5	17	39	-11.25
ΑΕΡ7ΧΑΝ Σ.Κ	11.5	97.85	61.5	17	39	-11.25

Πίνακας 2-13:Πίνακας στοιχείων μονάδων Συνδυασμένου Κύκλου αν ο ΑΤΜ1ΧΑΝ αφομοιωθεί από τους αεροστροβίλους

Επιπλέον χαρακτηριστικά που πρέπει να γνωρίζουμε είναι ο ρυθμός αύξησης και μείωσης του φορτίου των μονάδων, μετά την παραδοχή ότι ο ατμοστρόβιλος αφομοιώνεται από τους αεροστροβίλους, ο οποίος είναι ίδιος και για τις δύο μονάδες και είναι 28 MW ο ρυθμός ανάληψης φορτίου και 39 MW ο ρυθμός μείωσης του φορτίου μέσα σε διάστημα μίας ώρας.

#### **2.5.4.2 Συμπεριφορά μονάδων παραγωγής –συσχέτιση παραγωγής**

Όπως αναφέραμε και στο τέλος του κεφαλαίου 1 [1.4] μοντελοποιήσαμε τον Συνδυασμένο Κύκλο των Χανίων εξετάζοντας την σχέση που έχει η παραγωγή κάθε αεροστροβίλου με την συνολική παραγωγή του συνδυασμένου. Την συμπεριφορά της μονάδας την εξετάσαμε για τα έτη 2010 και 2013.

##### **2.5.4.2.1 Παραγωγή και ώρες λειτουργίας μονάδων**

Κομβικό σημείο σε αυτή την μοντελοποίηση είναι να βρούμε την παραγωγή του Συνδυασμένου Κύκλου σε κάθε περίπτωση, όπως είπαμε και πριν, καθώς και πόσες ώρες είχαμε την κάθε περίπτωση.

Εξετάζοντας λοιπόν τα δεδομένα για το έτος 2010 είδαμε ότι η περίπτωση του μισού Συνδυασμένου που περιέχει τον AEP6 και τον ATM1 παρήγαγε 135,721 GWh και λειτούργησε 3639 ώρες συνολικά. Ο συνδυασμός AEP7 και ATM1 παρήγαγε 77,929 GWh και λειτούργησε 2047 ώρες ενώ ολόκληρος ο Συνδυασμένος, δηλαδή και οι τρεις μονάδες AEP6, AEP7 και ATM1, παρήγαγε 186,819 GWh και λειτουργούσε για 2387 ώρες. Συνολικά για το έτος ο Συνδυασμένος, σε όλες τις περιπτώσεις λειτουργίας του, δούλεψε 8073 ώρες και παρήγαγε 400,469 GWh. Ουσιαστικά είναι αναμενόμενες αυτές οι ώρες λειτουργίας του καθώς και η παραγωγή του καθώς όπως είπαμε και πριν η μονάδα Συνδυασμένου Κύκλου είναι μονάδα βάσης του Σ.Η.Ε. Κρήτης.

Για το έτος 2013 ο μισός Συνδυασμένος Κύκλος στην περίπτωση όπου λειτουργούσε ο AEP6 και ο ATM1 είχε παραγωγή 99,466 GWh και λειτούργησε 2684 ώρες. Ο μισός Συνδυασμένος Κύκλος στην περίπτωση όπου λειτουργούσαν ο AEP7 και ο ATM1 είχε παραγωγή 33,157 GWh και λειτουργούσε 870 ώρες ενώ ολόκληρος ο Συνδυασμένος Κύκλος και με τις τρεις μονάδες σε λειτουργία παρήγαγε 211,739 GWh ενώ λειτουργούσε 2868 ώρες. Συνολικά η μονάδα σε οποιαδήποτε περίπτωση λειτούργησε 6422 ώρες και παρήγαγε 344,362 GWh. Η πτώση παρατηρείται και στην παραγωγή καθώς και στις ώρες λειτουργίας οφείλεται στο γεγονός ότι τα τελευταία χρόνια υπάρχει ταχεία ανάπτυξη των Α.Π.Ε. και της ισχύς που παράγουν με αποτέλεσμα να μειώνεται γενικά η παραγωγή όλων των θερμικών μονάδων.

Υπάρχει ακόμα μια περίπτωση λειτουργίας των αεροστροβίλων που περιλαμβάνονται στον Συνδυασμένο κύκλο και είναι να λειτουργούν σε λειτουργία ανοιχτού κύκλου. Σε αυτή την λειτουργία ουσιαστικά δουλεύουν σαν ανεξάρτητες αεροστροβιλικές μονάδες, δηλαδή χωρίς τα καυσαέρια τους να προωθούνται για παραγωγή στον ατμοστρόβιλο. Σε λειτουργία ανοιχτού κύκλου για το έτος 2010 ο AEP6 λειτούργησε 15 ώρες με παραγωγή 225,05 MWh ενώ ο AEP7 λειτούργησε 295 ώρες με παραγωγή 7,775 GWh, ενώ για το έτος 2013 ο AEP6 λειτούργησε 455 ώρες με παραγωγή 9,744 GWh ενώ ο AEP7 11 ώρες με παραγωγή 151,02 MWh.

Για την καλύτερη ανάγνωση των στοιχείων αυτών τα παραθέτουμε στον Πίνακα 2-14.

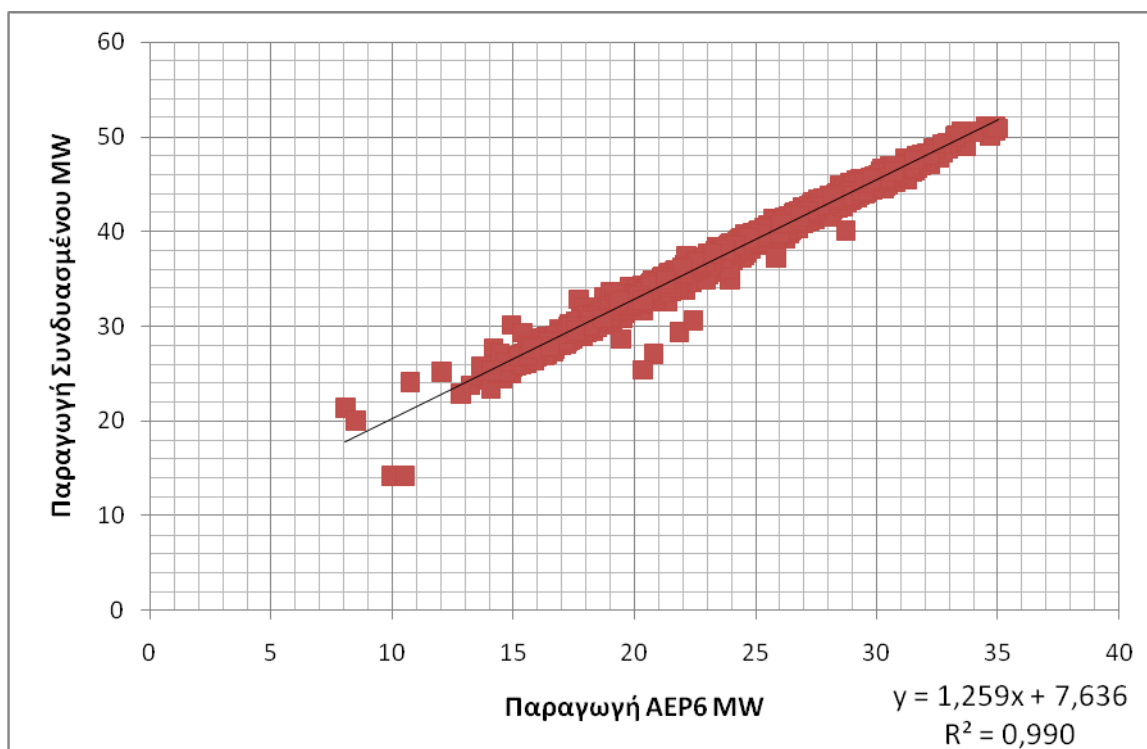
	2010		2013	
Συνδυασμένος	Παραγωγή(GWh)	Ώρες λειτουργίας	Παραγωγή(GWh)	Ώρες Λειτουργίας
ΑΕΡ6+ΑΤΜ1	135,721	3636	99,466	2684
ΑΕΡ7+ΑΤΜ1	77,929	2047	33,157	870
Ολόκληρος	186,819	2387	211,739	2868
ΑΕΡ6 μόνος	0,225	15	9,744	455
ΑΕΡ7 μόνος	7,775	295	0,151	11

Πίνακας 2-14: Παραγωγή και ώρες λειτουργίας Συνδυασμένου για τα έτη 2010 και 2013

#### 2.5.4.2.2 Λειτουργία "Μισού" Συνδυασμένου κύκλου ΑΕΡ6 και ΑΤΜ1

Όπως παρατηρήσαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο [2.5.4.2.1] ο μισός Συνδυασμένος Κύκλος, δηλαδή ο συνδυασμός του ΑΕΡ6 και του ΑΤΜ1 ή του ΑΕΡ7 και του ΑΤΜ1, δουλεύει αρκετές ώρες και έχει αξιοσημείωτη παραγωγή. οπότε η πρώτη μοντελοποίηση που κάνουμε στον Συνδυασμένο Κύκλο είναι να δούμε πως συσχετίζεται η παραγωγή του ενός αεροστροβίλου που δουλεύει με την παραγωγή του ατμοστροβίλου. Ουσιαστικά ελέγξαμε την παραγωγή του Συνδυασμένου Κύκλου για αυτή την περίπτωση για τα δύο έτη μελέτης και προσπαθήσαμε να βρούμε ένα μοτίβο συσχέτισης της παραγωγής του αεροστροβίλου με αυτή του ατμοστροβίλου.

Για το έτος 2010 είχαμε από την συνολική παραγωγή της μονάδας σε λειτουργία μισού κύκλου την συσχέτιση παραγωγής που φαίνεται στην Εικόνα 2-12. Από την συσχέτιση της παραγωγής του ΑΕΡ6 σε σχέση με τον Συνδυασμένο βγαίνει ότι αν  $x$  είναι η παραγωγή του ΑΕΡ6 σε MW και  $y$  του Συνδυασμένου τότε η συσχέτιση τους περιγράφεται από την εξίσωση  $y=1.259x+7.636$  και  $R^2$  ίσο με 99%.

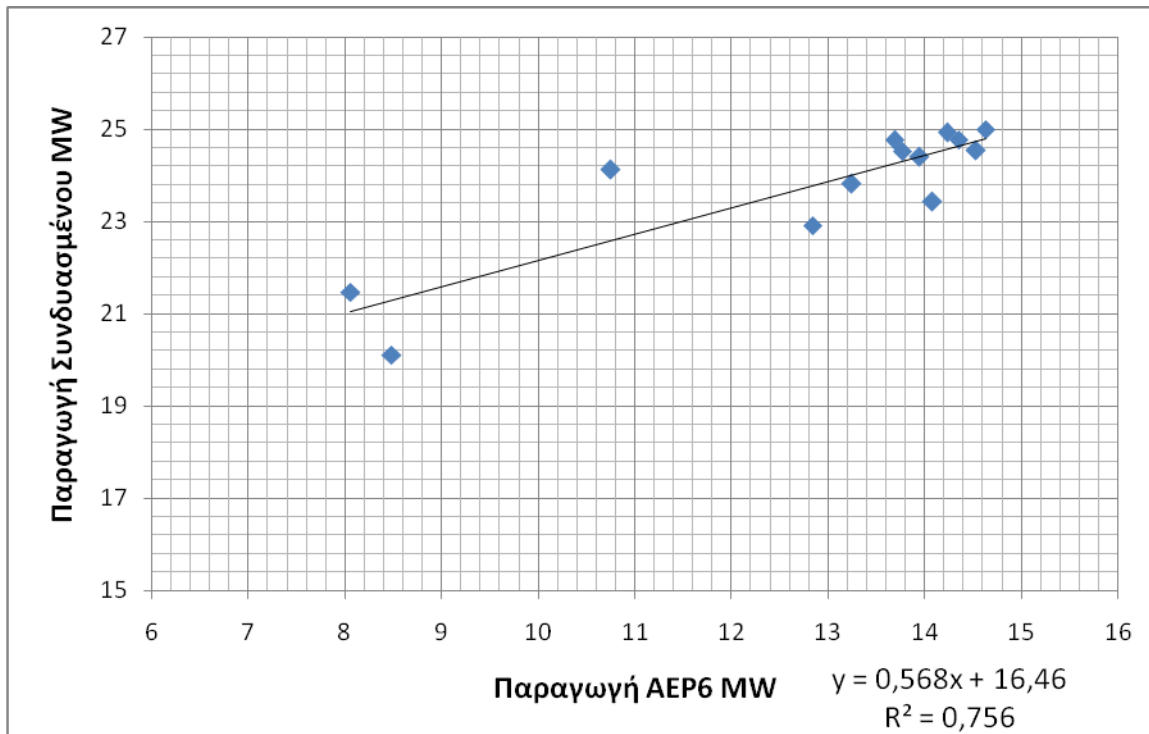


Εικόνα 2-12: Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή του ΑΕΡ6 2010

Παρατηρούμε ότι ακόμα και παρόλο που έχουμε  $R^2$  99% υπάρχουν αποκλίσεις από την εξίσωση συσχέτισης της παραγωγής. Για το λόγο αυτό εξετάσαμε την συσχέτιση της παραγωγής του ΑΕΡ6 σε σχέση με τον Συνδυασμένο σε μικρότερη κλίμακα.

Για παραγωγή του Συνδυασμένου <25MW έχουμε την εξίσωση  $y=0,568x+16,46$  με  $R^2$  ίσο με 75,6% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-13.

Παρατηρούμε ότι έχουμε μικρότερη ταύτιση δεδομένων από ότι στο σύνολο κυρίως γιατί είμαστε σε πολύ χαμηλή παραγωγή, κοντά στο τεχνικό ελάχιστο των μονάδων, όπου δεν έχει ομαλοποιηθεί η συμπεριφορά των μονάδων αλλά και επειδή έχουμε σχετικά λίγα δείγματα.

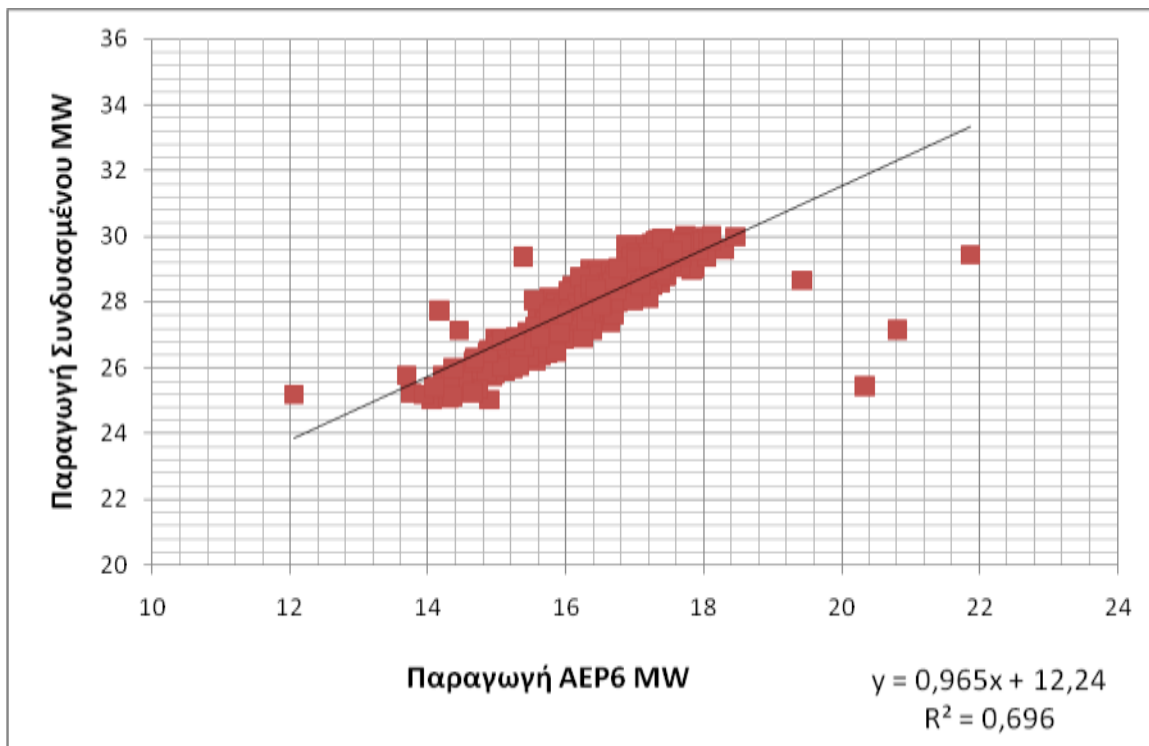


Εικόνα 2-13: Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή του ΑΕΡ6 <25MW 2010

Για παραγωγή του Συνδυασμένου από 25-30 MW έχουμε την εξίσωση συσχέτισης  $y=0.956x+12.24$  με  $R^2$  ίσο με 69,6% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-14.

Εδώ έχουμε την μεγαλύτερη απόκλιση στην ταύτιση δεδομένων καθώς είχαμε κάποιες τιμές μετά από μείωση της παραγωγής του ΑΕΡ6 οπότε δεν είχαμε συνεχόμενη ροή παραγωγής.

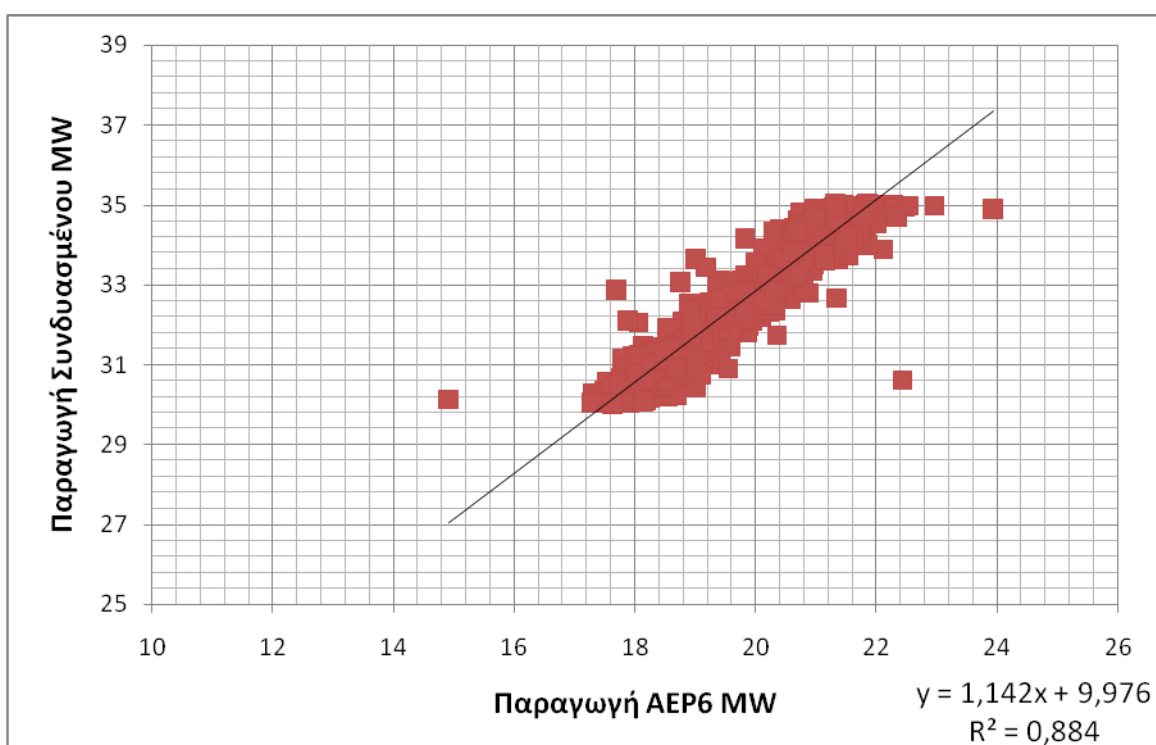




Εικόνα 2-14: Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή του ΑΕΡ6 25-30MW 2010

Για την παραγωγή του Συνδυασμένου από 30-35 MW έχουμε την εξίσωση  $y = 1.142x + 9.976$  με  $R^2$  ίσο με 88,4% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-15.

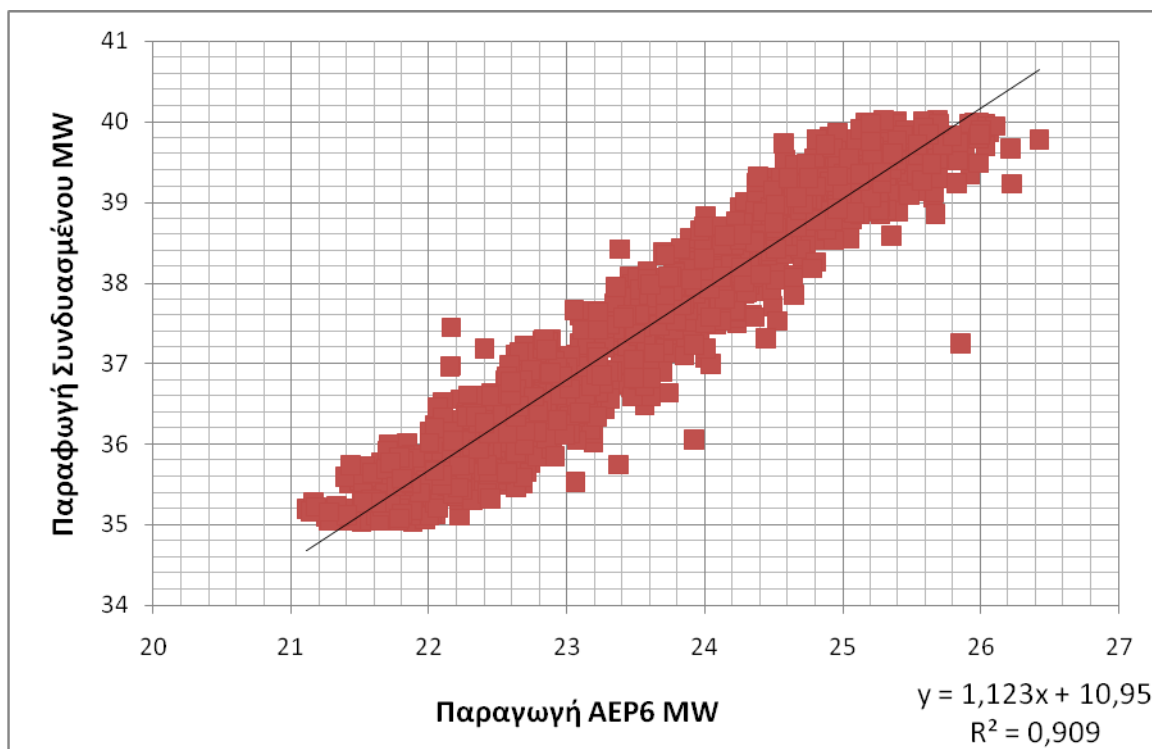
Σε αυτή την περιοχή τιμών έχουμε πολύ καλύτερη ταύτιση δεδομένων στην εξίσωση καθώς ο ΑΕΡ6 έχει φτάσει στα επίπεδα της κανονικής παραγωγής του και δεν έχει αρκετές αποκλίσεις. Όποιες αποκλίσεις έχει οφείλονται στο ότι υπάρχουν μερικές τιμές που προκύπτουν από πτώση της παραγωγής του αεροστροβίλου και μερικές στο γεγονός ότι ο ατμοστροβίλος του Συνδυασμένου δεν έχει φτάσει ακόμα σε ρυθμούς ομαλής παραγωγής.



Εικόνα 2-15: Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή του ΑΕΡ6 30-35MW 2010

Για παραγωγή του Συνδυασμένου από 35-40 MW έχουμε την εξίσωση  $y=1.123x+10.95$  με  $R^2$  ίσο με 90,9% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-16.

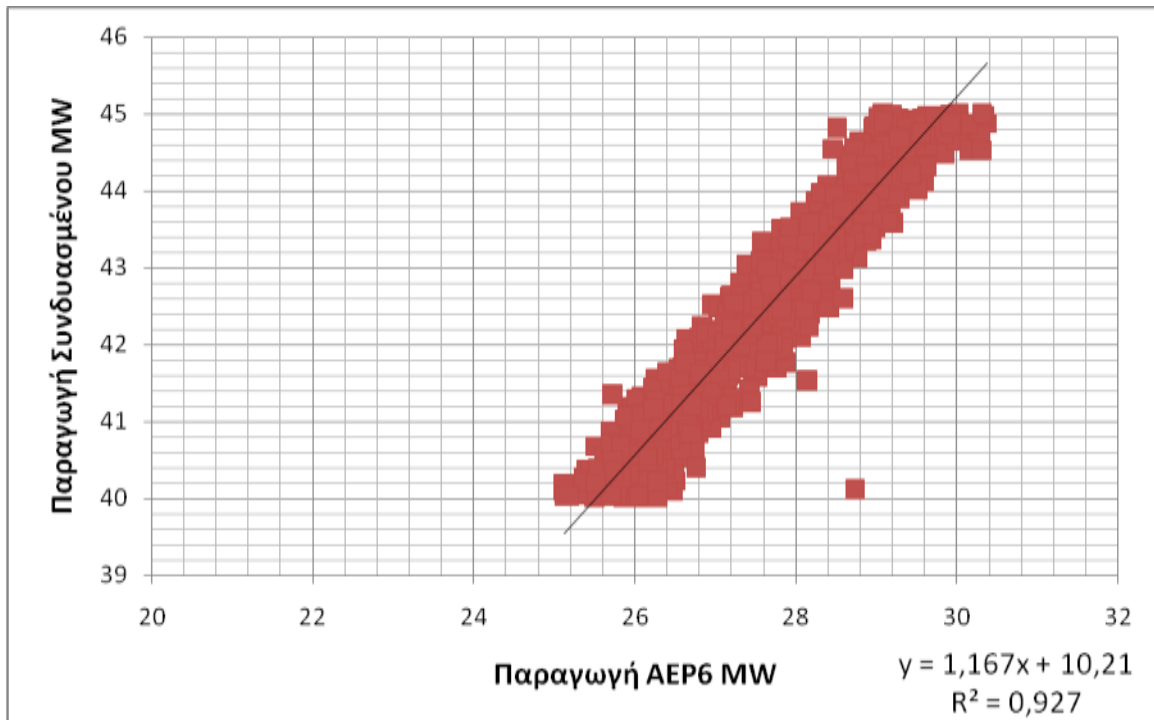
Αυτό το διάστημα είναι από τα πιο αντιπροσωπευτικά της παραγωγής του Συνδυασμένου καθώς και ο ΑΕΡ6 και ο ΑΤΜ1 έχουν περάσει στο στάδιο της ομαλής παραγωγής τους γι' αυτό και παρατηρείται τόσο μεγάλη συσχέτιση δεδομένων στην εξίσωση. Όσο αφορά τις αποκλίσεις εδώ έχουμε ελάχιστες πράγμα που είναι πολύ καλό καθώς ο Συνδυασμένος δουλεύει πολλές ώρες σε αυτό το διάστημα παραγωγής.



Εικόνα 2-16: Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή του ΑΕΡ6 35-40MW 2010

Για παραγωγή του Συνδυασμένου από 40-45 MW έχουμε την εξίσωση  $y=1.167x+10.21$  με  $R^2$  ίσο με 92,7% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-17.

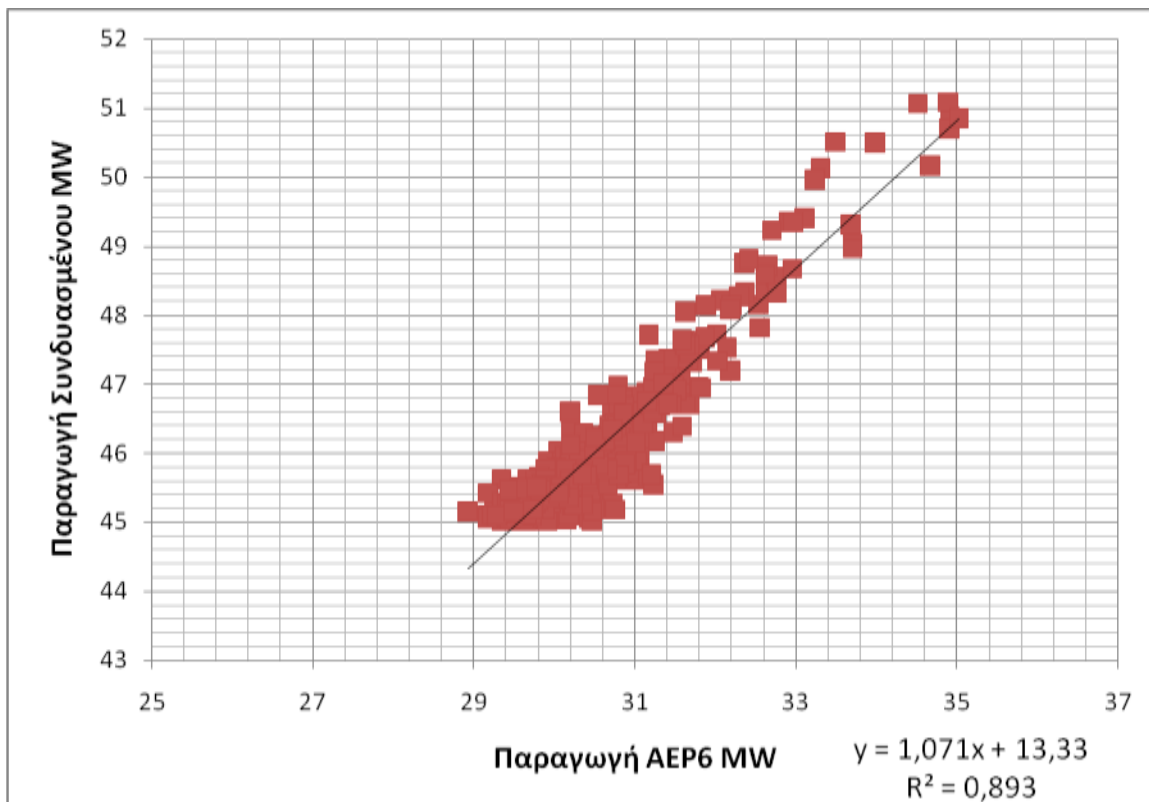
Σε αυτό το διάστημα παραγωγής ισχύει περίπου ότι και στο προηγούμενο διάστημα με την διαφορά ότι εδώ έχουμε καλύτερη ταύτιση τιμών με ελάχιστες τιμές να αποκλίνουν από την εξίσωση λόγω κάποιων διαταραχών στην παραγωγή των μονάδων.



Εικόνα 2-17: Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή του ΑΕΡ6 40-45MW 2010

Για την παραγωγή του Συνδυασμένου από 45 MW έως και την μέγιστη μετρημένη παραγωγή έχουμε την εξίσωση  $y=1.071x+13.33$  με  $R^2$  ίσο με 89,3% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-18.

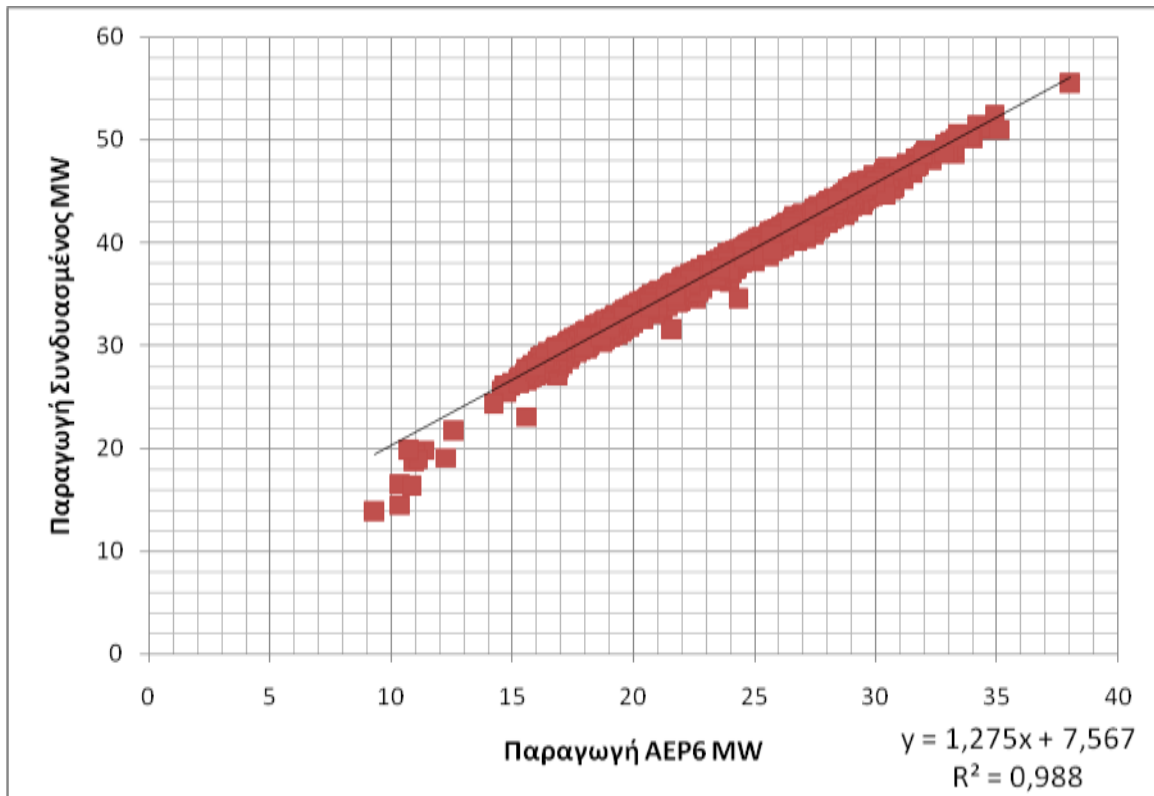
Σε αυτό το διάστημα τιμών παρατηρούμε ότι έχουμε μικρότερη ταύτιση από ότι στο προηγούμενο διάστημα τιμών καθώς ο ΑΕΡ6 δουλεύει κοντά στο τεχνικό του μέγιστο και αυτό μπορεί να προκαλέσει διαφορές στην γραμμική σχέση που έχει η παραγωγή του ΑΕΡ6 με του Συνδυασμένου.



Εικόνα 2-18: Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή του ΑΕΡ6 45MW-max 2010

Για το έτος 2013 είχαμε από την συνολική παραγωγή της μονάδας σε λειτουργία μισού κύκλου την συσχέτιση παραγωγής που φαίνεται στην Εικόνα 2-19. Σε αυτό το έτος η συσχέτιση παραγωγής του ΑΕΡ6 και του ΑΤΜ1, στην λειτουργία του μισού Συνδυασμένου Κύκλου, δίνεται από την εξίσωση  $y=1.275x+7.567$  με  $R^2$  ίσο με 98,8%.

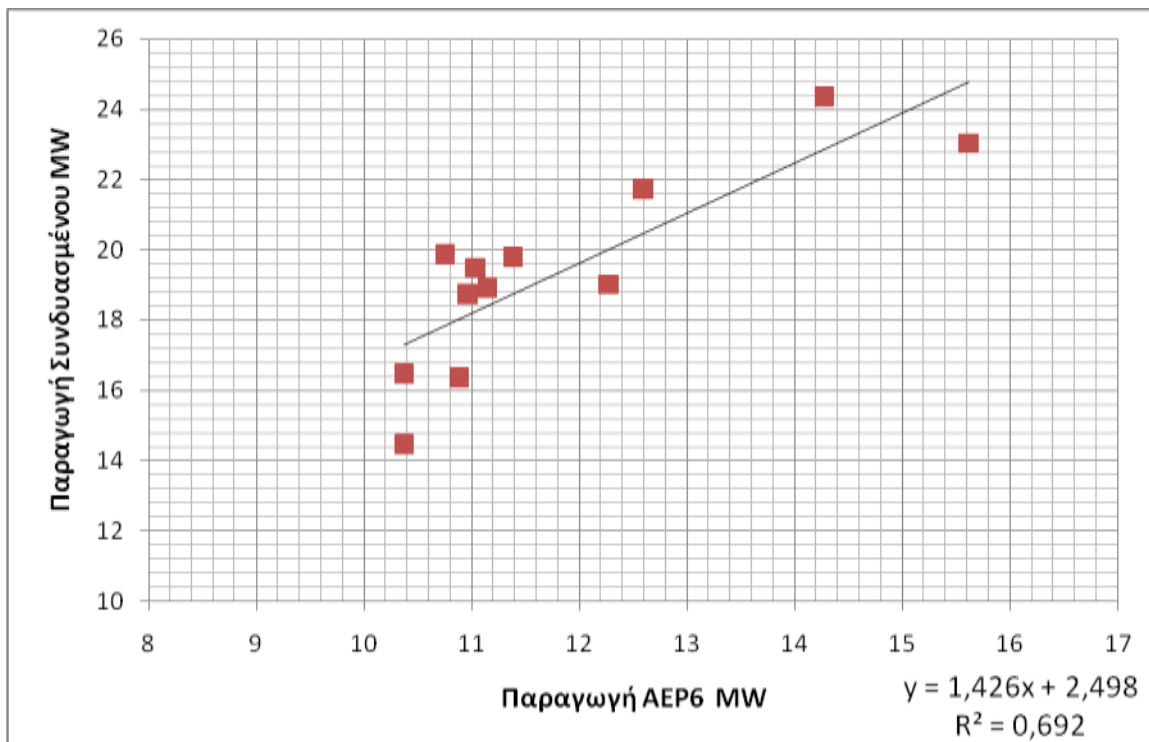
Παρατηρούμε ότι η εξίσωση αυτή είναι πολύ παρόμοια με αυτή για το έτος 2010 πράγμα που σημαίνει ότι η γραμμική εξίσωση συσχέτισης παραγωγής του ΑΕΡ6 και του ΑΤΜ1 είναι, με μικρές αποκλίσεις, σωστή. Όπως και στο έτος 2010 έτσι και για το 2013 παρατηρούμε αποκλίσεις από την εξίσωση οπότε αναλύσαμε την παραγωγή σε διαστήματα για να δούμε την ταύτιση δεδομένων σε αυτά.



Εικόνα 2-19: Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή του ΑΕΡ6 2013.

Για παραγωγή του Συνδυασμένου από την ελάχιστη καταγεγραμμένη έως και 25 MW έχουμε την εξίσωση  $y=1.426x+2.498$  με  $R^2$  ίσο με 69,2% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-20.

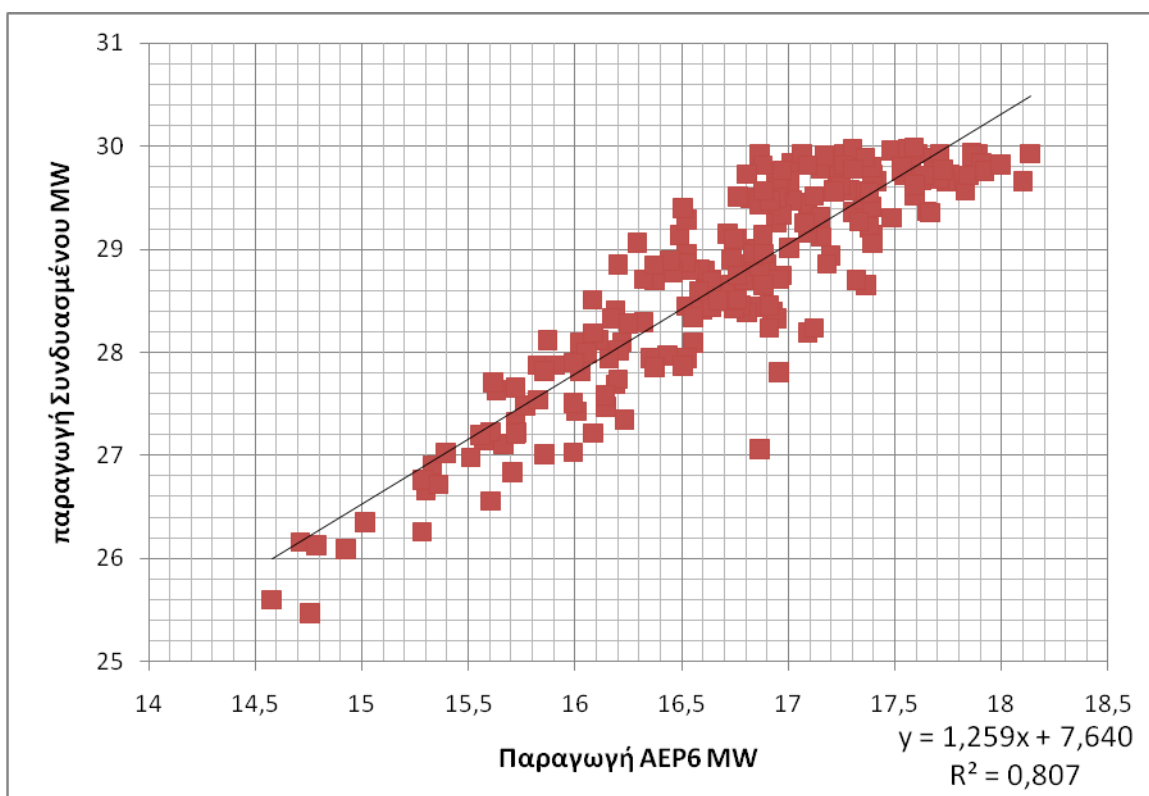
Σε αυτό το διάστημα παραγωγής του Συνδυασμένου παρατηρούμε ότι έχουμε την μεγαλύτερη απόκλιση από την εξίσωση καθώς και ο ΑΕΡ6 και ο ΑΤΜ1 βρίσκονται στην εκκίνησή τους οπότε δεν παρουσιάζουν την ομαλή παραγωγή που περιμένουμε σε άλλα διαστήματα παραγωγής.



Εικόνα 2-20: Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή του ΑΕΡ6 <25 MW 2013

Για παραγωγή του Συνδυασμένου από 25 έως και 30 MW έχουμε την εξίσωση  $y = 1,259x + 7,64$  με  $R^2$  ίσο με 80,7% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-21.

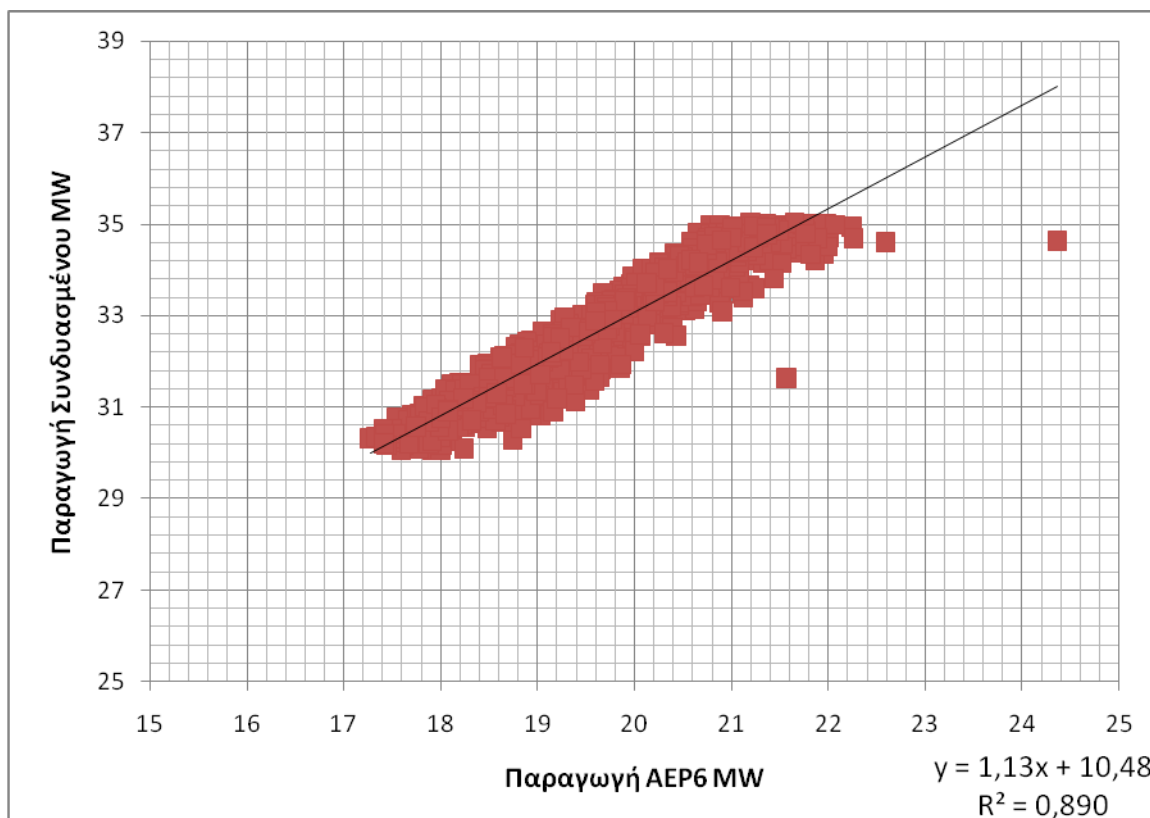
Σε αυτό το διάστημα παραγωγής παρατηρούμε ότι η παραγωγή έχει ομαλοποιηθεί αρκετά, για αυτό έχουμε και καλύτερη ταύτιση δεδομένων, όμως είμαστε ακόμα κοντά στα τεχνικά ελάχιστα και των δύο μονάδων, παραγωγή που έτσι κι αλλιώς δεν την συναντάμε πολλές ώρες τον χρόνο.



Εικόνα 2-21: Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή του ΑΕΡ6 25-30 MW 2013

Για παραγωγή του Συνδυασμένου από 30 έως και 35 MW έχουμε την εξίσωση  $y=1.13x+10.48$  με  $R^2$  ίσο με 89% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-22.

Σε αυτό το διάστημα τιμών παρατηρούμε ότι το σύνολο των τιμών συγκλίνει στην εξίσωση, καθώς είμαστε στο διάστημα που και οι δύο μονάδες έχουν φτάσει την ομαλή παραγωγή τους, ενώ υπάρχουν μερικές οι οποίες αποκλίνουν σημαντικά. Αυτό συμβαίνει καθώς μπορεί να έχουμε κάποιες τιμές οι οποίες προήλθαν από μείωση της παραγωγής καθώς και μερικές που έχουν καταγραφεί λάθος.

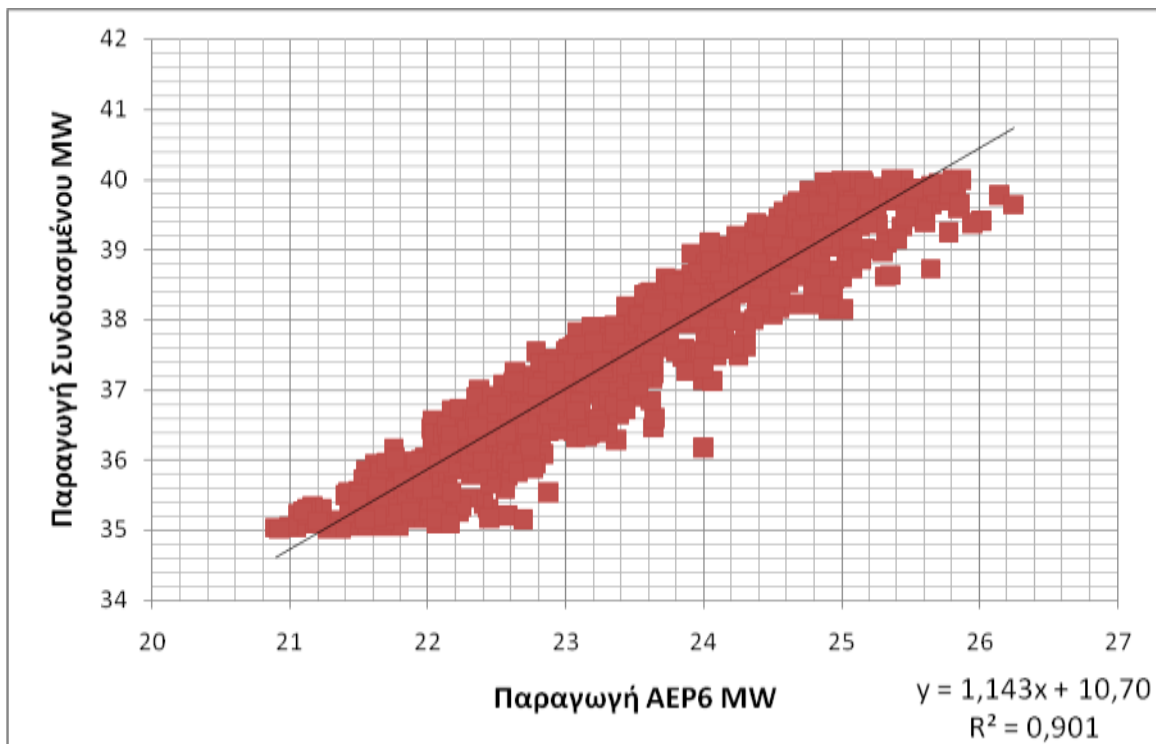


Εικόνα 2-22: Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή του ΑΕΡ6 30-35 MW 2013

Για παραγωγή του Συνδυασμένου από 35 έως και 40 MW έχουμε την εξίσωση  $y=1.143x+10.7$  με  $R^2$  ίσο με 90,1% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-23.

Ουσιαστικά αυτό είναι το διάστημα που η παραγωγή και των δύο μονάδων είναι σε ομαλό επίπεδο και για αυτό έχουμε και την μεγαλύτερη ταύτιση δεδομένων στην εξίσωση. Επίσης είναι και τον διάστημα παραγωγής, μαζί με το επόμενο, που ο Συνδυασμένος λειτουργεί τις περισσότερες ώρες.

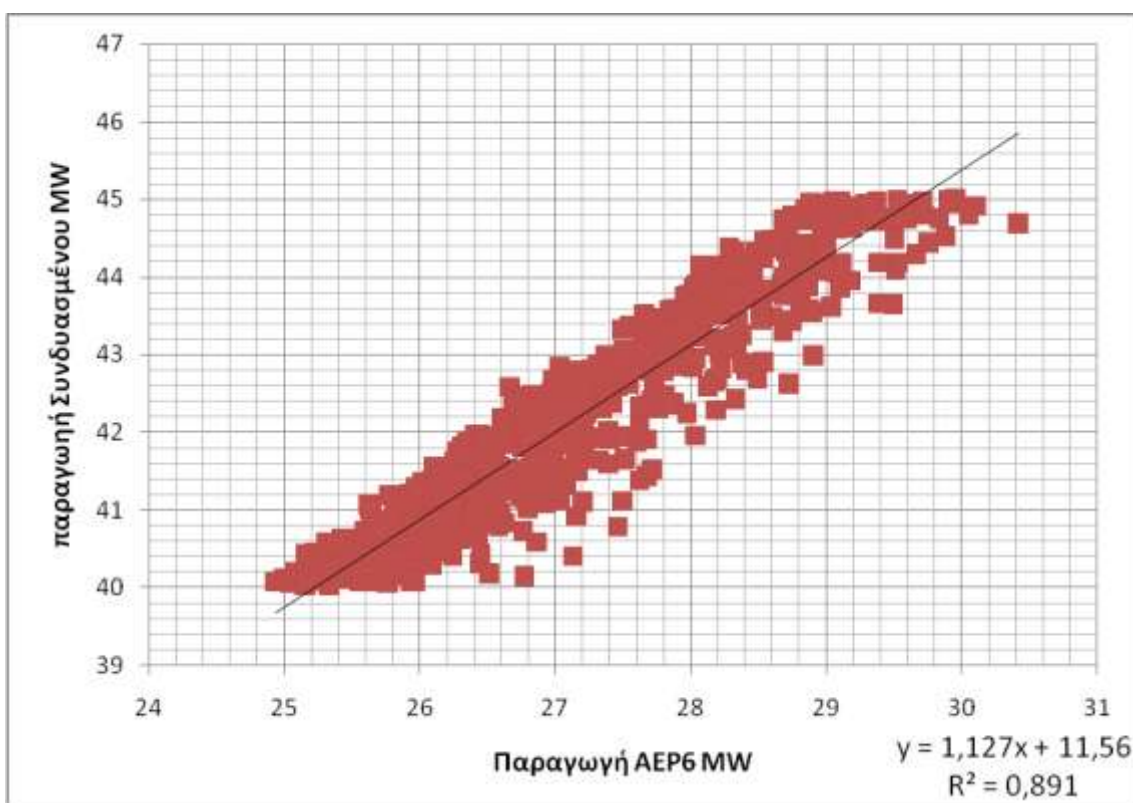




Εικόνα 2-23: Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή του ΑΕΡ6 35-40 MW 2013

Για παραγωγή του Συνδυασμένου από 40 έως και 45 MW έχουμε την εξίσωση  $y = 1,127x + 11,56$  με  $R^2$  ίσο με 89,1% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-24.

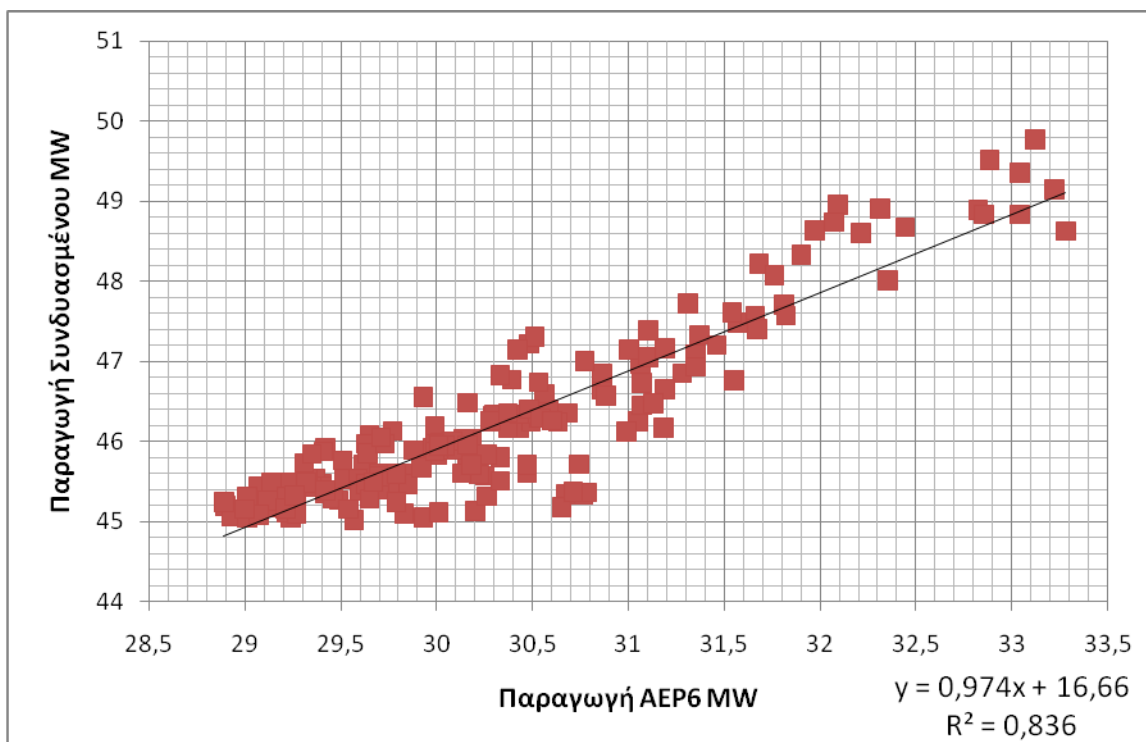
Όπως και στο προηγούμενο διάστημα έτσι και σε αυτό οι μονάδες είναι στην ομαλή περιοχή λειτουργίας τους, δηλαδή όχι κοντά στο τεχνικό μέγιστο και ελάχιστό τους, οπότε και παρουσιάζουν πιο έντονη γραμμικότητα στην συσχέτιση παραγωγής.



Εικόνα 2-24: Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή του ΑΕΡ6 40-45 MW 2013

Για παραγωγή του Συνδυασμένου από 45 MW έως και την μέγιστη καταγεγραμμένη τιμή έχουμε την εξίσωση  $y=0.974x+16.66$  με  $R^2$  ίσο με 83,6% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-25.

Παρατηρούμε ότι σε αυτό το διάστημα που και οι δύο μονάδες είναι κοντά στα τεχνικά τους μέγιστα υπάρχει μια απόκλιση από την εξίσωση γραμμικοποίησης, το οποίο είναι λογικό καθώς οι μονάδες "ζορίζονται" για να βγάλουν την παραγωγή τους.



Εικόνα 2-25: Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή του ΑΕΡ6 45-max MW 2013

Για την καλύτερη κατανόηση των δεδομένων καθώς και για να μπορούν να διαβαστούν τα παραθέτουμε συνολικά στον Πίνακα 2-15 που ακολουθεί.

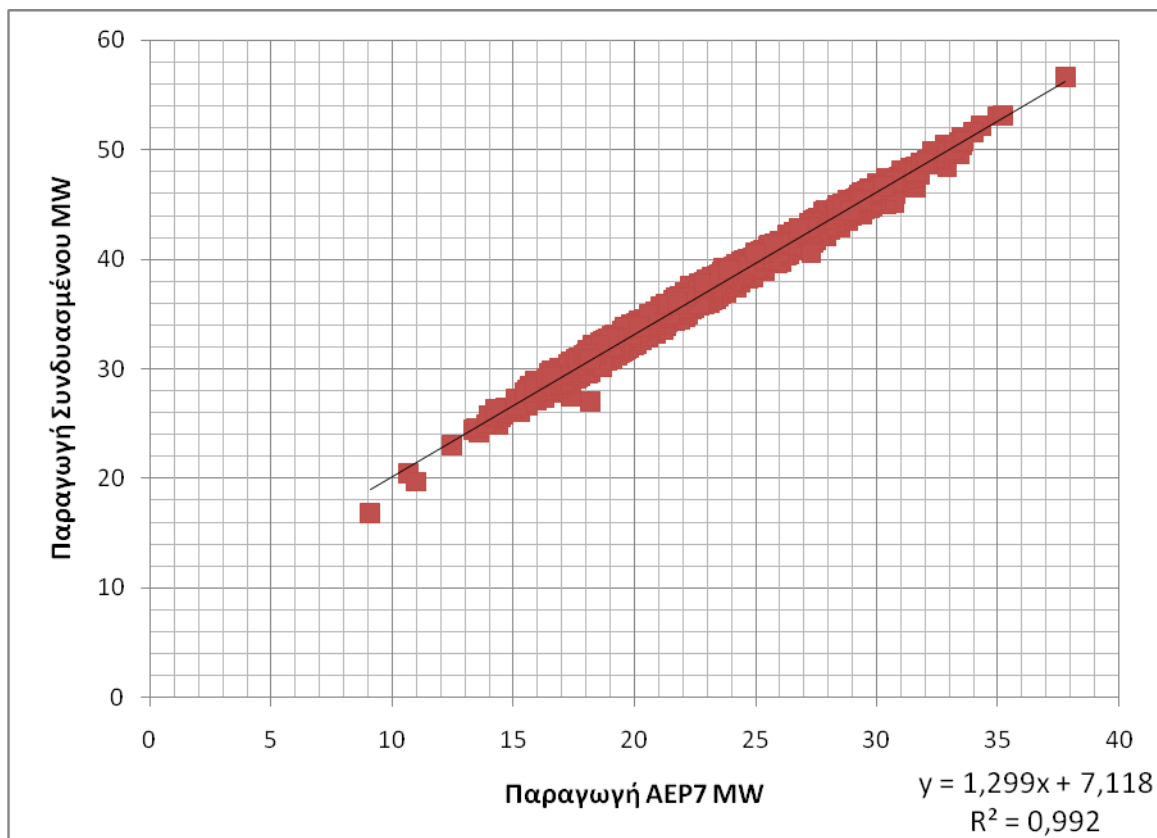
ΑΕΡ6+ΑΤΜ1	2010		2013	
<25 MW	$y=0.568x+16.46$	$R^2=0.756$	$y=1.426x+2.498$	$R^2=0.692$
25-30 MW	$y=0.965x+12.24$	$R^2=0.696$	$y=1.259x+7.640$	$R^2=0.807$
30-35 MW	$y=1.1142x+9.976$	$R^2=0.884$	$y=1.13x+10.48$	$R^2=0.890$
35-40 MW	$y=1.123x+10.95$	$R^2=0.909$	$y=1.143x+10.70$	$R^2=0.901$
40-45 MW	$y=1.167x+6.801$	$R^2=0.927$	$y=1.127x+11.56$	$R^2=0.891$
>45 MW	$y=1.071x+13.33$	$R^2=0.893$	$y=0.974x+16.66$	$R^2=0.836$
Συνολικά	$y=1.259x+7.636$	$R^2=0.990$	$y=1.275x+7.567$	$R^2=0.988$

Πίνακας 2-15: Εξισώσεις συσχέτισης παραγωγής ΑΕΡ6 και ΑΤΜ1 και ταύτιση δεδομένων

### 2.5.4.2.3 Λειτουργία "Μισού" Συνδυασμένου κύκλου ΑΕΡ7 και ΑΤΜ1

Εκτός από τον Μισό Συνδυασμένο Κύκλο στον συνδυασμό ΑΕΡ6 και ΑΤΜ1 υπάρχει και στον συνδυασμό ΑΕΡ7 και ΑΤΜ1. Ο συνδυασμός αυτός παρόλο που έχει πολύ λιγότερες ώρες λειτουργίας από τον προηγούμενο, όπως είδαμε και πιο πριν [Πίνακας 2-14], έχει όμως σημαντική παραγωγή και είναι αναγκαίο να μελετήσουμε και την συμπεριφορά του. Σκοπός και σε αυτό τον συνδυασμό λειτουργίας του Συνδυασμένου Κύκλου ήταν να βρούμε την εξίσωση που περιγράφει την συσχέτιση παραγωγής μεταξύ του αεροστροβίλου και του ατμοστροβίλου. Για να το κάνουμε αυτό εξετάσαμε τα δεδομένα για τα έτη 2010 και 2013 από τα οποία εξάγαμε τα αποτελέσματα που χρειαζόμασταν.

Για το έτος 2010 είχαμε από την συνολική παραγωγή της μονάδας σε λειτουργία μισού κύκλου την συσχέτιση παραγωγής που φαίνεται στην Εικόνα 2-26. Από την συσχέτιση της παραγωγής του ΑΕΡ7 σε σχέση με τον Συνδυασμένο βγαίνει ότι αν  $x$  είναι η παραγωγή του ΑΕΡ7 και  $y$  του Συνδυασμένου τότε η συσχέτιση τους περιγράφεται από την εξίσωση  $y=1.299x+7.118$  με  $R^2$  ίσο με 99,2%.

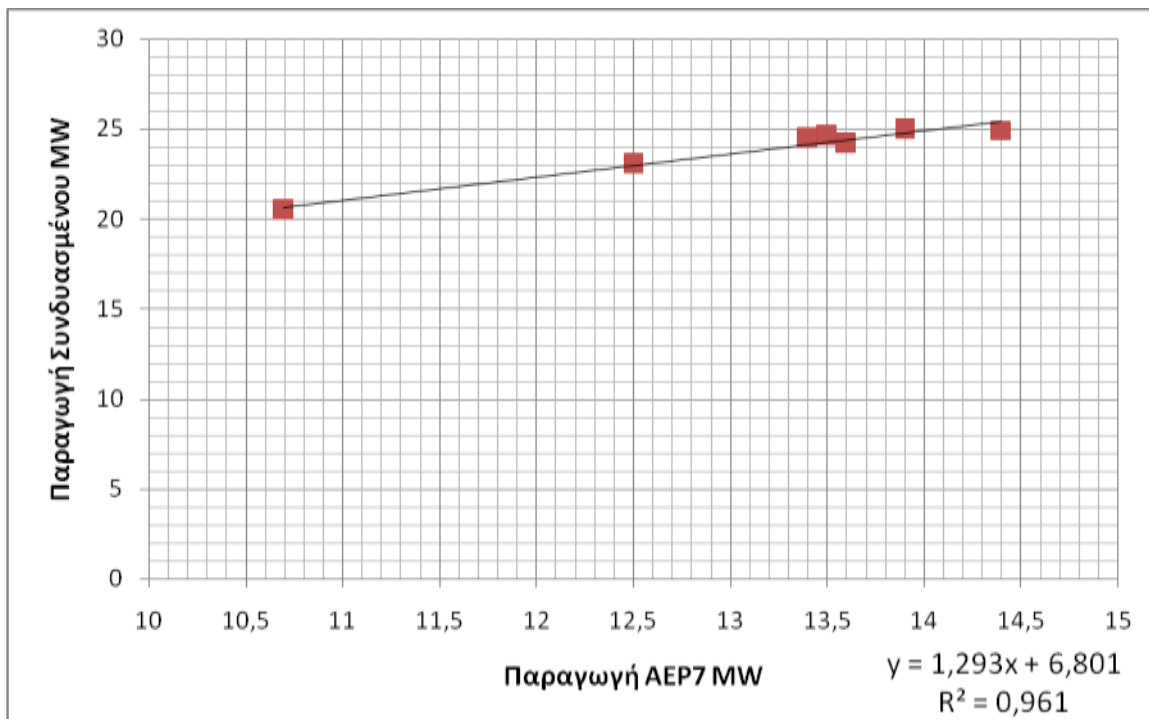


Εικόνα 2-26: Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή του ΑΕΡ7 2010

Σε αυτή την περίπτωση έχουμε σχεδόν τέλεια ταύτιση παραγωγής, όμως επειδή έχουμε κάποιες αποκλίσεις εξετάσαμε ξεχωριστά τις περιοχές παραγωγής για να εξάγουμε ασφαλέστερα συμπεράσματα.

Για παραγωγή του Συνδυασμένου μικρότερη των 25 MW έχουμε την εξίσωση  $y=1.293x+6.801$  με  $R^2$  ίσο με 96,1% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-27.

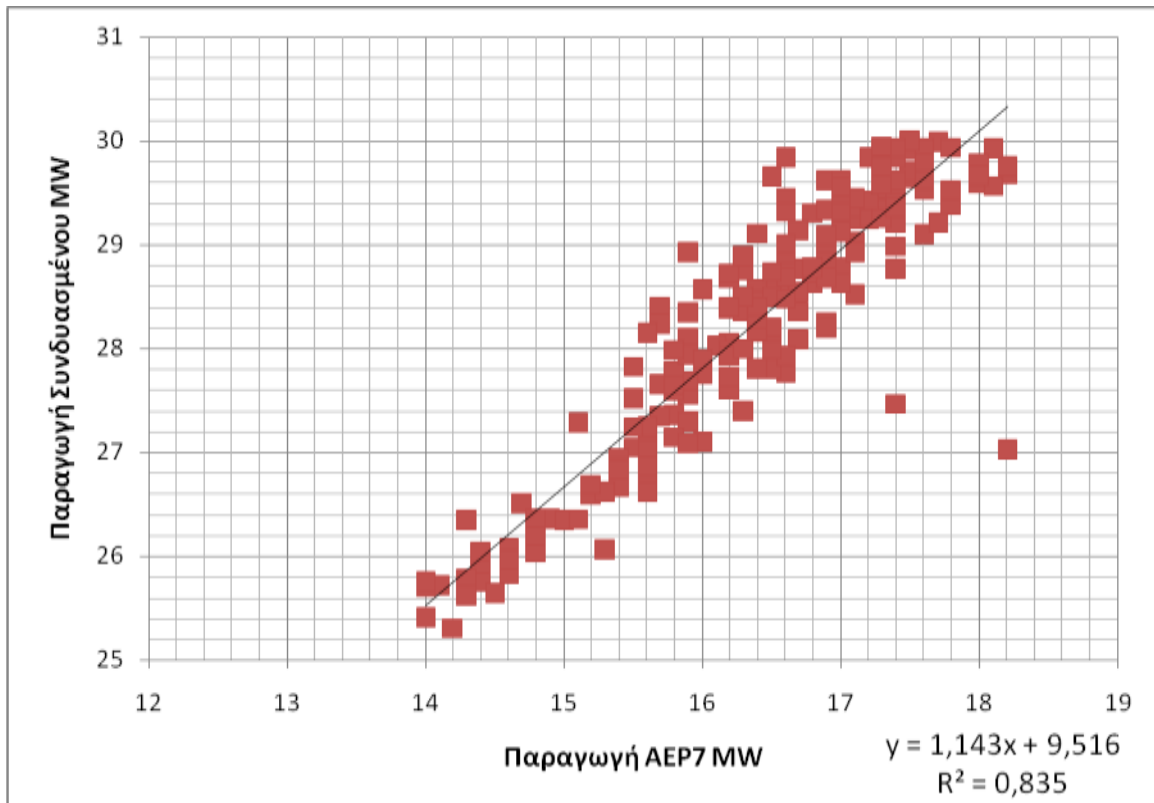
Παρατηρούμε ότι παρόλο που και οι δύο μονάδες είναι πολύ κοντά στα τεχνικά τους ελάχιστα υπάρχει μια πολύ καλή ταύτιση δεδομένων με την γραμμική εξίσωση πράγμα που σημαίνει ότι η υπάρχει γραμμική συσχέτιση στην προσπάθεια ανάληψης φορτίου.



Εικόνα 2-27: Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή του ΑΕΡ7 <25MW 2010

Για παραγωγή του Συνδυασμένου από 25 έως και 30 MW έχουμε την εξίσωση  $y=1.143x+9.516$  με  $R^2$  ίσο με 83,5% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-28.

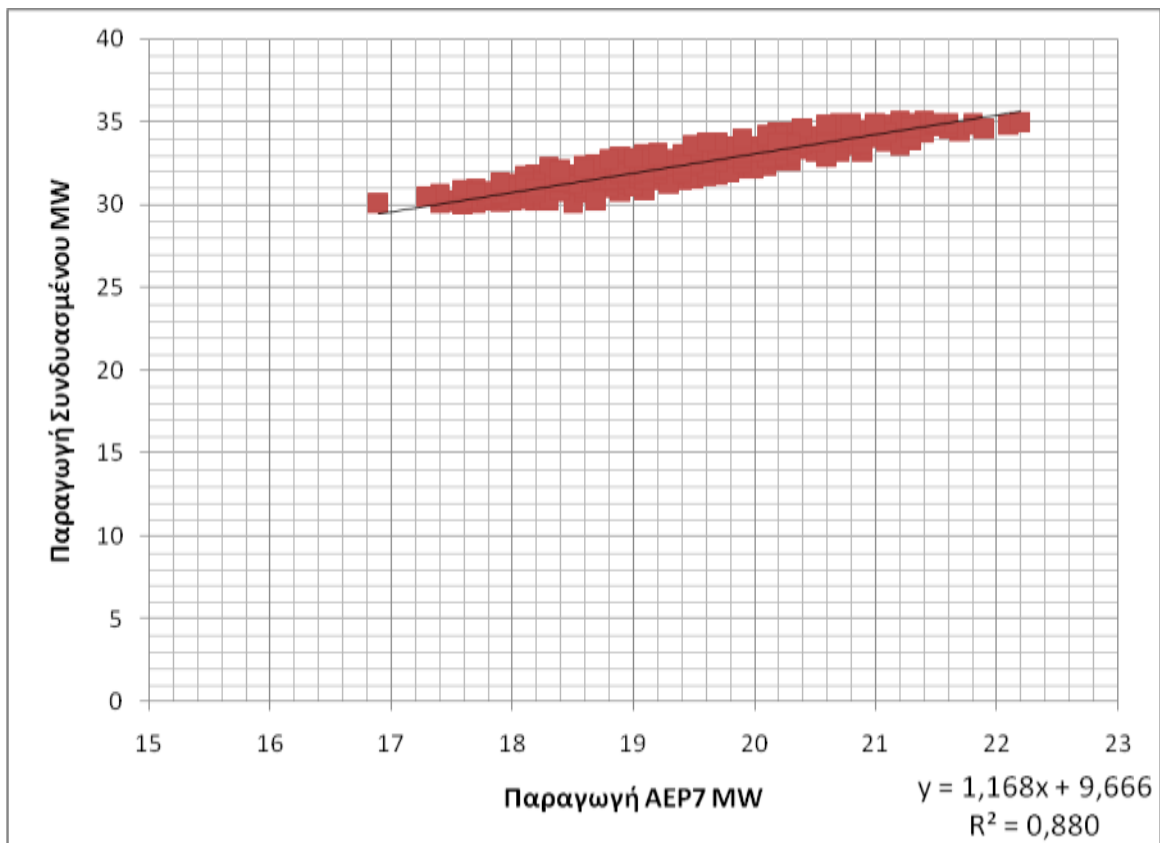
Παρατηρούμε ότι σε αυτό το διάστημα παραγωγής έχουμε μεγαλύτερη απόκλιση από την εξίσωση, που συνήθως οφείλεται ή στο γεγονός ότι έχουμε μείωση της παραγωγής οπότε χάνεται η γραμμικότητα στην ανάληψη φορτίου ή έχουμε κάποιο σφάλμα στην καταγραφή των δεδομένων.



