

ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

MHX
673

ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΠΙΩΝ ΜΟΡΦΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

**“ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ
ΜΕΘΟΔΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΥΤΟΝΟΜΩΝ
ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ”**

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ : ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Κ. ΑΡΒΑΝΙΤΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : Κ.Α. ΚΑΒΒΑΔΙΑΣ

ΑΘΗΝΑ ΙΟΥΝΙΟΣ 2012

ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΜΗΧ
673

ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΠΙΩΝ ΜΟΡΦΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

**“ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ
ΜΕΘΟΔΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΥΤΟΝΟΜΩΝ
ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ”**

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ : ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Κ. ΑΡΒΑΝΙΤΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : Κ.Α. ΚΑΒΒΑΔΙΑΣ

ΑΘΗΝΑ ΙΟΥΝΙΟΣ 2012

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θέλω να ευχαριστήσω θερμά όλους τους διδάσκοντες καθηγητές μου, του Τμήματος Μηχανολογίας της Σχολής Τεχνολογικών Εφαρμογών του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πειραιά για τις γνώσεις που μου παρείχαν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου. Ακολούθως, ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον επιβλέποντα καθηγητή κ. Κοσμά Κ. Καββαδία καθώς και στον κ. Δημήτριο Ζαφειράκη για την άριστη συνεργασία και για τη βοήθεια και καθοδήγηση που μου παρείχαν σε όλη τη διάρκεια της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θέλω να ευχαριστήσω θερμά όλους τους διδάσκοντες καθηγητές μου, του Τμήματος Μηχανολογίας της Σχολής Τεχνολογικών Εφαρμογών του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πειραιά για τις γνώσεις που μου παρέιχαν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου. Ακολούθως, ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον επιβλέποντα καθηγητή κ. Κοσμά Κ. Καββαδία καθώς και στον κ. Δημήτριο Ζαφειράκη για την άριστη συνεργασία και για τη βοήθεια και καθοδήγηση που μου παρέιχαν σε όλη τη διάρκεια της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	-6-
ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι – ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	-7-
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙ - ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΩΝ	-9-
2.1. HOMER	
2.1.1. Εξομοίωση (Simulation)	-11-
2.1.2. Βελτιστοποίηση (Optimization)	-13-
2.1.3. Ανάλυση Ευαισθησίας (Sensitivity Analysis)	-17-
2.2. HOGA	-19-
2.2.1. Γενετικοί Αλγόριθμοι	-20-
2.2.1.α. Λειτουργία	-21-
2.2.1.β. Εκδοχές Αλγορίθμου	-21-
2.2.1.γ. Χαρακτηριστικά	-21-
2.2.1.δ. Διάγραμμα ροής για το πρόγραμμα HOGA	-21-
2.2.2. Βελτιστοποίηση Συστήματος	-24-
2.3. WT_PV	-26-
2.3.1. Διάγραμμα ροής για το πρόγραμμα WT_PV	-27-
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙΙ - ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	-28-
3.1. Συνδυασμοί Συστημάτων για WT_Pv/HOMER/HOGA	-28-
3.2. Εισαγωγή Δεδομένων	-29-
3.2.α. Μεταβλητές Φυσικής Διαμόρφωσης	-29-
3.2.β. Πόροι Συστήματος	-31-
3.2.γ. Συστατικά Εγκατάστασης Συστήματος	-37-
ι) Φωτοβολταϊκή Συστοιχία	-37-
ιι) Ανεμογεννήτρια	-40-
ιιι) Συσσωρευτές	-41-

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	-6-
ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι – ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	-7-
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙ - ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΩΝ	-9-
2.1. HOMER	
2.1.1. Εξομοίωση (Simulation)	-11-
2.1.2. Βελτιστοποίηση (Optimization)	-13-
2.1.3. Ανάλυση Ευαισθησίας (Sensitivity Analysis)	-17-
2.2. HOGA	-19-
2.2.1. Γενετικοί Αλγόριθμοι	-20-
2.2.1.α. Λειτουργία	-21-
2.2.1.β. Εκδοχές Αλγορίθμου	-21-
2.2.1.γ. Χαρακτηριστικά	-21-
2.2.1.δ. Διάγραμμα ροής για το πρόγραμμα HOGA	-21-
2.2.2. Βελτιστοποίηση Συστήματος	-24-
2.3. WT_PV	-26-
2.3.1. Διάγραμμα ροής για το πρόγραμμα WT_PV	-27-
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙΙ - ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	-28-
3.1. Συνδυασμοί Συστημάτων για WT_Pv/HOMER/HOGA	-28-
3.2. Εισαγωγή Δεδομένων	-29-
3.2.α. Μεταβλητές Φυσικής Διαμόρφωσης	-29-
3.2.β. Πόροι Συστήματος	-31-
3.2.γ. Συστατικά Εγκατάστασης Συστήματος	-37-
ι) Φωτοβολταϊκή Συστοιχία	-37-
ιι) Ανεμογεννήτρια	-40-
ιιι) Συσσωρευτές	-41-

iv) Λοιπά Εξαρτήματα	-43-
3.2.δ. Στρατηγική Διαχείρισης Φορτίου	-43-
3.3. Αποτελέσματα	-44-
3.3.1. Λογισμικό HOMER	-44-
1.1. Α/Γ – Φ/Β πλαίσια – Συσσωρευτές, $\beta=60^\circ$	-44-
1.2. Α/Γ– Συσσωρευτές	-47-
1.3. Φ/Β πλαίσια – Συσσωρευτές, $\beta=60^\circ$	-49-
1.4. Α/Γ– Φ/Β πλαίσια – Συσσωρευτές $\beta=35^\circ$	-52-
1.5. Φ/Β πλαίσια – Συσσωρευτές, $\beta=60^\circ$	-55-
3.3.2. Λογισμικό HOGA	-58-
1.1. Α/Γ– Φ/Β πλαίσια – Συσσωρευτές, $\beta=60^\circ$	-58-
1.2. Α/Γ– Συσσωρευτές	-59-
1.3. Φ/Β πλαίσια – Συσσωρευτές, $\beta=60^\circ$	-60-
1.4. Α/Γ– Φ/Β πλαίσια – Συσσωρευτές, $\beta=35^\circ$	-61-
1.5. Φ/Β πλαίσια – Συσσωρευτές, $\beta=35^\circ$	-62-
3.3.3. Λογισμικό WT_PV :	-63-
1.1. Α/Γ– Φ/Β πλαίσια – Συσσωρευτές, $\beta=60^\circ$	-63-
1.2. Α/Γ– Συσσωρευτές	-64-
1.3. Φ/Β πλαίσια – Συσσωρευτές, $\beta=60^\circ$	-65-
1.4. Α/Γ– Φ/Β πλαίσια – Συσσωρευτές, $\beta=35^\circ$	-66-
1.5. Φ/Β πλαίσια – Συσσωρευτές, $\beta=35^\circ$	-67-
ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΧΟΛΙΑ	-73-
4.1. Λογισμικό HOGA	-73-
4.2. Λογισμικό HOMER	-73-
4.3. Λογισμικό WT_PV	-73-
4.4. Επιμέρους Διαφορές των Λογισμικών	-74-
Βιβλιογραφία	-76-



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας, είναι η συγκριτική αξιολόγηση διαφορετικών υπολογιστικών μεθόδων διαστασιολόγησης Αυτόνομων Υβριδικών Συστημάτων με σκοπό την ανάδειξη των διαφορών τους. Για την επίτευξη αυτής, μελετήθηκε η δομή των παρακάτω υπολογιστικών προγραμμάτων :

- HOMER v. 2.68 / v. 2.81 (The Micropower Optimization Model)
- HOGA v.1.96 (Hybrid Optimization by Genetic Algorithms)
- WT_PV (software of S.E.A. & ENVI.PRO. Lab.)

Το κριτήριο για τη σύγκριση και την αξιολόγηση όλων των παραπάνω λογισμικών, είναι η δομή, ο τρόπος λειτουργίας καθώς και η περίσσεια ενέργειας που απορρέει από τους συνδυασμούς των μονάδων παραγωγής που προκύπτουν από αυτά τα λογισμικά.

ABSTRACT

The aim of this project is to compare different calculation methods of sizing Autonomous Hybrid Systems in order to determine the differences between them. The software used for the comparison was:

- HOMER v. 2.68 / v. 2.81 (The Micropower Optimization Model)
- HOGA v.1.96 (Hybrid Optimization by Genetic Algorithms)
- WT_PV (software of S.E.A. & ENV.PRO. Lab.)

In order to achieve this, we examined different combinations of Hybrid installations and compare the structure and the operation mode for each of them. The major parameter for this comparison was the energy surplus of each installation, calculated by each software.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι – ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Ο όρος «Υβριδικά Συστήματα Ενέργειας» αναφέρεται στα συστήματα όπου χρησιμοποιούνται πολλαπλές διατάξεις ενεργειακής μετατροπής, ή περισσότερα του ενός καυσίμου για την ίδια διάταξη, με σκοπό την παραγωγή ενέργειας.

Ένα υβριδικό σύστημα μπορεί να περιλαμβάνει μια συμβατική μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε συνδυασμό με μία τουλάχιστον μορφή ανανεώσιμης πηγής ενέργειας, διατάξεις αποθήκευσης, συστήματα εποπτείας και ελέγχου, καθώς και σύστημα διαχείρισης φορτίου. Με αυτήν την έννοια, τα υβριδικά συστήματα αποτελούν μία εναλλακτική επιλογή αντί των συμβατικών συστημάτων, τα οποία τυπικά βασίζονται στην παραγωγή ενέργειας από ορυκτά καύσιμα.

Εφαρμογές των Υβριδικών Συστημάτων Ενέργειας, αποτελούν τα αυτόνομα υβριδικά συστήματα (ΑΥΣ) τα οποία χρησιμοποιούνται για την ηλεκτροδότηση απομονωμένων ή νησιωτικών περιοχών που δεν είναι συνδεδεμένες με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο, οπότε δεν υπάρχει σύστημα μεταφοράς παρά μόνο σύστημα διανομής.

Η μετατροπή ενός συμβατικού αυτόνομου σταθμού σε υβριδικό, αποσκοπεί κατά κύριο λόγο στην ελάττωση της κατανάλωσης καυσίμου και των ωρών λειτουργίας των συμβατικών γεννητριών. Η σημαντικότερη διαφορά του αυτόνομου σε σχέση με ένα διασυνδεδεμένο υβριδικό σύστημα είναι ότι πρέπει να μπορεί να παρέχει όλη την ενέργεια που ζητείται οποιαδήποτε χρονική στιγμή ή να κάνει αποκοπή φορτίου όταν αυτό δεν είναι εφικτό. Επιπλέον, πρέπει να έχει την ικανότητα ρύθμισης συχνότητας και παραγωγής άεργου ισχύος ώστε να ρυθμίζει την τάση του δικτύου. Όταν η ηλεκτρική παραγωγή από τις μονάδες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας του συστήματος ξεπερνά το φορτίο, η περίσσεια ενέργειας πρέπει να αποθηκευτεί ή και να απορριφθεί με κάποιον τρόπο ώστε να μην προκαλέσει αστάθεια στο σύστημα.

Ένας βελτιστοποιημένος σχεδιασμός για τον έλεγχο των υβριδικών συστημάτων συχνά μπορεί να μειώσει το κόστος παραγωγής ανά kWh, σε σχέση με τη δημιουργία εγκαταστάσεων στις οποίες χρησιμοποιείται μόνο μία πηγή ενέργειας. Επίσης, ασυνήθιστες αιχμές κατανάλωσης ή χαμηλά επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας και ταχυτήτων του ανέμου καθιστούν τις αιολικές και φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις ανεπαρκείς. Για τους παραπάνω λόγους πρόσθετα βοηθητικά συστήματα παραγωγής ενέργειας χρησιμοποιούνται για την κάλυψη του απαιτούμενου φορτίου. Τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη χρησιμοποιούνται συχνά για να εξασφαλίζουν την αδιάλειπτη παροχή ενέργειας (γνωστές ως "γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος" στα υπολογιστικά προγράμματα), και συνήθως λειτουργούν με μονάδα πετρελαίου. Αυτά τα συγκροτήματα παραγωγής είναι η πιο διαδεδομένη εναλλακτική λύση για τα βοηθητικά συστήματα, ως μέθοδο για την παροχή πρόσθετου ενεργειακού εφοδιασμού για ορισμένα υψηλής ισχύος επίπεδα κατανάλωσης. Οι συμβατικές μέθοδοι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, εντούτοις, έχουν ως σημαντικό μειονέκτημα την εκπομπή τοξικών αερίων συμβάλλοντας στην επιδείνωση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Από όλα τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι οι υπολογισμοί διαστασιολόγησης ενός αυτόνομου υβριδικού συστήματος είναι εξαιρετικά δύσκολοι, λόγω του μεταβαλλόμενου βαθμού διαθεσιμότητας των φυσικών πόρων (ηλιακής ακτινοβολία, αιολικού δυναμικού κ.α.) καθώς και της ζητούμενης από τον καταναλωτή ενέργειας. Για αυτόν ακριβώς τον λόγο, έχουν αναπτυχθεί πολλά υπολογιστικά προγράμματα που έχουν ως στόχο την απλούστευση της διαμόρφωσης τέτοιων συστημάτων.

Πολλά από τα λογισμικά αυτά, που βρίσκονται ελεύθερα στο διαδίκτυο, όπως αυτά που χρησιμοποιούνται στην παρούσα πτυχιακή εργασία, έχουν δυνατότητα διαμόρφωσης και βελτιστοποίησης πολλών διαφορετικών συνδυασμών, για οποιοδήποτε δεδομένο υβριδικό σύστημα (φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, υδροστρόβιλοι, Συσσωρευτές, γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος, κυψέλες καυσίμου, μονάδα ηλεκτρόλυσης, αναστροφείς και μεταβλητές για τη στρατηγική ελέγχου).

2.1 Λογισμικό HOMER (The Micropower Optimization Model)

Το υπολογιστικό πακέτο βελτιστοποίησης (The Micropower Optimization Model) HOMER, είναι ένα μοντέλο το οποίο αναπτύχθηκε από το Αμερικανικό Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, (U.S. National Renewable Energy Laboratory – NREL) ώστε να παρέχει βοήθεια στο σχεδιασμό συστημάτων παραγωγής ενέργειας και να διευκολύνει τη σύγκριση των τεχνολογιών ηλεκτρικής παραγωγής μέσω διάφορων εφαρμογών. Το πρόγραμμα βασίζεται στην προσομοίωση της φυσικής συμπεριφοράς ενός ηλεκτρικού συστήματος [1] καθώς και στο κόστος κύκλου ζωής του, το οποίο διαμορφώνεται από το συνολικό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας πέραν του κύκλου ζωής του. Ουσιαστικά, πρόκειται για βελτιστοποίηση μέσω όλων των εφικτών συνδυασμών. Επίσης, επιτρέπει στο χρήστη τη σύγκριση πολλών διαφορετικών συνδυασμών θέτοντας τεχνικά ή οικονομικά κριτήρια. Τέλος, βοηθά στην κατανόηση καθώς και στην ποσοτικοποίηση των μεταβλητών αβεβαιότητας και ευαισθησίας.

Το HOMER, μπορεί να διαμορφώσει συστήματα που εξυπηρετούν το απαιτούμενο φορτίο με οποιοδήποτε εφικτό συνδυασμό μιας ή και περισσότερων από τις παρακάτω τεχνολογίες όπως: φωτοβολταϊκά πλαίσια, ανεμογεννήτριες, υδροστροβίλους, ενέργεια από βιομάζα, κυψέλες καυσίμου, Συσσωρευτές και τεχνολογίες αποθήκευσης υδρογόνου.

Το πρόγραμμα, αναπτύχθηκε πάνω σε τρεις βασικές διαδικασίες: την **Εξομοίωση**, τη **Βελτιστοποίηση** και την **Ανάλυση Ευαισθησίας**.

Κατά τη διαδικασία της **Εξομοίωσης**, το πρόγραμμα, μοντελοποιεί την απόδοση ενός συστήματος παραγωγής ενέργειας σε ωριαία βάση. Έπειτα, κατά τη διαδικασία **Βελτιστοποίησης**, αναζητά τη διαμόρφωση εκείνου του συστήματος που ικανοποιεί τους τεχνικούς περιορισμούς για το χαμηλότερο κόστος κύκλου ζωής. Τέλος, κατά τη διαδικασία της **Ανάλυσης Ευαισθησίας** κάτω από μία σειρά υποθετικών δεδομένων, εκτελούνται πολλαπλές βελτιστοποιήσεις ώστε να ποσοτικοποιηθεί ο βαθμός αβεβαιότητας.

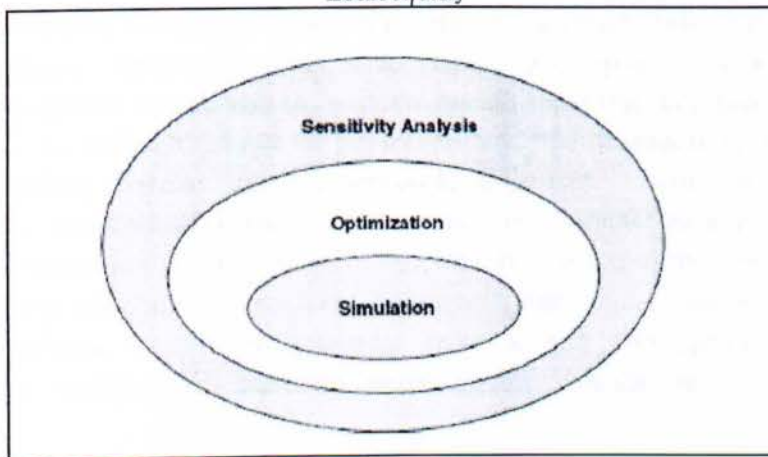
Η Βελτιστοποίηση, καθορίζει την καταλληλότερη (ελάχιστη) τιμή των μεταβλητών, πέραν των οποίων, ο χρήστης μπορεί να εισάγει, για τη σύνθεση των εξαρτημάτων του συστήματος, το μέγεθος ή την ποσότητα αυτών.

¹ Ως σύστημα, νοείται κάθε συνδυασμός που επιτρέπει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και θερμότητας, για την κάλυψη ενός φορτίου. Τέτοια συστήματα, μπορεί να συντίθενται από οποιοδήποτε συνδυασμό ηλεκτρικών τεχνολογιών παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας, να είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο ή αυτόνομα.

Η ανάλυση ευαισθησίας βοηθά στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων αβεβαιότητας καθώς και των αλλαγών στις τιμές των μεταβλητών, στις οποίες ο χρήστης δεν μπορεί να επέμβει, όπως για παράδειγμα η μέση ταχύτητα του αέρα ή η μελλοντική τιμή του κόστους των καυσίμων.

Στο σχήμα [1], παριστάνεται και γραφικά η σχέση των τριών βασικών διαδικασιών πάνω στις οποίες αναπτύχθηκε το πρόγραμμα. Γίνεται εύκολα αντιληπτό το γεγονός ότι: η διαδικασία Βελτιστοποίησης, εξαρτάται από τη διαδικασία Εξομοίωσης και η διαδικασία Ανάλυσης Ευαισθησίας με τη σειρά της από τις άλλες δύο.

Σχήμα 1 : Εννοιολογική Σχέση μεταξύ Εξομοίωσης, Βελτιστοποίησης και Ανάλυσης Ευαισθησίας



2.1.1. Προσομοίωση (Simulation)

Η θεμελιώδης ικανότητα του προγράμματος είναι η Εξομοίωση της μακροπρόθεσμης λειτουργίας ενός συστήματος. Οι διαδικασίες Βελτιστοποίησης και Ανάλυσης Ευαισθησίας, αποτελούν τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του προγράμματος και στηρίζονται στην διαδικασία της Εξομοίωσης.

Ειδικότερα, μέσω της εξομοίωσης, καθορίζεται πώς μια σύνθεση συστήματος (συνδυασμοί εξαρτημάτων – δεδομένων) και μια στρατηγική λειτουργίας (πώς αυτά συνεργάζονται μεταξύ τους), θα συμπεριφερόνταν σε μια δεδομένη ρύθμιση κατά τη διάρκεια μιας μακράς περιόδου.

Για συνδυασμούς συστημάτων, τα οποία περιέχουν Συσσωρευτές ή ηλεκτρογεννήτριες καυσίμου, απαιτείται μία στρατηγική διαχείρισης κατά την οποία το πρόγραμμα αποφασίζει για κάθε ώρα, τον τρόπο λειτουργίας των ηλεκτρογεννητριών καθώς και το χρονικό σημείο φόρτισης και εκφόρτισης των μπαταριών. Το HOMER μπορεί να μοντελοποιήσει δύο διαφορετικές στρατηγικές της *ακολουθίας φορτίου* και της *κυκλικής φόρτισης*. Κατά τη στρατηγική διαχείρισης “ακολουθίας φορτίου”, οι Συσσωρευτές μπορούν να φορτιστούν μόνο μέσω της παραγόμενης από ΑΠΕ και όχι από την ηλεκτρογεννήτρια. Κατά την εφαρμογή της στρατηγικής “κυκλικής φόρτισης”, οποτεδήποτε και αν δουλεύει η ηλεκτρογεννήτρια, παράγει περισσότερη ενέργεια από όση χρειάζεται για να καλυφθεί το φορτίο και η περίσσεια αυτής, χρησιμοποιείται για τη φόρτιση των μπαταριών.

Το πρόγραμμα, εκτελεί τη διαδικασία της Εξομοίωσης για κάθε σύστημα που έχει διαμορφώσει ο χρήστης, με σκοπό τον καθορισμό τού κατά πόσο η εκάστοτε διαμόρφωση είναι εφικτή (ικανότητα κάλυψης του φορτίου) και εκτίμησης του κόστους [2] εγκατάστασης και λειτουργίας για όλη τη διάρκεια ζωής του έργου.

Η σύνθεση ενός συστήματος, μοντελοποιείται μέσω της εξομοίωσης της λειτουργίας ενός συστήματος, με ωριαίους υπολογισμούς του ενεργειακού ισοζυγίου για το σύνολο ενός έτους. Ουσιαστικά, υπολογίζει το αν η παραγόμενη από ΑΠΕ ενέργεια, σε σύγκριση με το απαιτούμενο ηλεκτρικό - θερμικό φορτίο, αρκεί. Επίσης, αποφασίζει για τη διάθεση της ενέργειας σε περιόδους περίσσειας, την ροή αυτής από και προς καθένα από τα εξαρτήματα του συστήματος καθώς και της εύρεσης επιπλέον απαιτούμενης ενέργειας σε περιόδους ελλείμματος.

Επίσης, το πρόγραμμα για τον υπολογισμό του κόστους κύκλου ζωής ενός συστήματος, υπολογίζει και άλλες παραμέτρους όπως η ετήσια κατανάλωση καυσίμου, το χρόνο ζωής των συσσωρευτών, τις ώρες λειτουργίας της ηλεκτρογεννήτριας κ.α..

² Οι υπολογισμοί του κόστους, αφορούν κόστη όπως: αρχικό κόστος εγκατάστασης, κόστος αντικατάστασης, κόστη λειτουργίας και συντήρησης, καυσίμων και τόκων.

Για τον υπολογισμό του κόστους κύκλου ζωής του συστήματος, το HOMER χρησιμοποιεί τη συνολική καθαρά παρούσα αξία (NPV) η οποία περιλαμβάνει όλες τις δαπάνες και τα έσοδα καθώς και τις αναγόμενες στο παρόν μελλοντικές ταμιακές χρηματοροές που προκύπτουν κατά τη διάρκεια ζωής αυτού.

Τέλος, το HOMER μετά την ετήσια προσομοίωση που πραγματοποιεί για ένα σύστημα, χρησιμοποιεί τα αποτελέσματα αυτής και για τα υπόλοιπα έτη λειτουργίας χωρίς να λαμβάνει υπόψη του αλλαγές με την πάροδο του χρόνου, όπως για παράδειγμα την αύξηση των φορτίων ή τη μείωση της απόδοσης των συσσωρευτών. Παρόλα αυτά, ο χρήστης μπορεί να αναλύσει τέτοιες αλλαγές με τη χρήση της Ανάλυσης Ευαισθησίας.

2.1.2. Βελτιστοποίηση (Optimization)

Η διαδικασία της Βελτιστοποίησης, έχει ως στόχο τον καθορισμό του βέλτιστου συνδυασμού που διαμορφώθηκε κατά τη διαδικασία της Εξομοίωσης. Για το Homer, η καλύτερη σύνθεση είναι αυτή που ικανοποιεί όλους τους περιορισμούς του χρήστη, σε συνδυασμό με τη χαμηλότερη συνολική καθαρά παρούσα αξία. Για την εύρεση αυτής, απαιτείται η προσομοίωση πολλών και διαφορετικών συνθέσεων καθώς και στρατηγικών διαχείρισης. Κατά τη φάση αυτή, οι μη εφικτοί ³συνδυασμοί απορρίπτονται και οι εφικτοί συνδυασμοί ταξινομούνται με βάση τη συνολική καθαρά παρούσα αξία. Τέλος, οι συνθέσεις των συνδυασμών που δίνουν ικανοποιητικές λύσεις, παρουσιάζονται ως προς τη χαμηλότερη συνολική καθαρά παρούσα αξία ως βέλτιστες.

Στόχος της διαδικασίας Βελτιστοποίησης, είναι ο καθορισμός της βέλτιστης τιμής για κάθε μια από τις **μεταβλητές απόφασης**⁴ που εισάγει ο χρήστης.

Ως μεταβλητές απόφασης ή μεταβλητές βελτιστοποίησης, αναφέρονται όλα τα παρακάτω:

- το μέγεθος της Φωτοβολταϊκής συστοιχίας
- ο αριθμός των Ανεμογεννητριών / Μπαταριών
- η επιλογή παρουσίας ή όχι Υδροστροβίλου
- το μέγεθος της κάθε Ηλεκτρογεννήτριας
- το μέγεθος του Μετατροπέα
- το μέγεθος του Ηλεκτρολύτη
- το μέγεθος της συσκευής αποθήκευσης Υδρογόνου
- η στρατηγική διαχείρισης
- η μέγιστη ζήτηση του Δικτύου

Το HOMER δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα εισαγωγής πολλαπλών τιμών για κάθε μια από τις μεταβλητές απόφασης μέσω του σχήματος [2].

³ Κάθε συνδυασμός που δεν ικανοποιεί τις προδιαγραφές που ορίζει ο χρήστης

⁴ Μεταβλητές απόφασης: Κάθε μεταβλητή που εισάγεται από το χρήστη π.χ. ο αριθμός των μπαταριών

Σχήμα [2]: Πίνακας 1 – Μεταβλητές Βελτιστοποίησης

Search Space

This table displays the values of each optimization variable. HOMER builds the search space, or set of all possible system configurations, from this table and then simulates the configurations and sorts them by net present cost. You can add and remove values in this table or in the Sizes to Consider table in the appropriate input window.

Hold the pointer over an element name or click Help for more information.

	PV Array (kW)	AIR (Quantity)	H1000 (Strings)	Converter (kW)
1	0.000	0	0	0.00
2	1.020	1	1	1.00
3	2.040	2	2	5.50
4	3.060	3	3	
5	4.080	5	4	
6	5.100	10	5	
7	6.120		6	
8	7.140		7	
9	8.160		8	
10	9.180		9	

Ο παραπάνω πίνακας περιλαμβάνει 1800 συνθέσεις συστημάτων ($10 \cdot 6 \cdot 10 \cdot 3$)

Κατά τη βελτιστοποίηση, όλοι οι εφικτοί συνδυασμοί κάθε συστήματος, παρουσιάζονται σε ένα πίνακα (Πίνακας 2) ταξινομημένοι με βάση τη χαμηλότερη συνολική καθαρά παρούσα αξία.

Σχήμα [3]: Πίνακας 2 – Εφικτοί Συνδυασμοί

Double click on a system below for simulation results.

	PV (kW)	G1	H1000	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
	9.894	2	48	5.5	\$ 72,511	2,222	\$ 98,002	1.552	1.00
	9.945	2	48	5.5	\$ 72,654	2,224	\$ 98,159	1.554	1.00
	9.996	2	48	5.5	\$ 72,796	2,225	\$ 98,317	1.556	1.00
	10.....	2	48	5.5	\$ 72,939	2,226	\$ 98,474	1.559	1.00
	9.894	3	48	5.5	\$ 74,311	2,390	\$ 101,725	1.611	1.00
	9.945	3	48	5.5	\$ 74,454	2,391	\$ 101,882	1.613	1.00
	9.996	3	48	5.5	\$ 74,596	2,393	\$ 102,040	1.615	1.00
	10.....	3	48	5.5	\$ 74,739	2,394	\$ 102,197	1.617	1.00
	9.843	4	48	5.5	\$ 75,968	2,556	\$ 105,290	1.667	1.00
	9.894	4	48	5.5	\$ 76,111	2,558	\$ 105,447	1.669	1.00
	9.945	4	48	5.5	\$ 76,254	2,559	\$ 105,605	1.672	1.00
	9.792	1	60	5.5	\$ 79,425	2,292	\$ 105,717	1.674	1.00
	9.996	4	48	5.5	\$ 76,396	2,560	\$ 105,762	1.674	1.00
	9.843	1	60	5.5	\$ 79,568	2,294	\$ 105,875	1.676	1.00
	10.....	4	48	5.5	\$ 76,539	2,562	\$ 105,920	1.676	1.00
	9.894	1	60	5.5	\$ 79,711	2,295	\$ 106,032	1.678	1.00
	9.945	1	60	5.5	\$ 79,854	2,296	\$ 106,189	1.680	1.00
	9.996	1	60	5.5	\$ 79,996	2,297	\$ 106,347	1.682	1.00
	10.....	1	60	5.5	\$ 80,139	2,299	\$ 106,504	1.685	1.00
	8.925	2	60	5.5	\$ 78,798	2,438	\$ 106,764	1.690	1.00
	8.976	2	60	5.5	\$ 78,940	2,439	\$ 106,921	1.693	1.00
	9.027	2	60	5.5	\$ 79,083	2,441	\$ 107,079	1.695	1.00
	9.078	2	60	5.5	\$ 79,226	2,442	\$ 107,236	1.697	1.00
	9.129	2	60	5.5	\$ 79,369	2,443	\$ 107,393	1.699	1.00
	9.180	2	60	5.5	\$ 79,512	2,445	\$ 107,551	1.701	1.00

Οι πρώτες τέσσερις στήλες, με τα αντίστοιχα εικονίδια, αναφέρονται στις πηγές ενέργειας που απαρτίζουν το σύστημα (από δεξιά προς τα αριστερά εμφανίζονται : φωτοβολταϊκά πλαίσια, ανεμογεννήτριες, Συσσωρευτές και μετατροπέας AC-DC). Οι επόμενες τέσσερις στήλες αντίστοιχα, περιέχουν το μέγεθος και την ποσότητα αυτών. Τέλος, οι υπόλοιπες στήλες αναφέρονται σε μερικά από τα βασικότερα αποτελέσματα της Προσομοίωσης όπως: η συνολική καθαρά παρούσα αξία, το κόστος της ενέργειας, το αρχικό κόστος της εγκατάστασης, το κόστος λειτουργίας, το κόστος της ενέργειας ανά kWh και το συντελεστή [⁵] f_{ren} ανανεώσιμης ενέργειας.

