



**Τ.Ε.Ι. Κρήτης**  
Τμήμα Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος



---

# **ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΣΗΕ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ HOGA**

---

**ΓΙΑΚΟΥΜΟΓΛΟΥ ΒΑΣΙΛΗΣ  
ΜΑΡΑΓΚΑΚΗΣ ΝΤΕΡΡΥ**

*Επιβλέπων Καθηγητής*  
**ΙΩΑΝΝΗΣ ΚΑΤΣΙΓΙΑΝΝΗΣ**

Χανιά  
ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2010



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>2</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ</b>	<b>3</b>
1.1 Εισαγωγή	3
1.2 Είδη ήπιων μορφών ενέργειας	4
1.2.1 Πλεονεκτήματα	5
1.2.2 Μειονεκτήματα	5
1.3 ΣΗΕ (σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας)	6
1.4 Ανεμογεννήτριες	7
1.4.1 Βασικές έννοιες	10
1.5 Φωτοβολταϊκά	10
1.6 Υδροηλεκτρικά	15
1.7 Κυψέλες καυσίμου	16
1.7.1 Εφαρμογές	19
1.8 Μετατροπείς	20
1.9 Γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος	20
1.10 Συσσωρευτές	21
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΗΟGA</b>	<b>23</b>
2.1 Εισαγωγή	23
2.1.1 Γενετικοί Αλγόριθμοι	25
2.2 Στρατηγικές ελέγχου	28
2.2.1 Βελτιστοποίηση των συστατικών και της στρατηγικής	28
2.3 Φορτίο	35
2.4 Πηγές	38
2.4.1 Ηλιακή ακτινοβολία	38
2.4.2 Άνεμος	40
2.4.3 Υδρολογικό Δυναμικό	42
2.5 Συστατικά	43
2.5.1 Φ/Β Πανέλα	43
2.5.2 Ανεμογεννήτριες	45

2.5.3 Υδροστρόβιλος	46
2.5.4 Συσσωρευτές	47
2.5.5 Αντιστροφέας	50
2.5.6 Γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος	51
2.5.7 Κυψέλες καυσίμου – Μονάδα ηλεκτρόλυσης	52
2.5.7.1 Κυψέλες καυσίμου	53
2.5.7.2 Μονάδα ηλεκτρόλυσης	54
2.5.7.3 Δεξαμενή αποθήκευσης H <sub>2</sub>	55
2.5.8 Υπόλοιπα εξαρτήματα	56

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΜΙΑΣ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΟΛΥΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ**

**58**

3.1 Εισαγωγή	58
3.1.1 Σενάρια	58
3.2 Ανάλυση σεναρίου 1	60
3.3 Ανάλυση σεναρίου 2	65
3.4 Ανάλυση σεναρίου 3	79
3.5 Ανάλυση σεναρίου 4	86
3.6 Ανάλυση σεναρίου 5	88

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 :ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

**91**

### **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

**92**

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τις τελευταίες τρεις δεκαετίες ολόκληρη η ανθρωπότητα δοκιμάζεται από τις συνέπειες των σαρωτικών αλλαγών που παρατηρούνται στο κλιματολογικό τοπίο του πλανήτη. Ταυτόχρονα, οι κυβερνήσεις του κόσμου εκδηλώνουν όλο και πιο έντονα το ενδιαφέρον τους για τη μείωση της εξάρτησής τους από τις συμβατικές πηγές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπως είναι το πετρέλαιο. Τα γεγονότα αυτά καθιστούν πολύ πιο επιτακτική την εξεύρεση εναλλακτικών πηγών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίες θα είναι φιλικές προς το περιβάλλον. Μία αξιόπιστη απάντηση στην αναζήτηση αυτή φαίνεται να είναι οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), οι οποίες το τελευταίο διάστημα κερδίζουν συνεχώς έδαφος. Σχετικά με τη χρησιμοποίηση των ΑΠΕ ανακύπτει το ερώτημα του πόσο καλά θα μπορέσουν να αντικαταστήσουν τις συμβατικές πηγές ενέργειας, καθώς και του πόσο αποδοτική οικονομικά είναι η χρησιμοποίηση των ΑΠΕ.

Η παρούσα εργασία διαπραγματεύεται τη χρήση του λογισμικού HOGA το οποίο είναι ένα πρόγραμμα προσομοίωσης και βελτιστοποίησης για τα υβριδικά ανανεώσιμα συστήματα για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας . Επίσης, το πρόγραμμα επιτρέπει την βελτιστοποίηση πολλαπλών στόχων, όπου επιπλέον μεταβλητές μπορούν να ελαχιστοποιηθούν όπως οι εκπομπές CO<sub>2</sub> και η αδυναμία κάλυψης φορτίου. Το HOGA χρησιμοποιεί τους γενετικούς αλγόριθμους για τη βελτιστοποίηση και για τα τμήματα συστημάτων (κύριους γενετικούς αλγόριθμους), και για τη στρατηγική ελέγχου (δευτεροβάθμιος γενετικός αλγόριθμος). Οι γενετικοί αλγόριθμοι μπορούν να παραγάγουν τις επαρκείς λύσεις όταν εφαρμόζονται σε ιδιαίτερα σύνθετα προβλήματα, με τους πολύ σύντομους χρόνους υπολογισμού.

## **ABSTRACT**

During the last three decades, the humanity is being tested from the dramatic changes that took place in the planet environment. As a result, the governments of the world show an increasing interest on being independent from the traditional power sources, such as petrol. These facts make much more imperative the need for establishing alternative sources of power production, which should be environmental friendly. A reliable answer to this search seems to be the renewable energy sources (RES), which seem to be gaining ground recently. Regarding the use of RES, the question arises as to what extent they are able to replace the traditional power sources and how profitable would be their use.

This work negotiates the use of HOGA software, which is a program of simulation and optimization for hybrid power systems that can contain renewable power technologies. The program allows the optimization of multiple objectives, where additional variables can be minimized, such as CO<sub>2</sub> emissions and unmet load. HOGA uses genetic algorithms to optimize the system components (main genetic algorithms), as well as the control strategy (secondary genetic algorithm). Genetic algorithms can produce adequate solutions when applied to highly complex problems with very short calculation time.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

### 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ήπιες μορφές ενέργειας ή "ανανεώσιμες πηγές ενέργειας" (ΑΠΕ) ή "νέες πηγές ενέργειας" είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχεται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού και άλλες. Ο όρος "ήπιες" αναφέρεται σε δυο βασικά χαρακτηριστικά τους. Καταρχήν, για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη, άντληση, καύση, όπως με τις μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας, αλλά απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση. Δεύτερον, πρόκειται για "καθαρές" μορφές ενέργειας, πολύ φιλικές στο περιβάλλον, που δεν αποδεδεσμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα όπως οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα.

Ως "ανανεώσιμες πηγές" θεωρούνται γενικά οι εναλλακτικές των παραδοσιακών πηγών ενέργειας (π.χ. του πετρελαίου ή του άνθρακα), όπως η ηλιακή και η αιολική. Ο χαρακτηρισμός "ανανεώσιμες" είναι κάπως καταχρηστικός, μιας και ορισμένες από αυτές τις πηγές, όπως η γεωθερμική ενέργεια δεν ανανεώνονται σε κλίμακα χιλιετιών.

Οι ήπιες μορφές ενέργειας βασίζονται στην ουσία στην ηλιακή ακτινοβολία, με εξαίρεση τη γεωθερμική ενέργεια, η οποία είναι ροή ενέργειας από το εσωτερικό του φλοιού της γης, και την ενέργεια απ' τις παλίρροιες που εκμεταλλεύεται τη βαρύτητα. Οι βασιζόμενες στην ηλιακή ακτινοβολία ήπιες πηγές ενέργειας είναι ανανεώσιμες, μιας και δεν πρόκειται να εξαντληθούν όσο υπάρχει ο ήλιος. Ουσιαστικά είναι ηλιακή ενέργεια "συσκευασμένη" κατά τον ένα ή τον άλλο τρόπο: η βιομάζα είναι ηλιακή ενέργεια δεσμευμένη στους ιστούς των φυτών μέσω της φωτοσύνθεσης, η αιολική εκμεταλλεύεται τους ανέμους που προκαλούνται απ' τη θέρμανση του αέρα ενώ αυτές που βασίζονται στο νερό εκμεταλλεύονται τον κύκλο εξάτμισης-συμπύκνωσης του νερού και την κυκλοφορία του. Η γεωθερμική ενέργεια δεν είναι ανανεώσιμη, καθώς τα γεωθερμικά πεδία κάποια στιγμή εξαντλούνται.

Οι ήπιες μορφές ενέργειας χρησιμοποιούνται είτε άμεσα (κυρίως για θέρμανση) είτε μετατρεπόμενες σε άλλες μορφές ενέργειας (κυρίως ηλεκτρισμό ή μηχανική ενέργεια). Υπολογίζεται ότι το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο ενεργειακό δυναμικό απ' τις

ήπιες μορφές ενέργειας είναι πολλαπλάσιο της παγκόσμιας συνολικής κατανάλωσης ενέργειας.

Το ενδιαφέρον για τις ήπιες μορφές ενέργειας ανακινήθηκε τη δεκαετία του 1970, ως αποτέλεσμα κυρίως των απανωτών πετρελαϊκών κρίσεων της εποχής, αλλά και της αλλοίωσης του περιβάλλοντος και της ποιότητας ζωής από τη χρήση κλασικών πηγών ενέργειας. Ιδιαίτερα ακριβές στην αρχή, ξεκίνησαν σαν πειραματικές εφαρμογές. Σήμερα όμως λαμβάνονται υπόψη στους επίσημους σχεδιασμούς των ανεπτυγμένων κρατών για την ενέργεια και, αν και αποτελούν πολύ μικρό ποσοστό της ενεργειακής παραγωγής, ετοιμάζονται βήματα για την παραπέρα αξιοποίησή τους. Το κόστος δε των εφαρμογών ήπιων μορφών ενέργειας πέφτει συνέχεια τα τελευταία είκοσι χρόνια και ειδικά η αιολική και υδροηλεκτρική ενέργεια, αλλά και η βιομάζα, μπορούν πλέον να ανταγωνίζονται παραδοσιακές πηγές ενέργειας όπως ο άνθρακας και η πυρηνική ενέργεια. Ενδεικτικά, στις Η.Π.Α. ένα 6% της ενέργειας προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές, ενώ στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 2010 το 25% της ενέργειας θα προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές (κυρίως υδροηλεκτρικά και βιομάζα).

## 1.2 Είδη ήπιων μορφών ενέργειας:

- **Αιολική ενέργεια:** Χρησιμοποιήθηκε παλιότερα για την άντληση νερού από πηγάδια καθώς και για μηχανικές εφαρμογές (π.χ. την άλεση στους ανεμόμυλους). Έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται για ηλεκτροπαραγωγή.
- **Ηλιακή ενέργεια:** Χρησιμοποιείται περισσότερο για θερμικές εφαρμογές (ηλιακοί θερμοσίφωνες και φούρνοι) ενώ η χρήση της για την παραγωγή ηλεκτρισμού έχει αρχίσει να κερδίζει έδαφος, με την βοήθεια της πολιτικής προώθησης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας από το ελληνικό κράτος και την Ευρωπαϊκή Ένωση.
- **Υδατοπτώσεις:** Είναι τα γνωστά υδροηλεκτρικά έργα, που στο πεδίο των ήπιων μορφών ενέργειας εξειδικεύονται περισσότερο στα μικρά υδροηλεκτρικά. Είναι η πιο διαδεδομένη μορφή ανανεώσιμης ενέργειας.
- **Βιομάζα:** Χρησιμοποιεί τους υδατάνθρακες των φυτών (κυρίως αποβλήτων της βιομηχανίας ξύλου, τροφίμων και ζωοτροφών και της βιομηχανίας ζάχαρης) με σκοπό την αποδέσμευση της ενέργειας που δεσμεύτηκε απ' το φυτό με τη φωτοσύνθεση. Ακόμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν αστικά απόβλητα και απορρίμματα. Μπορεί να δώσει βιοαιθανόλη και βιοαέριο, που είναι καύσιμα πιο φιλικά προς το περιβάλλον από τα παραδοσιακά.
- **Γεωθερμική ενέργεια:** Προέρχεται από τη θερμότητα που παράγεται απ' τη ραδιενεργό αποσύνθεση των πετρωμάτων της γης. Είναι εκμεταλλεύσιμη εκεί όπου η θερμότητα αυτή ανεβαίνει με φυσικό τρόπο στην επιφάνεια, π.χ. στους θερμοπίδακες ή στις πηγές ζεστού νερού. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε απευθείας για θερμικές εφαρμογές είτε για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Η Ισλανδία καλύπτει το 80-90% των



ενεργειακών της αναγκών, όσον αφορά τη θέρμανση, και το 20%, όσον αφορά τον ηλεκτρισμό, με γεωθερμική ενέργεια.

- **Ενέργεια από παλίρροιες:** Εκμεταλλεύεται τη βαρύτητα του Ήλιου και της Σελήνης, που προκαλεί ανύψωση της στάθμης του νερού. Το νερό αποθηκεύεται καθώς ανεβαίνει και για να ξανακατέβει αναγκάζεται να περάσει μέσα από μια τουρμπίνα, παράγοντας ηλεκτρισμό. Έχει εφαρμοστεί στην Αγγλία, τη Γαλλία, τη Ρωσία και αλλού.
- **Ενέργεια από κύματα:** Εκμεταλλεύεται την κινητική ενέργεια των κυμάτων της θάλασσας.

### 1.2.1 Πλεονεκτήματα:

- Είναι πολύ φιλικές προς το περιβάλλον, έχοντας ουσιαστικά μηδενικά κατάλοιπα και απόβλητα.
- Δεν πρόκειται να εξαντληθούν ποτέ, σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα.
- Μπορούν να βοηθήσουν την ενεργειακή αυτάρκεια μικρών και αναπτυσσόμενων χωρών, καθώς και να αποτελέσουν την εναλλακτική πρόταση σε σχέση με την οικονομία του πετρελαίου.
- Είναι ευέλικτες εφαρμογές που μπορούν να παράγουν ενέργεια ανάλογη με τις ανάγκες του επί τόπου πληθυσμού, καταργώντας την ανάγκη για τεράστιες μονάδες παραγωγής ενέργειας (καταρχήν για την ύπαιθρο) αλλά και για μεταφορά της ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις.
- Ο εξοπλισμός είναι απλός στην κατασκευή και τη συντήρηση και έχει μεγάλο χρόνο ζωής.
- Επιδοτούνται από τις περισσότερες κυβερνήσεις.

### 1.2.2 Μειονεκτήματα:

- Έχουν αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης, της τάξης του 30% ή και χαμηλότερο. Συνεπώς απαιτείται αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια γης. Γι' αυτό το λόγο μέχρι τώρα χρησιμοποιούνται σαν συμπληρωματικές πηγές ενέργειας.
- Για τον παραπάνω λόγο προς το παρόν δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών μεγάλων αστικών κέντρων.
- Η παροχή και απόδοση της αιολικής, υδροηλεκτρικής και ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από την εποχή του έτους αλλά και από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής στην οποία εγκαθίστανται.
- Για τις αιολικές μηχανές υπάρχει η άποψη ότι δεν είναι κομψές από αισθητική άποψη κι ότι προκαλούν θόρυβο και θανάτους πουλιών. Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας τους και την προσεκτικότερη επιλογή χώρων εγκατάστασης (π.χ. σε πλατφόρμες στην ανοιχτή θάλασσα) αυτά τα προβλήματα έχουν σχεδόν λυθεί.

- Για τα υδροηλεκτρικά έργα λέγεται ότι προκαλούν έκλυση μεθανίου από την αποσύνθεση των φυτών που βρίσκονται κάτω απ' το νερό κι έτσι συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

### 1.3 ΣΗΕ (σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας)

Ως σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΗΕ) ορίζεται το σύνολο των εγκαταστάσεων και των μέσων που χρησιμοποιούνται με σκοπό την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στις περιοχές κατανάλωσης, τις οποίες εξυπηρετεί το ΣΗΕ. Ένα ΣΗΕ χρειάζεται να ικανοποιεί τις ακόλουθες απαιτήσεις :

1. Παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε όλες τις περιοχές κατανάλωσης που εξυπηρετούνται από αυτό.
2. Ικανοποίηση της διαρκώς μεταβαλλόμενης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας.
3. Παροχή ποιοτικής ηλεκτρικής ενέργειας έτσι ώστε να διασφαλίζεται σταθερή συχνότητα, σταθερή τάση και υψηλή αξιοπιστία τροφοδότησης.
4. Παροχή ηλεκτρικής ενέργειας με το ελάχιστο δυνατό οικονομικό κόστος και τις ελάχιστες επιπτώσεις στο περιβάλλον.

Ένα ΣΗΕ αποτελείται από τα ακόλουθα τέσσερα κύρια μέρη:

1. Το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που μετατρέπει μια μορφή πρωτογενούς ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται από συμβατικές μονάδες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ).
2. Το σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας που μεταφέρει την ισχύ από τις μονάδες παραγωγής προς τα σημεία που γίνεται η κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας. Η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται με υψηλή τάση, επειδή έχει σαν αποτέλεσμα μικρότερες ηλεκτρικές απώλειες και κατά συνέπεια οικονομικότερη λειτουργία. Από το σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας τροφοδοτούνται απευθείας οι καταναλωτές υψηλής τάσης.
3. Το σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας που είναι υπεύθυνο για την διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές μέσης και χαμηλής τάσης.
4. Τα φορτία που αποτελούν τις συνολικές απαιτήσεις σε ισχύ των καταναλωτών που είναι συνδεδεμένοι στο ΣΗΕ, και εκφράζονται σε kW ή MW. Η μεταβαλλόμενη ζήτηση ισχύος από τους καταναλωτές συναρτήσει του χρόνου , μπορεί να αναπαρασταθεί γραφικά μέσω τις καμπύλης φορτίου. Η μέγιστη τιμή του φορτίου στη διάρκεια μιας δεδομένου χρονικής περιόδου ονομάζεται αιχμή φορτίου της περιόδου αυτής.

Τα ΣΗΕ διαχωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες : 1) τα διασυνδεδεμένα ΣΗΕ, και 2) τα απομονωμένα ΣΗΕ. Στα διασυνδεδεμένα ΣΗΕ, μεγάλες κεντρικές μονάδες παραγωγής εξυπηρετούν ένα ευρύ γεωγραφικό και ποσοτικό φάσμα ηλεκτρικών φορτίων. Αντίθετα, τα απομονωμένα ΣΗΕ βρίσκονται εγκατεστημένα σε απομονωμένες γεωγραφικά περιοχές, οι οποίες δεν έχουν την δυνατότητα διασύνδεσης με ένα ευρύτερο σύνολο συστημάτων.

## 1.4 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

Οι μηχανές που μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου (αιολική ενέργεια) σε ηλεκτρική ενέργεια λέγονται ανεμογεννήτριες ή ανεμοηλεκτρικές γεννήτριες. Η ισχύ που αποδίδει, κατ' επέκταση και η ενέργεια που παράγει, μια ανεμογεννήτρια είναι συνάρτηση του κύβου της ταχύτητας του ανέμου, της πυκνότητας του ανέμου και των τεχνικών χαρακτηριστικών του συγκροτήματος.

$$P_{WTh} = \frac{(1/2) \cdot C_p \cdot \rho_{air} \cdot A \cdot V_{air}^3}{1000} .$$

όπου  $C_p$  είναι ο συντελεστής ισχύος της ανεμογεννήτριας, που περιγράφει το κλάσμα της ισχύος αέριας δέσμης  $\rho_{air}$ (Kg/m<sup>3</sup>) που θα μετατραπεί σε μηχανικό έργο από τη ανεμογεννήτρια,  $A$  (m<sup>2</sup>) είναι το εμβαδό της εγκάρσιας διατομής της ανεμογεννήτριας και  $V_{air}$  (m/s) είναι η ταχύτητα του ανέμου.

Η ταχύτητα του ανέμου αυξάνει με το ύψος και γι' αυτό οι ανεμογεννήτριες τοποθετούνται πάντα στην κορυφή υψηλών πύργων στήριξης. Παρ' όλα αυτά οι θεωρητικοί υπολογισμοί δείχνουν ότι για την παραγωγή ωφέλιμου έργου μπορεί να αξιοποιηθεί μόνο το 53,9% της συνολικής ενέργειας του ανέμου που καλείται και όριο του **Betz** .

Η ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα με πτερύγια ανταποκρίνεται στις μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου με αυτόματη αλλαγή της κλίσης των πτερυγίων. Ο άξονας της παραλληλίζεται αυτόματα προς τη διεύθυνση του ανέμου έτσι ώστε ο άνεμος να προσβάλλει κάθετα την επιφάνεια που διαγράφουν τα πτερύγια. Μ' αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται τελικά η βέλτιστη παραγωγή ενέργειας από το άνεμο με συντελεστή μέχρι 46 έως 48% και εξασφαλίζονται ικανοποιητικά όρια στα χαρακτηριστικά της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Η μηχανική ισχύς που αναπτύσσεται στον άξονα των πτερυγίων από τον άνεμο μεταδίδεται στην ηλεκτρική γεννήτρια με τις κατάλληλες στροφές. Η γεννήτρια, που μπορεί να είναι σύγχρονη ή ασύγχρονη, παράγει την ηλεκτρική ενέργεια και τροφοδοτεί την κατανάλωση.

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι χρονικά ασυνεχής, επειδή ακολουθεί τη ταχύτητα του ανέμου, ενώ η ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από τις ώρες της ημέρας, την εποχή, την οικονομική και κοινωνική δομή των καταναλωτών, κτλ. Το αποτέλεσμα είναι στις ανεμογεννήτριες να παρουσιάζονται σημαντικές ταλαντώσεις ισχύος ακόμη και σε μικρά χρονικά διαστήματα, ενώ όταν επικρατεί άπνοια ή πολύ ισχυρός άνεμος παύει η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Για τον σχεδιασμό ενός αυτόνομου αιολικού ηλεκτρικού συστήματος θα πρέπει να προβλεφθεί αποθήκευση. Ο συνηθέστερος τρόπος είναι η εγκατάσταση συσσωρευτών, αλλά στο μέλλον ίσως χρησιμοποιηθούν και άλλοι μέθοδοι, όπως υδροδυναμική εκμετάλλευση, πεπιεσμένου αέρα, παραγωγή υδρογόνου, κλπ.

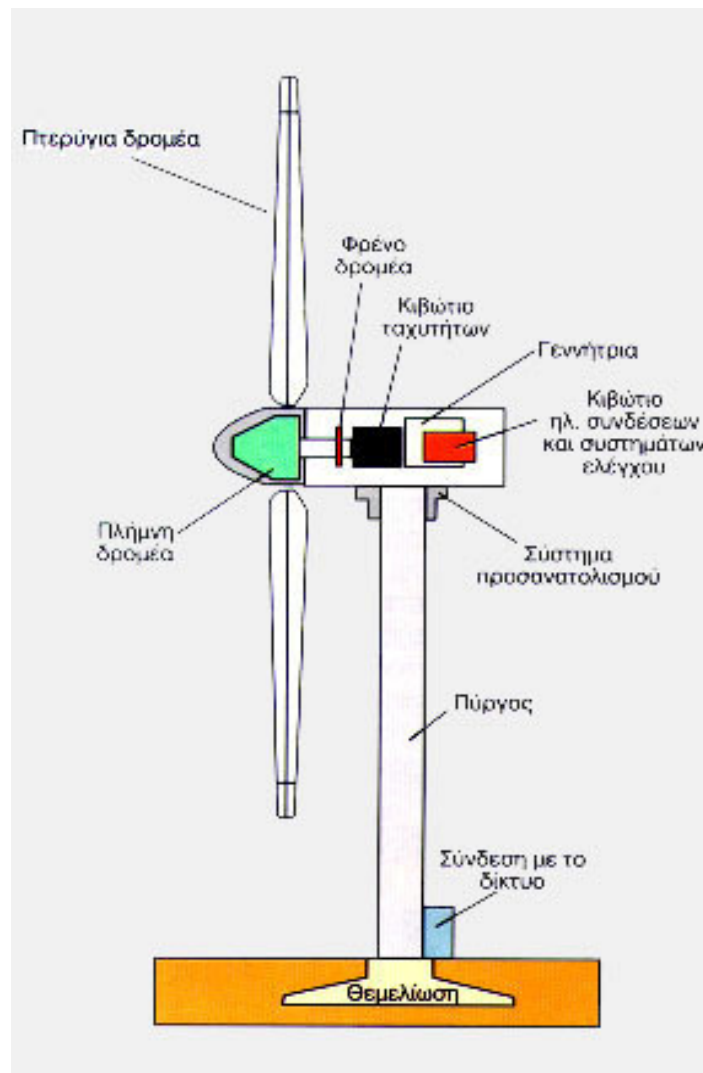
#### **Οι ανεμογεννήτριες κατατάσσονται σε δύο βασικές κατηγορίες :**

- Οριζοντίου άξονα, των οποίων ο δρομέας είναι τύπου έλικα και βρίσκεται συνεχώς παράλληλος με την κατεύθυνση του ανέμου και του εδάφους
- Κατακόρυφου άξονα, ο οποίος παραμένει σταθερός και είναι κάθετος προς την επιφάνεια του εδάφους

Οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου παρουσιάζουν τα περισσότερα πλεονεκτήματα και έχουν κυριαρχήσει στην πράξη. Μια τυπική ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα αποτελείται από τα εξής μέρη :

- Το δρομέα, που αποτελείται από δύο ή τρία πτερύγια από ενισχυμένο πολυεστέρα . Τα πτερύγια προσδένονται πάνω σε μια πλήμνη είτε σταθερά , είτε με τη δυνατότητα να περιστρέφονται γύρω από το διαμήκη άξονά τους μεταβάλλοντας το βήμα.
- Το σύστημα μετάδοσης της κίνησης, αποτελούμενο από τον κύριο άξονα, τα έδρανά του και το κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών , το οποίο προσαρμόζει την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα στη σύγχρονη ταχύτητα της ηλεκτρογεννήτριας. Η ταχύτητα περιστροφής παραμένει σταθερή κατά την κανονική λειτουργία της μηχανής.
- Την ηλεκτρική γεννήτρια, σύγχρονη ή επαγωγική με 4 ή 6 πόλους η οποία συνδέεται με την έξοδο του πολλαπλασιαστή μέσω ενός ελαστικού ή υδραυλικού συνδέσμου και μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική και βρίσκεται συνήθως πάνω στον πύργο της ανεμογεννήτριας. Υπάρχει και το σύστημα πέδης το οποίο είναι ένα συνηθισμένο δισκόφρενο που τοποθετείται στον κύριο άξονα ή στον άξονα της γεννήτριας.
- Το σύστημα προσανατολισμού, αναγκάζει συνεχώς τον άξονα περιστροφής του δρομέα να βρίσκεται παράλληλα με τη διεύθυνση του ανέμου.

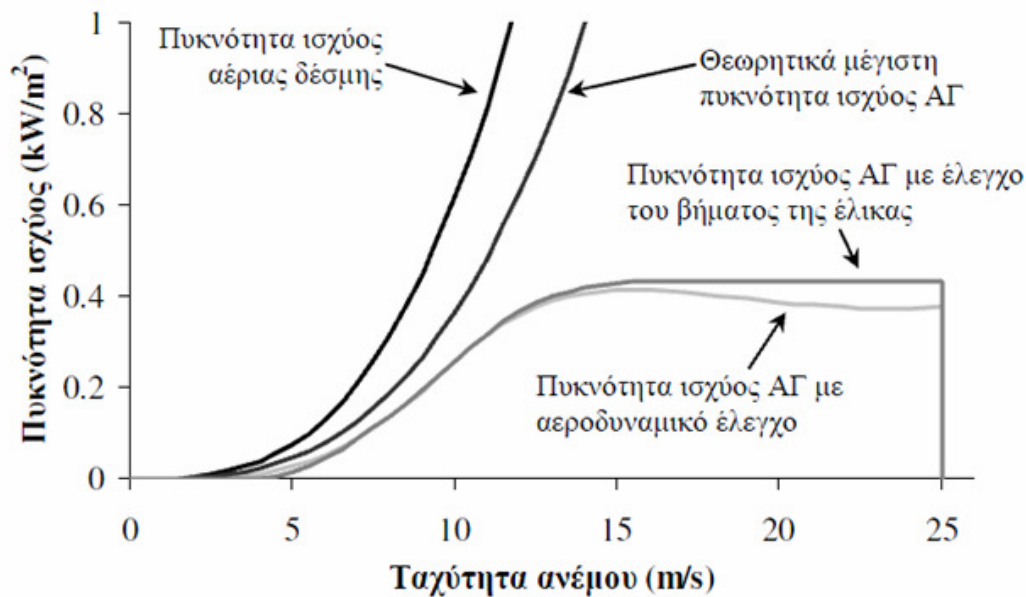
- Τον πύργο, ο οποίος στηρίζει όλη την παραπάνω ηλεκτρομηχανολογική εγκατάσταση. Ο πύργος είναι συνήθως σωληνωτός ή δικτυωτός και σπανίως από οπλισμένο σκυρόδεμα.
- Τον ηλεκτρονικό πίνακα και τον πίνακα ελέγχου, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στη βάση του πύργου. Το σύστημα ελέγχου παρακολουθεί, συντονίζει και ελέγχει όλες τις λειτουργίες της ανεμογεννήτριας, φροντίζοντας για την απρόσκοπτη λειτουργία της.



Σχήμα 1.1: Ανεμογεννήτρια.

### 1.4.1 Βασικές έννοιες:

- **Ταχύτητα έναρξης λειτουργίας ( $v_{in}$ ):** Η ταχύτητα στην οποία αρχίζει η λειτουργία της ανεμογεννήτριας με τυπικές τιμές 2,5 m/sec έως 5 m/sec.
- **Ονομαστική ισχύς (PR):** Η μέγιστη παραγόμενη ισχύς από την ανεμογεννήτρια.
- **Ονομαστική ταχύτητα λειτουργίας ( $v_R$ ):** Η μικρότερη ταχύτητα του ανέμου στην οποία παράγεται η ονομαστική ισχύς της ανεμογεννήτριας.
- **Ταχύτητα διακοπής λειτουργίας ( $v_{out}$ ):** Για πολύ υψηλές ταχύτητες ανέμου επιβάλλεται διακοπή λειτουργίας της ανεμογεννήτριας για λόγους ασφαλείας της εγκατάστασης.
- **Καμπύλη ισχύος:** Η συσχέτιση μεταξύ της ταχύτητας του ανέμου ( $v_{air}$ ) και της πραγματικά παραγόμενης ισχύος ( $P_{wt}$ ) από μια ανεμογεννήτρια δίνεται από την καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας.



Σχήμα 1.2: Σύγκριση πυκνότητας ισχύος αέριας δέσμης και ανεμογεννήτριας.

## 1.5 Φωτοβολταϊκά

Με τον γενικό όρο *φωτοβολταϊκά* χαρακτηρίζονται οι βιομηχανικές διατάξεις μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική και η λειτουργία τους βασίζεται στο

φωτοβολταϊκό (Φ/Β) φαινόμενο. Το **Φ/Β φαινόμενο** ανακαλύφθηκε το 1839 από τον Μπεκερέλ (Becquerel). Περιληπτικά πρόκειται για την απορρόφηση της ενέργειας του φωτός από τα ηλεκτρόνια των ατόμων του **Φ/Β στοιχείου**(θεμελιώδης μονάδα μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική) και την απόδραση των ηλεκτρονίων αυτών από τις κανονικές τους θέσεις με αποτέλεσμα την δημιουργία ρεύματος. Το ηλεκτρικό πεδίο που προϋπάρχει στο Φ/Β στοιχείο οδηγεί το ρεύμα στο φορτίο. Τα Φ/Β στοιχεία ομαδοποιούνται κατάλληλα και συγκροτούν τα **φωτοβολταϊκά πλαίσια** ή γεννήτριες (module), τυπικής ισχύος από 20W έως 300W. Οι Φ/Β γεννήτριες συνδέονται ηλεκτρολογικά μεταξύ τους και δημιουργούνται οι **φωτοβολταϊκές συστοιχίες** (arrays).

