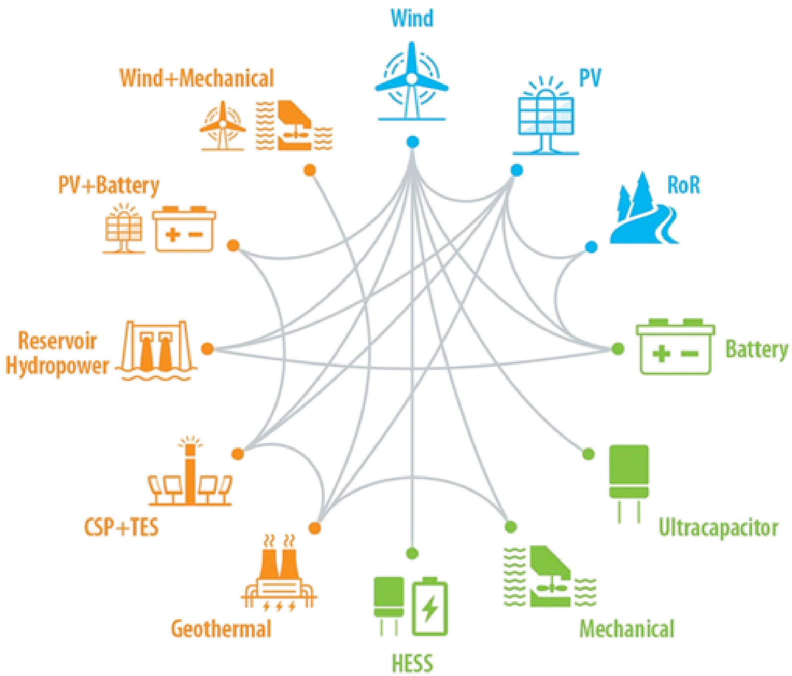
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

Πράσινη Ενεργειακή Ανάπτυξη για το νησί της Σερίφου



Φοιτητής: Γούλας Αλέξαδρος
ΑΜ: 45176

Επιβλέπων Καθηγητής

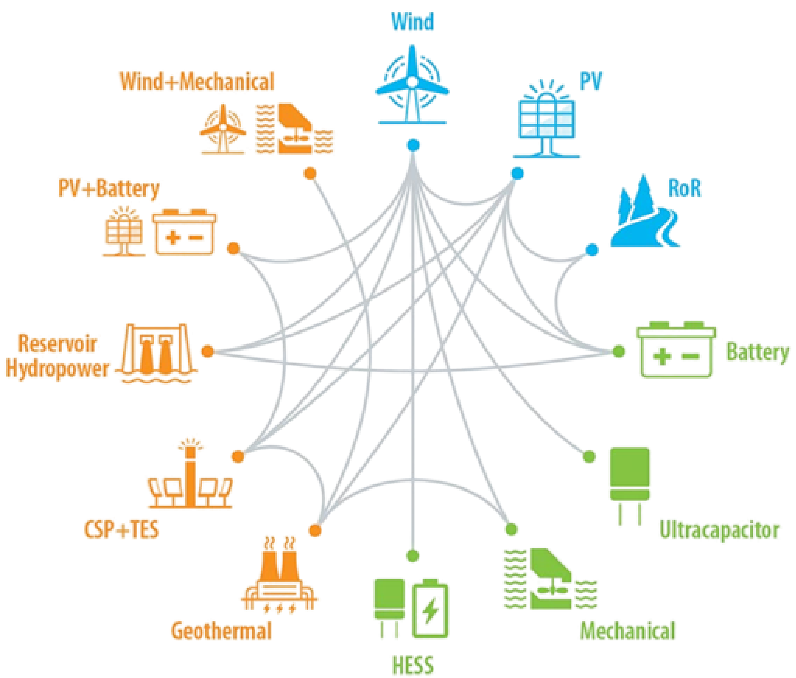
Βόκας Γεώργιος

ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2024

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Diploma Thesis

Green Energy Development for the island of Serifos



Student: Goulas Alexandros
Registration Number: 45176

Supervisor

Vokas Georgios

ATHENS-EGALEO, MARCH 2024

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

ΒΟΚΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	ΡΑΓΚΟΥΣΗ ΜΑΡΙΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ	ΚΑΡΑΪΣΑΣ ΠΕΤΡΟΣ ΑΝΑΠΛ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
Georgios Vokas Digitally signed by Georgios Vokas Date: 2024.03.11 22:57:21 +02'00'	Maria Ragkousi Digitally signed by Maria Ragkousi Date: 2024.03.11 23:04:06 +02'00'	Petros Karaisas Digitally signed by Petros Karaisas Date: 2024.03.11 23:35:49 +02'00'

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/η κάτωθι υπογεγραμμένος/***η Γούλας Αλέξανδρος*** του ***Αποστόλου***, με αριθμό μητρώου ***45176*** φοιτητής/τρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ,

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.
Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου.
Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι τον ***την ολοκλήρωση και παράδοσή της*** και έπειτα από αίτησή μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντος/ουσας καθηγητή/ήτριας.»

Ο Δηλών
Γούλας Αλέξανδρος

(Υπογραφή φοιτητή/ήτριας)

Με την περάτωση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας θα ήθελα αρχικά να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου, κ. Βόκα Γεώργιο κυρίως για την υπομονή,του και στη συνέχεια την καθοδήγηση και τη στήριξη που μου προσέφερε σε όλα τα στάδια της Διπλωματικής Εργασίας από τις χειρότερες στιγμές έως και τις καλύτερες. Στη συνέχεια τον κ. Κορακιανίτη Νικόλαο για τις συζητήσεις μας ώρες ολόκληρες, τις επιδείξεις του, την εμψύχωσή του και τις ιδέες του, οι οποίες, συντέλεσαν σημαντικά στην ολοκλήρωση της Διπλωματικής μου διατριβής.

Τους γονείς μου, Απόστολο και Άννα για όλες τις θυσίες που έκαναν για εμένα από την παιδική ηλικία ως την ενηλικίωση και για τις αρχές που μου έμαθαν να ακολουθώ στη ζωή μου.

Την κοπέλα μου, Χριστίνα που με πείσμα και με αγάπη με βοήθησε επίσης στις πιο άσχημες στιγμές, τις στιγμές που ήθελα να τα παρατήσω και εξίσου στις χαρές και τις λύπες.

Τέλος, την παιδική μου φίλη Εύη, για την οποία το μόνο που έχω να πω είναι ένα τεράστιο ευχαριστώ για όλα, όλα τα χρόνια έως και σήμερα.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στην ανάλυση και μοντελοποίηση ενός Υβριδικού Σταθμού στον ελλαδικό νησιωτικό χώρο, με εστίαση στη μελέτη, μοντελοποίηση και βελτιστοποίηση διαφορετικών σεναρίων για την ανάπτυξη ενός «πράσινου» νησιού, συγκεκριμένα της Σερίφου. Η διπλωματική παρουσιάζει τις απαραίτητες θεωρητικές και πρακτικές γνώσεις, τη μελέτη εγκαταστάσεων και τις προσομοιώσεις διαφορετικών σεναρίων βασιζόμενες σε πραγματικά σενάρια και φορτία. Η μοντελοποίηση πραγματοποιείται με τη χρήση του εξειδικευμένου λογισμικού "HOMER", το οποίο παρουσιάζει οικονομικά και ενεργειακά αποτελέσματα για τα εισαγόμενα σενάρια.

Συγκεκριμένα, η διπλωματική έχει την ακόλουθη δομή:

1. Κεφάλαιο 1: Αναφορά και διαχωρισμός συμβατικών και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με την ανάλυση των πλεονεκτημάτων, των μειονεκτημάτων και των χρήσεών τους.
2. Κεφάλαιο 2: Αναλυτική αναφορά στα φωτοβολταϊκά στοιχεία, τα μοντέλα, τις τεχνολογίες και τα βασικά χαρακτηριστικά τους.
3. Κεφάλαιο 3: Ανάλυση των τρόπων αποθήκευσης ενέργειας και κατηγοριοποίησή τους.
4. Κεφάλαιο 4: Ειδική αναφορά στο υδρογόνο, με τις τρέχουσες χρήσεις και τις μελλοντικές προοπτικές της τεχνολογίας κυψελών καυσίμου, η οποία θα χρησιμοποιηθεί στη μοντελοποίηση του Υβριδικού Σταθμού Σερίφου.
5. Κεφάλαιο 5: Ανάλυση του Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας της Ελλάδας, με ειδική αναφορά στα Σ.Η.Ε. των Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών.
6. Κεφάλαιο 6: Εκτενής ανάλυση του προγράμματος προσομοίωσης που χρησιμοποιείται, του HOMER Pro.
7. Κεφάλαιο 7: Αναφορά σε τέσσερα διαφορετικά σενάρια που αναπτύχθηκαν.
8. Κεφάλαιο 8: Συμπεράσματα, αναλύσεις και μελλοντικές αναφορές.

Λέξεις – κλειδιά

Ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, φωτοβολταϊκά, βιομάζα, ανεμογεννήτριες, υδρογόνο, αποθήκευση ενέργειας, μοντελοποίηση, ηλεκτρικό φορτίο, προσομοίωση, σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, HOMER.

Abstract

This thesis focuses on the analysis and modeling of a Hybrid Station in the Greek island area, with a focus on the study, modeling and optimization of different scenarios for the development of a "green" island, specifically Serifos. The diploma presents the necessary theoretical and practical knowledge, the study of facilities and the simulations of different scenarios based on real scenarios and loads. The modeling is carried out using the specialized software "HOMER", which presents economic and energy results for the entered scenarios.

Specifically, the diploma has the following structure:

1. Chapter 1: Reference and separation of conventional and renewable energy sources, analyzing their advantages, disadvantages and uses.
2. Chapter 2: Detailed reference to photovoltaic cells, models, technologies, and their basic characteristics.
3. Chapter 3: Analysis of energy storage methods and their categorization.
4. Chapter 4: Special reference to hydrogen, with current uses and future prospects of fuel cell technology, which will be used in the modeling of the Serifos Hybrid Station.
5. Chapter 5: Analysis of the Electricity System of Greece, with special reference to the NPPs of the Non-Interconnected Islands.
6. Chapter 6: Extensive analysis of the simulation program used, HOMER Pro.
7. Chapter 7: Reference to four different scenarios developed.
8. Chapter 8: Conclusions, Analysis and Future References.

Keywords

Renewable Energy, Photovoltaics, Biomass, Wind Turbines, Hydrogen, Energy Storage, Modeling, Electric Load, Simulation, Power System, HOMER.

Περιεχόμενα

Κατάλογος Πινάκων

Κατάλογος Εικόνων

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η πράσινη ενεργειακή ανάπτυξη, αποτελεί ένα αναπόσπαστο μέρος της παγκόσμιας προσπάθειας για τη μετάβαση προς ένα βιώσιμο μέλλον. Στο πλαίσιο αυτό, η Διπλωματική εργασία αφορά την εφαρμογή της πράσινης μεθόδου παραγωγής ενέργειας στο νησί της Σερίφου, ένα μοντέλο πρακτικής εφαρμογής για την πράσινη ανάπτυξη. Στο πλαίσιο αυτό, θα εξεταστούν τόσο τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όσο και τις προκλήσεις και τις ευκαιρίες που προκύπτουν.

Σε αυτήν τη διπλωματική εργασία, θα διερευνήσουμε τις δυνατότητες που προσφέρουν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για τη Σέριφο, εστιάζοντας στην ανάπτυξη της ηλιακής και της αιολικής ενέργειας. Παράλληλα, θα αναλύσουμε τις τεχνολογικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές πτυχές που συνδέονται με την υλοποίηση πράσινων έργων στο νησί. Μέσα από αυτήν την έρευνα, θα εξετάσουμε το πώς η πράσινη ενεργειακή ανάπτυξη μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της ποιότητας ζωής και της βιωσιμότητας στο νησί.

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας, σκοπός και στόχοι

Ο σκοπός της παρούσας Διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της πράσινης ενεργειακής ανάπτυξης ως μέσου για την βιωσιμότητα της Σερίφου. Συγκεκριμένα, οι βασικοί στόχοι περιλαμβάνουν την αξιολόγηση του τρέχοντος ενεργειακού τοπίου του νησιού, την ανάλυση του δυναμικού των ανανεώσιμων πηγών, συμπεριλαμβανομένης της ηλιακής, της αιολικής ενέργειας, την εξέταση της εφαρμογής συγκεκριμένων τεχνολογιών και προγραμμάτων που προωθούν την πράσινη ενέργεια και την ενεργειακή αποδοτικότητα και αξιολόγηση των οικονομικών, κοινωνικών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων των προτεινόμενων μέτρων για την πράσινη ενεργειακή ανάπτυξη.

Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία της παρούσας διπλωματικής βασίζεται σε δύο κύριους άξονες έρευνας:

1. Ανάλυση του Ενεργειακού Τοπίου της Σέριφου: Αρχικά, πραγματοποιήθηκε λεπτομερής ανάλυση του τρέχοντος ενεργειακού τοπίου του νησιού, συμπεριλαμβανομένης της ζήτησης, της πηγής παραγωγής και των συναφών περιβαλλοντικών επιπτώσεων.
2. Προσομοιώσεις με το λογισμικό HOMER PRO: Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό HOMER PRO για την προσομοίωση διαφόρων σεναρίων ενεργειακής ανάπτυξης στη Σέριφο. Οι προσομοιώσεις περιελάμβαναν την εκτίμηση της απόδοσης και της οικονομικής εφικτότητας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Καινοτομία

Η καινοτομία της συγκεκριμένης Διπλωματικής εργασίας είναι η δυνατότητα να συνδυαστεί η ηλεκτρολογική γνώση με το υπολογιστικό κομμάτι. Η προσομοίωση των Σεναρίων πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα HOMER PRO. Ηλεκτρολογικό εργαλείο, προσομοίωσης και μοντελοποίησης σεναρίων κάλυψης ηλεκτρικής ζήτησης με ανανεώσιμες πηγές και συμβατικές πηγές ενέργειας.

1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο: ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Ενεργειακή πηγή, θεωρείται κάθε φυσικός πόρος που μας παρέχει ενέργεια. Οι πηγές αυτές διαχωρίζονται σε συμβατικές πηγές (μη ανανεώσιμες) οι οποίες δύναται να εξαντληθούν στο πέρασμα του χρόνου και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας οι οποίες υπάρχουν σε αφθονία στο περιβάλλον και η απεριόριστη χρήση τους καθίσταται θεωρητικά εφικτή από τον άνθρωπο. Μερικές από τις συμβατικές πηγές ενέργειας είναι το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο, ο γαιάνθρακας και μερικές από τις ανανεώσιμες πηγές είναι η ηλιακή ενέργεια, η αιολική ενέργεια και η βιομάζα.

Η κυριότερη αρνητική επίδραση στο περιβάλλον από τη χρήση συμβατικών πηγών ενέργειας είναι η αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) στην ατμόσφαιρα που συμβάλλει και στο φαινόμενο υπερθέρμανσης του πλανήτη. Με την καύση ορυκτών καυσίμων απελευθερώνονται εκτός των άλλων και ραδιενεργές ουσίες όπως το ουράνιο (U) και το θόριο (Th) τα οποία υπάρχουν ως μικρές ποσότητες στα καύσιμα.

1.2 ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.2.1 ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ

Το πετρέλαιο, αποτελεί ένα μείγμα υδρογονανθράκων υγρής μορφής σε φυσικές υπόγειες δεξαμενές και παραμένει υγρό σε ατμοσφαιρική πίεση μετά από διέλευση από εγκαταστάσεις διαχωρισμού. Οι υδρογονάνθρακες μπορεί να είναι παρόντες σε τρεις τύπους μοριακών δομών: ευθείας, αλυσίδας και δακτυλίου. Η παρουσία πετρελαϊκού κοιτάσματος στο υπέδαφος δεν αποκαλύπτει πάντοτε επιφανειακές ενδείξεις και ανεξαρτήτως των ενδείξεων οι γεωλόγοι ερευνητές ακολουθούν διαφορετικές μεθόδους προς εξαγωγή καλύτερων συμπερασμάτων, όπως:

1. Σεισμική μέθοδος
2. Ηλεκτρική μέθοδος
3. Ραδιενεργή μέθοδος
4. Ηλεκτρομαγνητική μέθοδος
5. Μαγνητική μέθοδος
6. Βαρυτομετρική μέθοδος
7. Γεωλογική μέθοδος
8. Έρευνες μέσω μικροβίων

Οι παραπάνω μέθοδοι, παρέχουν αποκλειστικά και μόνο ενδείξεις για την ύπαρξη κοιτασμάτων. Η απόδειξη της ύπαρξης, γίνεται με ερευνητικά φρεάτια και ερευνητικές γεωτρήσεις που καθορίζουν την ύπαρξη πετρελαιοφόρου κοιτάσματος, τη θέση στο χώρο, την περιεκτικότητα του και την γεωμετρία του. Στη συνέχεια, ακόμα και να αποδειχθεί η παρουσία κοιτάσματος, η οικονομική εκμετάλλευση της πηγής αυτής, εξαρτάται από τρίτους παράγοντες όπως είναι οι οικονομικές, τεχνικές και κοινωνικές συνθήκες, οι γεωπολιτικοί συσχετισμοί και οι τρέχουσες τιμές πετρελαίου.

Ιστορικά, η χρήση του πετρελαίου υπάρχει από τα αρχαία χρόνια. Σουμέριοι, Ασσύριοι και Βαβυλώνιοι χρησιμοποιούσαν μεγάλες διαρροές του Ευφράτη ενώ η χρήση τέτοιων διαρροών είναι γνωστή τόσο σε πολλά μέρη της Μεσοποταμίας όσο και σε περιοχές της Ανατολικής Μεσόγειου.

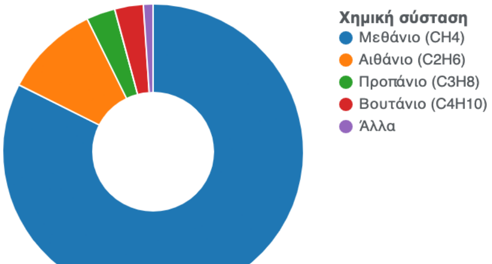
Είναι γνωστό πως χρησιμοποιούταν στο καλαφάτισμα των πλοίων, στην κατασκευή δρόμων, στην κατασκευή αδιάβροχης ψάθας και καλαθιών και ως συγκολλητικό στα μωσαϊκά. Επίσης το χρησιμοποιούσαν στην ιατρική σαν καθαρτικό, σαν υγρό εντριβών και σαν απολυμαντικό. Η πρώτη γεώτρηση έγινε από τον Έντγουιν Ντρέικ στην δυτική Πενσυλβάνια το1859 και σε βάθος 21 μέτρων. Έτσι, άνοιξε ο δρόμος για τη βιομηχανία πετρελαίου. Την ίδια περίπου περίοδο πετρελαϊκά πεδία ανακαλύφθηκαν στην Ευρώπη και την Άπω Ανατολή. Σήμερα, το πετρέλαιο αποτελεί σημαντική πρώτη ύλη στην βιομηχανία των πετροχημικών, αλλά την μεγαλύτερη εφαρμογή βρίσκει στην παραγωγή ενέργειας, από την οποία εξαρτάται το παρόν και το μμέλλον της παγκόσμιας οικονομίας.

Στην Ελλάδα συγκεκριμένα, εφαρμόζεται κυρίως η σεισμική μέθοδος. Η χρήση του, συνήθως, είναι για την παραγωγή καυσίμων κίνησης και αποτελεί πρώτη ύλη για πολλά χημικά προϊόντα όπως τα λιπάσματα και τα φυτοφάρμακα. Υπάρχουν περισσότερα από 160 τύποι πετρελαίου με πιο γνωστά το Brent Crude, το OPEC Reference Basket, το Dubai Crude και πολλά άλλα. Με τα επίπεδα κατανάλωσης πετρελαίου στην σημερινή εποχή εκτιμάται πως απομένουν 50 χρόνια χρήσης μέχρις εξαντλήσεως, καθώς τα περισσότερα σημαντικά κοιτάσματα, έχουν ήδη ανακαλυφθεί. Τέλος, επιγραμματικά τα προϊόντα διύλισης του πετρελαίου διακρίνονται σε ενεργειακά (βενζίνη, ντίζελ και μαζούτ ιδιωτικής χρήσης κ.α.) και σε μη ενεργειακά (λιπαντικά, άσφαλτοι).

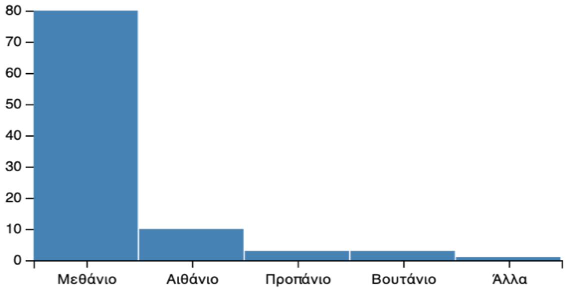
Εικόνα 1-1 Γεωτρύπανο GSP Jupiter, Νέα Πέραμος

1.2.2 ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ

Το φυσικό αέριο αποτελεί ένα αέριο μίγμα κορεσμένων υδρογονανθράκων με μικρό αριθμό ατόμων άνθρακα. Το βασικότερο συστατικό του φυσικού αερίου είναι το μεθάνιο (CH_4), όμως υπάρχουν επίσης και σημαντικές ποσότητες αιθανίου (C_2H_6), προπανίου (C_3H_8) και βουτανίου (C_4H_{10}).



Εικόνα 1-3 Χημική σύσταση φυσικού αερίου



Εικόνα 1-2 Ποσοστά χημικής σύστασης φυσικού αερίου

Το φυσικό αέριο είναι άχρωμο, άοσμο και αόρατο. Η χαρακτηριστική του οσμή δίνεται τεχνητά ώστε να γίνει αντιληπτή σε περίπτωση διαρροής. Θεωρείται καύσιμο και πρώτη ύλη της χημικής βιομηχανίας και εξορύσσεται από υπόγειες κοιλότητες όπου βρίσκεται υπό υψηλή πίεση. Στις κοιλότητες αυτές σχηματίστηκε με τρόπο παρόμοιο με τον τρόπο σχηματισμού του πετρελαίου. Αποτελεί μια σημαντική συνιστώσα στη παγκόσμια προσφορά ενέργειας και μεταφέρεται στους τόπους όπου πρόκειται να χρησιμοποιηθεί με τη μορφή που έχει, χωρίς την ανάγκη περαιτέρω επεξεργασίας. Τα κοιτάσματα του βρίσκονται μακριά από τα κέντρα καταναλώσεως και συνεπώς πρέπει να μεταφερθεί αν και οι βιομηχανίες χημικής επεξεργασίας είναι πολλές φορές εγκατεστημένες στην περιοχή παραγωγής.

Η χρήση του φυσικού αερίου ποικίλει, με την πιο γνωστή στο ευρύ κοινό να αποτελεί η οικιακή χρήση σε επίπεδο ηλεκτρικής ενέργειας, θέρμανσης και μαγειρικής. Επίσης, στον τομέα των μεταφορών, είναι διαδεδομένες οι μηχανές εσωτερικής καύσεως που μπορούν να χρησιμοποιούν και φυσικό αέριο πέραν των συμβατικών καυσίμων βενζίνης ή πετρελαίου με μικρά βήματα να πραγματοποιούνται και στον αεροπορικό κλάδο. Χρησιμοποιείται επίσης σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις ως πρώτη ύλη για παραγωγή χημικών προϊόντων, για παραγωγή γυαλιού, υφασμάτων, ειδών χρωματισμού και άλλων προϊόντων.

Η μεταφορά του φυσικού αερίου εξαρτάται από την κατάστασή του. Σε αέρια κατάσταση μεταφέρεται με αγωγούς υπό υψηλή πίεση, ενώ σε υγρή κατάσταση μεταφέρεται με ειδικά πλοία (υγροποιημένου φυσικού αερίου) (Υ.Φ.Α.).

Χώρες με μεγάλα αποθέματα φυσικού αερίου είναι η Ρωσία, Η.Π.Α., Ιράν, Ιράκ, Κατάρ, Νιγηρία, Αλγερία κ.α.. Η χώρα μας σήμερα προμηθεύεται φυσικό αέριο σε αέρια μορφή από τη Ρωσία και το Αζερμπαϊτζάν μέσω αγωγών καθώς και από την Αλγερία σε υγρή μορφή με δεξαμενόπλοια.

1.2.3 ΛΙΓΝΙΤΗΣ

Ο λιγνίτης ή γαιάνθρακας, είναι πέτρωμα οργανικής προελεύσεως του οποίου το κύριο στοιχείο του είναι ο άνθρακας (περιεκτικότητα $50\% - 70\%$) και περιέχει επίσης νερό, υδρογόνο, οξυγόνο και άζωτο.

Στην Ελλάδα η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας πραγματοποιείται κατά κύριο λόγο από θερμικούς σταθμούς καύσης λιγνίτη, λόγω των σημαντικών ποσοτήτων λιγνιτικών κοιτασμάτων που διαθέτει. Η συστηματική εκμετάλλευση του λιγνίτη άρχισε τη δεκαετία του 1950. Είναι καύσιμο χαμηλής θερμογόνου δυνάμης, που κυμαίνεται μεταξύ $900 - 2000\,\mathrm{kcal/kJ}$, με μέση τιμή περίπου τα $1300\ \mathrm{kcal}$. Υπό τις σημερινές συνθήκες και έχοντας υπόψη ότι το μικρότερο μέγεθος λιγνιτικών Α.Η.Σ. κυμαίνεται μεταξύ $320 - 350\ \mathrm{MW}$ και απαιτεί ετησίως περίπου 3 εκ. τόνους λιγνίτη για 30 χρόνια ζωής, το κατάλληλο για εκμετάλλευση λιγνιτικό κοίτασμα πρέπει να είναι της τάξεως των 100 εκ. τόνων με σχέση εκμετάλλευσης 10 προς 1. Η εκμετάλλευση μικρότερου μεγέθους κοιτασμάτων για ηλεκτροπαραγωγή είναι εφικτή, όταν η παραγωγή τους υποστηρίζει ήδη σε λειτουργία Α.Η.Σ. όπως συμβαίνει στο λιγνιτικό κέντρο Δυτικής Μακεδονίας της Δ.Ε.Η. Α.Ε..

Τα διάφορα μικρά κοιτάσματα λιγνίτη που είναι διεσπαρμένα σε όλη την Ελλάδα εκτιμάται ότι διαθέτουν αποθέματα περίπου 350 εκ. τόνους από τα οποία 150 εκ. τόνους βρίσκονται στην περιοχή μεταξύ Κοζάνης και Σερβίων. Το καθεστώς ιδιοκτησίας των λιγνιτικών κοιτασμάτων της χώρας διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες:

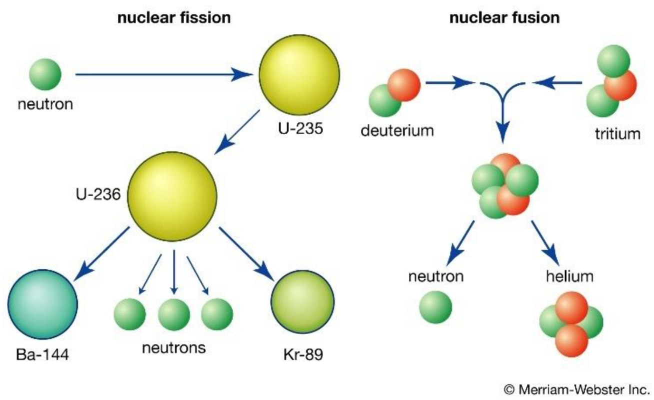
1. Λιγνιτικά κοιτάσματα που έχουν παραχωρηθεί για εκμετάλλευση στην Δ.Ε.Η. Α.Ε.. Πρόκειται για κοιτάσματα σε δύο περιοχές. Μια στην Δυτική Μακεδονία (Πτολεμαΐδα - Αμύνταιο - Φλώρινα) και μια στην Πελοπόννησο (Μεγαλόπολη)
2. Λιγνιτικά κοιτάσματα, που έχουν μισθωθεί σε ιδιώτες. Το κυριότερο από αυτά είναι το λιγνιτικό κοίτασμα Αχλάδας στην Φλώρινα.
3. Λιγνιτικά κοιτάσματα που ανήκουν στο Δημόσιο όπως είναι εκείνο της Ελασσόνας και της Δράμας. Τα συνολικά βεβαιωμένα γεωλογικά αποθέματα λιγνίτη στη χώρα ανέρχονται σε περίπου 5 δις. τόνους. Τα κοιτάσματα αυτά παρουσιάζουν αξιοσημείωτη γεωγραφική εξάπλωση στον ελληνικό χώρο. Με τα σημερινά τεχνικό-οικονομικά δεδομένα τα κοιτάσματα που είναι κατάλληλα για ενεργειακή εκμετάλλευση, ανέρχονται σε περίπου 4 δις τόνους και ισοδυναμούν με 550 εκ. τόνους πετρελαίου.

Η στόχευση της δέσμευσης CO_2είναι να δημιουργηθεί ένα συμπυκνωμένο διοξείδιο του άνθρακα υψηλής πίεσης, το οποίο μπορεί να μεταφερθεί σε μια τοποθεσία αποθήκευσης. Αν και γενικά η ροή καυσαερίων από την καύση ορυκτών καυσίμων μπορεί να διοχετευθεί στο έδαφος, το υψηλό ενεργειακό κόστος και οι συναφείς εξόδοι καθιστούν αυτήν την προσέγγιση ανεφάρμοστη. Συνεπώς, είναι αναγκαίο να παραχθεί ένα σχεδόν αγνό ρεύμα CO_2 για μεταφορά και αποθήκευση.

Εικόνα 1-4 Κοίτασμα λιγνίτη

1.2.4 ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η πυρηνική είναι η ενέργεια που βρίσκεται στον πυρήνα ενός ατόμου. Συγκεκριμένα, τα άτομα στον πυρήνα τους αποτελούνται από δύο τύπους σωματιδίων τα οποία είναι τα πρωτόνια και τα νετρόνια και μάλιστα βρίσκονται μαζί. Επομένως, η ενέργεια αυτή διατηρεί νετρόνια και πρωτόνια και με τη χρήση αυτής της ενέργειας μπορεί να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια. Για την επίτευξη της πυρηνικής ενέργειας υπάρχουν δύο κατευθύνσεις, αυτή της πυρηνικής σχάσης και αυτής της πυρηνικής σύντηξης. Όταν πραγματοποιείται πυρηνική σχάση η ενέργεια απελευθερώνεται αφού γίνεται ο χωρισμός των ατόμων σε μικρότερα. Αντιθέτως, στην πυρηνική σύντηξη η απελευθέρωση της ενέργειας πραγματοποιείται με το συνδυασμό ή τη συγχώνευση των ατόμων ώστε να δημιουργήσουν ένα μεγαλύτερο άτομο. Μόνο μέσω της πυρηνικής σχάσης όμως μπορεί να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια από τους διάφορους πυρηνικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής μέχρι στιγμής. Η χρήση της πυρηνικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρισμού είναι η πιο διαδεδομένη όμως μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ιατρική, το περιβάλλον κ.α..



Εικόνα 1-5 Διαδικασία πυρηνικής σχάσης και πυρηνικής σύντηξης

Χαρακτηρίζεται ως αμφιλεγόμενη ενέργεια από άλλους θεωρείται ως μια ενέργεια του μέλλοντος και από άλλους ως μια ενέργεια που είναι τρομερά επικίνδυνη τόσο για τον άνθρωπο και το περιβάλλον. Πολλοί υποστηριχτές της τονίζουν πως η πυρηνική ενέργεια είναι καθαρή, φθηνή, ανεξάρτητη, ασφαλής, ειρηνική και δεν επιβαρύνει στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Παρατηρείται λοιπόν, μια παγκόσμια ανάγκη να λυθούν ζητήματα που αποτελούν αγκάθι της πυρηνικής ενέργειας, όπως είναι η ασφάλειά της. Πολλές είναι οι κινήσεις και οι συνεργασίες γύρω από αυτό το ζήτημα. Επιπλέον, το πειραματικό ακόμα κομμάτι της πυρηνικής σύντηξης δίνει ελπίδα στην παγκόσμια κοινότητα. Και αυτό γιατί θα αποτελέσει ένα είδους επιστημονικού θαύματος καθώς με την υλοποίηση της πυρηνικής σύντηξης, θα είναι μια απολύτως καθαρή και ασφαλής ενέργεια.

1.3 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ως Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.) θεωρούνται (Ν.3468/2006, αρθ.2, §§2, 19-22) οι πηγές που δεν κάνουν χρήση ορυκτών καυσίμων, όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια, η ενέργεια κυμάτων, οι παλίρροιες, η βιομάζα, τα αέρια τα οποία εκλύονται από χώρους υγειονομικής ταφής και από βιολογικό καθαρισμό, τα βιοαέρια, η γεωθερμική ενέργεια και η υδραυλική ενέργεια η οποία αξιοποιείται από υδροηλεκτρικούς σταθμούς. Η παραγωγή ενέργειας με Α.Π.Ε. εκμεταλλεύεται τις ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και θεωρούνται βιώσιμες ως προς την οικονομία και το περιβάλλον.

Στην σημερινή εποχή παρατηρείται τεράστια κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση, ψύξη και την λειτουργία βιομηχανικών μονάδων. Ως αποτέλεσμα είναι η ενεργειακή ανάγκη και οι απαιτήσεις κάλυψης να αυξάνονται συνεχώς με την πάροδο των χρόνων. Μαζί με τις αυξημένες απαιτήσεις κάλυψης, γεννιούνται και ορισμένα προβλήματα, όπως το αυξημένο κόστος, η περιβαλλοντολογική ρύπανση και η σταδιακή μείωση των συμβατικών πηγών.

Η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αυξάνεται συνεχώς και υιοθετείται από πολλές χώρες ως συμπληρωματική και βοηθητική πλάι στις συμβατικές πηγές με μελλοντικό πλάνο να τις εξαλείψει τελείως. Για πολλές χώρες οι Α.Π.Ε. είναι μια σημαντική εγχώρια πηγή ενέργειας με μεγάλες δυνατότητες σε εθνικό και τοπικό επίπεδο. Επίσης, έχοντας ξεπεράσει σημαντικά τα εμπόδια και τις αδυναμίες των παλαιότερων χρόνων θεωρούνται ανταγωνιστικές ως προς τη παραγωγή ενέργειας και βοηθούν στην προστασία του περιβάλλοντος, καθώς δεν το επιβαρύνουν και δεν παράγουν ρύπους και το βασικότερο χαρακτηριστικό που τις ξεχωρίζει από τις υπόλοιπες εν χρήση πηγές είναι ότι δεν απαιτείται κάποια ουσιαστική ενεργητική παρέμβαση, εξόρυξη, άντληση κ.α..

Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, η Ε.Ε. έχει δώσει δεσμευτικό στόχο την επίτευξη κλιματικής ουδετερότητας (climate neutrality) ως το 2050. Το συγκεκριμένο εγχείρημα απαιτεί την σημαντική μείωση τον εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα τις επόμενες δεκαετίες. Στην Ελλάδα, παρά το γεγονός ότι είναι μια χώρα που πλεονεκτεί έναντι υπολοίπων, λόγω της μεγάλης διάρκειας ηλιοφάνειας, τα ποικιλόμορφα ποτάμια και τους δυνατούς ανέμους στα νησιά δεν παρουσιάζεται το ποσοστό διείσδυσής τους σε ικανοποιητικό επίπεδο. Στις παρακάτω ενότητες, παρουσιάζονται οι μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και οι ιδιότητές τους.

Εικόνα 1-6 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

1.3.1 ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Αιολική είναι η ενέργεια η οποία παράγεται από τον άνθρωπο, μέσω εκμετάλλευσης του ανέμου. Η «εμφάνισή» της έχει γίνει από τα παλαιότερα χρόνια, όταν οι άνθρωποι εκμεταλλευόντουσαν στα ιστιοφόρα των αέρα για τα πανιά και αργότερα στους ανεμόμυλους στην ξηρά.

Στρόβιλοι αέρα ή αιολικές μηχανές, είναι οι μηχανές μετατροπής της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε διαφορετική μορφή ενέργειας. Οι ανεμογεννήτριες, αποτελούν τέτοιες μηχανές οι οποίες μετατρέπουν πρώτα σε μηχανική και στην συνέχεια σε ηλεκτρική ενέργεια για εκμετάλλευση από τον άνθρωπο σε οικιακές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Οι ανεμογεννήτριες, τοποθετούνται σε περιοχές υψηλού αιολικού δυναμικού και σχηματίζουν τα αιολικά πάρκα. Η τοποθέτησή τους εξοικονομεί χρήματα μετασχηματιστές, γραμμές μεταφοράς και υποσταθμούς, ενώ τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ανάπτυξη και στην θάλασσα, τα λεγόμενα θαλάσσια αιολικά πάρκα.

Περιοχές με μέση ταχύτητα ανέμου περί τα 6m/s, θεωρούνται ιδανικές τοποθεσίες για παραγωγή ηλεκτρική ισχύος. Οι εμπορικές ανεμογεννήτριες παράγουν από 100kW ως 8MW με αυξητικές τάσεις. Η μεγαλύτερη ανεμογεννήτρια στο κόσμο, βρίσκεται στην Γερμανία (περιοχή Γκάιλντοφλντ) με συνολικό ύψος τα 246,5m. Αποτελεί ένα μέρος του αιολικού πάρκου, καθώς υπάρχουν ακόμα τέσσερις ανεμογεννήτριες που στο σύνολό τους παράγουν κατά μέσο όρο 10.500MWh ετησίως. Όπως κάθε μορφή ενέργειας, έτσι και η αιολική έχει ορισμένα μειονεκτήματα, με τα βασικότερα να είναι πως οι περιοχές με το μεγαλύτερο αιολικό δυναμικό συνήθως βρίσκονται μακριά από πόλεις. Επομένως, πρέπει να δαπανηθούν σημαντικά ποσά για την δημιουργία ηλεκτρικών δικτύων. Επίσης, οι άνεμοι παύουν ανα περιόδους, έτσι συνήθως απαιτείται μια συμπληρωματική πηγή ενέργειας για κάλυψη αναγκών.

Τα χαρακτηριστικά του ανέμου σε κάθε περιοχή αποτελούν τον σημαντικότερο παράγοντα για την εκτίμηση του αιολικού πάρκου. Η ταχύτητα, η διακύμανση και η διεύθυνση του ανέμου είναι ορισμένα από τα βασικότερα χαρακτηριστικά που εκτιμώνται βάσει μετρήσεων. Η ταχύτητα του ανέμου, μεταβάλλεται διαρκώς και οι επιστήμονες με βάση τη διάρκεια της μεταβολής τις χωρίζουν στις εξής επιγραμματικά κατηγορίες:

1. Μεγάλων περιόδων
2. Ετήσιες
3. Ημερήσιες
4. Σύντομες

Μια χρονοσειρά μετρήσεων ταχύτητας του ανέμου μιας περιοχής έχει μέση ταχύτητα:

$$\vec{\mathbf{V}}_{\mathbf{m}} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{N}} \sum_{\mathbf{i=1}}^{\mathbf{N}} \vec{\mathbf{V}}_{\mathbf{i}} \qquad \mathbf{1.1}$$

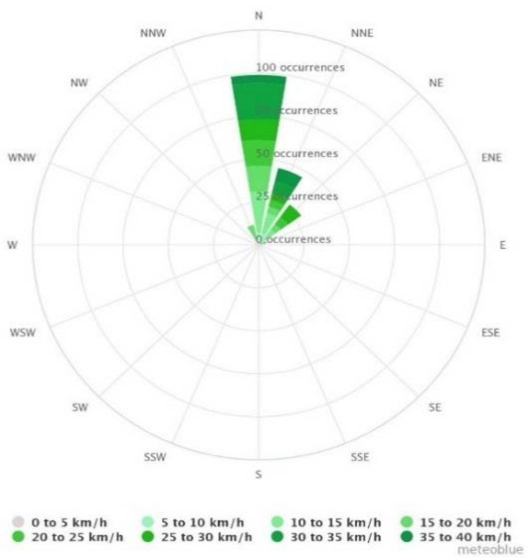
Όπου, $\vec{V}_i$ $[m/s]$ είναι η i-μέτρηση της ταχύτητας.

N ο αριθμός μετρήσεων.

Η τυπική απόκλιση σ των N μετρήσεων, δίνεται από τη σχέση:

$$\boldsymbol{\sigma} = \sqrt{\frac{\mathbf{1}}{\mathbf{1-N}} \sum_{\mathbf{i=1}}^{\mathbf{N}} \left(\vec{\mathbf{V}}_{\mathbf{i}} - \vec{\mathbf{V}}_{\mathbf{m}}\right)} \qquad \mathbf{1.2}$$

Η διεύθυνση του ανέμου σε μια θέση δεν είναι σταθερή, αλλά υπόκειται σε συνεχής μεταβολές. Με βάση τις παρατηρήσεις των μεταβολών αυτών, μπορεί να παρουσιαστεί με πολικό διάγραμμα, η συχνότητα παρουσίας ανέμου για κάθε μια διεύθυνση σε σχέση με τις συνολικές παρατηρήσεις. Αυτό το διάγραμμα ορίζεται ως ρόδο του ανέμου (wind rose).



Εικόνα 1-7 Ανεμορόδο Αθήνας

Η μέτρηση της έντασης και της κατεύθυνσης ταχύτητας του ανέμου, πραγματοποιούνται με το ανεμόμετρο και τα αποτελέσματα καταγράφονται ηλεκτρονικά σε ειδικό καταγραφικό.

Η ταξινόμηση των ανεμογεννητριών ποικίλει αναλόγως των χαρακτηριστικών της κάθε εταιρείας παραγωγής. Διευκολύνει στην μεθοδική μελέτη και ταξινόμηση ανάλογα των αναγκών με στόχο την καλύτερη αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας με το χαμηλότερο κόστος. Οι ανεμογεννήτριες ταξινομούνται επιγραμματικά με τις κάτωθι κατηγορίες:

1. Ταξινόμηση ανάλογα με την ισχύ.
2. Ταξινόμηση ανάλογα τον τρόπο αλληλεπίδρασης του ανέμου με την ανεμογεννήτρια.

1.3.2 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Γεωθερμική ενέργεια, χαρακτηρίζεται η θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της Γης. Το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας αυτής βρίσκεται σε μεγάλα βάθη και στον πυρήνα της Γης που με τις σημερινές τεχνολογικές γνώσεις δεν γίνεται ο άνθρωπος να επέμβει. Πρακτικά, ο άνθρωπος, εκμεταλλεύεται την γήινη θερμότητα που είναι αποθηκευμένη με την μορφή ατμού, νερού ή πετρωμάτων σε ευνοϊκά γεωλογικά μέρη. Αποτελεί ήπια μορφή ενέργειας, ικανή να καλύψει σημαντικές ενεργειακές ανάγκες όπως η ψύξη, η θέρμανση και η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος.

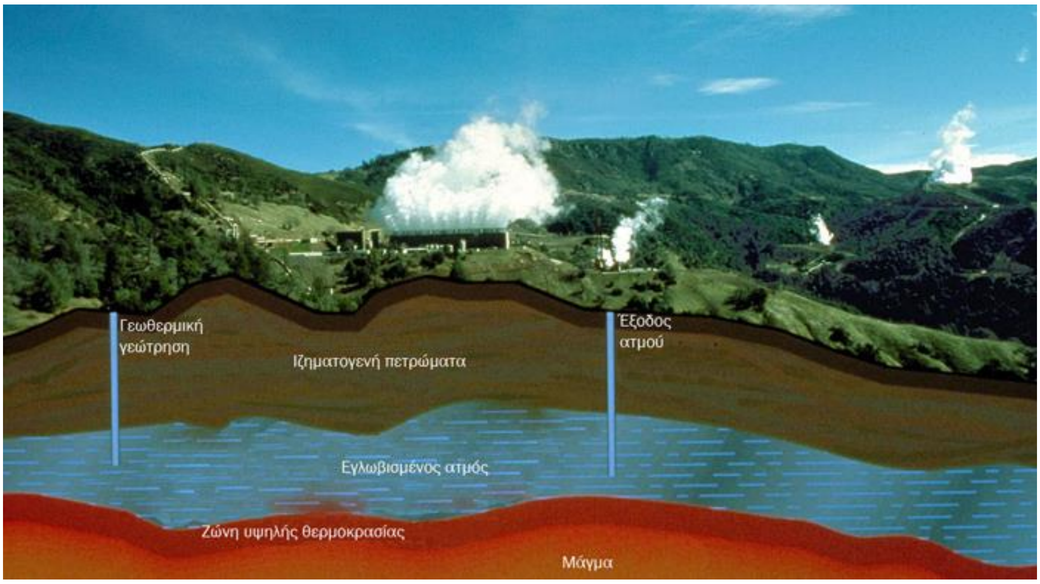
Η ενέργεια αυτή, φθάνει στην επιφάνεια της Γης και στη συνέχεια ακτινοβολείται ξανά στο διάστημα, ενώ ταυτόχρονα μέρος της αποθηκεύεται σε επιφανειακούς ή υπόγειους σχηματισμούς με την μορφή θερμών ατμών. Η γεωθερμική ενέργεια, μεταδίδεται με αγωγή από το εσωτερικό προς την επιφάνεια με ρυθμό $0{,}04 - 0{,}06\,\mathrm{W/m^2}$ και με ρεύματα μεταφοράς, που περιορίζονται στις ζώνες των λιθοσφαιρικών πλακών λόγω ηφαιστειακών και υδροθερμικών φαινομένων.

Η θερμοκρασία του υπεδάφους της Γης ποικίλει ανάλογα την περιοχή και μπορεί να φτάσει από $25°\mathrm{C}$ μέχρι $300°\mathrm{C}$. Στις περιοχές που η θερμοκρασία είναι άνω των $150°\mathrm{C}$ η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η Ελλάδα έχει αξιόλογα γεωθερμικά πεδία.

Σε υψηλή ενθαλπία (μέγεθος μέτρησης ενός θερμοδυναμικού συστήματος), δηλαδή άνω των $150°\mathrm{C}$, υπάρχουν δύο πεδία με σημαντικό βεβαιωμένο δυναμικό, στη Μήλο και τη Νίσυρο.

Με μέση ενθαλπία ($90°\mathrm{C}$ -$150°\mathrm{C}$) υπάρχουν μεγάλες δυνατότητες σε λεκάνες της Βόρειας Ελλάδας και σε πολλά μεγάλα νησιά του Κεντρικού και Βόρειου Αιγαίου. Τέτοια πεδία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ηλεκτροπαραγωγή και στη συνέχεια σε πάρα πολλές άμεσες θερμικές χρήσεις. Με χαμηλή ενθαλπία ($25°\mathrm{C} - 90°\mathrm{C}$), που δίνει επίσης δυνατότητες αξιοποίησης, υπάρχει πολύ μεγάλο δυναμικό, με τα κυριότερα πεδία να εντοπίζονται στη Βόρεια και Κεντρική Ελλάδα και σε νησιά του Αιγαίου. Τέλος, η αβαθής γεωθερμία υπάρχει σχεδόν σε κάθε γωνιά της Ελλάδας και έχει πολλές ανεκμετάλλευτες δυνατότητες, κυρίως στη θέρμανση και ψύξη.

Οι χρήσεις της, χωρίζονται σε άμεσες και ηλεκτρικές και σε πιο εξειδικευμένες εφαρμογές όπως η άρδευση με απορριπτόμενο γεωθερμικό νερό, το πλύσιμο και η διαύγαση ινών και η χώνευση λυμάτων.



Εικόνα 1-8 Μοντέλο γεωθερμίας - γεωθερμικού πεδίου

1.3.3 ΒΙΟΜΑΖΑ

Η βιομάζα, είναι ανανεώσιμο καύσιμο ικανό να αντικαταστήσει σε ένα βαθμό τα ορυκτά καύσιμα για παραγωγή ισχύος και θερμότητας. Εναλλακτικό καύσιμο, είναι κάθε καύσιμο που χαρακτηρίζεται από ένα δυναμικό αντικατάστασης ή υποκατάστασης συμβατικών ορυκτών καυσίμων. Πρακτικά, τα ανανεώσιμα καύσιμα είναι δυο ειδών

Η βιομάζα στην χώρα μας, έχει μια πληθώρα εφαρμογών που αφορούν:

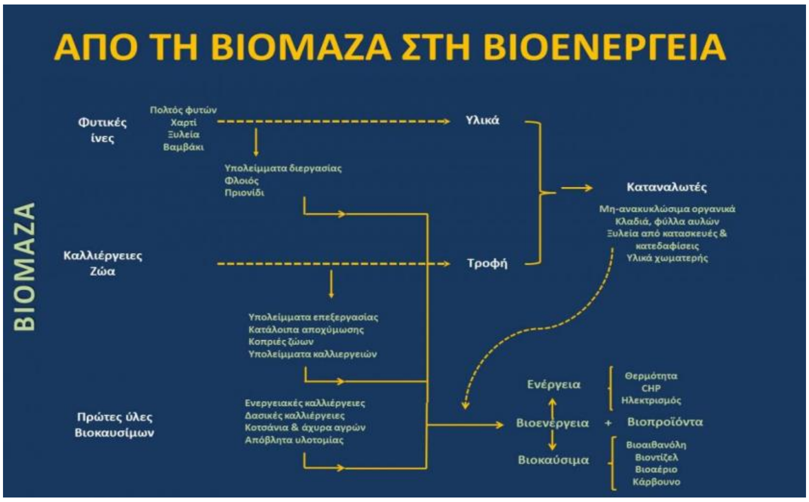
1. Την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης –ψύξης η και ηλεκτρισμού σε γεωργικές και άλλες βιομηχανίες
2. Την τηλεθέρμανση κατοικημένων περιοχών
3. την θέρμανση θερμοκηπίων
4. Την παραγωγή υγρών καυσίμων με διάφορες διαδικασίες (θερμοχημείες, βιοχημικές).

Σε περιπτώσεις όπως αυτές, η πρώτη ύλη συχνά προέρχεται από παράγωγα της ξυλουργικής βιομηχανίας, όπως ελαιοπυρηνόξυλα, κουκούτσια ροδάκινων και άλλων φρούτων, τσόφλια αμυγδάλων, βιομάζα από δάση, άχυρο από σιτηρά και υπολείμματα από την εκκόλαψη. Δυστυχώς, πολύ μεγάλο ποσοστό αυτής της βιομάζας παραμένει ανεκμετάλλευτο στην Ελλάδα. Σύμφωνα με πρόσφατη απογραφή, περίπου 7.500.000 τόνοι υπολειμμάτων από γεωργικές καλλιέργειες (όπως σιτηρά, αραβόσιτο, βαμβάκι, καπνός, ηλίανθος, και φυτά φουρνόξυλου) και περίπου 2.700.000 τόνοι υπολειμμάτων από την υλοτομία δασών (κλαδιά, φλοιοί κλπ.) είναι διαθέσιμοι στη χώρα. Από αυτά τα υπολείμματα, ένα μεγάλο ποσοστό μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα για την παραγωγή ενέργειας, χωρίς προβλήματα μεταφοράς. Σε ορισμένες περιοχές της Ελλάδας, όπου υπάρχουν μονοκαλλιέργειες όπως το βαμβάκι, δημιουργείται το πρόβλημα των γεωργικών πλεονασμάτων. Η εξειδίκευση σε ένα μόνο προϊόν αυξάνει το πλεόνασμα και οδηγεί σε μείωση της τιμής του γεωργικού προϊόντος και υποβάθμιση του περιβάλλοντος λόγω της έντονης χρήσης χημικών και φυτοφαρμάκων και της υπερβολικής άρδευσης. Τέλος, η αντικατάσταση ενός μέρους της καλλιεργήσιμης γης με ενεργειακές καλλιέργειες για την παραγωγή βιομάζας μπορεί να λύσει το οικονομικό πρόβλημα λόγω των πλεονασμάτων και να παρέχει δυνατότητες για την αύξηση της χρήσης της βιομάζας στην χώρα μας.

Σήμερα καταλαμβάνει το 15% περίπου της παγκόσμιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας. Εκ του ποσοστού αυτού πάνω από το 30% χρησιμοποιείται για τον υπό ανάπτυξη κόσμο και αντίστοιχα 3% περίπου για τις βιομηχανικές χώρες προς παραγωγή ηλεκτρισμού αλλά και θερμότητας (υπό μορφή βιομηχανικών, αστικών και αγροτικών αποβλήτων). Βάσει του θεσμικού πλαισίου που στηρίζει την αξιοποίηση της βιομάζας στη χώρα, γίνεται η ακόλουθη διάκριση (ΥΠΕΚΑ, 2012):

1. Βιομάζα τριών κατηγοριών βάσει του μεγέθους των εγκαταστάσεων (< 1MW, $1 - 5$MW, > 5 MW).
2. Εκλυόμενα αέρια από ΧΥΤΑ και μονάδες βιολογικού καθαρισμού, βιοαέρια δύο κατηγοριών (βάσει εγκατεστημένης ισχύος μικρότερης των 2MW και μεγαλύτερης των 2 MW).
3. Προερχόμενο βιοαέριο από βιομάζα (μικρότερη του 1MW και μεγαλύτερη του 1MW).

Η ενέργεια από τη βιομάζα προέρχεται από την αποθηκευμένη μορφή της ηλιακής ακτινοβολίας, που στην αρχή δεσμεύεται από τα φυτά μέσω της φωτοσύνθεσης και στη συνέχεια μετατρέπεται σε χημική ενέργεια που αποθηκεύεται στις οργανικές ουσίες και μέσα στους ιστούς των φυτών. Με την καύση των φυτών και τη συμβολή της σύγχρονης τεχνολογίας η βιομάζα έχει ποικίλες χρήσεις. Αξίζει να τονισθεί πως η καύση της βιομάζας διακρίνεται για το μηδενικό της ισοζύγιο διοξειδίου του άνθρακα και συνεπώς δε συμβάλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.



Εικόνα 1-9 Διαδικασία μετατροπής βιομάζας σε βιοενέργεια

Οι μέθοδοι μετατροπής της βιομάζας σε ενέργεια διακρίνονται σε θερμοχημικές και βιοχημικές. Η σχέση άνθρακα/ αζώτου και η υγρασία που περιέχεται στα υπολείμματα ή παραπροϊόντα κατά τη συλλογή, καθορίζουν την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου. Για αναλογία άνθρακα / αζώτου μεγαλύτερη από 30% και περιεχόμενη υγρασία χαμηλότερη από 50%, κατάλληλες είναι οι θερμοχημικές (ξηρές) διεργασίες. Αυτές οι διεργασίες περιλαμβάνουν:

1. Πυρόλυση, δηλαδή θέρμανση χωρίς παρουσία οξυγόνου.
2. Απ’ ευθείας καύση
3. Αεριοποίηση, δηλαδή θέρμανση παρουσία συγκεκριμένης ποσότητας οξυγόνου ή αέρα προς μέγιστη απελευθέρωση μονοξειδίου του άνθρακα και υδρατμών.
4. Υδρογονοδιάσπαση.

Κατά την καύση της βιομάζας η παραγόμενη θερμότητα διαδίδεται είτε με αγωγιμότητα, είτε με μεταφορά, είτε με ακτινοβολία. Η ελαχιστοποίηση των απωλειών επιτυγχάνεται μόνο μέσω των κατάλληλων τοιχωμάτων που διαθέτει η εστία καύσης. Επίσης όσον αφορά την πυρόλυση της βιομάζας, ο παραγόμενος βιοάνθρακας χαρακτηρίζεται από: 83% άνθρακα, 11% οξυγόνο, 3% υδρογόνο, 2,7% τέφρα και 0,3% άζωτο. Οι βιοχημικές διεργασίες λαμβάνουν χώρα λόγω μικροβιακής δράσης.

1.3.4 ΚΥΜΑΤΑ

Ένα κύμα αναφέρεται σε μια διαταραχή που μεταδίδεται μέσα στο χρόνο και το χώρο. Από το αρχαίο ελληνικό ρήμα "κύω" (που σημαίνει φουσκώνω), ο όρος περιγράφει τη μεταφορά της διαταραχής μέσα από ένα μέσο. Αυτή η μεταφορά συμβαίνει στα υλικά μέσα με τη μορφή παλμικής κίνησης μεταξύ των βασικών σωματιδίων του μέσου, ενώ ορισμένα είδη κυμάτων, όπως τα ηλεκτρομαγνητικά, μπορούν να διαδοθούν και στο κενό. Η διαταραχή αφορά ένα συγκεκριμένο φυσικό μέγεθος, ανάλογα με το είδος του κύματος. Για παράδειγμα, σε ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα, η διαταραχή αφορά την ένταση του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου. Από την άλλη, στα θαλάσσια κύματα, διαταράσσεται το επιφανειακό στρώμα νερού. Υπάρχουν πολλά άλλα είδη κυμάτων, αλλά όλα έχουν ένα κοινό χαρακτηριστικό: τη μεταφορά ενέργειας. Για παράδειγμα, ένα κύμα που κινείται στην επιφάνεια της θάλασσας αναγκάζει κάθε αντικείμενο που επιπλέει να ανεβοκατεβαίνει.

Υπάρχουν ποικίλες τεχνικές για την παραγωγή ενέργειας από τα κύματα, αλλά μια από τις αποδοτικότερες λειτουργεί παρόμοια με ένα μηχανισμό που αναπτύχθηκε με σκοπό τη δημιουργία κυμάτων σε πισίνες. Έτσι, σε μια πισίνα, ο αέρας μεταφέρεται εναλλάξ εσωτερικά και εξωτερικά, δημιουργώντας κύματα. Παρόμοια, σε έναν σταθμό παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος από κύματα, η άφιξη των κυμάτων προκαλεί την αλλαγή επιπέδου του νερού εντός του θαλάμου, η οποία επηρεάζει τη ροή του αέρα μέσα και έξω από μια τρύπα στην κορυφή του θαλάμου. Σε αυτήν την τρύπα τοποθετείται τουρμπίνα, η οποία περιστρέφεται με τη ροή του αέρα μέσα-έξω, και λειτουργεί ως γεννήτρια. Το σύστημα αξιοποιεί την ταχύτητα, το ύψος, το βάθος και τη ροή του κύματος που πλησιάζει, παράγοντας κατά συνέπεια ενέργεια με μεγαλύτερη αποδοτικότητα και χαμηλότερο κόστος από άλλες θαλάσσιες τεχνολογίες και τις κοινές μεθόδους παραγωγής ενέργειας. Ο θαλάσσιος κυματισμός είναι, όπως και οι άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, μια ανεξάντλητη πηγή ενέργειας, ενώ έχει τη μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα σε σύγκριση με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Το δυναμικό ενέργειας στους ωκεανούς του πλανήτη μας θεωρείται τεράστιο, και η εκμετάλλευση ακόμα και ενός μικρού ποσοστού αυτού του δυναμικού θα μπορούσε θεωρητικά να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες του πλανήτη μας.

Οι χώρες που βρέχονται από τον Ατλαντικό Ωκεανό έχουν τους υψηλότερους πόρους κυματικής ενέργειας παγκοσμίως, ενώ αξιοποιήσιμο είναι και το κυματικό δυναμικό στο Αιγαίο Πέλαγος. Η έρευνα για την ανάπτυξη τεχνικά και οικονομικά βιώσιμων τεχνολογιών μμετατροπής κυματικής ενέργειας σε ηλεκτρισμό έχει ξεκινήσει σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες από την δεκαετία του ’70. Για την χώρα μας τώρα, η οποία έχει μεγάλη ακτογραμμή, το μήκος της οποίας είναι περίπου 16000 χλμ. Το υψηλό αιολικό δυναμικό πάνω από το Αιγαίο Πέλαγος επάγει σχετικά έντονη κυματική δραστηριότητα στην περιοχή αυτή με μέσες ετήσιες τιμές κυματικής ισχύος ανά μέτρο μετώπου κύματος της τάξης των $4-11\ \mathrm{kW/m}$. Εντοπίζονται επίσης θαλάσσιες περιοχές εστιασμού κυματικής ενέργειας λόγω φαινομένων ανάκλασης και περίθλασης των κυμάτων. Το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο κυματικό δυναμικό της Ελλάδας θεωρείται το υψηλότερο της Μεσογείου ,και είναι της τάξης των $5\ -\ 9\ \mathrm{TWh}$ κάθε χρόνο.

1.3.5 ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η ενέργεια που προέρχεται από το νερό στη φύση, το οποίο βρίσκεται σε περιοχές με μεγάλο υψόμετρο και έχει δυναμική ενέργεια ικανή να μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια όταν το νερό κατευθύνεται προς χαμηλότερες περιοχές, αξιοποιείται μέσω των υδροηλεκτρικών έργων. Αυτά τα έργα δίνουν τη δυνατότητα εκμετάλλευσης της ενέργειας του νερού για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, το οποίο διανέμεται στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας για κατανάλωση. Η ενέργεια του νερού μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω της υδραυλικής δύναμης του νερού, χρησιμοποιώντας υδραυλικές τουρμπίνες. Αυτή η ηλεκτρική ενέργεια, που προέρχεται από την υδατόπτωση, διακρίνεται σε ενέργεια μικρής και μεγάλης κλίμακας. Οι δύο αυτές μορφές έχουν διαφορετικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Τα συστήματα μικρής κλίμακας εγκαθίστανται συνήθως κοντά σε ποτάμια και κανάλια, μειώνοντας έτσι τις επιπτώσεις στο περιβάλλον. Αυτά τα συστήματα, γνωστά ως υδροηλεκτρικές μονάδες μικρής κλίμακας, έχουν μικρότερη ισχύ από 30 MW και θεωρούνται ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Στην Ελλάδα, η υδροηλεκτρική ενέργεια καλύπτει περίπου το 10% των ενεργειακών μας αναγκών.

1.3.6 ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η ηλιακή ενέργεια είναι διαθέσιμη ολόκληρη τη Γη και βοηθάει στη ελάττωση της εξάρτησης από τις εισαγωγές ενέργειας. Καθώς δεν συνεπάγεται κίνδυνο ή περιορισμούς για τις τιμές των καυσίμων, βελτιώνει επίσης την ασφάλεια του εφοδιασμού. Η ηλιακή ενέργεια ενισχύει σημαντικά την ενεργειακή ποικιλομορφία και αντισταθμίζει την αστάθεια των τιμών των ορυκτών καυσίμων, σταθεροποιώντας έτσι τα κόστη της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε μακροπρόθεσμη βάση. Το ηλιακό φωτοβολταϊκό σύστημα δεν συνεπάγεται εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια λειτουργίας του και δεν εκπέμπει άλλους ρύπους (όπως τα οξείδια του θείου και του αζώτου). Επιπλέον, καταναλώνει λίγο ή καθόλου νερό.

Από το 2010, ο πλανήτης πρόσθεσε περισσότερη ισχύ ηλιακών φωτοβολταϊκών από ό,τι στις προηγούμενες τέσσερις δεκαετίες. Η συνολική παγκόσμια ισχύς ξεπέρασε τα 150 GW στις αρχές του 2014. Η γεωγραφική κατανομή της ανάπτυξης αλλάζει γρήγορα. Ενώ, αρκετές ευρωπαϊκές χώρες, με επικεφαλής τη Γερμανία και την Ιταλία, ξεκίνησαν μια μεγάλης κλίμακας ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών, από το 2013, η Λαϊκή Δημοκρατία της Κίνας κυριαρχεί στην παγκόσμια αγορά φωτοβολταϊκών και ακολουθεί η Ιαπωνία και οι Ηνωμένες Πολιτείες.

Οι τιμές των φωτοβολταϊκών συστημάτων έχουν διαιρεθεί δια του τρία μέσα σε έξι χρόνια στις περισσότερες αγορές, ενώ οι τιμές της φωτοβολταϊκής μονάδας έχουν διαιρεθεί δια του πέντε. Το μερίδιο των φωτοβολταϊκών στην παγκόσμια ηλεκτρική ενέργεια αναμένεται ότι θα φτάσει το 16% μέχρι το 2050 , μια σημαντική αύξηση από το στόχο του 11% στον αρχικό τεχνολογικό χάρτη του 2010. Η επίτευξη του οράματος του στόχου των 4.600GW εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών έως το 2050 θα απέφευγε την εκπομπή μέχρι και 4 γιγατόνων διοξειδίου του άνθρακα ετησίως.

Ο χάρτης υποθέτει ότι τα κόστη της ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά στα διάφορα μέρη του κόσμου θα συγκλίνουν όσο οι αγορές αναπτύσσονται, με μέση μείωση του κόστους 25% μέχρι το 2020, 45% μέχρι το 2030, και 65% μέχρι το 2050. Για την επίτευξη του οράματος, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών κάθε χρόνο πρέπει να αυξηθεί από 36 GW το 2013 σε 124 GW ετησίως κατά μέσο όρο, με τη μέγιστη τιμή των 200 GW ετησίως μεταξύ 2025 και 2040.

Η μεταβλητότητα που παρουσιάζει το ηλιακό δυναμικό αποτελεί μεγάλη πρόκληση. Όλες οι επιλογές ευελιξίας συμπεριλαμβανομένων των διασυνδέσεων, της απάντησης από την πλευρά ζήτησης, της ευέλικτης παραγωγής. Απαιτούνται σύγχρονες μέθοδοι για την ενεργοποίηση νέων επιχειρηματικών μοντέλων προς παραγωγή και αποθήκευση ηλιακής ενέργειας τα οποία θα θέσουν τους καταναλωτές στην καρδιά της ενεργειακής μετάβαση, επιτρέποντας την αυτοκατανάλωση το κέρδος χωρίς την επιβολή φόρων.

2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^{Ο}: ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ – Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

2.1 ΗΛΙΟΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Ο Ήλιος είναι μια βασική πηγή ενέργειας στη Γη. Είναι ένας τεράστιος αντιδραστήρας σύντηξης με μάζα $2\text{x}10^{30}$kg , όπου γίνονται συντήξεις ελαφρών πυρήνων σε βαρύτερους με σημαντικότερη τη μετατροπή του υδρογόνου σε ήλιο με ρυθμό 4 εκατομμυρίων τόνων / δευτερόλεπτο. Η παραγόμενη ενέργεια ακτινοβολείται στο διάστημα, ενώ η θερμοκρασία επιφάνειας του ηλιακού δίσκου εκτιμάται περί τους $T_{sun} = 5.774$K στην θερμοκρασία αυτή ο Ήλιος θεωρείται μέλαν σώμα και η φασματική κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας δίνεται από το νόμο του Plank, συναρτήσει του μήκους κύματος.

$$\mathbf{u(\lambda) = \frac{2h_p\pi c^2}{\lambda^5} * \frac{1}{\exp\left(\frac{h_pc/\lambda}{kT_{sun}}\right) - 1}} \qquad 2.1$$

Όπου, u είναι η φασματική ένταση εκπομπής ήλιου $[\mathrm{W/m^2\mu m}]$.

λ είναι το μήκος κύματος [μm].

$T_{sun} = 5.774$ η απόλυτη θερμοκρασία της επιφάνειας του Ήλιου [K].

$h_p = 6.625\text{x}10^{34}$ [W] η σταθερά του Plank.

$k = 1{,}38065\text{x}10^{-23}$ [J/K] η σταθερά Boltzmann.

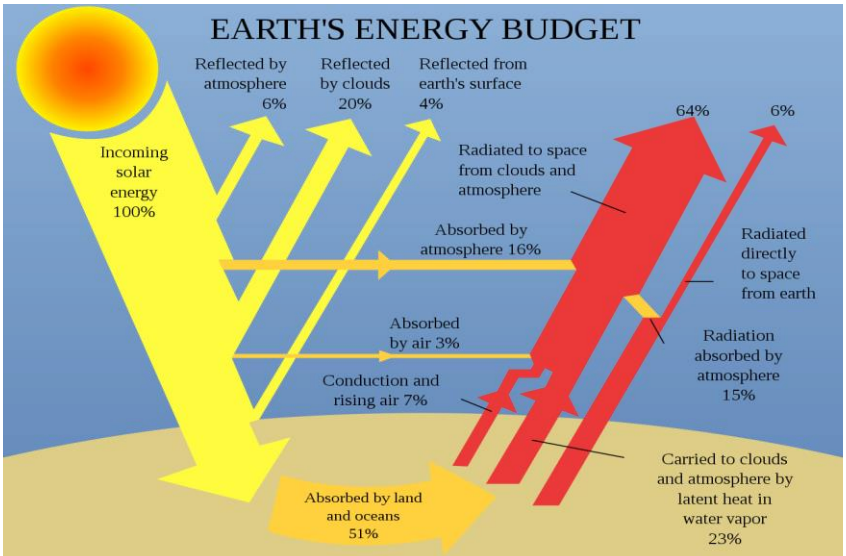
$c = 2.998\text{x}10^{8}$ η ταχύτητα του φωτός εν κενώ [m/s].

Στο εξωτερικό της ατμόσφαιρας της Γης, αντίστοιχα, η ηλιακή ακτινοβολία είναι:

$$\mathbf{u_o(\lambda) = \frac{4\pi D_{sun}^2/4}{4\pi AU^2} u(\lambda)} \qquad 2.2$$

Όπου, D_{sun} η διάμετρος του Ήλιου.

AU η μέση απόσταση Γης – Ήλιου.



Εικόνα 2-1 Ενεργειακός προϋπολογισμός Γης

2.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η ηλιακή ενέργεια έχει αποκτήσει μεγάλη σημασία τις τελευταίες δεκαετίες και μια αυξανόμενη παρουσία παγκοσμίως. Όπως όλες οι μορφές ενέργειας, έτσι και αυτή χαρακτηρίζεται από ορισμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Τα βασικότερο πλεονέκτημά της είναι πως το φως του ηλίου, επομένως και η ηλιακή ενέργεια είναι ανεξάντλητη και άφθονη (ίση με 10000 φορές της συνολικής χρήσης ενέργειας στον πλανήτη). Αυτό καθιστά τους ηλιακούς συλλέκτες ως μια βιώσιμη επιλογή. Δεν υπάρχει κανένα σημείο στην Γη που να μην είναι δυνατό να χρησιμοποιήσει το φως του Ήλιου. Επίσης, βοηθά στην μείωση αποτυπώματος του άνθρακα, καθώς με τη χρήση της αποφεύγουμε την παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου. Δεν απαιτείται κανένα όργανο συνεχούς εξαγωγής υλικών για να λειτουργήσει. Το γεγονός αυτό την καθιστά μια πολύ οικονομική ενέργεια και οι επένδυση σε εκείνη είναι εύκολο να ανακτηθεί με την πάροδο ετών. Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ποικίλους τρόπους, μέσω δομών συστημάτων, από μεγάλα βιομηχανικά έργα, μέχρι τον τομέα των αυτοκινήτων και των δορυφόρων. Τέλος, η χρήση της μειώνει την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και συμβάλλει στην διατήρηση των φυσικών πόρων προς όφελος των μελλοντικών γενεών.

Τα βασικότερα μειονεκτήματα της είναι η γεωγραφική διακύμανση που υπάρχει ανα περιοχές του κόσμου. Για παράδειγμα, η ηλιακή ακτινοβολία στον ισημερινό είναι τριπλάσια από της Βόρειας Ευρώπης. Σε συνδυασμό με την γεωγραφική διακύμανση έρχεται και η χρονική διακύμανση. Με τα σημερινά δεδομένα η εκμετάλλευσή της κυμαίνεται όλη τη διάρκεια της ημέρας και δεν υπάρχει διαθεσιμότητα τις βραδινές ώρες. Η ρύπανση, επίσης, αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα, καθώς περιοχές με μεγάλο βαθμό ατμοσφαιρικής ρύπανσης δεν θα έχουν την ίδια απόδοση στις εγκαταστάσεις τους.

2.3 ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

Η ηλιακή ακτινοβολία, όταν εισέρχεται στην ατμόσφαιρα υφίσταται εξασθένιση λόγω σκέδασης από τους υδρατμούς, τη σκόνη και τα μόρια του αέρα και λόγω απορρόφησης από το όζον (O_3), το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και τους υδρατμούς. Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της Γης εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης, την ώρα, την ηλιοφάνεια και τη θολότητα. Η ολική ακτινοβολία υπολογίζεται ως άθροισμα της άμεσης και διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας, συμπεριλαμβάνοντας την ανακλώμενη ακτινοβολία από άλλες επιφάνειες. Επίσης, εκτιμώνται η γωνία και η περιοχή πρόσπτωσης, η επίδραση της περιστροφής της Γης και ο συντελεστής απορρόφησης της ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα.