Επιπροσθέτως, υπάρχει η δυνατότητα προβολής όλων των μεταβλητών που συνιστούν ένα εφικτό σύστημα, με τη μορφή του παρακάτω πίνακα⁶.

Σχήμα [4]: Πίνακας 3 – Μεταβλητές Βελτιστοποίησης

#	PV kW	G1	Batteries kW	Converter kW	Total		Tot.	Tot.	Total Cost \$/yr	Total Cost \$/yr	Opera ting Cost \$/yr	PV COE \$/kWh	Wind Produc tion kWh/yr	Electrical Producti on kWh/yr	AC Primary Load kWh/yr	Ren. Fract ion		
					Capital Cost \$	NPC \$	Ann. Cap. \$/yr	Ann. Repl. \$/yr									Ann. O&M \$/yr	Ann. Fuel \$/yr
1	9.894	2	48	5.5	72,511	98,002	6,322	380	1,842	0	8,544	2,222	1.552	11,305	7,346	18,651	5,506	1
2	9.945	2	48	5.5	72,654	98,159	6,334	380	1,844	0	8,558	2,224	1.554	11,363	7,346	18,709	5,507	1
3	9.996	2	48	5.5	72,796	98,317	6,347	380	1,845	0	8,572	2,225	1.556	11,422	7,346	18,768	5,508	1
4	10.047	2	48	5.5	72,939	98,474	6,359	380	1,846	0	8,585	2,226	1.559	11,480	7,346	18,826	5,509	1
5	9.894	3	48	5.5	74,311	101,725	6,479	468	1,922	0	8,869	2,390	1.611	11,305	11,019	22,324	5,507	1
6	9.945	3	48	5.5	74,454	101,882	6,491	468	1,924	0	8,883	2,391	1.613	11,363	11,019	22,382	5,507	1
7	9.996	3	48	5.5	74,596	102,040	6,504	468	1,925	0	8,896	2,393	1.615	11,422	11,019	22,440	5,508	1
8	10.047	3	48	5.5	74,739	102,197	6,516	468	1,926	0	8,910	2,394	1.617	11,480	11,019	22,499	5,509	1

⁵ Ως συντελεστή ανανεώσιμης ενέργειας f_{ren} , ορίζεται το ποσοστό της συνολικής παραγόμενης ενέργειας από ΑΠΕ διαιρεμένο με τη συνολική παραγόμενη ενέργεια:

$$f_{ren} = \frac{E_{gen} + H_{ren}}{E_{tot} + H_{tot}}$$

όπου E_{gen} : παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ
 E_{tot} : συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
 H_{ren} : παραγωγή θερμικής ενέργειας από ΑΠΕ
 H_{tot} : συνολική παραγωγή θερμικής ενέργειας

⁶ Η πρώτη σειρά του πίνακα, αναφέρεται στη βέλτιστη περίπτωση με βάση πάντα το χαμηλότερο NPC.

Σχήμα [5]: Πίνακας 3 – Μεταβλητές Βελτιστοποίησης

#	Cap. Shortage kWh/yr	Cap. Shortage Frac.	Unmet Load kWh/yr	Unmet Load Frac.	Excess Electricity kWh/yr	CO ₂ Emiss ions kg/yr	CO Emiss ions kg/yr	UHC Emiss ions kg/yr	PM Emiss ions kg/yr	SO ₂ Emiss ions kg/yr	NO _x Emiss ions kg/yr	Battery Autonomy hr	Battery Throughput kWh/yr	Battery Life yr
1	5	0	5	0	12,349	0	0	0	0	0	0	106.81	2,025	20
2	5	0	5	0	12,406	0	0	0	0	0	0	106.81	2,025	20
3	4	0	4	0	12,463	0	0	0	0	0	0	106.81	2,025	20
4	3	0	3	0	12,521	0	0	0	0	0	0	106.81	2,024	20
5	5	0	5	0	16,054	0	0	0	0	0	0	106.81	1,805	20
6	4	0	4	0	16,111	0	0	0	0	0	0	106.81	1,805	20
7	3	0	3	0	16,168	0	0	0	0	0	0	106.81	1,805	20
8	2	0	2	0	16,226	0	0	0	0	0	0	106.81	1,805	20

2.1.3. Ανάλυση Ευαισθησίας (Sensitivity Analysis)

Κατά την Ανάλυση Ευαισθησίας το HOMER, εκτελεί πολλαπλές βελτιστοποιήσεις χρησιμοποιώντας για κάθε μια από αυτές, διαφορετικές υποθετικές μεταβλητές εισόδου.

Ο χρήστης, εισάγει μια σειρά τιμών για κάθε μεταβλητή που ελέγχει. Αυτές οι μεταβλητές, αναφέρονται ως **μεταβλητές ευαισθησίας [7]**, μπορεί να είναι οποιαδήποτε μεταβλητή που δεν αναφέρεται ως μεταβλητή απόφασης και έχουν ως σκοπό, τον καθορισμό μιας ευδιάκριτης περίπτωσης ευαισθησίας. Η ανάλυση Ευαισθησίας, μπορεί να εκτελεστεί για πολλαπλές τιμές των παραπάνω μεταβλητών. Για παράδειγμα, ο χρήστης μπορεί να εισάγει δύο ή τρεις τιμές για το επιτόκιο και τρεις ή τέσσερις τιμές για την γωνία κλίσης των φωτοβολταϊκών πάνελ. Συνεπώς, το πρόγραμμα θα εκτελέσει χωριστές διαδικασίες βελτιστοποίησης για κάθε περίπτωση ευαισθησίας ήτοι 6 περιπτώσεις για τους πρώτους συνδυασμούς και 12 για τους υπόλοιπους αντίστοιχα, τους οποίους, θα εμφανίσει υπό μορφή πίνακα.

Η Ανάλυση Ευαισθησίας, χρησιμοποιείται κυρίως, για τη μείωση του βαθμού **αβεβαιότητας (uncertainty)**. Συνεπώς, ο χρήστης μπορεί να εισάγει ένα εύρος τιμών για τις μεταβλητές ευαισθησίας που δεν είναι απολύτως βέβαιος ως προς την ονομαστική τους αξία και να πάρει να αντίστοιχα αποτελέσματα. Αυτά, μπορεί να τα αξιολογήσει και να επιλέξει το βέλτιστο συνδυασμό.

Σχήμα [6]: Πίνακας 4 – Αποτελέσματα Ευαισθησίας για βέλτιστη διαμόρφωση συστημάτων, με αλλαγή της κλίσης των φωτοβολταϊκών.

Sensitivity Results		Optimization Results							
Sensitivity variables									
PV Slope (deg)									
35									
Double click on 35		to view for simulation results.							
60		PV (kW)	HT000	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	15.30	48	5.5	\$ 79,458	2,022	\$ 102,654	1.624	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	14.28	60	5.5	\$ 85,908	2,237	\$ 111,564	1.765	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	15.30	60	5.5	\$ 88,458	2,262	\$ 114,406	1.810	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	14.28	72	5.5	\$ 94,908	2,477	\$ 123,317	1.951	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	15.30	72	5.5	\$ 97,458	2,502	\$ 126,159	1.996	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	13.26	84	5.5	\$ 101,358	2,691	\$ 132,227	2.092	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	14.28	84	5.5	\$ 103,908	2,717	\$ 135,069	2.137	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	15.30	84	5.5	\$ 106,458	2,742	\$ 137,912	2.182	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	13.26	96	5.5	\$ 110,358	2,931	\$ 143,980	2.278	1.00
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	14.28	96	5.5	\$ 112,908	2,957	\$ 146,822	2.323	1.00

⁷ **Μεταβλητές Ευαισθησίας** αναφέρονται ως τέτοιες μεταβλητές όπως: το επιτόκιο, η τιμή των καυσίμων, το μέγεθος του φορτίου, η κλίση των φωτοβολταϊκών πλαισίων κ.α..

Στο σχήμα [6], φαίνεται η δυνατότητα επιλογής των βέλτιστων συνθέσεων ενός συστήματος, για διαφορετικό εύρος (35° - 60°) γωνίας τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών πάνελ.

Συμπερασματικά, η διαδικασία Ανάλυσης Ευαισθησίας, αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του προγράμματος καθώς δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα να λάβει αποτελέσματα για ένα εύρος τιμών των μεταβλητών εισόδου το οποίο έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του κινδύνου σχεδιασμού ενός μη αποτελεσματικού συστήματος.



2.2 Λογισμικό HOGA (Hybrid Optimization by Genetic Algorithms)

Το υπολογιστικό πρόγραμμα Hoga (Hybrid Optimization by Genetic Algorithms), είναι ένα πρόγραμμα που αναπτύχθηκε στη γλώσσα προγραμματισμού C++ και έχει ως στόχο την Εξομοίωση αλλά και Βελτιστοποίηση των Υβριδικών συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και Υδρογόνου με τη χρήση ΑΠΕ.

Η διαδικασία της Βελτιστοποίησης επιτυγχάνεται με δύο τρόπους, τη Βελτιστοποίηση με ένα κριτήριο (mono-objective), ή με πολλαπλά κριτήρια (multi-objective). Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει έναν από τους δύο τρόπους. Κατά τη Βελτιστοποίηση με ένα κριτήριο (mono-objective), το πρόγραμμα βρίσκει τη βέλτιστη σύνθεση του συστήματος μέσω της ελαχιστοποίησης του συνολικού κόστους (Net Present Cost – NPC). Με Βελτιστοποίηση πολλαπλών κριτηρίων το πρόγραμμα ελαχιστοποιεί:

- i. το συνολικό κόστος του συστήματος (NPC),
- ii. τις εκλυόμενες από το σύστημα ποσότητες CO₂
- iii. το μη-εξυπηρετούμενο φορτίο.

Το HOGA μπορεί να διαμορφώσει-συνθέσει συστήματα που εξυπηρετούν το απαιτούμενο φορτίο με οποιοδήποτε εφικτό συνδυασμό μιας ή και περισσότερων από τις παρακάτω τεχνολογίες: φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, υδροστρόβιλους, κυψέλες καυσίμου, Συσσωρευτές, τεχνολογίες αποθήκευσης υδρογόνου.

Επίσης, κρίνεται αναγκαία η διαστασιολόγηση – καθορισμός όλων των απαραίτητων ως προς την λειτουργία των παραπάνω τεχνολογιών, “συστατικών της εγκατάστασης” όπως: φορτιστές μπαταριών, μετατροπέα DC/AC, αντιστροφέα AC/DC και ηλεκτρολύτες. Όλα τα στοιχεία μπορούν να είναι παρόντα ταυτόχρονα και ο χρήστης μπορεί να αποφασίσει να περιλαμβάνει μόνο μερικά από αυτά, στο πλαίσιο του επιθυμητού υβριδικού συστήματος.

Το πρόγραμμα HOGA, κάνει χρήση των Γενετικών αλγορίθμων για τη μελέτη του κόστους και των εκπομπών ρύπων προκειμένου να καθορίσει τη βέλτιστη αναλογία για τον αριθμό και το είδος των τεχνολογιών και τη συνολική στρατηγική ελέγχου για το σύστημα. Οι Γενετικοί αλγόριθμοι, μπορούν να παράγουν επαρκή λύσεις για εξαιρετικά πολύπλοκα προβλήματα σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Επίσης, δίνεται στο χρήστη η δυνατότητα να εκτελέσει ταυτόχρονα τη διαδικασία της Βελτιστοποίησης με αξιολόγηση των “συστατικών της εγκατάστασης” και της στρατηγικής που θα χρησιμοποιηθούν με τη **Μέθοδο Απαρίθμησης** και όχι με τη χρήση των Γενετικών Αλγορίθμων.

2.2.1. Γενετικοί Αλγόριθμοι

Οι Γενετικοί αλγόριθμοι ανήκουν στο κλάδο της επιστήμης υπολογιστών και αποτελούν μια μέθοδο αναζήτησης βέλτιστων λύσεων σε συστήματα που μπορούν να περιγραφούν ως μαθηματικό πρόβλημα. Είναι χρήσιμοι σε προβλήματα που περιέχουν πολλές παραμέτρους/διαστάσεις και δεν υπάρχει αναλυτική μέθοδος που να μπορεί να βρει το βέλτιστο συνδυασμό τιμών για τις μεταβλητές αυτές.

Ο τρόπος λειτουργίας των Γενετικών Αλγορίθμων είναι εμπνευσμένος από την βιολογία. Χρησιμοποιεί την ιδέα της εξέλιξης μέσω γενετικής μετάλλαξης, φυσικής επιλογής και διασταύρωσης. Οι Γενετικοί Αλγόριθμοι είναι αρκετά απλοί στην υλοποίησή τους. Οι τιμές για τις παραμέτρους του συστήματος πρέπει να κωδικοποιούνται με τρόπο ώστε να αναπαρασταθούν από μια μεταβλητή που περιέχει σειρά χαρακτήρων ή δυαδικών ψηφίων. Αυτή η μεταβλητή μιμείται το γενετικό κώδικα που υπάρχει στους ζωντανούς οργανισμούς. Αρχικά, ο Γενετικός Αλγόριθμος παράγει πολλαπλά αντίγραφα της μεταβλητής/γεννητικού κώδικα, συνήθως με τυχαίες τιμές, δημιουργώντας ένα πληθυσμό λύσεων. Οι λύσεις που βρίσκονται πιο κοντά στην επιθυμητή, αναπαράγονται στην επόμενη γενιά λύσεων και λαμβάνουν μια τυχαία μετάλλαξη. Επαναλαμβάνοντας αυτή τη διαδικασία για αρκετές γενιές, οι τυχαίες μεταλλάξεις σε συνδυασμό με την επιβίωση και αναπαραγωγή των γονιδίων/λύσεων που πλησιάζουν καλύτερα το επιθυμητό αποτέλεσμα θα παράγουν ένα γονίδιο/λύση που θα περιέχει τις τιμές για τις παραμέτρους που βρίσκονται πιο κοντά στη βέλτιστη λύση.

Υπάρχουν διάφορες εκδοχές της παραπάνω διαδικασίας για τους Γ.Α από τις οποίες κάποιες περιλαμβάνουν και τη διασταύρωση (ζευγάρωμα) γονιδίων/λύσεων ώστε ο αλγόριθμος να φτάσει στο αποτέλεσμα πιο γρήγορα. Καθώς υπάρχει το στοχαστικό (τυχαίο) συστατικό της μετάλλαξης και ζευγαρώματος, κάθε εκτέλεση του Γ.Α μπορεί να συγκλίνει σε διαφορετική λύση και σε διαφορετικό χρόνο. Η απόδοση του Γ.Α εξαρτάται επί το πλείστον από τη συνάρτηση ικανότητας και συγκεκριμένα από το κατά πόσο το μέτρο της περιγράφει τη βέλτιστη λύση. Οι γενετικοί αλγόριθμοι είναι ένα πεπερασμένο σύνολο οδηγιών για την εκπλήρωση ενός έργου, το οποίο δεδομένης μιας αρχικής κατάστασης θα οδηγήσει σε μια αναγνωρίσιμη τελική κατάσταση και το οποίο προσπαθεί να μιμηθεί την διαδικασία της βιολογικής εξέλιξης.

2.2.1.α Λειτουργία

Ο τρόπος λειτουργίας των Γενετικών Αλγορίθμων είναι εμπνευσμένος από τη βιολογία. Χρησιμοποιεί την ιδέα της εξέλιξης μέσω γενετικής μετάλλαξης, φυσικής επιλογής και διασταύρωσης. Στην πράξη ο αλγόριθμος ξεκινά μ' ένα σύνολο λύσεων - ονομάζονται γονιδιώματα, δανειζόμενες το όνομά τους από τη βιολογία- οι οποίες συνιστούν τον "πληθυσμό".

Κατόπιν ζητείται από τον υπολογιστή να δημιουργήσει μια σειρά τυχαίων συνδυασμών και μεταλλάξεων των "γονιδιωμάτων". Οι πιο ικανές λύσεις για ένα συγκεκριμένο πρόβλημα συνεχίζουν να εξελίσσονται και συνδυάζονται τυχαία, μέχρις ότου "επιβιώσουν" οι καλύτερες. Συνήθως, όσο περισσότερες γενιές περνούν τόσο καλύτερες λύσεις βρίσκονται, μπορεί όμως ο αλγόριθμος να βρεθεί σε σημείο του πεδίου των λύσεων από όπου και δεν μπορεί να προχωρήσει λόγω του ότι βρίσκεται σε τοπικό μέγιστο. Για το λόγο αυτό υπάρχουν διαφορετικές εκδοχές του αλγόριθμου ανάλογα με τη μορφή του προβλήματος.

2.2.1.β. Εκδοχές Αλγορίθμων

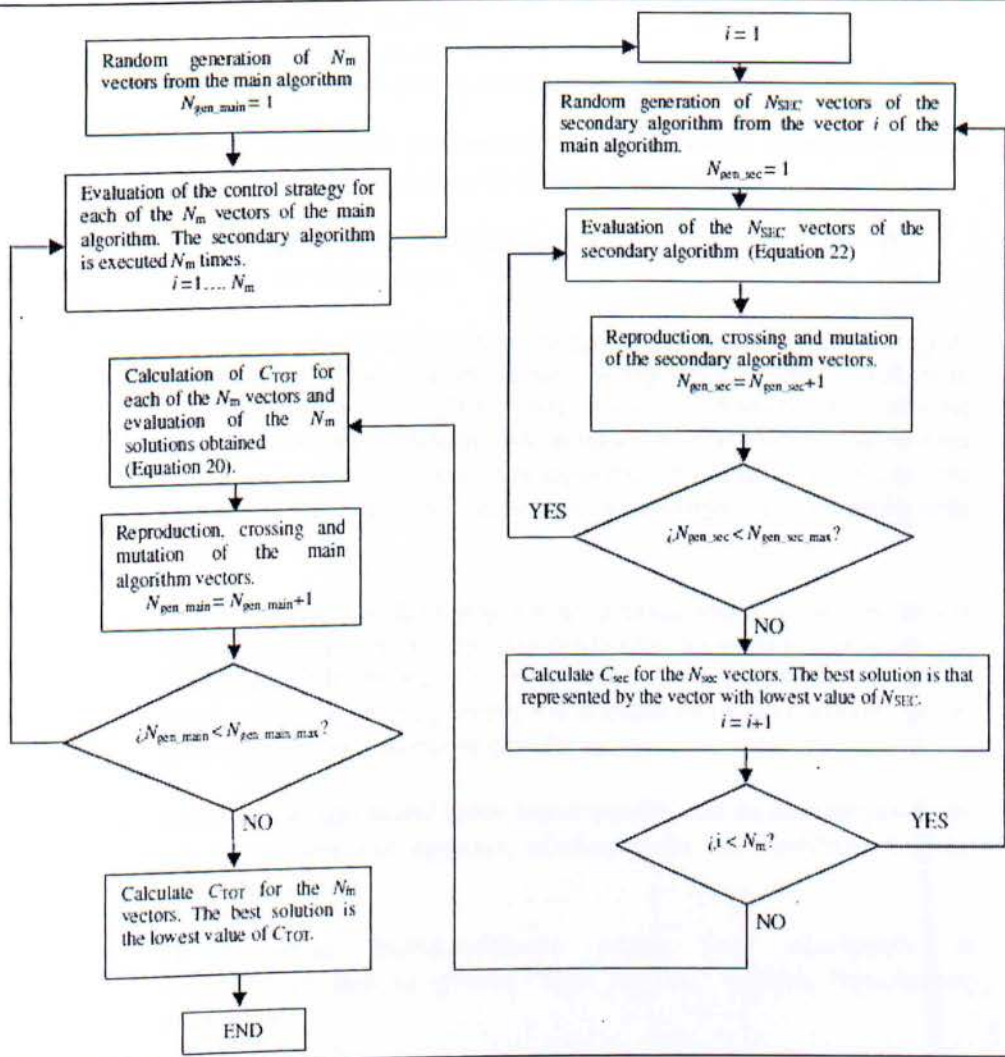
Υπάρχουν διάφορες εκδοχές της παραπάνω διαδικασίας για τους Γ.Α από τις οποίες κάποιες περιλαμβάνουν και τη διασταύρωση (ζευγάρωμα) γονιδίων/λύσεων ώστε ο αλγόριθμος να φτάσει στο αποτέλεσμα ταχύτερα. Καθώς υπάρχει το στοχαστικό (τυχαίο) συστατικό της μετάλλαξης και ζευγαρώματος, κάθε εκτέλεση του Γ.Α μπορεί να συγκλίνει σε διαφορετική λύση και σε διαφορετικό χρόνο.

2.2.1.γ. Χαρακτηριστικά

Οι γενετικοί αλγόριθμοι δεν επιλύουν το πρόβλημα με αναλυτικό/ μαθηματικό τρόπο αλλά με βιολογικό. Συνεπώς έχουν μεγαλύτερη ενδογενή ευελιξία και ελευθερία να επιλέγουν μια επιθυμητή βέλτιστη λύση σύμφωνα με τις προδιαγραφές του προβλήματος. Ουσιαστικά οι γενετικοί αλγόριθμοι είναι αλγόριθμοι αναζήτησης που προσπαθούν να αναζητήσουν τη λύση του προβλήματος που τους αναθέτουμε.

2.2.1.δ. Διάγραμμα ροής για το πρόγραμμα HOGA

Σχήμα [7]: Διάγραμμα ροής προγράμματος HOGA



Όπως φαίνεται και από το σχήμα [7], το πρόγραμμα HOGA, εφαρμόζει την παρακάτω στρατηγική:

1. Αρχικά, λαμβάνονται τυχαία στον αριθμό "Nm" δεδομένα, από τον κύριο γενετικό αλγόριθμο. Καθένα από αυτά, (αριθμός φωτοβολταϊκών πάνελ, τύπος φωτοβολταϊκών πάνελ, τύπος και αριθμός συσσωρευτών συνδεδεμένων εν παραλλήλω), αντιπροσωπεύει μία πιθανή σύνθεση διαμόρφωσης του συστήματος.
2. Για κάθε ένα από τα δεδομένα "Nm" που λαμβάνονται από τον κύριο γενετικό αλγόριθμο, εκτελείται ο δευτερεύων γενετικός αλγόριθμος, διασφαλίζοντας πάντα την βέλτιστη στρατηγική διαχείρισης για καθένα αυτά.

- a. Λαμβάνονται τυχαία “Nsec” δεδομένα (ανάλογα με την στρατηγική διαχείρισης), επιλέγονται δεδομένα για:
- ακολουθία φορτίου,
 - κυκλική φόρτιση
 - τιμές για τον βαθμό φόρτισης των συσσωρευτών

από τον δευτερεύον γενετικό αλγόριθμο, τα οποία αντιπροσωπεύουν μία εφικτή στρατηγική διαχείρισης του φορτίου.

- b. Καθένα από τα “Nsec” δεδομένα, που ελήφθησαν, αξιολογούνται με βάση την ικανότητα τους.
- c. Τα καλύτερα δεδομένα που ελήφθησαν, (αυτά που ταιριάζουν καλύτερα στη διαμόρφωση ενός συστήματος), έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να αναπαραχθούν ξανά (γενετικά) μέσω διασταύρωσης με άλλα. Σε κάθε διασταύρωση δύο δεδομένων, δύο νέα δημιουργούνται (απόγονοι). Οι νέοι συνδυασμοί αξιολογούνται, και ο καλύτερος από αυτούς, αντικαθιστά τον χειρότερο προκάτοχό του. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται.
- d. Για την εύρεση της βέλτιστης λύσης, μερικές λύσεις αλλάζουν τυχαία κάποια από τα εξαρτήματα που συνθέτουν το σύστημα (παραλλαγή δεδομένων). Με την παραλλαγή των δεδομένων, μπορεί να επηρεαστεί όμως η στρατηγική διαχείρισης του φορτίου αλλά και ο καθορισμένος βαθμός φόρτισης των συσσωρευτών.
- e. Τα δεδομένα που πλέον έχουν δημιουργηθεί, από τη διασταύρωση και την παραλλαγή των αρχικών, αξιολογούνται και συνθέτουν τη νέα γενιά δεδομένων .
- f. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρις ότου αξιολογηθεί ο καθορισμένος από το χρήστη “Ngen_sec_max” αριθμός δημιουργίας δεδομένων.
3. Οι λύσεις “Nm” που λαμβάνονται, (συνδυασμός δεδομένων από τον κύριο και δευτερεύον αλγόριθμο), αξιολογούνται.
4. Η αναπαραγωγή, διασταύρωση και παραλλαγή των δεδομένων, γίνεται στις βέλτιστες λύσεις που επιτυγχάνονται, με σκοπό τη δημιουργία της επόμενης γενιάς λύσεων.
5. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρις ότου ο καθορισμένος από το χρήστη αριθμός δημιουργίας δεδομένων “Ngen_main_max” αξιολογηθεί. Ως βέλτιστη λύση, θεωρείται ο συνδυασμός που επιτυγχάνει τη μικρότερη τιμή για τη συνολική παρούσα αξία του συστήματος “C_{TOT}”.

2.2.2. Βελτιστοποίηση συστήματος

Για τη Βελτιστοποίηση του συστήματος το πρόγραμμα, κάνει χρήση δύο γενετικών αλγορίθμων όπως αυτοί αναφέρονται στην ενότητα 2.2.1..

Ο **κύριος γενετικός αλγόριθμος**, παρέχει τη βέλτιστη διαμόρφωση του συστήματος αναφορικά με τον τύπο και αριθμό των φωτοβολταϊκών πάνελ που θα χρησιμοποιηθούν, τον τύπο και τον αριθμό των ανεμογεννητριών που θα συνδεθούν στο σύστημα, τους συσσωρευτές, την ηλεκτρογεννήτρια, τις κυψέλες υδρογόνου, τον ηλεκτρολύτη, τον υδροστρόβιλο και τον άνορθωτή : έχοντας πάντα ως στόχο την επίτευξη διαμόρφωσης ενός συστήματος με το ελάχιστο κόστος. Το κόστος αυτό, υπολογίζεται για την συνολική διάρκεια ζωής του συστήματος και εκφράζεται με τη καθαρά παρούσα αξία *NPV*.

Ο **δευτερεύων γενετικός αλγόριθμος**, υιοθετεί την καταλληλότερη στρατηγική διαχείρισης του φορτίου, για καθένα από τα δεδομένα που επιλέγονται από τον κύριο αλγόριθμο αλλά και για την ελαχιστοποίηση του κόστους.

Το συνολικό κόστος που προκύπτει για κάθε εφικτό συνδυασμό που λαμβάνεται από τους δύο αλγόριθμους, αναλύεται όπως παρακάτω:

- Αρχικό κόστος συστήματος
- Κόστη καυσίμων για χρήση Ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους
- Κόστη καυσίμων για τις Κυψέλες Υδρογόνου
- Κόστος λειτουργίας και συντήρησης
- Κόστος αντικατάστασης των εξαρτημάτων των οποίων η διάρκεια ζωής είναι μικρότερη από εκείνη όλου του συστήματος.
- Έσοδα από την πώληση περίσσειας υδρογόνου καθώς και ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο
- Έσοδα από την πώληση των εξαρτημάτων των οποίων η διάρκεια ζωής είναι μεγαλύτερη από αυτή της λειτουργίας του συστήματος

2.3 . Λογισμικό WT_PV

Το υπολογιστικό πρόγραμμα WT_PV, είναι ένα λογισμικό που αναπτύχθηκε από το Εργαστήριο Ήπιων Μορφών Ενέργειας και Προστασίας Περιβάλλοντος του τμήματος Μηχανολογίας του Τ.Ε.Ι. Πειραιά, με σκοπό τη εύρεση βέλτιστων λύσεων σχεδιασμού και υλοποίησης, Αυτόνομων Υβριδικών Συστημάτων παραγωγής ενέργειας.

Το πρόγραμμα, αναπτύχθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού Fortran v.4, και αποτελείται από έναν υπολογιστικό αλγόριθμο που έχει ως σκοπό τη διεξαγωγή όλων των παραμετρικών αναλύσεων με βάση την ωριαία παραγωγή και ζήτηση ενέργειας από και προς το σύστημα. Κάθε εφικτός συνδυασμός δεδομένων που αποτελείται από:

- i. z αριθμό φωτοβολταϊκών πάνελ,
- ii. N_0 , ονομαστική ισχύς ανεμογεννήτριας
- iii. Q_{max} , μέγιστο αριθμό μπαταριών,

αναλύεται για μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο (στην παρούσα πτυχιακή για ένα έτος).

Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην επίτευξη εφικτών συνδυασμών συστημάτων, με μηδενικές απορρίψεις φορτίων καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας του. Αν αυτό δεν επιτευχθεί κατά την αρχική ανάλυση, το πρόγραμμα λειτουργεί ως εξής :

- a. Αρχικά, αυξάνει τον αριθμό των συσσωρευτών που αποτελούν το σύστημα, και οι υπολογισμοί επαναλαμβάνονται μέχρις ότου έχουμε μηδενικές απορρίψεις.
- b. Έπειτα, αυξάνει τον αριθμό των φωτοβολταϊκών πάνελ που χρησιμοποιούνται από το σύστημα και οι υπολογισμοί γίνονται εκ νέου.

Με την ολοκλήρωση της ανάλυσης των παραμέτρων που αναφέραμε, δημιουργείται η προβλεπόμενη από το σύστημα καμπύλη (z-Q) για μια δοσμένη τιμή ισχύος της ανεμογεννήτριας υπό την προϋπόθεση βέβαια μηδενικού απορριπτόμενου φορτίου. Τέλος, αν υπάρχουν και πάλι απορριπτόμενα φορτία,

- c. Αυξάνεται και η ονομαστική ισχύς της ανεμογεννήτριας που θα χρησιμοποιηθεί και επαναλαμβάνονται οι υπολογισμοί.

Το πρόγραμμα, κατά την έναρξη της λειτουργίας του, επεξεργάζεται τα εισηγμένα από το χρήστη κλιματολογικά δεδομένα, για την υπό μελέτη περιοχή καθώς και το προφίλ του καταναλωτή (ζήτηση ενέργειας). Στη συνέχεια, "διαβάζει" τα δεδομένα που αφορούν την ηλιακή ακτινοβολία καθώς και τις τιμές για τη θερμοκρασία που επικρατεί, κάνει τις απαραίτητες διορθώσεις και με τη βοήθεια της χαρακτηριστικής καμπύλης του φωτοβολταϊκού πλαισίου, υπολογίζει την παραγόμενη από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια ενέργεια.