Εικόνα 2-28: Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή του ΑΕΡ7 25-30 MW 2010

Για παραγωγή του Συνδυασμένου από 30 έως και 35 MW έχουμε την εξίσωση  $y=1.168x+9.666$  με  $R^2$  ίσο με 88% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-29.

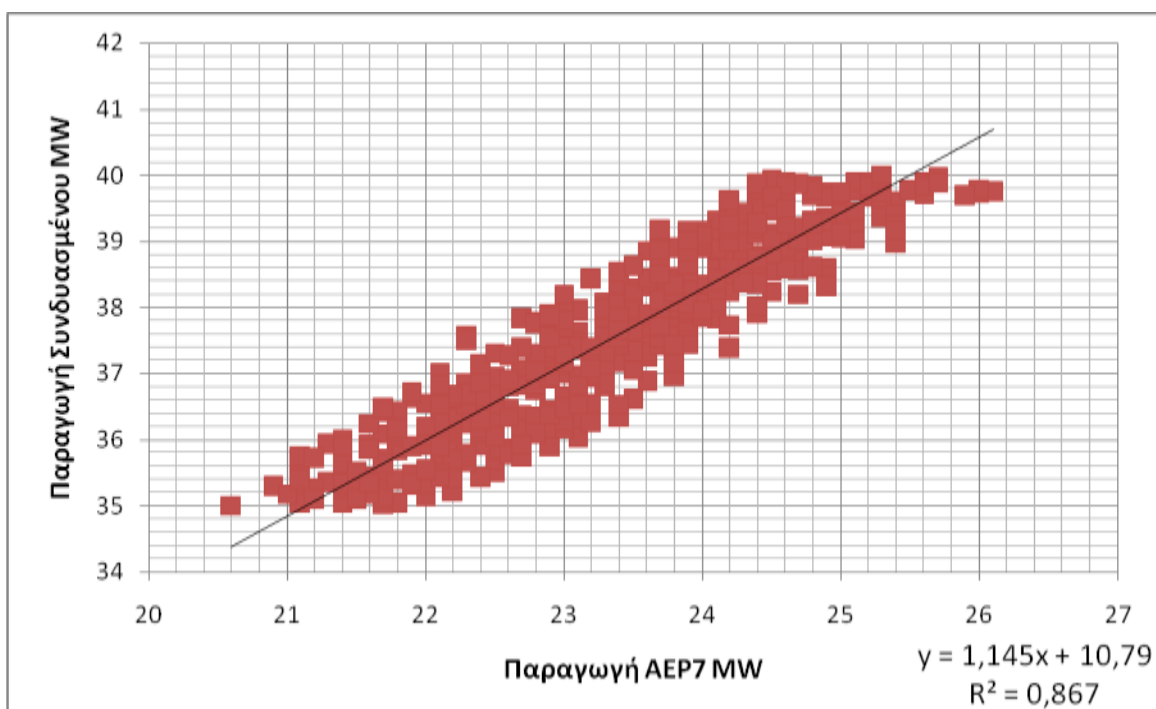
Σε αυτό το διάστημα τιμών επιστρέφει η πολύ καλή ταύτιση δεδομένων που έχουμε γενικώς σε αυτό το συνδυασμό σε μια περιοχή που και οι δύο μονάδες έχουν ξεπεράσει το τεχνικό τους ελάχιστο και φτάνουν στην περιοχή της ομαλής τους παραγωγής.



Εικόνα 2-29: Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή του ΑΕΡ7 30-35 ΜW 2010

Για παραγωγή του Συνδυασμένου από 35 έως και 40 ΜW έχουμε την εξίσωση  $y = 1,145x + 10,79$  με  $R^2$  ίσο με 86,7% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-30.

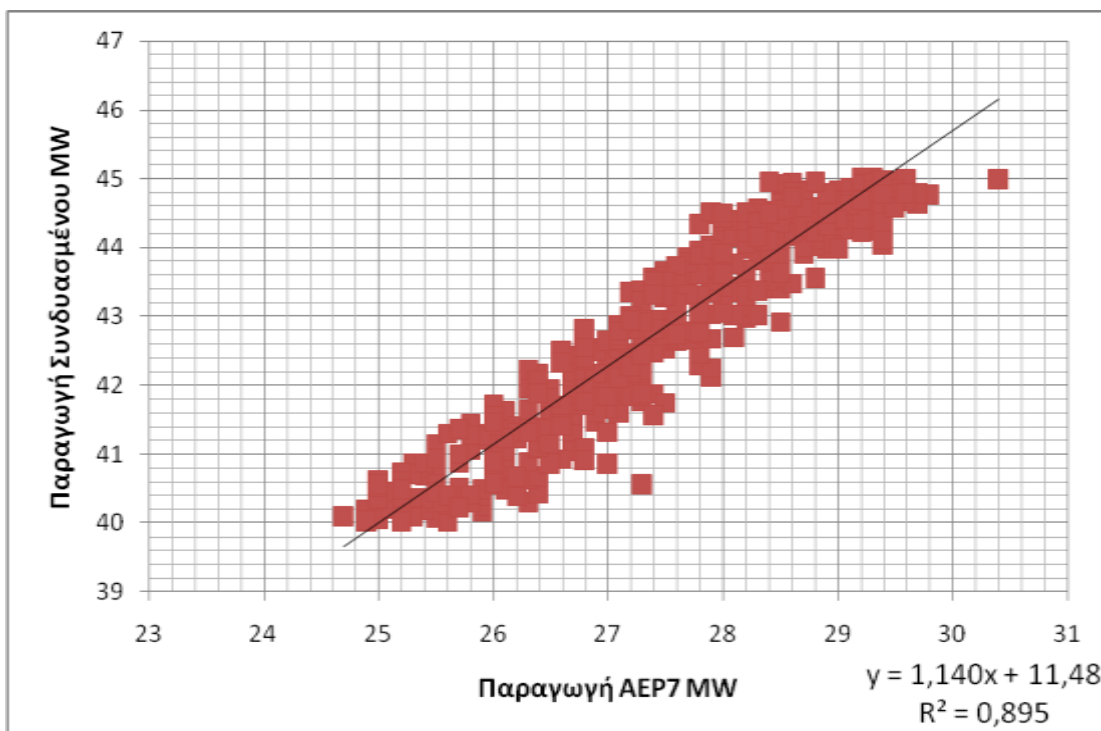
Σε αυτό το διάστημα τιμών συνεχίζεται η γραμμική συμπεριφορά που είχαμε και προηγουμένως όχι όμως σε τόσο έντονο ρυθμό καθώς μπορεί να υπάρχουν αποκλίσεις λόγω της συμπεριφοράς του ατμοστροβίλου καθώς και λάθους καταγραφής των δεδομένων.



Εικόνα 2-30: Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή του ΑΕΡ7 35-40 MW 2010

Για παραγωγή του Συνδυασμένου από 40 έως και 45 MW έχουμε την εξίσωση  $y=1.114x+11.48$  με  $R^2$  ίσο με 89.5% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-31.

Όπως και στα προηγούμενα διαστήματα έτσι και σε αυτό έχουμε πολύ καλή ταύτιση δεδομένων με την εξίσωση συσχέτισης. Υπάρχουν και μερικές τιμές που αποκλίνουν περισσότερο όμως δεν είναι ενδεικτικές για το μεγαλύτερο μέρος της συσχέτισης παραγωγής, που ακολουθεί το συγκεκριμένο μοτίβο.

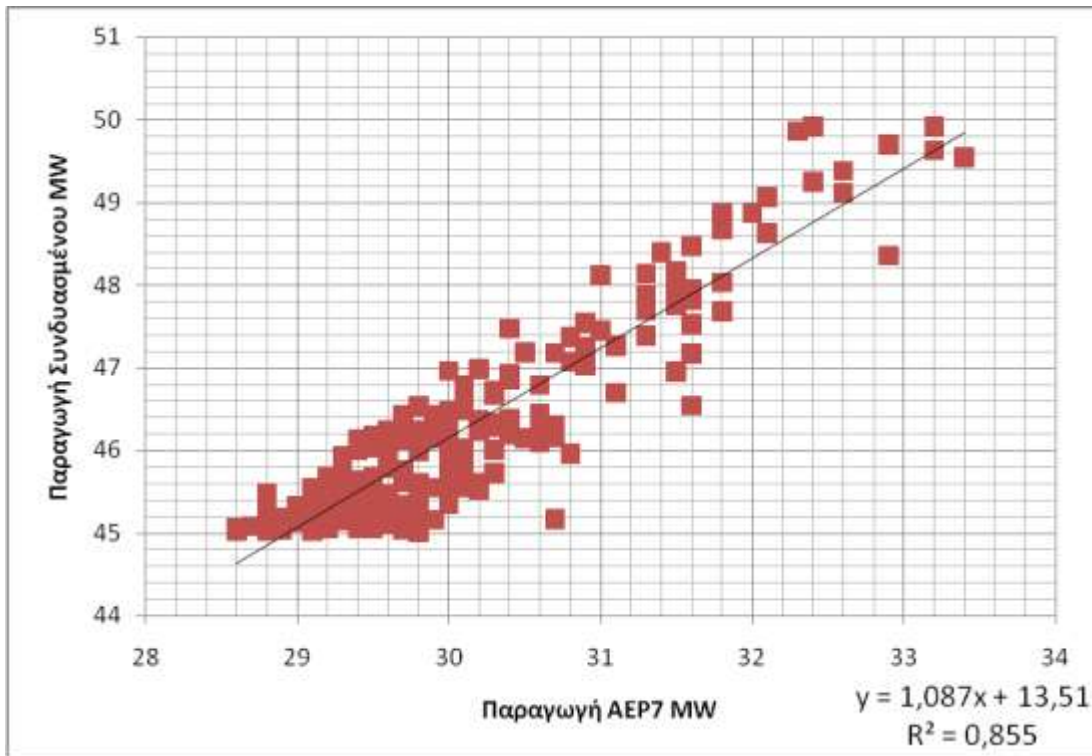


Εικόνα 2-31: Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή του ΑΕΡ7 40-45 MW 2010

Για παραγωγή του Συνδυασμένου από 45 έως και 50 MW έχουμε την εξίσωση  $y=1.087x+13.51$  με  $R^2$  ίσο με 85,5% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-32.

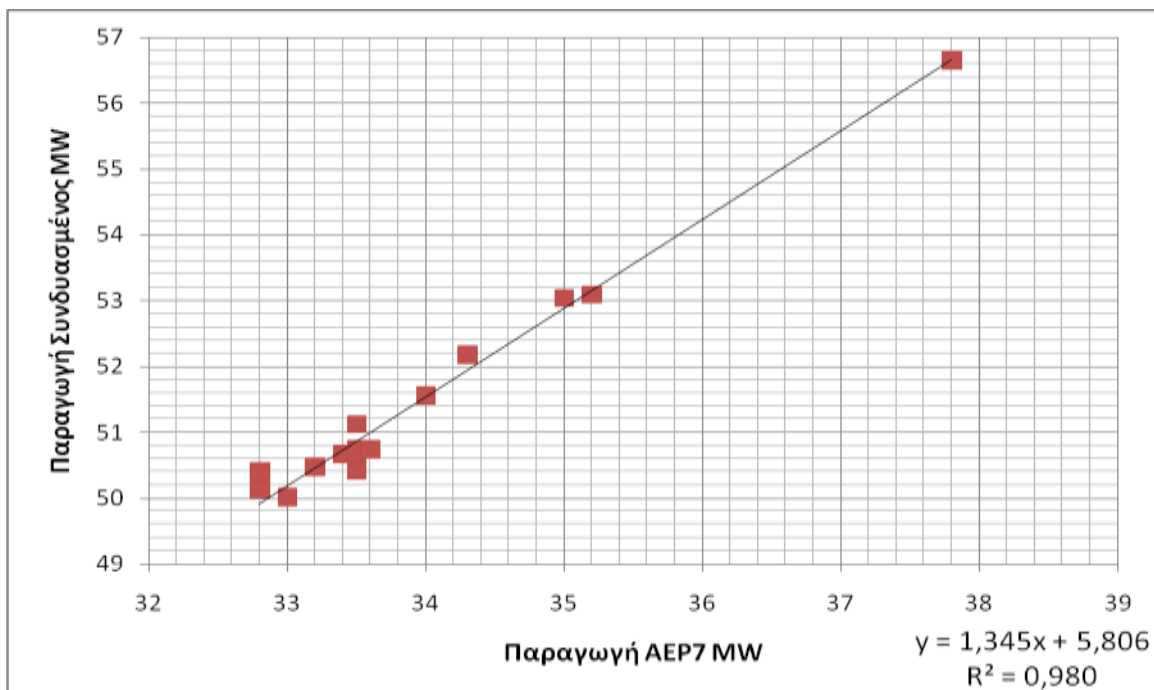
Σε αυτό το διάστημα τιμών έχουμε μικρότερη σύγκλιση στην εξίσωση καθώς ο αεροστρόβιλος έχει φτάσει κοντά στο τεχνικό του μέγιστο και η συμπεριφορά του δεν είναι σταθερή σε αυτές τις τιμές παραγωγής του. Επίσης έχουμε και κάποιες αποκλίσεις επειδή έχει γίνει μείωση της παραγωγής του αεροστροβίλου επειδή είχε φτάσει στο τεχνικό του μέγιστο.





Εικόνα 2-32: Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή του ΑΕΡ7 45-50 MW 2010

Για παραγωγή του Συνδυασμένου μεγαλύτερη από 50 MW έχουμε την εξίσωση  $y = 1,345x + 5,806$  με  $R^2$  στο 98% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-33.

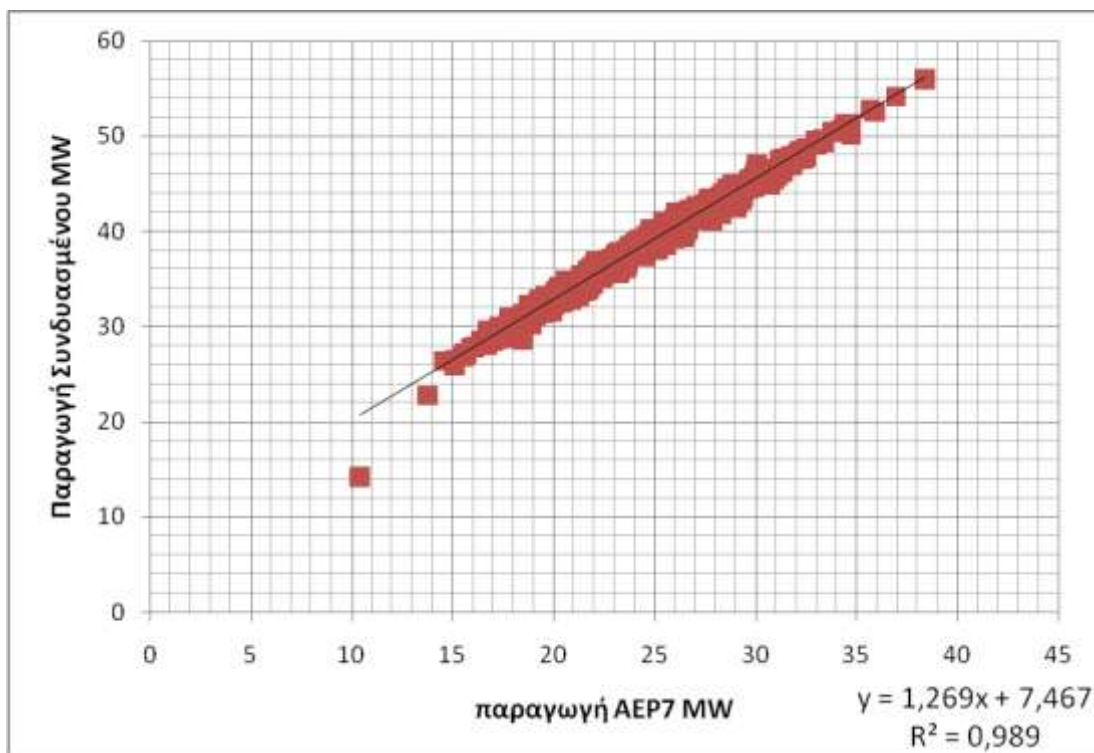


Εικόνα 2-33: Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή του ΑΕΡ7 >50 MW 2010

Στο τελευταίο αυτό διάστημα παρατηρούμε ότι όταν και οι δύο μονάδες βρίσκονται σε παραγωγή κοντά στα τεχνικά τους μέγιστα συνεχίζουν να έχουν μια γραμμική συσχέτιση

στην παραγωγή τους, παρόλο που η συμπεριφορά των μονάδων δεν είναι συγκεκριμένη όταν ζορίζεται για την παραγωγή της.

Για το έτος μελέτης 2013 για τον μισό Συνδυασμένο Κύκλο στον συνδυασμό AEP7 και ATM1 έχουμε ότι η εξίσωση συσχέτισης της παραγωγής τους είναι  $y=1.269x+7.467$  με  $R^2$  ίσο με 98,9% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-34.

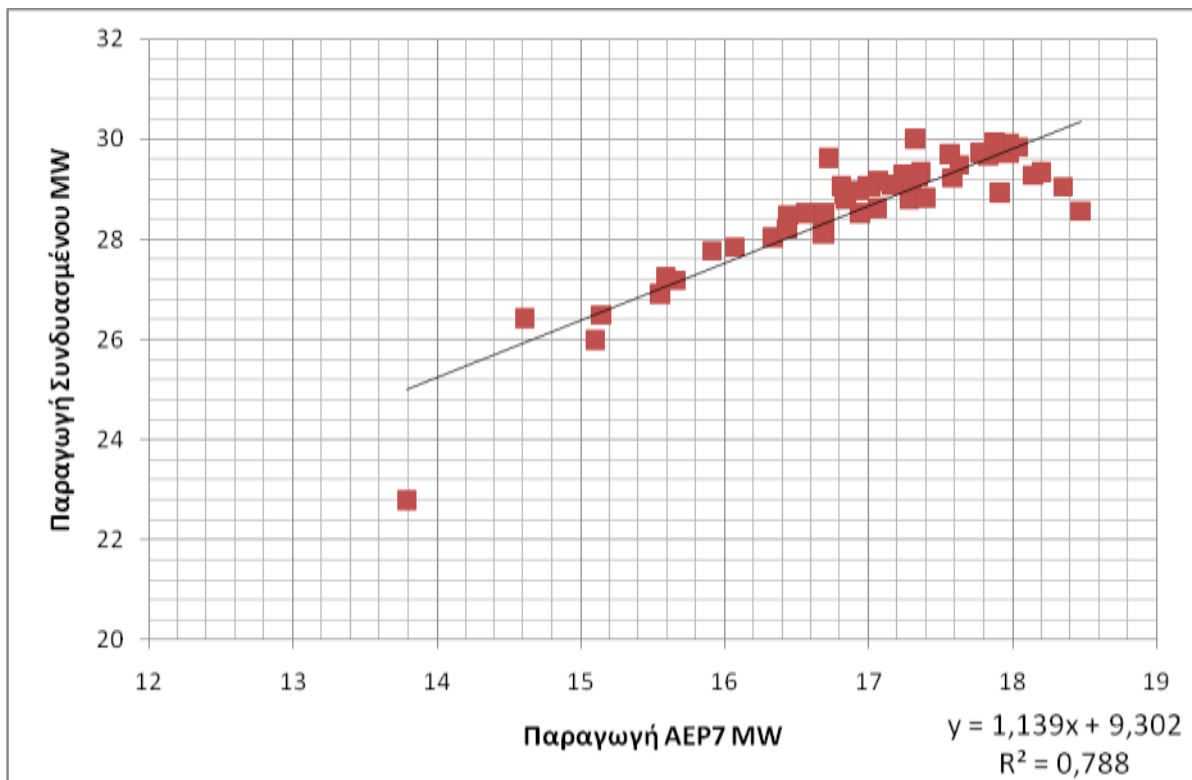


Εικόνα 2-34: Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή του AEP7 2013

Αυτό που αμέσως γίνεται αντιληπτό από την Εικόνα 2-34 είναι ότι η σχέση παραγωγής του AEP7 με τον Συνδυασμένο είναι έντονα γραμμική, κυρίως όμως εκτός από τις μικρότερες τιμές της παραγωγής και τις υψηλότερες καθώς είναι και αυτές που οφείλονται για την ελάχιστη απόκλιση που έχουμε. Οπότε εξετάζουμε πάλι την συσχέτιση παραγωγής ανά διαστήματα για να εντοπίσουμε αυτές τις αποκλίσεις που παρατηρούνται.

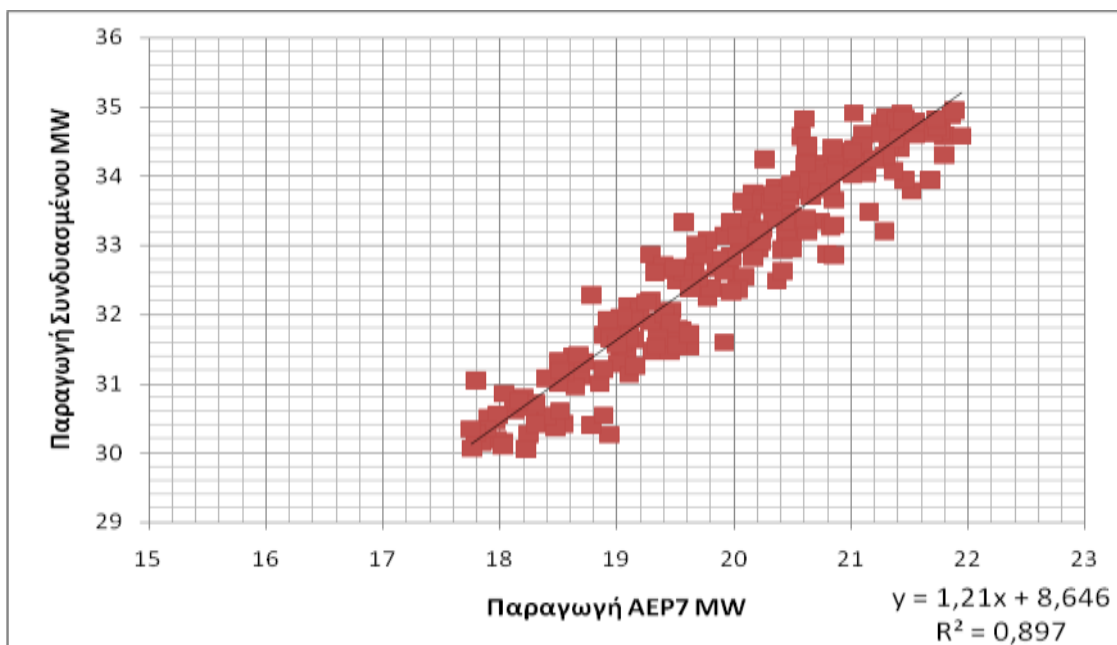
Για παραγωγή του Συνδυασμένου μικρότερη των 30 MW έχουμε την εξίσωση  $y=1.139x+9.302$  με  $R^2$  ίσο με 78,8% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-35.

Αυτό το διάστημα παραγωγής του Συνδυασμένου είναι και αυτό που έχει και την μεγαλύτερη απόκλιση από την γραμμική εξίσωση συσχέτισης παραγωγής καθώς και οι δύο μονάδες που συμμετέχουν στον συνδυασμό αυτό βρίσκονται κοντά στα τεχνικά τους ελάχιστα, οπότε παρουσιάζουν μια δυσκολία ανάληψης φορτίου που χαλάει την γραμμικότητα στην παραγωγή που έχουν μεταξύ τους.



Εικόνα 2-35: Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή του ΑΕΡ7 <30 MW 2013

Για παραγωγή του Συνδυασμένου από 30 έως και 35 MW έχουμε την εξίσωση  $y=1.21x+8.646$  με  $R^2$  ίσο με 89,7% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-36.

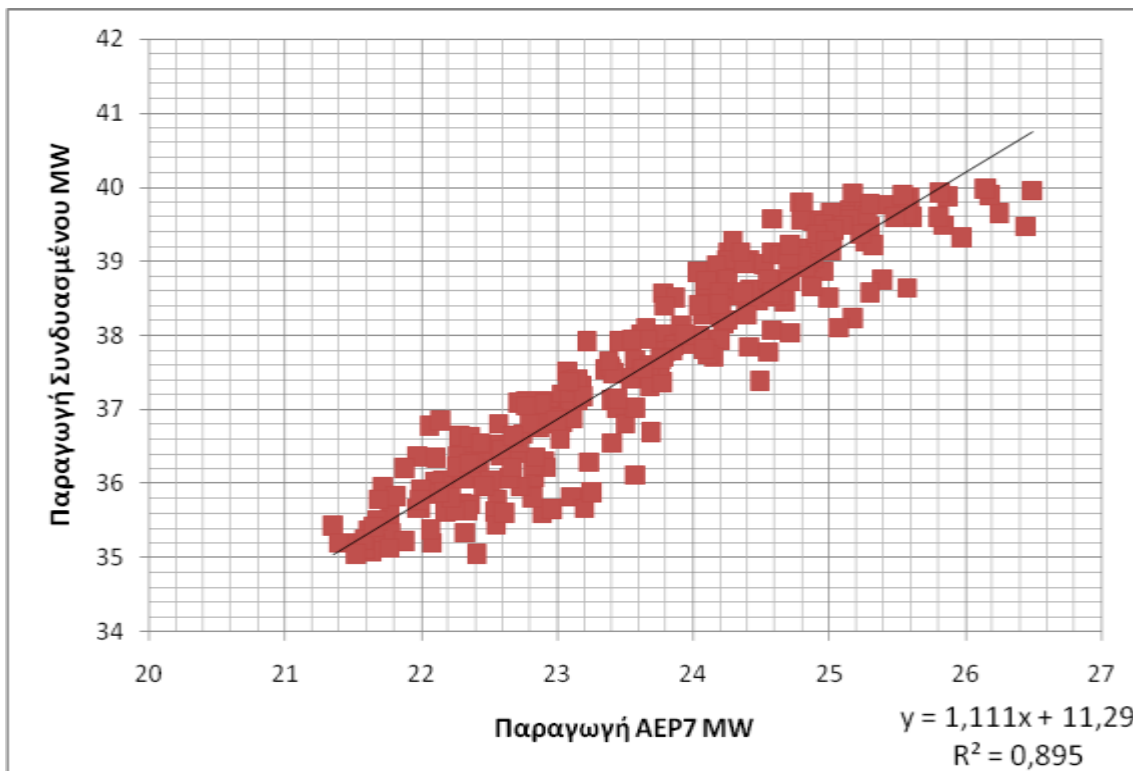


Εικόνα 2-36: Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή του ΑΕΡ7 30-35 MW 2013

Σε αυτό το διάστημα τιμών παρατηρούμε ότι αρχίζει η παραγωγή των μονάδων να ξεφεύγει του τεχνικού τους ελαχίστου με αποτέλεσμα να βελτιώνεται και η γραμμικότητα στην συσχέτιση παραγωγής.

Για παραγωγή του Συνδυασμένου από 35 έως και 40 MW έχουμε την εξίσωση  $y=1.111x+11.29$  με  $R^2$  ίσο με 89,5% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-37.

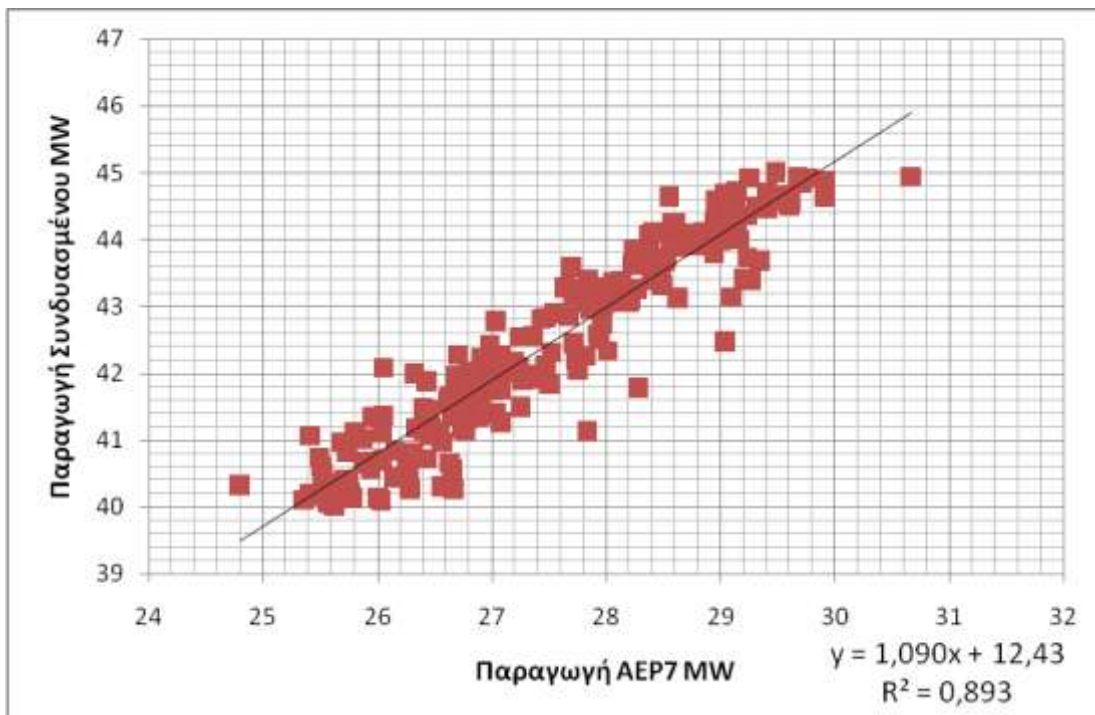
Παρατηρούμε ότι όσο πλησιάζουμε την περιοχή παραγωγής όπου ο συνδυασμός αυτός έχει και τις περισσότερες ώρες παραγωγής τόσο γίνεται και πιο γραμμική η συσχέτιση παραγωγής του αεροστροβίλου με τον συνδυασμένο κύκλο.



Εικόνα 2-37: Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή του ΑΕΡ7 35-40 MW 2013

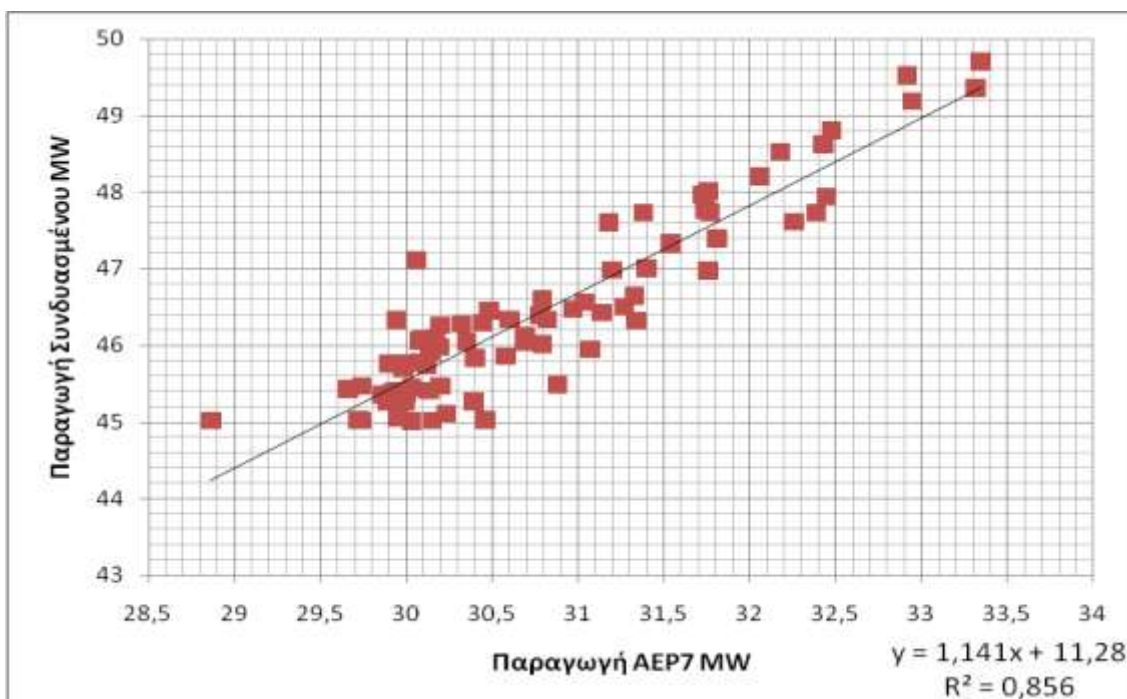
Για παραγωγή του Συνδυασμένου από 40 έως και 45 MW έχουμε την εξίσωση  $y=1.090x+12.43$  με  $R^2$  ίσο με 89,3% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-38.

Σε αυτό το διάστημα τιμών έχουμε σχεδόν την ίδια συμπεριφορά με το προηγούμενο. Επίσης και στα δύο διαστήματα έχουμε σχετικά λιγότερες τιμές από ότι το 2010 για αυτό και υπάρχει μεγαλύτερη απόκλιση από την εξίσωση από ότι το 2010.



Εικόνα 2-38: Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή του ΑΕΡ7 40-45 MW 2013

Για παραγωγή του Συνδυασμένου από 45 έως και 50 MW έχουμε την εξίσωση  $y = 1,141x + 11,28$  με  $R^2$  ίσο με 85,6% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-39.

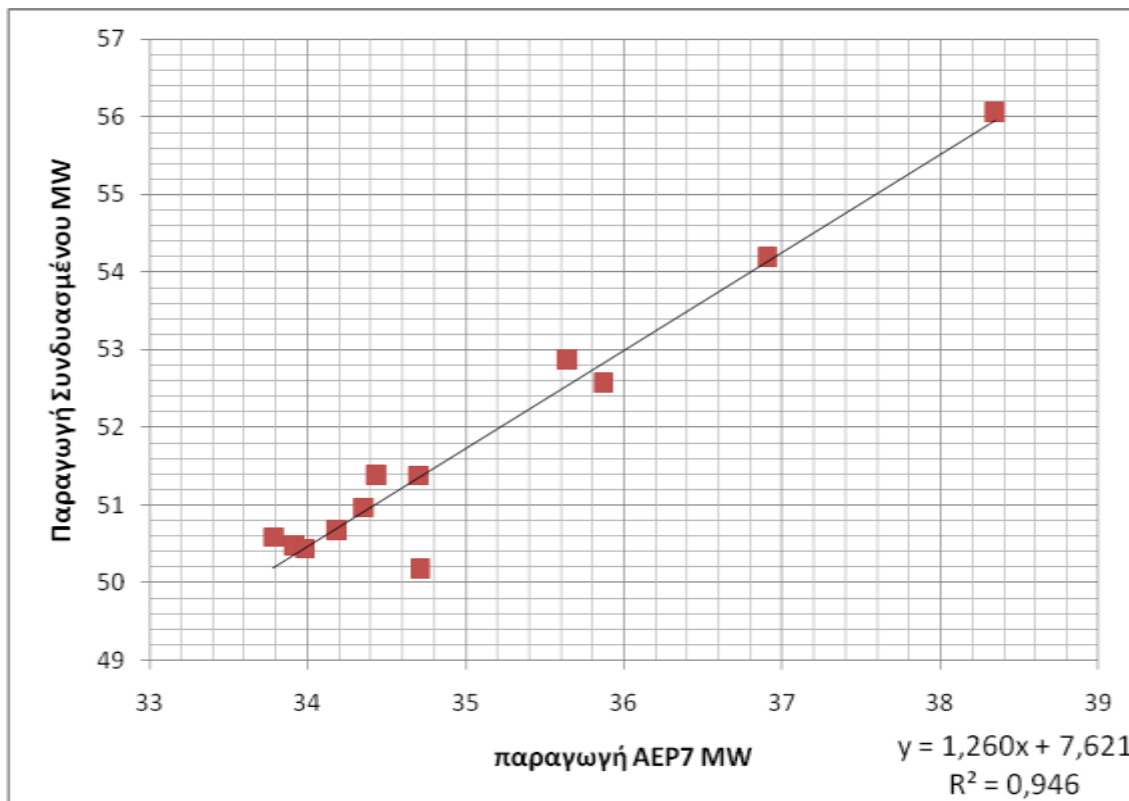


Εικόνα 2-39: Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή του ΑΕΡ7 45-50 MW 2013

Σε αυτό το διάστημα παραγωγής έχουμε σχετικά πολύ λίγα δεδομένα για να αποδείξουμε την γραμμική σύγκλιση, καθώς μειώνονται πολύ οι ώρες παραγωγής του συνδυασμού ΑΕΡ7 και ΑΤΜ1 το 2013, με αποτέλεσμα να έχουμε την απόκλιση από την εξίσωση που φαίνεται στην Εικόνα 2-39.

Για παραγωγή του Συνδυασμένου μεγαλύτερη από 50 MW έχουμε την εξίσωση  $y=1.260x+7.621$  με  $R^2$  ίσο με 94,6% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-40.

Παρόλο που και σε αυτό το διάστημα δεν έχουμε πολλά δεδομένα ισχύει ότι και το 2010, ότι δηλαδή όταν και οι δύο μονάδες είναι κοντά στα τεχνικά τους μέγιστα τότε διατηρούν την γραμμικότητα που παρουσιάζεται στην συσχέτιση της παραγωγής τους.



Εικόνα 2-40: Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή του ΑΕΡ7 >50 MW 2013

Για καλύτερη κατανόηση της μελέτης καθώς και για να είναι πιο εύκολη στην ανάγνωση στον Πίνακα 2-16 παραθέτουμε όλες τις εξισώσεις ανά διάστημα παραγωγής.

ΑΕΡ7+ΑΤΜ1	2010		2013	
<25 MW	$y=1.293x+6.801$	$R^2=0.961$		
25-30 MW	$y=1.143x+9.516$	$R^2=0.835$	$y=1.139x+9.302$	$R^2=0.788$
30-35 MW	$y=1.168x+9.666$	$R^2=0.880$	$y=1.21x+8.646$	$R^2=0.897$
35-40 MW	$y=1.145x+10.79$	$R^2=0.867$	$y=1.111x+11.29$	$R^2=0.895$
40-45 MW	$y=1.140x+11.48$	$R^2=0.895$	$y=1.090x+11.43$	$R^2=0.893$
45-50 MW	$y=1.087x+13.51$	$R^2=0.855$	$y=1.141x+11.28$	$R^2=0.856$
>50 MW	$y=1.345x+5.806$	$R^2=0.980$	$y=1.260x+7.621$	$R^2=0.989$
Συνολικά	$y=1.299x+7.118$	$R^2=0.992$	$y=1.269x+7.467$	$R^2=0.989$

Πίνακας 2-16: Εξισώσεις συσχέτισης παραγωγής ΑΕΡ7 και ΑΤΜ1 και ταύτιση δεδομένων

#### 2.5.4.2.4 Ολόκληρος συνδυασμένος κύκλος

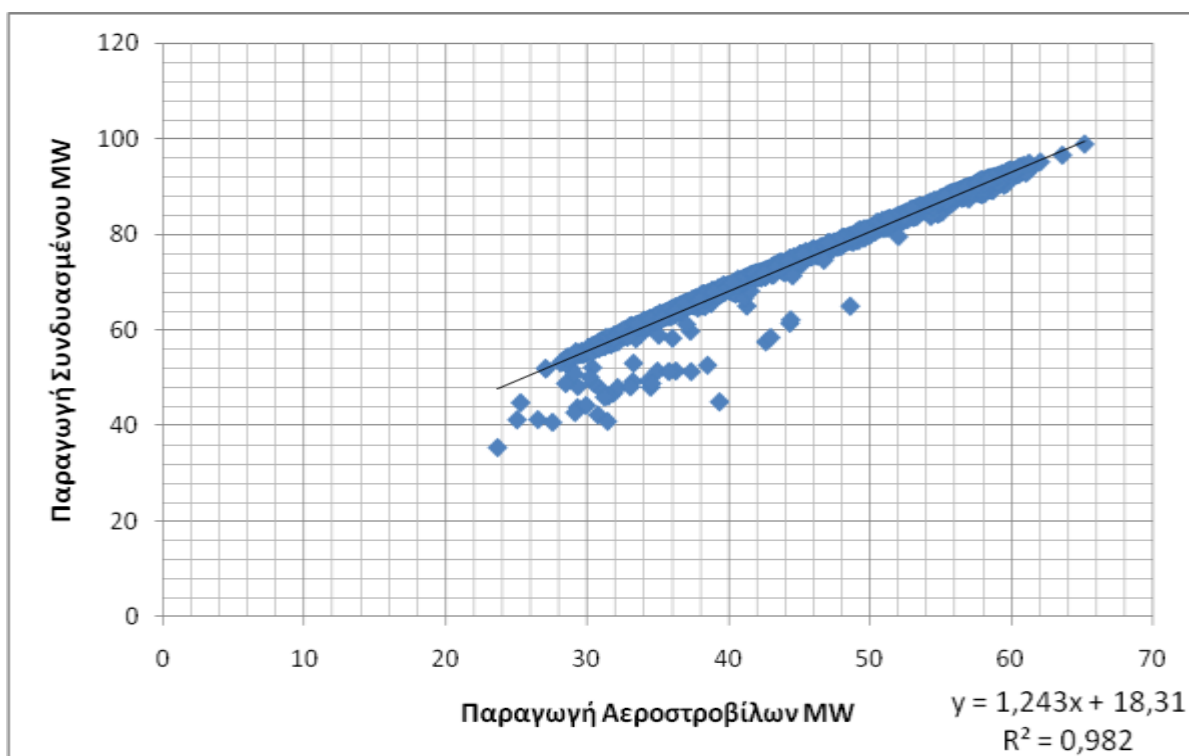
Παρόλο που έχουμε μοντελοποιήσει την συμπεριφορά του μισού Συνδυασμένου Κύκλου και έχουμε βρει πολύ καλά αποτελέσματα, όμως δεν είναι αρκετά καθώς τις περισσότερες



ώρες λειτουργίας της μονάδας συνδυασμένου κύκλου είναι όταν λειτουργούν και οι τρεις μονάδες ταυτόχρονα. Για το λόγο αυτό εξετάσαμε τα δεδομένα λειτουργίας του Συνδυασμένου Κύκλου για τα έτη 2010 και 2013, όπως κάναμε και για την λειτουργία μισού Συνδυασμένου, για να βρούμε την συσχέτιση παραγωγής που έχει η παραγωγή και των δύο αεροστροβίλων με αυτή ολόκληρου του Συνδυασμένου κύκλου.

Ουσιαστικά θα ελέγχουμε την συσχέτιση που έχει το άθροισμα της παραγωγής των δύο αεροστροβίλων με την παραγωγή του Συνδυασμένου ώστε να βρούμε την σωστή εξίσωση για να περιγράψουμε αυτήν την λειτουργία της μονάδας.

Για το έτος μελέτης 2010 και εξετάζοντας όλα τα δεδομένα συνολικά βρήκαμε την εξίσωση συσχέτισης παραγωγής  $y=1.243x+18.31$  με  $R^2$  ίσο με 98,2% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-41.



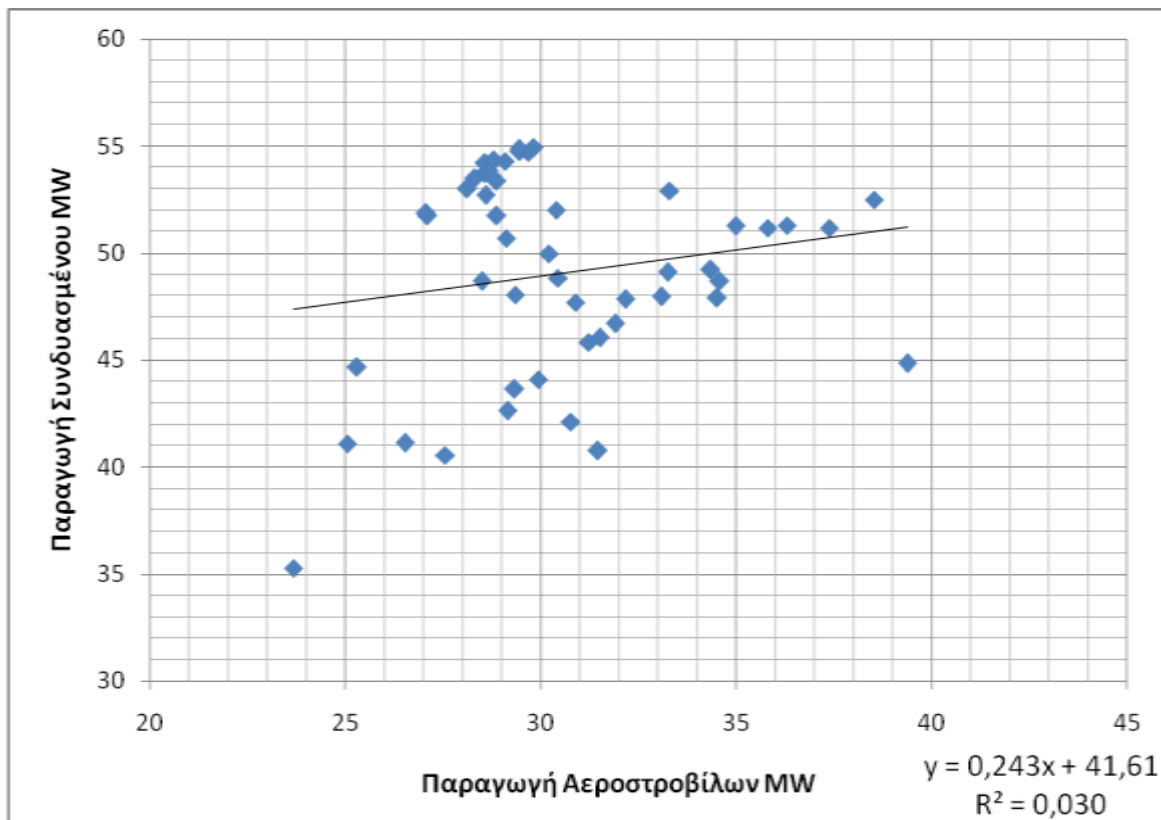
Εικόνα 2-41: Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή των Αεροστροβίλων 2010

Σε αυτή την λειτουργία του Συνδυασμένου Κύκλου, που είναι και η σημαντικότερη, βλέπουμε πάλι την γραμμικότητα που παρουσιάζει η παραγωγή του Συνδυασμένου σε σχέση με το άθροισμα της παραγωγής των αεροστροβίλων, όπως συνέβη και στις άλλες λειτουργίες. Όμως επειδή παρατηρούμε κάποιες αποκλίσεις από την γενική εξίσωση θα εξετάσουμε την παραγωγή σε αυτή την λειτουργία σε διάφορα διαστήματα για να δούμε αν οι αποκλίσεις που παρατηρούνται είναι σε περιοχές που έχουν πολλές ώρες παραγωγής και επηρεάζουν την μοντελοποίηση.

Για παραγωγή του Συνδυασμένου <55 MW έχουμε την εξίσωση  $y=0.243x+41.61$  με  $R^2$  ίσο με 3% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-42.

Αυτό το διάστημα παραγωγής είναι και αυτό που μας δίνει και την μεγαλύτερη απόκλιση συνολικά καθώς προσθέεται η παραγωγή τριών μονάδων που βρίσκονται κοντά στα τεχνικά τους ελάχιστα, όπου η συσχέτιση παρουσιάζει έντονη μη γραμμικότητα.

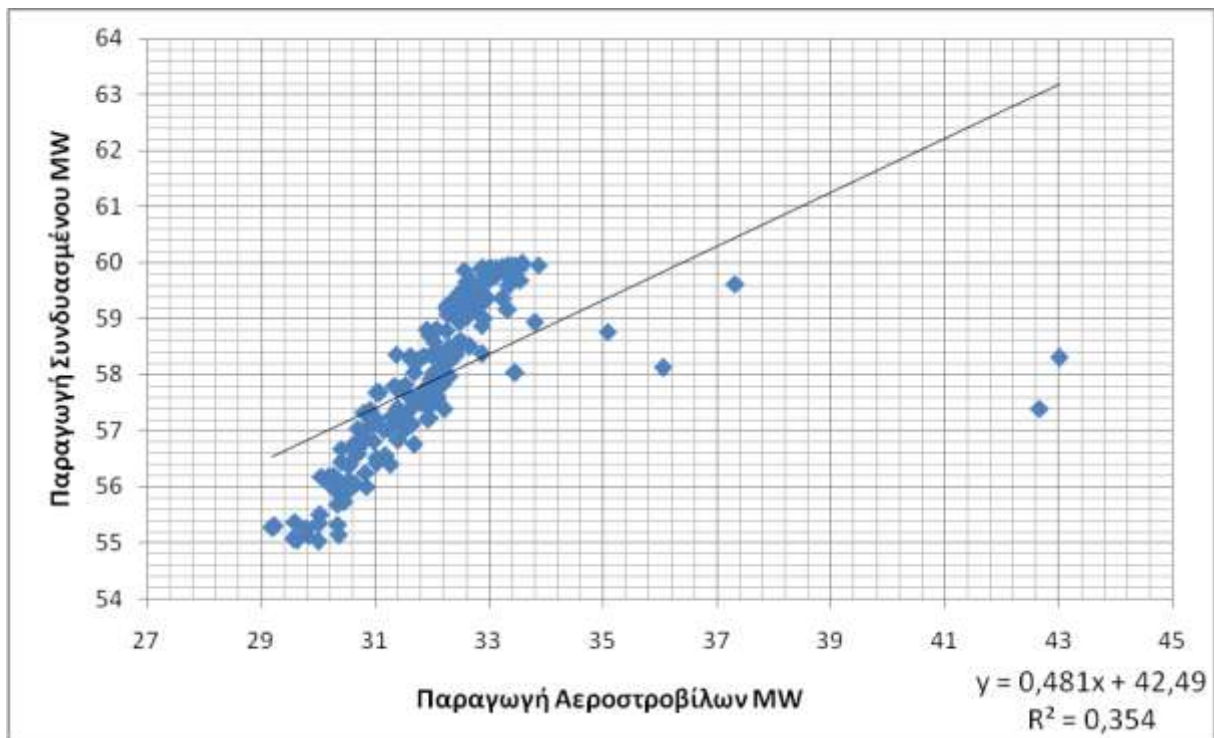




Εικόνα 2-42: Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή των Αεροστροβίλων < 55 MW 2010

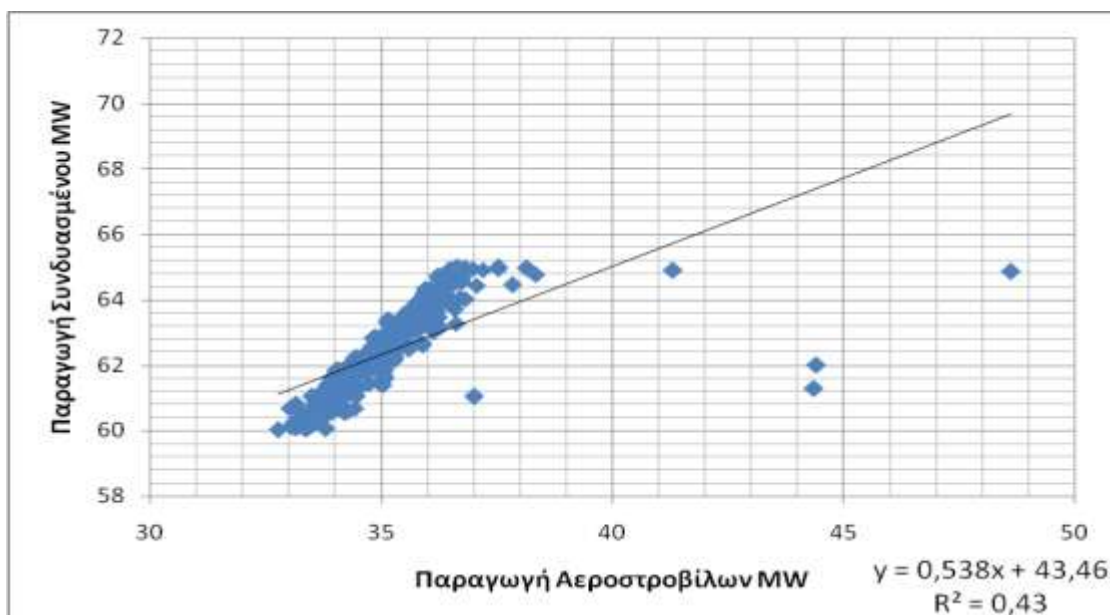
Για παραγωγή του Συνδυασμένου από 55 έως και 60 MW έχουμε την εξίσωση  $y=0.481x+42.49$  με  $R^2$  ίσο με 35,4% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-43.

Σε αυτό το διάστημα παραγωγής παρατηρούμε ότι παρόλο που η γραμμικότητα άρχισε να εμφανίζεται, τώρα που οι μονάδες απομακρύνονται σε παραγωγή από τα τεχνικά τους ελάχιστα, αλλά έχουμε κάποιες τιμές που αποκλίνουν πολύ λόγω του ότι είτε είναι μετρήσεις από πτώση παραγωγής, είτε λόγω ότι κοντά στην συγκεκριμένη υποπεριοχή δεν έχουμε πολλά δεδομένα για να συγκλίνει η γραμμική εξίσωση.



Εικόνα 2-43: Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή των Αεροστροβίλων 55-60 MW 2010

Για παραγωγή του Συνδυασμένου από 60 έως και 65 MW έχουμε την εξίσωση  $y = 0,538x + 43,46$  με  $R^2$  ίσο με 43% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-44.

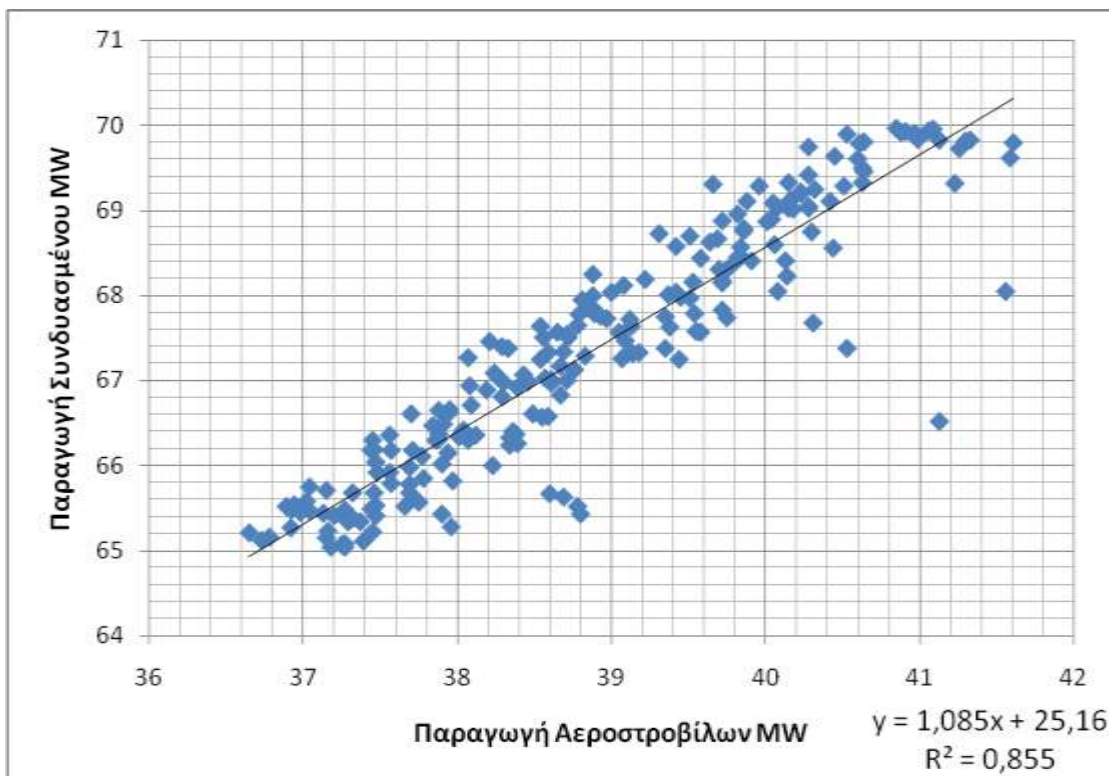


Εικόνα 2-44: Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή των Αεροστροβίλων 60-65 MW 2010

Σε αυτό το διάστημα παραγωγής έχουμε ότι ακριβώς και στο προηγούμενο με την διαφορά ότι τώρα που οι μονάδες μπαίνουν στην ομαλή περιοχή παραγωγής τιμών τους και παρουσιάζουν πιο έντονη γραμμική συσχέτιση στην παραγωγή τους.

Για παραγωγή του Συνδυασμένου από 65 έως και 70 MW με  $R^2$  ίσο με 85,5% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-45.

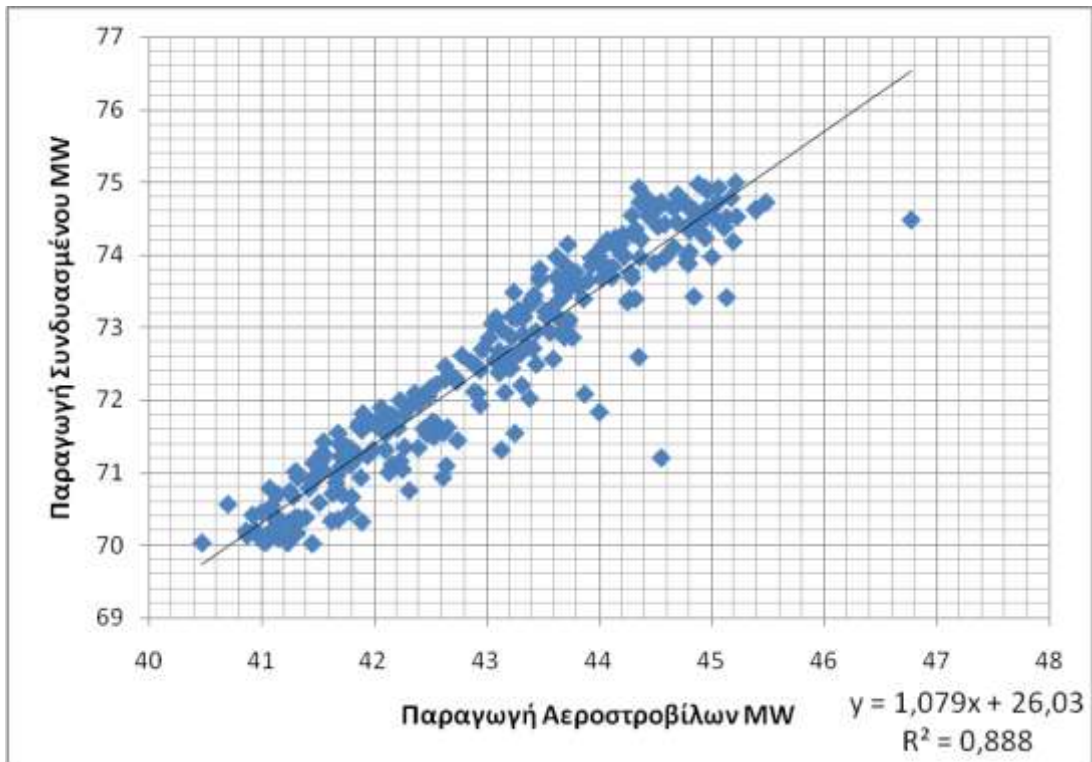
Σε αυτό το διάστημα της παραγωγής βλέπουμε ότι η γραμμικότητα στην συσχέτιση παραγωγής είναι πιο έντονη καθώς οι μονάδες περνάνε στην περιοχή παραγωγής που είναι πιο ομαλή για αυτές. Η απόκλιση που έχουμε οφείλεται κυρίως σε μετρήσεις που είναι λάθος ή αποτέλεσμα μείωσης της παραγωγής ή στο γεγονός ότι δεν έχουμε πολλές καταγεγραμμένες μετρήσεις για αυτό το διάστημα.



Εικόνα 2-45: Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή των Αεροστροβίλων 65-70 MW 2010

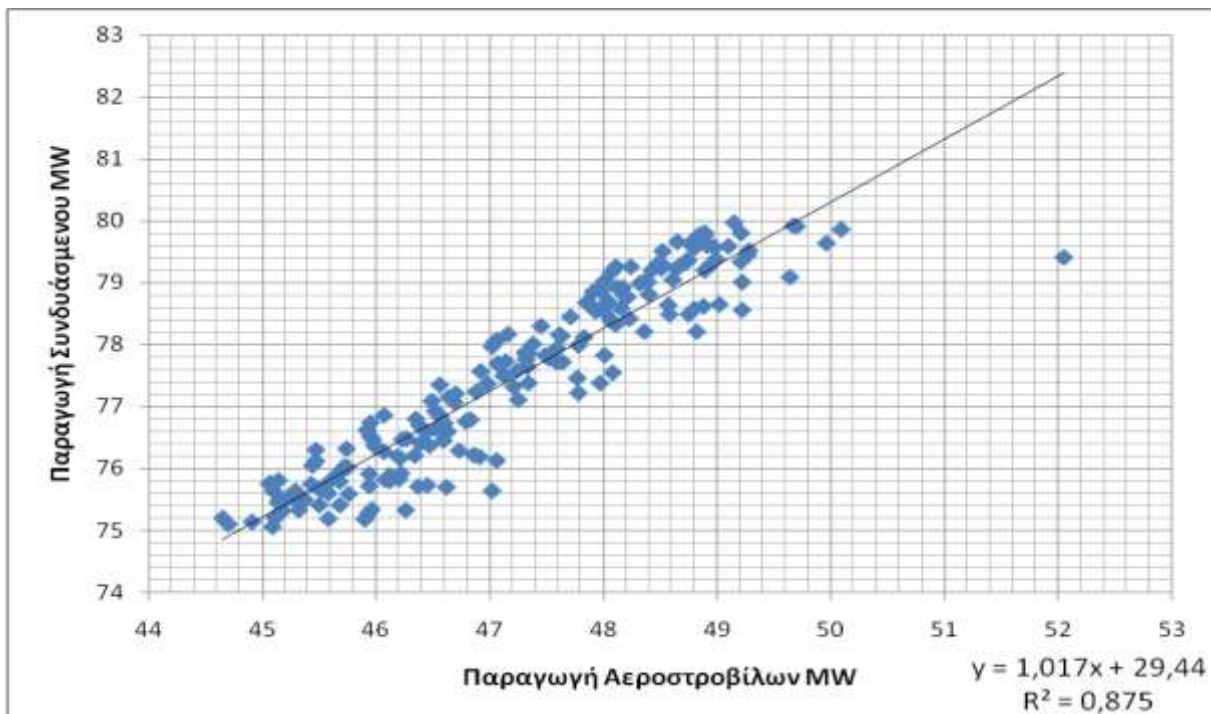
Για παραγωγή του Συνδυασμένου από 70 έως και 75 MW έχουμε την εξίσωση  $y=1.079x+26.03$  με  $R^2$  ίσο με 88,8% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-46.

Σε αυτό το διάστημα παραγωγής ισχύει ότι και στο προηγούμενο με την διαφορά ότι έχουμε απομακρυνθεί περισσότερο από τα τεχνικά ελάχιστα των μονάδων οπότε έχουμε και καλύτερη γραμμική συσχέτιση παραγωγής.



Εικόνα 2-46: Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή των Αεροστροβίλων 70-75 MW 2010

Για παραγωγή του Συνδυασμένου από 75 έως και 80 MW έχουμε την εξίσωση  $y=1.017x+29.44$  με  $R^2$  ίσο με 87,5% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-47.

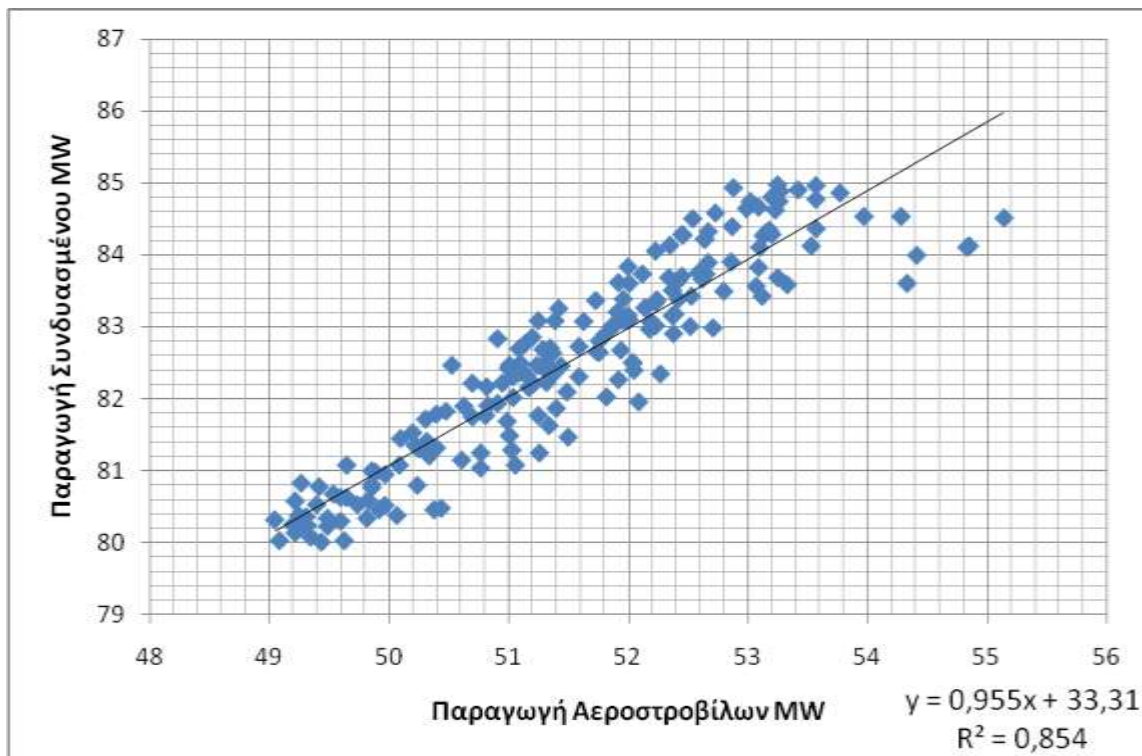


Εικόνα 2-47: Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή των Αεροστροβίλων 75-80 MW 2010

Σε αυτό το διάστημα τιμών έχουμε ακριβώς ότι και στο προηγούμενο σε ότι αφορά το τι παρατηρούμε καθώς η συσχέτιση παραγωγής συνεχίζει στον ίδιο ρυθμό.

Για παραγωγή του Συνδυασμένου από 80 έως και 85 MW έχουμε την εξίσωση  $y=0.955x+33.31$  με  $R^2$  ίσο με 85,4% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-48.

Σε αυτό το διάστημα παραγωγής παρατηρούμε ξεφεύγουμε σιγά σιγά από την περιοχή όπου είχαμε αποκλίσεις λόγω μείωσης της παραγωγής με αποτέλεσμα τα δεδομένα που έχουμε να ταιριάζουν καλύτερα στην γραμμική εξίσωση.

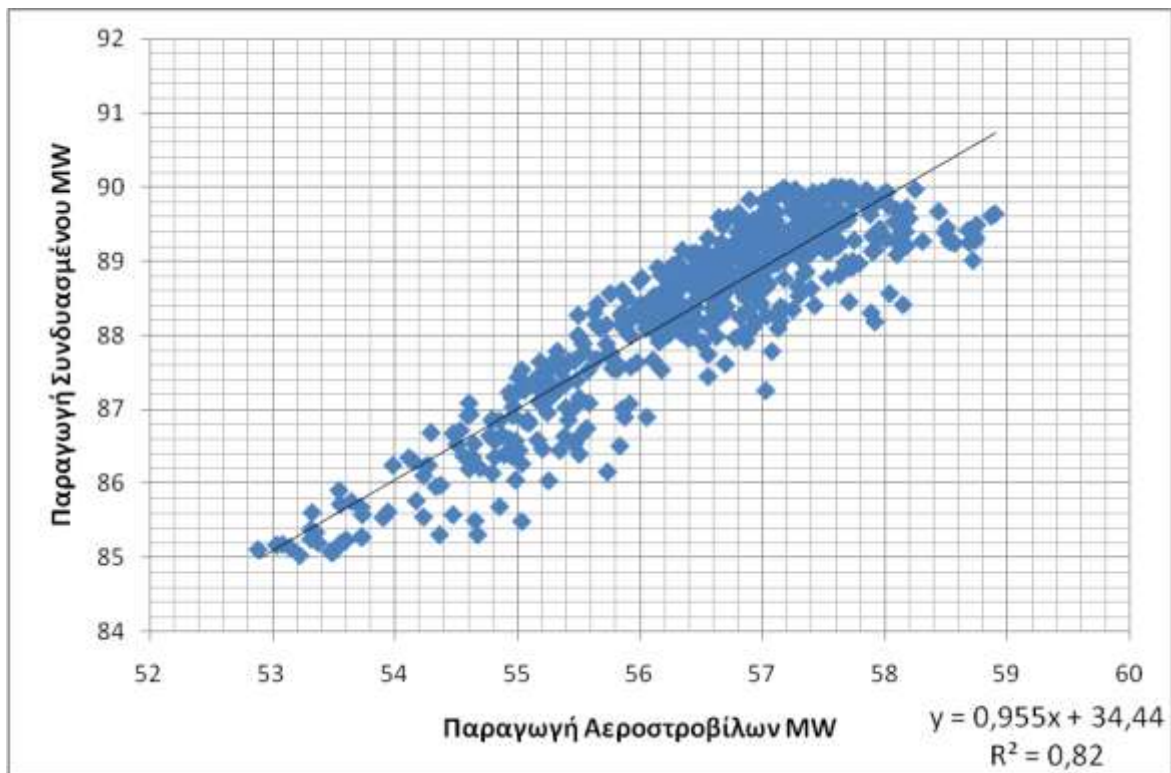


Εικόνα 2-48: Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή των Αεροστροβίλων 80-85 MW 2010

Για παραγωγή του Συνδυασμένου από 85 έως και 90 MW έχουμε την εξίσωση  $y=0.955x+34.44$  με  $R^2$  ίσο με 82% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-49.