Υπάρχουν δυο μοντέλα υπολογισμού της ηλιακής ακτινοβολίας, τα οποία διαφέρουν μεταξύ τους. Το πρώτο (μοντέλο Lui-Jordan) υπολογίζει την μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου και το δεύτερο (μοντέλο Hottel) την στιγμιαία ακτινοβολία σε αίθρια ημέρα.

2.3.1 ΜΟΝΤΕΛΟ LUI-JORDAN

Ο συντελεστής αιθριότητας εκφράζει το ποσοστό ηλιακής ακτινοβολίας στην κορυφή της ατμόσφαιρας που φτάνει στην επιφάνεια της Γης. Ο μέσος συντελεστής αφορά το αντίστοιχο ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας σε διάστημα ώρας, μέρας ή μήνα. Ο συντελεστής αιθριότητας είναι:

$$\mathbf{K_T = \frac{H}{H_o}} \tag{2.3}$$

Όπου, Η: ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια.

H_o: ηλιακή ακτινοβολία στην κορυφή της ατμόσφαιρας.

Η: ακτινοβολία σε επιφάνεια υπό κλίση (H_T) είναι ένα ποσοστό της ακτινοβολίας που προσπίπτει σε οριζόντιο επίπεδο Η και εκφράζεται μέσω του συντελεστή R(β) με τη σχέση $H_T = R(\beta)H$. Ο συντελεστής αυτός είναι συνάρτηση της κλίσης του επιπέδου και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\mathbf{R(\beta) = R_b\left(1 - \frac{H_d}{H}\right) + \frac{H_d}{H}\left[\frac{1+\cos(b)}{2}\right] + r\left[\frac{1-\cos(b)}{2}\right]} \tag{2.4}$$

Όπου, H_d: διάχυτη ακτινοβολία.

R_b: λόγος άμεσης ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο προς την άμεση ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο

r: συντελεστής ανάκλασης περιοχής. Η παράμετρος R_b υπολογίζεται μέσω της σχέσης:

$$\mathbf{R_b = \frac{\cos(\varphi-\beta)\cos(\delta)\sin(\omega_{st}) + \omega_{st}\sin(\varphi-\beta)\sin(\delta)}{\cos(\varphi)\cos(\delta)\sin(\omega_s) + \omega_s\sin(\varphi)\sin(\delta)}} \tag{2.5}$$

Πίνακας 2-1 Συντελεστής ανάκλασης (r)

Είδος επιφάνειας	**Επιφάνεια νερού**	**Πράσινος αγρός**	**Ξηρή άμμος**	**Βράχια**	**Νέο τσιμέντο**	**Φρέσκο χιόνι**
Συντελεστής ανάκλασης (r)	0,05	0,15	0,18	0,20	0,30	0,58

2.3.2 ΜΟΝΤΕΛΟ HOTTEL

Η μέθοδος εκτίμησης συντελεστή ατμοσφαιρικής διαπερατότητας της ηλιακής ακτινοβολίας σε αίθρια ημέρα, περιγράφεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\tau_{st} = \alpha_o + \alpha_1 e^{\frac{-k}{|\cos(\theta_z)|}} \quad 2.6$$

Όπου, α_o, α_1, k υπολογίζονται για την τυπική ατμόσφαιρα και για υψόμετρο h ($h < 2{,}5km$), από τις παρακάτω σχέσεις:

$$\alpha_o = r_o + [0.437 - 0.00821(6 - h)^2] \quad 2.7$$

$$\alpha_1 = r_1 + [0.5055 - 0.005951(6.5 - h)^2] \quad 2.8$$

$$k = r_k + [0.2711 - 0.0018581(2.5 - h)^2] \quad 2.9$$

Πίνακας 2-2 Συντελεστές διόρθωσης (που εξαρτώνται από τα τοπικά χαρακτηριστικά κάθε περιοχής).

Κλίμα	r_o	r_o	r_k
Τροπικό	0,95	0,98	1,02
Ήπιο (Καλοκαίρι)	0,97	0,99	1,02
Ήπιο (Χειμώνας)	1,03	1,01	1,00
Πολικό	0,99	0,99	1,01

Η ολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια της Γης, είναι το άθροισμα άμεσης και διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας:

$$G_T = G_d + G_{bT} \quad 2.10$$

Όπου, G_{bT}: η άμεση ηλιακή ακτινοβολία, η οποία είναι το μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στη Γη απευθείας από τον Ήλιο, χωρίς σκέδαση μέσα στην ατμόσφαιρα.

Ο υπολογισμός της πραγματοποιείται με βάση την ηλιακή ακτινοβολία εκτός της ατμόσφαιρας και το συντελεστή ατμοσφαιρικής διαπερατότητας της ηλιακής ακτινοβολίας:

$$G_{bT} = \tau_b G_o \cos(\theta) \quad 2.11$$

Όπου, G_d: η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία, που είναι το μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στη Γη, μετά από σκέδαση και αλλαγή κατεύθυνσης μέσα στην ατμόσφαιρα και υπολογίζεται ως:

$$G_d = G_o \cos(\theta_z)(0.271 - 0.2939\tau_b) \quad 2.12$$

2.4 ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Τα ηλιακά συστήματα διακρίνονται σε τρεις βασικές κατηγορίες βάση της χρήσης και της ζήτησης, οι οποίες είναι:

1. Ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα: Ένα τέτοιο σύστημα αποτελεί ένα ηλιακό σύστημα θέρμανσης νερού ή χώρου που χρησιμοποιεί αντλίες ή ανεμιστήρες για την κυκλοφορία του υγρού από τους ηλιακούς συλλέκτες σε μια δεξαμενή αποθήκευσης. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι ενεργών συστημάτων ηλιακής θέρμανσης με βάση τον τύπο του υγρού που θερμαίνεται στους συλλέκτες ηλιακής ενέργειας. Τα συστήματα με βάση τα υγρά θερμαίνουν το νερό ή ένα αντιψυκτικό διάλυμα σε έναν «υδρονικό» συλλέκτη, ενώ τα συστήματα που βασίζονται στον αέρα θερμαίνουν τον αέρα σε έναν συλλέκτη αέρα. Και τα δύο συστήματα συλλέγουν και απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία και στη συνέχεια μεταφέρουν την ηλιακή θερμότητα απευθείας στον εσωτερικό χώρο ή σε ένα σύστημα αποθήκευσης, από το οποίο κατανέμεται η θερμότητα. Εάν το σύστημα δεν παρέχει επαρκή θέρμανση χώρου, ένα βοηθητικό ή εφεδρικό σύστημα παρέχει την επιπλέον θερμότητα.
2. Παθητικά Ηλιακά Συστήματα: Πρόκειται για συστήματα ικανά να παρέχουν σε ένα χώρο (κτήριο εταιρείας, σπίτι) επαρκή θέρμανση και δροσισμό μέσω της εκμετάλλευσης των φυσικών πηγών ενέργειας. Για την επίτευξη μιας ικανοποιητικής θερμικής άνεσης εντός κτηρίου και ταυτόχρονα την μείωση χρήσης συμβατικών πηγών πρέπει να ικανοποιούνται ορισμένες παράμετροι, όπως τα παράθυρα να είναι ορθά προσανατολισμένα, η θερμική μάζα του κτηρίου και οι μηχανισμοί διανομής.

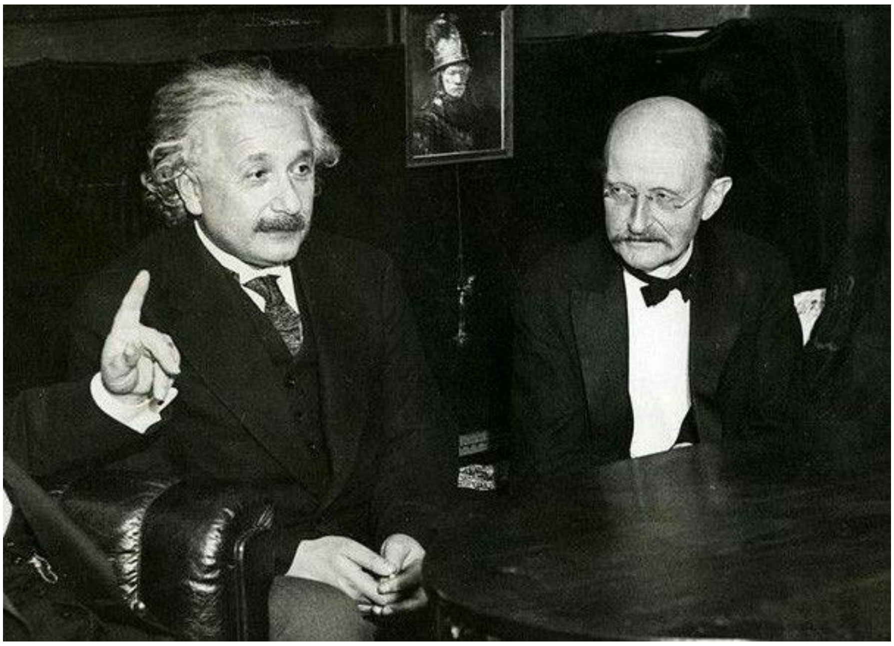
Εικόνα 2-2 Κατηγοριοποίηση ηλιακών συστημάτων

3. Φωτοβολταϊκά Ηλιακά Συστήματα: Κάνουν χρήση κυττάρων για μετατροπή του ηλιακού φωτός σε ηλεκτρική ενέργεια. Η φωτοβολταϊκή κυψέλη, αποτελείται από ένα ή δυο στρώματα ημιαγώγιμου υλικού όπως το πυρίτιο (Pi). Όταν υπάρχει φως στο κελί, δημιουργείται ένα ηλεκτρικό πεδίο στα στρώματα, προκαλώντας ροή ηλεκτρικής ενέργειας. Ευρύτερη ανάλυση των επιμέρους στοιχείων και του τρόπου λειτουργίας, πραγματοποιείται εκτενώς στη συνέχεια του ιδίου κεφαλαίου.

2.5 ΦΩΤΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ – ΙΣΤΟΡΙΑ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗ

Η συγκεκριμένη θεωρία προτάθηκε το 1905 από τον Άλμπερτ Αϊνστάιν. Αυτή η θεωρία περιείχε έννοιες που προτάθηκαν αρχικά από τον Max Planck. Εκεί, περιγράφεται η σχέση μεταξύ φωτεινών κυμάτων και φωτονίων, τα οποία είναι τα κβάντα του φωτός καθώς και τη σχέση μεταξύ της ενέργειας των φωτονίων και της συχνότητάς της (μια γραμμική σχέση, της οποίας η σταθερά αναλογικότητας είναι αυτή του Planck. Το 1921, ο Αϊνστάιν τιμήθηκε με το βραβείο Νόμπελ Φυσικής: «Σε μία από τις πολλές μελέτες δημιουργίας εποχών που ξεκίνησαν το 1905, ο Άλμπερτ Αϊνστάιν εξήγησε ότι το φως αποτελείται από κβάντα - "πακέτα" με σταθερές ενέργειες που αντιστοιχούν σε ορισμένες συχνότητες.

Το 1939, ο Russell Ohl ήταν υπεύθυνος για την ανακάλυψη των περιοχών τύπου n- και p στο πυρίτιο και το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο σε διασταυρώσεις p-n. Αυτή η καινοτομία άνοιξε πόρτες για την εμφάνιση άλλων τεχνολογιών, χωρίς τις οποίες δεν θα είχαμε τη σημερινή κοινωνία και γνώση, όπως το τρανζίστορ και το φωτοβολταϊκό κύτταρο. Στη συνέχεια, το 1940, ο Ohl ανέπτυξε στα Bell Labs το πρώτο ηλιακό κύτταρο πυριτίου, που ονομάστηκε εκείνη την εποχή ως φωτοευαίσθητη ηλεκτρική συσκευή.



Εικόνα 2-3 Albert Einstein (αριστερά), Max Planck (δεξιά)

Το 1954, ο Calvin Fuller, ανέπτυξε μια διαδικασία για να κάνει το πυρίτιο. Αυτή η καινοτομία οδήγησε στη δημιουργία της πρώτης διασταύρωσης p-n (δίοδος), ένα έργο που υπογράφηκε από τον φυσικό Gerald Pearson, συνάδελφο του Fuller, ο οποίος βοήθησε στη δημιουργία του, βυθίζοντας μια ντοπαρισμένη ράβδο πυριτίου στο λίθιο. Το 1955, ένα ηλιακό κύτταρο τοποθετήθηκε ως πηγή ενέργειας ενός τηλεπικοινωνιακό δίκτυο στο Americus της Γεωργίας. Αυτή είναι η πρώτη εφαρμογή ηλιακού κυττάρου, περίπου ένα χρόνο τελευταία από την παρουσίαση της συσκευής σε μια ετήσια συνάντηση της Εθνικής Ακαδημίας Επιστημών των Η.Π.Α..

Άλλες εφαρμογές εμφανίστηκαν εξαιρετικά γρήγορα. Στις 17 Μαρτίου 1958, η NASA εκτόξευσε έναν δορυφόρο με το όνομα Vanguard-I, ο οποίος ήταν ο πρώτος που είχε ηλιακό σύστημα. Το Vanguard-I ήταν εξοπλισμένο με δύο πομπούς, ο ένας χρησιμοποιώντας μια πηγή κυττάρων υδραργύρου και ο εφεδρικός χρησιμοποιώντας ένα ηλιακό σύστημα που αποτελείται από έξι ηλιακές κυψέλες πυριτίου.

Στη δεκαετία του 1970, ένας εργαζόμενος της Communications Satellite Corporation (Comsat) που ονομάζεται Joseph Lindmeyer ανέπτυξε μια διαδικασία που αυξάνει την απόδοση των ηλιακών κυψελών πυριτίου κατά 50%. Ο Lindmeyer αποχώρησε από την εταιρεία και μαζί με τον Peter Varadi ίδρυσαν τη Solarex το 1973, με στόχο την ανάπτυξη ηλιακών κυψελών για δημόσιες εφαρμογές.

Μέχρι το 1973, το mono-Si (μονοκρυσταλλικό πυρίτιο) χρησιμοποιήθηκε, αλλά στη συνέχεια το poly-Si (πολυκρυσταλλικό πυρίτιο) και το a-Si (άμορφο πυρίτιο) οδήγησαν την αγορά, καθώς οι διαδικασίες τους ήταν πολύ φθηνότερες και λιγότερο απαιτητικές.

Από εκεί και πέρα, η φωτοβολταϊκή τεχνολογία έχει βελτιωθεί με άλλες τεχνικές. Εμφανίστηκαν νέα ηλιακά κύτταρα, έχοντας την ανάγκη να κατηγοριοποιηθούν τα κύτταρα σε δύο, και αργότερα, τρεις διαφορετικές γενιές.

2.6 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΚΕΛΙΑ

Η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος, μπορεί να πραγματοποιηθεί με φωτοβολταικά (Φ/Β) κελιά, τα οποία είναι συσσωρευτές ξηρής φόρτισης. Το Φωτοβολταικό κελί είναι σε θέση να μετατρέψει την ενέργεια που περιέχεται στα φωτόνια του φωτός σε ηλεκτρική ενέργεια. Τα κελιά αυτά αποτελούνται από δυο πολύ λεπτά στρώματα ημιαγωγού που αναμειγνύονται και με άλλα στοιχεία, ώστε το στρώμα να αποκτά πλεόνασμα ηλεκτρονίων (αρνητική πόλωση) και το άλλο έλλειμα (θετική πόλωση). Τα δυο στρώματα, συνδέονται εξωτερικά με ένα κύκλωμα και όταν η ηλιακή ακτινοβολία φτάσει με τη μορφή φωτονίων στην επιφάνεια των στρωμάτων, δημιουργείται διαφορά δυναμικού στα άκρα του φωτοβολταικού κελιού. Αν τοποθετηθούν τα κελιά αυτά σε σειρά, τότε έχουμε παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος στην επιθυμητή τάση.

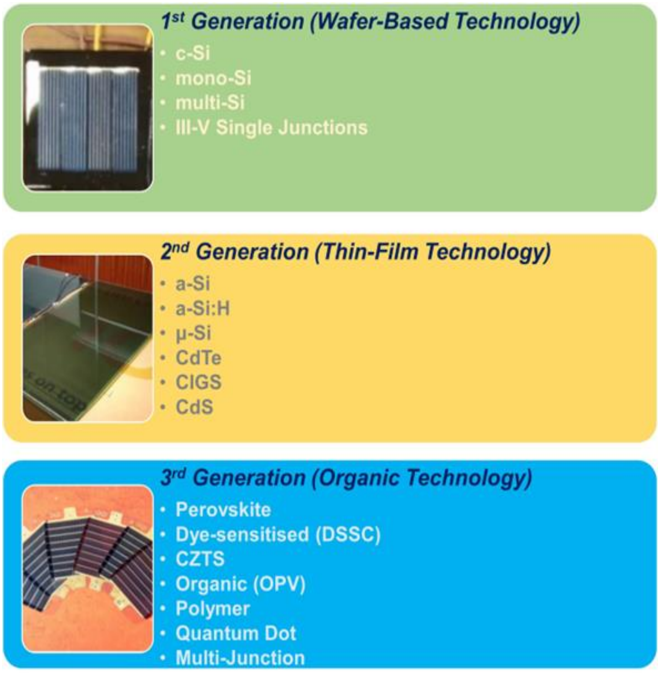
Συνήθως, τα κύτταρα κυκλοφορούν σε σφραγισμένα, αυτόνομα modules και συνδυάζονται με τη φόρτιση συσσωρευτών 6V ή 12V. Τα περισσότερα φωτοβολταικά κελιά είναι λεπτά δίσκια καθαρού πυριτίου (Si) ή πολυκρυσταλλικού πυριτίου με ίχνη μετάλλων που τους επιτρέπουν να παράγουν ηλεκτρική ισχύ. Πολλά κελιά συνδεδεμένα σε ένα πλαίσιο μπορούν να παράγουν μεγάλες ποσότητες ηλεκτρικής ισχύος και τα συστήματα αυτά μπορούν να συνδεθούν με το υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο ή με μπαταρίες για αποθήκευση και κατανάλωση της ενέργειας όταν κριθεί αναγκαίο.

Τα φωτοβολταικά κελία δεν εκπέμπουν αέρια του θερμοκηπίου, λειτουργούν αθόρυβα και με ασφάλεια, έχουν δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας, έχουν δυνατότητα επέκτασης αν κριθεί αναγκαίο και δεν έχουν κινούμενα μέρη , επομένως διακρίνονται για την μεγάλη διάρκεια ζωής και την χαμηλή ανάγκη για συντήρηση. Το πρόβλημα με τα φωτοβολταικά κελιά είναι πως παρουσιάζουν μεσαία προς χαμηλή ενεργειακή απόδοση ανάλογα με τον σχεδιασμό και την διαδικασία παραγωγής. Συνήθως, μετατρέπουν μόνο το 25% της εισερχόμενης ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Εκτιμάται, πως τα επόμενα χρόνια η νεότερη γενιά φωτοβολταικών κελιών νανοτεχνολογίας λεπτού υμένα και γραφίτη θα έχουν απόδοση που θα αγγίζει το 45%, επομένως θα είναι πιο οικονομικά για να ανταγωνίζονται τα ορυκτά καύσιμα και ειδικά τον γαιάνθρακα.

Στα συγκεντρωτικά συστήματα, μπορεί να αξιοποιηθεί μόνο η άμεση μορφή της ηλιακής ακτινοβολίας, όμως χάνεται η διάχυτη ακτινοβολία. Τέλος, οι συλλέκτες των συγκεντρωτικών συστημάτων, πρέπει να έχουν ικανότητα συνεχούς προσανατολισμού, έτσι, ώστε να εξασφαλίζεται η μέγιστη απόδοση και η εστίαση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας στα φωτοβολταϊκά κύτταρα.

2.7 ΤΥΠΟΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΚΕΛΙΩΝ

Το βασικότερο στοιχείο παραγωγής ενέργειας είναι το φωτοβολταικό πάνελ. Γενικά, τα κελιά κατηγοριοποιούνται βάσει το υλικό και τον τρόπο παραγωγής με αντίστοιχες διαφορές στο κόστος και την απόδοση. Η διάκριση αφορά συνήθως τη διαφοροποίηση τους ανάμεσα σε συλλέκτες μονοφασικών και πολλαπλών διασταυρώσεων, δηλαδή πάνελ πρώτης, δεύτερης ή τρίτης γενιάς όπως φαίνεται στην εικόνα. Η πρώτη γενιά βασίζεται σε φέτες, πράγμα που σημαίνει ότι ο πυρήνας των τεχνικών κατασκευής τους βασίστηκε σε τεχνικές που είχαν ήδη χρησιμοποιηθεί εκείνη την εποχή για την κατασκευή ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, επιτρέποντάς τους να αποκομίσουν τα οφέλη από τη μεγάλη τεχνογνωσία στον τομέα της παραγωγής πλακιδίων πυριτίου (Si). Στον κόσμο των φωτοβολταϊκών συστοιχιών, αυτή η πρώτη γενιά εξακολουθεί να είναι η πιο διαδεδομένη, αντιπροσωπεύοντας το 95% της παραγόμενης ενέργειας το 2020. Τα κύτταρα δεύτερης γενιάς αναπτύχθηκαν με σκοπό τη μείωση του κόστους της προηγούμενης γενιάς και τη βελτίωση των χαρακτηριστικών τους.



Εικόνα 2-4 Κατηγοριοποίηση κελιών βάση γενεών

2.7.1 ΠΡΩΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ

Από τις ιστορικές ενότητες σημειώσεων είναι σαφές ότι τα ηλιακά κύτταρα πυριτίου υπάρχουν εδώ και αρκετό καιρό. Και ακόμη και με την ανάπτυξη αρκετών εναλλακτικών λύσεων για τα φωτοβολταϊκά κύτταρα με βάση το πυρίτιο, παραμένει ως η πιο διαδεδομένη και διαδεδομένη

Εικόνα 2-5 Μονοκρυσταλλικό πάνελ πυριτίου (Si)

φωτοβολταϊκή τεχνολογία σήμερα. Το πυρίτιο είναι ένα από τα βασικά υλικά των ηλιακών κυψελών πρώτης γενιάς.

Δύο βασικοί παράγοντες που συμβάλλουν σε αυτή την υπεροχή είναι η ελκυστική ενέργεια bad gap (ενεργειακό χάσμα) του πυριτίου, στα 1,17eV και η αφθονία υλικού υψηλής ποιότητας, λόγω της ήδη κλιμακούμενης παραγωγής ημιαγωγών με βάση το πυρίτιο για μικροτσίπ. Για να κατανοήσουμε τη συνάφεια της ενέργειας bad gap και τη συσχέτισή της με τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας, είναι απαραίτητο πρώτα να αναγνωρίσουμε ορισμένα χαρακτηριστικά των εκπομπών φωτός, στην περίπτωση αυτή των αστεριών. Στην αστροφυσική, όταν βρεθεί ένα νέο άστρο, μία από τις πρώτες μελέτες που διεξήχθησαν είναι του φάσματος εκπομπής του, καθώς περιέχει πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τη σύνθεση και τη θερμοκρασία του. Κάθε στοιχείο παράγει ένα μοναδικό φάσμα εκπομπής, ένα φάσμα ζώνης, με κάθε ζώνη να αντιπροσωπεύει τις ενεργειακές τιμές ζώνης του στοιχείου. Επιπλέον, καθώς η θερμοκρασία συνδέεται με τη διέγερση των σωματιδίων, όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία τόσο υψηλότερη είναι η διέγερση των σωματιδίων και αυτό, στην ουσία, αντανακλά την ενέργεια των σωματιδίων. Λαμβάνοντας στη συνέχεια το φάσμα του ορατού φωτός ως αναφορά. Ένα αστέρι με υψηλότερες επιφανειακές θερμοκρασίες θα εκπέμψει ένα φάσμα με μια κορυφή μετατοπισμένη προς την μπλε πλευρά του ορατού φάσματος, δίνοντάς του μια μπλε απόχρωση. Ένα ψυχρότερο αστέρι, συγκριτικά, θα έχει την κορυφή εκπομπής του προς την κόκκινη πλευρά του ορατού φάσματος, προσδίδοντάς του μια κόκκινη απόχρωση.

Στον φωτοβολταϊκό σχεδιασμό, το bad gap, ορίζει ένα εύρος όπου το υλικό είναι αποτελεσματικό στη μετατροπή των προσπιπτόντων φωτονίων σε μεταφορές φορτίου. Αυτό, σε συνδυασμό με το φάσμα εκπομπής του Ήλιου, καθορίζει ένα εύρος για τις ενέργειες bad gap ημιαγωγών εάν αναμένεται μια καλή απόδοση μετατροπής.

Με μια ήδη κλιμακούμενη παραγωγή πλακιδίων πυριτίου υψηλής ποιότητας, το κόστος του πυριτίου ήταν πιο επωφελές από την ανάπτυξη μιας αποκλειστικής παραγωγής ημιαγωγών για φωτοβολταϊκά κύτταρα, ακόμη και αν τα χαρακτηριστικά του πυριτίου δεν ήταν τα ιδανικά. Επιπλέον, πλακίδια πυριτίου χαμηλότερης ποιότητας, τα οποία δεν μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για ολοκληρωμένα κυκλώματα, θα μπορούσαν να αγοραστούν με χαμηλότερο κόστος από τη φωτοβολταϊκή βιομηχανία.

Ως εκ τούτου, οι ημιαγωγοί με πιο ελκυστικά χαρακτηριστικά, για παράδειγμα οι GaAs, περιορίζονταν σε εφαρμογές που ήταν συγκεκριμένες ιδιότητες όπου είχαν μεγαλύτερη σημασία από το κόστος, όπως στο διάστημα, για πηγές ενέργειας δορυφόρων.

Από την εμφάνισή του, τα φωτοβολταϊκά κύτταρα κρυσταλλικού πυριτίου ($c - Si$) έχουν αυξηθεί σε απόδοση 20,1%, από 6% όταν ανακαλύφθηκαν για πρώτη φορά στο σημερινό ρεκόρ απόδοσης του 26,1%. Οι πρόοδοι στην παραγωγή ημιαγωγών, που απαιτούνται για την αύξηση της υπολογιστικής ισχύος των μικροεπεξεργαστών, είχαν άμεσο αντίκτυπο στην αύξηση της απόδοσης μετατροπής φωτοβολταϊκών, καθώς τα μαζικά ελαττώματα εξαλείφθηκαν σταδιακά στις φέτες. Ωστόσο, η καλή μαζική ποιότητα είναι μόνο μία απαίτηση για κυψέλες υψηλής απόδοσης, υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που περιορίζουν την απόδοση της μονάδας, οπότε άλλοι τύποι ανακαλύψεων κατασκευής πιστώνονται επίσης για την αύξηση της απόδοσης με την πάροδο των ετών.

Τα πολυκρυσταλλικά ηλιακά πάνελ (poly – Si) είναι τα πιο συνήθη φωτοβολταικά στην αγορά. Η διαδικασία παραγωγής είναι απλή και δεν γίνεται παραγωγή αποβλήτων. Έχουν τετραγωνικό μπλε σχήμα, χωρίς κομμένες τις γωνίες και μέσω της τήξης του πυριτίου (Si), που αποτελεί φθηνότερη και ταχύτερη διαδικασία, επιτυγχάνεται η κατασκευή τους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να έχουν χαμηλότερη τιμή στην αγορά και χαμηλότερη απόδοση φθάνοντας το 17%.

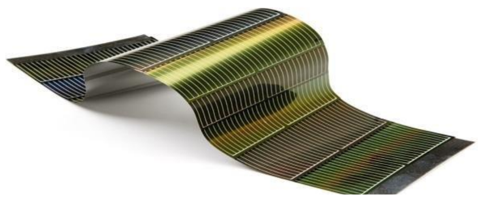
Εικόνα 2-6 Πολυκρυσταλλικό πάνελ πυριτίου (Si)

2.7.2 ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΓΕΝΙΑΣ

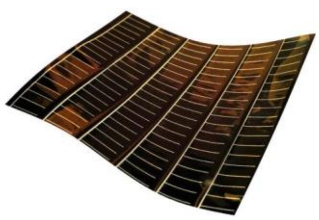
Από τότε που το πυρίτιο (Si), ο ακρογωνιαίος λίθος της αγοράς φωτοβολταϊκών, μειώθηκε σε τιμή τα τελευταία χρόνια, οι νέες ανταγωνιστικές τεχνολογίες δυσκολεύτηκαν να αποκτήσουν σημαντική παρουσία στην αγορά. Μια βασική πτυχή για τη βελτίωση του, προέρχεται από τη μείωση της υψηλής εξάρτησης υλικών ημιαγωγών και της συνολικής ισορροπίας του κόστους του συστήματος. Αυτή ήταν η κινητήρια δύναμη που οδήγησε στην εμφάνιση της δεύτερης γενιάς φωτοβολταϊκών με τη χρήση λεπτών υμενίων, στις οποίες τα CIGS αποτελούν μέρος. Οι λεπτές μεμβράνες χαλκοπυρίτη για ηλιακά κύτταρα προέρχονται από προηγούμενες εργασίες στην ανάπτυξη φωτοανιχνευτών GaAs LASER, όπου ένα κβαντικό μέτρο απόδοσης πλήρους φάσματος μιας ετεροζυγοποίησης $CdS/CuInSe_2$ έδειξε μια πιθανή εφαρμογή ηλιακών κυττάρων. Επιπλέον, με κάποιες τροποποιήσεις, απέδωσε μια αρχική απόδοση 12%.

Το (δι)σεληνίδιο του χαλκού ινδίου (CIGS), εμφανίστηκε σε μεταγενέστερο στάδιο, με την εισαγωγή ευρύτερων υλικών διακένου ζώνης σε υπάρχουσες λεπτές μεμβράνες, CuInS, σε μια προσπάθεια αύξησης της τάσης ανοιχτού κυκλώματος.

Η εισαγωγή του Ga επέτρεψε την προσαρμογή του χάσματος ζώνης μεταβάλλοντας την αναλογία σύνθεσης Ga και In σε ένα εύρος 1,0 eV, σε καθαρό $CuInSe_2$ έως 1,7eV, σε καθαρό $CuGaSe_2$, που συνήθως εμφανίζεται σε μια ταξινόμηση σε κυψέλες υψηλής απόδοσης. Τα χαμηλότερα κενά ζώνης που επιτυγχάνονται με την προσαρμογή της σύνθεσης, ιδίως το εύρος 1,0eV έως 1,1eV, ανοίγουν μια ελκυστική πορεία για μελλοντικές εφαρμογές, ως κάτω κελί σε παράλληλες αρχιτεκτονικές.



Εικόνα 2-8 Φ/Β πάνελ τεχνολογίας Copper Indium Diselenide (CIGS)



Εικόνα 2-7 Φ/Β πάνελ τεχνολογίας Cadmium Telluride (CdTE)

Όσον αφορά τις ηλιακές κυψέλες CdTe, είναι ένα υλικό άμεσης ζώνης με ενεργειακή αξία 1,5eV, ιδανικά χαρακτηριστικά για μετατροπή ηλιακής ενέργειας. Το πρώτο πρωτότυπο ενός κυττάρου CdTe πιστώνεται στους Bonnet και Rabenhorst το 1972, μετά από επίδειξη μιας συσκευής εργασίας με απόδοση 6%. Ο αριθμός αυτός έχει, έκτοτε, αυξηθεί σημαντικά, με την τρέχουσα τιμή ρεκόρ για την αποδοτικότητα της έρευνας να ανέρχεται σε 22,1% από την First Solar το 2015. Η αύξηση της αποτελεσματικότητας δεν ήταν σταθερή με την πάροδο των ετών, όμως η τεχνολογία εξακολουθεί να είναι ελκυστική, ιδίως δεδομένου ότι αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο ποσοστό των μονάδων λεπτού υμενίου και είχε σημαντικές αυξήσεις στην παραγωγή της σε παγκόσμια κλίμακα τα τελευταία χρόνια. Δεδομένου ότι το κάδμιο είναι ένα φυσικό υποπροϊόν της διύλισης ψευδαργύρου, τα κύτταρα CdTe εμφανίζονται ως ένας τρόπος για να επαναχρησιμοποιήσουν ένα ήδη υπάρχον απόβλητο σε μια μορφή παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας.

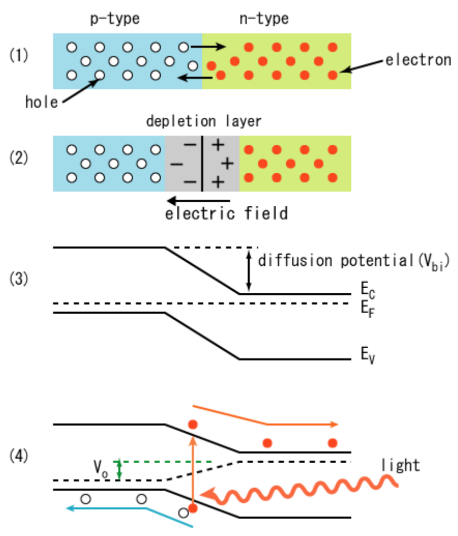
2.7.3 ΤΡΙΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ

Το πρώτο πρωτότυπο ενός ηλιακού κυττάρου με βάση το αλογονίδιο περοβσκίτη παρουσιάστηκε για πρώτη φορά το 2009, με απόδοση μετατροπής 3,8%. Ανεξάρτητα από τη χαμηλή του απόδοση εκείνη την εποχή, το πρωτότυπο πυροδότησε ενδιαφέρον για την τεχνολογία και η έρευνα που ακολούθησε τροφοδοτήθηκε από την επιδίωξη ενός φθηνότερου φωτοβολταϊκού κυττάρου που δεν βασίζεται σε πυρίτιο.

2.8 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ,

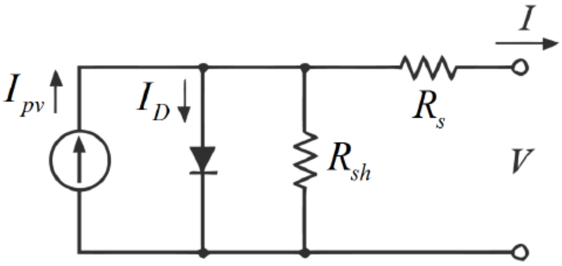
2.8.1 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Η λειτουργία των Φ/Β πλαισίων στηρίζεται στο σχηματισμό επαφών ανάμεσα στους ημιαγωγούς. Ο πιο συνήθης τύπος επαφής είναι η p-n, όπου ημιαγωγός τύπου p έρχεται σε επαφή με ημιαγωγό τύπου n. Δημιουργούν ένα ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο καθώς ηλεκτρόνια από τον ημιαγωγό n διαχέονται προς τον ημιαγωγό p, δημιουργώντας μια αρνητικά φορτισμένη περιοχή αφήνοντας πίσω μια θετικά φορτισμένη περιοχή, δημιουργώντας οπές. Σε μια επαφή p-n τα φωτόνια διεγείρουν τα ηλεκτρόνια από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας και όσο διαρκεί η ακτινοβόληση, δημιουργείται περίσσεια από ζεύγη φορέων. Στην περιοχή της επαφής οι φορείς δέχονται την επίδραση του ηλεκτροστατικού πεδίου και ως αποτέλεσμα τα ηλεκτρόνια εκτρέπονται προς τη περιοχή p και εν συνεχεία κινούνται προς το συλλέκτη φορτίων στην μπροστινή επιφάνεια του κελιού.



Εικόνα 2-9 Επαφή p-n

Το στοιχειώδες κύκλωμα ενός Φ/Β κελιού μοντελοποιείται από μια δίοδο, μια πηγή ρεύματος και μια αντίσταση παράλληλα σε αυτή και τέλος μια αντίσταση σειράς.



Εικόνα 2-10: Ισοδύναμο κύκλωμα Φ/Β κελιού

Η ένταση της πηγής ρεύματος ονομάζεται φωτόρευμα και σχετίζεται με την ηλιακή ακτινοβολία. Η χαρακτηριστική εξίσωση έντασης ρεύματος – τάσης της διόδου δίνεται από τη σχέση του Shockley:

$$\mathbf{I_d = I_o \left[e^{q_e \frac{V_d}{kT}} - 1 \right]} \qquad \textbf{2.13}$$

Όπου, I_o: το ρεύμα κόρου.

q_e: το φορτίο του ηλεκτρονίου.

k: η σταθερά Boltzmann.

V_d: η τάση στα άκρα της διόδου.

T: η θερμοκρασία της διόδου.

2.8.2 ΙΣΧΥΣ ΑΙΧΜΗΣ ΕΞΟΔΟΥ

Οι κατασκευαστικές προδιαγραφές των Φ/Β πλαισίων, δίνονται κάτω από ιδανικές συνθήκες. Επομένως, είναι κατανοητό πως στις πραγματικές συνθήκες η μέγιστη ισχύς εξόδου επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό και αυτό οφείλεται σε πολλούς παράγοντες. Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την ισχύ είναι το νερό, το χιόνι, η θερμοκρασία της περιοχής, η πιθανή ανομοιομορφία μεταξύ των πλαισίων, η γήρανση των Φ/Β πλαισίων, καθώς και το πρόβλημα της μερικής ή ολικής σκίασης ενός πλαισίου. Ειδικότερα στην περίπτωση της σκίασης, είναι πιθανό να οδηγήσει σε ορισμένα πολύ σημαντικά ζητήματα εκτός της μείωσης ισχύος, όπως το ράγισμα του στοιχείου ή του γυαλιού, τήξη της κόλλησης, ακόμα και υποβάθμιση του ηλιακού στοιχείου.

Η τάση στο σημείο μέγιστης ισχύος (Maximum Power Point / MPP) θεωρείται γνωστή, επομένως η ισχύς στο σημείο μέγιστης ισχύος (P_{mp}), επηρεάζεται από τη θερμοκρασία λειτουργίας (T_c) και θεωρείται ότι μεταβάλλεται γραμμικά με τον θερμοκρασιακό συντελεστή ισχύος (μ_{mp}), στο σημείο μέγιστης ισχύος.

$$\mathbf{P_{mp} = P_{mp,r} \frac{G_T}{G_{T,r}} \left[1 - \mu_{mp} * (T_c - T_{c,r}) \right]} \qquad \textbf{2.14}$$

Όπου, $P_{mp,r}$: ισχύς στο σημείο μέγιστης ισχύος.

$G_{T,r}$: ακτινοβολία σε συνθήκες αναφοράς.

$T_{C,r}$: θερμοκρασία σε συνθήκες αναφοράς.

G_T: ακτινοβολία στο πραγματικό σημείο μέγιστης ισχύος.
Οι συνθήκες αναφοράς, γνωστές και ως STC (Standard Test Conditions) είναι η ηλιακή ακτινοβολία με τιμή $1\ kW/m^2$, η θερμοκρασία του πλαισίου $\cong 25°C$ και η φασματική κατανομή που αντιστοιχεί σε μια μάζα αέρα 1,5.

2.8.3 ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΓΩΝΙΑ ΚΛΙΣΗΣ

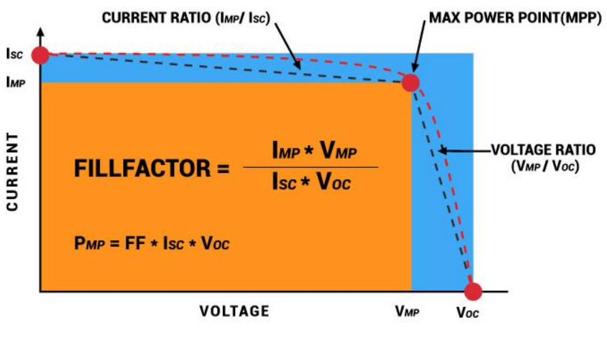
Η γωνία κλίσης που θα γίνει η εγκατάσταση ενός Φ/Β πλαισίου έχει μεγάλο ρόλο και καθορίζει την προσλαμβανόμενη ηλιακή ακτινοβολία. Επίσης, είναι ο καθοριστικός παράγοντας από τον οποίο εξαρτάται τελικώς η ισχύς εξόδου του πλαισίου. Η θέση του ήλιου στην διάρκεια της μέρας, του μήνα και του έτους αλλάζει διαρκώς, ακολουθώντας διαφορετική πορεία. Έτσι, είναι κατανοητό η σημαντικότητα της επιλογής βέλτιστης γωνίας κλίσης για τη λειτουργία του Φ/Β συστήματος. Σε ετήσια βάση και σε περίπτωση σταθερής βάσης και όχι συστήματος tracker, το σύστημα τοποθετείται στην κλίση που ετησίως αποδίδει την μεγαλύτερη ενέργεια.

2.8.4 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ (FILL – FACTOR)

Ο συντελεστής πλήρωσης (Fill Factor – FF) αποτελεί σημαντική παράμετρο που καθορίζει την απόδοση μετατροπής ισχύος ενός ηλιακού κυττάρου (solar cell). Ο λόγος της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος P_{mp} προς το γινόμενο της βραχυκυκλωμένης έντασης I_{sc} και της τάσης ανοικτού κυκλώματος V_{oc} ενός φωτοβολταικού κελιού μας δίνει τον συντελεστή πλήρωσης.

$$\mathbf{FF = \frac{P_{mp}}{I_{sc}V_{oc}} = \frac{I_{mp}V_{mp}}{I_{sc}V_{oc}}} \quad \textbf{2.15}$$

Ο συντελεστής πλήρωσης είναι δυνατό να ερμηνευτεί και γραφικά ως η επιφάνεια της ορθογώνιας περιοχής που απεικονίζεται στην παρακάτω Εικόνα 2-11.



Εικόνα 2-11: Χαρακτηριστική I-V κελιού και ο συντελεστής πλήρωσης

Ένας μεγαλύτερος συντελεστής πλήρωσης είναι επιθυμητός και αντιστοιχεί σε μια καμπύλη I-V που είναι τετραγωνισμένη. Σε πραγματικά στοιχεία, η ισχύς καταναλώνεται μέσω των εσωτερικών αντιστάσεων και αυτό οδηγεί στη μείωση του συντελεστή πλήρωσης. Τα στοιχεία με μεγάλες εσωτερικές αντιστάσεις έχουν μικρότερο συντελεστή πλήρωσης, ενώ σε ένα ιδανικό στοιχείο έχει $FF = 1$.

Τέλος, όσο πιο κοντά στη μονάδα είναι οι τιμές του συντελεστή, τόσο περισσότερο η λειτουργία του φωτοβολταϊκού στοιχείου πλησιάζει την ιδανική συμπεριφορά της πηγής σταθερού ρεύματος. Μια τιμή από 0,7 έως 0,9 χαρακτηρίζει ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο με αποδεκτή έως πολύ καλή ενεργειακή απόδοση.

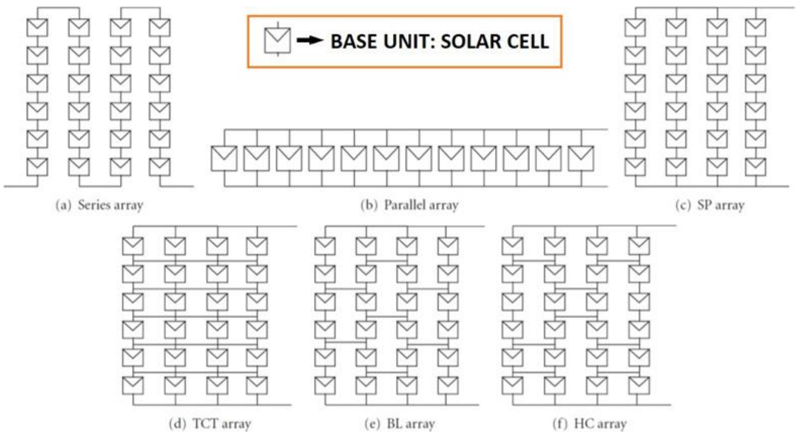
2.8.5 ΑΠΟΔΟΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

Η απόδοση μετατροπής ενέργειας ενός Φ/Β πλαισίου ορίζεται ως ο λόγος ηλεκτρικής ισχύος που παρέχεται από το Φ/Β πλαίσιο προς την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει επί του πλαισίου. Επομένως, στο σημείο μέγιστης ισχύος, η απόδοση προφανώς είναι η μέγιστη n_{mpp} και δύναται να υπολογιστεί από το πηλίκο της μέγιστης ισχύς εξόδου προς την ακτινοβολία και το εμβαδόν επιφάνειας του πλαισίου. Συνεπώς, η απόδοση μετατροπής ενέργειας, δίνεται από τη σχέση:

$$\mathbf{n_{mp}} = \frac{\mathbf{I_{mp} V_{mp}}}{\mathbf{AG_T}} \tag{2.16}$$

2.8.6 ΣΤΟΙΧΙΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ

Το ηλιακό κύτταρο είναι η απλούστερη μονάδα και όταν συνδέεται με άλλους, σχηματίζουν μια φωτοβολταϊκή μονάδα. Εάν η πολυπλοκότητα αυτής της συσχέτισης αυξηθεί, θα πρέπει να την ορίσουμε ως φωτοβολταϊκή ενέργεια. Αρκετά συνδεδεμένα πάνελ είναι γνωστά ως συστοιχία, και αν υπάρχουν πολλά πάνελ ή συστοιχίες συνδεδεμένα, θα πρέπει να αποκτήσετε μια φωτοβολταϊκή γεννήτρια, αγρόκτημα ή πάρκο. Στην Εικόνα 2-12 είναι μια απεικόνιση της εξέλιξης της πολυπλοκότητας κατά τη συσχέτιση των Φ/Β κυττάρων.



Εικόνα 2-12: Συστοιχίες Φ/Β πλαισίων

Με την εξέλιξη της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας, αυτοί οι ορισμοί τείνουν να εξαφανίζονται, πράγμα που σημαίνει ότι όλοι τους τείνουν να είναι οι ίδιοι. Ωστόσο, η βιομηχανία φωτοβολταϊκών χρησιμοποιεί συνήθως αυτούς τους ορισμούς για να τους διαχωρίσει σχετικά με ορισμένες τεχνολογικές προδιαγραφές. Για παράδειγμα, είναι δυνατόν να κατηγοριοποιηθούν χρησιμοποιώντας την ποσότητα της παραγόμενης ισχύος.

Το ηλιακό κύτταρο παράγει λιγότερη ενέργεια από μια ομάδα από αυτά (μονάδα). Η μονάδα παράγει λιγότερη ισχύ από μια ομάδα μονάδων, έναν πίνακα και ούτω καθεξής. Έτσι, ποιες είναι οι αξίες που χωρίζουν το καθένα; Εάν ο ορισμός βασίζεται στο ρεύμα και την τάση, το πρόβλημα παραμένει, επομένως ένας ορισμός που βασίζεται σε ομάδες κυττάρων, μονάδων και ούτω καθεξής είναι πιο απλός. Κάποια προστασία όπως οι δίοδοι παράκαμψης ή αποκλεισμού προστίθενται στις μονάδες και τα πάνελ για να αποφευχθούν ορισμένα προβλήματα και να διατηρηθεί η παραγωγή, ακόμη και εν μέρει. Συνήθως, αυτές οι προστασίες είναι ένας πολύ καλός τρόπος για τον διαχωρισμό των φωτοβολταικών Επιπλέον, ενδέχεται να χρειαστούν και άλλα εξαρτήματα του συστήματος σε κάποιο φωτοβολταϊκό σύστημα όπως μετατροπείς, ηλιοστάτες, ιχνηλάτες σημείου μέγιστης ισχύος ή μπαταρίες.

3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο: ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

3.1 ΑΝΑΓΚΗ ΓΙΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

Ο καθορισμός του εμβαδού της επιφανείας των Φ/Β πλαισίων στηρίζεται στη μέση ηλεκτρική κατανάλωση του συστήματος και στη μέση ηλιακή ακτινοβολία που δέχονται τα πλαίσια στην επιλεγμένη κρίσιμη περίοδο λειτουργίας του. Όμως οι μέσες τιμές είναι στατιστικά μεγέθη που μπορεί να αποκλίνουν σημαντικά κάτω από τις πραγματικές συνθήκες. Επίσης, ένα αξιόπιστο σύστημα οφείλει να παρέχει επαρκή ηλεκτρική ενέργεια για την ικανοποίηση της ζήτησης και στα χρονικά διαστήματα που δεν υπάρχει αντίστοιχη ηλιακή ακτινοβολία. Τέτοιες περιπτώσεις είναι οι νυχτερινές ώρες, οι συννεφιασμένες ημέρες και στις χρονικές αιχμές της κατανάλωσης.

Εικόνα 3-1 Αποθήκευση ενέργειας

Τα ηλιακά συστήματα που συνδέονται με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο λαμβάνουν την απαιτούμενη ενέργεια από αυτό και μπορούν να παρέχουν περισσότερη ενέργεια από ό,τι απαιτείται στο σύστημα. Ωστόσο, τα αυτόνομα ηλιακά συστήματα δεν έχουν αυτή τη δυνατότητα. Για να αντιμετωπίσουν αυτό το πρόβλημα, χρειάζεται να αποθηκεύουν την περισσότερη ενέργεια που παράγουν για να τη χρησιμοποιήσουν όταν απαιτείται περισσότερη ενέργεια από ό,τι παράγεται. Επιπλέον, η περίσσεια ενέργειας πρέπει να διοχετεύεται κάπου όταν υπερβαίνει τις ανάγκες του συστήματος. Συνήθως, αυτή αντιμετωπίζεται με τη διάθεσή της στη γη ή μέσω ηλεκτρικών αντιστάσεων.

Η ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που πρέπει να αποθηκεύεται εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως οι τοπικές συνθήκες και απαιτήσεις. Κυρίως, λαμβάνεται υπόψη το μέγιστο πλήθος ημερών που μπορεί να παρουσιαστεί συνεχόμενη συννεφιά, οι αιχμές της ηλεκτρικής κατανάλωσης, και η αξιοπιστία του συστήματος. Τέλος, λαμβάνεται υπόψη και η διαθεσιμότητα βοηθητικών ενεργειακών πηγών. Συνήθως, τα αυτόνομα ηλιακά συστήματα προσπαθούν να εξασφαλίσουν αυτονομία για τουλάχιστον 3 έως 11 συνεχόμενες ημέρες.

3.2 ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί με τις ακόλουθες μορφές:

1. Σε χημική μορφή (μπαταρίες).
2. Σε μηχανική μορφή, υπό την μορφή κινητικής ενέργειας σε σφόνδυλο.
3. Υπό μορφή ηλεκτροστατικού πεδίου (υπερ-πυκνωτές).
4. Υπό μορφή μαγνητικού πεδίου (υπερ-αγώγιμο μαγνητικό σύστημα ενεργειακής αποθήκευσης).
5. Υπό μορφή πεπιεσμένου αέρα.
6. Σε υδραυλική μορφή (συστήματα αντλησιοταμίευσης).
7. Υπό μορφή υδρογόνου (κυψέλες καυσίμου).

Πίνακας 3-1 Επισκόπηση τεχνολογιών αποθήκευσης

	Name	Specific Energy (Wh/kg)	Efficiency (%)	Response time	Lifetime (years)	Charge time	Discharge time
Electrical	**SCs**	0,5-5	90-95	ms	20+	s-hr	ms-60min
	SMES	1-10	95-98	<100ms	20+	min-hr	ms-8s
Mechanical	**PHS**	100-5000	75-85	sec-mins	40-60	hr-months	1-24hrs+
	CAES	100-3000	70-89	mins	20-40	hr-months	1-24hrs+
	FES	0-10	93-95	ms-mins	15+	s-min	ms-15min
Electro mechanical	**Na-S**	0,05-34	80-90	ms	10-15	s-hr	s-hr
	Li-ion	0,015-50	85-95	ms-secs	5-15	nin-days	min-hr
	VRFB	0,03-3	60-85	ms	5-10	hr-months	s-hrs
Chemical	**Hydrogen**	0-50	35-55	secs	5-30	hr-months	1-24hrs+
Thermal	**Molten Salt**	50-250	80-90	mins	30	hr-months	min-hrs

Επίσης, οι διατάξεις αποθήκευσης ενέργειας χωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες, οι οποίες είναι:

1. Διατάξεις βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης. Οι διατάξεις αυτές, χρησιμοποιούνται σε κατανεμημένες εφαρμογές ηλεκτροπαραγωγής και έχουν την ικανότητα να ανταποκρίνονται στα αιτήματα για μικρά χρονικά διαστήματα.
2. Διατάξεις μακροπρόθεσμης αποθήκευσης. Οι διατάξεις αυτές, είναι μεγάλες κεντρικές εγκαταστάσεις με ικανότητα να αποθηκεύουν και να παρέχουν την ηλεκτρική ενέργεια για μεγάλες χρονικές περιόδους.

Τελευταία, η τεχνολογική εξέλιξη επικεντρώνεται στις μπαταρίες αποθήκευσης. Μια μπαταρία είναι μια συσκευή που μπορεί να αποθηκεύσει ηλεκτρική ενέργεια μετατρέποντάς την πρώτα σε χημική ενέργεια και στη συνέχεια να την αποδίδει σε ένα εξωτερικό κύκλωμα όταν αυτό χρειάζεται. Μια μπαταρία αποτελείται από ένα ή περισσότερα ηλεκτρικά στοιχεία που συνδέονται είτε σε σειρά είτε παράλληλα, ανάλογα με την επιθυμητή τάση εξόδου. Τα ηλεκτρικά στοιχεία αποτελούνται από δύο πλάκες φτιαγμένες από διαφορετικά μέταλλα, οι οποίες βυθίζονται σε ένα υγρό, το οποίο είναι γνωστό ως ηλεκτρολύτης. Οι πλάκες, που πρέπει να είναι αγώγιμες, ονομάζονται ηλεκτρόδια, ενώ ο ηλεκτρολύτης είναι επίσης αγώγιμος.

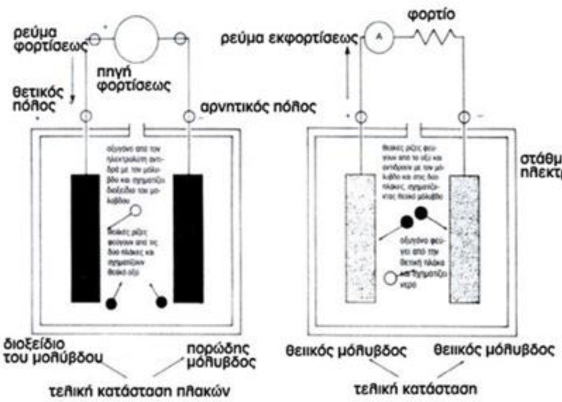
Η αντίδραση μεταφέρει ηλεκτρόνια από τα ηλεκτρόδια προς τον ηλεκτρολύτη, καθώς η σύνδεσή τους σε εξωτερικό ηλεκτρικό κύκλωμα προκαλεί τη διέλευση ρεύματος..

Όταν μια ηλεκτρική μπαταρία εκφορτίζεται, δέχεται συνεχή ρεύμα από μια άλλη πηγή ενέργειας. Ταυτόχρονα, χημικές διεργασίες αντίστροφες της φόρτισης μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια πάλι σε χημική. Το αρνητικό ηλεκτρόδιο, γνωστό και ως άνοδος, αποδίδει ηλεκτρόνια στο εξωτερικό κύκλωμα ή φορτίο και οξειδώνεται κατά την ηλεκτροχημική αντίδραση. Στη συνέχεια, το θετικό ηλεκτρόδιο, γνωστό και ως κάθοδος, δέχεται τα ηλεκτρόνια και κατά συνέπεια μειώνεται το θετικό του φορτίο. Ο ηλεκτρολύτης επιτρέπει τη μεταφορά ηλεκτρονίων μεταξύ του ανόδου και της καθόδου. Τέλος, για την ηλεκτρική μόνωση χρησιμοποιούνται διαχωριστές μεταξύ των θετικών και αρνητικών ηλεκτροδίων.

Σήμερα υπάρχουν ή βρίσκονται υπό ανάπτυξη διάφορες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας μπαταρίας. Παρούσια στην αγορά είναι οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος, καθώς και οι VRLA (με ρυθμιζόμενη βαλβίδα μολύβδου-οξέος), ενώ υπάρχουν επίσης ορισμένες αλκαλικές μπαταρίες (NiCd, NiMH). Σε φάση ανάπτυξης βρίσκονται προηγμένες τεχνολογίες όπως οι μπαταρίες λιθίου, μπαταρίες ψευδαργύρου/βρωμιδίου, μπαταρίες νατρίου-θείου (NaS) και μπαταρίες μετάλλου αέρα. Στις επόμενες ενότητες θα εξετάσουμε κάθε τεχνολογία αποθήκευσης ενέργειας μπαταρίας ξεχωριστά, παρουσιάζοντας τα πλεονεκτήματά τους και τις περιορισμένες τους δυνατότητες..

3.2.1 ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΜΟΛΥΒΔΟΥ – ΟΞΕΩΣ

Ο παλαιότερος τύπος επαναφορτιζόμενων μπαταριών είναι οι μπαταρίες εμβάπτισης μόλυβδου – οξέος. Βασίζονται σε χημικές αντιδράσεις, με τις οποίες παράγεται το διοξείδιο του μόλυβδου (PbO_2) για το ηλεκτρόδιο καθόδου, το μόλυβδο (Pb) για το ηλεκτρόδιο ανόδου και το θειικό οξύ (H_2SO_4) που δρα ως ηλεκτρολύτης. Η τάση ενός τέτοιου στοιχείου εκτιμάται στα 2 V και η τυπική ενεργειακή πυκνότητα είναι περίπου 30 Wh/kg, με πυκνότητα ισχύος περίπου 180 W/kg. Επιπλέον, οι μπαταρίες εμβάπτισης μόλυβδου σε οξύ έχουν ικανοποιητικές ενεργειακές αποδόσεις, της τάξης 60% και 95%, είναι εύκολες στην εγκατάσταση, απαιτούν λίγη συντήρηση και έχουν χαμηλό κόστος επένδυσης. Ακόμη, τα ποσοστά αυτοεκφόρτισης για αυτόν τον τύπο μπαταριών είναι πολύ χαμηλά (περίπου 2-5% ανά μήνα), καθιστώντας τις ιδανικές για μακροχρόνιες εφαρμογές αποθήκευσης ενέργειας.



Εικόνα 3-2 Λειτουργία μπαταρίας μολύβδου - οξέως

Παρόλο που οι μπαταρίες αυτές έχουν πολλά θετικά, όπως το μικρό κόστος και η εύκολη εγκατάσταση, λαμβάνονται και ορισμένοι περιορισμοί. Η τυπική διάρκεια ζωής των μπαταριών είναι ανάμεσα στους 300 και 1500 κύκλων φόρτισης/εκφόρτισης. Το νούμερο αυτό επηρεάζεται αρνητικά από το βάθος της εκφόρτισης και τη θερμοκρασία. Επίσης, οι προσπάθειες για πλήρη εκφόρτιση της μπαταρίας μπορούν να είναι καταστρεπτικές για τα ηλεκτρόδια, μειώνοντας έτσι τη διάρκεια ζωής. Όσον αφορά τις θερμοκρασίες, οι υψηλές θερμοκρασίες (μέχρι 45 °C) μπορούν να βελτιώσουν την απόδοση των μπαταριών από την άποψη της υψηλότερης χωρητικότητας, καθώς επίσης και την ενεργειακή τους απόδοση.

Οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας μπαταρίας μολύβδου – οξέος έχουν κυριαρχήσει στην αγορά λόγω του χαμηλού τους κόστους. Συγκεκριμένα, αυτές είναι οι πιο διαδεδομένες μπαταρίες για φωτοβολταϊκά συστήματα. Για εφαρμογές μεγάλης κλίμακας ενέργειας από αιολικά πάρκα, έχει προταθεί η αποθήκευση ισχύος της τάξης των 100 MW ή περισσότερο σε αυτού του είδους τις μπαταρίες. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι η τεχνολογία μπαταριών εμβάπτισης μολύβδου σε οξύ βελτιώνεται σταδιακά με διάφορους τρόπους. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι μπαταρίες VRLA, που χρησιμοποιούν την ίδια βασική ηλεκτροχημική τεχνολογία με τις μπαταρίες μολύβδου – οξέος, με τη διαφορά ότι αυτές φράσσονται με μια βαλβίδα ρύθμισης της πίεσης..

Οι μπαταρίες VRLA έχουν δύο βασικά πλεονεκτήματα συγκριτικά με τις μπαταρίες εμβάπτισης σε οξύ. Αρχικά, δεν υπάρχει μεγάλη ανάγκη συντήρησης για να διατηρηθεί η μπαταρία σε λειτουργία. Δεύτερον, οι κυψέλες των μπαταριών μπορούν να τοποθετηθούν πιο σφιχτά λόγω της ερμητικά κλειστής κατασκευής και του ακινητοποιημένου ηλεκτρολύτη, με απότέλεσμα την μείωση ίχνους και βάρους της μπαταρίες. Από την άλλη πλευρά, τα μειονεκτήματα των VRLA είναι ότι είναι λιγότεροι στιβαρές από τις μπαταρίες μολύβδου – οξέος, ενώ είναι πιο ακριβές και έχουν μικρότερη διάρκεια ζωής. Οι VRLA δεν χρειάζονται συντήρηση και είναι ασφαλείς, έτσι έχουν γίνει δημοφιλείς για την εφεδρική τροφοδοσία ισχύος σε εφαρμογές τηλεπικοινωνιών, καθώς επίσης και για την αδιάκοπη παροχή ηλεκτρικού ρεύματος σε περιπτώσεις όπου δεν μπορούν να διατεθούν ειδικοί χώροι για την τοποθέτηση των μπαταριών.

3.2.2 ΑΛΚΑΛΙΚΕΣ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ

Οι αλκαλικές μπαταρίες κυρίως περιλαμβάνουν τους τύπους νικελίου – καδμίου (NiCd), νικελίου – υδριδίου μετάλλου (NiMH) και οι νικελίου – ψευδαργύρου (NiZn). Αυτοί οι τύποι χρησιμοποιούν το ίδιο υλικό για το θετικό ηλεκτρόδιο και τον ηλεκτρολύτη, που είναι υδροξείδιο του νικελίου και υδατικό διάλυμα υδροξειδίου του καλίου με υδροξείδιο του λιθίου αντίστοιχα. Όσον αφορά στο αρνητικό ηλεκτρόδιο, η μπαταρία νικελίου – καδμίου (NiCd) χρησιμοποιεί υδροξείδιο του καδμίου ως αρνητικό ηλεκτρόδιο, η νικελίου – υδριδίου μετάλλου (NiMH) ένα κράμα μετάλλων και η νικελίου – ψευδαργύρου (NiZn) υδροξείδιο του ψευδαργύρου. Η τάση για τις αλκαλικές μπαταρίες εκτιμάται γύρω στα 1,2 Volt (1,65 Volt για τον τύπο NiZn), ενώ οι τυπικές μέγιστες ενεργειακές πυκνότητες είναι υψηλότερες από τις μπαταρίες μολύβδου – οξέος. Συγκεκριμένα, η μπαταρία NiCd παρουσιάζει ενεργειακή πυκνότητα 50 Wh/kg, η NiMH 80 Wh/kg και η NiZn 60 Wh/kg.

Η τυπική διάρκεια ζωής λειτουργίας και ο αριθμός κύκλων φόρτισης/εκφόρτισης των μπαταριών NiCd και NiMH οξέος (1000 - 2000 κύκλοι) είναι επίσης υψηλότεροι των μπαταριών μολύβδου – οξέος. Αντίθετα, η μπαταρία NiZn εμφανίζει παρόμοια ή μικρότερη διάρκεια ζωής από τις μπαταρίες μολύβδου – οξέος.

Τέλος, τα τρία αυτά είδη μπαταριών μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε χαμηλές θερμοκρασίες (έως και τους $-50°C$), ενώ παράλληλα μπορούν να επαναφορτιστούν ταχέως. Παρά τα πλεονεκτήματα των μπαταριών νικελίου (κυρίως των NiCd και NiMH) σε σχέση με τις μπαταρίες μολύβδου – οξέος και τα τρία αυτά είδη μπαταριών νικελίου παρουσιάζουν ορισμένα μειονεκτήματα συγκριτικά με τις μπαταρίες μολύβδου – οξέος από την άποψη της βιομηχανικής χρήσης και της εφαρμογής για την ενίσχυση ηλεκτρικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας μέσω ανανεώσιμων πηγών.

Γενικά, οι μπαταρίες νικελίου εμφανίζουν χαμηλότερες ενεργειακές αποδόσεις σε σύγκριση με τις μπαταρίες μολύβδου – οξέως. Οι μπαταρίες NiCd, παρόλο που αποτελούν τη μοναδική από τους τρεις τύπους αλκαλικών μπαταριών που χρησιμοποιούνται σε συστήματα παραγωγής ενέργειας από Α.Π.Ε. για αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας, δύναται να είναι έως και 10 φορές πιο ακριβές από μια μπαταρία μολύβδου – οξέως. Επιπλέον, οι μπαταρίες NiCd παρουσιάζουν υψηλότερα ποσοστά αυτοεκφόρτισης σε σχέση με τις μπαταρίες μολύβδου – οξέως. Το σημαντικό μειονέκτημα των μπαταριών NiCd είναι η υψηλή τοξικότητα του καδμίου. Αν και το μέταλλο αυτό είναι ανακυκλώσιμο, είναι υπερβολικά τοξικό. Όμως, οι μπαταρίες NiCd εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται ευρέως στις επικοινωνίες και τον ιατρικό εξοπλισμό, ενώ έχουν εφαρμοστεί και σε αναπτυσσόμενα ηλεκτρικά αυτοκίνητα.

3.2.3 ΠΡΟΗΓΜΕΝΕΣ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ

Οι μπαταρίες λιθίου (Lithium Batteries) αναπτύσσονται για διάφορες εφαρμογές, όμως ακόμα, δεν έχουν εφαρμοστεί ευρέως για την ενεργειακή αποθήκευση σε συστήματα αδιάκοπης παροχής ισχύος. Ωστόσο, είναι δημοφιλείς για τη χρήση τους σε ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης και άλλο φορητό εξοπλισμό σε μεγέθη μικρού κομβίου και κυλινδρικού πρίσματος, ενώ στο άμεσο μέλλον προβλέπεται να εφαρμοστούν στα υβριδικά ή ηλεκτρικά οχήματα. Οι μπαταρίες λιθίου διακρίνονται σε δυο κατηγορίες: μπαταρίες ιόντος λιθίου (lithium-ion batteries, Li-ion) και μπαταρίες πολυμερούς λιθίου (lithiumpolymer batteries). Συγκριτικά με τις παλαιότερες τεχνολογίες, οι μπαταρίες λιθίου έχουν υψηλότερες ενεργειακές πυκνότητες και ενεργειακές αποδόσεις, χαμηλότερα ποσοστά αυτό-εκφόρτισης, ενώ απαιτούν εξαιρετικά μικρή συντήρηση. Για παράδειγμα, οι μπαταρίες ιόντος λιθίου, με ονομαστική τάση περί τα 3,7 Volt, έχουν ενεργειακές πυκνότητες που κυμαίνονται μεταξύ 80 και 150 Wh/kg, ενώ οι ενεργειακές πυκνότητες των μπαταριών πολυμερούς λιθίου είναι μεταξύ 100 και 150 Wh/kg.

Τα ποσοστά αυτοεκφόρτισης στις μπαταρίες ιόντων λιθίου είναι πολύ χαμηλά (μέχρι 5 %/μήνα) και η διάρκεια ζωής τους τείνει να ξεπερνά τους 1500 κύκλους. Όμως, η διάρκεια ζωής μιας μπαταρίας ιόντος – λιθίου μπορεί να μειωθεί σε υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας και σε πλήρεις εκφορτίσεις. Λόγω της συγκεκριμένης ευαισθησίας είναι ακατάλληλες για εφαρμογές “back-up”, όπου η πλήρης εκφόρτισή τους είναι αναπόφευκτη.

Εικόνα 3-3 Μπαταρία λιθίου

Επιπρόσθετα, οι μπαταρίες ιόντος λιθίου είναι εύθραυστες και απαιτούν ένα κύκλωμα προστασίας για να διατηρηθούν σε ασφαλή λειτουργία. Ακόμα, η θερμοκρασία του στοιχείου ελέγχεται ώστε η θερμοκρασία να μην λαμβάνει ακραίες τιμές. Το ρεύμα μέγιστης φόρτισης και εκφόρτισης ελέγχεται περιορίζεται επίσης στις περισσότερες συστοιχίες. Αυτές οι προφυλάξεις είναι απαραίτητες προκειμένου να εξαλειφθεί κάθε δυνατότητα μεταλλικής επιμετάλλωσης του λιθίου, η οποία προκαλείται λόγω υπερφόρτισης. Όσον αφορά στις μπαταρίες πολυμερούς λιθίου, η διάρκεια ζωής τους μπορεί να φθάσει τους 600 περίπου κύκλους. Το ποσοστό αυτό-εκφόρτισης εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τη θερμοκρασία και εκτιμάται γύρω στο 5% ανά μήνα.

Οι μπαταρίες πολυμερούς λιθίου παρουσιάζουν ορισμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα σε σύγκριση με τις μπαταρίες ιόντων λιθίου. Οι λειτουργικές τους προδιαγραφές περιορίζουν το εύρος θερμοκρασιών, είναι ελαφρύτερες και θεωρούνται ασφαλέστερες και θεωρούνται ασφαλέστερες, με ελάχιστο κίνδυνο ανάφλεξης. Το κύριο μειονέκτημα των μπαταριών τους αποτελεί το υψηλό κόστος τους, το οποίο υπερβαίνει τα 420 €/kWh. Το υψηλό αυτό κόστος οφείλεται στα εσωτερικά κυκλώματα προστασίας. Τελευταία οι έρευνες στον τομέα αυτό, επικεντρώνονται στη μείωση του κόστους αυτού του είδους των μπαταριών με χρήση φθηνότερων υλικών, καθώς και στην αύξηση της διάρκειας ζωής τους και τη μείωση της αναφλεξιμότητάς τους. Τέλος, αξίζει να αναφέρουμε ότι οι μπαταρίες λιθίου έχουν περιορισμένη περιβαλλοντική επίδραση δεδομένου ότι τα οξείδια και τα άλατα του λιθίου μπορούν να ανακυκλωθούν.

3.2.4 ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΝΑΤΡΙΟΥ – ΘΕΙΟΥ

Η τεχνολογία των μπαταριών νατρίου – θείου (NaS) είναι ο πιο εξελιγμένος τύπος υψηλής θερμοκρασίας μπαταρίας. Χρησιμοποιούν υγρό (λιωμένο) θείο για το θετικό ηλεκτρόδιο και υγρό λιωμένο νάτριο για το αρνητικό ηλεκτρόδιο, μεταξύ των οποίων υπάρχει ένας στέρεος ηλεκτρολύτης αλουμινίου, που τα διαχωρίζει. Ο ηλεκτρολύτης επιτρέπει μόνο στα θετικά ιόντα νατρίου να περάσουν διαμέσου του και να αντιδράσουν με το θείο σχηματίζοντας τα πολυσουλφίδια νατρίου. Οι μπαταρίες αυτές, παρουσιάζουν σχετικά υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, η οποία κυμαίνεται μεταξύ 150 – 240 Wh/kg.

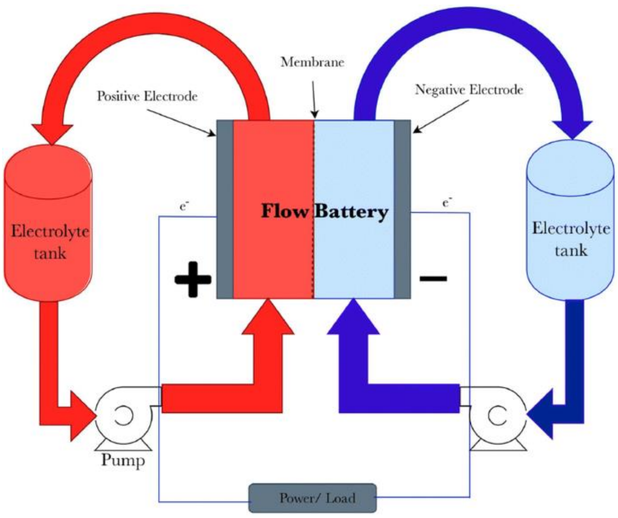
Εικόνα 3-4 Μπαταρία νατρίου - θείου

Η διάρκεια ζωής τους εκτιμάται στα 15 έτη (ή 2500-4500 κύκλοι), ενώ η ενεργειακή τους απόδοση φθάνει και το 90%. Τα χαρακτηριστικά αυτά τις καθιστούν μια οικονομικά αποδεκτή λύση ενεργειακής αποθήκευσης, χαρακτηριζόμενη από πολύ μικρό χρόνο εκφόρτισης. Έχουν την δυνατότητα τροφοδοσίας του συστήματος με υψηλό ποσό ισχύος σε σύντομο χρονικό διάστημα ή με μεγάλο ποσό ενέργειας για μια μεγαλύτερη χρονική περίοδο. Τέλος, όσον αφορά στην περιβαλλοντική «συμβατότητα», οι μπαταρίες NaS είναι κατασκευασμένες με περιβαλλοντικά αδρανή υλικά, μειώνοντας, έτσι, τις περιβαλλοντικές ανησυχίες που μπορεί να προκύψουν μέσα από τη χρήση τους.