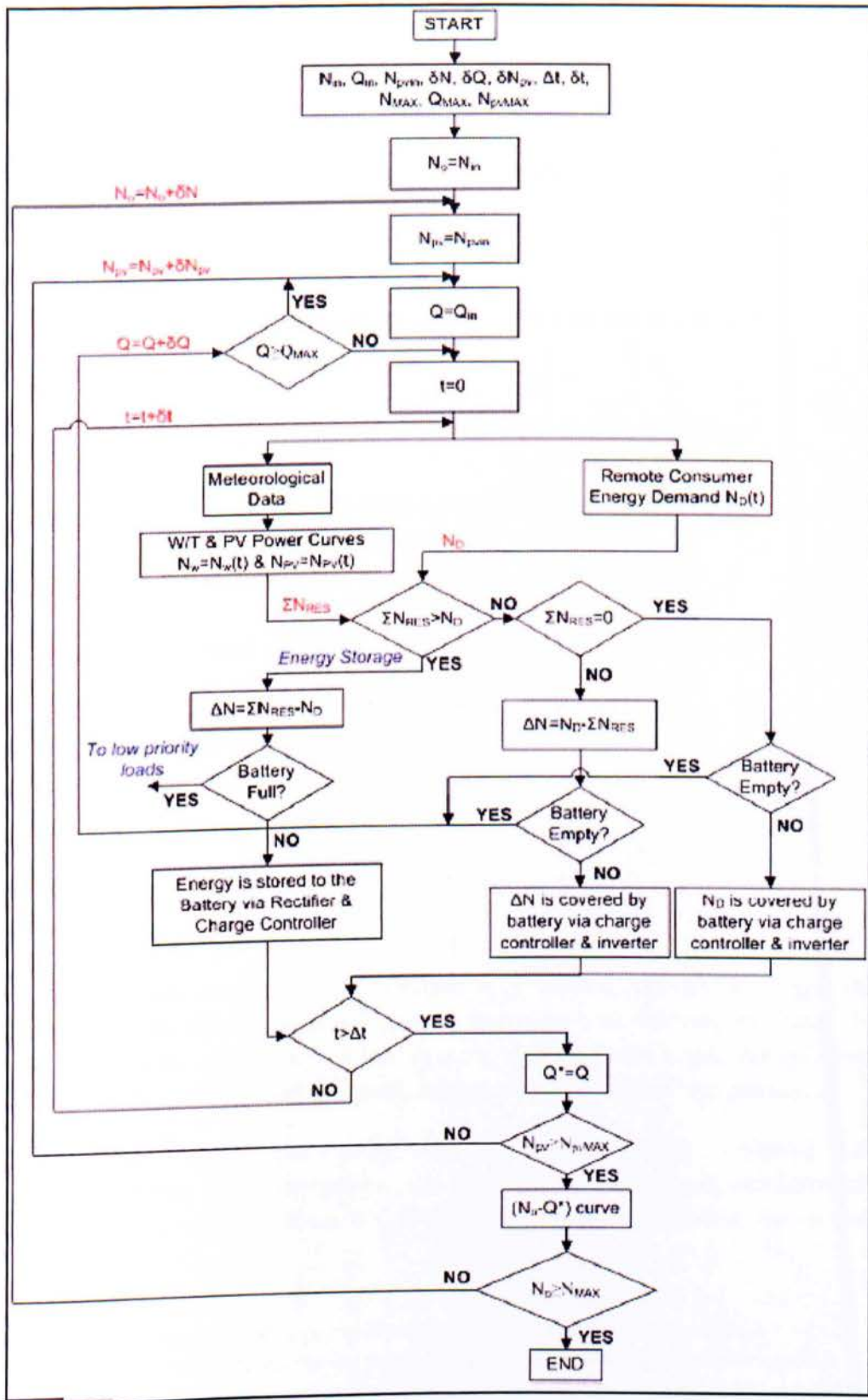
Η ταχύτητα του ανέμου, η οποία εισάγεται από το χρήστη υπό μορφή αρχείου με τιμές για ένα έτος, η πυκνότητα του αέρα (υπολογίζεται όπως και στο λογισμικό HOMER) καθώς και η χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας της ανεμογεννήτριας, χρησιμοποιούνται από το πρόγραμμα για τον υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες.

Τέλος, με την ανάγνωση της ζήτησης ενέργειας (προφίλ καταναλωτή), καθώς και με τις ήδη υπολογισμένες παραγωγές ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και τις ανεμογεννήτριες, γίνονται έλεγχοι για την κάλυψη του φορτίου με συσσωρευτές.

Στο πρόγραμμα WT_PV, εισάγονται επίσης από το χρήστη τα ακόλουθα : το ελάχιστο βάθος εκφόρτισης μπαταρίας, το αρχικό βάθος μπαταρίας, η μέγιστη επιτρεπόμενη ακτινοβολία, ο βαθμός απόδοσης του φωτοβολταϊκού πάνελ, η γωνία τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών πάνελ, το γεωγραφικό πλάτος και μήκος, η τάση των φωτοβολταϊκών, η τάση των συσσωρευτών, οι βαθμός απόδοσης του UPS, του ρυθμιστή φόρτισης και του μετατροπέα.

Στο σχήμα [8] φαίνεται το διάγραμμα ροής του λογισμικού WT_PV που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα πτυχιακή εργασία.

Σχήμα [8]: Διάγραμμα Ροής για το λογισμικό WT_PV



ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙΙ – ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

3.1. Περιπτώσεις μελέτης

Για τη σύγκριση και αξιολόγηση των διάφορων υπολογιστικών μεθόδων, μελετήθηκαν οι παρακάτω συνδυασμοί:

3.1.1. Συνδυασμοί συστημάτων για WT_PV / HOMER / HOGA :

- Για γωνίας τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών πάνελ, $\beta=60^\circ$
 - 1.1. Ανεμογεννήτρια^[8]– Φ/Β πλαίσια^[9] – Συσσωρευτές^[10].
 - 1.2. Ανεμογεννήτρια– Συσσωρευτές
 - 1.3. Φ/Β πλαίσια – Συσσωρευτές ^[11]

- Για γωνίας τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών πάνελ, $\beta=35^\circ$
 - 1.1.Ανεμογεννήτρια – Φ/Β πλαίσια – Συσσωρευτές
 - 1.2.Ανεμογεννήτρια – Συσσωρευτές

Παρατήρηση:

Στο πρόγραμμα Hoga (Hybrid Optimization by Genetic Algorithms), ο χρήστης δεν μπορεί να επιλέξει το βήμα με το οποίο θα τρέξει ο αλγόριθμος που θέλει. Το πρόγραμμα αναζητά τη βέλτιστη λύση, έχοντας ως βήμα κάθε φορά, τον εκάστοτε μοναδιαίο αριθμό φωτοβολταϊκών πάνελ, αριθμό ανεμογεννητριών και μπαταριών.

Λόγω της ιδιαιτερότητας αυτής και για την καλύτερη σύγκριση των αποτελεσμάτων των τριών λογισμικών, όλοι οι παραπάνω συνδυασμοί, εκτελέστηκαν από τα προγράμματα HOMER και WT_PV θέτοντας ως βήμα τη μονάδα. Συνεπώς τα

⁸ Θέτοντας ως βήμα στον αλγόριθμο για την εύρεση του βέλτιστου αριθμού Α/Γ το 1kW

⁹ Θέτοντας ως βήμα στον αλγόριθμο για την εύρεση του βέλτιστου αριθμού φ/β πλαισίων τα 51Wp

¹⁰ Θέτοντας ως βήμα στον αλγόριθμο για την εύρεση του βέλτιστου αριθμού συσσωρευτών τα 1000Ah

¹¹ Για τις περιπτώσεις 1.2. και 1.3 καθώς και για όλες τις περιπτώσεις με γωνία τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών πάνελ, $\beta=35^\circ$, αναφορικά με το επιλεγμένο βήμα του αλγορίθμου, ισχύει ακριβώς ότι και στην περίπτωση 1.1..

αποτελέσματα των τριών λογισμικών, έχουν μεγαλύτερη ακρίβεια ως προς τη διαστασιολόγηση του συστήματος.

3.2. Εισαγωγή δεδομένων

Για την σύγκριση και αξιολόγηση των διάφορων υπολογιστικών μεθόδων μεταξύ τους, οι τιμές των μεταβλητών εισόδου σε καθένα από αυτά πρέπει να είναι οι ίδιες. Παρακάτω, ακολουθούν όλες οι μεταβλητές που χρειάστηκε να εισαχθούν σε κάθε πρόγραμμα με στόχο την εύρεση των βέλτιστων λύσεων.

3.2.α. Μεταβλητές Φυσικής Διαμόρφωσης ¹²

- i. **Φορτίο** (Προφίλ Καταναλωτή) – Εισαγωγή αρχείου (8760τιμές) για έναν τυπικό καταναλωτή.

Το φορτίο που περιγράφεται στο συγκεκριμένο αρχείο εισήχθη και στα τρία προγράμματα εκφρασμένο στις ισοδύναμες μονάδες που δέχονται τα προγράμματα, όπως αυτές παρατίθενται στη συνέχεια.

- a. WT_PV : W
- b. HOMER : kWh
- c. HOGA : W

Για τα προγράμματα HOMER και HOGA υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής του υπό μελέτη φορτίου με τη μορφή:

A. HOMER :

1. Εισαγωγής ημερήσιου προφίλ καταναλωτή (24 τιμές υπό κλίμακα) όπου το πρόγραμμα επαναλαμβάνει τις παραπάνω τιμές για όλο το χρόνο
2. Εισαγωγή ετήσιων ωριαίων τιμών (8760 τιμές ζήτησης ενέργειας)

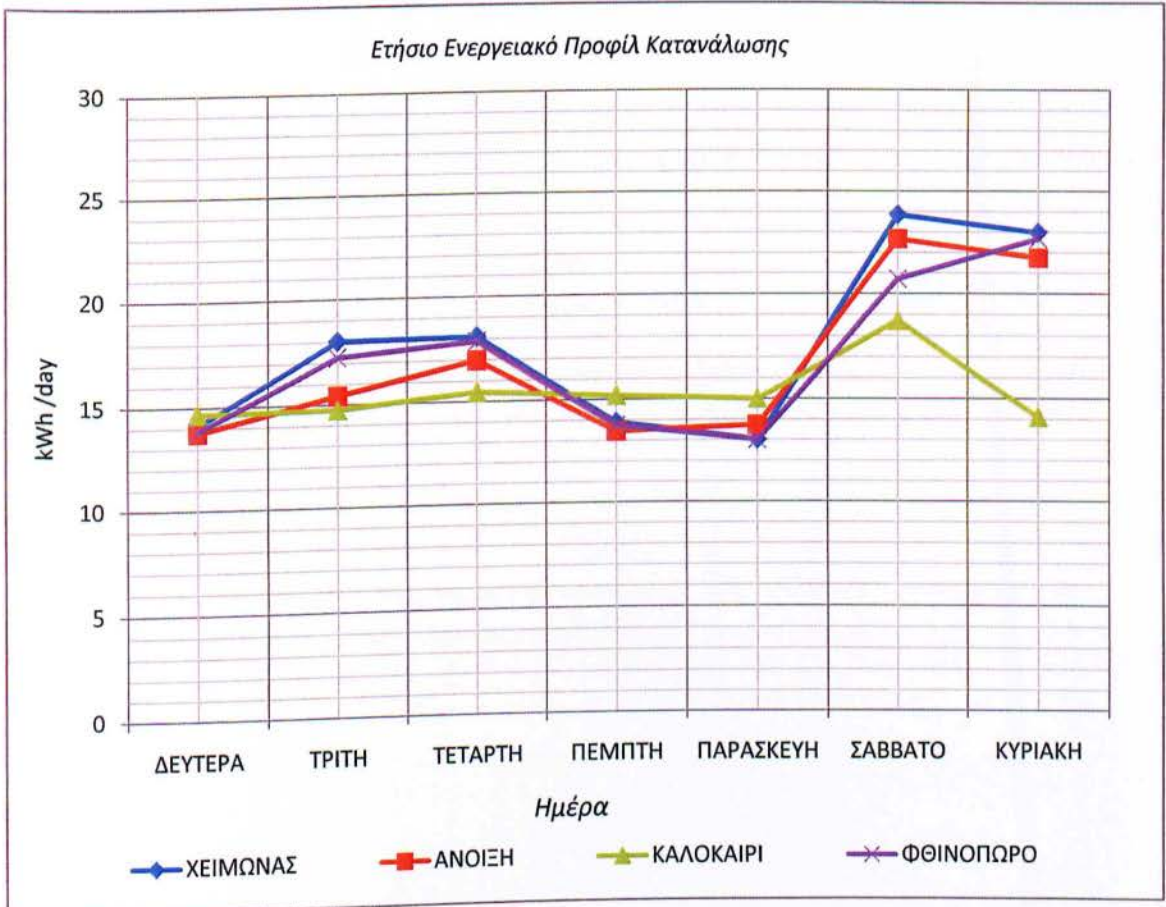
B. HOGA :

- I. Εισαγωγής μέσων μηνιαίων τιμών ζήτησης ενέργειας
- II. Εισαγωγής πρότυπου μηνιαίου προφίλ καταναλωτή
- III. Εισαγωγής αρχείου με ετήσιες ωριαίες τιμές, απαιτούμενης ενέργειας

¹² **Μεταβλητές Φυσικής Διαμόρφωσης:** Αναφέρονται ως τέτοιες, μεταβλητές που αφορούν το απαιτούμενο ηλεκτρικό φορτίο.

Για τις ανάγκες της παρούσας πτυχιακής εργασίας, επιλέχθηκε η εισαγωγή ενός αρχείου, με ωριαίες τιμές ζήτησης ενέργειας σε W (Watt) μιας και αυτό μπορεί να εισαχθεί και στα τρία προγράμματα.

Σχήμα [9]: Ετήσιο ενεργειακό προφίλ καταναλωτή



3.2.β. Πόροι Συστήματος ¹³

i. Ηλιακό Δυναμικό

Εισαγωγή τιμών για ένα έτος.

Το Ηλιακό δυναμικό που περιγράφεται στο συγκεκριμένο αρχείο εισήχθη και στα τρία προγράμματα εκφρασμένο στις ισοδύναμες μονάδες που δέχονται τα προγράμματα, όπως αυτές παρατίθενται στη συνέχεια.

- a. WT_PV : $\text{cal/cm}^2 - 5490$ τιμές ¹⁴
- b. Homer : $\text{kW/m}^2 - 8760$ τιμές
- c. Hoga : $\text{kW/m}^2 - 8760$ τιμές

Για τα προγράμματα HOMER και HOGA υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής του Ηλιακού Δυναμικού, με τη μορφή:

1. εισαγωγή μέσω μηνιαίων τιμών
2. εισαγωγή ετήσιων ωριαίων τιμών (kWh/m^2)

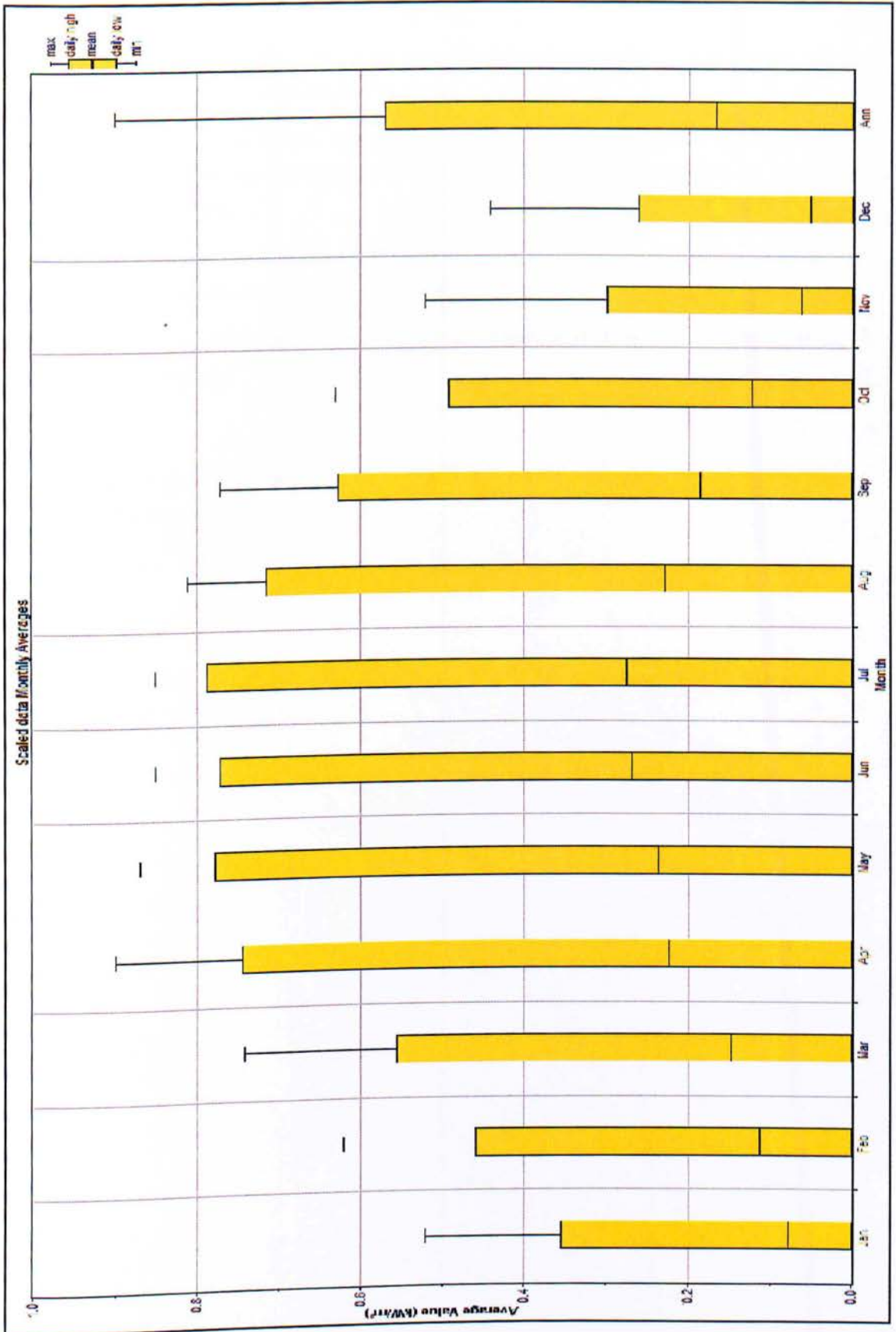
Στην παρούσα εργασία, επιλέγεται η εισαγωγή αρχείου με ωριαίες τιμές ηλιακής ακτινοβολίας για ένα έτος, ώστε και τα τρία προγράμματα να έχουν τις ίδιες μεταβλητές εισόδου.

Στο σχήμα [10], φαίνεται η κατανομή του Ηλιακού Δυναμικού της επιλεγμένης περιοχής για τη διάρκεια ενός έτους.

¹³ **Πόροι Συστήματος:** Αναφέρονται ως τέτοιοι, οποιεσδήποτε εξωτερικές μεταβλητές που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας π.χ. Αιολικό Δυναμικό, Ηλιακό Δυναμικό κ.α..

¹⁴ Στο πρόγραμμα WT_PV, εισάγονται μόνο οι 15 από τις 24 ώρες της ημέρας (από τις 5:00π.μ. μέχρι τις 7:00μ.μ.), χωρίς όμως αυτό να επηρεάζει τα αποτελέσματα γιατί τις υπόλοιπες ώρες, η ηλιακή ακτινοβολία ισούται με 0.

Σχήμα [10]: Ετήσιο Ηλιακό Δυναμικό



ii. *Αιολικό Δυναμικό*

Εισαγωγή αρχείου τιμών για ένα έτος.

Το Αιολικό δυναμικό που περιγράφεται στο συγκεκριμένο αρχείο εισήχθη και στα τρία προγράμματα εκφρασμένο σε m/s .

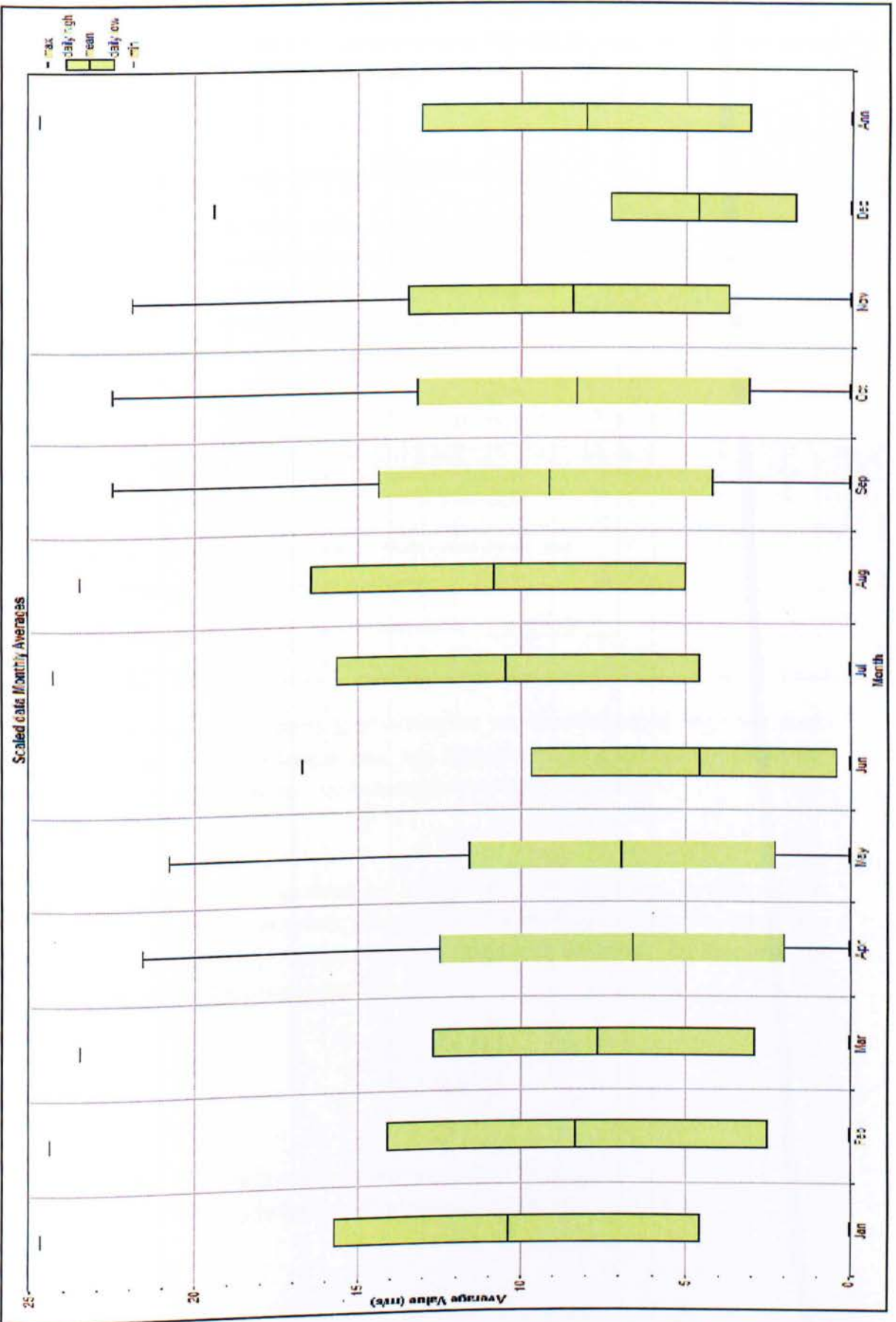
Όμοια με την εισαγωγή του Ηλιακού δυναμικού, τα προγράμματα HOMER και HOGA προσφέρουν την δυνατότητα εισαγωγής του Αιολικού Δυναμικού, με μία από τις παρακάτω μορφές:

1. εισαγωγή μέσω μηνιαίων τιμών
2. εισαγωγή ετήσιων ωριαίων τιμών

Ομοίως και σε αυτή τη μεταβλητή, επιλέχθηκε η εισαγωγή αρχείου, με ωριαίες τιμές αιολικού δυναμικού.

Στο σχήμα [11], φαίνεται το Αιολικό δυναμικό που επικρατεί στην περιοχή κατά τη διάρκεια ενός έτους.

Σχήμα [11]: Ετήσιο Αιολικό Δυναμικό



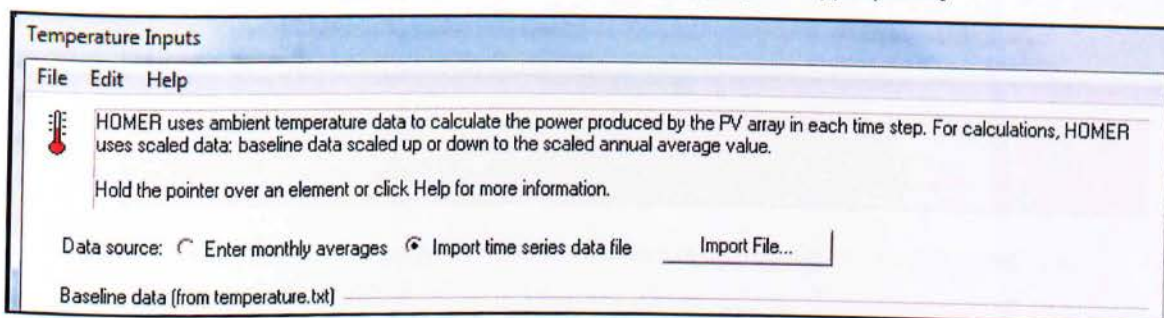
iii. Θερμοκρασία – Πίεση – Υγρασία

Στο πρόγραμμα WT_PV υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής δεδομένων για την θερμοκρασία και την πίεση που επικρατεί στην περιοχή (οι τιμές αφορούν τον μέσο όρο μιας ημέρας για το σύνολο του έτους).

Αντίστοιχα, στο πρόγραμμα HOMER, γίνεται:

- i. η εισαγωγή ενός αρχείου με δεδομένα τις τιμές (366 τιμές) θερμοκρασιών που επικρατούν στην περιοχή για ένα έτος(όλες οι τιμές αφορούν το μέσο όρο μιας ημέρας)
- ii. η εισαγωγή δώδεκα (12) μηνιαίων μέσων τιμών θερμοκρασίας.

Σχήμα [12]:Επιλογή τύπου εισαγωγής τιμών θερμοκρασίας



Όσον αφορά την πίεση, χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της παραγωγής ενέργειας των ανεμογεννητριών, μιας και αυτή επηρεάζεται από το υψόμετρο της εγκατάστασης καθώς και από την θερμοκρασία που επικρατεί εκεί.

Το HOMER χρησιμοποιεί την μεταβλητή “ αναλογία της πυκνότητας του αέρα”, η οποία είναι η πραγματική πυκνότητα του αέρα διαιρεμένη με την πυκνότητα του αέρα υπό κανονικές συνθήκες (στάθμη επιφανείας θάλασσας και θερμοκρασία 15° C) και εκφράζεται όπως παρακάτω:

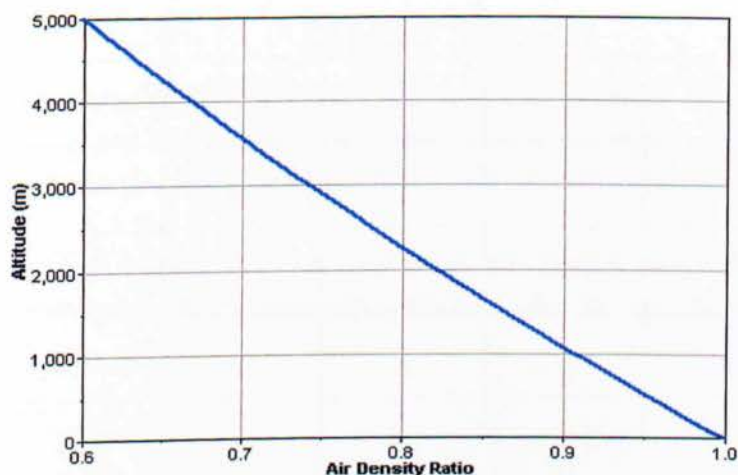
$$\frac{\rho}{\rho_0} = \frac{P}{P_0} \left(\frac{T_0}{T} \right)$$

Όπου : P_0 = Πίεση υπό κανονικές συνθήκες [101,325 Pa]

T_0 = Θερμοκρασία υπό κανονικές συνθήκες [288.16 K]

Επίσης, με την υπόθεση/παραδοχή ότι το υψόμετρο επηρεάζει την θερμοκρασία και την πίεση καθώς και το ότι η θερμοκρασία μειώνεται γραμμικά με το υψόμετρο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το παρακάτω διάγραμμα:

Σχήμα [13]: Σχέση αναλογίας της πυκνότητας του αέρα, συναρτήσει του υψομέτρου



Τέλος στο πρόγραμμα **HOGA**, δεν εισάγονται πουθενά οι τιμές θερμοκρασίας για την υπό μελέτη περιοχή.

Αντίστοιχα με τα άλλα δύο προγράμματα, γίνεται χρήση της πίεσης που επικρατεί στην περιοχή, για τον υπολογισμό της παραγόμενης από τις ανεμογεννήτριες ενέργειας. Ο δε προσδιορισμός αυτής, γίνεται μέσω της επιλογής του υψομέτρου εγκατάστασης των ανεμογεννητριών πάνω από το επίπεδο της θάλασσας.

Σχήμα [14]: Εισαγωγή υψομέτρου εγκατάστασης ανεμογεννήτριας σε m.

Height above sea level <input type="text" value="0"/> m
Air density at that height is 1.225 kg/m ³

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

3.2.γ. “Συστατικά εγκατάστασης” Συστήματος ¹⁵

Μία από τις σημαντικότερες παραμέτρους για τη σύνθεση και λειτουργία ενός Αυτόνομου Υβριδικού Συστήματος, μιας και αυτή αποτελεί την καρδιά του συστήματος, είναι αδιαμφισβήτητα η επιλογή των εξαρτημάτων και των συσκευών που θα το συνθέσουν.

Αναμφίβολα, οι μεταβλητές Φυσικής Διαμόρφωσης καθώς και οι Πόροι του συστήματος αποτελούν κύρια συστατικά αυτού, αλλά τα εξαρτήματα/συσκευές είναι αυτά που θα καθορίσουν εν τέλει την ομαλή αλλά και αποδοτικότερη του λειτουργία.

Παρακάτω, δίνονται όλα τα ποιοτικά καθώς και τεχνικά χαρακτηριστικά των εξαρτημάτων/συσκευών που χρησιμοποιήθηκαν για τη μοντελοποίηση του συστήματος.