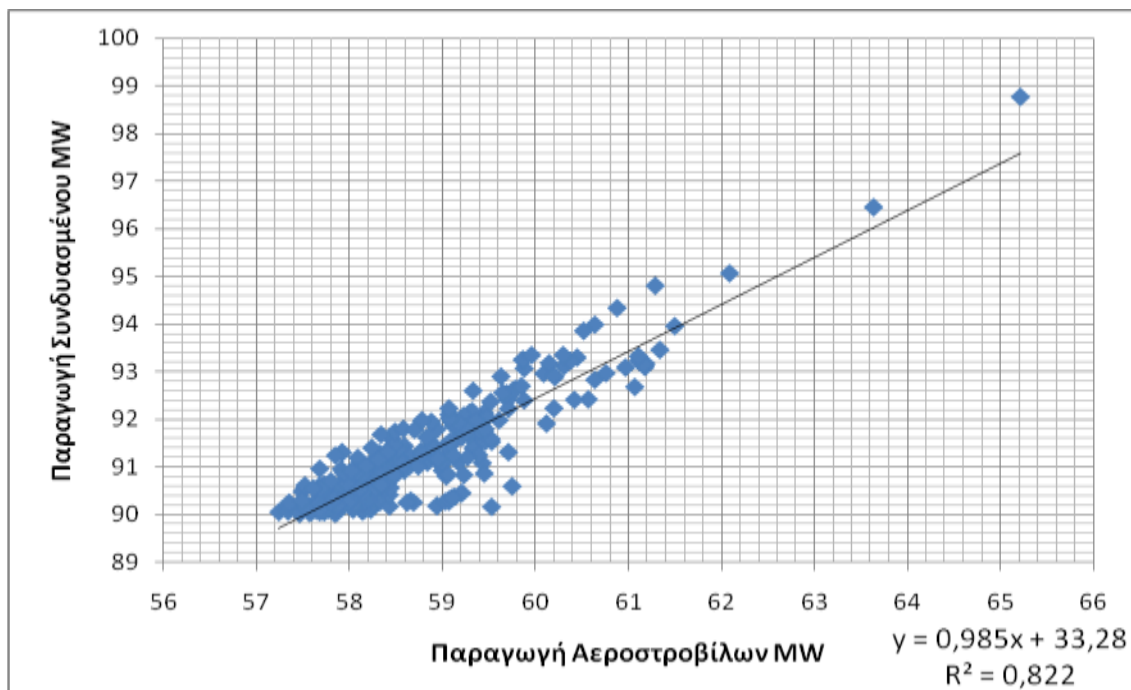
Σε αυτό το διάστημα τιμών παρατηρούμε ότι στην περιοχή που αυξάνεται πολύ η παραγωγή των αεροστροβίλων έχουμε και πιο έντονη γραμμικότητα στην συσχέτιση παραγωγής πράγμα που οφείλεται στο γεγονός ότι δεν έχουμε μετρήσεις από μείωση της παραγωγής καθώς και ότι έχουμε περισσότερες καταγεγραμμένες μετρήσεις για να εξάγουμε καλύτερο συμπέρασμα.





Εικόνα 2-49: Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή των Αεροστροβίλων 85-90 MW 2010

Για παραγωγή του Συνδυασμένου μεγαλύτερη από 90 MW έχουμε την εξίσωση  $y = 0,985x + 33,28$  με  $R^2$  ίσο με 82,2% όπως φαίνεται και στην



Εικόνα 2-50: Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή των Αεροστροβίλων >90 MW 2010

Σε αυτό το διάστημα παραγωγής παρατηρούμε ότι παρόλο που οι μονάδες είναι κοντά στα τεχνικά τους μέγιστα, περιοχή στην οποία δεν είναι εύκολο να προσδιορίσεις την παραγωγή

τους, έχουν ακόμα μια γραμμική συσχέτιση στην παραγωγή τους η οποία διατηρείται ακόμα και όταν οι μονάδες δεν βρίσκονται στην ομαλή τους λειτουργία.

Στον Πίνακα 2-17 παραθέτουμε όλες τις εξισώσεις που αναφέραμε προηγουμένως για πιο εύκολη ανάγνωση και κατανόηση.

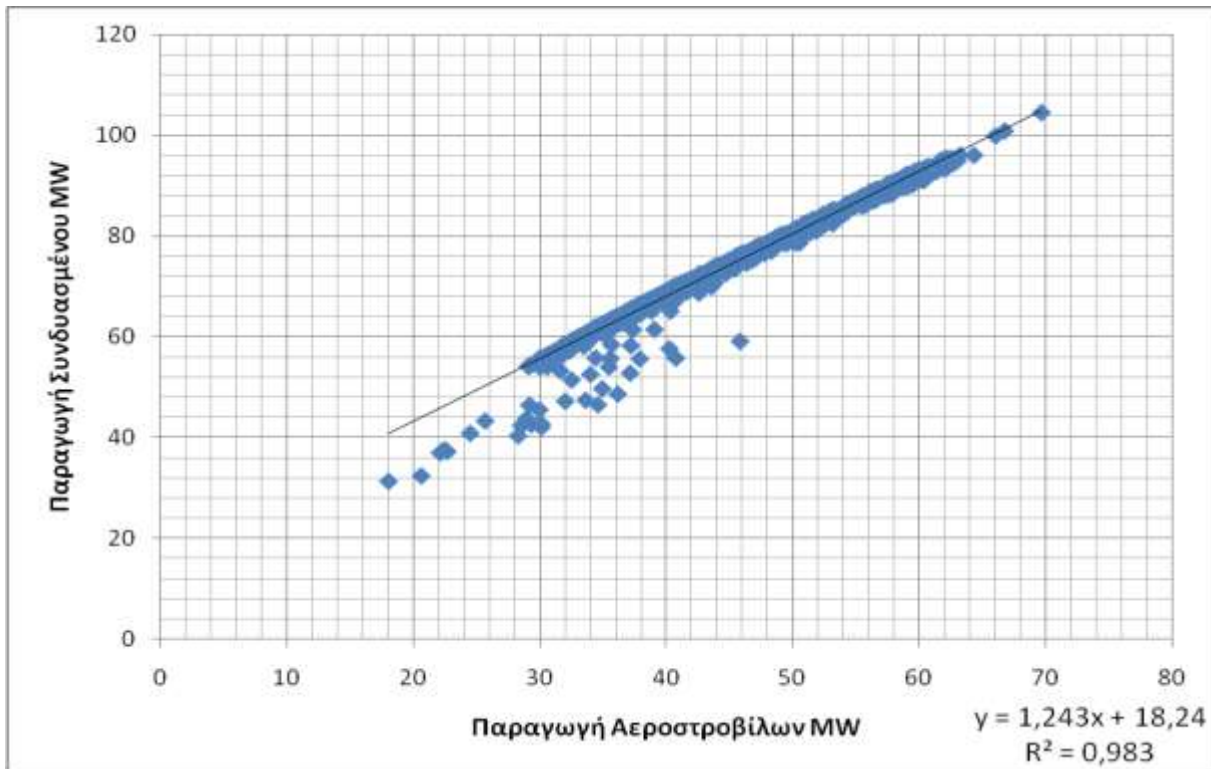
Συνδυασμένος 2010		
<55 MW	$y=0.243x+41.61$	$R^2=0.030$
55-60 MW	$y=0.481x+42.49$	$R^2=0.354$
60-65 MW	$y=0.538x+43.46$	$R^2=0.43$
65-70 MW	$y=1.085x+25.16$	$R^2=0.855$
70-75 MW	$y=1.079x+26.03$	$R^2=0.888$
75-80 MW	$y=1.017x+29.44$	$R^2=0.875$
80-85 MW	$y=0.955x+33.31$	$R^2=0.854$
85-90 MW	$y=0.955x+34.44$	$R^2=0.82$
>90 MW	$y=0.985x+33.28$	$R^2=0.822$
Συνολικά	$y=1.1243x+18.31$	$R^2=0.982$

Πίνακας 2-17: Εξισώσεις συσχέτισης παραγωγής Αεροστροβίλων και ATM1 και ταύτιση δεδομένων 2010

Εξετάσαμε τα δεδομένα που είχαμε για ολόκληρο τον Συνδυασμένο για το έτος 2013 για να βρούμε κι εκεί την συσχέτιση που υπάρχει στην παραγωγή μεταξύ του αθροίσματος της παραγωγής των αεροστροβίλων και αυτής του Συνδυασμένου. Εξετάζοντας λοιπόν όλα τα δεδομένα για το έτος 2013 βρήκαμε ότι η συσχέτιση παραγωγής περιγράφεται από την εξίσωση  $y=1.243x+18.24$  με  $R^2$  ίσο με 98,3% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-51.

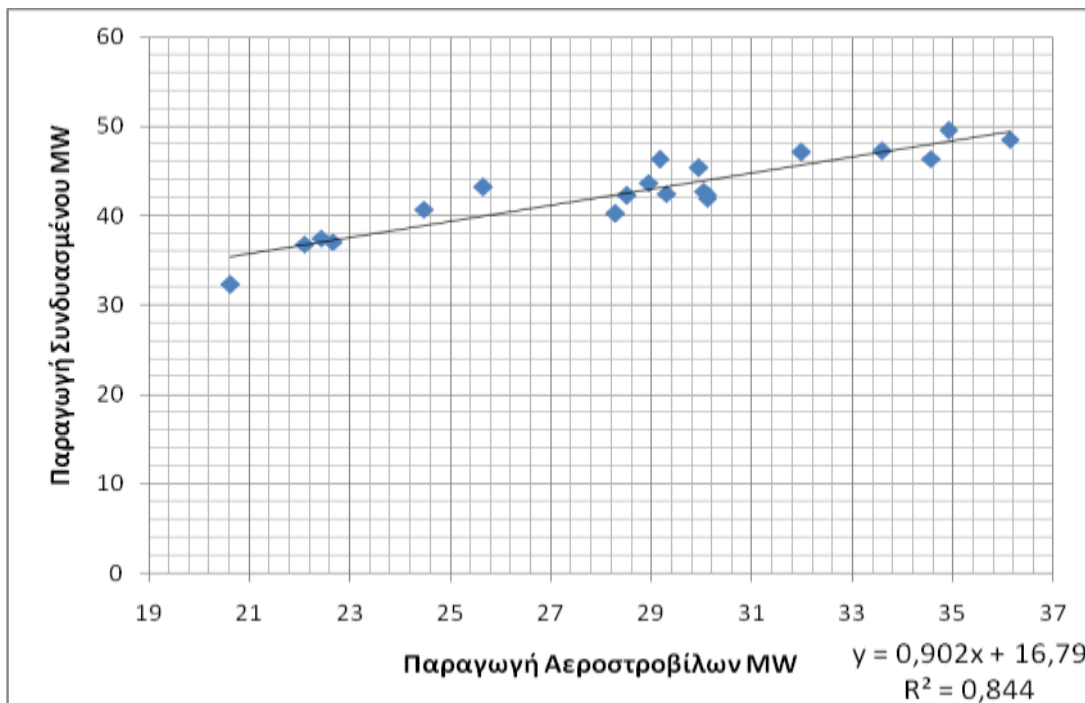
Όπως παρατηρούμε από την εικόνα υπάρχουν κάποιες αποκλίσεις, κυρίως στις περιοχές που η παραγωγή είναι πολύ μικρή οι οποίες πρέπει να μελετηθούν περαιτέρω ώστε να είμαστε σίγουρη ότι δεν επηρεάζουν την εξίσωση που έχουμε για την συσχέτιση παραγωγής. Οπότε, όπως κάναμε και προηγουμένως, θα μελετήσουμε την συσχέτιση παραγωγής σε μικρότερα διαστήματα ώστε να δούμε αν υπάρχει και σε αυτά γραμμικότητα στην συσχέτιση παραγωγής.





Εικόνα 2-51:Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή των Αεροστροβίλων 2013

Για παραγωγή του Συνδυασμένου μικρότερη των 50 MW έχουμε την εξίσωση  $y=0.902x+16.79$  με  $R^2$  ίσο με 84,4% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-52.



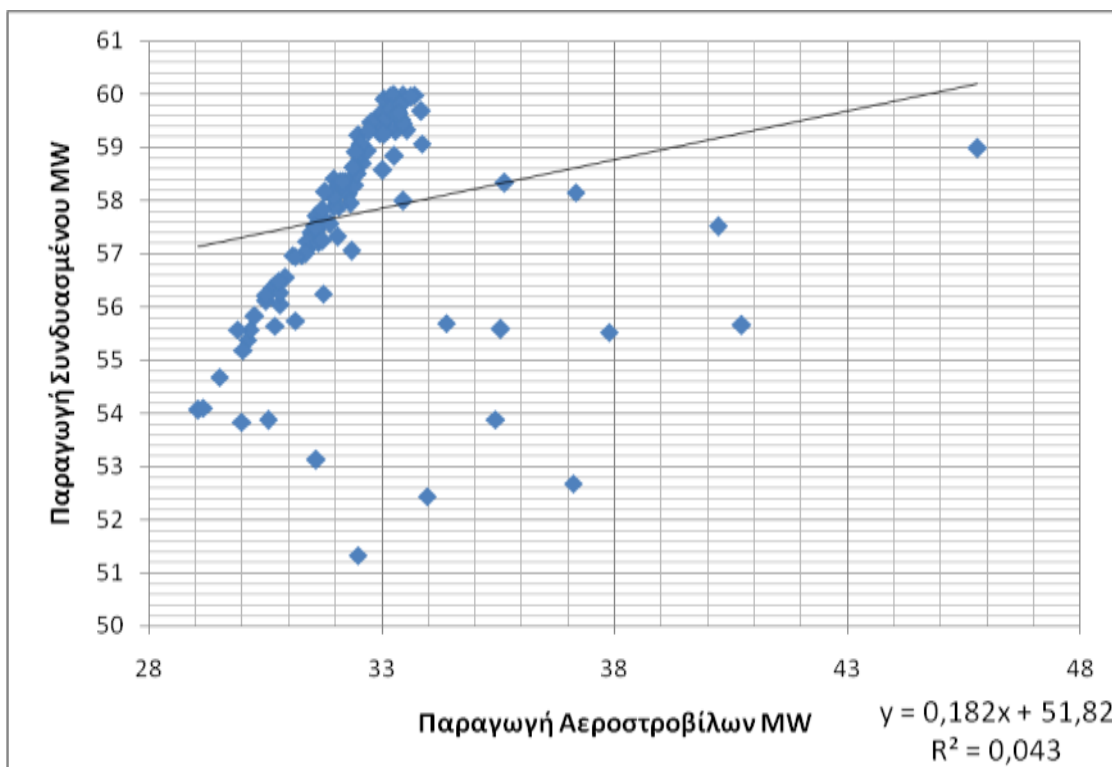
Εικόνα 2-52:Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή των Αεροστροβίλων <50 MW 2013

Σε αυτό το διάστημα παραγωγής παρατηρούμε ότι παρόλο που όπως είδαμε από τα συνολικά δεδομένα ότι η περιοχή απόκλινε από την γραμμική εξίσωση μεταξύ της όμως

έχει μια γραμμική σχέση, και σας είναι η παραγωγή των μονάδων σε επίπεδα κοντά στο τεχνικό τους ελάχιστο.

Για παραγωγή του Συνδυασμένου από 50 έως και 60 MW έχουμε την εξίσωση  $y=0.182x+51.82$  με  $R^2$  ίσο με 4,3% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-53.

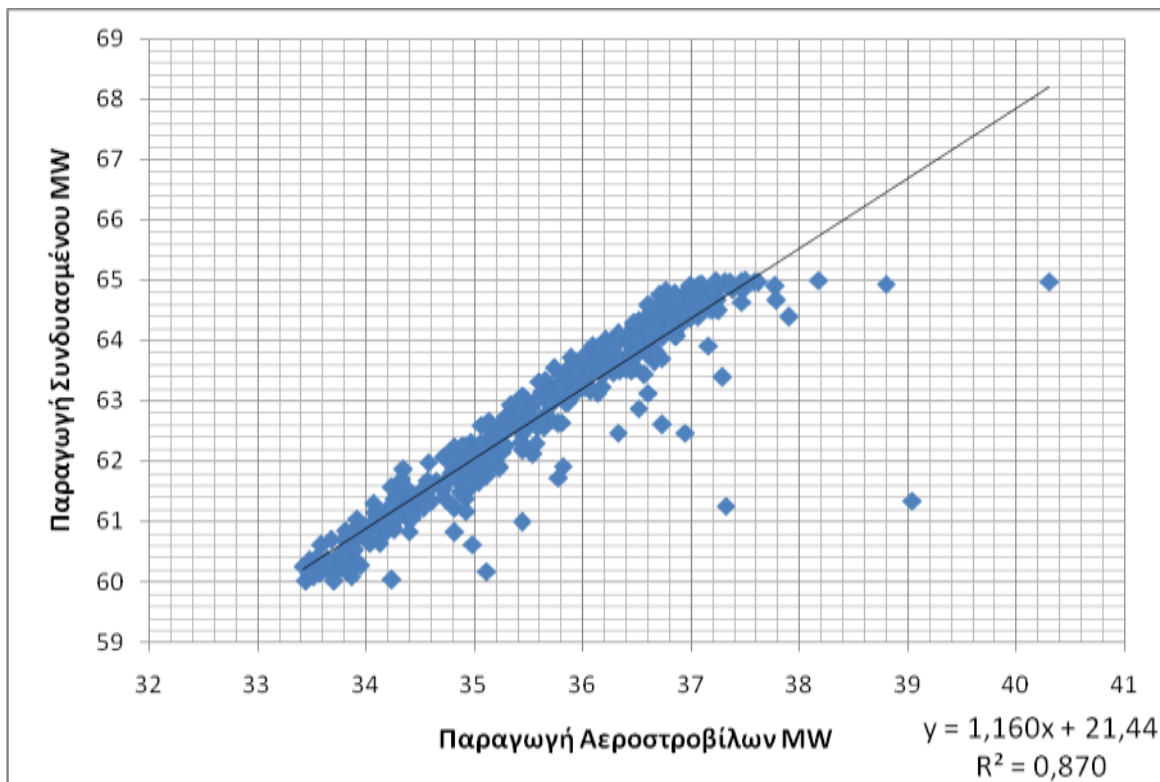
Παρατηρούμε ότι αυτό το διάστημα παραγωγής είναι και αυτό που προκαλεί τις περισσότερες αποκλίσεις από κάθε άλλο διάστημα καθώς υπάρχουν πολλές τιμές που έχουν μεγάλη απόκλιση από την εξίσωση. Οι αποκλίσεις οφείλονται κυρίως σε μετρήσεις που προέρχονται από μείωση της παραγωγής αλλά και στο γεγονός ότι μερικές μπορεί να είναι και λανθασμένες.



Εικόνα 2-53:Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή των Αεροστροβίλων 50-60 MW 2013

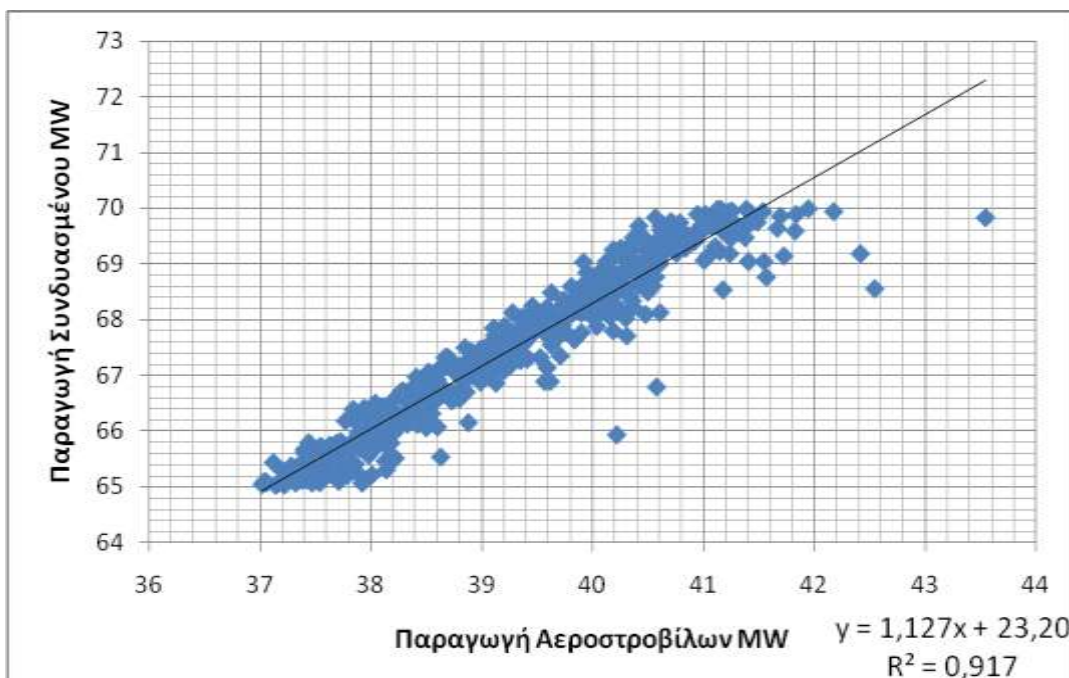
Για παραγωγή του Συνδυασμένου από 60 έως και 65 MW έχουμε την εξίσωση  $y=1.160x+21.44$  με  $R^2$  ίσο με 87% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-54.

Παρατηρούμε ότι σε αυτό το διάστημα παραγωγής έχουμε μεγαλύτερη γραμμικότητα καθώς η παραγωγή των μονάδων ξεφεύγει από τα τεχνικά τους ελάχιστα. Υπάρχουν και μερικές αποκλίνοντες τιμές που οφείλονται στο ότι μπορεί οι μετρήσεις αυτές να είναι είτε λάθος είτε από μείωση της παραγωγής κάποιας μονάδας οπότε δεν συνάφει στην γραμμικότητα ανάληψης φορτίου.



Εικόνα 2-54:Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή των Αεροστροβίλων 60-65 MW 2013

Για παραγωγή του Συνδυασμένου από 65 έως και 70 MW έχουμε την εξίσωση  $y=1.127x+23.20$  με  $R^2$  ίσο με 91,7% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-55.

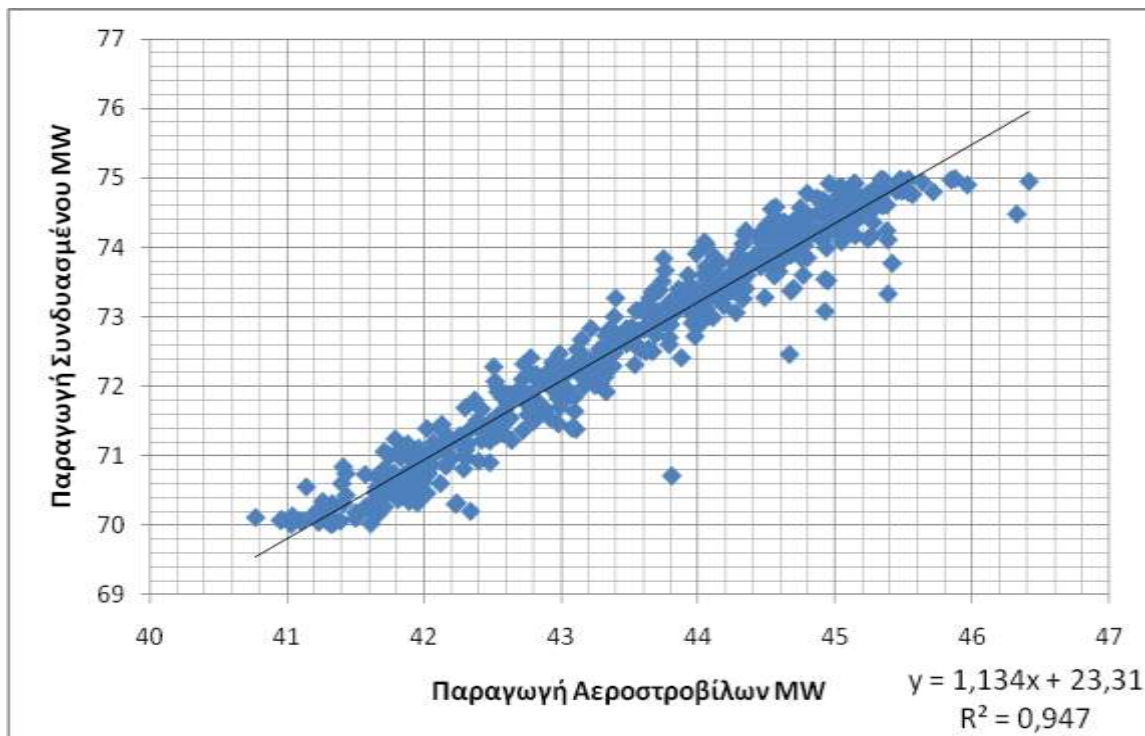


Εικόνα 2-55:Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή των Αεροστροβίλων 65-70 MW 2013

Σε αυτό το διάστημα τιμών παρατηρούμε ότι η γραμμικότητα αυξάνεται καθώς έχουμε ξεπεράσει κατά πολύ τα τεχνικά ελάχιστα των μονάδων και βρισκόμαστε κοντά στην ομαλή τους λειτουργία.

Για παραγωγή του Συνδυασμένου από 70 έως και 75 MW έχουμε την εξίσωση  $y=1.134x+23.31$  με  $R^2$  ίσο με 94,7% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-56.

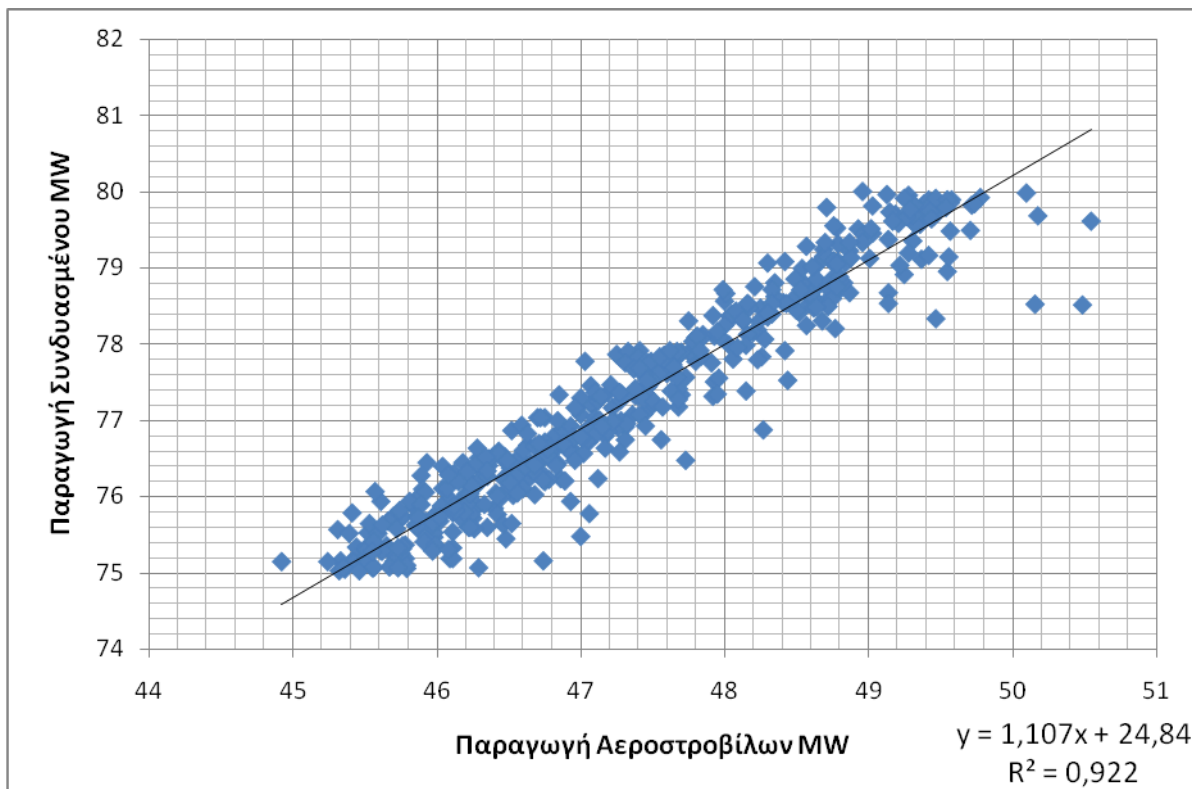
Σε αυτό το διάστημα παραγωγής βρισκόμαστε στην ομαλή παραγωγή των μονάδων για αυτό έχουμε και το μεγαλύτερο  $R^2$  από όλα τα άλλα διαστήματα. Επίσης σε αυτό το διάστημα είναι οι περισσότερες ώρες παραγωγής του Συνδυασμένου πράγμα που σημαίνει ότι είναι το πιο αντιπροσωπευτικό ως προς την λειτουργία αυτής της μονάδας.



Εικόνα 2-56:Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή των Αεροστροβίλων 70-75 MW 2013

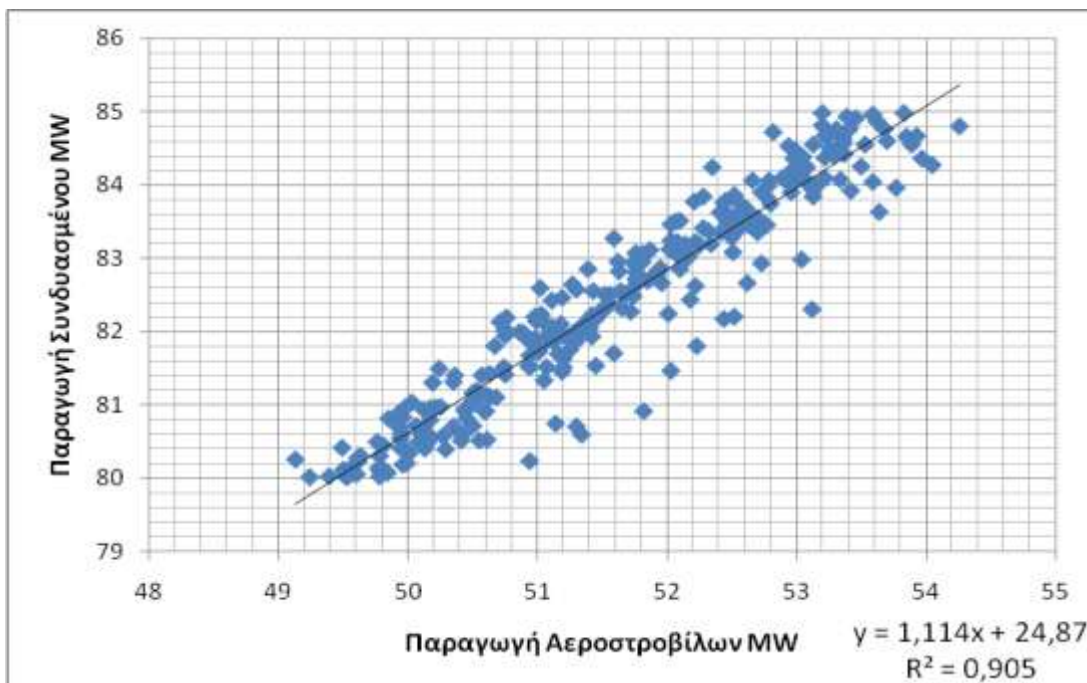
Για παραγωγή του Συνδυασμένου από 75 έως και 80 MW έχουμε την εξίσωση  $y=1.107x+24,84$  με  $R^2$  ίσο με 92,2% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-57.

Σε αυτό το διάστημα παραγωγής παρατηρούμε ότι συνεχίζεται η γραμμικότητα στην συσχέτιση παραγωγής με πολύ λίγες αποκλίσεις που είναι σχεδόν αμελητέες.



Εικόνα 2-57:Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή των Αεροστροβίλων 75-80 MW 2013

Για παραγωγή του Συνδυασμένου από 80 έως και 85 MW έχουμε την εξίσωση  $y=1.114x+24.87$  με  $R^2$  ίσο με 90,5% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-58.



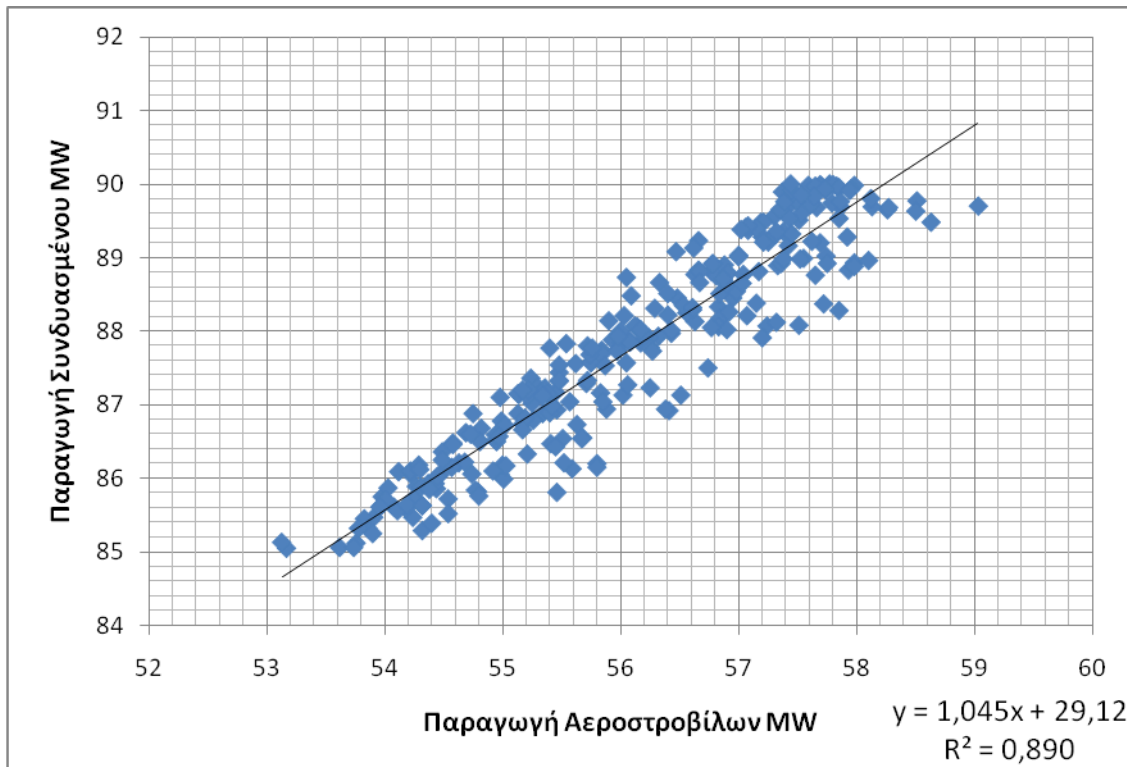
Εικόνα 2-58:Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή των Αεροστροβίλων 80-85 MW 2013

Σε αυτό το διάστημα παραγωγής έχουμε την ίδια συμπεριφορά με το προηγούμενο με πολύ μικρές μεταβολές. Στα τρία τελευταία διαστήματα που καταλαμβάνουν τις περισσότερες ώρες, από όλα τα άλλα μαζί, παραγωγής η γραμμική συσχέτιση στην

παραγωγή των μονάδων είναι πιο έντονη πράγμα που σημαίνει ότι η μοντελοποίηση είναι σωστή τουλάχιστον για το μεγαλύτερο και κυριότερο μέρος της παραγωγής του Συνδυασμένου Κύκλου.

Για παραγωγή του Συνδυασμένου από 85 έως και 90 MW έχουμε την εξίσωση  $y=1.045x+29.12$  με  $R^2$  ίσο με 89% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-59.

Σε αυτό το διάστημα παραγωγής που οι μονάδες πλησιάζουν στα τεχνικά τους μέγιστα χάνεται λίγο η γραμμική συσχέτιση, που όμως παραμένει σε υψηλά ποσοστά σύγκλισης με την εξίσωση.

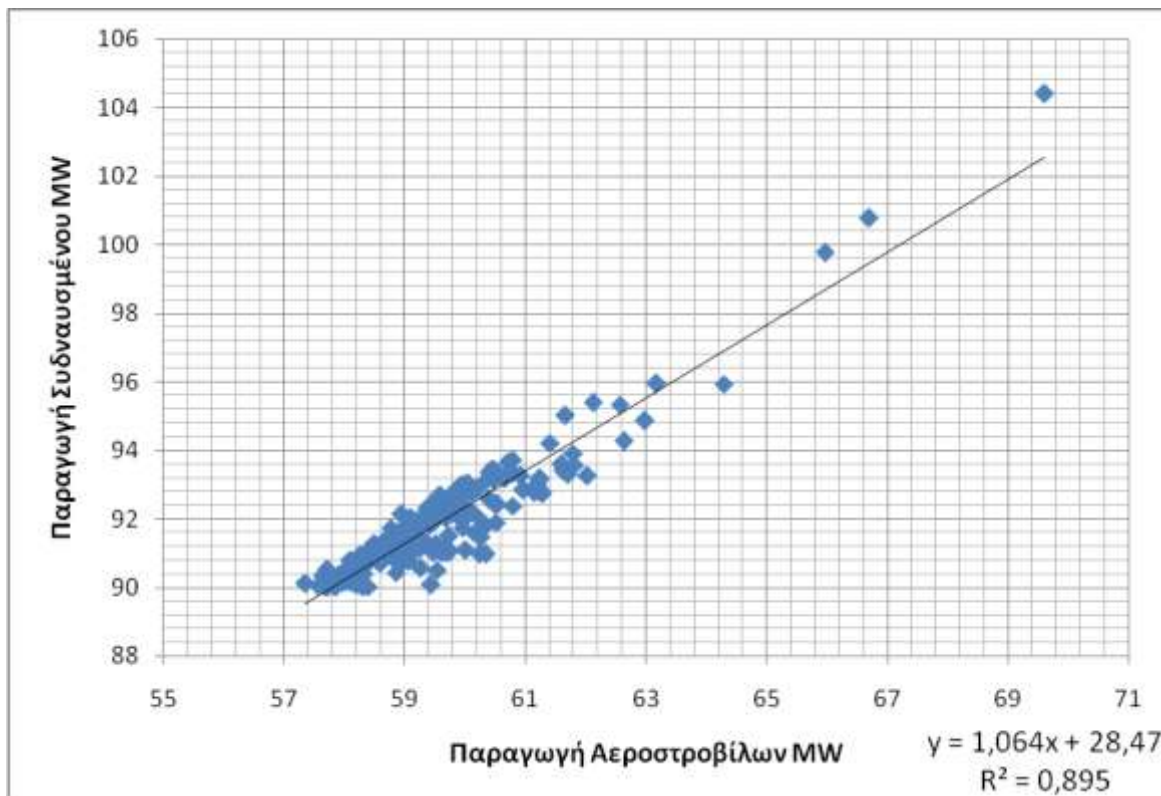


Εικόνα 2-59:Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή των Αεροστροβίλων 85-90 MW 2013

Για παραγωγή του Συνδυασμένου μεγαλύτερη από 90 MW έχουμε την εξίσωση  $y=1.064x+28.47$  με  $R^2$  ίσο με 89,5% όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-60.

Σε αυτό το διάστημα παραγωγής παρατηρούμε ότι παρόλο που οι μονάδες είναι πολύ κοντά στα τεχνικά τους μέγιστα η γραμμικότητα στη συσχέτιση παραγωγής διατηρείται στα ίδια επίπεδα με τα προηγούμενα διαστήματα.





Εικόνα 2-60: Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με την παραγωγή των Αεροστροβίλων >90 MW 2013

Για καλύτερη ανάγνωση και κατανόηση των εξισώσεων τις παραθέτουμε όλες μαζί στον Πίνακα 2-18.

Συνδυασμένος 2013		
< 50 MW	$y=0.902x+16.79$	$R^2=0.844$
50-60 MW	$y=0.182x+51.82$	$R^2=0.043$
60-65 MW	$y=1.160x+21.44$	$R^2=0.870$
65-70 MW	$y=1.127x+23.20$	$R^2=0.917$
70-75 MW	$y=1.134x+23.31$	$R^2=0.947$
75-80 MW	$y=1.107x+24.84$	$R^2=0.922$
80-85 MW	$y=1.114x+24.87$	$R^2=0.905$
85-90 MW	$y=1.045x+29.12$	$R^2=0.895$
> 90 MW	$y=1.064x+28.47$	$R^2=0.895$
Συνολικά	$y=1.243x+18.24$	$R^2=0.983$

Πίνακας 2-18: Εξισώσεις συσχέτισης παραγωγής Αεροστροβίλων και ATM1 και ταύτιση δεδομένων 2013

### 2.5.4.3 Συστήματα μετρήσεων καυσίμου

Καλό σε αυτό το σημείο θα ήταν να αναφέρουμε πως λειτουργούν τα συστήματα μετρήσεων καυσίμου για να εξηγήσουμε καλύτερα, και να γίνει πιο κατανοητό, πως υπολογίστηκε η εξίσωση κατανάλωσης καυσίμου στο επόμενο κεφάλαιο. Υπάρχουν πολλά είδη αισθητήρων που κάνουν μετρήσεις ροής υγρού ορισμένες από τις κατηγορίες είναι:

- Ηλεκτρομαγνητικοί αισθητήρες μέτρησης παροχής
- Αισθητήρες μέτρησης παροχής χρόνου μετάβασης με υπερήχους



- Αισθητήρες μέτρησης παροχής Doppler με υπερήχους και laser
- Αισθητήρες μέτρησης παροχής στροβίλου
- Μέτρηση ροής με σωλήνα Pitot
- Μέτρηση ροής με σωλήνα Venturi
- Μέτρηση ροής με δονούμενο σωλήνα

Από αυτές τις κατηγορίες θα αναλύσουμε μόνο όσες μπορούν να ανιχνεύσουν την ροή καυσίμου οι οποίες είναι:

- Αισθητήρες μέτρησης παροχής χρόνου μετάβασης με υπερήχους
- Αισθητήρες μέτρησης παροχής στροβίλου
- Μέτρηση ροής με σωλήνα Pitot
- Μέτρηση ροής με σωλήνα Venturi

Οι ηλεκτρομαγνητικοί αισθητήρες δεν μπορούν να ανιχνεύσουν επαρκώς την ροή, καθώς τα καύσιμα που χρησιμοποιούν οι γεννήτριες δεν είναι τόσο καλοί αγωγοί του ηλεκτρισμού, και οι αισθητήρες Doppler δεν λειτουργούν σε καύσιμα που είναι "καθαρά", δηλαδή δεν περιέχουν σωματίδια.<sup>xxiv</sup>

#### • Αισθητήρες μέτρησης παροχής χρόνου μετάβασης με υπερήχους

Στη διάταξη αυτή, δύο μετατροπείς υπερήχων είναι τοποθετημένοι στην επιφάνεια του σωλήνα όπου ρέει το μετρούμενο υγρό, σε απέναντι θέσεις υπό γωνία. Η λειτουργία τους εναλλάσσεται διαδοχικά, δηλαδή όταν ο μετατροπέας υπερήχων 1 εκπέμπει υπερηχητικούς παλμούς, ο μετατροπέας υπερήχων 2 λειτουργεί ως δέκτης, και αντίστροφα. Οι δύο μετατροπείς είναι συγχρονισμένοι έτσι ώστε να μπορεί να υπολογιστεί ο χρόνος που απαιτείται από την εκπομπή ενός υπερηχητικού παλμού από τον πομπό μέχρι τη λήψη του από το δέκτη. Οι χρόνοι που απαιτούνται για τη διάδοση του υπερηχητικού κύματος μέσω του υγρού, από το μετατροπέα 1 στο μετατροπέα 2,  $t_{12}$  και αντίστροφα,  $t_{21}$ , δίνονται από τις σχέσεις:

$$t_{12} = d / \sin\theta \cdot [u_s + v \cdot \cos(\theta)] \quad (1)$$

$$t_{21} = d / \sin\theta \cdot [u_s - v \cdot \cos(\theta)] \quad (2)$$

όπου  $\theta$  είναι η γωνία που σχηματίζουν οι δύο μετατροπείς υπερήχων με τον άξονα του σωλήνα,  $v$  είναι η ταχύτητα του υγρού,  $u_s$  είναι η ταχύτητα του ήχου στο συγκεκριμένο υγρό και  $d$  είναι η διάμετρος του σωλήνα μέσα στον οποίο ρέει το μετρούμενο υγρό. Όπως φαίνεται στις παραπάνω σχέσεις, οι χρόνοι  $t_{12}$  και  $t_{21}$  διαφέρουν μεταξύ τους, λόγω της ταχύτητας της ροής του υγρού. Η διαφορά των δύο χρόνων δίνεται από τη σχέση:

$$\Delta t = t_{21} - t_{12} = 2d \cdot v \cdot \cos(\theta) / \sin\theta \cdot [u_s^2 - v^2 \cdot \cos^2(\theta)] \cong 2d \cdot v \cdot \cos(\theta) / \sin\theta \cdot u_s^2 = 2d \cdot \cot(\theta) \cdot Q / A \cdot u_s^2 \quad (3)$$

Επομένως, η διαφορά των χρόνων,  $\Delta t$ , είναι ανάλογη της παροχής,  $Q$ , του υγρού. Μετρώντας το χρονικό διάστημα  $\Delta t$ , υπολογίζεται η παροχή του υγρού,  $Q$ . Εναλλακτικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η σχέση:

$$\Delta t / t_{21} \cdot t_{12} = \sin(2\theta) \cdot v / d = \sin(2\theta) \cdot Q / d \cdot A \quad (4)$$

η οποία δίνει αποτέλεσμα ανεξάρτητο της ταχύτητας του ήχου στο υγρό,  $u$ . Όταν ο σωλήνας είναι κατασκευασμένος από υλικά όπως σίδηρος, αλουμίνιο, γυαλί, PVC κλπ. Τα οποία επιτρέπουν τη διάδοση των υπερηχητικών κυμάτων, τότε οι μετατροπείς υπερήχων τοποθετούνται στην εξωτερική πλευρά του σωλήνα. Στην περίπτωση αυτή, κάθε φορά που το υπερηχητικό κύμα συναντά κατά τη διάδοσή του διαφορετικό υλικό, ένα μέρος του ανακλάται, ενώ το υπόλοιπο συνεχίζει τη διάδοσή του στο νέο μέσο. Επομένως, οι αντίστοιχοι υπερηχητικοί μετατροπείς του αισθητήρα μέτρησης παροχής θα λαμβάνουν και τις ανακλάσεις των υπερηχητικών κυμάτων στις διαχωριστικές επιφάνειες του αισθητήρα και αυτό θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη για τον ακριβή υπολογισμό των χρόνων  $\Delta t$ ,  $t_{12}$  και  $t_{21}$ . Οι αισθητήρες μέτρησης παροχής χρόνου μετάβασης με υπερήχους έχουν το μειονέκτημα ότι η ακρίβεια των μετρήσεων μειώνεται αν η ροή του υγρού είναι στροβιλώδης.

#### • Αισθητήρες μέτρησης παροχής στροβίλου

Στη διάταξη αυτή, ένας στρόβιλος με άξονα παράλληλο στον άξονα του σωλήνα μέσα στον οποίο ρέει το μετρούμενο υγρό, είναι τοποθετημένος στο κέντρο του σωλήνα και παρεμβάλλεται στη ροή του υγρού. Το υγρό εξαναγκάζεται στον στρόβιλο να περιστρέφεται με ταχύτητα περιστροφής ανάλογη της ταχύτητας ροής του υγρού. Η ταχύτητα περιστροφής του στροβίλου μετριέται με ανιχνευτή θέσης αντικειμένου, οπότε κάθε φορά που ένα πτερύγιο περνάει μπροστά από τον ανιχνευτή θέσης παράγεται ένας ηλεκτρικός παλμός. Η συχνότητα της παλμοσειράς που παράγεται είναι ανάλογη της ταχύτητας και επομένως της παροχής του υγρού. Οι αισθητήρες μέτρησης παροχής στροβίλου παρέχουν αρκετά καλή ακρίβεια μέτρησης, αλλά έχουν το μειονέκτημα ότι παρεμβάλλονται στη ροή του υγρού και ότι χρειάζονται μεγαλύτερους σωλήνες από το κανονικό για να λειτουργήσουν.

#### • Μέτρηση ροής με σωλήνα Pitot

Η ταχύτητα ροής και η παροχή ενός ρευστού μπορούν να υπολογιστούν χρησιμοποιώντας έναν σωλήνα Pitot (Pitot tube), μετρώντας τη διαφορική πίεση μεταξύ δύο σημείων στην κατεύθυνση της ροής του υγρού. Η διαφορική πίεση μετριέται με αισθητήρα πίεσης που αποτελείται από πιεζοαντιστάτες. Σύμφωνα με την εξίσωση του Bernoulli, για τη διάταξη μέτρησης ροής με σωλήνα Pitot ισχύει η σχέση:  $P_1 = P_s + P_d$ , όπου  $P_1$  είναι η συνολική πίεση,  $P_s$  η στατική πίεση και  $P_d$  η δυναμική πίεση. Από την παραπάνω σχέση προκύπτει:  $P_1 = P_s + \rho \cdot v^2 / 2$ , όπου  $v$  είναι η ταχύτητα του υγρού και  $\rho$  είναι η πυκνότητά του. Επιλύοντας την παραπάνω σχέση ως προς την ταχύτητα του υγρού, προκύπτει:  $v = \sqrt{2 \frac{(P_1 - P_s)}{\rho}}$ . Η παροχή υπολογίζεται από την μετρούμενη ταχύτητα ροής του υγρού σύμφωνα με τη σχέση  $Q = A \cdot v$ .

#### • Μέτρηση ροής με σωλήνα Venturi

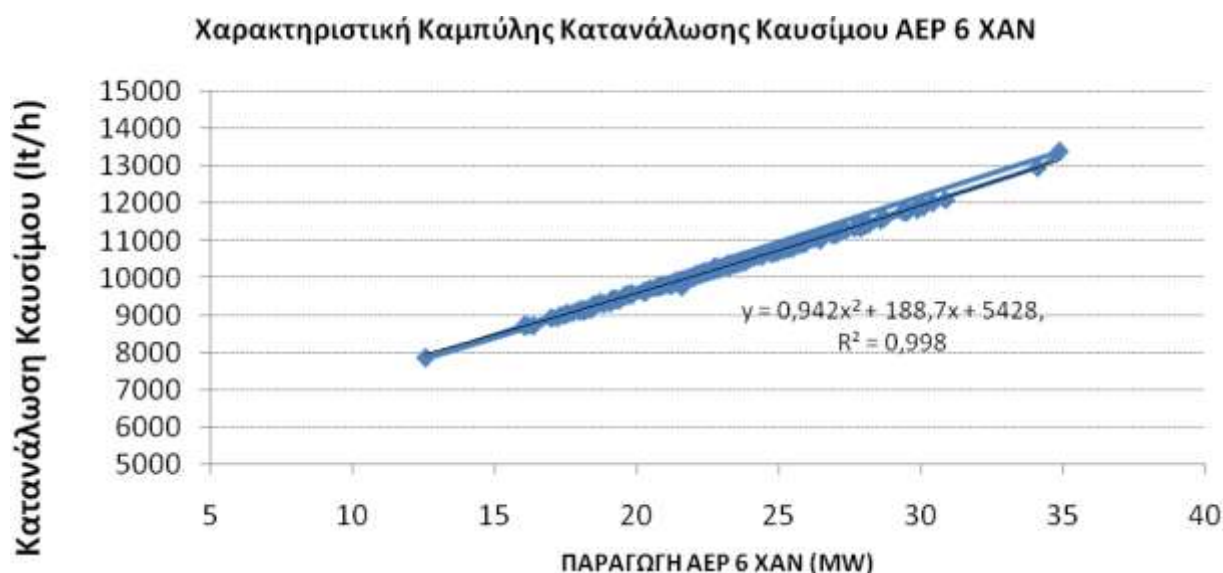
Η ροή ενός υγρού μπορεί να υπολογιστεί μετρώντας τη διαφορική πίεση σύμφωνα με το σωλήνα Venturi. Η διαφορική πίεση μετριέται με αισθητήρα πίεσης που αποτελείται από πιεζοαντιστάτες. Στη διάταξη μέτρησης ροής σύμφωνα με το σωλήνα Venturi, η παροχή του ρευστού,  $Q$ , υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση  $Q = C \cdot \sqrt{2 \frac{(P_1 - P_2)}{\rho}} \cdot A_1 / \sqrt{(A_1/A_2)^2 - 1}$ , όπου  $D_1, D_2$  είναι οι διάμετροι του σωλήνα και  $A_1, A_2$  είναι οι αντίστοιχες διατομές του σωλήνα ( $A = \pi \cdot D^2 / 4$ ),  $P_1, P_2$  είναι οι πιέσεις,  $\rho$  είναι η πυκνότητα του ρευστού και  $C$  είναι σταθερά που εξαρτάται από τις τιμές των δύο διαμέτρων του σωλήνα, καθώς και του

ιξόδους, της ταχύτητας και της πυκνότητας του μετρούμενου ρευστού. Το  $C$  καθορίζεται κατά τη βαθμονόμηση του αισθητήρα.

#### 2.5.4.4 Εξίσωση καμπύλης κατανάλωσης καυσίμου

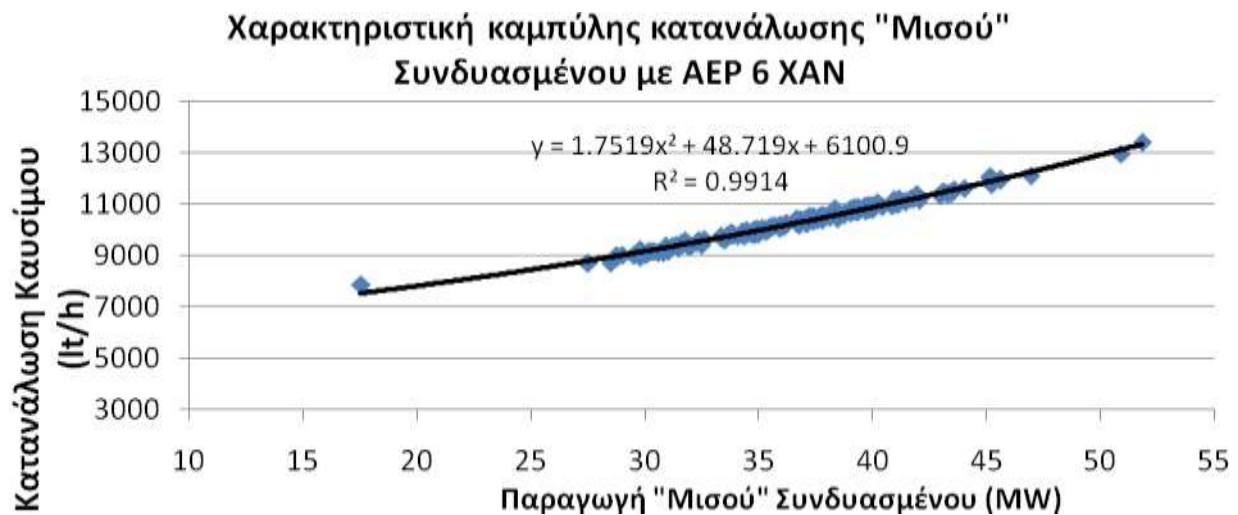
Έχοντας βρει την συσχέτιση παραγωγής των μονάδων σε σχέση με τον Συνδυασμένο στα προηγούμενα κεφάλαια, και γνωρίζοντας μέσω των κατάλληλων παροχομέτρων την κατανάλωση των μονάδων προσπαθήσαμε να βρούμε την καμπύλη κατανάλωσης καυσίμου. Στην αρχή επειδή τα παροχόμετρα μετράνε την κατανάλωση καυσίμων σε  $\text{lt/sec}$  ενώ εμείς έχουμε τιμές σε  $\text{MWh}$  έπρεπε να μετατρέψουμε τις μετρήσεις των παροχομέτρων σε  $\text{lt/h}$ . Για να το κάνουμε αυτό πολλαπλασιάσαμε την τιμή που είχαμε με το 3600, που είναι τα δευτερόλεπτα που έχει μια ώρα, για να κάνουμε την μονάδα σε  $\text{lt/h}$ . Οπότε με αυτό τον τρόπο βρίσκουμε την μέση ωριαία κατανάλωση καυσίμου που χρειαζόμαστε για να βρούμε την εξίσωση κατανάλωσης καυσίμου. Επίσης όπως είπαμε και στον κεφάλαιο 2.5.4.1 θεωρούμε ότι η μονάδα Συνδυασμένου Κύκλου ουσιαστικά αποτελείται από της αεροστροβλικές μονάδες που έχουν αφομοιώσει τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ατμοστροβίλου, άρα πρέπει να βρούμε την συσχέτιση της κατανάλωσης στον μισό Συνδυασμένο Κύκλο, που είναι και η εξίσωση κατανάλωσης καυσίμου που ψάχνουμε.

Έχοντας λοιπόν όλα τα δεδομένα που χρειαζόμαστε θα βρούμε πρώτα την εξίσωση κατανάλωσης καυσίμου για τον μισό Συνδυασμένο Κύκλο, όταν είναι ενταγμένοι ο AEP6 και ο ATM1. Η εξίσωση κατανάλωσης καυσίμου που βρίσκουμε για τον AEP6 ξεχωριστά είναι  $y = 0.942x^2 + 188.7x + 5428$  με  $R^2 = 0.988$ , όπου  $x$  η παραγωγή του AEP6 σε  $\text{MW}$  και  $y$  η κατανάλωση καυσίμου του σε  $\text{lt}$ , όπως φαίνεται και από την συσχέτιση που κάναμε στην Εικόνα 2-61.



Εικόνα 2-61: Εξίσωση κατανάλωσης καυσίμου AEP6

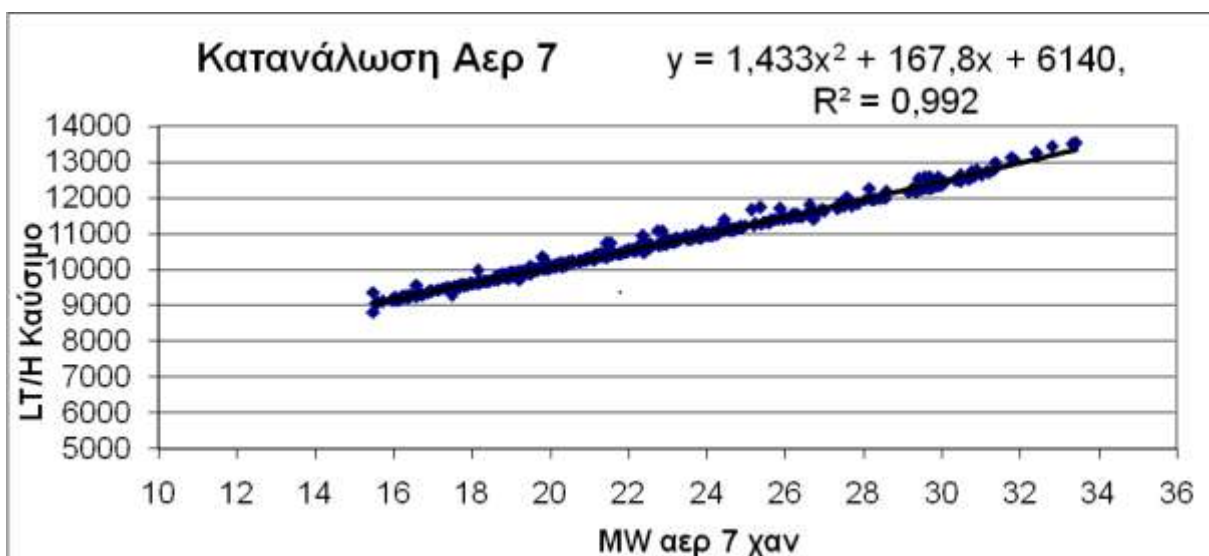
Κάνοντας την ίδια ακριβώς διαδικασία για τον μισό Συνδυασμένο, δηλαδή για την παραγωγή του AEP6 με του ATM1 σαν μια ενιαία μονάδα, βρίσκουμε την εξίσωση κατανάλωσης καυσίμου  $y = 1.7519x^2 + 48.719x + 6100.9$  με  $R^2 = 0.9914$ , όπου  $x$  η παραγωγή του μισού Συνδυασμένου σε  $\text{MW}$  και  $y$  η κατανάλωση καυσίμου της μονάδας σε  $\text{lt}$ , όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-62.



Εικόνα 2-62:Εξίσωση κατανάλωσης καυσίμου μισού Συνδυασμένου με ΑΕΡ6

Από την εικόνα φαίνεται καθαρά ότι έχουμε πολύ καλή ταύτιση δεδομένων με την εξίσωση, γεγονός που φαίνεται και από το μεγάλο  $R^2$ . Όμως παρατηρούνται κάποιες αποκλίσεις κυρίως στις πολύ χαμηλές και στις πολύ υψηλές τιμές παραγωγής, οι οποίες οφείλονται στο γεγονός ότι οι μονάδες όταν βρίσκονται κοντά στα τεχνικά του ελάχιστα και μέγιστα αλλάζουν συμπεριφορά καθώς και ότι μπορεί να έχουμε και κάποιες λάθος μετρήσεις.

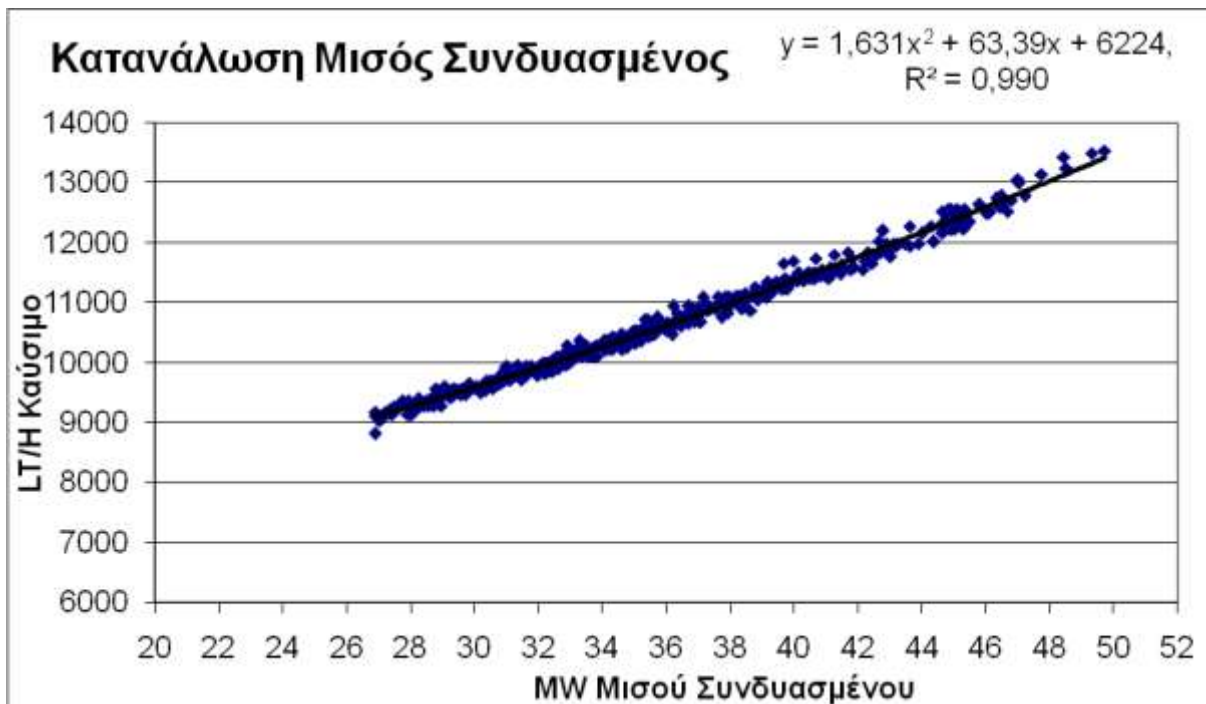
Αφού βρήκαμε την εξίσωση κατανάλωσης καυσίμου για τον μισό Συνδυασμένο Κύκλο στον συνδυασμό όπου παράγουν ο ΑΕΡ6 και ο ΑΤΜ1 πρέπει να βρούμε και στον συνδυασμό μισού Συνδυασμένου Κύκλου ΑΕΡ7 και ΑΤΜ1 και να βρούμε πιο μοντέλο έχει το μικρότερο σφάλμα. Βρίσκουμε λοιπόν πρώτα την συσχέτιση στη κατανάλωση για τον αεροστροβίλο όπου και βρίσκουμε την εξίσωση κατανάλωσης καυσίμου  $y = 1.433x^2 + 167.8x + 6140$  με  $R^2 = 0.992$ , όπου  $x$  η παραγωγή του ΑΕΡ7 σε MW και  $y$  η κατανάλωση καυσίμου του σε lt, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-63.



Εικόνα 2-63:Εξίσωση κατανάλωσης καυσίμου ΑΕΡ7

Έχοντας λοιπόν την εξίσωση κατανάλωσης καυσίμου του αεροστροβίλου πρέπει να βρούμε και αυτή του μισού Συνδυασμένου. Κάνοντας λοιπόν πάλι την συσχέτιση παραγωγής κατανάλωσης, αυτή την φορά για τον μισό Συνδυασμένο έχουμε την εξίσωση

κατανάλωσης καυσίμου  $y=1.631x^2+63.39x+6224.2$  με  $R^2=0.99$ , όπου  $x$  η παραγωγή του μισού Συνδυασμένου σε MW και  $y$  η κατανάλωση καυσίμου σε lt, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-64.



Εικόνα 2-64:Εξίσωση κατανάλωσης καυσίμου μισού Συνδυασμένου με ΑΕΡ7

Παρατηρούμε ότι και οι δύο εξισώσεις που βρήκαμε και από τις δύο περιπτώσεις του Συνδυασμένου Κύκλου είναι σχεδόν οι ίδιες με τις διαφορές μεταξύ τους να οφείλονται στις αποκλίσεις που παρατηρούνται στην παραγωγή του μισού Συνδυασμένου όταν παράγει ο ΑΕΡ6, για τους λόγους που είπαμε πιο πάνω. Επειδή οι δύο αεροστροβιλικές μονάδες είναι ίδιες, από κατασκευής, πρέπει να έχουν και την ίδια εξίσωση κατανάλωσης καυσίμου. Λόγω του ότι η συσχέτιση κατανάλωσης καυσίμου μισού Συνδυασμένου με τον ΑΕΡ6 έχει κάποιες έντονες αποκλίνουσες τιμές, οι οποίες επηρεάζουν την εξίσωση κατανάλωσης καυσίμου διαλέγουμε ως τελική εξίσωση κατανάλωσης ενέργειας για τον Συνδυασμένο Κύκλο αυτή που βρήκαμε από την συσχέτιση παραγωγής του μισού Συνδυασμένου όταν λειτουργεί ο ΑΕΡ7.

## 2.6 Τεχνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά μονάδων Κρήτης-Σύνοψη

Για να έχουμε ολοκληρωμένη εικόνα για τις θερμικές μονάδες και την λειτουργία τους παραθέτουμε στους Πίνακας 2-19 και Πίνακας 2-20 τα τεχνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά τους. Με τον τρόπο αυτό γίνεται και πιο αντιληπτό το εύρος και οι δυνατότητες του Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας Κρήτης.

ΜΟΝΑΔΑ	Un (kV)	Sn (MVA)	Min MW	Max MW	Uprate MW per hour	Downrate MW per hour
ATM 1 ΔΙΝ	15,75	7,8	3,9	6,2	10	10
ATM 2 ΔΙΝ	15,75	18,75	7	15	10	10
ATM 3 ΔΙΝ	15,75	18,75	7	15	10	10
ATM 4 ΔΙΝ	6,3	31,25	15	25	19	19
ATM 5 ΔΙΝ	6,3	31,25	16	25	19	19
ATM 6 ΔΙΝ	6,3	31,25	16	25	19	19
DIESEL 1 ΔΙΝ	10	15,3	3	11,8	11	12
DIESEL 2 ΔΙΝ	10	15,3	3	11,8	11	12
DIESEL 3 ΔΙΝ	10	15,3	3	11,8	11	12
DIESEL 4 ΔΙΝ	10	15,3	3	11,8	11	12
AEP 1 ΔΙΝ	6,3	19,1	3	15	11	15
AEP 2 ΔΙΝ	6,3	19,1	7	41	41	41
AEP 3 ΔΙΝ	6,3	19,1	3	13	13	13
AEP 4 ΔΙΝ	6,3	19,1	5	27,5	26	27
AEP 5 ΔΙΝ	6,3	19,1	5	27,5	26	27
AEP 6 Σ.Κ	11,5	97,5	17	61,5	26	28
AEP 7 Σ.Κ	11,5	97,5	17	61,5	26	28
AEP 1 ΧΑΝΙΑ	6,3	21,3	3	14	13	14
AEP 4 ΧΑΝΙΑ	11	26,75	3	18,8	18	18
AEP 5 ΧΑΝΙΑ	11	39,8	5	28	23	28
AEP 11 ΧΑΝ	11,5	79	6	58	46	58
AEP 12 ΧΑΝ	11,5	79	6	58	46	58
AEP 13 ΧΑΝ	11,5	79	5	28	27	28
DIESEL1 ΑΘΕΡ	11	16	22,5	43,4	28	30
DIESEL2 ΑΘΕΡ	11	16	22,5	43,4	28	30
ATM1 ΑΘΕΡ	6,3	21	25	50	40	50
ATM2 ΑΘΕΡ	6,3	21	25	50	40	50

Πίνακας 2-19: Τεχνικά χαρακτηριστικά μονάδων Κρήτης

ΜΟΝΑΔΑ	Cubcoeff <sub>i</sub> (Kg/MWh <sup>3</sup> )	Sqcoeff <sub>i</sub> (Kg/MWh <sup>2</sup> )	Lincoeff <sub>i</sub> (Kg/MWh)	Constcoeff <sub>i</sub> Kg-lt	Τιμή καυσίμου fuel cost <sub>i</sub> (€/kg-lt)	καύσιμο
ATM 1 ΔΙΝ	17,377	-167,2	727,6	0,001	0,5379	μαζούτ
ATM 2 ΔΙΝ	0.001	3.8792	226.62	442.8	0,5379	μαζούτ
ATM 3 ΔΙΝ	0.001	3.8792	226.62	442.8	0,5379	μαζούτ
ATM 4 ΔΙΝ	0.001	0.4127	253.46	964.12	0,5379	μαζούτ
ATM 5 ΔΙΝ	0,092	-4,166	300,58	0	0,5379	μαζούτ
ATM 6 ΔΙΝ	0,092	-4,166	300,58	0	0,5379	μαζούτ
DIESEL 1 ΔΙΝ	0.0001	2.8859	134.16	253.51	0,5379	μαζούτ
DIESEL 2 ΔΙΝ	0.0001	2.8859	134.16	253.51	0,5379	μαζούτ
DIESEL 3 ΔΙΝ	0.0001	2.8859	134.16	253.51	0,5379	μαζούτ
DIESEL 4 ΔΙΝ	0.0001	2.8859	134.16	253.51	0,5379	μαζούτ
AEP 1 ΔΙΝ	0.0001	0.4754	280.96	1990.7	0.9899	diesel
AEP 2 ΔΙΝ	0.0001	0.4754	280.96	1990.7	0.9899	diesel
AEP 3 ΔΙΝ	0,0001	0,2533	197,65	2418	0.9899	diesel
AEP 4 ΔΙΝ	0,2182	-7.1804	329.24	986.77	0.9899	diesel
AEP 5 ΔΙΝ	0,001	0,3605	196,29	1675,8	0.9875	diesel
AEP 6 Σ.Κ	0.001	1.7519	48,719	6100,9	0.9875	diesel
AEP 7 Σ.Κ	0.001	1.6315	63.39	6224.2	0.9875	diesel
AEP 1 ΧΑΝΙΑ	0	0,01	267	2170	0.9875	diesel
AEP 4 ΧΑΝΙΑ	0	0,01	219	2865	0.9875	diesel
AEP 5 ΧΑΝΙΑ	0	0,001	275	3757	0.9875	diesel
AEP 11 ΧΑΝ	0,001	0.209	219.2	3966	0.9875	diesel
AEP 12 ΧΑΝ	0,001	0.209	219.2	3966	0.9875	diesel
AEP 13 ΧΑΝ	0,001	0,3605	196,29	1675,8	0.9875	diesel
DIESEL1 ΑΘΕΡ	0,017	-1,3	222,6	0,27	0.5504	μαζούτ
DIESEL2 ΑΘΕΡ	0,017	-1,3	222,6	0,27	0.5504	μαζούτ
ATM1 ΑΘΕΡ	0.0001	0.2395	194.22	1321.3	0.5504	μαζούτ
ATM2 ΑΘΕΡ	0.0001	0.2395	194.22	1321.3	0.5504	μαζούτ

Πίνακας 2-20: Οικονομικά χαρακτηριστικά μονάδων Κρήτης

Τα δεδομένα αυτά θα τα χρησιμοποιήσουμε παρακάτω στο κεφάλαιο 4 όπου θα ελέγξουμε αν η καινούργια εξίσωση κατανάλωσης καυσίμου του Συνδυασμένου Κύκλου των Χανίων είναι οικονομικά πιο συμφέρουσα από την παλαιότερη.