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία χωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες

#### 1. Κρυσταλλικού Πυριτίου

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

#### 2. Λεπτών Μεμβρανών

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

Το πυρίτιο (Si) είναι η βάση για το 90% περίπου της παγκόσμιας παραγωγής Φ/Β. Η κυριαρχία αυτή οφείλεται αρχικά στην τεράστια παγκόσμια επιστημονική και τεχνική υποδομή για το υλικό αυτό από τη δεκαετία του '60. Η γνώση που προέκυψε έτσι για το πυρίτιο, τα χαρακτηριστικά του και η αφθονία του στη γη, το κατέστησαν ικανό και συμφέρον μέσο για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας. Εντούτοις, λόγω του ότι είναι εύθραυστο, το πυρίτιο απαιτεί τον σχηματισμό στοιχείων σχετικά μεγάλου πάχους. Αυτό σημαίνει ότι μερικά από τα ηλεκτρόνια που απελευθερώνονται μετά την απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας πρέπει να ταξιδέψουν μεγάλες αποστάσεις για να ενταχθούν στην ροή του ρεύματος και να συνεισφέρουν στο ηλεκτρικό κύκλωμα. Συνεπώς, το υλικό θα πρέπει να έχει υψηλή καθαρότητα και δομική τελειότητα, ώστε να αποτρέψει την επιστροφή των ηλεκτρονίων στις φυσικές τους θέσεις. Οι ατέλειες πρέπει να αποφευχθούν ώστε η ενέργεια του ηλεκτρονίου να μην μετατραπεί σε θερμότητα. Η παραγωγή θερμότητας, η οποία είναι επιθυμητή στα ηλιακά θερμικά πλαίσια, όπου αυτή η θερμότητα μεταφέρεται σε ένα ρευστό, είναι ανεπιθύμητη στα Φ/Β πλαίσια, όπου η ηλιακή ενέργεια θα πρέπει να μετατραπεί σε ηλεκτρική.

Ένα τυπικό Φ/Β σύστημα συνδεδεμένο στο δίκτυο αποτελείται από τα εξής επιμέρους υποσυστήματα :

- Φωτοβολταϊκά πλαίσια (γεννήτρια ή πάνελ)
- Κατασκευή στήριξης
- Συστήματα μετατροπής ισχύος
- Ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου, προστασίας & λοιπά στοιχεία



### **Φωτοβολταϊκά πλαίσια:**

Τα Φ/Β πλαίσια αποτελούνται από (συνήθως 30 έως 36) ερμητικά σφραγισμένα Φ/Β στοιχεία μέσα σε ειδική διαφανή πλαστική ύλη, των οποίων η μπροστινή όψη προστατεύεται (συνήθως) από ανθεκτικό γυαλί χαμηλής περιεκτικότητας σε οξείδιο του σιδήρου. Η κατασκευή αυτή, που δεν ξεπερνά σε πάχος τα 4 με 5 χιλιοστά, τοποθετείται συνήθως σε πλαίσιο αλουμινίου, όπως τα τζάμια των κτιρίων. Τα στοιχεία εσωτερικά είναι διασυνδεδεμένα σε σειρά ή παράλληλα ανάλογα με την εφαρμογή.

### **Κατασκευή στήριξης**

Τα Φ/Β πλαίσια προκειμένου να τοποθετηθούν/προσαρμοστούν στο σημείο εγκατάστασής τους εφοδιάζονται με ειδικές κατασκευές. Οι κατασκευές αυτές στήριξης πρέπει να πληρούν συγκεκριμένα κριτήρια, όπως αντοχή στα φορτία που προέρχονται από το βάρος των πλαισίων και τους τοπικούς ανέμους, να μη προκαλούν σκιασμό στα πλαίσια, να επιτρέπουν την προσέγγιση στα πλαίσια, αλλά ταυτόχρονα να διασφαλίζουν την ασφάλειά τους. Σε εφαρμογές όπου τα Φ/Β πλαίσια ενσωματώνονται σε κτιριακές δομές, τότε απαιτείται καλή συναρμογή με τα δομικά στοιχεία.

### **Συστήματα μετατροπής ισχύος**

Τα Φ/Β πλαίσια παράγουν συνεχές ρεύμα ενώ τα φορτία καταναλώνουν συνήθως εναλλασσόμενο ρεύμα. Για την μετατροπή της ισχύος στα Φ/Β συστήματα χρησιμοποιούνται συνήθως αντιστροφείς (inverters) συνεχούς σε εναλλασσόμενο (DC/AC). Σκοπός των συστημάτων μετατροπής ισχύος είναι η κατάλληλη ρύθμιση των χαρακτηριστικών του παραγόμενου ρεύματος, ώστε να καταστεί δυνατή η τροφοδοσία των διαφόρων καταναλώσεων.

Τα σημαντικότερα κριτήρια για την επιλογή του αντιστροφέα είναι :

- Η αξιοπιστία



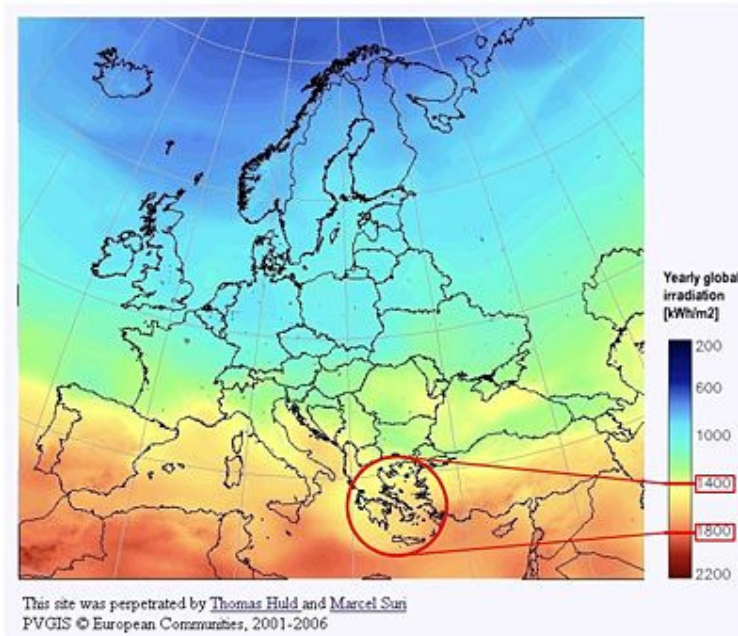
- Η ενεργειακή απόδοση
- Οι αρμονικές παραμορφώσεις
- Το κόστος
- Η συμβατότητα με τις τεχνικές απαιτήσεις της ΔΕΗ

### **Ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου, προστασίας & λοιπά στοιχεία**

Το Φ/Β σύστημα συμπληρώνουν οι ηλεκτρονικές διατάξεις ελέγχου, η γείωση, οι καλωδιώσεις (συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος) και σχετικό ηλεκτρολογικό υλικό, οι διατάξεις ασφαλείας, ο μετρητής ηλεκτρικής ενέργειας και σύστημα παρακολούθησης της λειτουργίας του Φ/Β συστήματος (κατ' επιλογή, αλλά προτεινόμενο).

Σημειώνεται ότι η ΔΕΗ απαιτεί την ύπαρξη προστασίας απόζευξης του σταθμού μέσω διατάξεων του αντιστροφέα ή με άλλο τρόπο, ώστε ο σταθμός να αποσυνδέεται τόσο σε περίπτωση έλλειψης τάσης από το δίκτυο της ΔΕΗ, (προς αποφυγή του φαινομένου της νησιοδότησης) όσο και στην περίπτωση που η τάση και η συχνότητα αποκλίνουν των συνισταμένων ορίων.

Ο *βαθμός απόδοσης* εκφράζει το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια στο φωτοβολταϊκό στοιχείο. Στην σημερινή εποχή ο τυπικός βαθμός απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου βρίσκεται στο 13 - 15%, ο οποίος, συγκρινόμενος με την απόδοση άλλου συστήματος (συμβατικού, αιολικού, υδροηλεκτρικού κλπ.), παραμένει ακόμη αρκετά χαμηλός. Αυτό σημαίνει ότι το φωτοβολταϊκό σύστημα καταλαμβάνει μεγάλη επιφάνεια προκειμένου να αποδώσει την επιθυμητή ηλεκτρική ισχύ. Ωστόσο, η απόδοση ενός δεδομένου συστήματος μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά με την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών σε ηλιοστάτη. Οι προϋποθέσεις αξιοποίησης των Φ/Β συστημάτων στην Ελλάδα είναι από τις καλύτερες στην Ευρώπη, αφού η συνολική ενέργεια που δέχεται κάθε τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας στην διάρκεια ενός έτους κυμαίνεται από 1400-1800 kWh/m<sup>2</sup>.



Σχήμα 1.3: Ηλιακή ενέργεια ανά m<sup>2</sup> επιφάνειας.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- Τεχνολογία φιλική στο περιβάλλον: δεν προκαλούνται ρύποι από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Η ηλιακή ενέργεια είναι ανεξάντλητη ενεργειακή πηγή, διατίθεται παντού και δεν στοιχίζει απολύτως τίποτα.
- Με την κατάλληλη γεωγραφική κατανομή, κοντά στους αντίστοιχους καταναλωτές ενέργειας, τα Φ/Β συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν χωρίς να απαιτείται ενίσχυση του δικτύου διανομής.
- Η λειτουργία του συστήματος είναι ολοσχερώς αθόρυβη.
- Έχουν σχεδόν μηδενικές απαιτήσεις συντήρησης.
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής: οι κατασκευαστές εγγυώνται τα «κρύσταλλα» για 20-30 χρόνια λειτουργίας.
- Υπάρχει πάντα η δυνατότητα μελλοντικής επέκτασης, ώστε να ανταποκρίνονται στις αυξανόμενες ανάγκες των χρηστών
- Μπορούν να εγκατασταθούν πάνω σε ήδη υπάρχουσες κατασκευές, όπως είναι π.χ. η στέγη ενός σπιτιού ή η πρόσοψη ενός κτιρίου,
- Διαθέτουν ευελιξία στις εφαρμογές: τα Φ/Β συστήματα λειτουργούν άριστα τόσο ως αυτόνομα συστήματα, όσο και ως αυτόνομα υβριδικά συστήματα όταν συνδυάζονται με άλλες πηγές ενέργειας (συμβατικές ή ανανεώσιμες) και συσσωρευτές για την αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας. Επιπλέον, ένα μεγάλο πλεονέκτημα του Φ/Β συστήματος είναι ότι μπορεί να διασυνδεθεί με το δίκτυο ηλεκτροδότησης (διασυνδεδεμένο σύστημα), καταργώντας με τον

τρόπο αυτό την ανάγκη για εφεδρεία και δίνοντας επιπλέον τη δυνατότητα στον χρήστη να πωλήσει τυχόν πλεονάζουσα ενέργεια στον διαχειριστή του ηλεκτρικού δικτύου, όπως ήδη γίνεται στο Φράιμπουργκ της Γερμανίας.

Ως μειονέκτημα θα μπορούσε να καταλογιστεί κανείς στα φωτοβολταϊκά συστήματα το κόστος τους, το οποίο, παρά τις τεχνολογικές εξελίξεις παραμένει ακόμη αρκετά υψηλό. Μια γενική ενδεικτική τιμή είναι 6000 ευρώ ανά εγκατεστημένο κιλοβάτ (kW) ηλεκτρικής ισχύος. Λαμβάνοντας υπόψη ότι μια τυπική οικιακή κατανάλωση απαιτεί από 1,5 έως 3,5 κιλοβάτ, το κόστος της εγκατάστασης δεν είναι αμελητέο. Το ποσό αυτό, ωστόσο, μπορεί να αποσβεστεί σε περίπου 5-6 χρόνια και το Φ/Β σύστημα θα συνεχίσει να παράγει δωρεάν ενέργεια για τουλάχιστον άλλα 25 χρόνια. Ωστόσο, τα πλεονεκτήματα είναι πολλά, και το ευρύ κοινό έχει αρχίσει να στρέφεται όλο και πιο πολύ στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και στα φωτοβολταϊκά ειδικότερα, για την κάλυψη ή την συμπλήρωση των ενεργειακών του αναγκών.

## 1.6 Υδροηλεκτρικά

Η Υδροηλεκτρική Ενέργεια είναι μια πρακτικά ανεξάντλητη πηγή ενέργειας η οποία στηρίζεται στην εκμετάλλευση της μηχανικής ενέργειας του νερού των ποταμών και της μετατροπής της σε ηλεκτρική ενέργεια με τη βοήθεια στροβίλων και ηλεκτρογεννητριών. Η ενέργεια αυτή διαχέεται στη φύση από δίνες και ρεύματα, καθώς το νερό ρέει κατηφορικά σε ρυάκια, χειμαρρους και ποτάμια μέχρι να φτάσει στη θάλασσα. Όσο μεγαλύτερος είναι ο όγκος του νερού (**παροχή**) και όσο ψηλότερα βρίσκεται (**ύψος υδατόπτωσης**), τόσο περισσότερη είναι η ενέργεια που παρέχει. Επιπλέον οι υδατοπτώσεις είναι δυνατόν να χρησιμοποιούνται και για άλλες ανάγκες: ύδρευση, άρδευση, ανάσχεση χειμάρρων, διαχείριση υδάτων, συντήρηση υδροβιότοπων, αναψυχή, αθλητισμό.

Το σύνολο των έργων και εξοπλισμού μέσω των οποίων μετατρέπεται η υδραυλική ενέργεια σε μηχανική και στη συνέχεια σε ηλεκτρική, ονομάζεται Υδροηλεκτρικό έργο (ΥΗΕ). Τα Μικρής κλίμακας Υδροηλεκτρικά έργα (ΜΥΗΕ) είναι κυρίως "συνεχούς ροής", δηλαδή δεν περιλαμβάνουν σημαντική περισυλλογή νερού και επομένως δεν απαιτείται η κατασκευή μεγάλων φραγμάτων και ταμιευτήρων, αν και όπου αυτά υπάρχουν ήδη και μπορούν να χρησιμοποιηθούν εύκολα είναι επιβοηθητικά. Εξ' ορισμού δηλαδή ένας μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός αποτελεί ένα έργο απόλυτα συμβατό με το περιβάλλον, καθώς το σύνολο των επιμέρους

παρεμβάσεων του έργου μπορεί να ενταχθεί αισθητικά και λειτουργικά στα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος, αξιοποιώντας τους τοπικούς πόρους.



Σχήμα 1.4:Υδροηλεκτρικό σύστημα.

Τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα:

- Δυνατότητα άμεσης σύνδεσης – απόζευξης στο δίκτυο, ή η αυτόνομη λειτουργία τους.
- Η αξιοπιστία τους
- Η παραγωγή ενέργειας αρίστης ποιότητας χωρίς διακυμάνσεις
- Η άριστη διαχρονική συμπεριφορά τους
- Η μεγάλη διάρκεια ζωής
- Ο προβλέψιμος χρόνος απόσβεσης των αναγκαίων επενδύσεων που οφείλεται στο πολύ χαμηλό κόστος συντήρησης και λειτουργίας και στην ανυπαρξία κόστους πρώτης ύλης
- Η φιλικότητα προς το περιβάλλον με τις μηδενικές εκπομπές ρύπων και τις περιορισμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις
- Η ταυτόχρονη ικανοποίηση και άλλων αναγκών χρήσης νερού (ύδρευσης, άρδευσης κλπ)
- Η δυνατότητα παρεμβολής τους σε υπάρχουσες υδραυλικές εγκαταστάσεις, κ.α.

## 1.7 Κυψέλες καυσίμου

Οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να χαρακτηριστούν σαν κέντρα ενός συστήματος το οποίο χρησιμοποιεί το υδρογόνο ως καύσιμο. Είναι αυτές οι οποίες αναλαμβάνουν τη μετατροπή του καυσίμου σε χρήσιμη ηλεκτρική ενέργεια. Η κυψέλη καυσίμου αποτελεί ένα μηχανισμό για την ηλεκτροχημική μετατροπή της ενέργειας μετατρέποντας υδρογόνο και οξυγόνο σε νερό, παράγοντας ταυτόχρονα με τη

διαδικασία αυτή, ηλεκτρισμό και θερμότητα. Ο ηλεκτρισμός παράγεται με τη μορφή συνεχούς ρεύματος. Η πρώτη κυψέλη φτιάχτηκε από τον Sir William Grove , το 1839. Ωστόσο η συστηματική έρευνα πάνω σε αυτές άρχισε μόλις τη δεκαετία του '60, όταν η NASA χρησιμοποίησε κυψέλες καυσίμου στο διαστημικό σκάφος Gemini και Apollo ως φθηνότερη λύση από την ηλιακή ενέργεια.

Μία κυψέλη καυσίμου είναι μια ηλεκτρική κυψέλη. Αποτελείται από δύο ηλεκτρόδια, την άνοδο, την κάθοδο και τον ηλεκτρολύτη. Ο ηλεκτρολύτης συνδέεται με τα ηλεκτρόδια. Η άνοδος τροφοδοτείται με το καύσιμο (Υδρογόνο) και η κάθοδος με την οξειδωτική ουσία (Οξυγόνο). Στην άνοδο, τα μόρια του υδρογόνου οξειδώνονται σε θετικά φορτισμένα ιόντα υδρογόνου, απελευθερώνοντας ηλεκτρόνια. Τα ηλεκτρόνια πηγαινούν μέσω του εξωτερικού κυκλώματος στην κάθοδο και παράγεται έτσι ηλεκτρικό ρεύμα. Τα κατιόντα του υδρογόνου διασκορπώνται μέσω του ηλεκτρολύτη στην κάθοδο. Αντιδρούν με οξυγόνο και παράγεται νερό. Μία κυψέλη καυσίμου παράγει περίπου από 0.6Volt και πολλές μαζί συνδυάζονται για να δώσουν την ηλεκτρική ισχύ που χρειάζεται.

Οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να ταξινομηθούν βάση του τύπου του ηλεκτρολύτη τον οποίο χρησιμοποιούν. Το πιο γνωστό είδος είναι η κυψέλη καυσίμου με μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίου ( PEM ). Δύο ηλεκτρόδια, τα οποία διαχωρίζονται από μία μεμβράνη, η οποία έχει το ρόλο του ηλεκτρολύτη. Μεταξύ αυτής της πολυμερισμένης μεμβράνης και των ηλεκτροδίων υπάρχει ένα στρώμα καταλύτη. Συνοπτικά, η διαδικασία παραγωγής ηλεκτρισμού περιγράφεται από τα παρακάτω επιμέρους στάδια.

Το υδρογόνο τροφοδοτεί την άνοδο της κυψέλης, το αρνητικό ηλεκτρόδιο, το οποίο ερχόμενο σε επαφή με τον καταλύτη διαχωρίζεται σε θετικά φορτισμένα ιόντα υδρογόνου και ηλεκτρόνια. Η άνοδος και ο καταλύτης είναι τέτοιας κατασκευής ώστε η διάχυση των ατόμων του υδρογόνου να γίνεται με ομογενή τρόπο. Τα ηλεκτρόνια τα οποία απελευθερώθηκαν μεταφέρονται μέσω εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος προς την κάθοδο δημιουργώντας ηλεκτρισμό αφού η μεμβράνη αποτρέπει τη διέλευση τους μέσω αυτής. Για αυτό το λόγο άνοδος και καταλύτης διαλέγονται αγώγιμα υλικά.

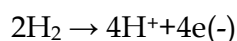
Τα θετικά φορτισμένα ιόντα του υδρογόνου (στην ουσία αναφερόμαστε σε μεμονωμένα πρωτόνια) διαπερνούν τη μεμβράνη και ενώνονται με το οξυγόνο το οποίο τροφοδοτεί την κάθοδο, το θετικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο, και παράγεται νερό. Όπως και πριν, την ομογενή διάχυση του οξυγόνου στον καταλύτη εξασφαλίζει η κατασκευή του ηλεκτροδίου. Ο καταλύτης αναλαμβάνει την επιτάχυνση της δημιουργίας του νερού από τα συστατικά του. Στο σχηματισμό του νερού συμμετέχουν εκτός των μορίων του οξυγόνου και των ιόντων του υδρογόνου, τα

ηλεκτρόνια τα οποία διοχετεύτηκαν μέσω του εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος στην κάθοδο, στην αρχή της διαδικασίας.

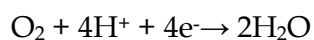
Τα δύο στρώματα (στηριζόμενου) καταλύτη χρησιμεύουν στην αύξηση της ταχύτητας των αντιδράσεων διάσπασης του μορίου του υδρογόνου και της ένωσης υδρογόνου οξυγόνου για τη δημιουργία νερού, στην άνοδο και στην κάθοδο αντίστοιχα. Συνήθως αποτελείται από ένα πολύ λεπτό στρώμα λευκόχρυσου (Pt) πάνω σε επιφάνεια άνθρακα. Το στρώμα αυτό είναι και το μέρος του καταλύτη το οποίο βρίσκεται σε επαφή με τη μεμβράνη. Ο καταλύτης είναι τραχύς και πορώδης ώστε να μεγιστοποιεί την εκτεθειμένη επιφάνεια του.

Οι χημικές αντιδράσεις οι οποίες χαρακτηρίζουν τα παραπάνω βήματα, συνοψίζονται παρακάτω.

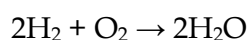
Στην άνοδο:



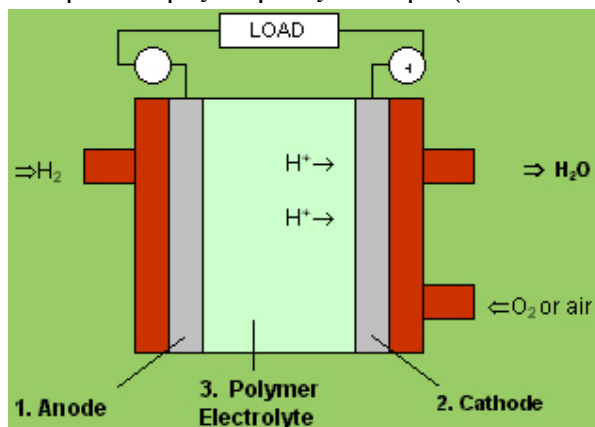
Στην κάθοδο:



Ολική αντίδραση:



Οι παραπάνω αντιδράσεις σε μία απλή κυψέλη καυσίμου παράγει περίπου στα 0,7 Volts. Προκειμένου να παραχθούν μεγαλύτερες (και πρακτικά αξιοποιήσιμες) τάσεις, χρησιμοποιούνται περισσότερες κυψέλες σε σειρά (fuel cell stack).



Σχήμα 1.5: τρόπος λειτουργίας κυψέλης καυσίμου

Οι κυψέλες καυσίμων μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ποικίλα καύσιμα και μάλιστα με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Το υδρογόνο -το αφθονότερο στοιχείο στη Γη- μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα. Οι κυψέλες καυσίμων μπορούν επίσης να χρησιμοποιήσουν καύσιμα που περιέχουν υδρογόνο, συμπεριλαμβανομένης της μεθανόλης, της αιθανόλης, του φυσικού αερίου, και των ορυκτών καυσίμων ακόμη όπως η βενζίνη ή το ντίζελ. Τα καύσιμα που περιέχουν υδρογόνο απαιτούν γενικά έναν "μετασχηματιστή καυσίμου" που θα εξάγει από το καύσιμο το υδρογόνο. Η ενέργεια θα μπορούσε επίσης να παρασχεθεί από τη βιομάζα, τον αέρα, την ηλιακή ενέργεια ή άλλες ανανεώσιμες πηγές. Οι κυψέλες καυσίμων σήμερα λειτουργούν με πολλά διαφορετικά καύσιμα, ακόμη και αέριο από τις εγκαταστάσεις σκουπιδιών και της επεξεργασίας απόβλητου ύδατος.

### 1.7.1 Εφαρμογές

- Χρησιμοποίηση της κυψέλης καυσίμου για συμπαραγωγή ενέργειας (Παραγωγή θερμότητας και ενέργειας για ξενοδοχεία, νοσοκομεία και σπίτια)
- Αποκεντρωμένη παραγωγή ισχύος (Έρευνα και ανάπτυξη στη βιομηχανία)
- Εφαρμογές μικρής ισχύος: Φώτα απομακρυσμένων περιοχών, ταμπέλες δρόμων, σταθμοί επικοινωνιών και μετεωρολογικοί σταθμοί.
- Μεταφορές (Διαστημόπλοια, υποβρύχια, τραίνα, λεωφορεία)
- Φορητές συσκευές ισχύος: Φορητά τηλέφωνα, Laptop , κάμερες και φορητές συσκευές ήχου

### 1.7.2 Πλεονεκτήματα:

- Ελάχιστες εκπομπές ρύπων. Προστασία της ατμόσφαιρας, φιλικός προς το περιβάλλον ηλεκτρισμός
- Οι κυψέλες δεν έχουν κινητά μέρη. Ήσυχη λειτουργία και μικρή συντήρηση.
- Μεγάλη απόδοση στην μετατροπή ηλεκτρισμού της τάξης του 40-65% Εξοικονόμηση ενέργειας.
- Προσαρμοζόμενος σχεδιασμός για εφαρμογές από watt μέχρι megawatt

- Σαν αέριο ή υγρό, το υδρογόνο μπορεί εύκολα να μεταφερθεί, να φυλαχθεί και τελικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κάθε εφαρμογή όπου χρησιμοποιούνται σήμερα τα καύσιμα .

## 1.8 Μετατροπείς

Στα ΜΑΣΗΕ (μικρά απομονωμένα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας) συνήθως εμπεριέχεται συνδυασμός τεχνολογιών και φορτιών συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος. Σε ένα τέτοιο σύστημα απαιτείται μετατροπή από συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο και αντιστρόφως, η οποία επιτυγχάνεται με χρήση μετατροπέων. Ανάλογα με την δομή του προς μελέτη συστήματος, ένας μετατροπέας μπορεί να είναι αντιστροφέας (ο οποίος μετατρέπει το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο), ανορθωτής (ο οποίος μετατρέπει το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές), ή συνδυασμός και των δυο. Στην παρούσα εργασία οι μετατροπείς θεωρούνται ότι περιλαμβάνουν αντιστροφείς και ανορθωτές. Η μοντελοποίηση των μετατροπέων γίνεται σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση:

$$P_{convout} = n_{conv} \cdot (P_{convin} - \beta_{conv})$$

Όπου  $P_{convout}$  είναι η ισχύς εξόδου του μετατροπέα (σε KW),  $P_{convin}$  είναι η ισχύς εισόδου του μετατροπέα (σε KW),  $n_{conv}$  είναι η απόδοση του μετατροπέα,  $\beta_{conv}$  είναι οι μόνιμες απώλειες του μετατροπέα (σε KW).

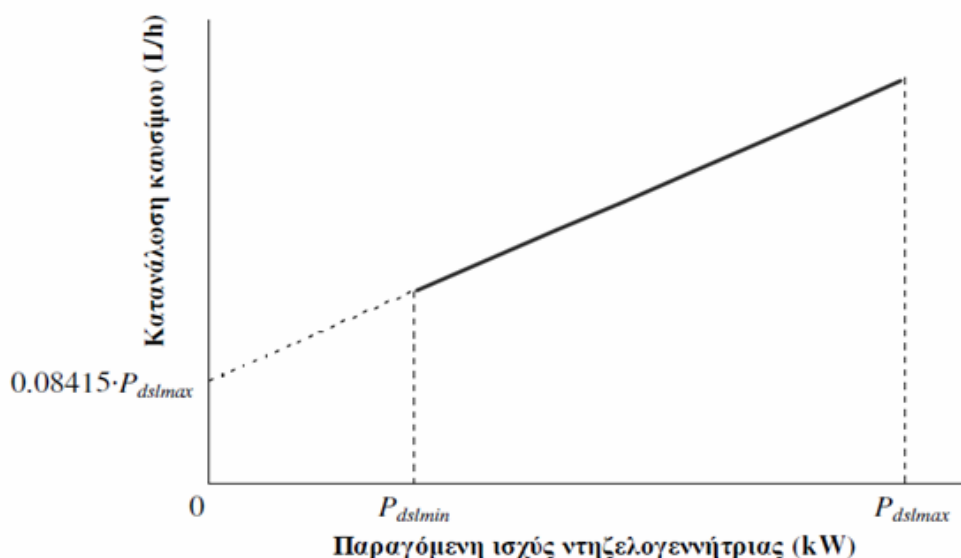
## 1.9 Γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος

Μια γεννήτρια είναι μια συσκευή που καταναλώνει καύσιμο για να παράγει ηλεκτρική ενέργεια, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις συμπαράγει και θερμική ενέργεια. Οι γεννήτριες συνδυάζονται με μονάδες μη ελεγχόμενου ρυθμού παραγωγής (ΦΒ ή ΑΓ) όπου προσφέρουν εφεδρική ενέργεια στις περιόδους όπου η παραγωγή ενέργειας των τεχνολογιών ΑΠΕ δεν επαρκεί για την κάλυψη της ζήτησης. Η πιο συνηθισμένη πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στις μέρες μας είναι η νηξελογεννήτρια που αποτελείται από μια ηλεκτρική γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος, που καθοδηγείται από μια παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης που ακολουθεί τον κύκλο του Diesel. Το καύσιμο που χρησιμοποιείται συνήθως είναι το πετρέλαιο και τα μεγέθη των νηξελογεννητριών ποικίλουν από λίγα kW και το 1MW. Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά που μοντελοποιούνται σε μια γεννήτρια



είναι η μέγιστη και η ελάχιστη παραγόμενη ισχύς, ο τύπος καυσίμου που χρησιμοποιείται και η καμπύλη κατανάλωσης που σχετίζει την ποσότητα καυσίμου που καταναλώνεται με την παραγόμενη ηλεκτρική ισχύ.

Για την μοντελοποίηση των ντηζελογεννητριών χρησιμοποιείται συνήθως η θεώρηση ότι η κατανάλωση καυσίμου είναι γραμμική συνάρτηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος. Επιπλέον για να αποφευχθεί η πρόωρη φθορά του κινητήρα, η ελάχιστη παραγόμενη ισχύς μιας ντηζελογεννήτριας  $P_{dstmin}$  τίθεται συνήθως ίση με το 30% της μέγιστης ονομαστικής (ονομαστικής) ισχύος  $P_{dstmax}$ .



**Σχήμα 1.6:** Καμπύλη κατανάλωσης μιας ντηζελογεννήτριας με καύσιμο ντήζελ.

Στην περίπτωση που το καύσιμο της ντηζελογεννήτριας είναι το βιοντίζελ, το οποίο παράγεται από φυτικά έλαια, η κατανάλωση καυσίμου είναι ελαφρώς μεγαλύτερη.