Τέλος, οι μπαταρίες νατρίου – θείου (NaS) αντιμετωπίζουν μικρό κίνδυνο από τις υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας τους, καθώς αυτές απαιτούνται για τη διατήρηση του θείου σε λιωμένη μορφή. Πρόκειται για μια αποτελεσματική επιλογή για εφαρμογές ποιότητας ισχύος, καθώς και για εφαρμογές εξομάλυνσης αιχμών, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα του ηλεκτρικού δικτύου.

3.2.5 ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΡΟΗΣ

Οι μπαταρίες ροής αποτελούν μια ενθαρρυντική λύση για την αποθήκευση ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα, όπως απαιτείται για την αντιστοίχιση της προσφοράς με τη ζήτηση σε συστήματα παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Με τη δυνατότητά τους να αποθηκεύουν υψηλές ποσότητες ισχύος για ποικίλες χρονικές διαστάσεις, οι μπαταρίες ροής μπορούν να προσφέρουν ευελιξία και σταθερότητα στα ηλεκτρικά δίκτυα. Η λειτουργία τους βασίζεται σε αντίστροφες ηλεκτροχημικές αντιδράσεις μεταξύ διαφορετικών ηλεκτρολυτών, επιτρέποντας την αποθήκευση και απελευθέρωση ενέργειας όταν απαιτείται. Η διάταξή τους με χωριστές δεξαμενές για τους ηλεκτρολύτες επιτρέπει την εύκολη επέκταση και προσαρμογή σε διάφορες ανάγκες, αυξάνοντας την αποθηκευτική τους ικανότητα και την αποδοτικότητα..



Εικόνα 3-5 Μπαταρία ροής

3.3 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ

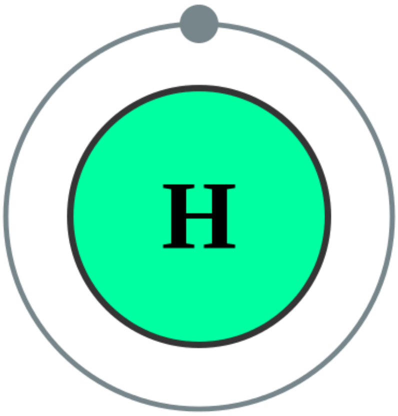
Η αποθήκευση ενέργειας μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο σε μεγάλης κλίμακας φωτοβολταϊκούς σταθμούς, παρέχοντας το απόθεμα ενέργειας και ενέργειας που απαιτούνται για τη συμμόρφωση με τις τρέχουσες και μελλοντικές απαιτήσεις κώδικα δικτύου. Επιπλέον, και λαμβανομένης υπόψη της τρέχουσας τάσης κόστους των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας, θα μπορούσαν επίσης να παρέχουν υπηρεσίες από την οικονομική πλευρά, καθιστώντας το έργο των φωτοβολταϊκών ελκυστικότερο. Μεταξύ της μεγάλης ποικιλίας τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας, η επιλογή της κατάλληλης θα μπορούσε να είναι χρήσιμη. Κατά συνέπεια, διεξοδικά βλέπουμε τις πλέον κατάλληλες τεχνολογίες που θα χρησιμοποιηθούν σε κάθε προσδιορισμένη υπηρεσία δικτύου σε φωτοβολταϊκούς σταθμούς μεγάλης κλίμακας. Για το σκοπό αυτό τα χαρακτηριστικά των διαφόρων τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας, έχουν καθορίσει τις απαιτήσεις αποθήκευσης ενέργειας για τις διάφορες υπηρεσίες των φωτοβολταϊκών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής και ποια από αυτές τις τεχνολογίες ταιριάζει καλύτερα σε κάθε μία από τις υπηρεσίες. Από την επανεξέταση αυτή μπορούν να συναχθούν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

1. Επί του παρόντος, το ιόν λιθίου είναι, μακράν, η πιο χρησιμοποιούμενη τεχνολογία. Αυτή η τάση υποκινείται από την υψηλή ισχύ και τις μεσαίες-υψηλές ενεργειακές της ικανότητες, τα αποδεκτά επίπεδα ανακυκλωσιμότητας, την υψηλή απόδοση και τη χαμηλή αυτοεκφόρτιση και τον γρήγορο χρόνο απόκρισης. Παρ 'όλα αυτά, λόγω του κόστους και την καλύτερη απόδοση όσον αφορά την ανακυκλωσιμότητα των άλλων τεχνολογιών όπως πυκνωτές διπλής στρώσης ή ενέργεια σφονδύλου, δεν είναι η μόνη επιλογή που πρέπει να εξεταστεί.
2. Οι υπηρεσίες υποστήριξης δικτύου των τρεχόντων δικτύου ενδέχεται να απαιτούν υψηλή τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας – μέσης ενέργειας. Η τεχνολογία ιόντων είναι αυτή που θα προτιμούσαμε. Από την άλλη πλευρά, άλλες επιλογές είναι ακόμα δυνατές. Λαμβάνοντας υπόψη την ευελιξία του ο σχεδιασμός και το εύρος ισχύος και ενέργειας μαζί με το σχεδόν στιγμιαία απόκριση, η αποθήκευση ενέργειας σφονδύλου μπορεί επίσης να είναι μια επιλογή για την παροχή ρύθμισης υπό συχνότητα. Κάτι παρόμοιο συμβαίνει στην περίπτωση περιορισμού του ρυθμού . Λόγω του χαρακτήρα, η αποθήκευση ενέργειας σφονδύλου θα μπορούσε επίσης να χρησιμοποιούνται για την παροχή αυτής της υπηρεσίας. Παρ' όλα αυτά, ο σφόνδυλος η αποθήκευση ενέργειας σπάνια βρίσκεται σε τρέχοντες φωτοβολταϊκούς σταθμούς μεγάλης κλίμακας έργα.
3. Εξομοίωση αδράνειας, γρήγορη απόκριση συχνότητας και ταλάντωση ισχύος οι απαιτήσεις απόσβεσης είναι ισχυροί υποψήφιοι για να συμπεριληφθούν στο μέλλονν. Αυτές οι υπηρεσίες είναι περισσότερο προσανατολισμένες στις υπηρεσίες ηλεκτρικής ενέργειας αντί για ενέργεια, δηλαδή υψηλή ισχύς – χαμηλή ενέργεια με πολύ γρήγορη χρονική απόκριση. Κατά συνέπεια, οι πυκνωτές στρώματος θα ήταν η ιδανική τεχνολογία αποθήκευσης ενέργειας, καθώς φθηνότερα από άλλες δυνατότητες όπως ιόντων λιθίου, σφόνδυλοι μπαταρίες αποθήκευσης ή ροής ενέργειας και παρουσίαση καλύτερης κυκλωσιμότητας. Ενώ οι μπαταρίες ροής θα μπορούσαν να είναι μια εναλλακτική επιλογή, ιόντων λιθίου ή θα μπορούσε επίσης να χρησιμοποιηθεί η αποθήκευση ενέργειας σφονδύλου, ειδικά σε αυτές τις ειδικές περιπτώσεις όπου απαιτείται πολύ υψηλή ισχύς (π.χ. πολύ μεγάλους φωτοβολταϊκούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής).
4. Οι οικονομικές υπηρεσίες μπορούν να απαιτήσουν ένα μεγάλο εύρος ισχύος και αποθέματα ενέργειας ανάλογα με τη συγκεκριμένη εφαρμογή. Επιπλέον λαμβάνοντας υπόψη την απαίτηση μεσαίας μεταβλητότητας, οι προτιμώμενες τεχνολογίες θα είναι αυτές που βασίζονται στη ροή ,και στις μπαταρίες λιθίου.
5. Ο τρόπος διασύνδεσης της αποθήκευσης ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα

Ο φωτοβολταϊκός σταθμός είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό που μπορεί να επηρεάσει την τιμή του συνολικού συστήματος. Πρόκειται για ένα πεδίο που εξακολουθεί να χρήζει περαιτέρω επανεξέτασης και αναζήτησης. Ωστόσο, μια τάση για την εγκατάσταση κεντρικής αποθήκευσης ενέργειας και την τεχνική υπηρεσία αποκεντρωμένη και υπηρεσίες προσανατολισμένες στην αγορά μπορεί να παρατηρηθεί.

4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^{Ο}: ΥΔΡΟΓΟΝΟ

Το υδρογόνο (H_2) αποτελεί έναν καθαρό δευτερεύων φορέα ενέργειας και οι κυψέλες καυσίμου υδρογόνου (FC) έχουν τα πλεονεκτήματα του υψηλού ρυθμού μετατροπής ενέργειας καυσίμου, του χαμηλού θορύβου και των μηδενικών εκπομπών. Το υδρογόνο είναι επίσης μια γέφυρα μεταξύ των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της παραδοσιακής ορυκτής ενέργειας, μέσω των κυψελών καυσίμου υδρογόνου, το προσχέδιο της χρήσης καθαρής ενέργειας μπορεί να πραγματοποιηθεί στο μέλλον. Οι μεγάλες ανεπτυγμένες χώρες του κόσμου έχουν δώσει μεγάλη προσοχή στην ανάπτυξη της ενέργειας υδρογόνου. Επί του παρόντος, η ενέργεια υδρογόνου και οι κυψέλες καυσίμου έχουν αρχικά εμπορευματοποιηθεί σε ορισμένους υποτομείς. Για παράδειγμα, η έρευνα και η ανάπτυξη εμπορικών εφαρμογών των οχημάτων FC και FC υδρογόνου αναπτύσσονται ταχέως στην Ιαπωνία, τις Ηνωμένες Πολιτείες και την Ευρώπη και συνεχίζουν να καινοτομούν στην παραγωγή υδρογόνου, την αποθήκευση υδρογόνου και την αιμάτωση υδρογόνου. Η Κίνα έχει ακολουθήσει τα βήματα των ανεπτυγμένων χωρών στον κόσμο, ενώ η ατελής βιομηχανική αλυσίδα υδρογόνου και κυψελών καυσίμου οδηγεί σε υψηλό κόστος. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο να ενισχυθεί η έρευνα σε βασικά υλικά, να πραγματοποιηθεί η μηχανική και ο εντοπισμός των βασικών υλικών και εξαρτημάτων, να δημιουργηθούν γραμμές παραγωγής και να ολοκληρωθεί η βιομηχανική αλυσίδα το συντομότερο δυνατό. Λαμβάνοντας υπόψη αυτά, η Κίνα έχει ήδη αναπτύξει πλήρη οχήματα, συστήματα και στοίβες στην αλυσίδα της βιομηχανίας, αλλά εξακολουθούν να υπάρχουν λίγες σχετικές εταιρείες εξαρτημάτων και εξαρτημάτων FC, ειδικά τα πιο βασικά βασικά υλικά και εξαρτήματα, όπως μεμβράνες ανταλλαγής πρωτονίων, χαρτί άνθρακα, καταλύτες, αεροσυμπιεστές, αντλία κυκλοφορίας υδρογόνου κ.λπ.

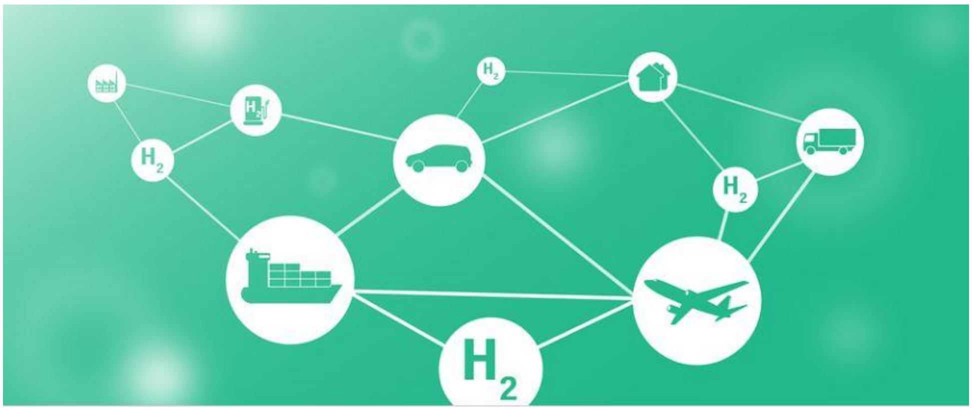


Εικόνα 4-1 Συμβολισμός υδρογόνου

Το υδρογόνο είναι ένα σημαντικό χημικό στοιχείο που υπάρχει σε πληθώρα μορφών στο φυσικό και οργανικό κόσμο. Αποτελεί περισσότερο από το 70% της γήινης επιφάνειας και χρησιμοποιείται σε διάφορες βιομηχανικές και καθημερινές εφαρμογές. Αν και δεν έχει χρώμα, οσμή ή γεύση, το υδρογόνο είναι απαραίτητο για πολλούς τομείς, όπως η παραγωγή ενέργειας, οι μεταφορές και η βιομηχανία. Επιπλέον, το υδρογόνο αποτελεί σημαντικό συστατικό σε βιολογικά συστατικά και τρόφιμα, υποστηρίζοντας έτσι τη ζωή στον πλανήτη. Η επέκταση των εφαρμογών του υδρογόνου μπορεί να συμβάλει στη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και στην επίτευξη βιώσιμων λύσεων για τις ενεργειακές ανάγκες της κοινωνίας.

4.1 ΤΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟ ΩΣ ΚΑΥΣΙΜΟ

Το υδρογόνο είναι το πιο καθαρό και φιλικό καύσιμο προς το περιβάλλον. Κατά τη καύση του παράγει νερό, αντί των αερίων του θερμοκηπίου και έχει υψηλή ενεργειακή απόδοση της τάξης των $122\ \mathrm{kJ/g}$. Θεωρείται ένα βιώσιμο εναλλακτικό καύσιμο και μελλοντικός φορέας ενέργειας. Αποτελεί υψηλής ποιότητας δευτερεύων ενεργειακό φορέα και δεν πρέπει να θεωρείται ως πρωτογενής πηγή ενέργειας. Επομένως, πρέπει να παραχθεί από μία άλλη πρώτη ύλη, γεγονός που προσφέρει την δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί ένα διαφοροποιημένο ενεργειακό μίγμα που θα μειώσει την εξάρτηση από τις εισαγωγές πετρελαίου, τις εκπομπές αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και θα αποτελεί ένα βιώσιμο ενεργειακό σύστημα.



Εικόνα 4-2 Χρήσεις υδρογόνου

Σήμερα, το υδρογόνο χρησιμοποιείται σε μια ευρεία γκάμα βιομηχανικών εφαρμογών. Αποτελεί πρώτη ύλη για την παραγωγή χημικών ουσιών και χρησιμοποιείται στην υδρογόνωση λιπαρών και ελαίων στη βιομηχανία τροφίμων. Επιπλέον, είναι αναγκαίο για την παραγωγή ηλεκτρονικών συσκευών και την επεξεργασία του χάλυβα, καθώς και για την αποθείωση και επαναδιαμόρφωση της βενζίνης στα διυλιστήρια. Επίσης, το υδρογόνο χρησιμοποιείται στο διαστημικό πρόγραμμα της NASA ως καύσιμο για τα διαστημικά λεωφορεία και σε κυψέλες καυσίμου για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας. Οι κυψέλες καυσίμου, οι οποίες αποτελούνται από μεμβράνες και τροφοδοτούνται με υδρογόνο, θεωρούνται ο καλύτερος τύπος κυψελών καυσίμου για οχήματα.. Το υδρογόνο έχει την υψηλότερη ενεργειακή απόδοση ανά μονάδα βάρους, από όλα τα καύσιμα και πιο συγκεκριμένα $1\ \mathrm{kg}$ υδρογόνου περιέχει την ίδια ποσότητα ενέργειας με $2{,}1\ \mathrm{kg}$ φυσικού αερίου ή $2{,}8\ \mathrm{kg}$ βενζίνης. Σήμερα, το υδρογόνο παίζει μεν ένα σημαντικό ρόλο στην παγκόσμια οικονομία της ενέργειας, αλλά μέχρι σήμερα αυτός ο ρόλος περιορίζεται σχεδόν μόνο στη χημική βιομηχανία και σπάνια χρησιμοποιείται ως καύσιμο. Αυτό συμβαίνει αφενός γιατί δεν υπάρχει η υποδομή για ευρεία χρήση του και αφετέρου γιατί υπάρχει μια «προκατάληψη» ότι το υδρογόνο είναι επικίνδυνο κατά τη χρήση του, με αποτέλεσμα να αποφεύγεται η κατά το δυνατό χρήση του.

Παρόλο που σε υγρή κατάσταση $(-253\ ^\circ\mathrm{C})$ χρησιμοποιείται σήμερα ως καύσιμο πυραύλων, η αέρια μορφή του δεν χρησιμοποιείται. Όταν καίγεται με τον ατμοσφαιρικό αέρα, ο οποίος αποτελείται περίπου από 68% άζωτο, παράγονται επίσης πολύ μικρές ποσότητες οξειδίων του αζώτου και εξαιτίας της καθαρής καύσης του δε συμβάλει στη μόλυνση του περιβάλλοντος. Το ποσό του νερού που παράγεται κατά την καύση του είναι τέτοιο ώστε να θεωρείται επίσης αμελητέο και μη ικανό να επιφέρει κάποια κλιματική αλλαγή. Το υδρογόνο είναι πιο ακίνδυνο από τη βενζίνη, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο καθώς είναι λιγότερο εύφλεκτο σε απουσία αέρα με θερμοκρασία ανάφλεξης τους $585\ ^\circ\mathrm{C}$ (έναντι $480\ ^\circ\mathrm{C}$ της βενζίνης).

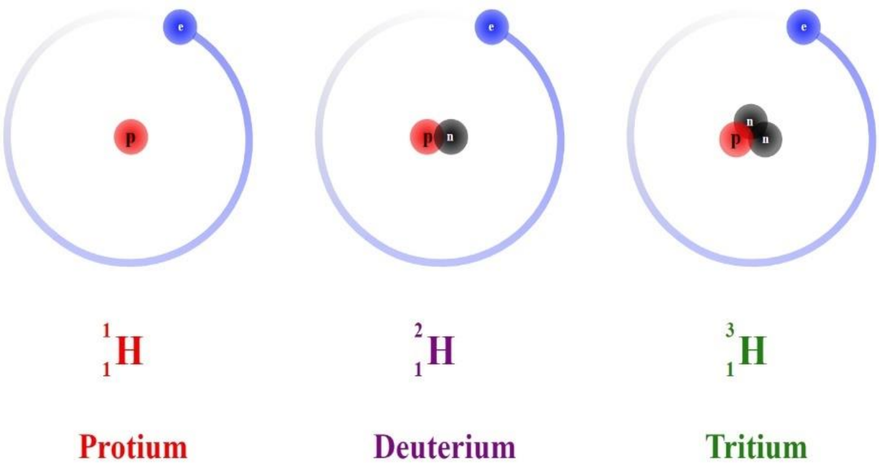
Έτσι, μπορεί με ασφάλεια να χρησιμοποιηθεί σε κινητήρα αυτοκινήτου, πετυχαίνοντας οφέλη, στην οικονομία του καυσίμου και στην μείωση των ρύπων. Καταλήγουμε λοιπόν στο συμπέρασμα πως το υδρογόνο μπορεί να θεωρηθεί ένα πολύ υποσχόμενο καύσιμο του μέλλοντος με ποικίλες εφαρμογές, συμβάλλοντας στην οικονομική ανάπτυξη της χώρας.

4.2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

4.2.1 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Υπό ίδιες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, το υδρογόνο σαν αέριο είναι πολύ ελαφρύτερο από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Συγκεκριμένα, σε κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας , δηλαδή πίεση 1 atm ($101{,}325\ \mathrm{kPa}$) και θερμοκρασία $0\ ℃$ ($237.15\ \mathrm{K}$), έχει πυκνότητα $0.0899\ \mathrm{kgm^{-3}}$, περίπου δέκα φορές μικρότερη από αυτήν του αέρα. Για τον λόγο αυτό και σε συνδυασμό με την πολύ μικρή μάζα του μορίου του, το υδρογόνο διαφεύγει πολύ εύκολα από το βαρυτικό πεδίο της γης και έτσι βρίσκεται σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις στην ατμόσφαιρα αυτής. Με εξαίρεση το ήλιο (He), το αέριο υδρογόνο έχει το χαμηλότερο σημείο βρασμού και το χαμηλότερο σημείο πήξεως έναντι όλων των υπόλοιπων αερίων. Όταν η θερμοκρασία του αέριου υδρογόνου κατεβεί κάτω από τους $20{,}268\ \mathrm{K}$ υπό κανονικές συνθήκες πίεσης, αρχίζει να υγροποιείται, περνώντας σταδιακά από την αέρια στην υγρή του φάση. Σε μικρές ποσότητες είναι άχρωμο, αλλά όταν μελετάται σε λεπτά δείγματα παίρνει ένα ανοιχτό μπλε. Με συνεχή μείωση της θερμοκρασίας του σε Κανονικές Συνθήκες πίεσης καταλήγει να στερεοποιείται στους $14{,}025\ \mathrm{K}$. Το στερεό υδρογόνο σαν υλικό, είναι κι αυτό άχρωμο όπως και το υγρό υδρογόνο.

Στη φύση, το υδρογόνο συναντιέται με τρία διαφορετικά ισότοπα ατόμου του μορίου του. Το πρώτιο και αποτελείται από ένα πρωτόνιο και από ένα ηλεκτρόνιο, το δευτέριο το οποίο αποτελείται από ένα πρωτόνιο, ένα νετρόνιο και ένα ηλεκτρόνιο και το τρίτιο που αποτελείται από ένα πρωτόνιο, δύο νετρόνια και ένα ηλεκτρόνιο. Μέχρι σήμερα, εκτός των τριών παραπάνω ισοτόπων που αναφέρθηκαν προηγουμένως, έχει γίνει δυνατό να παραχθούν σε εργαστηριακή κλίμακα μερικά άλλα ισότοπα του υδρογόνου, τα οποία περιλαμβάνουν μέχρι και 6 νετρόνια στον πυρήνα του ατόμου τους.



Εικόνα 4-3 Ισότοπα ατόμου μορίου υδρογόνου

4.2.2 ΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Το υδρογόνο σε ελεύθερη αέρια κατάσταση δεν αντιδρά συνήθως με άλλα στοιχεία ή χημικές ενώσεις. Από την άλλη μεριά, όταν το μοριακό υδρογόνο θερμαίνεται πάνω από φλόγα, αντιδρά σε συνθήκες περιβάλλοντος βίαια με το οξυγόνο του ατμοσφαιρικού αέρα και δίνει σαν παράγωγα, νερό και θερμότητα σύμφωνα με την παρακάτω αντίδραση:

$$\mathbf{2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O + heat} \qquad \mathbf{4.1}$$

Από τη παραπάνω αντίδραση οξείδωσης του υδρογόνου με το ατμοσφαιρικό οξυγόνο, παράγεται ταυτόχρονα με το νερό και θερμότητα. Η θερμότητα αυτή ισούται περίπου με $285{,}83\ \mathrm{kJ/mol}$ παραγόμενου H_2O. Οι δεσμοί που σχηματίζουν τα άτομα μέσα στο μόριο του υδρογόνου είναι ομοιοπολικής φύσης και χαρακτηρίζονται από μεγάλη σταθερότητα. Το ίδιο ισχύει και για τους δεσμούς που σχηματίζονται μεταξύ των ατόμων του υδρογόνου και μεταξύ των ατόμων άλλων στοιχείων μέσα στις διάφορες χημικές ενώσεις. Τέλος, σημαντικό είναι να αναφερθεί πως το υδρογόνο σε ορισμένες περιπτώσεις σχηματίζει και δεσμούς ιοντικής φύσης με ορισμένα στοιχεία, κάτι που συμβαίνει για παράδειγμα κατά την αντίδρασή του με το χλώριο και τον σχηματισμό του HCl. Μια ακόμα κατηγορία δεσμών που μπορεί να σχηματίσει το υδρογόνο με άτομα άλλων χημικών στοιχείων και η οποία συναντιέται μόνο σ' αυτό, είναι οι λεγόμενοι δεσμοί υδρογόνου (hydrogen bonds). Τα διάφορα άλλα χημικά στοιχεία με τα οποία το υδρογόνο μπορεί να σχηματίσει αυτούς τους δεσμούς υδρογόνου είναι τα: $\mathrm{O, S, N, F}$ και Cl. Δεσμοί υδρογόνου σχηματίζονται επίσης και μεταξύ των διαφορετικών μορίων των χημικών ενώσεων που περιέχουν στο μόριό τους το υδρογόνο και κάποιο από τα παραπάνω στοιχεία. Χαρακτηριστικότερο γι' αυτό παράδειγμα, αποτελούν τα μόρια του H_2O σε χαμηλές θερμοκρασίες, τα οποία υπό τις συνθήκες αυτές ενώνονται μεταξύ τους μέσω δεσμών υδρογόνου σε συμπλέγματα μορίων H_2O.

Τέλος στις χημικές ιδιότητες του υδρογόνου ανήκει και το γεγονός, ότι όταν αυτό βρεθεί κάτω το από πολύ μεγάλη πίεση $(1{,}05 - 106\ \mathrm{atm})$ και θερμοκρασία $3000°\mathrm{C} \div 5000°\mathrm{C}$ μπορεί να συμπεριφερθεί σαν μέταλλο, αντανακλώντας το φως και γινόμενος αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος.

4.2.3 ΘΕΡΜΟΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Οι ιδιότητες της ύλης που συνδέονται με τη μετάδοση της θερμότητας χαρακτηρίζονται συνήθως ως θερμοφυσικές ιδιότητες και διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: τις θερμοδυναμικές ιδιότητες και τις ιδιότητες μεταφοράς. Στην πρώτη κατηγορία συγκαταλέγονται ιδιότητες όπως η ειδική θερμοχωρητικότητα και η πυκνότητα, ενώ στη δεύτερη κατηγορία ιδιότητες όπως ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας k που σχετίζεται άμεσα με τη μετάδοση θερμότητας, και η κινηματική συνεκτικότητα ν, που σχετίζεται με τη συναγωγή της θερμότητας. Κάθε υλικό χαρακτηρίζεται από διάφορες θερμοφυσικές φάσεις στο εσωτερικό της μάζας του. Γενικά, ως θερμοφυσική φάση ορίζεται η ομογενής περιοχή της μάζας ενός υλικού, η οποία διαφέρει σε δομή ή σύσταση από κάποια άλλη γειτονική της περιοχή μέσα στη μάζα του. Σε κάθε σταθερό υλικό, κάτω από κατάλληλες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας και ανάλογα με τη μέθοδο που έχει ακολουθηθεί για την παρασκευή του, μπορούν να σχηματιστούν περισσότερες από μία ομογενείς περιοχές της μάζας του, δηλαδή περισσότερες από μία φάσεις του. Οι διαφορετικές αυτές φάσεις βρίσκονται πάντα σε ισορροπία μεταξύ τους, χωρίς να παρατηρούνται κάποιες αλλαγές στη σύστασή τους σε συνάρτηση με το χρόνο, δηλαδή αποτελούν καταστάσεις μακροσκοπικής σταθερότητας του υλικού. Η ισορροπία των διαφόρων θερμοφυσικών φάσεων στο εσωτερικό της μάζας ενός σταθερού υλικού περιγράφεται από τον νόμο του Gibbs.

$$\mathbf{F = C - P + 2} \qquad \textbf{4.2}$$

Όπου, F: βαθμοί ελευθερίας οποιουδήποτε διαλύματος, αποτελούμενο από ένα ή περισσότερα διαφορετικά υλικά.

C: αριθμός υλικών.

P: αριθμός φάσεων των υλικών.

Αναφερόμενοι στο υδρογόνο μπορούμε να πούμε, πως αναλόγως με τις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας στις οποίες βρίσκεται, μπορεί να υπάρξει σε τρεις διαφορετικές φάσεις (υγρή, αέρια και στερεή). Οι φάσεις αυτές μπορούν να εμφανιστούν και ταυτόχρονα στη μάζα του σε θερμοδυναμική ισορροπία μεταξύ τους, ανάλογα πάλι με τις συνθήκες της πίεσης και της θερμοκρασίας.

4.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι να παραχθεί το υδρογόνο και η επιλογή του τρόπου με τον οποίο θα παραχθεί εξαρτάται από παράγοντες που αφορούν κυρίως το οικονομικό πρόγραμμα της εγκατάστασης καθώς και την μελέτη και τον περιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

4.3.1 ΠΡΟΣΛΗΨΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΑΠΟ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ

Το υδρογόνο μπορεί να δεσμευθεί από φυσικό αέριο με απόδοση περίπου 80%, αλλά και από άλλους υδρογονάνθρακες με αυξομειούμενη απόδοση ανάλογα τον υδρογονάνθρακα. Η μετατροπή αυτή των υδρογονανθράκων δύναται να έχει σχετικά αυξημένη απόδοση αλλά όπως θα περίμενε κανείς επιτρέπει και την εκπομπή CO_2. Στην περίπτωση που η παραγωγή περιορίζεται σε εντοπισμένη εφαρμογή, οι εκπομπές μπορούν να περιοριστούν με τον διαχωρισμό του CO_2 και την απόρριψή του με ενδεδειγμένο τρόπο, όπως η εναπόθεσή του σε ταμιευτήρα αερίου ή πετρελαίου. Κάτι τέτοιο ακόμα δεν είναι συνηθισμένο σαν πρακτική και το γεγονός ότι είναι και αρκετά ενεργοβόρο έχει ως συνέπεια να μειώνει την συνολική απόδοση. Μια τέτοια εφαρμογή έχει ξεκινήσει στην Βόρεια Θάλασσα στο Σλάϊπνερ από την Νορβηγική εταιρία StatoilHydro και είναι διαπιστωμένο ότι ακόμα και αν δεν εφαρμοστεί ο ενταφιασμός του διοξειδίου του άνθρακα, η συνολική παραγωγή του υδρογόνου από φυσικό αέριο και η χρήση του ως καύσιμο σε αυτοκίνητα θα απελευθέρωνε τη μισή ποσότητα διοξειδίου από ότι τα βενζινοκίνητα αυτοκίνητα.

4.3.2 ΑΝΑΜΟΡΦΩΣΗ ΑΤΜΩΝ

Το υδρογόνο προς εμπορική χρήση σε μεγάλες ποσότητες παράγεται συνήθως από την αναμόρφωση του φυσικού αερίου με ατμό. Σε υψηλές θερμοκρασίες ($700°C \div 1100°C$) ο ατμός (H_2O) αντιδρά με το μεθάνιο (CH_4) για την παραγωγή σύνθετου αερίου (syngas), σύμφωνα με την παρακάτω αντίδραση:

$$\mathbf{CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2 + 191.7\ kJ/mol} \qquad \textbf{4.3}$$

Η απαιτούμενη θερμότητα για την αντίδραση παρέχεται από την καύση μέρους του μεθανίου, παράγοντας έτσι ρύπους σε δύο στάδια (στη καύση και στην αναμόρφωση).

4.3.3 ΖΥΜΩΣΗ

Η παραγωγή υδρογόνου από ζύμωση αφορά την μετατροπή οργανικού υποστρώματος μέσω ζύμωσης σε βιοΥδρογόνο. Η μετατροπή αυτή συντελείται μέσω της δράσης μιας ποικίλης ομάδας βακτηριδίων, τα οποία χρησιμοποιούν πολυενζυμικά συστήματα, σε τρία στάδια όπως και η αναερόβια μετατροπή. Διακρίνεται σε δύο ειδών ζυμώσεις. Στην σκοτεινή ζύμωση, στη οποία δεν απαιτείται όπως μαρτυρά και το όνομά της η παρουσία φωτός, με αποτέλεσμα η διαδικασία και κατ' επέκταση η παραγωγή του υδρογόνου να συντελείται καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας και της νύκτας. Στην φωτοζύμωση η οποία αντίθετα έχει ανάγκη την παρουσία φωτός, γι' αυτό συντελείται μόνο κατά την διάρκεια της ημέρας. Αξίζει να σημειωθεί πως υπάρχουν τα λεγόμενα μμικροβιακά Fuel Cells στα οποία γίνεται χρήση της ηλεκτροΰδρογονογένεσης.

4.3.4 ΠΡΟΣΛΗΨΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΑΠΟ ΝΕΡΟ – ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

Το «βιολογικό» υδρογόνο μπορεί να παραχθεί σε βιοαντιδραστήρα άλγης. Η αρχή λειτουργίας βασίζεται σε μια παρατήρηση που έκαναν επιστήμονες κατά τα τέλη της δεκαετίας του '90 σύμφωνα με την οποία όταν η άλγη στερείται θείου αλλάζει την δραστηριότητα της από την παραγωγή οξυγόνου σε παραγωγή υδρογόνου. Σήμερα αυτού του είδους η παραγωγή είναι οικονομικά βιώσιμη αφού μπορεί να ξεπεραστεί η οριακή απόδοση της τάξεως του $7-10\%$ που αντιστοιχεί στην μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε υδρογόνο. Ενώ μέχρι σήμερα η διαδικασία της φωτοσύνθεσης απέδιδε υδρογόνο κάνοντας χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας με απόδοση το πολύ $7-10\%$. Μία άλλη μέθοδος βασιζόμενη σε βιολογικές διεργασίες αφορά στην χρήση αποβλήτων αντί για άλγη. Η διαδικασία αυτή εμπλέκει την κατανάλωση των υδρογονανθράκων από τα βακτήρια και την εκπνοή από αυτά υδρογόνου και διοξειδίου. Το διοξείδιο μπορεί να απομονωθεί και να απορριφθεί με διάφορες μεθόδους και το υδρογόνο να ληφθεί προς εκμετάλλευση. Ένα πρωτότυπο τέτοιου βιοαντιδραστήρα λειτουργεί στο εργοστάσιο παραγωγής χυμού σταφυλιού Welch's στην βορειοανατολική Πενσυλβάνια.

4.3.5 ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΗ

Η παραγωγή του υδρογόνου είναι επίσης δυνατή από καθαρά χημική οδό διαμέσου της ηλεκτρόλυσης. Βασιζόμενη σε ανανεώσιμες ενέργειες όπως η υδροηλεκτρική, αιολική ή φωτοβολταϊκή, η ηλεκτρόλυση παράγει υδρογόνο από νερό χωρίς καμία επιβάρυνση στο περιβάλλον. Συνήθως η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται κοστίζει περισσότερο από τα κέρδη που αποφέρει το υδρογόνο που παράγεται, γι' αυτό δεν είχε βρει ευρεία εφαρμογή στο παρελθόν αυτή η μέθοδος. Το γεγονός όμως ότι η ηλεκτρόλυση υψηλής πίεσης είναι μία από τις πιο «καθαρές» και παραγωγικές μεθόδους παραγωγής υδρογόνου προσδίδει σε αυτή μεγαλύτερη σημασία, όσο αυξάνεται ο πληθυσμός των ανθρώπων και παράλληλα η ρύπανση του περιβάλλοντος. Επιπλέον η ηλεκτρόλυση θα γίνει ακόμα πιο ανταγωνιστική οικονομικά καθώς οι μη ανανεώσιμες πηγές (με βάση τον άνθρακα) φθίνουν και οι κυβερνήσεις αρχίζουν να αποσύρουν τις επιδοτήσεις για έρευνα και εκμετάλλευση καυσίμων με βάση τον άνθρακα

4.3.6 ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΗ ΥΨΗΛΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

Όταν η ενέργεια παρέχεται υπό την μορφή θερμότητας (ηλιακή, πυρηνική), τότε η καλύτερη μέθοδος παραγωγής υδρογόνου είναι η ηλεκτρόλυση υψηλής θερμοκρασίας (Η.Υ.Θ.). Οι θερμοκρασίες λειτουργίας αυτής της μεθόδου κυμαίνονται από $100℃ \div 850℃$. Αντίθετα με την χαμηλής θερμοκρασίας, μετατρέπει περισσότερη από την αρχική θερμότητα σε χημική ενέργεια διπλασιάζοντας έτσι την απόδοση σε 50%. Αυτή η μέθοδος μελετάται συνήθως μόνο για εφαρμογές στις οποίες έχουμε παροχή θερμότητας από πυρηνικές διεργασίες κι αυτό γιατί η άλλη πηγή (ηλιακοί συλλέκτες) υψηλών θερμοτήτων δεν είναι αρκετά αξιόπιστη ώστε να μπορεί να κατεβάσει το αρχικό κόστος του εξοπλισμού. Η έρευνα πάνω στην Η.Υ.Θ. και στους πυρηνικούς αντιδραστήρες μπορεί εν τέλει να οδηγήσει σε μια παροχή υδρογόνου αρκετά ανταγωνιστική οικονομικά. Μέχρι τώρα η Η.Υ.Θ. έχει εφαρμοστεί εργαστηριακά αλλά όχι σε εμπορική κλίμακα.

4.3.7 ΠΥΡΗΝΙΚΗ

Τα πρωτότυπα των πυρηνικών αντιδραστήρων τέταρτης γενιάς λειτουργούν σε θερμοκρασίες $850℃ \div 1000℃$, αρκετά υψηλότερα από τους υπάρχοντες αντιδραστήρες. Η εταιρία General Atomics προβλέπει ότι το υδρογόνο που θα μπορούσε να παραχθεί από ένα αερόψυκτο αντιδραστήρα υψηλής θερμοκρασίας θα κόστιζε $1{,}53\ \$/\mathrm{kg}$. Το 2003 η αναμόρφωση του φυσικού αερίου με ατμό απέδωσε υδρογόνο στα $1{,}40\ \$/\mathrm{kg}$, ακόμα το 2005 το υδρογόνο κόστιζε $2{,}70\ \$/\mathrm{kg}$. Επομένως μόνο στις Ηνωμένες Πολιτείες μπορούν να εξοικονομηθούν δεκάδες δισ. δολαρίων το χρόνο μόνο με την παροχή πυρηνικής ενέργειας. Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα ενός πυρηνικού αντιδραστήρα που παράγει και ηλεκτρισμό και υδρογόνο, είναι το ότι μπορεί να μεταπηδήσει από το ένα στο άλλο. Για παράδειγμα θα μπορούσε να παράγει ηλεκτρική ενέργεια το πρωί και υδρογόνο το βράδυ ακολουθώντας δηλαδή το προφίλ της καθημερινής αυξομείωσης της ζήτησης. Αν επιτευχθεί η οικονομική παραγωγή του υδρογόνου το παραπάνω σχέδιο θα μπορούσε να ανταγωνιστεί επάξια τα υπάρχοντα συστήματα αποθήκευσης δικτυακής ενέργειας. Οι αντιδραστήρες 4ης γενιάς όμως δεν θα είναι διαθέσιμοι ως το 2030 και δεν είναι σίγουρο αν μέχρι τότε θα μπορέσουν να ανταγωνιστούν το σχέδιο της διάσπαρτης και αποκεντρωμένης παραγωγής ενέργειας.

4.3.8 ΧΗΜΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

Χρησιμοποιώντας υδροξείδιο του νατρίου ($NaOH$) για καταλύτη, το αλουμίνιο και τα κράματά του αντιδρούν με το νερό και απελευθερώνεται υδρογόνο. Η αρχική αντίδραση καταναλώνει υδροξείδιο του νατρίου και παράγει υδρογόνο και ως παραπροϊόν αλουμινάτη. Στο σημείο κορεσμού η αλουμινάτη αποσυντίθεται σε υδροξείδιο του νατρίου και σε κρυσταλλικό υδροξείδιο του αλουμινίου. Η διαδικασία ομοιάζει με την διαδικασία σε μία μπαταρία αλουμινίου.

1. $\mathrm{Al + 3H_2O + NaOH \rightarrow NaAl(OH)_4 + 1{,}5H_2}$
2. $\mathrm{NaAl(OH)_4 \rightarrow NaOH + Al(OH)_3}$

Η ολική αντίδραση περιγράφεται από την αντίδραση 3.

3. $\mathrm{Al + 3H_2O + NaOH \rightarrow NaAl(OH)_4 + 1{,}5H_2}$

Σε αυτή την διαδικασία το αλουμίνιο λειτουργεί ως μία συσκευή αποθήκευσης υδρογόνου αφού 1kg αλουμινίου μπορεί θεωρητικά να παράγει μέχρι και $0{,}111\mathrm{kg}$ υδρογόνου.

4.3.9 ΘΕΡΜΟΧΗΜΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

Υπάρχουν πάνω από 352 θερμοχημικοί κύκλοι οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την διάσπαση του νερού ή την υδρόλυση. Περίπου δώδεκα από αυτούς βρίσκονται υπό έρευνα και σε στάδιο δοκιμών για την παραγωγή υδρογόνου, οξυγόνου και θερμότητας χωρίς την χρήση ηλεκτρισμού. Αφού όλη η εισαγόμενη ενέργεια για αυτές τις διεργασίες είναι θερμότητα, μπορούν να αποδειχθούν πιο αποδοτικές από την Η.Υ.Θ.. Αυτό γιατί η αποδοτικότητα της παραγωγής ηλεκτρισμού έχει εγγενείς περιορισμούς. Η θερμοχημικοί παραγωγή υδρογόνου χρησιμοποιώντας χημική ενέργεια από γαιάνθρακα ή φυσικό αέριο δεν εξετάζεται γιατί η απευθείας χημική οδός είναι πιο αποδοτική.

Οι πιο αποδοτικές χημικές μέθοδοι από αυτές που έχουν εξεταστεί είναι οι παρακάτω:

1. Κύκλος CeO_2/Ce_2O_3
2. Κύκλος οξειδίων του σιδήρου
3. Κύκλος Θείου Ιωδίου
4. Κύκλος Σιδήρου Χλωρίου
5. Κύκλος Μαγνησίου Ιωδίου
6. Κύκλος Βαναδίου Χλωρίου
7. Κύκλος Χαλκού Θειώδους
8. Κύκλος Ψευδάργυρου οξειδίου του Ψευδαργύρου

Υπάρχουν ακόμη υβριδικές μμέθοδοι οι οποίες είναι θερμοχημικές διεργασίες με ηλεκτροχημικά βήματα όπως:

1. Υβριδικός Κύκλος Θείου
2. Κύκλος Χαλκού Χλωρίου

Όλες οι διεργασίες συνοψίζονται στην παρακάτω αντίδραση η οποία είναι η διάσπαση του νερού: Όλα τα υπόλοιπα χημικά που χρησιμοποιούνται ανακυκλώνονται. Κανένας από τους παραπάνω κύκλους δεν έχει εφαρμοστεί σε επίπεδα παραγωγής αν και αρκετοί έχουν επιδειχθεί σε εργαστήρια.

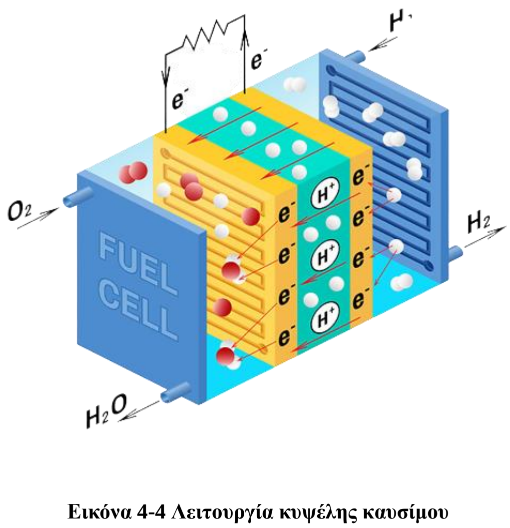
4.3.10 ΦΩΤΟΗΛΕΚΤΡΟΧΗΜΙΚΗ ΔΙΑΣΠΑΣΗ

Η χρήση ηλεκτρισμού από φωτοβολταϊκά είναι ένας από τους καθαρότερους τρόπος για την παραγωγή υδρογόνου. Η διάσπαση γίνεται ουσιαστικά με ηλεκτρόλυση σε κυψέλες PEC (photoelectrochemical cell) και ονομάζεται τεχνητή φωτοσύνθεση.

4.4 ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

4.4.1 ΙΣΤΟΡΙΚΑ

Η χρονολόγηση των εξελίξεων που οδήγησαν σε ένα λειτουργικό Fuel Cell μπορεί να φτάσει ως τις αρχές του 19^{ου} αιώνα και τον Sir William Grove, ο οποίος αναγνωρίζεται ως ο εφευρέτης το 1839. Όλο το υπόλοιπο του αιώνα οι επιστήμονες επιχείρησαν να εξελίξουν τα Fuel Cell με την χρήση ποικίλων καυσίμων και ηλεκτρολυτών. Επιπλέον εργασία στο πρώτο μισό του 20^{ου} αιώνα οδήγησε στην θεμελίωση συστημάτων τα οποία αργότερα χρησιμοποιήθηκαν στις διαστημικές πτήσεις του Gemini και του Apollo. Παρ' όλ' αυτά, το 1959 ο Francis T.Bacon κατάφερε να επιδείξει με επιτυχία το πρώτο πλήρως λειτουργικό Fuel Cell. Τα Fuel Cells με μεμβράνη πρωτονιακής συναλλαγής (PEM) χρησιμοποιήθηκαν πρώτη φορά από τη NASA τη δεκαετία του 1960 ως μέρος του διαστημικού προγράμματος Gemini και πήραν μέρος σε 7 αποστολές.



Εικόνα 4-4 Λειτουργία κυψέλης καυσίμου

Αυτά τα Fuel Cell χρησιμοποιούσαν καθαρό οξυγόνο και υδρογόνο και ήταν μικρής κλίμακας, ακριβά και μη βιώσιμα εμπορικά. Το ενδιαφέρον της NASA καθώς και η ενεργειακή κρίση του '73 ώθησε περαιτέρω την εξέλιξη. Από τότε η έρευνα πάνω στα Fuel Cell συνεχίζεται απρόσκοπτα και έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών.

4.4.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Τα Fuel Cell συνήθως συγκρίνονται με τις μηχανές εσωτερικής καύσης και τις μπαταρίες και προσφέρουν μοναδικά προτερήματα αλλά και μειονεκτήματα αναφορικά με αυτές.

4.4.2.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

1. Τα συστήματα αυτά λειτουργούν χωρίς να επιβαρύνουν το περιβάλλον όταν δουλεύουν με καθαρό υδρογόνο. Τα μόνα παράγωγα της λειτουργίας τους είναι νερό και θερμότητα. Όταν δουλεύουν με μείγματα αναμορφωμένων αερίων υψηλής περιεκτικότητας σε υδρογόνο, προκύπτουν κάποιες βλαβερές εκπομπές, λιγότερες όμως από αυτές που προκύπτουν από την λειτουργία μιας μηχανής εσωτερικής καύσης που χρησιμοποιεί συμβατικά ορυκτά καύσιμα.
2. Τα συστήματα Fuel Cell λειτουργούν με μεγαλύτερη θερμοδυναμική απόδοση από ότι οι θερμικές μηχανές. Οι θερμικές μηχανές όπως οι Μ.Ε.Κ. και οι στρόβιλοι, μετατρέπουν την χημική ενέργεια σε θερμότητα μέσω καύσης/συμπίεσης και χρησιμοποιούν αυτή τη θερμότητα στη παραγωγή έργου. Συνεπώς, θεωρητικά είναι εφικτό να ανεβάσουμε την θερμοκρασία εισόδου σε πολύ μεγάλο βαθμό ώστε να επιτύχουμε την επιθυμητή απόδοση, αφού η θερμοκρασία του εξερχόμενου δεν μπορεί να είναι χαμηλότερη από την περιβαλλοντική.
3. Τα Fuel Cell έχουν υψηλότερη ειδική θερμική απόδοση από τις θερμικές μηχανές, επιπλέον παρουσιάζουν υψηλότερη απόδοση μερικού φορτίου και δεν παρουσιάζουν απότομη πτώση απόδοσης με την μείωση της ενεργειακής μονάδας. Οι θερμικές μηχανές λειτουργούν με μεγαλύτερη απόδοση όταν δρουν με την ταχύτητα σχεδιασμού των και παρουσιάζουν ραγδαία πτώση απόδοσης σε μερικό φορτίο. Τα Fuel Cell, όπως και οι μπαταρίες, παρουσιάζουν υψηλότερη απόδοση σε μερικό φορτίο από ότι στο ολικό και με λιγότερες διακυμάνσεις καθ' όλο το φάσμα λειτουργίας. Η κατασκευή των Fuel Cell έχει ποικίλες μορφές και τα ίδια έχουν σταθερές αποδόσεις ανεξάρτητα από το μέγεθος.
4. Τα Fuel Cell παρουσιάζουν καλά χαρακτηριστικά απόκρισης στα φορτία. Αυτά, όπως και οι μπαταρίες (συσσωρευτές), είναι στερεές κατασκευές που αντιδρούν χημικώς και αμέσως σε αλλαγές του φορτιού. Τα συστήματα Fuel Cell, αποτελούνται και από άλλες συσκευές εκτός από τα Fuel Cell (όπως είναι τα ηλεκτρονικά ελέγχου), η καθεμία από τις οποίες έχει το δικό της χρόνο απόκρισης στις αλλαγές της απαίτησης του φορτίου. Παρόλα αυτά, τα συστήματα Fuel Cell που λειτουργούν με καθαρό υδρογόνο τείνουν να έχουν άριστη ολική αντίδραση. Ενώ τα συστήματα Fuel Cell που λειτουργούν με αναμορφωμένο καύσιμο, χρησιμοποιώντας ενσωματωμένο αναμορφωτή, έχουν βραδεία συμπεριφορά, συγκεκριμένα αν χρησιμοποιούνται τεχνικές αναμορφώσεως με ατμό.
5. Όταν χρησιμοποιούνται ως ηλεκτρικές συσκευές τα Fuel Cell απαιτούν λιγότερες ενεργειακές μετατροπές από αυτές που σχετίζονται με μία θερμική μηχανή. Όταν χρησιμοποιούνται ως μία συσκευή παραγωγής μηχανικής ενέργειας, τα Fuel Cell, απαιτούν τον ίδιο αριθμό μετατροπών ενέργειας, αν και οι στοιχειώδεις μετατροπές είναι διαφορετικές.. Κάθε ενεργειακή μετατροπή έχει και μία συγκεκριμένα ενεργειακή απώλεια τοιουτοτρόπως, μικρός αριθμός ενεργειακών μετατροπών σημαίνει μεγαλύτερη απόδοση. Συνεπώς η ιδανική χρήση των Fuel Cell σχετίζεται με εφαρμογές που χρειάζονται ηλεκτρική ενέργεια ως το τελικό προϊόν και σε κανένα στάδιο μηχανική.

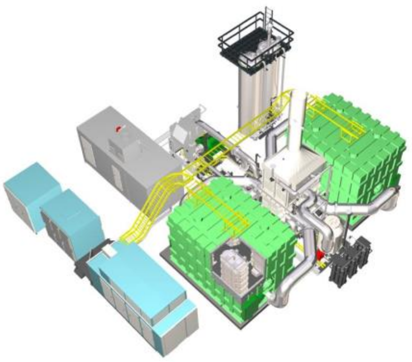
6. Ο ρόλος των Fuel Cell ως γεννήτριες μπορεί να είναι πολλαπλός. Μαζί με την ηλεκτρική ισχύ, τα Fuel Cell παράγουν ζεστό νερό και μετρίου βαθμού θερμότητα που μπορούν να συνδυαστούν και να χρησιμοποιηθούν σε οικιακές και βιομηχανικές εφαρμογές. Όταν γίνεται αυτό η ολική απόδοση των συνδυασμένων συστημάτων αυξάνεται.
7. Τα συστήματα Fuel Cell δεν χρειάζονται tuning (χρονισμό).
8. Τα συστήματα Fuel Cell δεν χρειάζονται αναφόρτιση. Χρειάζονται όμως αναπλήρωση καυσίμου, που είναι όμως γρηγορότερη από την αναφόρτιση μιας μπαταρίας και μπορεί να δώσει μεγαλύτερη αυτονομία ανάλογη με το μέγεθος της αποθηκευτικής δεξαμενής.

4.4.2.2 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

1. Το υδρογόνο, ενώ όταν χρησιμοποιείται σε Fuel Cell είναι ευεργετικό περιβαλλοντικά, η φύση του προβάλλει τα μεγαλύτερα εμπόδια στην παρασκευή και αποθήκευσή του. Οι σύγχρονες παρασκευαστικές μέθοδοι είναι ακριβές και ενεργειακά δαπανηρές και συχνά έχουν ως πρώτη ύλη ορυκτά καύσιμα. Τα συστήματα αποθήκευσης αέριου υδρογόνου είναι ογκώδη και βαριά ώστε να ξεπερνιούνται οι περιορισμοί που προκύπτουν από την χαμηλή ογκομετρική πυκνότητα ενέργειας του υδρογόνου. Τα συστήματα αποθήκευσης υγρού υδρογόνου είναι πολύ μικρότερα και ελαφρύτερα, αλλά πρέπει να λειτουργούν σε θερμοκρασίες προγεννητικής. Εναλλακτικά, αν το υδρογόνο αποθηκεύεται σε μορφή υδρογονανθράκων ή αλκοολών και απελευθερώνεται με αναμόρφωση αυτών των ουσιών, τα προβλήματα αποθήκευσης και χειρισμού απλοποιούνται, αλλά κάποια από τα περιβαλλοντικά οφέλη χάνονται.
2. Κάποια Fuel Cell απαιτούν καύσιμα σχετικά αγνά. Καύσιμα απελευθερωμένα από συγκεκριμένες ουσίες όπως θείο, ανθρακικά παράγωγα και ιζηματικά ρευστά. Αυτές οι ουσίες μπορούν να απενεργοποιήσουν τον καταλύτη του Fuel Cell καταστρέφοντας την λειτουργία του. Σε αντίθεση οι μηχανές εσωτερικής καύσης δεν διατρέχουν τέτοιους κινδύνους.
3. Τα Fuel Cell που ενδείκνυνται για εφαρμογές στο τομέα των οχημάτων, απαιτούν συνήθως τη χρήση καταλύτη από πλατίνα για να προωθηθεί η αντίδραση παραγωγής ενέργειας. Ως γνωστόν η πλατίνα είναι ένα πολύ σπάνιο και πολύ ακριβό μέταλλο.
4. Δεν πρέπει να αφήνεται νερό μέσα στα Fuel Cell να παγώνει. Κατά την αντίδραση παραγωγής ενέργειας, παράγουν καθαρό νερό και τα περισσότερα από αυτά που χρησιμοποιούνται σε οχήματα λειτουργούν με αέρια σε μμορφή ατμού. Αν τυχόν παραμένον νερό αφεθεί να παγώσει μέσα στη κυψέλη, μπορεί να προκαλέσει ανεπανόρθωτη ζημιά κατά την διαστολή του.
5. Τα Fuel Cell που χρησιμοποιούν μεμβράνες ανταλλαγής πρωτονίων δεν πρέπει να χάσουν την υγρασία τους κατά την λειτουργία τους και πρέπει να παραμείνουν υγρά και κατά την αποθήκευσή τους. Κάθε προσπάθεια να εκκινήσει ένα Fuel Cell τέτοιου τύπου ή εν γένει να λειτουργήσει σε ξηρές συνθήκες μπορεί να οδηγήσει σε βλάβη της μεμβράνης του.
6. Τα Fuel Cell απαιτούν πολύπλοκα συστήματα υποστήριξης και ελέγχου. Από μόνα τους είναι στέρεες συσκευές, όμως τα συστήματα υποστήριξής τους όχι. Άξιο σημείωσης είναι η αυξημένη ανάγκη για πεπιεσμένο αέρα. Η ανάγκη αυτή επιτάσσει την παρουσία πολύστροφου συμπιεστή ο οποίος επιβάλλει ένα μεγάλο παρασιτικό φορτίο σ’ όλο το σύστημα. Η πολυπλοκότητα του συστήματος αυξάνει όταν το εν λόγω Fuel Cell λειτουργεί συνδεδεμένο με ενσωματωμένο αναμορφωτή.

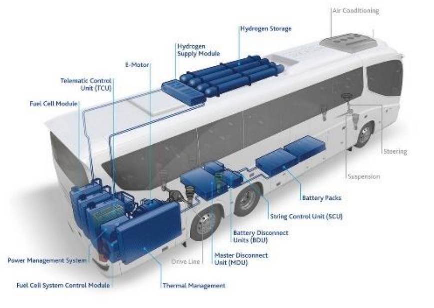
7. Τα συστήματα Fuel Cell είναι βαριά. Τα ίδια τα Fuel Cell δεν είναι υπερβολικά βαριά, αλλά το συνδυασμένο βάρος με τα συστήματα υποστήριξης και των αποθηκών καυσίμου είναι, προς το παρόν, μεγαλύτερο από μία συμβατική μμηχανή εσωτερικής καύσης. Επίσης, συστήματα που περιλαμβάνουν ενσωματωμένο αναμορφωτή, είναι ακόμα βαριά. Το βάρος των συστημάτων θα συνεχίσει να μειώνεται καθώς αναπτύσσεται η τεχνολογία. Ήδη υπάρχοντα πρωτότυπα οχήματα με Fuel Cell έχουν δείξει ότι αυτά τα συστήματα μπορούν να γίνουν αρκετά συμπαγή και συνεπτυγμένα ώστε να βρουν εφαρμογή στην αυτοκίνηση.

4.4.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΧΡΗΣΗΣ



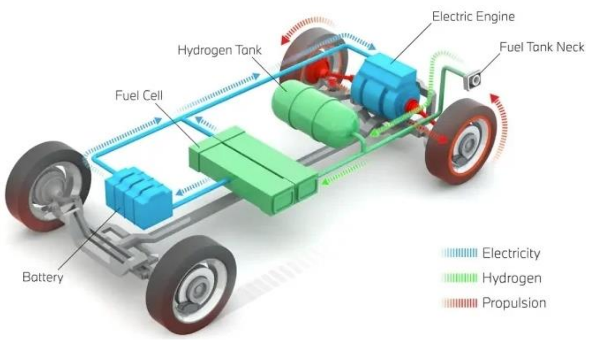
Εικόνα 4-5 Κυψέλη καυσίμου

Οι κυψέλες καυσίμου έχουν ένα ευρύτατο φάσμα εφαρμογών, από βιομηχανικές εγκαταστάσεις έως και μικρές φορητές μονάδες. Οι εφαρμογές στο τομέα των Σταθμών Παραγωγής Ενέργειας έχουν παρουσιαστεί σε ένα μεγάλο αριθμό πιλοτικών προγραμμάτων με την χρήση μεγάλης ποικιλίας τεχνολογιών Fuel Cell. Μια από τις μεγαλύτερες μονάδες PEM που κατασκευάστηκε έως σήμερα είναι η Ballard Generation Systems 250kW. Μία μονάδα με μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίων η οποία δουλεύει με φυσικό αέριο και χρησιμοποιείται σε πολλά μέρη σ’ όλο τον κόσμο. Αν και η ισχύς των 250kW είναι σχετικά μικρή, είναι επαρκής για να καλύψει τις ανάγκες μίας απομονωμένης κοινότητας ή για να δρα ως εναλλακτική πηγή για την υποστήριξη ευαίσθητων εγκαταστάσεων όπως τα νοσοκομεία. Οι Σταθμοί Παραγωγής Ενέργειας είναι οι πιο κατάλληλοι για λειτουργία με συμβατικά καύσιμα, όπως το φυσικό αέριο, το οποίο μπορεί να οδηγηθεί με αγωγούς στη μμονάδα και να αναμορφωθεί επί τόπου. Μαζί με την υψηλή απόδοση λειτουργίας, τις χαμηλές εκπομπές ρύπων, και την καλή απόκριση, τα συστήματα Fuel Cell ως ακίνητες μονάδες παραγωγής ενέργειας, παράγουν και μεγάλα ποσά θερμού νερού και θερμότητας τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατευθείαν από την τοπική κοινότητα, αυξάνοντας έτσι το βαθμό απόδοσης του συστήματος.



Εικόνα 4-6 Λειτουργία λεωφορείου με καύσιμο υδρογόνου

Η μεγαλύτερη εμπορική εξέλιξη έχει παρατηρηθεί στα λεωφορεία. Συγκεκριμένα, η εταιρία XCELLSIS Fuel Cell Engines Inc, έφερε σε πέρας με επιτυχία προγράμματα παρουσίασης της καινούργιας τεχνολογίας, με την εισαγωγή στην κυκλοφορία τριών λεωφορείων στο Vancouver, το Chicago και το Palm Springs των Η.Π.Α. Στο εγγύς μέλλον υπάρχει η πεποίθηση ότι θα αναλάβουν υπηρεσία και άλλα λεωφορεία σε ένα μεγάλο μέρος της Ευρώπης και σε άλλες περιοχές του κόσμου. Όλα αυτά θα λειτουργούν με καθαρό υδρογόνο το οποίο θα βρίσκεται αποθηκευμένο σε μορφή αερίου υψηλής συμπίεσης, ενώ κάποια άλλα οχήματα επίδειξης χρησιμοποιούν υγρά καύσιμα τα οποία και αναμορφώνονται σε ενσωματωμένους στο όχημα αναμορφωτές.



Εικόνα 4-7 Λειτουργία αυτοκινήτου με καύσιμο υδρογόνου

Η πιο ελκυστική αγορά για τους κατασκευαστές των Fuel Cell είναι η αγορά αυτοκινήτων κυρίως για τις ποσότητες που απαιτούνται. Ενώ τα αυτοκίνητα αποτελούν το κυριότερο κίνητρο για την εξέλιξη των Fuel Cell, καθότι είναι μέγιστοι συνεισφορείς στην ατμοσφαιρική ρύπανση, προβάλλουν μερικές από τις πιο μεγάλες προκλήσεις στην εμπορευματοποίηση. Μερικές από αυτές τις προκλήσεις είναι το μικρό τους μέγεθος, οι εκτεταμένες εγκαταστάσεις ανεφοδιασμού που απαιτούνται καθώς και η συνήθειες ασυνεπούς συντήρησης από το ευρύ κοινό. Επιπλέον, οι απαιτήσεις για επιδόσεις και αξιοπιστία είναι μεγάλες, αλλά το αναμενόμενο κόστος μικρό.

4.4.4 ΓΕΝΙΚΟΤΕΡΕΣ ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Τα Fuel Cell είναι συσκευές μετατροπής ενέργεια που μετατρέπουν απευθείας την χημική ενέργεια του καυσίμου σε ηλεκτρική χωρίς ενδιάμεσα μηχανικά ή θερμικά στάδια. Ενέργεια εκλύεται οποτεδήποτε κάποιο καύσιμο αντιδρά (χημικά) με το οξυγόνο του αέρα. Σε μία μηχανή εσωτερικής καύσης η αντίδραση γίνεται με ανάφλεξη-καύση και η ενέργεια εκλύεται υπό τη μορφή θερμότητας, μέρος της οποίας είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ωφέλιμου έργου. Στα Fuel Cell η ενέργεια εκλύεται υπό τη μορφή ενός συνδυασμού ηλεκτρικής ενέργειας, λόγω ενός συνεχούς ρεύματος χαμηλής τάσης που παράγεται και θερμότητας. Η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή χρήσιμου έργου, ενώ η θερμότητα είτε χάνεται, είτε χρησιμοποιείται για άλλους σκοπούς. Βασικό χαρακτηριστικό των Fuel Cell είναι ότι ο βαθιός κατανάλωσης του υδρογόνου και του οξυγόνου καθορίζεται από την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που καλείται να αποδώσει. Στην πράξη, μπορεί από ένα τέτοιο σύστημα να ζητηθεί να καλύψει τις ανάγκες περισσότερου του ενός φορτίου, συνεπώς το μέγεθος της έντασης αυξάνεται.

Τυπικά, όλες οι γαλβανικές κυψέλες αποτελούνται από δύο ηλεκτρόδια (την άνοδο και την κάθοδο) και ενός ηλεκτρολύτη. Το ανοδικό ή αρνητικό (καύσιμο) ηλεκτρόδιο είναι κατασκευασμένο από υλικό που οξειδώνεται εύκολα. Το καθοδικό ή θετικό (οξειδωτής) είναι κατασκευασμένο από υλικό το οποίο ανάγεται εύκολα. Όταν η άνοδος και η κάθοδος χρησιμοποιηθούν μαζί λαμβάνει χώρα μία αυτογενής αντίδραση οξειδοαναγωγής. Για να γίνει μία χημική αντίδραση πρέπει τα στοιχεία να έρθουν σε επαφή, ώστε να μπορέσει να γίνει η ανταλλαγή ηλεκτρονίων και να δημιουργηθούν δεσμοί. Όταν η άνοδος έρθει σε άμεση επαφή με την κάθοδο τότε λαμβάνει χώρα αντίδραση στο σημείο επαφής. Κανένα ωφέλιμο έργο όμως δεν μπορεί να παραχθεί καθώς τα ηλεκτρόνια περνούν από την άνοδο στην κάθοδο και η ενέργεια που απελευθερώνεται κατά τη διαδικασία χάνεται όλη υπό τη μορφή θερμότητας. Για να μπορέσουμε να εκμεταλλευτούμε την παρεχόμενη χημική ενέργεια τα ηλεκτρόδια πρέπει να χωριστούν με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέπεται η ροή των ηλεκτρονίων μέσω αγωγού από την άνοδο στην κάθοδο χωρίς όμως η απόσταση να είναι τέτοια ώστε να εμποδίζεται η αντίδραση. Για να μπορέσουμε να το πετύχουμε αυτό, παρεμβάλουμε μεταξύ ανόδου και καθόδου ένα ηλεκτρολύτη.

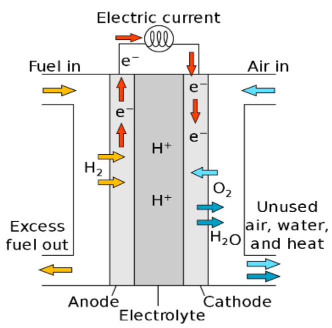
Σε κάποιους τομείς πάντως, τα Fuel Cell διαφέρουν εκ θεμελίων από τις Μ.Ε.Κ. Στα Fuel Cell λαμβάνει ηλεκτροχημική αντίδραση του καυσίμου με το οξειδωτικό ενώ στις Μ.Ε.Κ. θερμική. Οι Μ.Ε.Κ. είναι μηχανικές συσκευές που παράγουν μηχανικό έργο, ενώ τα Fuel Cell είναι στέρεες διατάξεις που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια.

4.4.5 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Οι κυριότερες κατηγορίες των Fuel Cell είναι πέντε. Ο διαχωρισμός γίνεται με βάση των ηλεκτρολύτη που περιέχουν. Συνοπτικά οι κατηγορίες είναι:

4.4.5.1 ΚΥΨΕΛΕΣ ΦΩΣΦΟΡΙΚΟΥ ΟΞΕΟΥΣ (PAFC)

Στα PAFC ο ηλεκτρολύτης είναι το φωσφορικό οξύ (H_3PO_4). Αυτό περιέχεται σε ένα λεπτό πλαίσιο ανθρακούχου πυριτίου SiC το οποίο με την σειρά του βρίσκεται μεταξύ δύο πορωδών ηλεκτροδίων από γραφίτη επενδεδυμένα με πλατίνα για καταλύτη. Το υδρογόνο χρησιμοποιείται ως καύσιμο και ατμοσφαιρικός αέρας ή καθαρό οξυγόνο ως οξειδωτικό. Η βέλτιστη λειτουργία λαμβάνει χώρα σε θερμοκρασίες 180℃ ÷ 210℃ και πάνω από τους 210℃ το H_3PO_4 υφίσταται μία μεταβατική φάση που το καθιστά ακατάλληλο για ηλεκτρολύτη. Η ηλεκτρική απόδοση των μονάδων PAFC είναι περίπου 40%, ενώ μονάδες σε συμπαραγωγή ισχύος – θερμότητας μπορούν να πετύχουν και 70%.



Εικόνα 4-8 Κυψέλη φωσφορικού όξεως

Ο καταλύτης από πλατίνα κάνει τα PAFC αρκετά ευαίσθητα σε δηλητηρίαση από μονοξείδιο του άνθρακα και θείου στην άνοδο. Αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα όταν γίνεται χρήση καθαρού υδρογόνου αλλά μπορεί να αποτελέσει σημαντικό εμπόδιο όταν γίνεται χρήση αναμορφωμένου ή ακάθαρτου καυσίμου. Επειδή όμως λειτουργούν σε υψηλές θερμοκρασίες επιδεικνύουν μεγαλύτερη ανεκτικότητα από ότι τα PEMFC. Επιγραμματικά, ορισμένα πλεονεκτήματα είναι τα εξής:

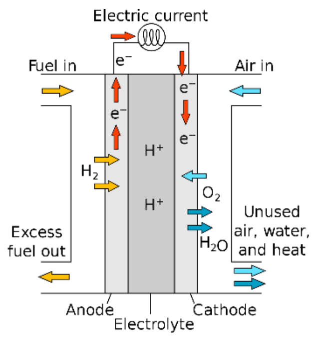
1. Ώριμη τεχνολογία
2. Εξαιρετική αξιοπιστία / επιδόσεις σε μακρά διάρκεια
3. Φθηνός ηλεκτρολύτης

Ορισμένα από τα μειονεκτήματα PAFC, είναι:

1. Ακριβώς καταλύτης (πλατίνα)
2. Ευαίσθητα σε δηλητηρίαση από CO και S
3. Ο ηλεκτρολύτης είναι ιδιαίτερα διαβρωτικός και χρειάζεται συνεχώς αντικατάσταση
4. Υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας (πρόβλημα σε on – off χρήση)

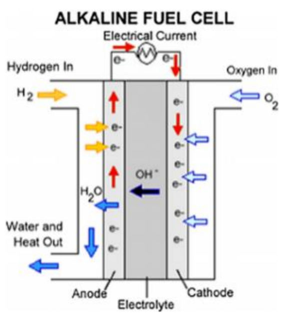
4.4.5.2 ΚΥΨΕΛΕΣ ΜΕ ΜΕΜΒΡΑΝΗ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ ΠΡΩΤΟΝΙΩΝ (PEM)

Οι κυψέλες αυτές λέγονται αλλιώς και κυψέλες με μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίων. Αυτή η μεμβράνη είναι από πολυμερές υλικό συνήθως φθοροανθρακικού θειικού οξέος (PSA). Η μεμβράνη σε ένα PEMFC είναι λεπτή (20– 200 μm), ευλύγιστη και διαφανής. Είναι επενδεδυμένη και από τις δύο πλευρές, με ένα λεπτό στρώμα πλατίνας που επιτελεί τον ρόλο του καταλύτη και ένα πορώδες ανθρακικό υλικό για την συγκράτηση των ηλεκτροδίων. Αυτή η διάταξη ηλεκτρόδιο - καταλύτης - μεμβράνη - καταλύτης - ηλεκτρόδιο είναι γνωστή ως η μεμβρανιακή συναρμολόγηση ηλεκτροδίου και είναι λιγότερο από 1mm σε πάχος. Επειδή η μεμβράνη χρειάζεται να διατηρείται υγρή από νερό σε υγρή κατάσταση, η θερμοκρασία λειτουργίας δεν ξεπερνά τους 90℃. Σ' αυτή τη θερμοκρασία η πλατίνα είναι ο μόνος καταλύτης που μπορεί να λειτουργήσει. Αν και το H_2 είναι το καύσιμο πρώτης επιλογής, για φορητές εφαρμογές χαμηλής ισχύος χρειάζονται καθαρά αντιδρώντα για να λειτουργήσουν καθότι δεν έχουν καμία ανεκτικότητα στο διοξείδιο του άνθρακα ακόμα και σε συγκεντρώσεις στα επίπεδα του ατμοσφαιρικού αέρα.