## 2.7 Μονάδες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Σημαντικά είναι τα ποσοστά της εγκατεστημένης παραγωγής από μονάδες Α.Π.Ε. στη Κρήτη. Η Κρήτη είναι ένα νησί με πλούσιο ηλιακό και αιολικό δυναμικό. Συνεπώς αυτό αποτελεί σημαντικό κίνητρο για τους ενδιαφερόμενους που θέλουν να επενδύσουν στις Α.Π.Ε. Στον Πίνακα 2-21 παρουσιάζεται συνοπτικά η εγκατεστημένη ισχύς των μονάδων Α.Π.Ε., οι οποίες είναι διασυνδεδεμένες στο δίκτυο της Κρήτης σύμφωνα με το πληροφοριακό δελτίο της Δ.Ε.Η. για το έτος 2014.

ΝΗΣΙ	ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW)				
	Α/Π	Φ/Β	ΒΙΟΜΑΖΑ	ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ	ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΕ
ΚΡΗΤΗ	183,54	74,70	0,4	0,3	258,94
ΣΥΝΟΛΟ Μ.Δ.Ν	287,32	115,77	-	-	403,79

Πίνακας 2-21: Εγκατεστημένη ισχύς Α.Π.Ε. Κρήτης 2014

Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι η συνολική συμμετοχή των Α.Π.Ε. στην Κρήτη αγγίζει περίπου το 20% στην κάλυψη της ζήτησης, το οποίο είναι σχετικά μεγάλο ποσοστό αν συμπεριλάβει κανείς ότι οι Α.Π.Ε. δεν έχουν σταθερή ροή στην παραγωγή τους.

### 2.7.1 Μικρά Υδροηλεκτρικά

Τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια είναι ικανά για μεγάλη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αρκεί να υπάρχει αρκετά καλή ροή νερού είτε από ποτάμι είτε από κάποια τεχνητή λίμνη. Στην Κρήτη επειδή δεν υπάρχουν μεγάλα ποτάμια όμως υπάρχουν μερικά που με τεχνητές λίμνες μπορούν να έχουν κάποια έστω και μικρή παραγωγή για να συμβάλλουν στην ανακούφιση της ζήτησης.

Στον Νομό Χανίων, στις περιοχές της Αγυιάς και Αλμυρού, βρίσκονται εγκατεστημένοι οι δύο Μικροί Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί (Μ.ΥΗ.Σ.), της Κρήτης. Ο πρώτος Μ.ΥΗ.Σ. είναι ένας από τους παλαιότερους υδροηλεκτρικούς σταθμούς της χώρας καθώς ξεκίνησε να λειτουργεί το 1929. Ο Μ.ΥΗ.Σ. Αγυιάς, κατά την έναρξη λειτουργίας του, διέθετε τρεις μονάδες των 0,30 MW. Η λειτουργία του όμως έλαβε τέλος στις 23 Μαΐου 2009, όπου και ολοκληρώθηκε η παραχώρηση του Μ.ΥΗ.Σ. Αγυιάς και των εκτάσεων του, στη Νομαρχία Χανίων με σκοπό την πλήρη περιβαλλοντική αναβάθμιση της ευρύτερης περιοχής.

Επομένως αυτή τη στιγμή ο μοναδικός Μ.ΥΗ.Σ. που βρίσκεται σε λειτουργία είναι στη περιοχή του Αλμυρού, στο δήμο Γεωργιούπολης. Ο εν' λόγω Σταθμός Παραγωγής αποτέλεσε το δεύτερο έργο εκμετάλλευσης υδροηλεκτρικής ενέργειας στο νησί καθώς ξεκίνησε να λειτουργεί από το 1954. Ο Μ.ΥΗ.Σ Αλμυρού αξιοποιεί μέρος από τις απορροές των Λευκών Ορέων, οι οποίες συγκεντρώνονται στη λίμνη του Αλμυρού, η οποία δείχνεται στην Εικόνα 2-65. Διαθέτει μία μονάδα των 0,30 MW της οποίας η μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας μπορεί να φτάσει και τις 1,25 GWh. Αξίζει να σημειωθεί πως τα περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη του υδροηλεκτρικού έργου είναι ιδιαίτερα σημαντικά καθώς στην περιοχή του φράγματος έχει δημιουργηθεί υδροβιότοπος, ενώ η λειτουργία του Μ.ΥΗ.Σ. συμβάλλει στην αποφυγή εκπομπής ρύπων CO<sub>2</sub> κατά 1.250 τόνους ετησίως.



Εικόνα 2-65: Λίμνη στον Αλμυρό

### **2.7.2 Μονάδες Παραγωγής Βιομάζας**

Στην Κρήτη υπάρχουν δύο μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο και βρίσκονται εγκατεστημένες στους δύο βιολογικούς καθαρισμούς της Δημόσιας Επιχείρησης Ύδρευσης - Αποχέτευσης (Δ.Ε.Υ.Α) των Χανίων και του Ηρακλείου αντίστοιχα. Οι μονάδες αυτές συνεισφέρουν σημαντικά στην κάλυψη των εσωτερικών καταναλώσεων των δύο βιολογικών καθαρισμών. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των δύο αυτών μονάδων παραγωγής είναι ίση με 0,40 MW. Η μονάδα βιολογικού καθαρισμού των Χανίων φαίνεται στην Εικόνα 2-66.

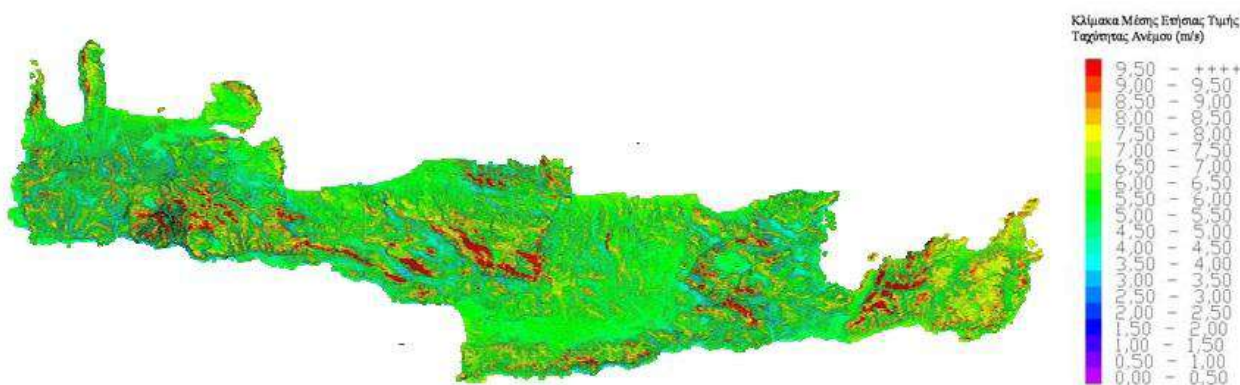




Εικόνα 2-66: Βιολογικός καθαρισμός Χανίων

### 2.7.3 Αιολικά Πάρκα

Η Κρήτη είναι ένα νησί με αρκετά υψηλό αιολικό δυναμικό στο μεγαλύτερο μέρος της έκτασής της. Αυτό δικαιολογεί και τον μεγάλο αριθμό εγκαταστάσεων αιολικών πάρκων αλλά και το ενδιαφέρον επενδυτών για την εγκατάσταση ακόμη περισσότερων. Παρακάτω παρουσιάζεται, στην Εικόνα 2-67 ο χάρτης του αιολικού δυναμικού της Κρήτης όπως αναπτύχθηκε από το εργαστήριο αιολικής ενέργειας και σύνθεσης ενεργειακών συστημάτων του Τ.Ε.Ι Κρήτης, βάση μετρήσεων ανεμολογικών δεδομένων, οι οποίες ελήφθησαν από περισσότερα των ογδόντα σημείων στο νησί.



Εικόνα 2-67: Ανεμολογικός χάρτης Κρήτης<sup>xxv</sup>

Παρατηρούμε ότι το καλύτερο αιολικό δυναμικό το έχει ο νομός Λασιθίου και για αυτό τον λόγο τα περισσότερα αιολικά πάρκα υπάρχουν εκεί, όπως και το πρώτο αιολικό πάρκο που φτιάχτηκε ποτέ στην Κρήτη αυτό της μονής Τοπλού στην Σητεία.

Σήμερα η εγκατεστημένη ισχύς αιολικών πάρκων στο νησί αντιστοιχεί σε 183,54 MW ενώ αναμένεται να φτάσει και να ξεπεράσει τα 200 MW μέσα στην επόμενη τετραετία. Η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Α/Π σύμφωνα με το έτος 2010 ήταν ίση με 477.938,8 MWh και η συνεισφορά της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στην ικανοποίηση της ζήτησης για το ίδιο έτος αντιστοιχεί σε ποσοστό 16,7% περίπου. Για το έτος 2014, σύμφωνα με τα στοιχεία του ΔΕΔΔΗΕ από τον Φεβρουάριο μέχρι και τον Ιούλιο, είχαμε συνολική παραγωγή ενέργειας 210.443,01 MWh και η συνεισφορά της ενέργειας αυτή στην ζήτηση του φορτίου είναι περίπου 18%.

Στον Πίνακα 2-22 φαίνονται τα εγκατεστημένα πάρκα καθώς και η ισχύς που έχουν.

Περιφερειακή Ενότητα	Αριθμός Πάρκων	Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)
Λασιθί	14	98,90
Ηράκλειο	6	41,40
Χανιά	4	26,45
Ρέθυμνο	1	7,20

Πίνακας 2-22: Αιολικά Πάρκα και ισχύς τους στην Κρήτη

## 2.7.4 Φωτοβολταϊκά Συστήματα

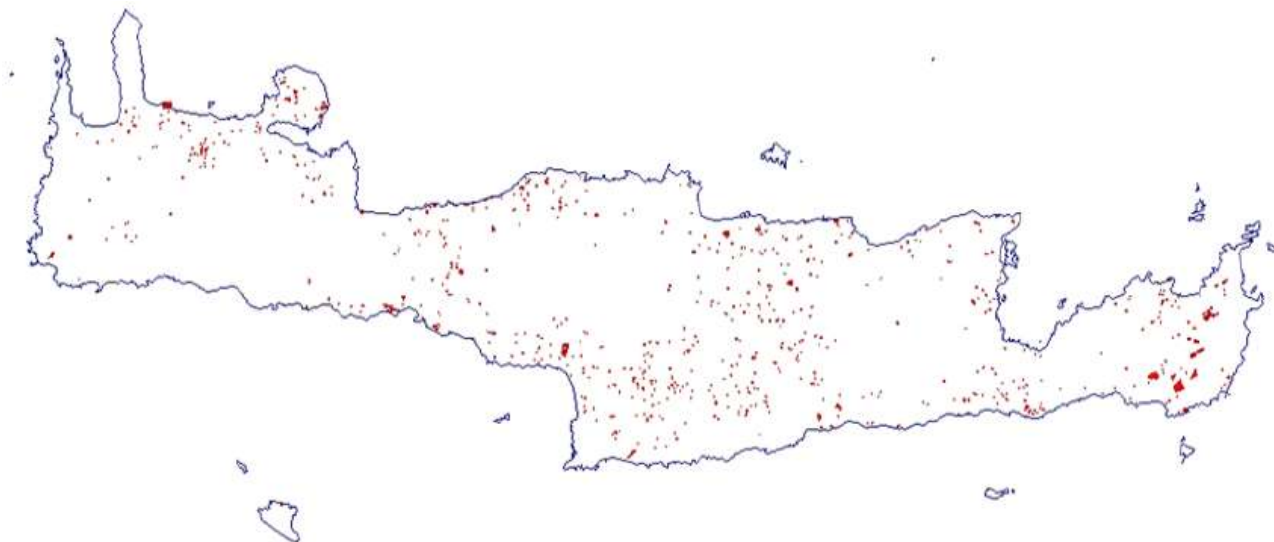
Όπως είναι γνωστό, η Κρήτη είναι ένα νησί με πλούσιο ηλιακό δυναμικό. Έτσι ο μεγάλος αριθμός Φ/Β εγκαταστάσεων που έχει αδειοδοτηθεί με το παρόν θεσμικό πλαίσιο<sup>xxvi</sup> πρόκειται να αλλάξει σημαντικά το ενεργειακό κατεστημένο του νησιού, με την διείσδυση των φωτοβολταϊκών στο ΣΗΕ της Κρήτης να αυξάνεται συνεχώς. Το ενδιαφέρον των επενδυτών για είναι μεγάλο με αποτέλεσμα η εγκατεστημένη ισχύς Φωτοβολταϊκών Συστημάτων στο νησί, να έχει αυξηθεί ραγδαία τα τελευταία χρόνια. Στον Πίνακα 2-23 παρουσιάζεται η αδειοδοτημένη ισχύς για Φωτοβολταϊκά Συστήματα ανά Περιφερειακή ενότητα.

Περιφερειακή Ενότητα	Αριθμός Αδειοδοτημένων Φ/Β	Ισχύς Αδειοδοτημένων Φ/Β
Ηράκλειο	501	35,91
Χανιά	200	14,75
Λασιθί	262	19,9
Ρέθυμνο	241	18,26
Σύνολο	1.204	88,82

Πίνακας 2-23: Αριθμός και ισχύς Φ/Β πάρκων Κρήτης

Ως το τέλος του 2010 από τα 88,82 MW της συνολικής αδειοδοτημένης ισχύος Φωτοβολταϊκών Συστημάτων, είχαν εγκατασταθεί τα 30,75 MW. Η Συνολική παραγόμενη ενέργεια από Φωτοβολταϊκά Συστήματα για το ίδιο έτος έφτασε τις 22.314,93 MWh. Για το έτος 2014, σύμφωνα με τα στοιχεία του ΔΕΔΔΗΕ από τον Φεβρουάριο μέχρι και τον Ιούλιο, είχαμε συνολική παραγωγή ενέργειας 76.644,28 MWh που αντιστοιχεί σε περίπου το 6,5% της συνολικής παραγωγής του νησιού. Η ραγδαία αύξηση της παραγωγής αυτής οφείλεται μεν στο γεγονός ότι πολλά πάρκα εμφανίστηκαν σε όλο το νησί αλλά και λόγω της ραγδαίας αύξησης των Φωτοβολταϊκών πάνελ σε ταρατσες σπιτιών, φαινόμενο που παρατηρείται σε όλη την Ελλάδα.

Στην Εικόνα 2-68 φαίνεται μία γεωγραφική απεικόνιση της χωροθέτησης των αδειοδοτημένων εγκαταστάσεων Φ/Β Σταθμών στο νησί της Κρήτης. Από το πλήθος των αδειοδοτημένων έργων στη γεωγραφική έκταση του νησιού διαπιστώνεται ότι οι μονάδες παραγωγής Φ/Β αναμένεται να παίξουν σημαντικό ρόλο στο τομέα της ηλεκτροπαραγωγής της Κρήτης με σημαντικό ποσοστό διείσδυσης, και σημαντικά μεγάλο αριθμό αποφυγής ρύπων.



Εικόνα 2-68: Γεωγραφική τοποθέτηση Φ/Β πάρκων στην Κρήτη<sup>xxvii</sup>

### **3 Περιγραφή μεθοδολογίας προβλήματος -Ανακατανομή φορτίου στις μονάδες**

Σε αυτό το κεφάλαιο της παρούσας πτυχιακής μένει να εξετάσουμε κατά πόσο η εξίσωση καμπύλης κατανάλωσης καυσίμου της μονάδας του Συνδυασμένου Κύκλου Χανίων, που βρήκαμε στο κεφάλαιο 2.5.4.4, οδηγεί σε πιο οικονομικά αποτελέσματα από εκείνη που υπήρχε πριν από την δική μας μοντελοποίηση. Για να το κάνουμε αυτό θα πρέπει πρώτα να βρούμε ένα τρόπο να αλλάξουμε τμήμα της παραγωγής των μονάδων που ήδη υπάρχει και να κατανέμουμε ξανά το φορτίο. Αυτό το κάνουμε μειώνοντας πρώτα την παραγωγή όλων των μονάδων που είναι ενταγμένες σε ένα ποσοστό της υπάρχουσας παραγωγής τους, και μετά για να καλύψουμε το υπόλοιπο φορτίο βρίσκουμε ανεβάζουμε την παραγωγή των μονάδων που είχαμε μειώσει ώστε να καλύψουν το φορτίο βέλτιστα.

#### **3.1 Ανακατανομή φορτίου στις μονάδες**

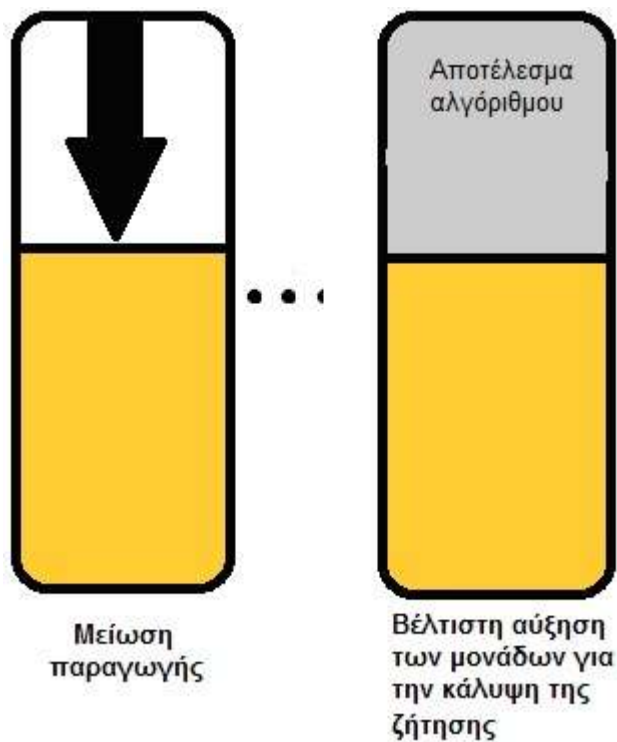
Για να ελέγξουμε αν η εξίσωση καμπύλης κατανάλωσης καυσίμου που βρήκαμε για την μονάδα του Συνδυασμένου Κύκλου είναι πιο συμφέρουσα οικονομικά χρειαστήκαμε τα στοιχεία παραγωγής των μονάδων του Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας Κρήτης. Έχοντας τα στοιχεία παραγωγής των μονάδων καθώς και το φορτίο που ικανοποιούν κάναμε την εξής μεθοδολογία η οποία έχει δύο στάδια.

Στο πρώτο στάδιο στόχος είναι η μείωση της παραγωγής κάθε μονάδας για να επιτευχθεί το μέγιστο δυνατό όφελος για το σύστημα που θα προκύψει μετά από την βέλτιστη ανακατανομή της παραγωγής που μειώθηκε. Το σημαντικό σε αυτό το κομμάτι είναι ότι δεν μειώνουμε την παραγωγή όλων των μονάδων στο ίδιο ποσοστό αλλά ανάλογα με τις



λειτουργίες τους. Έτσι λοιπόν στις μονάδες βάσεις, που αποτελούνται στο Σ.Η.Ε. Κρήτης από της ατμομονάδες των σταθμών Λινοπεραμάτων και Αθρινόλακου, μειώνουμε την παραγωγή τους στο 85% της αρχικής τους παραγωγής, ενώ σε όλες τις υπόλοιπες μειώνουμε την παραγωγή τους στο 70% της αρχικής τους παραγωγής. Μειώνοντας την παραγωγή βέβαια ελέγχουμε πάντα ώστε καμία μονάδα να μην έχει παραγωγή κάτω του τεχνικού της ελαχίστου.

Το δεύτερο στάδιο της μελέτης αποτελείται από μια οικονομική κατανομή των μονάδων του συστήματος της Κρήτης. Στην Εικόνα 3-1 φαίνεται σχηματικά το τι θα κάνει ο κώδικας συνολικά, δηλαδή στην αρχή θα μειώσουν όλες οι μονάδες την παραγωγή και μετά θα γίνει ξανά οικονομική κατανομή. Με αυτό τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα στις πιο φθηνές μονάδες να αυξήσουν την παραγωγή τους και στις πιο ακριβές να τη μειώσουν σε σχέση με την παραγωγή που είχαν πριν την ανακατανομή αυτή.



Εικόνα 3-1: Βέλτιστη κάλυψη της ζήτησης

Αυτό που προσπαθούμε να επιτύχουμε σε αυτό το στάδιο είναι να βελτιστοποιήσουμε την οικονομική κατανομή που είχαμε πριν αυξάνοντας την παραγωγή των μονάδων που έχουν την οικονομικότερη παραγωγή ισχύος. Έτσι λοιπόν θα κατασκευάσουμε το βέλτιστο διάνυσμα μεταβολής της παραγωγής των μονάδων  $x$  το οποίο αυτή την φορά προστίθεται στην παραγωγή μετά την μείωση, όπως φαίνεται και στην σχέση (3.1).

$$F(x,t) = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{gen\_max\_num} f(dpg(i,t) + x(i,t)) \quad (3.1)$$

Παρομοίως με την πρώτη οικονομική κατανομή, ισχύουν και εδώ παρόμοιοι περιορισμοί, οι οποίοι φαίνονται παρακάτω.

$$P_{g_i}^{\min} \leq dpg(i,t) + x(i,t) \quad (3.2)$$

$$dpg(i,t) + x(i,t) \leq P_{g_i}^{\max} \quad (3.3)$$

$$dpg(i,t) + x(i,t) - dpg(i,t-1) - x(i,t-1) \leq up\_rate_i \quad (3.4)$$

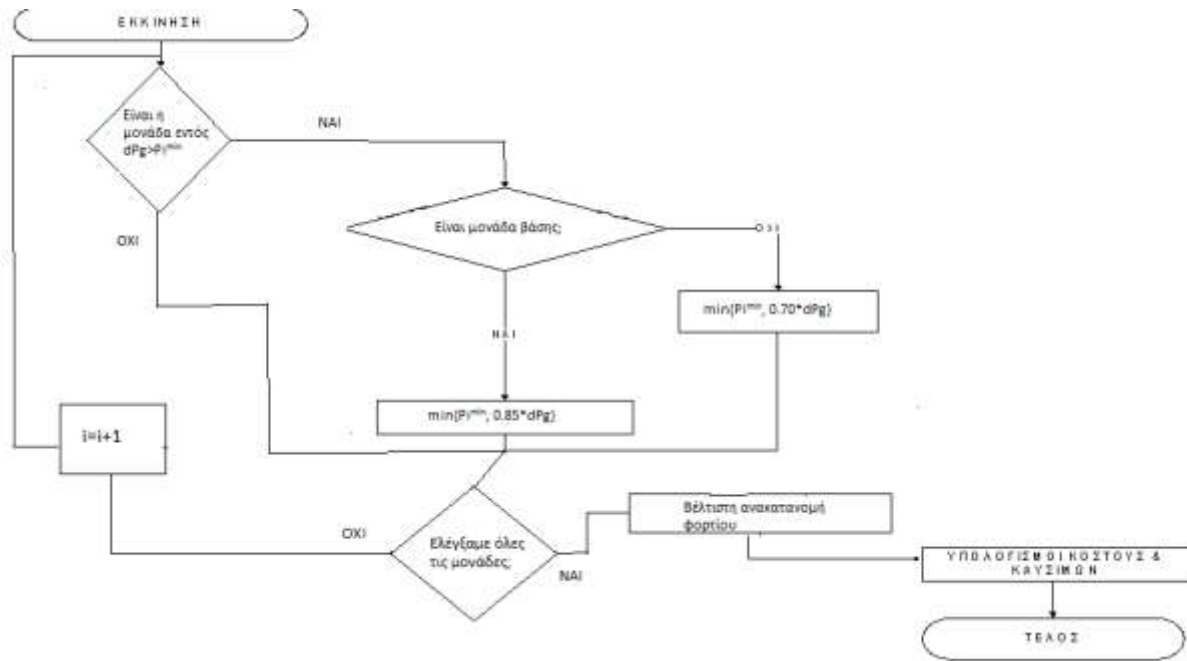
$$dpg(i,t-1) + x(i,t-1) - dpg(i,t) - x(i,t) \leq down\_rate_i \quad (3.5)$$

$$0 \leq x(i,t) \quad (3.6)$$

$$\sum_{i \in IN} P_{g_i}^{max} - \sum_{i \in IN} (dpg(i,t) + x(i,t)) \geq Spin\_res(t) \quad (3.7)$$

$$\sum_{i \in IN} (dpg(i,t) + x(i,t)) = Demand(t) \quad (3.8)$$

Για την καλύτερη κατανόηση το πως ακριβώς δουλεύει ο αλγόριθμος ανακατανομής φορτίου παραθέτουμε στην Εικόνα 3-2 το διάγραμμα ροής του.



Εικόνα 3-2: Διάγραμμα ροής αλγορίθμου ανακατανομής φορτίου

### 3.2 Περιγραφή λειτουργίας του κώδικα

Καλό σε αυτό το σημείο είναι να εξηγήσουμε τον τρόπο με τον οποίο κάναμε την ανακατανομή φορτίου υπολογιστικά. Για να κάνουμε την ανακατανομή λοιπόν υλοποιήσαμε ένα πρόγραμμα σε γλώσσα Matlab το οποίο έχει τα εξής στάδια λειτουργικότητας. Το πρώτο στάδιο, που βρίσκεται και στην αρχή του κώδικα είναι αυτό στο οποίο γίνεται η ανάγνωση όλων των δεδομένων που χρειάζονται, όπως η προηγούμενη παραγωγή καθώς και οι εξισώσεις των μονάδων, και γίνεται έλεγχος αν τα δεδομένα είναι σωστά και λογικά, π.χ. αν υπάρχει μονάδα που έχει παραγωγή κάτω του τεχνικού της ελαχίστου τότε την θεωρούμε σβηστή. Τα δεδομένα παραγωγής των μονάδων που χρησιμοποιούμε, δηλαδή πριν από την ανακατανομή, είναι όλες οι μετρήσεις ισχύος που έχουν γίνει για κάθε ώρα κάθε μήνα και έχουν την μορφή που φαίνεται στις Εικόνα 3-3 και Εικόνα 3-4.



HMEPOMHNI	atm2lin	atm3lin	atm4lin	atm5lin	atm6lin	DIESEL	DIESEL	DIESEL	diesel	aer2lin	aer3lin
1/8/2010	9,7	12,4	22,72	20,3	18,5	9,44	9,7	9,67	0	1	0
1/8/2010	7,8	8,5	18	17,1	18,62	9,45	9,7	9,7	0	1	0
1/8/2010	7,5	7,5	17,37	16,8	18,59	9,44	9,7	9,66	0	1	0
1/8/2010	7,6	7,6	17,31	16,8	18,53	9,46	9,7	9,69	0	1	0
1/8/2010	7,9	7,6	17,39	16,8	18,52	4,34	9,7	9,63	0	1	0
1/8/2010	8,1	7,8	17,39	16,8	18,62	2	9,9	9,88	0	1	0
1/8/2010	7,9	7,6	17,38	16,8	18,71	2	9,8	9,78	0	1	0

Εικόνα 3-3:Μορφή πηγαίων δεδομένων παραγωγής 1

aer12xan	aer13xan	atm1ather	atm2ather	diesel1ather	diesel2ather	φορτίο
2	0,3	42,1	34,05	44,9	44,79	360,6
2	0,3	32,9	26,69	45	44,96	329,1
2	0,3	23,3	18,89	44,9	44,89	307,19
2	0,3	23,3	18,8	36,9	36,85	291,89
2	0,3	23,2	18,8	32,7	32,84	276,98
2	0,3	23,3	18,8	32,6	33,07	266,45
2	0,3	23,4	18,8	33	33,01	263,8
2	0,3	23,4	18,8	39,3	39,39	280,16
2	0,3	26,8	18,8	44,9	45,06	306,53
2	0,3	36,6	18,8	45	44,97	333,54

Εικόνα 3-4:Μορφή πηγαίων δεδομένων παραγωγής 2

Επίσης τα τεχνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά των μονάδων τα περνάμε μέσω του αρχείου indat το οποίο έχει την μορφή όπως φαίνεται στην Εικόνα 3-5.

indat - Notepad

File	Edit	Format	View	Help									
7.1	15	0.0001	3.8792	226.62	442.8	0.5379	2500	0.01	11	11	0	1	1
7.2	15	0.0001	3.8792	226.62	442.8	0.5379	2500	0.01	10	10	0	1	2
15	25	0.0001	0.4127	233.46	964.12	0.5379	4000	0.01	19	19	0	1	3
16	25	0.002	-4.166	300.58	0	0.5379	4000	0.01	19	19	0	1	4
16	25	0.002	-4.166	300.58	0	0.5379	4000	0.07	10	10	0	1	5
3	11.8	0.0001	2.8859	134.16	253.51	0.5379	220	0.04	11	12	0	2	6
3	11.8	0.0001	2.8859	134.16	253.51	0.5379	220	0.04	11	12	0	2	7
4.5	11.8	0.0001	2.8859	134.16	253.51	0.5379	219	0.04	11	12	0	2	8
3	11.8	0.0001	2.8859	134.16	253.51	0.5379	220	0.04	11	12	0	2	9
3	15	0.0001	0.4734	280.96	1990.7	0.9899	500	0.03	11	15	1	3	10
7	41	0.0001	0.2533	197.65	2418	0.9899	1413	0.01	41	42	0	4	11
3	13	0.2182	-7.1804	329.24	986.77	0.9899	858	0.01	13	13	0	4	12
5	27.5	0.001	0.3605	196.29	1675.8	0.9899	350	0.01	26	28	0	4	13
17	61.5	0.001	1.6313	61.39	6224.2	0.9875	440.01	0.04	32	39	0	5	14
17	61.5	0.001	1.6313	61.39	6224.2	0.9875	440.43	0.04	28	47	0	5	15
3	14	0	0.01	267	2170	0.9875	99	0.1	14	14	0	6	16
3	18.8	0	0.01	219	2869	0.9875	1300	0.005	18	19	0	6	17
5	28.1	0	0.001	275	3757	0.9875	400	0	23	29	1	6	18
6	58	0.001	0.209	219.2	3966	0.9875	0.1	0.011	46	58	0	7	19
6	58	0.001	0.209	219.2	3966	0.9875	0.1	0.021	46	58	0	7	20
5	27.9	0.001	0.3605	196.29	1675.8	0.9875	858	0.01	27	29	0	7	21
22.5	43.4	0.0001	0.2395	194.22	1321.3	0.5504	350	0.005	28	30	0	8	22
22.5	43.4	0.0001	0.2395	194.22	1321.3	0.5504	350	0.005	28	30	0	8	23
25	50	0.017	-1.3	222.6	0.27	0.5504	270	0.02	40	50	0	9	24
25	50	0.017	-1.3	222.6	0.27	0.5504	270	0.02	40	50	0	9	25

Εικόνα 3-5:Τεχνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά μονάδων Κρήτης αρχείο indat

Οι στήλες που περιέχει το αρχείο indat από τα αριστερά προς τα δεξιά είναι: τεχνικό ελάχιστο της εκάστοτε μονάδας, τεχνικό μέγιστο της μονάδας, οι συντελεστές της καμπύλης κατανάλωσης καυσίμου δηλαδή ο κυβικός συντελεστής Cubcoeff<sub>i</sub> (kg/MWh<sup>3</sup>), τετραγωνικός συντελεστής Sqcoeff<sub>i</sub> (kg/MWh<sup>2</sup>), γραμμικός συντελεστής Linccoeff<sub>i</sub> (kg/MWh), ο σταθερός όρος Constcoeff<sub>i</sub> (kg-lt), η τιμή καυσίμου σε €/kg-lt, το κόστος εκκίνησης των μονάδων σε €, ο συντελεστής εφεδρείας, ο ρυθμός μείωσης φορτίου

downrate σε MW και ο ρυθμός ανάληψης φορτίου uprate σε MW. Αναλυτικά όλα τα στοιχεία των μονάδων που χρησιμοποιήσαμε μπορείτε να τα δείτε στον Πίνακα 2-20.

Στο δεύτερο και βασικότερο στάδιο του κώδικα καλούμε την συνάρτηση opt η οποία μας βρίσκει την βέλτιστη ανακατανομή στην παραγωγή των μονάδων. Ουσιαστικά στην συνάρτηση opt καλούμε την συνάρτηση που υπάρχει στο toolbox της matlab την fmincon<sup>xxviii</sup> στην οποία δίνουμε ως όρισμα την συνάρτηση με βάση την οποία θέλουμε να κάνουμε την ανακατανομή, καθώς και τους περιορισμούς στην καινούργια ανακατανομή που θα κάνει. Η εξίσωση που είναι η βάση με την οποία θα γίνει η ανακατανομή είναι η γνωστή εξίσωση κατανάλωσης καμπύλης στην γενική της μορφή  $y = Ax^3 + Bx^2 + Cx + D$  πολλαπλασιασμένη με την τιμή του καυσίμου που καίει η αντίστοιχη μονάδα, ώστε η ανακατανομή να γίνεται με τον βέλτιστο οικονομικό τρόπο. Οι περιορισμοί που χρησιμοποιούνται είναι περισσότερο για να διασφαλίσουμε ότι η καινούργια παραγωγή των μονάδων θα είναι λογική. Για το λόγο αυτό έχουμε βάλει περιορισμό οι μονάδες να μην έχουν αρνητική παραγωγή, να μην έχουν παραγωγή μικρότερη του τεχνικού τους ελάχιστου ή μεγαλύτερη του τεχνικού τους μέγιστου, η παραγωγή τους από ώρα σε ώρα να μην παραβιάζει το uprate ή το downrate αντίστοιχα και η παραγωγή των μονάδων να μην ξεπερνάει το αντίστοιχο φορτίο που είχαμε για την ώρα αυτή. Οι περιορισμοί αυτοί περιγράφηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο και αναφέρονται στις εξισώσεις 3.2 έως και 3.7.

Το τρίτο στάδιο του κώδικα είναι εκείνο που κάνουμε την τελική επεξεργασία των μεταβλητών που θα ελέγξουμε αργότερα για να δούμε αν η μοντελοποίηση μας είναι συμφέρουσα οικονομικά. Ουσιαστικά έχοντας κρατήσει και την παραγωγή των μονάδων πριν την ανακατανομή φορτίου ομαδοποιούμε την παραγωγή, το κόστος και την κατανάλωση καυσίμου, π.χ. ανά εργοστάσιο, και τα συγκρίνουμε με τα δεδομένα που έχουμε μετά την ανακατανομή της παραγωγής. Αφού ομαδοποιήσουμε την παραγωγή, με τα κριτήρια που είπαμε πιο πριν, αποθηκεύουμε τις μεταβλητές μας σε αρχείο excel ώστε να μπορούν μετά να μελετηθούν περαιτέρω ή να αξιοποιηθούν στην ρύθμιση ροής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα οι ομαδοποιήσεις των δεδομένων που έχουμε κάνει ως προς την παραγωγή φαίνονται στον Πίνακα 3-1.

Ομαδοποίηση ως προς την παραγωγή		
ανά εργοστάσιο	ανά είδος μονάδας	ανά τύπο μονάδας
Λινοπεράματα	Ατμοί	Ατμοί Λινοπεραμάτων
Χανιά	Αεροστρόβιλοι	Diesel Λινοπεραμάτων
Αθερινόλακος	Diesel	Αεr2 Λινοπεραμάτων
	Συνδυασμένος	Αεροστρόβιλοι Λινοπεραμάτων
		Συνδυασμένος Χανίων
		ΑΕΡ1,4,5 Χανίων
		ΑΕΡ 11,12,13 Χανίων
		Ατμοί Αθερινόλακου
		Diesel Αθερινόλακου

Πίνακας 3-1: Ομαδοποίηση ως προς την παραγωγή

Η ομαδοποίηση ως προς την κατανάλωση καυσίμου αφορά το πόσο καταναλώνεται το κάθε είδος καυσίμου, τα οποία στην περίπτωση μας είναι diesel και μαζούτ. Ως προς το κόστος η ομαδοποίηση φαίνεται στον Πίνακα 3-2.

Ομαδοποίηση ως προς το κόστος
μονάδες που καίνε μαζούτ
μονάδες που καίνε diesel
μονάδα Συνδυασμένου Κύκλου
Συνολικό κόστος
Κόστος ανά MW

Πίνακας 3-2:Ομαδοποίηση ως προς το κόστος

Το τελικό αρχείο excel που περιέχει όλα τα δεδομένα φαίνεται στην Εικόνα 3-6 που ουσιαστικά έχουμε τα σύνολα κάθε μήνα για όλες τις ομαδοποιήσεις που είπαμε παραπάνω.

Σωστή Εξίσωση	Λινοπεράματα πριν	Λινοπεράματα μετά	Χαλιά πριν	Χαλιά μετά	Αθιρονόλακος πριν	Αθιρονόλακος μετά
Ιανουάριος	67335,36	65208,97289	37051	27306,81603	76770,7	88641,27109
Φεβρουάριος	54989,46	54777,08306	33334,4	24723,90217	57629	66451,87479
Μάρτιος	69090,93	69366,5949	33660,55	24273,35193	63428,4	72539,93317
Απρίλιος	62414,6	60507,74274	28339,4	20338,16367	63304	73212,09361
Μάιος	71771,61	70211,43864	39367,6	29740,8554	93882,2	105069,116
Ιούνιος	81045,77	83582,76282	63609,1	49612,76986	98195,1	109654,4373
Ιούλιος	84040,8	87772,72105	69921,15	51871,30117	99267,1	113585,0278
Αύγουστος	88764,5	93455,02051	86143,46	67268,0006	111179,57	125364,5087
Σεπτέμβριος	71131,62	73776,16692	69298,25	52594,42069	89140,7	103193,9824
Οκτώβριος	71361,69	70736,94899	36483,7	26494,47972	69749,25	80363,21133
Νοέμβριος	59338,25	60098,47531	36007,94	26950,39754	64654,09	72951,40716
Δεκέμβριος	67770,73	65492,18632	32234,02	23031,47625	66067,74	77548,82746
Σύνολο	849055,32	854986,1141	565450,57	424205,9352	953267,85	1088581,691
Λάθος εξίσωση						
Ιανουάριος	67335,36	64372,07994	37051	28143,44006	76770,7	88641,54001
Φεβρουάριος	54989,46	54005,66396	33334,4	25487,72006	57629	66459,47596
Μάρτιος	69090,93	69101,92889	33660,55	24534,66281	63428,4	72543,26831
Απρίλιος	62414,6	60425,02879	28339,4	20414,88089	63304	73218,09031
Μάιος	71771,61	69695,06576	39367,6	30253,02232	93882,2	105073,3219
Ιούνιος	81045,77	81876,35507	63609,1	51319,14435	98195,1	109654,4706
Ιούλιος	84040,8	86167,41448	69921,15	53476,56518	99267,1	113585,0703
Αύγουστος	88764,5	89273,98015	86143,46	71448,72086	111179,57	125364,829
Σεπτέμβριος	71131,62	71676,29202	69298,25	54657,18148	89140,7	103237,0965
Οκτώβριος	71361,69	70319,71763	36483,7	26911,70975	69749,25	80363,21265
Νοέμβριος	59338,25	58901,93628	36007,94	28146,91735	64654,09	72951,4064
Δεκέμβριος	67770,73	65294,09375	32234,02	23229,56785	66067,74	77548,82842
Σύνολο	849055,32	841109,5767	565450,57	430023,5529	953267,85	1088640,61

Εικόνα 3-6:Μορφή τελικού excel

## 4 Αποτελέσματα Εκτέλεσης προγράμματος

Σε αυτό το κεφάλαιο, που είναι το πιο σημαντικό αυτής της εργασίας, θα εξετάσουμε τις επιπτώσεις που έχει η καινούργια εξίσωση κατανάλωσης καυσίμου του Συνδυασμένου κύκλου των Χανίων καθώς και ο αλγόριθμος ανακατανομής φορτίου όπως τον περιγράψαμε στο κεφάλαιο 3.2.

Συγκρίνουμε λοιπόν τα αποτελέσματα της δεδομένης κατάστασης λειτουργίας των μονάδων με αυτές που προκύπτουν από τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης του κεφαλαίου 3.1, τόσο με την ανανεωμένη εξίσωση από τις πραγματικές καταναλώσεις καυσίμου, που φαίνεται στον **Πίνακας 2-20**, όσο και με την παλιά θεωρούμενη εξίσωση, που ήταν  $y=0.001x^3+0.01x^2+145.54x+5120$ . Με αυτόν τον τρόπο θα μπορέσουμε να αποτιμήσουμε την αξία της βέλτιστης ανακατανομής τμήματος της ζήτησης που κάλυψαν οι θερμικές μονάδες παραγωγής αλλά και την αξία και την επίπτωση της λανθασμένης εκτίμησης κατανάλωσης του Συνδυασμένου Κύκλου Χανίων.

Τα επίπεδα σύγκρισης αφορούν

- A) Την παραγωγή κατά είδος μονάδας
- B) Την παραγωγή κατά εργοστάσιο
- Γ) Την επίπτωση στην κατανάλωση καυσίμου
- Δ) Την επίπτωση στο κόστος καυσίμου
- E) Την επίπτωση στους ρύπους του συστήματος.

Η σύγκριση θα γίνει τόσο μεταξύ της τρέχουσας αλλά και της προτεινόμενης λειτουργίας αλλά και μεταξύ της λανθασμένης και της σωστής εξίσωσης κατανάλωσης καυσίμου.

### 4.1 Επίπτωση βελτιωμένου αλγορίθμου κατανομής

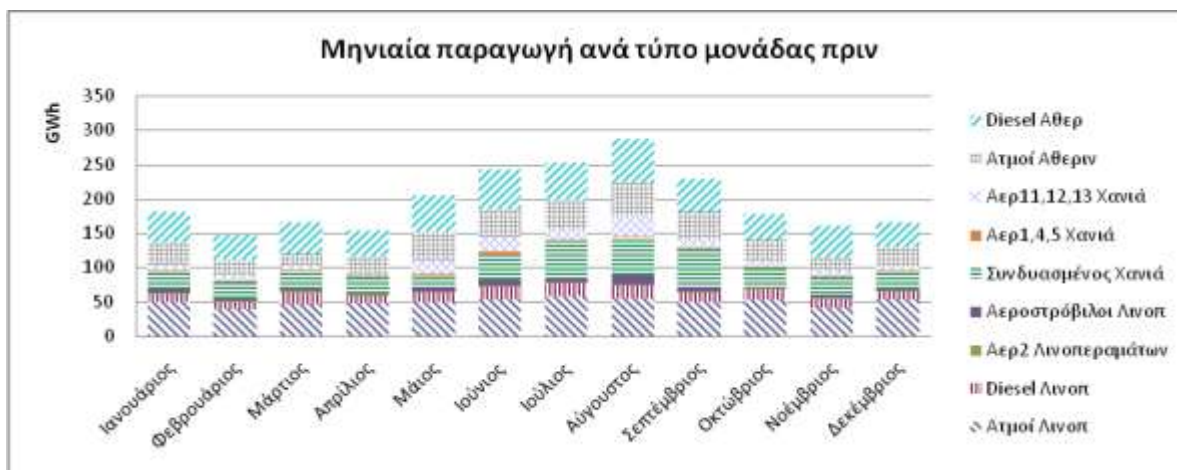
Σε γενικές γραμμές η ανακατανομή φορτίου επιφέρει πολλές επιδράσεις σε ένα Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας καθώς ανάλογα με τις παραμέτρους που δίνονται βγαίνουν και διαφορετικά αποτελέσματα. Σε αυτό το κεφάλαιο θα εξετάσουμε τις διαφορές που προκύπτουν όταν κάνουμε ανακατανομή με τον βελτιωμένο αλγόριθμο κατανομής που εξηγήσαμε στο κεφάλαιο 3.1 και αν οδηγεί σε καλύτερα αποτελέσματα από αυτά που είχαμε πριν, ακόμα και αν αναφερόμαστε σε ένα μικρό ποσοστό της ζήτησης.

#### 4.1.1 Μεταβολή παραγωγής μονάδων

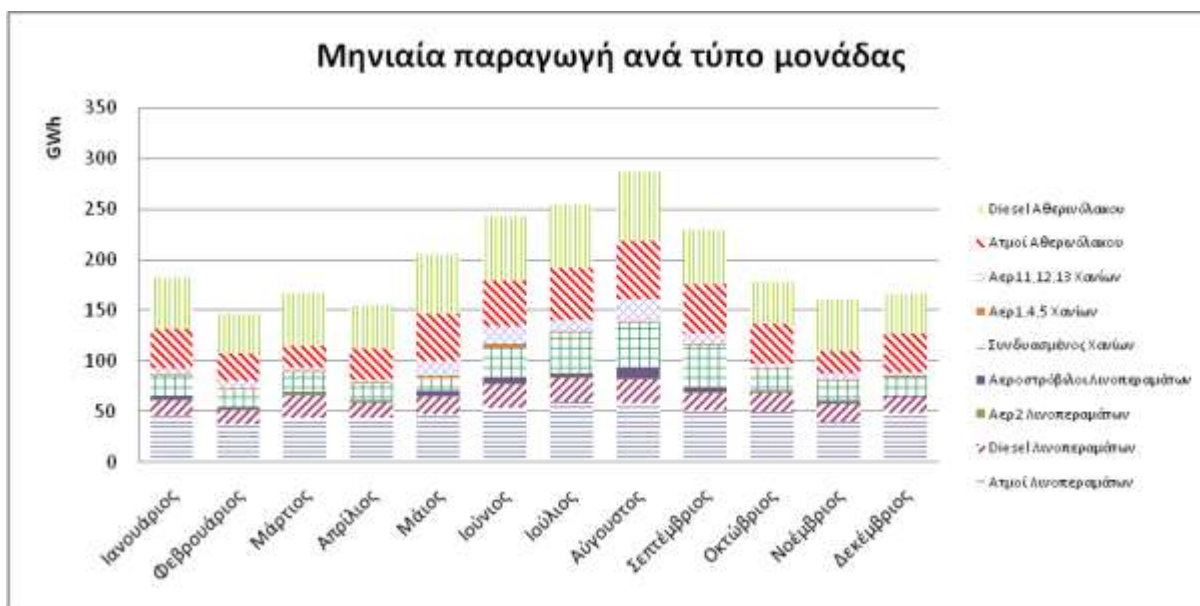
Θα ξεκινήσουμε την μελέτη για το πως επηρεάζει η ανακατανομή φορτίου το Σ.Η.Ε. Κρήτης με το πόσο επηρεάζει την παραγωγή των μονάδων. Αυτό που θα εξετάσουμε κυρίως είναι ποιες μονάδες μεταβάλλουν την παραγωγή τους, είτε την μειώνουν είτε την αυξάνουν, και το πως διατηρείται το ενεργειακό ισοζύγιο. Πρώτα θα εξετάσουμε την μεταβολή των μονάδων ανά είδος και μετά ανά τύπο ώστε να εξακριβώσουμε ποιες μονάδες ακριβώς επηρεάζονται από την ανακατανομή [κεφάλαιο 3.1].

#### 4.1.1.1 Μεταβολή παραγωγής κατά ομάδες μονάδων

Ξεκινώντας την μελέτη μας θα δούμε ποιες μονάδες επηρεάζονται με την ανακατανομή φορτίου, έχοντας χωρίσει τις μονάδες σε ομάδες ανάλογα με τα κοινά χαρακτηριστικά που παρουσιάζουν, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 3-1. Στην Εικόνα 4-1 βλέπουμε την μηνιαία κατανομή της παραγωγής πριν την βελτιστοποίηση ενώ στην Εικόνα 4-2 βλέπουμε την κατανομή μετά την βελτιστοποίηση.



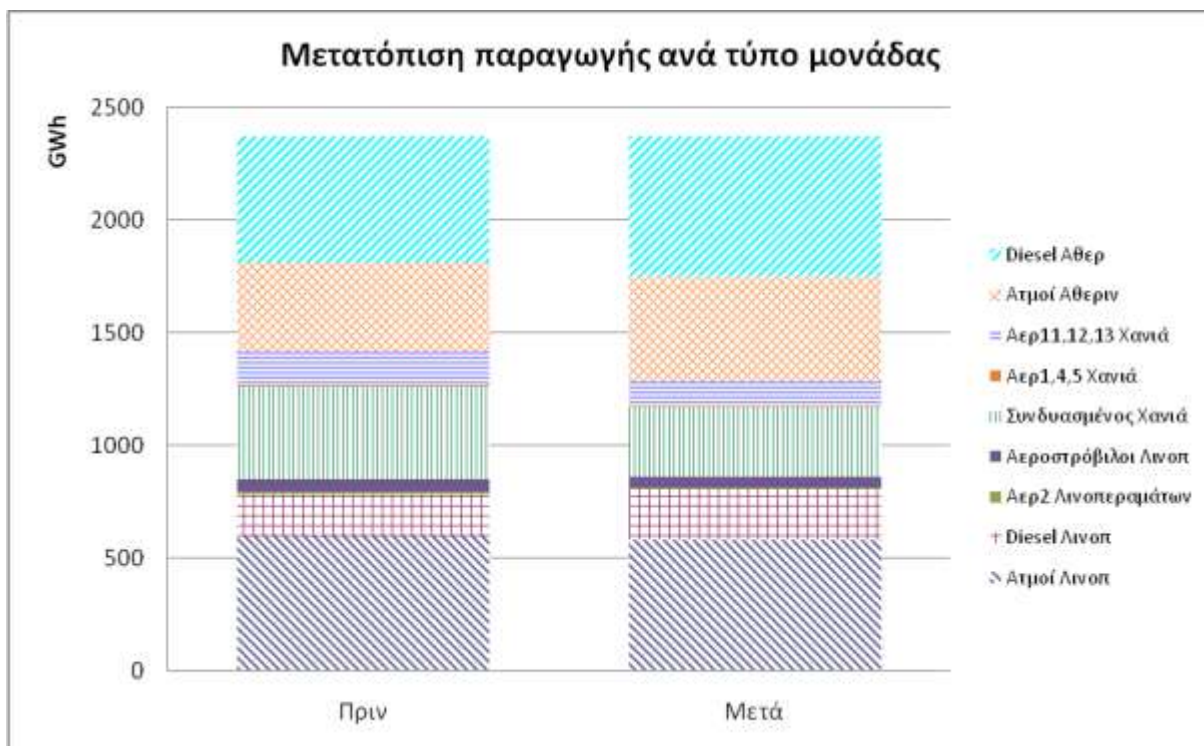
Εικόνα 4-1:Μηνιαία παραγωγή ανά τύπο μονάδας πριν την βελτιστοποίηση



Εικόνα 4-2:Μηνιαία παραγωγή ανά τύπο μονάδας μετά την βελτιστοποίηση

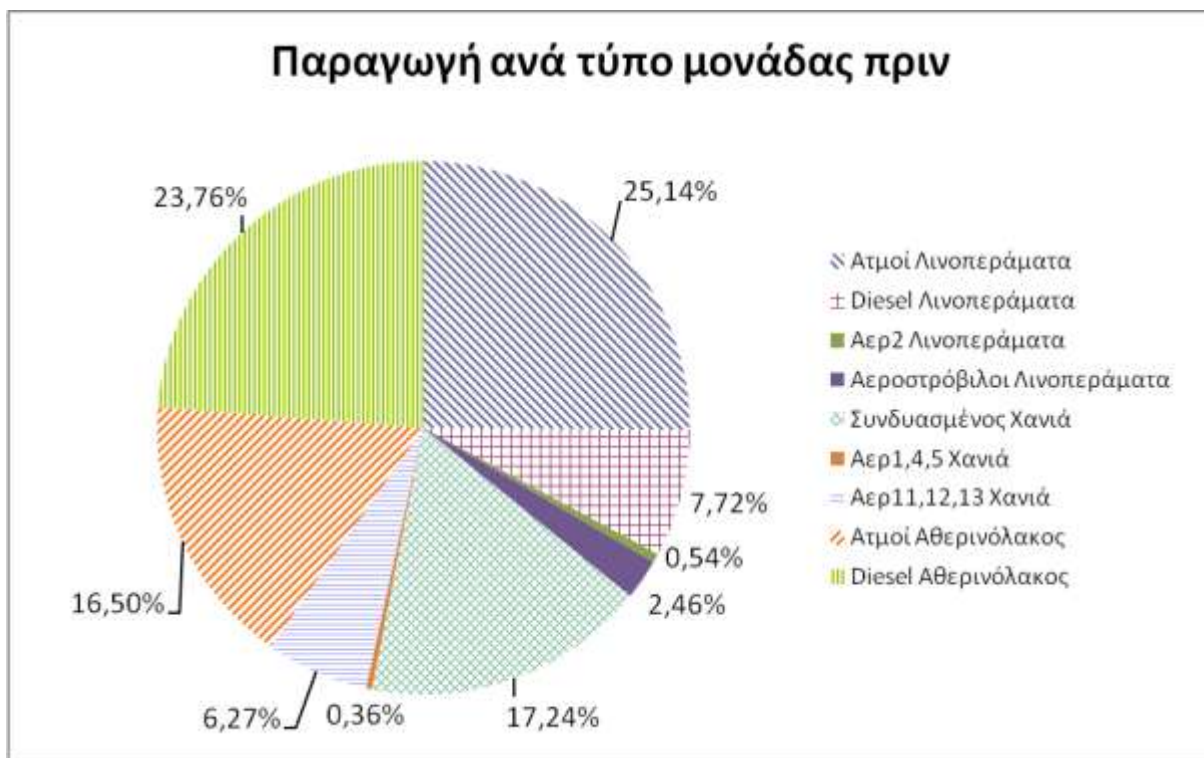
Παρατηρούμε από τις εικόνες αυτές ότι υπάρχουν διαφορές στην παραγωγή των μονάδων καθώς και μετατόπιση της παραγωγής από μερικές μονάδες σε άλλες. Στην Εικόνα 4-3 φαίνεται ξεκάθαρα πως μετατοπίζεται η παραγωγή από τον ένα τύπο στον άλλο.



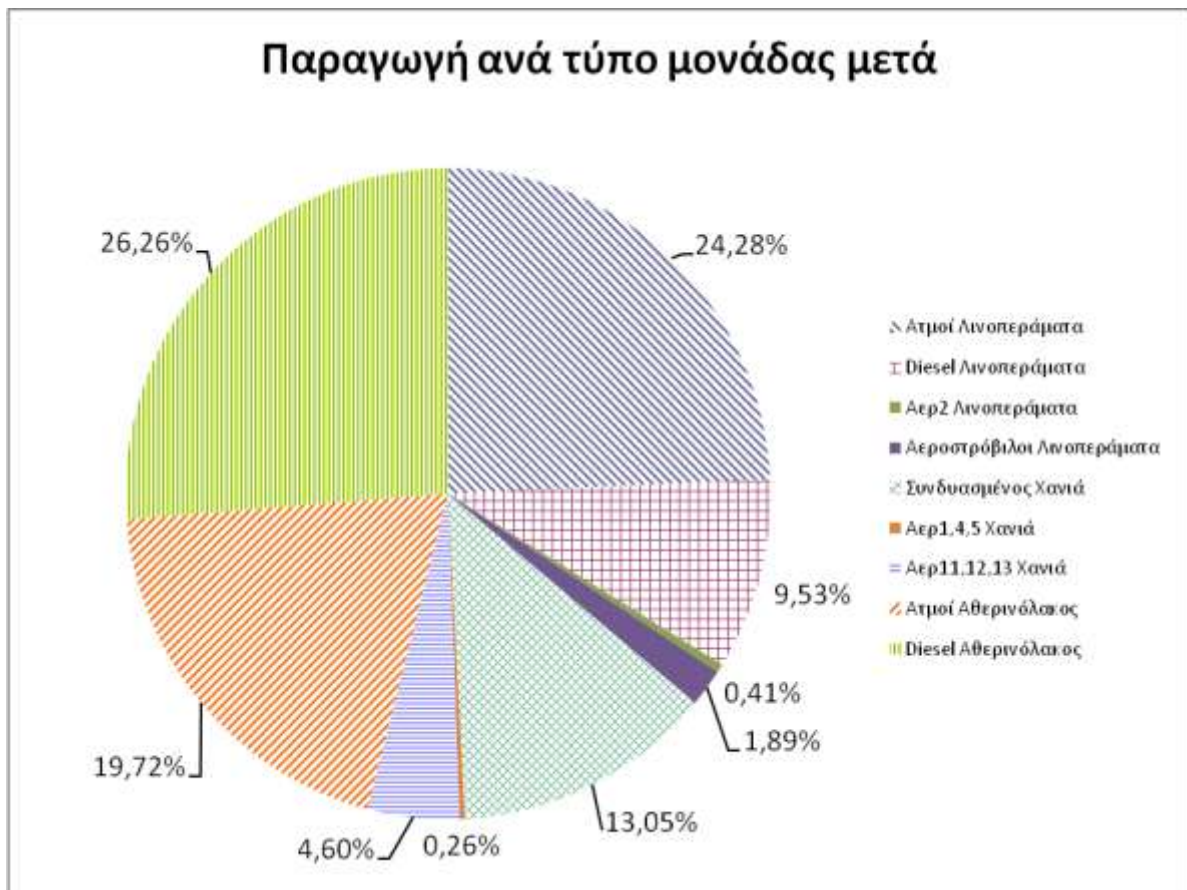


Εικόνα 4-3:Μετατόπιση παραγωγής ανά είδος μονάδας

Η μετατόπιση αυτή της παραγωγής φαίνεται καλύτερα συγκρίνοντας την Εικόνα 4-4, που περιέχει την κατανομή της παραγωγής πριν την βελτιστοποίηση, με την Εικόνα 4-5, που περιέχει την κατανομή μετά την βελτιστοποίηση. Αυτό που παρατηρούμε από τις δύο αυτές εικόνες είναι ότι μειώνεται η παραγωγή του Συνδυασμένου και των αεροστροβίλων του Σταθμού των Χανίων και μεταφέρεται σε μεγάλο βαθμό στις ατμομονάδες και τις μονάδες diesel του Αθρινόλακου και σε μικρότερο βαθμό στις μονάδες diesel των Λινοπεραμάτων.

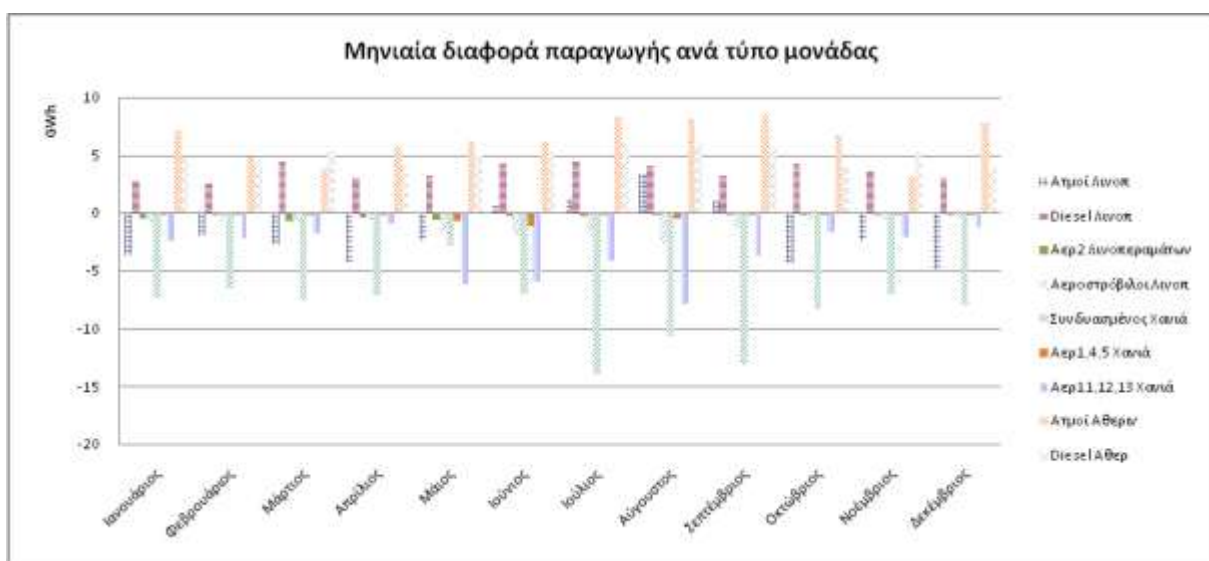


Εικόνα 4-4:Παραγωγή ανά τύπο μονάδας πριν την βελτιστοποίηση



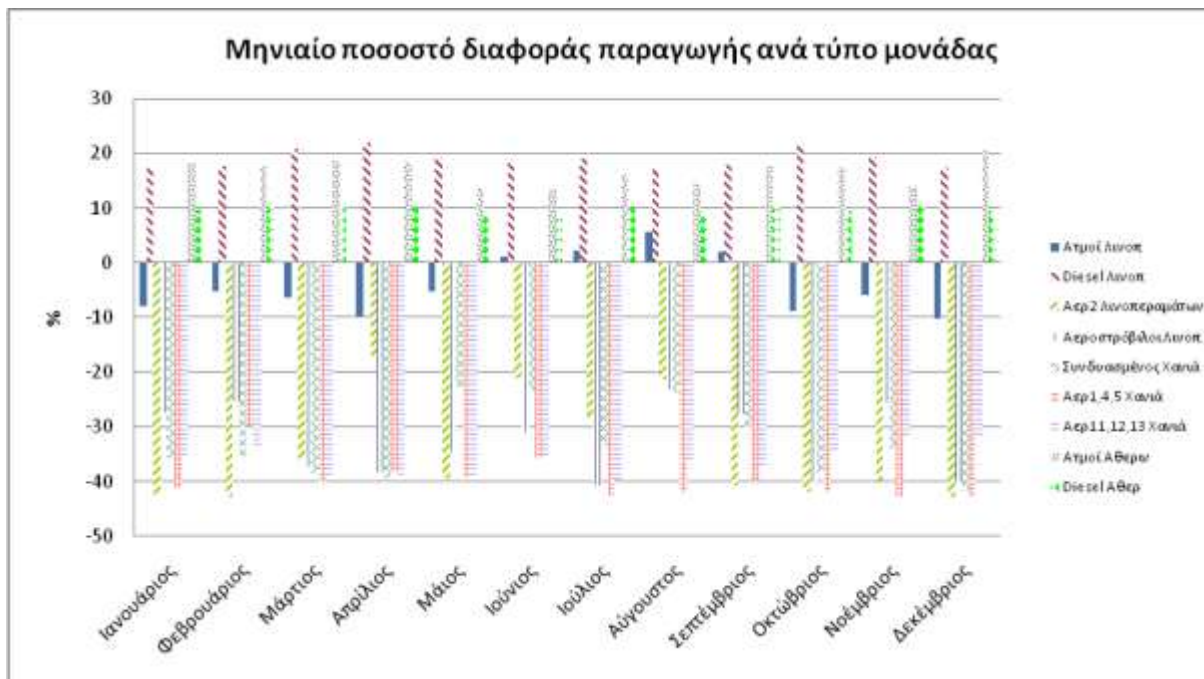
Εικόνα 4-5: Παραγωγή ανά τύπο μονάδας μετά την βελτιστοποίηση

Στην Εικόνα 4-6 βλέπουμε καλύτερα την μηνιαία μεταβολή της παραγωγής των μονάδων και στην Εικόνα 4-7 το ποσοστό αυτής της μεταβολής, όπου οι μονάδες του Αθερινόλακου και οι μονάδες diesel των Λινοπεραμάτων είναι αυτές που αυξάνεται η παραγωγή τους ενώ του Συνδυασμένου και των αεροστροβίλων των Χανίων που μειώνεται. Γενικώς υπάρχουν πολλές διαφορές στην παραγωγή των μονάδων πράγμα που σημαίνει ότι η προηγούμενη κατανομή του φορτίου απείχε από την βέλτιστη οικονομικά.



Εικόνα 4-6: Μηνιαία διαφορά παραγωγής ανά τύπο μονάδας





Εικόνα 4-7:Μηνιαίο ποσοστό διαφοράς παραγωγής ανά τύπο μονάδας

Από τις παραπάνω εικόνες βλέπουμε ότι με την ανακατανομή φορτίου υπάρχει η τάση μείωσης της παραγωγής του Συνδυασμένου Κύκλου και των αεροστροβιλικών μονάδων και η αύξηση της παραγωγής των ατμομονάδων και των μονάδων diesel, καθώς οι τελευταίες έχουν και οικονομικότερη λειτουργία. Οι συνολικές διαφορές ανά είδος μονάδας φαίνονται καλύτερα στον Πίνακα 4-1.

	διαφορά(MWh)	ποσοστό (%)
Ατμοί Λινοπεράματα	-20456,6	3,56
Diesel Λινοπεράματα	42886,7	19,01
Αερ2 Λινοπεράματα	-2985,5	-30,53
Αεροστρόβιλοι Λινοπ	-13513,7	-30,21
Συνδυασμένος Χανιά	-99174,6	-32,08
Αερ1,4,5 Χανιά	-2384,5	-38,25
Αερ11,12,13 Χανιά	-39685,4	-36,45
Ατμοί Αθηνινόλακου	76343,3	16,35
Diesel Αθηνινόλακου	58970,5	9,49

Πίνακας 4-1:Συνολικές διαφορές και ποσοστά ανά τύπο μονάδας

#### 4.1.1.2 Μεταβολή παραγωγής ανά είδος μονάδων

Σε αυτό το κομμάτι της μελέτης θα δούμε πως οι μεταβολές της παραγωγής των μονάδων, που είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, επηρεάζουν την παραγωγή των μονάδων ανά είδος, τα οποία είναι οι ατμομονάδες, οι αεροστροβίλοι, οι μονάδες diesel και ο Συνδυασμένος Κύκλος. Τα δεδομένα που προέκυψαν από τον κώδικα για τις ατμομονάδες φαίνονται στον Πίνακα 4-2, για τους αεροστροβίλους στον Πίνακα 4-3, για τις μονάδες diesel στον Πίνακα 4-4 και για τον Συνδυασμένο στον Πίνακα 4-5.