## 1.10 Συσσωρευτές

Ο συσσωρευτής στην ηλεκτρολογία είναι χημική πηγή ρεύματος, ικανή να αποθηκεύσει ηλεκτρική ενέργεια (αφού τη μετατρέψει σε χημική) και όταν χρειαστεί, να την αποδώσει σε εξωτερικό κύκλωμα. Αποτελείται από δοχείο κατασκευασμένο από μονωτικό υλικό (εβονίτη, πλαστικό, γυαλί) με ηλεκτρολύτη (οξύ ή αλκάλιο), στο οποίο βυθίζονται τα ηλεκτρόδια. Η σύνδεσή τους σε εξωτερικό κύκλωμα προκαλεί σε αυτό διέλευση ρεύματος (εκφόρτιση του ηλεκτρικού συσσωρευτή). Έτσι, στον

ηλεκτρικό συσσωρευτή γίνονται χημικές διεργασίες, που έχουν σχέση με τη μετατροπή της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική.

Ο εκφορτισμένος ηλεκτρικός συσσωρευτής φορτίζεται όταν περάσει από αυτόν συνεχές ρεύμα από άλλη πηγή, ενώ ταυτόχρονα στον ηλεκτρικό συσσωρευτή γίνονται αντίστροφες χημικές διεργασίες, με τις οποίες η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε χημική. Ο ηλεκτρικός συσσωρευτής χαρακτηρίζεται από τα ακόλουθα στοιχεία:

- **χωρητικότητα**, δηλ. την ποσότητα του ηλεκτρισμού σε αμπερώρια, που μπορεί ο συσσωρευτής να δώσει στο κύκλωμα που τροφοδοτεί.
- από **τη μέση τάση** σε Volt κατά το χρόνο της φόρτισης και εκφόρτισης
- από την **ειδική ενέργεια κατά βάρος και όγκο**, δηλ. την ενέργεια σε βατώρια που παρέχεται κατά την εκφόρτιση από 1 kgf βάρους ή 1 δεκατόμετρο του όγκου του ηλεκτρικού συσσωρευτή,
- από την **απόδοση κατά χωρητικότητα**, δηλ. το λόγο της ποσότητας των αμπερωρίων που αποδίδεται κατά την εκφόρτιση προς την ποσότητα των αμπερωρίων που απορροφάται κατά τη φόρτιση,
- από την **απόδοση κατά ενέργεια (ή βαθμό απόδοσης)**, δηλ. το λόγο της ενέργειας που αποδίδεται κατά την εκφόρτιση προς την ενέργεια που απορροφάται κατά τη φόρτιση.

Ευρεία χρήση έχουν (κυρίως σε μόνιμες εγκαταστάσεις) οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές **μόλυβδου - οξέος**, στους οποίους σαν ηλεκτρολύτης χρησιμοποιείται διάλυμα θειικού οξέος με πυκνότητα 1,18- 1,29 gr/cm<sup>3</sup> και σαν ηλεκτρολύτες διοξειδίου του μολυβδίου PbO<sub>2</sub> και σπογγώδης μολυβδος. Κατά την εκφόρτιση γίνεται η αντίδραση:  $PbO_2 + Pb + 2H_2SO_4 \rightarrow 2PbSO_4 + 2H_2O$ , ενώ η τάση και η πυκνότητα του ηλεκτρολύτη ελαττώνονται.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΗΟΓΑ

#### 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το λογισμικό ΗΟΓΑ είναι ένα πρόγραμμα προσομοίωσης και βελτιστοποίησης για τα υβριδικά ανανεώσιμα συστήματα για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας (συνεχούς ή/και εναλλασσόμενου ρεύματος) ή/και υδρογόνου. Η βελτιστοποίηση επιτυγχάνεται με την ελαχιστοποίηση των συνολικών δαπανών του συστήματος στο σύνολο της ωφέλιμης διάρκειας ζωής του έργου. Ωστόσο, το πρόγραμμα επιτρέπει την βελτιστοποίηση πολλαπλών στόχων, όπου επιπλέον μεταβλητές μπορούν επίσης να ελαχιστοποιηθούν: οι εκπομπές CO<sub>2</sub> και η αδυναμία κάλυψης φορτίου. Όταν ζητείται βελτιστοποίηση πολλαπλών στόχων το ΗΟΓΑ προσφέρει περισσότερες από μία λύσεις, ορισμένες από αυτές παρουσιάζουν καλύτερες επιδόσεις όσον αφορά τις εκπομπές ή την αδυναμία κάλυψης του φορτίου, ενώ άλλες λύσεις ταιριάζουν καλύτερα για το κόστος.

Το υβριδικό σύστημα μπορεί να περιλαμβάνει τα ακόλουθα στοιχεία: φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, υδροηλεκτρικά, κυψέλες καυσίμου, δεξαμενές H<sub>2</sub>, και μονάδα ηλεκτρόλυσης, καθώς και συσσωρευτές, ρυθμιστές φόρτισης της μπαταρίας, μετατροπέας (DC / AC), ανορθωτές (AC / DC μετατροπέα), και γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος. 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.

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.

Στα υβριδικά συστήματα παραγωγής ενέργειας ασυνήθιστες αιχμές κατανάλωσης ή χαμηλά επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας και ταχυτήτων του ανέμου καθιστούν τις αιολικές και φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις ανεπαρκείς. Για τον παραπάνω λόγο 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" στο πρόγραμμα), και συνήθως λειτουργούν με μονάδα ντιζελ. Αυτά τα συγκροτήματα παραγωγής είναι η πιο διαδεδομένη εναλλακτική λύση για τα βοηθητικά συστήματα, ως μέθοδος για την παροχή πρόσθετου ενεργειακού εφοδιασμού για ορισμένα υψηλής ισχύος επίπεδα κατανάλωσης. Οι γεννήτριες

εναλλασσόμενου ρεύματος, εντούτοις, έχουν ως σημαντικό μειονέκτημα την εκπομπή τοξικών αερίων συμβάλλοντας στην επιδείνωση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Όταν η ζήτηση ενέργειας είναι υψηλότερη από την ενέργεια που παρέχεται από τις ανανεώσιμες πηγές, μια εναλλακτική τεχνολογία για την παραγωγή πρόσθετης ενέργειας είναι η κυψέλη καυσίμου. Η κυψέλη καυσίμου χρησιμοποιώντας αποθηκευμένο H<sub>2</sub> σε σχέση με το O<sub>2</sub> από τον αέρα, παράγει ηλεκτρική ενέργεια και νερό, μέσω της αντίστροφης ηλεκτρόλυσης. Καμία επιβλαβής εκπομπή δεν παράγεται, και το H<sub>2</sub> λαμβάνεται χωρίς οποιεσδήποτε δαπάνες με τα προφανή περιβαλλοντικά οφέλη. Εντούτοις, αυτή η τεχνολογία είναι αυτήν την περίοδο μάλλον δαπανηρή, έτσι καμία μεγάλου μεγέθους εγκατάσταση δεν έχει εγκατασταθεί.

Οι υπολογισμοί βελτιστοποίησης είναι ιδιαίτερα σύνθετοι και αυτή η πολυπλοκότητα οφείλεται στον εξαιρετικά μεταβλητό βαθμό διαθεσιμότητας των ανανεώσιμων πόρων (ηλιακή ακτινοβολία, αέρας), καθώς επίσης και στη μεταβλητότητα της ζήτησης ενέργειας. Εκτός αυτού, υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός μεταβλητών που μπορεί να έχει μια επιρροή στη βελτιστοποίηση συστημάτων, και μερικά τμήματα συστημάτων παρουσιάζουν μη γραμμική συμπεριφορά. Πολλές διαφορετικές λύσεις είναι εφικτές για οποιοδήποτε δεδομένο υβριδικό σύστημα (φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, υδροστρόβιλοι, μπαταρίες, γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος, κυψέλες καυσίμου, μονάδα ηλεκτρόλυσης, αναστροφείς, και μεταβλητές για τη στρατηγική ελέγχου). Οι μέθοδοι βελτιστοποίησης βασισμένες στις κλασικές μαθηματικές τεχνικές είναι επομένως ιδιαίτερα δύσκολο να ισχύσουν. Το HOGA χρησιμοποιεί τους γενετικούς αλγόριθμους για τη βελτιστοποίηση και για τα τμήματα συστημάτων (κύριους γενετικούς αλγόριθμους), και για τη στρατηγική ελέγχου (δευτεροβάθμιος γενετικός αλγόριθμος). Οι γενετικοί αλγόριθμοι μπορούν να παραγάγουν τις επαρκείς λύσεις όταν εφαρμόζονται σε ιδιαίτερα σύνθετα προβλήματα, με τους πολύ σύντομους χρόνους υπολογισμού. Αυτές οι τεχνικές έχουν εφαρμοστεί σε πολλά προβλήματα στη βιομηχανία, που συχνά επιτυγχάνουν καλύτερες λύσεις, με μείωση του χρόνου σε αντίθεση με τις εναλλακτικές μεθόδους βελτιστοποίησης.

Το HOGA προσφέρει την επιλογή να εκτελεστεί μια αξιολόγηση όλων των πιθανών συνδυασμών, τόσο για τα κατασκευαστικά στοιχεία όσο και για τον έλεγχο των στρατηγικών μεταβλητών. Οι γενετικοί αλγόριθμοι επιτρέπουν σχεδόν βέλτιστες λύσεις με σχετικά σύντομους χρόνους υπολογισμού. Το HOGA είναι ένα λογισμικό εργαλείο για βέλτιστη διαστασιολόγηση των υβριδικών ενεργειακών εγκαταστάσεων, με τη δυνατότητα να εντάξουν τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ηλιακή, αιολική και υδραυλική ενέργεια) με βάση τα συστήματα υποστήριξης (μπαταρίες και electrolyzer με δεξαμενή H<sub>2</sub>, ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη και κυψέλες καυσίμου). Το HOGA χρησιμοποιεί γενετικούς αλγόριθμους 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. Όλα τα στοιχεία θα είναι παρόντα για μια γενική περίπτωση, ωστόσο ο χρήστης έχει την επιλογή να αποκλείσει οποιαδήποτε στοιχεία κατά βούληση.

### 2.1.1 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 ώστε το υπό εξέταση σύστημα να αντιδρά όσο το δυνατόν με το θεμιτό τρόπο.

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 (0/1). 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. Κάθε λύση (τιμές για τις παραμέτρους του συστήματος) δοκιμάζεται για το πόσο κοντά φέρνει την αντίδραση του συστήματος στην επιθυμητή, μέσω μιας συνάρτησης που δίνει το μέτρο ικανότητας της λύσης και η οποία ονομάζεται συνάρτηση ικανότητας (Σ.Ι).

Οι λύσεις που βρίσκονται πιο κοντά στην επιθυμητή, σε σχέση με τις άλλες, σύμφωνα με το μέτρο που μας δίνει η Σ.Ι, 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 ικανοποιούν όσο καλύτερα γίνεται την Σ.Ι.

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 την συνάρτηση ικανότητας και συγκεκριμένα από το κατά πόσο το μέτρο της περιγράφει την 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. Οι γενετικοί αλγόριθμοι προσπαθούν να βρουν τη λύση ενός προβλήματος με το να προσομοιώνουν την εξέλιξη ενός πληθυσμού «λύσεων» του προβλήματος.

Είναι μια τεχνική προγραμματισμού που εισήγαγε στα τέλη της δεκαετίας του 1960 ο Τζον Χόλαντ, ερευνητής του Ινστιτούτου της Σάντα Φε (ΗΠΑ).

Οι γενετικοί αλγόριθμοι είναι μια από τις βάσεις των Προγραμμάτων Τεχνητής Ζωής. Συγκεκριμένα, επιχειρεί να αναπαραγάγει στους υπολογιστές τους μηχανισμούς της βιολογικής εξέλιξης με τον ίδιο τρόπο που η τεχνητή νοημοσύνη επιχειρεί να αναπαραστήσει και να μιμηθεί τις διαδικασίες της γνώσης.

Τα προγράμματα εξελίσσονται μέχρι να φτάσουν, μέσω μεταλλάξεων, διασταυρώσεων και φυσικής επιλογής, σε μια αποτελεσματική φόρμουλα η οποία θα εκτελεί με τον καλύτερο δυνατό τρόπο μια συγκεκριμένη εργασία

Λειτουργία:

Ο τρόπος λειτουργίας των Γενετικών Αλγορίθμων είναι εμπνευσμένος από την 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 ανασυνδυασμών και μεταλλάξεων των "γονιδιωμάτων".

Οι πιο ικανές λύσεις για ένα συγκεκριμένο πρόβλημα συνεχίζουν να εξελίσσονται και ανασυνδυάζονται 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.

Τρόπος Υλοποίησης του Αλγορίθμου:

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 (0/1). Αυτή η μεταβλητή μιμείται το γενετικό κώδικα (γονιδίωμα) που υπάρχει στους ζωντανούς οργανισμούς.

Αρχικά, ο Γενετικός Αλγόριθμος παράγει πολλαπλά αντίγραφα της μεταβλητής/γενετικού κώδικα, συνήθως με τυχαίες τιμές, δημιουργώντας ένα πληθυσμό λύσεων. Κάθε λύση (τιμές για τις παραμέτρους του συστήματος) δοκιμάζεται για το πόσο κοντά φέρνει την αντίδραση του συστήματος στην

επιθυμητή, μέσω μιας συνάρτησης που δίνει το μέτρο ικανότητας της λύσης και η οποία ονομάζεται συνάρτηση ικανότητας (Σ.Ι).

Οι λύσεις που βρίσκονται πιο κοντά στην επιθυμητή, σε σχέση με τις άλλες, σύμφωνα με το μέτρο που μας δίνει η Σ.Ι, 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 γονιδιωμάτων/λύσεων που πλησιάζουν καλύτερα το επιθυμητό αποτέλεσμα θα παράγουν ένα γονίδιο/λύση που θα περιέχει τις τιμές για τις παραμέτρους που ικανοποιούν όσο καλύτερα γίνεται την Σ.Ι.

Εκδοχές Αλγορίθμου:

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 την συνάρτηση ικανότητας και συγκεκριμένα από το κατά πόσο το μέτρο της περιγράφει την βέλτιστη λύση.

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 την λύση του προβλήματος που τους αναθέτουμε.

Εφαρμογές:

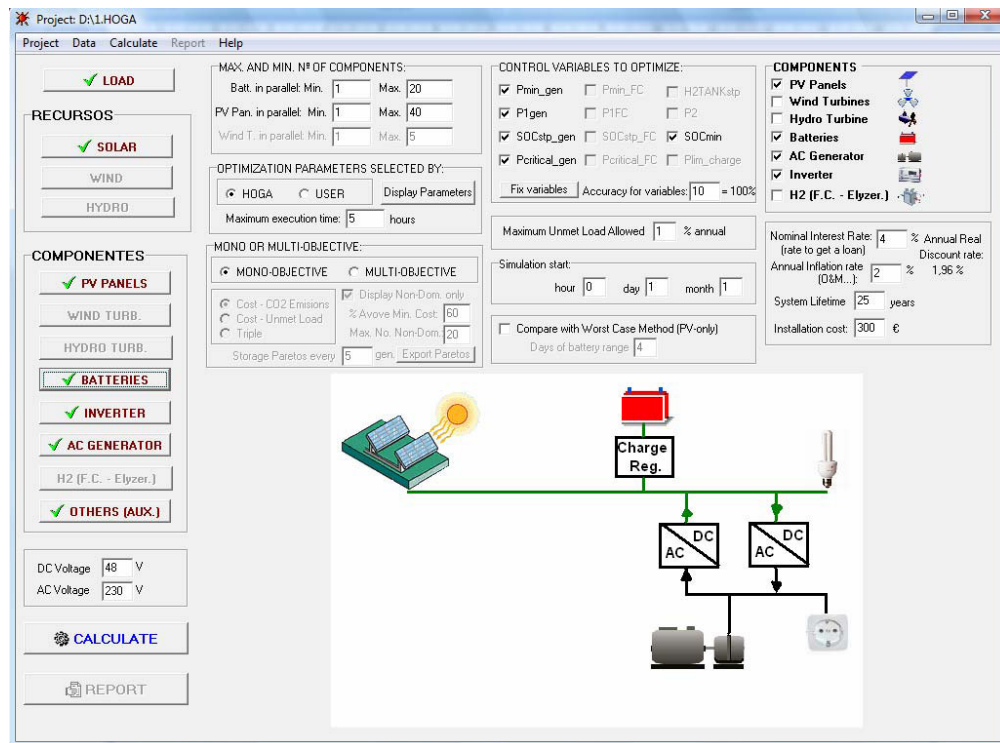
Οι πιθανές εφαρμογές είναι πολλές:

- η καλύτερη δυνατή οργάνωση του ωραρίου ενός σχολείου,
- η μελέτη της βέλτιστης κατανομής ενός δικτύου από πλατφόρμες πετρελαίου
- η δημιουργία υπολογιστών που θα βελτιώνουν τον τρόπο λειτουργίας τους "μαθαίνοντας" από την εμπειρία τους.
- εξερεύνηση των δυναμικών βιολογικών διαδικασιών, και της θεωρίας της εξέλιξης.

## 2.2 Στρατηγικές ελέγχου

### 2.2.1 Βελτιστοποίηση των συστατικών και της στρατηγικής

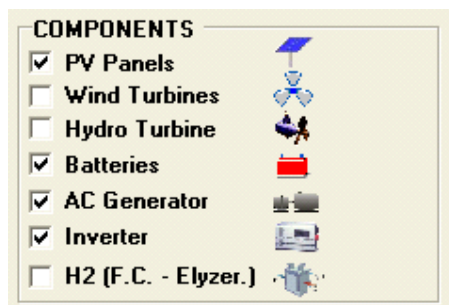
Όταν η βελτιστοποίηση εφαρμόζεται και στα συστατικά και στη στρατηγική ελέγχου, η ακόλουθη κύρια οθόνη παρουσιάζεται:



Σχήμα 2.1: κύρια οθόνη HOGA



Στην κύρια οθόνη παρουσιάζονται οι επιλογές για τις παρεχόμενες τεχνολογίες κάθε μια από τις οποίες παρέχει πρόσβαση στις πρόσθετες οθόνες όπου διαφορετικά στοιχεία συστημάτων μπορούν να επιλεγούν.



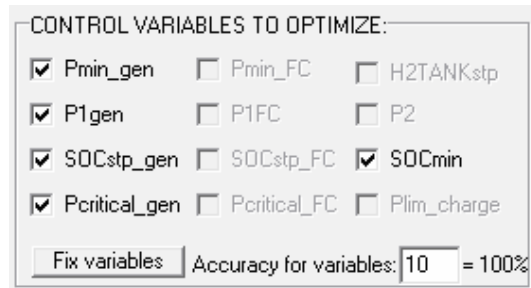
Σχήμα 2.2:τεχνολογίες

Στο παραπάνω πλαίσιο(σχήμα 2.2) ο χρήστης έχει την δυνατότητα να επιλέξει τις τεχνολογίες που θα απαρτίσουν το προς μελέτη υβριδικό σύστημα. (φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, υδροστρόβιλοι, μπαταρίες, γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος, αναστροφείς, κυψέλες καυσίμου και μονάδα ηλεκτρόλυσης)

MAX. AND MIN. N° OF COMPONENTS:				
Batt. in parallel:	Min.	<input type="text" value="0"/>	Max.	<input type="text" value="20"/>
PV Pan. in parallel:	Min.	<input type="text" value="0"/>	Max.	<input type="text" value="40"/>
Wind T. in parallel:	Min.	<input type="text" value="0"/>	Max.	<input type="text" value="5"/>

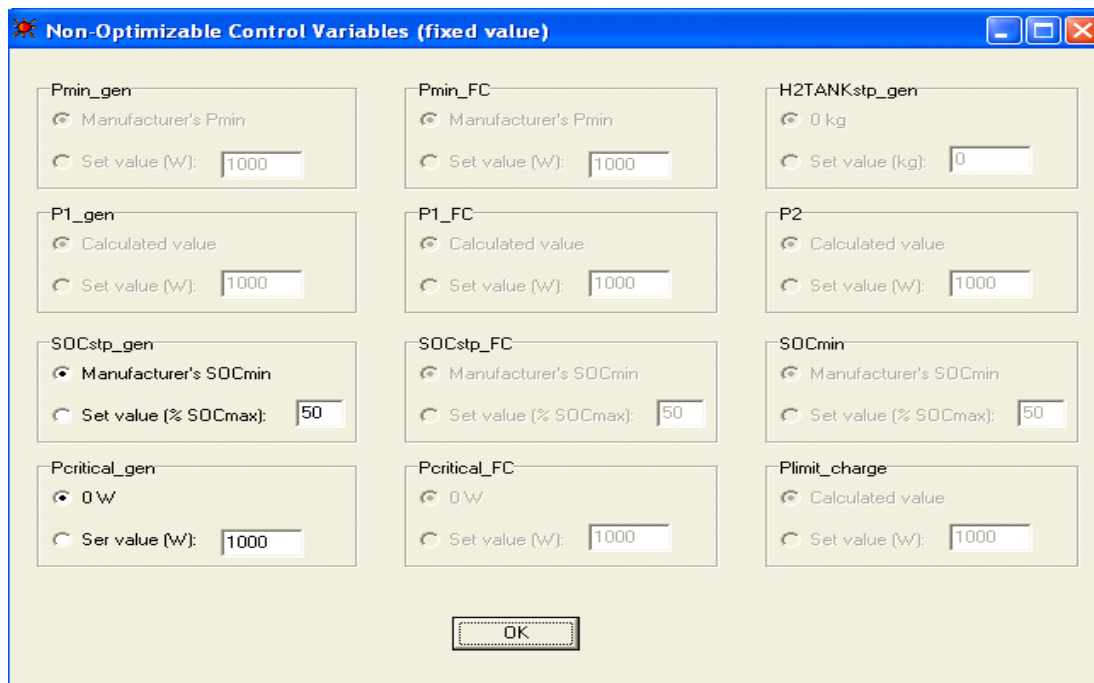
Σχήμα 2.3:ελάχιστος και μέγιστος αριθμός για τις τεχνολογίες

Στο παραπάνω πλαίσιο(σχήμα 2.3) δίνεται η δυνατότητα να επιλεγεί ο ελάχιστος και μέγιστος αριθμός που επιτρέπεται για τις μπαταρίες, τα φωτοβολταϊκά και τις ανεμογεννήτριες.



Σχήμα 2.4: μεταβλητές βελτιστοποίησης

Οι μεταβλητές που βελτιστοποιούνται επιλέγονται στην περιοχή που δείχνεται στο σχήμα 2.4, με έναν μέγιστο αριθμό 12. Ο ακριβής αριθμός των μεταβλητών θα εξαρτηθεί από τα στοιχεία συστημάτων που επιλέγονται. Είναι δυνατό να επιλεχθούν μόνο μερικές από όλες τις διαθέσιμες μεταβλητές. Οι μεταβλητές που δεν επιλέγονται εδώ δεν θα βελτιστοποιηθούν. Πατώντας στο κουμπί “Fix variables” ανοίγει το παρακάτω παράθυρο(σχήμα 2.5):



Σχήμα 2.5: μεταβλητές μη βελτιστοποίησης

Με αυτό τον τρόπο θα επιτραπεί στο χρήστη για να επιλέξει τις μεταβλητές που δεν ελέγχονται στον προηγούμενο παράθυρο(σχήμα 2.4).

OPTIMIZATION PARAMETERS SELECTED BY:

HOGA  USER

Maximum execution time:  h.  min.

Οι παράμετροι της βελτιστοποίησης μπορούν να επιλεγούν είτε από το HOGA (προεπιλογή) είτε από το ΧΡΗΣΤΗ (USER). Εάν οι παράμετροι επιλέγονται από το HOGA, ο χρήστης πρέπει να αποφασίσει το μέγιστο χρόνο να εκτελέσει τη βελτιστοποίηση (προεπιλογή 5 ώρες). Πατώντας στο κουμπί “Display Parameters” ανοίγει το παρακάτω παράθυρο:

PARAMETERS OF THE OPTIMIZATION

**MAIN ALGORITHM (OPTIMIZATION OF COMPONENTS)**

OPTIMIZATION METHOD:

GENETIC ALGORITHM  EVALUATE ALL COMB.

GENETIC ALGORITHM:

Generations:  Population:

Crossover Rate:  % Mutation Rate:  %  Mutation Uniform

STOPPING CRITERION:

Stop execution of secondary algorithm if after  generations  
it cannot improve  % in  generations

EVALUATE ALL COMBINATIONS:

See best

**SEC. ALGORITHM (OPTIMIZATION OF CONTROL STRATEGY)**

OPTIMIZATION METHOD:

GENETIC ALGORITHM  EVALUATE ALL COMB.

GENETIC ALGORITHM:

Generations:  Population:

Crossover Rate:  % Mutation Rate:  %  Mutation Uniform

STOPPING CRITERION:

Stop execution of secondary algorithm if after  generations  
it cannot improve  % in  generations

EVALUATE ALL COMBINATIONS:

See best

**NUMBER OF CASES AND TIME EXPECTED**

Computation Speed: (estim. 60cases/seg.). Press CALCULATE. Press CANCEL within a few seconds

	EVAL. ALL	POP. (% ALL COM.)	GEN. ALG.
MAIN ALG. (COMB. COMPONENTS):	624000	480 (0,0769%)	6864 (1,1%)
SEC. ALG. (COMB. STRATEGIES):	161051	10 (0,0062%)	143 (0,0888%)

	MAIN ALG.	SEC. ALG.	NUMBER OF CASES	%	TIME EXPECTED
OPTION 1:	EVAL. ALL	EVAL. ALL	100495824000	100 %	19385 days 18h
OPTION 2:	EVAL. ALL	GEN. ALG.	89232000	0,0888 %	17 days 5h
OPTION 3:	GEN. ALG.	EVAL. ALL	1105454064	1,1 %	213 days 5h
OPTION 4:	GEN. ALG.	GEN. ALG.	981552	0,001 %	<b>4h 32'</b>

Σχήμα 2.6:παράμετροι βελτιστοποίησης

Maximum Unmet Load Allowed  % annual

Σχήμα 2.7:ορισμός μέγιστου μη εξυπηρετούμενου φορτίου

Ο χρήστης πρέπει να καθορίσει το μέγιστο ποσοστό του ετήσιου μη εξυπηρετούμενου φορτίου που επιτρέπει. Το μη εξυπηρετούμενο φορτίο είναι η ενέργεια που απαιτείται και που δεν παρέχεται από το σύστημα (ενέργεια που δεν εξυπηρετείται από το σύστημα).

Simulation start:  
hour  day  month

Σχήμα 2.7:έναρξη προσομοίωσης

Ο χρήστης πρέπει να αποφασίσει το χρόνο του έτους που αρχίζει η προσομοίωση.

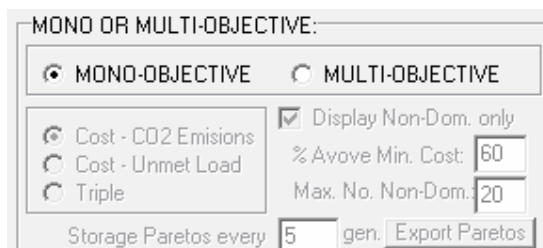
Nominal Interest Rate:  % Annual Real  
(rate to get a loan) Discount rate:  
Annual Inflation rate  % 1.96 %  
(O&M...):  
System Lifetime  years  
Installation cost:  €

Σχήμα 2.7:οικονομικά στοιχεία

Τα στοιχεία για τους οικονομικούς υπολογισμούς πρέπει να παρασχεθούν ως εξής: Διάρκεια ζωής του συστήματος, δαπάνες εγκατάστασης, ονομαστικό επιτόκιο, (ι), και αναμενόμενο γενικό ποσοστό πληθωρισμού. Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί αυτούς τους τελευταίους δύο δείκτες για να υπολογίσει το ποσοστό έκπτωσης, αυτή η αξία θα

χρησιμοποιηθεί έπειτα για να ενημερώσει για τις διαφορετικές δαπάνες που επηρεάζονται από το γενικό ποσοστό πληθωρισμού.

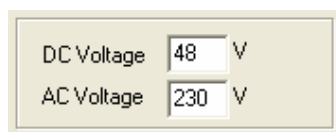
Ο τύπος βελτιστοποίησης που εφαρμόζεται επιλέγεται στην οθόνη που παρουσιάζεται κατωτέρω (σχήμα 2.10):



Σχήμα 2.10: αντικειμενική ή πολυαντικειμενική βελτιστοποίηση

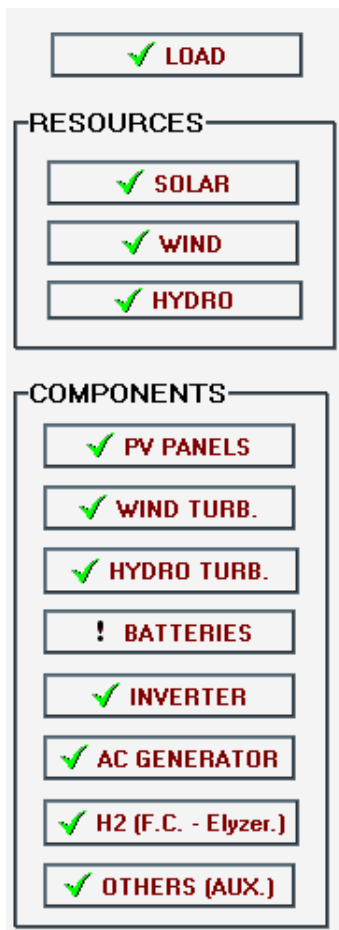
Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να επιλέξει μεταξύ δυο τύπων βελτιστοποίησης : α) βελτιστοποίηση μιας αντικειμενικής συνάρτησης (MONO OBJECTIVE) που είναι προεπιλεγμένος εξ ορισμού, στην οποία το πρόγραμμα θα λάβει την οικονομικά πιο αποδοτική λύση (με το χαμηλότερο καθαρό παρόν κόστος, ή NPC). β) πολυαντικειμενική βελτιστοποίηση (MULTI-OBJECTIVE) όπου μπορεί να αντιτάξει το συνολικό κόστος (NPC) στις εκπομπές του CO<sub>2</sub>, ή το συνολικό κόστος (NPC) στο μη ικανοποιηθέν φορτίο. Στην τελευταία περίπτωση, μια μέγιστη επιτρεπόμενη αξία πρέπει να εισαχθεί.

Η τάση συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος συστημάτων μπορεί να εισαχθεί στο παρακάτω παράθυρο της κύριας οθόνης :



Σχήμα 2.11: τάση συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος

Διάφορα κουμπιά είναι διαθέσιμα στο αριστερό μέρος της κύριας οθόνης :



LOAD: το φορτίο που απαιτείται

RESOURCES: πόροι

SOLAR: Δεδομένα ηλιακής ενέργειας

WIND: Δεδομένα αιολικού δυναμικού της προς μελέτη περιοχής

HYDRO: Υδρολογικό δυναμικό της προς μελέτη περιοχής

COMPONENTS: Συστατικά

PV PANELS: Φωτοβολταϊκά

WIND TURB. : Ανεμογεννήτριες

HYDRO TURB. : Υδροηλεκτρικά

BATTERIES: Συσσωρευτές

INVERTER: Μετατροπείς

AC GENERATOR: Γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος

H2 (F.C. - Elyzer.): Δεξαμενές H<sub>2</sub>, και electrolyzers

OTHERS (AUX.): Βοηθητικά εξαρτήματα (ρυθμιστές φόρτισης μπαταρίας, ανορθωτές)



Με το κουμπί CALCULATE αρχίζει η βελτιστοποίηση ενώ με το κουμπί REPORT , αφού πραγματοποιηθεί η βελτιστοποίηση , εμφανίζεται η καλύτερη λύση.

## 2.3 ΦΟΡΤΙΟ

Παρακάτω είναι διαθέσιμες οι επιλογές για την εισαγωγή στοιχείων για το απαιτούμενο φορτίο(σχήμα 2.12):

A form titled 'Data source' with three radio button options: 'Monthly Average' (selected), 'Load profile', and 'Import Hourly data file (data in W and kg H2)'. There is an empty text input field to the right of the third option.