I. Φωτοβολταϊκή Συστοιχία / Φωτοβολταϊκό Πάνελ

a. Γενικά:

Ως φωτοβολταϊκά πάνελ ή φωτοβολταϊκή συστοιχία αντίστοιχα, αναφέρονται οι διατάξεις μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία χωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες:

I. Κρυσταλλικού Πυριτίου

- Μονοκρυσταλλικού πυριτίου, με ονομαστικές αποδόσεις πλαισίων 14,5% έως 21%,
- Πολυκρυσταλλικού πυριτίου, με ονομαστικές αποδόσεις πλαισίων 13% έως 14,5%.

II. Λεπτών Μεμβρανών

- Άμορφου Πυριτίου, ονομαστικής απόδοσης ~7%.
- Χαλκοπυριτών CIS / CIGS, ονομαστικής απόδοσης από 7% έως 11%.

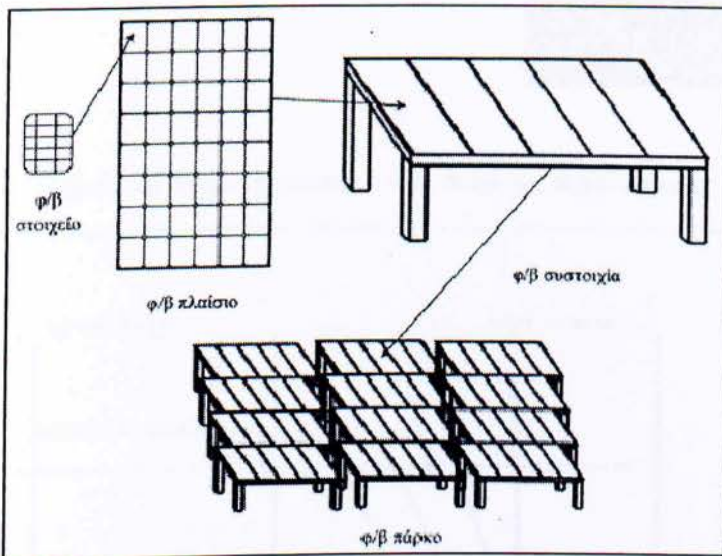
¹⁵ “Συστατικά Εγκατάστασης” Συστήματος : αναφέρονται ως τέτοια, κάθε μέρος του συστήματος που παράγει, διανέμει, μετατρέπει και αποθηκεύει ενέργεια.

β. Χαρακτηριστικά των Φωτοβολταϊκών Πλαισίων

Το μοντέλο του φωτοβολταϊκού πλαισίου (PV modules) είναι παρόμοιο με το μοντέλο ενός Φ/Σ, μόνο που οι παράμετροι του είναι προσαρμοσμένοι στο πλήθος των φωτοβολταϊκών στοιχείων από τα οποία αποτελείται. Πιο συγκεκριμένα, αυτό που καθορίζει τις παραμέτρους της φωτοβολταϊκής γεννήτριας είναι το πλήθος των παραλλήλων και εν σειρά φωτοβολταϊκών στοιχείων. Ο συνδυασμός πολλών πλαισίων σε σειρά ή παράλληλα σε μια επίπεδη επιφάνεια, σταθερή ή περιστρεφόμενη, με αντίστοιχο ηλεκτρολογικό κιβώτιο, αποτελεί τη Φ/Β συστοιχία. Τα πλαίσια συνδέονται σε σειρά κατά κλάδους, ενώ και οι κλάδοι συνδέονται παράλληλα μεταξύ τους. Η σύνδεση σε σειρά αυξάνει την ολική τάση, ενώ η παράλληλη σύνδεση το ολικό ρεύμα.

Ένα σύνολο συνεργαζόμενων συστοιχιών αποτελούν ένα Φ/Β πάρκο, το οποίο με όλες τις απαιτούμενες διατάξεις αποτελούν το Φ/Β σταθμό. Η δομή ενός Φ/Β συστήματος φαίνεται στο επόμενο σχήμα [15].

Σχήμα [15]: Δομή Φωτοβολταϊκού συστήματος



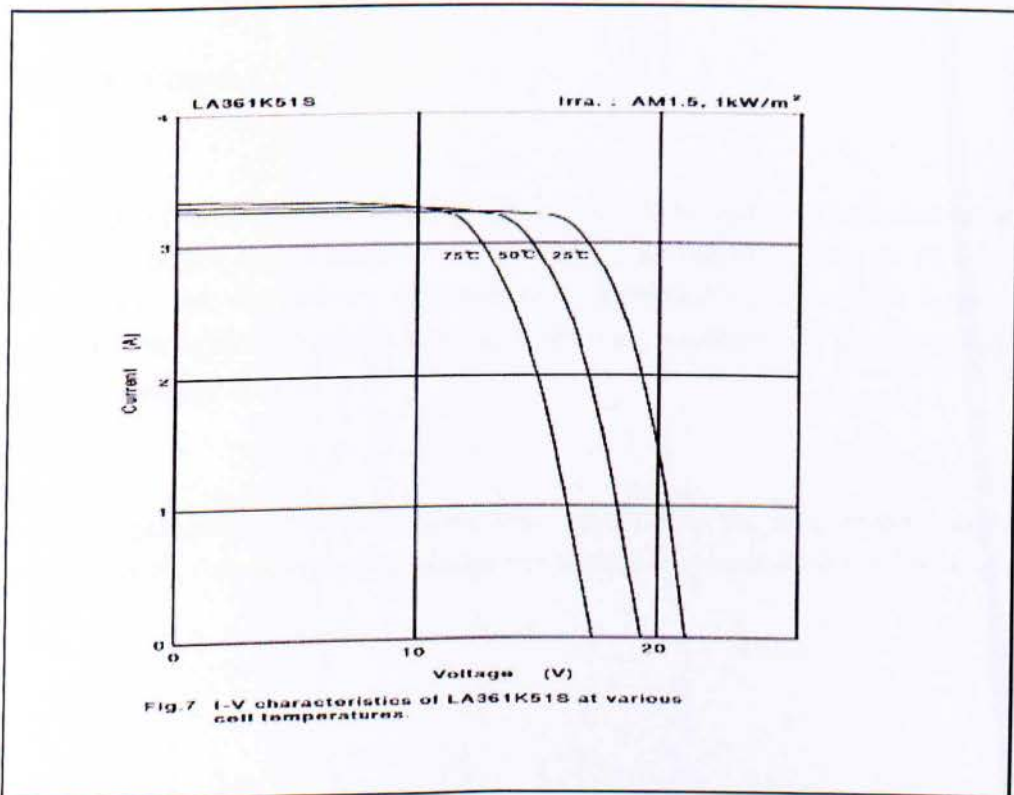
Παρακάτω, φαίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φωτοβολταϊκού πάνελ της εταιρείας **Kyocera**, τύπου **LA361 K51S** που χρησιμοποιήθηκε για την μοντελοποίηση των συστημάτων.

Electrical specifications	Units	Values
Nominal peak power (W_{max})	W	51.0
Voltage at maximum power (V_{mp})	V	16.9
Current at maximum power (I_{mp})	A	3.02
Open circuit voltage (V_{oc})	V	21.2
Short circuit current (I_{sc})	A	3.25
Length	mm	988
Width	mm	448
Thickness	mm	36
Weight	kg	5.9

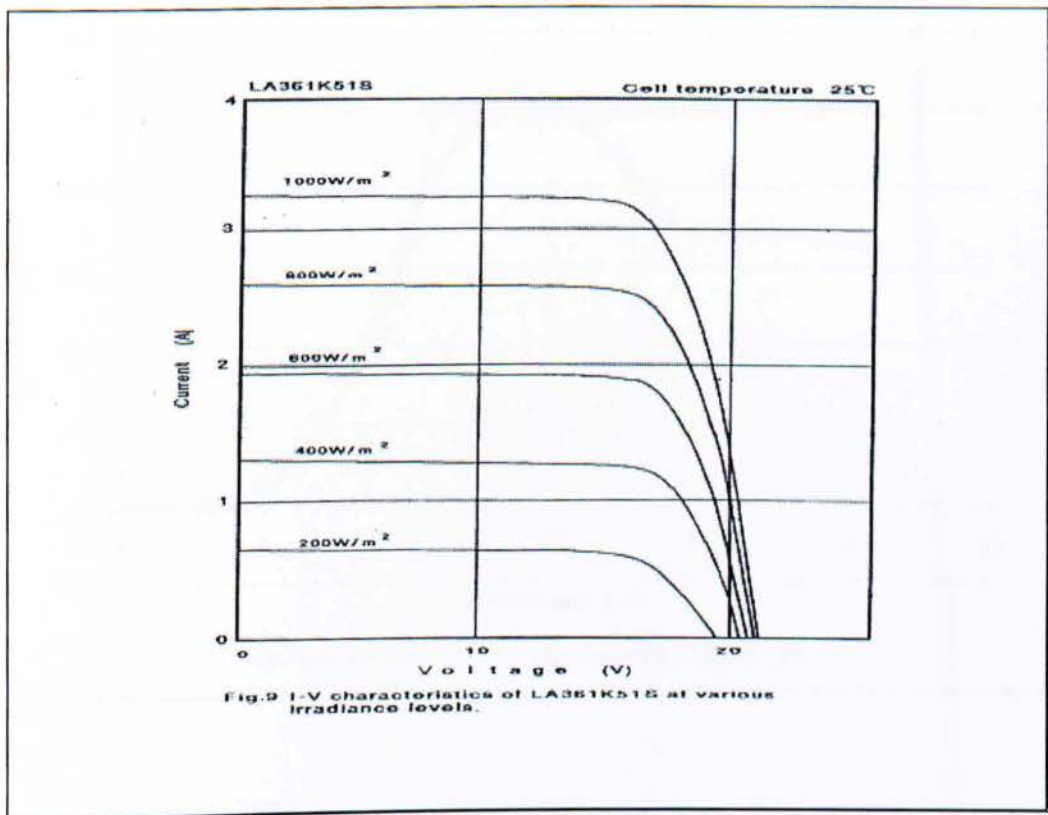
Το παραπάνω πάνελ, χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση όλων των εφικτών συνδυασμών, φέρει ονομαστική ισχύ 51Wp, συνδέεται σε σειρά ανά κλάδους για την επίτευξη τάσης εξόδου 24V και εν παραλλήλω για την αύξηση του ολικού ρεύματος.



Σχήμα [16] Χαρακτηριστικές I-V σε διάφορες θερμοκρασίες



Σχήμα [17]: Χαρακτηριστική I-V για διάφορες τιμές ακτινοβολίας

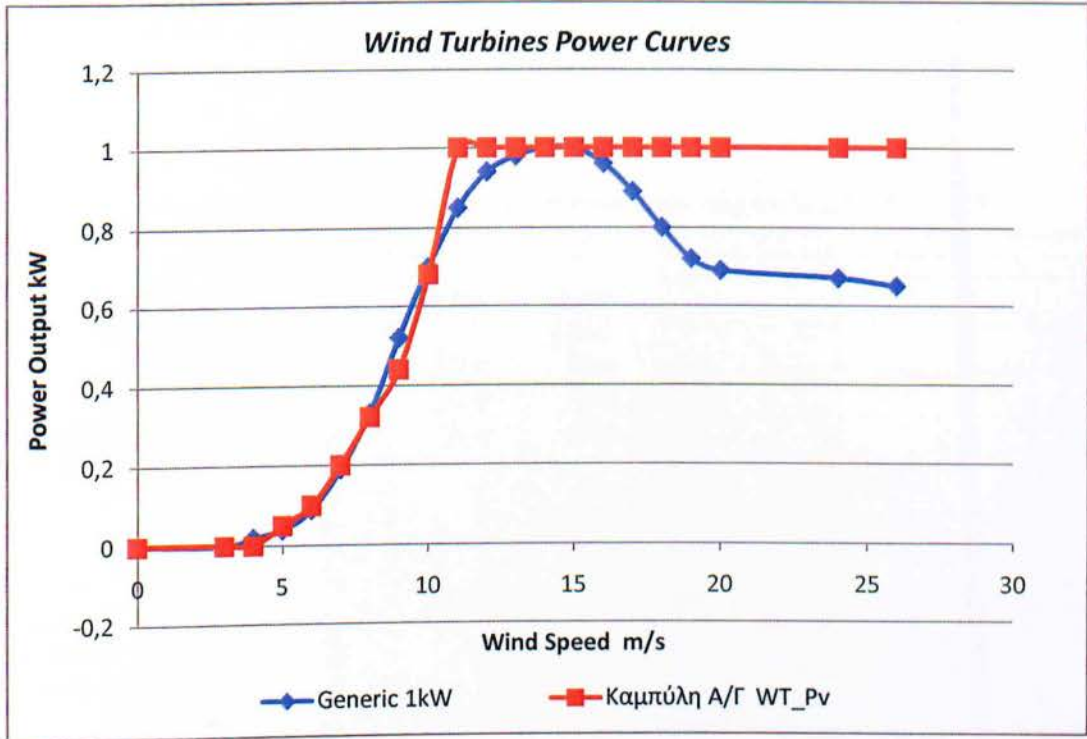


II. Ανεμογεννήτρια

Στα λογισμικά Hoga και HOMER, χρησιμοποιήθηκε η ανεμογεννήτρια Generic ονομαστικής ισχύος 1kW συνεχούς ρεύματος (DC) με διάρκεια ζωής τα 10 έτη και ύψος πλήμνης για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας τα 10m. Στο λογισμικό WT_PV, η εισαγωγή της ανεμογεννήτριας, δίνεται ως ποσοστό μιας ανεμογεννήτριας ονομαστικής ισχύος 5kW.

Στο σχήμα [18] φαίνονται οι καμπύλες λειτουργίας της ανεμογεννήτριας που χρησιμοποιήθηκε στα προγράμματα Hoga και Homer (Generic 1kW) καθώς και στο WT_Pv.

Σχήμα [18]: Χαρακτηριστικές Καμπύλες Λειτουργίας Ανεμογεννήτριας



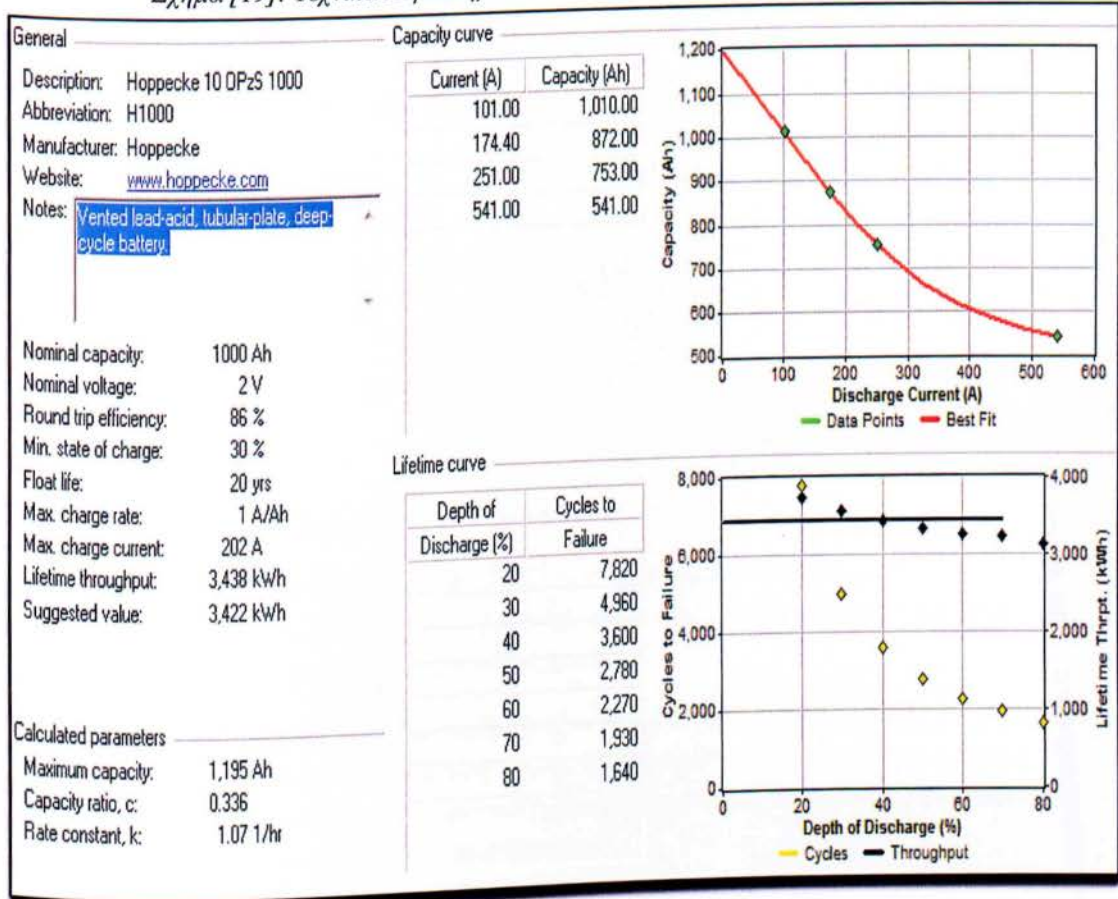
III. Συσσωρευτές

Για τις ανάγκες αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας από το σύστημα, επέλεξα να χρησιμοποιήσω τον πλέον διαδεδομένο τύπο συσσωρευτών Μολύβδου / Οξέος (Pb/acid). Οι συσσωρευτές αυτού του τύπου αποτελούνται από δύο ηλεκτρόδια, εμβαπτισμένα σε διάλυμα θεικού οξέος και απιονισμένου νερού που ονομάζεται ηλεκτρολύτης. Κάθε ηλεκτρόδιο αποτελείται από την ενεργό ύλη (διοξείδιο του μολύβδου στο θετικό και πορώδης-σπογγώδης μολύβδος στο αρνητικό όταν η μπαταρία είναι πλήρως φορτισμένη – θεικό μολύβδο και στα δύο όταν είναι αφόρτιστη) και το σκελετό πάνω στον οποίο στηρίζεται. Το όλο σύστημα, τοποθετείται σε ειδικό κέλυφος κατασκευασμένο από πλαστικό ή βακελίτη.

Η λειτουργία των συσσωρευτών αυτών, στηρίζεται σε μια αντιστρεπτή ηλεκτροχημική διεργασία. Κάθε ζεύγος ηλεκτροδίων ενός φορτισμένου συσσωρευτή μολύβδου, έχει ονομαστική τάση 2V/στοιχείο αλλά η πραγματική ανοιχτοκυκλωμένη τάση κυμαίνεται από 2,1 έως 2,4V. Κατά τη διάρκεια όμως της εκφόρτισης η τάση του συσσωρευτή παίρνει τιμές από 1,75 έως 1,90V ενώ για πλήρη φόρτιση ενός στοιχείου απαιτείται τάση από 2,3 έως 2,5V.

Στο σχήμα [19] φαίνονται όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά των συσσωρευτών που επιλέχθηκαν για τη διαστασιολόγηση των διαφόρων αυτόνομων υβριδικών συστημάτων, όπως αυτά παρουσιάζονται στο υπολογιστικό πακέτο HOMER.

Σχήμα [19]: Τεχνικά Χαρακτηριστικά συσσωρευτών Hoppecke 10 OPzS 1000



Ο παραπάνω τύπος συσσωρευτή (Hoppecke 10 OPzS 1000) χρησιμοποιήθηκε και στα τρία υπολογιστικά πακέτα, εκχωρώντας σε καθένα από αυτά τα απαιτούμενα στοιχεία.

IV. Λοιπά εξαρτήματα

Και στα τρία λογισμικά πέραν των παραπάνω εξαρτημάτων, διαστασιολογήθηκαν οι βαθμοί απόδοσης που φαίνονται στο σχήμα [20] καθώς και η διάρκεια ζωής (σχήμα [20]) για τους μετατροπείς AC/DC – DC/AC και τους ρυθμιστές φόρτισης.

Σχήμα [20]: Τεχνικά χαρακτηριστικά λοιπών εξαρτημάτων

Συστατικά Συστήματος	Βαθμός Απόδοσης (%)	Διάρκεια ζωής (έτη)
UPS	0.95	10
Charge controller	0.95	10
Inverter	0.95	10

3.2.δ. Στρατηγική Διαχείρισης Φορτίου

Στα λογισμικά HOMER και HOGA, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει τη στρατηγική διαχείρισης του φορτίου ανάμεσα σε α) Στρατηγική Κυκλικής Φόρτισης και β) Στρατηγική ακολουθίας φορτίου.

Και στα δύο προγράμματα, επιλέχθηκε η στρατηγική Ακολουθίας Φορτίου μιας και αυτή ανταποκρίνεται καλύτερα στην επίτευξη συνδυασμών που έχουν ως σκοπό την κάλυψη όλου του φορτίου με μηδενικές απορρίψεις αυτού, αλλά και με τη μικρότερη δυνατή περίσσεια ενέργειας από το σύστημα.

3.3. Αποτελέσματα

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για κάθε εφικτό συνδυασμό διαστασιολόγησης ενός Αυτόνομου Υβριδικού Συστήματος για καθένα από τα τρία λογισμικά πακέτα που χρησιμοποιήθηκαν.

3.3.1. Λογισμικό HOMER

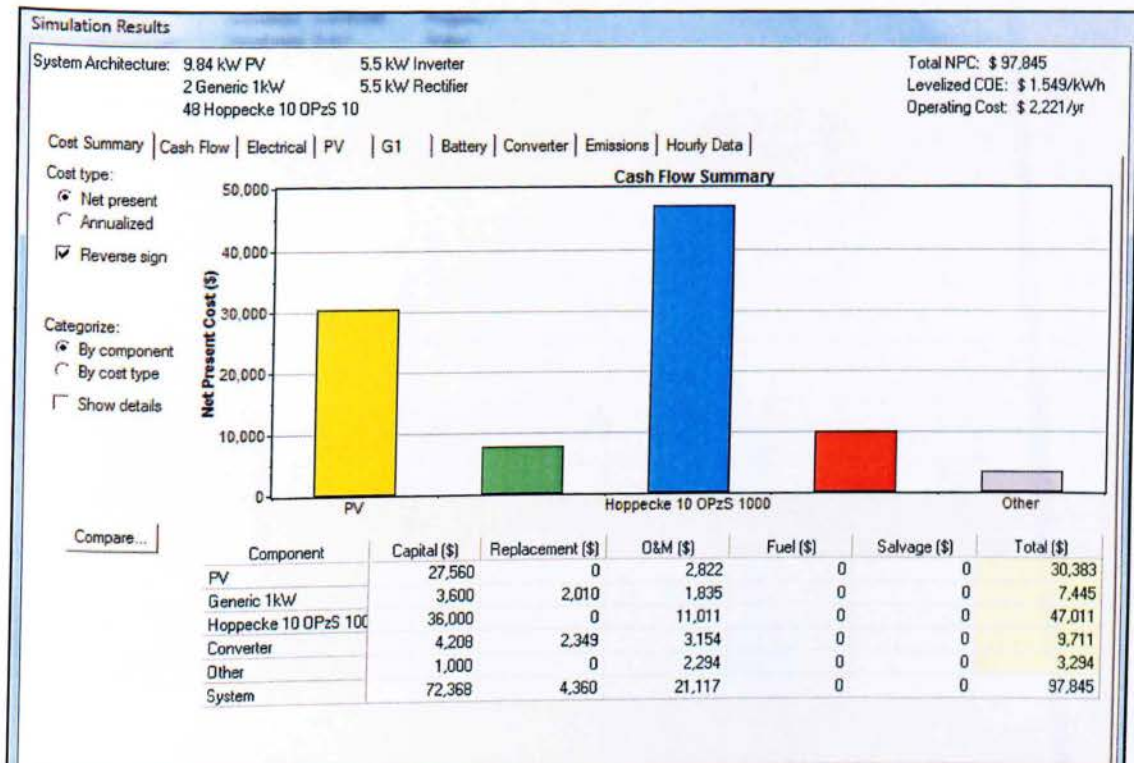
- Για γωνίας τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών πάνελ, $\beta=60^\circ$

1.1. Ανεμογεννήτρια – Φ/Β πλαίσια – Συσσωρευτές

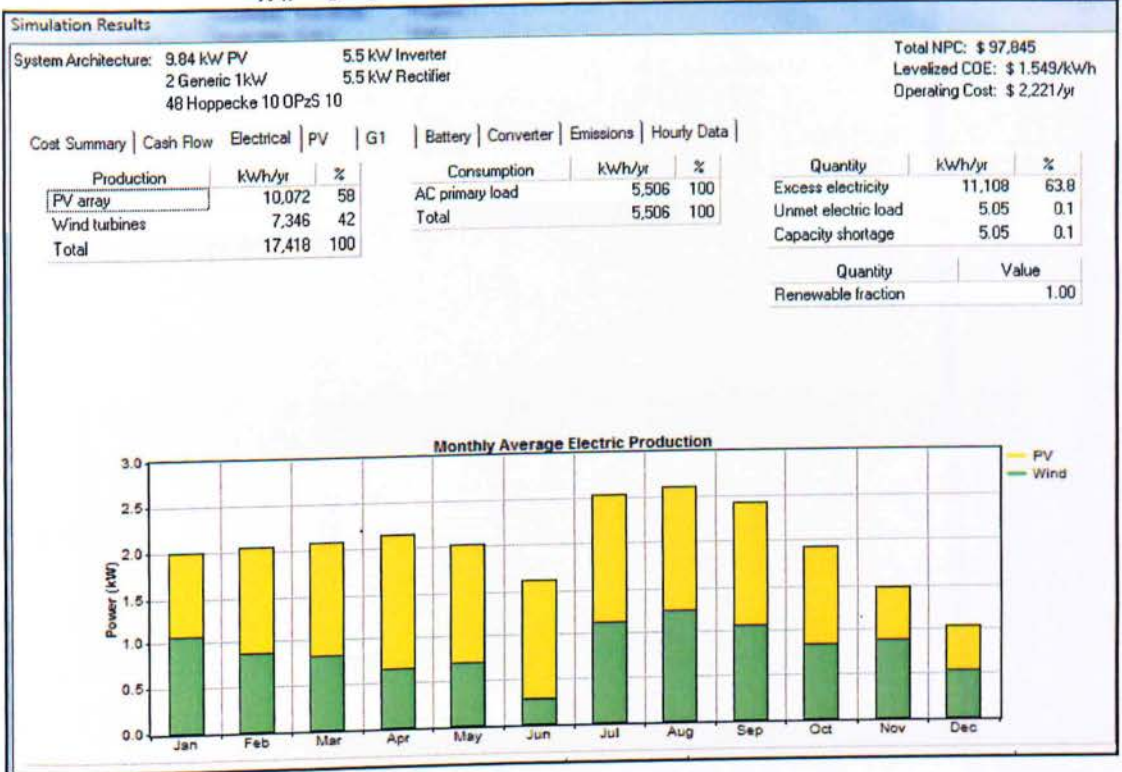
Σχήμα [21]: Αποτελέσματα Ανάλυσης Ευαισθησίας

Sensitivity Results		Optimization Results									
Sensitivity variables											
PV Slope (deg)		60									
Double click on a system below for simulation results.											
	PV (kW)	G1	H1000	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.		
	9.843	2	48	5.5	\$ 72,368	2,221	\$ 97,845	1.549	1.00		

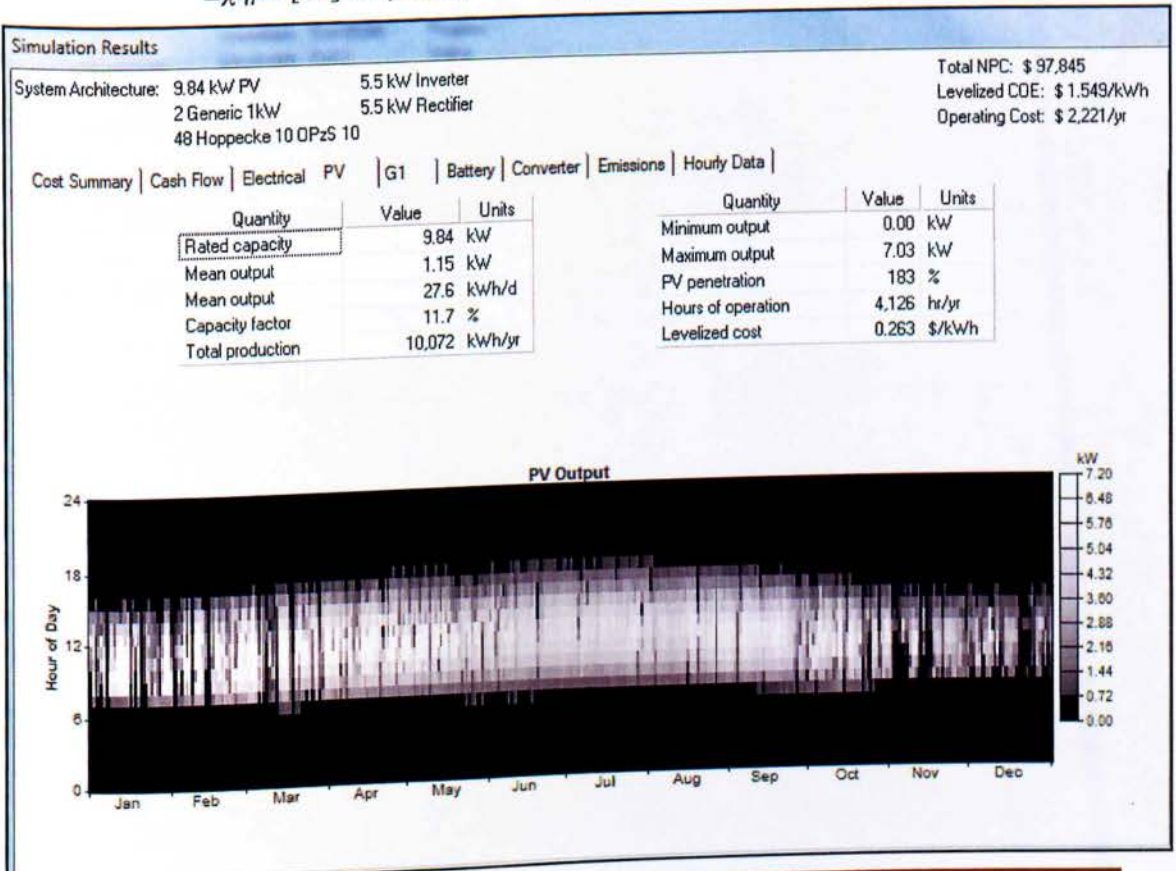
Σχήμα [22]: Αποτελέσματα Προσομοίωσης



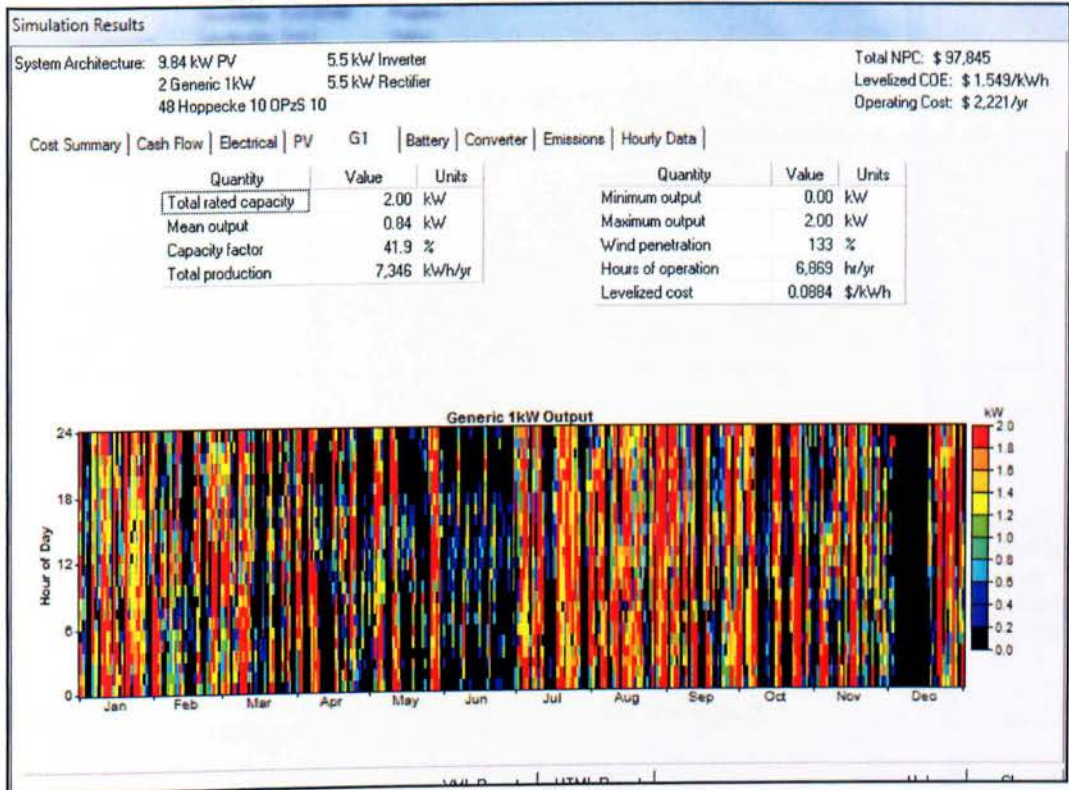
Σχήμα [23]: Ηλεκτρικά Μεγέθη Προσομοίωσης