Ατμομονάδες(MWh)	Πραγματική λειτουργία	Προτεινόμενη Λειτουργία
Ιανουάριος	81076,4	84538,69842
Φεβρουάριος	62128,4	65007,79459
Μάρτιος	62739,7	63781,13079
Απρίλιος	72887,7	74436,44577
Μάιος	89860,9	93670,00976
Ιούνιος	92828,9	99578,38016
Ιούλιος	101593,2	111112,6786
Αύγουστος	103638,9	115092,6352
Σεπτέμβριος	89991,49	99446,04735
Οκτώβριος	85485,47	87840,65842
Νοέμβριος	60812,4	61583,05107
Δεκέμβριος	82846,02	85688,61218
Σύνολο	985889,48	1041776,142

Πίνακας 4-2:Παραγωγή Ατμομονάδων

Αεροστρόβιλοι(MWh)	Πραγματική λειτουργία	Προτεινόμενη Λειτουργία
Ιανουάριος	14606,3	10912,71437
Φεβρουάριος	12252,1	9332,923798
Μάρτιος	12106,5	8765,965348
Απρίλιος	7147,6	5435,825983
Μάιος	32601,8	23559,89393
Ιούνιος	36602,8	27375,82344
Ιούλιος	21625,7	15504,88162
Αύγουστος	45206,49	34279,6292
Σεπτέμβριος	19990,28	14861,32646
Οκτώβριος	8801,45	6485,756784
Νοέμβριος	11112,49	8495,226378
Δεκέμβριος	6123,41	4597,621006
Σύνολο	228176,92	169607,5883

Πίνακας 4-3:Παραγωγή αεροστροβίλων

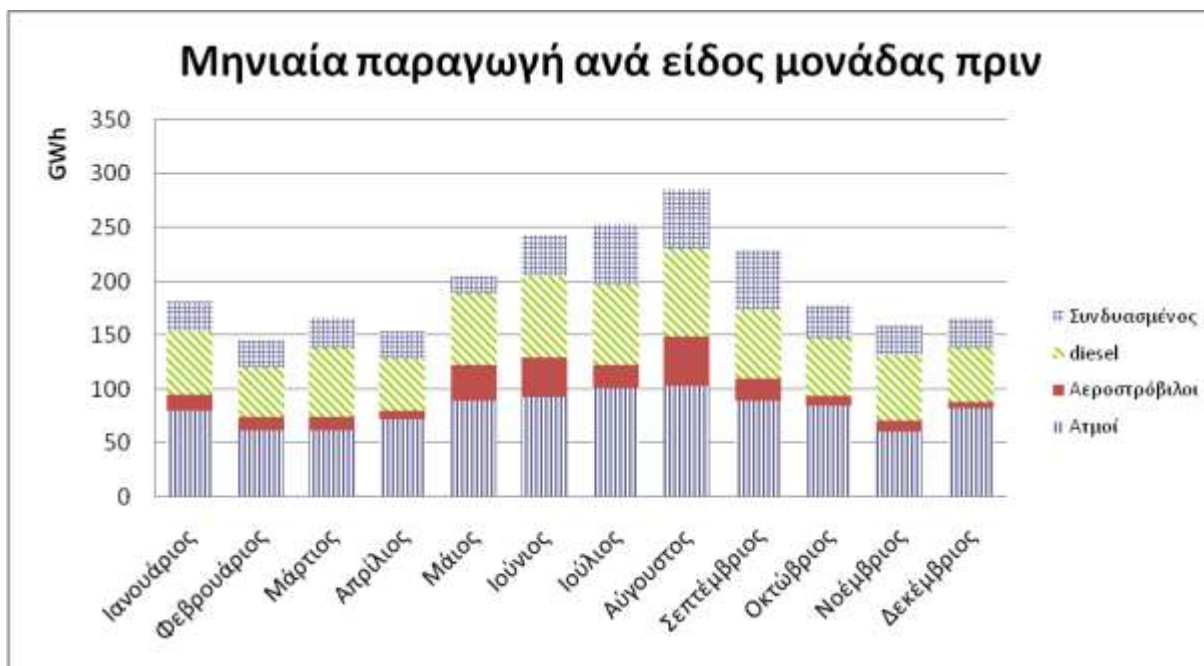
diesel(MWh)	Πραγματική λειτουργία	Προτεινόμενη Λειτουργία
Ιανουάριος	57746,06	65281,18223
Φεβρουάριος	46750,16	53266,7719
Μάρτιος	64113,33	73977,87149
Απρίλιος	48940,7	56196,58369
Μάιος	67127,31	75224,07333
Ιούνιος	76517,77	86001,96385
Ιούλιος	74702,3	85201,03093
Αύγουστος	81938,11	92051,95764
Σεπτέμβριος	63668,01	72387,74638
Οκτώβριος	53454,87	61711,14236
Νοέμβριος	60608,63	69440,04381
Δεκέμβριος	49861,22	56545,4246
Σύνολο	745428,47	847285,7922

Πίνακας 4-4:Παραγωγή μονάδων diesel

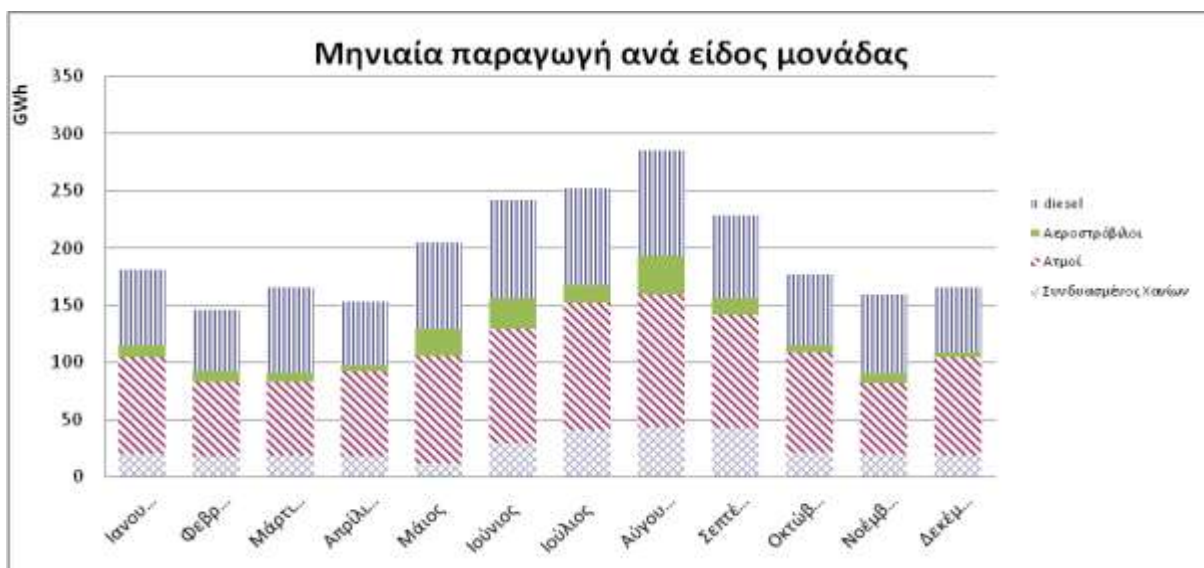
Συνδυασμένος(MWh)	Πραγματική λειτουργία	Προτεινόμενη Λειτουργία
Ιανουάριος	27728,3	20424,46499
Φεβρουάριος	24822,2	18345,36973
Μάρτιος	27220,35	19654,91238
Απρίλιος	25082	17989,14458
Μάιος	15431,4	12567,43298
Ιούνιος	36900,5	29893,80255
Ιούλιος	55307,85	41410,45885
Αύγουστος	55304,03	44663,30797
Σεπτέμβριος	55920,79	42875,44982
Οκτώβριος	29852,85	21557,08247
Νοέμβριος	27466,76	20481,95876
Δεκέμβριος	27241,84	19240,83225
Σύνολο	408278,87	309104,2173

Πίνακας 4-5:Παραγωγή Συνδυασμένου Χανίων

Από του πίνακες παρατηρούμε ότι οι ατμομονάδες και οι μονάδες diesel είναι αυτές που καλύπτουν τον κύριο όγκο της ζήτησης και μετά ακολουθούν ο Συνδυασμένος Κύκλος Χανίων και οι αεροστροβίλοι. Επίσης παρατηρούμε ότι μετά την ανακατανομή υπάρχει μείωση της παραγωγής του Συνδυασμένου και των αεροστροβίλων και αύξηση αυτής των ατμομονάδων και μονάδων diesel. Πιο συγκεκριμένα στην Εικόνα 4-8 φαίνεται η μηνιαία παραγωγή που είχαμε ανά είδος μονάδας πριν την βελτιστοποίηση ενώ στην Εικόνα 4-9 η μηνιαία παραγωγή μετά την βελτιστοποίηση.

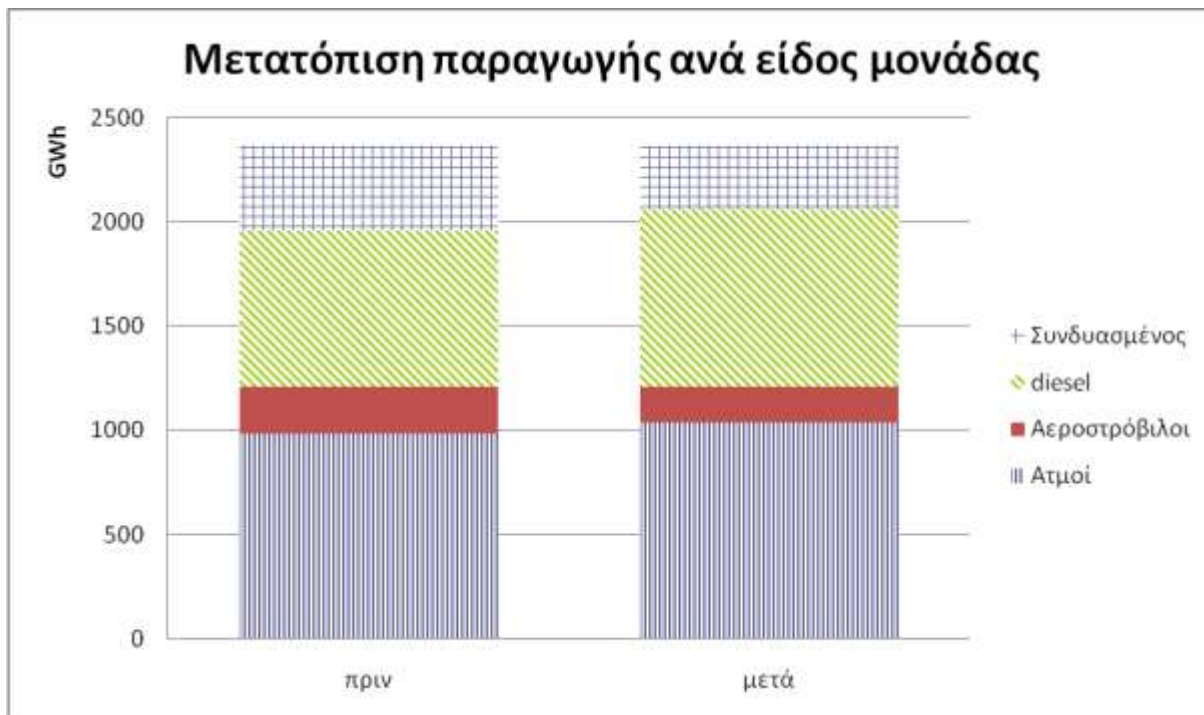


Εικόνα 4-8:Μηνιαία παραγωγή ανά είδος μονάδας πριν την βελτιστοποίηση



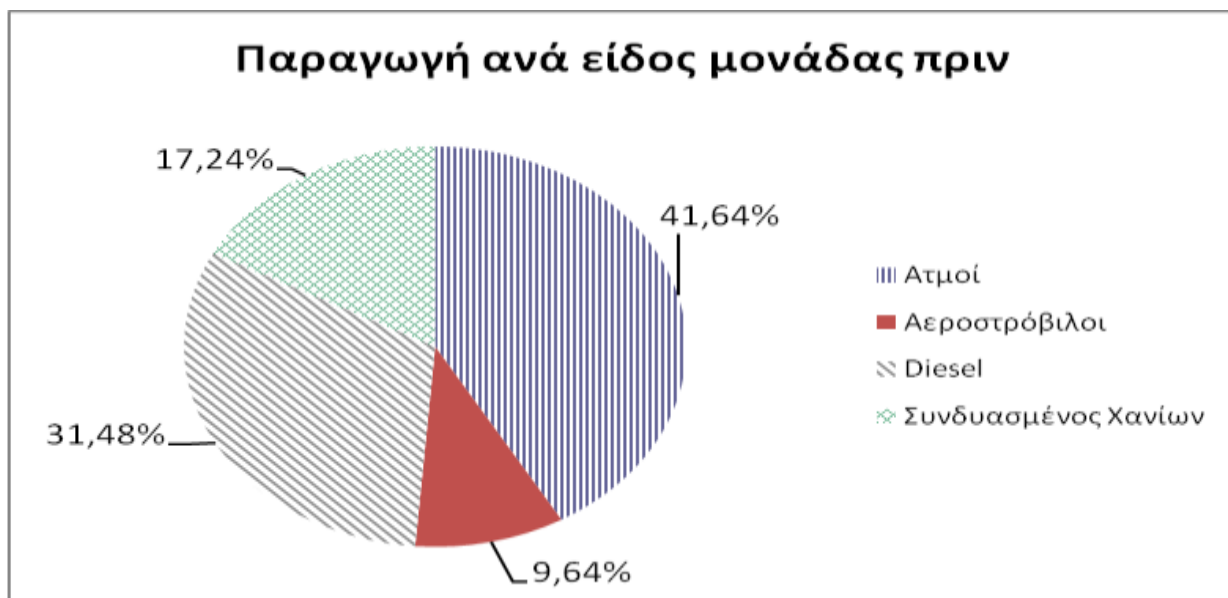
Εικόνα 4-9:Μηνιαία παραγωγή ανά είδος μονάδας μετά την βελτιστοποίηση

Από τις δύο εικόνες παραπάνω φαίνεται καθαρά ότι υπάρχει διαφορά στην παραγωγή μεταξύ των μονάδων καθώς και η μετατόπιση της παραγωγής που αναφέραμε προηγουμένως. Πιο συγκεκριμένα η μετατόπιση της παραγωγής φαίνεται καλύτερα στην Εικόνα 4-10 όπου βλέπουμε μείωση της παραγωγής του Συνδυασμένου και των αεροστροβίλων και αύξηση της παραγωγής των ατμομονάδων και των μονάδων diesel.

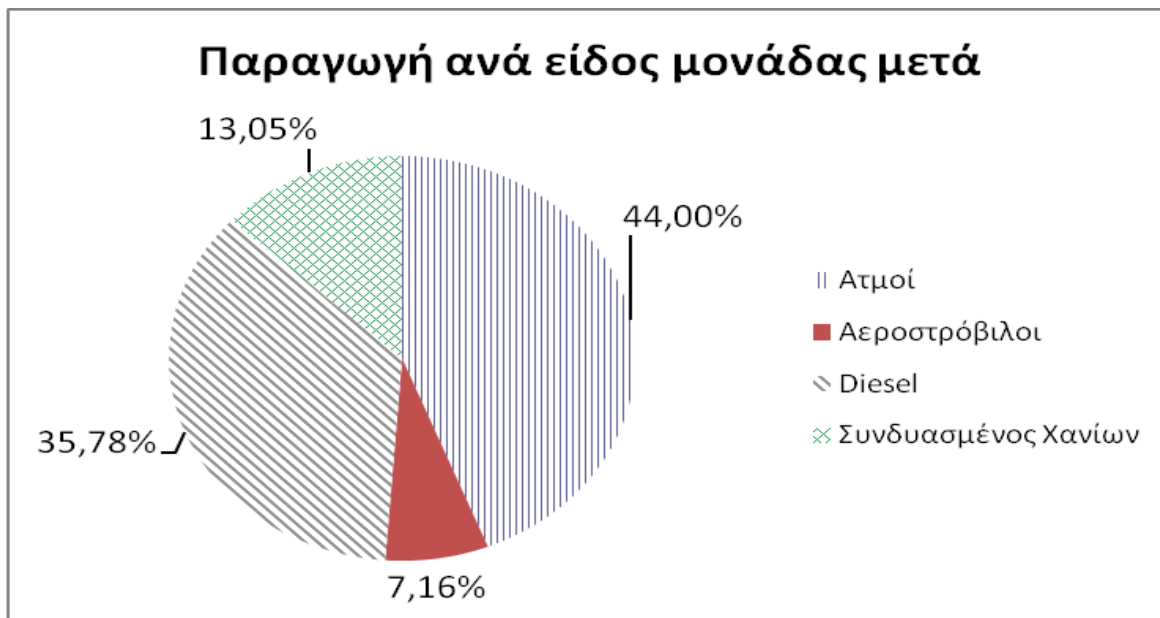


Εικόνα 4-10:Μετατόπιση παραγωγής ανά είδος μονάδας

Πιο συγκεκριμένα στην Εικόνα 4-11 φαίνεται η κατανομή της παραγωγής πριν από την βελτιστοποίηση ενώ στην Εικόνα 4-12 βλέπουμε την κατανομή μετά την βελτιστοποίηση.

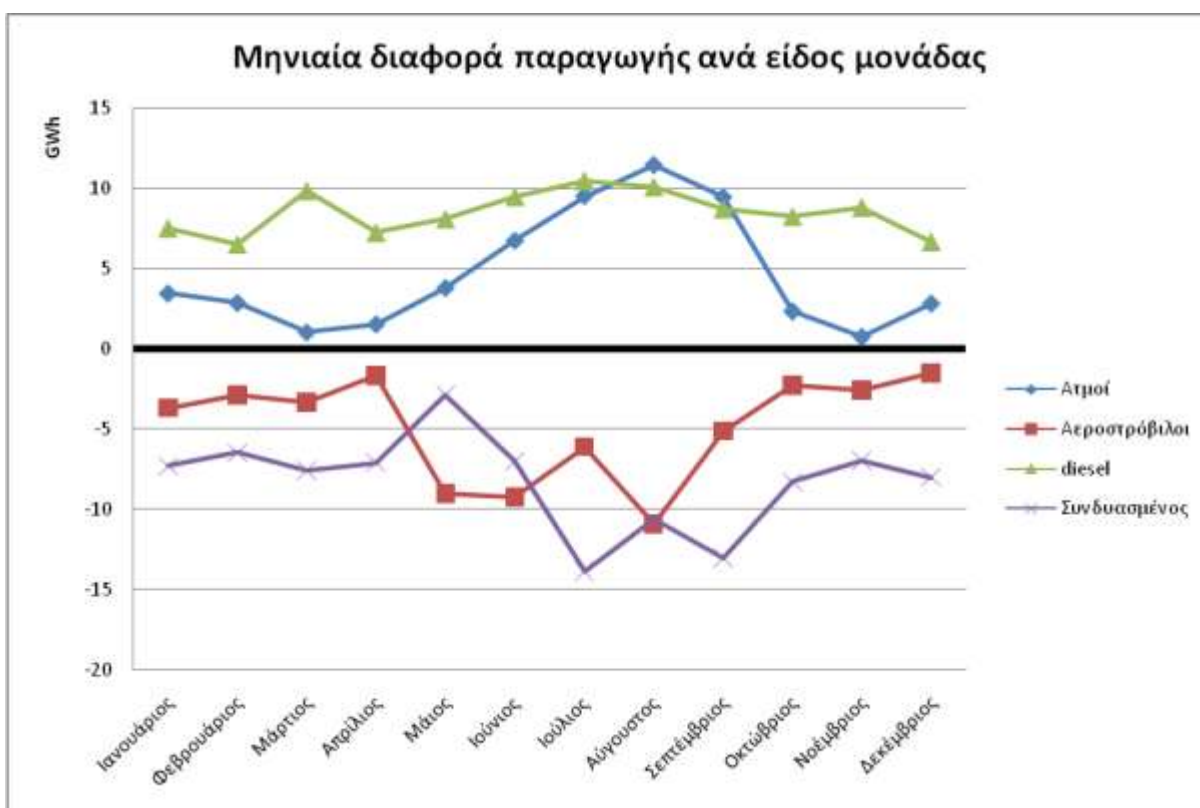


Εικόνα 4-11:Παραγωγή ανά είδος μονάδας πριν την βελτιστοποίηση



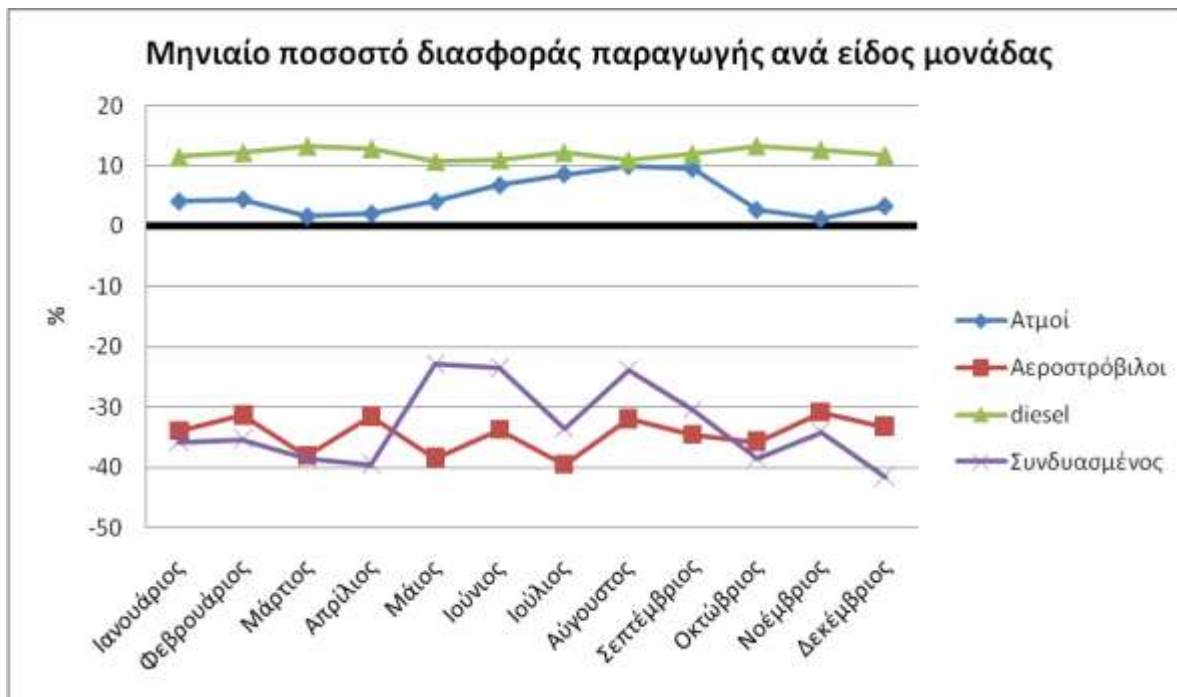
Εικόνα 4-12: Παραγωγή ανά είδος μονάδας μετά την βελτιστοποίηση

Από τις παραπάνω εικόνες φαίνεται ξεκάθαρα ότι αρκετή από την παραγωγή του Συνδυασμένου και μερική από τους αεροστρόβιλους μετατοπίζεται προς τις μονάδες diesel και κυρίως προς τις ατμομονάδες. Στην Εικόνα 4-13 φαίνονται καλύτερα οι αλλαγές στην παραγωγή ανά μήνα και στην Εικόνα 4-14 το ποσοστό της μεταβολής αυτής.



Εικόνα 4-13: Μηνιαία διαφορά παραγωγής ανά είδος μονάδας μετά την βελτιστοποίηση





Εικόνα 4-14:Μηνιαίο ποσοστό διαφοράς παραγωγής ανά είδος μονάδας

Σε αυτές τις εικόνες παρατηρούμε ότι οι μεγαλύτερες διαφορές παρατηρούνται κυρίως του πιο ζεστούς μήνες του έτους για την Κρήτη από τον Μάιο μέχρι και τον Σεπτέμβριο, ενώ στους υπόλοιπους μήνες διατηρείται μια ομαλή σταθερή διαφορά. Οι συνολικές διαφορές ανά είδος μονάδας καθώς και το ποσοστό της διαφοράς αυτής φαίνονται καλύτερα στον Πίνακα 4-6.

	διαφορά(MWh)	ποσοστό(%)
Ατμοί	55886,6	5,36
Αεροστρόβιλοι	-58569,3	-34,53
diesel	101857,3	12,02
Συνδυασμένος	-99174,6	-32,08

Πίνακας 4-6:Συνολικές διαφορές και ποσοστά ανά είδος μονάδας

#### 4.1.2 Μεταβολή παραγωγής εργοστασίων

Αφού εξετάσαμε πως επηρεάζει ο αλγόριθμος ανακατανομής την παραγωγή των μονάδων θα δούμε και πως αλλάζει την παραγωγή των σταθμών παραγωγής του Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας της Κρήτης. Τα δεδομένα που πήραμε τρέχοντας τον αλγόριθμο για τον σταθμό των Λινοπεραμάτων φαίνονται στον Πίνακα 4-7, για τον σταθμό των Χανίων στον Πίνακα 4-8 και για τον σταθμό του Αθερινόλακου στον Πίνακα 4-9.



Λινοπεράματα(MWh)	Πραγματική λειτουργία	Προτεινόμενη Λειτουργία
Ιανουάριος	67335,36	65208,97289
Φεβρουάριος	54989,46	54777,08306
Μάρτιος	69090,93	69366,5949
Απρίλιος	62414,6	60507,74274
Μάιος	71771,61	70211,43864
Ιούνιος	81045,77	83582,76282
Ιούλιος	84040,8	87772,72105
Αύγουστος	88764,5	93455,02051
Σεπτέμβριος	71131,62	73776,16692
Οκτώβριος	71361,69	70736,94899
Νοέμβριος	59338,25	60098,47531
Δεκέμβριος	67770,73	65492,18632
Σύνολο	849055,32	854986,1141

Πίνακας 4-7:Παραγωγή Σταθμού Λινοπεραμάτων

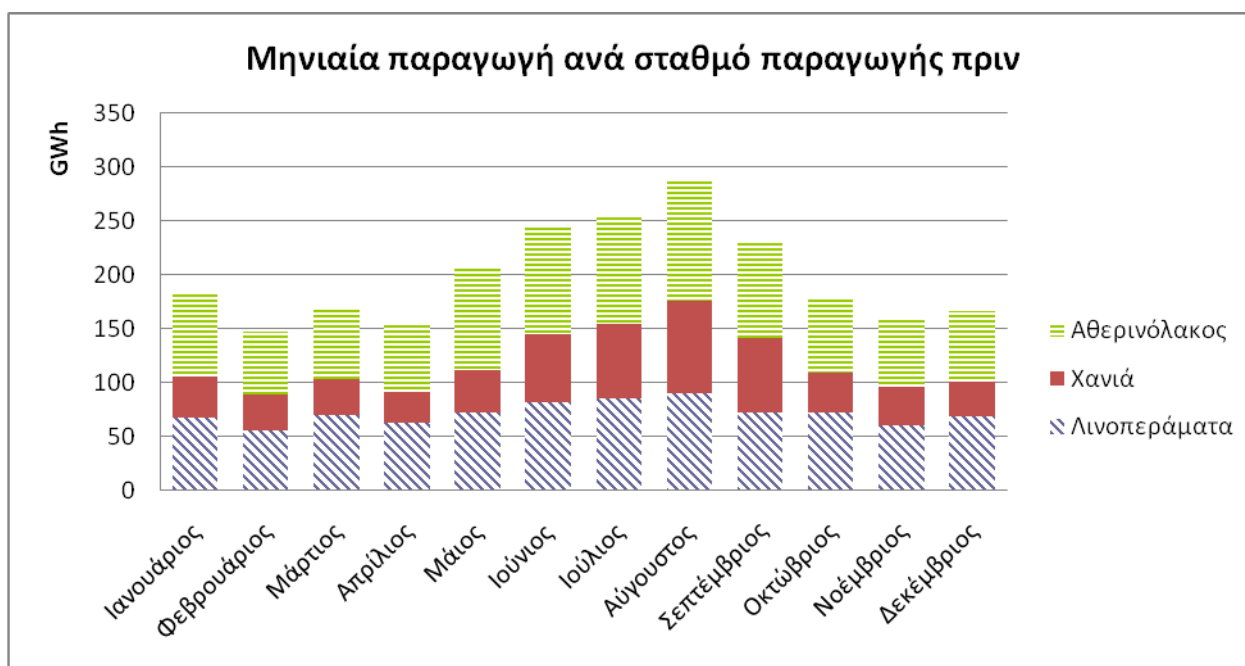
Χανιά(MWh)	Πραγματική λειτουργία	Προτεινόμενη Λειτουργία
Ιανουάριος	37051	27306,81603
Φεβρουάριος	33334,4	24723,90217
Μάρτιος	33660,55	24273,35193
Απρίλιος	28339,4	20338,16367
Μάιος	39367,6	29740,8554
Ιούνιος	63609,1	49612,76986
Ιούλιος	69921,15	51871,30117
Αύγουστος	86143,46	67268,0008
Σεπτέμβριος	69298,25	52594,42069
Οκτώβριος	36483,7	26494,47972
Νοέμβριος	36007,94	26950,39754
Δεκέμβριος	32234,02	23031,47625
Σύνολο	565450,57	424205,9352

Πίνακας 4-8:Παραγωγή Σταθμού Χανιών

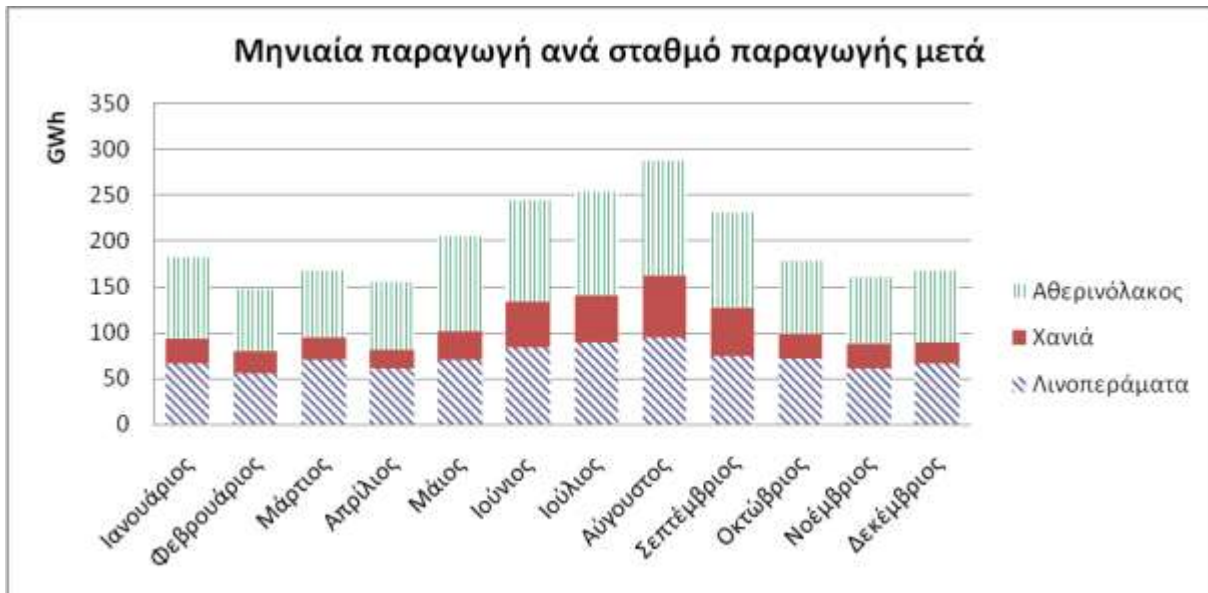
Αθερινόλακος(MWh)	Πραγματική λειτουργία	Προτεινόμενη Λειτουργία
Ιανουάριος	76770,7	88641,27109
Φεβρουάριος	57629	66451,87479
Μάρτιος	63428,4	72539,93317
Απρίλιος	63304	73212,09361
Μάιος	93882,2	105069,116
Ιούνιος	98195,1	109654,4373
Ιούλιος	99267,1	113585,0278
Αύγουστος	111179,57	125364,5087
Σεπτέμβριος	89140,7	103199,9824
Οκτώβριος	69749,25	80363,21133
Νοέμβριος	64654,09	72951,40716
Δεκέμβριος	66067,74	77548,82746
Σύνολο	953267,85	1088581,691

Πίνακας 4-9:Παραγωγή Σταθμού Αθερινόλακου

Από τους πίνακες αυτούς βλέπουμε ότι ο σταθμός του Αθερινόλακου είναι αυτός που έχει την μεγαλύτερη παραγωγή ακολουθούμενος από τον σταθμό των Λινοπεραμάτων και τον σταθμό των Χανίων. Επίσης παρατηρούμε ότι μετά την βελτιστοποίηση ισχύει η ίδια αναλογία με τον σταθμό των Χανίων να έχει ακόμα μικρότερη παραγωγή. Στην Εικόνα 4-15 βλέπουμε πως κατανεμόταν η παραγωγή πριν την βελτιστοποίηση και στην Εικόνα 4-16 φαίνεται η κατανομή της παραγωγής μετά την βελτιστοποίηση.

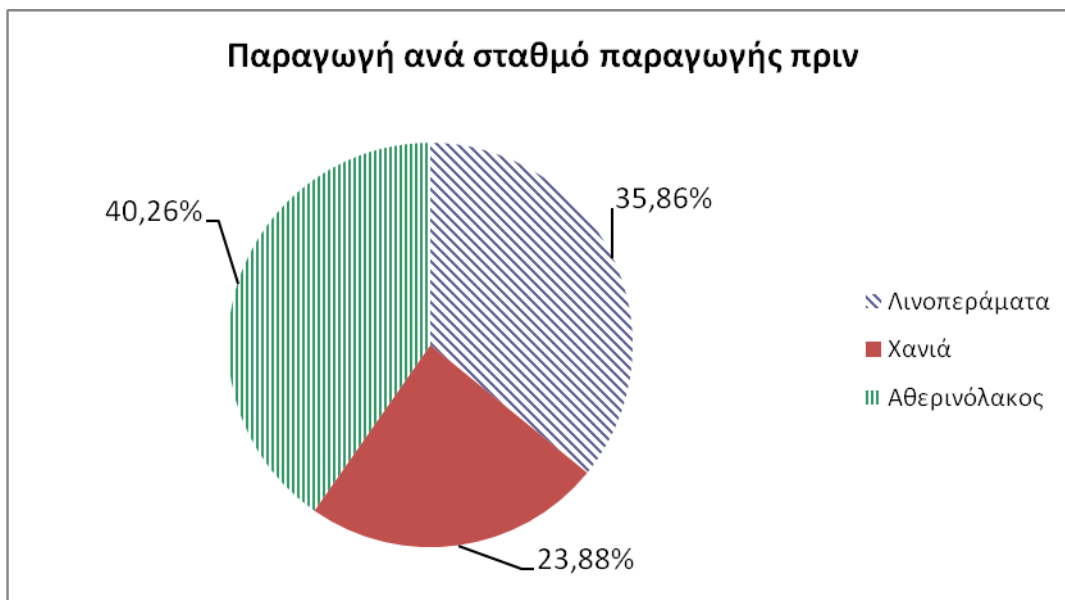


Εικόνα 4-15:Μηνιαία παραγωγή ανά σταθμό παραγωγής πριν την βελτιστοποίηση

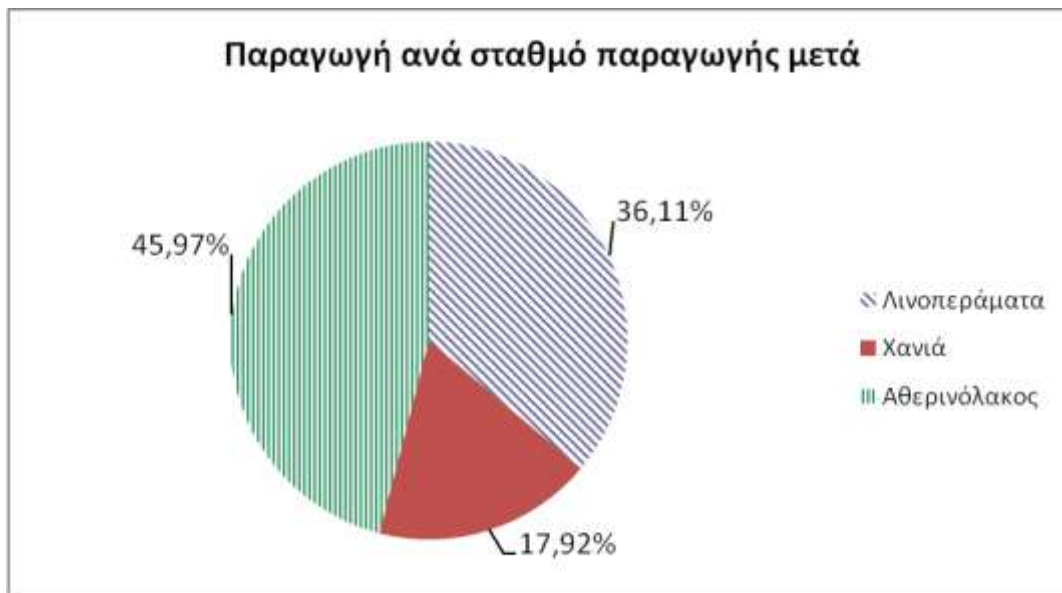


Εικόνα 4-16:Μηνιαία παραγωγή ανά σταθμό παραγωγής μετά την βελτιστοποίηση

Από τις δύο αυτές εικόνες επαληθεύεται το γεγονός ότι ο σταθμός του Αθερινόλακου είναι αυτός που έχει το μεγαλύτερο μερίδιο στην κάλυψη της ζήτησης καθώς και ότι υπάρχει και μια μείωση της παραγωγής του σταθμού των Χανίων. Η κατανομή της παραγωγής πριν την βελτιστοποίηση φαίνεται στην Εικόνα 4-17 ενώ μετά την κατανομή φαίνεται στην Εικόνα 4-18. Από τις δύο αυτές εικόνες γίνεται σαφές ότι η παραγωγή του σταθμού των Χανίων μειώνεται και απορροφάται κυρίως από τον σταθμό του Αθερινόλακου και σε μικρότερο βαθμό από τον σταθμό των Λινοπεραμάτων.

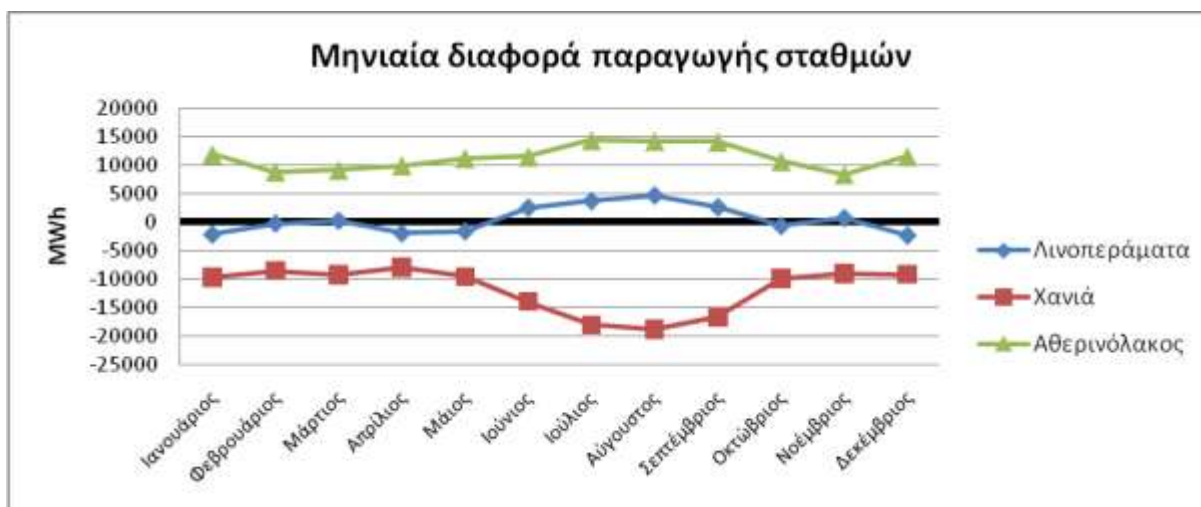


Εικόνα 4-17:Παραγωγή ανά σταθμό παραγωγής πριν την βελτιστοποίηση

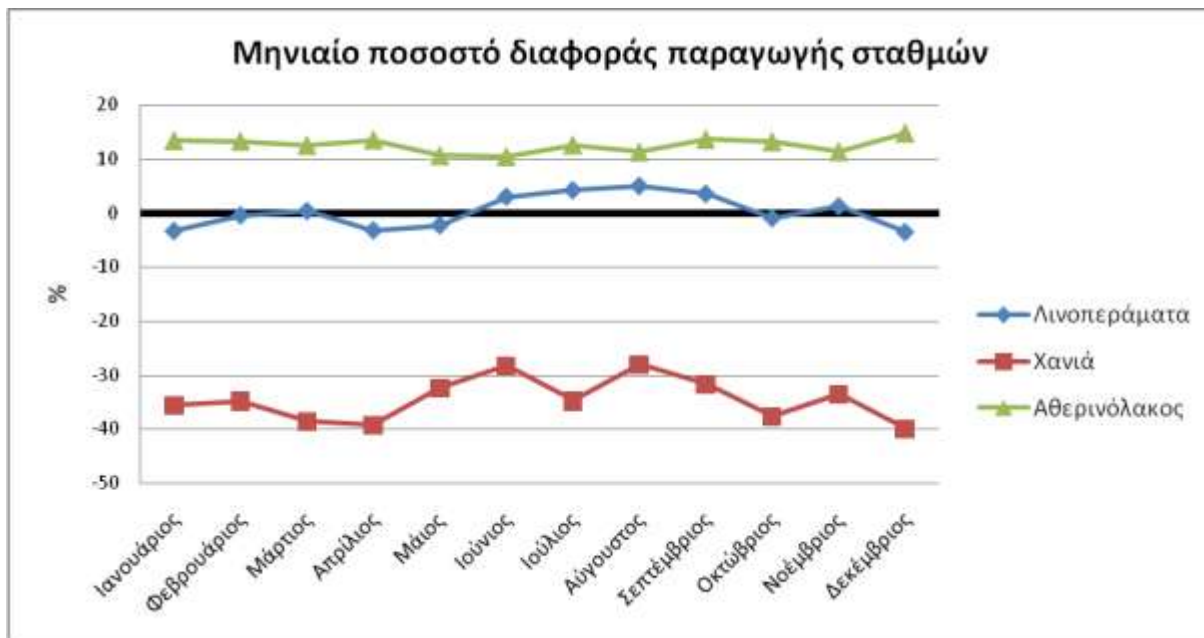


Εικόνα 4-18: Παραγωγή ανά σταθμό παραγωγής μετά την βελτιστοποίηση

Για να εξακριβώσουμε και σε ποια εποχή του χρόνου παρατηρούνται διαφορές στην κατανομή της παραγωγής παραθέτουμε στην Εικόνα 4-19 και την Εικόνα 4-20 για το ποσοστό της διαφοράς αυτής. Σε αυτή την εικόνα φαίνεται ότι η μεγαλύτερη μετατόπιση στην παραγωγή των σταθμών συμβαίνει του μήνες που έχουν τις υψηλότερες θερμοκρασίες στην Κρήτη, δηλαδή από τον Ιούνιο μέχρι και τον Σεπτέμβριο.



Εικόνα 4-19: Μηνιαία διαφορά παραγωγής σταθμών



Εικόνα 4-20:Μηνιαίο ποσοστό διαφοράς παραγωγής σταθμών

Οι συνολικές ετήσιες διαφορές ανά σταθμό καθώς και τα ποσοστά αυτών φαίνονται καλύτερα στον Πίνακα 4-10.

	διαφορά(MWh)	ποσοστό (%)
Λινοπεράματα	5930,7	0,69
Χανιά	-141244,6	-33,3
Αθερινόλακος	135313,8	12,43

Πίνακας 4-10:Συνολικές διαφορές και ποσοστά διαφορών ανά εργοστάσιο

### 4.1.3 Μεταβολή κατανάλωσης καυσίμου

Αφού τελειώσαμε την μελέτη για την μεταβολή της παραγωγής και είδαμε ότι υπάρχει μετατόπιση της παραγωγής από μερικές μονάδες σε άλλες, τώρα πρέπει να ελέγξουμε πως επηρεάζεται η κατανάλωση καυσίμου με αυτή την μεταβολή της παραγωγής. Στο Σ.Η.Ε. της Κρήτης χρησιμοποιούνται δύο είδη καυσίμων για τροφοδότηση των γεννητριών που είναι παράγωγα του πετρελαίου το μαζούτ και το diesel. Τα δεδομένα που έχουμε για τις καταναλώσεις πριν και μετά την εφαρμογή του αλγορίθμου ανακατανομής για το καύσιμο μαζούτ φαίνονται στον Πίνακα 4-11 ενώ για το καύσιμο diesel στον Πίνακα 4-12.

μαζούτ (kg)	Πραγματική λειτουργία	Προτεινόμενη Λειτουργία
Ιανουάριος	32848981,97	34881152,51
Φεβρουάριος	25584054,86	27355912,52
Μάρτιος	29348390,04	31368744,33
Απρίλιος	29149433,14	30703215,43
Μάιος	36676929,38	38978959,05
Ιούνιος	39612171,49	42990524,15
Ιούλιος	41591920,68	45780732,67
Αύγουστος	43148508,2	47847752,94
Σεπτέμβριος	36380344,1	40197924,2
Οκτώβριος	33439155,66	35349249,49
Νοέμβριος	28704594,15	30529413,92
Δεκέμβριος	32197250,19	33872701,57
Σύνολο	408681733,8	439856282,8

Πίνακας 4-11:Κατανάλωση καυσίμου μαζούτ

diesel (lt)	Πραγματική λειτουργία	Προτεινόμενη Λειτουργία
Ιανουάριος	14292602,6	12166406,52
Φεβρουάριος	12612072,66	10845624,95
Μάρτιος	13388612,71	11311885,09
Απρίλιος	10853880,61	9262473,112
Μάιος	16191938,48	13597597,14
Ιούνιος	24493104,21	21112596,34
Ιούλιος	24471751,91	20646797,37
Αύγουστος	31699090,08	27257322,04
Σεπτέμβριος	23646616,66	20191008,78
Οκτώβριος	12666421,38	10723047,07
Νοέμβριος	13068088,79	11261494,2
Δεκέμβριος	11123301,25	9415233,07
Σύνολο	208507481,3	177791485,7

Πίνακας 4-12:Κατανάλωση καυσίμου diesel

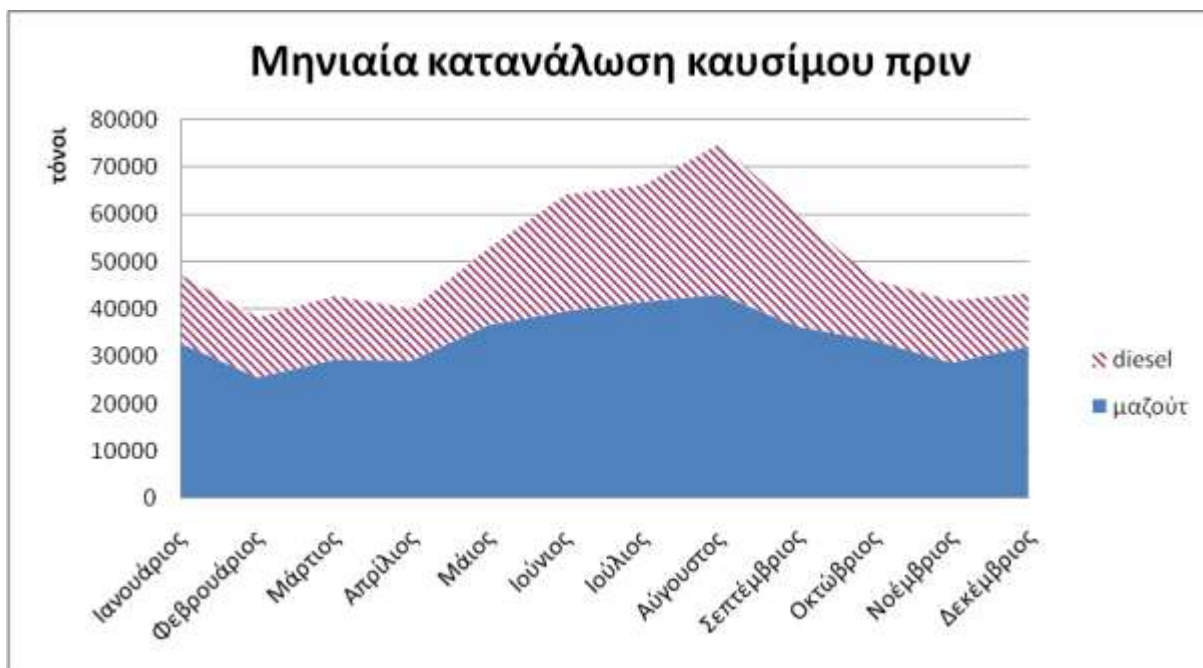
Από τους παραπάνω πίνακες παρατηρούμε ότι η κατανάλωση του καυσίμου μαζούτ είναι μεγαλύτερη από του καυσίμου diesel καθώς και ότι μετά την βελτιστοποίηση η διαφορά αυτή στις καταναλώσεις αυξάνεται. Οι διαφορές αυτές φαίνονται καλύτερα στον Πίνακα 4-13 όπου βλέπουμε το ποσοστό της μεταβολής αυτής ανά μήνα.



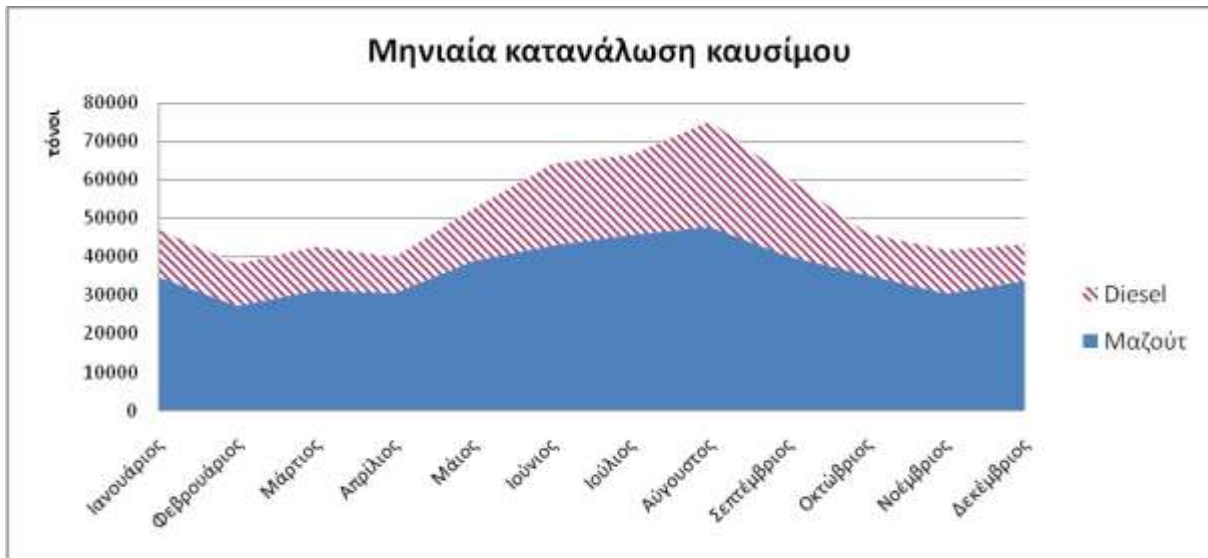
ποσοστά διαφορών	μαζούτ	diesel
Ιανουάριος	5,83	-17,48
Φεβρουάριος	6,48	-16,29
Μάρτιος	6,44	-18,36
Απρίλιος	5,06	-17,18
Μάιος	5,91	-19,08
Ιούνιος	7,86	-16,01
Ιούλιος	9,15	-18,53
Αύγουστος	9,82	-16,3
Σεπτέμβριος	9,5	-17,11
Οκτώβριος	5,4	-18,12
Νοέμβριος	5,98	-16,04
Δεκέμβριος	4,95	-18,14
Σύνολο	7,09	-17,28

Πίνακας 4-13: Ποσοστά διαφορών κατανάλωσης καυσίμων

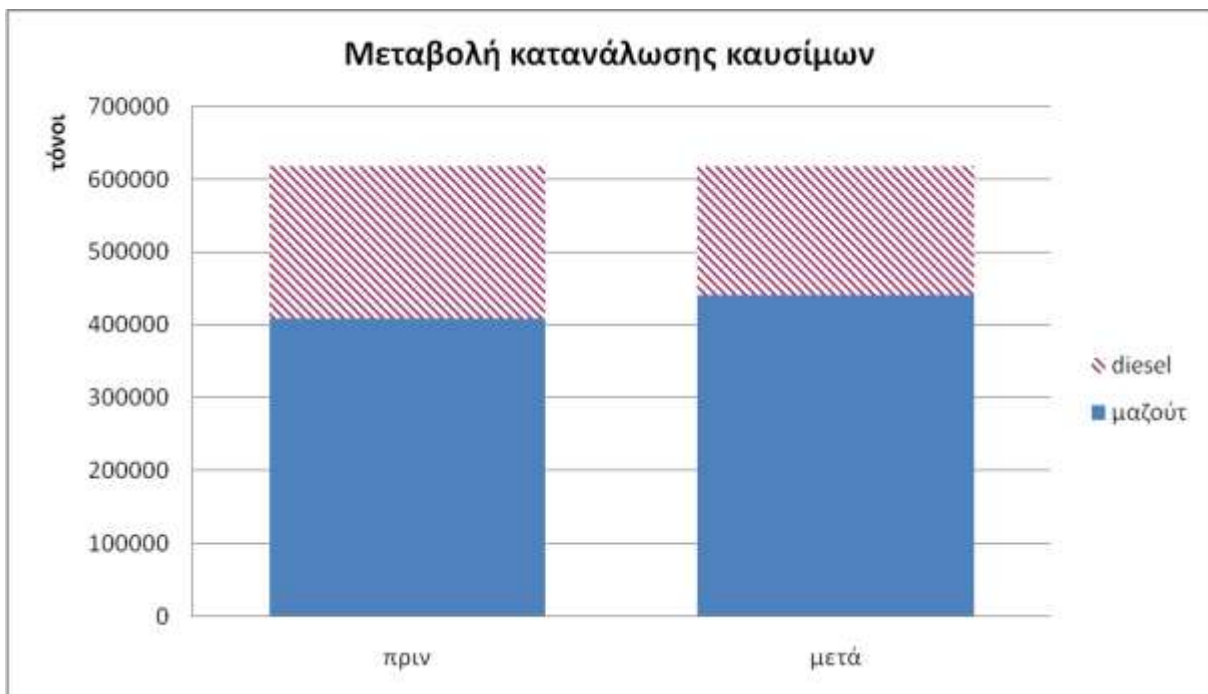
Στην Εικόνα 4-21 βλέπουμε την κατανομή κατανάλωσης καυσίμου πριν την βελτιστοποίηση ενώ στην Εικόνα 4-22 την κατανάλωση μετά την βελτιστοποίηση. Σε αυτές τις δύο εικόνες παρατηρούμε ότι υπάρχουν διαφορές καθώς μειώνεται η κατανάλωση του diesel και αυξάνεται του μαζούτ διαφορά η οποία φαίνεται καλύτερα στην Εικόνα 4-23.



Εικόνα 4-21:Μηνιαία κατανάλωση καυσίμου πριν την βελτιστοποίηση

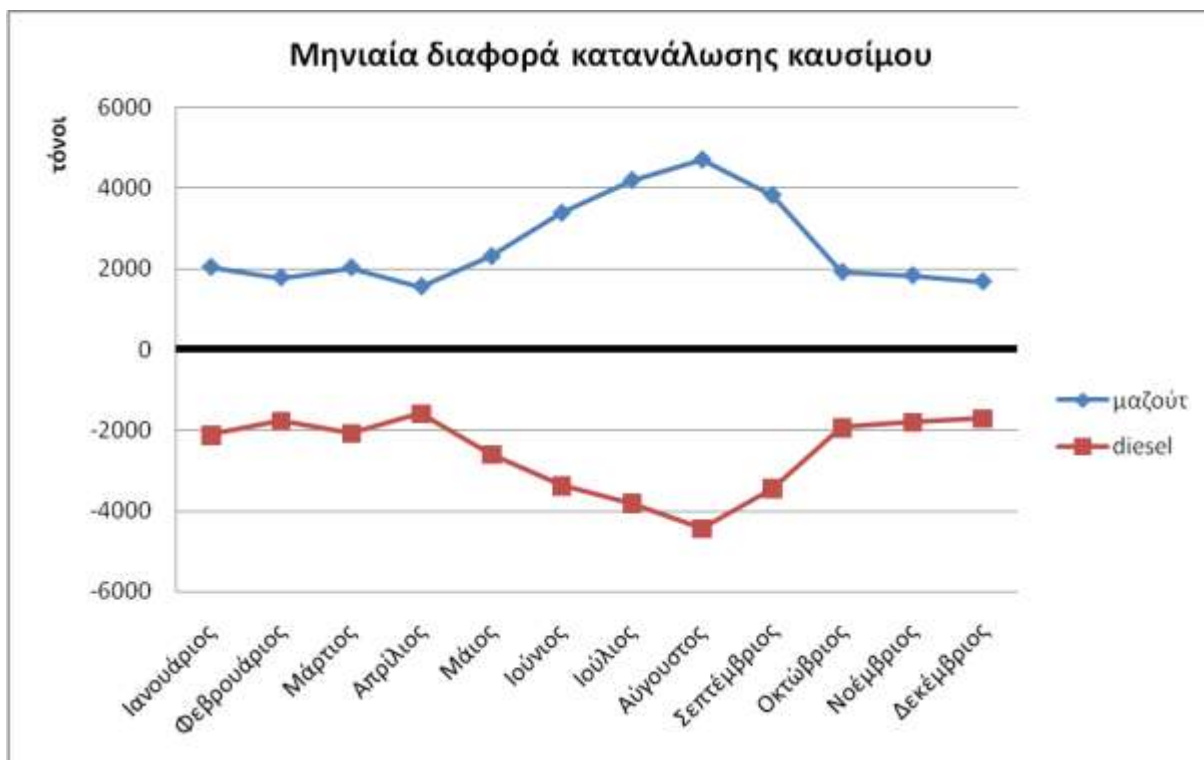


Εικόνα 4-22:Μηνιαία κατανάλωση καυσίμου μετά την βελτιστοποίηση



Εικόνα 4-23:Μεταβολή κατανάλωσης καυσίμων

Από την τελευταία εικόνα ειδικά φαίνεται ξεκάθαρα ότι η κατανάλωση του καυσίμου diesel μειώνεται και αυξάνεται η κατανάλωση του καυσίμου μαζούτ. Αυτό είναι λογικό γιατί όπως είδαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο μετατοπίστηκε η παραγωγή σε μονάδες οι οποίες καταναλώνουν καύσιμο μαζούτ. Επίσης επειδή ο αλγόριθμος ψάχνει την βέλτιστη οικονομική κατανομή είναι λογικό να μειώνεται η κατανάλωση του καυσίμου diesel καθώς είναι πιο ακριβό καύσιμο από το μαζούτ. Για να εντοπίσουμε καλύτερα τις αλλαγές στην κατανάλωση παραθέτουμε στην Εικόνα 4-24 την μηνιαία διαφορά κατανάλωσης των δύο αυτών καυσίμων.



Εικόνα 4-24:Μηνιαία διαφορά κατανάλωσης καυσίμου

Σε αυτή την εικόνα παρατηρούμε ότι υπάρχει μια σταθερή μείωση της κατανάλωσης του καυσίμου diesel και αύξηση του καυσίμου μαζούτ που γίνεται πιο έντονη του μήνες που στην Κρήτη έχουμε περισσότερη ζέστη, δηλαδή από Μάιο μέχρι και τον Σεπτέμβριο. Οι συνολικές ετήσιες διαφορές καθώς και τα ποσοστά των διαφορών αυτών φαίνονται καλύτερα στον Πίνακα 4-14.

	διαφορά	ποσοστό
μαζούτ (kg)	31174548,92	7,09
diesel (lt)	-30715995,6	-17,28

Πίνακας 4-14:Συνολικές διαφορές και ποσοστά κατανάλωση καυσίμου

#### 4.1.3.1 Μεταβολή κατανάλωσης Συνδυασμένου Κύκλου

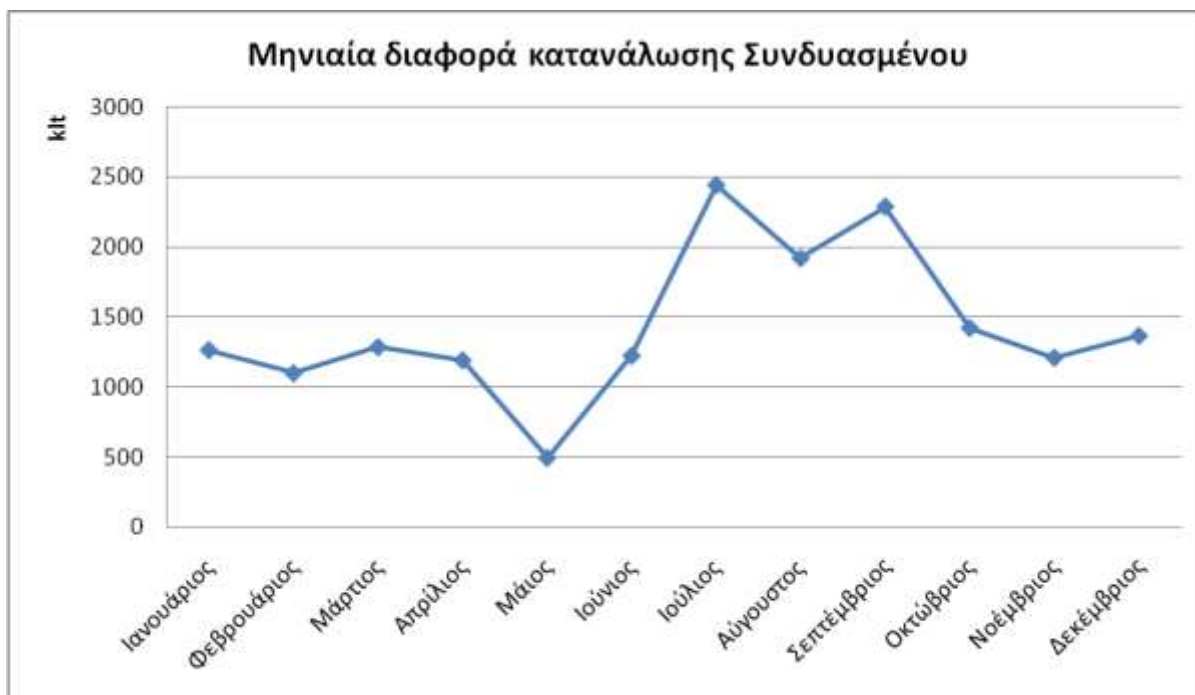
Σε αυτό το σημείο θα εξετάσουμε ξεχωριστά την κατανάλωση καυσίμου του Συνδυασμένου Κύκλου, που έχει συνυπολογιστεί στην κατανάλωση καυσίμου diesel, καθώς, εκτός ότι είναι το σημείο της μελέτης αυτής, είναι και η μονάδα που φέρνει όλες αυτές τις αλληλεπιδράσεις. Τα δεδομένα που πήραμε για τον Συνδυασμένο Κύκλο μετά την εφαρμογή του αλγορίθμου ανακατανομής φαίνονται στον Πίνακα 4-15.

Συνδυασμένος (lt)	Πραγματική λειτουργία	Προτεινόμενη Λειτουργία
Ιανουάριος	8116006,632	6851149,223
Φεβρουάριος	7326493,627	6225988,6
Μάρτιος	8043947,342	6757697,586
Απρίλιος	7468174,721	6275934,48
Μάιος	4550104,598	4052704,038
Ιούνιος	10831951,37	9607173,038
Ιούλιος	16136251,69	13696422,22
Αύγουστος	15799600,48	13881245,13
Σεπτέμβριος	16206729,23	13920866,24
Οκτώβριος	8805472,04	7383195,982
Νοέμβριος	7996972,056	6786383,416
Δεκέμβριος	8043876,244	6676945,916
Σύνολο	119325580	102115705,9

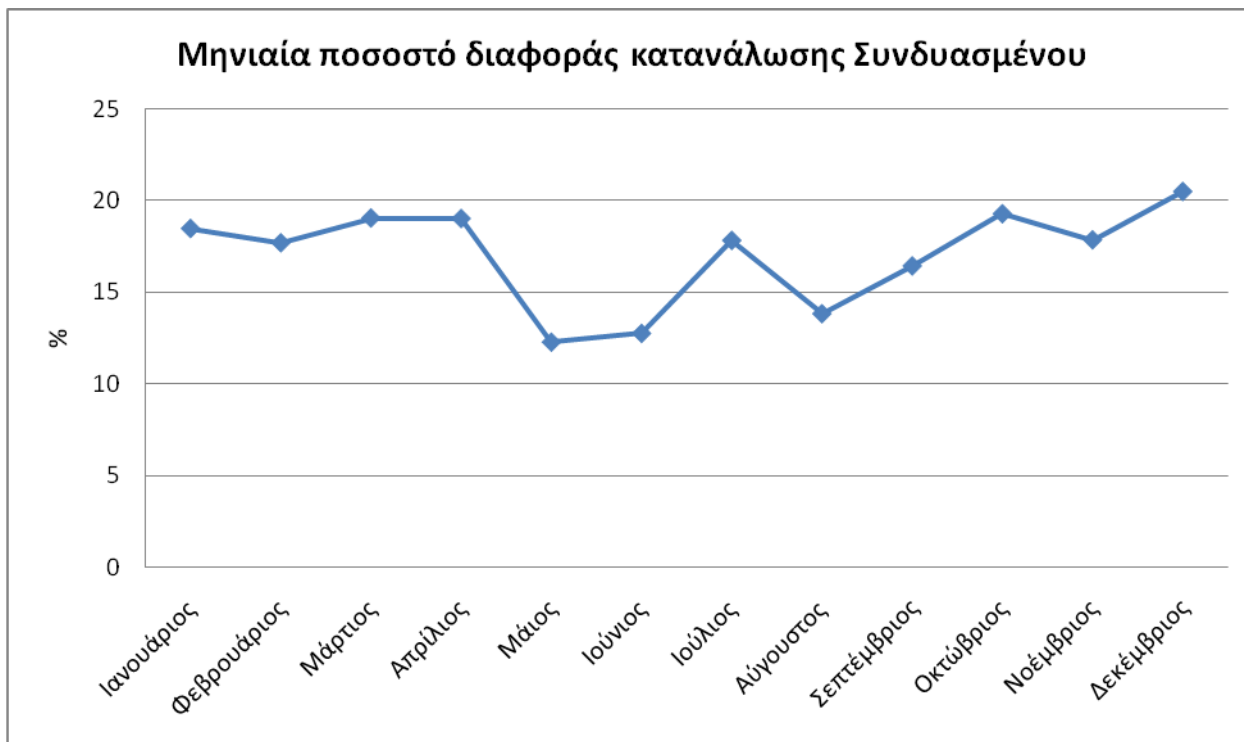
Πίνακας 4-15: Κατανάλωση Συνδυασμένου Κύκλου

Από τον πίνακα αυτό βλέπουμε ότι η κατανάλωση του Συνδυασμένου μετά την βελτιστοποίηση μειώνεται, που είναι λογικό καθώς μειώνεται και η παραγωγή του. Στην Εικόνα 4-25 φαίνεται καθαρά πως μεταβάλλεται η κατανάλωση του Συνδυασμένου Κύκλου καθώς και σε ποιους μήνες έχει την μεγαλύτερη διαφορά και στην Εικόνα 4-26 το ποσοστό της διαφοράς.

Από τις δύο αυτές εικόνες γίνεται απολύτως κατανοητό ότι με την ανακατανομή φορτίου, όπου ο Συνδυασμένος έχει λιγότερη παραγωγή, εξοικονομείται αρκετό καύσιμο diesel, που είναι όπως είπαμε πιο ακριβό. Επίσης παρατηρούμε ότι την μεγαλύτερη εξοικονόμηση την έχουμε του μήνες που στην Κρήτη έχει περισσότερη ζέστη, δηλαδή από Ιούνιο μέχρι και Σεπτέμβριο.



Εικόνα 4-25:Μηνιαία διαφορά κατανάλωσης Συνδυασμένου Κύκλου



Εικόνα 4-26:Μηνιαίο ποσοστό διαφοράς κατανάλωσης Συνδυασμένου Κύκλου

Η συνολική ετήσια διαφορά στην κατανάλωση καυσίμου του Συνδυασμένου Κύκλου είναι -17209874,16 lt που αντιστοιχεί σε ποσοστό μεταβολής 16,85%.

#### 4.1.4 Μεταβολή κόστους παραγωγής

Όπως είδαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο μετά την εφαρμογή του αλγόριθμου ανακατανομής φορτίου είχαμε αλλαγές στην κατανάλωση καυσίμων των μονάδων. Πιο συγκεκριμένα είχαμε μείωση της κατανάλωσης του καυσίμου diesel και αύξηση αυτής του μαζούτ οπότε πρέπει να εξετάσουμε την μεταβολή στο κόστος που έχει προκύψει λόγω αυτής της αλλαγής. Οπότε θα εξετάσουμε πρώτα πως επηρεάζει το κόστος των καυσίμων το συνολικό κόστος και μετά πως μεταβάλλεται αυτό. Τα δεδομένα που είχαμε από τον αλγόριθμο ανακατανομής για το κόστος του καυσίμου μαζούτ φαίνονται στον Πίνακα 4-16, για το καύσιμο diesel στον Πίνακα 4-17 και για το συνολικό κόστος στον Πίνακα 4-18. Οι τιμές καυσίμου κάθε μονάδας, που παίζει σημαντικό ρόλο στο πως υπολογίσαμε το κόστος, φαίνεται στον Πίνακα 2-20.

κόστος μαζούτ (€)	Πραγματική λειτουργία	Προτεινόμενη Λειτουργία
Ιανουάριος	17878453,45	19002563,94
Φεβρουάριος	13917603,81	14893749,45
Μάρτιος	15953665,92	17064147,25
Απρίλιος	15851993,72	16713538,32
Μάιος	19983521,12	21251110,59
Ιούνιος	21572491,25	23419852,43
Ιούλιος	22641696,32	24932577,33
Αύγουστος	23510779,55	26076021,99
Σεπτέμβριος	19811850,95	21902292,8
Οκτώβριος	18178792,75	19233907,8
Νοέμβριος	15611607,79	16614779,79
Δεκέμβριος	17500895,38	18432059,71
Σύνολο	222413352	239536601,4

Πίνακας 4-16:Κόστος καύσιμου μαζούτ

κόστος diesel(€)	Πραγματική λειτουργία	Προτεινόμενη Λειτουργία
Ιανουάριος	14118682,55	12018349,06
Φεβρουάριος	12457376,67	10712593,28
Μάρτιος	13228103,38	11176439,54
Απρίλιος	10723515,22	9151536,8
Μάιος	15997024,83	13433831,73
Ιούνιος	24195621,5	20856137,06
Ιούλιος	24172072,71	20393897,38
Αύγουστος	31313912,92	26926265,07
Σεπτέμβριος	23356168,54	19942990,21
Οκτώβριος	12509834,79	10590431,05
Νοέμβριος	12906847,98	11122548,27
Δεκέμβριος	10985156,47	9298276,206
Σύνολο	205964317,6	175623295,7

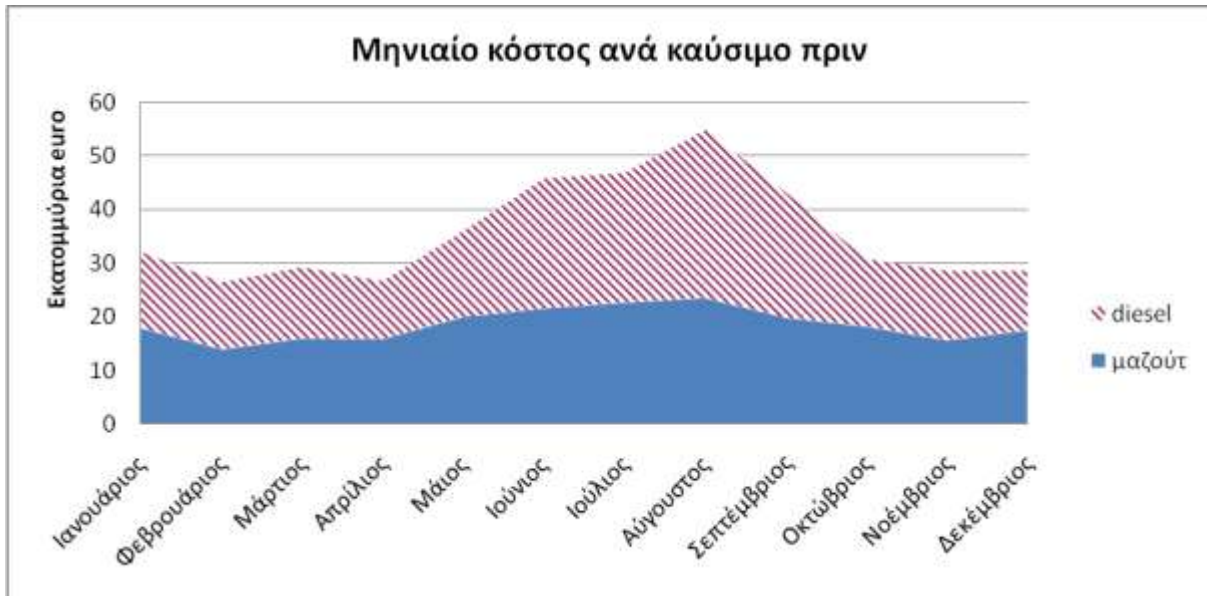
Πίνακας 4-17:Κόστος καυσίμου diesel

συνολικό κόστος(€)	Πραγματική λειτουργία	Προτεινόμενη Λειτουργία
Ιανουάριος	31997136	31020913
Φεβρουάριος	26374980,48	25606342,72
Μάρτιος	29181769,3	28240586,79
Απρίλιος	26575508,93	25865075,12
Μάιος	35980545,95	34684942,32
Ιούνιος	45768112,75	44275989,49
Ιούλιος	46813769,03	45326474,71
Αύγουστος	54824692,47	53002287,06
Σεπτέμβριος	43168019,48	41845283,02
Οκτώβριος	30688627,54	29824338,85
Νοέμβριος	28518455,77	27737328,06
Δεκέμβριος	28486051,84	27730335,92
Σύνολο	428377669,6	415159897,1

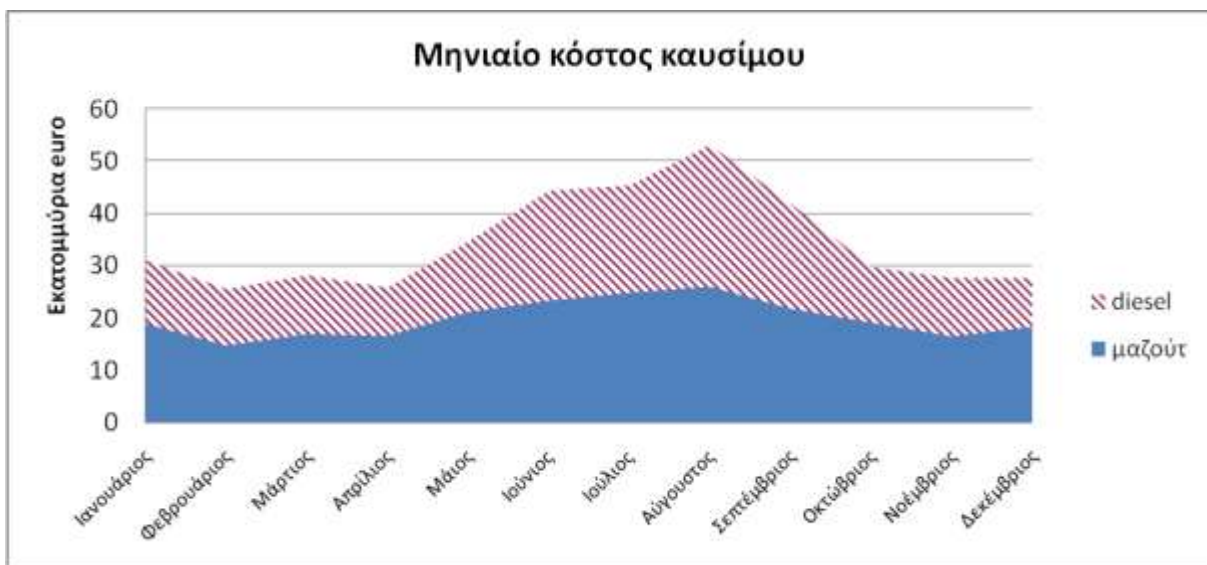


#### Πίνακας 4-18:Συνολικό κόστος συστήματος

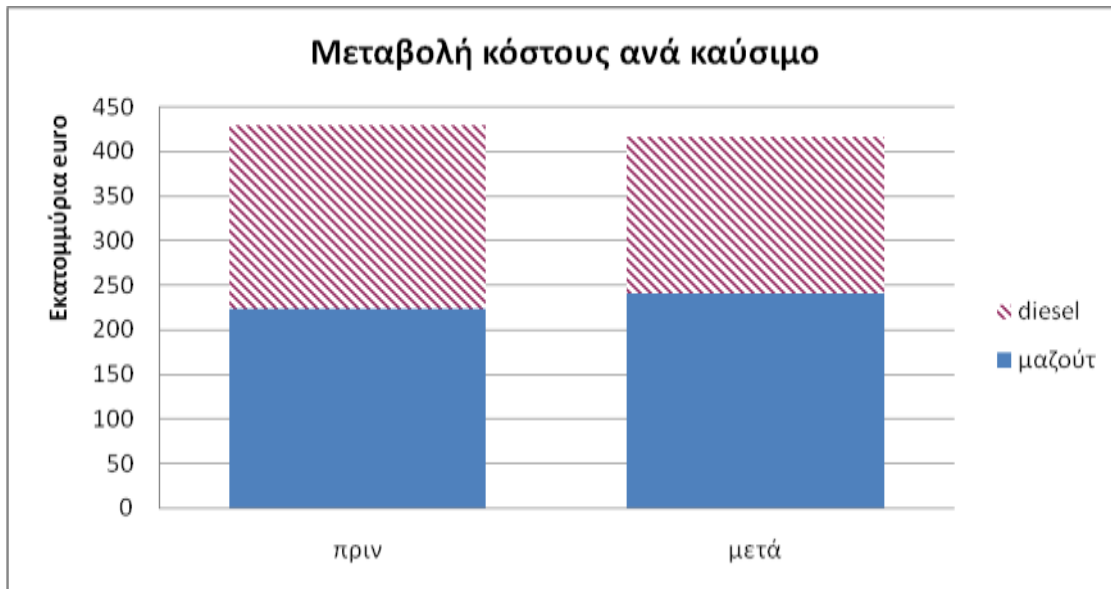
Ξεκινώντας από το κόστος καυσίμων στην Εικόνα 4-27 βλέπουμε το κόστος ανά καύσιμο πριν την βελτιστοποίηση ενώ στην Εικόνα 4-28 βλέπουμε το κόστος ανά καύσιμο μετά την βελτιστοποίηση. Αυτό που παρατηρούμε από τις δύο αυτές εικόνες είναι ότι μειώνεται το κόστος του καυσίμου diesel και αυξάνεται αυτό του μαζούτ όμως με μειωμένο συνολικό κόστος. Αυτή η μετατόπιση στο κόστος και μείωση του συνολικού κόστους φαίνεται καλύτερα στην Εικόνα 4-29.