Σχήμα 2.12:επιλογές εισαγωγής απαιτούμενου φορτίου

Τρεις πίνακες φορτίων είναι διαθέσιμοι: εναλλασσόμενο φορτίο (AC LOAD), συνεχές φορτίο (DC LOAD) και φορτίο H2 (H2 LOAD).Στον πίνακα αναγράφονται οι ωριαίες τιμές του απαιτούμενου φορτίου ανά μήνα.

A form titled 'Noise' with a table for setting noise levels. The table has three columns: 'AC', 'DC', and 'H2'. The rows are 'Daily' and 'Hourly'. Each cell contains a text input field with '0' and a percentage sign (%) to its right.

Σχήμα 2.13:ρυθμηση ημερήσιου και ωριαίου θορύβου

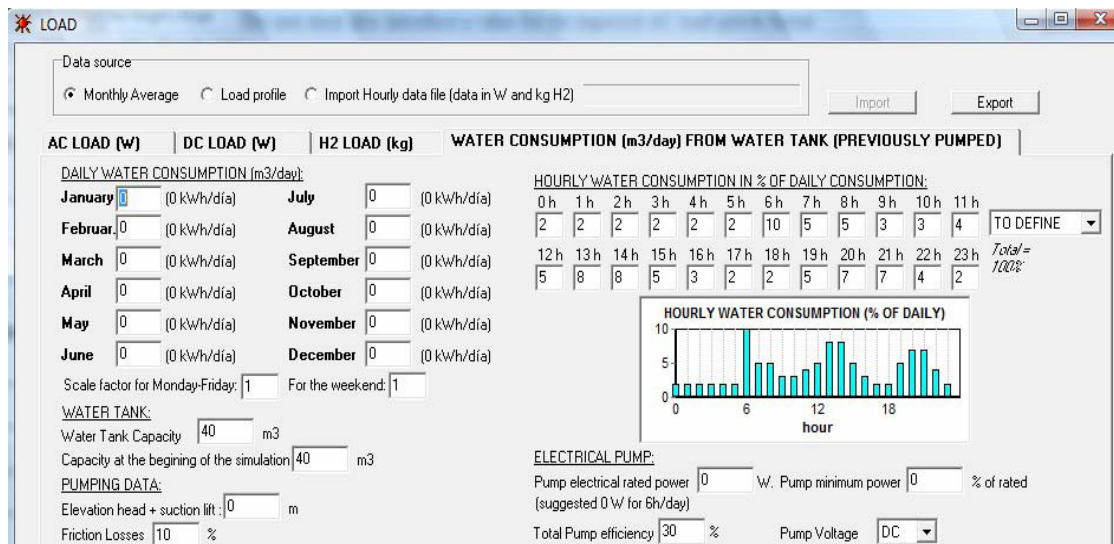
Ένα ποσοστό του θορύβου (Noise) πρέπει να εισαχθεί για την αναμενόμενη κατανάλωση, όταν οι πηγές δεδομένων είναι είτε μέσες μηνιαίες, είτε βασίζονται στο

προφίλ του φορτίου. Το ποσοστό αυτό πρέπει να εισάγεται για την ημερήσια και ωριαία περίοδο, για κάθε τύπο φορτίου.

Επίσης, πρέπει να εισαχθούν δυο παράγοντες κλίμακας, ένας για τις εργάσιμες μέρες και ένας για το Σαββατοκύριακο. Ο χρήστης πρέπει επίσης να εισάγει μια αξία για τον αναμενόμενο συντελεστή φορτίου ( $\cos\phi$ ) του εναλλασσόμενου ρεύματος:

Στον πίνακα κατανάλωσης νερού ( $m^3/day$ ) από την δεξαμενή νερού (που αντλήθηκε προηγουμένως) ο χρήστης πρέπει να επιλέξει τη καθημερινή κατανάλωση νερού ( $m^3/day$ ) για τον κάθε μήνα, την ωριαία κατανάλωση νερού σε % καθημερινά, τη μέγιστη χωρητικότητα του νερού των δεξαμενών ( $m^3$ ), τη χωρητικότητα του νερού των δεξαμενών ( $m^3$ ) στην αρχή της προσομοίωσης, δεδομένα άντλησης: ανύψωση + αναρρόφηση (m), τις απώλειες τριβής (%). Ηλεκτρικά στοιχεία αντλιών: εκτιμώμενη ηλεκτρική ισχύς αντλιών (w), ελάχιστη δύναμη αντλιών (%), συνολική αποδοτικότητα αντλιών (%) και τάση αντλιών (συνεχές ή εναλλασσόμενο ρεύμα).

Πατώντας το κουμπί “Generate” θα παρουσιάσει τη μέγιστη και μέση τιμή του εναλλασσόμενου και του συνεχούς ρεύματος.



Σχήμα 2.14: πίνακας ρυθμίσεων του φορτίου



Στο πρόγραμμα παρουσιάζονται τρεις επιλογές:

<input checked="" type="checkbox"/> Purchase Unmet Energy from Electrical AC Grid	
Price (€/kWh)	Inflation (%)
<input type="text" value="0,08"/>	<input type="text" value="3"/>
Emission (kgCO <sub>2</sub> /kWh)	
<input type="text" value="0,4"/>	

α) η αγορά του μη ικανοποιηθέντος φορτίου από το δίκτυο εναλλασσόμενου ρεύματος.

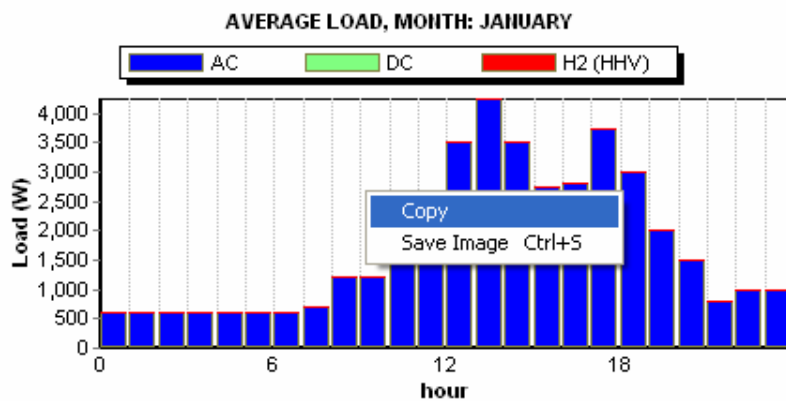
<input checked="" type="checkbox"/> Sell Excess Energy to Electrical AC Grid	
Price (€/kWh)	Inflation (%)
<input type="text" value="0,06"/>	<input type="text" value="3"/>

β) η πώληση της ενέργεια πλεονάσματος στο δίκτυο εναλλασσόμενου ρεύματος.

<input checked="" type="checkbox"/> Sell surplus H <sub>2</sub> in tank	
Price (€/kg)	Inflation (%)
<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="3"/>

γ) η πώληση του πλεονάσματος H<sub>2</sub> που αποθηκεύεται στη H<sub>2</sub> δεξαμενή, ως αποτέλεσμα της διαφοράς μεταξύ της έναρξης και του τέλους του έτους.

Στο σχήμα 2.15 παρουσιάζεται το διάγραμμα κατανάλωσης με τα φορτία εναλλασσόμενου ρεύματος επιδεικνύονται με μπλε, τα συνεχή φορτία με πράσινο, και τα φορτία H<sub>2</sub> με κόκκινο.

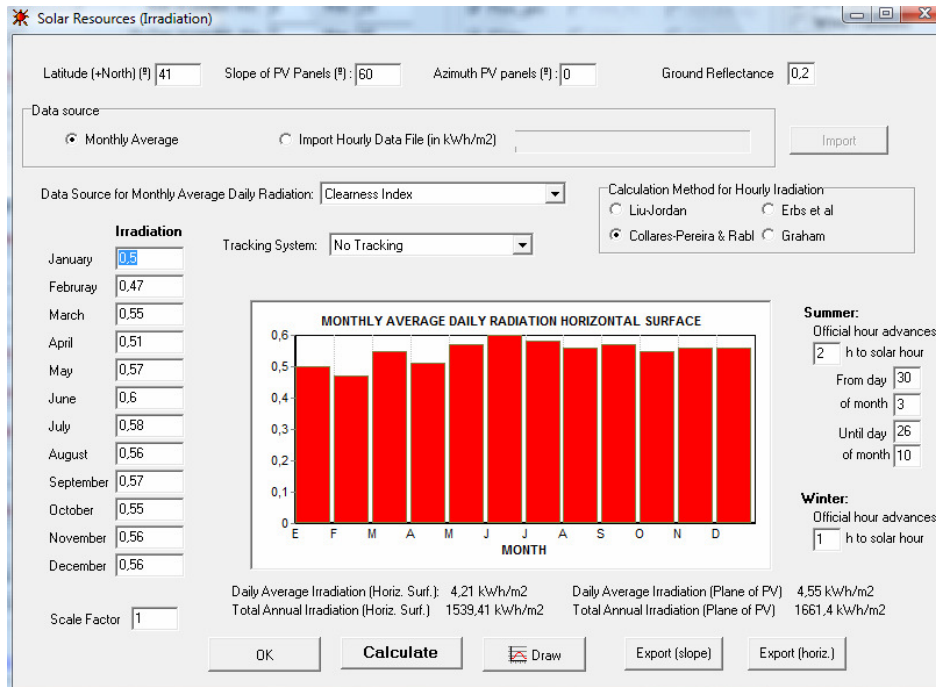


Σχήμα 2.15: διάγραμμα κατανάλωσης με τα φορτία εναλλασσόμενου ρεύματος

## 2.4 ΠΗΓΕΣ

### 2.4.1 Ηλιακή ακτινοβολία

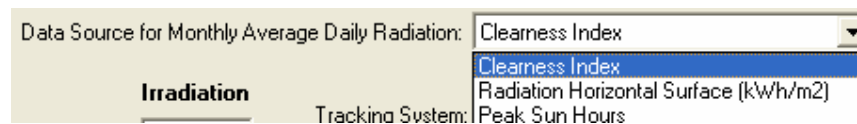
Τα στοιχεία όσον αφορά την ηλιακή ακτινοβολία μπορούν να εισαχθούν με το κουμπι 'SOLAR' .



Σχήμα 2.16: στοιχεία ηλιακής ακτινοβολίας

Τα στοιχεία που πρέπει να εισαχθούν είναι το γεωγραφικό πλάτος (+ για το βόρειο ημισφαίριο, - για το νότιο ημισφαίριο), η κλίση των φωτοβολταϊκών, το αζιμούθιο (προσανατολισμός όσον αφορά το νότο, συνήθως 0° για το βόρειο ημισφαίριο, 180° για το νότιο ημισφαίριο) και τον συντελεστή ανάκλασης.

Η εισαγωγή στοιχείων της ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να εισαχθεί με μηνιαίους μέσους όρους ή με τη βοήθεια ενός εξωτερικού αρχείου. Επιπλέον, χρήστης μπορεί να εισάγει τα δεδομένα για τη μέση ηλιακή ακτινοβολία ως εξής:



Σχήμα 2.17: πίνακας εισαγωγής δεδομένων για την μέση ηλιακή ακτινοβολία

Όπου:

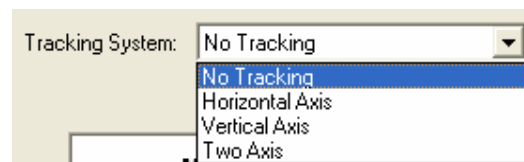
- α) Clearness Index (δείκτης αιθριότητας)
- β) Radiation Horizontal Surface σε kWh/m<sup>2</sup> (οριζόντια ακτινοβολία επιφάνειας)
- γ) Peak Sun Hours (ώρες μέγιστης ηλιακής ακτινοβολίας)

Ο χρήστης πρέπει έπειτα να επιλέξει τη μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των ωριαίων τιμών ακτινοβολίας σε μια κεκλιμένη επιφάνεια. Οι τέσσερις διαθέσιμες μέθοδοι παρουσιάζονται στο σχήμα 2.18:



Σχήμα 2.18

Ο χρήστης πρέπει να επιλέξει τη μέθοδο παρακολούθησης της ηλιακής τροχιάς με τα ακόλουθα συστήματα (σχήμα 2.19)



Σχήμα 2.19

Όπου:

- α) No tracking (σύστημα μη παρακολούθησης της ηλιακής τροχιάς)
- β) Horizontal Axis (σύστημα οριζοντίου άξονα)
- γ) Vertical Axis (σύστημα κατακόρυφου άξονα)
- δ) Two Axis (σύστημα δυο αξόνων)

Ο χρήστης πρέπει να επιλέξει τον παράγοντα κλίμακας των τιμών της ηλιακής ακτινοβολίας (προεπιλεγμένη τιμή 0,1) καθώς και την επίσημη αλλαγή ώρας (χειμώνα - καλοκαίρι) (σχήμα 2.20):

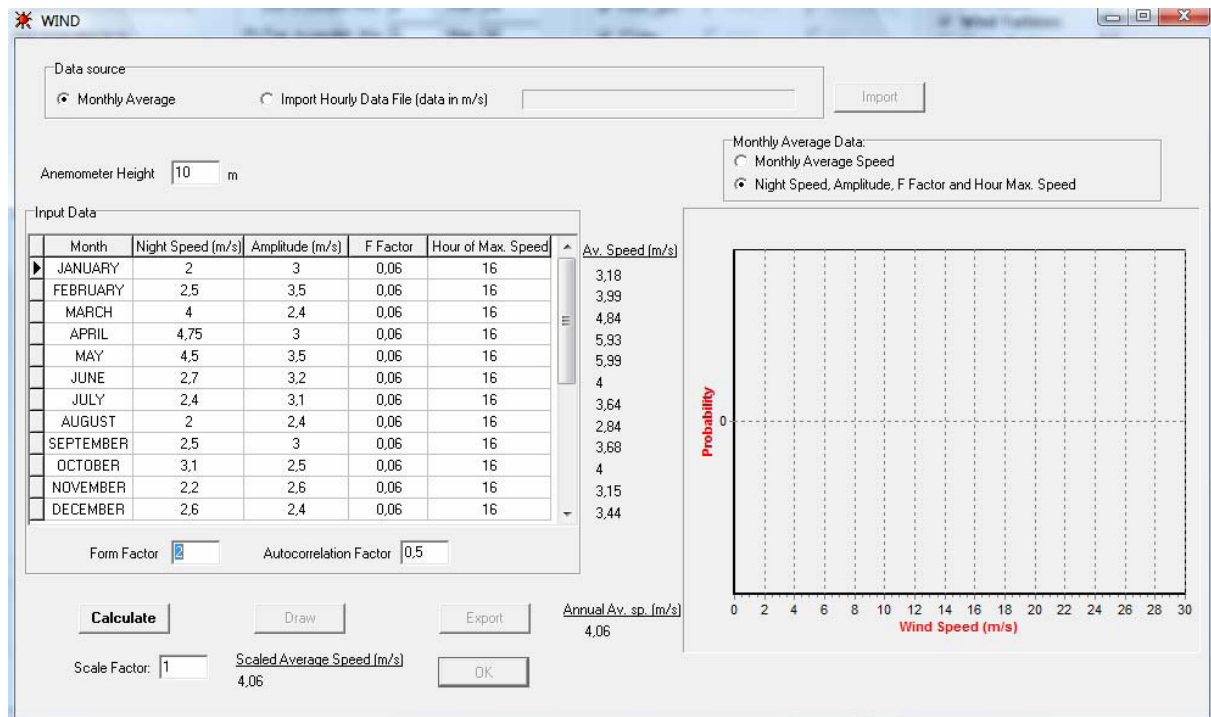
**Summer:**  
 Official hour advances  
 h to solar hour  
 From day   
 of month   
 Until day   
 of month

**Winter:**  
 Official hour advances  
 h to solar hour

Σχήμα 2.20: ρυθμίσεις αλλαγής θερινής -χειμερινής ώρας

## 2.4.2 ANEMΟΣ

Το παράθυρο ρύθμισης των αιολικών δεδομένων είναι το ακόλουθο (σχήμα 2.21):

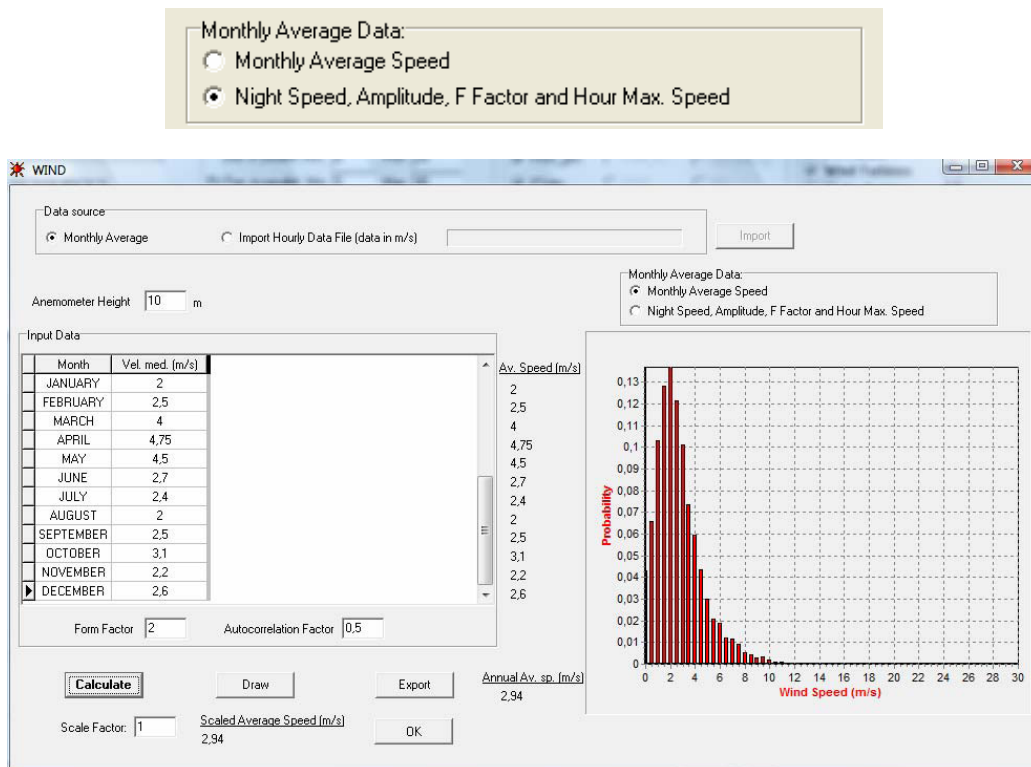


Σχήμα 2.21: πίνακας επεξεργασίας δεδομένων του ανέμου

Οι μηνιαίες τιμές ταχύτητας ανέμου μπορούν να υπολογιστούν από:

α) Τις μηνιαίες μέσες τιμές ταχύτητας

β) Τη μηνιαία μέση ταχύτητα κατά την διάρκεια της νύκτας, το εύρος ταχυτήτων, τον παράγοντα F και τη μέγιστη ωριαία ταχύτητα.



Σχήμα 2.22: πίνακας δεδομένων του ανέμου

Όταν επιλέγεται η δεύτερη μέθοδος για την εισαγωγή στοιχείων οι πληροφορίες που απαιτούνται από τον πίνακα είναι οι εξής: οι μηνιαίες τιμές ταχύτητας κατά την διάρκεια της νύκτας (m/s), το εύρος ταχυτήτων (m/s), ο παράγοντας F, η μέγιστη ωριαία ταχύτητα., η παράμετρος κλίμακας κατανομής Weibull (Form Factor), και ο παράγοντας αυτοσυσχέτισης (σχήμα 2.22).

### Μηνιαία μέση ταχύτητα κατά την διάρκεια της νύκτας (m/s):

Αυτό δείχνει τη μέση ταχύτητα του αέρα κατά την διάρκεια της νύκτας για ένα οποιοδήποτε μήνα δεδομένου ότι οι ταχύτητες του αέρα είναι υψηλότερες κατά τη διάρκεια της ημέρας για τις περισσότερες θέσεις στον πλανήτη.

### Εύρος (m/s):

Είναι η διαφορά μεταξύ της μέσης ταχύτητας κατά την διάρκεια της νύκτας και της μέγιστης ωριαίας ταχύτητας.

### Ωρες μέγιστης ταχύτητας:

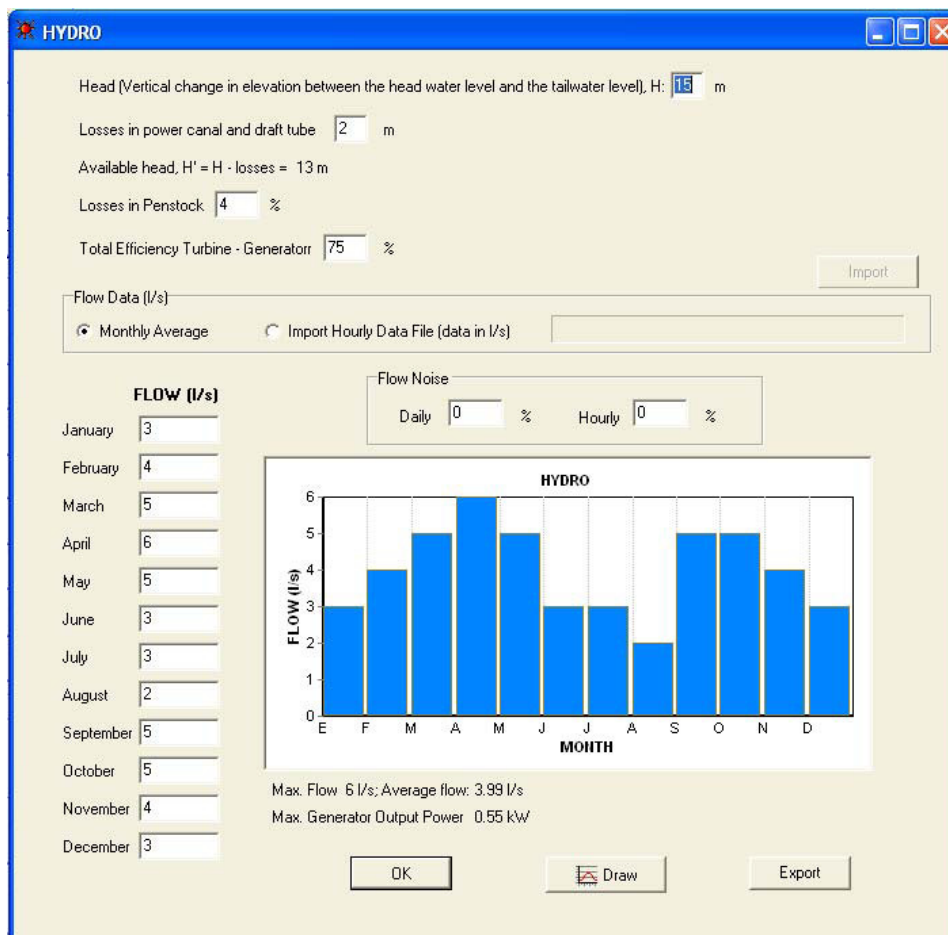
Ο χρόνος της ημέρας στον οποίο καταγράφεται η μέγιστη ταχύτητα.

## Παράγοντας F:

Ο παράγοντας αυτός είναι αντιστρόφως ανάλογος προς τον αριθμό ωρών του ήλιου, και ανάλογος προς τη μέση ταχύτητα. Αυτή η παράμετρος παρέχει μια ένδειξη της εξάρτησης των ταχυτήτων αέρα στο χρόνο της ημέρας στον οποίο οι ταχύτητες μετρώνται.

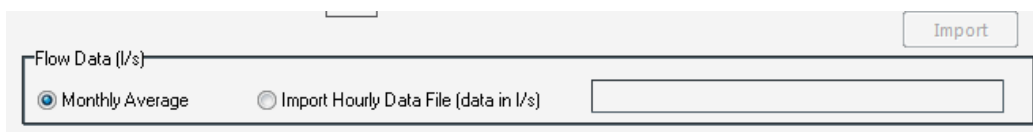
### 2.4.3 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ

Το παράθυρο επεξεργασίας δεδομένων του υδρολογικού δυναμικού δίνεται στο σχήμα 2.23:



Σχήμα 2.23:πίνακας επεξεργασίας δεδομένων υδρολογικού δυναμικού

Παρακάτω είναι διαθέσιμες οι επιλογές για την εισαγωγή στοιχείων



Τα ακόλουθα στοιχεία πρέπει να εισαχθούν:

Head H: Υψος υδατόπτωσης (m)

Losses in power canal and draft tube: Υψος απωλειών (m)

Available head  $H' = H - \text{losses}$ : Γεωδατικό ύψος υδατόπτωσης (m)

Losses in Penstock: Απώλειες στον αγωγό προσαγωγής (m)

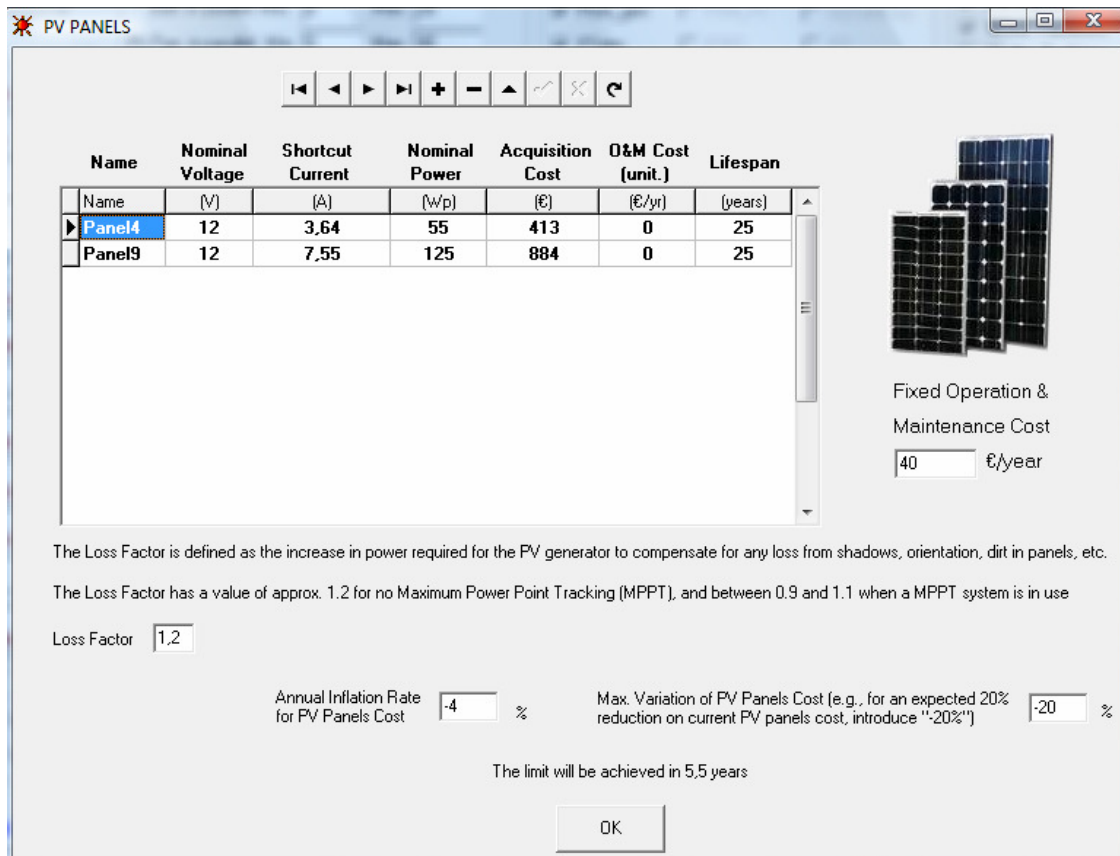
Total Efficiency Turbine –Generator: Συνολική απόδοση υδροστρόβιλου

Στην συνέχεια μπορεί να εισαχθεί το ημερήσιο και ωριαίο ποσοστό του θορύβου (Noise) .

## 2.5 ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ

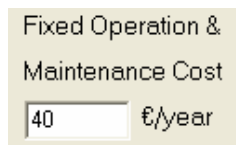
### 2.5.1 Φ/Β ΠΑΝΕΛΑ

Οι παράμετροι που παρουσιάζονται περιλαμβάνουν: το όνομα, την ονομαστική τάση (V), το ρεύμα βραχυκύκλωσης(A), την ονομαστική ισχύ (Wp), τις δαπάνες εγκατάστασης (€), το κόστος λειτουργίας και συντήρησης (O&M Cost) ανά χρόνο, και τον αναμενόμενο χρόνο ζωής τις οποίες μπορεί και να εισάγει ο χρήστης. Το παράθυρο επεξεργασίας δεδομένων των Φ/Β δίνεται στο σχήμα 2.24:

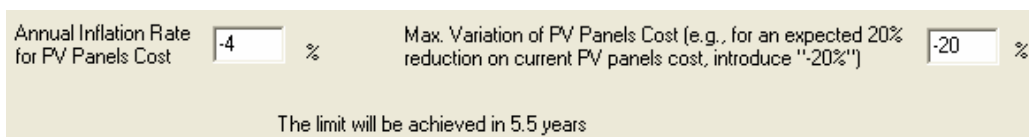


Σχήμα 2.24:πίνακας επεξεργασίας δεδομένων των φωτοβολταϊκών

Ο χρήστης πρέπει να εισάγει τις σταθερές δαπάνες για τη λειτουργία και τη συντήρηση των επιτροπών οι οποίες είναι ανεξάρτητες από τον αριθμό και τον τύπο των συστοιχιών Φ/Β που χρησιμοποιούνται .



Επίσης πρέπει να εισαχθεί ο συντελεστής απωλειών, ο οποίος θεωρείται ότι έχει τη τιμή 1,2. Τα οικονομικά στοιχεία της Φ/Β εγκατάστασης δίνονται στο σχήμα 2.25.