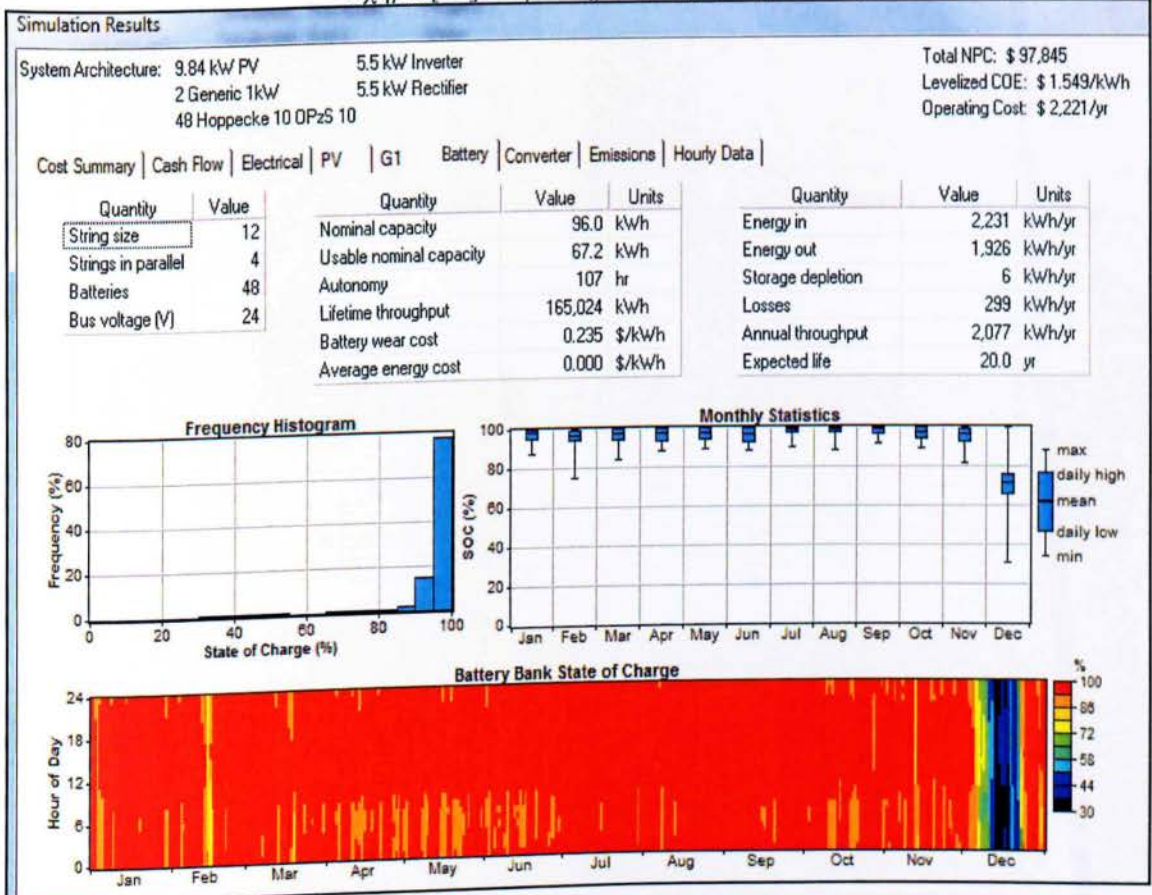
Σχήμα [24]: Χαρακτηριστικά μεγέθη Φωτοβολταϊκών Πλαισίων



Σχήμα [25]: Χαρακτηριστικά μεγέθη Ανεμογεννήτριας



Σχήμα [26]: Χαρακτηριστικά μεγέθη Συσσωρευτών

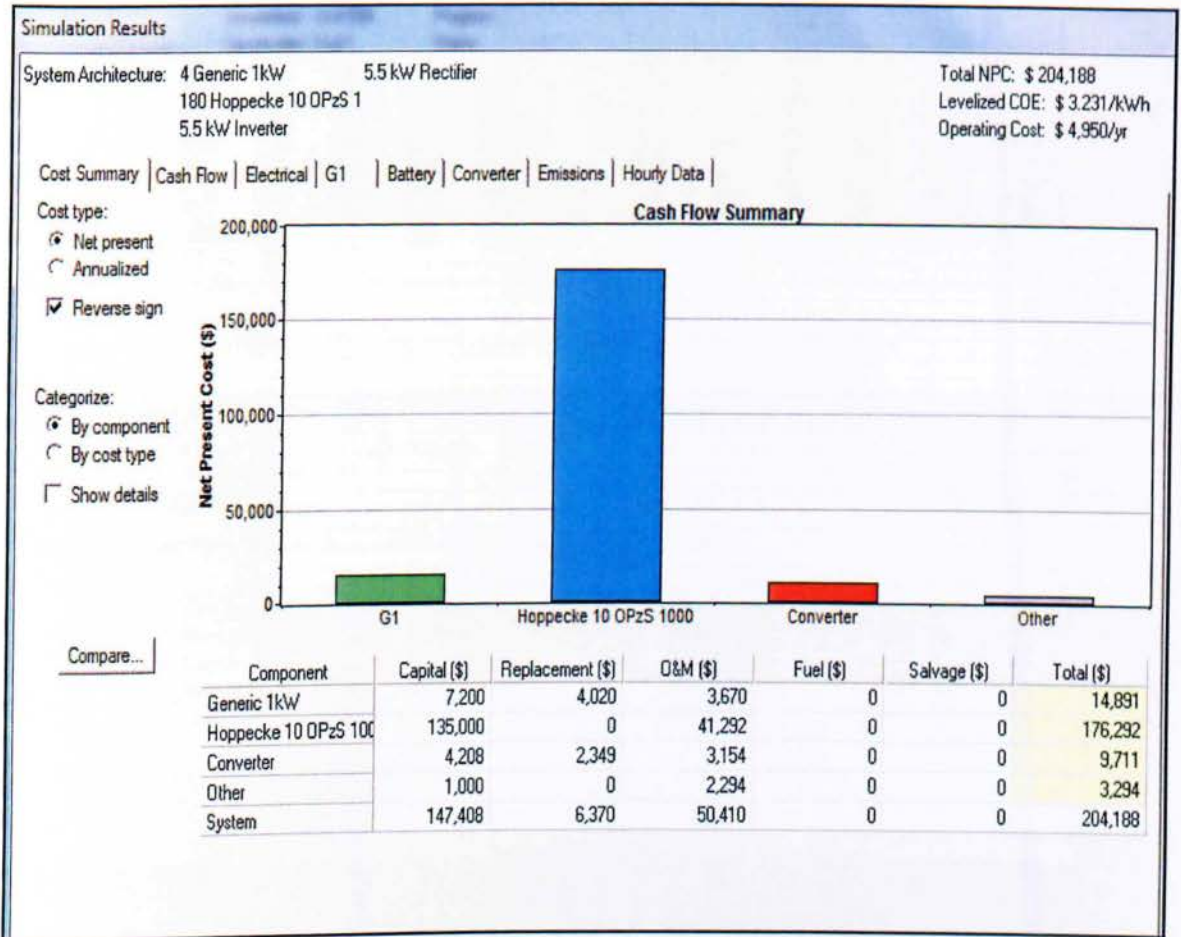


1.2. Ανεμογεννήτρια – Συσσωρευτές

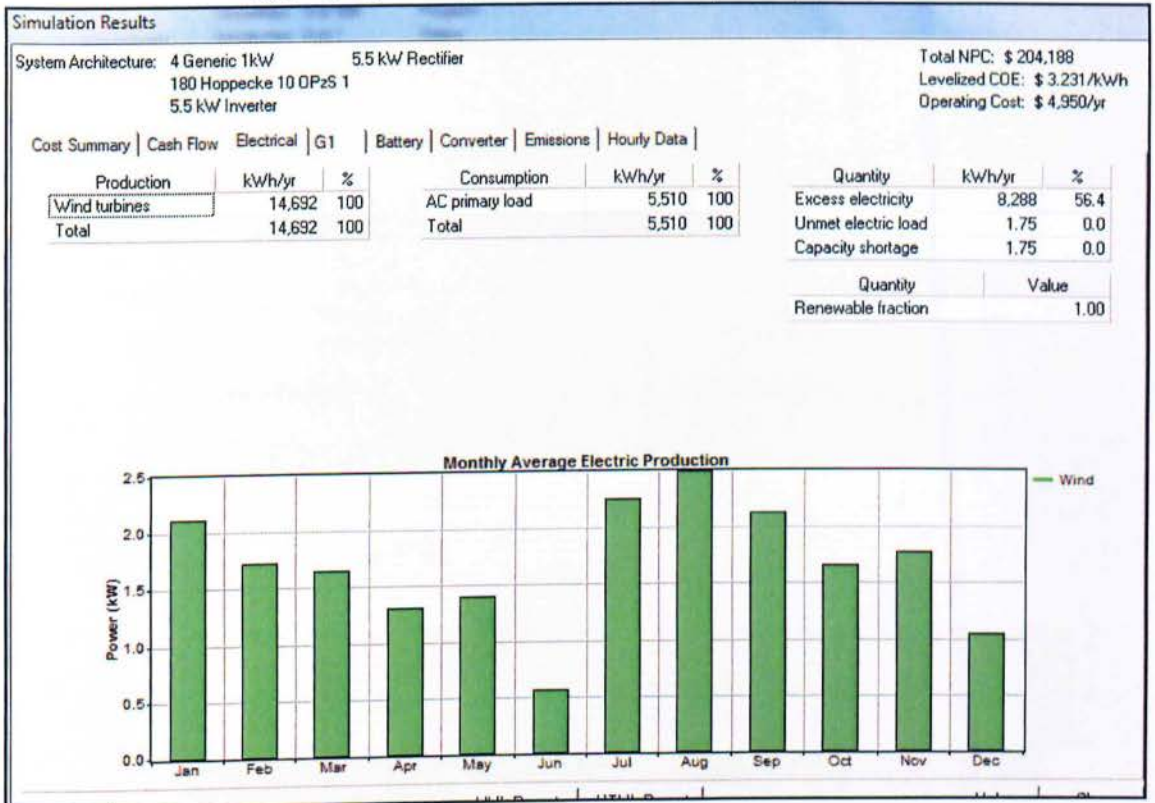
Σχήμα [27]: Αποτελέσματα Ανάλυσης Ευαισθησίας

Sensitivity Results		Optimization Results							
Double click on a system below for optimization results.									
Icon 1	Icon 2	G1	H1000	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
Icon 1	Icon 2	4	180	5.5	\$ 147,408	4,950	\$ 204,188	3.231	1.00

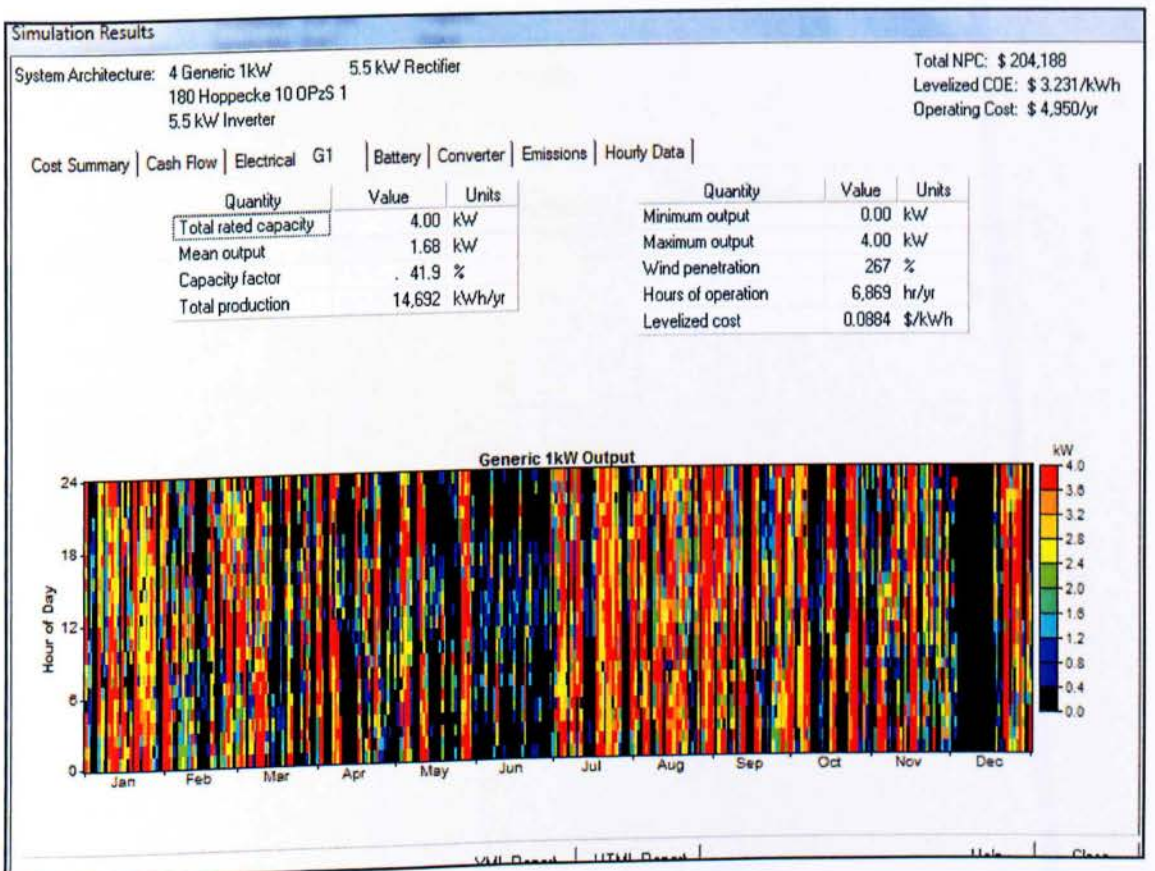
Σχήμα [28]: Αποτελέσματα Προσομοίωσης



Σχήμα [29]: Ηλεκτρικά Μεγέθη Προσομοίωσης



Σχήμα [30]: Χαρακτηριστικά μεγέθη Ανεμογεννήτριας

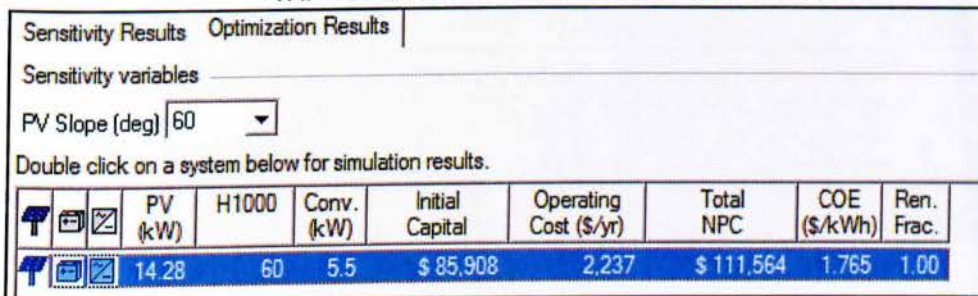


Σχήμα [31]: Χαρακτηριστικά μεγέθη Συσσωρευτών

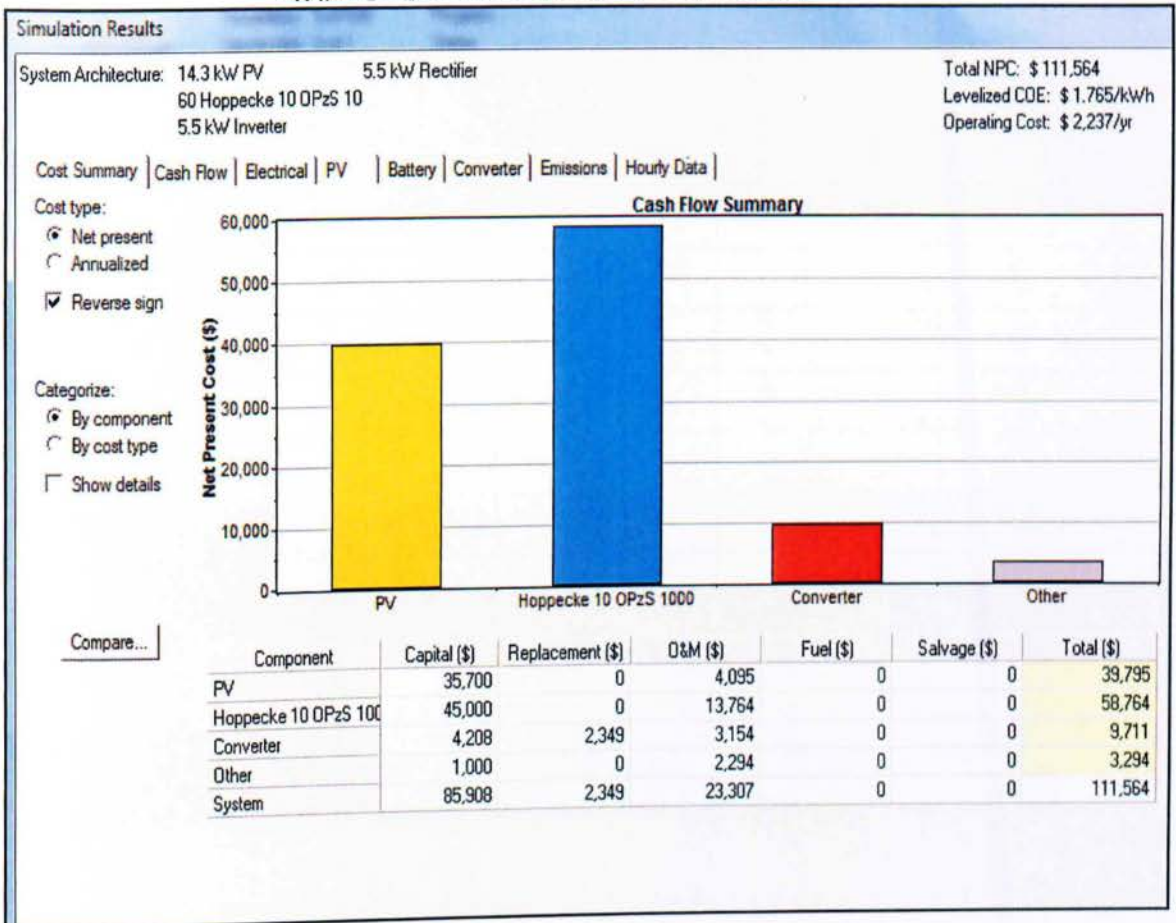


1.3. Φ/Β πλαίσια – Συσσωρευτές

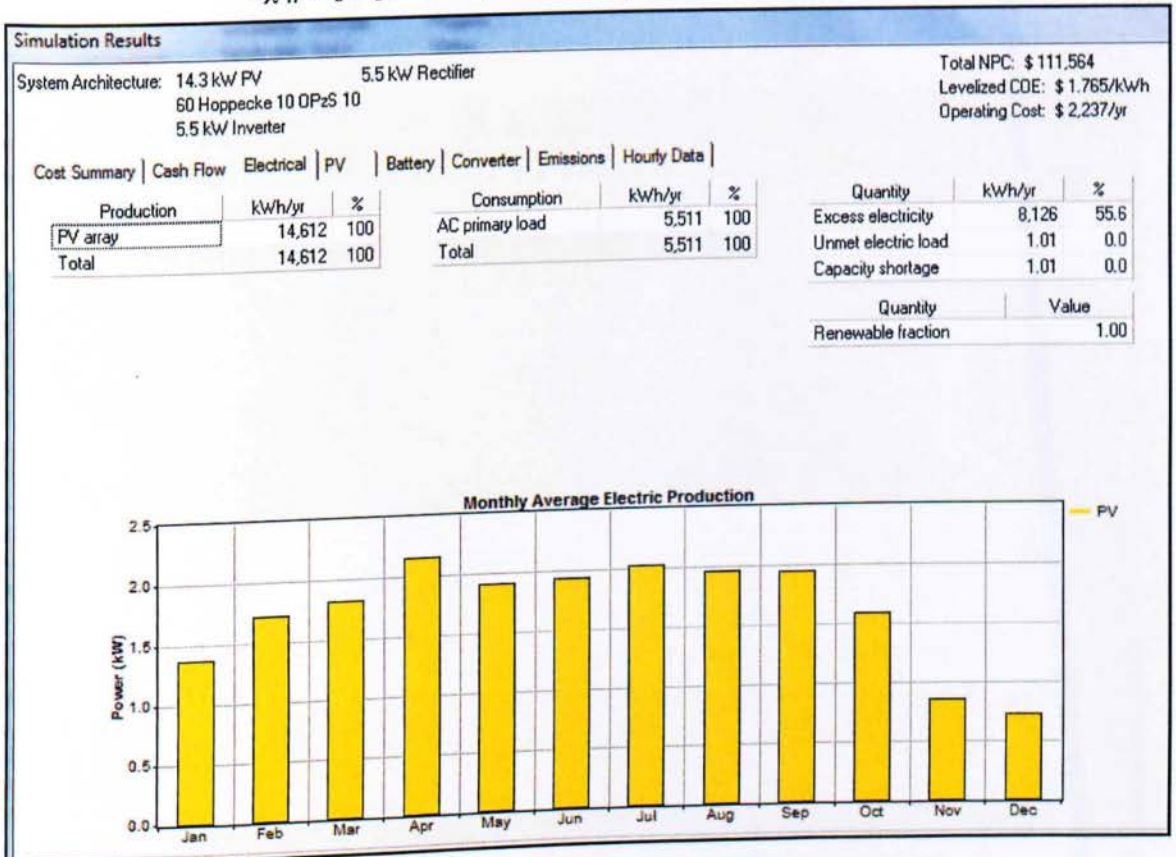
Σχήμα [32]: Αποτελέσματα Ανάλυσης Ευσαιθησίας



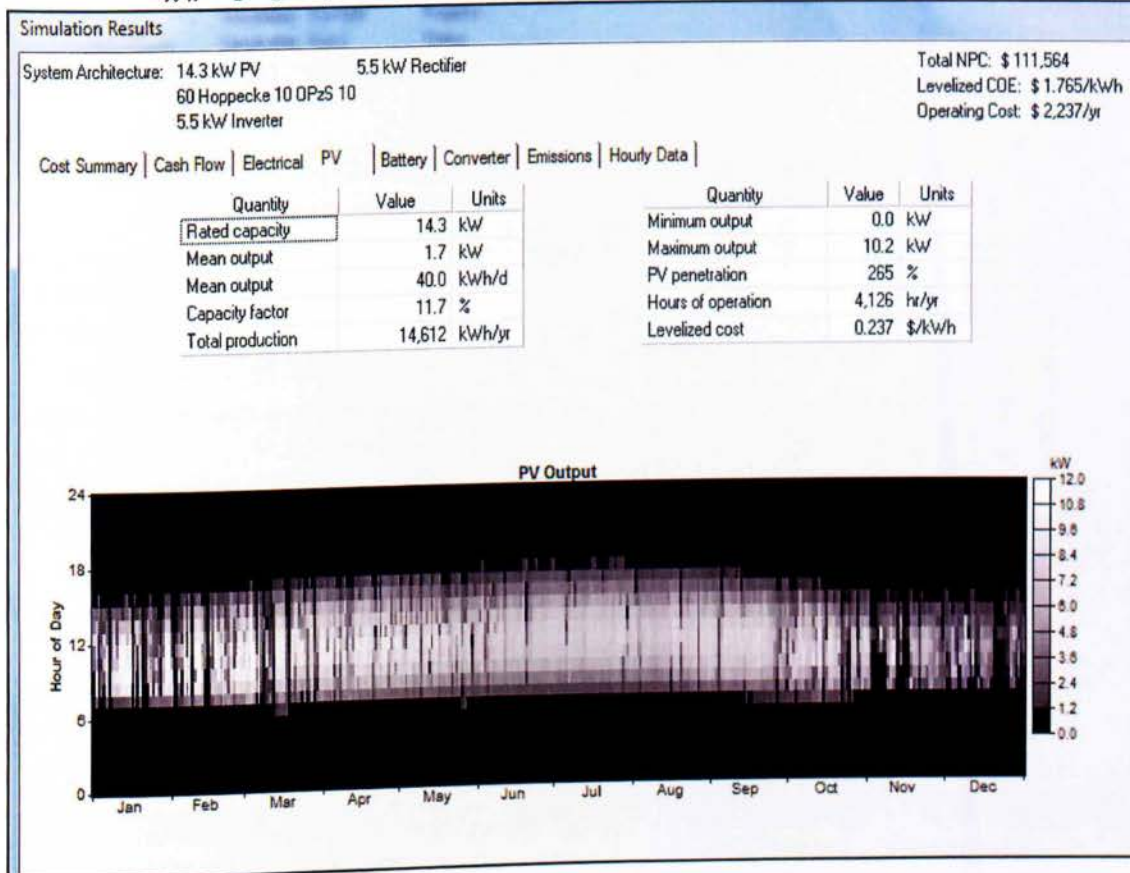
Σχήμα [33]: Αποτελέσματα Προσομοίωσης



Σχήμα [34]: Ηλεκτρικά Μεγέθη Προσομοίωσης



Σχήμα [35]: Χαρακτηριστικά μεγέθη Φωτοβολταϊκών Πλαισίων



Σχήμα [36]: Χαρακτηριστικά μεγέθη Συσσωρευτών



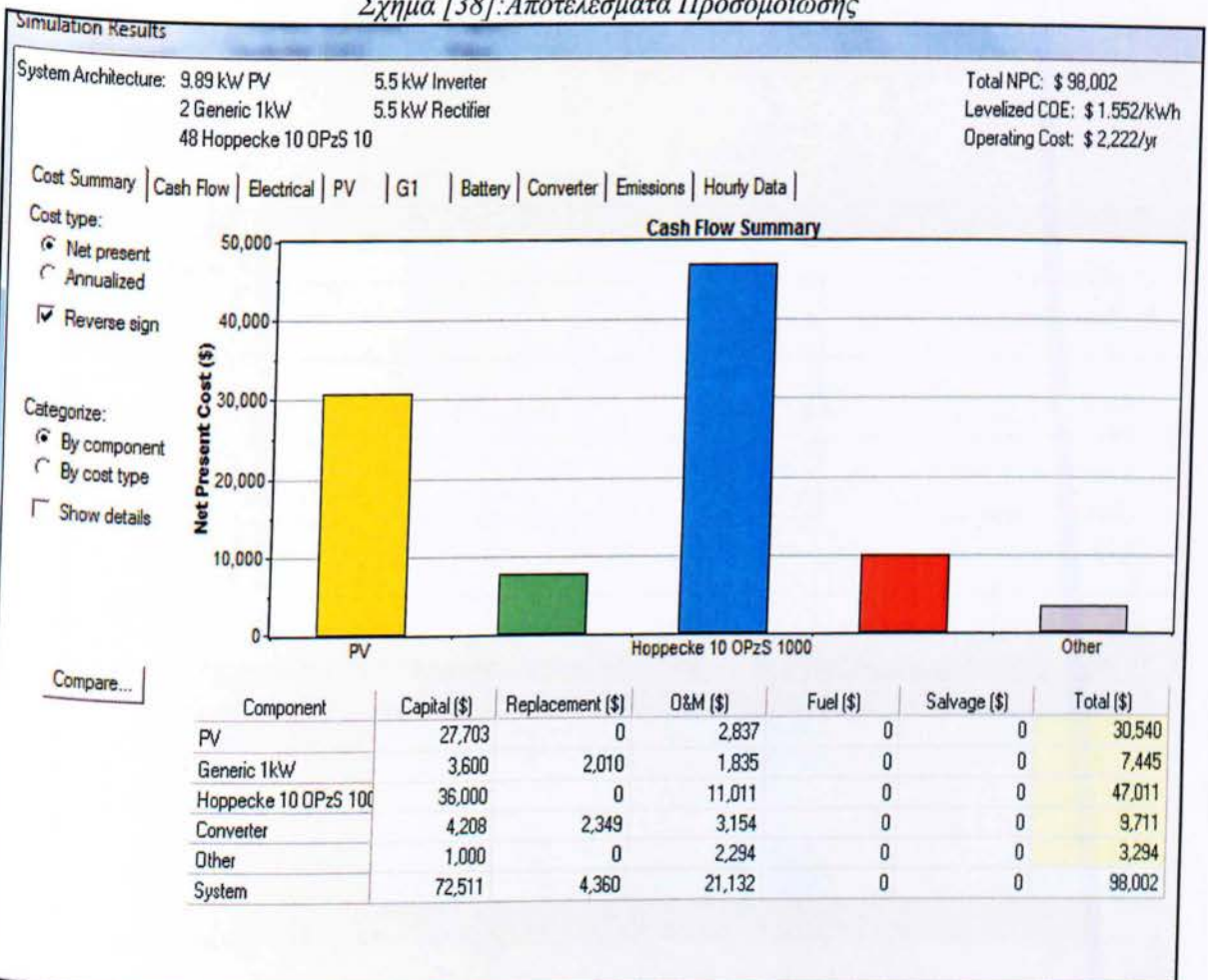
Όμοια για γωνία τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών πάνελ, $\beta = 35^\circ$