Εικόνα 4-9 Κυψέλη μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων

4.4.5.3 ΑΛΚΑΛΙΚΕΣ ΚΥΨΕΛΕΣ (AFC)



Εικόνα 4-10 Αλκαλική κυψέλη

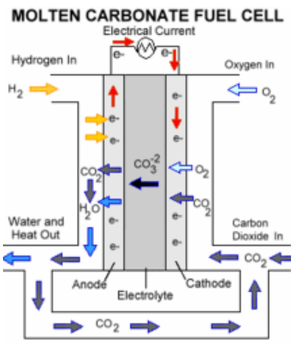
Έχουν συμπυκνωμένο διάλυμα KOH ως ηλεκτρολύτη, το οποίο άγει ανιόντα OH^- που παράγονται στην κάθοδο, η οποία είναι εκτεθειμένη σε μίγμα $O2/H_2O$. Τα ανιόντα OH^- στην συνέχεια ηλεκτροοξειδώνουν το H_2 στην άνοδο σε ενδιάμεσες θερμοκρασίες. Ορισμένα από τα πλεονεκτήματα, είναι:

1. Βελτιωμένη απόδοση καθόδου.
2. Δυνατότητα χρήσης μη πολύτιμων μετάλλων στον καταλύτη.
3. Φθηνά υλικά και ακόμα πιο φθηνός ηλεκτρολύτης.

Ορισμένα από τα μειονεκτήματα, είναι:

1. Απαραίτητη η χρήση καθαρών αντιδρώντων (οξυγόνο, υδρογόνο).
2. Ο KOH ηλεκτρολύτης, χρήζει συνεχόμενης αναπλήρωσης.
3. Είναι απαραίτητη η απομάκρυνση νερού από τη κάθοδο.

4.4.5.4 ΚΥΨΕΛΕΣ ΤΗΓΜΕΝΟΥ ΑΛΑΤΟΣ (MCFC)



Εικόνα 4-11 Κυψέλη τηγμένου άλατος

Ο ηλεκτρολύτης σ' αυτές τις κυψέλες είναι ένα μείγμα από τηγμένου αλκαλικούς ανθρακίτες, όπως Li_2CO_3 και K_2CO_3 εγκλωβισμένο σε ένα πλαίσιο από $LiOAlO_2$. Τα ιόντα ανθρακίτη, CO_3^{2-} επιτελούν το σκοπό του φορέα του φορτίου σε ένα MCFC. Οι MCFC μπορούν να λειτουργήσουν με υδρογόνο, απλούς υδρογονάνθρακες (όπως μεθάνιο), και απλές αλκοόλες, ενώ η ανεκτικότητα σε μονοξείδιο του άνθρακα δεν αποτελεί ζήτημα. Για τις MCFC το μονοξείδιο αντί για δηλητήριο αποτελεί καύσιμο. Λόγω των έντονων εντατικών καταστάσεων που δημιουργούνται από την ψύξη και την θέρμανση σε διακοπτόμενη λειτουργία, οι MCFC ενδείκνυνται περισσότερο για στατικές εφαρμογές συνεχούς παραγωγής ενέργειας. Η ηλεκτρική απόδοση μιας τυπικής μονάδας MCFC είναι κοντά στο 50%, ενώ σε εφαρμογές συμπαραγωγής, μπορεί να φτάσει αρκετά κοντά στο 90%. Τα πλεονεκτήματα των MCFC, είναι:

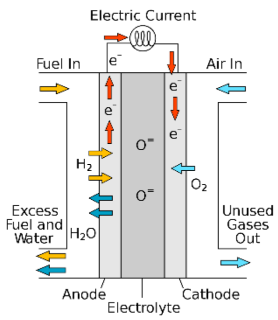
1. Προσαρμοστικότητα καυσίμου.
2. Καταλύτης από μη πολύτιμά μέταλλα.
3. Υψηλής ποιότητας παραγόμενη θερμότητα χρήσιμή για συμπαραγωγή.

Ορισμένα από τα μειονεκτήματα επίσης, είναι:

1. Απαραίτητη η ανακύκλωση του CO_2.
2. Ζητήματα αποικοδόμησης - διάρκεια ζωής.
3. Σχετικά ακριβά υλικά παραγωγής.

4.4.5.5 ΚΥΨΕΛΕΣ ΣΤΕΡΕΟΥ ΟΞΕΙΔΙΟΥ (SOFC)

Οι κυψέλες SO έχουν στερεό κεραμικό υλικό για ηλεκτρολύτη. Το πιο διαδεδομένο υλικό για τον ηλεκτρολύτη των SOFC είναι το σταθεροποιημένο Υ3 ζιρκόνιο (YSZ) το οποίο είναι αγωγός ιόντων οξυγόνου. Τα υλικά της ανόδου και της καθόδου είναι διαφορετικά και αυτό συμβαίνει γιατί τα υλικά του ηλεκτροδίου του καυσίμου πρέπει να είναι τέτοια ώστε να αντέχουν στο εξαιρετικά αναγωγικό και υψηλών θερμοκρασιών περιβάλλον της ανόδου, ενώ αυτά του ηλεκτροδίου του αέρα θα πρέπει να αντέχουν στο εξαιρετικά οξειδωτικό και υψηλών θερμοκρασιών περιβάλλον της καθόδου. Η κάθοδος αποτελείται από ένα μείγμα ιοντικού και ηλεκτρονιακού κεραμικού αγωγού. Η θερμοκρασία λειτουργίας μιας SOFC, είναι από $600℃ - 1000℃$ και αυτό έχει τα πλεονεκτήματά του, αλλά παρουσιάζει και αρκετές προκλήσεις. Οι προκλήσεις αφορούν θέματα τεχνομηχανικού εξοπλισμού, στεγανότητας και διασύνδεσης των κυψελών. Οι υψηλές θερμοκρασίες φέρουν και υψηλές απαιτήσεις στα υλικά, στα μηχανικά ζητήματα, εγείρουν θέματα αξιοπιστίας και κάνουν πιο δύσκολη τη μελέτη των θερμικών διαστολών και το ταίριασμα των συνιστάμενων εξαρτημάτων. Αντίθετα, τα πλεονεκτήματα των υψηλών θερμοκρασιών είναι η προσαρμοστικότητα στο καύσιμο, η υψηλή απόδοση και η δυνατότητα για ευρεία χρήση σε συμπαραγωγή με την χρήση της αποδιδόμενης θερμότητας. Η ηλεκτρική απόδοση μιας SOFC είναι της τάξεως του $50 - 60\%$ ενώ σε συμπαραγωγή φτάνει το 90%. Ένα μελλοντικό σχέδιο SOFC η οποία θα λειτουργεί σε θερμοκρασίες $400℃ - 700℃$, θα μπορούσε να εξαλείψει τα αρνητικά των πολύ υψηλών θερμοκρασιών. Θα μπορούσε δηλαδή να απαλλαχτεί από την χρήση ακριβών στεγανωτικών και των στιβαρών κατασκευών για μηχανική στήριξη.



Εικόνα 4-12 Κυψέλη στερεού οξειδίου

Την ίδια στιγμή δεν θα έχανε καθόλου από την ικανότητά της για συμπαραγωγή και θα διατηρούσε την υψηλή αποδοτικότητα και την προσαρμοστικότητα σε καύσιμο. Επί του παρόντος, τέτοια τεχνολογία ερευνάται.

Τα πιο βασικά πλεονεκτήματα, είναι:

1. Προσαρμοστικότητα σε καύσιμο.
2. Καταλύτες από μη πολύτιμά μέταλλα.
3. Υψηλής ποιότητας θερμότητα για συμπαραγωγή.
4. Στερεός ηλεκτρολύτης.
5. Σχετικά υψηλή συγκέντρωση ισχύος.

Τα μειονεκτήματα, επίσης, είναι:

1. Σημαντικά ζητήματα σε υλικά από υψηλές θερμοκρασίες.
2. Ζητήματα σφραγίσεων – στεγανότητας.
3. Σχετικά ακριβά μέρη όπως επίσης και η κατασκευή.

Στα πλαίσια αυτής της μελέτης εξετάστηκαν πιο διεξοδικά οι περιπτώσεις των PEM και των SOFC. Από όλες τις κατηγορίες αυτές οι δύο (PEM και SOFC) είναι οι πιο πολλά υποσχόμενες και με μεγαλύτερη πιθανότητα να αποδώσουν.

Πίνακας 4-1 Κατηγορίες κυψελών καυσίμου και χημικές ιδιότητες

	ΑΝΟΔΙΚΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ	ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΤΗΣ	ΚΑΘΟΔΙΚΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ
PAFC	$2H_2 \rightarrow 4H^+ + 4e^-$	Διάλυμα H_3PO_4 Αγώγιμο ιόν: H^+	$O_2 + 2CO_2 + 4e^- \rightarrow 2CO_3^{2-}$
PEM	$2H_2 \rightarrow 4H^+ + 4e^-$	Πολυμερές μεμβράνες Αγώγιμο ιόν: H^+	$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow H_2O$
AFC	$2H_2 + 4OH^- \rightarrow 4H_2O + 4e^-$	Διάλυμα KOH Αγώγιμο ιόν: OH^-	$O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH$
MCFC	$2H_2 + 2CO_3^{2-} \rightarrow 2H_2O + 2CO_2 + 4e^-$	Μίγμα τηγμένων ανθρακικών αλάτων Αγώγιμο ιόν: CO_3^{2-}	$O_2 + 2CO_2 + 4e^- \rightarrow 2CO_3^{2-}$
SOFC	$2H_2 + 2O^{2-} \rightarrow 2H_2O + 4e^-$	Μικτά κεραμικά οξείδια Αγώγιμο ιόν: O^{2-}	$O_2 + 4e^- \rightarrow 2o^{2-}$

4.4.6 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Σε ένα σύστημα αποθήκευσης H_2 η κυψέλη καυσίμου τροφοδοτείται απευθείας με αέριο υδρογόνο και το γεγονός αυτό παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα:

1. Οι πιο πολλές κυψεέλες καυσίμου λειτουργούν πιο καλά με καθαρό υδρογόνο.
2. Προβλήματα με τις ακαθαρσίες και την μόλυνση της κυψέλης αφανίζονται.
3. Η κυψέλη απλοποιείται.
4. Η αποθήκευση του αερίου υδρογόνου τείνει να είναι μεγάλης χρονικής διάρκειας.

Το υδρογόνο δεν είναι ένα ευρέως γνωστό καύσιμο, επομένως δεν είναι διαθέσιμη κάποια μέθοδος αποθήκευσης υδρογόνου μεγάλης πυκνότητας. Οι πιο γνωστές μέθοδοι αποθήκευσης είναι οι παρακάτω:

1. Ως συμπιεσμένο αέριο: Είναι ο πιο άμεσος τρόπο αποθήκευσης. Το υδρογόνο συμπιέζεται με πολύ υψηλές πιέσεις σε ειδικούς κυλίνδρους. Η απόδοση της αποθήκευσης είναι σχετικά μέτρια όμως αυξάνεται με την αύξηση του όγκου αποθήκευσης και της πίεσης. Οι υπάρχουσες κατασκευές καθιστούν εφικτή την αποθήκευση συμπιεσμένου υδρογόνου έως και πιέσεις των 700 bar. Ωστόσο, οι υψηλές πιέσεις δημιουργούν ζητήματα στον τομέα της ασφάλειας. Ακόμα, η συμπίεση του υδρογόνου είναι ενεργοβόρα. Για παράδειγμα, η συμπίεση του υδρογόνου στα 300 bar απαιτεί την σπατάλη 10% του ενεργειακού του περιεχομένου. Ευτυχώς όμως αυτές οι απώλειες μειώνονταιμε την αύξηση της ποσότητας αποθηκευμένου υδρογόνου.
2. Υγρό υδρογόνο: Αν το αέριο υδρογόνο ψυχθεί στους 22 K, συμπυκνώνεται σε υγρό. Το γεγονός αυτό, επιτρέπει την αποθήκευση κατάσταση χαμηλών πιέσεων. Το υγρό υδρογόνο έχει την μεγαλύτερη αποθηκευτική πυκνότητα συγκριτικά με τις άλλες μεθόδους, περίπου $0{,}071\ g/cm^3$. Η δεξαμενή αποθήκευσης οφείλει να έχει μόνωση κενού και διπλά ενισχυμένα τοιχώματα για την διατήρησω των συνθηκών κρυογονικής που είναι απαραίτητες. Ενώ η ογκομετρική αποθηκευτική απόδοση δεν είναι καλή, η μαζική απόδοση είναι εντυπωσιακή. Για το λόγο αυτό, η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται και στα διαστημικά λεωφορεία. Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα είναι πως η υγροποίηση του υδρογόνου είναι ενεργοβόρα και καταναλώνει περίπου το 30% του ενεργειακού περιεχομένου που αποθηκεύεται. Μεγάλα προβλήματα προκαλεί επίσης και η φύση του, που όταν είναι υγρό κατηγοριοποιείται στην κατηγορία των υπερευστών.

3. Σε υβρίδια μετάλλων. Τα πιο κοινά υβρίδια μετάλλων που χρησιμοποιούνται είναι τα κράματα σιδήρου, τιτανίου, μαγνησίου, νικελίου και χρωμίου. Αυτά τα κράματα κονιορτοποιούνται σε πολύ λεπτή σκόνη και διαδραματίζουν το ρόλο σπόγγου που απορροφά μεγάλες ποσότητες αερίου υδρογόνου, με το να σπάνε τα μόρια του H_2 σε H και να τα απορροφούν μέσα στο κράμα. Κατόπιν, με θέρμανση αποδίδουν το υδρογόνο που απορρόφησαν. Τα υβρίδια μετάλλου απορροφούν τόσο μεγάλες ποσότητες υδρογόνου ώστε σε ορισμένες περιπτώσεις να ξεπερνούν την ογκομετρική ενεργειακή πυκνότητα ακόμα και του υγρού υδρογόνου. Δυστυχώς τα υβρίδια είναι βαριά με αποτέλεσμα η μαζική ενεργειακή πυκνότητα να είναι μέτρια. Επιπλέον αυτά τα υλικά είναι αρκετά ακριβά. Ως συνέπεια των παραπάνω η λύση αυτή είναι πιο ενδεδειγμένη για φορητές εφαρμογές. Αξίζει να σημειωθεί πως μία λύση για την αποθήκευση υδρογόνου είναι και η χρήση φορέων υδρογόνου. Χημικές ουσίες δηλαδή τις οποίες μπορούμε να αποθηκεύσουμε και να χρησιμοποιήσουμε για να πάρουμε το υδρογόνο που περιέχουν. Η διαδικασία όμως αυτή απαιτεί την αναμόρφωση του φορέα για την εξαγωγή του υδρογόνου, πράξη η οποία δεν αποτελεί περιβαλλοντικά καθαρή λύση.

4.4.7 ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Ένα από τα κυριότερα προβλήματα στην εφαρμογή των κυψελών καυσίμου είναι η αποθήκευση και η διακίνηση του καυσίμου τόσο από το χώρο παραγωγής στο χώρο κατανάλωσης, αλλά και μέσα στη μηχανή από το χώρο αποθήκευσης στο ίδιο το Fuel Cell. Θα εξετάσουμε τις ιδιότητες του υδρογόνου αφού είναι το πιο κοινό καύσιμο στα Fuel Cell. Όλα τα καύσιμα είναι επικίνδυνα γιατί παρουσιάζουν υψηλή δραστικότητα. Είναι η δραστικότητα τους αυτή που τα κάνει εξαιρετικές πηγές ενέργειας. Το υδρογόνο δεν είναι εγγενώς πιο επικίνδυνο από τα υπόλοιπα καύσιμα, έχει όμως ξεχωριστές ιδιότητες και έτσι απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή στη μεταχείρισή του. Το υδρογόνο πάντως είναι από πολλές απόψεις ασφαλέστερο από άλλα καύσιμα. Ο κίνδυνος της διαρροής είναι ο βασικότερος όλων των κινδύνων που σχετίζονται με το αέριο υδρογόνο, αφού χωρίς διαρροή δεν υπάρχει περίπτωση πρόσμιξης του υδρογόνου με τον ατμοσφαιρικό αέρα και έτσι αποκλείονται η κίνδυνοι πυρκαγιάς και ασφυξίας.

Το υγρό υδρογόνο, λόγω χαμηλής θερμοκρασίας αποτελεί υψηλό κίνδυνο για κρυοπαγήματα και συμπύκνωση - υγροποίηση του οξυγόνου. Τέλος, τα f/c δεν μπορούν να κρατήσουν καύσιμο μέσα τους για δύο λόγους. Ο πρώτος λόγος έχει να κάνει με την χημική κινητικότητα των αντιδρώντων και ο δεύτερος με παράγοντες ασφαλείας. Το μεγαλύτερο μέρος του υδρογόνου καταναλώνεται ακόμα και όταν η παροχή από την δεξαμενή σταματήσει. Το υπόλοιπο υδρογόνο βρίσκεται σε μοριακό επίπεδο εγκλωβισμένο στο πορώδες υλικό του καταλύτη. Η δεύτερη κατάσταση ενέχει κινδύνους ασφαλείας. Το f/c πρέπει να αφεθεί να λειτουργήσει ακόμα και όταν η παροχή από την δεξαμενή είναι κλειστή γιατί το παραμένων υδρογόνο είναι προτιμότερο να καταναλωθεί ή να φυλάσσεται στην δεξαμενή από το να παραμένει στην κυψέλη. Γι' αυτό το λόγο υπάρχει μια καθυστέρηση μέχρι να αποδοθεί από στάση η ισχύς που απαιτείται. Ο χρόνο αυτός μειώνεται όσο μειώνεται και η απόσταση από την δεξαμενή.

4.4.8 ΔΙΑΡΡΟΕΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Οι ιδιότητες του υδρογόνου που συμβάλλουν στην επικινδυνότητά του σχετικά με τις διαρροές είναι:

1. Έχει το μικρότερο μοριακό βάρος και το μικρότερο μόριο από κάθε άλλο στοιχείο.
2. Έχει την μικρότερη πυκνότητα και συνεπώς την υψηλότερη άνωση από κάθε άλλο στοιχείο
3. Είναι άχρωμο, άοσμο και άγευστο
4. Μπορεί να προκαλέσει φθορά ορισμένων υλικών

5. Μπορεί να προκαλέσει ασφυξία όταν βρίσκεται σε μεγάλη συγκέντρωση σε σχέση με την συγκέντρωση του οξυγόνου.

Το μικρό μέγεθος των μορίων του υδρογόνου τα κάνει δυσκολότερο να περιοριστούν από τα μόρια άλλων αερίων. Σε ένα μεγάλο βαθμό οι διαρροές του υδρογόνου προλαμβάνονται από το σχεδιασμό των συστημάτων. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στις κατασκευές είναι ανθεκτικά σε φθορές που είναι ικανό να προκαλέσει. Οι αγωγοί καυσίμου δεν περνούν ποτέ από την καμπίνα επιβατών (κατά την μεταφορά) εξαλείφοντας έτσι τον κίνδυνο διαρροής μέσα στο όχημα. Σε αστικά λεωφορεία το υδρογόνο φυλάσσεται σε κυλίνδρους υψηλής πίεσης στην οροφή του οχήματος. Μ' αυτό τον τρόπο εκμεταλλευόμαστε την μεγάλη άνωση του υδρογόνου έτσι ώστε σε περίπτωση διαρροής αυτό να διαφεύγει κάθετα και άμεσα στον ατμοσφαιρικό αέρα με πολύ μικρή αντίσταση. Οι αποθηκευτικοί κύλινδροι περιέχουν το μεγαλύτερο μέρος του υδρογόνου στο όχημα. Το ποσοστό του υδρογόνου που βρίσκεται μέσα στην κυψέλη ή την Μ.Ε.Κ. είναι πολύ μικρό κατά την διάρκεια της λειτουργίας και μηδενικό κατά την παύση. Ακόμα το υδρογόνο στους κυλίνδρους είναι σε υψηλή πίεση ενώ στην κυψέλη / μηχανή σε χαμηλή.

Όσο πιο υψηλή είναι η πίεση τόσο πιο πιθανό είναι να συμβεί διαρροή. Αγωγοί καυσίμου, άστοχες συνδέσεις, μη μεταλλικές σφραγίδες και δακτύλιοι είναι πιθανά σημεία διαρροής. Όταν χρησιμοποιείται υδρογόνο, ο σχεδιασμός αποτρέπει την άμεση πρόσμιξη υδρογόνου και αέρα που διέρχονται από την διάταξη των Fuel Cell. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση στεγνωτικών. Με τον καιρό, η διάταξη των Fuel Cell μπορεί να έχει εσωτερικές ή εξωτερικές διαρροές στον περιβάλλοντα χώρο. Για την αποφυγή αυτών των διαρροών οι διατάξεις αυτές είναι εγκλεισμένες σε πλαίσια και τα πλαίσια αερίζονται με ανεμιστήρες ώστε να εμποδιστεί η συσσώρευση υδρογόνου. Οι διαρροές στις διατάξεις υδρογόνου γίνονται έκδηλες μέσω της κακής ηλεκτρικής απόδοσης των Fuel Cell σε χρήση. Από μόνες τους οι διαρροές υδρογόνου δεν είναι επικίνδυνες, προτάσσουν όμως τον κίνδυνο της πυρκαγιάς όταν το υδρογόνο αναμειχθεί σε κατάλληλη αναλογία με το οξυγόνο και τον κίνδυνο της ασφυξίας όταν το υδρογόνο αντικαταστήσει το οξυγόνο στον ατμοσφαιρικό αέρα. Συγκέντρωση υδρογόνου, τέτοια, ώστε να αποτελέσει κίνδυνο ασφυξίας μπορεί να εμφανιστεί μόνο σε κλειστούς χώρους. Σε εξωτερικούς χώρους το υδρογόνο διαχέεται τόσο απότομα ώστε καθιστά τον κίνδυνο ανύπαρκτο. Παρόλα αυτά, επειδή το υδρογόνο είναι άχρωμο, άοσμο και άγευστο, η παρουσία του δεν μπορεί να ανιχνευθεί από ανθρώπους και δεν υπάρχουν προειδοποιητικά συμπτώματα πριν την αναισθησία.

4.4.8.1 ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΔΙΑΡΡΟΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Οι διαρροές υδρογόνου συμβαίνουν. Οι μη ανιχνεύσιμές διαρροές είναι η αιτία για πολλά από τα ατυχήματα που σχετίζονται με το υδρογόνο. Μέχρι τώρα όλες οι εφαρμογές σε αστικά λεωφορεία περιλαμβάνουν και ένα σύστημα ανίχνευσης διαρροής που αποτελείται από μια σειρά ανιχνευτών που είναι συνδεδεμένοι στο σύστημα ελέγχου του οχήματος. Είναι τοποθετημένοι σε στρατηγικά σημεία γύρω από το αυτοκίνητο (πάτωμα, οροφή και ο χώρος της μηχανής) και είναι προγραμματισμένοι να ανάψουν προειδοποιητικά σήματα σε ποσοστά $5\% \; και \; 15\%$ και να χτυπήσουν συναγερμό στο 25% , όπου αντιστοιχεί στην ποσότητα του υδρογόνου στον αέρα (LFL). Όταν τα ανιχνεύσιμα επίπεδα ξεπεράσουν το επίπεδο συναγερμού τότε το σύστημα ελέγχου σβήνει την μηχανή. Η συγκέντρωση του υδρογόνου μπορεί να απεικονίζεται σε κατάλληλες ενδείξεις. Οι διαρροές αυτές μπορεί να είναι μεγάλες ή μικρές. Μπορεί να γίνουν αντιληπτές από το χαρακτηριστικό σφύριγμα που παράγει ένα αέριο όταν διαρρέει, από μία αργή ή απότομη πτώση της πίεσης του καυσίμου, ή από υπόδειξη του αντίστοιχου ανιχνευτή. Πολύ μικρές διαρροές μπορεί να μην είναι ανιχνεύσιμες ούτε από τις παραπάνω μεθόδους και γίνονται ανιχνεύσιμες μόνο με κατάλληλα τεστ διαρροών.

Τα τεστ διαρροών είναι μία διαδικασία ρουτίνας, αλλά αποτελούν ένα πολύ σημαντικό κομμάτι της συντήρησης των μηχανών Fuel Cell. Τα τεστ αυτά έχουν τρεις μορφές, είναι πολύ ακριβείς και γίνονται με την αντίστοιχη σειρά:

1. Παρατήρηση για τυχούσα πτώση πίεσης: τα τεστ αυτά αναδεικνύουν το αν υπάρχει διαρροή σε μια μεγάλη γενικευμένη περιοχή.
2. Χρήση φορητών εγχειριδίων ανιχνευτών διαρροής: τα τεστ αυτά αναδεικνύουν αν υπάρχει διαρροή σε μεμονωμένες περιοχές.
3. Εφαρμογή ενός διαλύματος ανίχνευσης διαρροής: τα τεστ αυτά αναδεικνύουν αν υπάρχει διαρροή σε συγκεκριμένο σημείο.

4.4.8.2 ΠΑΥΣΗ ΔΙΑΡΡΟΩΝ

Τυπικά, οι διαρροές υδρογόνου σταματούν με τη σύσφιξη του χαλαρού σημείου ή με την αντικατάσταση του στοιχείου στο οποίο παρατηρείται η διαρροή. Όταν συμβαίνει μια διαρροή το υπόλοιπο υδρογόνο φυλάσσεται με ασφάλεια πάνω στο όχημα. Ο μόνος λόγος για να απελευθερώσουμε το καύσιμο είναι είτε για να επιδιορθώσουμε κάποιο στοιχείο από το κύκλωμα αποθήκευσης καυσίμου, είτε για να μμετακινήσουμε το όχημα από περιοχή που δεν είναι πιστοποιημένη ως ασφαλής για το υδρογόνο. Πριν επιδιορθωθεί μία διαρροή πρέπει πρώτα να εντοπιστεί από τα τεστ που αναφέραμε προηγουμένως. Αν η διαρροή συμβεί σε ένα όχημα που χρησιμοποιεί υδρογόνο για καύσιμο, τότε τα τεστ της συντήρησης μπορούν να εφαρμοστούν ώστε να εξακριβωθεί ο τόπος της διαρροής.

5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^{O}: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Σ.Η.Ε.)

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ Σ.Η.Ε.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ξεκίνησε στα τέλη 19ου αιώνα. Το 1881 λειτούργησε η πρώτη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος ισχύος 746 KW ανάμεσα στο Λονδίνου και το Πόρτσμουθ. Η γεννήτρια κινούνταν μέσω δύο υδρομύλων και η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος είχε εξάρτηση μόνο από τις βροχοπτώσεις. Κατά την επόμενη χρονιά, εγκαταστάθηκε η πρώτη μονάδα παραγωγής Η.Ε. στην πόλη της Στουτγάρδης. Η δημιουργία των δικτύων άρχισε στο Βερολίνο το 1885. Το δικαίωμα της εταιρείας παραγωγής είχε σχέση με την εγκατάσταση δικτύου σε απόσταση 800 μέτρων από τη μονάδα παραγωγής. Κατά την επόμενη δεκαετία υπήρξε ραγδαία ανάπτυξη και εξέλιξη της νέας τεχνολογίας. Κυρίως εφευρέτες αλλά και κατασκευαστές προσπάθησαν να επιλύσουν τα προβλήματα που συναντούσαν και να εξελίξουν τις μεθόδους και τις διαδικασίες. Ο ηλεκτρισμός στην Ελλάδα έφθασε το 1889 μέσω ιδιωτικής εταιρείας που κατασκεύασε την πρώτη μονάδα παραγωγής Η.Ε. και φώτισε το κέντρο της πόλης. Την ίδια χρονιά άρχισε και η ανάπτυξη της ηλεκτροπαραγωγής στην Οθωμανική Αυτοκρατορία. Το δικαίωμα ηλεκτροδότησης της οθωμανικής, τότε, Θεσσαλονίκης ανέλαβε η «Βελγική Εταιρεία». Έως το 1929 είχαν ηλεκτροδοτηθεί 250 πόλεις όπου ο πληθυσμός ξεπερνούσε τους 5.000 κατοίκους. Στις πιο απομακρυσμένες και αραιοκατοικημένες περιοχές, όπου ήταν οικονομικά ασύμφορο για τις εταιρείες να κατασκευάσουν μονάδες παραγωγής, την ηλεκτροδότηση ανέλαβαν ιδιώτες ή δημοτικές και κοινοτικές αρχές με την κατασtκευή μικρών εργοστασίων.

Το 1950 λειτουργούσαν 400 εταιρείες παραγωγής. Ως πρωτογενή καύσιμα χρησιμοποιούσαν πετρέλαιο και γαιάνθρακα, τα οποία εισηγαγαν από το εξωτερικό. Η διαίρεση της παραγωγής σε πολλές μικρές μονάδες, σε συνδυασμό με τα εισαγόμενα καύσιμα, οδήγησε την τιμή της Η.Ε. στα ύψη, φθάνοντας στο τριπλάσιο μέχρι και πενταπλάσιο των τιμών που ίσχυαν σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες.

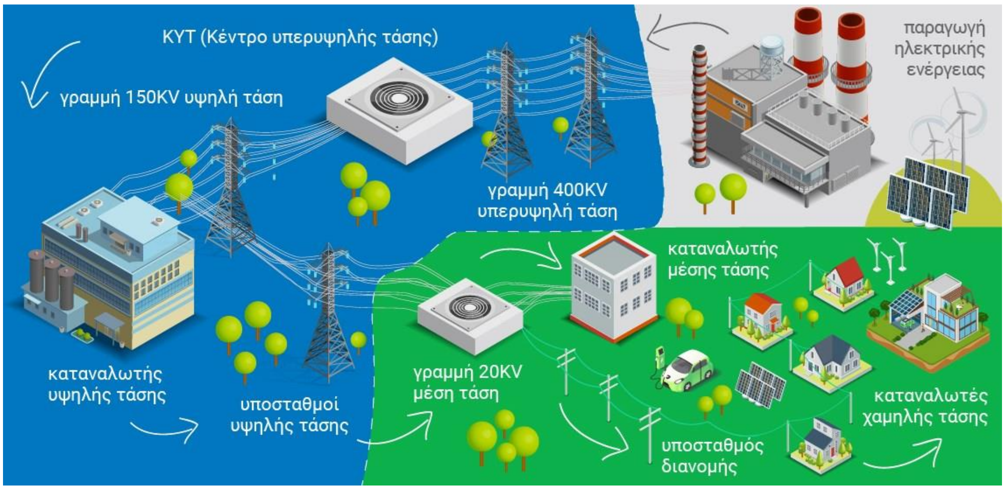
Το 1950 ιδρύθηκε η Δ.Ε.Η., έτσι, η παραγωγή, μεταφορά και η διανομή της Η.Ε. να συγκεντρώθηκαν για πρώτη φορά σε έναν φορέα του δημοσίου. Αμέσως, η Δ.Ε.Η. στράφηκε στην εκμετάλλευση των εσωτερικών πηγών ενέργειας και ταυτόχονα ξεκίνησε και η ένωση δικτύων μεταφοράς Η.Ε. σε ένα εθνικό σύστημα διασύνδεσης.

5.1.1 ΔΟΜΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΝΟΣ Σ.Η.Ε.

Ως ένα Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας (Σ.Η.Ε.), ορίζεται το σύνολο των μηχανολογικών και ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων μέσω των οποίων επιτυγχάνεται η μετατροπή πρωτογενών μορφών ενέργειας σε ηλεκτρικό και εν συνεχεία στην διάθεσή του προς την κάλυψη αναγκών. Ένα Σ.Η.Ε. σχεδιάζεται και κατασκευάζεται με γνώμονα την εξυπηρέτηση των παρακάτω αναγκών.

1. Κάλυψη απαιτούμενης ζήτησης, για οποιαδήποτε ποσότητα ισχύος (kW).
2. Κάλυψη ηλεκτρικής ενέργειας, όποτε αυτή χρειαστεί (kWh).
3. Κάλυψη των ποιοτικών κριτηρίων της παρεχόμενης ηλεκτρικής ενέργειας συμβατά με το πρότυπο EN 50160, το οποίο περιλαμβάνει σταθερή συχνότητα (=50Hz), τάση εντός καθορισμένων ορίων με βάση τα διεθνή πρότυπα.

4. Ελάχιστο δυνατό οικολογικό και οικονομικό κόστος για να καλυφθούν τα παραπάνω.



Εικόνα 5-1 Συνιστώσες ενός Σ.Η.Ε.

Η εξυπηρέτηση των αναγκών σε Η.Ε. μεγάλων ομάδων, προϋποθέτει τις διακριτές φάσεις της παραγωγής, της μεταφοράς και της διανομής, σε ένα σύστημα Η.Ε. περιλαμβάνονται τα επιμέρους συστήματα:

1. Σύστημα παραγωγής: Στο συγκεκριμένο σύστημα, περιλαμβάνονται οι μονάδες ηλεκτροπαραγωγής, οι οποίες ηλεκτροδοτούν το σύστημα. Αυτές οι μονάδες μπορούν να είναι είτε συμβατικές, είτε ανανεώσιμες ή ένας συνδυασμός αυτών των δυο. Σήμερα, η βιομηχανία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, βασίζεται κυρίως στη μετατροπή σε Η.Ε. της θερμικής ενέργειας ορυκτών καυσίμων και της μηχανικής ενέργειας βροχοπτώσεων και υδάτινων ροών.
2. Σύστημα μεταφοράς: Το Σύστημα Μεταφοράς συνδέει τους μεγάλους σταθμούς παραγωγής καθώς επίσης και διαφορετικά συστήματα μεταξύ τους και έτσι μεταφέρει τεράστια μεγέθη ηλεκτρικής ισχύος σε μεγάλες αποστάσεις με αποδέκτες τα κέντρα της κατανάλωσης. Περιλαμβάνει τα δίκτυα υπερηψηλής και υψηλής τάσης, σταθμούς ζεύξης και τους υποσταθμούς μετασχηματισμού. Τα επίπεδα τάσης διακυμάινονται μεταξύ 10 kV – 400kV.
3. Σύστημα υπομεταφοράς: Στόχος του είναι η μεταφορά ισχύος σε μικρότερη κλίμακα και αποστάσεις κάτω από χαμηλότερη τάση από υποσταθμούς μεταφοράς σε υποσταθμούς διανομής μικρότερων κέντρων κατανάλωσης. Οι βιομηχανικοί καταναλωτές τροφοδοτούνται σχεδόν πάντα απευθείας μέσω του συστήματος υπομεταφοράς. Όσο το σύστημα Η.Ε. επεκτείνεται και δημιουργείται αναγκαιότητα για μεταφορά υπό υψηλότερα επίπεδα τάσης, οι παλαιότερες Γ.Μ. μεταβαίνουν σε λειτουργία υπό χαμηλότερα επίπεδα τάσης, καθιστώντας σχετικά δύσκολη τη διάκριση μεταξύ δικτύων υπομεταφοράς και μεταφοράς.
4. Σύστημα διανομής: Αποτελεί το δίκτυο που τροφοδοτεί με Η.Ε.

Τέλος, κατανάλωση ορίζεται το φορτίο, που συνδέεται με την απορρόφηση ισχύος του συστήματος. Μέσα σε αυτά περιλαμβάνονται σπίτια, νοσοκομεία, εμπορικά κτίρια, μικρές και μεγάλες βιομηχανίες κ.α.

5.1.2 ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ Σ.Η.Ε.

Τα χαρακτηριστικά του εδάφους, ποικίλουν από περιοχή σε περιοχή και πολλές περιοχές, επίσης, είναι λίγο έως και πολύ απομακρυσμένες μεταξύ τους, ως αποτέλεσμα να υπάρχουν πολλά διαφορετικά συστήματα κάλυψης της ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτές οι περιοχές, θεωρούνται οι νησιωτικοί προορισμοί, αλλά επίσης και πολλές μακρινές δυσπρόσιτες ηπειρωτικές περιοχές. Η ανάγκη να καλυφθούν οι ενεργειακές ανάγκες όλων αυτών των προορισμών μας οδηγεί στον διαχωρισμό των Σ.Η.Ε. με βάση την δομή, στις εξής δυο κατηγορίες:

1. Συστήματα διασυνδεδεμένα στο δίκτυο
2. Αυτόνομα συστήματα (μη διασυνδεδεμένα)

Το βασικότερο χαρακτηριστικό των Διασυνδεδεμένων Συστημάτων, είναι πως διαρρέονται από εναλλασσόμενο ρεύμα και πως η τάση και η συχνότητά τους δεν επηρεάζονται υπό την παρουσία επιπρόσθετων γεννητριών ή φορτίων (δίκτυα άπειρου ζυγού). Στη σημερινή εποχή, κάθε χώρα, προσπαθεί να ενοποιήσει τα Σ.Η.Ε. που διαθέτει δημιουργώντας ένα ενιαία σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, το λεγόμενο Εθνικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα (Ε.Δ.Σ.). Η τεχνολογική εξέλιξη, έχει σημαντικό ρόλο στην ενοποίηση αυτή, διότι επιτρέπει την εγκατάσταση σταθμών παραγωγής μεγάλης ισχύος, καθώς και την μεταφορά ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις.

Σε αντίθεση με τα Διασυνδεδεμένα Συστήματα, υπάρχουν και τα αυτόνομα συστήματα. Χρησιμοποιούνται κυρίως, για την ενεργειακή κάλυψη απομακρυσμένων περιοχών οι οποίες δεν είναι διασυνδεδεμένες με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο. Η πιο σημαντική διαφορά μεταξύ τους είναι πως ένα αυτόνομο σύστημα, πρέπει να είναι σε θέση να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες οποιαδήποτε χρονική στιγμή ή να πραγματοποιήσει αποκοπή φορτίου όταν αυτό δεν καθίσταται εφικτό.

Επίσης, οφείλει να ρυθμίζει τη συχνότητα και παραγωγή άεργου ισχύος για τη ρύθμιση της τάσης του δικτύου. Όταν η ηλεκτρική παραγωγή των Α.Π.Ε. υπερβαίνει το φορτίο, η περίσσεια ενέργειας που προκύπτει δύναται να αποθηκευτεί ή ακόμα και να απορριφθεί με κάποιον τρόπο που δεν θα προκαλέσει αστάθεια συστήματος. Τα αυτόνομα δίκτυα δεν έχουν άπειρο ζυγό, οπότε επηρεάζονται έντονα από τη σύνδεση επιπρόσθετου φορτίου ή γεννήτριας. Για τους παραπάνω λόγους, τα περισσότερα αυτόνομα συστήματα περιλαμβάνουν διατάξεις αποθήκευσης ενέργειας και συστήματα ελέγχου και διαχείρισης φορτίου.

5.2 ΕΛΛΗΝΙΚΟ Σ.Η.Ε.

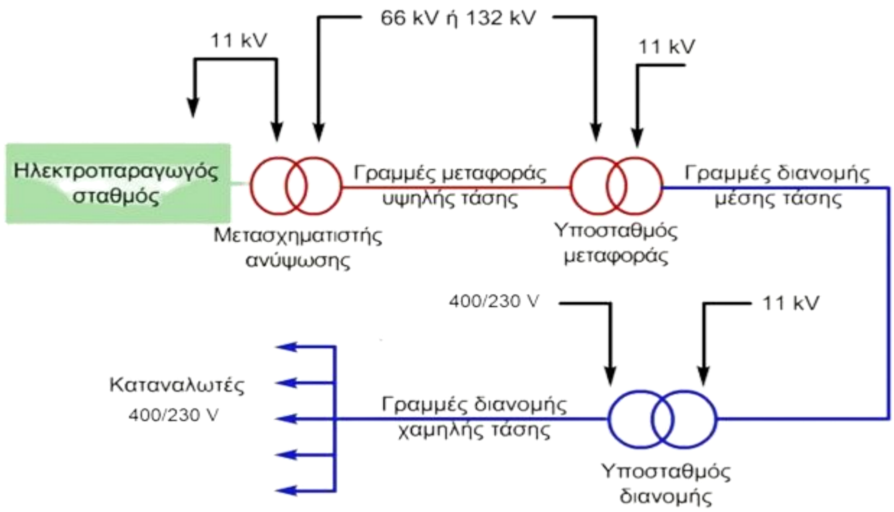
Η Ελλάδα είναι χώρα με πολλά νησιά. Μερικά από αυτά απομακρυσμένα και άλλα κοντά στον ηπειρωτική χώρα, με συνεπεία να έχει και πολλά αυτόνομα (Μ.Δ.Ν) συστήματα. Η ιδιατερότητα αυτή καθιστά το σύστημα ελκυστικό για την ανάλυση και την μελέτη του. Το σύστημα μεταφοράς αποτελείται από το Διασυνδεδεμένο Σύστημα του ηπειρωτικού τμήματος της χώρας και των διασυνδεδεμένων με αυτό Νήσων στα επίπεδα υψηλής (150 kV και 66 kV) και υπερυψηλής τάσης (400 kV). Στην Ελλάδα υπεύθυνος γι’ αυτήν τη διαδικασία είναι ο Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (Α.Δ.Μ.Η.Ε.).

5.2.1 ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Σύμφωνα με τον Ν.4001/2011 (άρθρο 2), το Ε.Δ.Δ.Η.Ε. αποτελεί το Δίκτυο Διανομής ηλεκτρικής ενέργειας που υπάγεται στην Δ.Ε.Η. Α.Ε., που είναι εγκατεστημένο στην Ελληνική Επικράτεια. Αποτελείται από γραμμές μέσης (Μ.Τ.) και χαμηλής τάσης (Χ.Τ.) καθώς επίσης και από εγκαταστάσεις που διανέμουν ηλεκτρική ενέργεια, καθώς και από γραμμές και εγκαταστάσεις υψηλής τάσης (Υ.Τ.) ενταγμένες στο Δίκτυο. Οι γραμμές Υ.Τ. του δικτύου είναι οι υπόγειες καλωδιακές γραμμές 150 kV της Αττικής, καθώς και οι γραμμές μεταφοράς και τα υπόγεια καλώδια στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά (Μ.Δ.Ν.) ανεξαρτήτως επιπέδου τάσης. Το Δίκτυο, εκτός από το Δίκτυο των ΜΔΝ, συνδέεται στο Ελληνικό Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (Ε.Σ.Μ.Η.Ε.) μέσω των υποσταθμών (Υ/Σ) ΥΤ/ΜΤ. Σύμφωνα με το Άρθρο 10 του Κώδικα Διαχείρισης Δικτύου (ΚΔΔ), στις περιοχές της Αττικής, όπου υπάρχουν υπόγειες γραμμές ΥΤ, οι οποίες έχουν ενταχθεί στο Δίκτυο, ως όριο μεταξύ Δικτύου και Συστήματος ορίζεται το σημείο που βρίσκεται στα ανάντη των ακροκιβωτίων των καλωδιακών γραμμών ΥΤ του Δικτύου, στο σημείο σύνδεσής τους στα Κέντρα Υπερυψηλής Τάσης (ΚΥΤ) ή στα σημεία ζεύξης εναερίων-υπογείων γραμμών ΥΤ. Το όριο αυτό αποτελεί και το όριο διαχωρισμού αρμοδιοτήτων μεταξύ του Διαχειριστή του Συστήματος και του Διαχειριστή του Δικτύου. Ως όριο μεταξύ Συστήματος και Δικτύου στους Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ του Δικτύου, οι οποίοι συνδέονται απ’ ευθείας στο Σύστημα, ορίζεται το σημείο μεταξύ του διακόπτη ΥΤ του μετασχηματιστή ΥΤ/ΜΤ και του αντίστοιχου αποζεύκτη ΥΤ ή των ζυγών ΥΤ, εάν δεν υπάρχει αποζεύκτης. Αυτό το όριο αποτελεί και το όριο διαχωρισμού αρμοδιοτήτων μεταξύ του Διαχειριστή του Συστήματος και του Διαχειριστή του Δικτύου.

Βασικά στοιχεία του δικτύου, αποτελούν:

1. Οι καλωδιακές γραμμές Υ.Τ. της Αττικής
2. Οι γραμμές Υ.Τ. στα Μ.Δ.Ν. (150 kV και 66 kV)
3. Οι Υ/Σ Υ.Τ./Μ.Τ.
4. Οι γραμμές Μ.Τ. (εναέριες, υπόγειες, υποβρύχιες)
5. Οι Υ/Σ Μ.Τ./Χ.Τ. που εξυπηρετούν φορτία Διανομής
6. Οι γραμμές Χ.Τ.



Εικόνα 5-2 Δομή Σ.Η.Ε.

5.2.1.1 ΚΑΛΩΔΙΑΚΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΥΤ ΑΤΤΙΚΗΣ - ΓΡΑΜΜΕΣ ΥΤ ΜΔΝ

Το υπογείο δίκτυο καλωδίων υψηλής τάσης στην Αττική έχει μήκος 217,9 km, ενώ το συνολικό μήκος του δικτύου 150 kV και 66 kV στην Κρήτη και τη Ρόδο είναι 740,2 km. Στη Λέσβο το μήκος της εναέριας γραμμής ονομαστικής τάσης 66kV είναι 34,7 km.

5.2.1.2 Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ

Οι υποσταθμοί υψηλής-μέσης τάσης δύναται να είναι ή υπαίθριου τύπου είτε κλειστού τύπου, οι και έχουν εξοπλισμό μόνωσης αερίου SF6. Οι υποσταθμοί κλειστού τύπου μέσω υπόγειας τροφοδότησης ονομάζονται κέντρα διανομής.

Επιπλέον, μετασχηματιστές ισχύος που συμβάλλον στα φορτία της διανομής παρουσιάζονται σε:

1. Χώρους Υ/Σ ανύψωσης τάσης συμβατικών σταθμών παραγωγής (Ατμοηλεκτρικοί Σταθμοί (Α.Η.Σ.), Θερμοηλεκτρικοί Σταθμοί (Θ.Η.Σ.), Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί (Υ.Η.Σ.))
2. Εντός των Κ.Υ.Τ. συνδεδεμένοι στην πλευρά 150 kV
3. Σε χώρους μέσα στα ορυχεία
4. Σε Υ/Σ οι οποίοι βοηθούν και την σύνδεση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Το νούμερο υποσταθμών υψηλής-μέσης τάσης του δικτύου, που εξυπηρετούν φορτία Διανομής, είναι 244, ενώ κατανέμονται ως εξής με βάση την περιφέρεια κατά τον Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε.:

1. 36 Υ/Σ στην Διεύθυνση Περιφέρειας Αττικής (ΔΠΑ) (συμπεριλαμβανομένου του Υ/Σ Άνδρου)
2. 61 Υ/Σ στην Διεύθυνση Περιφέρειας Μακεδονίας – Θράκης (ΔΠΜ-Θ)
3. 59 Υ/Σ στην Διεύθυνση Περιφέρειας Πελοποννήσου – Ηπείρου (ΔΠΠ-Η)
4. 55 Υ/Σ στην Διεύθυνση Περιφέρειας Κεντρικής Ελλάδος (ΔΠΚΕ)
5. 33 Υ/Σ στην Διεύθυνση Περιφέρειας Νήσων (ΔΠΝ).

Οι υποσταθμοί υπαίθριου τύπου τροφοδοτούνται από εναέριες πύλες Υ.Τ. και έχουν μετασχηματιστές ισχύος 20/25 MVA ή 40/50 MVA σε ολόκληρη τη χώρα, πλην της Αττικής. Η πλευρά Μ.Τ. αποτελείται από μεταλλοεπενδυμένους πίνακες, εγκατεστημένους μέσα σε κτήριο. Σε παλαιότερους υποσταθμούς ο εξοπλισμός αυτός είναι υπαίθριος με τη παρουσία κύριων και βοηθητικών ζυγών Μ.Τ.. Στην Αττική λειτουργούν 18 ακόμη Υ/Σ 150/20 kV με εναέρια τροφοδότηση από την Υ.Τ. (12 υπαίθριοι και 6 ημίκλειστου τύπου) καθώς και ο Υ/Σ κλειστού τύπου του Ολυμπιακού Χωριού. Επιπλέον, 6 Υ/Σ 150/22 kV βοηθούν στην τροφοδοσία του παλιού συστήματος των 22 kV στην περιοχή της Αττικής. Οι πέντε από αυτούς συστεγάζονται με Υ/Σ 150/20 kV (ο έκτος είναι ο Υ/Σ 150/22 kV ΑΗΣ Αγ. Γεωργίου). Το σύστημα 22/6,6 kV είναι το πρώτο που εγκαταστάθηκε στο λεκανοπέδιο Αθηνών και είναι ουσιαστικά ένα δίκτυο υπομεταφοράς, από το οποίο τροφοδοτούνται σήμερα 59 συνολικά Υ/Σ 22/6,6 kV στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας, καθώς και ορισμένοι πελάτες ΜΤ κατευθείαν από το δίκτυο 22 kV. Εξαιτίας της παλαιότητας του δικτύου αυτού, σιγά σιγά ανοίγει ο δρόμος προς τη κατάργησή του. Στην Θεσσαλονίκη το μεγαλύτερο μέρος των Υ/Σ 150 kV/Μ.Τ. είναι υπαίθριου τύπου με την ίδια σύνθεση με τους Υ/Σ της υπόλοιπης επαρχιακής χώρας, εκτός από 4 Υ/Σ οι οποίοι είναι κλειστού τύπου (GIS) και έχουν δομή ίδια με αυτή των Κ/Δ της Αττικής.

5.2.1.3 ΔΙΚΤΥΟ ΜΤ

Το σύνολο των δικτύων Μ.Τ. της ηπειρωτικής χώρας λειτουργεί στα 20 kV, εξαιρουμένου της Αττικής που λειτουργεί στα 22 kV. Στα διασυνδεδεμένα νησιά το δίκτυο Μ.Τ. λειτουργεί στα 20 kV εκτός από τα Κύθηρα, όπου μέσω αυτομετασχηματιστή (Α.Μ.Σ.) 20/15 kV έχει λειτουργία στα 15 kV. Στο νησί της Κρήτης μεγάλο μέρος του δικτύου Μ.Τ. λειτουργεί στα 20 kV, όμως στα 15 kV λειτουργούν τα δίκτυα της πόλης των Χανίων και το μεγαλύτερο τμήμα της πόλης Ηρακλείου. Στη Ρόδο μέρος του δικτύου Μ.Τ. λειτουργεί στα 15 kV και το υπόλοιπο στα 20 kV, ενώ έχει δρομολογηθεί η σταδιακή μετάβαση όλου του δικτύου Μ.Τ. στα 20 kV. Το δίκτυο Μ.Τ. περιλαμβάνει τις πύλες αναχωρήσεων Μ.Τ. στους Υ/Σ Υ.Τ./Μ.Τ., τις γραμμές Μ.Τ., τον εξοπλισμό που αφορά στη λειτουργία και τον έλεγχό τους (διακόπτες, πυκνωτές Μ.Τ., ρυθμιστές τάσης κλπ), τα υποβρύχια καλώδια Μ.Τ. και τον εξοπλισμό ζεύξης τους, καθώς και τους Υ/Σ Μ.Τ./Χ.Τ.. Ο συνολικός αριθμός των γραμμών Μ.Τ. είναι περίπου 3.000. Πιο συγκεκριμένα:

1. Στη Δ.Π.Α. λειτουργούν οι ακόλουθες γραμμές ΜΤ:
   A. 220 γραμμές Μ.Τ. των 22 kV
   B. 980 γραμμές Μ.Τ. των 20 kV
2. στη Δ.Π.Μ.-Θ οι γραμμές Μ.Τ. είναι 617
3. στη Δ.Π.Π.-Η οι γραμμές Μ.Τ. είναι 424
4. στη Δ.Π.Κ.Ε. οι γραμμές Μ.Τ. είναι 448
5. στη Δ.Π.Ν. λειτουργούν οι ακόλουθες γραμμές Μ.Τ.:
   A. 246 γραμμές Μ.Τ. από Υ/Σ Υ.Τ./Μ.Τ. σε Κρήτη και Ρόδο
   B. 136 γραμμές Μ.Τ. επί των λοιπών Μ.Δ.Ν. τροφοδοτούνται είτε από Αυτόνομο Σταθμό Παραγωγής (Α.Σ.Π.) είτε από υποβρύχια καλώδια Μ.Τ..

Επίσης, στην πλειοψηφία των Υ/Σ Υ.Τ./Μ.Τ. στους ζυγούς Μ.Τ. συνδέονται συστοιχίες πυκνωτών, που χρησιμεύουν για την αντιστάθμιση της άεργου ισχύος. Στους Υ/Σ υπαίθριου τύπου είναι εγκατεστημένοι κατά το δοκούν πυκνωτές των 12 MVAr (στα 20 kV), οι οποίοι είναι συνήθως τριβάθμιοι (3x4 MVAr) και εντάσσονται σταδιακά στο Δίκτυο. Τα υποβρύχια καλώδια Μ.Τ. είναι εγκατεστημένα σε διάφορα σημεία ως εξής:

1. Με στόχο την δισύνδεση νήσων με ηπειρωτική χώρα
2. Με στόχο την διασύνδεση νήσων με άλλα νησιά που ήδη συνδεδεμένα
3. Ανάμεσα σε Μ.Δ.Ν. σε νησιωτικά συμπλέγματα
4. Σε σημεία όπου μεσολαβούν κόλποι ή λιμνοθάλασσες.

5.2.1.4 ΔΙΚΤΥΟ Χ.Τ.

Το δίκτυο Χ.Τ. τροφοδοτείται από τους Μ/Σ Μ.Τ./Χ.Τ. Η μορφή των συστημάτων Χ.Τ., διακρίνονται σε ακτινικό, βραχοειδές και αραχνοειδές σύστημα. Το σύνολο των Υ/Σ Μ.Τ./Χ.Τ. είναι 164.231, στους οποίους είναι εγκατεστημένοι 165.348 Μ/Σ (συνολική εγκατεστημένη ισχύς περίπου 29.739 MVA). Οι Υ/Σ Μ.Τ./Χ.Τ. μπορεί να είναι εναέριοι ή επίγειοι (συνεπτυγμένου τύπου ή εσωτερικού χώρου). Το συνολικό μήκος των γραμμών Μ.Τ. και Χ.Τ. (εναέριων, υπόγειων, υποβρύχιων) είναι 113.358 km και 128.211 km, αντίστοιχα.

Πίνακας 5-1 Γραμμές μεταφοράς και τύποι γραμμών στην Ελλάδα

ΓΡΑΜΜΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ (km)					
ΤΥΠΟΣ ΓΡΑΜΜΩΝ	**400 kV**	**Σ.Ρ. 400kV**	**150kV**	**66kV**	**ΣΥΝΟΛΟ**
ΕΝΑΕΡΙΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ	2756.41	106.95	8190.15	39.05	11092.56
ΥΠΟΒΡΗΧΙΕΣ ΚΑΛ. ΓΡΑΜΜΕΣ			481.16	47.00	555.16
ΥΠΟΒΡΗΧΙΕΣ ΚΑΛ. ΓΡΑΜΜΕΣ (Υ/Γ)			20.50	1.27	21.77
ΥΠΟΓΕΙΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ	31.35		267.23		298.57
ΣΥΝΟΛΟ	2787.76	106.95	8959.03	114.32	11968.06

Εικόνα 5-3 Διασύνδεση 2017

5.3 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ποικίλλει αναλόγως της διαθέσιμότητας των πηγών ενέργειας και την πολιτική κάθε χώρας. Αυτή η παραγωγή εξαρτάται από τους εγχώριους πόρους ενέργειας, την ενεργειακή πολιτική και τις γεωλογικές, γεωφυσικές και κλιματολογικές συνθήκες της κάθε περιοχής. Οι πηγές παραγωγής ενέργειας περιλαμβάνουν τις συμβατικές, που βασίζονται σε ορυκτά καύσιμα, καθώς και την πυρηνική ενέργεια. Ωστόσο, υπάρχουν και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Α.Π.Ε.) που βασίζονται στις ανεξάντλητες πηγές όπως ο άνεμος, ο ήλιος και το νερό, και δεν εξαντλούν τους φυσικούς πόρους. Στην Ελλάδα οι πιο βασικές πηγές ενέργειας που συνεισφέρουν στην παραγωγή ενέργειας είναι:

1. Ο λιγνίτης
2. Το πετρέλαιο και τα πετρελαϊκά προϊόντα
3. Το φυσικό αέριο

Οι τύποι σταθμών παραγωγής αντίστοιχα, είναι:

1. Ατμοηλεκτρικοί Σταθμοί
2. Θερμοηλεκτρικοί Σταθμοί
3. Σταθμοί Παραγωγής Η.Ε. εσωτερικής καύσης
4. Σταθμοί Παραγωγής Η.Ε. με αεριοστρόβιλο
5. Σταθμοί Συνδυασμένου Κύκλου

Σήμερα, η συμβολή των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.) στην ηλεκτροπαραγωγή έχει μεγάλη σημασία, καθώς συμβάλλει στην αντιμετώπιση της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής. Συνεπώς, τέτοιου είδους μονάδες είναι αναγκαίες και στη χώρα μας. Οι πιο σημαντικές Α.Π.Ε. που χρησιμοποιούνται για την ηλεκτροπαραγωγή είναι:

1. Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί (Υ.Η.Σ.)
2. Αιολική Ενέργεια
3. Φωτοβολταϊκά Στοιχεία

Σήμερα, η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα είναι απελευθερωμένη και συμμορφώνεται με τις κατευθυντήριες οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Αυτή η εξέλιξη επιτρέπει σε άλλες εταιρείες εκτός από την Δ.Ε.Η. Α.Ε. να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια, ενώ δίνει την δυνατότητα και στους καταναλωτές να διαλέγουν οι ίδιοι τον προμηθευτή τους. Η βασική οργανωτική δομή που υποστηρίζει αυτή την απελευθερωμένη αγορά είναι η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (Ρ.Α.Ε.). Η Ρ.Α.Ε. είναι μια ανεξαρτοποιημένη αρχή που επιβλέπει, εισηγείται και προωθεί τη δημιουργία συνθηκών ίσων ευκαιριών και υγιούς ανταγωνισμού. Επιπλέον, χορηγεί άδειες λειτουργίας σε παραγωγούς, προμηθευτές και άλλους εμπλεκόμενους φορείς στην αγορά.

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς σήμερα στην Ελλάδα υπολογίζεται στα 21.500 MW. Η Δ.Ε.Η. Α.Ε. σήμερα έχει 12.500 MW περίπου εγκατεστημένη ισχύ αλλά έχει αντικαταστήσει τις παλιές λιγνιτικές μονάδες με καινούργιες, που έχουν ως καύσιμο το φυσικό αέριο.

5.4 ΥΒΡΙΔΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Υ.Σ.Π.Η.Ε.)

Με τον όρο "Υβριδικά Συστήματα Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας" αναφερόμαστε σε συστήματα όπου χρησιμοποιούνται πολλαπλές διατάξεις ενεργειακής μετατροπής ή περισσότερα του ενός καύσιμα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ένα υβριδικό σύστημα περιλαμβάνει μία συμβατική μονάδα παραγωγής και συνδυάζεται με τουλάχιστον μία μορφή ήπιας πηγής ενέργειας, διατάξεις αποθήκευσης, συστήματα που εποπτεύουν και ελέγχουν, αλλά και ένα σύστημα το οποίο διαχειρίζεται το φορτίο. Σύμφωνα με τη νομοθεσία [Ν. 3468/2006], ως υβριδικό σύστημα ή υβριδικός σταθμός ορίζεται κάθε σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που πληροί τις παρακάτω προϋποθέσεις:

1. Κάνει χρήση τουλάχιστον μιας μορφής Α.Π.Ε..
2. Η συνολική απορροφούμενη ενέργεια δικτύου ετησίως, είναι μικρότερη από το 30% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται για τη πλήρωση του συστήματος αποθήκευσης του σταθμού. Σαν ενέργεια που απορροφά ο ΥΒΣ από το δίκτυο, ορίζεται η διαφορά μεταξύ της ενέργειας που αποδίδεται απευθείας στο δίκτυο από τις μονάδες Α.Π.Ε. του ΥΒΣ. Η διαφορά αυτή υπολογίζεται για τα Μ.Δ.Ν. σε ωριαία βάση. Η χρησιμοποιούμενη συμβατική ενέργεια δεν μπορεί να ξεπερνάει το 10% της συνολικής ενέργειας που παράγεται, ετησίως.
3. Η μέγιστη παραγωγή ισχύος των μονάδων Α.Π.Ε. του ΥΒΣ δεν γίνεται να υπερβαίνει την εγκατεστημένη ισχύ των μονάδων αποθήκευσης με προσαύξηση ποσοστού $\pm 20\%$.

Επίσης, για το σχεδιασμό ενός ΥΒΣ, οφείλονται να λαμβάνονται υπόψιν οι εξής παράγοντες:

1. Η διαθεσιμότητα και η καλύτερη εκμετάλλευση των Α.Π.Ε..
2. Τα χαρακτηριστικά του φορτίου και η τοποθεσία.
3. Εθνική πολιτική προώθησης των ΥΒΣ.
4. Κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης.
5. Αξιοπιστία συστήματος και η επίδρασή του στο περιβάλλον.

Τα Α.Υ.Σ. ηλεκτροπαραγωγής δημιουργούνται για την παραγωγή και διαχείριση ηλεκτρικής ισχύος. Δεν έχουν σχέση με τα μεγάλα εθνικά δίκτυα και συμπεριλαμβάνουν ποικίλους τύπους πηγών ισχύος με κυριότερες τις Α.Π.Ε. αλλά και συμβατικές πηγές. Το μέγεθός τους από πλευράς ισχύος μπορεί να κυμαίνεται από πολλά MW, όπως για παράδειγμα στα αυτόνομα δίκτυα απομονωμένων νησιών, έως λίγα kW, όπως στις περιπτώσεις απομονωμένων εξοχικών κατοικιών. Η μετατροπή ενός συμβατικού αυτόνομου σταθμού σε υβριδικό έχει σαν στόχο κατά κύριο λόγο την ελάττωση κατανάλωσης καυσίμου και των ωρών λειτουργίας των συμβατικών γεννητριών. Η πιο μεγάλη διαφορά ενός αυτόνομου υβριδικού σταθμού συγκριτικά με υβριδικό σύστημα συνδεδεμένο στο δίκτυο είναι ότι οφείλει να μπορεί να παρέχει όλη την ζητούμενη ενέργεια όποια χρονική στιγμή απαιτηθεί ή να αποκόπτει το φορτίο όταν αυτό δεν είναι εφικτό. Επιπλέον, πρέπει να έχει την ικανότητα ρύθμισης συχνότητας και παραγωγής άεργου ισχύος ώστε να ρυθμίζει την τάση του δικτύου. Όταν υπάρχει περίσσεια ενέργειας από την παραγωγή των Α.Π.Ε. πρέπει να αποθηκευτεί ή και να απορριφθεί με κάποιον τρόπο ώστε να μην προκαλέσει αστάθεια στο σύστημα.

Τα αυτόνομα δίκτυα δεν αποτελούνται από έναν άπειρο ζυγό, επομένως επηρεάζονται πολύ από την σύνδεση επιπλέον φορτίου ή κάποιας γεννήτριας. Για τους λόγους αυτούς, σε ένα αυτόνομο σύστημα ηλεκτροπαραγωγής κρίνεται απαραίτητη η παρουσία συστοιχιών μπαταρίας οι οποίες δρουν επικουρικά για να καλύψουν τις ταχείες μεταβολές τόσο του φορτίου, όσο και της παραγωγής.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι συσκευές αποθήκευσης του συστήματος λειτουργούν σε ορισμένες περιπτώσεις και σαν φορτία. Οι σταθμοί που παράγουν ηλεκτρική ισχύ από Α.Π.Ε. λειτουργούν όχι μόνο όταν η ενέργειά τους μπορεί να απορροφηθεί άμεσα από το δίκτυο, αλλά και εκτός αυτής της χρονικής περιόδου, προκειμένου για παράδειγμα να αντλήσουν νερό και να ανυψώσουν τη στάθμη σε έναν ταμιευτήρα, από τον οποίο θα μπορεί να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια κατά τις ώρες αιχμής του φορτίου, ώστε αυτή να απορροφηθεί από το δίκτυο. Με στόχο τα έργα αυτά να είναι πιο συμφέροντα από οικονομικής πλευράς, μια καλή μέθοδος θα ήταν να μπορούσαν να χρησιμοποιούν επιπλέον ηλεκτρική ενέργεια, είτε μέσω του δικτύου, είτε μέσω των συμβατικών πηγών τις ώρες του φορτίου βάσης, ώστε να αποθηκεύεται μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας, αποσκοπώντας έτσι σε μεγαλύτερη συνεισφορά τις ώρες αιχμής, όπου η ενέργεια είναι ακριβότερη.

Συνοψίζοντας, είναι σαφές πως τα υβριδικά έργα παρέχουν δυνατότητα για μεγαλύτερη αξιοποίηση των Α.Π.Ε. σε δίκτυα με μικρή δυνατότητα απορρόφησης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, όπως είναι για παράδειγμα οι περιπτώσεις των μη διασυνδεδεμένων νησιών.

6 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^{Ο}: HOMER

Το λογισμικό βελτιστοποίησης συστημάτων HOMER δημιουργήθηκε από το Εθνικό εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας των ΗΠΑ (NREL), με στόχο να συνεισφέρει στο σχεδιασμό συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, διευκολύνοντας την συσχέτιση μεταξύ των τεχνολογιών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσα από ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών. Το HOMER μοντελοποιεί τη συμπεριφορά ενός Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας και το κόστος ζωής του, που αποτελείται από το συνολικό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας του συστήματος κατά τη συνολική διάρκεια της λειτουργίας του. Είναι εύχρηστο και δίνει την δυνατότητα στο χρήστη να συγκρίνει ένα πλήθος διαφορετικών σχεδιασμών, την αλληλεπίδρασή τους, παρουσιάζοντας στο τέλος την οικονομική και τεχνική τους υπόσταση. Καθώς η διεσπαρμένη παραγωγή και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εξακολουθούν να είναι το ταχύτερα αναπτυσσόμενο τμήμα της ενεργειακής βιομηχανίας, το λογισμικό HOMER είναι ικανό να εξυπηρετήσει επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, τις τηλεπικοινωνίες, τους φορείς ολοκλήρωσης συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και πολλών άλλων ειδών αναπτυξιακά έργα για τον περιορισμό του οικονομικού κινδύνου των υβριδικών ενεργειακών έργων.

Το HOMER έχει την δυνατότητα να μοντελοποιήσει και να παρουσιάσει αποτελέσματα για Ηλεκτρικά Συστήματα που αποτελούνται από:

1. Φωτοβολταϊκά πλαίσια
2. Υδροηλεκτρικά έργα
3. Ανεμογεννήτριες
4. Γεννήτριες Βιομάζας
5. Γεννήτριες – Κινητήρες
6. Μπαταρίες
7. Κυψέλες Καυσίμου
8. Αποθήκευση με Υδρογόνο

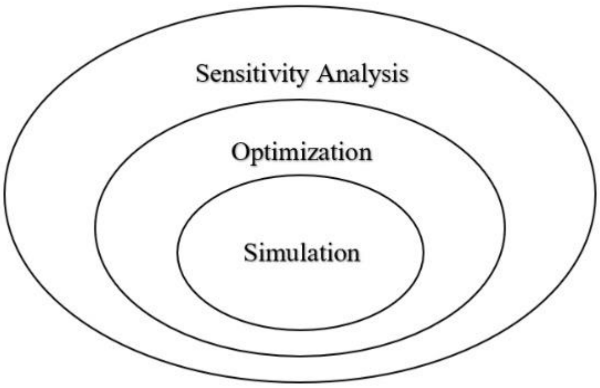
6.1 ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ HOMER

Οι τρεις βασικές εργασίες που εκτελεί το HOMER, είναι:

1. Προσομοίωση
2. Βελτιστοποίηση
3. Ανάλυση Ευαισθησίας

Κατά την διαδικασία της προσομοίωσης, παρουσιάζει την λειτουργία ενός συστήματος χρησιμοποιώντας όλους τους ενεργειακούς υπολογισμούς που έχουν γίνει για κάθε μια από τις 8760 ώρες του έτους. Για κάθε μια ώρα, το HOMER συγκρίνει ζήτηση ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας από τον καταναλωτή με την αντίστοιχη ωριαία παραγωγή. Υπολογίζει τη διαθεσιμότητα ισχύος που προσφέρεται από ανανεώσιμες πηγές τις συγκρίνει με το ηλεκτρικό φορτίο και αποφασίζει πως θα γίνει η διαχείριση της πλεονάζουσας ενέργειας ή πως θα πραγματοποιηθεί η καλύτερη παραγωγή της. Επιπλέον, καθορίζει αν το προτεινόμενο σύστημα ικανοποιεί τους περιορισμούς που τίθενται από τον χρήστη σε όρους συνολικής απαίτησης ηλεκτρικής ενέργειας, παραγόμενης ισχύος από ανανεώσιμες πηγές ή απώλειες συγκεκριμένων ρύπων. Για τα συστήματα που περιλαμβάνουν μπαταρίες ή γεννήτριες το HOMER αποφασίζει επίσης για κάθε ώρα του έτους πως θα ενεργοποιηθούν οι γεννήτριες ή πως θα φορτιστούν και θα εκφορτιστούν οι μπαταρίες. Το HOMER εκτελεί αυτούς τους υπολογισμούς ενεργειακής ισορροπίας για κάθε συνδυασμό συστημάτων.

Έπειτα καθορίζει εάν ένας συνδυασμός είναι εφικτός, δηλαδή εάν μπορεί να ικανοποιήσει την ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και εφόσον μπορεί τότε, υπολογίζει το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας του συστήματος αυτού, καθ' όλη την διάρκεια ζωής του. Επίσης το HOMER υπολογίζει τις απαιτούμενες ποσότητες για τον προσδιορισμό του κύκλου ζωής του συστήματος, την ετήσια κατανάλωση καυσίμου και την ποσότητα ενέργειας που αγοράζεται από το δίκτυο σε ετήσια βάση.



Εικόνα 6-1 Διάγραμμα ροής

Με τη περάτωση της διαδικασίας βελτιστοποίησης των πιθανών συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, ακολουθεί η διαδικασία της βελτιστοποίησης κατά την οποία το HOMER παρουσιάζει στο χρήση έναν κατάλογο συνδυασμών, οι οποίοι ταξινομούνται σύμφωνα με το καθαρό παρόν κόστος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως προς τη σύγκριση των διαφορετικών επιλογών που έχουν γίνει. Για το HOMER, το βέλτιστο σύστημα, είναι εκείνο που ικανοποιεί τους περιορισμούς που τίθενται από το χρήστη και αποδίδει το μικρότερο συνολικό καθαρό κόστος αξίας (total Net Present Cost) που περιλαμβάνει όλες τις δαπάνες και τα έσοδα που πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια του έργου και τη προεξόφληση των μελλοντικών ταμειακών ροών. Τέλος, στόχος της βελτιστοποίησης αποτελεί ο καθορισμός της βέλτιστης τιμής κάθε μεταβλητής απόφασης που τίθεται από το χρήστη.

Η διαδικασία ανάλυσης ευαισθησίας, λαμβάνει χώρα, όταν οριστούν μεταβλητές ευαισθησίας, ως δεδομένα εισόδου, οπότε το HOMER επαναλαμβάνει την διαδικασία βελτιστοποίησης για κάθε μεταβλητή ευαισθησίας που εισάγεται. Μέσω της διαδικασίας αυτής, παρέχεται η δυνατότητα στο χρήστη να αποκτήσει μια ολοκληρωμένη εικόνα ως προς το πώς επηρεάζεται το εξεταζόμενο σύστημα, κάτω από διαφορετικά δεδομένα. Τέλος, η ανάλυση ευαισθησίας είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί όταν ο χρήστης είναι αβέβαιος για την τιμή μιας μεταβλητής που εισάγει.

6.2 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Ένα αρχείο Homer, περιέχει τις πληροφορίες που αφορούν τις επιλογές τεχνολογίας, τα κόστη καθώς και τη διαθεσιμότητα των πόρων που είναι απαιτητοί για να αναλύσει τα σχέδια του συστήματος. Στο τέλος της ανάλυσης, το λογισμικό παρουσιάζει και τα αποτελέσματα των υπολογισμών μέσα από τις διαδικασίες που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο. Τα τελικά αρχεία έχουν την κατάληξη «.homer».

6.2.1 ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΦΟΡΤΙΩΝ

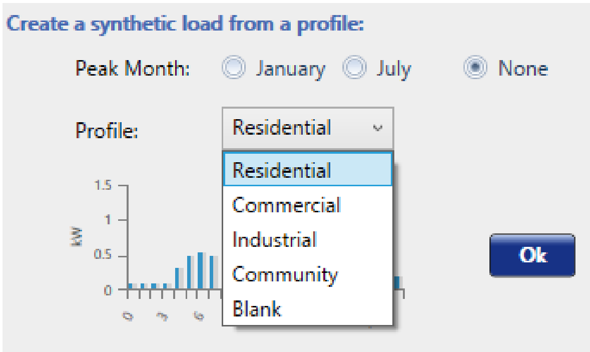
Το φορτίο, αποτελεί ένα τμήμα του συστήματος το οποίο καταναλώνει ενέργεια. Η καρτέλα «LOADS» περιέχει δυο ηλεκτρικά (συνεχόμενα), ένα ηλεκτρικό (αναβαλλόμενο), δυο θερμικά και ένα φορτίο υδρογόνου.