Σχήμα 2.25:οικονομικά στοιχεία Φ/Β εγκατάστασης

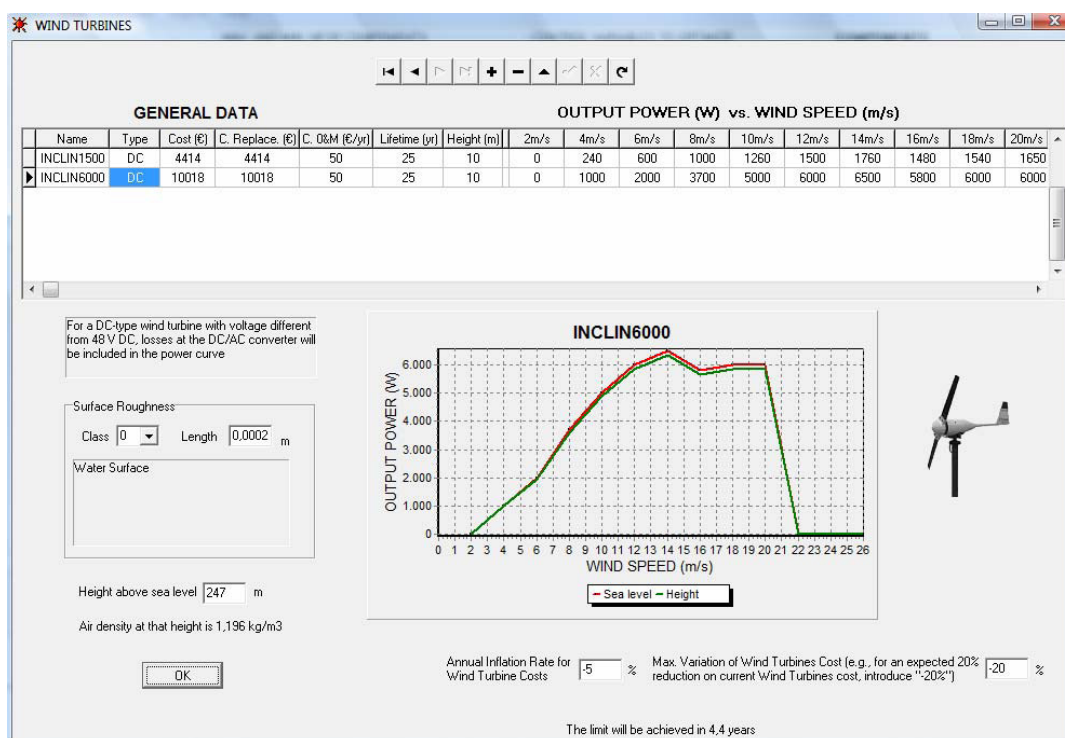


**Annual Inflation Rate for PV Panels Cost:** Πληθωρισμός ειδικά για τα φωτοβολταϊκά.

**Max Variation of PV Panels Cost:** Προσδοκώμενη μείωση που θα υπάρξει στην τωρινή τιμή των φωτοβολταϊκών πλασιών.

## 2.5.2 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

Το παράθυρο επιλογών των Α/Γ δίνεται στο σχήμα 2.26:



Σχήμα 2.26:πίνακας επεξεργασίας δεδομένων ανεμογεννητριών

Τα στοιχεία είναι διαθέσιμα σε έναν πίνακα για κάθε τύπο ανεμογεννήτριας. Οι παράμετροι που παρουσιάζονται περιλαμβάνουν: το όνομα, τον τύπο ρεύματος (συνεχές ή εναλλασσόμενο), τις δαπάνες εγκατάστασης (€), το κόστος αντικατάστασης(€) ,το κόστος λειτουργίας και συντήρησης για κάθε γεννήτρια (€/year),τον αναμενόμενο χρόνο ζωής ( years ), και το ύψος της πλήμνης (m).

Στα υπόλοιπα στοιχεία πρέπει να εισαχθούν οι τιμές της παραγόμενης ισχύος σε συνάρτηση με την ταχύτητα από τις οποίες προκύπτει η καμπύλη ισχύος που απεικονίζεται στο παραπάνω διάγραμμα.

Επιπλέον πρέπει να επιλεγούν η κατηγορία και το ύψος τραχύτητας επιφάνειας όπως και το ύψος επάνω από τη στάθμη θάλασσας πρέπει να επιλεχθούν.

Surface Roughness

Class  Length  m

Surface of the water

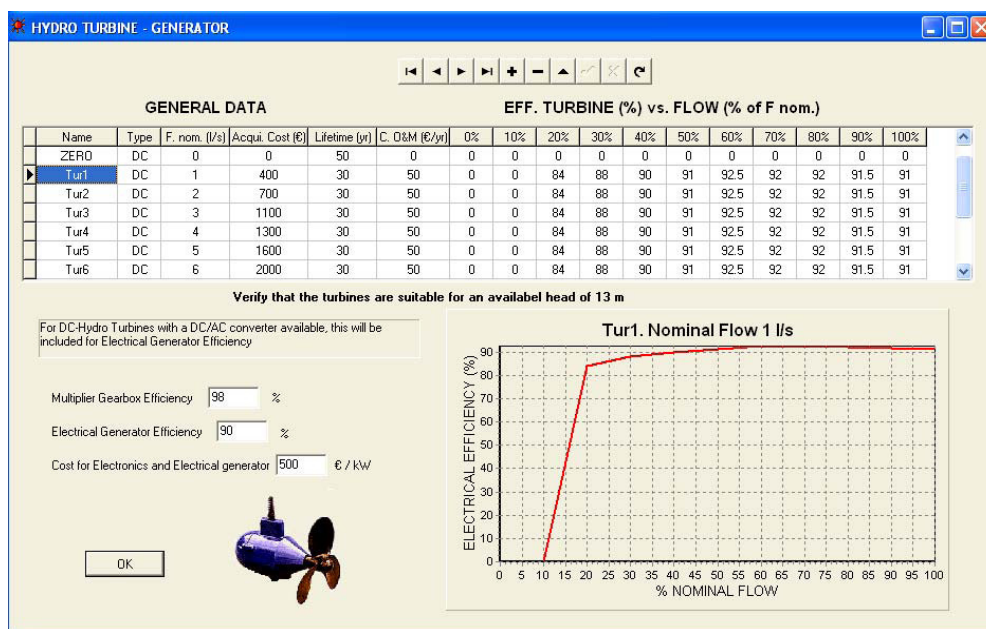
Height above sea level  m

Air density at that height is 1,196 kg/m<sup>3</sup>

Σχήμα 2.27:επιλογή κατηγορίας τραχύτητας και ύψους τοποθεσίας Α/Γ

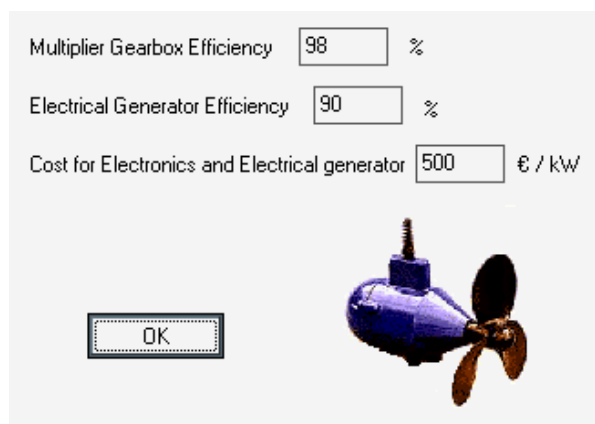
### 2.5.3 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΙΟΣ

Τα γενικά στοιχεία για κάθε στρόβιλο περιλαμβάνουν: το όνομα, το τύπο τάσης (συνεχές ή εναλλασσόμενο ρεύμα),την ονομαστική ροή σε (l/sec), το κόστος εγκατάστασης (€), τη διάρκεια ζωής (year) και τις δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης (€/year) για κάθε στρόβιλο. Στα υπόλοιπα στοιχεία πρέπει να εισαχθούν οι τιμές τις αποδοτικότητας των στροβίλων σε συνάρτηση με την ονομαστική ροή από τις οποίες προκύπτει η καμπύλη που απεικονίζεται στο παραπάνω διάγραμμα.




Σχήμα 2.28:πίνακας επεξεργασίας δεδομένων υδροστροβίλου

Τα στοιχεία που πρέπει να εισαχθούν έξω από το διάγραμμα είναι η απόδοση του κιβωτίου ταχυτήτων, η απόδοση των ηλεκτρικών γεννητριών, καθώς επίσης και το κόστος τους (€/kW)(Σχήμα 2.29).



Multiplier Gearbox Efficiency	<input type="text" value="98"/>	%
Electrical Generator Efficiency	<input type="text" value="90"/>	%
Cost for Electronics and Electrical generator	<input type="text" value="500"/>	€/kW

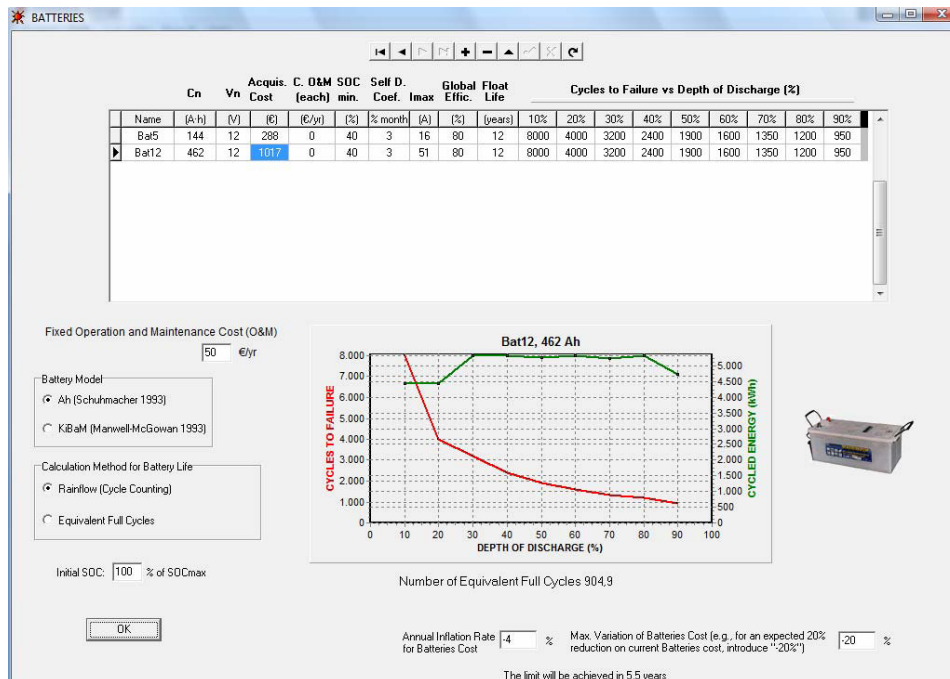
OK



Σχήμα 2.29:πίνακας εισαγωγής στοιχείων του υδροστρόβιλου

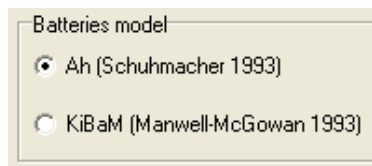
#### 2.5.4 ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ (ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ)

Τα γενικά στοιχεία για κάθε μπαταρία περιλαμβάνουν: το όνομα, την ονομαστική χωρητικότητα  $C_n$  σε (Ah), την ονομαστική τάση ( $V_n$ ), το κόστος εγκατάστασης (€), το κόστος λειτουργίας και συντήρησης (O&M Cost) ανά χρόνο (€/year) για κάθε μονάδα, την ελάχιστη κατάσταση της φόρτισης που επιτρέπεται για τις μπαταρίες  $SOC_{min}(\%)$ , το συντελεστή αυτό-εκφόρτισης(% ανά μήνα), τη μέγιστη ένταση ρεύματος ( $I_{max}$ ) για κάθε μπαταρία, τη ολική αποδοτικότητα (%) και τη διάρκεια ζωής (year).Μια εκτίμηση πρέπει να πραγματοποιηθεί για τις σταθερές δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης (€/year) για την μπαταρία που τίθεται ως στόχος να χρησιμοποιηθεί από το υβριδικό σύστημα. Το παράθυρο ρυθμίσεων των συσσωρευτών δίνεται στο σχήμα 2.30.



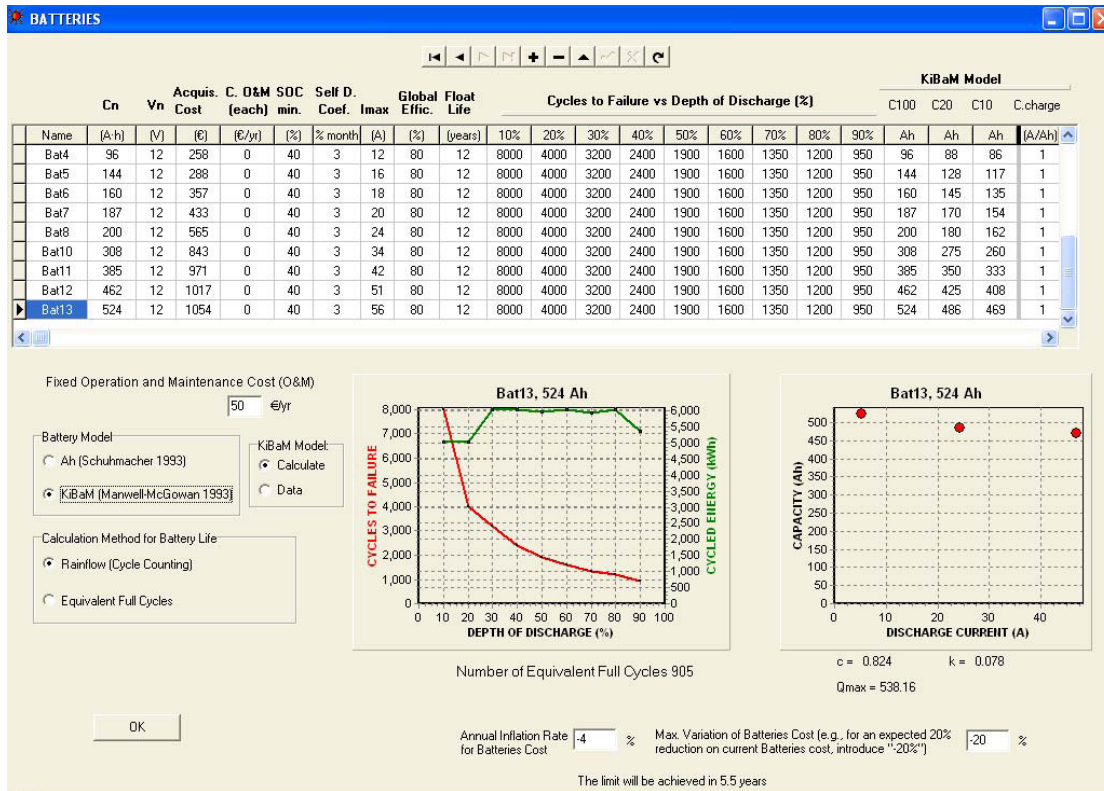
Σχήμα 2.30:πινάκας επεξεργασίας δεδομένων συσσωρευτών (μπαταριών)

Τα διαθέσιμα μοντέλα συσσωρευτών είναι τα εξής: το πρότυπο Ah (Schumacher 1993) και το πρότυπο KiBaM (Manwell-McGowan 1993):



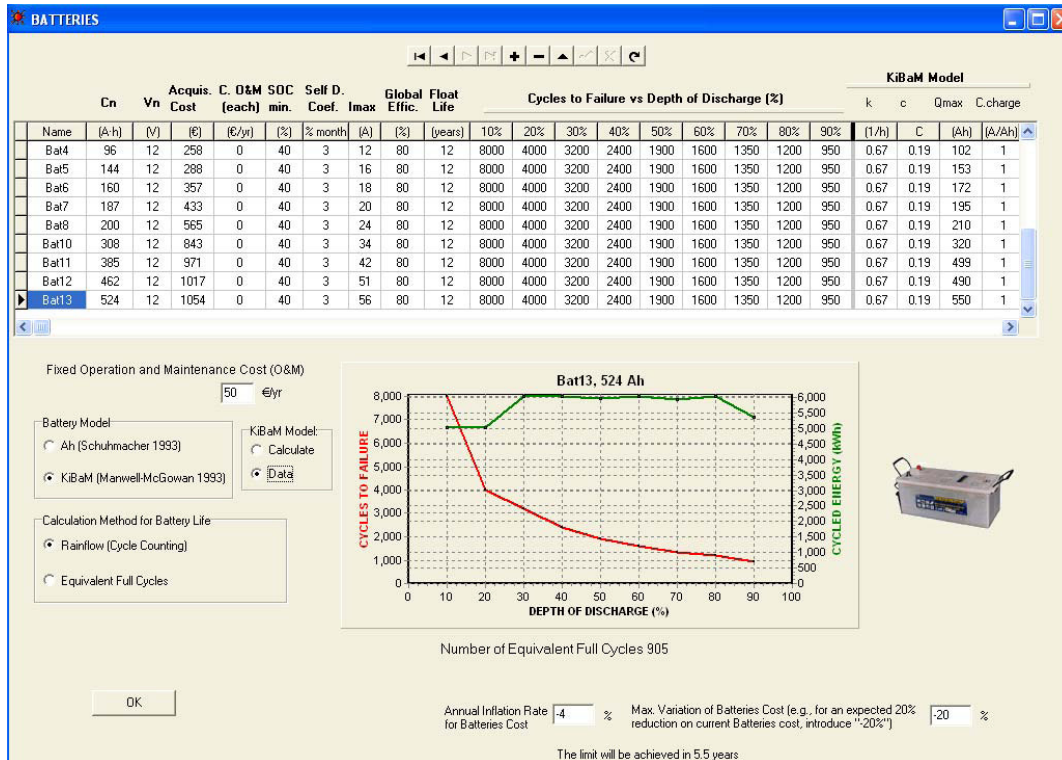
Όταν το πρότυπο KiBaM επιλέγεται, ο πίνακας διευρύνει, και το διάγραμμα στενεύει για να προσαρμόσει μια πρόσθετη γραφική παράσταση. Με την επιλογή "Calculate" το HOGA λαμβάνει παραμέτρους που απαιτούνται για το πρότυπο, ή "Data", για την άμεση εισαγωγή στοιχείων.

Όταν επιλεγεί το "calculate" νέες στήλες επιδεικνύονται: C100, C20, και C10 οι οποίες αντιστοιχούν στην χωρητική ικανότητα των μπαταριών για 100, 20 και 10 ώρες σε κατάσταση εκφόρτισης. Όσο περισσότερο χρειάζεται μια μπαταρία να εκφορτίσει τόσο περισσότερη ενέργεια παρέχεται, έτσι C100 > C20 > C10. Το HOGA υπολογίζει την ένταση εκφόρτισης (A) για C100, C20, και C10 η οποία εμφανίζεται στο διάγραμμα σε συνάρτηση με την χωρητικότητα των μπαταριών. Οι πρόσθετοι παράμετροι παρουσιάζονται κάτω από το διάγραμμα από το c, το K, και το Qmax. Η τελευταία στήλη δείχνει το μέγιστο ρυθμό φόρτισης της μπαταρίας (σε A/Ah), ή το μέγιστο συντελεστή φόρτισης της μπαταρίας.



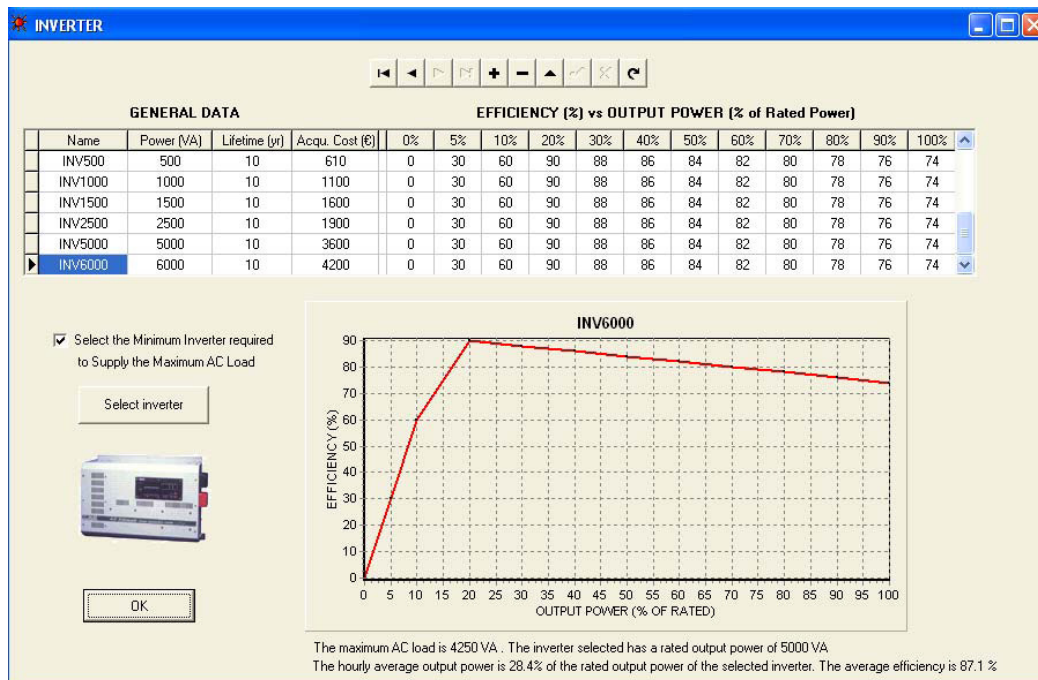
Σχήμα 2.31:πίνακας δεδομένων των συσσωρευτών (α)

Όταν επιλεγεί το πρότυπο "Data", η πρόσθετη γραφική παράσταση δεν επιδεικνύεται πλέον και τα C100, C20, και C10 αντικαθίστανται από τις στήλες  $k$  (1/h),  $c$ , και  $Q_{max}$  (Ah). Αυτές οι τιμές πρέπει να παρασχεθούν από τον κατασκευαστή μπαταριών. Η αρχική φόρτιση των συσσωρευτών πρέπει να εισαχθεί πριν την έναρξη της προσομοίωσης (initial SOC).



Σχήμα 2.32: πίνακας δεδομένων των συσσωρευτών (β)

## 2.5.5 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ



Σχήμα 2.33: πίνακας επεξεργασίας δεδομένων αντιστροφέα

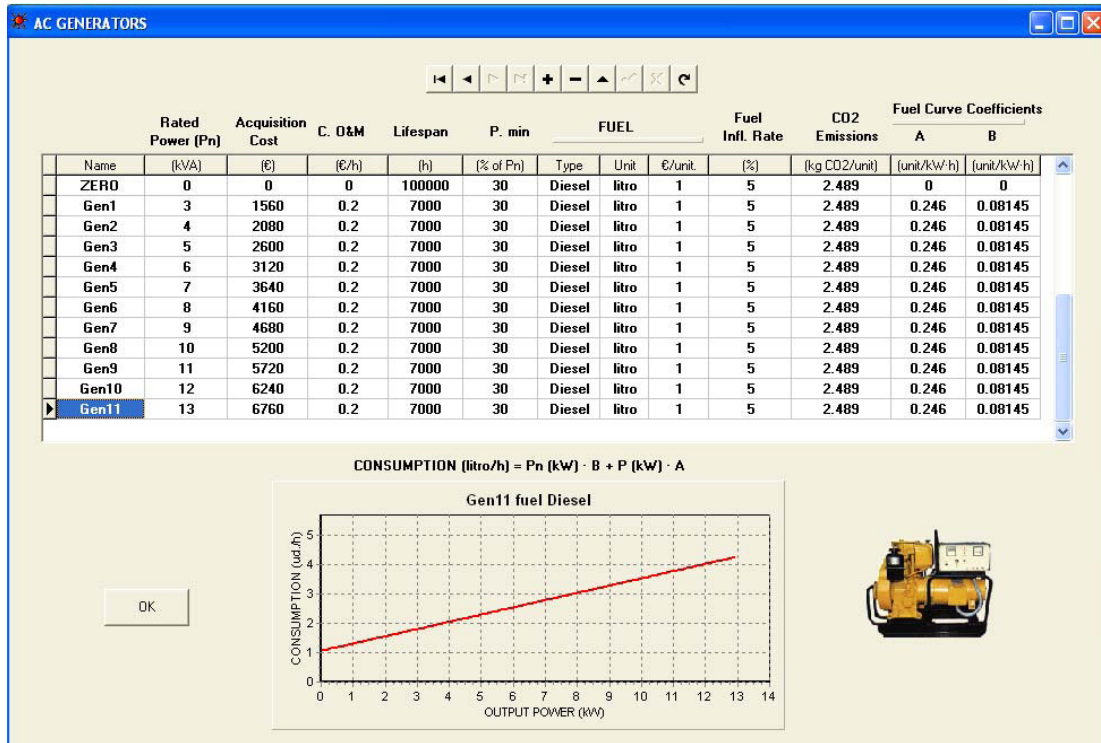
Οι αναστροφείς είναι μετατροπείς συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο. Αντίθετα από άλλο βοηθητικό εξοπλισμό, οι αναστροφείς είναι ένα πολύ σημαντικό συστατικό με μεγάλη επιρροή στη λειτουργία και το συνολικό κόστος του συστήματος. Τα γενικά στοιχεία για κάθε αναστροφήα περιλαμβάνουν: το όνομα, τη φαινόμενη ισχύ(VA), τη διάρκεια ζωής (years), και το κόστος εγκατάστασης (€). Στα πρόσθετα στοιχεία πρέπει να εισαχθούν η αποδοτικότητα (%) σε συνάρτηση με την ισχύ εξόδου του αναστροφήα. Αυτές οι τιμές επιδεικνύονται στο διάγραμμα απόδοσης. Η επιλογή προεπιλογής ελέγχεται στο πλαίσιο διαλόγου «select inverter», έτσι το HOGA θα επιλέξει τον αναστροφήα που απαιτείται για την παροχή του μέγιστου φορτίου εναλλασσόμενου ρεύματος. Αυτό απαιτεί τον αναστροφήα με τη χαμηλότερη φαινόμενη ισχύ, προκειμένου να παρασχεθεί η μέγιστη ισχύ που απαιτείται από το φορτίο εναλλασσόμενου ρεύματος. Όταν η επιλογή προεπιλογής δεν ελέγχεται, το HOGA θα δοκιμάσει τους διαφορετικούς συνδυασμούς αναστροφήων προκειμένου να υπολογιστεί η καλύτερη λύση για το υβριδικό σύστημα. Όλοι οι αναστροφείς θα θεωρηθούν έπειτα ισοδύναμοι με αποτέλεσμα να έχουμε έναν βαθμό μη ικανοποιηθέντος φορτίου.

## 2.5.6 ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Τα στοιχεία που πρέπει να εισαχθούν για κάθε γεννήτρια είναι τα εξής: το όνομα, η φαινόμενη ισχύς (kVA), οι δαπάνες εγκατάστασης (€), το κόστος λειτουργίας και συντήρησης (€/h), η αναμενόμενη διάρκεια ζωής (h), η ελάχιστη προτεινόμενη ισχύ, ο τύπος καυσίμων (οι παρεχόμενες επιλογές περιλαμβάνουν: diesel, βενζίνη, αιθανόλη, μεθανόλη, φυσικό αέριο, προπάνιο, βιοαέριο, ή H<sub>2</sub>), οι μονάδες καυσίμων (λίτρο, m<sup>3</sup>,kg), η τιμή των καυσίμων (€/unit), το ετήσιο ποσοστό πληθωρισμού για τις τιμές καυσίμων (%), τις εκπομπές του CO<sub>2</sub> (kgCO<sub>2</sub>/unit) και τις παραμέτρους κατανάλωσης: A (unit/kWh), και B (unit/kWh), σύμφωνα με τον τύπο:

$$\text{CONSUMPTION (l/h)} = Pn \text{ (kW)} B + P \text{ (kW)} A$$

Το διάγραμμα στο σχήμα 2.34 παρουσιάζει την κατανάλωση καυσίμων για τη γεννήτρια που επιλέγεται σε συνάρτηση με την παραγόμενη ισχύ.



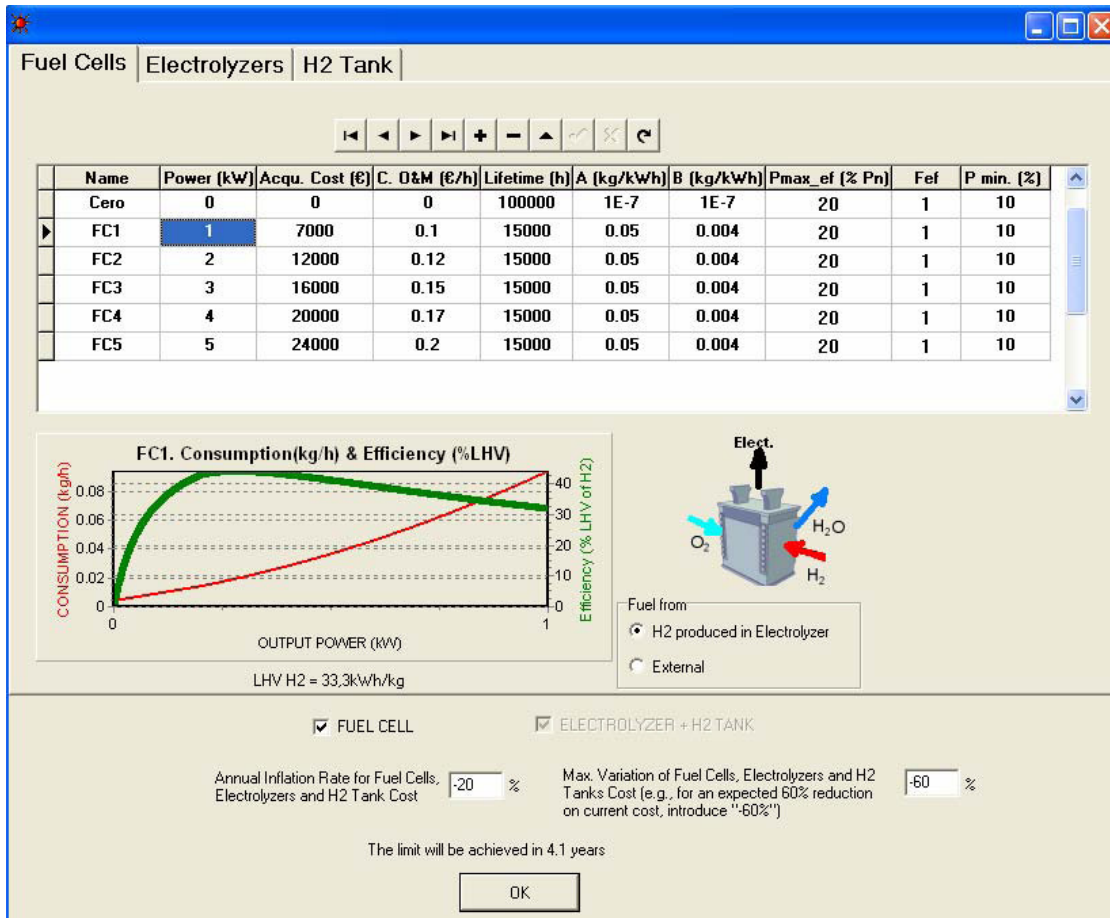
Σχήμα 2.34: πίνακας επεξεργασίας δεδομένων γεννήτριας εναλλασσόμενου ρεύματος

### 2.5.7 Κυψέλες καυσίμου - Μονάδα ηλεκτρόλυσης:

Τα πρόσθετα στοιχεία που πρέπει να εισαχθούν για τον πίνακα κυψέλες καυσίμων είναι τα εξής: το όνομα, το ονομαστική ισχύς (kW), οι δαπάνες εγκατάστασης (€), το κόστος λειτουργίας και συντήρησης (€/h), η διάρκεια ζωής (h), τις παραμέτρους κατανάλωσης A (kg/kWh) και B (kg/kWh), το P<sub>max\_ef</sub> (%), το F<sub>ef</sub> και την ελάχιστη ισχύ λειτουργίας (ως ποσοστό της ονομαστικής ισχύς) P<sub>min</sub> (%). Το διάγραμμα παρουσιάζει την κατανάλωση καυσίμου για τη κυψέλη καυσίμου που επιλέγεται, την αποδοτικότητα και την παραγόμενη ισχύ. Τρεις ετικέτες επιδεικνύονται, παρέχοντας την πρόσβαση στα κύτταρα καυσίμων, μονάδες ηλεκτρόλυσης, και τη δεξαμενή H<sub>2</sub>. Δύο επιλογές είναι διαθέσιμες:

- Η κυψέλη καυσίμου να χρησιμοποιεί H<sub>2</sub> που παράγεται στη μονάδα ηλεκτρόλυσης (και αποθηκεύεται στη δεξαμενή H<sub>2</sub>)
- Η κυψέλη καυσίμου να χρησιμοποιεί εξωτερικό H<sub>2</sub>.

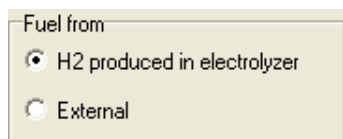




Σχήμα 2.35:πίνακας επεξεργασίας δεδομένων H2 (F.C-μονάδα ηλεκτρόλυσης)

### 2.5.7.1 ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ:

Η αρχική οθόνη που επιδεικνύεται αντιστοιχεί στη κυψέλη καυσίμου. Η προκαθορισμένη επιλογή είναι "H2 που παράγεται στη μονάδα ηλεκτρόλυσης". Αυτό σημαίνει ότι μια μονάδα ηλεκτρόλυσης είναι σε λειτουργία για να παραγάγει H2 και να το αποθηκεύει στη δεξαμενή H2 που χρησιμοποιείται από τη κυψέλη καυσίμου για να παραγάγει την ηλεκτρική ενέργεια όταν χρειάζεται.