1.4. Ανεμογεννήτρια – Φ/Β πλαίσια – Συσσωρευτές

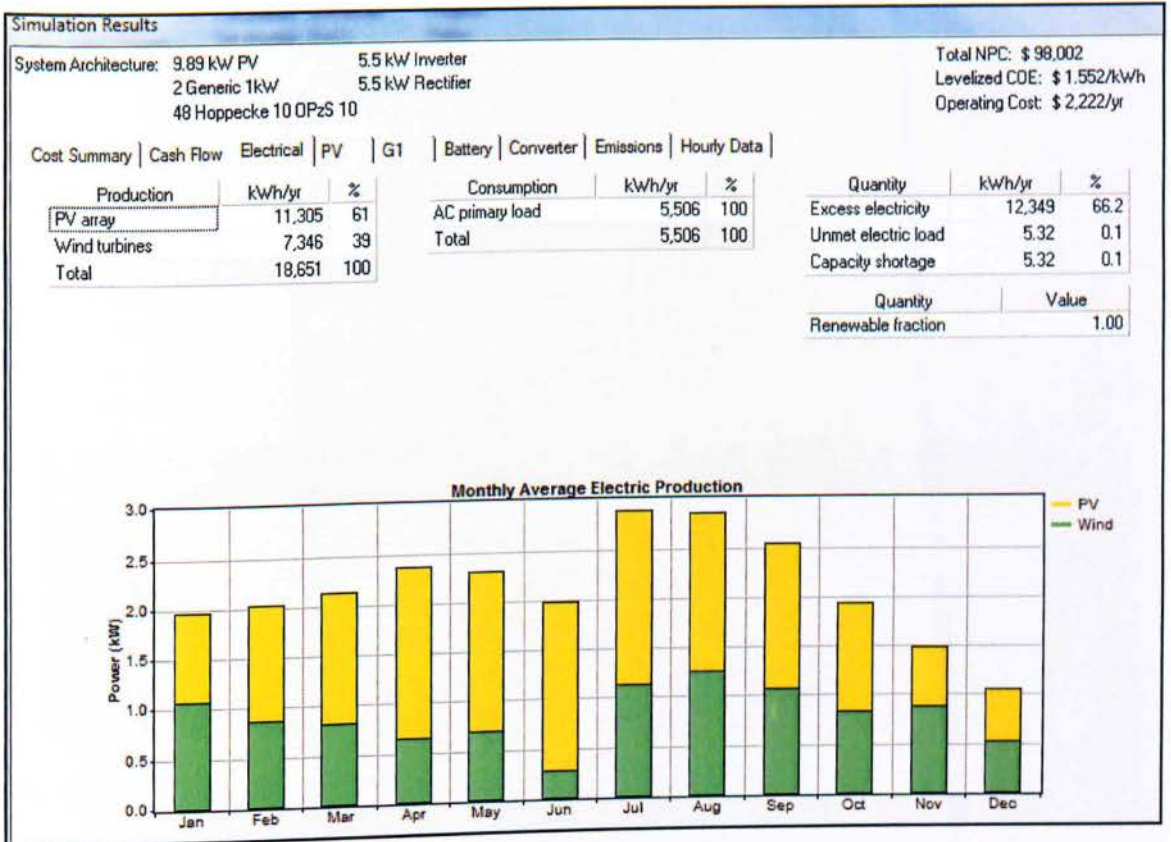
Σχήμα [37]: Αποτελέσματα Ανάλυσης Ευαισθησίας

Sensitivity Results		Optimization Results							
Sensitivity variables									
PV Slope (deg) 35									
Double click on a system below for simulation results.									
	PV (kW)	G1	H1000	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
	9.894	2	48	5.5	\$ 72,511	2,222	\$ 98,002	1.552	1.00

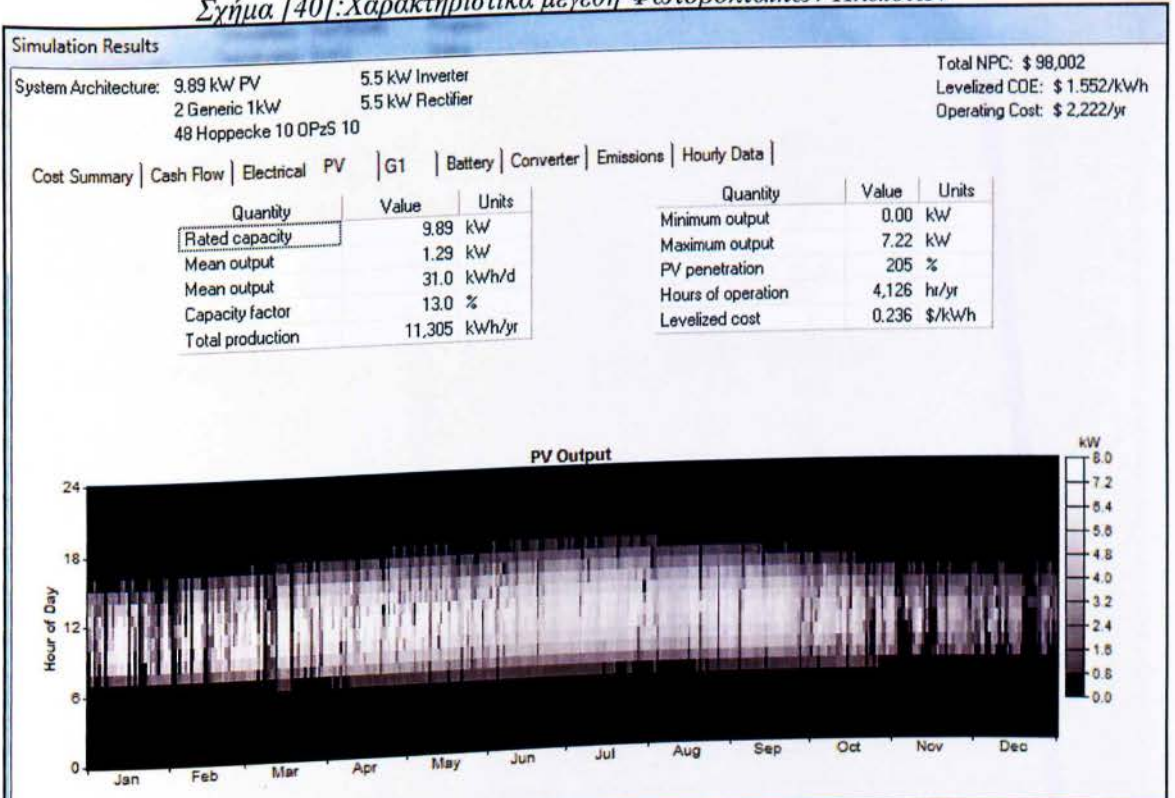
Σχήμα [38]: Αποτελέσματα Προσομοίωσης



Σχήμα [39]: Ηλεκτρικά Μεγέθη Προσομοίωσης



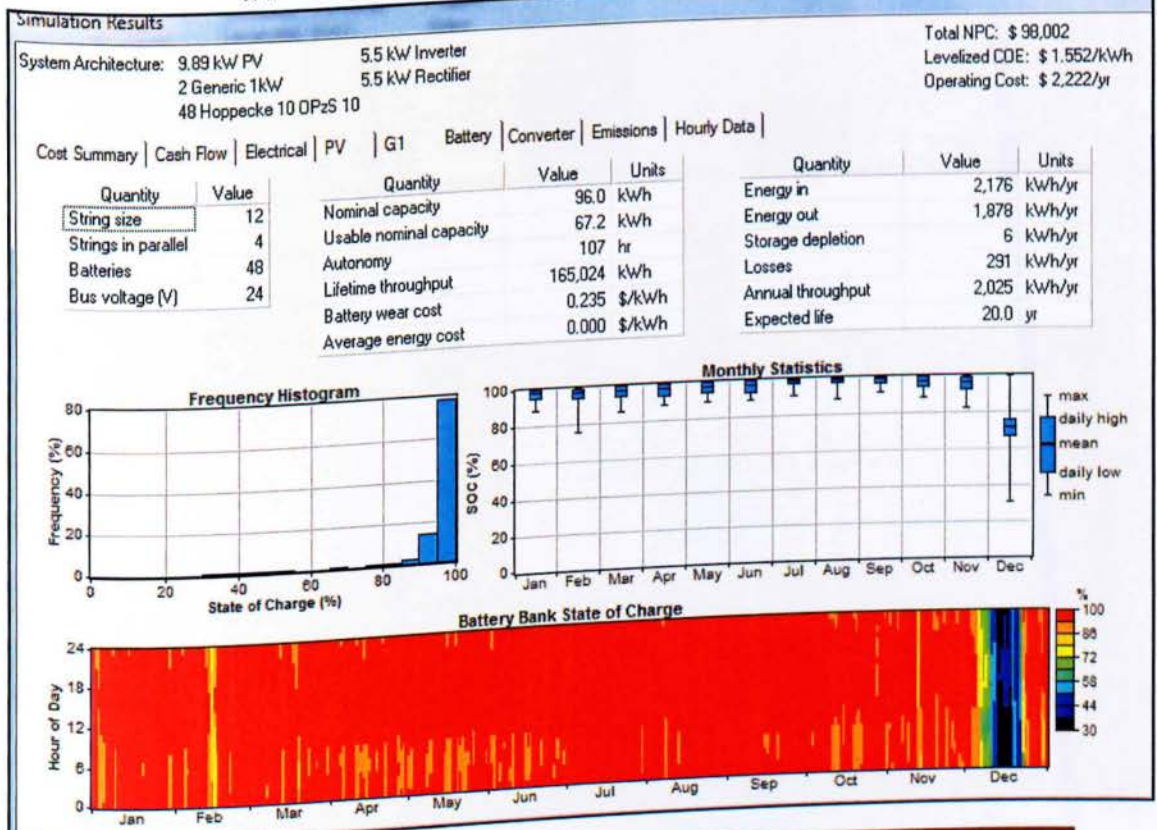
Σχήμα [40]: Χαρακτηριστικά μεγέθη Φωτοβολταϊκών Πλαισίων



Σχήμα [41]: Χαρακτηριστικά μεγέθη Ανεμογεννήτριας

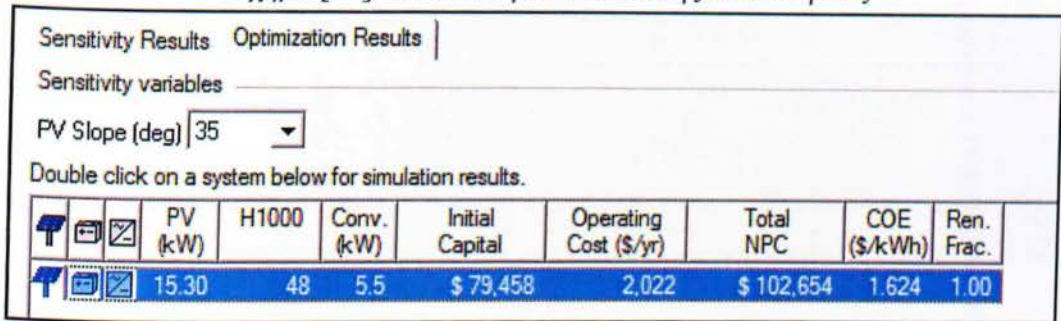


Σχήμα [42]: Χαρακτηριστικά μεγέθη Συσσωρευτών

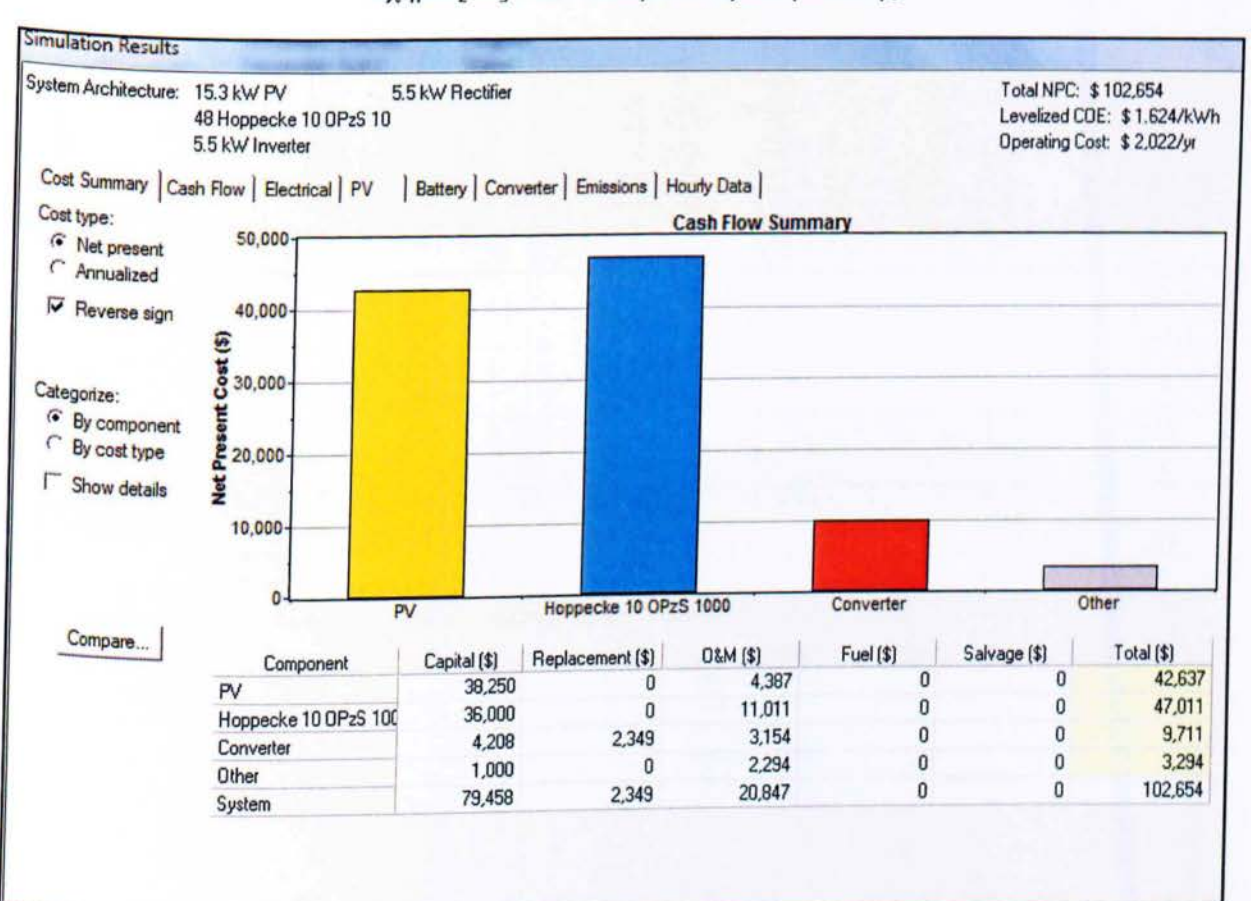


1.5.Φ/Β πλαίσια – Συσσωρευτές

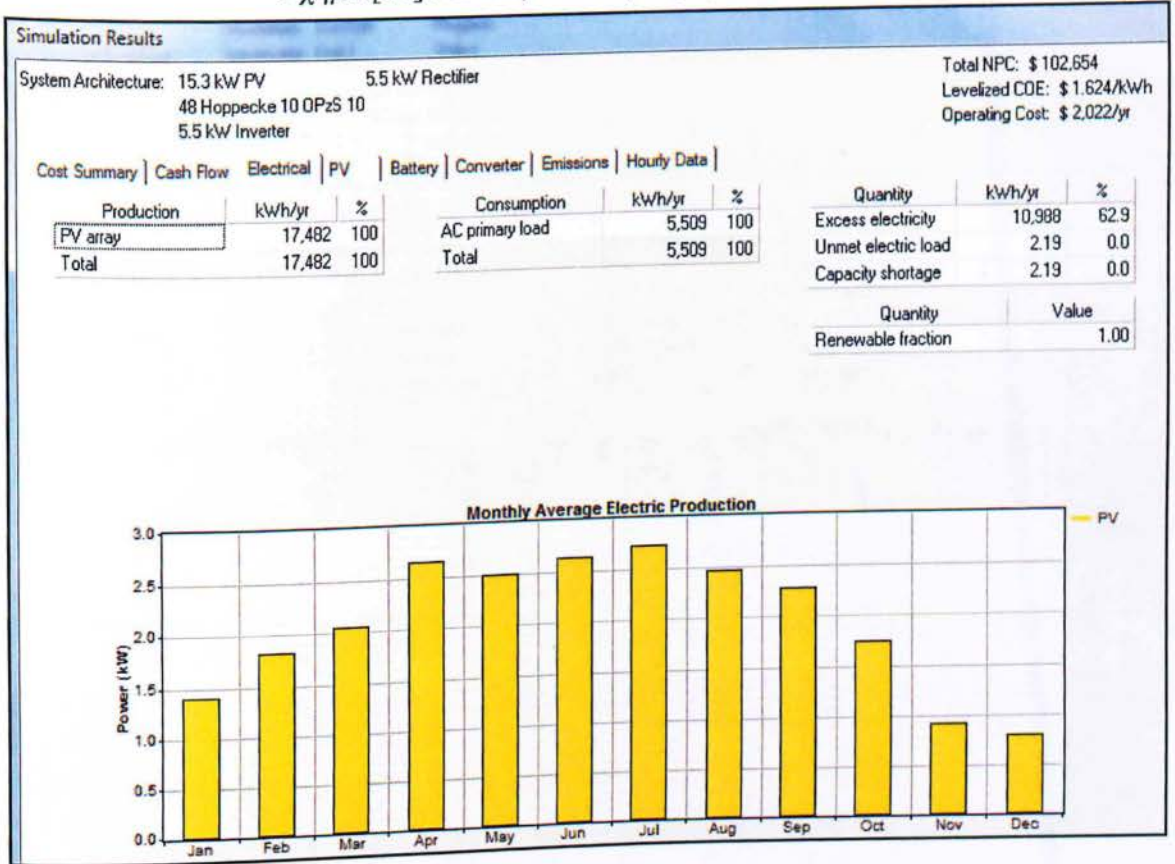
Σχήμα [43]: Αποτελέσματα Ανάλυσης Εναισθησίας



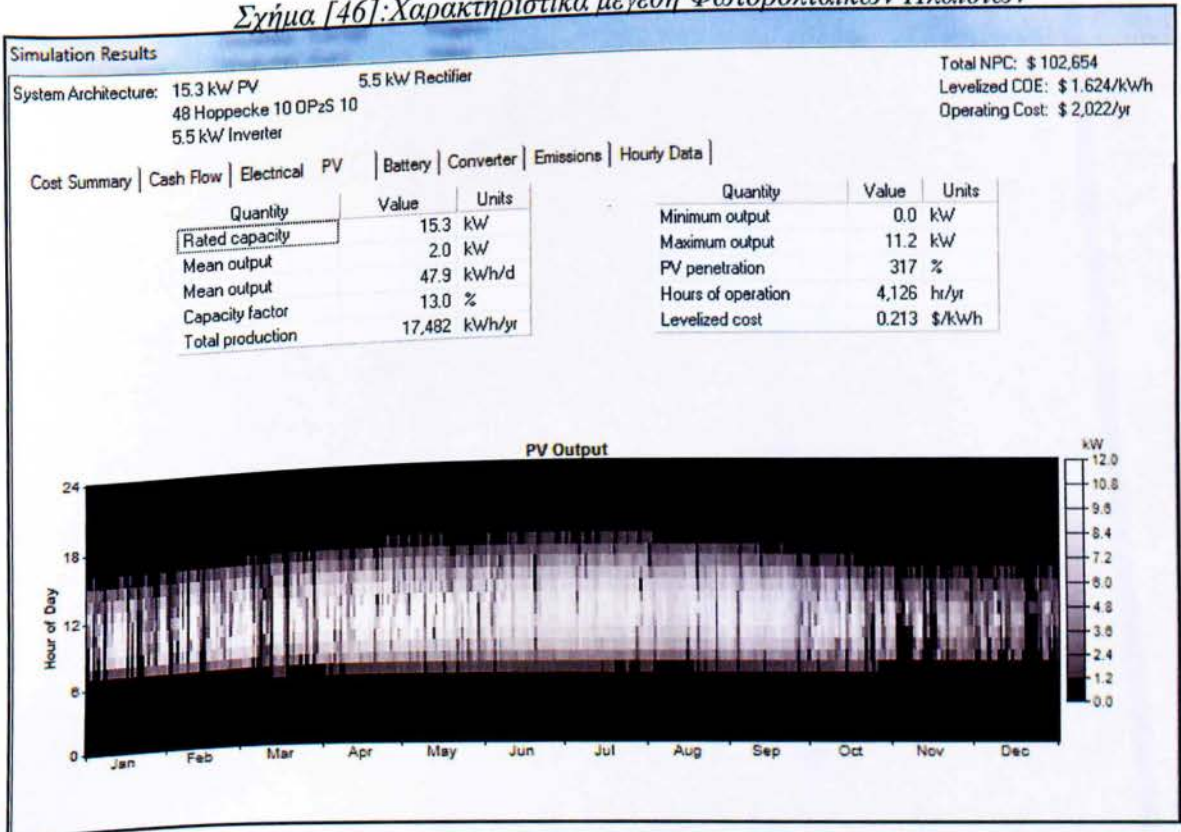
Σχήμα [44]: Αποτελέσματα Προσομοίωσης



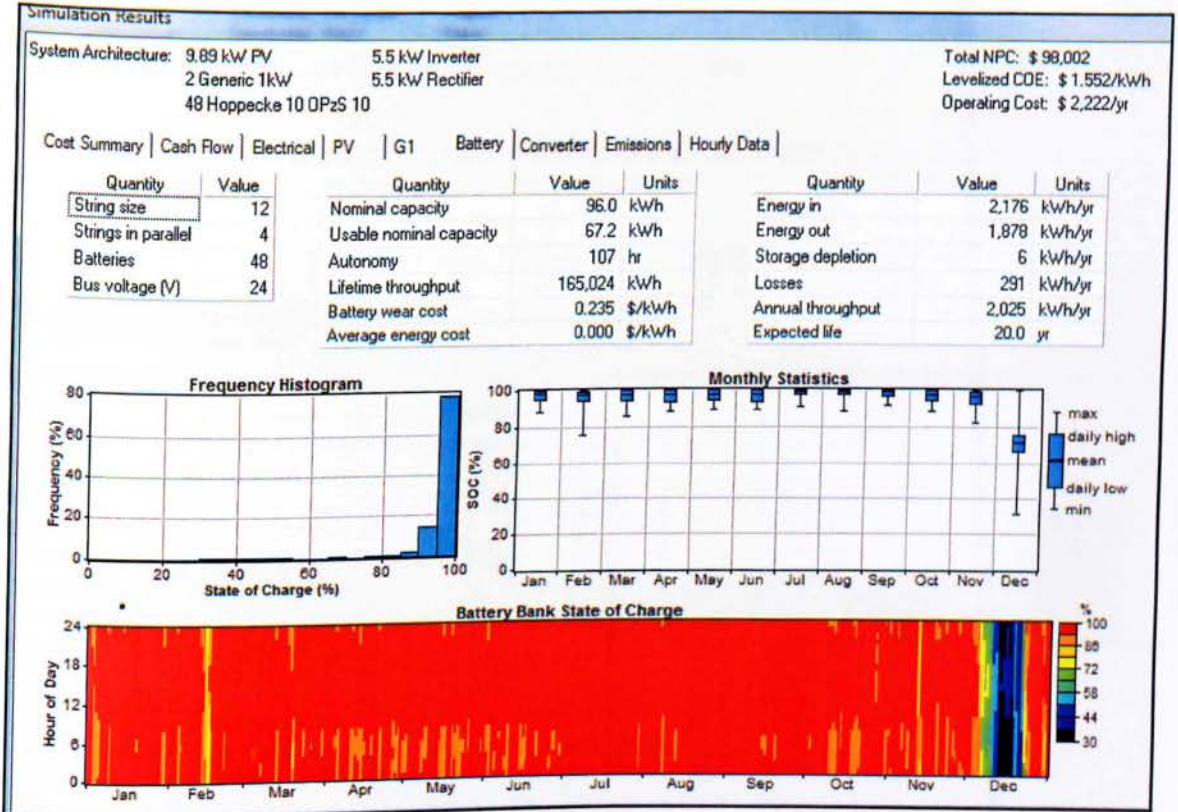
Σχήμα [45]: Ηλεκτρικά Μεγέθη Προσομοίωσης



Σχήμα [46]: Χαρακτηριστικά μεγέθη Φωτοβολταϊκών Πλαισίων



Σχήμα [47]: Χαρακτηριστικά μεγέθη Συσσωρευτών



3.3.2. ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ HOGA

- Για γωνίας τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών πάνελ, $\beta=60^\circ$

1.1. Ανεμογεννήτρια – Φ/Β πλαίσια – Συσσωρευτές

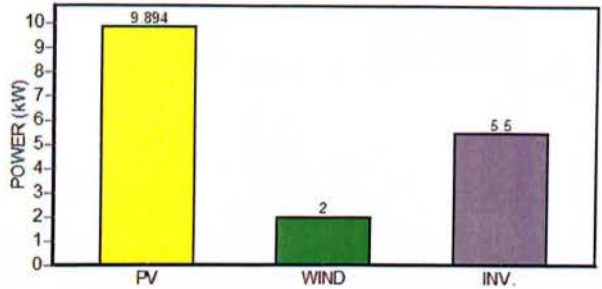
Σχήμα [48]: Αποτελέσματα Προσομοίωσης

PROJECT: Project Pv-WTG-Batteries.hoga. GENERATION No. 0

DC Voltage: 24 V. AC Voltage: 230 V

COMPONENTS

- 2 PV Panels serial x 97 Panels parallel, 51 Wp. Ptotal = 9.894 kWp
- 2 Batteries serial x 4 Bat. parallel, Cn = 1000 A·h. Etotal = 96 kWh
- 2 DC Wind Turbines, 1000 W at 14m/s. Total 2 kW
- Without Hydro Turbine
- Without AC Generator
- Without Fuel Cell
- Without Electrolyzer
- Inverter, 5500 VA
- Battery Charge Regulator, current = 776 A
- Rectifier, 0 W



CONTROL STRATEGY:

Minimum SOC allowed for the Batteries = 30 %

IF THE POWER PRODUCED BY RENEWABLES IS HIGHER THAN THE LOAD: CHARGE

The Batteries are charged with the spare power from renewable

IF THE POWER PRODUCED BY RENEWABLES IS LOWER THAN THE LOAD: DISCHARGE

The whole not supplied power to meet the load must be supplied by the Batteries. If the Batteries cannot supply the whole, the rest will be unmet load

Σχήμα [49]: Οικονομικά/Ηλεκτρικά μεγέθη

Initial Investment: 46023 €. Cost of fuel consumed by AC gen. during 1st. year: 0€

COSTS OF THE SYSTEM DURING THE SYSTEM LIFETIME (20 YEARS) (NPC):

Total System Costs (NPC): 62938 €. Levelized Cost Of Energy: 0.57 €/kWh

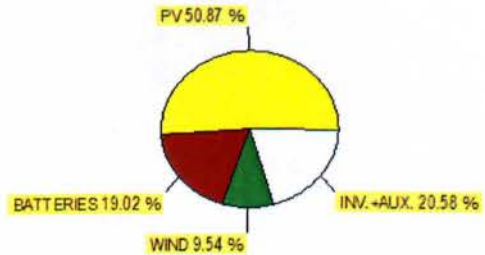
PV Generator Costs (NPC): 30877 €

Battery Costs (NPC): 11543 €

Wind Turbine Costs (NPC): 5789 €

Auxiliary Components Costs (NPC): 5436 €

Inverter Costs (NPC): 7058 €



BALANCE OF SYSTEM ENERGIES FOR 1 YEAR:

Overall Load Energy: 5529 kWh/yr

Unmet Load: 0 kWh/yr (0 % of demanded load)

Excess Energy: 10312 kWh/yr

Energy delivered by PV generator: 10183 kWh/yr

Energy delivered by Wind Turbines: 7343 kWh/yr

Energy delivered by Hydro Turbine: 0 kWh/yr

Energy delivered by AC Generator: 0 kWh/yr

Hours of AC Generator operation: 0 h/yr

Energy delivered by Fuel Cell: 0 kWh/yr

Hours of Fuel Cell operation: 0 h/yr

Energy at Electrolyzer: 0 kWh/yr

Hours of Electrolyzer operation: 0 h/yr

Energy charged by Batteries: 2432 kWh/yr

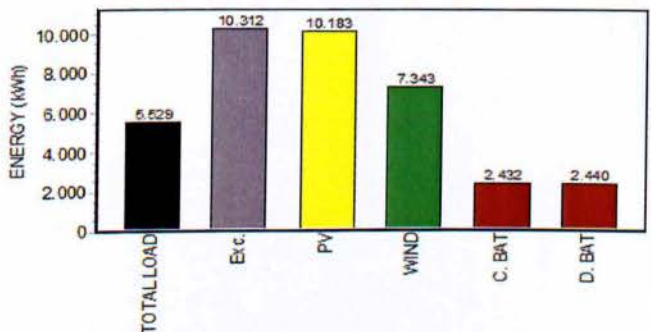
Energy discharged by Batteries: 2440 kWh/yr

Batteries Lifetime: 20 years

E sold to AC grid: 0 kWh/yr

E Purchased from AC grid: 0 kWh/yr

Total CO2 emissions: 0 kg CO2/yr; Emissions generated by AC generator (due to consumption of 0 liters/yr): 0 kg CO2/yr



1.2. Ανεμογεννήτρια – Συσσωρευτές

Σχήμα [50]: Αποτελέσματα προσομοίωσης

PROJECT: Project Pv-WTG-Batteries.hoga. GENERATION No. 0

DC Voltage: 24 V. AC Voltage: 230 V

COMPONENTS

- 2 PV Panels serial x 0 Panels parallel, 51 Wp. Ptotal = 0 kWp
- 2 Batteries serial x 15 Bat. parallel, Cn = 1000 A-h. E total = 360 kWh
- 4 DC Wind Turbines, 1000 W at 14m/s. Total 4 kW
- Without Hydro Turbine
- Without AC Generator
- Without Fuel Cell
- Without Electrolyzer
- Inverter, 5500 VA
- Battery Charge Regulator, current = 160.9 A
- Rectifier, 0 W

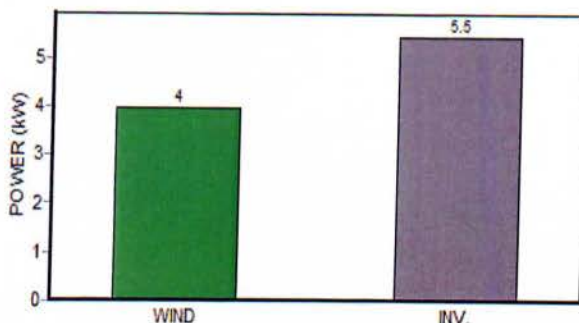
CONTROL STRATEGY:

Minimum SOC allowed for the Batteries = 30 %

IF THE POWER PRODUCED BY RENEWABLES IS HIGHER THAN THE LOAD: CHARGE

The Batteries are charged with the spare power from renewable

IF THE POWER PRODUCED BY RENEWABLES IS LOWER THAN THE LOAD: DISCHARGE



Σχήμα [51]: Οικονομικά/Ηλεκτρικά μεγέθη

Initial Investment: 47461 €. Cost of fuel consumed by AC gen. during 1st. year: 0€.