Εικόνα 6-2 Καρτέλα φορτίων

6.2.1.1 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ

Πρωτεύον είναι το ηλεκτρικό φορτίο που πρέπει να καλυφθεί άμεσα για να αποπτευχθούν πιθανές πτώσεις. Σε κάθε χρονικό βήμα, το λογισμικό HOMER μέσω των κατάλληλων πηγών που παράγουν ενέργεια, βρίσκει τον καλύτερο δυνατό και οικονομικό τρόπο για να εξυπηρετήσει τις ανάγκες του συνόλου του πρωτεύον φορτίου. Ορισμένες φορές, αν ο χρήστης δε γνωρίζει ακριβώς τις ανάγκες του φορτίου, το HOMER μπορεί να προσωμοιώσει ένα φορτίο με διάφορους τρόπους. Μόλις γίνει η προσμοίωση, ο χρήστης έχει την δυνατότητα να επεξεργαστεί τις τιμές στο σύνολό τους, αλλά και σε μεμονωμένα χρονικά βήματα.

Από την άλλη πλευρά, ένα αναβαλλόμενο φορτίου είναι ένα ηλεκτρικό φορτίο που απαιτεί μια ορισμένη ποσότητα ενέργειας σε μια δεδομένη χρονική στιγμή, αλλά ο ακριβής χρονισμός δεν είναι σημαντικός για την εκτέλεση της διαδικασίας. Αυτό σημαίνει πως με τη συγκεκριμένη επιλογή το φορτίο, έχει την δυνατότητα να «περιμένει» μέχρι να υπάρχει διαθέσιμη τροφοδοσία.



Εικόνα 6-3 Έτοιμες προσομοιώσεις ηλεκτρικού φορτίου. Οι προσομοιώσεις κατηγοριοποιούνται σε (α) οικιστικό, (β) εμπορικό, (γ) βιομηχανικό (δ) μικρή κοινότητα και (ε) κενό

6.2.1.2 ΘΕΡΜΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ

Το θερμικό φορτίο είναι η ζήτηση για θερμική ενέργεια. Η θερμότητα μπορεί να χρειαστεί για θέρμανση χώρου, θέρμανση ζεστού νερού ή για κάποια βιομηχανική διαδικασία. Το θερμικό φορτίο είναι ικανό να εξυπηρετηθεί από τον λέβητα, από μια γεννήτρια από την οποία μπορεί να ανακτηθεί η απορριπτόμενη θερμότητα ή από την περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας.

6.2.1.3 ΦΟΡΤΙΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

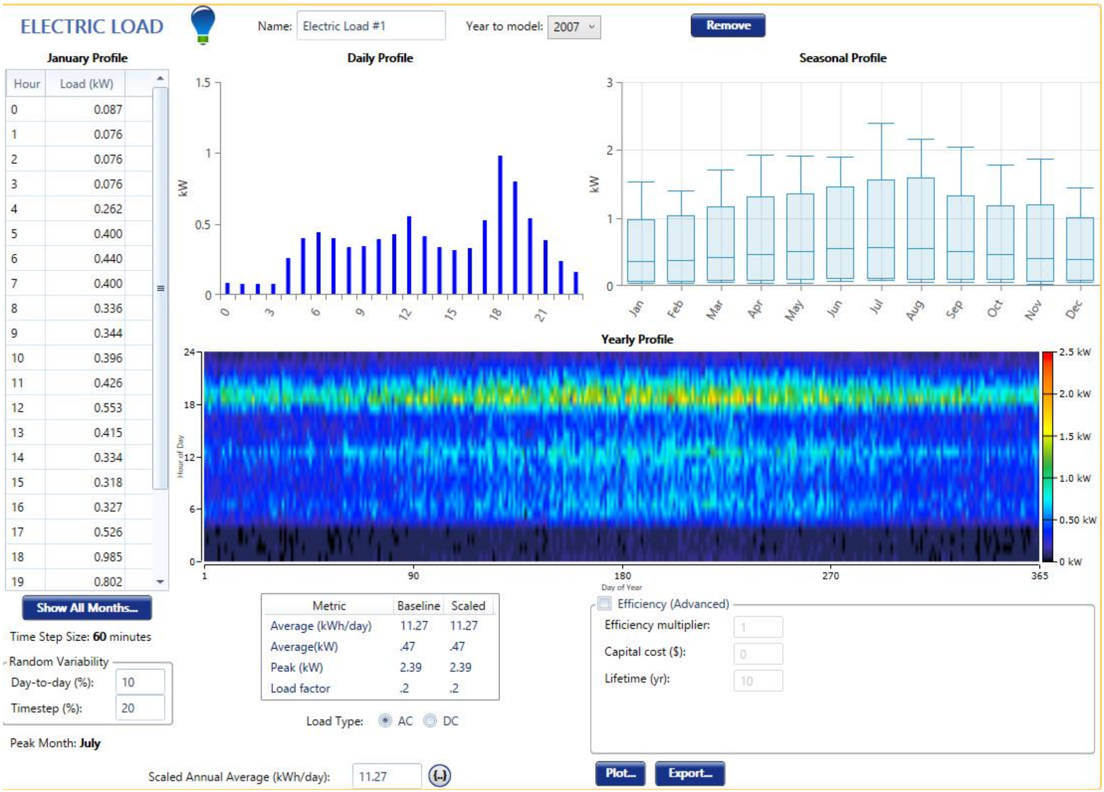
Ένα φορτίο υδρογόνου αντιπροσωπεύει την εξωτερική ζήτηση για υδρογόνο. Είτε με χρήση αναμορφωτή είτε με τη χρήση ηλεκτρολυτικού διασπαστή η ζήτηση αυτή μπορεί να εξυπηρετηθεί. Ο τρόπος εισαγωγής, δεν διαφέρει σε τίποτα με εκείνον του ηλεκτρικού φορτίου.

6.2.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΙΜΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ

Όπως ήδη αναφέρθηκε, η εισαγωγή φορτίων μπορεί να γίνει με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Σε πολλές περιπτώσεις τα δεδομένα μετρήσεων είναι σπάνια διαθέσιμα και ο χρήστης συχνά συνθέτει δεδομένα καθορίζοντας τυπικά ημερήσια προφίλ τοποθετώντας κάποια τυχαία τιμή. Η διαδικασία αυτή παράγει δεδομένα ωριαίου φορτίου ενός έτους. Πιο συγκεκριμένα, θα αναλυθούν οι τρεις διαφορετικοί τρόποι και οι διαδικασίες τους.

6.2.2.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΣΥΝΘΕΤΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ

Η δημιουργία ενός συνθετικού φορτίου (Εικόνα 6-4) από ένα προφίλ είναι ένας γρήγορος τρόπος για να δημιουργήσει ο χρήστης ένα φορτίο, σχετικά ρεαλιστικό. Ανάλογα με την επιλογή που θα κάνει σε ετήσια βάση, εμφανίζεται ο μήνας αιχμής, η κατανάλωση ανα μήνα, αλλά και ο θερμικός χάρτης που τον αντιπροσωπεύει. Για παράδειγμα με την χρήστη της επιλογής (α) οικιστικό παρακάτω παρέχονται τα έτοιμα αποτελέσματα που μας προσφέρει το λογισμικό.



Εικόνα 6-4 Κατάλογος συνθετικού φορτίου

6.2.2.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΠΟ ΑΡΧΕΙΟ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑΣ

Το λογισμικό έχει την δυνατότητα να αναγνωρίσει παραπάνω από μια μορφές εισαγωγής τιμών φορτίου. Εντοπίζει το χρονικό βήμα με βάση τον αριθμό των σειρών του αρχείου. Για παράδειγμα, αν το αρχείο δεδομένων περιέχει 8760 γραμμές, το HOMER θα υποθέσει ότι είναι ωριαία δεδομένα

Εικόνα 6-5 Εισαγωγή τιμών με αρχείο χρονοσειράς

για ένα έτος. Από την άλλη αν το αρχείο περιέχει 35.540 γραμμές το HOMER θα υποθέσει ότι πρόκεται για δεδομένα διαστήματος 15 λεπτών.

Με την επιλογή «Import» πραγματοποιείται γρήγορη εισαγωγή ενός αρχείου χρονοσειράς. Από την άλλη, με την επιλογή «Import and Edit…», το αρχείο μπορεί να περιέχει κενά ή λάθος αριθμό σειρών. Με την συγκεκριμένη επιλογή, δίνεται η δυνατότητα ο χρήστης να επεξεργαστεί τις τιμές, να διαγράψει, να τις μεταποιήσει όπως ακριβώς θέλει και αποτελεί το εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία των σεναρίων στο επόμενο κεφάλαιο. Πιο συγκεκριμένα, έγινε η ακριβής εισαγωγή 8.760 τιμών, που αφορά ωριαίο βήμα για κάθε μήνα του έτους για έναν ολόκληρο χρόνο. Για την ευκολία του χρήστη τα δεδομένα πρέπει να αντιστοιχούν σε ένα έγκυρο χρονικό βήμα. Τα έγκυρα χρονικά βήματα διαιρούνται ομοιόμορφα σε εξήντα, άρα πρέπει να είναι αντίστοιχο πολλαπλάσιο του 8.760. Εάν υπάρχουν περισσότερες από 365 μέρες δεδομένων (έως 10%), οι επιπλέον τιμές αγνοούνται και εισάγονται οι πρώτες 365 μέρες. Αν το ποσοστό αυτό μεγαλώσει (ξεπεράσει το 10%) το χρονικό βήμα γίνεται πλήρως ασαφές και θα ζητηθεί αυτόματα να χρησιμοποιηθεί η κατηγορία «Import and Edit…».

Το HOMER Pro μπορεί να αναγνωρίσει πολλές μορφές ενός αρχείου «.csv», τα οποία θα απεικονιστούν στις παρακάτω εικόνες. Στην δική μας περίπτωση χρησιμοποιήθηκε η «Μέθοδος (5) – Μέρα ανα γραμμή για ένα έτος» που αποτελεί τον αναλυτικότερο τρόπο εισαγωγής τιμών φορτίου.

Date-time	Load (kW)
1/1/2018 0:00	972.74
1/1/2018 1:00	986.91
1/1/2018 2:00	987.70
1/1/2018 3:00	989.06
1/1/2018 4:00	1,002.72
1/1/2018 5:00	1,002.93
1/1/2018 6:00	1,065.54
1/1/2018 7:00	1,053.54
1/1/2018 8:00	1,130.61
1/1/2018 9:00	1,120.11
1/1/2018 10:00	1,123.18
1/1/2018 11:00	1,122.82
1/1/2018 12:00	1,121.27
1/1/2018 13:00	1,114.75
1/1/2018 14:00	1,116.45
1/1/2018 15:00	1,116.97
1/1/2018 16:00	1,095.64
1/1/2018 17:00	1,061.84
1/1/2018 18:00	1,032.72

Εικόνα 6-7 Μέθοδος (1) - Μορφή δυο στηλών

Date	Time	Load (kW)
1/1/2018	12:00:00 AM	972.7366751
1/1/2018	1:00:00 AM	986.9055368
1/1/2018	2:00:00 AM	987.699425
1/1/2018	3:00:00 AM	989.0577463
1/1/2018	4:00:00 AM	1002.717439
1/1/2018	5:00:00 AM	1002.928519
1/1/2018	6:00:00 AM	1065.541488
1/1/2018	7:00:00 AM	1053.539867
1/1/2018	8:00:00 AM	1130.613864
1/1/2018	9:00:00 AM	1120.113981
1/1/2018	10:00:00 AM	1123.175549
1/1/2018	11:00:00 AM	1122.822583
1/1/2018	12:00:00 PM	1121.27173
1/1/2018	1:00:00 PM	1114.753656
1/1/2018	2:00:00 PM	1116.446467
1/1/2018	3:00:00 PM	1116.966019

Εικόνα 6-6 Μέθοδος (2) - Μορφή τριων στηλών

Service UID	Utility	Utility Service ID	Utility Service Address	Utility Meter number	Utility Tariff Name	Interval start	Interval end	Interval kWh	Inverval kW	Source	Updated	Interval timezone
11526	DEMO	1234567	567 Mission	C123456789	E19S Mediur	1/1/2016 0:00	1/1/2016 1:00	3890.9467	972.736675	demo_inten	2015-07-31T	US/Pacific
11526	DEMO	1234567	568 Mission	C123456790	E19S Mediur	1/1/2016 1:00	1/1/2016 2:00	3947.62215	986.905537	demo_inten	2015-07-31T	US/Pacific
11526	DEMO	1234567	569 Mission	C123456791	E19S Mediur	1/1/2016 2:00	1/1/2016 3:00	3950.7977	987.699425	demo_inten	2015-07-31T	US/Pacific
11526	DEMO	1234567	570 Mission	C123456792	E19S Mediur	1/1/2016 3:00	1/1/2016 4:00	3956.23099	989.057746	demo_inten	2015-07-31T	US/Pacific
11526	DEMO	1234567	571 Mission	C123456793	E19S Mediur	1/1/2016 4:00	1/1/2016 5:00	4010.86975	1002.71744	demo_inten	2015-07-31T	US/Pacific
11526	DEMO	1234567	572 Mission	C123456794	E19S Mediur	1/1/2016 5:00	1/1/2016 6:00	4011.71408	1002.92852	demo_inten	2015-07-31T	US/Pacific
11526	DEMO	1234567	573 Mission	C123456795	E19S Mediur	1/1/2016 6:00	1/1/2016 7:00	4262.16595	1065.54149	demo_inten	2015-07-31T	US/Pacific
11526	DEMO	1234567	574 Mission	C123456796	E19S Mediur	1/1/2016 7:00	1/1/2016 8:00	4214.15947	1053.53987	demo_inten	2015-07-31T	US/Pacific
11526	DEMO	1234567	575 Mission	C123456797	E19S Mediur	1/1/2016 8:00	1/1/2016 9:00	4522.45545	1130.61386	demo_inten	2015-07-31T	US/Pacific
11526	DEMO	1234567	576 Mission	C123456798	E19S Mediur	1/1/2016 9:00	1/1/2016 10:00	4480.45592	1120.11398	demo_inten	2015-07-31T	US/Pacific
11526	DEMO	1234567	577 Mission	C123456799	E19S Mediur	1/1/2016 10:00	1/1/2016 11:00	4492.7022	1123.17555	demo_inten	2015-07-31T	US/Pacific
11526	DEMO	1234567	578 Mission	C123456800	E19S Mediur	1/1/2016 11:00	1/1/2016 12:00	4491.29033	1122.82258	demo_inten	2015-07-31T	US/Pacific
11526	DEMO	1234567	579 Mission	C123456801	E19S Mediur	1/1/2016 12:00	1/1/2016 13:00	4485.08692	1121.27173	demo_inten	2015-07-31T	US/Pacific
11526	DEMO	1234567	580 Mission	C123456802	E19S Mediur	1/1/2016 13:00	1/1/2016 14:00	4459.01462	1114.75366	demo_inten	2015-07-31T	US/Pacific
11526	DEMO	1234567	581 Mission	C123456803	E19S Mediur	1/1/2016 14:00	1/1/2016 15:00	4465.78587	1116.44647	demo_inten	2015-07-31T	US/Pacific
11526	DEMO	1234567	582 Mission	C123456804	E19S Mediur	1/1/2016 15:00	1/1/2016 16:00	4467.86408	1116.96602	demo_inten	2015-07-31T	US/Pacific
11526	DEMO	1234567	583 Mission	C123456805	E19S Mediur	1/1/2016 16:00	1/1/2016 17:00	4382.54178	1095.63545	demo_inten	2015-07-31T	US/Pacific

Εικόνα 6-8 Μέθοδος (3) - Μορφή Utility API

Meter Number	Date	Start Time	Duration	Value	Edit Code	Flow Direction	TOU
6556151	1/1/2018	12:00:00 AM	60	972.7	Direct		NoTOU
6556151	1/1/2018	1:00:00 AM	60	986.9	Direct		NoTOU
6556151	1/1/2018	2:00:00 AM	60	987.7	Direct		NoTOU
6556151	1/1/2018	3:00:00 AM	60	989.1	Direct		NoTOU
6556151	1/1/2018	4:00:00 AM	60	1,002.7	Direct		NoTOU
6556151	1/1/2018	5:00:00 AM	60	1,002.9	Direct		NoTOU
6556151	1/1/2018	6:00:00 AM	60	1,065.5	Direct		NoTOU
6556151	1/1/2018	7:00:00 AM	60	1,053.5	Direct		NoTOU
6556151	1/1/2018	8:00:00 AM	60	1,130.6	Direct		NoTOU
6556151	1/1/2018	9:00:00 AM	60	1,120.1	Direct		NoTOU
6556151	1/1/2018	10:00:00 AM	60	1,123.2	Direct		NoTOU
6556151	1/1/2018	11:00:00 AM	60	1,122.8	Direct		NoTOU
6556151	1/1/2018	12:00:00 PM	60	1,121.3	Direct		NoTOU
6556151	1/1/2018	1:00:00 PM	60	1,114.8	Direct		NoTOU
6556151	1/1/2018	2:00:00 PM	60	1,116.4	Direct		NoTOU
6556151	1/1/2018	3:00:00 PM	60	1,117.0	Direct		NoTOU
6556151	1/1/2018	4:00:00 PM	60	1,095.6	Direct		NoTOU
6556151	1/1/2018	5:00:00 PM	60	1,061.8	Direct		NoTOU
6556151	1/1/2018	6:00:00 PM	60	1,032.7	Direct		NoTOU
6556151	1/1/2018	7:00:00 PM	60	1,022.6	Direct		NoTOU
6556151	1/1/2018	8:00:00 PM	60	985.7	Direct		NoTOU

Εικόνα 6-10 Μέθοδος (4) - Green Button

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ															
ΩΡΕΣ/ΜΕΡΕΣ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
00:00	573	552	547	598	598	571	590	579	557	552	549	556	548	558	580
01:00	547	536	526	570	554	553	568	553	541	531	531	525	533	531	529
02:00	541	519	518	571	545	538	551	547	525	524	519	532	528	532	513
03:00	532	525	531	564	550	530	540	537	530	536	528	524	523	522	505
04:00	527	512	511	567	539	523	532	532	517	516	511	518	508	517	501
05:00	544	509	515	594	553	536	545	549	514	520	512	519	522	520	514
06:00	569	536	542	638	603	574	589	575	541	547	539	558	566	568	543
07:00	543	523	544	663	611	594	583	548	529	550	534	559	557	549	536
08:00	559	526	561	682	656	631	595	565	531	566	544	571	535	572	543
09:00	588	486	574	687	675	589	578	594	496	580	530	537	491	543	557
10:00	594	471	540	715	720	592	550	600	480	546	506	517	506	547	627
11:00	598	477	518	688	710	552	519	604	486	523	512	522	496	552	579
12:00	573	471	529	672	673	528	517	579	480	535	500	508	503	569	574
13:00	521	469	562	646	624	554	505	527	478	567	515	506	557	572	611
14:00	502	489	555	622	555	580	508	507	475	560	511	508	540	567	600
15:00	506	509	551	644	587	589	548	511	514	556	530	553	567	563	585
16:00	570	544	566	696	629	618	658	576	549	572	561	592	627	603	615
17:00	645	635	657	758	698	713	778	651	642	664	646	659	683	673	675
18:00	699	694	716	816	766	770	849	706	701	723	712	715	778	759	739
19:00	699	688	719	811	753	788	821	706	695	726	703	719	765	762	739
20:00	698	689	694	801	735	785	802	705	696	701	692	700	761	709	718
21:00	671	674	658	761	691	719	718	678	681	664	666	662	723	690	663
22:00	629	631	615	678	659	672	666	635	637	621	623	639	662	665	629
23:00	577	590	580	645	621	633	627	582	596	586	585	596	611	618	585

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ																
ΩΡΕΣ/ΜΕΡΕΣ	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
00:00	550	616	583	619	571	625	644	591	634	600	591	554	583	594	569	629
01:00	539	580	559	571	547	600	601	564	604	572	562	542	572	577	547	586
02:00	526	560	543	569	542	577	585	557	587	561	570	532	559	544	537	574
03:00	515	551	533	557	540	554	566	544	591	556	554	531	527	563	517	560
04:00	517	544	531	547	537	554	560	544	584	553	540	540	531	538	524	575
05:00	526	549	538	560	544	572	579	572	603	576	551	534	567	529	531	568
06:00	563	593	578	612	577	627	597	619	662	628	602	577	605	554	572	625
07:00	580	607	594	628	607	616	588	628	654	628	613	593	520	569	605	650
08:00	584	628	606	642	623	639	596	608	636	610	593	617	693	559	607	623
09:00	556	651	604	605	685	623	615	750	666	606	540	688	695	537	583	596
10:00	577	736	656	595	731	595	630	583	625	592	533	746	719	542	559	582
11:00	525	799	662	579	741	638	615	577	649	601	525	736	707	623	547	583
12:00	530	765	647	617	756	635	640	574	650	589	548	610	586	608	526	560
13:00	522	783	652	623	792	657	641	585	675	617	582	614	600	632	554	596
14:00	545	759	652	610	792	658	640	637	681	646	596	602	609	596	548	598
15:00	547	769	658	641	794	687	633	654	691	659	597	592	644	600	546	609
16:00	588	756	672	686	802	749	691	687	753	706	631	606	685	650	600	663
17:00	696	753	724	767	824	861	776	771	803	771	694	681	763	703	685	719
18:00	766	784	783	838	871	873	854	860	849	850	779	773	808	764	770	828
19:00	759	794	785	839	864	843	850	859	866	858	789	813	834	761	797	835
20:00	756	786	779	829	833	849	825	837	851	831	745	783	785	737	815	816
21:00	783	557	670	773	769	820	778	821	808	807	709	716	741	695	813	779
22:00	783	691	715	717	717	761	701	745	709	713	653	645	667	669	736	726
23:00	682	636	659	654	666	693	647	676	649	649	585	615	625	612	682	661

Εικόνα 6-9 Μέθοδος (5) – Μέρα ανα γραμμή για ένα έτος

```
File

0.46
0.48
0.53
0.58
0.61
0.66
0.68
0.67
0.64
0.57
0.49
0.43
```

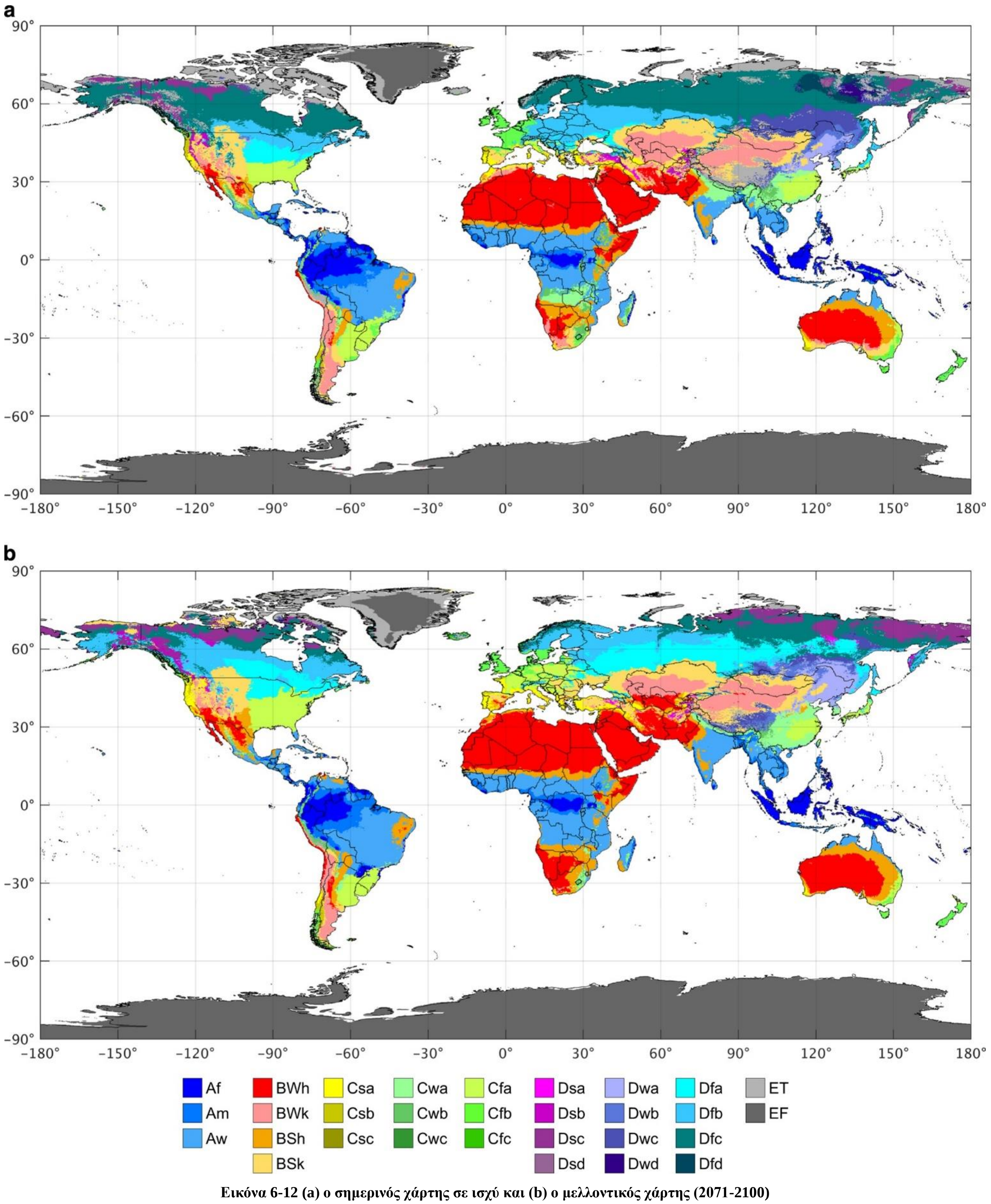
Εικόνα 6-11 Μέθοδος (6) - Μονή στήλη τιμών

6.2.2.3 *ΦΟΡΤΩΣΗ ΠΡΟΦΙΛ ΜΕΣΩ OpenEI*

Η χρήση της συγκεκριμένης μεθόδου είναι περιορισμένη κυρίως για τις Ηνωμένεες Πολιτείες Αμερικής. Ο χρήστης μπορεί άμεσα να κατεβάσει τα προφίλ φορτίου διαφόρων τύπων κτιρίων σε πολλές κλιματικές ζώνες, τα οποία έχουν συγκεντρωθεί από την Open Energy Information (OpenEI). Με τον συγκεκριμένο τρόπο, γίνεται διαχωρισμός μέσω της κλιματικής ταξινόμησης Köppen που εποτελεί το πιο ευρή χρησιμοποιούμενο σύστημα ταξινόμησης κλίματος. Η συγκεκριμένη μέθοδος χωρίζει τα κλίματα σε πέντε κύριες κλιματικές ομάδες, με κάθε ομάδα να χωρίζεται με βάση τα πρότυπα εποχικής βροχώπτωσης και θερμοκρασίας. Οι πέντε κύριες ομάδες είναι η Α (τροπικό), η Β (ξηρό), η Γ (εύκρατο), η Δ (ηπειρωτικό) και η Ε (πολικό). Κάθε ομάδα και υποομάδα αντιπροσωπεύεται από ένα γράμμα.

Πίνακας 6-1 Περιγραφή συμβόλων του συστήματος ταξινόμησης κλίματος Köppen

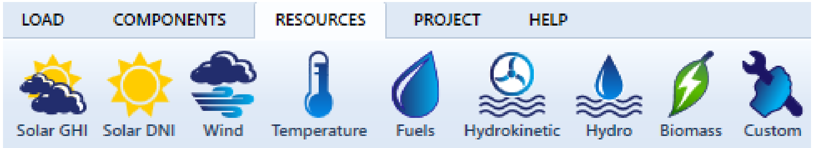
Πρώτο γράμμα	Δεύτερο γράμμα	Τρίτο γράμμα
Α (τροπικό)	f (τροπικό δάσος)	
	m (μουσώνας)	
	w (Σαβάνα, ξηρός χειμώνας)	
	s (Σαβάνα, ξηρό καλοκαίρι)	
Β (ξηρό)	W (άνυδρη έρημος)	h (καυτό)
	S (ημίξηρο)	k (κρύο)
Γ (εύκρατο)	w (ξηρός χειμώνας)	a (καυτό καλοκαίρι)
	f (καμία ξηρή περίοδος)	b (ζεστό καλοκαίρι)
	s (ξηρό καλοκαίρι)	c (κρύο καλοκαίρι)
Δ (ηπειρωτικό)	w (ξηρός χειμώνας)	a (καυτό καλοκαίρι)
	f (καμία ξηρή περίοδος)	b (ζεστό καλοκαίρι)
	s (ξηρό καλοκαίρι)	c (κρύο καλοκαίρι)
		d (πολύ κρύο καλοκαίρι)
Ε (πολικό)		T (Τούνδρα)
		F (πάγος)



Εικόνα 6-12 (a) ο σημερινός χάρτης σε ισχύ και (b) ο μελλοντικός χάρτης (2071-2100)

6.2.3 ΠΟΡΟΙ

Στην καρτέλα «Resource», τοποθετούνται όλα τα κλιματολογικά στοιχεία τα οποία χρησιμεύουν άμεσα στη χρήση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Επίσης, υπάρχουν και τα στοιχεία καυσίμων που χρησιμεύουν στι συμβατικές πηγές, όπως είναι οι κινητήρες που χρησιμοποιούν ως καύσιμο το ντίζελ, το βιοαέριο ή το υδρογόνο. Πιο συγκεκριμένα, είναι οι εξής:



Εικόνα 6-13 Καρτέλα πόροι

1. Solar GHI (Ηλιακή παγκόσμια οριζόντια ακτινοβολία) ($\mathrm{kWh/m^2/μέρα}$), η οποία είναι απαραίτητη για τον υπολογισμό των τιμώ ισχύος που εξάγουν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας. Ο υπολογισμός γίνεται αυτόματα μέσω επιλογής του γεωγραφικού πλάτους και μήκους της μελέτης ή χειροκίνητα από το χρήστη στην περίπτωση που γνωρίζει τις ζητούμενες τιμές.
2. Solar DNI (Ηλιακή παγκόσμια κάθετη ακτινοβολία) ($\mathrm{kWh/m^2/μέρα}$).
3. Wind (άνεμος) ($\mathrm{m/s}$), είναι απαραίτητος πόρος στην περίπτωση δημιουργίας αιολικού πάρκου ανεμογεννητριών. Ακολουθείται η ίδια διαδικασία με την ηλιακή ακτινοβολία.
4. Temperature (θερμοκρασία) (°C).
5. Fuels (Καύσιμα). Όταν ο χρήστης επιλέξει για το σύστημά του μια γεννήτρια, λέβητα ή ανασχηματιστή, πρέπει να ορίσει το καύσιμο λειτουργίας του. Για τα γενικά ενσωματωμένα εξαρτήματα του λογισμικού ορίζεται ως προεπιλεγμένο καύσιμο το ντίζελ. Στη συγκεκριμένη κατηγορία μπορούν να γίνουν πολλές επεξεργασίες και υπάρχουν ορισμένες ιδιότητες που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6-2 Πίνακας ιδιοτήτων επιλογής καυσίμου

Μεταβλητές	**Περιγραφή**
Όνομα	Όνομα καυσίμου από το χρήστη
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη ($\mathbf{MJ/kg}$)	Η ενέργεια που απελευθερώνεται ανα κιλό καυσίμου που καίγεται
Πυκνότητα ($\mathbf{kg/m^3}$)	
Περιεκτικότητα άνθρακα ($\mathbf{k_{fuel}}$) (%)	
Περιεκτικότητα θείου (%)	
Τύπος καυσίμου (τυπικό)	Τυπικά καύσιμα (ντιζελ, βενζίνη κ.α.)
Τύπος καυσίμου (αποθηκευμένο υδρογόνο)	Αν το πλαίσιο είναι επιλεγμένο, το καύσιμο μπορεί να παραχθεί μόνο από τα «Electrolyzer» ή «Reformer» και δεν μπορεί να αγοραστεί.
Τύπος καυσίμου (πηγή βιομάζας)	Αν το πλαίσιο είναι επιλεγμένο, το καύσιμο μπορεί να χρησιμποιηθεί μόνο αν υπάρχει τιμή στην πηγή βιομάζας.
Τιμή καυσίμου	Προεπιλεγμένη τιμή για το καύσιμο. Αν προστεθεί ένα καύσιμο στο μοντέλο, η τιμή ή οι τιμές ευαισθησίας μπορούν να παραμετροποιηθούν.
Περιορισμός κατανάλωσης	Τα εξαρτήματα που χρησιμοποιούν το επιλεγμένο καύσιμο δεν λειτουργούν αν γίνει υπέρβαση της διαθέσιμης ποσότητας του καυσίμου.
Μονάδες	Προτιμώμενες μονάδες (λίτρα, κιλά, κυβικά μέτρα κ.α.)

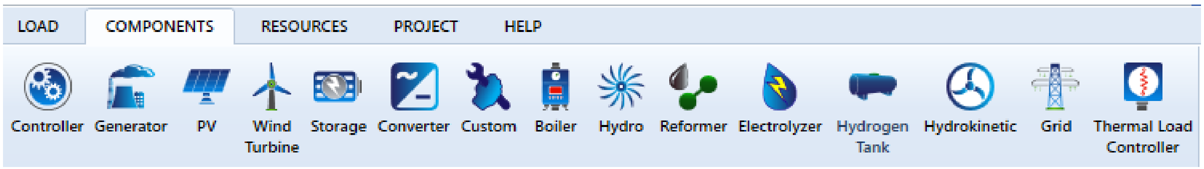
6. Hydrokinetic (Υδροκινητικός πόρος) ($\mathrm{m/s}$). Ο συγκεκριμένος πόρος που αφορά την ταχύτητα του νερού επιτρέπει στο χρήστη να περιγράψει την διαθέσιμη ροή αν κάνει χρήση υδροστροβίλου στο μοντέλο που θα δημιουργήσει. Το HOMER χρησιμοποιεί αυτά τα δεδομένα για να υπολογίσει την ισχύ του υδροστροβίλου σε κάθε χρονικό βήμα.
7. Hydro (Ροή ρέματος) ($\mathrm{L/s}$).
8. Biomass (Βιομάζα) ($\mathrm{tn/μέρα}$). Το HOMER λειτουργεί με την υπόθεση ότι η πρώτη ύλη βιομάζας τροφοδοτείται από έναν αεριοποιητή για την δημιουργία βιοαερίου. Στη συνέχεια μια ή περισσότερες γεννήτριες καταναλώνουν το βιοαέριο για τη παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας (προεραιτικά και θερμότητας). Όπως και τα καύσιμα, έτσι και η πηγή βιομάζας, παρέχει την επιλογή επεξεργασίας τον εισαγώμενων δεδομένων, που πιο συγκεκριμένα παρουσιάζονται στο παρακάτω πίνακα.
9. Custom (Προσαρμοσμένος πόρος).

Πίνακας 6-3 Ιδιότητες πόρου βιομάζας

Μεταβλητές	Περιγραφή
Μέση τιμή (c_{bio}) (€/tn)	Μέσο κόστος ανα τόνο της πρώτης ύλης βιομάζας.
Περιεκτικότητα σε άνθρακα (%)	Περιεκτικότητα σε άνθρακα της πρώτης ύλης βιομάζας ως ποσοστό.
Αναλογία αεριοποίησης (kg/kg)	Αναλογία του παραγόμενου βιοαερίου προς τη πρώτη ύλη βιομάζας που καταναλώνεται στον αεριοποιητή.
LHV βιοαερίου (MJ/kg)	Το ενεργειακό περιεχόμενο (κατώτερη θερμογόνος τιμή) του βιοαερίου που παράγεται από τον αεριοποιητή.

6.2.4 ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Στην συγκεκριμένη παράγραφο θα αναλυθούν τα εργαλεία του συστήματος και οι υπολογισμοί που πραγματοποιεί το πρόγραμμα.

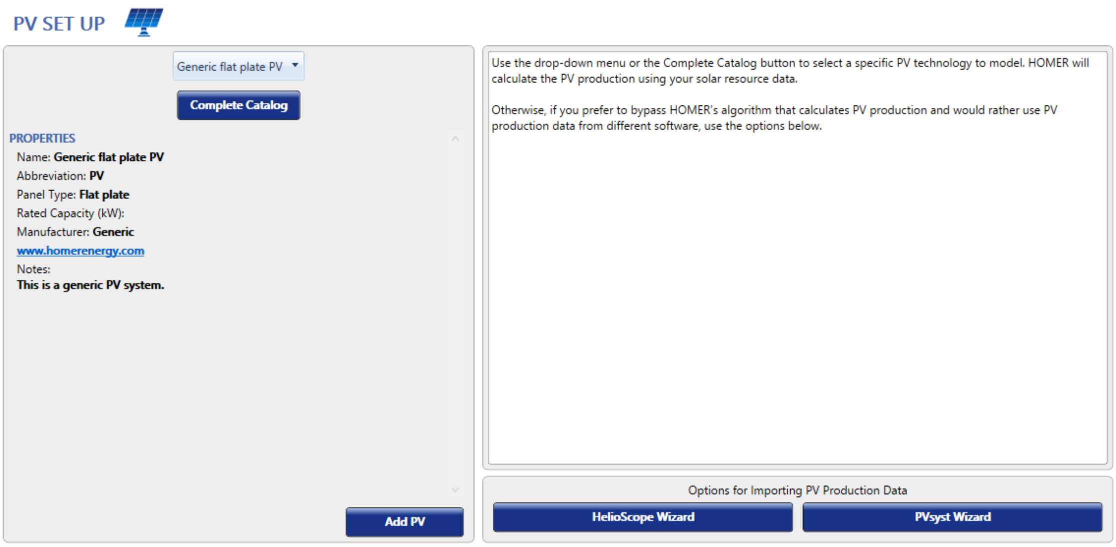


Εικόνα 6-14 Καρτέλα εργαλεία

6.2.4.1 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Στην συγκεκριμένη υποπαράγραφο θα γίνει ανάλυση των επιλογών του χρήστη να επιλέξει πηγή φωτοβολταϊκών πάνελ και ο τρόπος υπολογισμού που χρησιμοποιεί το λογισμικό HOMER. Ο πιο άμεσος τρόπος, είναι ο χρήστης να διαλέξει το προεπιλεγμένο «Generic flat plate PV», όπου το λογισμικό δίνει στο χρήστη πάνελ, ισχύος 1kW και με βάση αυτό μπορεί να πραγματοποιήσει το μοντέλο που επιθυμεί. Ο πιο σύνηθης τρόπος, είναι μέσω του «Complete Catalog» να επιλέξει ο χρήστης το πάνελ που επιθυμεί, μέσα από μια πληθώρα επιλογών σε εταιρείες, ισχύες και βαθμούς αποδόσεων, έτσι ώστε να δημιουργήσει το σύστημα που επιθυμεί.

Δυο ακόμα μέθοδοι που προσφέρονται από το πρόγραμμα είναι μέσω του HelioScope Wizard ή PVsyst Wizard, όπου με την εξωτερική βοήθεια των δυο αυτών λογισμικών θα εισάγει τα πάνελ και τα αποτελέσματα αυτών με βάση τα στοιχεία που προέκυψαν από τα προγράμματα αυτά.



Εικόνα 6-15 Μέθοδοι εισαγωγής φωτοβολταϊκών πάνελ

Επιπλέον, δίνονται και προηγμένες επιλογές επεξεργασίας οι οποίες προσδιορίζονται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6-4 Ιδιότητες φωτοβολταϊκών

Μεταβλητές	**Περιγραφή**
Αντανάκλαση εδάφους (ρ_g) (%)	Η ανακλαστικότητα του εδάφους (ονομάζεται επίσης albedo) είναι το κλάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο έδαφος και ανακλάται.
Σύστημα εντοπισμού ήλιου	
Προεπιλεγμένη κλίση	Αν η επιλογή είναι επιλεγμένη, η μεταβολή της κλίσης είναι απενεργοποιημένη και ρυθμισμένη ώστε να ταιριάζει με το γεωγραφικό πλάτος.
Πλάγια τοποθετημένα πάνελ (β) (°)	Η γωνία τοποθέτησης των πάνελ σε σχέση με την οριζόντια κλίση, σε μοίρες.
Προεπιλεγμένο αζιμούθιο	Αν η επιλογή είναι επιλεγμένη, η γωνία του αζιμούθιου ορίζεται σε 0° ή 180°.
Αζιμούθια γωνία πάνελ (γ) (°)	Είναι η κατεύθυνση προς την οποία βλέπουν τα φωτοβολταϊκά πάνελ. Η νότια κατεύθυνση είναι 0°, προς τα ανατολικά είναι $-90°$, προς τη δύση είναι 90° και προς τον βορρά 180°.
Θερμοκρασιακός συντελεστής ισχύος (α_p) (%/ºC)	Υποδεικνύει πόσο εξαρτάται η ισχύς εξόδου των φωτοβολταϊκών από τη θερμοκρασία του στοιχείου.
Ονομαστική θερμοκρασία ($T_{c,NOCT}$) (°C)	Είναι η ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας του φωτοβολταϊκού σε συνθήκες ακτινοβολίας $0{,}8\ \mathrm{kW/m^2}$, θερμοκρασίας περιβάλλοντος 20°C και ταχύτητα ανέμου $1\ \mathrm{m/s}$.
Απόδοση σε τυπικές συνθήκες δοκιμής ($\eta_{mp,STC}$) (%)	

Παρακάτω, παρουσιάζονται οι διεργασίες που εκτελεί το λογισμικό στο υπόβαθρο και οι εξισώσεις οι οποίες υπακούει για να παρουσιάσει τα κατάλληλα αποτελέσματα στο χρήστη. Πιο συγκεκριμένα, για τον θερμοκρασιακό συντελεστή ισχύος χρησιμοποιείται η προσέγγιση που προτείνουν οι Duffie και Beckman και παρουσιάζεται στην παρακάτω εξίσωση:

$$\boldsymbol{\alpha_p \approx \frac{\mu_{Voc}}{V_{mp}}} \qquad \mathbf{6.1}$$

Όπου, μ_{Voc} είναι ο θερμοκρασιακός συντελεστής της τάσης ανοικτού κυκλώματος $[\mathrm{V/^oC}]$.

V_{mp} είναι η τάση στο σημείο μέγιστης ισχύος υπό τυπικές συνθήκες δοκιμής $[\mathrm{V}]$.

Η απόδοση σε τυπικές συνθήκες δοκιμής, υπολογίζεται με τον παρακάτω τύπο:

$$\boldsymbol{\eta_{mp,STC} = \frac{Y_{PV}}{A_{PV} G_{T,STC}}} \tag{6.2}$$

Όπου, Y_{PV} είναι η ονομαστική ισχύς εξόδου του φωτοβολταϊκού υπό τυπικές συνθήκες δοκιμής [kW].

A_{PV} είναι η επιφάνεια που καταλαμβάνουν τα φωτοβολταϊκά πάνελ $[m^2]$.

$G_{T,STC}$ είναι η ακτινοβολία σε τυπικές συνθήκες δοκιμής $[1\ kW/m^2]$.

Η θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού πλαισίου αντιστοιχεί στην θερμοκρασία της επιφάνειας του φωτοβολταϊκού πάνελ. Κατά τη διάρκεια της νύχτας τείνει να ισούται με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος σε αντίθεση με μια μέρα με καυτό ήλιο ώπου η θερμοκρασία του στοιχείου μπορεί να υπερβεί κατά πολύ την θερμοκρασία περιβάλλοντος. Αν ο χρήστης επιλέξει να λάβει υπόψη την επίδραση της θερμοκρασίας στο φωτοβολταϊκό, το HOMER υπολογίζει τη θερμοκρασία του στοιχείου σε κάθε χρονικό βήμα και ακολουθεί τις παρακάτω εξισώσεις, αρχίζοντας με το ενεργειακό ισοζύγιο, χρησιμοποιώντας την εξίσωση κατά Duffie και Beckman.

$$\boldsymbol{\tau\alpha G_T = \eta_c G_T + U_L (T_c - T_a)} \tag{6.3}$$

Όπου, τ είναι το ποσοστό της ηλιακής μετάδοσης [%].

α είναι η ηλιακή απορρόφηση του φωτοβολταϊκού [%].

G_T είναι η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στο φωτοβολταϊκό $[kW/m^2]$.

η_c είναι η ηλεκτρική απόδοση μετατροπής του φωτοβολταϊκού [%].

U_L είναι ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας στο περιβάλλον $[kW/m^2\ ^\circ C]$.

T_c είναι η θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού [°C].

T_a είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος [°C].

Η παραπάνω εξίσωση δηλώνει την ισορροπία αφενός της ηλιακής ενέργειας που απορροφάται από το φωτοβολταϊκό και αφετέρου της ηλεκτρικής παραγωγής συν τη μεταφορά θερμότητας στο περιβάλλον. Επιλύοντας για τη θερμοκρασία του κελιού, προκύπτει:

$$\boldsymbol{T_c = T_a + G_T \left(\frac{\tau\alpha}{U_L}\right)\left(1 - \frac{\eta_c}{\tau\alpha}\right)} \tag{6.4}$$

Οι κατασκευαστές αναφέρουν την ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας του κελιού (NOCT) η οποία ορίζεται ως η θερμοκρασία που έχει ως προσπίπτουσα ακτινοβολία $0{,}8\ kW/m^2$, θερμοκρασία περιβάλλοντος 20°C και χωρίς λειτουργία φορτίου ($\eta_C = 0$). Με αντικατάσταση αυτών των τιμών στην (5.4) προκύπτει η ακόλουθη εξίσωση.

$$\boldsymbol{\frac{\tau\alpha}{U_L} = \frac{T_{c,NOCT} - T_{a,NOCT}}{G_{T,NOCT}}} \tag{6.5}$$

Όπου, $T_{c,NOCT}$ είναι η ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας του κελιού [°C].

$T_{a,NOCT}$ είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος ορισμένη από τον κατασκευαστή [°C].

$G_{T,NOCT}$ είναι η ηλιακή ακτινοβολία ορισμένη από τον κατασκευαστή [0,8 kW/m^2].

Με την υπόθεση ότι ο λόγος $\tau\alpha/U_L$ είναι σταθερός, τότε η (6.4) γίνεται:

$$\mathbf{T_c = T_a + G_T\left(\frac{\tau\alpha}{U_L}\right)\left(1-\frac{\eta_c}{\tau\alpha}\right) \overset{(5.5)}{\Longleftrightarrow} T_c = T_a + G_T\left(\frac{T_{c,NOCT}-T_{a,NOCT}}{G_{T,NOCT}}\right)\left(1-\frac{\eta_c}{\tau\alpha}\right)} \quad \mathbf{6.6}$$

Στο συγκεκριμένο σημείο πρέπει να σημειωθεί πως το HOMER θεωρεί $\tau\alpha = 0{,}9$ και επειδή ο όρος $\eta_c/\tau\alpha$ είναι μικρός, η υπόθεση αυτή δεν οδηγεί σε σημαντικό σφάλμα. Επίσης, θεωρεί ότι το φωτοβολταϊκό πλαίσο λειτουργεί σχεδόν πάντα στο σημείο μέγιστης ισχύος που σημαίνει πως υποθέτει ότι η απόδοση του κελιού είναι πάντα ίση με την μέγιστη απόδοση του σημείου ισχύος, άρα $\eta_c = \eta_{mp}$ [%]. Άρα, με αντικατάσταση του βαθμού απόδοσης στην σχέση (6.6), προκύπτει:

$$\mathbf{T_c = T_a + G_T\left(\frac{T_{c,NOCT}-T_{a,NOCT}}{G_{T,NOCT}}\right)\left(1-\frac{\eta_c}{\tau\alpha}\right) \overset{\eta_c=\eta_{mp}}{\Longleftrightarrow}}$$

$$\mathbf{T_c = T_a + \left(T_{c,NOCT}-T_{a,NOCT}\right)\left(\frac{G_T}{G_{T,NOCT}}\right)\left(1-\frac{\eta_{mp}}{\tau\alpha}\right)} \quad \mathbf{6.7}$$

Ο βαθμός απόδοσης η_{mp} εξαρτάται από την θερμοκρασία του κελιού T_c. Το HOMER υποθέτει ότι η απόδοση μεταβάλλεται γραμμικά με τη θερμοκρασία σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση:

$$\mathbf{\eta_{mp} = \eta_{mp,STC}\left[1+\alpha_p\left(T_c - T_{c,STC}\right)\right]} \quad \mathbf{6.8}$$

Όπου, $\eta_{mp,STC}$ είναι η μέγιστη απόδοση ισχύος υπό τυπικές συνθήκες δοκιμής [%].

α_p είναι ο θερμοκρασιακός συντελεστής ισχύος [%/°C].

$T_{c,STC}$ είναι η θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού κελιού υπό τυπικές συνθήκες δοκιμής [°C].

Ο θερμοκρασιακός συντελεστής ισχύος είναι συνήθως αρνητικός, γεγονός που σημαίνει ότι η απόδοση του φωτοβολταϊκού μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας των κυττάρων. Επίσης, το HOMER υπολογίζει την έξοδο ισχύος της φωτοβολταϊκής συστοιχίας με βάση τον παρακάτω τύπο:

$$\mathbf{P_{PV} = Y_{PV} f_{PV} * \left(\frac{\overline{G}_T}{\overline{G}_{T,STC}}\right)\left[1+\alpha_p\left(T_c - T_{c,STC}\right)\right]} \quad \mathbf{6.9}$$

Όπου, Y_{PV} είναι η ονομαστική ισχύς εξόδου του φωτοβολταϊκού υπό τυπικές συνθήκες δοκιμής [kW].

f_{PV} είναι ο συντελεστής μείωσης [%].

$\overline{G}_T$ είναι η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στο φωτοβολταϊκό για ένα συγκεκριμένο χρονικό βήμα [kW/m^2].

$\overline{G}_{T,STC}$ είναι η ακτινοβολία σε τυπικές συνθήκες δοκιμής [1 kW/m^2].

α_p είναι ο θερμοκρασιακός συντελεστής ισχύος [%/°C].

T_c είναι η θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού κελιού για ένα συγκεκριμένο χρονικό βήμα [°C].

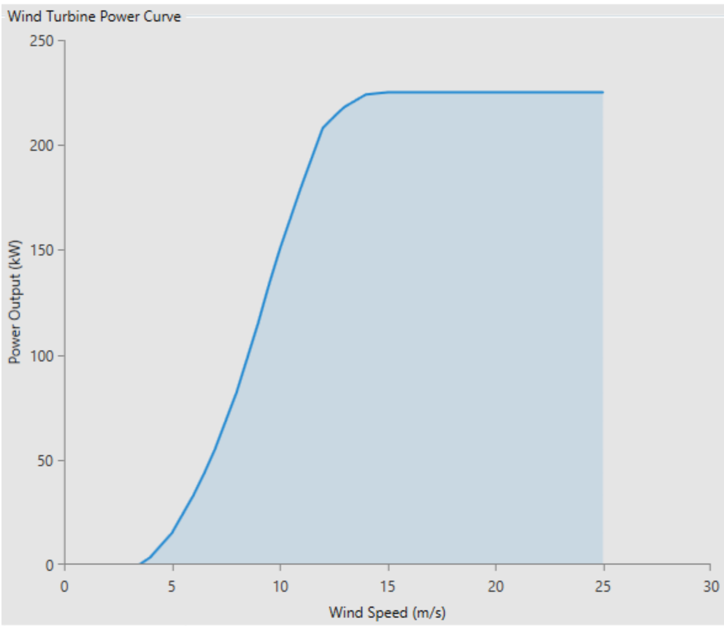
$T_{c,STC}$ είναι η θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού κελιού υπό τυπικές συνθήκες δοκιμής [°C].

Εφόσον στο παράρτημα των φωτοβολταϊκών ο χρήστης επιλέξει να μην μοντελοποιήσει την επίδραση της θερμοκρασίας στη συστοιχία των φωτοβολταϊκών το HOMER υποθέτει πως ο θερμοκρασιακός συντελεστής ισχύος είναι μηδέν και η παραπάνω εξίσωση απλοποιείται ως εξής:

$$\mathbf{P_{PV} = Y_{PV} f_{PV} * \left(\frac{\bar{G}_T}{\bar{G}_{T,STC}}\right)\left[1 + \alpha_p\left(T_c - T_{c,STC}\right)\right] \overset{\alpha_p=0}{\Longleftrightarrow} P_{PV} = Y_{PV} f_{PV} * \left(\frac{\bar{G}_T}{\bar{G}_{T,STC}}\right)} \qquad \mathbf{6.10}$$

6.2.4.2 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

Η σελίδα της ανεμογεννήτριας επιτρέπει στο χρήστη να επιλέξει τον τύπο της ανεμογεννήτριας που επιθυμεί να μοντελοποιήσει, να καθορίσει το κόστος και να ορίσει στο HOMER το πλήθος των ανεμογεννητριών που θα εξετάσει το υπό διερεύνηση βέλτιστο σύστημα. Η συγκεκριμένη σελίδα παρέχει, επίσης και ορισμένες δυνατότητες παραμετροποίησης όπως, τα χρόνια ζωής, το ύψος πλήμνης και τις απώλειες.



Εικόνα 6-16 Διάγραμμα ισχύος της ανεμογεννήτριας Vestas V27-225kW που χρησιμοποιήσαμε στην δημιουργία του 1ου και 2ου Σεναρίου

Η ταχύτητα του ανέμου, θεωρείται η βασική παράμετρος για την επιλογή και εγκατάσταση ανεμογεννητριών. Η τιμή της διαφέρει από περιοχή σε περιοχή, αλλά και από εποχή και ουσιαστικά πρόκειται για την κινητική ενέργεια που μετατρέπεται σε μηχανικά και στη συνέχεια σε ηλεκτρική μέσω των ανεμογεννητριών. Λόγω της δυσκολίας εύρεσης δεδομένων το HOMER προσφέρει ενσωματωμένο προφίλ μέσω της NASA για τα δεδομένα αυτά. Το λογισμικό υπολογίζει τα κλιμακωτά δεδομένα ταχύτητας του ανέμου, λαμβάνοντας υπόψη τα διαφορετικά ύψη της πλήμνης των επιλεγμένων ανεμογεννητριών με βάση την παρακάτω εξίσωση:

$$\mathbf{\mu_{hub} = \mu_o \left(\frac{H}{H_o}\right)^{\gamma}} \qquad \mathbf{6.11}$$

Όπου, μ_{hub} είναι η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος του κόμβου [m/s].

μ_o είναι η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος του ανεμόμετρου [m/s].

H είναι το ύψος του κόμβου [m].

H_o είναι η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος του ανεμόμετρου [m/s].

Η κατανομή Weibull δυο παραμέτρων θεωρείται βασική παράμετρος από το λογισμικό για τον ακριβή χαρακτηρισμό των παραμέτρων του ανέμου.

$$\mathbf{f(v) = \frac{k}{c}\left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} * exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^{k}\right]} \qquad \mathbf{6.12}$$

Όπου, v είναι η ταχύτητα του ανέμου [m/s].

k είναι η παράμετρος μορφής κατανομής Weibull και είναι καθαρός αριθμός.

c είναι η παράμετρος ταχύτητας κατανομής Weibull [m/s].

Η αθροιστική συνάρτηση κατανομής δίνεται από τη παρακάτω εξίσωση:

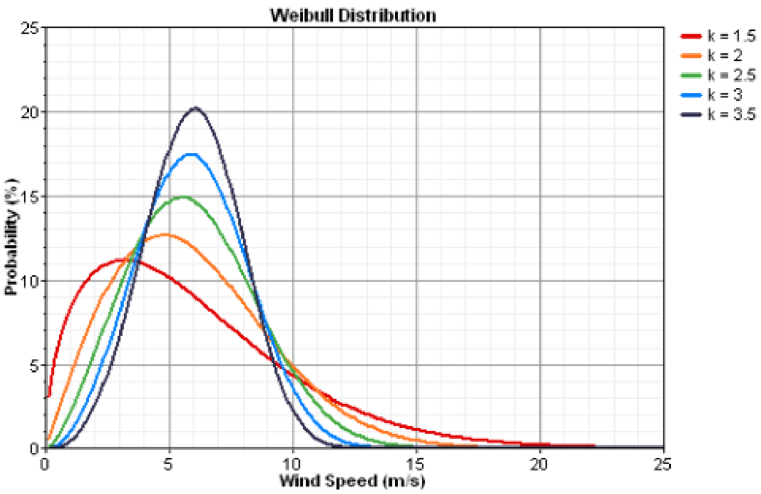
$$\mathbf{F(v) = 1 - exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^{k}\right]} \qquad \mathbf{6.13}$$

Τέλος, η παρακάτω εξίσωση συνδέει τις δυο παραμέτρους Weibull και τη μέση ταχύτητα του ανέμου:

$$\mathbf{\bar{v} = c\Gamma\left(\frac{1}{k} + 1\right)} \qquad \mathbf{6.14}$$

Όπου, Γ είναι η συνάρτηση γάμμα.

Είναι δυνατό ο καθένας να περιγράψει μια κατανομή Weibull χρησιμοποιώντας τη μέση ταχύτητα ανέμου και μια τιμή Weibull k. Η παρακάτω εικόνα, απεικονίζει πέντε κατανομές Weibull, με την ίδια μέση ταχύτητα ανέμου που αντιστοιχεί σε 6 m/s, αλλά κάθε μια με μια διαφορετική τιμή k.



Εικόνα 6-17 Κατανομή Weibull

Η διαθέσιμη ισχύς από τον άνεμο δίνεται από την εξίσωση (6.15). Η ισχύς εξόδου της ανεμογεννήτριας παρουσιάζεται στην εξίσωση (6.16) υπό πρότυπες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης.

$$\mathbf{P_{wind} = \frac{1}{2}\rho A V^3} \quad \mathbf{6.15}$$

Όπου, P_{wind} είναι η ισχύς του ανέμου ή θεωρητική ισχύς [kW].

ρ είναι η πυκνότητα του αέρα $[kg/m^3]$.

A είναι η επιφάνεια διατομής της ανεμογεννήτριας $[m^2]$.

V είναι η ταχύτητα του ανέμου $[m/s]$.

$$\mathbf{P_{WT} = \left(\frac{\rho}{\rho_o}\right) * P_{WT,STP}} \quad \mathbf{6.16}$$

Όπου, ρ είναι η πυκνότητα του αέρα $[kg/m^3]$.

ρ_o είναι η πυκνότητα του αέρα υπό πρότυπες συνθήκες $[1.225\ kg/m^3]$.

$P_{WT,STP}$ είναι η ισχύς της ανεμογεννήτριας υπό πρότυπες συνθήκες [kW].

Με βάση τη παραπάνω σχέση η πυκνότητα του αέρα επηρεάζει την ισχύ της γεννήτριας και αντίστοιχα η πυκνότητα επηρεάζεται από το υψόμετρο. Από το νόμο των ιδανικών αερίων ισχύει το εξής:

$$\mathbf{\rho = \frac{P}{RT}} \quad \mathbf{6.17}$$

Όπου, P είναι η πίεση [Pa].

R είναι η παγκόσμια σταθερά αερίων $[287\ J/kgK]$.

T είναι η θερμοκρασία [K].

Το μέγεθος που χρησιμοποιεί το HOMER είναι ο λόγος πυκνότητας αέρα που αποτελείται από την πραγματική πυκνότητα αέρα προς την πυκνότητα αέρα υπό κανονικές συνθήκες. Κατά τον υπολογισμό ισχύος, το λογισμικό πολλαπλασιάζει την ισχύ εξόδου με τον λόγο πυκνότητας του αέρα. Καταλήγουμε στην παραπάνω εξίσωση:

$$\mathbf{\frac{\rho}{\rho_o} = \frac{P}{P_o}\left(\frac{T_o}{T}\right)} \quad \mathbf{6.18}$$

Όπου, P_o είναι η τυπική πίεση $[101{,}325\ Pa]$.

T_o είναι η τυπική θερμοκρασία $[288{,}16\ K]$.

Το υψόμετρο επηρεάζει επίσης την πίεση και τη θερμοκρασία, επομένως σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση, ισχύει:

$$\mathbf{T = T_o - Bz} \quad \mathbf{6.19}$$

Όπου, B είναι ο ρυθμός διαρροής [K/m].

z είναι το υψόμετρο [m].

Υποθέτοντας πως η μείωση της θερμοκρασίας είναι γραμμική με το υψόμετρο, αποδεικνύεται πως η πίεση του αέρα εξαρτάται από το υψόμετρο, σύμφωνα με την (6.20).

$$\mathbf{P = P_o\left(1 - \frac{Bz}{T_o}\right)^{\frac{g}{RB}}} \tag{6.20}$$

Όπου, g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας [9,81 m/s^2].

Με αντικατάσταση των (6.19) και (6.20) στην εξίσωση (6.18), προκύπτει:

$$\mathbf{\frac{\rho}{\rho_o} = \frac{P}{P_o}\left(\frac{T_o}{T}\right) \xLeftrightarrow{(6.19)(6.20)} \frac{\rho}{\rho_o} = \left(1 - \frac{Bz}{T_o}\right)^{\frac{g}{RB}}\left(\frac{T_o}{T_o - Bz}\right)} \tag{6.21}$$

Το HOMER υπολογίζει την ισχύ εξόδου της ανεμογεννήτριας για κάθε ένα χρονικό βήμα μέσα από την ακολουθία τριων βημάτων. Αρχικά, γίνεται υπολογισμός του ανέμου στο ύψος της πλήμνης, στη συνέχεια υπολογίζει την ισχύ που παράγεται στην συγκεκριμένη ταχύτητα του ανέμου με τυπική πυκνότητα αέρα και τέλος προσαρμόζει την τιμή παραγωγής ισχύος με βάση την πραγματική πυκνότητα του αέρα.

$$\mathbf{U_{hub} = U_{anem} * \frac{ln(z_{hub}/z_0)}{ln(z_{anem}/z_0)}} \tag{6.22}$$

Όπου, U_{hub} είναι η ταχύτητα ανέμου στο ύψος της πλήμνης [m/s].

U_{anem} είναι η ταχύτητα ανέμου στο ύψος του ανεμομέτρου [m/s].

z_{hub} είναι το ύψος της πλήμνης [m].

z_{anem} είναι το ύψος του ανεμομέτρου [m].

z_o είναι το μήκος της επιφάνειας [m].

Τέλος, για τη προσαρμογή στις πραγματικές συνθήκες, το λογισμικό πολλαπλασιάζει την τιμή ισχύος με το λόγο πυκνότητας αέρα σύμφωνα με την (6.23).

$$\mathbf{P_{WTG} = \left(\frac{\rho}{\rho_o}\right) P_{WTG,STP}} \tag{6.23}$$

Όπου, P_{WTG} είναι η ισχύς εξόδου της ανεμογεννήτριας [kW].

$P_{WTG,STP}$ εείναι η ισχύς εξόδου της ανεμογεννήτριας υπό κανονική θερμοκρασία και πίεση [kW].

ρ είναι η πραγματική πυκνότητα του αέρα [kg/m^3].

ρ_o είναι η πυκνότητα του αέρα υπό κανονική θερμοκρασία και πίεση [1.225 kg/m^3].

6.2.4.3 ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ

Ο μετατροπέας ισχύος είναι ένα ηλεκτρικό ή ηλεκτροχημικό εξάρτημα που μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές και αντίστροφα. Κάθε σύστημα που περιέχει στοιχεία εναλλασσόμενου και συνεχούς ρεύματος απαιτεί μετατροπέα. Η καρτέλα «Converter» δίνει την δυνατότητα στο χρήστη να ορίσει το κόστος του μετατροπέα και να καθορίσει τις παραμέτρους του μετατροπέα και του ανορθωτή.

Συνήθως, η ονομαστική τιμή είναι 85~90% της ονομαστικής πηγής από την οποία δέχεται ενέργεια. Επομένως, επιλέγεται η χωρητικότητα του μετατροπέα σύμφωνα με την εξίσωση (6.24) και απόδοσή του σύμφωνα με την (6.25).

$$\mathbf{C_{conv}[kW] = P_{array} * \frac{100}{85}} \tag{6.24}$$

$$\mathbf{\eta_{conv}[\%] = \frac{Output_{conv}}{Input_{conv}} * 100} \tag{6.25}$$

6.2.4.4 ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ

Η καρτέλα της γεννήτριας επιτρέπει στον χρήστη να εισάγει τα χαρακτηριστικά του κόστους, του καυσίμου και του μεγέθους της γεννήτριας που θα επιλέξει. Ένα υβριδικό σύστημα που συνδυάζει μιγα γεννήτρια ντίζελ με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας προσφέρει μια εναλλακτική λύση ανάγκης. Το HOMER είναι προγραμαμτισμένο να τοποθετεί πρώτες τις ανανεώσιμες πηγές και σε δεύτερο χρόνο τις γεννήτριες συμβατικής καύσεως. Οι γεννήτριες αυτές χρησιμοποιούνται επίσης ως εφεδρικές παροχές σε συνδεδεμένο με το δίκτυο περιοχές σε περίπτωση διακοπής ρεύματος.

FUELS AVAILABLE IN MODEL

Name	LHV	Density	Carbon	Sulfur	Special
Diesel	43.2	820	88	0.4	
Natural Gas	45	0.790	67	0	
Arctic Diesel	42.5	820	88	0.33	
Arctic Heating Oil	42.5	820	88	0.33	
Biodiesel	38.5	880	0	0	
Biogas	5.5	0.720	2	0	Bio
Ethanol	26.9	785	37	0.33	
Gasoline	44	740	86	0.035	
HFO	42.7	938	88	0.4	
Methanol	20	792	52	0.33	
Stored Hydrogen	120	0.090	0	0	H_2
Propane (LP) Gas	46.3	1.748	82	0.33	
Propane (LP) Liquid	46.3	510	82	0.33	

Εικόνα 6-18 Βιβλιοθήκη καυσίμων

Σημαντική παράμετρος στην διαστασολόγηση των γεννητριών αποτελεί ο πόρος του καυσίμου. Για να διαχειριστεί ο χρήστης τους πόρους καυσίμου, επιλέγει την καρτέλα «Fuels». Η σελίδα αυτή περιέχει όλα τα καύσιμα που μπορούν να τροδοφοτήσουν μια γεννήτρια, τα οποία είναι αποθηκευμένα στην βιβλιοθήκη του λογισμικού.

Ο χρήστης επίσης, έχει την δυνατότητα να επεξεργαστεί τις πληροφορίες της κάθε επιλογής καθώς και να εισάγει διαφορετικό καύσιμο από όσα υπάρχουν. Κάθε καύσιμο έχει και την δική του καμπύλη κατανάλωσης.

Τα βασικά στοιχεία που χαρακτηρίζουν τις γεννήτριες στο λογισμικό, καθώς και οι υπολογισμοί τους παρουσιαζονται στον παρακάτω.

1. Μέση ηλεκτρική απόδοση γεννήτριας (η_{gen}) [%], που αποτελεί τον μέσο όρο του ηλεκτρικού βαθμού της απόδοσης κατά το ένα έτος και το HOMER χρησιμοποιεί την παρακάτω εξίσωση για τον υπολογισμό της:

$$\boldsymbol{\eta_{gen}} = \frac{\mathbf{3,6E_{gen}}}{\mathbf{m_{fuel}LHV_{fuel}}} \qquad \mathbf{6.26}$$

Όπου, E_{gen} είναι η συνολική ετήσια ηλεκτρική παραγωγή [kWh/έτος].

m_{fuel} είναι η συνολική ετήσια κατανάλωση καυσίμου [kg/έτος].

LHV_{fuel} είναι η κατώτερη θερμογόνος δύναμη καυσίμου [MJ/kg].
*1kWh = 3,6MJ

2. Μέση συνολική απόδοση γεννήτριας ($\eta_{gen,total}$) [%], λαμβάνοντας και τη θερμική παραγωγή και είναι:

$$\boldsymbol{\eta_{gen,total}} = \frac{\mathbf{3,6(E_{gen} + H_{gen})}}{\mathbf{m_{fuel}LHV_{fuel}}} \qquad \mathbf{6.27}$$

Όπου, E_{gen} είναι η συνολική ετήσια ηλεκτρική παραγωγή [kWh/έτος].

H_{gen} είναι η συνολική ετήσια θερμική παραγωγή [kWh/έτος].

m_{fuel} είναι η συνολική ετήσια κατανάλωση καυσίμου [kg/έτος].

LHV_{fuel} είναι η κατώτερη θερμογόνος δύναμη καυσίμου [MJ/kg].

*1kWh = 3,6MJ

3. Συντελεστής εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα ($f_{gen,CO}$) [L, m^3, kg], που είναι η ποσότητα μονοξειδίου του άνθρακα που εκπέμπεται ανά μονάδα καυσίμου κατανάλωσης.
4. Ετήσιο κόστος καυσίμου της γεννήτριας ($C_{fuel,gen}$) [€/hr] και το HOMER υπολογίζει την τιμή πολλαπλασιάζοντας τη τιμή του καυσίμου με τη ποσότητα που χρησιμοποιεί η γεννήτρια σε ένα έτος.
5. Διάρκεια ζωής γεννήτριας ($R_{gen,h}$) [hr], σε αντίθεση με την διάρκεια ζωής άλλων εξαρτημάτων, η διάρκεια ζωής της γεννήτριας εξαρτάται κυρίως από τις ώρες λειτουργίας της και όχι από την ηλικία της.
6. Ωριαία κόστος αντικατάστασης ($c_{rep,gen}$) [€/hr], που καθορίζεται από τις ώρες λειτουργίας και περιγράφεται με την ακόλουθη εξίσωση:

$$\mathbf{c_{rep,gen}} = \frac{\mathbf{C_{rep,gen}}}{\mathbf{R_{gen,h}}} \qquad \mathbf{6.28}$$

Όπου, $C_{rep,gen}$ είναι το κόστος αντικατάστασης της γεννήτριας [€/hr].

$R_{gen,h}$ είναι η διάρκεια ζωής της γεννήτριας [hr].

7. Λειτουργική διάρκεια ζωής της γεννήτριας (R_{gen}) [yr] και υπολογίζεται ως:

$$\mathbf{R_{gen}} = \frac{\mathbf{R_{gen,h}}}{\mathbf{N_{gen}}} \quad \textbf{6.29}$$

Όπου, $R_{gen,h}$ είναι η διάρκεια ζωής της γεννήτριας [hr].

N_{gen} είναι ο αριθμός ωρών λειτουργίας της γεννήτριας κατά το έτος [hr/yr].

8. Συντελεστής εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων ($g_{gen,PM}$) [L, m^3, kg], που ορίζεται ως η υγρή ποσότητα σωματιδίων (καπνός, αιθάλη) που εκπέμπεται ανά μονάδα καυσίμου κατανάλωσης της γεννήτριας.

Τέλος, αν η γεννήτρια λειτουργεί σε ένα συγκεκριμένο χρονικό βήμα, το HOMER υπολογίζει τον ρυθμό κατανάλωσης καυσίμου για το συγκεκριμένο χρονικό βήμα με χρήση της ακόλουθης εξίσωσης:

$$\mathbf{F} = \mathbf{F_o Y_{gen}} + \mathbf{F_1 P_{gen}} \quad \textbf{6.30}$$

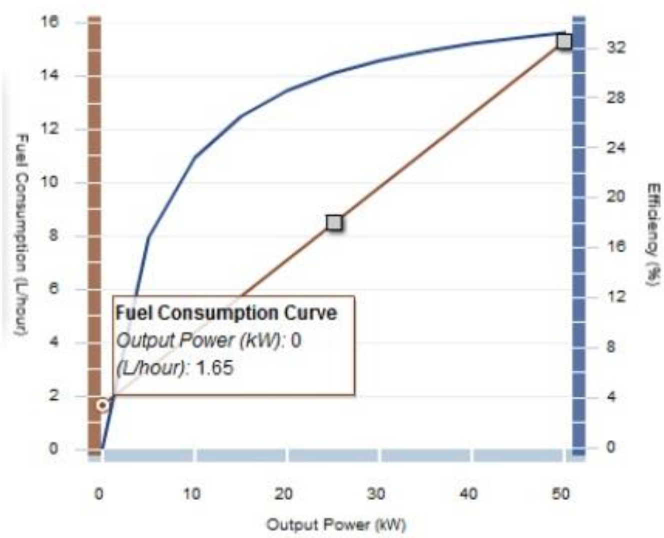
Όπου, F είναι ο ρυθμός κατανάλωσης καυσίμου $[L/hr]$.