Σχήμα 2.36:επιλογές προέλευσης καυσίμου

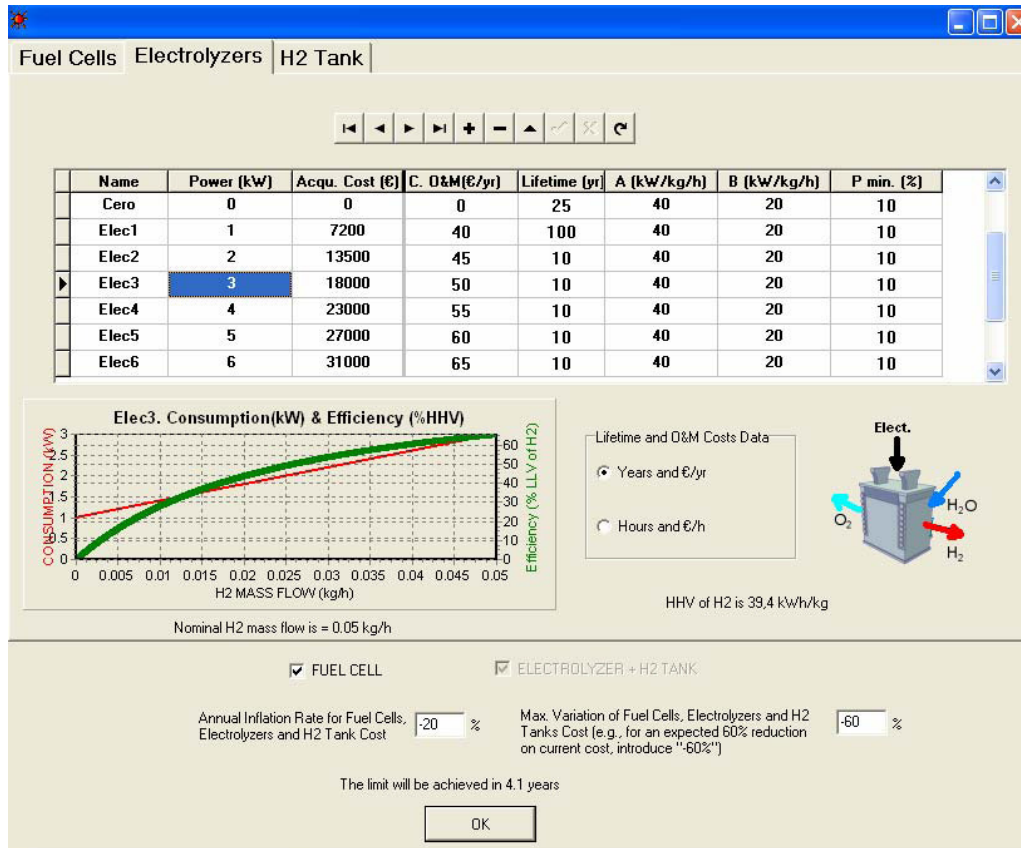
Εάν η προέλευση των καυσίμων είναι "εξωτερική", καμία μονάδα ηλεκτρόλυσης δεν απαιτείται. Σε αυτήν την περίπτωση, η χρήση μιας δεξαμενής θα εξαρτηθεί από τον προμηθευτή καυσίμων και το παράθυρο ελέγχου επιτρέπεται για να περιλάβει ή να αποκλείσει την χρήση μονάδα ηλεκτρόλυσης καθώς και δεξαμενής H<sub>2</sub>. Εάν τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται από τη κυψέλη καυσίμου αγοράζονται εξωτερικά, και τα πρόσθετα στοιχεία πρέπει να εισαχθούν, όπως παρουσιάζεται παρακάτω: την τιμή καυσίμου (€/kg), το ετήσιο ποσοστό πληθωρισμού για τις τιμές καυσίμων (%) και τις εκπομπές του CO<sub>2</sub> (kg CO<sub>2</sub>/kg Fuel).

Fuel Price:	<input type="text" value="10"/>	€/kg
Fuel Price Inflation Rate:	<input type="text" value="2"/>	%
Fuel CO <sub>2</sub> emissions	<input type="text" value="0"/>	kgCO <sub>2</sub> /kgFuel

Σχήμα 2.37:οικονομικά δεδομένα καυσίμου κυψελών καυσίμου

### 2.5.7.2 ΜΟΝΑΔΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΗΣ:

Τα στοιχεία πρέπει να εισαχθούν είναι τα εξής: το όνομα, η ονομαστική ισχύ (kW), οι δαπάνες εγκατάστασης (€),το κόστος λειτουργίας και συντήρησης (€/year), η διάρκεια ζωής (years), τις παραμέτρους κατανάλωσης A (kW/kg/h) και B (kW/kg/h), και την ελάχιστη ισχύ λειτουργίας (ως ποσοστό της ονομαστικής ισχύς). Το διάγραμμα παρουσιάζει την κατανάλωση ισχύος(kW), την αποδοτικότητα (%) και μάζα ροής του H<sub>2</sub>(kg/h). Επιπλέον, επιλέγονται τις κατάλληλες μονάδες για τις αναμενόμενες δαπάνες, τη διάρκειας ζωής και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης (years και €/year, ή hours και €/h).



Σχήμα 2.38:πίνακας επεξεργασίας δεδομένων μονάδας ηλεκτρόλυσης

### 2.5.7.3 ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ H<sub>2</sub>:

Τα στοιχεία που πρέπει να εισαχθούν για τις δεξαμενές H<sub>2</sub> είναι τα εξής: οι δαπάνες εγκατάστασης (€/kg H<sub>2</sub> max capacity), το μέγιστο επιτρεπόμενο μέγεθος (kg), τα kg H<sub>2</sub> στην έναρξη της προσομοίωσης, η διάρκεια ζωής (years) και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης (€/year).

FUEL CELLS | ELECTROLYZERS | H2 TANK

Acquisition Cost: 1000 € / kg H2 max. capacity

Max. Size Allowed: 1 kg

kg at the beginning of the simulation: 0 kg H2

Lifetime: 25 years

Operation and Maintenance Cost: 10 € / year

FUEL CELL  ELECTROLYZER + H2 TANK

Annual Inflation Rate for Fuel Cells, Electrolyzers and H2 Tank Cost: -20 %

Max. Variation of Fuel Cells, Electrolyzers and H2 Tanks Cost (e.g., for an expected 60% reduction on current cost, introduce "-60%") -60 %

The limit will be achieved in 4.1 years

OK

Σχήμα 2.39:πίνακας επεξεργασίας δεδομένων δεξαμενής αποθήκευσης H2

## 2.5.8 ΥΠΟΛΟΙΠΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ:

Οι ρυθμίσεις για τα λοιπά εξαρτήματα δείχνονται στο σχήμα 2.40

OTHERS (AUXILIARY COMPONENTS)

**BATT. CHARGE REGULATOR 48 V**

Acquisition Cost (€): 30 + 4 \* Ireg,max (A)

Lifetime: 10 years

**RECTIFIER (AC/DC CONV.) 230 Vac / 48 Vdc**

Acquisition Cost (€): 100 + 200 \* Pnom (kW)

Lifetime: 10 years

Efficiency: 90 %

OK

Σχήμα 2.40:πίνακας επεξεργασίας δεδομένων υπόλοιπων εξαρτημάτων

Ο βοηθητικός εξοπλισμός περιλαμβάνει τους ρυθμιστές μπαταριών και τους μετατροπείς εναλλασσόμενου/συνεχούς ρεύματος (ανορθωτές). Οι ρυθμιστές μπαταριών έχουν μια διάρκεια ζωής περίπου 10 ετών, ανεξάρτητα από το μέγεθός τους. Οι δαπάνες εγκατάστασης (€) προκύπτουν ως αποτέλεσμα της μέγιστης τάσης, με μια σταθερή ανεξάρτητη τιμή, και μια πρόσθετη παράμετρο, η οποία πολλαπλασιάζεται με την αξία της μέγιστης τάσης. .

Το κόστος των μετατροπέων εναλλασσόμενου /συνεχούς ρεύματος μπορεί να διαμορφωθεί για να εξαρτηθεί γραμμικά από την ισχύ (μέσα σε ορισμένα όρια). Η αποδοτικότητά τους είναι συνήθως πολύ υψηλή (περίπου 90 %), με μικρή εξάρτηση από την ισχύ.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

# ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΜΙΑΣ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΟΛΥΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

### 3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το λογισμικό HOGA χρησιμοποιήθηκε για την εκτέλεση τριών βελτιστοποιήσεων μιας αντικειμενικής συνάρτησης (MONO OBJECTIVE) και δυο πολυαντικειμενικών βελτιστοποιήσεων (MULTI-OBJECTIVE). Παρακάτω αναφέρονται λεπτομερώς τα στοιχεία και οι τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε σενάριο.

#### 3.1.1 Σενάρια

Τα σενάρια που αναπτύσσονται στην παρούσα διατριβή είναι τα ακόλουθα:

Σενάριο 1 (βελτιστοποίηση μιας αντικειμενικής συνάρτησης):

Οι τεχνολογίες και τα χαρακτηριστικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής:

- Ζήτηση φορτίου : 10 kWh
- Φωτοβολταϊκά
- Ανεμογεννήτριες
- Συσσωρευτές
- Μετατροπείς (DC/AC)
- Γεννήτριες εναλλασσομένου ρεύματος

Σενάριο 2 (βελτιστοποίηση μιας αντικειμενικής συνάρτησης):

Οι τεχνολογίες και τα χαρακτηριστικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής:

- Ζήτηση φορτίου : 10 kWh
- Φωτοβολταϊκά
- Ανεμογεννήτριες

- Μετατροπείς (DC/AC)
- Κυψέλες καυσίμου (H<sub>2</sub>)
- Δεξαμενές H<sub>2</sub>
- Μονάδες ηλεκτρόλυσης
- Γεννήτριες εναλλασσομένου ρεύματος

Σενάριο 3 (βελτιστοποίηση μιας αντικειμενικής συνάρτησης):

Οι τεχνολογίες και τα χαρακτηριστικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής:

- Ζήτηση φορτίου : kWh
- Υδροηλεκτρικά
- Μετατροπείς (DC/AC)
- Γεννήτριες εναλλασσομένου ρεύματος

Σενάριο 4 (πολυαντικειμενική βελτιστοποίηση):

Οι τεχνολογίες και τα χαρακτηριστικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής:

- Ζήτηση φορτίου : 10 kWh
- Φωτοβολταϊκά
- Μετατροπείς (DC/AC)
- Συσσωρευτές
- Γεννήτριες εναλλασσομένου ρεύματος

Σενάριο 5 (πολυαντικειμενική βελτιστοποίηση):

Οι τεχνολογίες και τα χαρακτηριστικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής:

- Ζήτηση φορτίου : 10 kWh
- Φωτοβολταϊκά

- Μετατροπείς (DC/AC)
- Συσσωρευτές
- Γεννήτριες εναλλασσομένου ρεύματος

### 3.2: Ανάλυση σεναρίου 1

Για την κάλυψη ζήτησης φορτίου 10 kW χρησιμοποιήθηκε ένα υβριδικό συστήματα παραγωγής ενέργειας που περιλαμβάνει τις εξής τεχνολογίες: φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, συσσωρευτές ,μετατροπείς (DC/AC) και γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος.

Τα χαρακτηριστικά των συσσωρευτών δείχνονται στον Πίνακα 3.1.

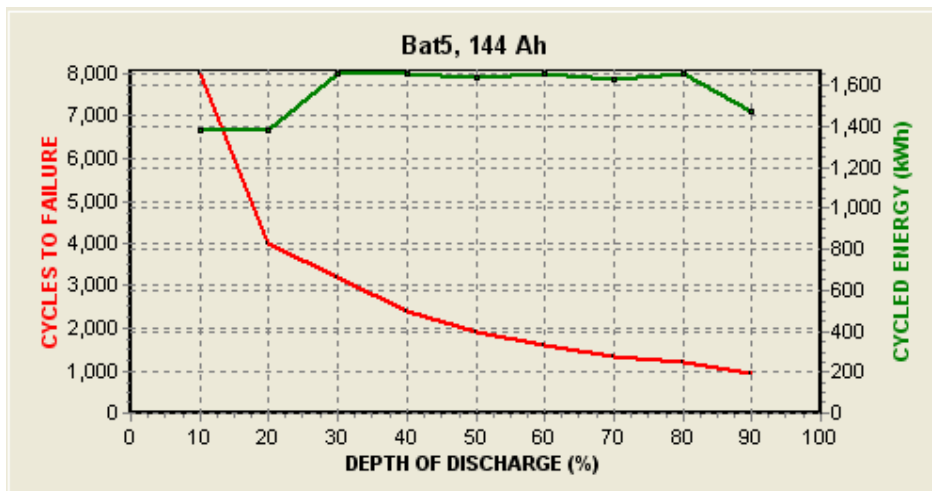
**Πίνακας 3.1:**χαρακτηριστικά συσσωρευτών

Όνομα	Ονομαστική χωρητικότητα Cn σε (Ah)	Ονομαστική τάση (V)	Κόστος εγκατάστασης (€)	Κόστος λειτουργίας και συντήρησης (€/yr) για κάθε συσσωρευτή	Ελάχιστη κατάσταση δαπάνης SOCmin(%)
Bat5	144	12	288	0	40
Bat12	462	12	1017	0	40

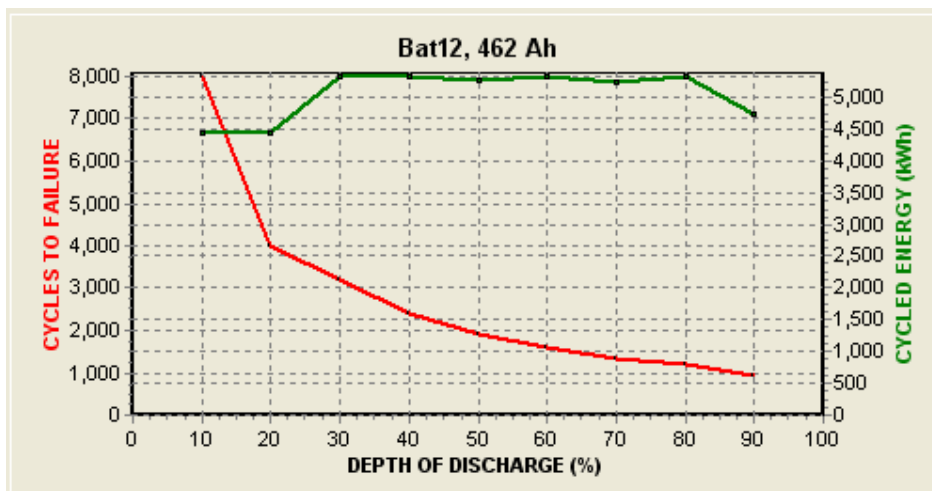
Όνομα	Συντελεστής αυτό-εκφόρτισης (% ανά μήνα)	Μέγιστη ένταση (A)	Ολική αποδοτικότητα (%)	Διάρκεια ζωής (years)
Bat5	3	16	80	12
Bat12	3	51	80	12

Παρακάτω δίνονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες κύκλων λειτουργίας των συσσωρευτών συναρτήσει του βάθους εκφόρτισης:





Σχήμα3.1: χαρακτηριστική καμπύλη Bat5

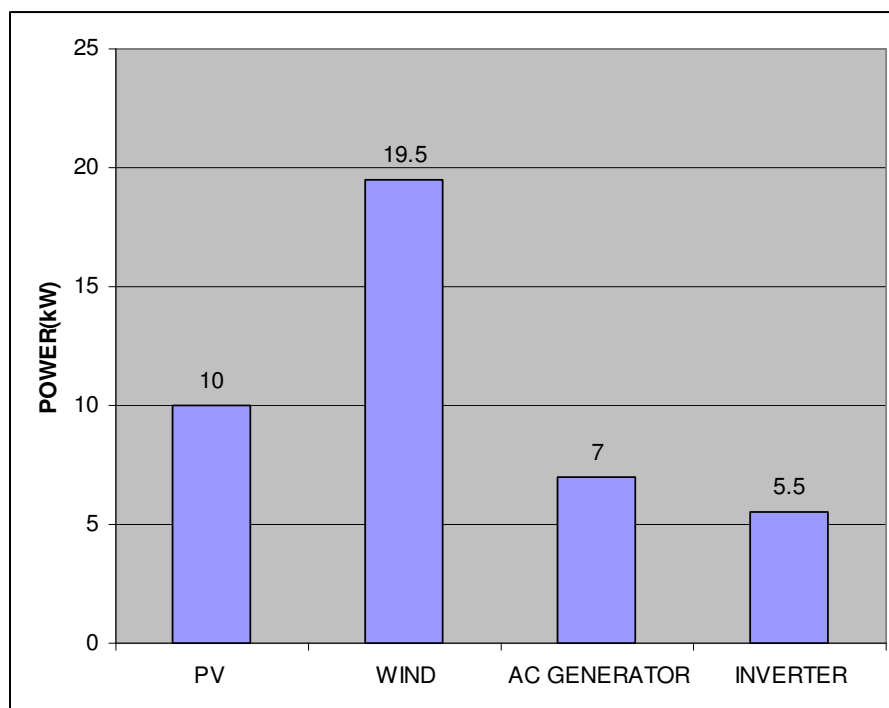


Σχήμα3.2: χαρακτηριστική καμπύλη Bat12

Ο αριθμός τεχνολογιών που απαρτίζουν το υβριδικό σύστημα είναι:

- 4 φωτοβολταϊκά τοποθετημένα στη σειρά \* 20 φωτοβολταϊκά τοποθετημένα παράλληλα ονομαστική ισχύς 125 Wp που αποδίδει συνολική ισχύς 10 KWp.
- 4 συσσωρευτές τοποθετημένοι στη σειρά \*16 συσσωρευτές τοποθετημένοι παράλληλα ονομαστικής χωρητικότητας 144 Ah που αποδίδει συνολικής ενεργείας 110,5 KWh.
- 3 ανεμογεννήτριες συνεχούς ρεύματος που αποδίδει 6500W στα 14m/sec, συνολικής ισχύος 19,15 KW.
- γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος ονομαστικής ισχύος 7kVA
- μετατροπέας 5500 VA
- ρυθμιστής φόρτισης της μπαταρίας ,ένταση ρεύματος 377,4A

Το διάγραμμα παραγόμενης ισχύος από το υβριδικό σύστημα δίνεται στο σχήμα 3.3.



Σχήμα3.3: διάγραμμα παραγόμενης ισχύος

#### Στρατηγικές ελέγχου του υβριδικού συστήματος:

Το ελάχιστο σημείο κατάστασης φόρτισης των μπαταριών  $SOC_{min}$  είναι 40%. Αν κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές υπάρχει περίσσεια ενέργεια, η ενέργεια αυτή θα χρησιμοποιηθεί για την φόρτιση των συσσωρευτών. Αντιθέτως, αν η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές δεν επαρκεί για την κάλυψη του ζητούμενου φορτίου, είτε οι συσσωρευτές εκφορτίζονται παρέχοντας ενέργεια για την κάλυψη του φορτίου (με την υποστήριξη των γεννητριών εναλλασσόμενου ρεύματος αν η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια που μπορούν να προσφέρουν), είτε παράγεται από τις γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος αν το ζητούμενο φορτίο είναι μεγαλύτερο από την ελάχιστη ισχύ που μπορεί να παραχθεί από την γεννήτρια  $P_{min}$  (με την υποστήριξη των συσσωρευτών αν η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια που μπορούν να προσφέρουν).

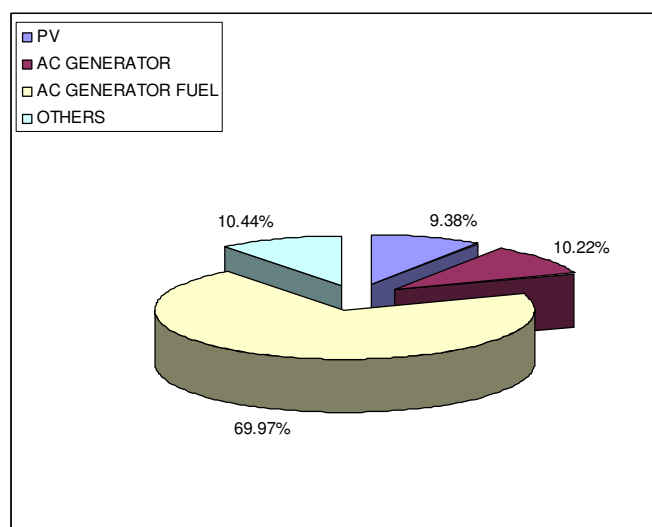
### Κόστος εγκατάστασης του υβριδικού συστήματος: 130152€

Κόστος λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του (25χρόνια) δίνεται στον Πίνακα 3.2:

**Πίνακας 3.2:** κόστος εγκατάστασης υβριδικού συστήματος

Συνολικές δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης συστήματος	769671 €
Δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης φωτοβολταϊκών	70720 €
Δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης συσσωρευτών	30733 €
Δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης ανεμογεννητριών	32996 €
Δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης για τις γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος	77085€
Δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης βοηθητικών συστημάτων	3597 €
Δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης μετατροπέα	11408 €
Κόστος καυσίμου για τις γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος	527738€

Το διάγραμμα κόστους λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος δίνεται στο Σχήμα 3.4:



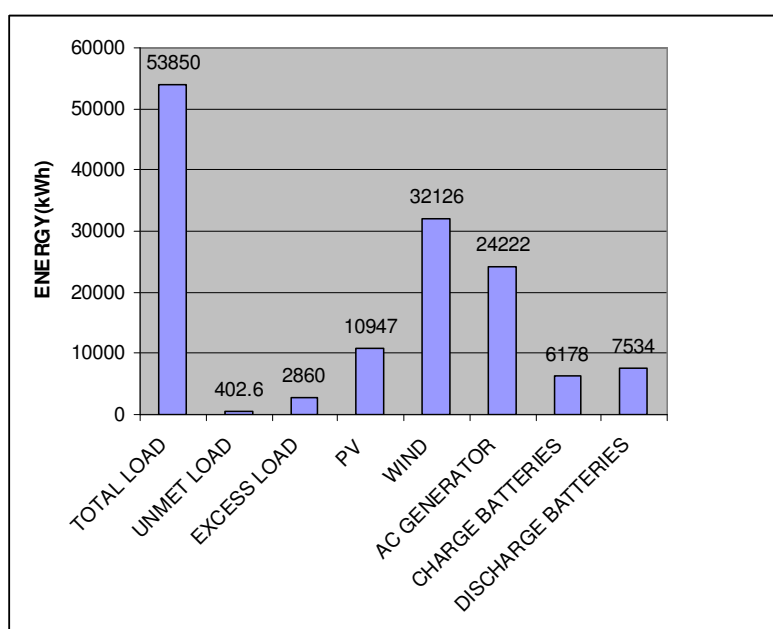
**Σχήμα3.4:** διάγραμμα κόστους λειτουργίας και συντήρησης

Η κατανομή ενέργειας από το σύστημα ανά χρόνο δίνεται στον Πίνακα 3.3:

**Πίνακας 3.3:**κατανομής ενέργειας του συστήματος ανά χρόνο

Συνολική παραγόμενη ενέργεια	53850 kWh/yr
Μη εξυπηρετούμενο φορτίο	402.6kWh/yr
Περίσσεια ενέργειας	2860 kWh/yr
Παραγόμενη ενέργεια φωτοβολταϊκών	10947 kWh/yr
Παραγόμενη ενέργεια ανεμογεννητριών	32126 kWh/yr
Παραγόμενη ενέργεια γεννητριών εναλλασσόμενου ρεύματος	24222 kWh/yr
Ώρες λειτουργίας γεννητριών εναλλασσόμενου ρεύματος	6025 h/yr
Ενέργεια φόρτισης συσσωρευτών	6178 kWh/yr
Ενέργεια εκφόρτισης συσσωρευτών	7534 kWh/yr
Διάρκεια ζωής συσσωρευτών	12 yrs
Εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα	23381 kg CO <sub>2</sub> /yr

Διάγραμμα κατανομής ενέργειας από το σύστημα ανά χρόνο δίνεται στο Σχήμα 3.5:



**Σχήμα3.5:** διάγραμμα κατανομής ενέργειας του συστήματος ανά χρόνο

Σχόλια-συμπεράσματα:

Στο διάγραμμα 3.3 παρατηρείται ότι μεγάλο μέρος της παραγόμενης ενέργειας προέρχεται από τις ανεμογεννήτριες, ενώ επίσης χρησιμοποιούνται μετατροπείς (DC/AC) και γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος που αποδίδουν την μέγιστη δυνατή ισχύ. Στο διάγραμμα κόστους λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος που δίνεται στο σχήμα 3.4 φαίνεται ότι το μεγαλύτερο κόστος παρουσιάζεται στο καύσιμο που χρησιμοποιείται από τη γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος. Στο διάγραμμα κατανομής ενέργειας από το σύστημα ανά χρόνο που δίνεται στο σχήμα 3.5 παρατηρείται μικρό ποσό μη εξυπηρετούμενο φορτίου λόγω της καλύτερης διαχείρισης του συστήματος με την χρήση των συσσωρευτών.

### 3.3: Ανάλυση σεναρίου 2

Για την κάλυψη ζήτησης φορτίου 10 kW χρησιμοποιήθηκε ένα υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας που περιλαμβάνει τις εξής τεχνολογίες: φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, μετατροπείς (DC / AC), κυψέλες καυσίμου (H<sub>2</sub>), δεξαμενές H<sub>2</sub>, μονάδες ηλεκτρόλυσης και γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος.

Τα χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών δείχνονται στον Πίνακα 3.4.

**Πίνακας 3.4:** χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών

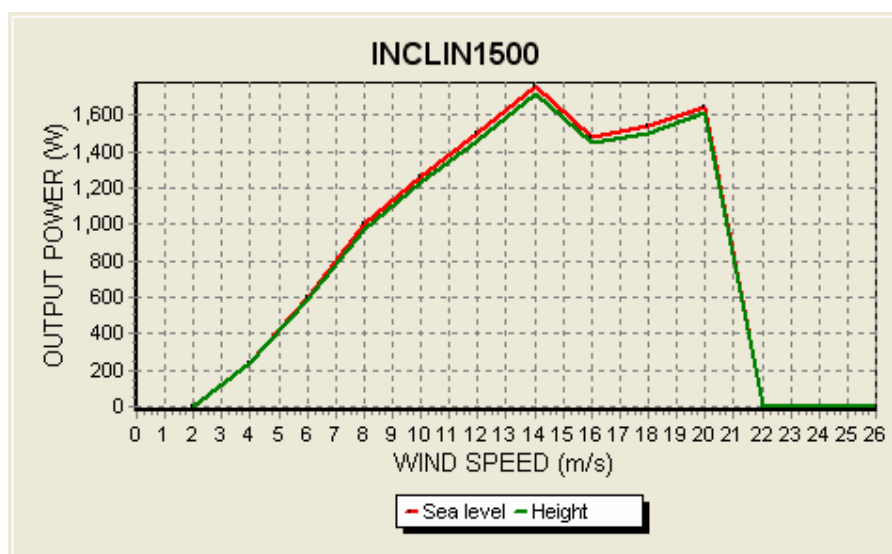
Όνομα	Ονομαστική τάση (V)	Ένταση ρεύματος(A)	Ονομαστική ισχύς (Wp)	Κόστος εγκατάστασης(€)	Κόστος λειτουργίας και συντήρησης (€/yr)	Διάρκεια ζωής (years)
Panel 4	12	3.64	55	413	0	25
Panel 9	12	7.55	125	884	0	25

Τα χαρακτηριστικά των ανεμογεννητριών δείχνονται στον Πίνακα 3.5.

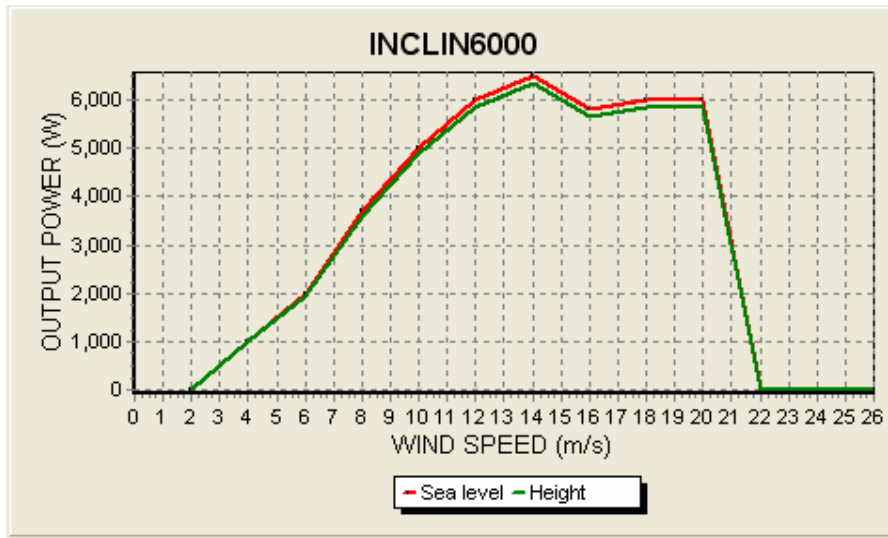
**Πίνακας 3.5:** χαρακτηριστικά ανεμογεννητριών

Όνομα	Τύπος	Κόστος εγκατάστασης(€)	Κόστος αντικατάστασης(€)	Κόστος λειτουργίας και συντήρησης (€/yr)	Διάρκεια ζωής (years)	Ύψος (m)
INCLIN1500	DC	4414	4414	50	25	10
INCLIN6000	DC	10018	10018	50	25	10

Παρακάτω δίνονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες χαρακτηριστικές καμπύλες της παραγόμενης ισχύς των ανεμογεννητριών συναρτήσει της ταχύτητας του άνεμου:



**Σχήμα3.6:** Καμπύλη Ισχύος INCLIN1500



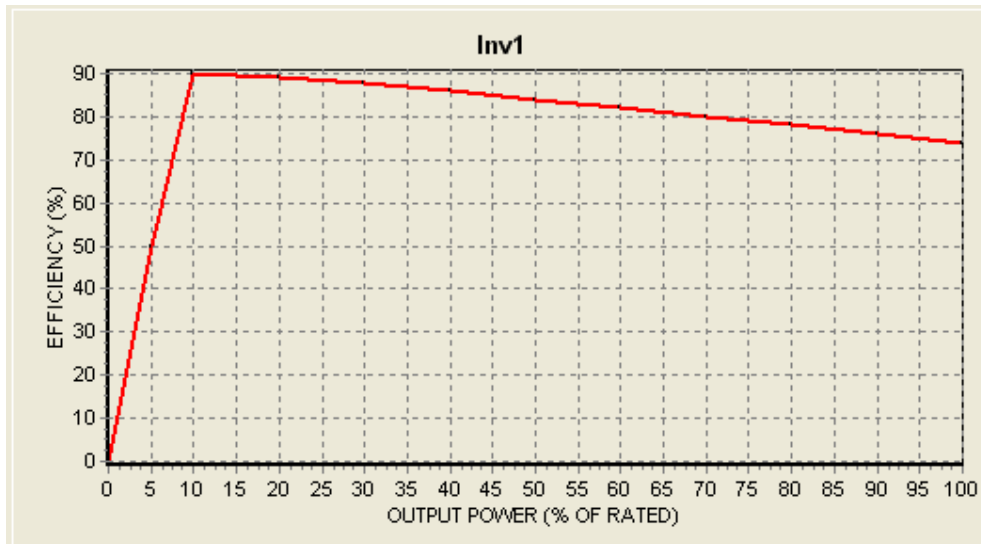
Σχήμα3.7: Καμπύλη Ισχύος INCLIN6000

Τα χαρακτηριστικά των μετατροπέων δείχνονται στον Πίνακα 3.6.