Εικόνα 4-27:Μηνιαίο κόστος ανά καύσιμο πριν την βελτιστοποίηση

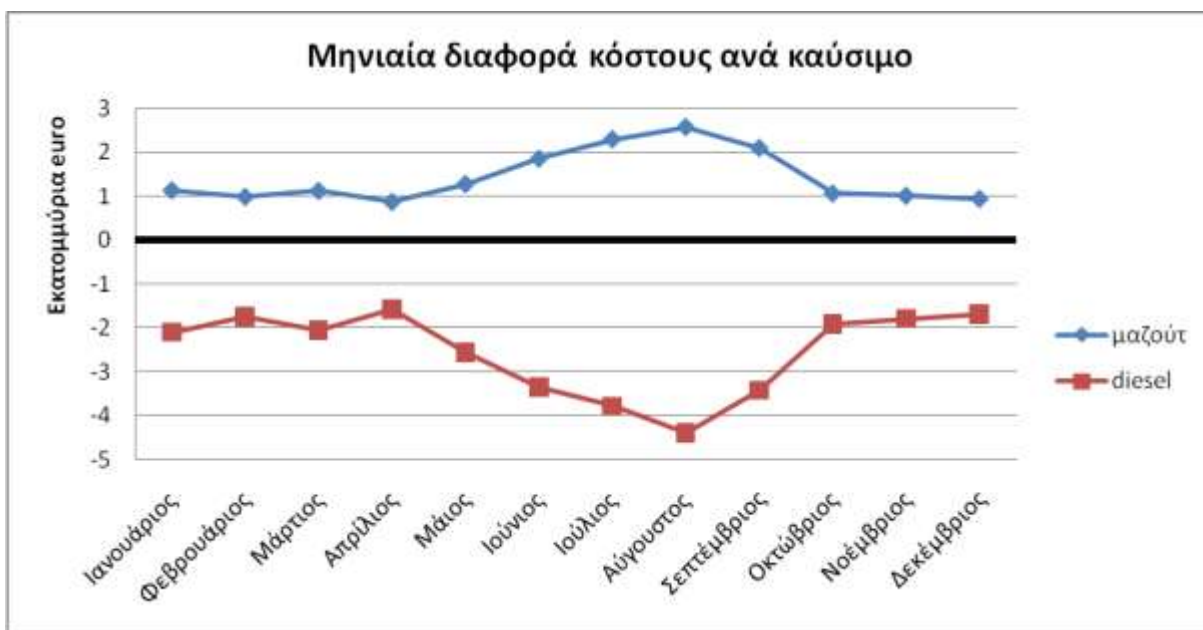


Εικόνα 4-28:Μηνιαίο κόστος ανά καύσιμο μετά την βελτιστοποίηση



Εικόνα 4-29:Μεταβολή κόστους ανά καύσιμο

Από αυτή την εικόνα φαίνεται ξεκάθαρα ότι επηρεάζεται το συνολικό κόστος καθώς μειώνεται αρκετά το κόστος του καυσίμου diesel ενώ αυξάνεται το κόστος του καυσίμου μαζούτ αλλά όχι τόσο πολύ. Αυτό που μένει να δούμε είναι κατά πόσο υπάρχει αυτή η μεταβολή ανά μήνα την οποία βλέπουμε στην Εικόνα 4-30.

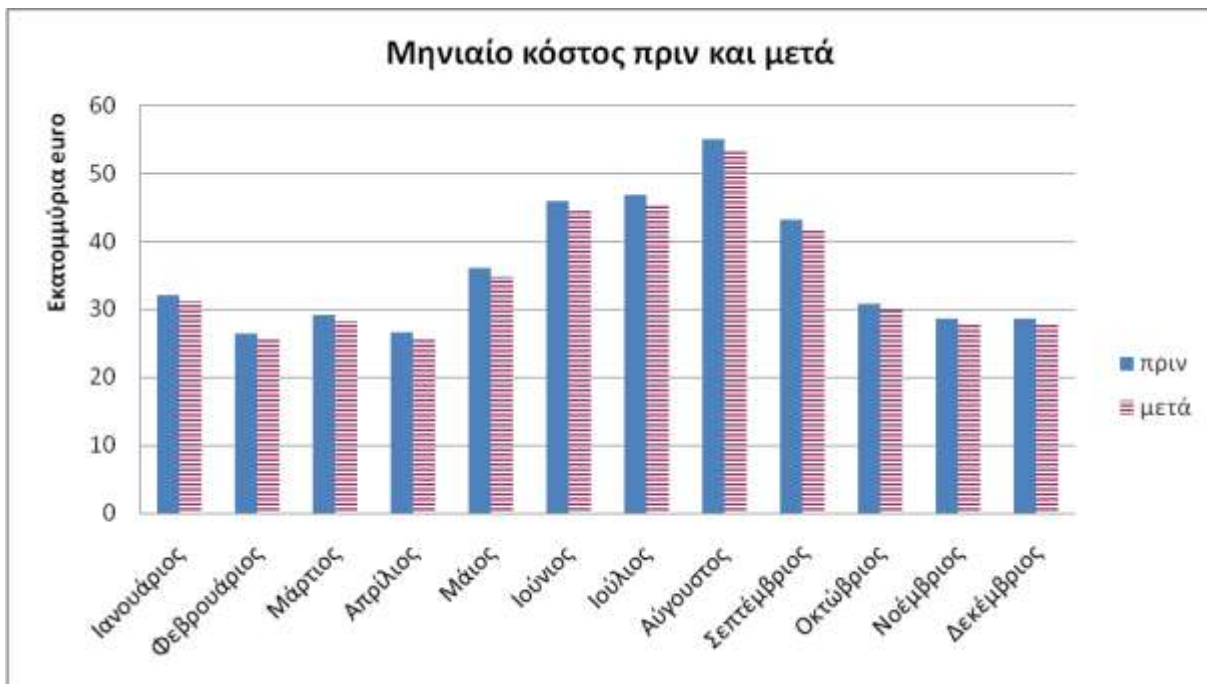


Εικόνα 4-30:Μηνιαία διαφορά κόστους ανά καύσιμο

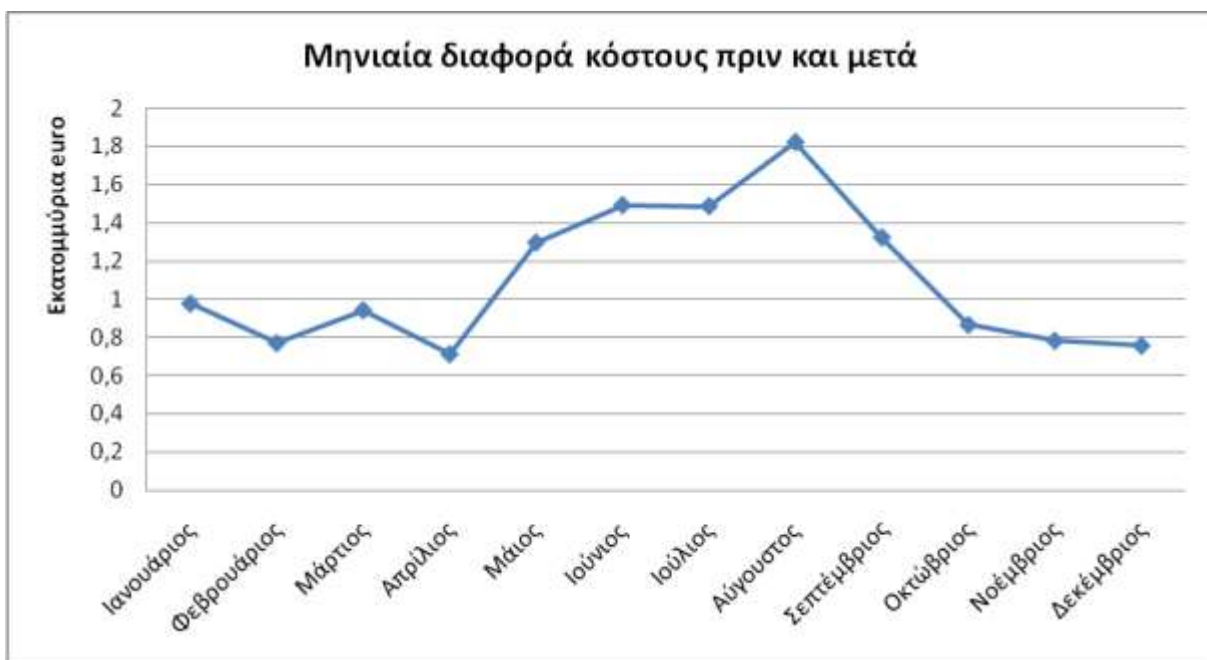
Από την εικόνα αυτή βλέπουμε πρώτον ότι την μεγαλύτερη διαφορά την έχουμε από Μάιο μέχρι και Σεπτέμβριο, δηλαδή τους μήνες που έχει περισσότερη ζέστη στην Κρήτη, και δεύτερον ότι η μείωση του κόστους του καυσίμου diesel είναι μεγαλύτερη από την αύξηση του κόστους του μαζούτ πράγμα που σημαίνει ότι το συνολικό κόστος του συστήματος μειώνεται.

Από τις τελευταίες εικόνες βλέπουμε ότι το συνολικό κόστος του Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας της Κρήτης μειώνεται οπότε μένει να δούμε σε ποιους μήνες επηρεάζεται πιο πολύ. Στην Εικόνα 4-31 βλέπουμε ανά μήνα πως διαμορφώνεται το συνολικό κόστος πριν

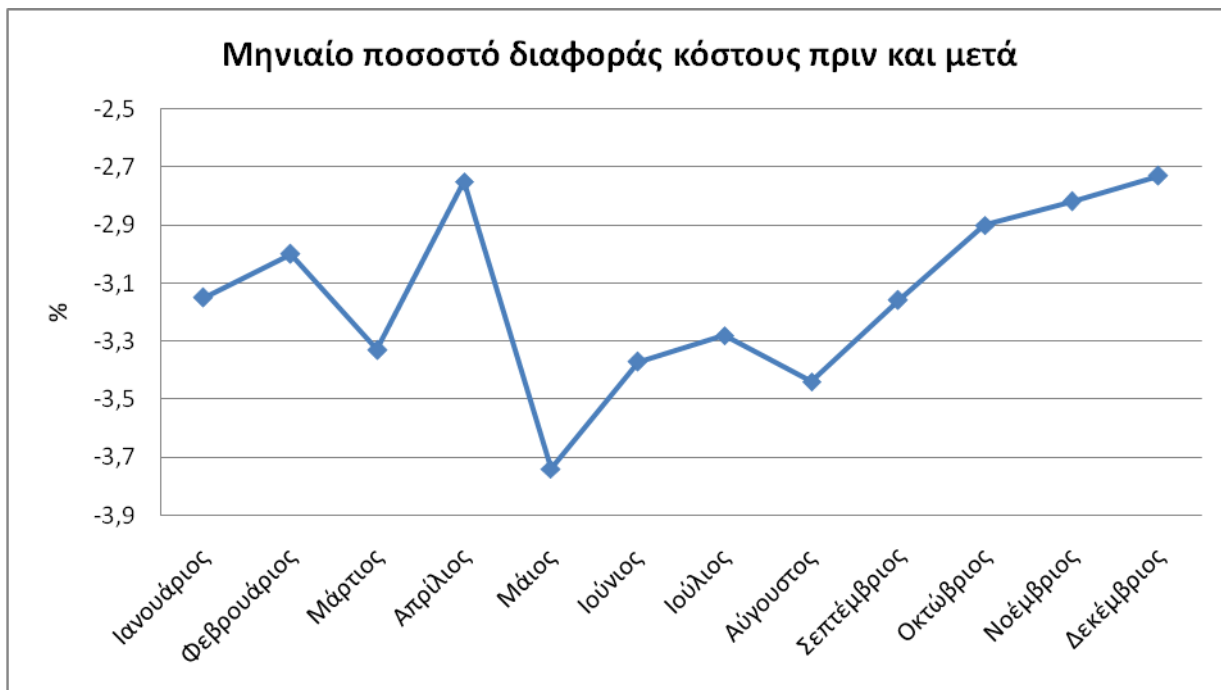
και μετά την βελτιστοποίηση. Από την εικόνα αυτή φαίνεται ξεκάθαρα ότι το συνολικό κόστος του συστήματος μειώνεται κάθε μήνα και η εξοικονόμηση που έχουμε ανά μήνα φαίνεται στην Εικόνα 4-32 ενώ το ποσοστό της διαφοράς αυτής στην Εικόνα 4-33.



Εικόνα 4-31:Μηνιαίο κόστος πριν και μετά την βελτιστοποίηση



Εικόνα 4-32:Μηνιαία διαφορά κόστους πριν και μετά την βελτιστοποίηση



Εικόνα 4-33:Μηνιαίο ποσοστό διαφοράς κόστους πριν και μετά την βελτιστοποίηση

Η συνολική εξοικονόμηση που έχουμε σε όλο το Σ.Η.Ε. της Κρήτης ανέρχεται στα 13,2 εκατομμύρια euro το χρόνο που αντιστοιχεί σε ποσοστό 3,18% βελτίωσης.

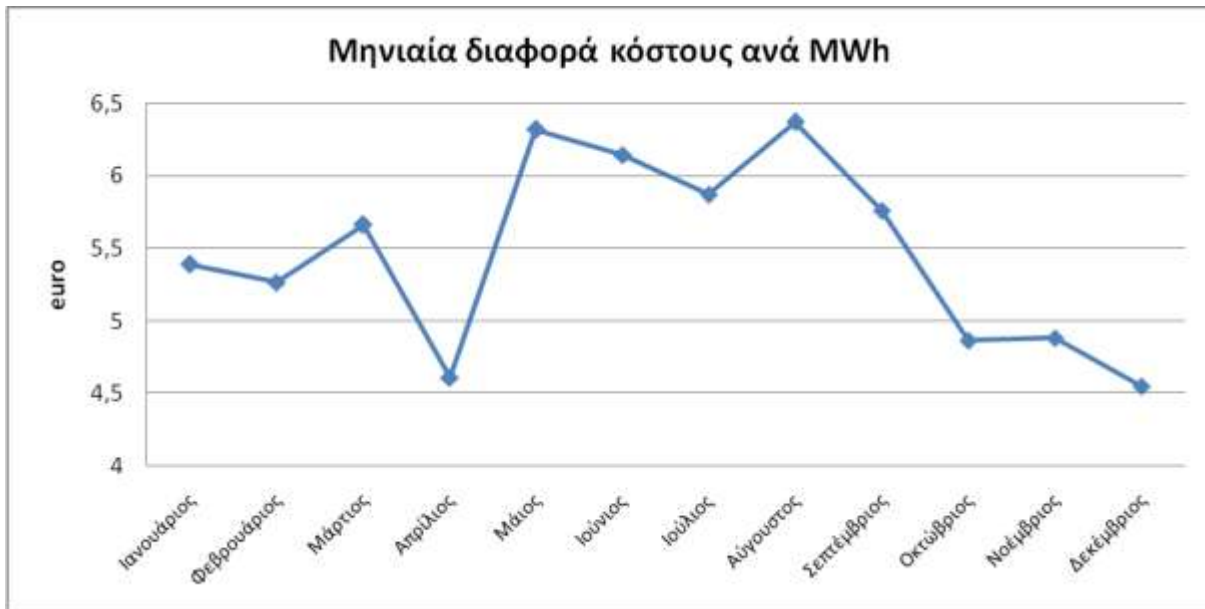
#### 4.1.4.1 Επίδραση στο κόστος ανά MWh

Από τις δύο παραπάνω εικόνες γίνεται σαφές ότι με την ανακατανομή φορτίου έχουμε αρκετά μεγάλα οφέλη κάθε μήνα και κυρίως του μήνες με την μεγαλύτερη μέση θερμοκρασία δηλαδή από τον Μάιο μέχρι και τον Σεπτέμβριο. Σε αυτό το σημείο θα εξετάσουμε πως αυτή η εξοικονόμηση χρημάτων επηρεάζει τον τελικό καταναλωτή εξετάζοντας πόσο αλλάζει η τιμή της MWh. Τα δεδομένα που πήραμε από τον αλγόριθμο ανακατανομής φαίνονται στον Πίνακα 4-19.

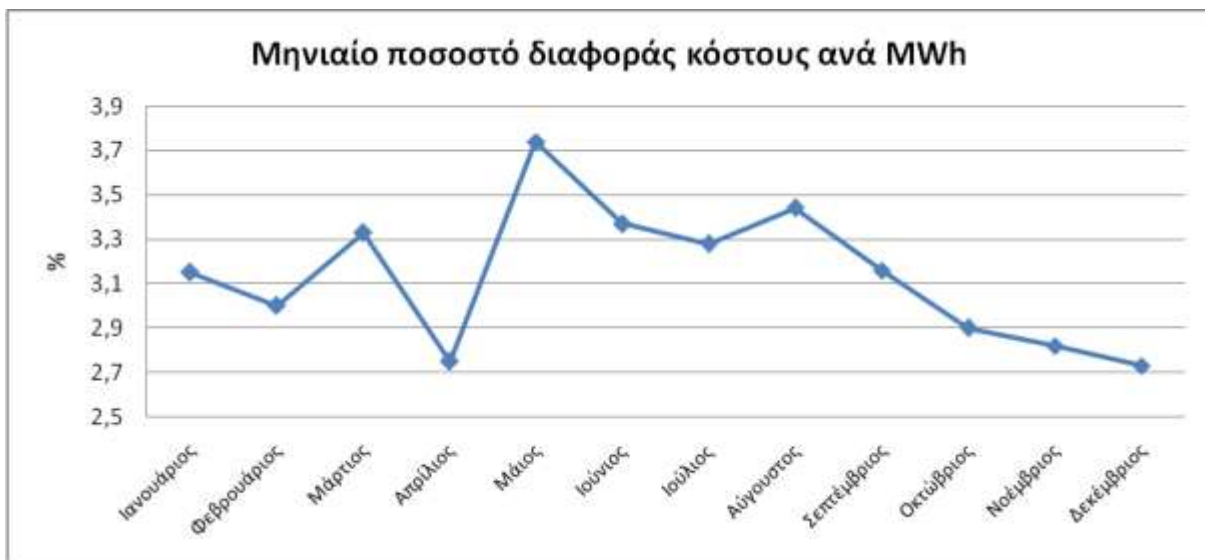
κόστος ανά MWh (€)	Πραγματική λειτουργία	Προτεινόμενη Λειτουργία
Ιανουάριος	176,6264919	171,2376708
Φεβρουάριος	180,7088979	175,4425554
Μάρτιος	175,6035044	169,9398675
Απρίλιος	172,5032711	167,8918012
Μάιος	175,4965296	169,1771719
Ιούνιος	188,4625011	182,3182827
Ιούλιος	184,8672932	178,9939768
Αύγουστος	191,6360789	185,2659816
Σεπτέμβριος	188,0381248	182,2763389
Οκτώβριος	172,8015414	167,9349041
Νοέμβριος	178,2400367	173,357997
Δεκέμβριος	171,527818	166,9772996
Σύνολο	180,9200188	175,3376558

Πίνακας 4-19:Δεδομένα κόστους ανά MWh

Η μηνιαία διαφορά στο κόστος ανά MWh φαίνεται στην Εικόνα 4-34 ενώ το ποσοστό της διαφοράς φαίνεται στην Εικόνα 4-35.



Εικόνα 4-34:Μηνιαία διαφορά κόστος ανά MWh



Εικόνα 4-35:Μηνιαίο ποσοστό διαφοράς κόστους παραγωγής ανά MWh

Από τις δύο αυτές εικόνες καθώς και από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι ο τελικός καταναλωτής δεν θα καταλάβει την διαφορά της ανακατανομής φορτίου καθώς το κόστος του θα μειωθεί τον χρόνο περίπου κατά 5,5 €, ενώ το ποσοστό της μεταβολής αυτής είναι 3,18%.

#### 4.1.4.2 Μεταβολή κόστους Συνδυασμένου Κύκλου

Σε αυτό το σημείο θα εξετάσουμε και το πως μεταβάλλεται το κόστος του Συνδυασμένου Κύκλου Χανίων καθώς είναι η βασική μονάδα που έχει αλλαγές στην παραγωγή και στην κατανάλωσή της που εντέλει επηρεάζει όλο το Σ.Η.Ε. της Κρήτης. Τα δεδομένα που πήραμε από τον αλγόριθμο για την παραγωγή του Συνδυασμένου Κύκλου φαίνονται στον Πίνακα 4-20.

κόστος Συνδυασμένου (€)	Πραγματική λειτουργία	Προτεινόμενη Λειτουργία
Ιανουάριος	8014556,549	6765509,857
Φεβρουάριος	7234912,457	6148163,743
Μάρτιος	7943398	6673226,366
Απρίλιος	7374822,537	6197485,299
Μάιος	4493228,29	4002045,237
Ιούνιος	10696551,97	9487083,375
Ιούλιος	15934548,54	13525216,94
Αύγουστος	15602105,48	13707729,57
Σεπτέμβριος	16004145,12	13746855,41
Οκτώβριος	8695403,64	7290906,032
Νοέμβριος	7897009,906	6701553,623
Δεκέμβριος	7943327,791	6593484,092
Σύνολο	117834010,3	100839259,5

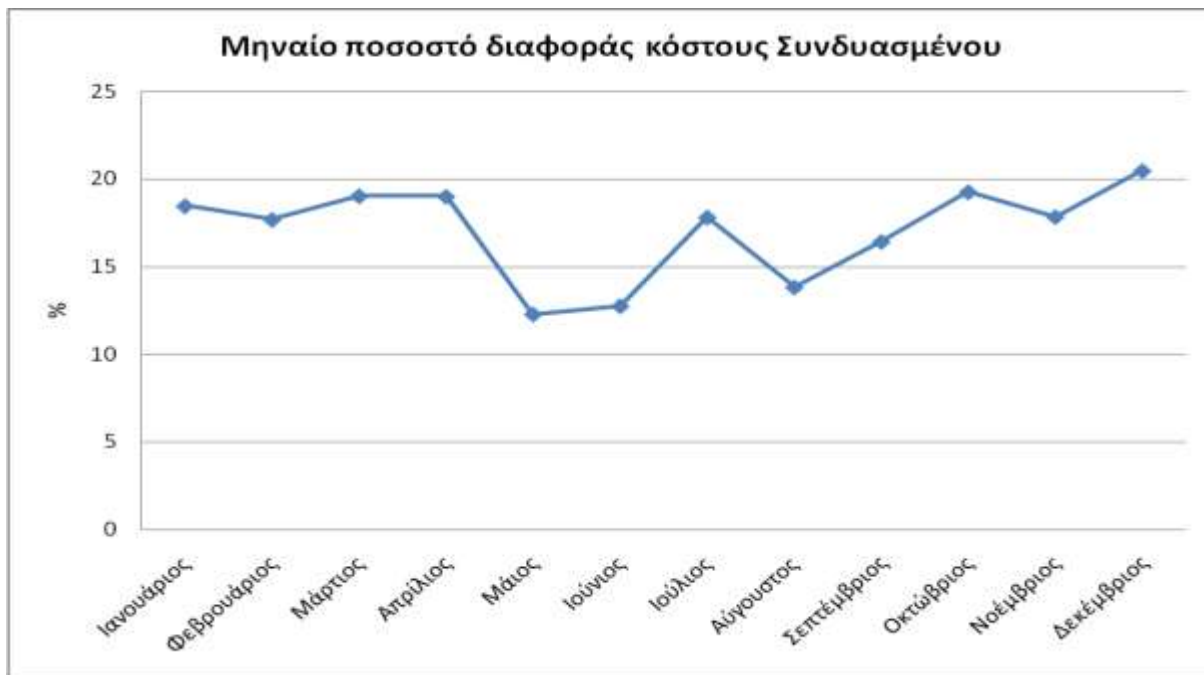
Πίνακας 4-20:Κόστος Συνδυασμένου Κύκλου

Από τον πίνακα παρατηρούμε ότι μετά την ανακατανομή φορτίου το κόστος του Συνδυασμένου μειώνεται κατά 16994750,8 € το οποίο είναι ένα πολύ μεγάλο ποσό και αντιστοιχεί σε ποσοστό διαφοράς ίσο με 16,85%. Στην Εικόνα 4-36 βλέπουμε πως προκύπτει αυτή η μεταβολή του κόστους του Συνδυασμένου από μήνα σε μήνα και στην Εικόνα 4-37 το ποσοστό της μεταβολής αυτής.



Εικόνα 4-36:Μηνιαία διαφορά κόστους Συνδυασμένου





Εικόνα 4-37:Μηνιαίο ποσοστό διαφοράς κόστους Συνδυασμένου

Από τις δύο αυτές εικόνες φαίνεται καθαρά ότι μετά την ανακατανομή φορτίου εξοικονομούνται για το Σ.Η.Ε. Κρήτης πολλά χρήματα μόνο από την μείωση της παραγωγής του Συνδυασμένου.

#### 4.1.5 Μεταβολή Ρύπων συστήματος

Εκτός από την μεταβολή που έχουμε στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, στην κατανάλωση καυσίμου και στο κόστος του συστήματος έχουμε και μεταβολή στους ρύπους που εξάγουν οι μονάδες από την λειτουργία τους. Οι κυριότεροι τύποι ρύπων που παράγουν οι μονάδες είναι το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), οξείδια του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ), διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ ) και διάφορα σωματίδια.

Οι ρύποι των μονάδων είναι άμεσα συνδεδεμένοι με την παραγωγή τους και διαφορετικοί για κάθε είδος μονάδας και τους υπολογίσαμε με τα δεδομένα του Πίνακα 4-21.

Ρύπος Τύπος Μονάδας	$\text{CO}_2$	$\text{NO}_x$	$\text{SO}_2$	Σωματίδια
Ατμοστρόβιλοι	964.7	1.09	17.50	0.59
Diesel	545	10.5	10.2	0.35
Συνδυασμένος Κύκλος	632.59	1.21	0.206	0.309
Παλιοί Αεριοστρόβιλοι	1230	2.35	0.42	0.6
Νέοι Αεριοστρόβιλοι	861	1.65	0.28	0.42

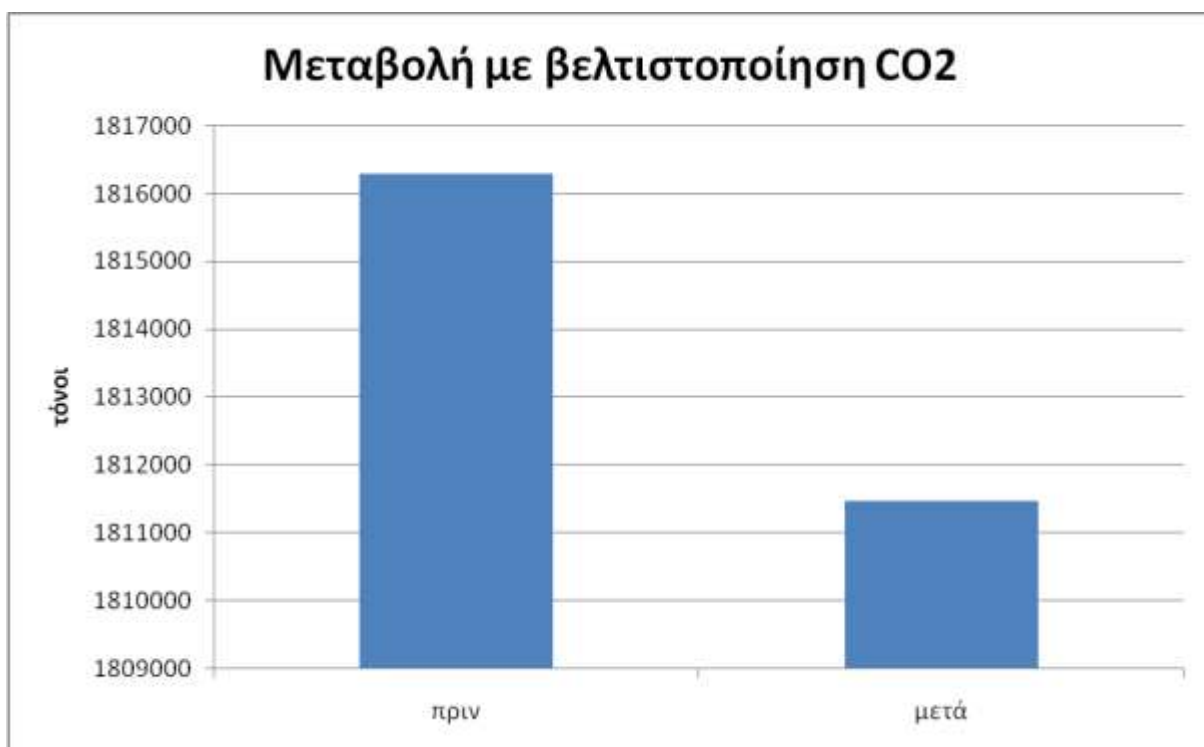
Πίνακας 4-21: Συντελεστές Εκπομπής Ρύπων ανά τύπο καυσίμου στο ΣΗΕ Κρήτης (kg/MWh)

Κάνοντας λοιπόν του απαραίτητους υπολογισμούς βρήκαμε του συνολικούς ρύπους που παράγονται από κάθε γεννήτρια όπως φαίνονται στον Πίνακα 4-22.

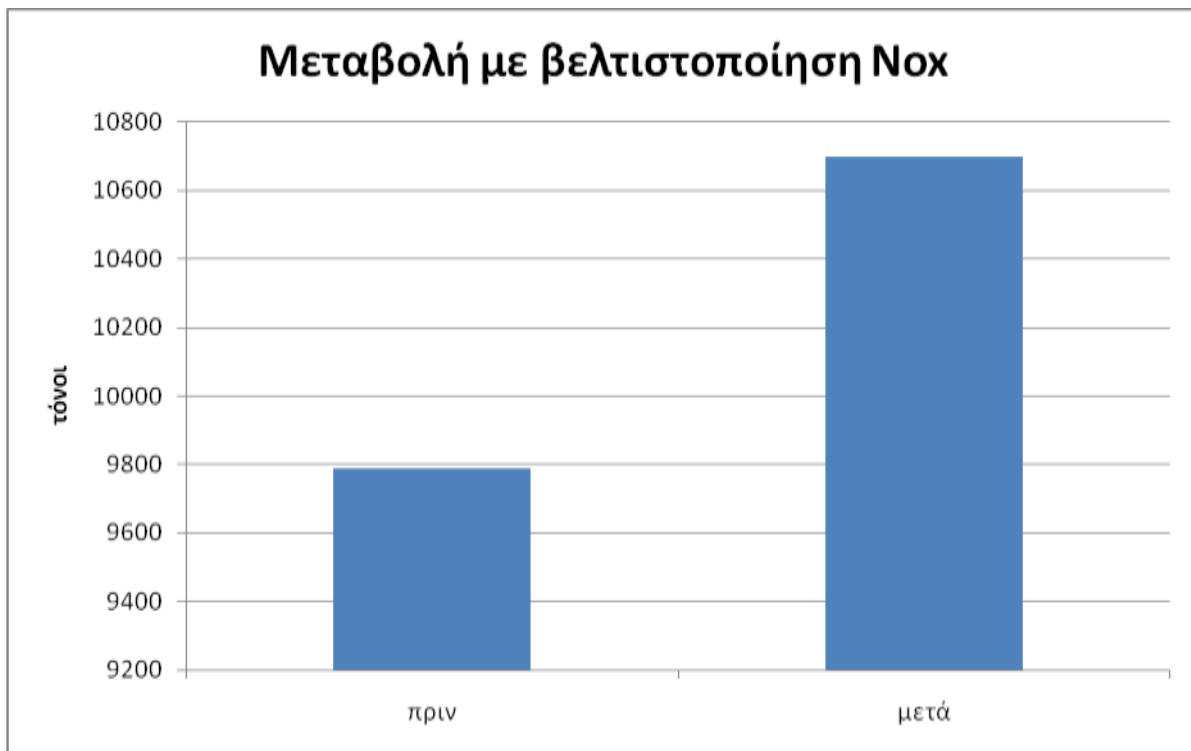
Ρύποι (τόνοι)	Πραγματική λειτουργία	Προτεινόμενη Λειτουργία
CO <sub>2</sub>	1816295,2	1811467,269
No <sub>x</sub>	9787,0957	10697,11423
SO <sub>2</sub>	25007,425	26986,80492
Σωματίδια	1068,4161	1080,828603

Πίνακας 4-22: Συνολικοί ρύποι Σ.Η.Ε. Κρήτης

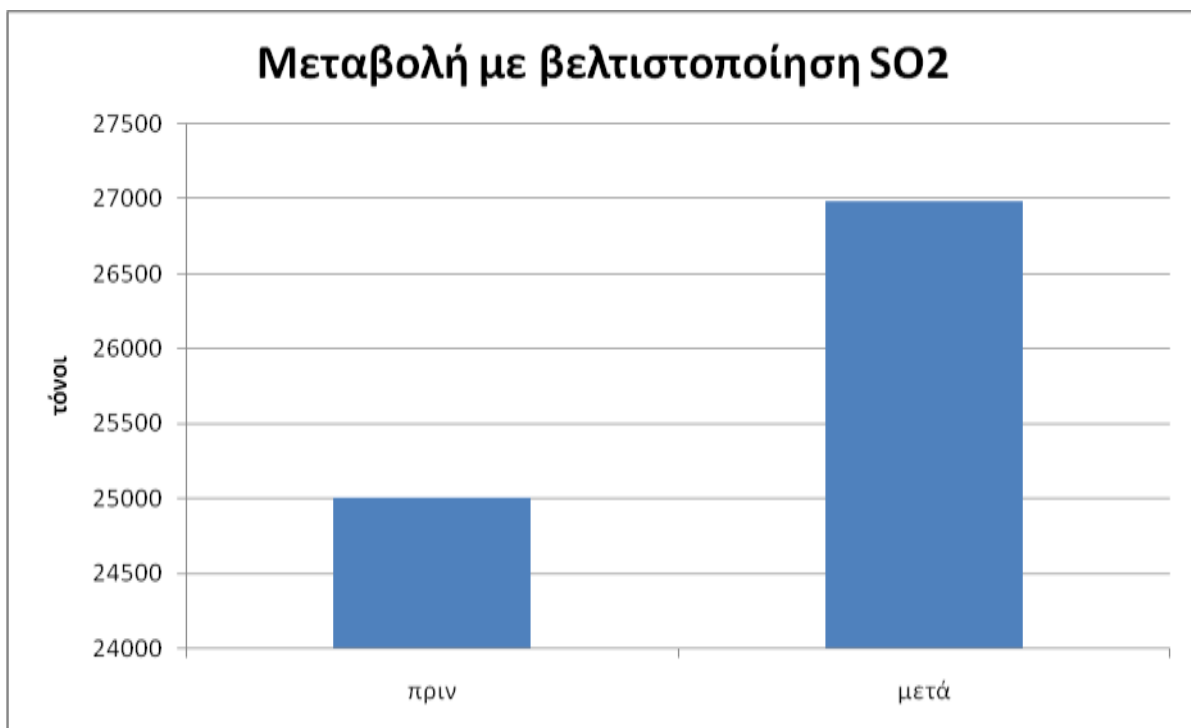
Από τον πίνακα βλέπουμε ότι για όλο τον χρόνο έχουμε αρκετούς ρίπους και ότι μετά την βελτιστοποίηση υπάρχουν διαφορές στους ρύπους αυτούς οι οποίες φαίνονται πιο αναλυτικά στις Εικόνα 4-38, Εικόνα 4-39, Εικόνα 4-40, Εικόνα 4-41.



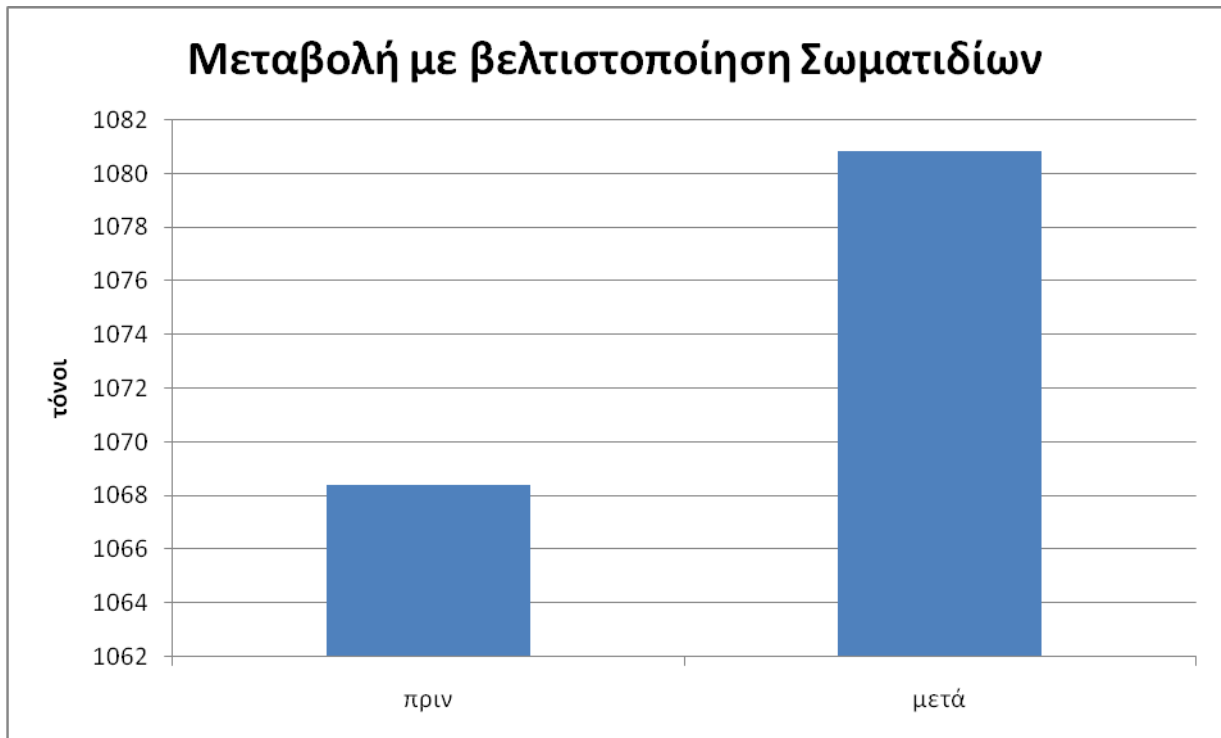
Εικόνα 4-38:Μεταβολή ρύπων CO<sub>2</sub>



Εικόνα 4-39:Μεταβολή ρύπων NOx



Εικόνα 4-40:Μεταβολή ρύπων SO<sub>2</sub>



Εικόνα 4-41:Μεταβολή ρύπων Σωματιδίων

Στις εικόνες αυτές βλέπουμε ότι οι συνολικοί ρύποι του συστήματος μειώθηκαν μετά την ανακατανομή του φορτίου στις γεννήτριες καθώς και ότι υπάρχουν μεταβολές στην ποσότητα των ρύπων που είχαμε πριν και μετά την βελτιστοποίηση. Πιο συγκεκριμένα στην Εικόνα 4-42 φαίνονται πιο καθαρά αυτές οι μεταβολές καθώς και στην Εικόνα 4-43 όπου φαίνεται το ποσοστό της μεταβολής αυτής.



Εικόνα 4-42:Διαφορά ρύπων πριν και μετά την βελτιστοποίηση



Εικόνα 4-43: Ποσοστιαία διαφορά ρύπων με βελτιστοποίηση

Από τις παραπάνω εικόνες βλέπουμε ότι μειώνεται κατά πολύ η ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα που βγαίνει από το σύστημα αλλά αυξάνονται οι ρύποι μονοξειδίου του αζώτου και του διοξειδίου του θείου. Αυτό συμβαίνει κυρίως γιατί όπως είπαμε και στο κεφάλαιο 4.1.3 μειώνεται η κατανάλωση καυσίμου diesel, που με την καύση του παράγει περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα, και αυξάνεται η κατανάλωση καυσίμου μαζούτ, το οποίο παράγει εκτός από διοξείδιο του άνθρακα και τους ρύπους άλλου τύπου.

## 4.2 Επίπτωση ακριβέστερης γνώσης εξίσωσης κατανάλωσης καυσίμου

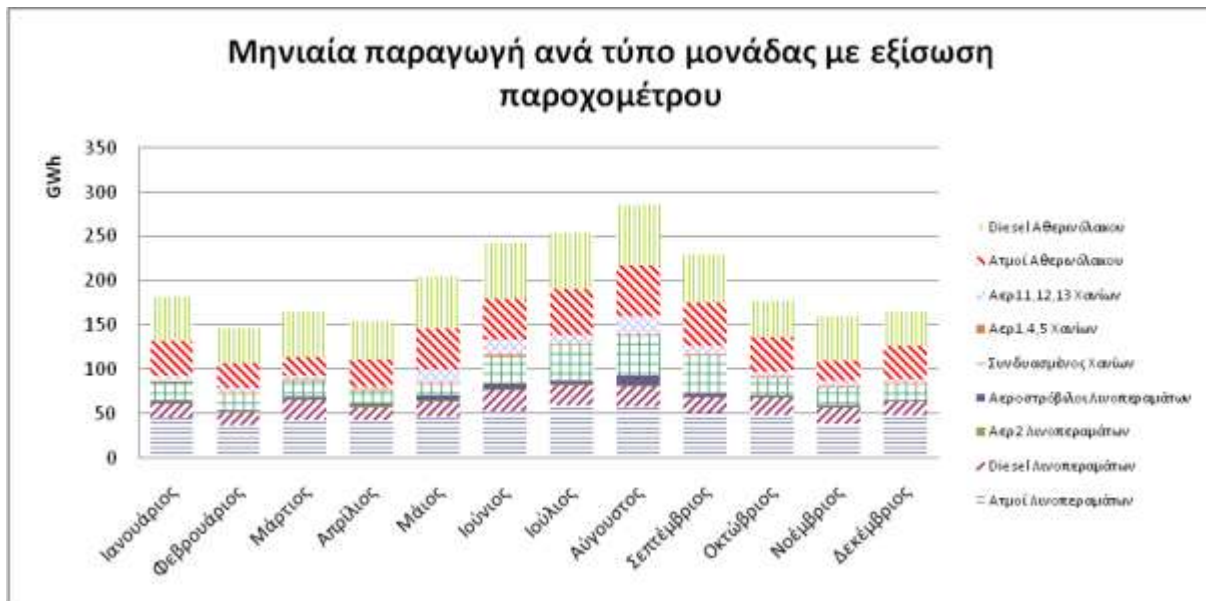
Σε γενικές γραμμές η καλύτερη εκτίμηση της εξίσωσης κατανάλωσης καυσίμου μπορεί να επιφέρει πολλές επιδράσεις σε ένα Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας καθώς αλλάζει η παραγωγή των θερμικών μονάδων που είναι η βάση του συστήματος. Αυτό που κυρίως πρέπει να εξετάσουμε εμείς είναι κατά πόσο επηρεάζει η καινούργια εξίσωση την παραγωγή στους σταθμούς παραγωγής, στις μονάδες, καθώς και πως μεταβάλλεται η κατανάλωση και παράλληλα το κόστος λειτουργίας των μονάδων. Αυτό που μας ενδιαφέρει κυρίως είναι να δούμε αν η ανακατανομή φορτίου στηριζόμενη στην δική μας εξίσωση κατανάλωσης του Συνδυασμένου οδηγεί σε καλύτερα αποτελέσματα από ότι αυτή την οποία βελτιώσαμε καθώς επίσης και ποια είναι η αξία της προσπάθειας γνώσης της σωστής εξίσωσης κατανάλωσης καυσίμου.

### 4.2.1 Μεταβολή παραγωγής Μονάδων

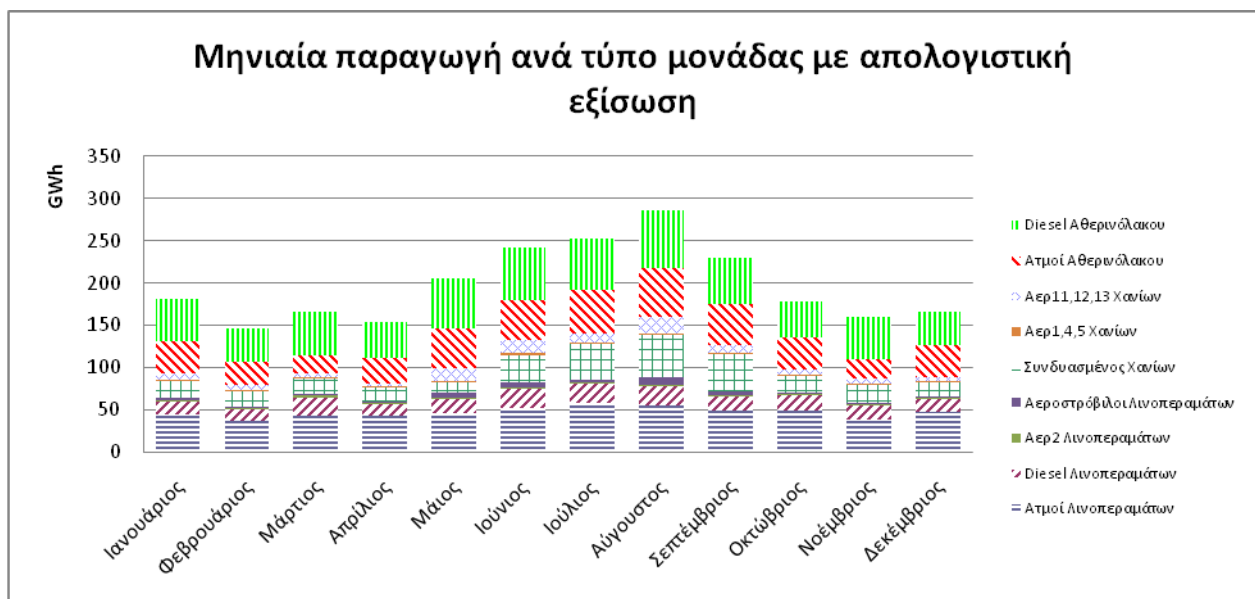
Ξεκινάμε την μελέτη μας βλέποντας πως επηρεάζει η καινούργια εξίσωση, που βγήκε από τα δεδομένα των παροχομέτρων, την παραγωγή των μονάδων. Για να μελετήσουμε αν υπάρχει μεταβολή κάναμε ότι και στο κεφάλαιο 4.1.1 δηλαδή πρώτα ελέγξαμε ποιες μονάδες έχουν μεταβολή και μετά πως η μεταβολή αυτή επηρεάζει την παραγωγή ανά είδος μονάδας.

#### 4.2.1.1 Μεταβολή παραγωγής κατά ομάδες μονάδων

Αρχίζοντας την μελέτη μας πρέπει να προσδιορίσουμε πως επηρεάζει η εξίσωση παροχομέτρου την παραγωγή των μονάδων. Για το λόγο αυτό θα μελετήσουμε την παραγωγή των μονάδων ανά είδος για να δούμε πως αλλάζει η παραγωγή τους οπότε θα αρχίσουμε με να δούμε ποιες μονάδες είναι αυτές που παράγουν περισσότερο όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4-44. Από την εικόνα παρατηρούμε ότι οι μονάδες που έχουν την μεγαλύτερη συμμετοχή στην κάλυψη του φορτίου είναι οι μονάδες του Αθερινόλακου, οι ατμοστρόβιλοι των Λινοπεραμάτων και ο Συνδυασμένος Κύκλος των Χανίων ενώ με την απολογιστική εξίσωση, που φαίνεται στην Εικόνα 4-45, υπάρχουν διαφορές που δεν είναι διακριτές.



Εικόνα 4-44:Μηνιαία παραγωγή ανά τύπο μονάδας με την εξίσωση παροχομέτρου

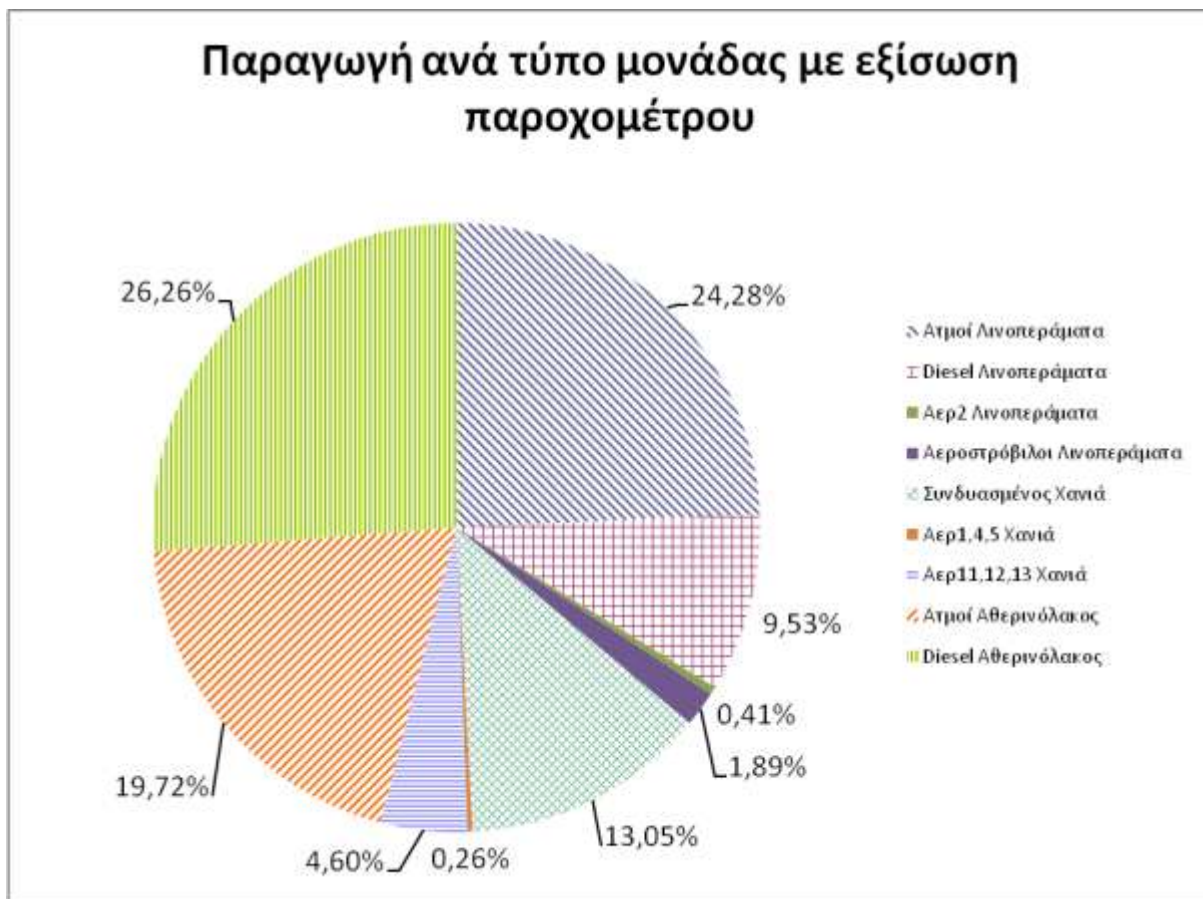


Εικόνα 4-45:Μηνιαία παραγωγή ανά τύπο μονάδας με την απολογιστική εξίσωση

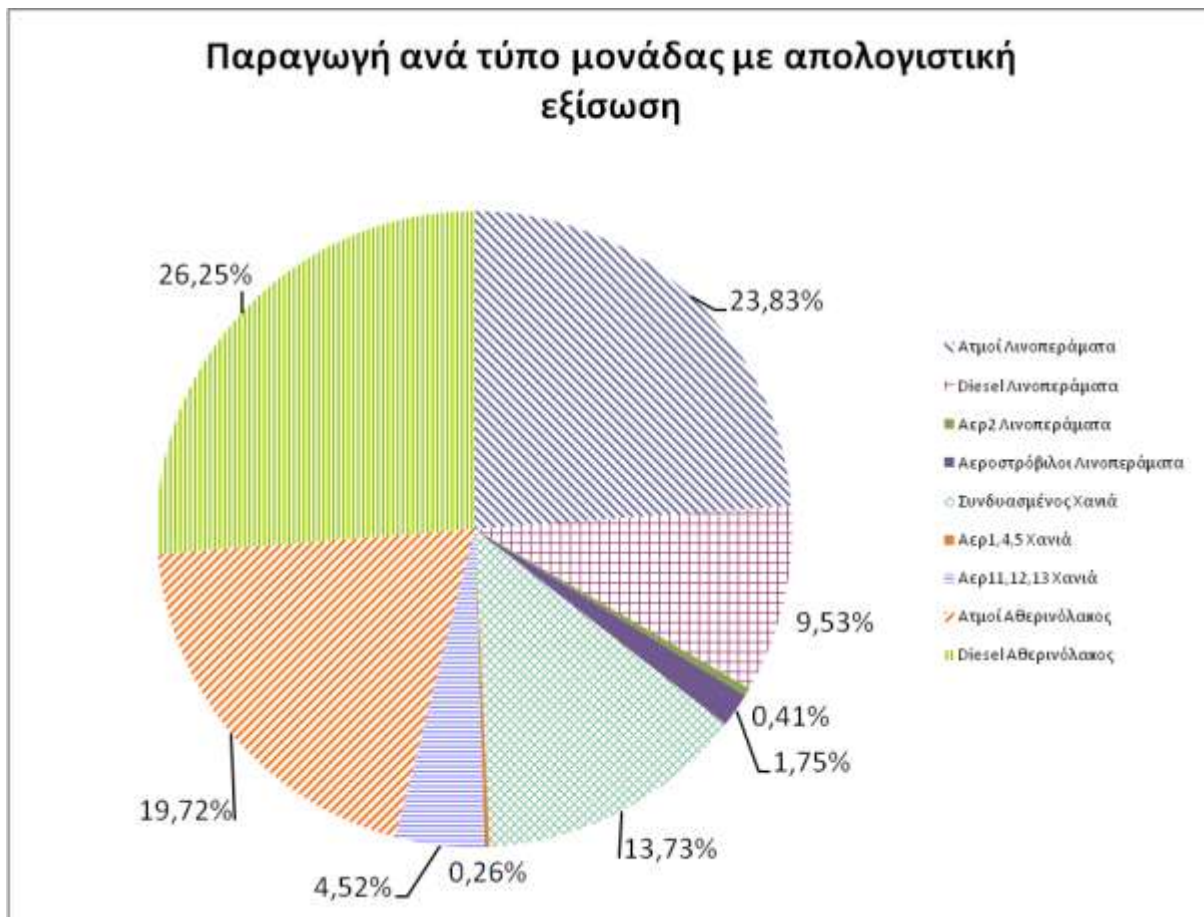
Για να δούμε που ακριβώς διαφέρουν οι δύο εξισώσεις βρίσκουμε πως κατανέμεται το φορτίο με την καινούργια εξίσωση, που φαίνεται στην Εικόνα 4-46, και πως με την



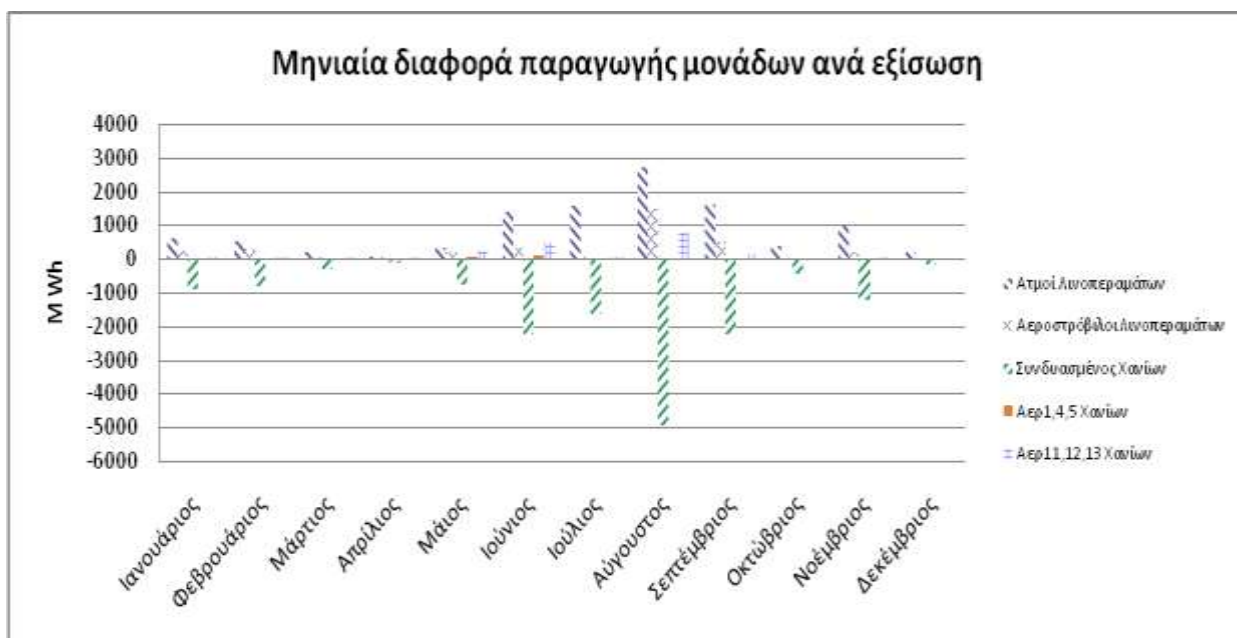
απολογιστική, που φαίνεται στην Εικόνα 4-47. Σε αυτές τις δύο εικόνες φαίνεται καλύτερα οι διαφορές που έχουν οι δύο εξισώσεις που έγκειται στο γεγονός ότι με την εξίσωση παροχομέτρου μειώνεται η παραγωγή του Συνδυασμένου και μοιράζεται κυρίως στις ατμομονάδες και τους αεροστρόβιλους των Λινοπεραμάτων. Επίσης υπάρχουν και άλλες μικροαλλαγές που οφείλονται στο γεγονός της αλλαγής εξίσωσης κατανάλωσης του Συνδυασμένου. Αυτή η μετατόπιση της παραγωγής γίνεται πιο κατανοητή αν δούμε την μηνιαία διαφορά στην κατανομή των μονάδων στην Εικόνα 4-49 και το ποσοστό αυτής της μεταβολής στην Εικόνα 4-50.



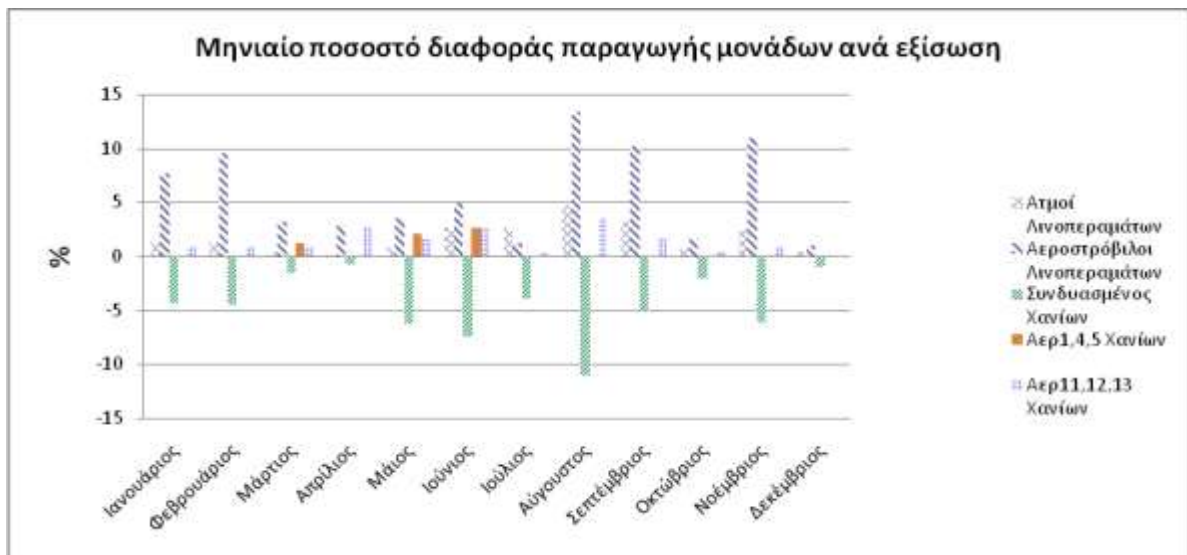
Εικόνα 4-46: Παραγωγή ανά τύπο μονάδας μετά την ανακατανομή με εξίσωση παροχομέτρου



Εικόνα 4-47: Παραγωγή ανά τύπο μονάδας μετά την ανακατανομή με απολογιστική εξίσωση

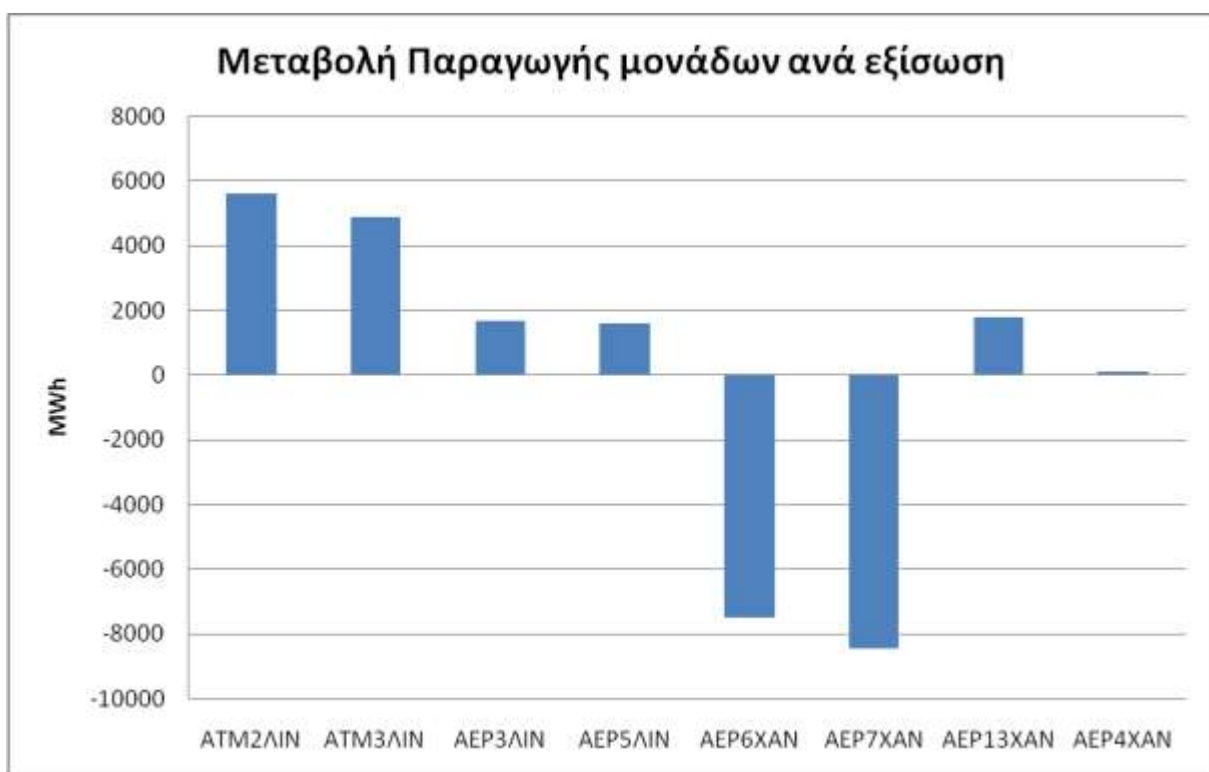


Εικόνα 4-48: Μηνιαία Διαφορά παραγωγής μονάδων ανά εξίσωση

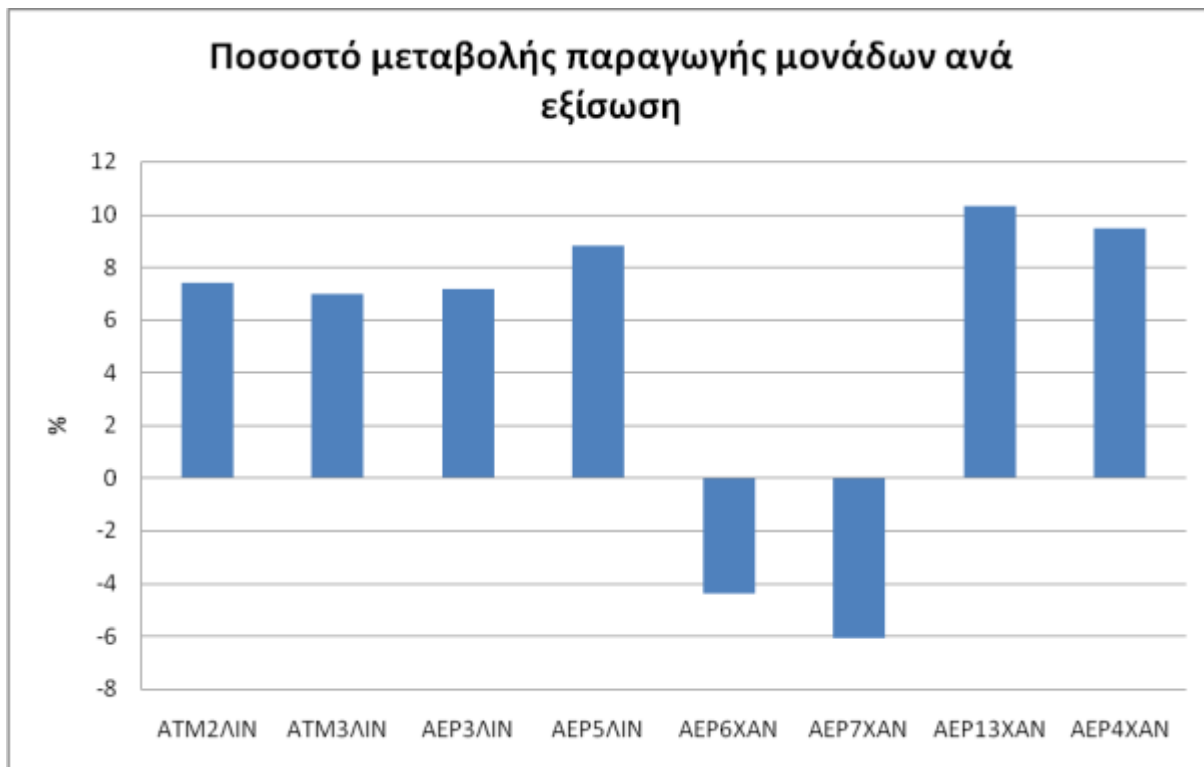


Εικόνα 4-49:Μηνιαίο ποσοστό διαφοράς παραγωγής μονάδων ανά εξίσωση

Από τις παραπάνω εικόνες φαίνεται καθαρά ότι η κύρια παραγωγή που μειώνεται από τον Συνδυασμένο Κύκλο μοιράζεται κυρίως στις ατμομονάδες και στους αεροστροβίλων των Λινοπεραμάτων και λιγότερο στους παλιούς αεροστροβίλους των Χανίων. Συγκεκριμένα στην Εικόνα 4-50 φαίνεται ότι η παραγωγή των μονάδων του Συνδυασμένου μεταφέρεται κυρίως στους ατμοστροβίλους 2 και 3, αεροστροβίλους 3 και 5 Λινοπεραμάτων και αεροστροβίλου 4 και 13 Χανίων. Το ποσοστό της μεταβολής της παραγωγής των μονάδων αυτών φαίνεται στην Εικόνα 4-51.