F_o είναι ο συντελεστής ανακοπής της καμπύλης καυσίμου της γεννήτριας $[L/hr/kWrated]$.

F_1 είναι η κλίση καμπύλης καυσίμου της γεννήτριας $[L/hr/kWoutput]$.

Y_{gen} είναι η ονομαστική ισχύς της γεννήτριας $[kW]$.

P_{gen} είναι η παραγωγή της γεννήτριας στο συγκεκριμένο χρονικό βήμα $[kW]$.



Εικόνα 6-19 Καμπύλη κατανάλωσης καυσίμου

6.2.4.5 ΜΠΑΤΑΡΙΑ

Η καρτέλα της αποθήκευσης, επιτρέπει στο χρήστη να επιλέξει στοιχείο μπαταρίας που επιθυμεί, να δει τις τεχνικές λεπτομέρειες και να καθορίσει το κόστος της αποθήκευσης. Η πιο συνηθισμένη επιλογή αποτελεί το εξιδανικευμένο μοντέλο αποθήκευσης που αναπαράγει ένα απλό μοντέλο, υποθέτοντας μια επίπεδη καμπύλη εκφόρτισης, διότι η τάση τροφοδοσίας παραμένει σχεδόν σταθερή κατά τη διάρκεια του κύκλου εκφόρτισης. Το συγκεκριμένο μοντέλο, λειτουργεί πολύ καλά για τις μπαταρίες ιόντων λιθίου. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι παράμετροι της καρτέλας.

Πίνακας 6-5 Παράμετροι μπαταριών

Μεταβλητές	**Περιγραφή**
Ονομαστική τάση	
Ονομαστική χωρητικότητα $[Ah]$	Συνολική χωρητικότητα του συστήματος αποθήκευσης
Απόδοση κύκλου $(\eta_{batt,rt})$ [%]	Η ενεργειακή απόδοση της αποθήκευσης ή το κλάσμα της ενέργειας που εισάγεται και μπορεί να ανακτηθεί. Περίπου 80%.
Ελάχιστη κατάσταση φόρτισης (q_{min}) [%]	Η σχετική κατάσταση φόρτισης, που κάτω από την οποία η μπαταρία δεν αποφορτίζεται ποτέ. Περίπου 25%.
Μέγιστος ρυθμός φόρτισης (α_c) $[A/Ah]$	Ο μέγιστης επιτρεπόμενος ρυθμός φόρτισης του στοιχείου αποθήκευσης.
Μέγιστο ρεύμα φόρτισης $[A]$	
Μέγιστο ρεύμα εκφόρτισης $[A]$	

Η αυτονομία των μπαταριών υπολογίζεται με την εξίσωση (6.31) και η διάρκεια ζωής της μπαταρίας από την (6.32). Στο HOMER οι μπαταρίες μπορούν να «πεθάνουν» με δυο τρόπους. Είτε από τη χρήση είτε από το γήρας. Όταν ο χρήστης δημιουργεί ένα νέο στοιχείο αποθήκευσης, έχει την δυνατότητα να διαλέξει.

$$\mathbf{A_{batt}} = \frac{\mathbf{N_{batt}V_{nom}Q_{nom}\left(1 - {}^{q_{min}}/_{100}\right)(24h/d)}}{\mathbf{L_{prim,ave}(100Wh/kWh)}} \quad \textbf{6.31}$$

Όπου, N_{batt} είναι ο αριθμός των μπαταριών.

V_{nom} είναι η ονομαστική τάση [V].

Q_{nom} είναι η ονομαστική χωρητικότητα [Ah].

q_{min} είναι η ελάχιστη κατάσταση φόρτισης [%].

$L_{prime,ave}$ είναι το μέσο πρωτογενές φορτίο [kWh/d].

$$\mathbf{R_{batt}} = \begin{cases} \dfrac{\mathbf{N_{batt} * Q_{lifetime}}}{\mathbf{Q_{thrpt}}}, & \textbf{αν περιορίζεται από την απόδοση} \\ \mathbf{R_{batt,f}}, & \textbf{αν περιορίζεται από το χρόνο} \\ \mathbf{MIN}\left(\dfrac{\mathbf{N_{batt} * Q_{lifetime}}}{\mathbf{Q_{thrpt}}}\right), \mathbf{R_{batt,f}}, & \textbf{αν περιορίζεται και από τα δυο} \end{cases} \quad \textbf{6.32}$$

Όπου, R_{batt} είναι η διάρκεια ζωής αποθήκευσης [yr].

N_{batt} είναι ο αριθμός των μπαταριών.

$Q_{lifetime}$ είναι η διάρκεια ζωής μιας μεμονωμένης μπαταρίας [kWh].

Q_{thrpt} είναι η ετήσια απόδοση αποθήκευσης [kWh/yr].

$R_{batt,f}$ είναι η διάρκεια ζωής της αποθήκευσης [yr].

Οι εξισώσεις που ακολουθεί το HOMER για να περιγράψει την αποδοτικότητα της φόρτισης (6.33) και εκφόρτισης (6.34), είναι:

$$\boldsymbol{\eta_{batt,c}} = \sqrt{\boldsymbol{\eta_{batt,rt}}} \quad \textbf{6.33}$$

$$\boldsymbol{\eta_{batt,d}} = \sqrt{\boldsymbol{\eta_{batt,rt}}} \quad \textbf{6.34}$$

Όπου, $\eta_{batt,rt}$ είναι η αποδοτικότητα αποθήκευσης μετ' επιστροφής.

Σε κάθε χρονικό βήμα το κόστος αποθήκευσης ισοδυναμεί με το μέσο κόστος της ενέργειας που το σύστημα έχει τοποθετήσει στις μπαταρίες μέχρι το συγκεκριμένο χρονικό σημείο. Ακολούθως η εξίσωση που το χαρακτηρίζει, είναι:

$$\mathbf{c_{be,n}} = \frac{\sum_{\mathbf{i=1}}^{\mathbf{n-1}} \mathbf{C_{cc,i}}}{\sum_{\mathbf{i=1}}^{\mathbf{n-1}} \mathbf{E_{cc,i}}} \quad \textbf{6.35}$$

Όπου, $c_{be,n}$ είναι το κόστος της ενέργειας αποθήκευσης στο χρονικό βήμα n [€/kWh].

$C_{cc,i}$ είναι το κόστος της κυκλικής φόρτισης της αποθήκευσης στο χρονικό βήμα I [€].

$E_{cc,i}$ είναι η ποσότητα ενέργειας που εισχωρήθηκε στην τράπεζα αποθήκευσης στο χρονικό βήμα i [kWh].

Τέλος, το κόστος φθοράς της μπαταρίας υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο (6.36).

$$\mathbf{c_{bw}} = \frac{\mathbf{C_{rep,batt}}}{\mathbf{N_{batt} Q_{lifetime}} \sqrt{\boldsymbol{\eta_{rt}}}} \quad \textbf{6.36}$$

Όπου, $C_{rep,batt}$ είναι το κόστος αντικατάστασης της τράπεζας αποθήκευσης [€].

N_{batt} είναι ο αριθμός των μπαταριών.

$Q_{lifetime}$ είναι η διάρκεια ζωής μιας μεμονωμένης μπαταρίας [kWh].

η_{rt} είναι η αποδοτικότητα αποθήκευσης μετ' επιστροφής.

6.2.4.6 ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΤΙΚΟΣ ΔΙΑΣΠΑΣΤΗΣ

Η καρτέλα «Electrolyzer» περιέχει τα στοιχεία απόδοσης και κόστους για το συγκεκριμένο εξάρτημα το οποίο παράγει υδρογόνο μέσω ηλεκτρικής ενέργειας. Η μοντελοποίησή του πραγματοποιείται με απλό τρόπο, καθώς θεωρεί μια σταθερή απόδοση καθορισμένη από το χρήστη, έτσι ώστε μια ορισμένη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας να αποδίδει πάντα σε μια ποσότητα παραγωγής υδρογόνου. Διαθέτει ένα ελάχιστο επίπεδο φόρτισης και συνήθως θεωρείται ότι ο ηλεκτρολυτικός διασπαστής μπορεί να λειτουργήσει μέχρι το 85% της ονομαστικής του απόδοσης.

Ο ρυθμός παραγωγής υδρογόνου υπολογίζεται από την εξίσωση (6.37), ενώ η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας εισόδου που απαιτείται από την (6.38).

$$\mathbf{I_E = A_E m_{H_2} + B_E m'_{H_2}} \tag{6.37}$$

$$\mathbf{Q_{H_2} = n_f \left(\frac{N_c I_e}{2F}\right)} \tag{6.38}$$

Όπου, n_f είναι η απόδοση Faraday [%].

N_c είναι ο αριθμός των κυψελών σε σειρά.

I_e είναι το ρεύμα του ηλεκτρολυτικού διασπαστή $[A]$.

F είναι η σταθερά Faraday $[C/mol]$.

6.2.4.7 ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Η Καρτέλα της δεξαμενής υδρογόνου περιέχει επίσης τα στοιχεία κόστους και απόδοσης του εξαρτήματος. Η δεξαμενή υδρογόνου απαιτείται για να γίνει αποθήκευση του υδρογόνου που έχει παράγει ο ηλεκτρολυτικός διασπαστής. Η απαιτούμενη ισχύς για την συμπίεση του υδρογόνου παρουσιάζεται στην εξίσωση (6.39), ενώ η εσωτερική πίεση στην εξίσωση (6.40). τέλος το HOMER, αξιολογεί την αυτονομία της δεξαμενής υδρογόνου με βάση τον τύπο (6.41).

$$\mathbf{P_{comp} = \frac{\gamma}{\gamma - 1} R \frac{T}{\eta_c} \left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1\right] Q_{H_2}} \tag{6.39}$$

$$\mathbf{P_{h.tank} = \frac{RT}{V_{h.tank}} n_{h.tank}} \tag{6.40}$$

$$\mathbf{A_{tank} = \frac{Y_{h.tank} LHV_{H_2} (24h/d)}{L_{prim,ave} (3,6\ MJ/kWh)}} \tag{6.41}$$

Όπου, γ είναι ο αδιαβατικός συντελεστής.

R είναι η παγκόσμια σταθερά αερίων [287 J/kgK].

T είναι η θερμοκρασία εισόδου [K].

η_c είναι ο βαθμός απόδοσης [%].

P_1 είναι η πίεση εισόδου [atm].

P_2 είναι η πίεση εξόδου [atm].

Q_{H_2} είναι ο κύκλος ροής μάζας του υδρογόνου [kg].

$V_{h.tank}$ είναι ο όγκος της δεξαμενής υδρογόνου [m^3].

$n_{h.tank}$ είναι ο αριθμός των mol αερίου στην δεξαμενή.

$Y_{h.tank}$ είναι η χωρητικότητα της δεξαμενής [kg].

LHV_{H_2} είναι η κατώτερη θερμογόνος δύναμη του υδρογόνου [120MJ/kg].

$L_{prim,ave}$ είναι το μέσο πρωτογενές φορτίο [kWh/d].

6.2.4.8 ΚΥΨΕΛΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Η απόδοση (6.42), η τάση εξόδου (6.43) και η ισχύς εξόδου (6.44) των κυψελών καυσίμου υπολογίζεται σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους:

$$\boldsymbol{\eta_{FC} = \frac{P_{FC}}{m_{H_2} HHV_{H_2}}} \tag{6.42}$$

$$\mathbf{V_{FC} = N_{CELL} E_{CELL} = E - V_{act} - V_{conc} - V_{ohmic}} \tag{6.43}$$

$$\mathbf{P_{FC} = V_{FC} I_{FC} = N_{CELL} E_{CELL} I_{FC}} \tag{6.44}$$

Όπου, V_{FC} είναι η τάση εξόδου της κυψέλης καυσίμου [V].

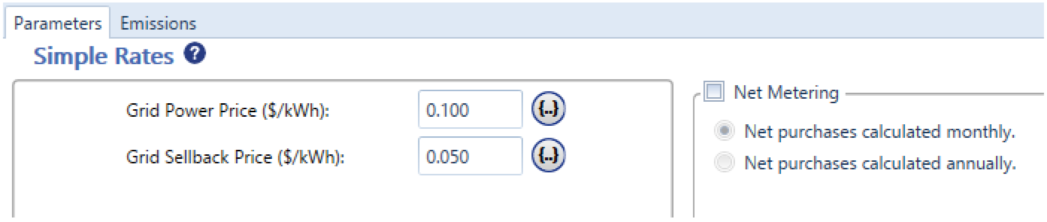
E είναι η τάση ανοικτού κυκλώματος [V].

6.2.4.9 ΔΙΚΤΥΟ

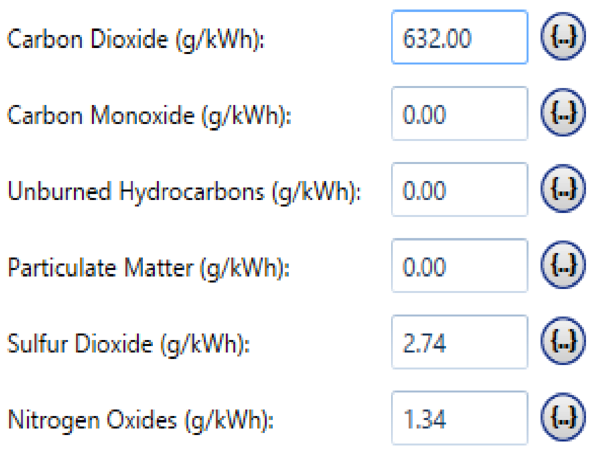
Από την καρτέλα δικτύου ο χρήστης μπορεί να προσθέσει το συγκεκριμένο εξάρτημα όπως κάθε άλλο στο υβριδικό σύστημα. Αν επιθυμεί σύστημα χωρίς δίκτυο, τότε δεν είναι απαραίτητη η προσθήκη του. Επίσης, υπάρχει και μια πληθώρα παραμετροποιήσεων που παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6-6 Παράμετροι δικτύου

Μεταβλητές	**Περιγραφή**
Λειτουργία απλών τιμών	Επιτρέπει στο χρήστη να καθορίσει μια σταθερή τιμή ισχύος, τιμή πώλησης και δυναμικότητα πώλησης.
Τιμές πραγματικού χρόνου	Καθορίζουν τις τιμές σε ωριαία βάση εισάγοντας ένα κατάλληλα διαμορφωμένο αρχείο κειμένου με δεδομένα χρονοσειρών
Προγραμματισμένες τιμές	Επιτρέπουν διαφορετικές τιμές για κάθε ώρα της μέρας και μήνα του έτους.
Λειτουργία επέκτασης δικτύου	Συγκρίνει το κόστος μιας επέκτασης δικτύου με το κόστος κάθε αυτόνομης διαμόρφωσης συστήματος.



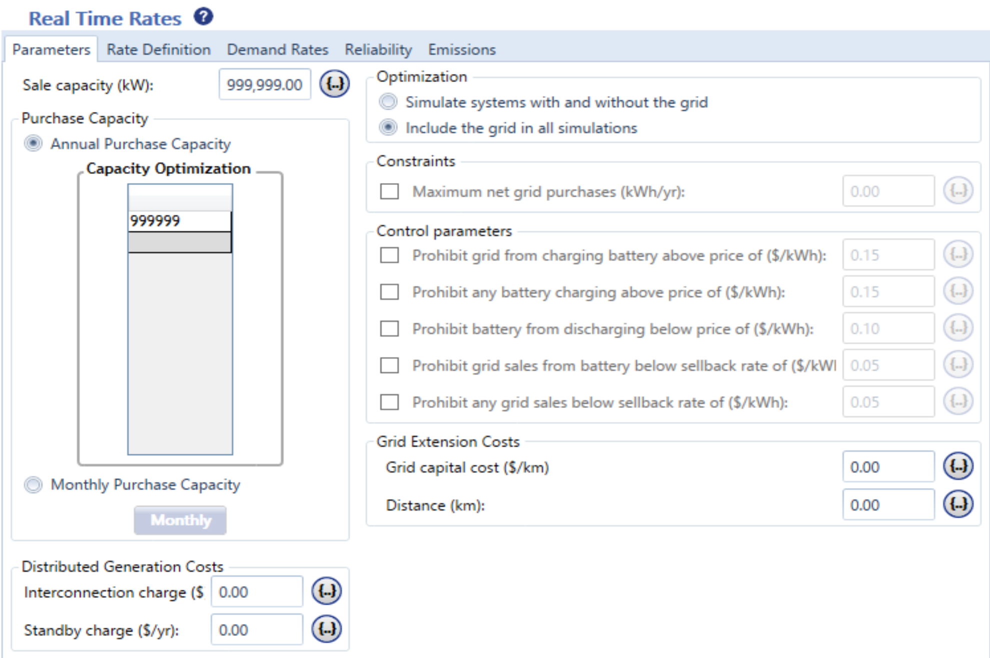
Εικόνα 6-20 Παράμετροι «Λειτουργία απλών τιμών»



Εικόνα 6-21 Εκπομπές αερίων «Λειτουργία απλών τιμών»

Πίνακας 6-7 Λειτουργία απλών τιμών

Μεταβλητές	**Περιγραφή**
Παράμετροι	
Τιμή ισχύος δικτύου $[€/kWh]$	Κόστος αγοράς ενέργειας από το δίκτυο.
Τιμή επαναπώλησης στο δίκτυο $[€/kWh]$	Τιμή επαναπώλησης ενέργειας από την κοινότητα στο δίκτυο. Συνήθως είναι η μισή της τιμής ισχύος δικτύου
Αυτοπαραγωγή	Η διοχέτευση της τοπικά παραγόμενης ενέργειας από Α.Π.Ε. στο δίκτυο.
Εκπομπές	
Διοξείδιο του άνθρακα $[g/kWh]$	Η ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα που απελευθερώνεται ανα kWh ισχύος δικτύου που καταναλώνεται από το σύστημα.
Μονοξείδιο του άνθρακα $[g/kWh]$	Η ποσότητα μονοξειδίου του άνθρακα που απελευθερώνεται ανα kWh ισχύος δικτύου που καταναλώνεται από το σύστημα.
Άκαυστοι υδρογονάνθρακες $[g/kWh]$	Η ποσότητα άκαυστων υδρογονανθράκων που απελευθερώνεται ανα kWh ισχύος δικτύου που καταναλώνεται από το σύστημα.
Σωματίδια $[g/kWh]$	Η ποσότητα σωματιδίων που απελευθερώνεται ανα kWh ισχύος δικτύου που καταναλώνεται από το σύστημα.
Διοξείδιο του θείου $[g/kWh]$	Η ποσότητα διοξειδίου του θείου που απελευθερώνεται ανα kWh ισχύος δικτύου που καταναλώνεται από το σύστημα.
Οξείδια του αζώτου $[g/kWh]$	Η ποσότητα οξειδίων του αζώτου που απελευθερώνεται ανα kWh ισχύος δικτύου που καταναλώνεται από το σύστημα.



Εικόνα 6-22 Παράμετροι «Τιμές πραγματικού χρόνου»

Πίνακας 6-8 Τιμές πραγματικού χρόνου

Μεταβλητές	**Περιγραφή**
Παράμετροι Ελέγχου	
Απαγόρευση φόρτισης μπαταρίας από το δίκτυο πάνω από καθορισμένη τιμή $[\text{€}/\mathbf{kWh}]$	Αν η επιλογή είναι ενεργοποιημένη, το δίκτυο δεν μπορεί να φορτίσει την μπαταρία, αν η τιμή ηλεκτρικής ενέργειας του δικτύου είναι πάνω από την ορισμένη τιμή.
Απαγόρευση οποιασδήποτε φόρτισης μπαταρίας πάνω από καθορισμένη τιμή $[\text{€}/\mathbf{kWh}]$	Αν η επιλογή είναι ενεργοποιημένη, εμποδίζεται οπιαδήποτε φόρτιση μπαταρίας, αν η τιμή ηλεκτρικής ενέργειας του δικτύου είναι πάνω από την ορισμένη τιμή.
Απαγόρευση εκφόρτισης μπαταρίας κάτω από καθορισμένη τιμή $[\text{€}/\mathbf{kWh}]$	Αν η επιλογή είναι ενεργοποιημένη, αποτρέπει την εκφόρτιση της μπαταρίας, αν η τιμή ηλεκτρικής ενέργειας του δικτύου είναι κάτω από την ορισμένη τιμή.
Απαγόρευση πωλήσεων στο δίκτυο από την μπαταρία κάτω από την τιμή πώλησης $[\text{€}/\mathbf{kWh}]$	Αν η επιλογή είναι ενεργοποιημένη, εμποδίζονται οι πωλήσεις της μπαταρίας προς το δίκτυο, αν η τιμή πώλησης είναι χαμηλότερη της καθορισμένης τιμής.
Απαγόρευση οποιασδήποτε πώλησης μπαταρίας πάνω από καθορισμένη τιμή $[\text{€}/\mathbf{kWh}]$	Αν η επιλογή είναι ενεργοποιημένη, εμποδίζονται οποιεσδήποτε πωλήσεις από το δίκτυο, αν το ποσοστό επαναφοράς από το δίκτυο είναι κάτω από την καθορισμένη τιμή.
Πρόσθετες Επιλογές	
Χρέωση διασύνδεσης $(\mathbf{C}_{\mathbf{grid,int}})$ $[\text{€}]$	Το εφάπαξ τέλος που χρεώνεται από την εταιρεία κοινής ωφέλειας για τη διασύνδεση ενός Σ.Η.Ε. με το δίκτυο
Χρέωση αναμονής $(\mathbf{C}_{\mathbf{grid,standby}})$ $[\text{€}]$	Το ετήσιο τέλος που χρεώνεται από την εταιρεία κοινής ωφέλειας για την παροχή εφεδρικής ισχύος στο δίκτυο. Το τέλος δεν ισχύει για συστήματα που λειτουργούν μόνο στο δίκτυο.
Κόστος κεφαλαίου δικτύου (επέκταση δικτύου) $(\mathbf{C}_{\mathbf{grid,capital}})$ $[\text{€}/\mathbf{km}]$	Εφάπαξ κόστος που προκύπτει για κάθε σύστημα που περιλαμβάνει το δίκτυο, ανα χιλιόμετρο απαιτούμενης επέκτασης του δικτύου.
Απόσταση επέκτασης δικτύου $[\mathbf{km}]$	Η χιλιομετρική απόσταση που διανύει το δίκτυο για να συνδεθεί με το σύστημα.
Μέγιστες καθαρές αγορές δικτύου $[\mathbf{kWh/yr}]$	Η μέγιστη καθαρή ενέργεια που αντλείται από το δίκτυο.
Αυτοπαραγωγή	Η διοχέτευση της τοπικά παραγόμενης ενέργειας από Α.Π.Ε. στο δίκτυο.
Προσομοίωση με ή χωρίς δίκτυο	
Προσωμοίωση με δίκτυο	
Μέγεθος πώλησης $[\mathbf{kW}]$	
Μέγεθος αγοράς $[kW]$	

6.3 ΕΡΓΟ

6.3.1 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Τα οικονομικά στοιχεία που παρουσιάζονται στην καρτέλα «Project» αναλύονται παρακάτω.

1. Πραγματικό εκπτωτικό επιτόκιο (i) [%], αποτελεί το επιτόκιο που προεξοφλείται το μελλοντικό ονομαστικό κόστος. Χρησιμοποιείται για τη μετατροπή του εφάπαξ κόστους και του ετήσιου κόστους. Το HOMER, υπολογίζει το πραγματικό επιτόκιο μέσω του παρακάτω τύπου:

$$\mathbf{i} = \frac{\mathbf{i}' - \mathbf{f}}{\mathbf{1} + \mathbf{f}} \qquad \textbf{6.45}$$

Όπου, i είναι το πραγματικό επιτόκιο.

i' είναι το ονομαστικό προεξοφλητικό επιτόκιο (το επιτόκιο που θα μπορούσαμε να δανειστούμε χρήματα).

f είναι το αναμενόμενο ποσοστό πληθωρισμού.

2. Διάρκεια ζωής έργου (R_{proj}) [yr], είναι το χρονικό διάστημα στο οποίο παρουσιάζονται οι δαπάνες του συστήματος. Χρησιμοποιείται από το λογισμικό για υπολογισμό του κόστος ετησίως από το καθαρό παρόν κόστος.
3. Σταθερό κόστος κεφαλαίου συστήματος $(C_{cap,fixed})$ [€], είναι το κόστος που προκύπτει στην εκκίνηση του έργου και δεν εξαρτάταια από το μέγεθος ή την αρχιτεκτονική του συστήματος. Προστίθενται στο συνολικό αρχικό κόστος κεφαλάιου και κατ επέκταση στο συνολικό καθαρό παρόν κόστος.
4. Σταθερό κόστος λειτουργίας και συντήρησης $(C_{om,fixed})$ [€/yr], είναι το επαναλαμβανόμενο ετήσιο κόστος που προκύπτει για την συντήρηση των εξαρτημάτων του συστήματος. Επηρεάζει το συνολικό καθαρό παρόν κόστος κάθε συστήματος.
5. Ποινή έλλειψης κάλυψης ζήτησης (C_{cs}) [€/kWh], είναι η ποινή που δίνεται στο σύστημα για τις στιγμές του έτους που δεν μπορεί να καλύψει την ηλεκτρική ζήτηση.

6.3.2 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ

Στην συγκεκριμένη καρτέλα ο χρήστης μπορεί να τροποποιήσει τις συνθήκες που πρέπει να πληρεί το σύστημα προς επεξεργασία. Αν οι περιορισμοί δεν ικανοποιούνται, τότε το HOMER δεν παρουσιάζει τελικά αποτελέσματα βελτιστοποίησης. Πιο αναλυτικά, είναι οι εξής:

1. Μέγιστη ετήσια ανεπάρκεια ικανοποίησης ζήτησης [%], όπου είναι η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή κλάσματος έλλειψης δυναμικής (6.46).

$$\mathbf{f_{cs}} = \frac{\mathbf{E_{cs}}}{\mathbf{E_{demand}}} \qquad \textbf{6.46}$$

Όπου, E_{cs} είναι η συνολική ανεπάρκεια [kWh/yr].

E_{demand} είναι η συνολική ηλεκτρική ζήτηση [kWh/yr].

f_{cs} είναι το κλάσμα έλλειψης δυναμικής.

2. Ελάχιστο κλάσμα ανανεώσιμων πηγών [%], που είναι η ελάχιστη επιτρεπόμενη τιμή κλάσματος ανανεώσιμων πηγών (6.47).

$$\mathbf{f_{ren} = 1 - \frac{E_{nonren} + H_{nonren}}{E_{served} + H_{served}}} \qquad \mathbf{6.47}$$

Όπου, E_{nonren} είναι η ηλεκτρική παραγωγή εκτός Α.Π.Ε. [kWh/yr].

H_{nonren} είναι η θερμική παραγωγή εκτός Α.Π.Ε. [kWh/yr].

E_{served} είναι το συνολικό ηλεκτρικό φορτίο που εξυπηρετήθηκε [kWh/yr].

H_{served} είναι το συνολικό θερμικό φορτίο που εξυπηρετήθηκε [kWh/yr].

3. Αποθεματικό λειτουργίας, που είναι η πλεονάζουσα λειτουργική ικανότητα μέσω της οποίας διασφαλίζεται η αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Το HOMER, ορίζει την τιμή αυτή με τη χρήση τεσσάρων εισροών. Δυο που σχετίζονται με την μεταβλητότητα του ηλεκτρικού φορτίου και δυο με την μεταβλητότητα της ενέργειας από Α.Π.Ε.. Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, το HOMER λειτουργεί έτσι ώστε η εφεδρεία λειτουργίας να είναι ίση ή και μεγαλύτερη από την ζητούμενη.

6.3.3 ΕΚΠΟΜΠΕΣ

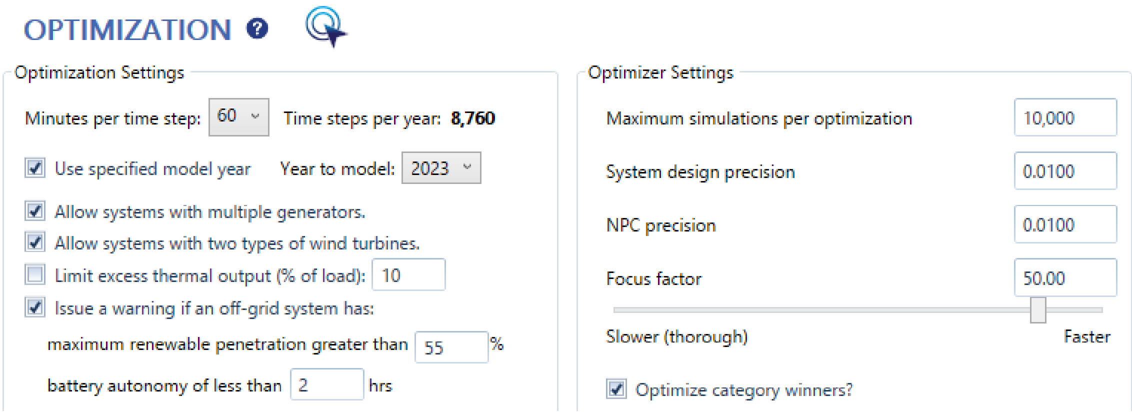
Αν ο χρήστης καθορίσει τιμή ποινής κόστους για ρύπους, τότε το HOMER, προσθέτει το αντίοτοιχο κόστος στο συνολικό ετήσιο κόστος του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Το κόστος εκπομπών εμφανίζεται αναλυτικά στα αποτελέσματα στην στήλη «Άλλο κόστος λειτουργίας και διαχείρισης» της τελικής καρτέλας αποτελεσμάτων. Πιο συγκεκριμένα οι τύποι ποινών των ρύπων που αναλύθηκαν στις προηγούμενες παραφράφους, είναι:

1. Διοξείδιο του άνθρακα $\left(c_{CO_2}\right)$ [€/tn], είναι η ποινή κόστους που εφαρμόζει το HOMER στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.
2. Μονοξείδιο του άνθρακα (c_{CO}) [€/tn], είναι η ποινή κόστους που εφαρμόζει το HOMER στις εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα.
3. Άκαυστοι υδρογονάνθρακες (c_{HC}) [€/tn], είναι η ποινή κόστους που εφαρμόζει το HOMER στις εκπομπές άκαυστων υδρογονανθράκων.
4. Σωματίδια (c_{PM}) [€/tn], είναι η ποινή κόστους που εφαρμόζει το HOMER στις εκπομπές σωματιδίων.
5. Διοξείδιο του θείου $\left(c_{SO_2}\right)$ [€/tn], είναι η ποινή κόστους που εφαρμόζει το HOMER στις εκπομπές διοξειδίου του θείου.
6. Οξείδιο του αζώτου $\left(c_{NO_x}\right)$ [€/tn], είναι η ποινή κόστους που εφαρμόζει το HOMER στις εκπομπές οξειδίου του αζώτου.

Τέλος, υπάρχει η δυνατότητα καθορισμού ορίων για τις εκπομπές ενός ή όλων των ρύπων, που αν καθοριστούν το HOMER απορρίπτει ως ανέφικτο κάθε σύστημα το οποίο υπερβαίνει τις τιμές που έχουν οριστεί από το χρήστη.

6.3.4 ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

Στη συγκεκριμένη καρτέλα ο χρήστης μπορεί να ελέγξει το τρόπο με τον οποίο το λογισμικό βρίσκει το βέλτιστο σύστημα. Χωρίζεται σε δυο μέρη.



Στην αριστερή πλευρά παρουσιάζονται οι ρυθμίσεις βελτιστοποίησης, όπου ο χρήστης μπορεί να καθορίσει τους κανόνες και να αποκλείσει ορισμένα ήδη συστημάτων. Στην δεξιά πλευρά είναι οι ρυθμίσεις βελτιστοποίησης που ελέγχουν αποκλειστικά τις αριθμητικές πτυχές του πεδίου.

Πιο συγκεκριμένα:

1. Καθορισμένο έτος μοντελοποίησης.
2. Σύστημα πολλαπλών γεννητριών. Αν είναι επιλεγμένο, το HOMER εξετάζει τα συστήματα που περιέχουν περισσότερες από μια γεννήτριες.
3. Συστήμα δυο τύπων ανεμογεννητριών.
4. Περιορισμός θερμικής παραγωγής [%]. Αν είναι επιλεγμένο, το HOMER εμποδίζει την παραγωγή περισσότερης θερμικής ενέργειας από την απαιτούμενη προς κάλυψη των αναγκών.
5. Προειδοποίηση συστήματος.
6. Μέγιστες προσομοιώσεις ανα βελτιστοποίηση.
7. Ακρίβεια σχεδιασμού συστήματος. Μέσω της επιλογής ορίζεται η μέγιστη σχετική ακρίβεια των μεταβλητών απόφασης που γίνονται για τη σύγκλιση του αποτελέσματος.
8. Ακρίβεια NPC (σταθερό παρόν κόστος).
9. Παράγοντας εστίασης. Η ρύθμιση αυτή ελέγχει την ομοιομορφία του χώρου βελτιστοποίησης. Ένας χαμηλός παράγοντας καλύπτει το χώρο πιο ομοιόμορφα. Ένας υψηλός, έχει πιο άμεσα αποτελέσματα.
10. Κατηγοριοποίηση νικητών κατηγορίας.

6.4 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

6.4.1 ΚΑΘΑΡΟ ΠΑΡΟΝ ΚΟΣΤΟΣ

Αποτελεί το συνολικό κόστος μια επένδυσης, λειτουργίας και συντήρησης που αντικατροπτίζει τις ταμειακές ροές του έργου για όλο το χρονικό πλαίσιο. Το HOMER υπολογίζει το καθαρό παρόν κόστος των επιμέρους στοιχείων καθώς και ολόκληρου του συστήματος.

$$\mathbf{C_{NPC}} = \left[\frac{\mathbf{C_a}}{\mathbf{CRF(i,t)}}\right] \qquad \textbf{6.48}$$

Όπου, C_a είναι το ετήσιο κόστος του συστήματος [€]. (6.49)

CRF είναι ο συντελεστής ανάκτησης κεφαλαίου. (6.50)

$$\mathbf{C_a = C_{capex} + C_{rep} + C_{O\&M} + C_{oper} + C_f - C_{sal}} \quad 6.49$$

$$\mathbf{CRF(i, n) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1}} \quad 6.50$$

Όπου, C_{capex} είναι το κόστος κεφαλαίου του συστήματος [€].

C_{rep} είναι το κόστος αντικατάστασης εξαρτημάτων [€].

$C_{O\&M}$ είναι το κόστος λειτουργίας και συντήρησης [€].

C_{oper} είναι το λειτουργικό κόστος [€].

C_f είναι το κόστος καυσίμου [€].

C_{sal} είναι το κόστος «διάσωσης» εξαρτημάτων [€].

i είναι το πραγματικό προεξοφλητικό επιτόκιο [%].

N είναι τα έτη [yr].

6.4.2 ΑΞΙΑ ΔΙΑΣΩΣΗΣ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΟΣ

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, η αξία διάσωσης είναι η αξία που έχει ένα εξάρτημα του συστήματος στο τέλος της διάρκειας ζωής του έργου. Το λογισμικό, θεωρεί γραμμική απόσβεση των εξαρτημάτων, γεγονός που σημαίνει ότι η αξία διάσωσης του εξαρτήματος είναι ανάλογη με την εναπομείνουσα ζωή του. Επίσης, θεωρεί ότι εξαρτάται από το κόστος αντικατάστασης και όχι από το αρχικό κόστος κεφαλαίου. Επομένως, ισχύουν οι παρακάτω τύποι:

$$\mathbf{C_{sal} = C_{rep}\frac{R_{rem}}{R_{comp}}} \quad 6.51$$

$$\mathbf{R_{rem} = R_{comp} - \left(R_{proj} - R_{rep}\right)} \quad 6.52$$

$$\mathbf{R_{rep} = R_{comp} * INT\left(\frac{R_{proj}}{R_{comp}}\right)} \quad 6.53$$

Όπου, R_{rem} είναι η εναπομείνουσα ζωή του εξαρτήματος, στο τέλος του έργου [yr].

R_{rep} είναι η διάρκεια του κόστους αντικατάστασης [yr].

R_{comp} είναι η διάρκεια ζωής του εξαρτήματος [yr].

R_{proj} είναι η διάρκεια του έργου [yr].

INT είναι μια συνάρτηση που επιστρέφει το ακέραιο ποσό ενός πραγματικού αριθμού.

6.4.3 ΙΣΟΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

$$\mathbf{LCOE}\ [€/\mathbf{kWh}] = \frac{\mathbf{C_{ann,tot} - c_{boiler} H_{served}}}{\mathbf{E_{served}}} \quad 6.54$$

Όπου, $C_{ann,tot}$ είναι το συνολικό ετήσιο κόστος του συστήματος [€/yr].

c_{boiler} είναι το οριακό κόστος λέβητα [€/kWh].

H_{served} είναι το συνολικό θερμικό φορτίο που ικανοποιείται [kWh/yr]. Σε συστήματα που δεν απαιτούν κάλυψη θερμικού φορτίου, ο όρος ισούται με μηδέν.

E_{served} είναι το συνολικό ηλεκτρικό φορτίο που ικανοποιείται [€/kWh].

Το συνολικό ετήσιο κόστος συστήματος και το συνολικό ηλεκτρικό φορτίο που ικανοποιείται, υπολογίζονται στο HOMER με τις σχέσεις (6.55) και (6.56) αντίστοιχα.

$$\mathbf{C_{ann,tot} = CRF(i, R_{proj}) * C_{NPC,tot}} \quad 6.55$$

$$\mathbf{E_{served} = E_{served,ACprim} + E_{served,DCprim} + E_{served,def} + E_{grid,sales}} \quad 6.56$$

Όπου, $C_{NPC,tot}$ είναι το συνολικό καθαρό παρόν κόστος [€].

i είναι το πραγματικό προεξοφλητικό επιτόκιο [%].

R_{proj} είναι η διάρκεια του έργου [yr].

CRF είναι ο συντελεστής ανάκτησης κεφαλαίου.

$E_{served,ACprim}$ είναι το εξυπηρετούμενο πρωτογενές AC φορτίο [kWh/yr].

$E_{served,DCprim}$ είναι το εξυπηρετούμενο πρωτογενές DC φορτίο [kWh/yr].

$E_{served,def}$ είναι το εξυπηρετούμενο φορτίο αναβολής [kWh/yr].

$E_{grid,sales}$ είναι η ενέργεια που πωλείται στο δίκτυο [kWh/yr].

6.5 ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ

Οι βασικές λειτουργίες όπως αναφέρθηκαν είναι οι χρηματοοικονομικές μετρήσεις. Οι μετρήσεις αυτές είναι στενά συνδεδεμένες με ορισμένους δείκτες επίδοσης του έργου, όπως η περίοδος αποπληρωμής, η επίδοση της επένδυσης και ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης.

6.5.1 ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗΣ

Η περίοδος αποπληρωμής εκφράζεται μαθηματικά από τον παρακάτω τύπο (5.49) και δηλώνει τον αριθμό των ετών που απαιτούνται για την ανάκτηση του αρχικού κόστους κεφαλαίου του συστήματος.

$$\mathbf{PBP} = \mathbf{C_{in}} + * \left\{ \mathbf{T} * \left(\sum_{t=1}^{T} \frac{\mathbf{C_{ann}(t)}}{(\mathbf{1}+\mathbf{n})^{t}} \boldsymbol{\mathcal{A}}. \sum_{t=1}^{T} \frac{\mathbf{B_{ann}}}{(\mathbf{1}+\mathbf{i})^{n}} \right) \right\} \tag{6.57}$$

Όπου, T είναι ο ελάχιστος χρόνος στον οποίο τα έσοδα του συστήματος υπερβαίνουν το κόστος [yr].

C_{ann} είναι το άθροισμα όλων των παραμέτρων κόστους.

B_{ann} είναι η συνολική καθαρή ταμειακή εισροή-εκροή.

6.5.2 ΑΠΟΔΟΣΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Είναι η ετήσια εξοικονόμηση κόστους [%] συγκριτικά με την αρχική επένδυση. Το HOMER υπολογίζει την τιμή της ακολούθως:

$$\mathbf{ROI} = \left(\frac{\sum_{i=0}^{R_{proj}} \mathbf{C_{i,ref}} - \mathbf{C_{i}}}{\mathbf{R_{proj}} \left(\mathbf{C_{cap}} - \mathbf{C_{cap,ref}} \right)} \right) * \mathbf{100} \tag{6.58}$$

Όπου, $C_{i,ref}$ είναι η ονομαστική ετήσια ταμειακή ροή για το σύστημα αναφοράς.

$C_{i,ref}$ είναι η ονομαστική ετήσια ταμειακή ροή για το τρέχον σύστημα.

C_{cap} είναι το κόστος κεφαλαίου του σημερινού συστήματος.

$C_{cap,red}$ είναι το κόστος κεφαλαίου για το σύστημα αναφοράς.

R_{proj} είναι η διάρκεια του έργου [yr].

6.5.3 ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΑΡΧΙΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Είναι ο ρυθμός με τον οποίο επιστρέφεται η σνολική επένδυση [%] και περιγράφεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$\mathbf{IRR} = \left(\frac{\mathbf{cashflow}}{(\mathbf{1}+\mathbf{i})^{t}} - \mathbf{C_{cap}} \right) * \mathbf{100} \tag{6.59}$$

6.6 ΣΥΝΟΨΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ HOMER

Με την ανάλυση των παραμέτρων που πραγματοποιήθηκε στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, είναι εφικτό να καταλήξουμε σε ορισμένα συμπεράσματα ως προς τη χρήση του λογισμικού. Συνοπτικά, είναι τα παρακάτω:

1. Έχει την δυνατότητα να ορίζει την τοποθεσία εγκατάστασης σε επίπεδο συντεταγμένων.
2. Να τοποθετεί μετεωρολογικά δεδομένα είτε χειροκίνητα, είτε με τη χρήση πηγών διαδικτύου.
3. Να δέχεται τιμές ηλεκτρικής και θερμικής ζήτησης για ένα έτος, με όποιο βήμα μέτρησης έχει ο χρήστης στην διάθεσή του.
4. Να ελέγχει την απόδοση προσθέτοντας ή αφαιρώντας παραμέτρους.
5. Να μελετάει οποιοδήποτε φωτοβολταϊκό σύστημα ανεξαρτήτως υλικού ή κατασκευαστή και να καθορίζει τις γωνίες εγκατάστασης.
6. Να καθορίζει τα χαρακτηριστικά των εξαρτημάτων του συστήματος που αφορούν το κόστος, την συντήρηση και τη διάρκεια ζωής τους.

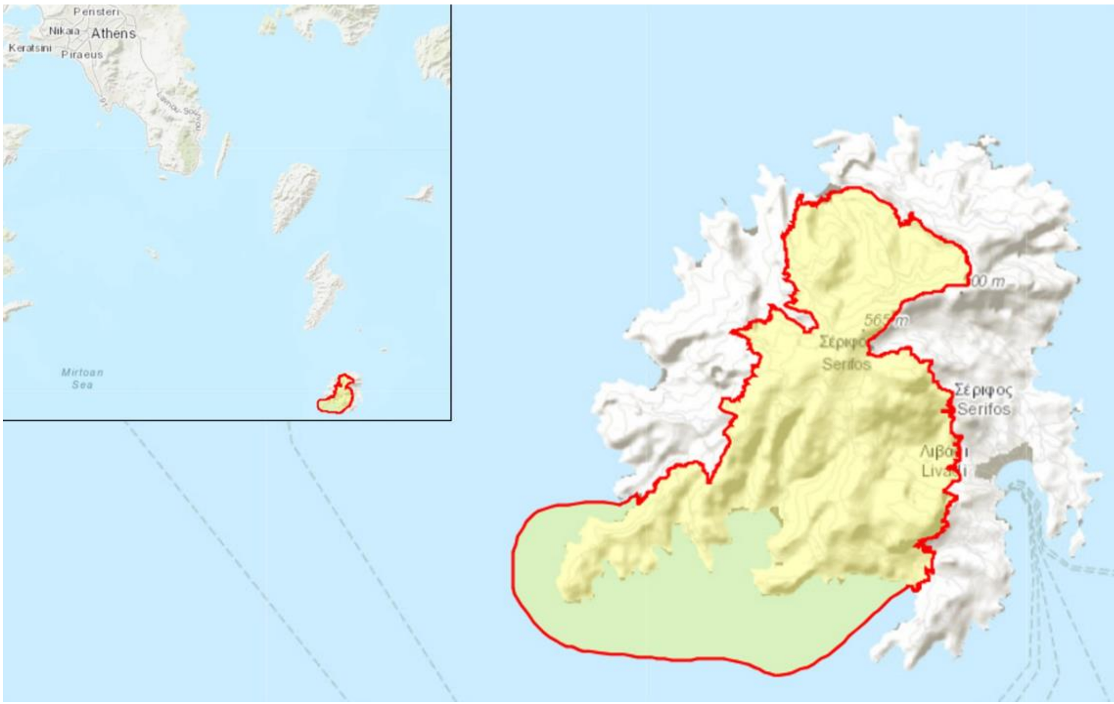
7. Να δίνει στο χρήστη εικόνα για την ηλεκτρική παραγωγή ενέργειας σε ωριαία, ημερήσια, μηνιαία και ετήσια βάση.
8. Να μελετάει τα αποτελέσματα ως προς μη συνδεδεμένα στο δίκτυο συστήματα.
9. Να συγκρίνει τα αποτελέσματα στα αυτόνομα συστήματα με τα συνδεδεμένα συστήματα.
10. Να προσφέρει ικανοποιητική και αξιόπιστη οικονομική ανάλυση.
11. Να παρέχει πληροφορίες για την περίσσεια ενέργειας και για τους ρύπους.
12. Να εξετάζει την οικονομική απόδοση της βέλτιστης λύσης συναρτήσει των πραγματικών φορολογικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή εγκατάστασης.
13. Να συμπεριλαμβάνει αποκλίσεις διάρκειας ζωής των στοιχείων που αποτελούν το σύστημα.

7 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7ο ΜΕΛΕΤΗ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΣΕΡΙΦΟΥ

7.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η Σέριφος είναι νησί του Αιγαίου Πελάγους και υπάγεται στις Κυκλάδες και πιο συγκεκριμένα στην περιφερειακή ενότητα Μήλου. Πρωτεύουσα του νησιού είναι η Χώρα και βρίσκεται μεταξύ των νησιών Κύθνος και Σίφνος. Η συνολική επιφάνεια του νησιού ανέρχεται στα $75{,}207\ km^2$ με μήκος ακτών 83 χιλιόμετρα. Σημαντικοί οικισμοί στο νησί της Σερίφου είναι το Λιβάδι, ο Κουταλάς, ο Κένταρχος και το Γάνεμα. Με βάση την απογραφή του 2022 οι μόνιμοι κάτοικοι του νησιού είναι 1258 μόνιμοι κάτοικοι, 0,11% λιγότεροι από την απογραφή του 2011. Το νησί άκμασε στα τέλη του 19ου - αρχές 20ου αιώνα, όταν εγκαταστάθηκαν μεταλλευτικές εταιρείες με σκοπό να εκμεταλλευτούν το πλούσιο υπέδαφός του. Στη συνέχεια, όμως, τα μεταλλεία εγκαταλείφθηκαν, καθώς η εξόρυξη κρίθηκε σύμφορη και αρκετοί οικισμοί του νησιού ερημώθηκαν.

Η ψηλότερη κορυφή είναι ο Τρούλος με υψόμετρο $585\ m$ και το υπέδαφος έχει κοιτάσματα αιματίτη ($\mathrm{Fe_2O_3}$) και μαγνητίτη ($\mathrm{Fe_3O_4}$). Στην νοτιοδυτική περιοχή του νησιού υπάρχουν κοιτάσματα χαλκού, καθώς και υπολείμματα εκ καμίνευσης μεταλλευμάτων χαλκού στη θέση «Σκουριές». Στη περιοχή Μούτουλα, στο βόρειο τμήμα του νησιού, είναι γνωστή μια μικρή εμφάνιση μικτών θειούχων ορυκτών, όπου κατά το παρελθόν έγινε περιορισμένη εκμετάλλευση. Το 2004 κατασκευάστηκε φράγμα χωρητικότητας $700000\ \mathrm{m^3}$ στην τοποθεσία «Στενό», κοντά στο Λιβάδι για την ύδρευση και άρδευση του νησιού. Το νότιο τμήμα του νησιού και πιο συγκεκριμένα η περιοχή GR4220009 έχει ενταχθεί στο δίκτυο NATURA 2000, καθώς στο το σημείο χαρακτηρίζεται από σημαντικό βιότοπο για πολλά είδη χλωρίδας και πανίδας. Επίσης, υπάρχουν αρκετές εγκαταλελειμμένες καλλιέργειας, ενώ προς το νότιο τμήμα της περιοχής υπάρχουν και ενεργές καλλιέργειες ελιάς και αμπέλου.



Εικόνα 7-1 Περιοχή natura Σερίφου

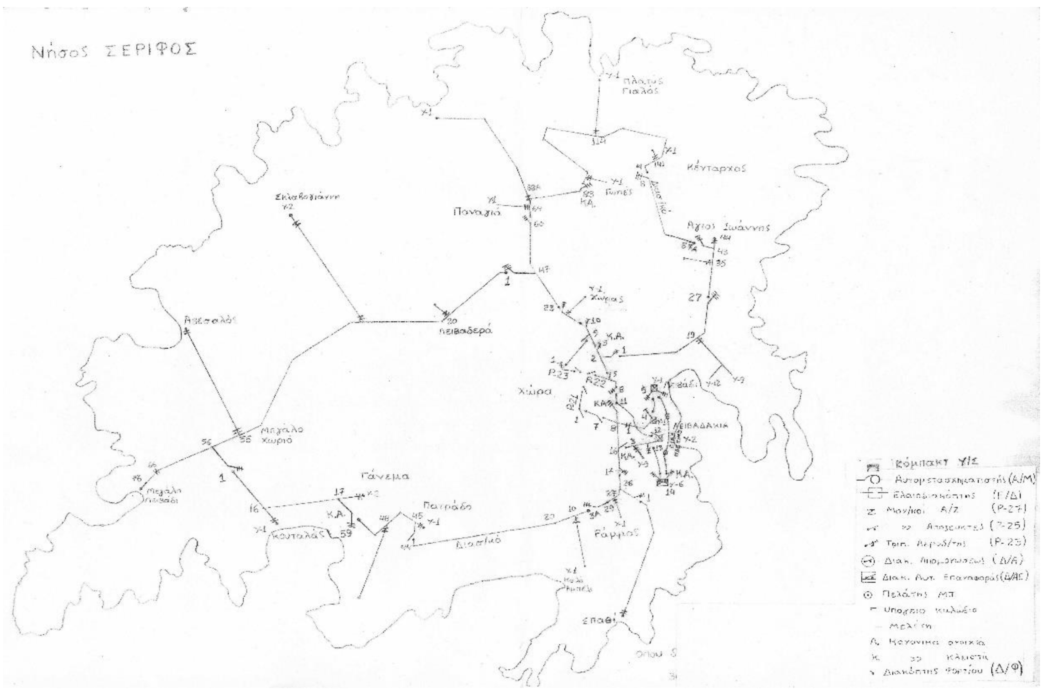
7.2 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΕΡΙΦΟΥ

Η Σέριφος, διαθέτει έναν αυτόνομο Σταθμό Παραγωγής (Α.Σ.Π.), ο Α.Σ.Π. Σερίφου, καλύπτει εξ ολοκλήρου το ποσοστό αναγκών του νησιού σε ηλεκτρική ισχύ. Ο Α.Σ.Π. Σερίφου ανήκει στην Δ.Ε.Η. και βρίσκεται σε απόσταση 5.8km από τη πρωτεύουσα του νησιού, Χώρα Σερίφου. Συγκροτείται από έξι συμβατικές πετρελαϊκές γεννήτριες, οι οποίες καταναλώνουν ντίζελ και έχει την δυνατότητα να καλύψει ισχύ ως και 5300kW.

Πίνακας 7-1 Στοιχεία Α.Σ.Π. Σερίφου

Α.Σ.Π. ΣΕΡΙΦΟΥ			
Α/Α	**ΤΥΠΟΣ ΜΟΝΑΔΑΣ**	**ΑΠΟΔΙΔΟΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW)**	**ΚΑΥΣΙΜΟ**
1	G1 (MWM TBD603V12)	0,3	DIESEL
2	G3 (MITSUBISH S16R-PTA)	1,1	DIESEL
3	G4 (MITSUBISH S16R-PTA)	1,1	DIESEL
4	G5 (MITSUBISH S16R-PTA)	1,1	DIESEL
5	G10 (MITSUBISH S16R-PTA)	1,1	DIESEL
6	G6 (MITSUBISH S16R-PTA)	1,1	DIESEL

Το δίκτυο του συστήματος Σερίφου είναι υπό την πλήρη διαχείριση του ΔΕΔΔΗΕ, καθώς αποτελείται μόνο από γραμμές διανομής Μέσης Τάσης (Μ.Τ.) και Χαμηλής Τάσης (Χ.Τ.). Σε κάθε περιοχή όπου υπάρχουν καταναλωτές βρίσκονται οι απαιτούμενοι μετασχηματιστές υποβιβασμού της τάσης από τα 15 kV της Μ.Τ. στα 400 V της Χ.Τ.. Το σύνολο του δικτύου Μ.Τ. είναι κυρίως υπέργειο με τους αγωγούς να οδεύουν πάνω σε ξύλινους πυλώνες παράλληλα με το οδικό δίκτυο του νησιού, με εξαίρεση την όδευση βουνοκορφών και των δύο υπόγειων καλω δίων που συνδέουν το νησί της Σερίφου. Το δίκτυο Χ.Τ. μέχρι πρότινος στην πρωτεύουσα του νησιού, τη Χώρα καθώς και σε όλα τα χωριά ήταν υπέργειο οδεύοντας πάνω σε ξύλινους πυλώνες. Όμως και σε αυτό το κομμάτι ο ΔΕΔΔΗΕ έχει ήδη ενεργήσει ώστε να υπογειοποιηθεί σημαντικό μέρος αυτών των αγωγών, ξεκινώντας από την πρωτεύουσα του νησιού και συνεχίζοντας και στα άλλα χωριά.

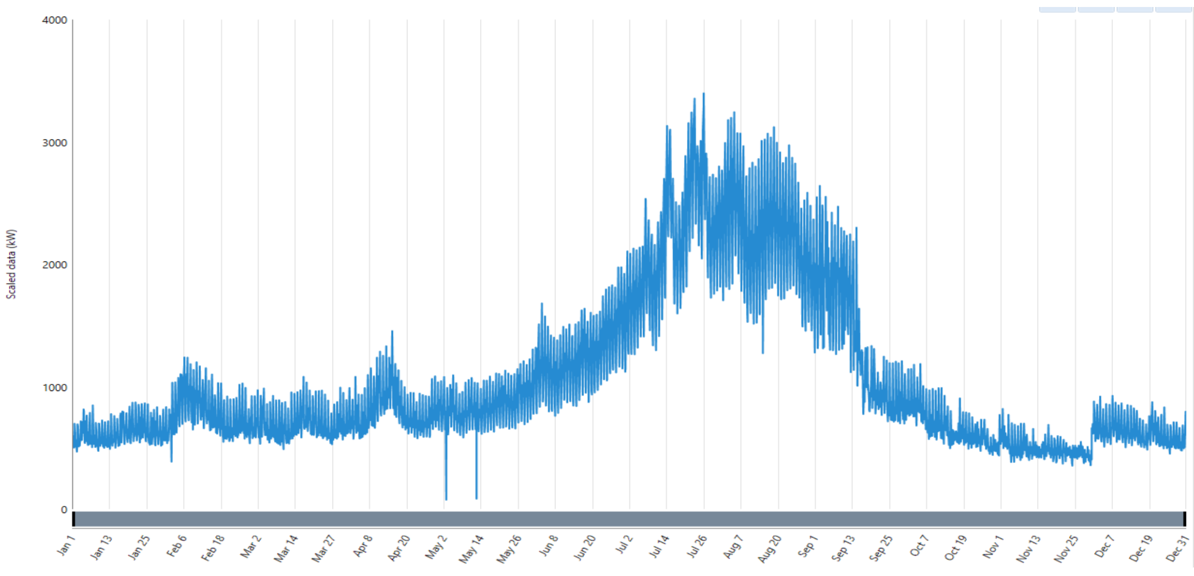


Εικόνα 7-2 Διασύνδεση δικτύου νησιού

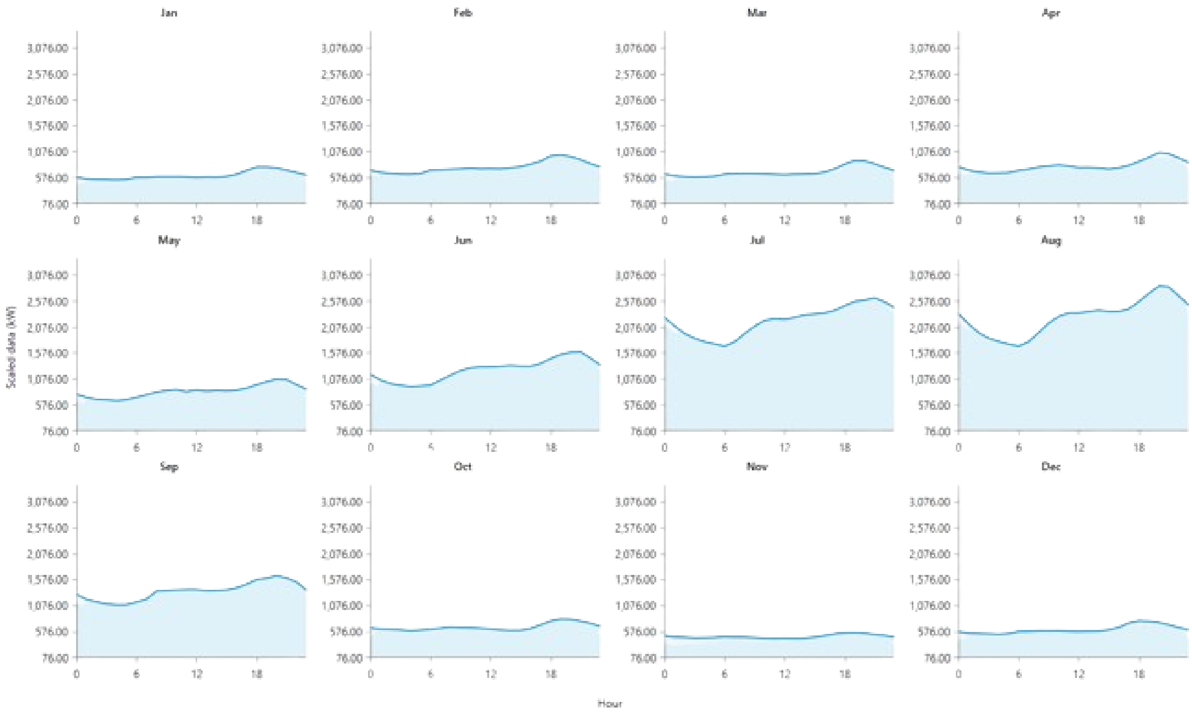
Γενικότερα η υπογειοποίηση των εναέριων δικτύων ρεύματος αποτελεί στρατηγικό στόχο του Διαχειριστή Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε.), καθώς τα υπόγεια δίκτυα συγκεντρώνουν σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των εναέριων, τα οποία αφορούν θέματα ασφάλειας του δικτύου, προστασίας των πολιτών αλλά και του περιβάλλοντος. Τα εναέρια δίκτυα είναι εξ αντικειμένου εκτεθειμένα σε μεγαλύτερους κινδύνους που πηγάζουν είτε από φυσικά φαινόμενα είτε από ανθρώπινο λάθος. Οι περιπτώσεις ζημιών στα υπόγεια δίκτυα είναι πολύ περιορισμένες. Πέραν τούτου, τα υπόγεια δίκτυα ρεύματος προστατεύουν τον πολίτη από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και του εξασφαλίζουν καλύτερη ποιότητα ζωής. Η απομάκρυνση των στύλων της Δ.Ε.Η. βοηθάει να «αποδοθούν» τα πεζοδρόμια εκεί που ανήκουν, στους πεζούς, ώστε να μετακινούνται άνετα ηλικιωμένοι, μητέρες με παιδιά κλπ.. Παράλληλα συμβάλλει στην προστασία του περιβάλλοντος, καθώς εκλείπουν ανεπιθύμητα φαινόμενα, όπως η κοπή δέντρων και η αφισορύπανση.

7.2.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΦΟΡΤΙΟΥ

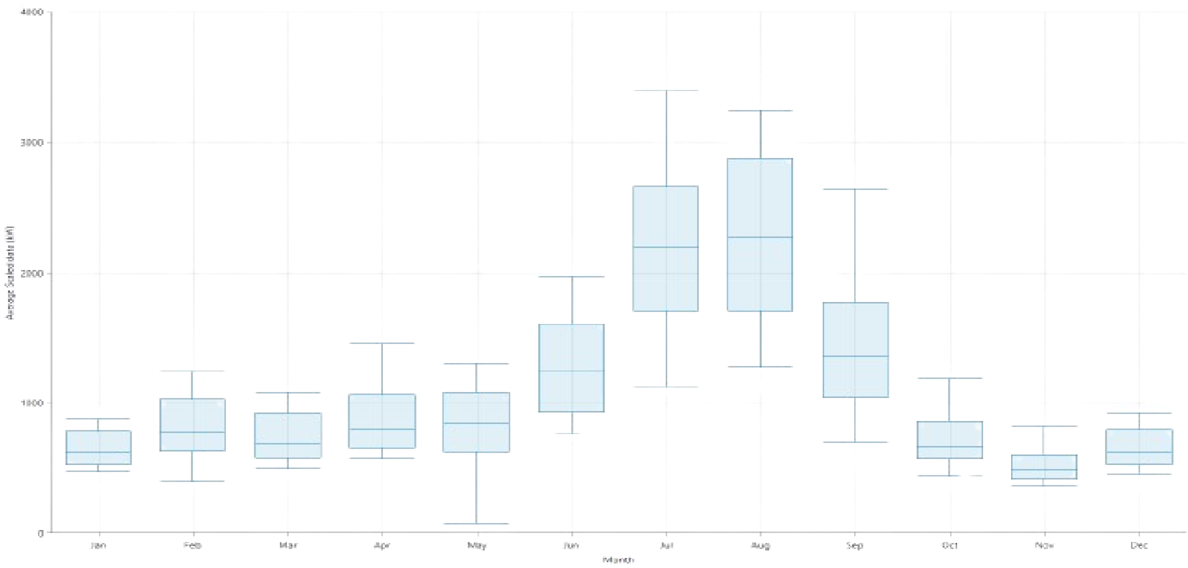
Η παρακάτω ανάλυση παρουσιάζει την καμπύλη φορτίου του νησιού για το έτος 2023, συνοδευόμενη από μια διεξοδική ανάλυση των μέσων, ελάχιστων και μέγιστων τιμών φορτίου για κάθε μήνα του εν' λόγω έτους. Επιπλέον, παρέχονται οι τιμές ζήτησης για κάθε μήνα ξεχωριστά. Οι τιμές αυτές προέκυψαν από τις ημερήσιες αναλύσεις του Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε., οι οποίες πραγματοποιήθηκαν με χρονικό διάστημα 60 λεπτών. Συνεπώς, καταγράφηκαν 8.760 διαφορετικές τιμές για κάθε μέρα, ώρα και μήνα του έτους. Η μέθοδος αυτή συμβάλλει στην εμβάθυνση και ακρίβεια της κατανόησης της συμπεριφοράς του φορτίου, καθώς και των αναγκών εξυπηρέτησης του νησιού κατά τη διάρκεια όλων των ημερών του έτους.



Εικόνα 7-3 Ετήσια χρονολογική καμπύλη φορτίου Σερίφου (2023)



Εικόνα 7-6 Αναλυτική καμπύλη φορτίου για κάθε μήνα του έτους 2023



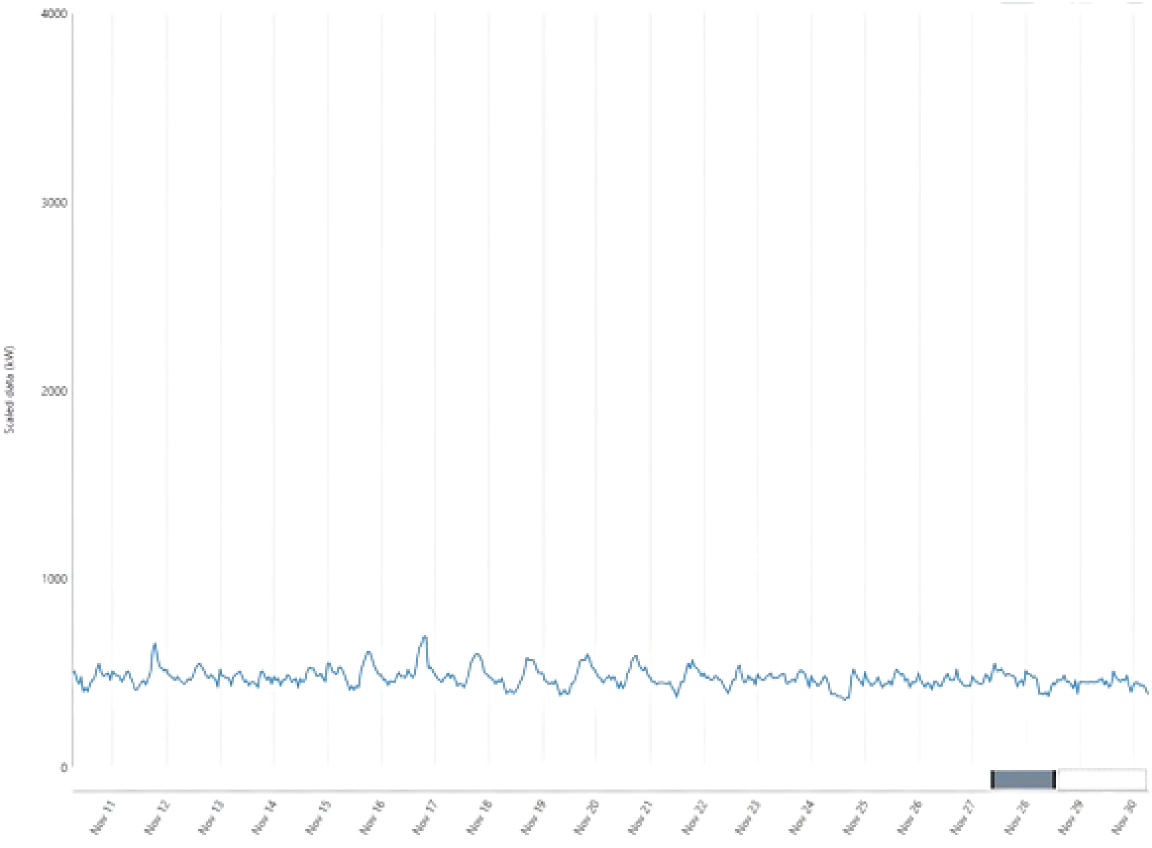
Εικόνα 7-5 Μέσες – Ελάχιστες – Μέγιστες τιμές φορτίου ανα μήνα για το έτος 2023

Το ελάχιστο φορτίο του νησιού προσδιορίζεται στα $P_{\mathrm{minimum}} = 76\mathrm{kW}$ και η αιχμή, δηλαδή το μέγιστο φορτίο προσδιορίζεται στα $P_{\mathrm{maximum}} = 3.398\mathrm{kW}$. Στην Εικόνα 7-6 προσδιορίζεται αυτόματα μέσω του λογισμικού και ο Στην Εικόνα 7-6 προσδιορίζεται αυτόματα μέσω του λογισμικού ο συντελεστής φορτίου $\mathrm{m} = 0{,}31$, καθώς και το μέσω φορτίο $P_{\mathrm{mean}} = 1.052{,}8\ \mathrm{kW}$.

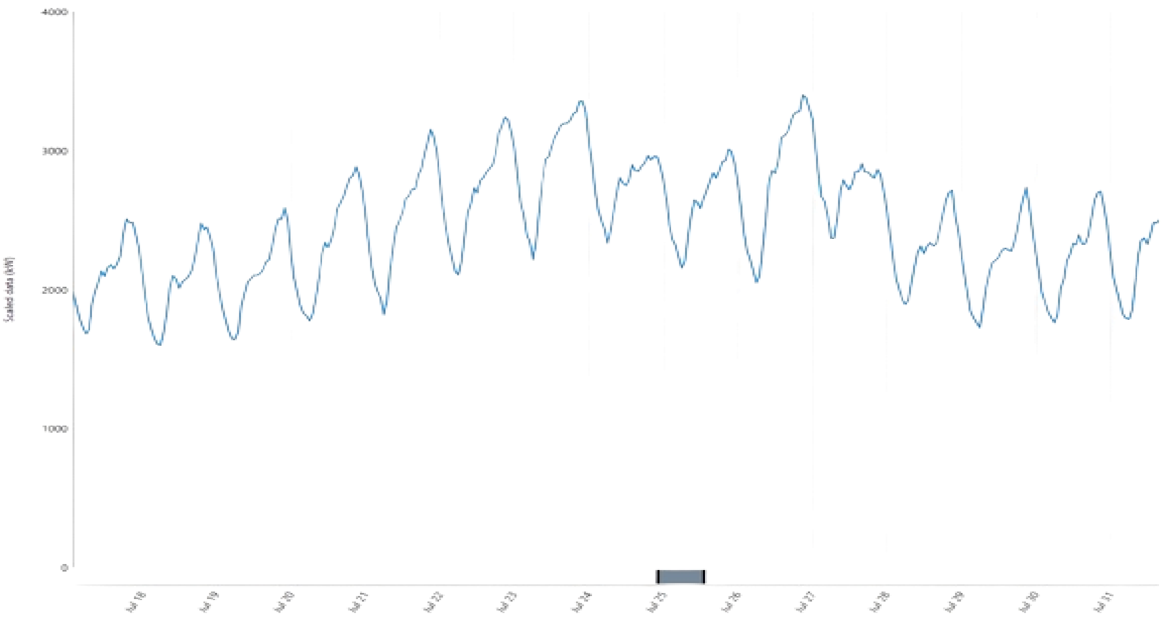
Metric	Baseline	Scaled
Average (kWh/day)	25,268.	25,268.
Average(kW)	1,052.8	1,052.8
Peak (kW)	3,398	3,398
Load factor	.31	.31

Εικόνα 7-4 Συντελεστής φορτίου

Από τις Εικόνα 7-3, Εικόνα 7-5 και Εικόνα 7-6 είναι εύκολο να παρατηρήσουμε πως το φορτίο χαρακτηρίζεται από μεγάλη εποχικότητα, γεγονός πολύ φυσιολογικό, καθώς ένα τέτοιο νησί παρουσιάζει αυξημένη ζήτηση τους καλοκαιρινούς μήνες, λόγω της μεγάλης εισροής τουριστών και την χειμερινή περίοδο η ζήτηση αυτή μειώνεται αισθητά, καθώς κατοικούν κυρίως οι μόνιμοι κάτοικοι.