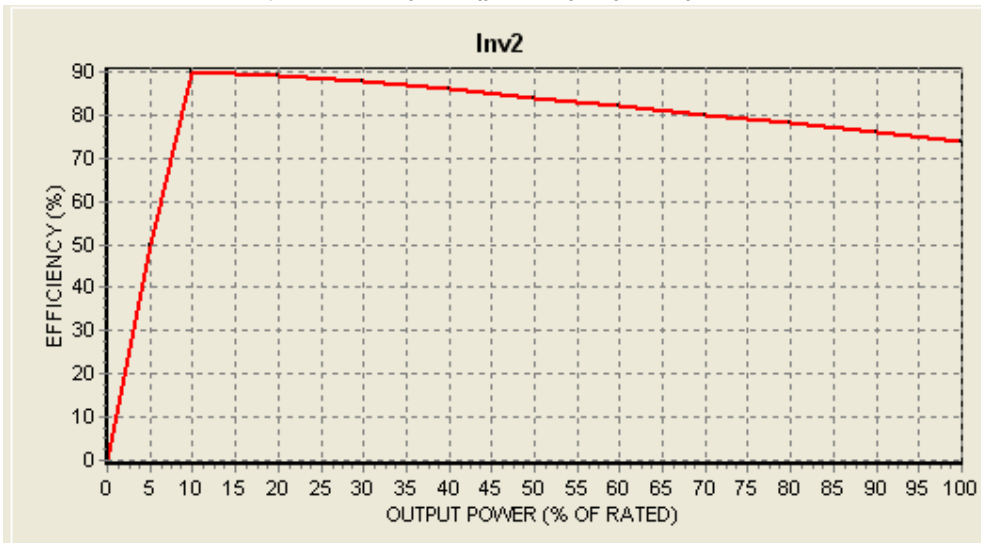
Πίνακας 3.6:χαρακτηριστικά μετατροπέων

Όνομα	Φαινόμενη δύναμη (VA)	Διάρκεια ζωής (years)	Κόστος εγκατάστασης (€)
Inv1	2200	10	2300
Inv2	3300	10	3200
Inv3	4500	10	4300
Inv4	5500	10	5200

Παρακάτω δίνονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες χαρακτηριστικές καμπύλες της αποδοτικότητας των μετατροπέων συναρτήσει της παραγόμενης ισχύος:

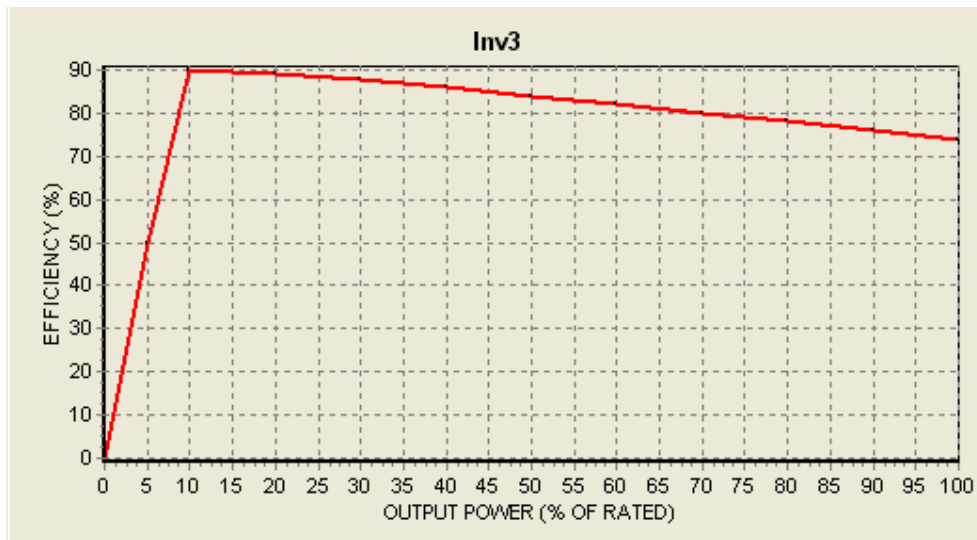


Σχήμα3.8: Χαρακτηριστική καμπύλη Inv1

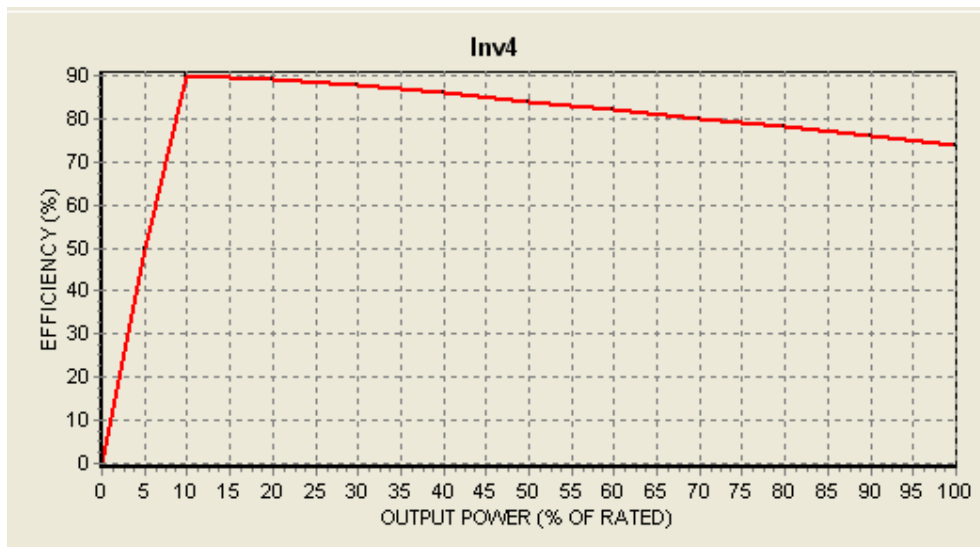


Σχήμα3.9: Χαρακτηριστική καμπύλη Inv2





Σχήμα3.10: Χαρακτηριστική καμπύλη Inv3



Σχήμα3.11: Χαρακτηριστική καμπύλη Inv4

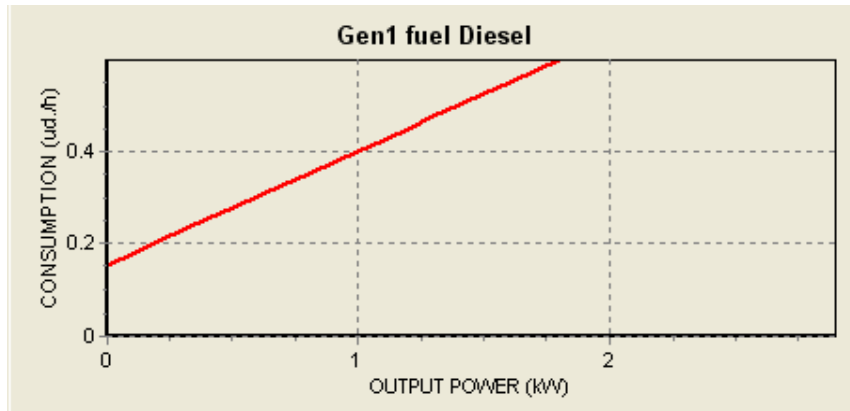
Τα χαρακτηριστικά των γεννητριών εναλλασσόμενου ρεύματος δείχνονται στον Πίνακα 3.7.

**Πίνακας 3.7:** χαρακτηριστικά γεννητριών εναλλασσόμενου ρεύματος

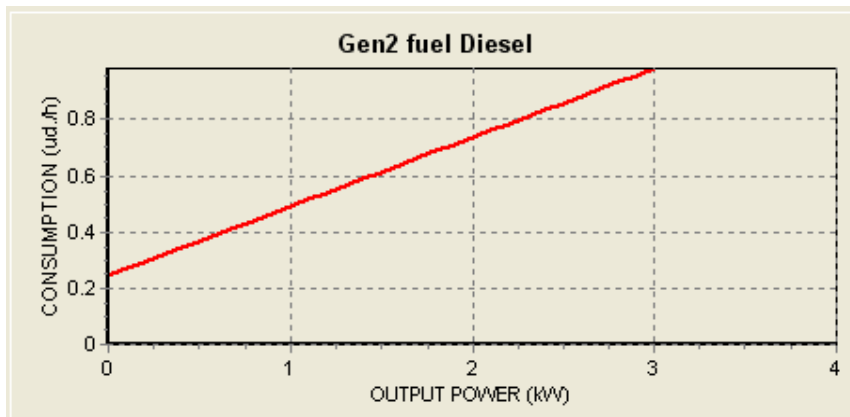
Όνομα	Φαινόμενη δύναμη Pn (kVA)	Κόστος εγκατάστασης (€)	Κόστος λειτουργίας και συντήρησης (€/h)	Διάρκεια ζωής (hours)	Ελάχιστη προτεινόμενη ισχύ (% Pn)	Τύπος καυσίμου
Gen1	1.9	1269	0.15	7000	30	Diesel
Gen2	3	1514	0.17	7000	30	Diesel
4	4	1900	0.18	7000	30	Diesel
Gen3	5.5	2314	0.22	7000	30	Diesel
Gen4	7	2800	0.24	7000	30	Diesel

Όνομα	Μονάδα όγκου των καυσίμων ( Lt )	Τιμή καυσίμου ανά μονάδα όγκου (€/Lt)	Ποσοστό πληθωρισμού για τις τιμές καυσίμων (%)	Εκπομπές CO2 (Kg CO2/Lt)	Παράμετρος κατανάλωσης : A (Lt/kWh)	Παράμετρος κατανάλωσης: B (Lt/kWh)
Gen1	liter	1	10	2.489	0.246	0.08145
Gen2	liter	1	10	2.489	0.246	0.08145
4	liter	1	10	2.489	0.246	0.08145
Gen3	liter	1	10	2.489	0.246	0.08145
Gen4	liter	1	10	2.489	0.246	0.08145

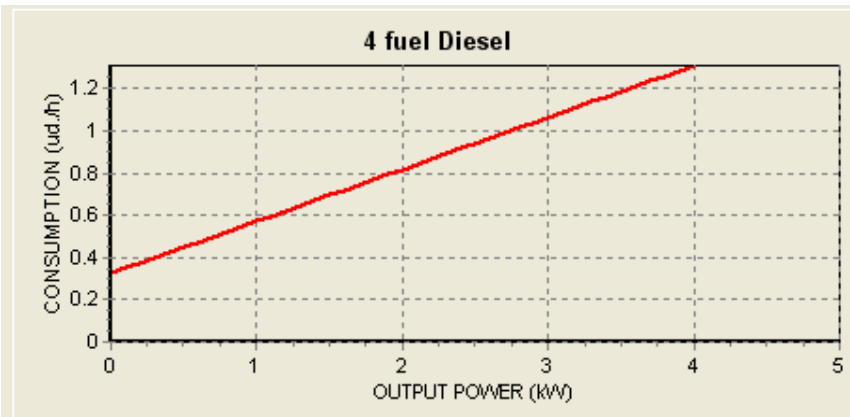
Παρακάτω δίνονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες χαρακτηριστικές καμπύλες της παραγόμενης ισχύος των γεννητριών εναλλασσόμενου ρεύματος συναρτήσει της κατανάλωσης καυσίμου:



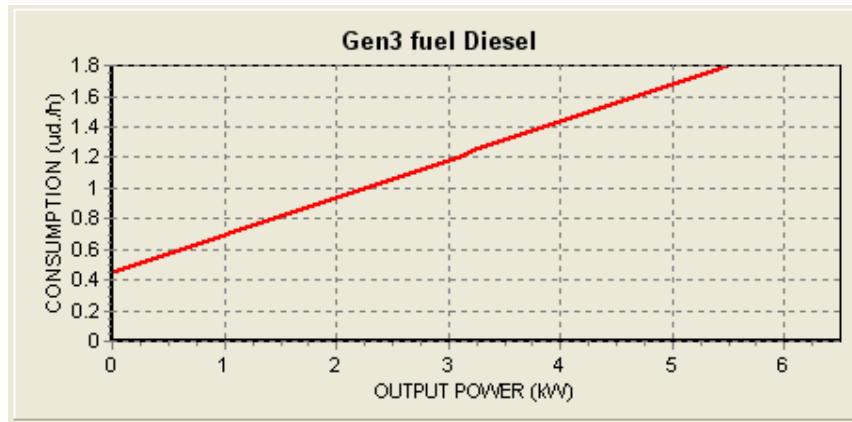
Σχήμα3.12: Χαρακτηριστική καμπόλη Gen1



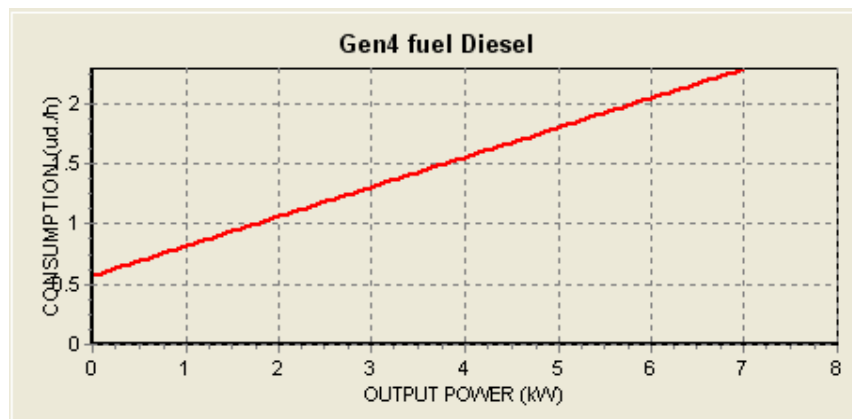
Σχήμα3.13: Χαρακτηριστική καμπόλη Gen2



Σχήμα3.14: Χαρακτηριστική καμπόλη 4



Σχήμα3.15: Χαρακτηριστική καμπύλη Gen3



Σχήμα3.16: Χαρακτηριστική καμπύλη Gen4

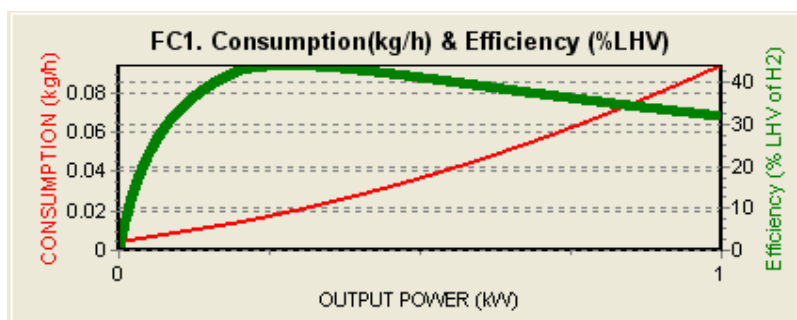
Τα χαρακτηριστικά των κυψελών καυσίμου δείχνονται στον Πίνακα 3.8.

**Πίνακας 3.8:** χαρακτηριστικά κυψελών καυσίμου

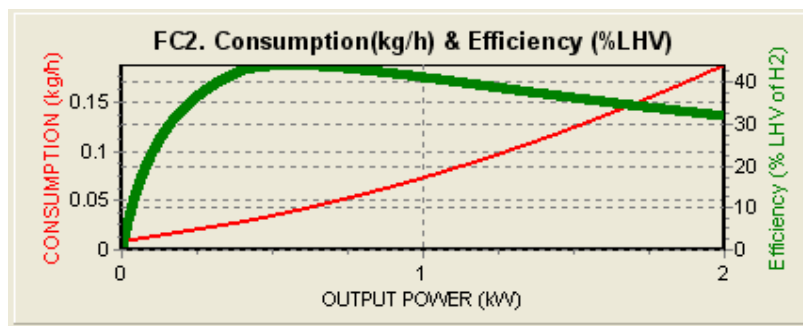
Όνομα	Ονομαστική ισχύς (kW)	Κόστος εγκατάστασης (€)	Κόστος λειτουργίας και συντήρησης (€/h)	Διάρκεια ζωής (hours)
FC1	1	7000	0.1	15000
FC2	2	12000	0.12	15000

Όνομα	Παράμετρος κατανάλωσης A (kg/kWh)	Παράμετρος κατανάλωσης B(kg/kWh)	Μέγιστη ισχύς λειτουργίας P <sub>max_ef</sub> (%)	Παράμετρος F <sub>ef</sub>	Ελάχιστη ισχύς λειτουργίας P <sub>min</sub> (%)
FC1	0.05	0.004	20	1	10
FC2	0.05	0.004	20	1	10

Παρακάτω δίνονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες της παραγόμενης ισχύος των κυψελών καυσίμου συναρτήσει της κατανάλωσης καυσίμου και της αποδοτικότητας των κυψελών καυσίμου.



**Σχήμα3.17:** Χαρακτηριστική καμπύλη FC1



Σχήμα3.18: Χαρακτηριστική καμπόλη FC2

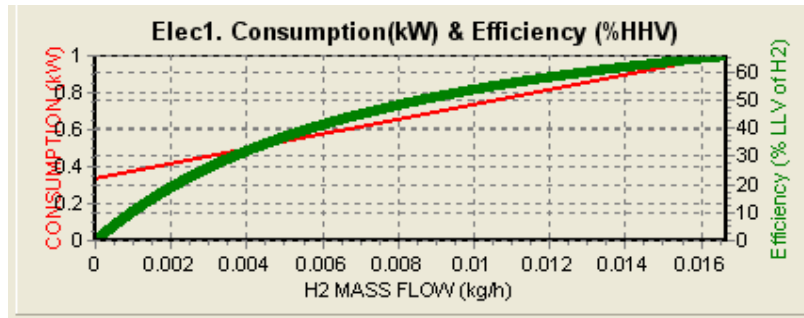
Τα χαρακτηριστικά μονάδων ηλεκτρόλυσης δείχνονται στον Πίνακα 3.9.

Πίνακας 3.9: χαρακτηριστικά μονάδων ηλεκτρόλυσης

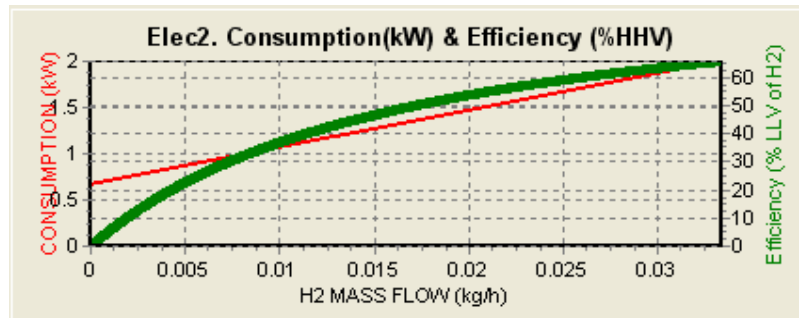
Όνομα	Ονομαστική ισχύ (kW)	Κόστος εγκατάστασης (€)	Κόστος λειτουργίας και συντήρησης (€/yr)	Διάρκεια ζωής (years)
Elec1	1	7200	40	100
Elec2	2	13500	45	10
Elec3	3	18000	50	10

Όνομα	Παράμετρος κατανάλωσης (kW/kg/h)	A	Παράμετρος κατανάλωσης B (kW/kg/h)	Ελάχιστη ισχύς λειτουργίας P <sub>min</sub> (%)
Elec1	40		20	10
Elec2	40		20	10
Elec3	40		20	10

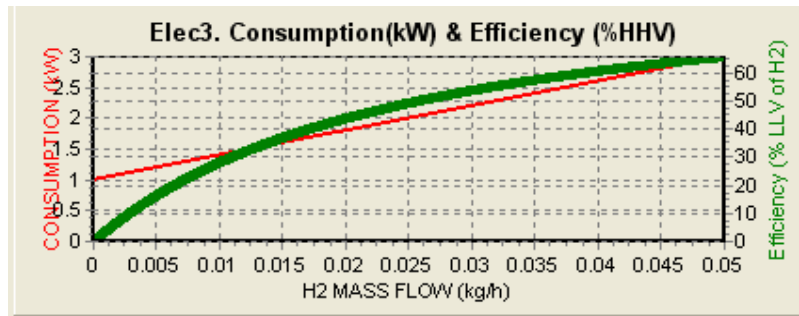
Παρακάτω δίνονται οι χαρακτηριστικές καμπόλες της παραγόμενης μάζας H<sub>2</sub> συναρτήσει της κατανάλωσης ισχύος και της αποδοτικότητας των μονάδων ηλεκτρόλυσης.



Σχήμα3.19: Χαρακτηριστική καμπύλη Elec1



Σχήμα3.20: Χαρακτηριστική καμπύλη Elec2



Σχήμα3.21: Χαρακτηριστική καμπύλη E1

Τα χαρακτηριστικά των δεξαμενών H<sub>2</sub> δείχνονται στον Πίνακα 3.10.

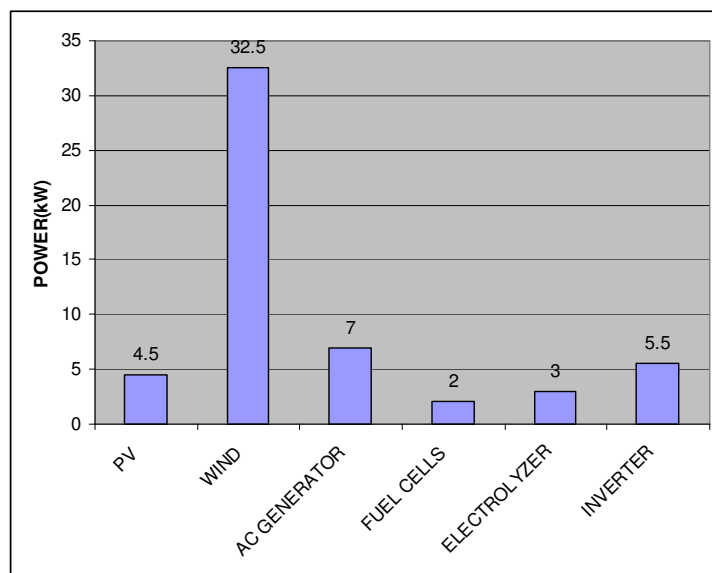
Πίνακας 3.10: χαρακτηριστικά δεξαμενών H

Κόστος εγκατάστασης (€/kg H <sub>2</sub> max capacity)	Μέγιστος επιτρεπόμενος όγκος (kg)	Όγκος στην έναρξη της προσομοίωσης(kg H <sub>2</sub> )	Διάρκεια ζωής (years)	Κόστος λειτουργίας και συντήρησης (€/yr)
1000	10	0	25	500

Ο αριθμός τεχνολογιών που απαρτίζουν το υβριδικό σύστημα είναι:

- 4 φωτοβολταϊκά τοποθετημένα στη σειρά \* 9 φωτοβολταϊκά τοποθετημένα παράλληλα  
ονομαστική ισχύς 125 Wp που αποδίδει συνολική ισχύς 4,5KWp.
- 5 ανεμογεννήτριες συνεχούς ρεύματος που αποδίδει 6500W στα 14m/sec, συνολικής ισχύος 32,5 KW.
- Γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος ονομαστικής ισχύος 7 kVA
- Κυψέλες καυσίμου ονομαστική ισχύος 2 kW
- Μονάδες ηλεκτρόλυσης ονομαστική ισχύος 3 kW
- Δεξαμενές H<sub>2</sub> χωρητικότητας 1,730387 kg
- Μετατροπέας 5500 VA

Το διάγραμμα παραγόμενης ισχύος από το υβριδικό σύστημα δίνεται στο Σχήμα 3.22:



**Σχήμα3.22:** Διάγραμμα παραγόμενης ισχύος από το υβριδικό σύστημα

### Στρατηγικές ελέγχου του υβριδικού συστήματος:

Αν κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές υπάρχει περίσσεια ενέργεια, οι μονάδες ηλεκτρόλυσης τίθενται σε λειτουργία και παράγουν H<sub>2</sub>. Αντιθέτως, αν η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές δεν επαρκεί για την κάλυψη του ζητούμενου φορτίου η ενέργεια παράγεται από τις κυψέλες καυσίμου.

**Κόστος εγκατάστασης του υβριδικού συστήματος: 79868 €**

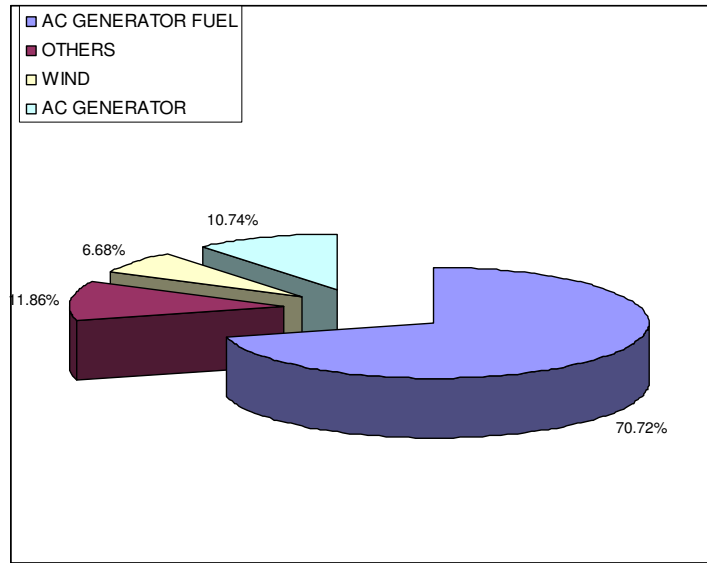


Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του (25 χρόνια) δείχνονται στον Πίνακα 3.11.:

**Πίνακας 3.11:** κόστος εγκατάστασης υβριδικού συστήματος

Συνολικές δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης συστήματος	811147 €
Δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης φωτοβολταϊκών	39648 €
Δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης ανεμογεννητριών	32996 €
Δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης για τις γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος	105065 €
Δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης βοηθητικών συστημάτων	285 €
Δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης μετατροπέα	11408 €
Κόστος καυσίμου για τις γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος	703588 €

Το διάγραμμα κόστους λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος δίνεται στο Σχήμα 3.23:



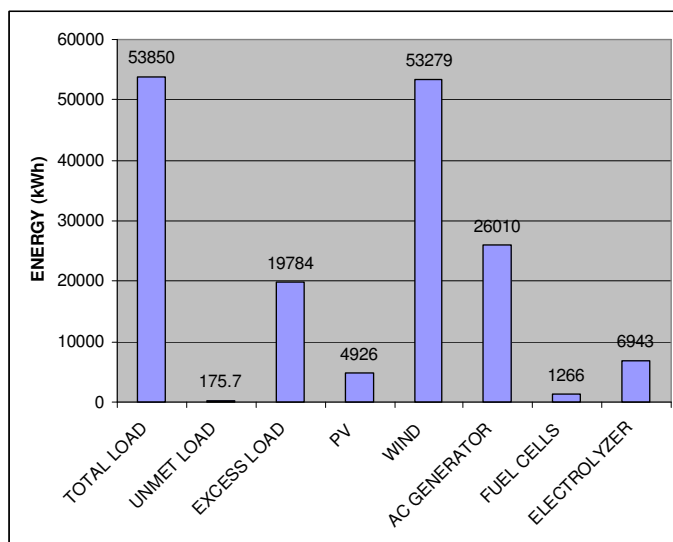
**Σχήμα3.23:** διάγραμμα κόστους λειτουργίας και συντήρησης

Η κατανομή ενέργειας από το σύστημα ανά χρόνο δείχνονται στον Πίνακα 3.12.:

**Πίνακας 3.12:**κατανομής ενέργειας του συστήματος ανά χρόνο

Συνολική παραγόμενη ενέργεια	53850 kWh/yr
Μη εξυπηρετούμενο φορτίο	196,6 kWh/yr
Περίσσεια ενέργειας	10400 kWh/yr
Παραγόμενη ενέργεια φωτοβολταϊκών	6333 kWh/yr
Παραγόμενη ενέργεια ανεμογεννητριών	32089 kWh/yr
Παραγόμενη ενέργεια γεννητριών εναλλασσόμενου ρεύματος	31852 kWh/yr
Ώρες λειτουργίας γεννητριών εναλλασσόμενου ρεύματος	8223 h/yr
Διάρκεια ζωής συσσωρευτών	12 yrs
Εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα	31172 kg CO <sub>2</sub> /yr

Το διάγραμμα κατανομής ενέργειας από το σύστημα ανά χρόνο δίνεται στο Σχήμα 3.24:



Σχήμα3.24: διάγραμμα κατανομής ενέργειας του συστήματος ανά χρόνο

Σχόλια-συμπεράσματα:

Στο διάγραμμα 3.22 παρατηρείται ότι μεγάλο μέρος της παραγόμενης ενέργειας προέρχεται από τις ανεμογεννήτριες, επίσης χρησιμοποιούνται μετατροπείς (DC/AC) και γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος που αποδίδουν την μέγιστη δυνατή ισχύ σε αντίθεση με τα φωτοβολταϊκά, τις κυψέλες καυσίμου (H<sub>2</sub>) και τις μονάδες ηλεκτρόλυσης που συμμετάσχουν λιγότερο. Στο διάγραμμα κόστους λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος που δίνεται στο σχήμα 3.23 φαίνεται ότι το μεγαλύτερο κόστος παρουσιάζεται στο καύσιμο που χρησιμοποιείται από τη γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος. Στο διάγραμμα κατανομής ενέργειας από το σύστημα ανά χρόνο που δίνεται στο σχήμα 3.24 παρατηρείται μεγάλο ποσό περισσευόμενου φορτίου λόγω του μεγάλου αριθμού των ανεμογεννητριών και της απουσίας συσσωρευτών για τη καλύτερη διαχείριση της ενέργειας του συστήματος.

### 3.4: Ανάλυση σεναρίου 3

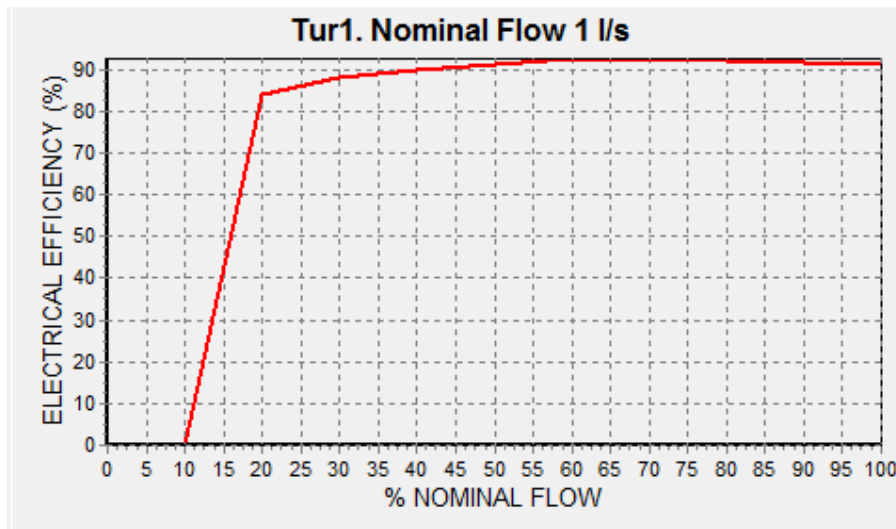
Για την κάλυψη ζήτησης φορτίου kW χρησιμοποιήθηκε ένα υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας που περιλαμβάνει τις εξής τεχνολογίες: υδροηλεκτρικά, μετατροπείς (DC / AC ) και γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος. Το ύψος της υδατόπτωσης είναι 15 m και το γεωδαιτικό ύψος της υδατόπτωσης είναι 13m.