Εικόνα 4-50:Μεταβολή παραγωγής μονάδων ανά εξίσωση



Εικόνα 4-51: Ποσοστό μεταβολής παραγωγής μονάδων ανά εξίσωση

Από τις παραπάνω εικόνες γίνεται σαφές ότι η ανακατανομή με την εξίσωση παροχομέτρου στοχεύει κυρίως στην μείωση της παραγωγής του Συνδυασμένου, καθώς η εξίσωση παροχομέτρου κάνει πιο ακριβή την μονάδα, και στην αύξηση των μονάδων που είναι πιο φθηνές όπως οι ατμοστρόβιλοι και οι καινούργιοι αεροστρόβιλοι. Πιο συγκεκριμένα οι ατμοστρόβιλοι καλύπτουν την μείωση της παραγωγής του Συνδυασμένου Κύκλου κατά 66% ενώ το υπόλοιπο το αναλαμβάνουν οι αεροστρόβιλοι.

#### 4.2.1.2 Μεταβολή παραγωγής είδος μονάδων

Για να εξετάσουμε πως επηρεάζεται η παραγωγή ανά είδος μονάδας, μετά τις μεταβολές που είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, χωρίσαμε τις μονάδες σε ατμομονάδες, αεροστρόβιλους, diesel και Συνδυασμένο Κύκλο. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήσαμε για τις ατμομονάδες φαίνονται στον Πίνακα 4-23, για τους αεροστρόβιλους στον Πίνακα 4-24, για τις μονάδες diesel στον Πίνακα 4-25 και του Συνδυασμένου στον Πίνακα 4-26.

Ατμομονάδες (MWh)	παροχομέτρου	απολογιστική
Ιανουάριος	84538,69842	83935,82936
Φεβρουάριος	65007,79459	64507,52305
Μάρτιος	63781,13079	63592,25576
Απρίλιος	74436,44577	74396,9223
Μάιος	93670,00976	93331,3769
Ιούνιος	99578,38016	98178,88105
Ιούλιος	111112,6786	109561,0823
Αύγουστος	115092,6352	112383,3705
Σεπτέμβριος	99446,04735	97880,8082
Οκτώβριος	87840,65842	87446,59248
Νοέμβριος	61583,05107	60589,7792
Δεκέμβριος	85688,61218	85498,69811
Σύνολο	1041776,142	1031303,119

Πίνακας 4-23: Παραγωγή Ατμομονάδων

Αεροστρόβιλοι (MWh)	παροχομέτρου	απολογιστική
Ιανουάριος	10912,71437	10623,641
Φεβρουάριος	9332,923798	9017,238
Μάρτιος	8765,965348	8655,843
Απρίλιος	5435,825983	5335,734
Μάιος	23559,89393	23116,47
Ιούνιος	27375,82344	26543,943
Ιούλιος	15504,88162	15413,42
Αύγουστος	34279,6292	32030,064
Σεπτέμβριος	14861,32646	14207,736
Οκτώβριος	6485,756784	6440,377
Νοέμβριος	8495,226378	8236,481
Δεκέμβριος	4597,621006	4589,435
Σύνολο	169607,5883	164210,382

Πίνακας 4-24: Παραγωγή Αεροστροβίλων

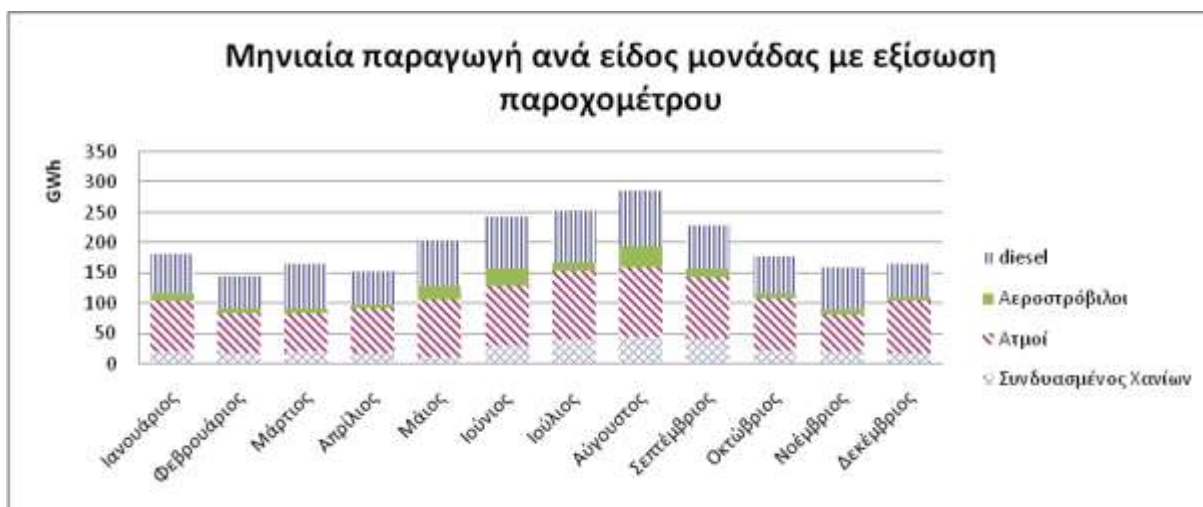
diesel (MWh)	παροχομέτρου	απολογιστική
Ιανουάριος	65281,18223	65281,41429
Φεβρουάριος	53266,7719	53265,32892
Μάρτιος	73977,87149	73973,88763
Απρίλιος	56196,58369	56195,7268
Μάιος	75224,07333	75224,06259
Ιούνιος	86001,96385	86001,95153
Ιούλιος	85201,03093	85201,03252
Αύγουστος	92051,95764	92052,27878
Σεπτέμβριος	72387,74638	72381,52632
Οκτώβριος	61711,14236	61711,12779
Νοέμβριος	69440,04381	69439,02623
Δεκέμβριος	56545,4246	56545,43305
Σύνολο	847285,7922	847272,7965

Πίνακας 4-25: Παραγωγή μονάδων diesel

Συνδυασμένος (MWh)	παροχομέτρου	απολογιστική
Ιανουάριος	20424,46499	21316,17536
Φεβρουάριος	18345,36973	19162,77
Μάρτιος	19654,91238	19957,89361
Απρίλιος	17989,14458	18129,61689
Μάιος	12567,43298	13349,50052
Ιούνιος	29893,80255	32125,19441
Ιούλιος	41410,45885	43053,51518
Αύγουστος	44663,30797	49621,81673
Σεπτέμβριος	42875,44982	45100,49948
Οκτώβριος	21557,08247	21996,54275
Νοέμβριος	20481,95876	21734,9936
Δεκέμβριος	19240,83225	19438,92385
Σύνολο	309104,2173	324987,4424

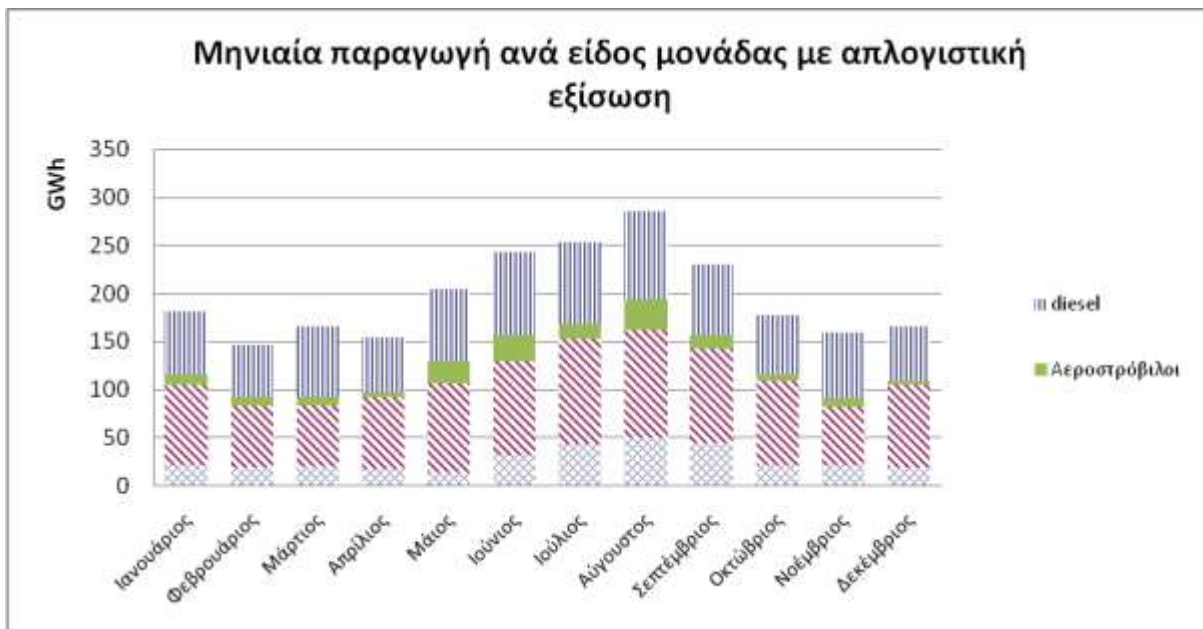
Πίνακας 4-26: Παραγωγή Συνδυασμένου Κύκλου Χανίων

Από του πίνακες αυτούς παρατηρούμε ότι την μεγαλύτερη παραγωγή την έχουν οι ατμομονάδες με τις μονάδες diesel και ακολουθούν ο Συνδυασμένος Κύκλος και μετά οι αεροστρόβιλοι. Αυτό το μέγεθος της παραγωγής μπορεί να γίνει πιο κατανοητό στην Εικόνα 4-52 όπου βλέπουμε την συμβολή του κάθε είδους μονάδας στην κάλυψη του φορτίου με την καινούργια εξίσωση ενώ στην Εικόνα 4-53 με την απολογιστική.



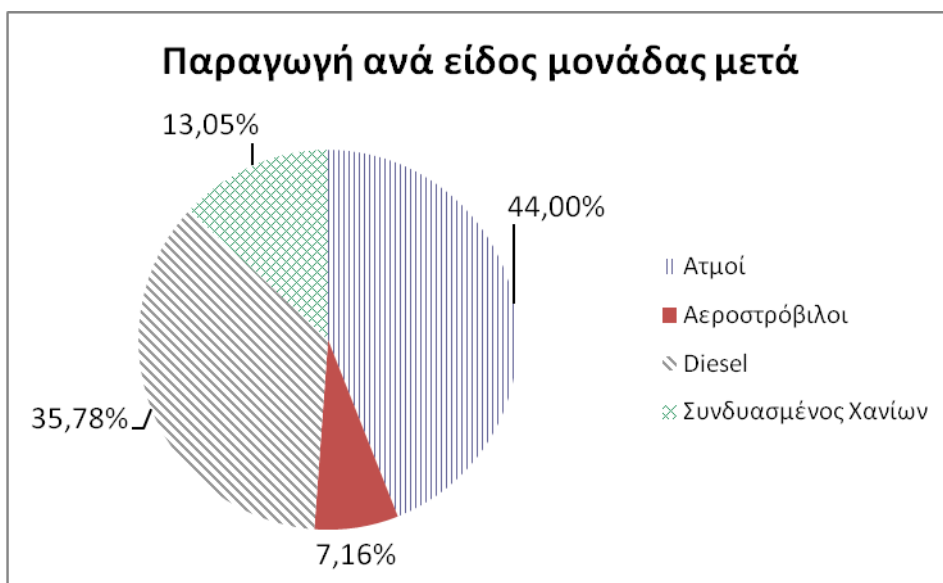
Εικόνα 4-52: Μηνιαία παραγωγή ανά είδος μονάδας



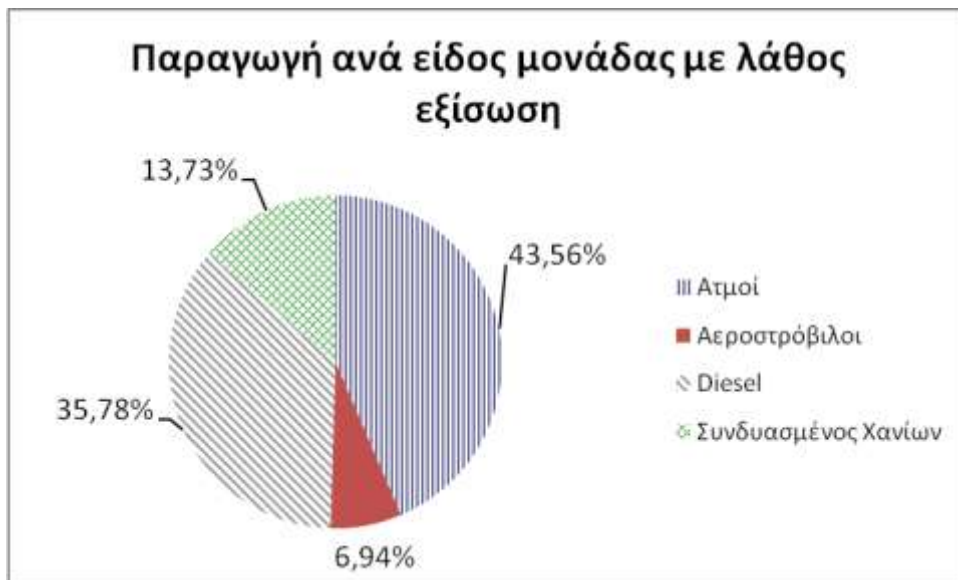


Εικόνα 4-53:: Μηνιαία παραγωγή ανά είδος μονάδας με απολογιστική εξίσωση

Από τις δύο παραπάνω εικόνες φαίνεται ότι η ανακατανομή με βάση τις δύο εξισώσεις δεν έχει μεγάλες διαφορές. Οι διαφορές υπάρχουν κυρίως στην παραγωγή του Συνδυασμένου και των ατμομονάδων. Στην Εικόνα 4-54 βλέπουμε πως κατανέμεται η παραγωγή με την εξίσωση παροχομέτρων ενώ στην Εικόνα 4-55 βλέπουμε πως κατανέμεται η παραγωγή με την απολογιστική εξίσωση.



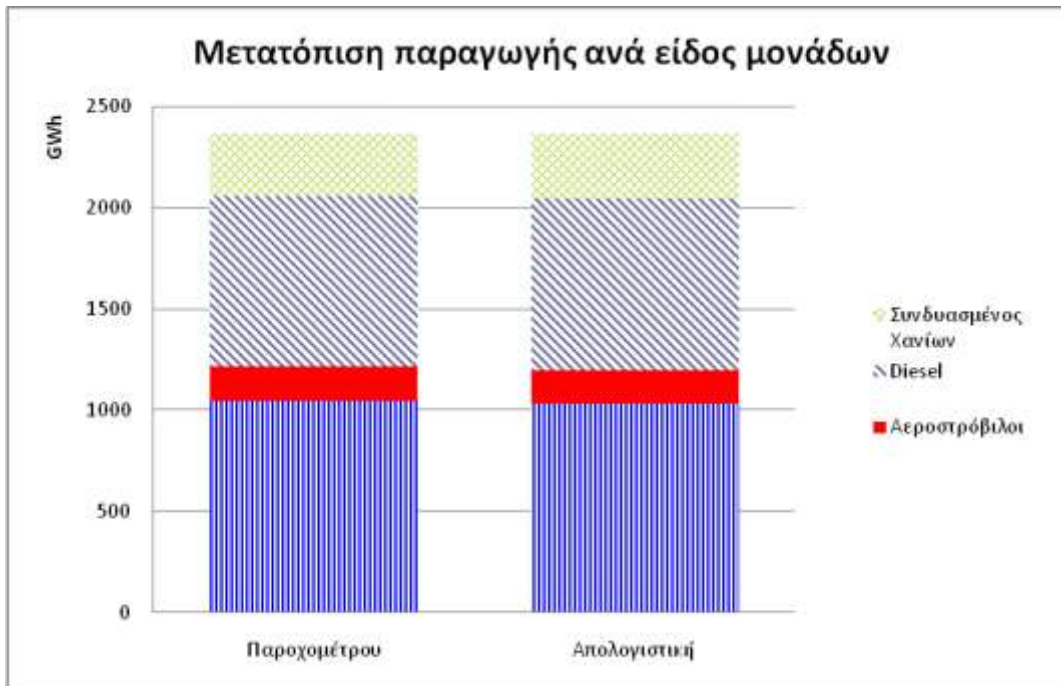
Εικόνα 4-54: Παραγωγή ανά είδος μονάδας μετά την ανακατανομή με την εξίσωση παροχομέτρου



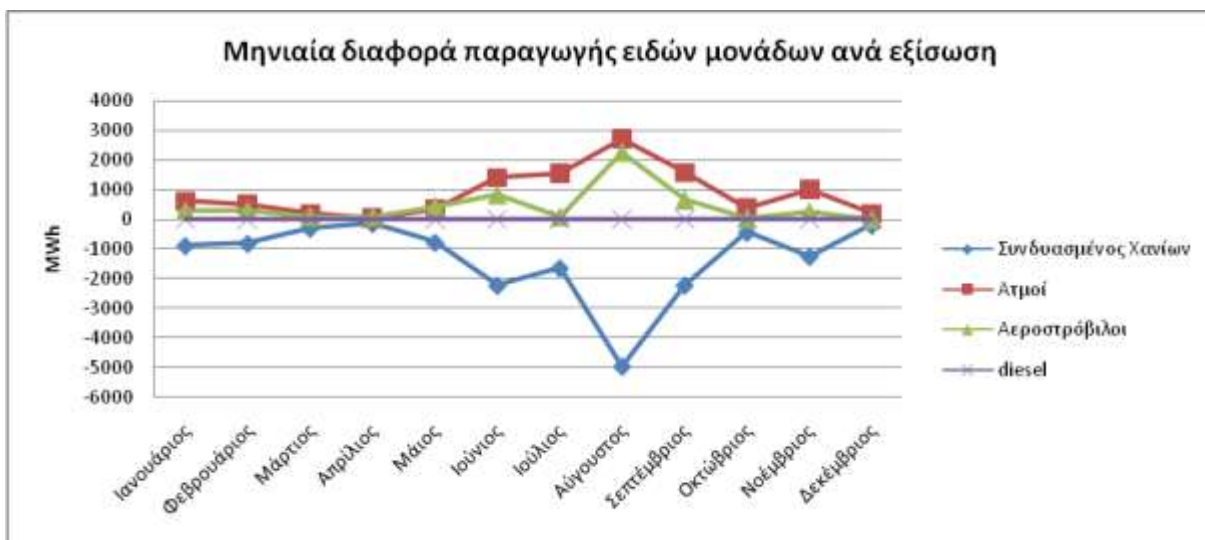
Εικόνα 4-55: Παραγωγή ανά είδος μονάδας μετά την ανακατανομή με την απολογιστική εξίσωση

Από τις δύο παραπάνω εικόνες φαίνεται ότι έχουμε μικρές διαφορές μεταξύ των ανακατανομών των δύο εξισώσεων. Οι κυριότερες διαφορές βρίσκονται στο πως κατανέμεται το φορτίο μεταξύ αεροστροβίλων, ατμομονάδων και του Συνδυασμένου, καθώς στην εξίσωση παροχομέτρου παρατηρούμε μετατόπιση παραγωγής από τον Συνδυασμένο προς τους αεροστροβίλους και τις ατμομονάδες.

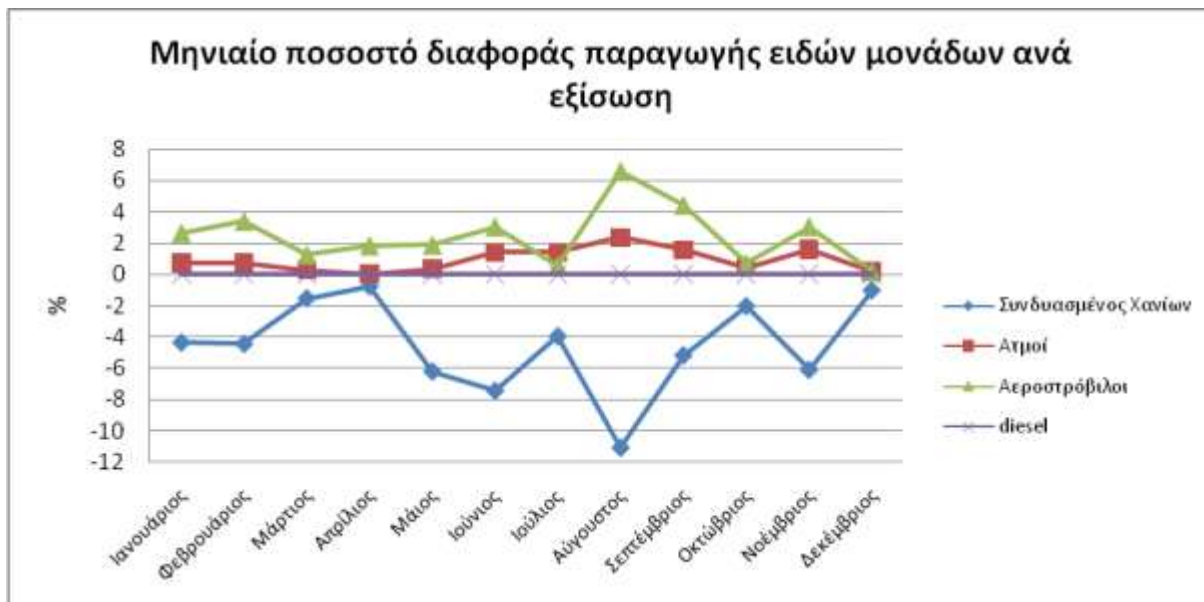
Η μετατόπιση παραγωγής που παρατηρήσαμε φαίνεται καλύτερα στην Εικόνα 4-56 όπου φαίνονται ξεκάθαρα οι διαφορές της εξίσωσης παροχομέτρου με την απολογιστική ως προς την κατανομή της παραγωγής. Στην Εικόνα 4-57 βλέπουμε την μηνιαία διαφορά των εξισώσεων, και στην Εικόνα 4-58 το ποσοστό αυτής της διαφοράς, από την οποία βγαίνει το συμπέρασμα ότι με την εξίσωσης παροχομέτρου μειώνεται περισσότερο η παραγωγή του Συνδυασμένου, καθώς με την εξίσωση παροχομέτρου κατανάλωσης καυσίμου το κόστος του Συνδυασμένου αυξάνεται οπότε η παραγωγή του πρέπει να μοιραστεί σε άλλες πιο οικονομικές μονάδες.



Εικόνα 4-56:Μετατόπιση παραγωγής ανά είδος μονάδας



Εικόνα 4-57:Μηνιαία διαφορά παραγωγής ανά είδος μονάδας ανά εξίσωση



Εικόνα 4-58:Μηνιαίο ποσοστό διαφοράς παραγωγής ειδών μονάδων ανά εξίσωση

Από τις παραπάνω εικόνες βλέπουμε ότι υπάρχει μετατόπιση παραγωγής μετά την ανακατανομή με την εξίσωσης παροχομέτρου από τον Συνδυασμένο προς τις ατμομονάδες και σε μερικούς αεροστρόβιλους. Πιο συγκεκριμένα το 68% της παραγωγής που μειώνεται από τον Συνδυασμένο Κύκλο μεταφέρεται στις ατμομονάδες ενώ το υπόλοιπο κυρίως στους αεροστρόβιλους.

Οι συνολικές ετήσιες διαφορές και τα ποσοστά των διαφορών αυτών φαίνονται στον Πίνακας 4-27.

	διαφορά (MWh)	ποσοστό (%)
Ατμοί	10473,02	1,01
Αεροστρόβιλοι	5397,2	3,18
diesel	12,9	0
Συνδυασμένος	-15883,2	-5,14

Πίνακας 4-27:Συνολική διαφορά και ποσοστό διαφοράς ανά είδος μονάδας

#### 4.2.2 Μεταβολή παραγωγής εργοστασίων

Στο προηγούμενο κεφάλαιο είδαμε ότι αλλάζει με βάση την εξίσωσης παροχομέτρου η παραγωγή αρκετών μονάδων, οπότε σε αυτό το κεφάλαιο θα εξετάσουμε πως επηρεάζει την παραγωγή των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα δεδομένα που πήραμε από τον αλγόριθμο για το σταθμό των Λινοπεραμάτων Ηρακλείου φαίνονται στον Πίνακας 4-28, για τον σταθμό της Ξυλοκαμάρας Χανίων στον Πίνακας 4-29 και για τον σταθμό του Αθερινόλακου Λασιθίου στον Πίνακας 4-30.

Λινοπεράματα (MWh)	παροχομέτρου	απολογιστική
Ιανουάριος	65208,97289	64372,07994
Φεβρουάριος	54777,08306	54005,66396
Μάρτιος	69366,5949	69101,92889
Απρίλιος	60507,74274	60425,02879
Μάιος	70211,43864	69695,06576
Ιούνιος	83582,76282	81876,35507
Ιούλιος	87772,72105	86167,41448
Αύγουστος	93455,02051	89273,98015
Σεπτέμβριος	73776,16692	71676,29202
Οκτώβριος	70736,94899	70319,71763
Νοέμβριος	60098,47531	58901,95628
Δεκέμβριος	65492,18632	65294,09375
Σύνολο	854986,1141	841109,5767

Πίνακας 4-28: Παραγωγή Σταθμού Λινοπεραμάτων

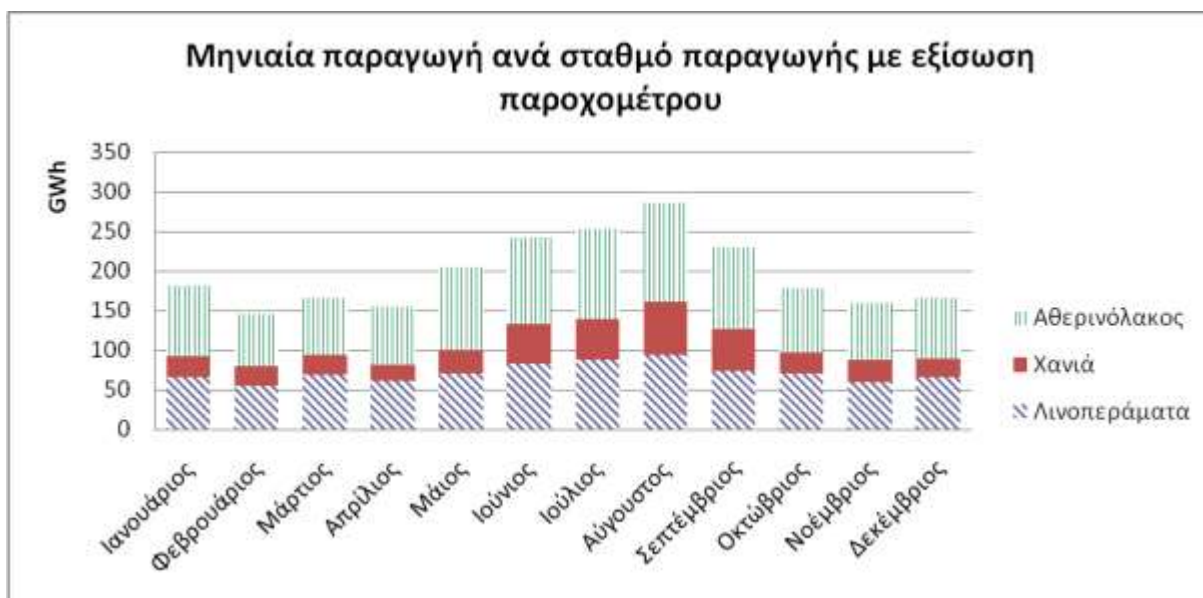
Χανιά (MWh)	παροχομέτρου	απολογιστική
Ιανουάριος	27306,81603	28143,44006
Φεβρουάριος	24723,90217	25487,72006
Μάρτιος	24273,35193	24534,68281
Απρίλιος	20338,16367	20414,88089
Μάιος	29740,8554	30253,02232
Ιούνιος	49612,76986	51319,14435
Ιούλιος	51871,30117	53476,56518
Αύγουστος	67268,0008	71448,72086
Σεπτέμβριος	52594,42069	54657,18148
Οκτώβριος	26494,47972	26911,70975
Νοέμβριος	26950,39754	28146,91735
Δεκέμβριος	23031,47625	23229,56785
Σύνολο	424205,9352	438023,5529

Πίνακας 4-29: Παραγωγή Σταθμού Χανιών

Αθερινόλακος (MWh)	παροχομέτρου	απολογιστική
Ιανουάριος	88641,27109	88641,54001
Φεβρουάριος	66451,87479	66459,47596
Μάρτιος	72539,93317	72543,26831
Απρίλιος	73212,09361	73218,09031
Μάιος	105069,116	105073,3219
Ιούνιος	109654,4373	109654,4706
Ιούλιος	113585,0278	113585,0703
Αύγουστος	125364,5087	125364,829
Σεπτέμβριος	103199,9824	103237,0965
Οκτώβριος	80363,21133	80363,21265
Νοέμβριος	72951,40716	72951,4064
Δεκέμβριος	77548,82746	77548,82842
Σύνολο	1088581,691	1088640,61

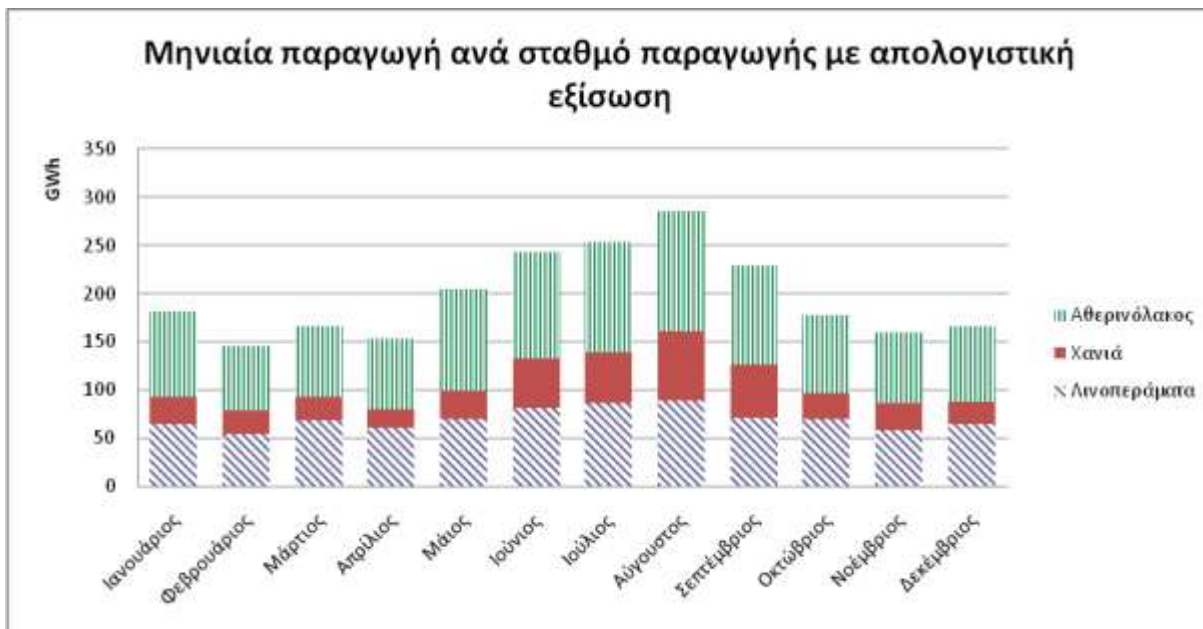
Πίνακας 4-30:Παραγωγή Σταθμού Αθερινόλακου

Από τους πίνακες αυτούς φαίνεται κυρίως ότι ο σταθμός του Αθερινόλακου είναι αυτός ο κύριος παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας στο Σ.Η.Ε. της Κρήτης καθώς έχει την μεγαλύτερη παραγωγή, ακολουθούμενος από τον σταθμό των Λινοπεραμάτων και μετά τον σταθμό των Χανίων. Αυτό φαίνεται καλύτερα και στην Εικόνα 4-59 όπου βλέπουμε την μηνιαία παραγωγή των σταθμών από όπου φαίνεται ξεκάθαρα το πόσο συμμετέχουν οι σταθμοί στην κάλυψη του φορτίου με βάση την εξίσωση παροχομέτρου ενώ στην Εικόνα 4-60 βλέπουμε την συμμετοχή με την απολογιστική εξίσωση.



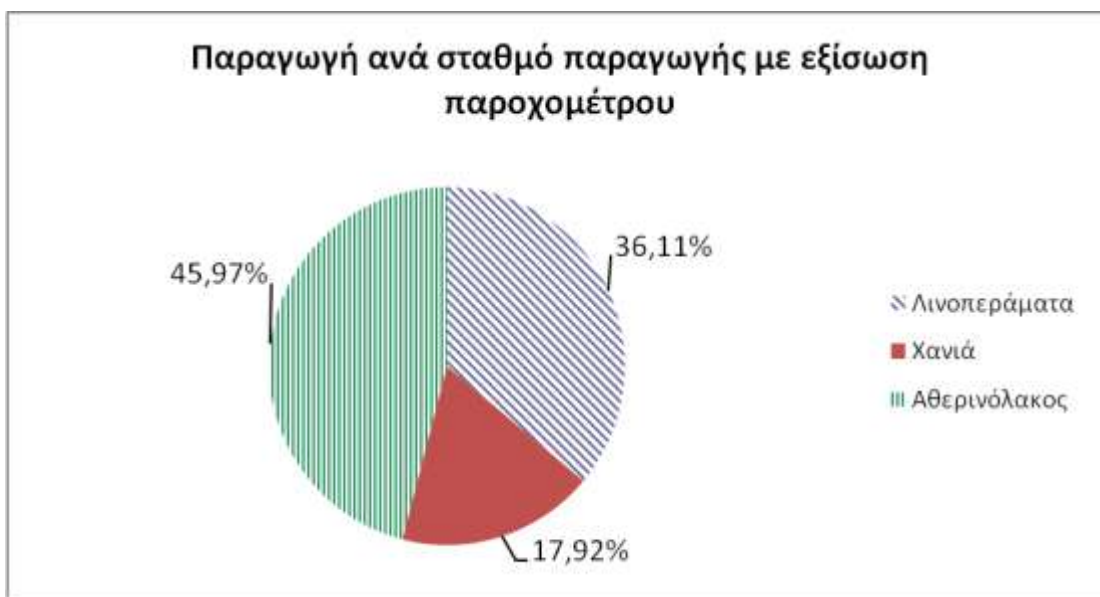
Εικόνα 4-59:Μηνιαία παραγωγή ανά σταθμό παραγωγής



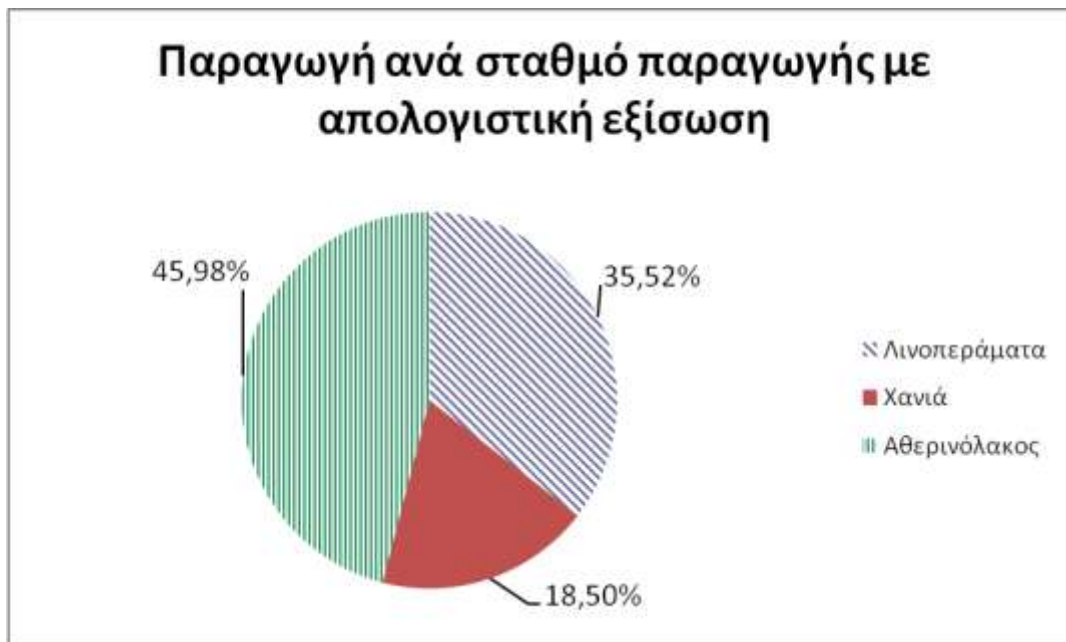


Εικόνα 4-60:Μηνιαία παραγωγή ανά σταθμό παραγωγής με απολογιστική εξίσωση

Από τις παραπάνω εικόνες βλέπουμε ότι με την εξίσωση παροχομέτρου ο σταθμός των Χανίων έχει μικρότερη παραγωγή ενώ αυξάνεται ελάχιστα των δύο άλλων, κυρίως όμως στον σταθμό των Λινοπεραμάτων. Το πως είναι μοιρασμένη η παραγωγή ανά σταθμό παραγωγής με την εξίσωση παροχομέτρου φαίνεται στην Εικόνα 4-61 ενώ με την απολογιστική εξίσωση φαίνεται στην Εικόνα 4-62.

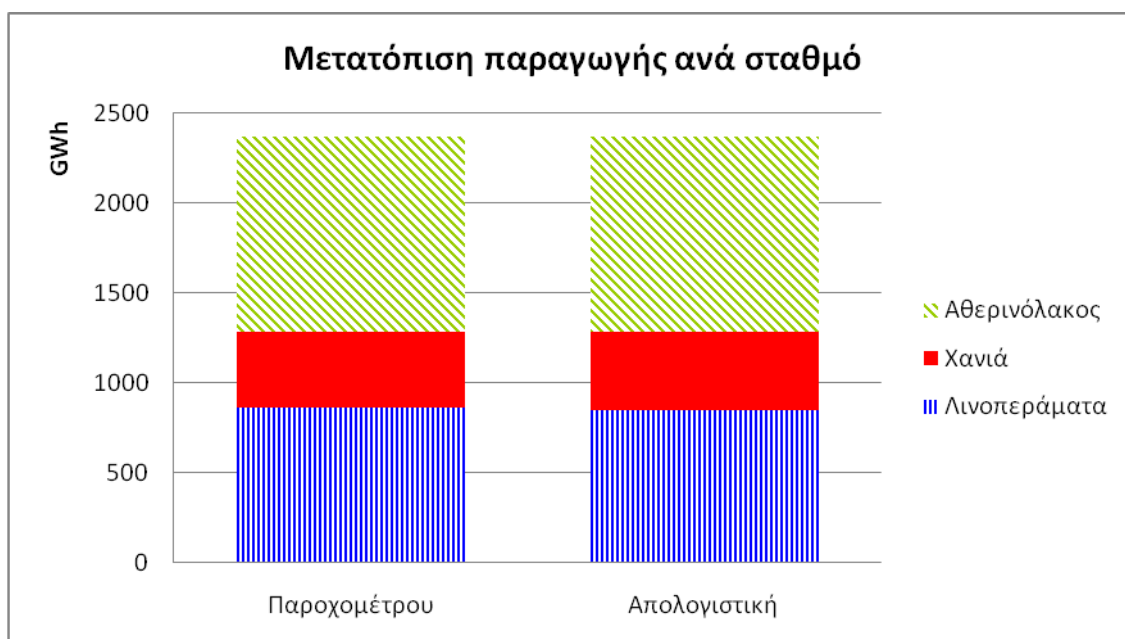


Εικόνα 4-61:Παραγωγή ανά σταθμό παραγωγής μετά την ανακατανομή φορτίου με την εξίσωση παροχομέτρου



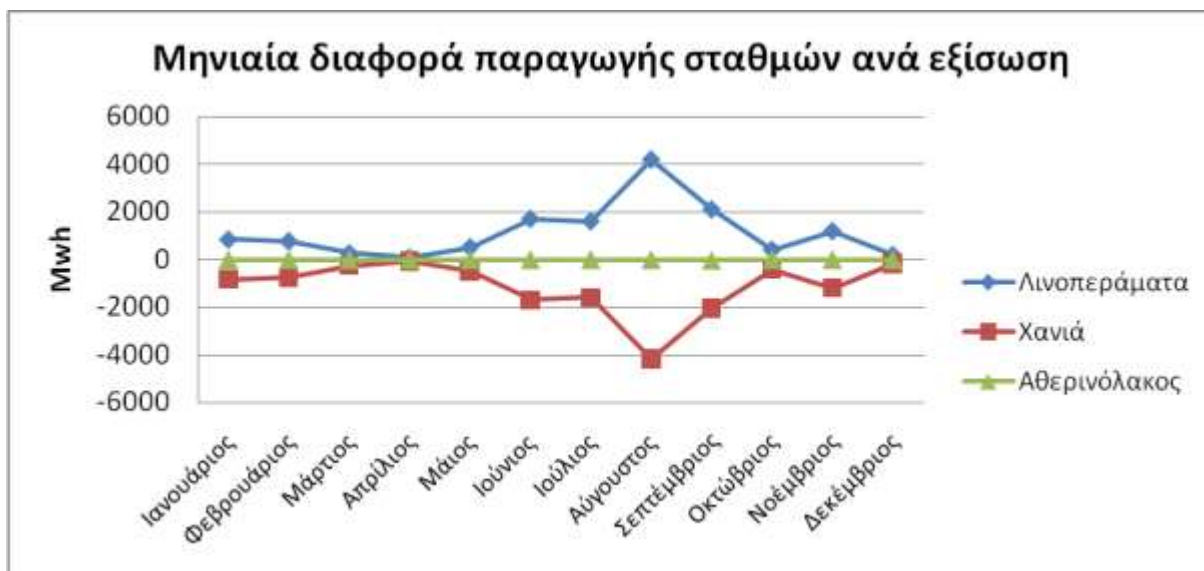
Εικόνα 4-62: Παραγωγή ανά σταθμό παραγωγής μετά την ανακατανομή φορτίου με την απολογιστική εξίσωση

Από τις παραπάνω εικόνες φαίνεται ότι με την εξίσωση παροχομέτρου υπάρχει μετατόπιση της παραγωγής του Σταθμού Χανίων κυρίως προς τον σταθμό των Λινοπεραμάτων, μετατόπιση που φαίνεται καλύτερα στην Εικόνα 4-63.

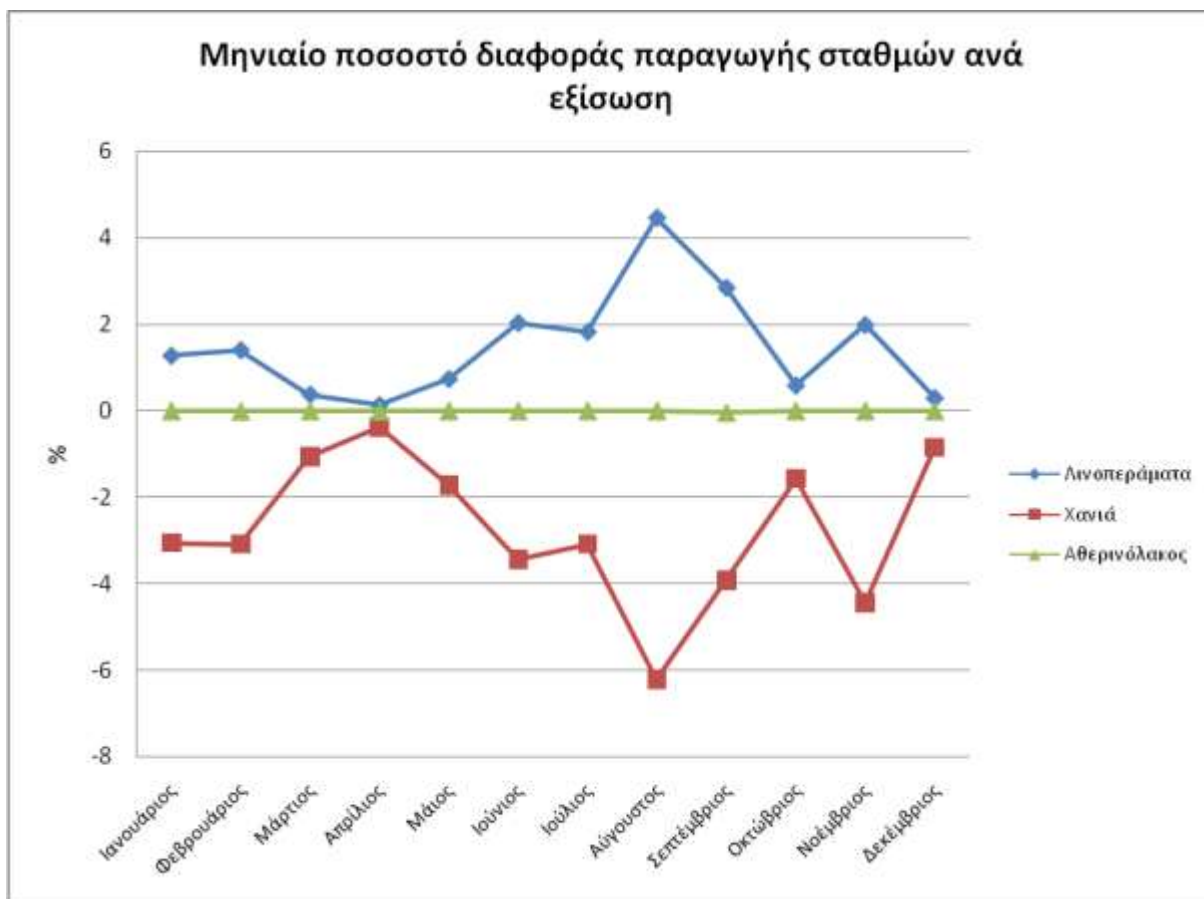


Εικόνα 4-63: Μετατόπιση παραγωγής ανά σταθμό

Σε αυτή την εικόνα φαίνεται ξεκάθαρα η μετατόπιση που συζητήσαμε προηγουμένως. Αυτή που μένει είναι να δούμε σε ποιους μήνες έχουμε τις μεγαλύτερες διαφορές που φαίνεται στην Εικόνα 4-64 και το ποσοστό των διαφορών αυτών που φαίνεται στη Εικόνα 4-65.



Εικόνα 4-64:Μηνιαία διαφορά παραγωγής σταθμών ανά εξίσωση



Εικόνα 4-65:Μηνιαίο ποσοστό διαφοράς παραγωγής σταθμών ανά εξίσωση

Από τις εικόνες αυτές παρατηρούμε ότι έχουμε τις μεγαλύτερες διαφορές μεταξύ των δύο εξισώσεων του μήνες από Ιούνιο μέχρι και Σεπτέμβριο, δηλαδή την περίοδο που στην Κρήτη επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης βλέπουμε ότι ο σταθμός του Αθερινόλακου δεν επηρεάζεται από το ποια εξίσωση χρησιμοποιούμε αλλά μόνο από την ανακατανομή φορτίου. Η συνολική διαφορά και το ποσοστό της διαφοράς φαίνονται στον Πίνακα 4-31.

	διαφορά (MWh)	ποσοστό (%)
Λινοπεράματα	13876,5	1,62
Χανιά	-13817,6	-3,26
Αθερινόλακος	-58,9	-0,01

Πίνακας 4-31:Συνολική διαφορά και ποσοστό διαφοράς ανά εργοστάσιο

### 4.2.3 Μεταβολή Κατανάλωσης Καυσίμου

Όπως είδαμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο αλλάζει η παραγωγή των μονάδων με την νέα εξίσωση καθώς μειώνεται η παραγωγή του Συνδυασμένου και αυξάνεται άλλων μονάδων οι οποίες καταναλώνουν διαφορετικό καύσιμο από τον Συνδυασμένο. Πιο συγκεκριμένα οι ατμομονάδες και οι μονάδες diesel καταναλώνουν καύσιμο μαζούτ ενώ οι αεροστρόβιλοι και ο Συνδυασμένος Κύκλος καταναλώνουν καύσιμο diesel. Για το λόγο αυτό εξετάσαμε τις καταναλώσεις ανά είδος καυσίμου με τα δεδομένα που συλλέξαμε και φαίνονται στους Πίνακας 4-32 και Πίνακας 4-33 όπου έχουμε δεδομένα μετά την εφαρμογή του αλγορίθμου με τις δύο εξισώσεις.

μαζούτ (kg)	παροχομέτρου	απολογιστική
Ιανουάριος	34881152,51	34683325,49
Φεβρουάριος	27355912,52	27190263,09
Μάρτιος	31368744,33	31304450,3
Απρίλιος	30703215,43	30689677,67
Μάιος	38978959,05	38866913,23
Ιούνιος	42990524,15	42534392,29
Ιούλιος	45780732,67	45283907,33
Αύγουστος	47847752,94	46970582,49
Σεπτέμβριος	40197924,2	39688356,98
Οκτώβριος	35349249,49	35221577,34
Νοέμβριος	30529413,92	30208611,28
Δεκέμβριος	33872701,57	33811373,99
Σύνολο	439856282,8	436453431,5

Πίνακας 4-32:Κατανάλωση καυσίμου μαζούτ

diesel (lt)	παροχομέτρου	απολογιστική
Ιανουάριος	12166406,52	12301655,11
Φεβρουάριος	10845624,95	10959274,48
Μάρτιος	11311885,09	11355411,78
Απρίλιος	9262473,112	9272375,723
Μάιος	13597597,14	13681966,58
Ιούνιος	21112596,34	21422251,2
Ιούλιος	20646797,37	20952893,24
Αύγουστος	27257322,04	27888252,83
Σεπτέμβριος	20191008,78	20522323,65
Οκτώβριος	10723047,07	10803202,28
Νοέμβριος	11261494,2	11475903,95
Δεκέμβριος	9415233,07	9453384,505
Σύνολο	177791485,7	180088895,3

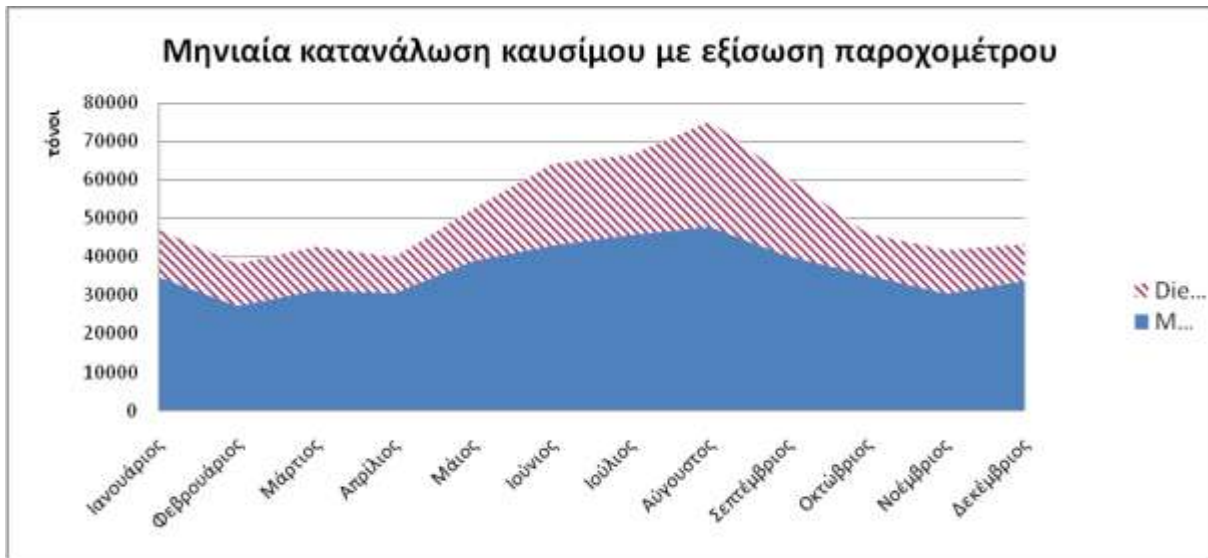
Πίνακας 4-33:Κατανάλωση καυσίμου diesel

Από τους πίνακες παρατηρούμε ότι η κατανάλωση του καυσίμου μαζούτ είναι περισσότερη από του καυσίμου diesel, το οποίο οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι το μαζούτ είναι πιο φθηνό καύσιμο. Επίσης βλέπουμε ότι από εξίσωση σε εξίσωση υπάρχουν διαφορές που φαίνονται καλύτερα στον Πίνακας 4-34 όπου παραθέτουμε τα ποσοστά της μεταβολής.

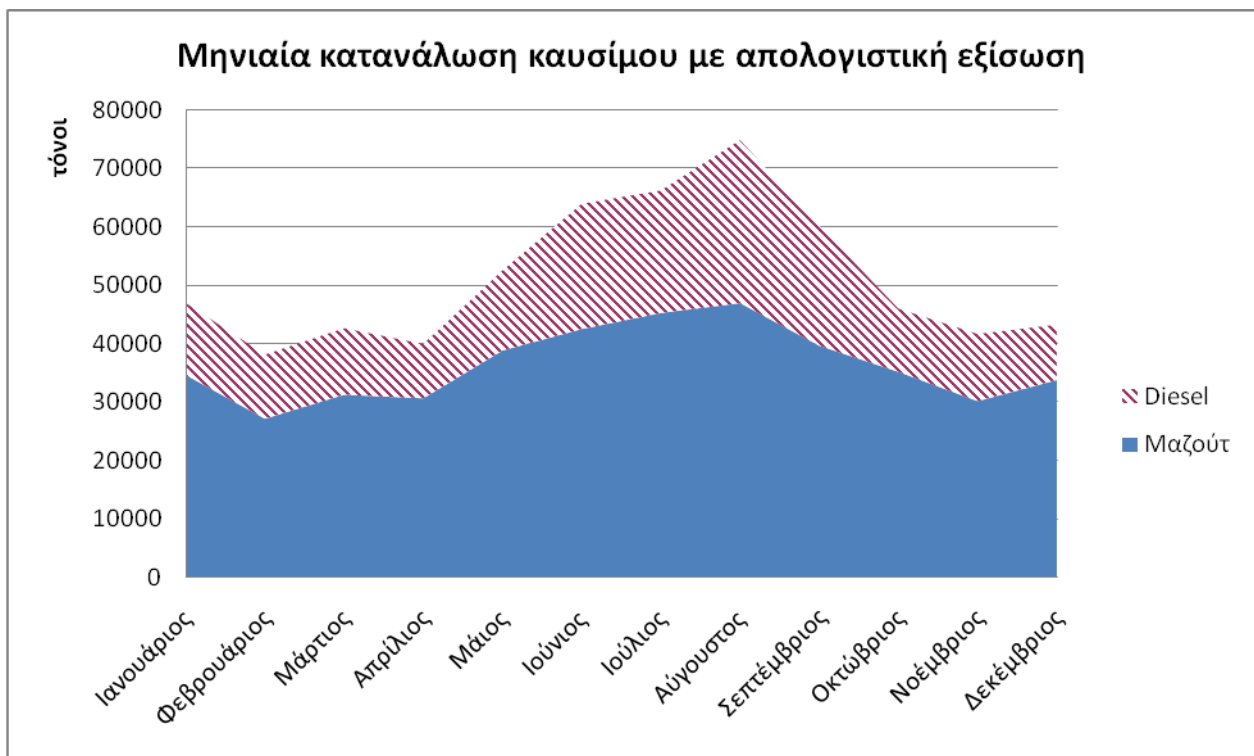
ποσοστά μεταβολής	μαζούτ	diesel
Ιανουάριος	0,57	-1,11
Φεβρουάριος	0,61	-1,05
Μάρτιος	0,2	-0,38
Απρίλιος	0,04	-0,11
Μάιος	0,29	-0,62
Ιούνιος	1,06	-1,47
Ιούλιος	1,09	-1,48
Αύγουστος	1,83	-2,31
Σεπτέμβριος	1,27	-1,64
Οκτώβριος	0,36	-0,75
Νοέμβριος	1,05	-1,9
Δεκέμβριος	0,18	-0,41
Σύνολο	0,77	-1,29

Πίνακας 4-34:Ποσοστά μεταβολής καυσίμων

Στην Εικόνα 4-66 φαίνεται η μηνιαία κατανάλωση καυσίμου γενικά και το πόσο καταναλώνεται το κάθε καύσιμο με την εξίσωση παροχομέτρου ενώ στην Εικόνα 4-66 φαίνεται το ίδιο με την απολογιστική εξίσωση.



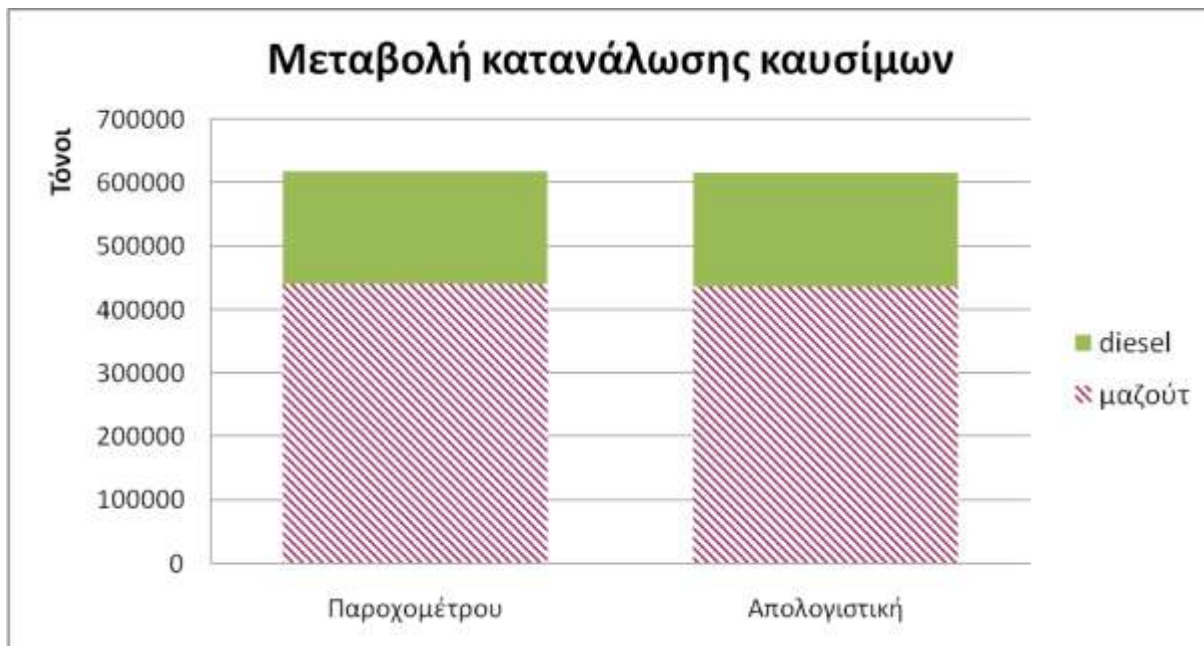
Εικόνα 4-66: Μηνιαία κατανάλωση καυσίμου με εξίσωση παροχομέτρου



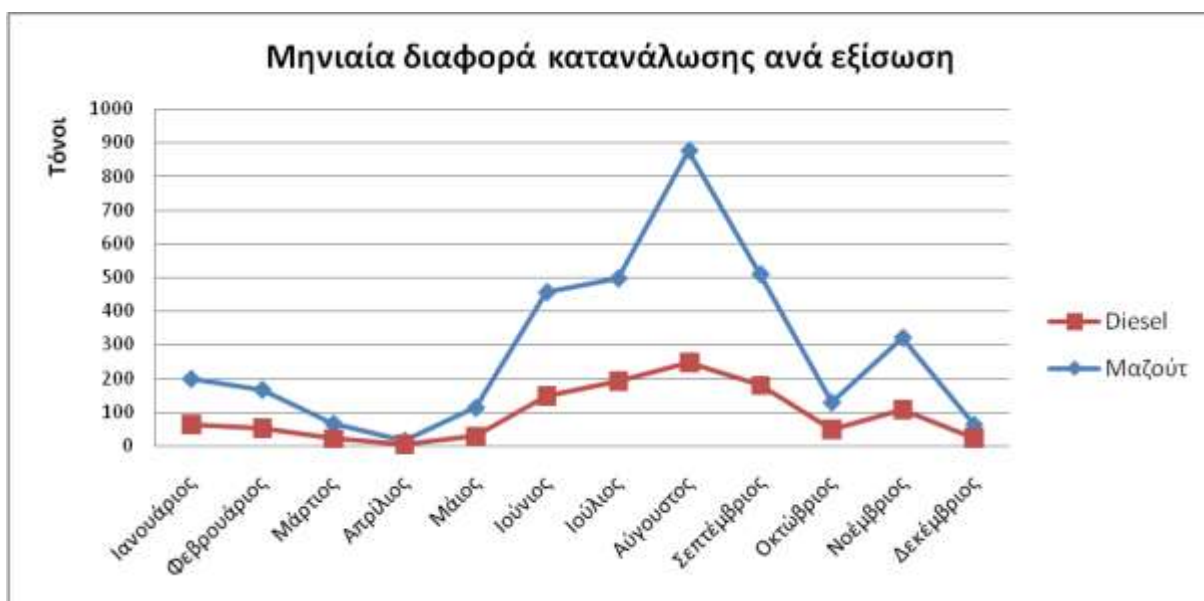
Εικόνα 4-67: Μηνιαία κατανάλωση καυσίμου με απολογιστική εξίσωση

Επειδή όμως και από τα δεδομένα παρατηρούμε αλλαγή στις καταναλώσεις μετά την ανακατανομή του φορτίου το οποίο φαίνεται καλύτερα στην Εικόνα 4-68. Εδώ φαίνεται καθαρά ότι μετά την ανακατανομή αυξάνεται η κατανάλωση του μαζούτ και μειώνεται η κατανάλωση του diesel πράγμα λογικό καθώς όπως είπαμε και πριν το μαζούτ είναι φθηνότερο καύσιμο από το diesel. Για να γίνει πιο κατανοητή αυτή η διαφορά παραθέτουμε και την μηνιαία μεταβολή στην κατανάλωση καυσίμου στην Εικόνα 4-69.





Εικόνα 4-68:Μεταβολή κατανάλωσης καυσίμου



Εικόνα 4-69:Μηνιαία διαφορά κατανάλωσης ανά εξίσωση

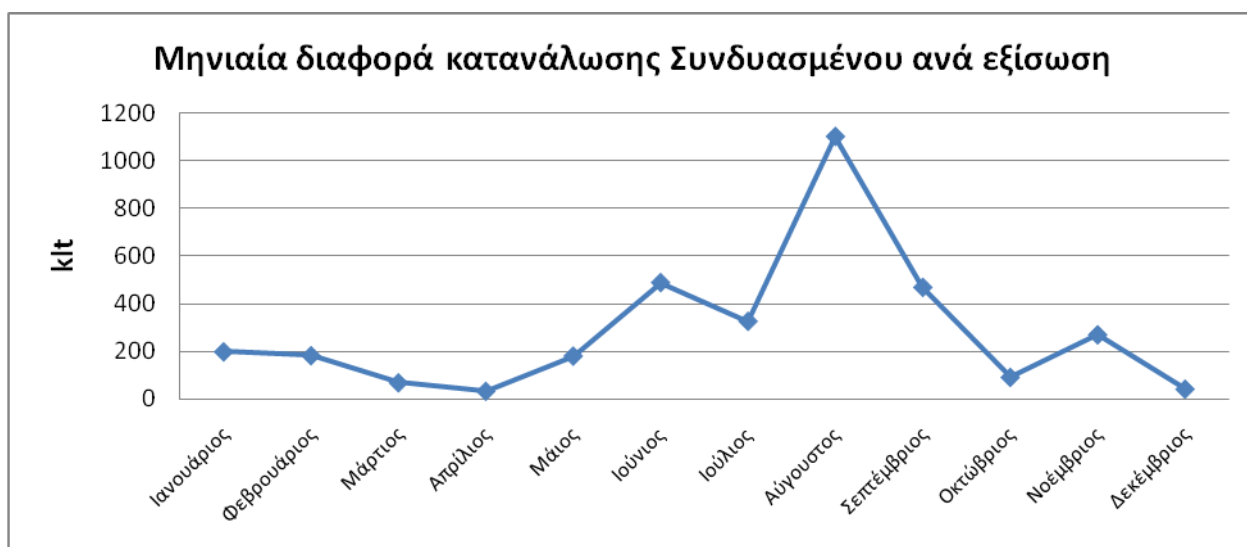
Αυτό που γίνεται σαφές από τις δύο αυτές εικόνες είναι ότι ο συνδυασμός της καινούργιας εξίσωσης κατανάλωσης του Συνδυασμένου Κύκλου μαζί με την ανακατανομή φορτίου βγάζουν το αποτέλεσμα ότι οι μονάδες που καίνε diesel καύσιμο πρέπει να μειώσουν την παραγωγή τους ενώ αυτές που καίνε μαζούτ να την αυξήσουν καθώς αυτό είναι πιο οικονομικό για το σύστημα. Η συνολική διαφορά κατανάλωσης και το ποσοστό αυτής της διαφοράς φαίνονται στον Πίνακα 4-35.

	διαφορά	ποσοστό
μαζούτ (kg)	3402851,289	0,77
diesel (lt)	-2297409,642	-1,29

Πίνακας 4-35:Συνολική διαφορά και ποσοστό διαφοράς κατανάλωσης καυσίμων

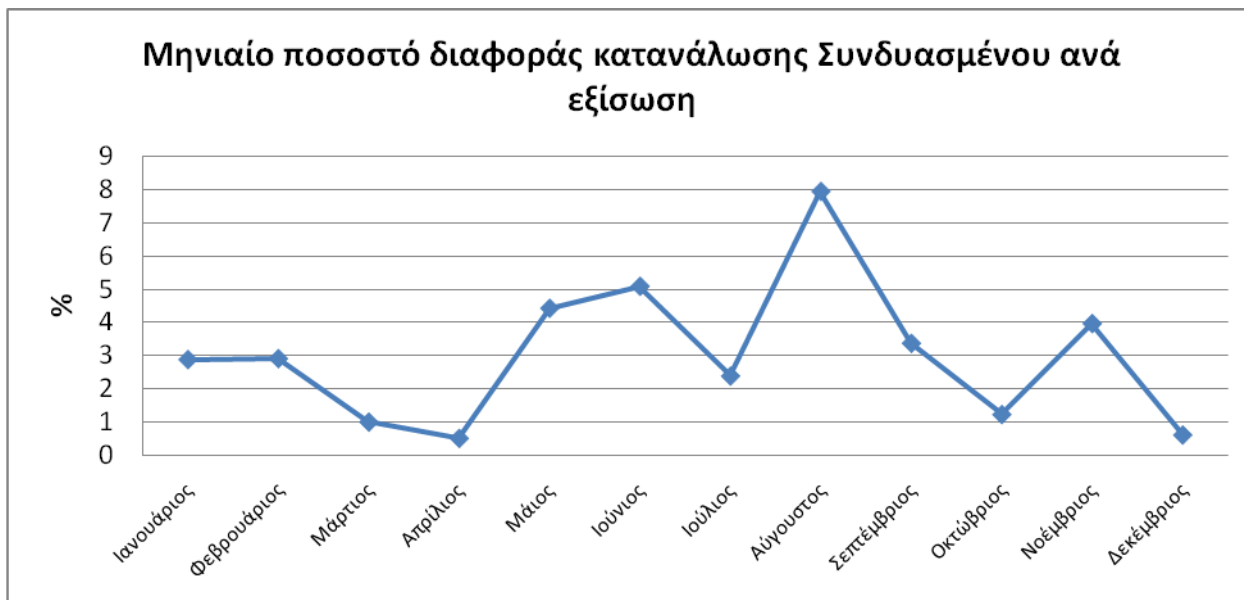
#### 4.2.3.1 Μεταβολή κατανάλωσης Συνδυασμένου Κύκλου

Επειδή όπως είπαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο ο Συνδυασμένος Κύκλος είναι αυτό που έχει και την μεγαλύτερη μεταβολή στην παραγωγή του θα εξετάσουμε την μεταβολή του στην κατανάλωση καυσίμου που επηρεάζει όλες τις μονάδες του συστήματος. Στην Εικόνα 4-70 φαίνεται η μηνιαία διαφορά κατανάλωσης του Συνδυασμένου Κύκλου ανάλογα με την εξίσωση που έγινε η ανακατανομή.



Εικόνα 4-70:Μηνιαία διαφορά κατανάλωσης Συνδυασμένου ανά εξίσωση

Σε αυτή την εικόνα παρατηρούμε ότι γλυτώνουμε πολλούς τόνους καυσίμου με την καινούργια εξίσωση από τον Συνδυασμένο Κύκλο και μόνο. Στην Εικόνα 4-71 φαίνεται καλύτερα το ποσοστό το οποίο αλλάζει η κατανάλωση του Συνδυασμένου Κύκλου σε σχέση με ποια εξίσωση χρησιμοποιούμε. Η ανακατανομή με την εξίσωση παροχομέτρου οδηγεί τον Συνδυασμένο σε μικρότερες καταναλώσεις καυσίμων, το οποίο είναι πιο συμφέρον για το Σ.Η.Ε. Κρήτης καθώς ο Συνδυασμένος Κύκλος καταναλώνει καύσιμο diesel που είναι πιο ακριβό από το καύσιμο μαζούτ. Επίσης παρατηρούμε επίσης ότι υπάρχουν πολύ μεγαλύτερες διαφορές τους μήνες που ο καιρός είναι πιο ζεστός στην Κρήτη, δηλαδή από τον Μάιο μέχρι και τον Σεπτέμβριο, από ότι τους μήνες που δεν έχει τόσο υψηλές θερμοκρασίες. Η συνολική διαφορά στην κατανάλωση καυσίμου του Συνδυασμένου είναι -3434662,835 lt με το ποσοστό της διαφοράς να είναι ίσο με 3,36%.



Εικόνα 4-71:Μηνιαίο ποσοστό διαφοράς κατανάλωσης Συνδυασμένου ανά εξίσωση

#### 4.2.4 Μεταβολή κόστους παραγωγής

Η τελευταία επίδραση της ανακατανομής φορτίου με την εξίσωση παροχομέτρου που πρέπει να εξετάσουμε είναι στο συνολικό κόστος που προκύπτει από αυτήν σε σχέση με την παλαιότερη εξίσωση. Έχουμε ήδη δει ότι υπάρχει μετατόπιση παραγωγής από τον Συνδυασμένο Κύκλο προς τις ατμομονάδες του Σταθμού των Λινοπεραμάτων καθώς και στους αεροστρόβιλους που είναι πιο καινούργιοι και ότι υπάρχει μείωση της κατανάλωσης καυσίμου diesel και αύξηση αυτής του μαζούτ. Επειδή η κατανάλωση καυσίμου και το κόστος συνδέονται άμεσα θα εξετάσουμε το κόστος που έχει το κάθε καύσιμο και αν αυτό βελτιώνεται ή όχι. Τα δεδομένα που βγάλαμε από το πρόγραμμα φαίνονται για το καύσιμο μαζούτ στον Πίνακα 4-36, για το καύσιμο diesel στον Πίνακα 4-37 και το συνολικό κόστος φαίνεται στον Πίνακα 4-38.