COSTS OF THE SYSTEM DURING THE SYSTEM LIFETIME (20 YEARS) (NPC):

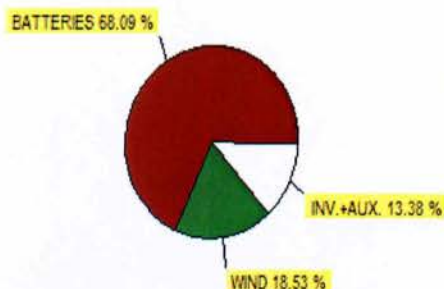
Total System Costs (NPC): 64743 €. Levelized Cost Of Energy: 0.59 €/kWh

Battery Costs (NPC): 42535 €

Wind Turbine Costs (NPC): 11579 €

Auxiliary Components Costs (NPC): 1301 €

Inverter Costs (NPC): 7058 €



BALANCE OF SYSTEM ENERGIES FOR 1 YEAR:

Overall Load Energy: 5529 kWh/yr

Unmet Load: 0 kWh/yr (0 % of demanded load)

Excess Energy: 7391 kWh/yr

Energy delivered by PV generator: 0 kWh/yr

Energy delivered by Wind Turbines: 14687 kWh/yr

Energy delivered by Hydro Turbine: 0 kWh/yr

Energy delivered by AC Generator: 0 kWh/yr

Hours of AC Generator operation: 0 h/yr

Energy delivered by Fuel Cell: 0 kWh/yr

Hours of Fuel Cell operation: 0 h/yr

Energy at Electrolyzer: 0 kWh/yr

Hours of Electrolyzer operation: 0 h/yr

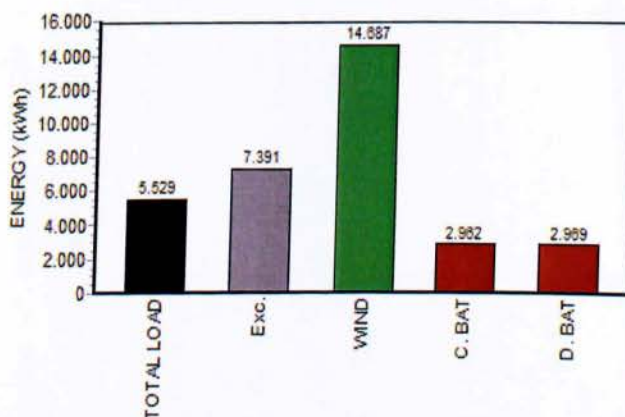
Energy charged by Batteries: 2962 kWh/yr

Energy discharged by Batteries: 2969 kWh/yr

Batteries Lifetime: 20 years

E. sold to AC grid: 0 kWh/yr

E. Purchased from AC grid: 0 kWh/yr



1.3. Φ/Β πλαίσια – Συσσωρευτές

Σχήμα [52]: Αποτελέσματα Προσομοίωσης

PROJECT: WTG-PV-Bat , b=60.hoga. GENERATION No. 0

DC Voltage: 24 V. AC Voltage: 230 V

COMPONENTS

2 PV Panels serial x 140 Panels parallel, 51 Wp. Ptotal = 14.28 kWp

2 Batteries serial x 5 Bat. parallel, Cn = 1000 A. h. E total = 120 kWh

0 DC Wind Turbines , 1000 W at 14m/s. Total 0 kW

Without Hydro Turbine

Without AC Generator

Without Fuel Cell

Without Electrolyzer

Inverter, 5500 VA

Battery Charge Regulator, current = 1177.2 A

Rectifier, 0 W

CONTROL STRATEGY:

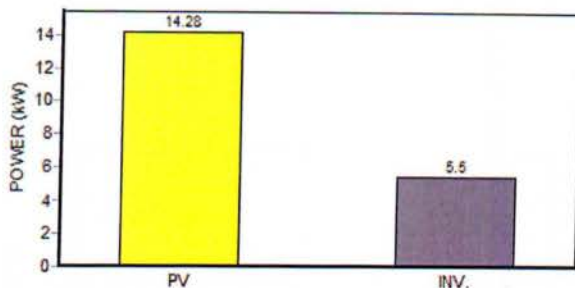
Minimum SOC allowed for the Batteries = 30 %

IF THE POWER PRODUCED BY RENEWABLES IS HIGHER THAN THE LOAD: CHARGE

The Batteries are charged with the spare power from renewable

IF THE POWER PRODUCED BY RENEWABLES IS LOWER THAN THE LOAD: DISCHARGE

The whole not supplied power to meet the load must be supplied by the Batteries. If the Batteries cannot supply the whole, the rest will be unmet load.



Σχήμα [53]: Οικονομικά/Ηλεκτρικά μεγέθη

Initial Investment: 56399 €. Cost of fuel consumed by AC gen. during 1st. year: 0€.

COSTS OF THE SYSTEM DURING THE SYSTEM LIFETIME (20 YEARS) (NPC):

Total System Costs (NPC): 75868 €. Levelized Cost Of Energy: 0 €/kWh

PV Generator Costs (NPC): 44565 €

Battery Costs (NPC): 14361 €

Auxiliary Components Costs (NPC): 8133 €

Inverter Costs (NPC): 7058 €

BALANCE OF SYSTEM ENERGIES FOR 1 YEAR:

Overall Load Energy: 0 kWh/yr

Unmet Load: 0 kWh/yr (0 % of demanded load)

Excess Energy: 15886 kWh/yr

Energy delivered by PV generator: 15922 kWh/yr

Energy delivered by Wind Turbines: 0 kWh/yr

Energy delivered by Hydro Turbine: 0 kWh/yr

Energy delivered by AC Generator: 0 kWh/yr

Hours of AC Generator operation: 0 h/yr

Energy delivered by Fuel Cell: 0 kWh/yr

Hours of Fuel Cell operation: 0 h/yr

Energy at Electrolyzer: 0 kWh/yr

Hours of Electrolyzer operation: 0 h/yr

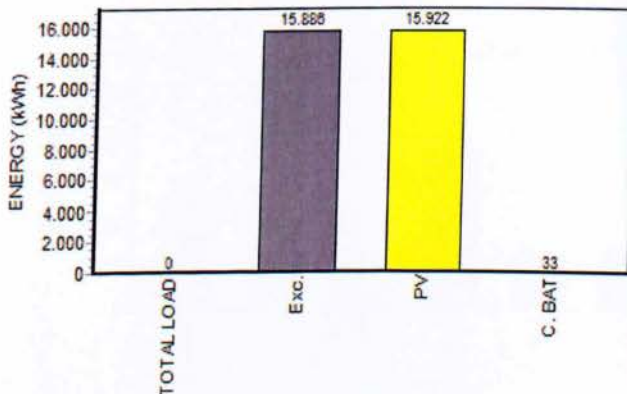
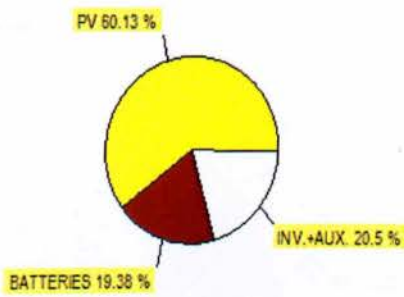
Energy charged by Batteries: 33 kWh/yr

Energy discharged by Batteries: 0 kWh/yr

Batteries Lifetime: 20 years

E. sold to AC grid: 0 kWh/yr

E. Purchased from AC grid: 0 kWh/yr



Όμοια, για γωνία τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών πάνελ, $\beta=35^\circ$

1.1.Ανεμογεννήτρια – Φ/Β πλαίσια – Συσσωρευτές

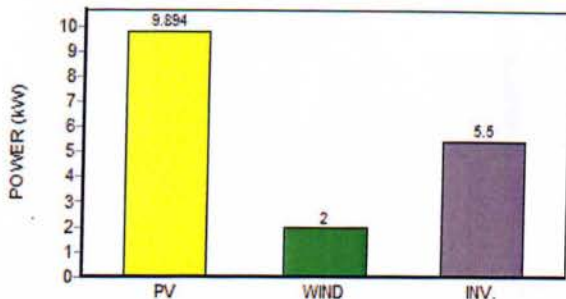
Σχήμα [54]: Αποτελέσματα Προσομοίωσης

PROJECT: Project Pv-WTG-Batteries.hoga. GENERATION No. 0

DC Voltage: 24 V. AC Voltage: 230 V

COMPONENTS

- 2 PV Panels serial x 97 Panels parallel, 51 Wp. Ptotal = 9.894 kWp
- 2 Batteries serial x 4 Bat. parallel, Cn = 1000 A.h. E total = 96 kWh
- 2 DC Wind Turbines, 1000 W at 14m/s. Total 2 kW
- Without Hydro Turbine
- Without AC Generator
- Without Fuel Cell
- Without Electrolyzer
- Inverter, 5500 VA
- Battery Charge Regulator, current = 560.7 A
- Rectifier, 0 W



CONTROL STRATEGY:

Minimum SOC allowed for the Batteries = 30 %

IF THE POWER PRODUCED BY RENEWABLES IS HIGHER THAN THE LOAD: CHARGE

The Batteries are charged with the spare power from renewable

Σχήμα [55]: Οικονομικά/Ηλεκτρικά μεγέθη

Initial Investment: 46023 €. Cost of fuel consumed by AC gen. during 1st. year: 0€.

COSTS OF THE SYSTEM DURING THE SYSTEM LIFETIME (20 YEARS) (NPC):

Total System Costs (NPC): 61462 €. Levelized Cost Of Energy: 0.56 €/kWh

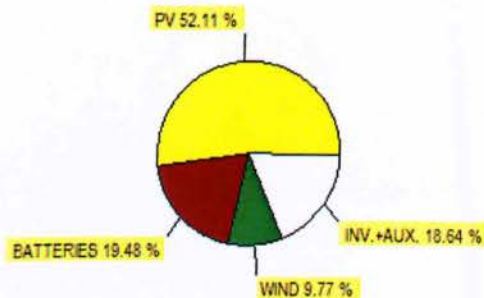
PV Generator Costs (NPC): 30877 €

Battery Costs (NPC): 11543 €

Wind Turbine Costs (NPC): 5789 €

Auxiliary Components Costs (NPC): 3988 €

Inverter Costs (NPC): 7058 €



BALANCE OF SYSTEM ENERGIES FOR 1 YEAR:

Overall Load Energy: 5529 kWh/yr

Unmet Load: 0 kWh/yr (0 % of demanded load)

Excess Energy: 10944 kWh/yr

Energy delivered by PV generator: 10814 kWh/yr

Energy delivered by Wind Turbines: 7343 kWh/yr

Energy delivered by Hydro Turbine: 0 kWh/yr

Energy delivered by AC Generator: 0 kWh/yr

Hours of AC Generator operation: 0 h/yr

Energy delivered by Fuel Cell: 0 kWh/yr

Hours of Fuel Cell operation: 0 h/yr

Energy at Electrolyzer: 0 kWh/yr

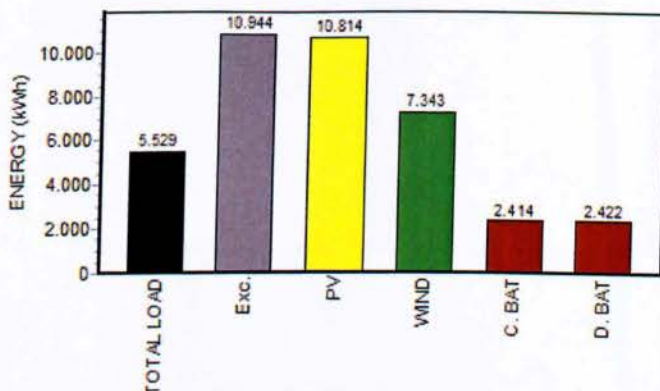
Hours of Electrolyzer operation: 0 h/yr

Energy charged by Batteries: 2414 kWh/yr

Energy discharged by Batteries: 2422 kWh/yr

Batteries Lifetime: 20 years

E. sold to AC grid: 0 kWh/yr



3.3.3. ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ WT_PV

- Για γωνία τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών πάνελ, $\beta=60^\circ$

1.1. Ανεμογεννήτρια – Φ/Β πλαίσια – Συσσωρευτές

Εφικτός συνδυασμός Αυτόνομου Υβριδικού συστήματος :

194 φωτοβολταϊκά πλαίσια = 9,894kWp

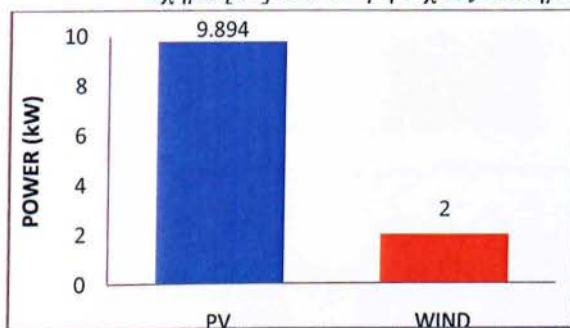
2 ανεμογεννήτριες * 1kW ονομαστικής ισχύος η καθεμία

48 συσσωρευτές, ονομαστικής χωρητικότητας 1000Ah ο καθένας / 96kWh

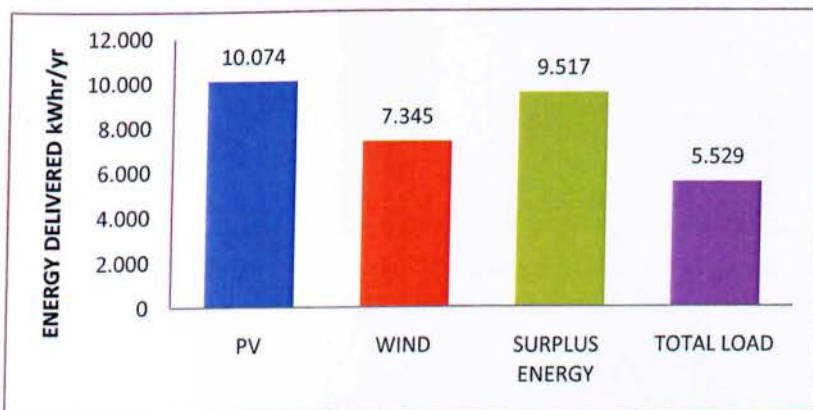
Σχήμα [58]: Αποτελέσματα Προσομοίωσης

WT_PV - Σημειωματάριο							
Αρχείο	Επεξεργασία	Μορφή	Προβολή	Βοήθεια			
194.00000000	2000.00000000	44000.00000000	0	4322	7.34563300E+06	1.00748220E+07	
194.00000000	2000.00000000	45000.00000000	0	4322	7.34563300E+06	1.00748220E+07	
194.00000000	2000.00000000	46000.00000000	0	4322	7.34563300E+06	1.00748220E+07	
194.00000000	2000.00000000	47000.00000000	0	4322	7.34563300E+06	1.00748220E+07	
194.00000000	2000.00000000	48000.00000000	0	4322	7.34563300E+06	1.00748220E+07	
194.00000000	2000.00000000	49000.00000000	0	4322	7.34563300E+06	1.00748220E+07	
194.00000000	2000.00000000	50000.00000000	0	4322	7.34563300E+06	1.00748220E+07	

Σχήμα [59]: Κατανομή ισχύος συστήματος



Σχήμα [60]: Ηλεκτρικά μεγέθη



1.2. Ανεμογεννήτρια – Συσσωρευτές

Εφικτός συνδυασμός Αυτόνομου Υβριδικού συστήματος :

0 φωτοβολταϊκά πλαίσια = 0kWp

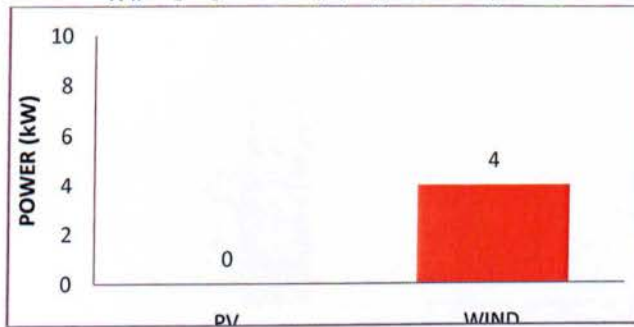
4 ανεμογεννήτριες * 1kW ονομαστικής ισχύος η καθεμία

180 συσσωρευτές, ονομαστικής χωρητικότητας 1000Ah ο καθένας / 360kWh

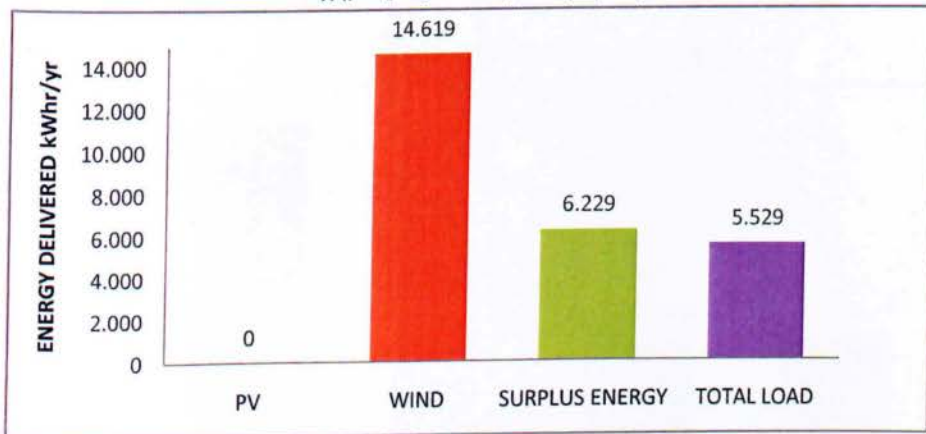
Σχήμα [61]: Αποτελέσματα Προσομοίωσης

WT_PV - Σημειωματάριο							
Αρχείο	Επεξεργασία	Μορφή	Προβολή	Βοήθεια			
0.00000000E-01	4000.00000000	195000.00000000	0	2955	1.46912660E+07	0.00000000E-01	
0.00000000E-01	4000.00000000	196000.00000000	0	2955	1.46912660E+07	0.00000000E-01	
0.00000000E-01	4000.00000000	197000.00000000	0	2955	1.46912660E+07	0.00000000E-01	
0.00000000E-01	4000.00000000	198000.00000000	0	2955	1.46912660E+07	0.00000000E-01	
0.00000000E-01	4000.00000000	199000.00000000	0	2955	1.46912660E+07	0.00000000E-01	
0.00000000E-01	4000.00000000	200000.00000000	0	2955	1.46912660E+07	0.00000000E-01	
0.00000000E-01	5000.00000000	0.00000000E-01	3677	5107	1.83640720E+07	0.00000000E-01	

Σχήμα [62]: Κατανομή ισχύος συστήματος



Σχήμα [63]: Ηλεκτρικά μεγέθη



1.3. Φ/Β πλαίσια – Συσσωρευτές

Εφικτός συνδυασμός Αυτόνομου Υβριδικού συστήματος :

280 φωτοβολταϊκά πλαίσια = 14280kWp

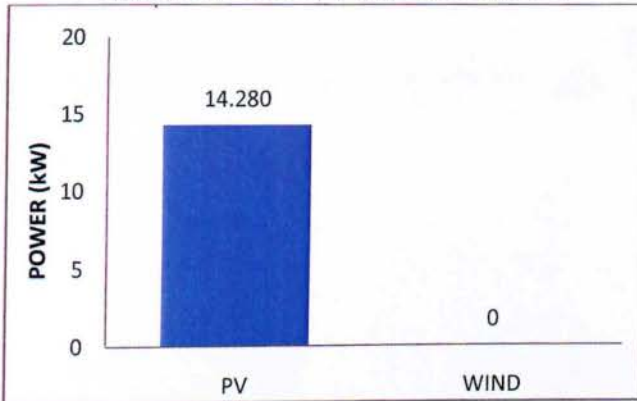
0 ανεμογεννήτριες * 1kW ονομαστικής ισχύος η καθεμία

60 συσσωρευτές, ονομαστικής χωρητικότητας 1000Ah ο καθένας / 120kWh

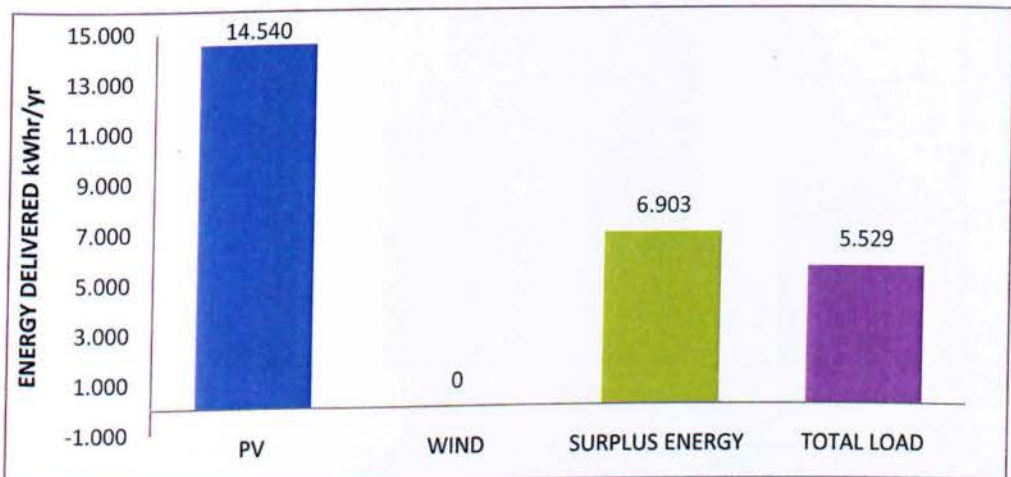
Σχήμα [64]: Αποτελέσματα Προσομοίωσης

Αρχείο	Επεξεργασία	Μορφή	Προβολή	Βοήθεια			
278.00000000	0.00000000E-01	60000.00000000	0	1967	0.00000000E-01	1.44371130E+07	
279.00000000	0.00000000E-01	60000.00000000	0	1970	0.00000000E-01	1.44890570E+07	
280.00000000	0.00000000E-01	60000.00000000	0	1975	0.00000000E-01	1.45409720E+07	
281.00000000	0.00000000E-01	60000.00000000	0	1979	0.00000000E-01	1.45929370E+07	
282.00000000	0.00000000E-01	60000.00000000	0	1982	0.00000000E-01	1.46448470E+07	
283.00000000	0.00000000E-01	60000.00000000	0	1989	0.00000000E-01	1.46967660E+07	

Σχήμα [65]: Κατανομή ισχύος συστήματος



Σχήμα [66]: Ηλεκτρικά μεγέθη



Όμοια για γωνία τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών πάνελ, $\beta=35^\circ$

1.1.Ανεμογεννήτρια – Φ/Β πλαίσια – Συσσωρευτές

Εφικτός συνδυασμός Αυτόνομου Υβριδικού συστήματος :

194 φωτοβολταϊκά πλαίσια = 9,894kWp

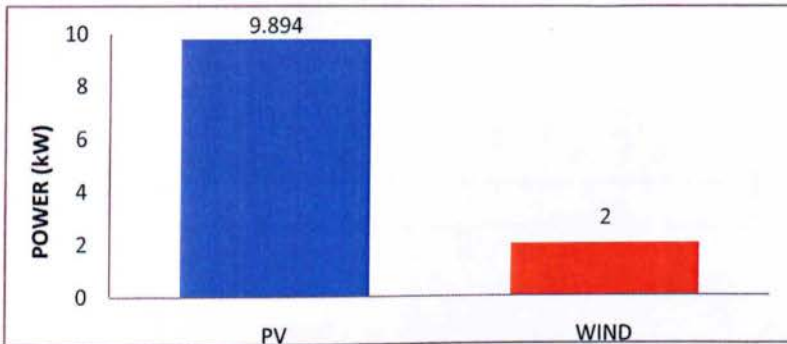
2 ανεμογεννήτριες * 1kW ονομαστικής ισχύος η καθεμία

48 συσσωρευτές, ονομαστικής χωρητικότητας 1000Ah ο καθένας / 96kWh

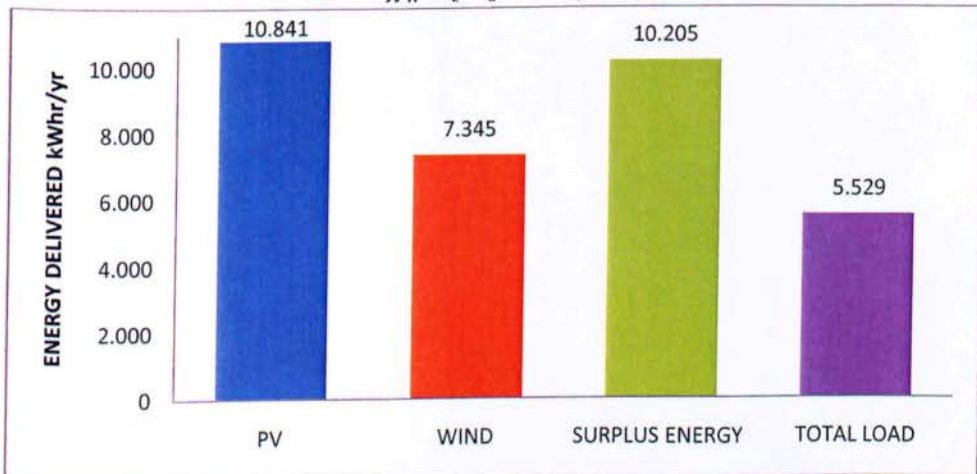
Σχήμα [67]:Αποτελέσματα Προσομοίωσης

194.00000000	2000.00000000	45000.00000000	0	4352	7.34563300E+06	1.08413080E+07
194.00000000	2000.00000000	46000.00000000	0	4352	7.34563300E+06	1.08413080E+07
194.00000000	2000.00000000	47000.00000000	0	4352	7.34563300E+06	1.08413080E+07
194.00000000	2000.00000000	48000.00000000	0	4352	7.34563300E+06	1.08413080E+07

Σχήμα [68]:Κατανομή ισχύος συστήματος



Σχήμα [69]:Ηλεκτρικά μεγέθη



1.2.Φ/Β πλαίσια – Συσσωρευτές

Εφικτός συνδυασμός Αυτόνομου Υβριδικού συστήματος :

300 φωτοβολταϊκά πλαίσια = 15300kWp

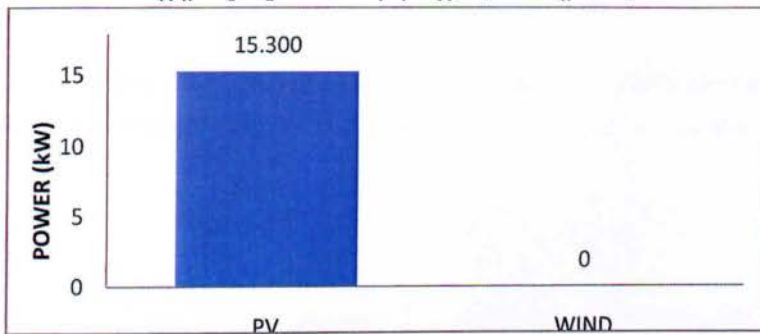
0 ανεμογεννήτριες * 1kW ονομαστικής ισχύος η καθεμία

48 συσσωρευτές, ονομαστικής χωρητικότητας 1000Ah ο καθένας / 96kWh

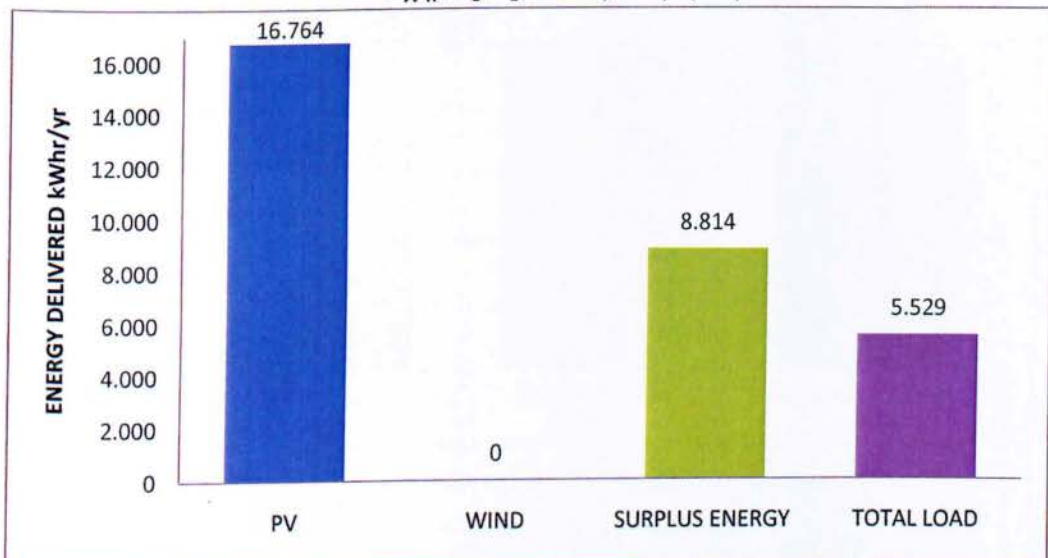
Σχήμα [70]: Αποτελέσματα Προσομοίωσης

WT_PV - Σημειωματάριο						
Αρχείο	Επεξεργασία	Μορφή	Προβολή	Βοήθεια		
298.00000000	0.00000000E-01	48000.00000000	0	2097	0.00000000E-01	1.66531900E+07
299.00000000	0.00000000E-01	48000.00000000	0	2104	0.00000000E-01	1.67090810E+07
300.00000000	0.00000000E-01	48000.00000000	0	2111	0.00000000E-01	1.67649310E+07
301.00000000	0.00000000E-01	48000.00000000	0	2115	0.00000000E-01	1.68208300E+07
302.00000000	0.00000000E-01	48000.00000000	0	2120	0.00000000E-01	1.68767280E+07

Σχήμα [71]: Κατανομή ισχύος συστήματος



Σχήμα [72]: Ηλεκτρικά μεγέθη



Για τις περιπτώσεις συνδυασμών: **φωτοβολταϊκά πλαίσια – συσσωρευτές**, τα λογισμικά HOMER και HOGA, επιτάσσουν τη διαμόρφωση συστημάτων με περισσότερα από 200 πάνελ ονομαστικής ισχύος 51Wp το καθένα, για γωνίες τοποθέτησης 35° και 60° αντίστοιχα, ώστε να βρεθεί ο βέλτιστος εφικτός συνδυασμός. Αντίθετα, στο πρόγραμμα WT_PV, η αναζήτηση βέλτιστου εφικτού συνδυασμού, επιτελείται και με λιγότερα από 200 πάνελ.