Εικόνα 7-8 Καμπύλη φορτίου με τις ελάχοστες τιμές σε kW. Παρουσιάζεται τη χειμερινή περίοδο του έτους (11 Νοεμβρίου – 2 Δεκεμβρίου)

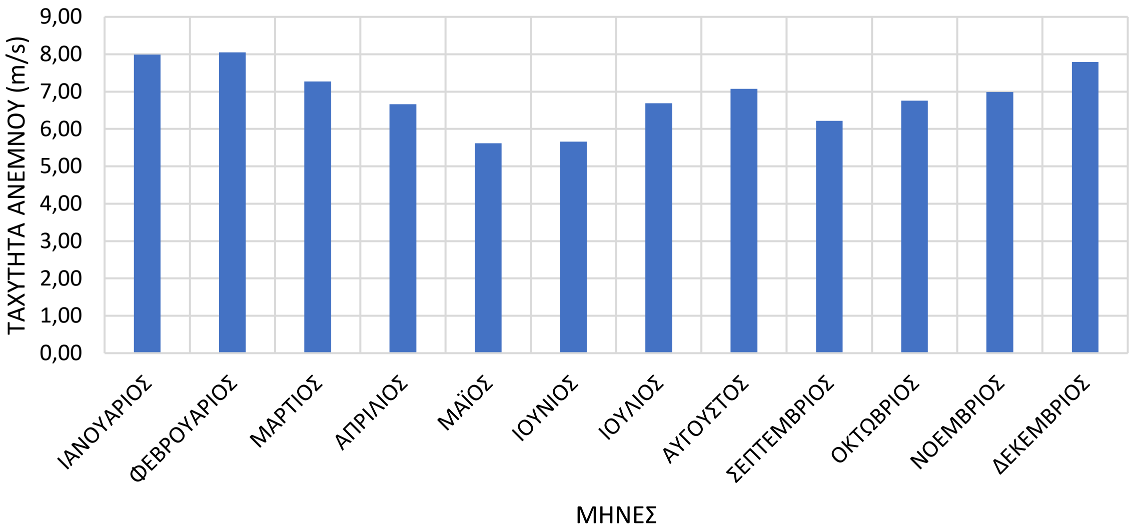


Εικόνα 7-7 Καμπύλη φορτίου με τις μέγιστες τιμές σε kW. Παρουσιάζεται την θερινή περίοδο του έτους (18 Ιουλίου – 2 Αυγούστου)

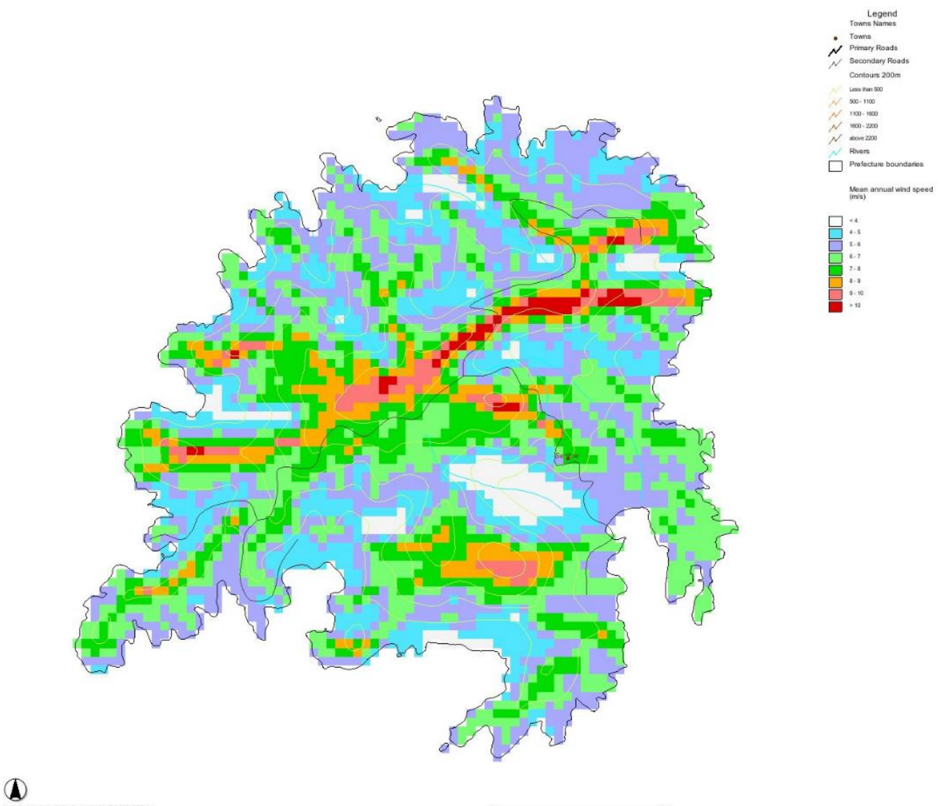
7.2.2 ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ

Για την ανάλυση του αιολικού δυναμικού αντλήθηκαν οι πληροφορίες μέσω του συστήματος “NASA POWER, Data Access Viewer”. Μέσω αυτού, παρουσιάζονται καιρικά και μετεωρολογικά δεδομένα για όλο το έτος για ένα μεγάλο εύρος ετών. Έτσι, ο χρήστης αντλεί ένα μεγάλο όγκο δεδομένων, τα οποία τοποθετούνται στην συνέχεια στο λογισμικό «HOMER» για την ανάλυση των μεγεθών της ανεμογεννήτριας. Το σύστημα “NASA POWER, Data Access Viewer” παρουσιάζει επίσης αιολικά δεδομένα σε πληθώρα υψών τα οποία ορίζονται από τον χρήστη.

Πίνακας 7-2 Ταχύτητα ανέμου συναρτήσει μηνών



Επίσης, πραγματοποιήθηκε επαλήθευση των παραπάνω τιμών και μέσω του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.), όπου στην Εικόνα 7-9 εμφανίζεται και ο χάρτης αιολικού δυναμικού της Σερίφου.

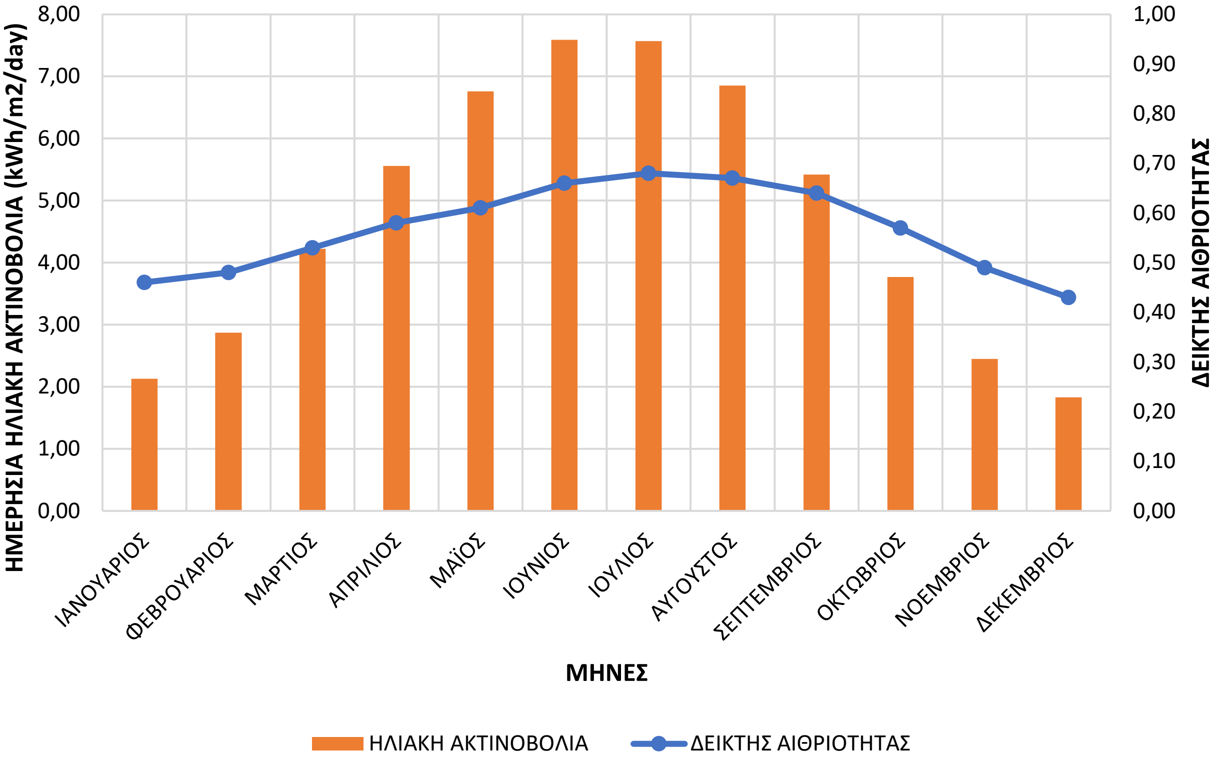


Εικόνα 7-9 Χάρτης αιολικού δυναμικού Σερίφου

7.2.3 ΗΛΙΑΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ

Με τον ίδιο τρόπο αναλύθηκαν και τα δεδομένα του Ηλιακού δυναμικού. Το λογισμικό “HOMER” μας δίνει την δυνατότητα, προσδιορίζοντας τις γεωγραφικές συντεταγμένες του νησιού. Για την εξυπηρέτηση του σκοπού μας, όμως, επιλέχθηκε να συλλεγούν οι πληροφορίες μέσω του συστήματος “NASA POWER, Data Access Viewer”. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας και ο δείκτης αιθριότητας του νησιού.

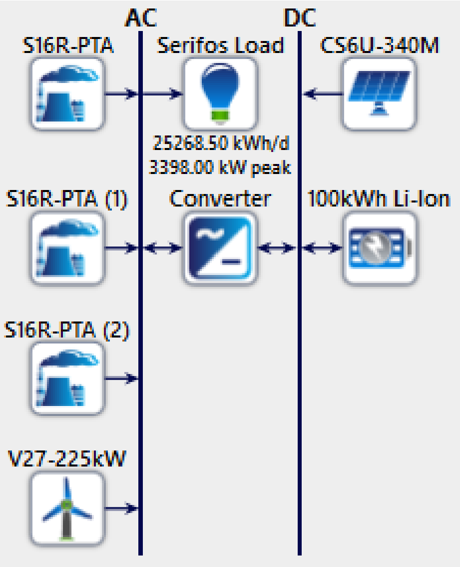
Πίνακας 7-3 Τιμές ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας και δείκτη αιθριότητας



7.3 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ

7.3.1 ΣΕΝΑΡΙΟ 1^{Ο}

Το πρώτο σενάριο έχει αναλυθεί λαμβάνοντας υπόψη τη προδιαγραφή που φαίνεται στο σχηματικό διάγραμμα που παρέχεται παρακάτω.



Εικόνα 7-10 Διάγραμμα 1^{ου} σεναρίου

7.3.1.1 ΤΕΧΝΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 1^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ

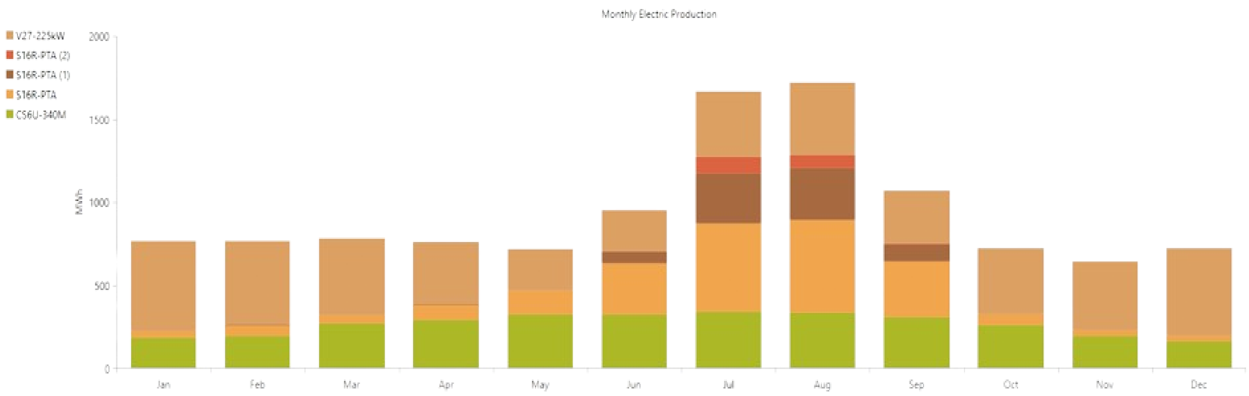
Από το σενάριο αυτό, φαίνεται ότι οι τρεις υπάρχουσες γεννήτριες του νησιού, έχουν χρησιμοποιηθεί μαζί με το σύστημα αιολικής ενέργειας Vestas που ενσωματώνει 10 ανεμογεννήτριες ισχύος 225 kW και ηλιακό φωτοβολταϊκό σύστημα 2 MW. Τα δεδομένα παρέχονται παρακάτω στον πίνακα.

Πίνακας 7-4 Αρχιτεκτονική 1^{ου} σεναρίου

Προδιαγραφές Συστήματος	Όνομα Στοιχείου	Ποσότητα	Μονάδες
Γεννήτρια #1	S16R-PTA	1.100	kW
Γεννήτρια #2	S16R-PTA (1)	1.100	kW
Γεννήτρια #3	S16R-PTA (2)	1.100	kW
Φ/Β	CS6U-340M	2.000	kW
Αποθήκευση	100 kWh Li-Ion	40	χορδές
Ανεμογεννήτρια	V27-225kW	10	εα.
Μετατροπέας Συστήματος	Converter	1.487	kW

Πίνακας 7-5 Καταμερισμός ενέργειας πηγών 1ου σεναρίου

Όνομα στοιχείου	Παραγωγή (kWh/έτος)	Ποσοστό (%)
CS6U-340M	3.192.022	28,3
S16R-PTA	2.249.258	19,9
S16R-PTA (1)	786.417	6,96
S16R-PTA (2)	185.125	1,64
V27-225kW	4.886.002	43,2
Σύνολο	**11.298.825**	**100**



Εικόνα 7-11 Μηνιαίο διάγραμμα κατανομής παραγωγής ενέργειας 1ου σεναρίου

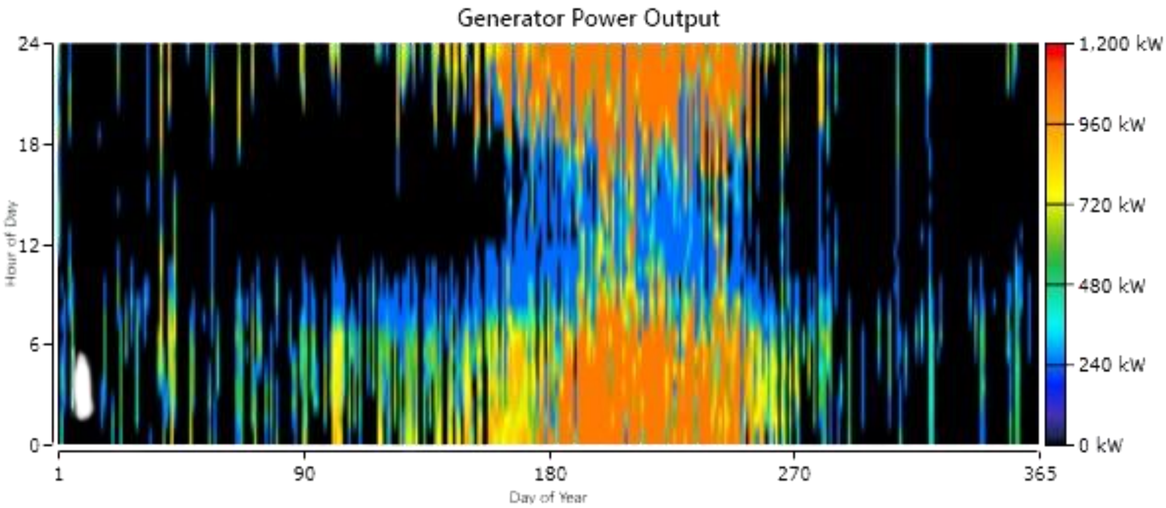
Η περίληψη παραγωγής του συστήματος όπως παρέχεται στον Πίνακα 7-5 δείχνει ότι το ηλιακό φωτοβολταϊκό σύστημα καλύπτει έως και το 28,3% της ενεργειακής ζήτησης των καταναλωτών και ακολουθεί το σύστημα αιολικής ενέργειας Vestas με συνολική παραγωγή ενέργειας 43,2%. Η μικρότερη συνεισφορά έχει γίνει από τις τρεις γεννήτριες.

7.3.1.2 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ 1ΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ

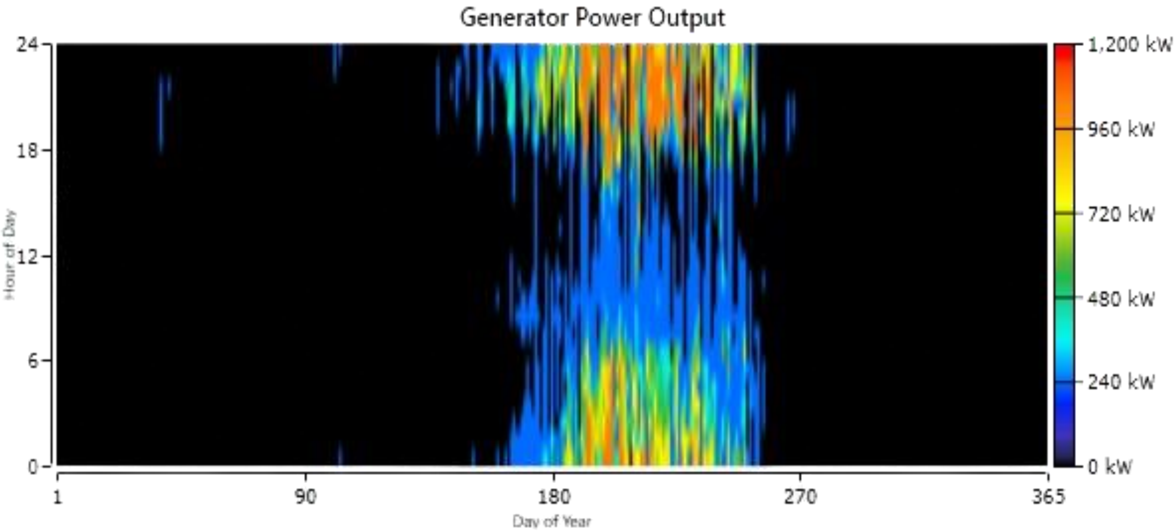
Στη συνέχεια, θα αναλυθεί η μεμονωμένη ηλεκτρική περίληψη κάθε γεννήτριας. Από τον πίνακα που παρέχεται παρακάτω, έχει παρατηρηθεί ότι η μία από τις ώρες λειτουργίας της γεννήτριας S16R-PTA σε ετήσια βάση ήταν 3.570 ώρες σε σύγκριση με γεννήτρια S16R-PTA (1) που ανέρχεται στις 1.635 ώρες και της γεννήτριας S16R-PTA (2) στις 528 ώρες αντίστοιχα.

Πίνακας 7-6 Συμπεριφορά γεννητριών Diesel

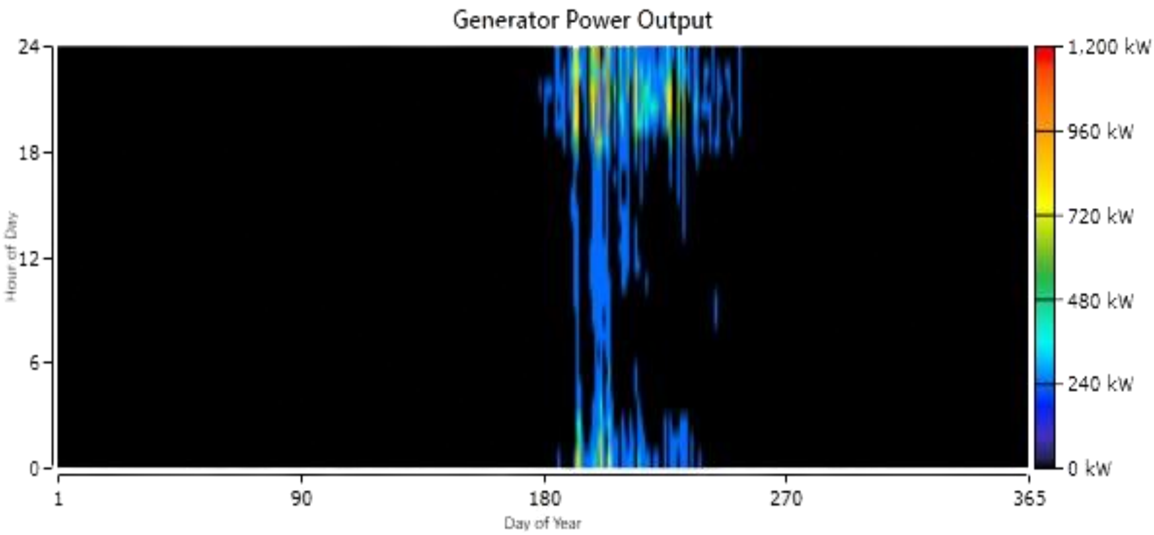
Στοιχεία Μελέτης	Ποσότητα			Μονάδες
	S16R-PTA	**S116R-PTA (1)**	**S116R-PTA (2)**	
Ηλεκτρική Περίληψη				
Ηλεκτρική Παραγωγή	2.249.258	786.417	185.125	kWh/έτος
Μέση Έξοδος	630	481	351	kW
Ελάχιστη Ηλεκτρική Ισχύς	275	275	275	kW
Μέγιστη Ηλεκτρική Ισχύς	1.100	1.100	1.100	kW
Περίληψη Καυσίμων				
Κατανάλωση Καυσίμου	603.797	217.065	53.302	L
Ειδική Κατανάλωση Καυσίμου	0,268	0,276	0,288	L/kWh
Εισαγωγή Ενέργειας Καυσίμου	5.941.363	2.135.918	524.488	kWh/έτος
Μέση Απόδοση (Ηλεκτρική)	37,9	36,8	35,3	%
Στατιστικά Στοιχεία				
Ώρες Λειτουργίας	3.570	1.635	528	ώρες/έτος
Αριθμός Εκκινήσεων	223	117	85	εκκ./έτος
Λειτουργική Ζωή	4,2	9,17	28,4	Έτη
Capacity Factor	23,3	8,16	1,92	%
Σταθερό Κόστος Παραγωγής	61,2	61,2	61,2	€/ώρα
Οριακό Κόστος Παραγωγής	0,420	0,420	0,420	€/kWh



Εικόνα 7-13 Θερμικό διάγραμμα S16R-PTA



Εικόνα 7-14 Θερμικό διάγραμμα S16R-PTA (1)



Εικόνα 7-12 Θερμικό διάγραμμα S16R-PTA (2)

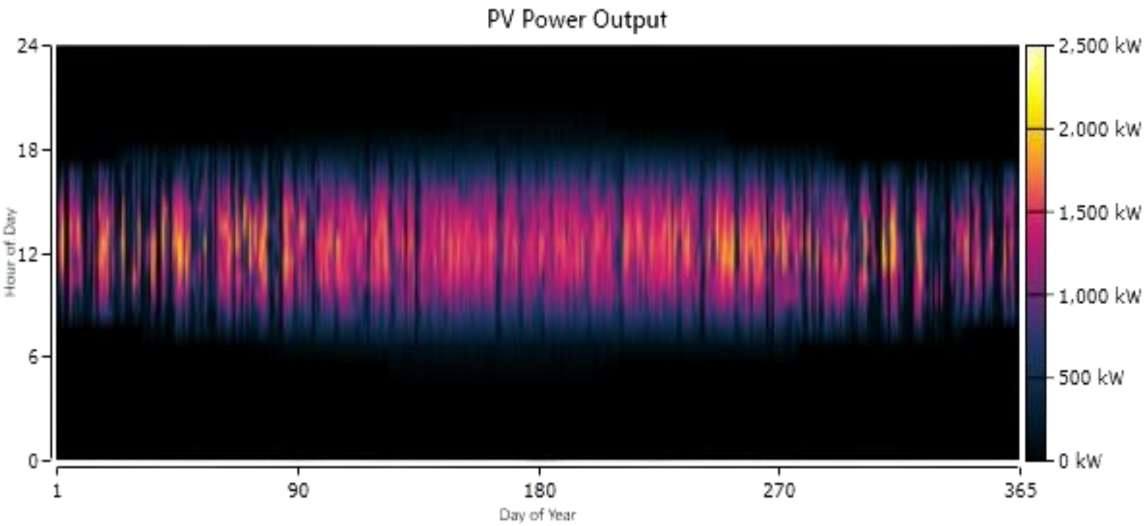
7.3.1.3 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ 1ΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ

Από την παραγωγή φωτοβολταϊκών, παρατηρείται ότι το φωτοβολταϊκό σύστημα έχει λειτουργήσει περισσότερο από το μισό του έτους, ενσωματώνοντας μέγιστη διάρκεια της ημέρας. Το ισοσταθμισμένο κόστος ενέργειας μέσω Φ/Β συστήματος είναι 0,0168€/kWh.

Πίνακας 7-7 Στατιστικά Φ/Β 1ου σεναρίου

Στοιχεία Μελέτης	Ποσότητα	Μονάδες
Ηλεκτρική Περίληψη		
Ελάχιστη Έξοδος	0	kW
Μέγιστη Έξοδος	2.037	kW
Διείσδυση Φ/Β	34,6	%
Ώρες Λειτουργίας	4.385	ώρες/έτος
Ισοσταθμισμένο Κόστος	0,0168	€/kWh
Στατιστικά Στοιχεία		
Ονομαστική Χωρητικότητα	2.000	kW
Μέση Έξοδος	364	kW
Μέση Έξοδος / μέρα	8.745	kWh/μέρα
Capacity Factor	18,2	%
Συνολική Ετήσια Παραγωγή	3.192.022	kWh/έτος

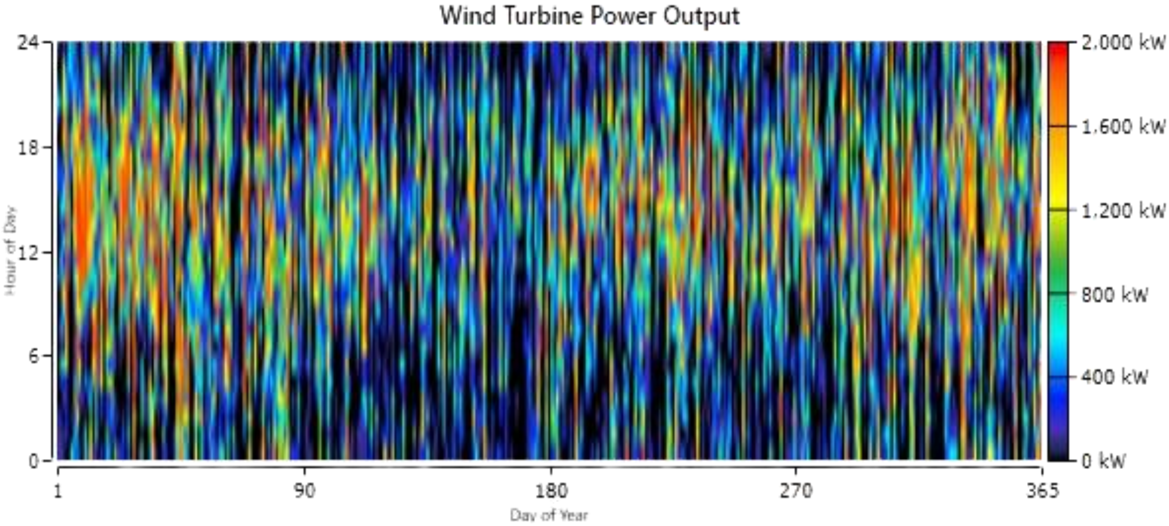
Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει τον θερμικό χάρτη που δείχνει ότι η παραγωγή ενέργειας από το φωτοβολταϊκό σύστημα στα μέσα του έτους είναι μέγιστη και μερικές φορές μειώνεται τον Οκτώβριο, τον Νοέμβριο και τον Φεβρουάριο, γεγονός που οφείλεται σε συννεφιασμένες ή βροχερές περιόδους.



Εικόνα 7-15 Θερμικό διάγραμμα Φ/Β

7.3.1.4 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ 1ΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ

Τα αποτελέσματά του παρέχονται παρακάτω απεικονίζουν το ελάχιστο LCOE 0,0416 €/kWh. Επίσης, η μέγιστη παραγωγή αιολικής ενέργειας έχει επιτευχθεί λόγω της υψηλής διάρκειας διαθεσιμότητας του ανέμου καθιστώντας το σύστημα λειτουργικό για 7.072 ώρες το χρόνο.



Εικόνα 7-16 Θερμικό διάγραμμα Α/Γ

Πίνακας 7-8 Στατιστικά Α/Γ 1ου σεναρίου

Στοιχεία Μελέτης	Ποσότητα	Μονάδες
Ηλεκτρική Περίληψη		
Ελάχιστη Έξοδος	0	kW
Μέγιστη Έξοδος	1.982	kW
Διείσδυση Φ/Β	53,0	%
Ώρες Λειτουργίας	7.072	ώρες/έτος
Ισοσταθμισμένο Κόστος	0,0416	€/kWh
Στατιστικά Στοιχεία		
Ονομαστική Χωρητικότητα	2.250	kW
Μέση Έξοδος	558	kW
Capacity Factor	24,8	%
Συνολική Ετήσια Παραγωγή	4.886.002	kWh/έτος

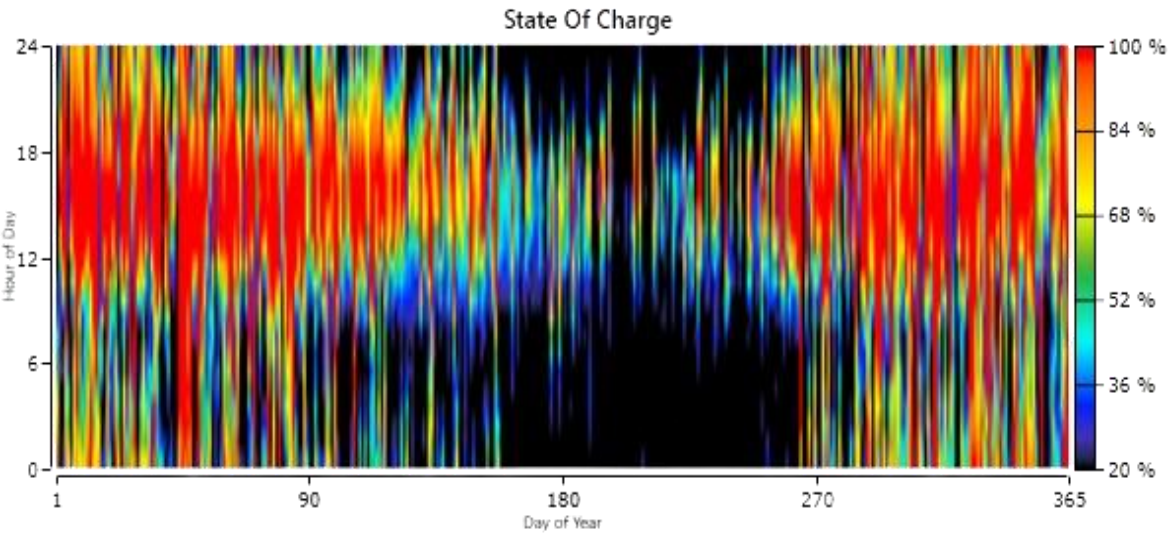
7.3.1.5 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΙΟΝΤΩΝ ΛΙΘΙΟΥ 1ΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ

Οι 80 μπαταρίες των 100 kWh συνέβαλαν επίσης στην αιχμή της ζήτησης ισχύος και συνέβαλαν στη ζήτηση ισχύος του συστήματος. Οι λεπτομέρειες παρέχονται παρακάτω.

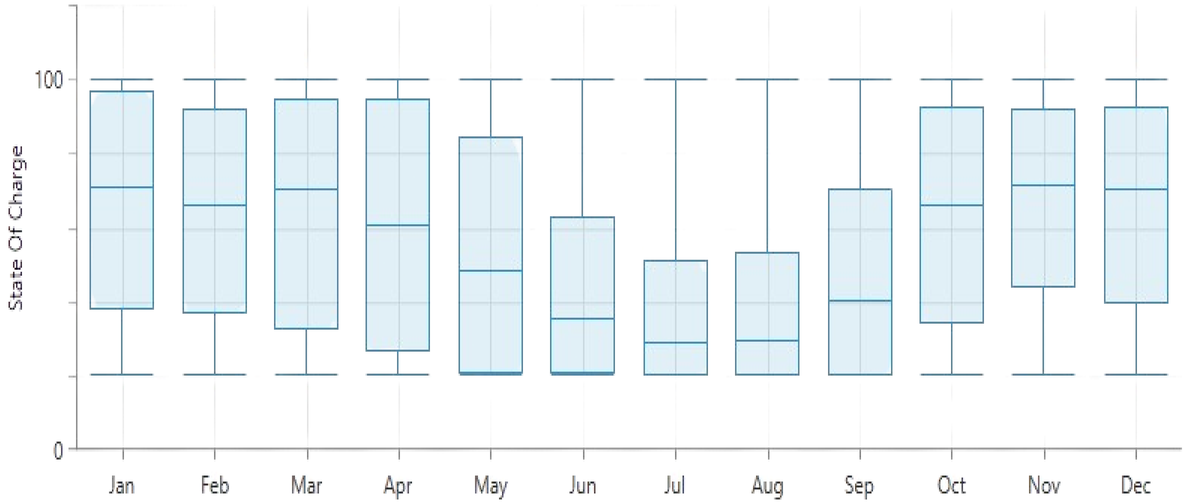
Πίνακας 7-9 Στατιστικά μπαταριών 1ου σεναρίου

Στοιχεία Μελέτης	Ποσότητα	Μονάδες
Ιδιότητες 100 kWh Li-Ion		
Μπαταρίες	80	ποσότητα
Ποσότητα Σειράς	2	μπαταρίες
Παράλληλες Χορδές	40	χορδές
Τάση Διαύλου	1.200	V
Γενικά δεδομένα αποτελεσμάτων 100 kWh Li-Ion		
Μέσο Ενεργειακό Κόστος	0	€/kWh
Εισερχόμενη Ενέργεια	1.530.270	kWh/έτος
Εξερχόμενη Ενέργεια	1.378.128	kWh/έτος
Εξάντληση Αποθήκευσης	933	kWh/έτος
Απώλειες	153.075	kWh/έτος
Ετήσια Απόδοση	1.452.674	kWh/έτος
Στατιστικά Στοιχεία		
Αυτονομία	6,08	ώρες
Κόστος Φθοράς Αποθήκευσης	0,0703	€/kWh
Ονομαστική Χωρητικότητα	8.000	kWh
Χρήσιμη Ονομαστική Χωρητικότητα	6.400	kWh
Διάρκεια Ζωής	21.790.110	kWh
Αναμενόμενη Ζωή	15	έτη

Ο χάρτης θερμότητας της μπαταρίας ιόντων λιθίου, καθώς και η φόρτιση ανάμεσα στους μήνες του έτους, απεικονίζονται στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 7-17 Θερμικό διάγραμμα μπαταριών ιόντων λιθίου

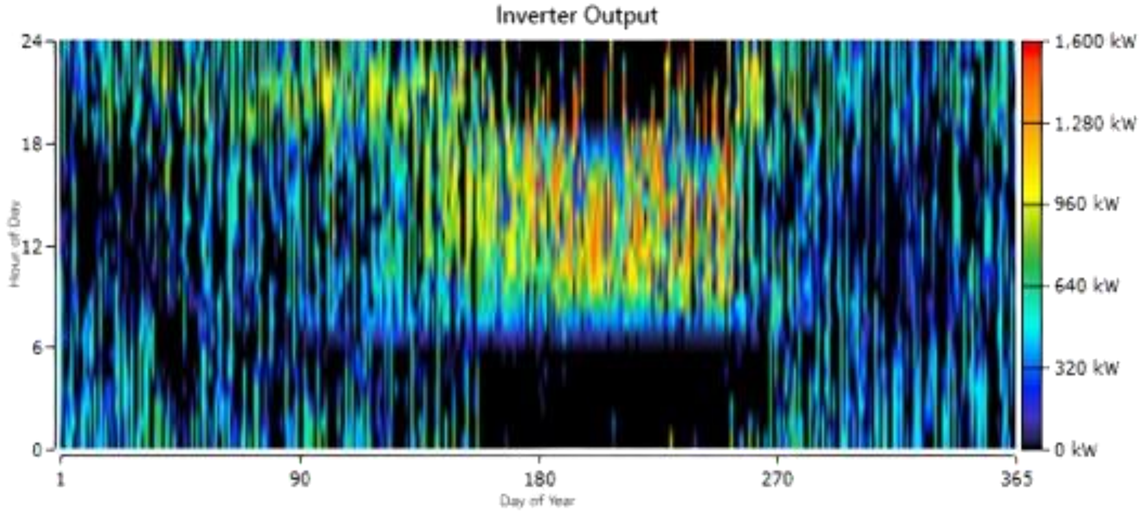


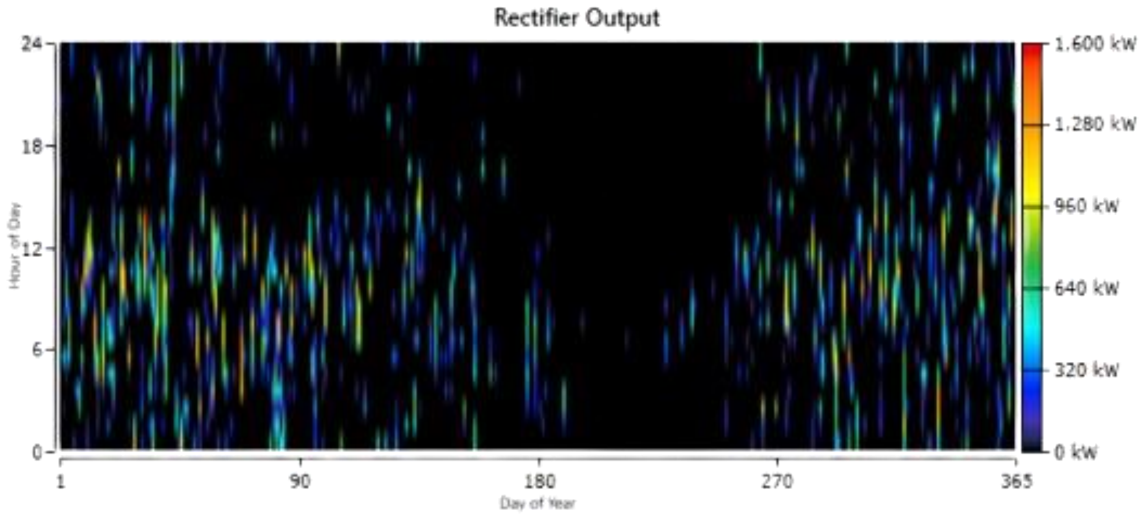
Εικόνα 7-18 Κατάσταση φόρτισης μπαταριών ιόντων λιθίου σε συνάρτηση με τους μήνες

7.3.1.6 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ 1ΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ

Πίνακας 7-10 Στατιστικά μετατροπέα 1ου σεναρίου

Στοιχεία Μελέτης	Ποσότητα	Μονάδες
	Ηλεκτρική Περίληψη	
Εξερχόμενη Ενέργεια	2.586.702	kWh/έτος
Εισερχόμενη Ενέργεια	2.722.845	kWh/έτος
Ώρες Λειτουργίας	5.251	ώρες/έτος
Απώλειες	136.142	kWh/έτος
	Στατιστικά Στοιχεία	
Ονομαστική Χωρητικότητα	1.487	kW
Μέση Έξοδος	295	kW
Capacity Factor	19,9	%
Ελάχιστη Έξοδος	0	kW
Μέγιστη Έξοδος	1.487	kW

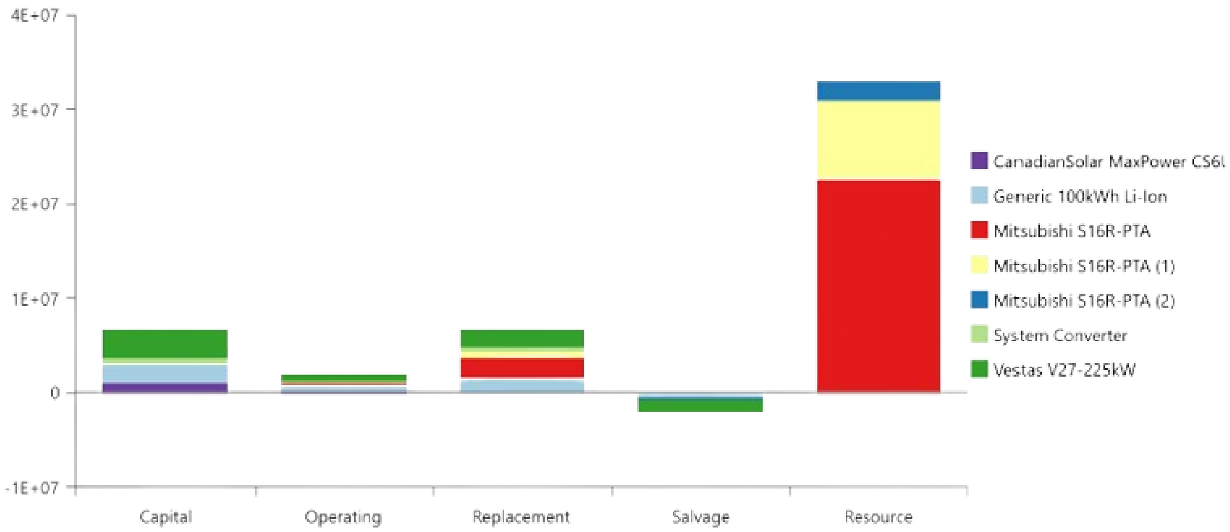




Εικόνα 7-19 Θερμικός χάρτης μετατροπέα

7.3.1.7 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 1^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ

Η περίληψη κόστους του συστήματος παρέχεται στο σχήμα.



Εικόνα 7-20 Περίληψη κόστους εξαρτημάτων 1ου σεναρίου

Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τη χρηματοοικονομική ανάλυση που δείχνει ότι το καθαρό κόστος κεφαλαίου μετά την ολοκλήρωση της διάρκειας ζωής του έργου σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με τα συστήματα μπαταριών και τις ηλιακές μονάδες.

Πίνακας 7-11 Καθαρό παρόν κόστος συστήματος 1ου σεναρίου

Όνομα Στοιχείου	Κεφάλαιο (€)	Αντικατάσταση (€)	Λειτουργικά Κόστοι (€)	Καύσιμο (€)	Εναπομείνουσα Αξία (€)	Σύνολο (€)
CS6U-340M	1.000.000	0,00	174.803,02	0,00	0,00	1.174.803,02
100 kWh Li-Ion	2.000.000	1.365.160,48	437.007,56	0,00	-409.359,56	3.392.808,48
S16R-PTA	0,00	2.104.455,76	214.516,08	22.692.294,70	-18.421,18	24.992.845,36
S16R-PTA (1)	0,00	830.880,20	98.244,76	8.157.871,32	-101.316,49	8.985.679,79
S16R-PTA (2)	0,00	0,00	31.726,75	2.003.214,89	-44.210,83	1.990.730,80
V27-225kW	3.150.000	1.911.863,07	737.450,25	0,00	-1.360.001,19	4.439.312,13
Converter	520.420,83	317.168,73	113.713,95	0,00	-95.106,81	856.196,71
Σύστημα	6.670.420,83	6.529.528,23	1.807.462,38	32.853.380,91	-2.028.416,06	45.832.376,29

Από τον Πίνακα 7-11, μπορεί να παρατηρηθεί ότι το συνολικό κόστος του έργου είναι ≈ 45,8εκατ. ευρώ. Το ποσοστό απόδοσης του έργου είναι 54,7% και η απλή διάρκεια απόσβεσης για το σύστημα είναι 1,76 έτη.

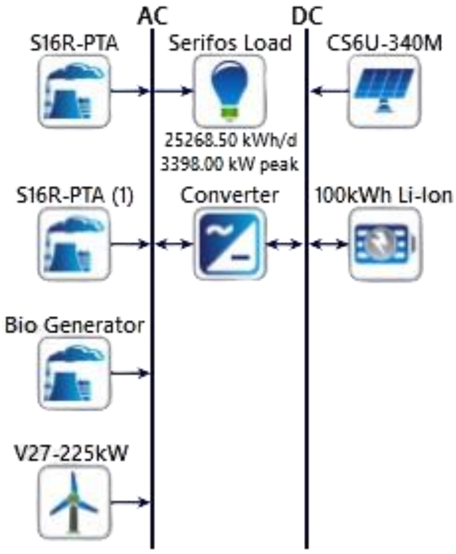
Επίσης, από τον παρακάτω πίνακα, παρατηρείται ότι το συνολικό κόστος επένδυσης του προτεινόμενου συστήματος παρέχει το ισοσταθμισμένο κόστος ενέργειας έως 0,227€, το οποίο είναι συγκριτικά χαμηλό από αυτό του βασικού συστήματος που ενσωματώνει τις γεννήτριες συνολικού κόστους 0,335€. Ο πίνακας παρέχεται παρακάτω για το Σενάριο 1 μαζί με σύγκριση μεταξύ του βασικού συστήματος και του προτεινόμενου συστήματος που παρέχεται στο παρακάτω σχήμα.

Πίνακας 7-12 Σύγκριση μεταξύ βασικής περίπτωσης και συστήματος πρότασης 1ου σεναρίου

Στοιχεία Μελέτης	Σύστημα Βάσης	Προτεινόμενο Σύστημα
Καθαρό Παρόν Κόστος	67,5εκατ €	45,8εκατ. €
CAPEX	4,60εκατ. €	6,67εκατ. €
OPEX	2,88εκατ. €	1,79εκατ. €
LCOE (ανα kWh)	0,335 €	0,227 €
Εκπομπές CO_2 (kg/έτος)	3.789.316	2.292.254
Κατανάλωση Καυσίμου (L/έτος)	1.445.076	874.164

7.3.2 ΣΕΝΑΡΙΟ 2^{Ο}

Το δεύτερο σενάριο έχει αναλυθεί ενώ λαμβάνεται υπόψη η προδιαγραφή που φαίνεται στο σχηματικό διάγραμμα που παρέχεται παρακάτω. Από το σχήμα, μπορεί να παρατηρηθεί ότι η τροποποίηση έχει γίνει με την αντικατάσταση της τρίτης γεννήτριας ντίζελ με διαμόρφωση βιομάζας.



Εικόνα 7-21 Διάγραμμα 2ου σεναρίου

7.3.2.1 ΤΕΧΝΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 2^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ

Στο σενάριο 2, έχουν εγκατασταθεί 10 ανεμογεννήτριες των 225 kW και φωτοβολταϊκά πάνελ συνολικής ισχύος 2.550kW. Υπάρχουν οι δύο εγκατεστημένες γεννήτριες ντίζελ των 1100 kW και μία γεννήτρια βιομάζας 500 kW, η οποία δημιουργήθηκε μέσω μετατροπής της παλαιότερης γεννήτριας ως προς το υλικό καύσης.

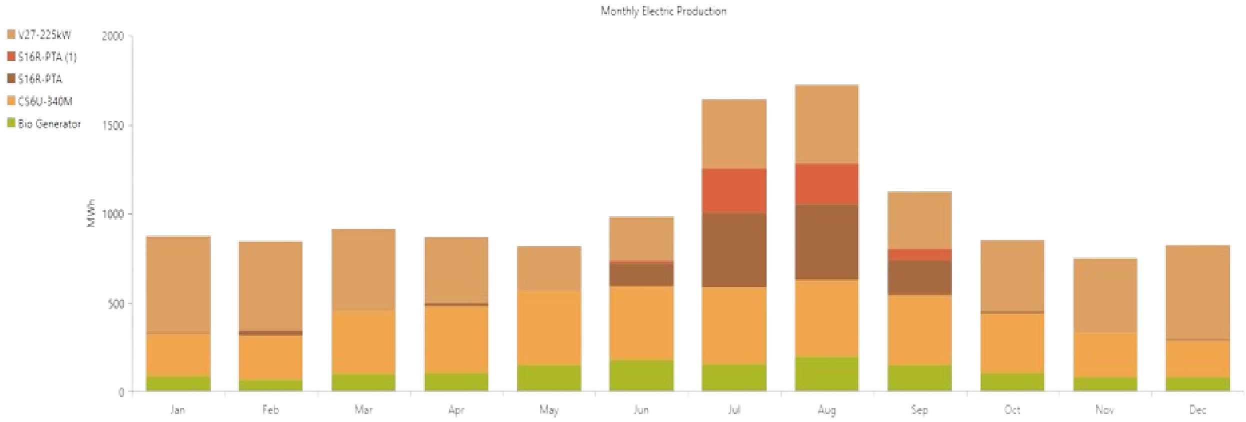
Πίνακας 7-13 Αρχιτεκτονική συστήματος 2ου σεναρίου

Προδιαγραφές Συστήματος	Όνομα Στοιχείου	Ποσότητα	Μονάδες
Γεννήτρια #1	S16R-PTA	1.100	kW
Γεννήτρια #2	S16R-PTA (1)	1.100	kW
Γεννήτρια #3	Bio Generator	500	kW
Φ/Β	CS6U-340M	2.550	kW
Αποθήκευση	100 kWh Li-Ion	41	χορδές
Ανεμογεννήτρια	V27-225kW	10	εα.
Μετατροπέας Συστήματος	Converter	1.780	kW

Πίνακας 7-14 Καταμερισμός ενέργειας πηγών 2ου σεναρίου

Όνομα Στοιχείου	Παραγωγή (kWh/έτος)	Ποσοστό (%)
CS6U-340M	4.070.224	33,3
S16R-PTA	1.242.025	10,2
S16R-PTA (1)	553.116	4,52
Bio Generator	1.483.388	12,1
V27-225kW	4.886.755	39,9
Σύνολο	**12.234.755**	**100**

Η περίληψη παραγωγής του συστήματος όπως παρέχεται στον Πίνακα 7-14 δείχνει ότι το ηλιακό φωτοβολταϊκό σύστημα καλύπτει έως και το 33,3% της ενεργειακής ζήτησης των καταναλωτών και τη μεγαλύτερη συνεισφορά έχει το σύστημα αιολικής ενέργειας Vestas με συνολική παραγωγή ενέργειας 39,9%. Τη μικρότερη συνεισφορά έχουν οι 2 γεννήτριες με συνεισφορά 10,2% και 4,52%. Από την άλλη πλευρά, η γεννήτρια βιομάζας έχει συνεισφέρει έως και 12,1% στην κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης των καταναλωτών.



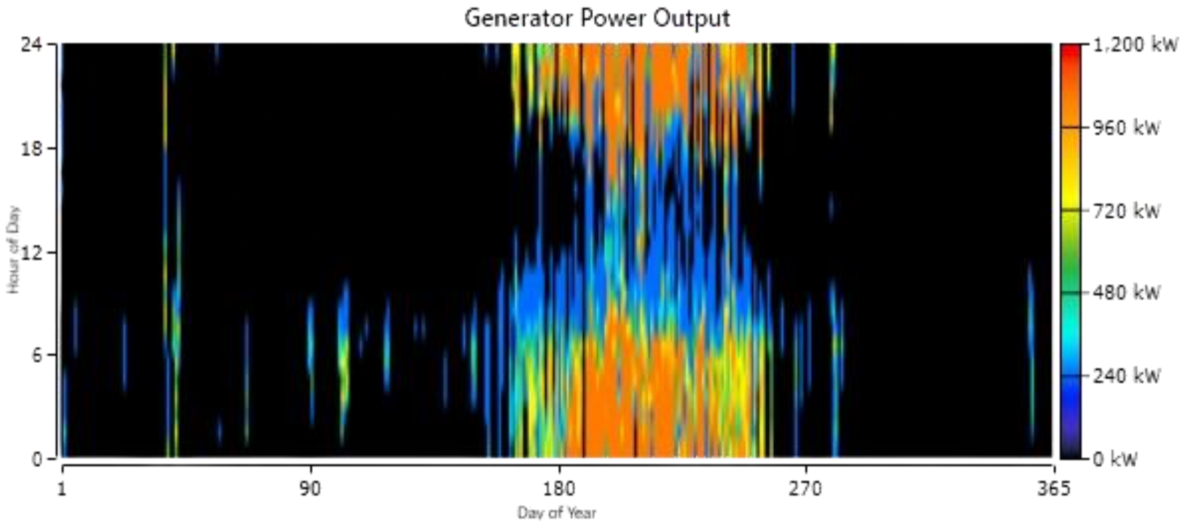
Εικόνα 7-22 Μηνιαίο διάγραμμα κατανομής παραγωγής ενέργειας 2ου σεναρίου

7.3.2.2 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ 2ΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ

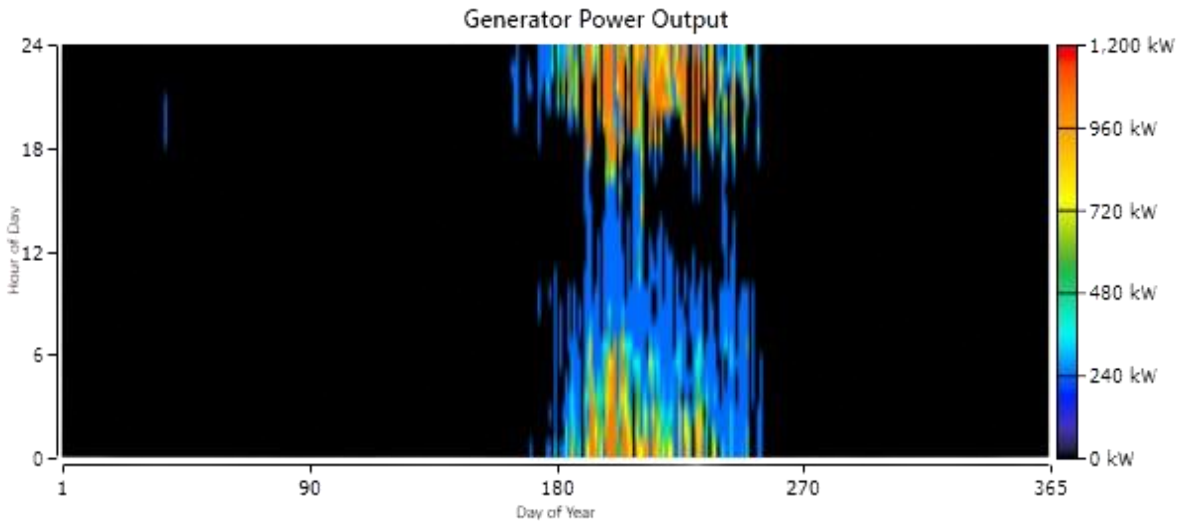
Τώρα, θα αναλυθεί η μεμονωμένη ηλεκτρική περίληψη κάθε γεννήτριας ή στοιχείου του συστήματος. Από τον πίνακα που παρέχεται παρακάτω, παρατηρείται ότι η μία από τις ώρες λειτουργίας της γεννήτριας diesel σε ετήσια βάση ήταν 1.943 ώρες σε σύγκριση με άλλες γεννήτριες σε κατάσταση αναμονής, με διάρκεια λειτουργίας μόλις 1.137 ώρες. Ενώ η τρίτη γεννήτρια βιομάζας είχε διάρκεια 4.006 ώρες στην διάρκεια του ενός έτους.

Πίνακας 7-15 Συμπεριφορά γεννητριών

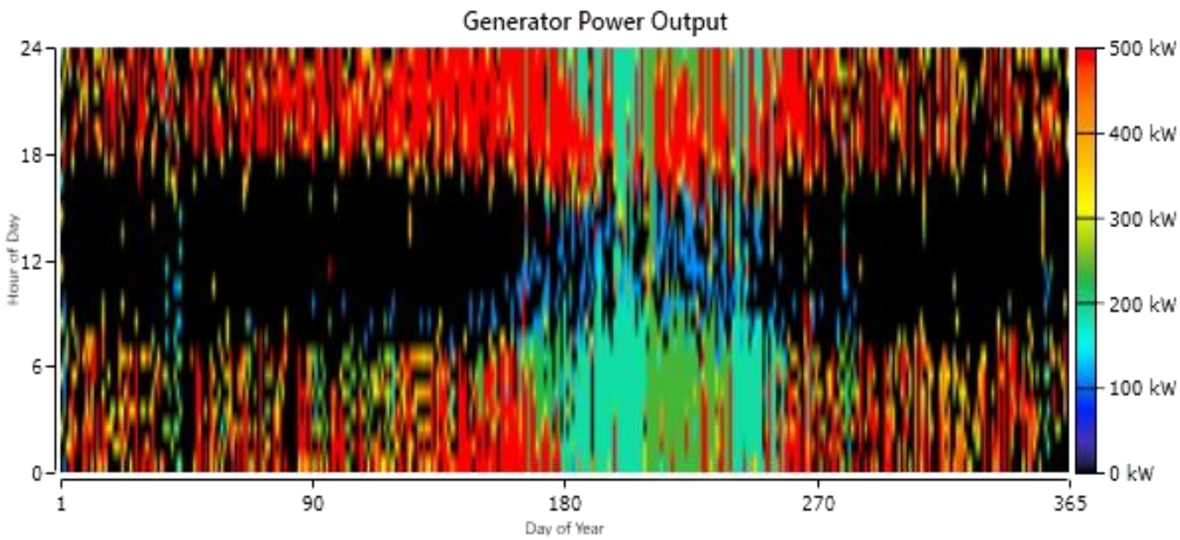
Στοιχεία Μελέτης	Ποσότητα			Μονάδες
	S16R-PTA	S16R-PTA (1)	Bio Generator	
Ηλεκτρική Περίληψη				
Ηλεκτρική Παραγωγή	1.242.025	553.116	1.483.388	kWh/έτος
Μέση Έξοδος	639	486	370	kW
Ελάχιστη Ηλεκτρική Ισχύς	275	275	125	kW
Μέγιστη Ηλεκτρική Ισχύς	1.100	1.100	500	kW
Περίληψη Καυσίμων				
Κατανάλωση Καυσίμου	332.976	152.470	616	L
Ειδική Κατανάλωση Καυσίμου	0,268	0,276	0,291	L/kWh
Εισαγωγή Ενέργειας Καυσίμου	3.276.486	1.500.306	659.054	kWh/έτος
Μέση Απόδοση (Ηλεκτρική)	37,9	36,9	225	%
Στατιστικά Στοιχεία				
Ώρες Λειτουργίας	1.943	1.137	4.006	ώρες/έτος
Αριθμός Εκκινήσεων	120	97	914	εκκ./έτος
Λειτουργική Ζωή	7,72	13,2	6,24	έτη
Capacity Factor	12,9	5,74	33,9	%
Σταθερό Κόστος Παραγωγής	60,6	60,6	19,0	€/ώρα
Οριακό Κόστος Παραγωγής	0,410	0,410	0,00	€/kWh



Εικόνα 7-25 Θερμικό διάγραμμα S16R-PTA



Εικόνα 7-23 Θερμικό διάγραμμα S16R-PTA (1)

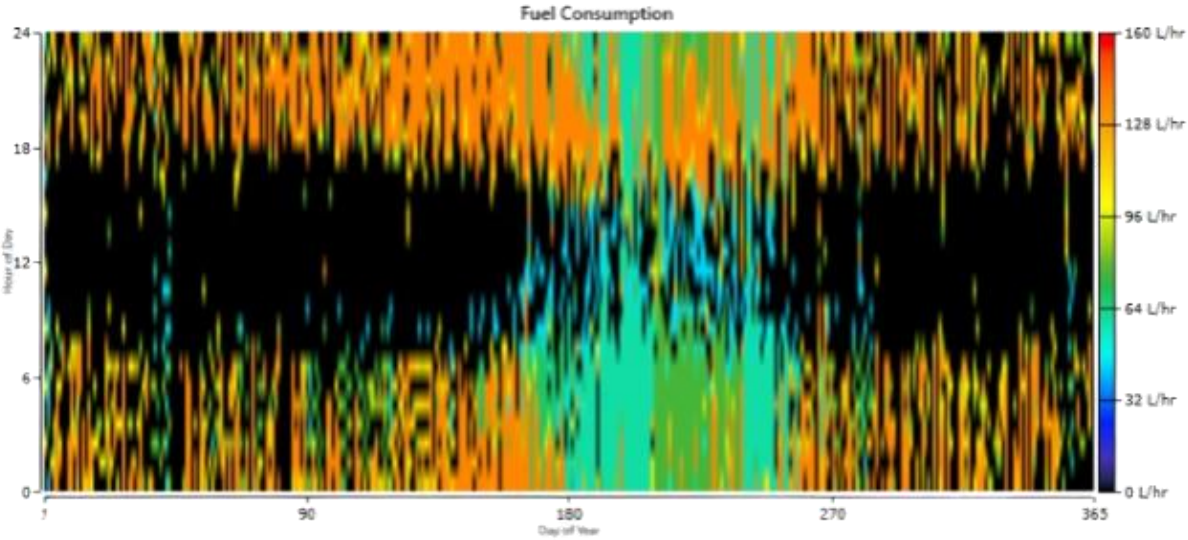


Εικόνα 7-24 Θερμικό διάγραμμα Bio Generator

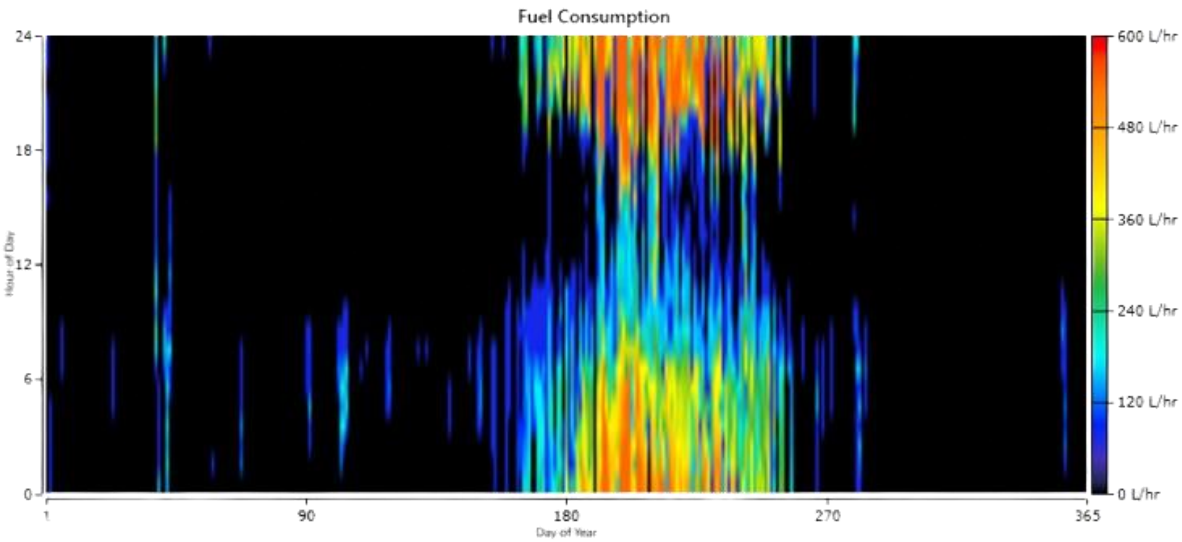
Πίνακας 7-16 Τάσεις κατανάλωσης diesel και βιοκαυσίμων

Στοιχείο	Ποσότητα	Μονάδες
Περίληψη Κατανάλωσης Diesel		
Σύνολο Κατανάλωσης Καυσίμου	485.446	L
Μέσο καύσιμο / μέρα	1.330	L/μέρα
Μέσο καύσιμο / ώρα	55,4	L/ώρα
Περίληψη Κατανάλωσης Βιοαερίου		
Συνολική πρώτη ύλη που καταναλώθηκε	616	τόνους
Μέση πρώτη ύλη / μέρα	1,69	τόνους/μέρα
Μέση πρώτη ύλη / ώρα	0,0703	τόνους/ώρα

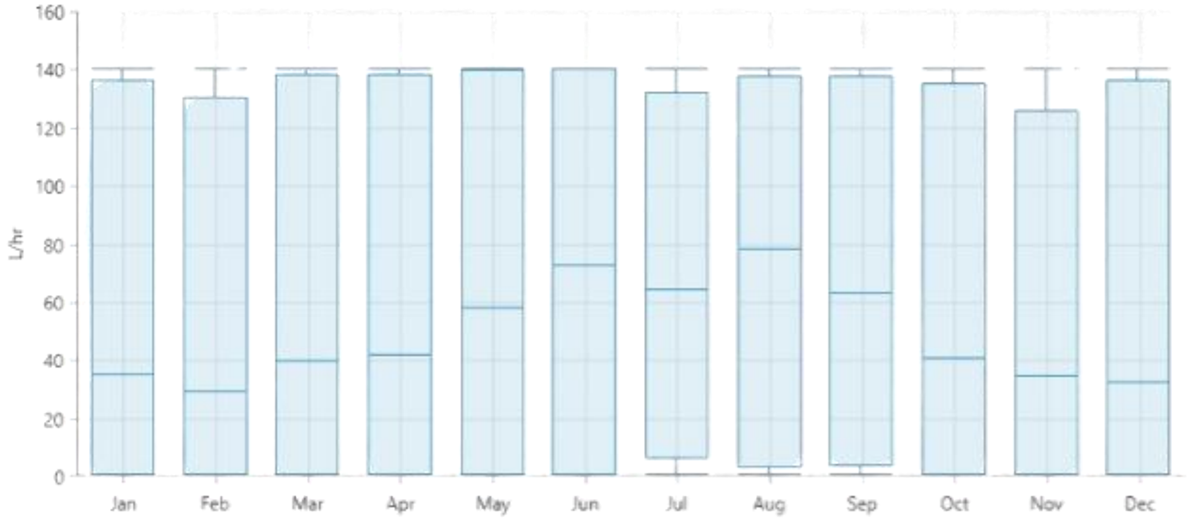
Οι χάρτες θερμότητας και τα μηνιαία διαγράμματα καυσίμων δείχνουν ότι η μεγαλύτερη εξάρτηση είναι από το ντίζελ, παρά από το βιοαέριο σε ετήσια βάση. Η αυξημένη απαίτηση ντίζελ σε L/hr αυξάνεται τους μήνες Ιούνιο έως Σεπτέμβριο. Ενώ στην περίπτωση του βιοαερίου, παρατηρείται ομοιόμορφη κατανομή της ζήτησης σε όλη τη διάρκεια του έτους.



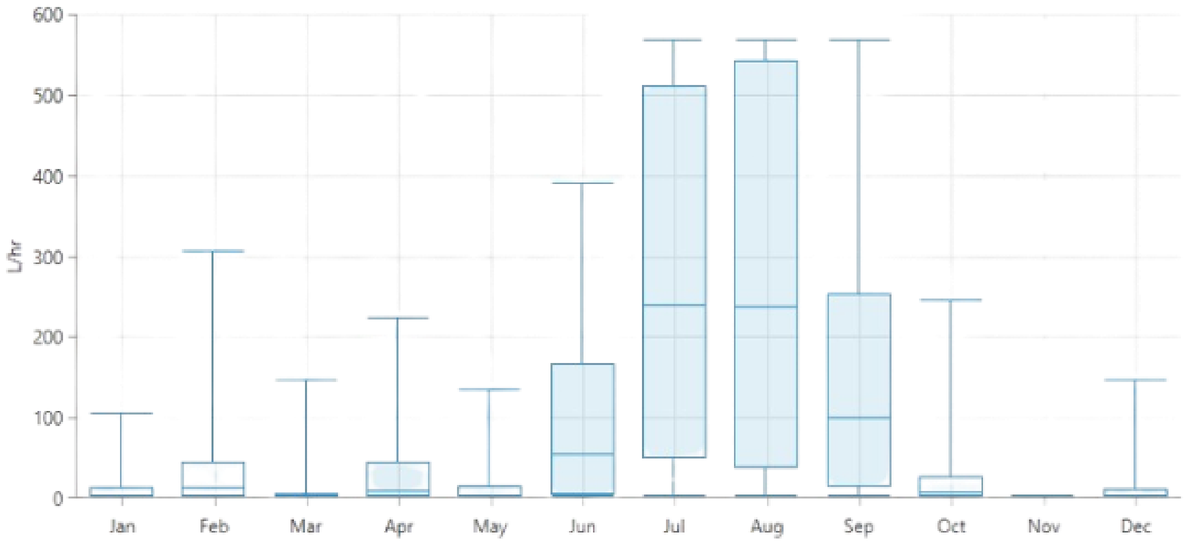
Εικόνα 7-26 Θερμικό διάγραμμα κατανάλωσης βιοκαυσίμου ενός έτους



Εικόνα 7-27 Θερμικό διάγραμμα κατανάλωσης diesel ενός έτους



Εικόνα 7-28 Κατάσταση κατανάλωσης βιοκαυσίμου (L/hr) σε συνάρτηση με τους μήνες



Εικόνα 7-29 Κατάσταση κατανάλωσης diesel (L/hr) σε συνάρτηση με τους μήνες

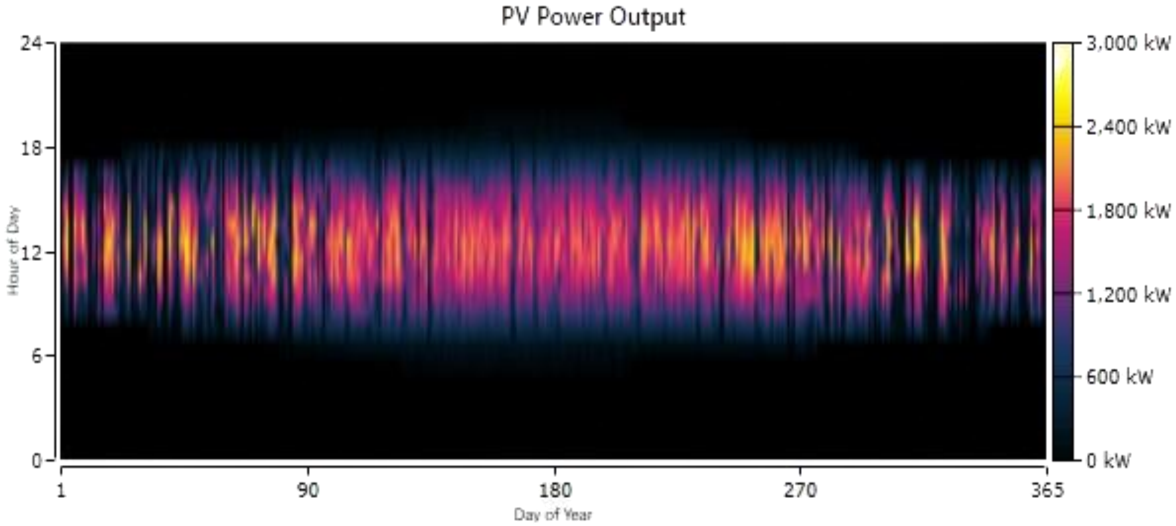
7.3.2.3 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ 2ΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ

Από την παραγωγή φωτοβολταϊκών όπως παρέχεται στον παρακάτω πίνακα, παρατηρείται ότι το φωτοβολταϊκό σύστημα έχει λειτουργήσει σχεδόν το μισό του έτους (όπως ακριβώς στο Σενάριο 1) ενσωματώνοντας τη μέγιστη διάρκεια της ημέρας. Το ισοσταθμισμένο κόστος ενέργειας μέσω Φ/Β συστήματος στο Σενάριο 2 είναι 0,0168€/kWh.

Πίνακας 7-17 Στατιστικά Φ/Β 2ου σεναρίου

Στοιχεία Μελέτης	Ποσότητα	Μονάδες
Ηλεκτρική Περίληψη		
Ελάχιστη Έξοδος	0	kW
Μέγιστη Έξοδος	2.602	kW
Διείσδυση Φ/Β	44,1	%
Ώρες Λειτουργίας	4.385	ώρες/έτος
Ισοσταθμισμένο Κόστος	0,0168	€/kWh
Στατιστικά Στοιχεία		
Ονομαστική Χωρητικότητα	2.550	kW
Μέση Έξοδος	465	kW
Μέση Έξοδος / μέρα	11.151	kWh/d
Capacity Factor	18,2	%
Συνολική Ετήσια Παραγωγή	4.070.224	kWh/έτος

Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει τον χάρτη θερμότητας που δείχνει ότι η παραγωγή ενέργειας στα μέσα του έτους είναι μέγιστη και μερικές φορές μειώνεται τον Οκτώβριο, τον Νοέμβριο και τον Φεβρουάριο, κάτι που μπορεί να οφείλεται σε συννεφιασμένες ή βροχερές περιόδους όπως και στην προηγούμενη περίπτωση από την τάση της ηλιακής ακτινοβολίας για την τοποθεσία είναι ίδια.



Εικόνα 7-30 Θερμικό διάγραμμα Φ/Β

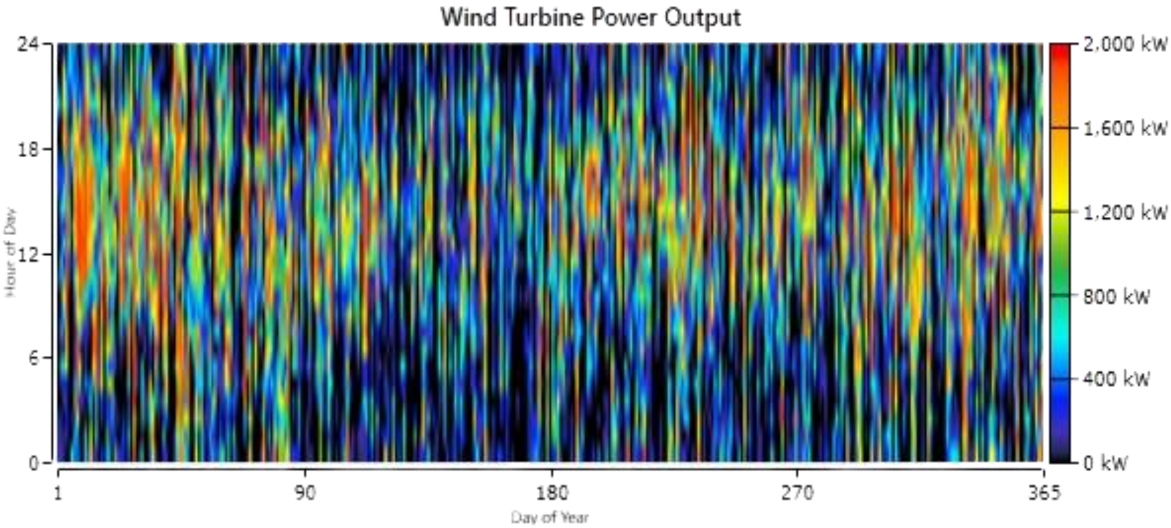
7.3.2.4 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ 2ΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ

Τα αποτελέσματά του παρέχονται παρακάτω παρουσιάζουν ένα ελάχιστο LCOE 0,0416 €/kWh, το οποίο είναι ίδιο με του 1ου σεναρίου.