κόστος μαζούτ (€)	παροχομέτρου	απολογιστική	διαφορά
Ιανουάριος	19002563,94	18896153,52	106410,4245
Φεβρουάριος	14893749,45	14804666,06	89083,38654
Μάρτιος	17064147,25	17029571,83	34575,41786
Απρίλιος	16713538,32	16706271,64	7266,677522
Μάιος	21251110,59	21190852,13	60258,45772
Ιούνιος	23419852,43	23174499,19	245353,2389
Ιούλιος	24932577,33	24665335,1	267242,2331
Αύγουστος	26076021,99	25604192,87	471829,1184
Σεπτέμβριος	21902292,8	21628292,27	274000,5327
Οκτώβριος	19233907,8	19165232,95	68674,84717
Νοέμβριος	16614779,79	16442219,81	172559,9769
Δεκέμβριος	18432059,71	18399071,61	32988,10092
Σύνολο	239536601,4	237706359	1830242,412

Πίνακας 4-36:Δεδομένα κόστους καυσίμου μαζούτ

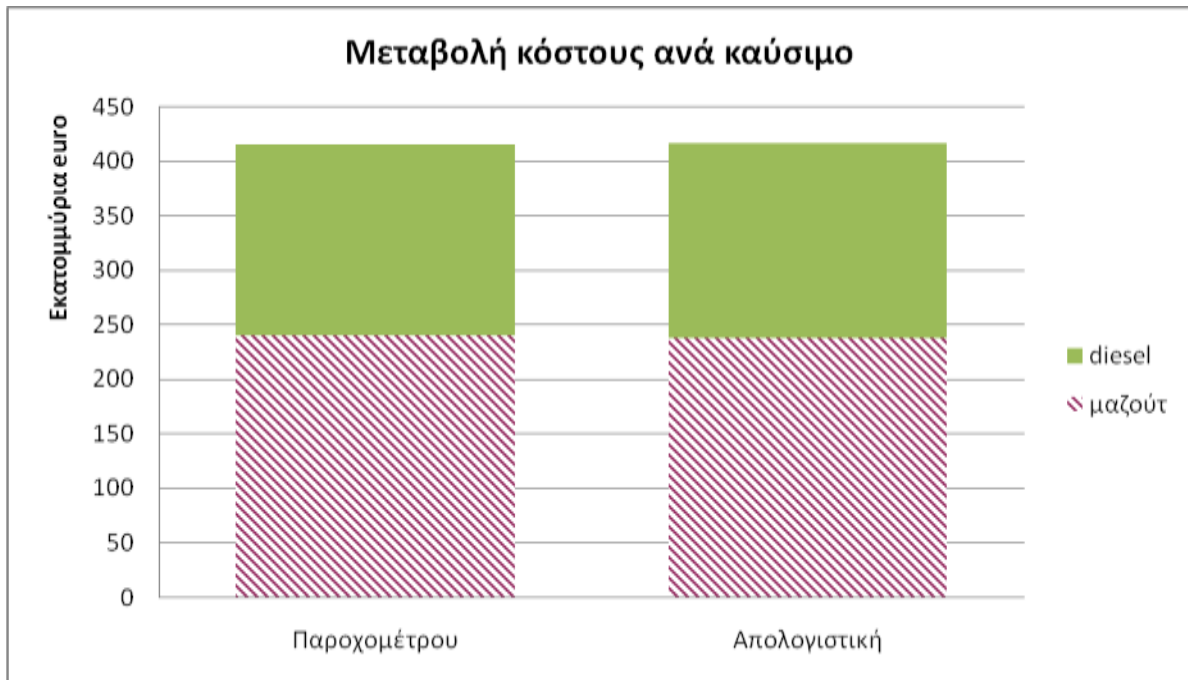
κόστος diesel (€)	παροχομέτρου	απολογιστική	διαφορά
Ιανουάριος	12018349,06	12151789,14	-133440,0753
Φεβρουάριος	10712593,28	10824689,46	-112096,1843
Μάρτιος	11176439,54	11219387,91	-42948,36531
Απρίλιος	9151536,8	9161297,228	-9760,428337
Μάιος	13433831,73	13517058,05	-83226,31889
Ιούνιος	20856137,06	21161765,15	-305628,0878
Ιούλιος	20393897,38	20696140,21	-302242,8319
Αύγουστος	26926265,07	27548568,09	-622303,0158
Σεπτέμβριος	19942990,21	20269917,26	-326927,0454
Οκτώβριος	10590431,05	10669572,78	-79141,73109
Νοέμβριος	11122548,27	11334176,28	-211628,011
Δεκέμβριος	9298276,206	9335946,735	-37670,52886
Σύνολο	175623295,7	177890308,3	-2267012,624

Πίνακας 4-37: Δεδομένα κόστους καυσίμου diesel

συνολικό κόστος (€)	παροχομέτρου	απολογιστική	διαφορά
Ιανουάριος	31020913	31047942,66	-27029,6508
Φεβρουάριος	25606342,72	25629355,52	-23012,7977
Μάρτιος	28240586,79	28248959,74	-8372,94745
Απρίλιος	25865075,12	25867568,87	-2493,75081
Μάιος	34684942,32	34707910,18	-22967,8612
Ιούνιος	44275989,49	44336264,34	-60274,8489
Ιούλιος	45326474,71	45361475,31	-35000,5987
Αύγουστος	53002287,06	53152760,96	-150473,897
Σεπτέμβριος	41845283,02	41898209,53	-52926,5127
Οκτώβριος	29824338,85	29834805,73	-10466,8839
Νοέμβριος	27737328,06	27776396,1	-39068,0342
Δεκέμβριος	27730335,92	27735018,35	-4682,42794
Σύνολο	415159897,1	415596667,3	-436770,212

Πίνακας 4-38: Δεδομένα συνολικού κόστους καυσίμου

Από τους παραπάνω πίνακες παρατηρούμε, αυτό που είχαμε δει και στην κατανάλωση καυσίμου, ότι υπάρχει αύξηση του κόστους του καυσίμου μαζούτ και μείωση του καυσίμου diesel, που όμως προκαλεί μείωση στο συνολικό κόστος του Συστήματος. Αυτή η διαφοροποίηση φαίνεται καλύτερα στην Εικόνα 4-72 όπου βλέπουμε πως μετατοπίζεται το κόστος ανά καύσιμο και ότι με την εξίσωση παροχομέτρου έχουμε μικρότερο συνολικό κόστος.



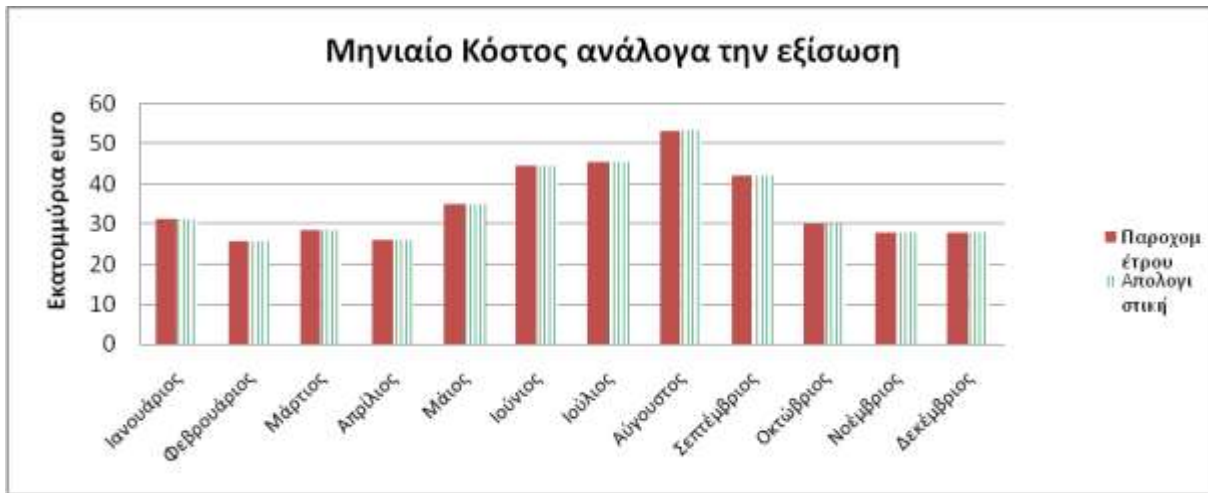
Εικόνα 4-72:Μεταβολή κόστους ανά καύσιμο

Στην Εικόνα 4-73 βλέπουμε την μηνιαία διαφορά κόστους μεταξύ των καυσίμων όπου παρατηρούμε ότι από Ιούνιο μέχρι και Σεπτέμβριο έχουμε την μεγαλύτερη εξοικονόμηση, όπως ακριβώς και με την κατανάλωση καυσίμου.



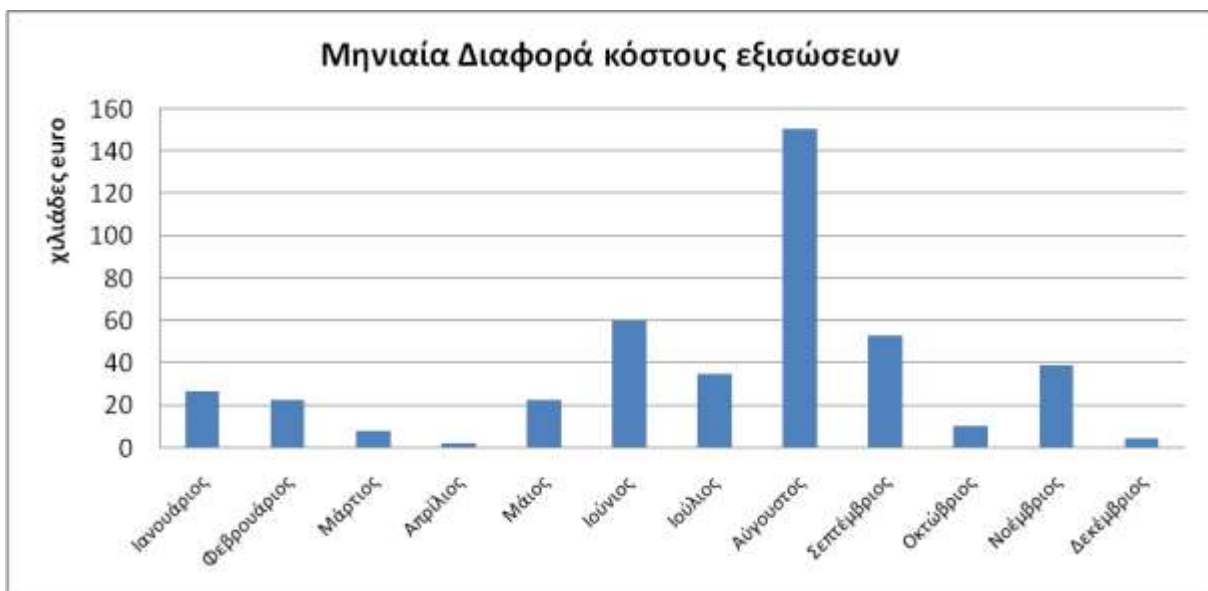
Εικόνα 4-73:Μηνιαία διαφορά κόστους ανά εξίσωση

Στην Εικόνα 4-74 φαίνεται το πως μεταβάλλεται το συνολικό κόστος του Σ.Η.Ε. Κρήτης με την ανακατανομή παραγωγής με βάση την εξίσωση όπου βλέπουμε την διαφορά στο κόστος μεταξύ των εξισώσεων.



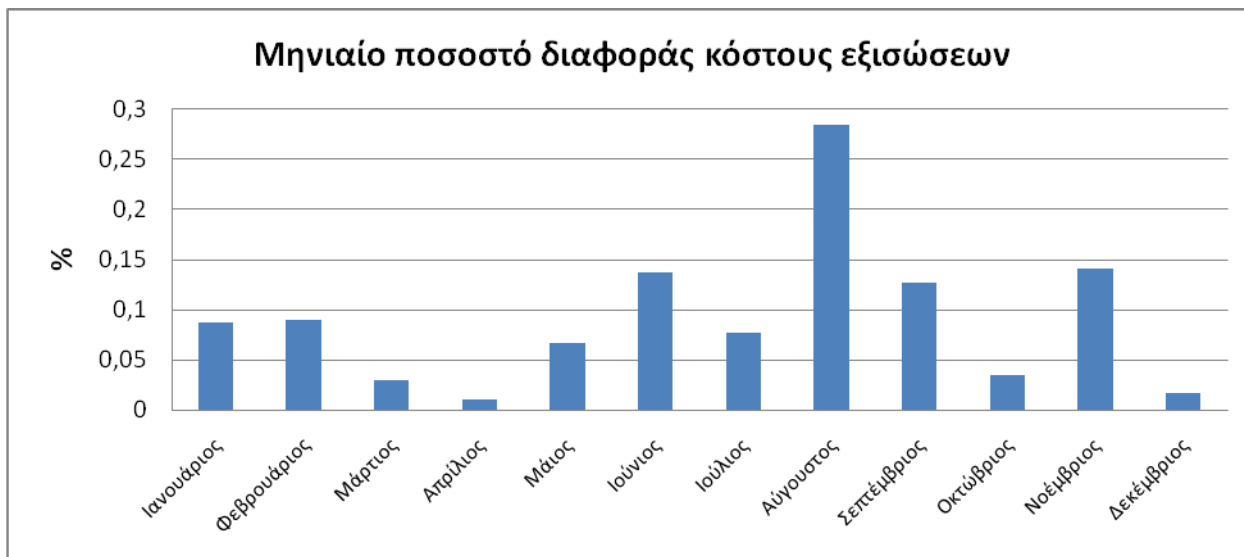
Εικόνα 4-74:Μηνιαίο κόστος ανάλογα με την εξίσωση

Για να γίνει πιο κατανοητή η διαφορά στο συνολικό κόστος μεταξύ των δύο εξισώσεων παραθέτουμε την Εικόνα 4-75 όπου φαίνεται το πόσο πιο οικονομική είναι η κατανομή με την εξίσωση παροχομέτρου σε χιλιάδες ευρώ και την Εικόνα 4-76 όπου φαίνεται και το ποσοστό της μεταβολής αυτής.



Εικόνα 4-75:Μηνιαία διαφορά κόστους εξισώσεων





Εικόνα 4-76:Μηνιαίο ποσοστό διαφοράς κόστους εξισώσεων

Από αυτές τις παραπάνω εικόνες φαίνεται ότι τους μήνες που έχει περισσότερη ζέστη, από Μάιο μέχρι και τον Σεπτέμβριο, έχουμε και το μεγαλύτερο κέρδος με βάση την ανακατανομή με την εξίσωση παροχομέτρου. Τα ποσοστά αλλαγής μεταξύ της απολογιστικής εξίσωσης και της καινούργιας δεν είναι μεγάλα αλλά αναφέρονται σε 436770,212 euro και σε ποσοστό διαφοράς 0,11% τα οποία με την κατάλληλη αξιοποίησή τους μπορούν να αποδώσουν και άλλες μειώσεις στο κόστος.

#### 4.2.4.1 Επίδραση στο κόστος ανά MWh

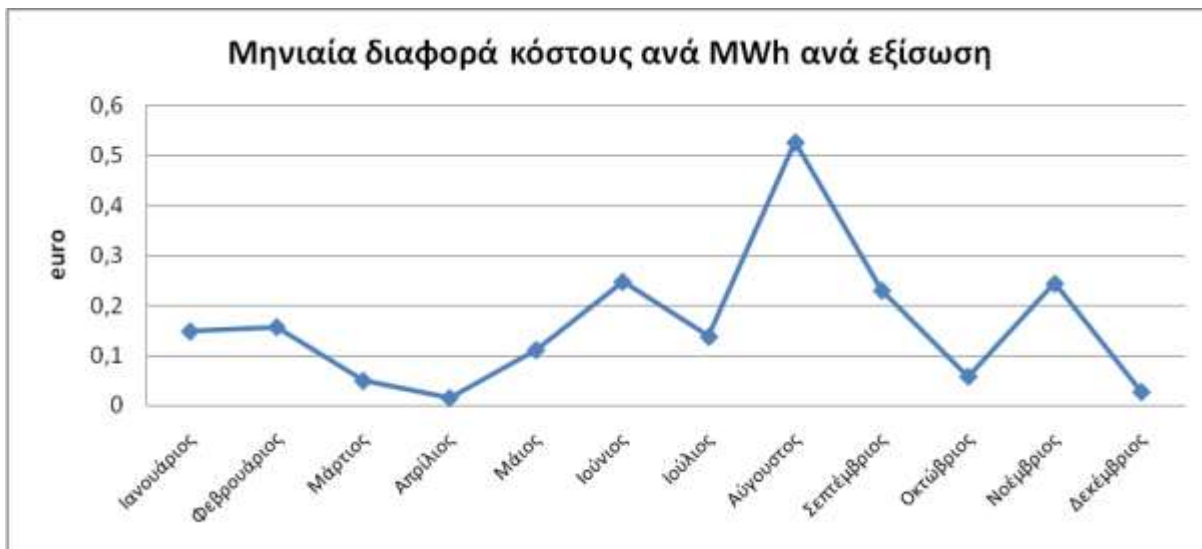
Από αυτή την εξοικονόμηση που έχουμε με την καινούργια εξίσωση θέλουμε να δούμε και τι αντίκτυπο θα έχει και στον τελικό καταναλωτή εξετάζοντας το πόσο θα μεταβληθεί η τιμή της MWh. Τα δεδομένα που έχουμε εξάγει από το πρόγραμμα φαίνονται στον Πίνακα 4-39.

κόστος ανά MWh (€)	παροχομέτρου	απολογιστική	διαφορά
Ιανουάριος	171,2376708	171,3868764	-0,149205617
Φεβρουάριος	175,4425554	175,6002282	-0,157672852
Μάρτιος	169,9398675	169,9902524	-0,050384839
Απρίλιος	167,8918012	167,9079884	-0,016187123
Μάιος	169,1771719	169,2891985	-0,11202664
Ιούνιος	182,3182827	182,5664806	-0,248197894
Ιούλιος	178,9939768	179,132194	-0,138217153
Αύγουστος	185,2659816	185,7919531	-0,525971525
Σεπτέμβριος	182,2763389	182,5068846	-0,23054572
Οκτώβριος	167,9349041	167,9938411	-0,058936948
Νοέμβριος	173,357997	173,6021718	-0,244174754
Δεκέμβριος	166,9772996	167,0054947	-0,028195111
Σύνολο	175,3376558	175,5221203	-0,303772236

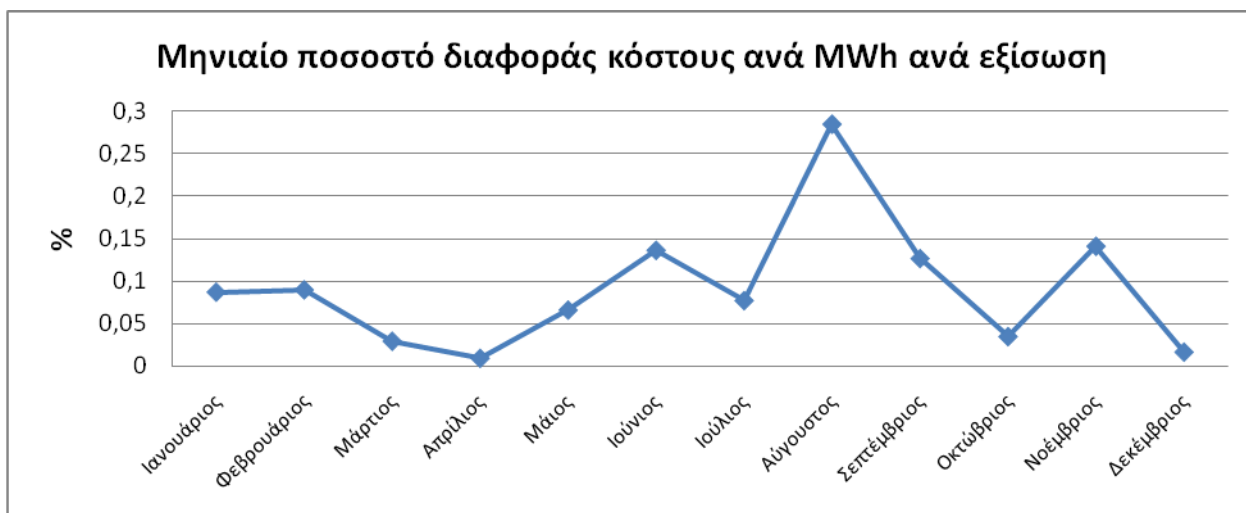
Πίνακας 4-39:Δεδομένα κόστους ανά MWh

Τα δεδομένα αυτά παρουσιάζονται γραφικά στην Εικόνα 4-77, όπου βλέπουμε την διαφορά στην MWh των εξισώσεων, και στην Εικόνα 4-78, όπου βλέπουμε το ποσοστό αυτής της διαφοράς. Αυτό που παρατηρούμε από τα δύο αυτά διαγράμματα είναι ότι

εξοικονόμηση που προκύπτει από την ανακατανομή φορτίου με την καινούργια εξίσωση κατανάλωσης του Συνδυασμένου, δεν έχει αντίκτυπο στον τελικό καταναλωτή καθώς γλυτώνει περίπου 0,3 euro, και σε ποσοστό μεταβολής 0,11%, το χρόνο που είναι αμελητέο ποσό.



Εικόνα 4-77:Μηνιαία διαφορά κόστους ανά MWh ανά εξίσωση



Εικόνα 4-78:Μηνιαίο ποσοστό διαφοράς κόστους ανά MWh ανά εξίσωση

#### 4.2.4.2 Μεταβολή κόστους Συνδυασμένου Κύκλου

Όπως είπαμε και πιο πριν το συμπέρασμα που βγάλαμε είναι ότι η καινούργια εξίσωση κατανάλωσης καυσίμου οδηγεί σε πιο οικονομικό Σ.Η.Ε. Κρήτης από ότι η απολογιστική. Οπότε αυτό που μένει να δούμε είναι πως επηρεάζεται το κόστος του Συνδυασμένου. Τα δεδομένα για το κόστος του Συνδυασμένου που εξάγαμε από το πρόγραμμα φαίνονται στον Πίνακα 4-40.

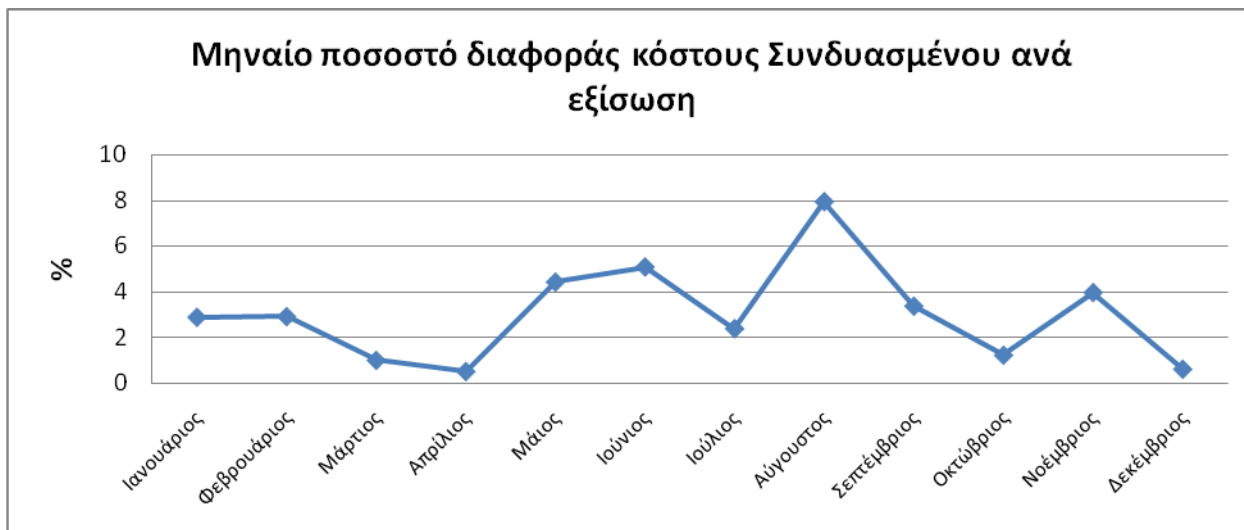
κόστος Συνδυασμένου (€)	παροχομέτρου	απολογιστική	διαφορά
Ιανουάριος	6765509,857	6959750,856	-194240,9986
Φεβρουάριος	6148163,743	6326472,271	-178308,5286
Μάρτιος	6673226,366	6738894,98	-65668,61332
Απρίλιος	6197485,299	6228015,08	-30529,78069
Μάιος	4002045,237	4178835,876	-176790,6384
Ιούνιος	9487083,375	9968923,04	-481839,6653
Ιούλιος	13525216,94	13846300,78	-321083,8398
Αύγουστος	13707729,57	14796133,75	-1088404,183
Σεπτέμβριος	13746855,41	14208810,17	-461954,7593
Οκτώβριος	7290906,032	7379311,598	-88405,56583
Νοέμβριος	6701553,623	6966730,687	-265177,0636
Δεκέμβριος	6593484,092	6632810,005	-39325,91263
Σύνολο	100839259,5	104230989,1	-3391729,549

Πίνακας 4-40:Δεδομένα κόστους Συνδυασμένου Κύκλου

Από τον πίνακα φαίνεται ότι με την ανακατανομή με την εξίσωση παροχομέτρου έχουμε πολύ πιο οικονομική κατανομή για τον Συνδυασμένο Κύκλο από ότι με την απολογιστική. Πιο συγκεκριμένα οι διαφορές των δύο εξισώσεων ανά μήνα φαίνονται καλύτερα στην Εικόνα 4-79 καθώς και το ποσοστό στο οποίο διαφέρουν στην Εικόνα 4-80.



Εικόνα 4-79:Μηνιαία διαφορά κόστους Συνδυασμένου Κύκλου ανά εξίσωση



Εικόνα 4-80:Μηνιαίο ποσοστό διαφοράς κόστους Συνδυασμένου Κύκλου ανά εξίσωση

Από τις δύο παραπάνω εικόνες φαίνεται ότι η ανακατανομή που κάναμε με την εξίσωση παροχομέτρου, που όπως είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο έριξε πολύ την παραγωγή του Συνδυασμένου Κύκλου, γλυτώνει στο σύστημα αρκετά χρήματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν αλλού. Πιο συγκεκριμένα από τον Συνδυασμένο Κύκλο εξοικονομούμε - 3391729,549 euro που αντιστοιχεί και σε ποσοστό 3,36%. Αυτό συμβαίνει διότι η καινούργια εξίσωση κατανάλωσης του Συνδυασμένου Κύκλου κάνει την μονάδα να έχει πιο ακριβή παραγωγή οπότε με τον αλγόριθμο ανακατανομής φορτίου μειώνεται κατά πολύ η παραγωγή του.

#### 4.2.5 Μεταβολή Ρύπων Συστήματος

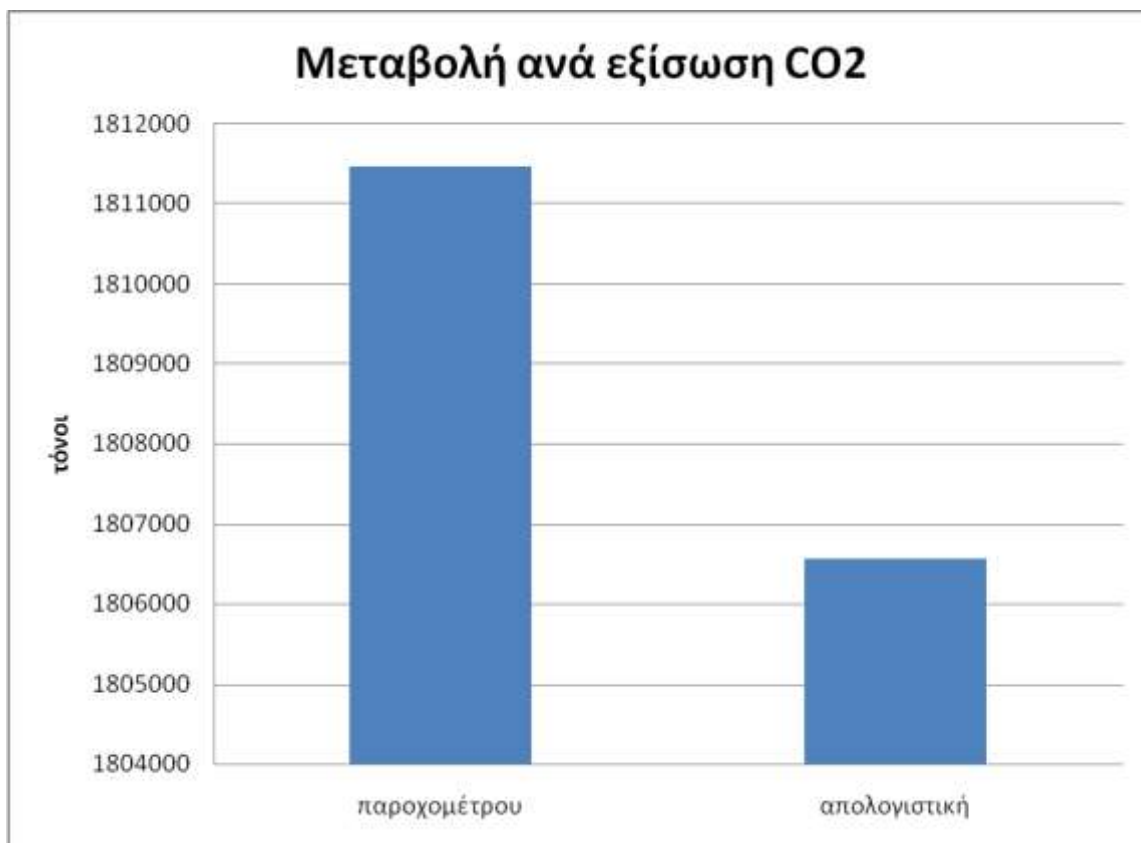
Εκτός από την μεταβολή που έχουμε στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, στην κατανάλωση καυσίμου και στο κόστος του συστήματος έχουμε και μεταβολή στους ρύπους που εξάγουν οι μονάδες από την λειτουργία τους. Οι κυριότεροι τύποι ρύπων, όπως είπαμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, που παράγουν οι μονάδες είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>), διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) και διάφορα σωματίδια.

Έχοντας λοιπόν τα δεδομένα του Πίνακα 4-21 κάναμε τους απαραίτητους υπολογισμούς και βρήκαμε του συνολικούς ρύπους που παράγονται από κάθε γεννήτρια όπως φαίνονται στον Πίνακα 4-41.

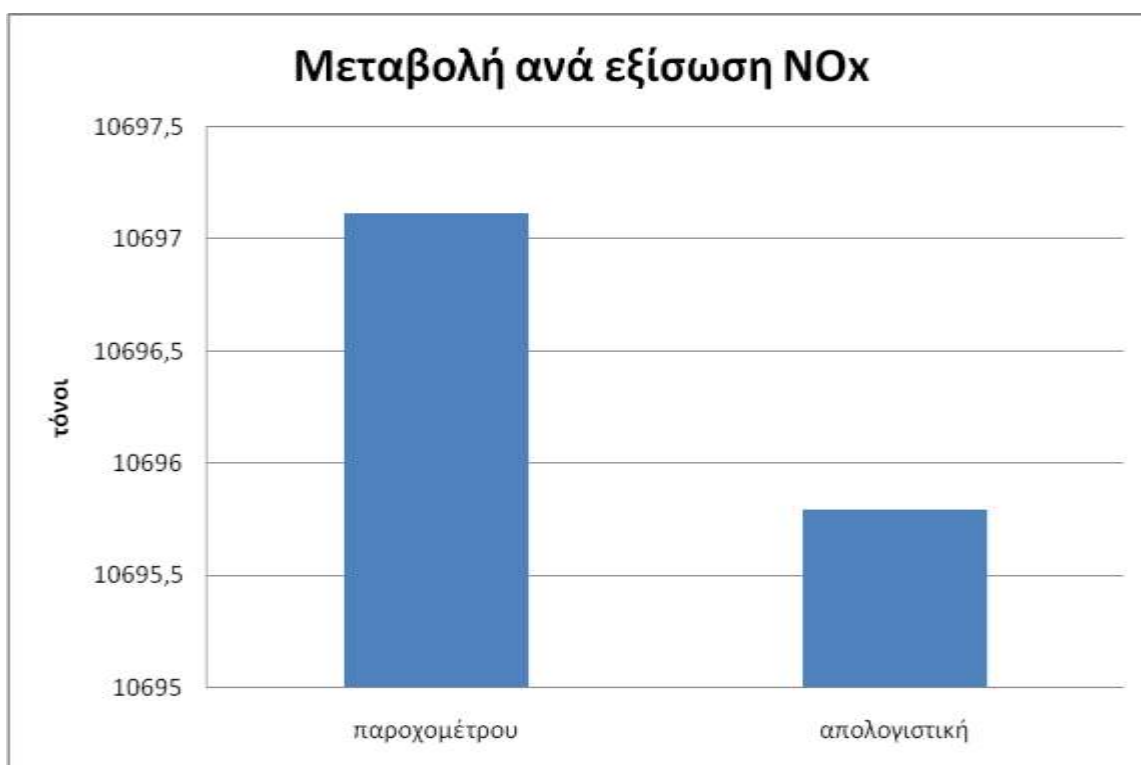
	παροχομέτρου	απολογιστική
CO <sub>2</sub>	1811467,269	1806571,319
No <sub>x</sub>	10697,11423	10695,7936
SO <sub>2</sub>	26986,80492	26805,13881
Σωματίδια	1080,828603	1077,265003

Πίνακας 4-41: Συνολικοί ρύποι Σ.Η.Ε. Κρήτης

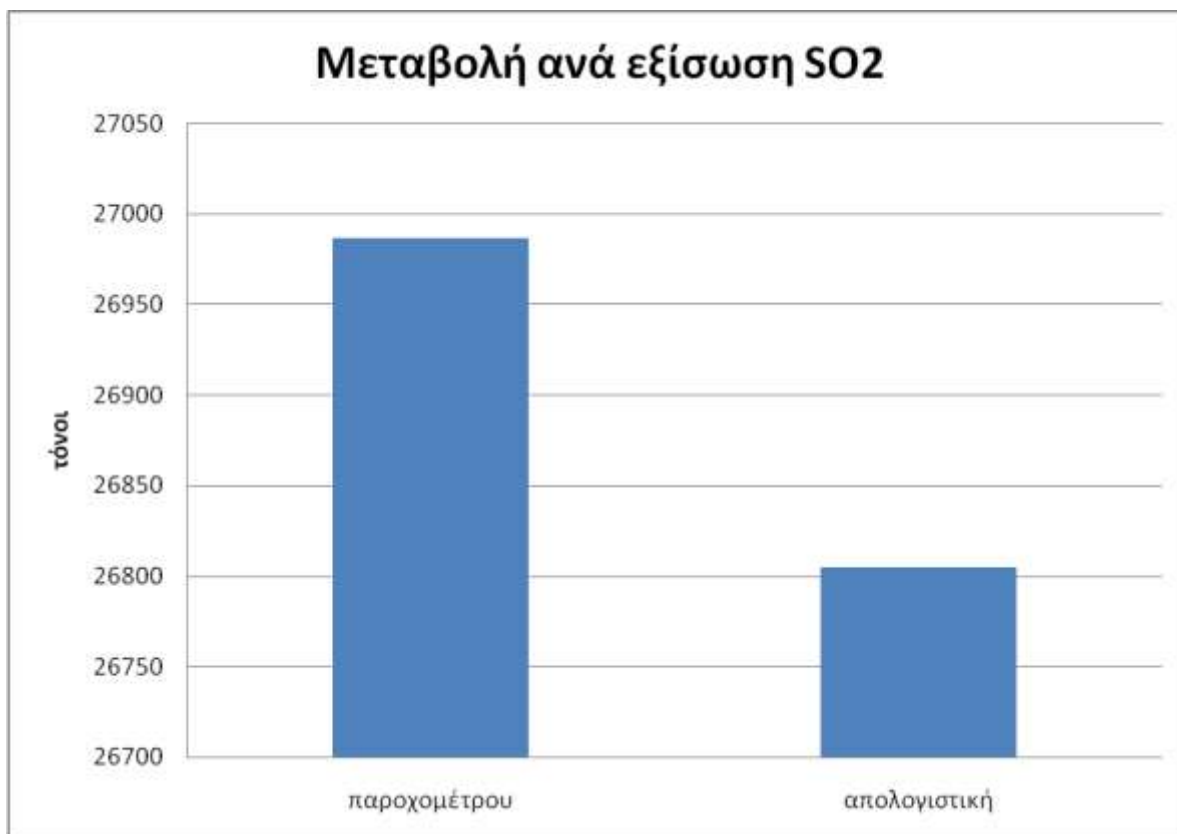
Από τον πίνακα αυτό φαίνεται ότι παράγονται αρκετοί ρύποι τον χρόνο από το σύστημα αλλά και ότι η ανακατανομή με την απολογιστική εξίσωση του Συνδυασμένου Κύκλου έδινε λιγότερους ρύπους. Οι διαφορές αυτές φαίνονται καλύτερα στις Εικόνα 4-81, Εικόνα 4-82, Εικόνα 4-83, Εικόνα 4-84.



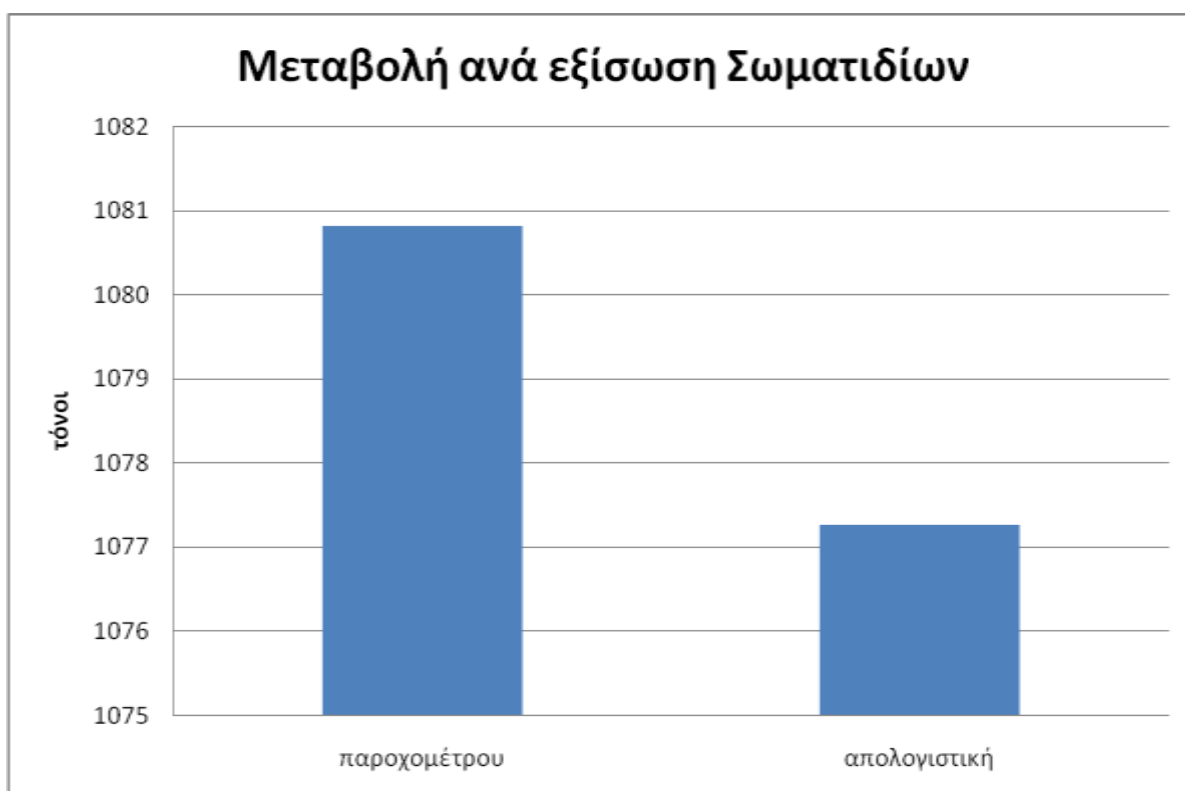
Εικόνα 4-81:Μεταβολή ανά εξίσωση CO<sub>2</sub>



Εικόνα 4-82:Μεταβολή ανά εξίσωση NO<sub>x</sub>



Εικόνα 4-83:Μεταβολή ανά εξίσωση SO<sub>2</sub>

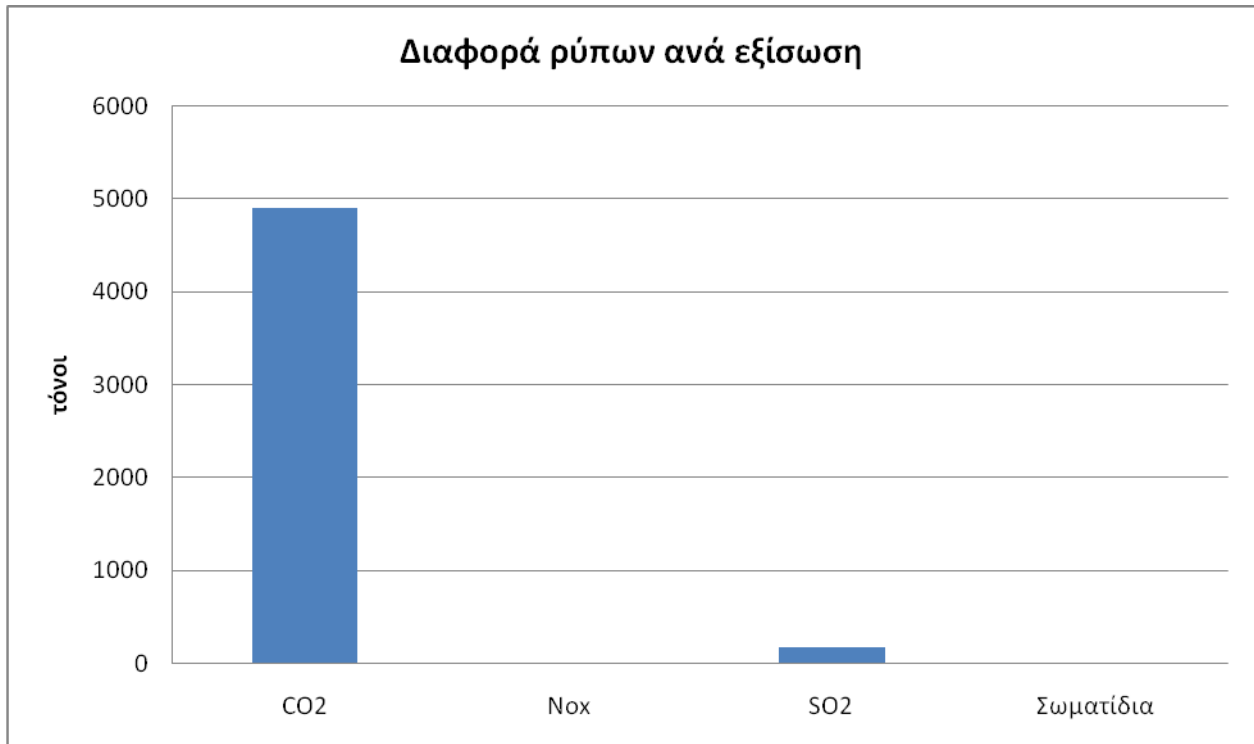


Εικόνα 4-84:Μεταβολή ανά εξίσωση Σωματιδίων

Στις εικόνες αυτές βλέπουμε, ότι παρόλο που η εξίσωση παραχομέτρου είναι πιο οικονομική για το Σ.Η.Ε. της Κρήτης είναι πιο ρυπογόνα από την απολογιστική. Πιο συγκεκριμένα στην Εικόνα 4-85 βλέπουμε τις ακριβείς διαφορές των εξισώσεων ανά είδος ρύπου και στην Εικόνα 4-86 βλέπουμε τις ποσοστιαίες διαφορές. Αυτό που παρατηρούμε



είναι ότι με την απολογιστική εξίσωση κατανάλωσης είχαμε λιγότερους ρύπους διοξειδίου του άνθρακα καθώς και διοξειδίου του θείου, με την μεγαλύτερη διαφορά να την έχουν οι ρύποι διοξειδίου του θείου, που αντιστοιχεί σε αύξηση της τάξεως του 0,72%. Αυτό συμβαίνει καθώς με την εξίσωσης παροχομέτρου έχουμε αύξηση της κατανάλωσης του καυσίμου μαζούτ, σε σχέση με την απολογιστική εξίσωση, που είναι σαφώς πιο ρυπογόνο από το καύσιμο diesel.



Εικόνα 4-85: Διαφορά ρύπων ανά εξίσωση



Εικόνα 4-86: Ποσοστιαία διαφορά ρύπων ανά εξίσωση

## 5 Συμπεράσματα-Προτάσεις

Όπως είπαμε και στα προηγούμενα κεφάλαια ένα Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας για να λειτουργήσει πρέπει να έχει οπωσδήποτε κάποιες μονάδες οι οποίες θα αναλαμβάνουν να καλύψουν το κυριότερο μέρος του φορτίου και να είναι σε λειτουργία παραπάνω από τα 3/4 ενός έτους. Αυτές οι μονάδες είναι οι μονάδες βάσης, από τις οποίες οι μονάδες Συνδυασμένου Κύκλου είναι οι πιο διαδεδομένες στις νεότερες εγκαταστάσεις καθώς έχουν την υψηλότερη απόδοση, περίπου 30-40% καλύτερη, από τις άλλες μονάδες βάσεις, όπως οι ατμομονάδες, και αγγίζει το 60%. Ήδη στην χώρα μας υπάρχει εγκατεστημένη ονομαστική ισχύς της τάξεως των 3822 MW, όπως είπαμε και στον Πίνακα 1-3, και έχει αδειοδοτηθεί και αναμένεται να ενταχθούν μονάδες Συνδυασμένου Κύκλου ονομαστικής ισχύος επιπλέον 3000 MW. Το Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας της Κρήτης έχει μια μονάδα Συνδυασμένου Κύκλου η οποία είναι η μεγαλύτερη του συστήματος και για το έτος μελέτης μας λειτούργησε το 73% του χρόνου, που αντιστοιχεί σε 6422 ώρες, και παρήγαγε περίπου 350 GWh δηλαδή περίπου το 13% της ζήτησης της Κρήτης.

Όμως λόγω περιόδων χαμηλής ζήτησης και για να επιτραπεί υψηλότερη διείσδυση παραγωγής από τα αιολικά πάρκα, το 55% από τις ώρες που λειτουργούσε ο Συνδυασμένος Κύκλος ήταν στην λειτουργία του "μισού" Συνδυασμένου δηλαδή να λειτουργεί μόνο ο ένας από τους δύο αεροστροβίλους μαζί με τον ατμοστροβίλο που όμως μπορεί να παράγει το μισό της ισχύος του.

Επειδή οι μονάδες Συνδυασμένου Κύκλου είναι τόσο σημαντικές για την λειτουργία των Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας έχουν γίνει πολλές προσπάθειες για την μοντελοποίηση τους, κυρίως χρησιμοποιώντας τα θεωρητικά τεχνικά τους χαρακτηριστικά ή ευριστικούς αλγόριθμους. Στην δική μας μοντελοποίηση χρησιμοποιήσαμε τα δεδομένα που μετρήθηκαν για την παραγωγή του Συνδυασμένου από τα όργανα μετρήσεων και για την κατανάλωση καυσίμου του Συνδυασμένου από τα παροχόμετρα που εγκαταστάθηκαν κατά την περίοδο εκπόνησης της εργασίας. Με αυτό το τρόπο μοντελοποιήσαμε την παραγωγή του Συνδυασμένου Κύκλου και βρήκαμε την καινούργια εξίσωση κατανάλωσης καυσίμου του. Στο κεφάλαιο 4 είδαμε ότι με την καινούργια εξίσωση έχουμε αρκετές μεταβολές στην παραγωγή και στο κόστος τις οποίες αναφέρουμε και σε αυτό το κεφάλαιο.

Η μεθοδολογία που ακολουθήσαμε για να βρούμε αυτές τις μεταβολές ήταν να δημιουργήσουμε αλγόριθμο ανακατανομής ενός μέρους του φορτίου, ο οποίος έκανε την ανακατανομή με βάση την καινούργια εξίσωση κατανάλωσης του Συνδυασμένου Κύκλου και με βάση την απολογιστική εξίσωση. Με τον τρόπο αυτό βρήκαμε όλες τις μεταβολές που προκύπτουν και αν οφείλονται στον αλγόριθμο ανακατανομής ή στην καινούργια εξίσωση κατανάλωσης του Συνδυασμένου Κύκλου.

Για να βρούμε όμως την καινούργια εξίσωση κατανάλωσης του Συνδυασμένου παρατηρήσαμε ότι η παραγωγή του σχετίζεται άμεσα με την παραγωγή των αεροστροβίλων που τον αποτελούν. Ουσιαστικά ελέγξαμε τις τιμές της παραγωγής του Συνδυασμένου και των αεροστροβίλων και είδαμε ότι υπάρχει άμεση συσχέτιση της παραγωγής τους άσχετα αν η μονάδα βρίσκεται σε λειτουργία μισού ή ολόκληρου Συνδυασμένου, δηλαδή αν λειτουργεί μόνο ένας αεροστροβίλος ή και οι δύο μαζί. Έχοντας αυτή την συσχέτιση μπορούμε να ξέρουμε ανά πάσα στιγμή την παραγωγή του Συνδυασμένου χωρίς να γνωρίζουμε την παραγωγή του ατμοστροβίλου.

## 5.1 Ως προς την αξία της βελτιστοποιημένης κατανομής

Είδαμε στο κεφάλαιο 4.1 ότι ο αλγόριθμος ανακατανομής φορτίου, αν και εφαρμόζεται μόνο σε ένα μικρό κομμάτι της παραγωγής, 85% της παραγωγής για τις μονάδες βάσης και 70% για τις υπόλοιπες, προκαλεί αρκετές μεταβολές στην παραγωγή των μονάδων, στην κατανάλωση καυσίμου, στο κόστος και στους ρύπους που εκπέμπουν οι μονάδες. Πιο συγκεκριμένα οι μεταβολές στην παραγωγή των μονάδων είναι οι παρακάτω όπου τα ποσοστά αναφέρονται στην μεταβολή της κάθε μονάδας ξεχωριστά και όχι επί του συνόλου:

- Μείωση της παραγωγής του Συνδυασμένου Κύκλου κατά 32% που αντιστοιχεί σε περίπου 99 GWh
- Μείωση της παραγωγής των Αεροστροβίλων Λινοπεραμάτων κατά 30% που αντιστοιχεί σε περίπου 14 GWh
- Μείωση της παραγωγής των παλιών αεροστροβίλων Χανίων (1,4,5) κατά 38% που αντιστοιχεί σε περίπου 2,3 GWh
- Μείωση της παραγωγής των νέων αεροστροβίλων Χανίων (11,12,13) κατά 36% που αντιστοιχεί σε περίπου 39 GWh
- Αύξηση της παραγωγής των ατμομονάδων και των μονάδων diesel του Αθρινόλακου κατά 16% και 9% αντίστοιχα που αντιστοιχούν σε περίπου 76,3 GWh και 58,9 GWh αντίστοιχα
- Μείωση της παραγωγής των ατμομονάδων Λινοπεραμάτων κατά 3% που αντιστοιχεί σε 20,45 GWh
- Αύξηση της παραγωγής των μονάδων diesel Λινοπεραμάτων κατά 19% που αντιστοιχεί σε 42,88 GWh

Αυτή η μεταβολή στην παραγωγή των μονάδων επιφέρει και μεταβολές στην παραγωγή των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας οι οποίες είναι:

- Αύξηση της παραγωγής του σταθμού των Λινοπεραμάτων κατά 0,7% που αντιστοιχεί σε 5,93 GWh
- Μείωση της παραγωγής του σταθμού των Χανίων κατά 33% που αντιστοιχεί σε 141,12 GWh
- Αύξηση της παραγωγής του σταθμού του Αθρινόλακου κατά 12% που αντιστοιχεί σε 135,31 GWh

Επειδή αλλάζει η παραγωγή μονάδων που καίνε διαφορετικό καύσιμο είναι λογικό να αλλάζει η κατανάλωση καυσίμου. Όπως είπαμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο τα δύο καύσιμα που χρησιμοποιούνται στο Σ.Η.Ε. Κρήτης είναι το μαζούτ και το diesel. Οι μεταβολές που είχαμε στην κατανάλωση καθώς και στο κόστος κάθε καυσίμου είναι η εξής:

- Αύξηση της κατανάλωσης και του κόστους του καυσίμου μαζούτ κατά 7% από τις προηγούμενες μετρήσεις που αντιστοιχούν σε 31175,54 τόνους και σε περίπου 17 εκατομμύρια euro
- Μείωση της κατανάλωσης και του κόστους του καυσίμου diesel κατά 17% από τις προηγούμενες μετρήσεις που αντιστοιχούν σε 30715,99 klt και σε περίπου 30 εκατομμύρια euro

Η συνολική εξοικονόμηση σε euro που έχουμε συνολικά για όλο το Σ.Η.Ε. Κρήτης ανέρχεται στα 13,2 εκατομμύρια που αντιστοιχεί σε βελτίωση σε σχέση με το κόστος κατά 3,18%. Το κόστος που έχει αντίκτυπο στον καταναλωτή είναι το κόστος της MWh το οποίο βρήκαμε ότι μειώνεται τον χρόνο κατά 5,5 euro. Όσο αναφορά τον Συνδυασμένο Κύκλο η κατανάλωση καυσίμου του και το κόστος του μειώθηκαν κατά 16% που αντιστοιχεί σε 172.000 klt και περίπου 17 εκατομμύρια euro αντίστοιχα. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφέρουμε ότι την μεγαλύτερη μεταβολή στην παραγωγή, στην κατανάλωση και το κόστος την έχουμε τους καλοκαιρινούς μήνες, από Μάιο μέχρι και Σεπτέμβριο, που είναι υπερδιπλάσια της μεταβολής των υπόλοιπων μηνών του χρόνου.

Επίπτωση έχουμε και στους ρύπους οι οποίοι είναι, όπως είπαμε και στο κεφάλαιο 4, το διοξείδιο του άνθρακα CO<sub>2</sub>, οξείδια του αζώτου NO<sub>x</sub>, διοξείδιο του θείου SO<sub>2</sub> και διάφορα σωματίδια. Οι μεταβολές στους ρύπους που έχουμε είναι οι εξής:

- Μείωση των ρύπων διοξειδίου του άνθρακα CO<sub>2</sub> κατά περίπου 4800 τόνους που αντιστοιχεί σε ποσοστό μεταβολής 0,5%
- Αύξηση των ρύπων οξειδίων του αζώτου NO<sub>x</sub> κατά 800 τόνους που αντιστοιχεί σε ποσοστό 9%
- Αύξηση των ρύπων διοξειδίου του θείου SO<sub>2</sub> κατά 2000 τόνους που αντιστοιχεί σε ποσοστό 8%
- Πολύ μικρή αύξηση των ρύπων σωματιδίων μερικών κιλών που αντιστοιχεί σε ποσοστό 0,2%

Η μικρή μείωση των ρύπων διοξειδίου του άνθρακα και η αύξηση των ρύπων οξειδίων του αζώτου και διοξειδίου του θείου είναι λογική καθώς μειώνεται η κατανάλωση καυσίμου diesel και αυξάνεται αυτή του μαζούτ, το οποίο δεν έχει τόσο καλή καύση όσο το diesel με αποτέλεσμα να δημιουργούνται επιπλέον ρύποι.

Το συμπέρασμα από όλα αυτά τα δεδομένα είναι ότι παρόλο που κάναμε ανακατανομή σε ένα μικρό κομμάτι της παραγωγής έχουμε εξοικονόμηση της τάξεως των εκατομμυρίων euro, χρήματα τα οποία μπορεί και να ήταν περισσότερα αν η ανακατανομή γινόταν σε όλο το εύρος του φορτίου.

## 5.2 Ως προς την αξία της γνώσης των εξισώσεων

Είδαμε στο κεφάλαιο 4.2 ότι έχουμε διαφορές μετά την ανακατανομή με την εξίσωση που βγήκε από τις μετρήσεις των παροχομέτρων σε σχέση με την ανακατανομή με την απολογιστική εξίσωση. Με αυτό τον τρόπο θα μπορούμε να ελέγξουμε πως επηρεάζεται η λειτουργία του Σ.Η.Ε. Κρήτης από την καινούργια εξίσωση κατανάλωσης του Συνδυασμένου, πέρα από το πόσο επηρεάζονται από την ανακατανομή φορτίου.

Κάνοντας λοιπόν την ίδια μελέτη με το προηγούμενο κεφάλαιο ψάχνουμε να βρούμε τις διαφορές μεταξύ των δύο εξισώσεων ως προς την παραγωγή των μονάδων, την κατανάλωση καυσίμου, το κόστος και τους ρύπους που εκπέμπουν οι μονάδες. Ως προς την παραγωγή των μονάδων κάνοντας την μελέτη παρατηρούμε ότι την μεγαλύτερη μεταβολή παρουσιάζουν οι εξής 9 μονάδες:

- Μείωση της παραγωγής του Συνδυασμένου Κύκλου κατά 15,5 GWh που αντιστοιχεί σε ποσοστό 6%

- Αύξηση της παραγωγής της μονάδας ATM2 των Λινοπεραμάτων κατά 5,8 GWh που αντιστοιχεί σε ποσοστό 7%
- Αύξηση της παραγωγής της μονάδας ATM3 των Λινοπεραμάτων κατά 4,8 GWh που αντιστοιχεί σε ποσοστό 6,5%
- Αύξηση της παραγωγής της μονάδας AEP3 των Λινοπεραμάτων κατά 1,8 GWh που αντιστοιχεί σε ποσοστό 7%
- Αύξηση της παραγωγής της μονάδας AEP5 των Λινοπεραμάτων κατά 1,6 GWh που αντιστοιχεί σε ποσοστό 8,5%
- Αύξηση της παραγωγής της μονάδας AEP13 των Χανίων κατά 1,8 GWh που αντιστοιχεί σε ποσοστό 11%
- Αύξηση της παραγωγής της μονάδας AEP4 των Χανίων κατά 200 MWh που αντιστοιχεί σε ποσοστό 9%

Από τα δεδομένα αυτά βλέπουμε ότι το 68% της παραγωγής του Συνδυασμένου μεταφέρεται στους ATM2 και ATM3 των Λινοπεραμάτων και το μεγαλύτερο μέρος από το υπόλοιπο φορτίο στους πιο καινούργιους αεροστρόβιλους, που είναι ο AEP3 και AEP5 των Λινοπεραμάτων και ο AEP13 των Χανίων.

Αυτή η μεταβολή στην παραγωγή των μονάδων επιφέρει και μεταβολές στην παραγωγή των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας οι οποίες είναι:

- Αύξηση της παραγωγής του σταθμού των Λινοπεραμάτων κατά 1,62% που αντιστοιχεί σε 13,8 GWh
- Μείωση της παραγωγής του σταθμού των Χανίων κατά 3,6% που αντιστοιχεί σε 13,7 GWh
- Μείωση της παραγωγής του σταθμού του Αθερινόλακου κατά 0.01% που αντιστοιχεί σε 0.1 GWh

Επειδή αλλάζει η παραγωγή μονάδων που καίνε διαφορετικό καύσιμο είναι λογικό να αλλάζει η κατανάλωση καυσίμου. Οι μεταβολές που είχαμε στην κατανάλωση καθώς και στο κόστος κάθε καυσίμου είναι οι εξής:

- Αύξηση της κατανάλωσης και του κόστους του καυσίμου μαζούτ κατά 0,77% από τις προηγούμενες μετρήσεις που αντιστοιχούν σε 3400 τόνους και σε κόστος περίπου 1,8 εκατομμύρια euro
- Μείωση της κατανάλωσης και του κόστους του καυσίμου diesel κατά 1,29% από τις προηγούμενες μετρήσεις που αντιστοιχούν σε 2300 klt και σε κόστος περίπου 2,3 εκατομμύρια euro

Η συνολική εξοικονόμηση σε euro που έχουμε συνολικά για όλο το Σ.Η.Ε. Κρήτης ανέρχεται στις 437 χιλιάδες € που αντιστοιχεί σε βελτίωση σε σχέση με το κόστος κατά 0,11%. Το κόστος που έχει αντίκτυπο στον καταναλωτή είναι το κόστος της MWh το οποίο βρήκαμε ότι μειώνεται τον χρόνο κατά 0,3 euro που αντιστοιχεί σε βελτίωση της τάξεως του 0,11% και είναι ουσιαστικά αμελητέο για τον μέσο καταναλωτή. Όσο αναφορά τον Συνδυασμένο Κύκλο η κατανάλωση καυσίμου του και το κόστος του μειώθηκαν κατά 3,36% που αντιστοιχεί σε 3400,6 klt και περίπου 3,4 εκατομμύρια euro αντίστοιχα. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφέρουμε ότι την μεγαλύτερη μεταβολή στην παραγωγή, στην κατανάλωση και το κόστος την έχουμε τους καλοκαιρινούς μήνες, από Μάιο μέχρι και Σεπτέμβριο, που είναι υπερδιπλάσια της μεταβολής των υπόλοιπων μηνών του χρόνου.

Ιδιαίτερα τον μήνα Αύγουστο η εξοικονόμηση αγγίζει τα 1,8 εκατομμύρια euro και είναι η μεγαλύτερη μηνιαία διαφορά που παρατηρείται.

Επίπτωση έχουμε και στους ρύπους οι οποίοι είναι, όπως είπαμε και στο κεφάλαιο 4, το διοξείδιο του άνθρακα CO<sub>2</sub>, οξείδια του αζώτου NO<sub>x</sub>, διοξείδιο του θείου SO<sub>2</sub> και διάφορα σωματίδια. Οι μεταβολές στους ρύπους που έχουμε είναι οι εξής:

- Αύξηση των ρύπων διοξειδίου του άνθρακα CO<sub>2</sub> κατά περίπου 4800 τόνους που αντιστοιχεί σε ποσοστό μεταβολής 0,28%
- Ελάχιστη αύξηση των ρύπων οξειδίων του αζώτου NO<sub>x</sub> κατά 2,5 τόνους που αντιστοιχεί σε ποσοστό 0,01%
- Αύξηση των ρύπων διοξειδίου του θείου SO<sub>2</sub> κατά 200 τόνους που αντιστοιχεί σε ποσοστό 0,75%
- Ελάχιστη αύξηση των ρύπων σωματιδίων κατά 3,5 τόνους που αντιστοιχεί σε ποσοστό 0,35%

Από τα δεδομένα αυτά φαίνεται ότι μεταξύ των δύο εξισώσεων δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές στου εκπεμπόμενους ρύπους. Την μεγαλύτερη διαφορά την έχουμε στου ρύπους διοξειδίου του θείου και μετά στους ρύπους σωματιδίων. Επίσης βλέπουμε ότι με την εξίσωση παροχομέτρου έχουμε γενικά περισσότερους ρύπους από ότι με την απολογιστική καθώς με την εξίσωση παροχομέτρου έχουμε μεγαλύτερη κατανάλωση καυσίμου μαζούτ που είναι πιο ρυπογόνο από το diesel.

Το συμπέρασμα συγκρίνοντας τις ανακατανομές με τις δύο διαφορετικές εξισώσεις είναι ότι η μονάδα του Συνδυασμένου Κύκλου των Χανίων, με βάση τα πραγματικά μετρημένα δεδομένα, έχει τελικά πιο ακριβή παραγωγή από αυτή που αναμένεται. Για το λόγο αυτό πρέπει να μειωθεί η παραγωγή του και να κατανεμηθεί σε άλλες μονάδες οι οποίες έχουν πιο οικονομική λειτουργία από τον Συνδυασμένο. Σε αυτό το συμπέρασμα θα είχαμε καταλήξει και αν κάναμε ανακατανομή και με την απολογιστική εξίσωση, απλώς με την εξίσωση παροχομέτρων η λειτουργία του Συνδυασμένου γίνεται ακόμα πιο ακριβή.

### 5.3 Προτάσεις

Από τα παραπάνω στοιχεία φαίνεται ότι υπάρχουν αρκετά πράγματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να βελτιωθεί η λειτουργία του Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας της Κρήτης. Κατ' αρχήν πρέπει όταν γίνεται η κατανομή φορτίου στις μονάδες για την κάλυψη του φορτίου να γίνεται βέλτιστα οικονομικά. Αυτό μπορούμε να το πετύχουμε με το κατάλληλο software το οποίο θα υπολογίζει όλες τις παραμέτρους και θα κάνει την κατανομή βέλτιστα οικονομικά, καθώς και γνωρίζοντας όλες τις εξισώσεις παροχομέτρου όλων των μονάδων ώστε να ξέρουμε το πραγματικό τους κόστος λειτουργίας.

Με αυτό τον τρόπο αν θα κάνουμε ανακατανομή ολόκληρου του φορτίου θα έχουμε σημαντικά οφέλη καθώς έτσι θα έχουν μεγάλη παραγωγή και θα λειτουργούν τις περισσότερες ώρες τον χρόνο οι μονάδες που είναι πιο καινούργιες και οικονομικές, όπως αυτές του σταθμού του Αθρινόλακου. Αυτό γίνεται περισσότερο κατανοητό γιατί όπως είδαμε ακόμα και με την ανακατανομή με βάση την παλιά εξίσωση έχουμε εξοικονόμηση περίπου 12,7 εκατομμύρια euro σε σχέση με την πραγματική κατανομή.

Επίσης για να γίνεται και καλύτερη κατανομή της παραγωγής πρέπει να ξέρουμε ποιες είναι οι σωστές εξισώσεις των μονάδων, αυτές δηλαδή που προκύπτουν από τις μετρήσεις



που έχουμε για την παραγωγή και την κατανάλωση των μονάδων. Για να το κάνουμε αυτό πρέπει να εγκατασταθούν παροχόμετρα, που να κάνουν μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο, σε κάθε μονάδα ώστε να μπορούμε να μετράμε την κατανάλωση καυσίμου της και από τα δεδομένα αυτά να βρούμε και την πραγματική εξίσωση κατανάλωσης καυσίμου.

Σε αυτή την πτυχιακή για παράδειγμα δείξαμε ότι με μόνο την γνώση της σωστής εξίσωσης του Συνδυασμένου Κύκλου εξοικονομούμε περίπου 435 χιλιάδες euro τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν στην αγορά παροχομέτρων για άλλες μονάδες. Ένα παροχόμετρο κοστίζει περίπου 5000 με 30000 euro ανάλογα με το μέγεθος του σωλήνα που εγκαθίσταται και την ακρίβεια που θέλουμε να έχει.<sup>xxix</sup> Οπότε με τα χρήματα που εξοικονομούμε μπορούμε να αγοράσουμε περίπου 10 παροχόμετρα για να τοποθετηθούν σε άλλες μονάδες και να αποπληρωθούν σε ένα έτος. Στις μονάδες που πρέπει να τοποθετηθούν οπωσδήποτε παροχόμετρα είναι αυτές στις οποίες αυξάνεται η παραγωγή τους λόγω της νέας εξίσωση κατανάλωσης καυσίμου του Συνδυασμένου, που είναι ο ATM2, ATM3, AEP3 και AEP5 των Λινοπεραμάτων και AEP13 και AEP4 των Χανίων. Με αυτό τον τρόπο θα μπορέσουμε να βρούμε την εξίσωση κατανάλωσης καυσίμου που προκύπτει από τα πραγματικά δεδομένα και να είμαστε σίγουροι ότι αξίζει να αναλάβουν την παραγωγή που χάνει ο Συνδυασμένος αυτές οι μονάδες και όχι κάποιες άλλες που ίσως είναι πιο οικονομικές.

## 6 Βιβλιογραφία

Σημειώσεις μαθήματος Παραγωγή και Διανομή Ηλεκτρικής ενέργειας Δρ.Τσικαλάκης Αντώνιος

---

<sup>i</sup> <http://www2.econ.iastate.edu/classes/econ458/tesfatsion/Home458Team.htm>

<sup>ii</sup> Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας Ν.Βοβός Γ.Γιαννακόπουλος Εκδόσεις ΖΗΤΗ

<sup>iii</sup> [http://www.resoffice.gr/file/reg/query\\_prod.jsp](http://www.resoffice.gr/file/reg/query_prod.jsp)

<sup>iv</sup> [www.ewea.org](http://www.ewea.org)

<sup>v</sup> [www.epia.org](http://www.epia.org)

<sup>vi</sup> [www.esha.be](http://www.esha.be)

<sup>vii</sup> [www.eubia.org](http://www.eubia.org)

<sup>viii</sup> [www.erec.org](http://www.erec.org)

<sup>ix</sup> [www.estif.org](http://www.estif.org)

<sup>x</sup> [www.egec.org](http://www.egec.org)

<sup>xi</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Diesel\\_generator](http://en.wikipedia.org/wiki/Diesel_generator)

<sup>xii</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Steam\\_turbine](http://en.wikipedia.org/wiki/Steam_turbine)

<sup>xiii</sup> Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, έλεγχος και ευστάθεια συστήματος Κ.Βουρνάς Κ.Παπαδιάς Κ.Ντελκής Εκδόσεις Συμμετρία

<sup>xiv</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Gas\\_turbine](http://en.wikipedia.org/wiki/Gas_turbine)

<sup>xv</sup> <http://electrical-engineering-portal.com/an-overview-of-combined-cycle-power-plant>

<sup>xvi</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Combined\\_cycle](http://en.wikipedia.org/wiki/Combined_cycle)

<sup>xvii</sup> <http://www.csp-world.com/cspworldmap/hassi-rmel-iscc>

<sup>xviii</sup> Μελέτη, προσομοίωση και βελτιστοποίηση λειτουργίας ηλιοθερμικού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Κεντρική Ελλάδα Α.Γκοράκης Πολυτεχνείο Κρήτης

<sup>xix</sup> [http://www.admie.gr/fileadmin/groups/EDRETH/Monthly\\_Energy\\_Reports/Energy\\_Report\\_201409\\_v1.pdf](http://www.admie.gr/fileadmin/groups/EDRETH/Monthly_Energy_Reports/Energy_Report_201409_v1.pdf)

---

<sup>xx</sup> Επιπτώσεις στην οικονομική λειτουργία των Σ.Η.Ε. Κρήτης και Κύπρου λόγω της διασύνδεσής τους Α.Αντωνίου Πολυτεχνείο Κρήτης

<sup>xxi</sup> Neural Network Modeling of a Power Generation Gas Turbine - **William E. Cole**

**Northeastern University**

<sup>xxii</sup> Multiple neural networks for a long term time series forecast - Hanh H. Nguyen, Christine W. Chan

<sup>xxiii</sup> <https://www.ge-distributedpower.com/products/power-generation/15-to-35-mw/lm2500>

<sup>xxiv</sup> Ηλεκτρικές μετρήσεις και αισθητήρες Κ. Καλαϊτζάκης Ε. Κουτρούλης Εκδόσεις Κλειδάριθμος

<sup>xxv</sup> <https://www.teicrete.gr/el/stef/8480>

<sup>xxvi</sup> (κυρίως του Ν.3468/2006) από τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (Ρ.Α.Ε.)

<sup>xxvii</sup> ΜΕΙΩΣΗ ΑΙΧΜΗΣ ΣΕ ΚΟΡΕΣΜΕΝΟΥΣ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΚΑΙ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ - Νούλης Κωνσταντίνος Πολυτεχνείο Κρήτης

<sup>xxviii</sup> <http://www.mathworks.com/help/optim/ug/fmincon.html>

<sup>xxix</sup> <http://www.marex.gr/html/page.asp?PageID=26&Lang=2&ProdCatID=15>