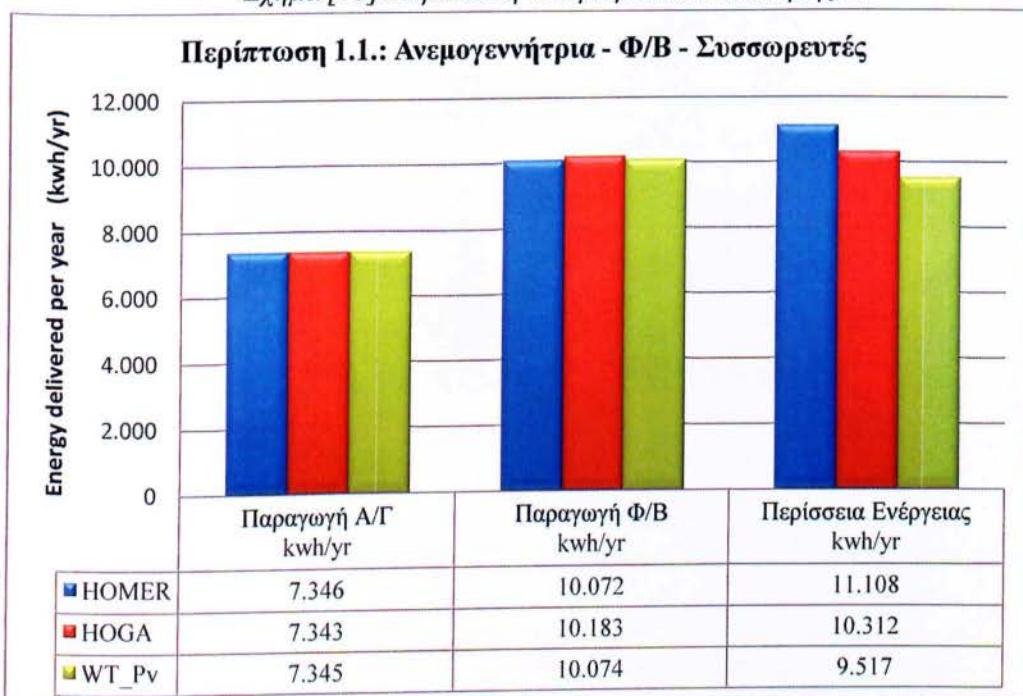
Πιο συγκεκριμένα, βρέθηκε βέλτιστος συνδυασμός συστήματος με

- i. : 155 φωτοβολταϊκά πλαίσια (7905kWp) και 60 συσσωρευτές για γωνία τοποθέτησης 60° για την περίπτωση μελέτης 1.3 καθώς και
- ii. : 190 φωτοβολταϊκά πλαίσια (10671kWp) σε συνδυασμό με 48 συσσωρευτές με γωνία τοποθέτησης 35° για την περίπτωση μελέτης 1.5 .

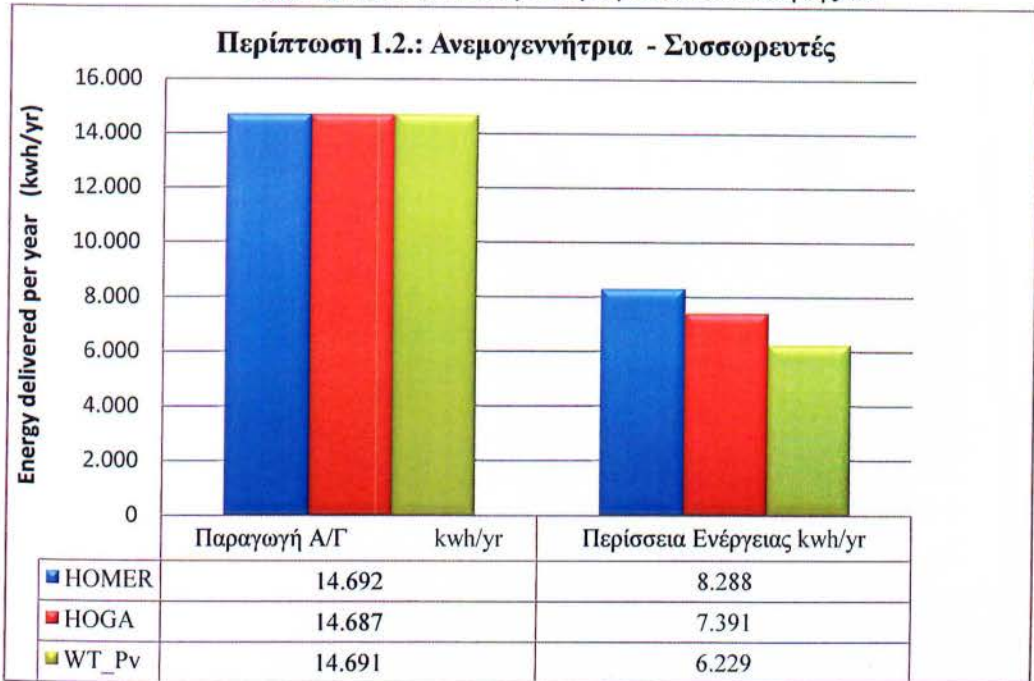
Παρά την ύπαρξη των παραπάνω εφικτών συνδυασμών (i και ii) για την σύγκριση των αποτελεσμάτων επιλέχθηκαν οι συνδυασμοί που φαίνονται στα σχήματα [64] και [70] (280 και 300 Φ/Β πλαίσια αντίστοιχα), ώστε τελικά να συγκριθούν τα αποτελέσματα όλων των συνδυασμών και για τα τριών λογισμικά μεταξύ τους, σε κοινή βάση.

Στα σχήματα [73] έως και [77] που ακολουθούν, παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των συνδυασμών που προκύπτουν από τα τρία λογισμικά.

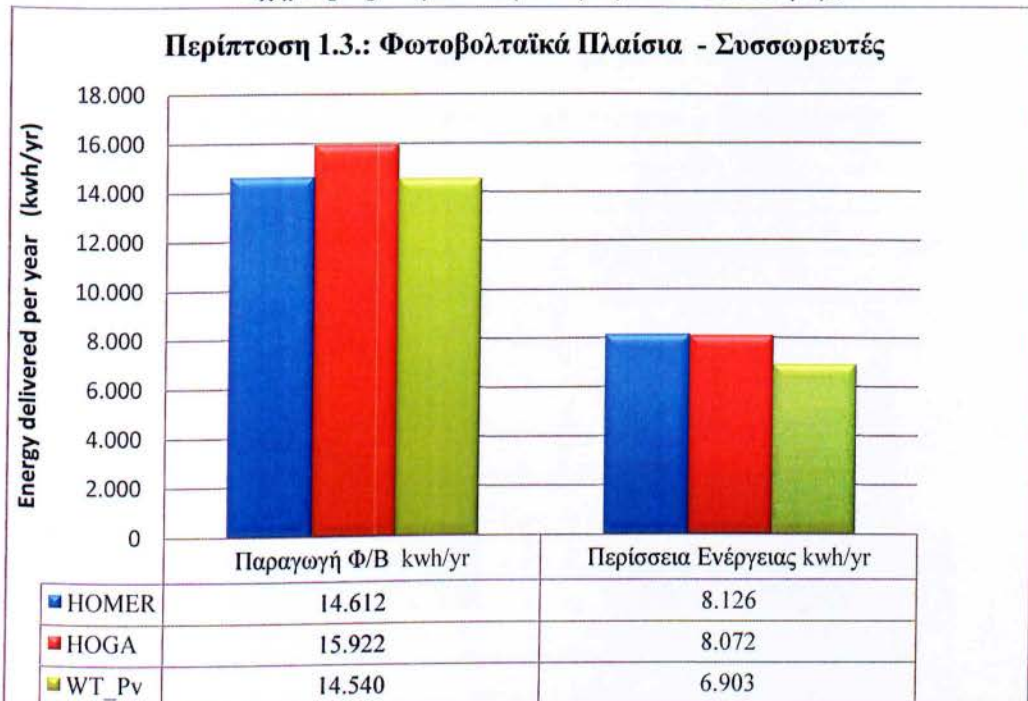
Σχήμα [73]: Περίπτωση 1.1. με γωνία τοποθέτησης 60°



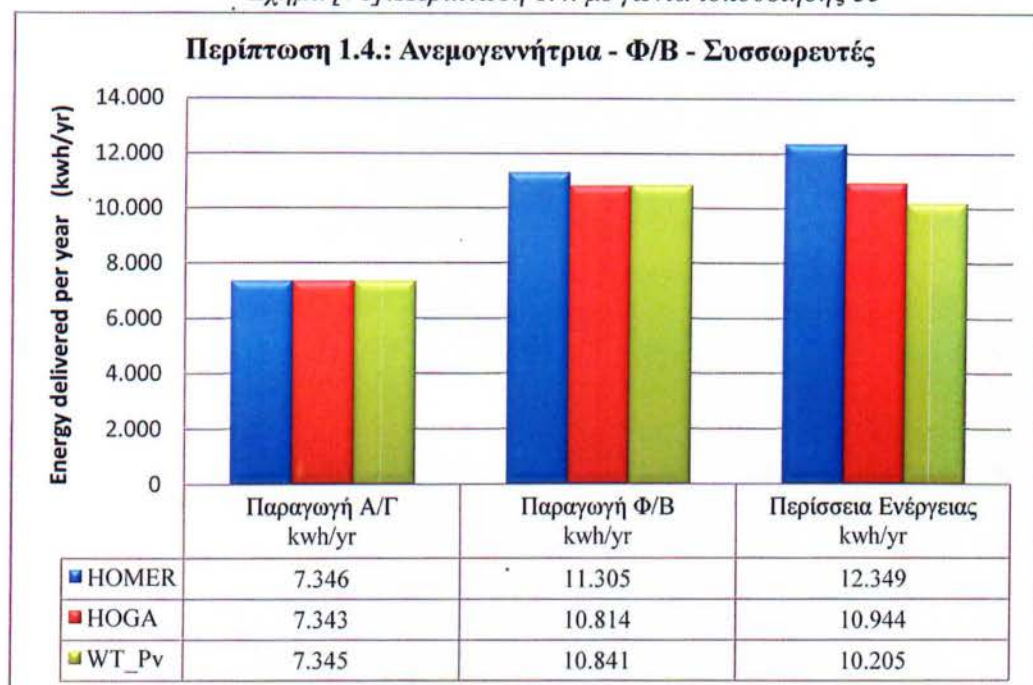
Σχήμα [74]: Περίπτωση 1.2. με γωνία τοποθέτησης 60°



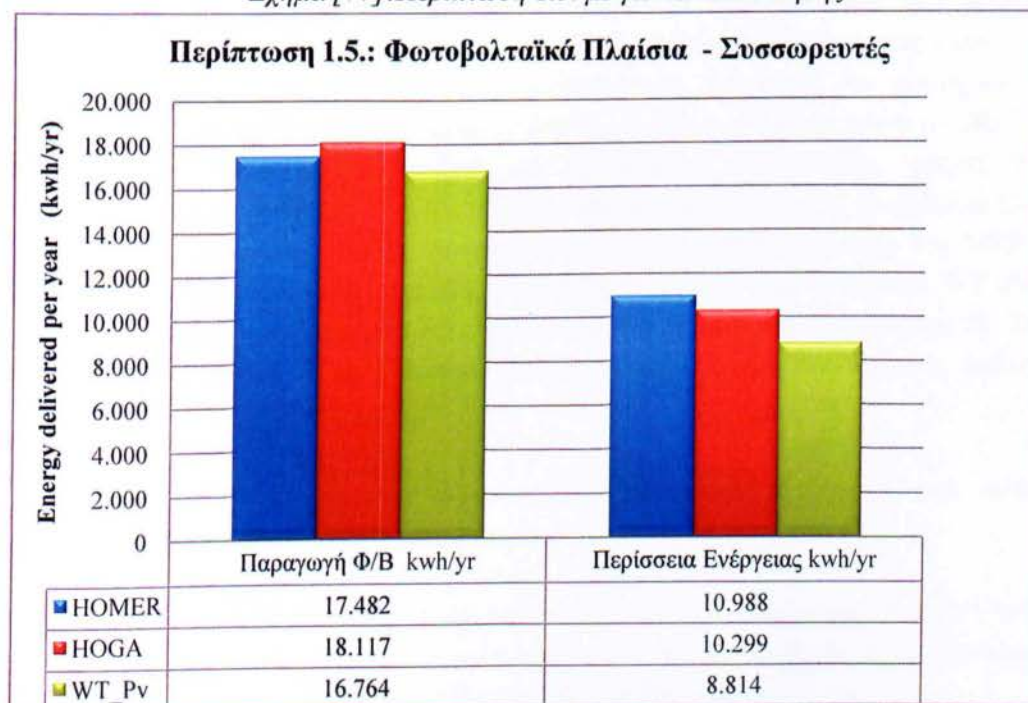
Σχήμα [75]: Περίπτωση 1.3. με γωνία τοποθέτησης 60°



Σχήμα [76]: Περίπτωση 1.4. με γωνία τοποθέτησης 35°



Σχήμα [77]: Περίπτωση 1.5. με γωνία τοποθέτησης 35°



Από την ανάλυση των παραπάνω διαγραμμάτων, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Οι υπολογιζόμενες από κάθε λογισμικό ετήσιες παραγωγές ενέργειας από ανεμογεννήτριες, συγκρινόμενες μεταξύ τους για κάθε εφικτό συνδυασμό που μελετήθηκε είναι σχεδόν οι ίδιες. Συμπεραίνουμε λοιπόν, ότι και τα τρία λογισμικά υπολογίζουν με τον ίδιο τρόπο την παραγόμενη ενέργεια.
- Αναφορικά με την παραγόμενη από φωτοβολταϊκά πλαίσια ενέργεια, παρατηρούνται σε κάθε περίπτωση διαφορές στη τελική τιμή αυτής. Και στις πέντε περιπτώσεις που μελετήθηκαν, τα αποτελέσματα αποκλίνουν μεταξύ τους λόγω των παρακάτω:
 - Στα λογισμικά HOMER και WT_Pv η επίδραση της θερμοκρασίας συνυπολογίζεται στην τελική τιμή της παραγόμενης ενέργειας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της απόδοσης του Φ/Β για τιμές θερμοκρασίας πέραν της επιθυμητής. Αντίθετα, στο λογισμικό HOGA δεν υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής δεδομένων θερμοκρασίας για την υπό μελέτη περιοχή με αποτέλεσμα να μην υπολογίζεται η επίδραση της θερμοκρασίας στο φ/β. Η επίδραση της θερμοκρασίας παίζει καθοριστικό ρόλο στην απόδοση ενός φ/β συνεπώς, πιστεύω πως το μεγαλύτερο ποσοστό των διαφορών που υπάρχουν, βασίζονται σε αυτή.
 - Επίσης, η ύπαρξη ρυθμιστή φόρτισης MPPT (Maximum Power Point Tracker), συσκευή η οποία αναγνωρίζει την τάση αυτόματα και προσαρμόζει τον αλγόριθμο φόρτισης σε αυτή, επιφέρει διαφορετικά αποτελέσματα. Στο λογισμικό HOGA, υπάρχει η δυνατότητα επιλογής ή όχι της χρήσης τέτοιας συσκευής ως συστατικό του συστήματος. Αντίθετα, στο λογισμικό HOMER, η χρήση ρυθμιστή φόρτισης MPPT γίνεται αυτόματα από το πρόγραμμα. Ο χρήστης πρέπει να συμπεριλάβει στον συντελεστή απόδοσης της φωτοβολταϊκής συστοιχίας που θα χρησιμοποιήσει, τον βαθμό απόδοσης του MPPT ώστε να υπολογιστεί η παραγωγή ενέργειας. Στο λογισμικό WT_Pv, δεν υπάρχει δυνατότητα επιλογής χρήσης ή όχι τέτοιου ρυθμιστή. Το λογισμικό, χρησιμοποιεί την χαρακτηριστική καμπύλη ενός απλού ρυθμιστή φόρτισης.
- Τέλος, σχετικά με την περίσσεια ενέργειας που προκύπτει από κάθε συνδυασμό πρέπει να αναφέρουμε τα εξής:
 - Οι διαφορές που προκύπτουν στις τιμές της παραγόμενης από φ/β πλαίσια ενέργειας, έχουν άμεση σχέση με τις διαφορές της περίσσειας ενέργειας που απορρέει από κάθε συνδυασμό.
 - Η περίσσεια ενέργειας, εξαρτάται από την στρατηγική φόρτισης των συσσωρευτών. Στο λογισμικό HOMER και HOGA, χρησιμοποιείται

το μοντέλο KiBaM και μέσω αυτού υπολογίζεται η ενέργεια που απορροφούν οι συσσωρευτές κατά την φόρτιση τους αλλά και η ενέργεια που παρέχουν στο σύστημα κατά την αποφόρτιση τους. Για το λογισμικό WT_Pv η περίσσεια ενέργειας υπολογίζεται ως διαφορά ενέργειας σύμφωνα με τον τύπο: $\Delta E = \eta_{taups} \cdot E_{wt} + \eta_{taacdc} \cdot E_{pv} - E_{demand}$ όπου:

η_{taups} = βαθμός απόδοσης UPS

E_{wt} = Παραγόμενη από A/T ενέργεια

η_{taacdc} = βαθμός απόδοσης μετατροπέα

E_{pv} = Παραγόμενη από Φ/Β πλαίσια ενέργεια

E_{demand} = Ζητούμενη από το χρήστη ενέργεια

Ο διαφορετικός τρόπος υπολογισμού της περίσσειας σε κάθε λογισμικό, είναι και ο λόγος της ύπαρξης διαφορών μεταξύ αυτών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΧΟΛΙΑ

4.1. Λογισμικό HOGA

- Το λογισμικό HOGA διαθέτει σύντομους χρόνους υπολογισμού των βέλτιστων λύσεων λόγω της λειτουργίας του με τη χρήση γενετικών αλγορίθμων.
- Δίνει την δυνατότητα επίλυσης προβλημάτων με παραπάνω από μια αντικειμενική συνάρτηση (πολυαντικειμενική βελτιστοποίηση).
- Παρά τους σύντομους χρόνους διεξαγωγής αποτελεσμάτων το HOGA δεν διαθέτει την απαιτούμενη ακρίβεια που συναντάται σε άλλα λογισμικά βελτιστοποίησης όπως για παράδειγμα το HOMER, που χρησιμοποιεί τη μέθοδο της πλήρους απαρίθμησης λύσεων.
- Κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του προγράμματος παρουσιάστηκαν αρκετά τεχνικά προβλήματα όπως για παράδειγμα η αδυναμία αξιολόγησης των αποτελεσμάτων λόγω της χρονοβόρας διαδικασίας ελέγχου κάθε μιας λύσης ξεχωριστά.

4.2. Λογισμικό HOMER

- Πολύ σύντομοι χρόνοι διεξαγωγής των εξομοιώσεων, με μεγάλη ακρίβεια και ευκολία. Εξομοίωση απλών αλλά και πολύπλοκων συνδυασμών.
- Δυνατότητα μοντελοποίησης συστημάτων, τα οποία είναι είτε διασυνδεδεμένα στο δίκτυο είτε αυτόνομα.
- Δυνατότητα αξιολόγησης των οικονομικών αλλά και των τεχνικών χαρακτηριστικών σε κάθε συνδυασμό που προκύπτει μέσω της Βελτιστοποίησης αλλά και της Εξομοίωσης.
- Περιορισμένος έλεγχος των μεταβλητών ελέγχου από το χρήστη λόγω των εισηγμένων από το πρόγραμμα μαθηματικών τύπων αλλά και δεδομένων.

4.3. Λογισμικό WT_PV

- Εξαιρετικά χρονοβόρα διεξαγωγή των εξομοιώσεων, ειδικά όταν το βήμα καθορίζεται από το χρήστη ως μονάδα.
- Μεγάλη ακρίβεια όσον αφορά τις ωριαίες τιμές. Εξομοίωση απλών συνδυασμών.
- Δυνατότητα αξιολόγησης μόνο των τεχνικών χαρακτηριστικών κάθε συνδυασμού που προκύπτει και όχι των οικονομικών στοιχείων όπως στα άλλα δύο προγράμματα.
- Περιορισμός όσον αφορά την επιλογή των χαρακτηριστικών των εξαρτημάτων αλλά και των ιδίων(π.χ. δεν υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής κυψελών καυσίμου σε κάποιο συνδυασμό) που απαρτίζουν το σύστημα.

4.4. Επιμέρους Διαφορές των Λογισμικών

Κατά την αξιολόγηση των παραπάνω λογισμικών, αξίζει να αναφέρουμε μερικές από τις βασικές διαφορές στην δομή αυτών· οι οποίες τελικά οδήγησαν και στις διαφοροποιήσεις των αποτελεσμάτων που τελικά προέκυψαν.

Αρχικά η κύρια διαφορά των λογισμικών είναι η λειτουργία με Γενετικούς Αλγόριθμους του λογισμικού HOGA σε σχέση με το HOMER αλλά και το WT_PV. Επίσης, στα τρία προγράμματα, εισάγοντα με διαφορετικό τρόπο τα δεδομένα (π.χ στο HOMER, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια εισάγονται ως συστοιχία και υπολογίζονται ως τέτοια, ενώ στα άλλα δύο υπάρχει η δυνατότητα επιλογής μεταξύ συστοιχίας ή μεμονωμένου στοιχείου). Ακόμα, στο λογισμικό HOMER ο χρήστης έχει την δυνατότητα να επιλέξει μέσω μιας τράπεζας συσσωρευτών (επιλογή που δεν υπάρχει στα άλλα λογισμικά) για τον τύπο που θέλει να χρησιμοποιήσει, αλλά, δεν μπορεί να κάνει καμία βελτιστοποίηση σε αυτούς όπως για παράδειγμα γίνεται στο HOGA. Τέλος, ιδιαίτερη σημασία έχει η δυνατότητα καταχώρησης του Βαθμού Φόρτισης των μπαταριών στο λογισμικό HOGA έναντι του HOMER και του WT_PV όπου υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής μόνο του ελάχιστου βαθμού φόρτισης.

Επίσης, το λογισμικό HOMER, κάνει χρήση του μοντέλου KiBaM για την διαχείριση του φορτίου στους συσσωρευτές. Σε αυτό το μοντέλο η μπαταρία παίζει το ρόλο μίας πηγής τάσης σε σειρά με μία εσωτερική αντίσταση η οποία θεωρείται σταθερή. Αντίθετα, το επίπεδο της ΗΕΔ (E) της μπαταρίας μεταβάλλεται ανάλογα με το ρεύμα φόρτισης-εκφόρτισης και με το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας (SOC) Αντίθετα το λογισμικό HOGA και μόνον υπάρχει η δυνατότητα επιλογής χρήσης του παραπάνω μοντέλου αλλά προτείνεται από το λογισμικό, η χρήση του μοντέλου Ah (Schuchmacher 1993).

Αξίζει επίσης να σημειωθεί ο τρόπος με τον οποίο υπολογίζει το εκαστοτε λογισμικό τις παραγόμενες από τα επιμέρους στοιχεία του συστήματος ενέργεια. Σχετικά με την παραγόμενη από τις ανεμογεννήτριες ενέργεια, διαπιστώνουμε πως και τα τρία λογισμικά καταλήγουν σχεδόν στις ίδιες τιμές μιας και αυτή εξαρτάται ως επί το πλείστον από τα ανεμολογικά δεδομένα που εισάγονται στα προγράμματα(εισήχθησαν οι ίδιες τιμές και για τα τρία), από την χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας της ανεμογεννήτριας (ίδια και για τα τρία λογισμικά) καθώς και των τεχνικών χαρακτηριστικών όπως για παράδειγμα το ύψος πλήμνης της Α/Γ το οποίο συνοδεύεται με την μεταβολή της πίεσης σε αυτό καθώς και το υψόμετρο εγκατάστασης αυτής από την επιφάνεια της θάλασσας.

Σπουδαίο ρόλο όμως στις διαφορές που παρουσιάζονται, παίζει η παραγόμενη από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια ενέργεια. Τα τρία λογισμικά, υπολογίζουν διαφορετικά την ενέργεια από την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στα πλαίσια. Αρχικά, το λογισμικό HOMER, λαμβάνει υπόψιν του την επίδραση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια των πλαισίων κάτι το οποίο δεν γίνεται στο HOGA. Επίσης, το HOGA, έναντι του HOMER αλλά και του WT_PV, κάνει χρήση της επιλογής υπολογισμού

της ενέργειας με τη χρήση Ανιχνευτή Σημείου Μέγιστης Ισχύους (MPPT) κάτι που δεν υπάρχει στα άλλα λογισμικά. Ακόμα, το HOMER, δεν μοντελοποιεί τους ρυθμιστές φόρτισης αυτόνομα, όπως το HOGA αλλά πρέπει ο χρήστης να επιμερίσει τον βαθμό απόδοσης αυτών αλλά και το κόστος τους, στα δεδομένα εισαγωγής της φωτοβολταϊκής συστοιχίας (π.χ στο αρχικό κόστος της συστοιχίας).

Τέλος, πρέπει να αναφερθούμε στον τρόπο υπολογισμού της περίσσειας ενέργειας που απορρέει από κάθε πιθανό συνδυασμό για καθένα από τα τρία λογισμικά, μιας και αυτή αποτελεί και το βασικό κριτήριο σύγκρισης αυτών.

Στο λογισμικό WT_PV, η περίσσεια προκύπτει από την διαφορά μεταξύ της παραγόμενης από φωτοβολταϊκά πλαίσια, ανεμογεννήτριες και συσσωρευτές ενέργειας, και της ζητούμενης από το χρήστη για κάθε χρονική στιγμή ενέργεια.

Στο HOMER, η περίσσεια ενέργειας εμφανίζεται κάθε φορά που το σύστημα παράγει περισσότερη ενέργεια απ' όση μπορεί να χρησιμοποιήσει όπως αντίστοιχα γίνεται με το λογισμικό WT_PV και το HOGA, αλλά μπορεί επίσης να υπάρξει περίσσεια και όταν η μετατροπή του ρεύματος δεν είναι επαρκής. Για παράδειγμα, αν ο ανορθωτής τάσης δεν μπορεί να διαχειριστεί όλη την ενέργεια που του δίνουν τα φωτοβολταϊκά και οι συσσωρευτές είναι φορτισμένοι πλήρως τότε θα εμφανιστεί περίσσεια ενέργειας στο σύστημα.

Συμπερασματικά, με την ολοκλήρωση της αξιολόγησης των τριών λογισμικών, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το λογισμικό HOMER, φαίνεται να είναι πιο αξιόπιστο και καλύτερα δομημένο σε σχέση με τα άλλα δύο προγράμματα· συνεπώς προτείνεται η περαιτέρω εμβάθυνση σε αυτό για τους παρακάτω λόγους:

- Φιλικό περιβάλλον λειτουργίας για το χρήστη
- Εξαιρετικά σύντομοι χρόνοι εξομοίωσης και βελτιστοποίησης των υπό μελέτη συνδυασμών
- Λεπτομερειακή σύνθεση δεδομένων εισόδου από το χρήστη (κόστη, μεγέθη, τεχνικά χαρακτηριστικά)
- Δυνατότητα επιλογής νέων μέσων αποθήκευσης (σφόνδυλος) της παραγόμενης ενέργειας στη νεότερη έκδοση του (HOMER 2 version 2.81)
- Ανάλυση ευαισθησίας πολλαπλών μεταβλητών στον ίδιο χρόνο
- Δυνατότητα αυτόματης σύγκρισης συνδυασμών μεταξύ τους με σκοπό την εύρεση της βέλτιστης λύσης

Βιβλιογραφία

- 1) <http://www.homerenergy.com/>
- 2) Getting Started Guide For HOMER Legacy (Version 2.68)
<http://homerenergy.com/pdf/homergettingstarted268.pdf>
- 3) Lambert T., Gilman P., Lilienthal P. : «*Micropower System Modeling with Homer*». In : Farret F.A., Simoes M.G.: (*Integration of alternative sources of energy* (pp.379-418), 2006». <http://homerenergy.com/documents/MicropowerSystemModelingWithHOMER.pdf>
- 4) <http://support.homerenergy.com/>
- 5) <http://www.unizar.es/rdufo/hoga-eng.htm>
- 6) HOGA User Manual Version 1.96
<http://www.unizar.es/rdufo/HOGA%20User%20Manual%201.96.pdf>
- 7) Design and Control Strategies of PV-Diesel Systems Using Genetic Algorithms - **Rodolfo Dufo-López†, José L. Bernal-Agustín***
http://unizar.academia.edu/RodolfoDufo/Papers/1422585/Design_and_control_strategies_of_PV-Diesel_systems_using_genetic_algorithms
- 8) **Kaldellis K. J., 2004.** *Optimum Technoeconomic Energy Autonomous Photovoltaic Solution for Remote Consumers Throughout Greece*. Energy Conversion and Management; 45 (2004): 27452760.
- 9) Instruction Hybrid (WT_PV)
- 10) J.K. Kaldellis n, D. Zafirakis, K. Kavadias - Minimum cost solution of wind-photovoltaic based stand-alone powersystems for remote consumers
<http://www.scribd.com/doc/94438071/Kaldellis-Zafirakis-Kavadias-2012-Minimum-cost-solution-of-wind%E2%80%93photovoltaic-based-stand-alone-power-systems-for-remote-consumers>
- 11) www.hoppecke.com/
- 12) Σημειώσεις μαθήματος “ΗΠΙΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΙΙ” Τεύχος 1^ο - “Αυτόνομες Υβριδικές Εγκαταστάσεις Ήπιων Μορφών Ενέργειας”
Ι.Κ.Καλδέλλης, Κ.Α. Καβαδδίας
- 13) “RES Hybrid Electrification System –WT-Pv-Dies”- Ευστάθιος Σπήλιος
- 14) Εξομοίωση Υβριδικού Συστήματος με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας- Χασιώτη Γαρυφαλλά <http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/handle/10889/4045>