Τα χαρακτηριστικά υδροστρόβιλων δείχνονται στον Πίνακα 3.13.:

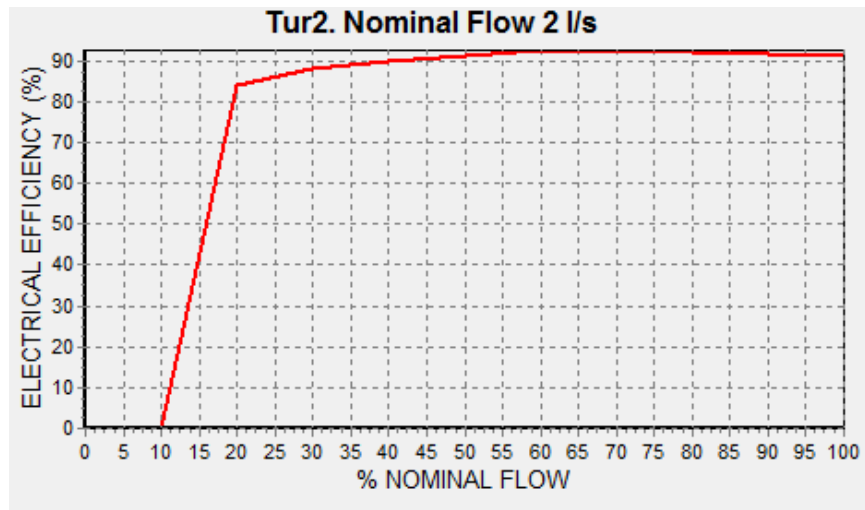
**Πίνακας 3.13:** χαρακτηριστικά υδροστρόβιλων

Όνομα	Τύπος	Ονομαστική ροή (l/sec)	Κόστος εγκατάστασης(€)	Διάρκεια ζωής (years)	Κόστος λειτουργίας και συντήρησης (€/yr)
Tur1	DC	1	400	30	50
Tur2	DC	2	700	30	50
Tur3	DC	3	1100	30	50
Tur4	DC	4	1300	30	50
Tur5	DC	5	1600	30	50
Tur6	DC	6	2000	30	50

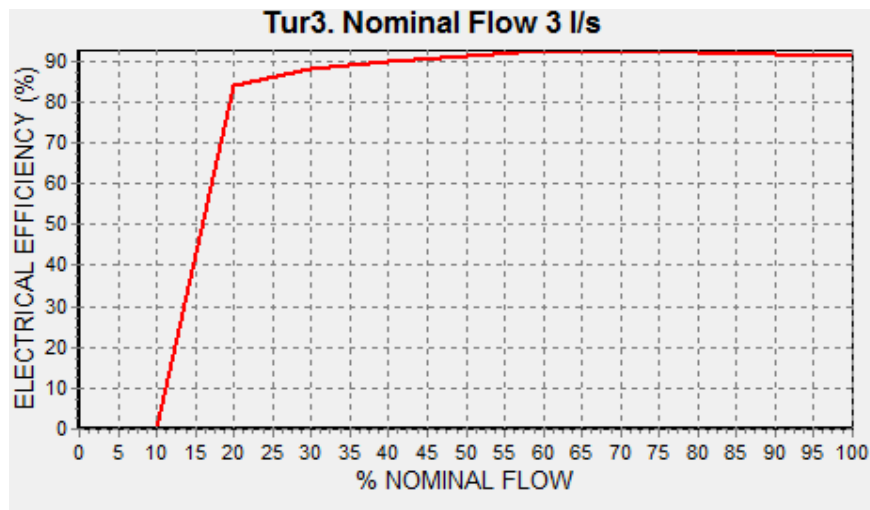
Παρακάτω δίνονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες της ονομαστικής ροής του νερού συναρτήσει της αποδοτικότητας των υδροστρόβιλων:



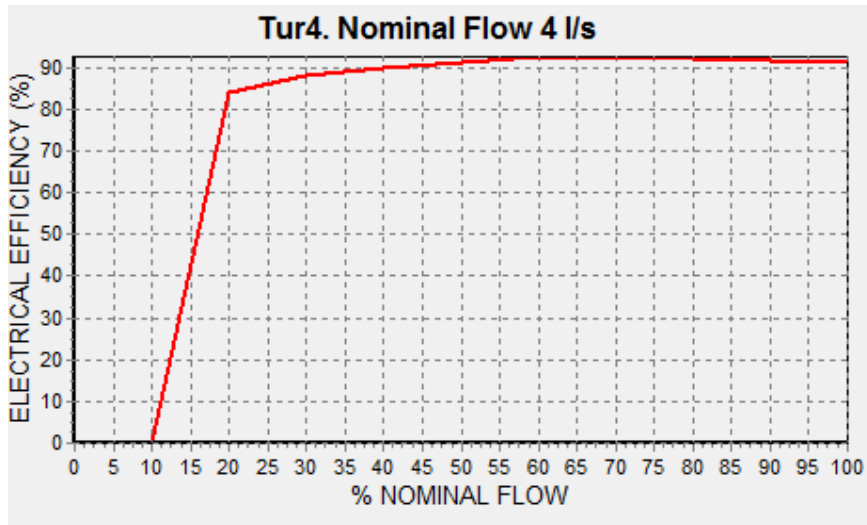
**Σχήμα3.25:** Χαρακτηριστική καμπύλη Tur1



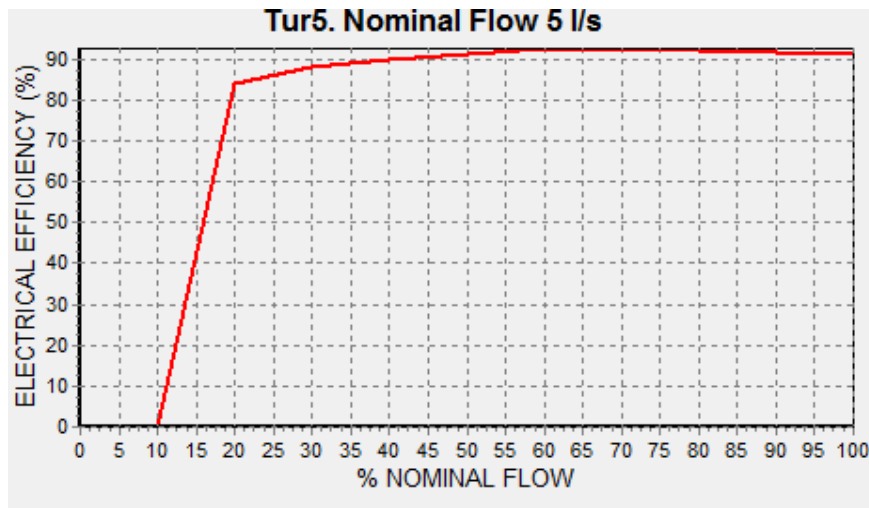
Σχήμα3.26: Χαρακτηριστική καμπύλη Tur2



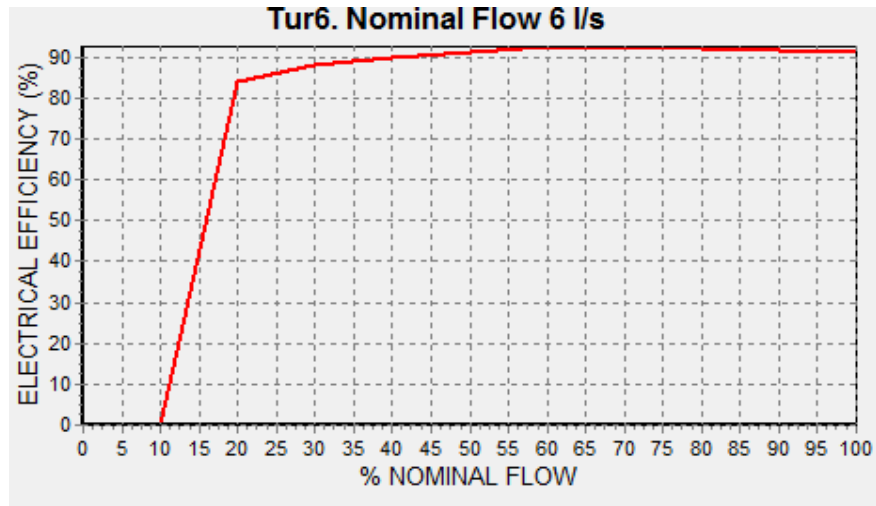
Σχήμα3.27: Χαρακτηριστική καμπύλη Tur3



Σχήμα3.28: Χαρακτηριστική καμπύλη Tur4



Σχήμα3.29: Χαρακτηριστική καμπύλη Tur5

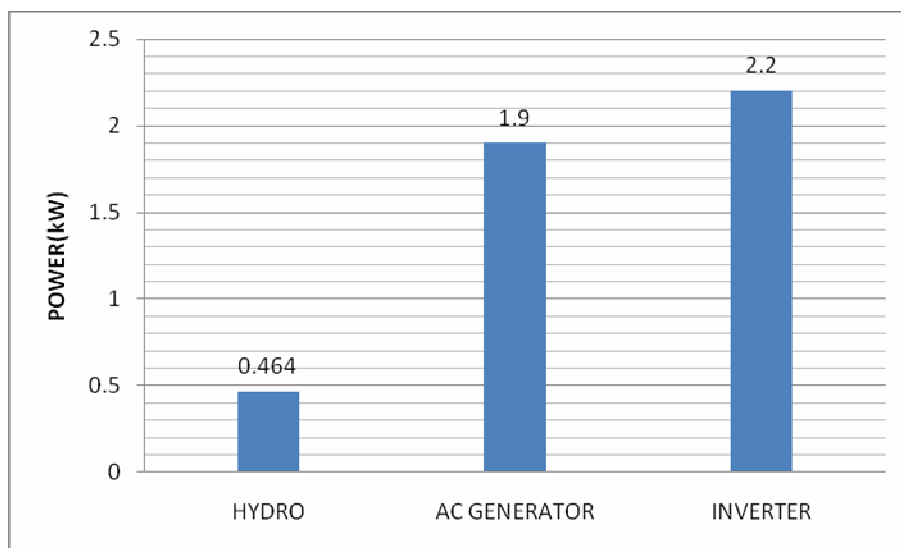


Σχήμα3.30: Χαρακτηριστική καμπύλη Tur6

Ο αριθμός τεχνολογιών που απαρτίζουν το υβριδικό σύστημα είναι:

- γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος ονομαστικής ισχύος 1,9 kVA
- μετατροπέας 2200 VA
- υδροστρόβιλος συνεχούς ρεύματος, ονομαστικής ροής 4 l/sec, ονομαστικής ισχύος 0,464 Kw

Το διάγραμμα παραγόμενης ισχύος από το υβριδικό σύστημα δίνεται στο Σχήμα 3.31:



Σχήμα3.31: Διάγραμμα παραγόμενης ισχύος από το υβριδικό σύστημα

### Στρατηγικές ελέγχου του υβριδικού συστήματος:

Αν κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές υπάρχει περίσσεια ενέργεια, εφόσον δε υπάρχουν ούτε συσσωρευτές ούτε μονάδες ηλεκτρόλυσης η περίσσεια ενέργεια είτε θα χαθεί είτε θα πωληθεί στο ηλεκτρικό δίκτυο. Αντιθέτως, αν η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές δεν επαρκεί για την κάλυψη του ζητούμενου φορτίου η ενέργεια παράγεται από τις γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος. Αν οι γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος δεν επαρκούν για την κάλυψη της ζήτησης θα υπάρξει μη εξυπηρετούμενο φορτίο.

### Κόστος εγκατάστασης του υβριδικού συστήματος: 5369 €

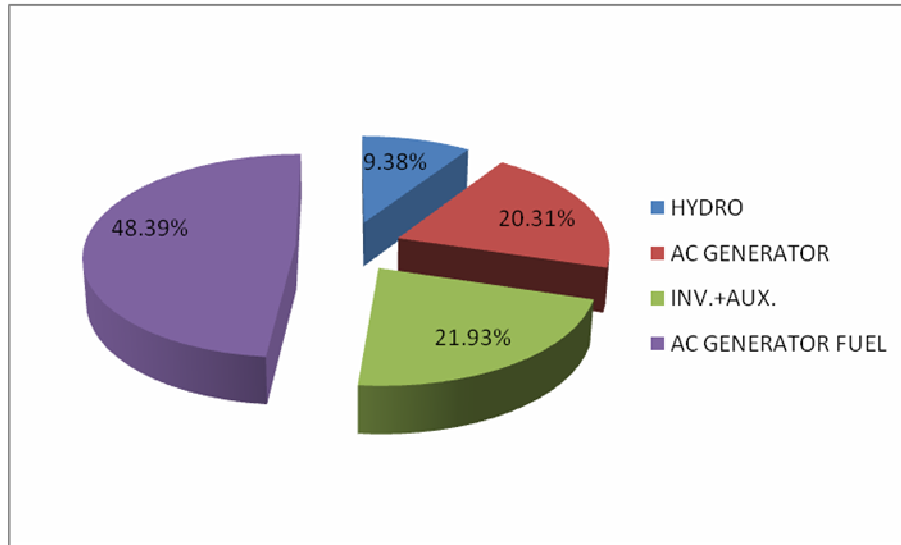
Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του (25 χρόνια) δείχνονται στον Πίνακα 3.14.:

**Πίνακας 3.14:** κόστος εγκατάστασης υβριδικού συστήματος

Συνολικές δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης συστήματος	25108 €
Δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης υδροστρόβιλων	2280 €
Δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης για τις γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος	4938 €
Δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης βοηθητικών συστημάτων	285 €
Δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης μετατροπέα	5046 €
Κόστος καυσίμου για τις γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος	11765 €

Το διάγραμμα κόστους λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος δίνεται στο Σχήμα 3.32:





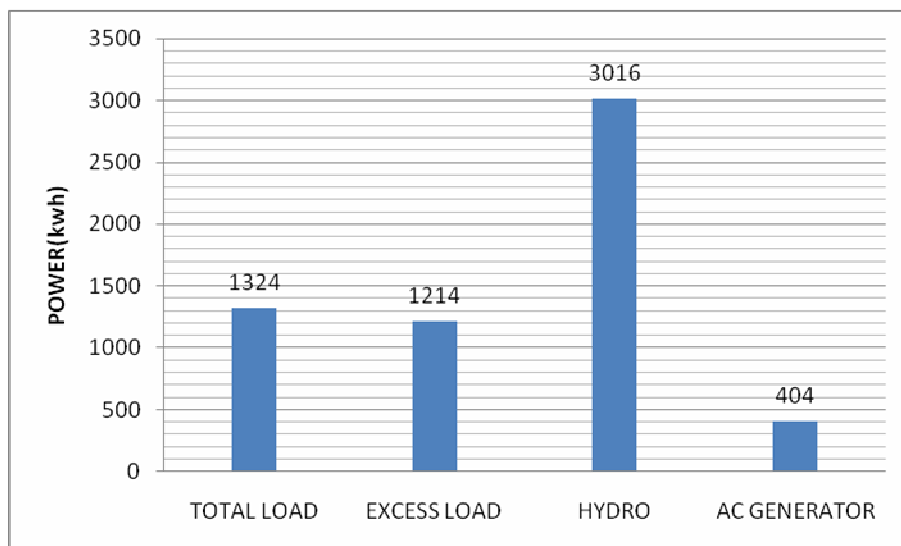
**Σχήμα3.32:** διάγραμμα κόστους λειτουργίας και συντήρησης.

Η κατανομή ενέργειας από το σύστημα ανά χρόνο δείχνονται στον Πίνακα 3.15.:

**Πίνακας 3.15:**κατανομής ενέργειας του συστήματος ανά χρόνο

Συνολική παραγόμενη ενέργεια	1324 kWh/yr
Περίσσεια ενέργειας	1214 kWh/yr
Παραγόμενη ενέργεια υδροστροβίλων	3016 kWh/yr
Παραγόμενη ενέργεια γεννητριών εναλλασσόμενου ρεύματος	404 kWh/yr
Ώρες λειτουργίας γεννητριών εναλλασσόμενου ρεύματος	710 h/yr
Διάρκεια ζωής συσσωρευτών	12 yrs
Εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα	521 kg CO <sub>2</sub> /yr

Το διάγραμμα κατανομής ενέργειας από το σύστημα ανά χρόνο δίνεται στο Σχήμα 3.33:



**Σχήμα3.33:** διάγραμμα κατανομής ενέργειας του συστήματος ανά χρόνο

Σχόλια-συμπεράσματα:

Στο διάγραμμα κόστους λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος που δίνεται στο σχήμα 3.32 φαίνεται ότι το μεγαλύτερο κόστος παρουσιάζεται στο καύσιμο που χρησιμοποιείται από τη γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος. Στο διάγραμμα κατανομής ενέργειας από το σύστημα ανά χρόνο που δίνεται στο σχήμα 3.33 παρατηρείται μεγάλο ποσό απωλειών ενέργεια λόγω του μετατροπέα που τίθεται σε λειτουργία σε περιοχές με χαμηλή απόδοση.

### 3.5: Ανάλυση σεναρίου 4

Για την κάλυψη ζήτησης φορτίου 10 kW χρησιμοποιήθηκε ένα υβριδικό συστήματα παραγωγής ενεργείας που περιλαμβάνει τις εξής τεχνολογίες: φωτοβολταϊκά, μετατροπείς (DC / AC) ,συσσωρευτές και γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος. Στόχος της πολλαπλής βελτιστοποίησης είναι ο υπολογισμός των βέλτιστων λύσεων με κύριο γνώμονα το κόστος λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος και τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) που παράγονται.

Η επίλυση ενός προβλήματος αντικρουόμενων στόχων ανήκει στη κατηγορία της πολυαντικειμενικής βελτιστοποίησης. Η διαδικασία της βελτιστοποίησης σχετίζεται με την εύρεση εφικτών λύσεων και τη σύγκρισή τους σύμφωνα με μία ή περισσότερες αντικειμενικές συναρτήσεις. Στην περίπτωση που το πρόβλημα βελτιστοποίησης περιλαμβάνει μία αντικειμενική συνάρτηση, η διαδικασία στοχεύει στην εύρεση της βέλτιστης εφικτής λύσης σύμφωνα με το δεδομένο κριτήριο. Η πλειονότητα όμως των

προβλημάτων βελτιστοποίησης που απαντώνται σε πραγματικές συνθήκες περιλαμβάνει την ύπαρξη πολλαπλών αντικειμενικών συναρτήσεων. Συνήθως, οι συναρτήσεις αυτές προσπαθούν να ικανοποιήσουν αντικρουόμενους στόχους, οι οποίοι δεν μπορούν να εκφραστούν εύκολα σε ένα ποσοτικό μέγεθος, έτσι ώστε να είναι δυνατή η απευθείας σύγκρισή τους. Για το λόγο αυτό χρειάζεται να αναζητηθεί μια συμβιβαστική λύση η οποία να βρίσκεται σε συμφωνία με τις προτεραιότητες του αποφασίζοντα. Η διαδικασία εύρεσης μιας τέτοιας λύσης καλείται πολυαντικειμενική βελτιστοποίηση.

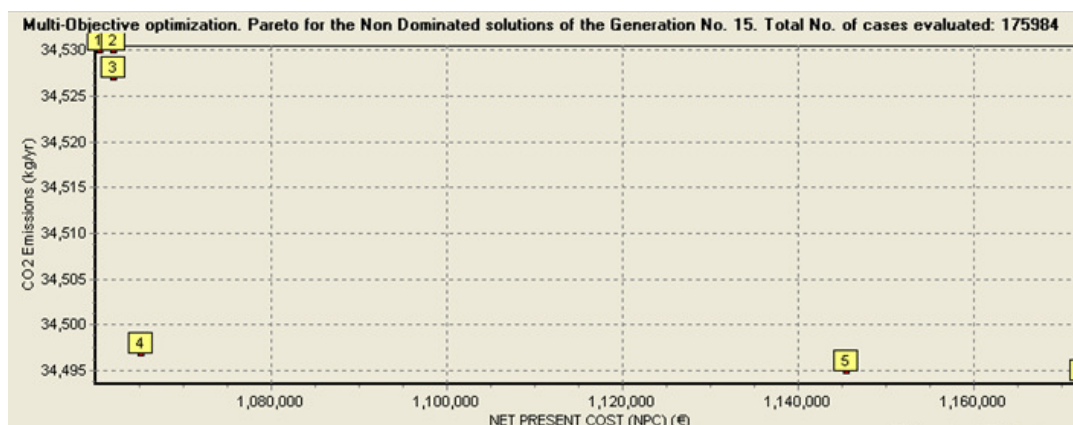
Ο πίνακας αποτελεσμάτων του καθαρού παρόντος κόστους, των εκπομπών CO<sub>2</sub>, του κόστους καυσίμου και της ισχύς που αποδίδει το κάθε στοιχείο του υβριδικού συστήματος δείχνονται στον Πίνακα 3.16.:

**Πίνακας 3.16:**αποτελεσματα καθαρού παρόντος κόστους,εκπομπές CO<sub>2</sub>, κόστος καυσίμου και ισχύς που αποδίδει το κάθε στοιχείο του υβριδικού συστήματος.

Σενάρια	Καθαρό παρόν κόστος (€/yr)	Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (kg CO <sub>2</sub> /yr)	Κόστος καυσίμου για τις γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος (€):
Σενάριο 1	1060481	34529	98596
Σενάριο 2	1062071	34529	97869
Σενάριο 3	1062078	34527	97913
Σενάριο 4	1065177	34497	97507
Σενάριο 5	1145470	34494	97355
Σενάριο 6	1172294	34494	97409

Σενάρια	Συνολική ισχύς που αποδίδουν τα φωτοβολταϊκά (kWp)	Συνολική ισχύς που αποδίδουν οι συσσωρευτές (kWh)	Συνολική ισχύς που αποδίδει η γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος (kVA)	Συνολική ισχύς που αποδίδει ο μετατροπέας (VA)	Ρυθμιστής φόρτισης των συσσωρευτών, έντασης (A)
Σενάριο 1	19,5	27,6	7	5500	382,7
Σενάριο 2	19,5	34,5	7	5500	382,7
Σενάριο 3	19,5	34,5	7	5500	382,7
Σενάριο 4	19,5	48,3	7	5500	382,7
Σενάριο 5	19,5	310,4	7	5500	382,7
Σενάριο 6	19,5	399,1	7	5500	382,7

Το διάγραμμα των μη κυριαρχουσών λύσεων δίνεται στο Σχήμα 3.34:



**Σχήμα3.34:** γραφημα καθαρού παρόντος κόστους συναρτήσει των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

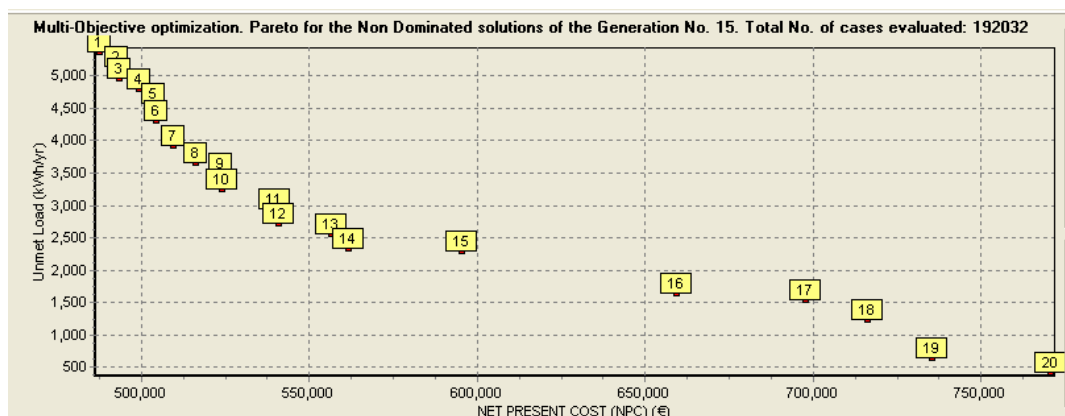
Σχόλια-συμπεράσματα:

Στο πίνακα αποτελεσμάτων 3.16 παρατηρείται ότι ισχύς που αποδίδει το κάθε στοιχείο του υβριδικού συστήματος παραμένει ίδια σε όλα τα σενάρια πλην των συσσωρευτών. Επίσης στα σενάρια με τους περισσότερους συσσωρευτές το καθαρό παρόν κόστος αυξάνεται ενώ η εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα μειώνεται.

### 3.6: Ανάλυση σεναρίου 5

Για την κάλυψη ζήτησης φορτίου 10 kW χρησιμοποιήθηκε ένα υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας που περιλαμβάνει τις εξής τεχνολογίες: φωτοβολταϊκά, μετατροπείς (DC / AC), συσσωρευτές και γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος. Στόχος της πολυαντικειμενικής βελτιστοποίησης είναι ο υπολογισμός των βέλτιστων λύσεων με κύριο γνώμονα το κόστος του συστήματος και το ποσοστό μη εξυπηρετούμενου φορτίου που καθορίσαμε στην αρχή της βελτιστοποίησης της τάξης του 10%.

Το διάγραμμα των μη κυριαρχουσών λύσεων δίνεται στο Σχήμα 3.35:



**Σχήμα 3.35:** γραφημα καθαρού παρόντος κόστους συναρτήσει του μη εξυπηρετούμενου φορτίου.

**Πίνακας 3.17:** αποτελέσματα συνολικής ισχύος που αποδίδουν τα στοιχεία του υβριδικού συστήματος, καθαρού παρόντος κόστους και μη εξυπηρετούμενου φορτίου.

(A/A) Λύση	Συνολική ισχύς που αποδίδουν τα φωτοβολταϊκά (kWp)	Συνολική ισχύς που αποδίδουν οι συσσωρευτές (kWh)	Συνολική ισχύς που αποδίδουν οι ανεμογεννήτριες (kW)	Συνολική ισχύς που αποδίδει η εναλλασσόμενη γεννήτρια ρεύματος (kVA)	Συνολική ισχύς που αποδίδει ο μετατροπέας (VA)
1	1	89.8	32.5	3	5500
2	0.66	110.5	32.5	3	5500
3	2.5	89.8	32.5	3	5500
4	2.42	110.5	32.5	3	5500
5	4	88.7	32.5	3	5500
6	4	110.5	32.5	3	5500
7	5.28	110.5	32.5	3	5500
8	7.48	89.8	32.5	3	5500
9	8.58	88.7	32.5	3	5500
10	8.58	110.5	32.5	3	5500
11	12	117.5	32.5	3	5500
12	12	110.5	32.5	3	5500
13	16	89.8	32.5	3	5500
14	16	110.8	32.5	3	5500
15	12	288.2	32.5	3	5500
16	16	443.5	32.5	3	5500
17	5.5	117.5	26	7	5500
18	1.1	27.6	32.5	7	5500
19	7.5	22.1	32.5	7	5500
20	16	89.8	32.5	7	5500

(A/A) Λύση	Ρυθμιστής φόρτισης των συσσωρευτών, έντασης (A)	Συνολική ισχύς που αποδίδει ο ανορθωτής (W)	Κόστος εγκατάστασης NPC (€)	Μη εξυπηρετούμενο φορτίο (kWh/yr)
1	665.1	649	487527	5370.7
2	662.7	1040	492677	5145.2
3	678	649	493596	4961.1
4	679.3	650	499237	4799.5
5	690.9	649	503501	4577.6
6	690.9	650	504361	4308.6
7	706.3	650	509414	3924
8	727	649	516264	3654.5
9	737.4	649	523531	3493.1
10	737.4	650	524030	3253.8
11	759.8	650	539574	2945.5
12	759.8	650	540892	2729.5
13	795.6	649	556435	2566.1
14	795.6	650	561535	2334.9
15	759.8	658	595383	2306.9
16	795.6	666	659304	1649.2
17	571.9	0	697751	1549.5
18	666.9	0	716263	1243.7
19	721	0	735458	658.2
20	795.6	649	770656	427.4

#### Σχόλια-συμπεράσματα:

Στο παραπάνω γράφημα (μη εξυπηρετούμενο φορτίο συναρτηθεί με το ολικό κόστος εγκατάστασης του υβριδικού συστήματος) παρατηρείται ότι σε λύσεις με υψηλά κόστη και λίγα μη εξυπηρετούμενα φορτία εμπεριέχονται γεννήτριες ισχύος 7kVA ενώ στις υπόλοιπες 3kVA. Αυτό δείχνει ότι η εγκατάσταση γεννητριών μεγαλύτερης ισχύος αυξάνει το συνολικό κόστος του συστήματος, ενώ από την άλλη πλευρά ο ελεγχόμενος ρυθμός παραγωγής που έχουν αυξάνει την αξιοπιστία του συστήματος. Επιπλέον όλες οι λύσεις πλην μίας περιλαμβάνουν 5 ανεμογεννήτριες.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη παρούσα διατριβή προέκυψαν τα ακόλουθα γενικά συμπεράσματα σχετικά με το λογισμικό HOGA.

#### **Πλεονεκτήματα:**

- Το HOGA διαθέτει σύντομους χρόνους υπολογισμού των βέλτιστων λύσεων λόγω της λειτουργίας του με τη χρήση γενετικών αλγορίθμων.
- Δυνατότητα επίλυσης προβλημάτων με παραπάνω από μια αντικειμενική συνάρτηση (πολυαντικειμενική βελτιστοποίηση).

#### **Μειονεκτήματα:**

- 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 εισαγωγής καινούριων δεδομένων για τα στοιχεία και τις τεχνολογίες που περιλαμβάνονται στο υβριδικό σύστημα και η απώλεια αποτελεσμάτων στην ανάλυση των σεναρίων.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] <http://www.unizar.es/rdufo/hoga-eng.htm>
- [2] [www.solar-systems.gr/wind-turbines-generators.htm](http://www.solar-systems.gr/wind-turbines-generators.htm)
- [3] [www.anemogennitria.gr/](http://www.anemogennitria.gr/)
- [4] [www.energotech.gr/index.php](http://www.energotech.gr/index.php)
- [5] [www.aenaon.net](http://www.aenaon.net)
- [6] [www.solar-systems.gr](http://www.solar-systems.gr)
- [7] [www.solarhome.org](http://www.solarhome.org)
- [8] [www.sunlight.gr/](http://www.sunlight.gr/)
- [9] [www.windfarms.gr/.../ydrohlektrikh.html](http://www.windfarms.gr/.../ydrohlektrikh.html)
- [10] [www.fuelcells.org](http://www.fuelcells.org)
- [11] [www.answers.com/.../ac-generator](http://www.answers.com/.../ac-generator)
- [12] [www.pvpower.com](http://www.pvpower.com)
- [13] [www.fuelcellenergy.com/](http://www.fuelcellenergy.com/)
- [14] [www.daikin.gr/.../inverter-technology.jsp](http://www.daikin.gr/.../inverter-technology.jsp)
- [15] [www.certh.gr/8F29F9BF.el.aspx](http://www.certh.gr/8F29F9BF.el.aspx)
- [16] [www.cres.gr/.../technologies\\_technologies\\_ape.htm](http://www.cres.gr/.../technologies_technologies_ape.htm)