Πίνακας 7-18 Στατιστικά Α/Γ 2ου σεναρίου

Στοιχεία Μελέτης	Ποσότητα	Μονάδες
Ηλεκτρική Περίληψη		
Ελάχιστη Έξοδος	0	kW
Μέγιστη Έξοδος	1.982	kW
Διείσδυση Ανέμου	53,0	%
Ώρες Λειτουργίας	7.072	ώρες/έτος
Ισοσταθμισμένο Κόστος	0,0416	€/kWh
Στατιστικά Στοιχεία		
Ονομαστική Χωρητικότητα	2.250	kW
Μέση Έξοδος	558	kW
Capacity Factor	24,8	%
Συνολική Ετήσια Παραγωγή	4.886.002	kWh/έτος

Ο χάρτης θερμότητας φαίνεται στο παρακάτω σχήμα



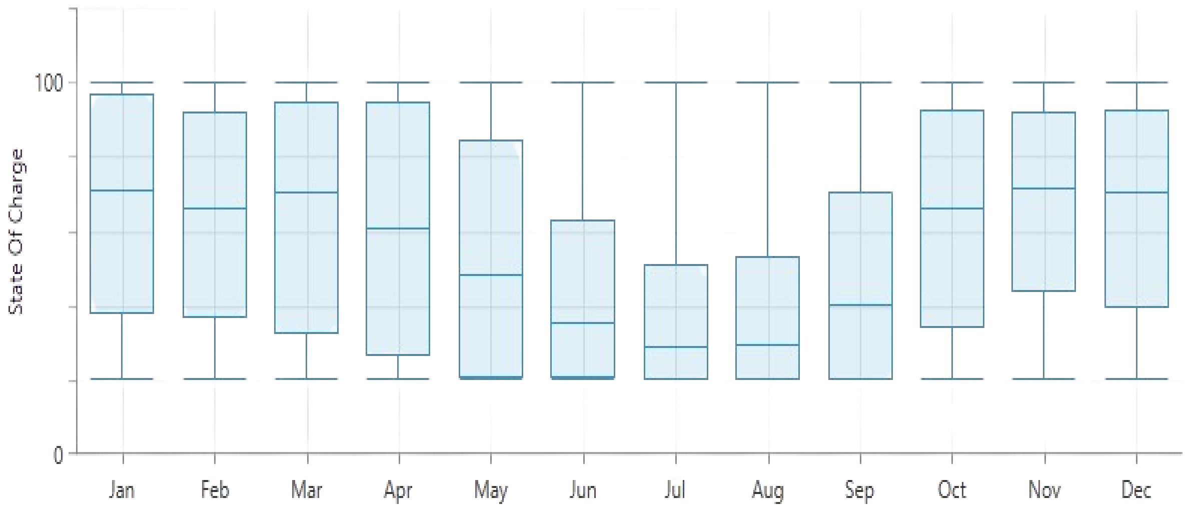
Εικόνα 7-31 Θερμικός χάρτης Α/Γ

7.3.2.5 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΙΟΝΤΩΝ ΛΙΘΙΟΥ 2ΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ

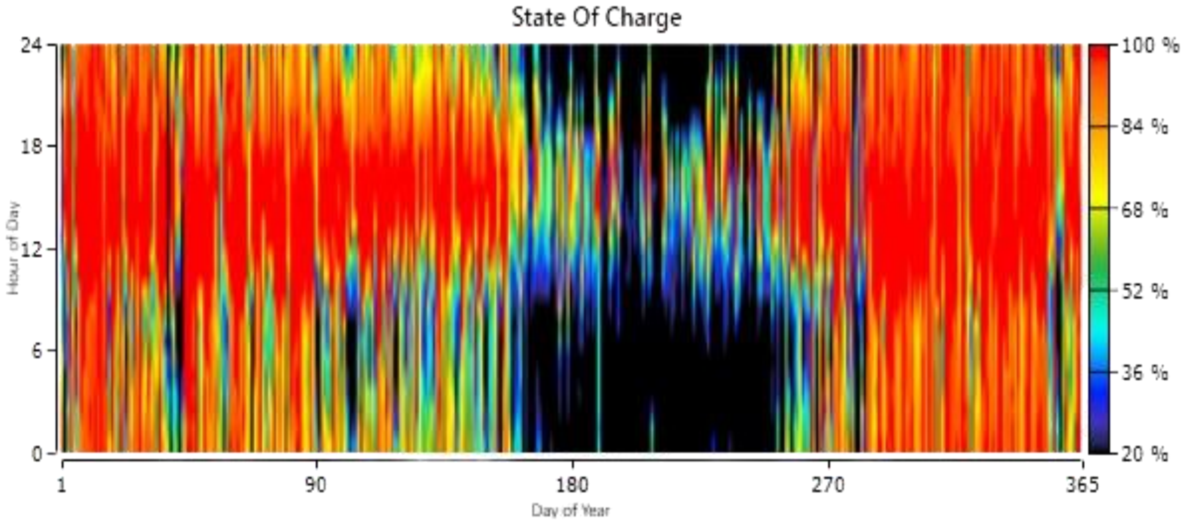
Συνολικά 82 μπαταρίες συνέβαλαν επίσης στην αιχμή της ζήτησης ισχύος και συνέβαλαν στη ζήτηση ισχύος του συστήματος. Το σενάριο δείχνει υψηλή εξάρτηση του συστήματος από την τις μπαταρίες τους τελευταίους μήνες του έτους, κάτι που θα απεικονιστεί και στο παρακάτω σχήμα μέσω του χάρτη θερμότητας. Οι λεπτομέρειες παρέχονται παρακάτω.

Πίνακας 7-19 Στατιστικά μπαταριών 2ου σεναρίου

Στοιχεία Μελέτης	Ποσότητα	Μονάδες
Ιδιότητες Generic 100kWh Li-Ion		
Μπαταρίες	82	ποσότητα
Ποσότητα Σειράς	2	μπαταρίες
Παράλληλες Χορδές	41	χορδές
Τάση Διαύλου	1200	V
Γενικά Δεδομένα Αποτελεσμάτων Generic 100kWh Li-Ion		
Μέσο Ενεργειακό Κόστος	0,00	€/kWh
Εισερχόμενη Ενέργεια	1.093.064	kWh/έτος
Εξερχόμενη Ενέργεια	983.757	kWh/έτος
Εξάντληση Αποθήκευσης	0	kWh/έτος
Απώλειες	109.306	kWh/έτος
Ετήσια Απόδοση	1.036.971	kWh/έτος
Στατιστικά Στοιχεία		
Αυτονομία	6,23	ώρες
Κόστος Φθοράς Αποθήκευσης	0,0703	€/kWh
Ονομαστική Χωρητικότητα	8.200	kWh
Χρήσιμη Ονομαστική Χωρητικότητα	6.560	kWh
Διάρκεια Ζωής	15.554.572	kWh
Αναμενόμενη Ζωή	15	έτη



Εικόνα 7-32 Κατάσταση φόρτισης μπαταριών ιόντων λιθίου σε συνάρτηση με τους μήνες

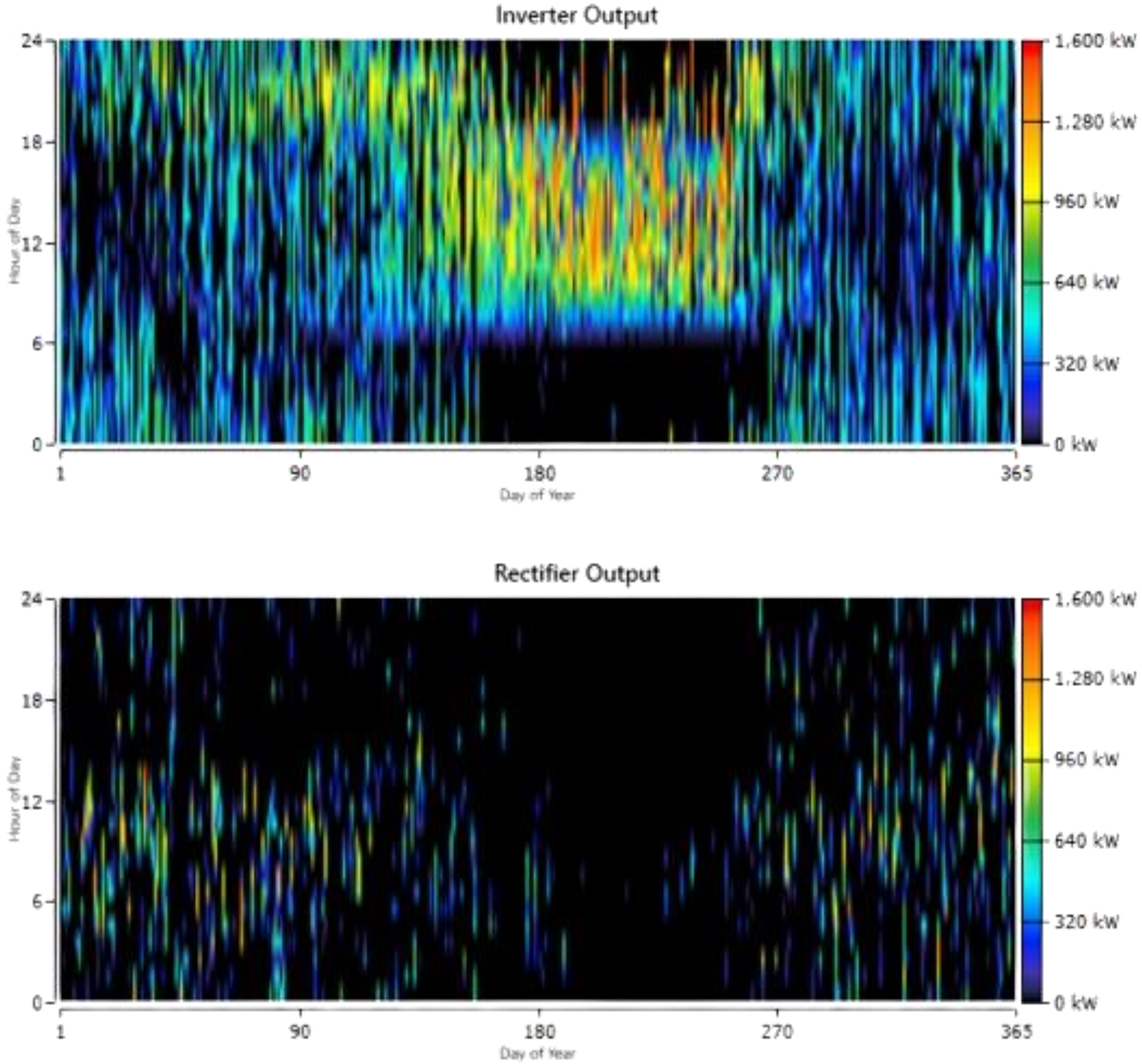


Εικόνα 7-33 Θερμικό διάγραμμα μπαταριών ιόντων λιθίου

7.3.2.6 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ 2^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ

Πίνακας 7-20 Στατιστικά μετατροπέα 2^{ου} σεναρίου

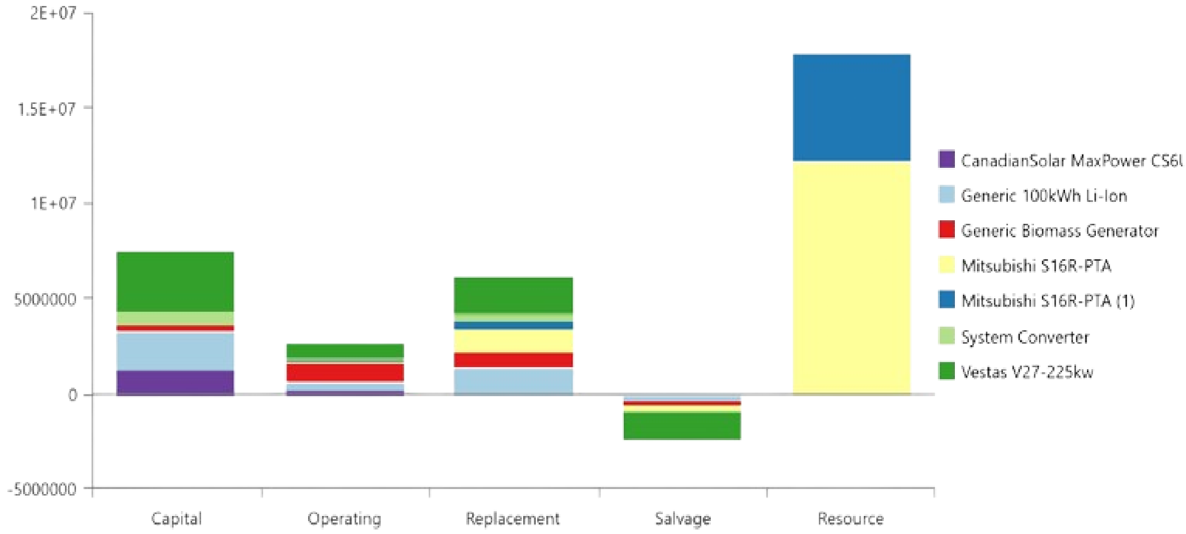
Στοιχεία Μελέτης	**Ποσότητα**	**Μονάδες**
	Ηλεκτρική Περίληψη	
Εξερχόμενη Ενέργεια	2.461.502	kWh/έτος
Εισερχόμενη Ενέργεια	2.591.055	kWh/έτος
Ώρες Λειτουργίας	5.358	ώρες/έτος
Απώλειες	129.553	kWh/έτος
	Στατιστικά Στοιχεία	
Ονομαστική Χωρητικότητα	1.780	kW
Μέση Έξοδος	281	kW
Capacity Factor	15,8	%
Ελάχιστη Έξοδος	0	kW
Μέγιστη Έξοδος	1.780	kW



Εικόνα 7-34 Θερμικός χάρτης μετατροπέα

7.3.2.7 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 2ΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ

Η περίληψη κόστους των στοιχείων στο Σενάριο 2 παρέχεται στο σχήμα



Εικόνα 7-35 Περίληψη κόστους εξαρτημάτων 2ου σεναρίου

Ο Πίνακας 7-21 δείχνει τη χρηματοοικονομική ανάλυση που δείχνει ότι το καθαρό κόστος κεφαλαίου μετά την ολοκλήρωση της διάρκειας ζωής του έργου σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με τα συστήματα μπαταριών και τις ηλιακές μονάδες.

Πίνακας 7-21 Καθαρό παρόν κόστος συστήματος 2ου σεναρίου

Όνομα Στοιχείου	Κεφάλαιο (€)	Αντικατάσταση (€)	Λειτουργικά Κόστοι (€)	Καύσιμο (€)	Εναπομείνουσα Αξία (€)	Σύνολο (€)
CS6U-340M	1.275.000	0,00	222.873,85	0,00	0,00	1.497.873,85
100 kWh Li-Ion	2.050.000	1.399.289,49	447.932,74	0,00	-419.593,55	3.477.628,69
Bio Generator	260.000	765.111,06	875.326,13	0,00	-171.662,37	1.728.774,82
S16R-PTA	0,00	1.225.658,58	116.752,03	12.223.103,52	-280.615,98	13.284.898,16
S16R-PTA (1)	0,00	417.456,54	68.320,67	5.596.969,90	-38.684,48	6.044.062,63
V27-225kW	3.150.000	1.911.863,07	737.450,25	0,00	-1.360.001,19	4.439.312,13
Converter	623.060,99	379.722,42	136.141,18	0,00	-113.864,27	1.025.060,33
Σύστημα	7.358.060,99	6.099.101,16	2.604.796,87	17.820.073,42	-2.384.421,84	31.497.610,60

Από τον πίνακα 7-21, μπορεί να παρατηρηθεί ότι το συνολικό κόστος κεφαλαίου του συστήματος είναι ≈ 7,36εκατ. € και πως το σύνολο του έργου είναι ≈ 31,5εκατ. €. Το Εσωτερικό Ποσοστό Απόδοσης του Σεναρίου 2 είναι 44,8% και η απλή διάρκεια απόσβεσης για το σύστημα είναι 2,3 χρόνια.

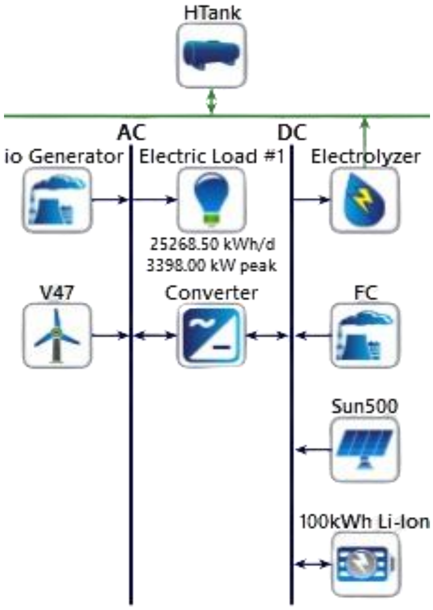
Από τον παρακάτω πίνακα, παρατηρείται ότι το συνολικό κόστος επένδυσης του προτεινόμενου συστήματος παρέχει το ισοσταθμισμένο κόστος ενέργειας έως 0,157 €/kWh, το οποίο είναι πολύ μικρότερο από το Σενάριο 1 με LCOE 0,227 €/kWh. Ο πίνακας παρέχεται παρακάτω για το σενάριο 2 μαζί με σύγκριση μεταξύ βασικού συστήματος και προτεινόμενου συστήματος.

Πίνακας 7-22 Σύγκριση μεταξύ βασικής περίπτωσης και συστήματος πρότασης 2ου σεναρίου

Στοιχεία Μελέτης	Σύστημα Βάσης	Προτεινόμενο Σύστημα
Καθαρό Παρόν Κόστος	56,9εκατ. €	31,5εκατ. €
CAPEX	4,45εκατ. €	7,36εκατ. €
OPEX	2,40εκατ. €	1,10εκατ. €
LCOE (ανα kWh)	0,283 €	0,157 €
Εκπομπές CO_2 (kg/έτος)	3.299.694	1.273.045
Κατανάλωση Καυσίμου (L/έτος)	1.258.937	486.063

7.3.3 ΣΕΝΑΡΙΟ 3ο

Η παραλλαγή έχει πραγματοποιηθεί στο τρίτο σενάριο.



Εικόνα 7-36 Διάγραμμα 3ου σεναρίου

Στο τρίτο σενάριο έγινε προσθήκη γεννήτριας κυψελών καυσίμου. Για το λόγο αυτό, είναι απαραίτητη η προσθήκη του ηλεκτρολυτικού διασπαστή και της δεξαμενής υδρογόνου. Ο ηλεκτρολυτικός διασπαστής χρησιμοποιεί ηλεκτρική ενέργεια για να διασπάσει το νερό ($\mathrm{H_2O}$) σε υδρογόνο ($\mathrm{H_2}$) και οξυγόνο ($\mathrm{O_2}$). Το παραγόμενο υδρογόνο στη συνέχεια συλλέγεται και αποθηκεύεται στη δεξαμενή υδρογόνου για μετέπειτα χρήση στην κυψέλη καυσίμου.

Η γεννήτρια κυψέλης καυσίμου χρησιμεύει κυρίως για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης, αποτελεί το κυριότερο μέρος ενός συστήματος που τροφοδοτεί ηλεκτρική ενέργεια σε ηλεκτροκίνητα οχήματα με καύσιμο το υδρογόνο. Επομένως, η τοποθέτησή της αποτελεί ένα βήμα προς το μέλλον για το νησί.

7.3.3.1 ΤΕΧΝΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 3ΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ

Η διαμόρφωση περιλαμβάνει δυο γεννήτριες που χρησιμοποιούν διαφορετικά καύσιμα. Η πρώτη γεννήτρια χρησιμοποιεί υδρογόνο ως καύσιμο και η δεύτερη γεννήτρια θα χρησιμοποιεί βιοαέριο ως καύσιμο. Ενώ, η ισχύς της ηλιακής φωτοβολταϊκής εγκατάστασης ανήλθε στα 5.000 MW. Το συνολικό μέγεθος χορδής των μπαταριών που χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη του συστήματος είναι 120. Τέλος, ο ηλεκτρολυτικός διασπαστής και η δεξαμενή υδρογόνου είναι 1000 kW και 500 kg αντίστοιχα, τιμές που δύναται να αυξηθούν μελλοντικά.

Για το συγκεκριμένο σενάριο, επίσης, έχουν επιλεγεί διαφορετικά μοντέλα φωτοβολταϊκών πάνελ και αιολικών, μεγαλύτερης ισχύος, καθώς το συγκεκριμένο σενάριο έχει ως στόχο να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες του νησιού αποκλειστικά με χρήση εναλλακτικών πηγών ενέργειας, χωρίς τη βοήθεια γεννητριών ντίζελ καύσεως.

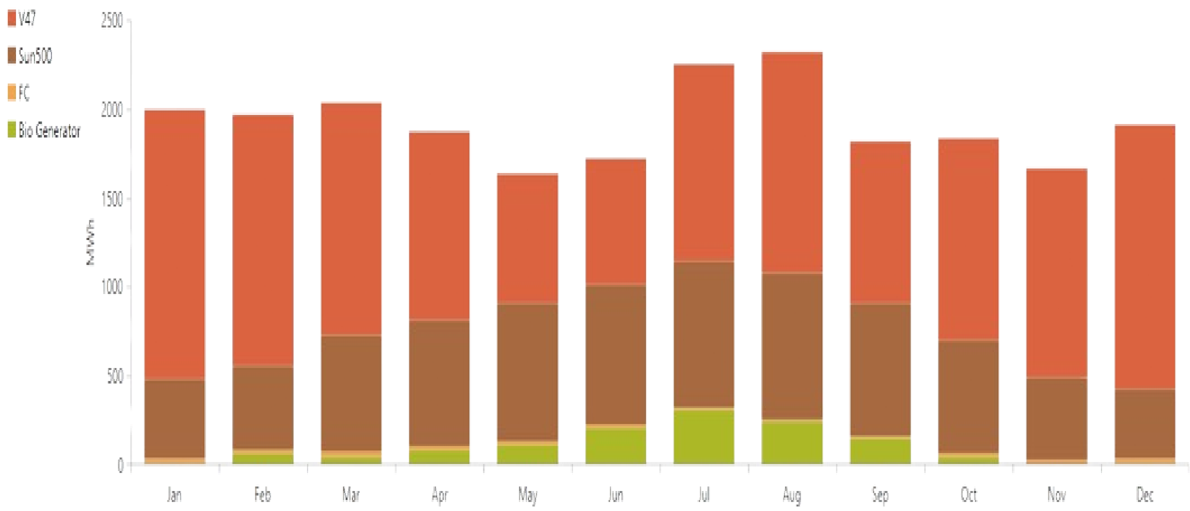
Πίνακας 7-23 Αρχιτεκτονική συστήματος 3ου σεναρίου

Προδιαγραφές Συστήματος	Όνομα Στοιχείου	Ποσότητα	Μονάδες
Γεννήτρια #1	Bio Generator	1.000	kW
Γεννήτρια #2	FC	1.000	kW
Φ/Β	500SNPM-GxB-500	5.000	kW
Αποθήκευση	100 kWh Li-Ion	120	χορδές
Ανεμογεννήτρια	V47	8	εα.
Μετατροπέας Συστήματος	Converter	3.133	kW
Ηλεκτρολυτικός Διασπαστής	Electrolyzer	1.000	kW
Δεξαμενή Υδρογόνου	HTank	500	kg

Πίνακας 7-24 Καταμερισμός ενέργειας πηγών 3ου σεναρίου

Όνομα Στοιχείου	Παραγωγή (kWh/έτος)	Ποσοστό (%)
500SNPM-GxB-500	7.739.060	33,6
Bio Generator	1.294.271	5,61
FC	241.579	1,05
V47	13.784.101	59,8
Σύνολο	**23.059.010**	**100**

Η περίληψη παραγωγής ενέργειας του συστήματος όπως παρέχεται στον Πίνακα 7-24 δείχνει ότι το ηλιακό φωτοβολταϊκό σύστημα καλύπτει έως και το 33,6% της ενεργειακής ζήτησης των καταναλωτών και η μεγαλύτερη συμβολή έχει γίνει από το σύστημα αιολικής ενέργειας Vestas με συνολική παραγωγή ενέργειας 59,8%. Η μικρότερη συνεισφορά έχει γίνει από τις 2 γεννήτριες με συνεισφορά 5,61% και 1,05% αντίστοιχα.



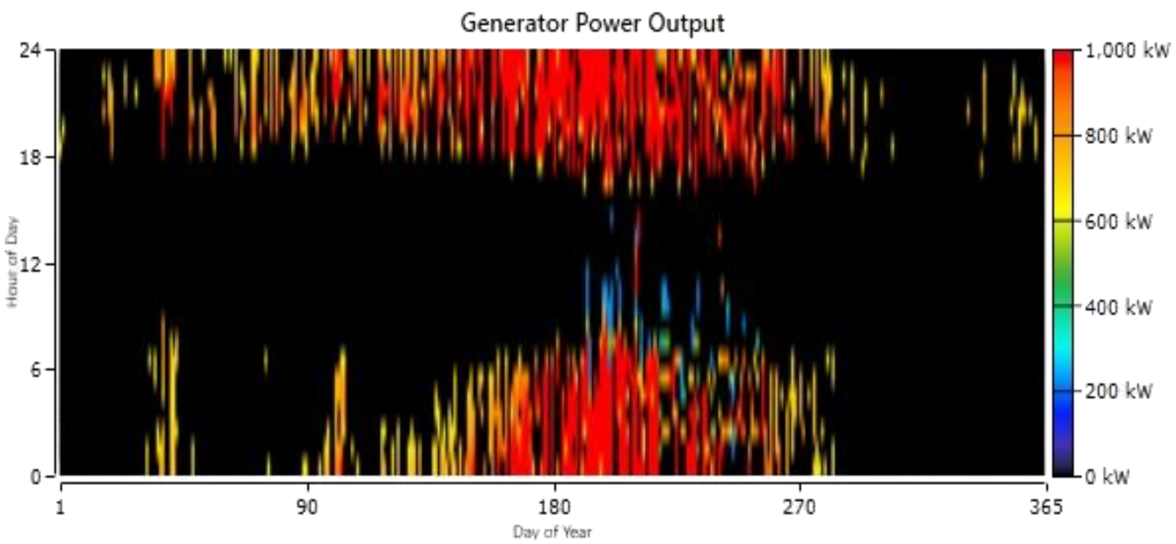
Εικόνα 7-37 Μηνιαίο διάγραμμα κατανομής παραγωγής ενέργειας 3ου σεναρίου

7.3.3.2 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ 3ΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ

Η ετήσια παραγωγή της γεννήτριας βιοκαυσίμου είναι 1.294.271 kWh/έτος και για τη κυψέλη καυσίμου 241.579 kWh/έτος.

Πίνακας 7-25 Συμπεριφορά γεννητριών

Στοιχεία Μελέτης	Ποσότητα		Μονάδες
	Bio Generator	**FC**	
Ηλεκτρική Περίληψη			
Ηλεκτρική Παραγωγή	1.294.271	241.579	kWh/έτος
Μέση Έξοδος	884	251	kW
Ελάχιστη Ηλεκτρική Ισχύς	250	250	kW
Μέγιστη Ηλεκτρική Ισχύς	1.000	332	kW
Περίληψη Καυσίμων			
Κατανάλωση Καυσίμου	526 (*tn/έτος*)	88.027 (kg)	–
Ειδική Κατανάλωση Καυσίμου	0,285 (kg/kWh)	0,364 (kg/kWh)	–
Εισαγωγή Ενέργειας Καυσίμου	562.898	2.934.250	kWh/έτος
Μέση Απόδοση (Ηλεκτρική)	230	8,23	%
Στατιστικά Στοιχεία			
Ώρες Λειτουργίας	1.464	961	ώρες/έτος
Αριθμός Εκκινήσεων	398	960	εκκ./έτος
Λειτουργική Ζωή	10,2	15,6	έτη
Capacity Factor	14,8	2,76	%
Σταθερό Κόστος Παραγωγής	50,0	143	€/ώρα
Οριακό Κόστος Παραγωγής	0	0	€/kWh



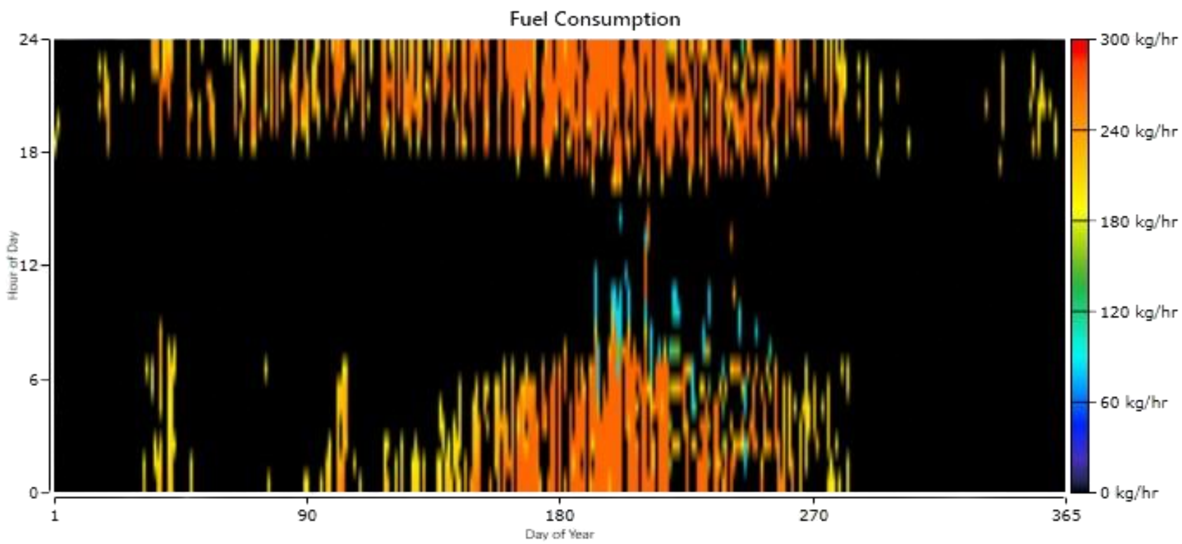
Εικόνα 7-38 Θερμικό διάγραμμα Bio Generator

Εικόνα 7-39 Θερμικό διάγραμμα FC

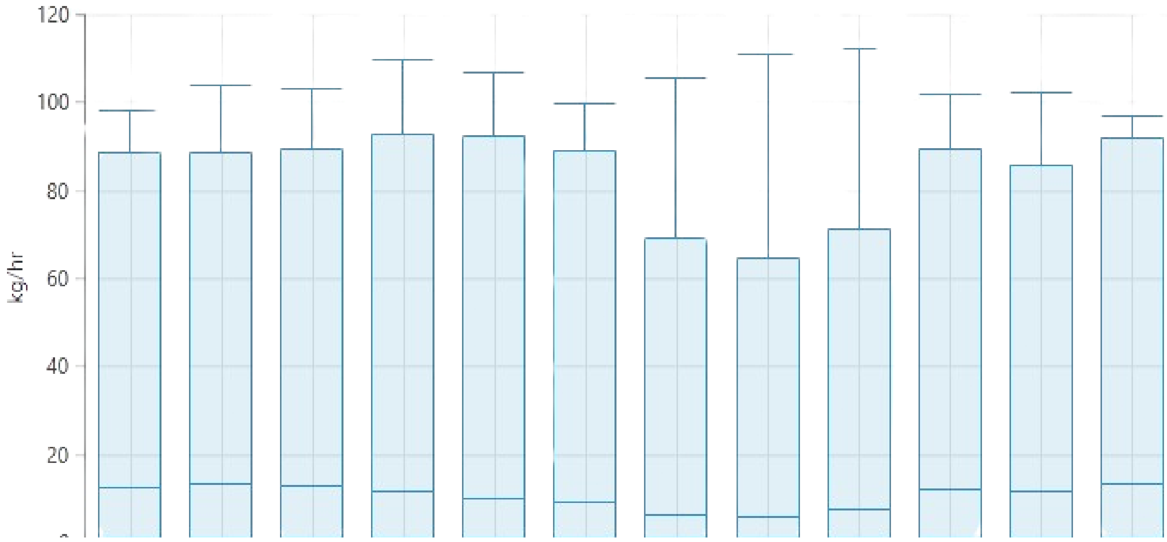
Πίνακας 7-26 Τάσεις κατανάλωσης βιοκαυσίμου και υδρογόνου

Στοιχεία	**Ποσότητα**	**Μονάδες**
Στατιστικά Κατανάλωσης Βιοαερίου		
Συνολική πρώτη ύλη που καταναλώθηκε	526	τόνους
Μέση πρώτη ύλη / ημέρα	1,44	τόνους/μέρα
Μέση πρώτη ύλη / ώρα	0,0601	τόνους/ώρα
Στατιστικά Κατανάλωσης Υδρογόνου		
Σύνολο Κατανάλωσης Καυσίμου	88.027	kg
Μέσο Καύσιμο / μέρα	241	kg/μέρα
Μέσο Καύσιμο / ώρα	10	kg/ώρα

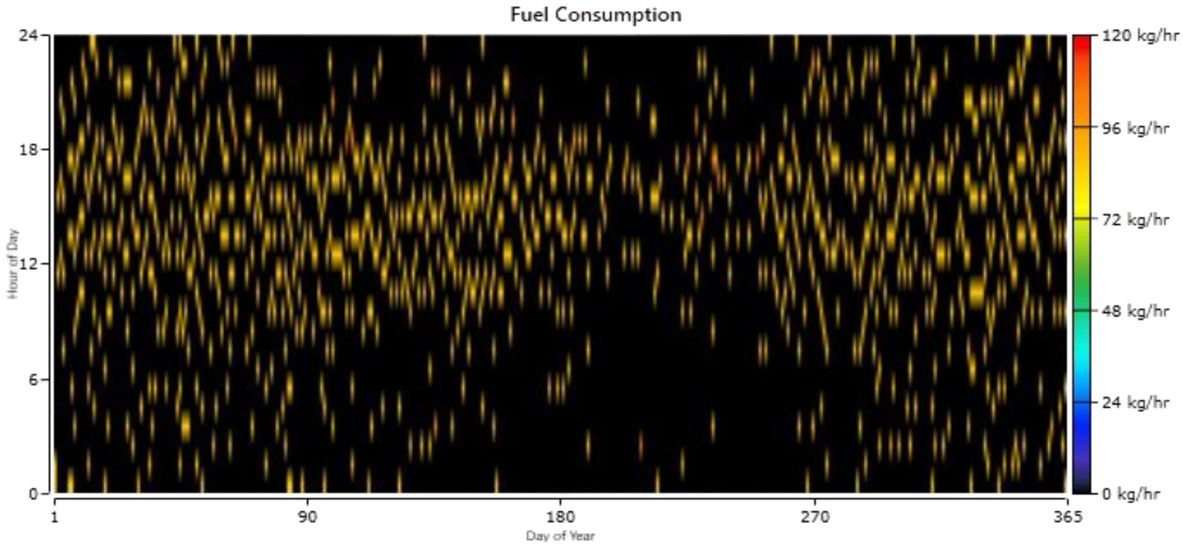
Οι χάρτες θερμότητας φαίνονται στο παρακάτω σχήμα



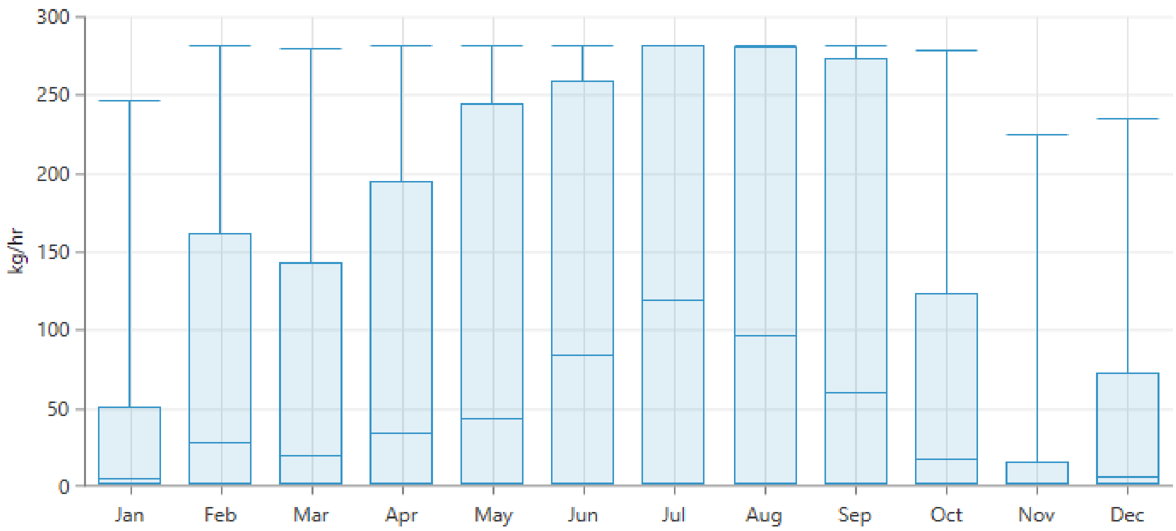
Εικόνα 7-40 Θερμικό διάγραμμα κατανάλωσης βιοκαυσίμου ενός έτους



Εικόνα 7-41 Κατάσταση κατανάλωσης υδρογόνου (L/hr) σε συνάρτηση με τους μήνες



Εικόνα 7-42 Θερμικό διάγραμμα κατανάλωσης υδρογόνου ενός έτους



Εικόνα 7-43 Κατάσταση κατανάλωσης βιοκαυσίμου (kg/hr) σε συνάρτηση με τους μήνες

7.3.3.3 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ 3ΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ

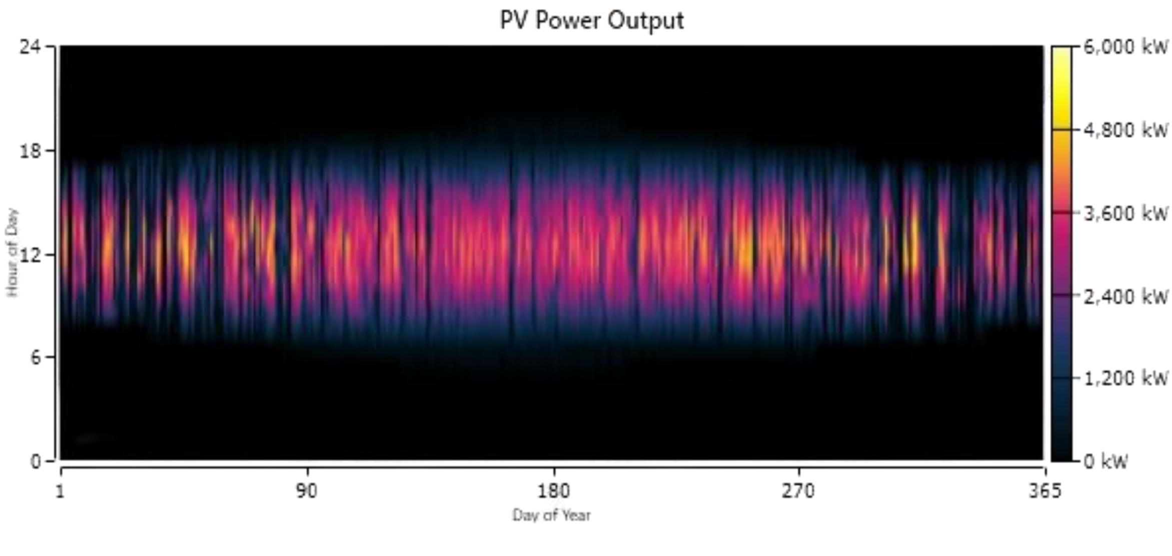
Από την παραγωγή φωτοβολταϊκών όπως παρέχεται στον παρακάτω πίνακα, παρατηρείται ότι το Φ/Β σύστημα έχει λειτουργήσει λίγο περισσότερο από το μισό του έτους (όπως ακριβώς τα Σενάρια 1 και 2) ενσωματώνοντας τη μέγιστη διάρκεια της ημέρας. Το ισοσταθμισμένο κόστος ενέργειας μέσω Φ/Β συστήματος στο Σενάριο 3 είναι 0,0174€/kWh. Ωστόσο, σε αυτό το σενάριο η μέγιστη ισχύς φτάνει τα 5 MW που είναι αρκετά υψηλό σε σύγκριση με το σενάριο 2 που έχει ισχύ μόλις 1,9 MW. Τα στατιστικά στοιχεία του φωτοβολταϊκού συστήματος σε αυτό το σενάριο παρέχονται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 7-27 Στατιστικά Φ/Β 3ου σεναρίου

Στοιχεία Μελέτης	Ποσότητα	Μονάδες
Ηλεκτρική Περίληψη		
Ελάχιστη Έξοδος	0	kW
Μέγιστη Έξοδος	5.048	kW
Διείσδυση Φ/Β	83,9	%
Ώρες Λειτουργίας	4.385	ώρες/έτος
Ισοσταθμισμένο Κόστος	0,0174	€/kWh
Στατιστικά Στοιχεία		
Ονομαστική Χωρητικότητα	5.000	kW
Μέση Έξοδος	883	kW
Μέση Έξοδος / μέρα	21.203	kWh/d
Capacity Factor	17,7	%
Ετήσια Παραγωγή	7.739.060	kWh/έτος

Ο χάρτης θερμότητας παρέχεται επίσης στο παρακάτω σχήμα. Και πάλι, η τάση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλή στους μεσαίους μήνες σε σύγκριση με τους μήνες αρχής και λήξης του έτους. Ακριβώς όπως και στα σενάρια 1 και 2.

`



Εικόνα 7-44 Θερμικό διάγραμμα Φ/Β

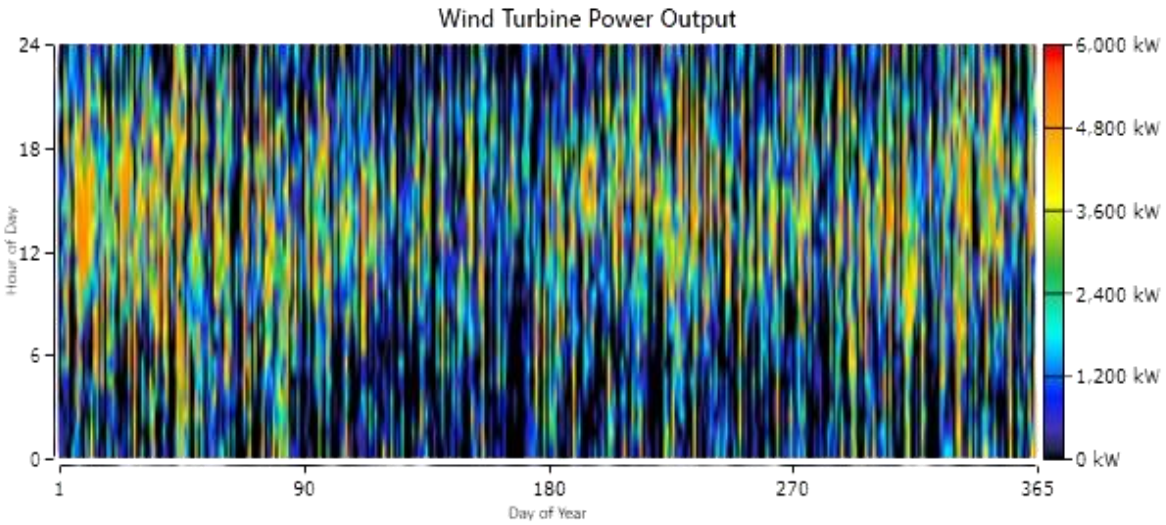
7.3.3.4 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ 3ΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ

Τα αποτελέσματά του παρέχονται παρακάτω απεικονίζοντας τουλάχιστον LCOE 0,0348 €/kWh που είναι χαμηλότερο σε σύγκριση με το Σενάριο 1 και το Σενάριο 2 με LCOE 0,0416€/kWh.

Πίνακας 7-28 Στατιστικά Α/Γ 3ου σεναρίου

Στοιχεία Μελέτης	Ποσότητα	Μονάδες
Ηλεκτρική Περίληψη		
Ελάχιστη Έξοδος	0	kW
Μέγιστη Έξοδος	5.280	kW
Διείσδυση Ανέμου	149	%
Ώρες Λειτουργίας	7.554	ώρες/έτος
Ισοσταθμισμένο Κόστος	0,0348	€/kWh
Στατιστικά Στοιχεία		
Ονομαστική Χωρητικότητα	5.280	kW
Μέση Έξοδος	1.574	kW
Capacity Factor	29,8	%
Συνολική Ετήσια Παραγωγή	13.784.101	kWh/έτος

Ο χάρτης θερμότητας παρουσιάζεται στην Εικόνα 7-45.

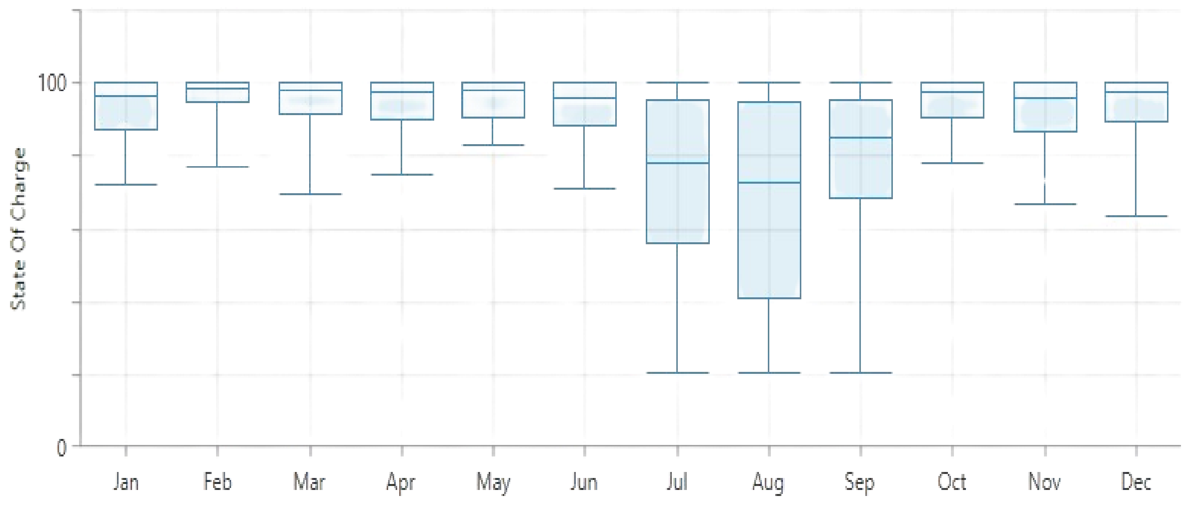


Εικόνα 7-45 Θερμικό διάγραμμα Α/Γ

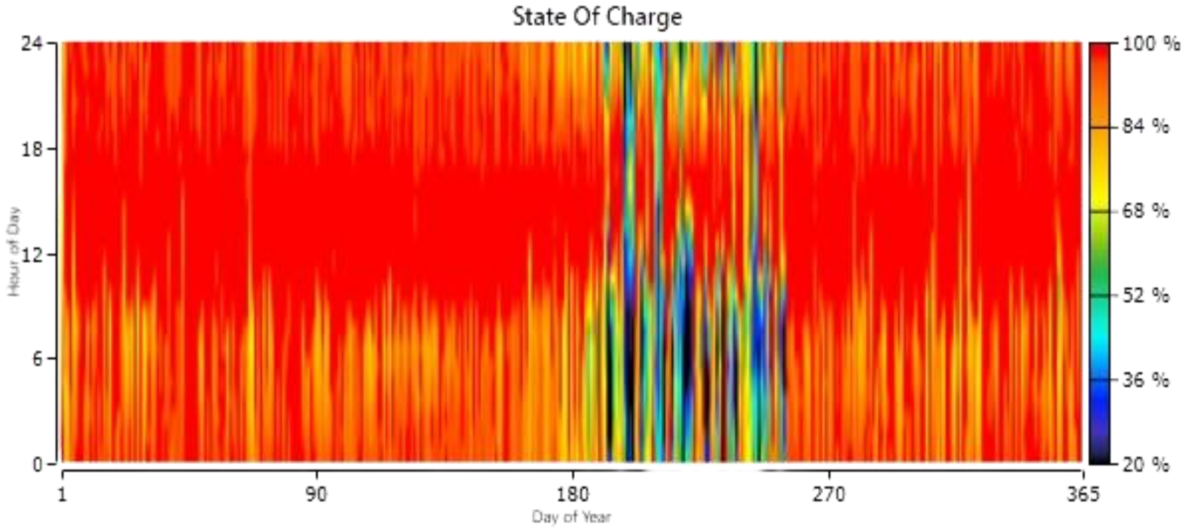
7.3.3.5 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΙΟΝΤΩΝ ΛΙΘΙΟΥ 3ΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ

Πίνακας 7-29 Στατιστικά μπαταριών 3ου σεναρίου

Στοιχεία Μελέτης	Ποσότητα	Μονάδες
Ιδιότητες Generic 100kWh Li-Ion		
Μπαταρίες	240	ποσότητα
Ποσότητα Σειράς	2	μπαταρίες
Παράλληλες Χορδές	120	χορδές
Τάση Διαύλου	1.200	V
Γενικά δεδομένα αποτελεσμάτων Generic 100kWh Li-Ion		
Μέσο Ενεργειακό Κόστος	0	€/kWh
Εισερχόμενη Ενέργεια	1.603.864	kWh/έτος
Εξερχόμενη Ενέργεια	1.443.697	kWh/έτος
Εξάντληση Αποθήκευσης	231	kWh/έτος
Απώλειες	160.398	kWh/έτος
Ετήσια Απόδοση	1.521.790	kWh/έτος
Στατιστικά Στοιχεία		
Αυτονομία	18,2	ώρες
Κόστος Φθοράς Αποθήκευσης	0,0703	€/kWh
Ονομαστική Χωρητικότητα	24.000	kWh
Χρήσιμη Ονομαστική Χωρητικότητα	19.200	kWh
Διάρκεια Ζωής	22.826.848	kWh
Αναμενόμενη Ζωή	15	έτη



Εικόνα 7-46 Κατάσταση φόρτισης μπαταριών ιόντων λιθίου σε συνάρτηση με τους μήνες



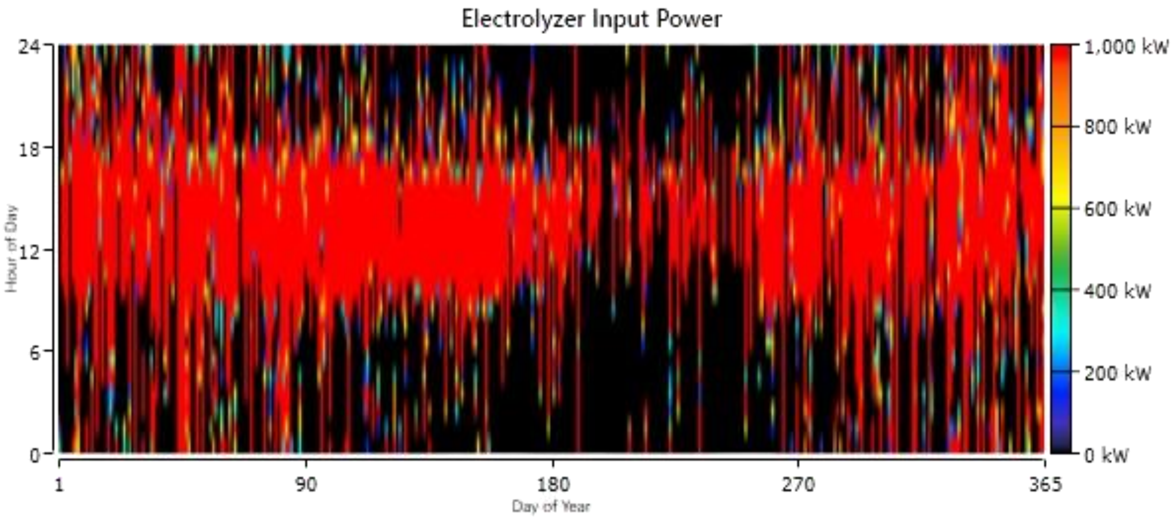
Εικόνα 7-47 Θερμικό διάγραμμα μπαταριών ιόντων λιθίου

7.3.3.6 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΤΙΚΟΥ ΔΙΑΣΠΑΣΤΗ 3ΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ

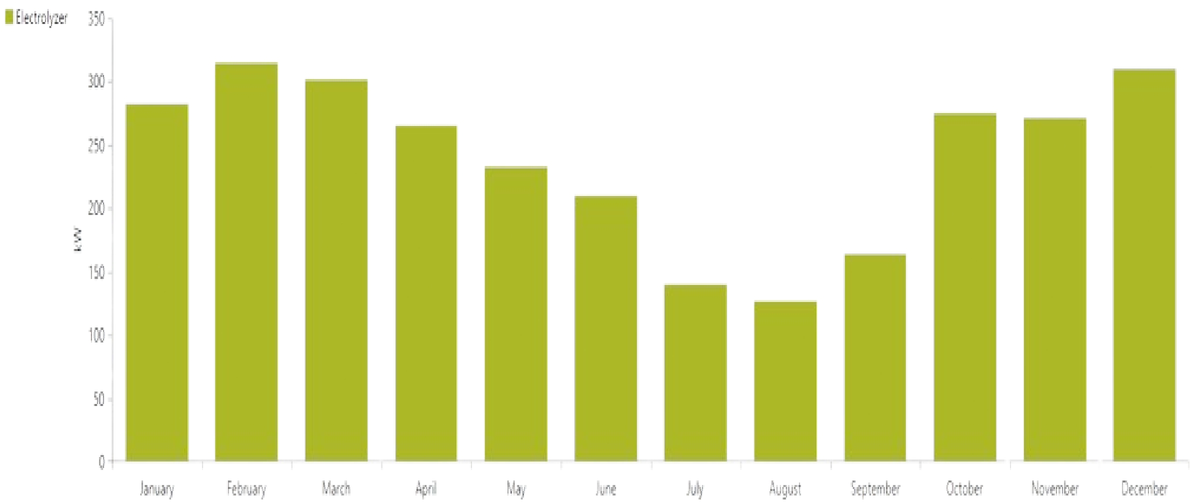
Η συμπεριφορά του ηλεκτρολυτικού διασπαστή, παρέχεται στον παρακάτω πίνακα, ο οποίος δείχνει ότι η ειδική κατανάλωση του ηλεκτρολύτη είναι 46,4 kWh/kg και η συνολική παραγωγή παρέμεινε μέχρι 1 έως 87.858 kg/έτος. Οι συνολικές ώρες λειτουργίας είναι 4.639 σε ετήσια βάση και η συνολική ενέργεια εισόδου στον ηλεκτρολύτη ήταν 4.077.084 kWh/έτος.

Πίνακας 7-30 Στατιστικά ηλεκτρολυτικού διασπαστή 3ου σεναρίου

Στοιχεία Μελέτης	Ποσότητα	Μονάδες
Ηλεκτρική Περίληψη		
Μέση Απόδοση	10	kg/ώρα
Ελάχιστη Έξοδος	0	kg/ώρα
Μέγιστη Έξοδος	21,5	kg/ώρα
Συνολική Παραγωγή	87.858	kg/έτος
Ειδική Κατανάλωση	46,4	kWh/kg
Στατιστικά Στοιχεία		
Ονομαστική Χωρητικότητα	1.000	kW
Μέση Είσοδος	465	kW
Ελάχιστη Είσοδος	0	kW
Μέγιστη Είσοδος	1.000	kW
Συνολική Ενέργεια Εισόδου	4.077.084	kWh/έτος
Capacity Factor	46,5	%
Ώρες Λειτουργίας	4.639	ώρες/έτος



Εικόνα 7-48 Θερμικό διάγραμμα ηλεκτρολυτικού διασπαστή



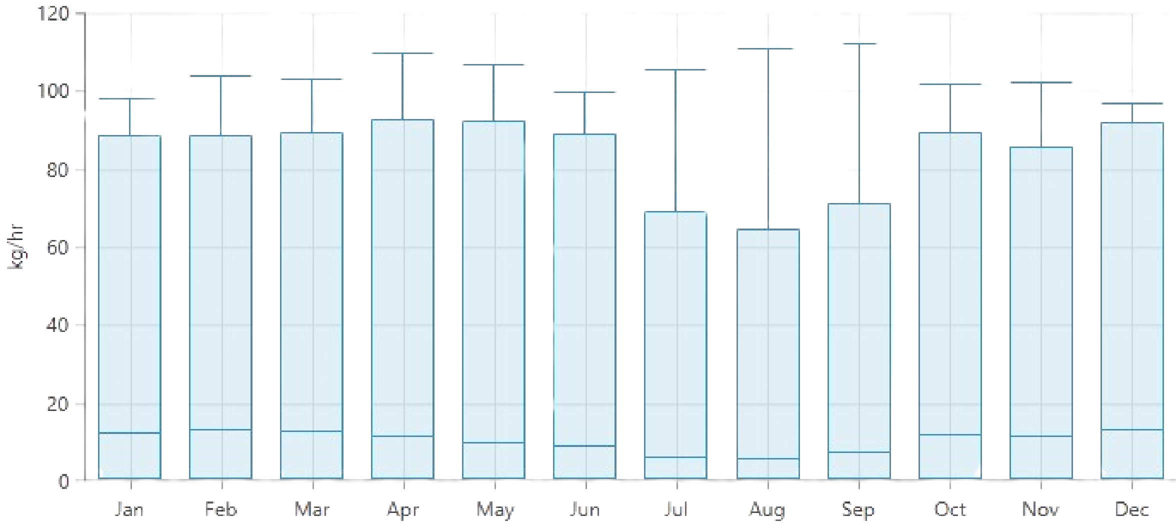
Εικόνα 7-49 Διάγραμμα εξαγώμενης ισχύος ηλεκτρολυτικού διασπαστή

7.3.3.7 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ 3ΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ

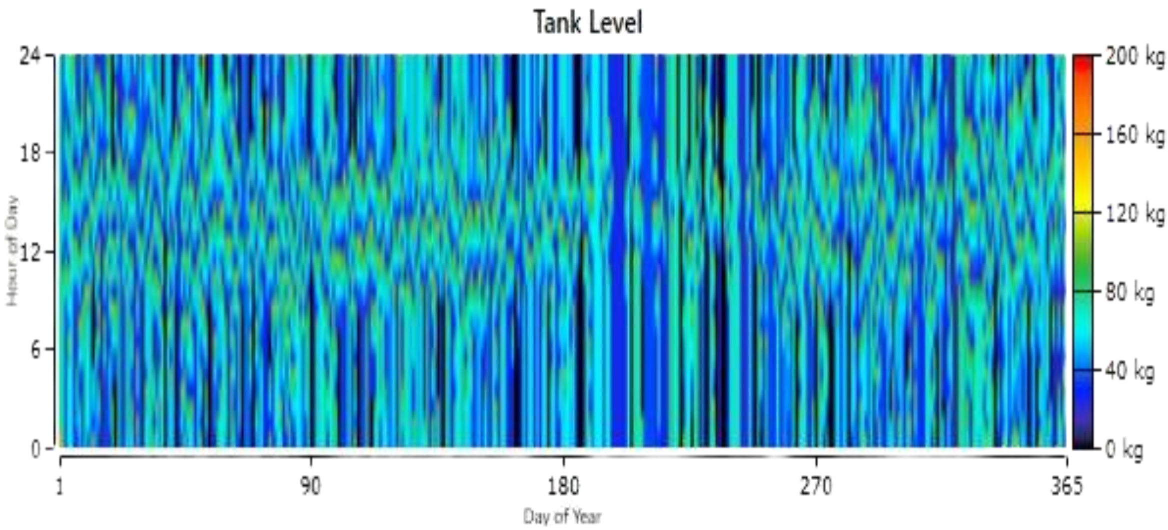
Οι τάσεις της δεξαμενής υδρογόνου για αποθήκευση παρέχονται στο παρακάτω σχήμα.

Πίνακας 7-31 Στατιστικά δεξαμενής υδρογόνου 3ου σεναρίου

Στοιχεία Μελέτης	Ποσότητα	Μονάδες
Ιδιότητες		
Δυνατότητα Αποθήκευσης Υδρογόνου	500	kg
Δυνατότητα Αποθήκευσης Ενέργειας	16.667	kWh
Αυτονομία Tank	15,8	ώρες
Στατιστικά Στοιχεία		
Περιεχόμενο στην αρχή του έτους	250	kg
Περιεχόμενο στο τέλος του έτους	80,8	kg

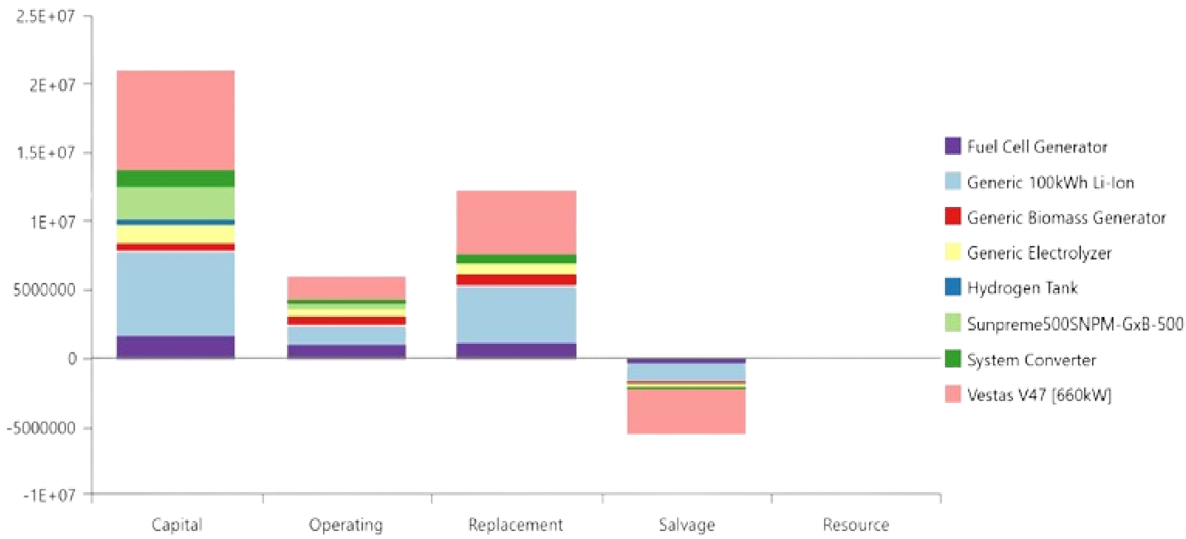


Εικόνα 7-51 Κατάσταση κατανάλωσης υδρογόνου (kg/hr) σε συνάρτηση με τους μήνες



Εικόνα 7-50 Θερμικό διάγραμμα φόρτισης δεξαμενής υδρογόνου

7.3.3.8 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 3ΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ



Εικόνα 7-52 Περίληψη κόστους εξαρτημάτων 3ου σεναρίου

Από το σχήμα, μπορεί να παρατηρηθεί ότι το υψηλό κόστος σχετίζεται με τις μπαταρίες και το αιολικό πάρκο.

Πίνακας 7-32 Καθαρό παρόν κόστος συστήματος 3ου σεναρίου

Όνομα Στοιχείου	Κεφάλαιο (€)	Αντικατάσταση (€)	Λειτουργικά Κόστοι (€)	Καύσιμο (€)	Εναπομείνουσα Αξία (€)	Σύνολο (€)
500SNPM-GxB-500	2.500.000	0,00	437.007,56	0,00	0,00	2.937.007,56
100 kWh Li-Ion	6.000.000	4.095.481,44	1.311.022,67	0,00	-1.228.078,68	10.178.425,43
Bio Generator	520.000	766.035,58	639.779,06	0,00	-193.422,39	1.732.392,25
FC	1.800.000	1.186.845,37	1.049.910,65	0,00	-428.036,59	3.608.719.43
V47	7.392.000	4.700.148,44	1.730.148,44	0,00	-3.343.444,20	10.479.254,16
Converter	1.096.601,04	668.319,82	239.611,46	0,00	-200.403,62	1.804.128,70
Σύστημα	20.974.101,04	12.184.733,42	5.899.514,82	0,00	-5.623.650,23	33.434.699,05

Από τον πίνακα 7-32, παρατηρείται ότι το συνολικό κόστος κεφαλαίου του συστήματος είναι ≈ 21εκατ. €, το οποίο είναι αρκετά υψηλό σε σύγκριση με αυτό του Σεναρίου 2 με συνολικό κόστος κεφαλαίου ≈ 7,4εκατ. €. Επίσης, το λειτουργικό κόστος για όλη τη διάρκεια του έργου είναι ≈ 5,9εκατ. € έναντι του συνολικού λειτουργικού κόστους ≈ 2,6 € του δεύτερου Σεναρίου, καθιστώντας το συνολικό κόστος ενός έργου ≈33,4εκατ. € καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του έργου.

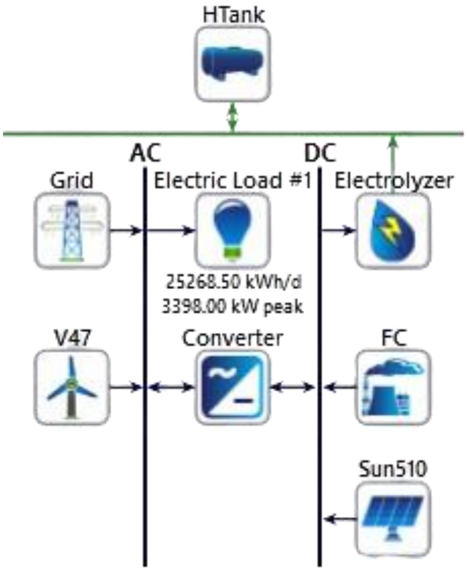
Από τον παρακάτω πίνακα, επίσης, παρατηρείται ότι το συνολικό κόστος επένδυσης του προτεινόμενου συστήματος παρέχει το ισοσταθμισμένο κόστος ενέργειας έως $0{,}167\ €/\mathrm{kWh}$, το οποίο είναι πολύ μικρότερο από το πρώτο σενάριο με LCOE $0{,}227\ €/\mathrm{kWh}$ και ελαφρώς μεγαλύτερο του 2ου σεναρίου με $0{,}157\ €/\mathrm{kWh}$.

Πίνακας 7-33 Σύγκριση μεταξύ βασικής περίπτωσης και συστήματος πρότασης 3ου σεναρίου

Στοιχεία Μελέτης	Σύστημα Βάσης	Προτεινόμενο Σύστημα
Καθαρό Παρόν Κόστος	33,4εκατ. €	33,4εκατ. €
CAPEX	21,0εκατ. €	21,0εκατ. €
OPEX	570,269 €	570,269 €
LCOE (ανα kWh)	0,167 €	0,167 €
Εκπομπές CO_2 (kg/έτος)	81,7	81,7
Κατανάλωση Καυσίμου (L/έτος)	88.554	88.554

7.3.4 ΣΕΝΑΡΙΟ 4ο

Η διαμόρφωση περιλαμβάνει μια γεννήτρια που χρησιμοποιεί ως καύσιμο το υδρογόνο. Η ισχύς της ηλιακής φωτοβολταϊκής εγκατάστασης ανήλθε στα 4.000 MW. Τέλος, ο ηλεκτρολύτικός διασπαστής και η δεξαμενή υδρογόνου είναι 1.000 kW και 500 kg αντίστοιχα, τιμές που δύναται να αυξηθούν μελλοντικά.



Εικόνα 7-53 Διάγραμμα 4ου σεναρίου

Για το συγκεκριμένο σενάριο, επίσης, έχουν επιλεγεί διαφορετικά μοντέλα φωτοβολταϊκών πάνελ και ανεμογεννητριών, μεγαλύτερης ισχύος, καθώς το συγκεκριμένο σενάριο έχει ως στόχο να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες του νησιού αποκλειστικά με χρήση εναλλακτικών πηγών ενέργειας και η επιπλέον ηλεκτρική παραγόμενη ενέργεια να πιστώνεται πίσω στο δίκτυο (Net Metering).

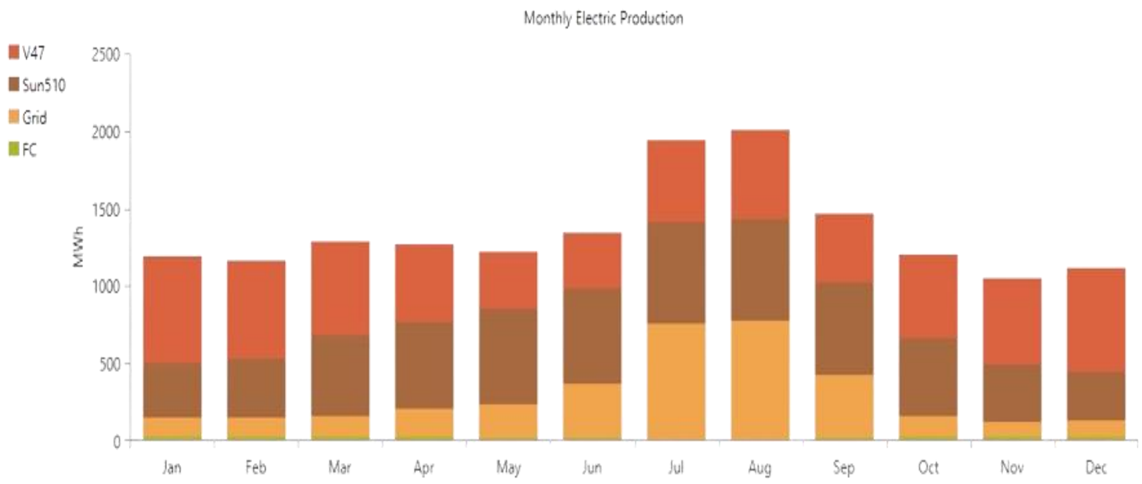
Πίνακας 7-34 Αρχιτεκτονική συστήματος 4ου σεναρίου

Προδιαγραφές Συστήματος	Όνομα Στοιχείου	Ποσότητα	Μονάδες
Γεννήτρια #1	FC	1.000	kW
Φ/Β	510SNPM-GxB-510	4.000	kW
Ανεμογεννήτρια	V47	3	εα.
Μετατροπέας Συστήματος	Converter	2.334	kW
Δίκτυο	Grid	8.000	kW
Ηλεκτρολυτικός Διασπαστής	Electrolyzer	1.000	kW
Δεξαμενή Υδρογόνου	HTank	500	kg

Πίνακας 7-35 Καταμερισμός ενέργειας πηγών 4ου σεναρίου

Όνομα Στοιχείου	Παραγωγή (kWh/έτος)	Ποσοστό (%)
510SNPM-GxB-510	6.119.257	37,6
FC	275.316	1,69
V47	6.500.230	40,0
Grid	3.370.938	20,7
Σύνολο	**16.265.742**	**100**

Η περίληψη παραγωγής ενέργειας του συστήματος όπως παρέχεται στον Πίνακα 7-35 δείχνει ότι το ηλιακό φωτοβολταϊκό σύστημα καλύπτει έως και το 37,6% της ενεργειακής ζήτησης των καταναλωτών και η μεγαλύτερη συμβολή έχει γίνει από το σύστημα αιολικής ενέργειας Vestas με συνολική παραγωγή ενέργειας 40,0%. Η μικρότερη συνεισφορά έχει γίνει από την γεννήτρια κυψελών καυσίμου με συνεισφορά 1,69%. Από την άλλη πλευρά, το δίκτυο, έχει συμβάλλει στην κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης σε ένα ποσοστό 20,7%, καθώς το λογισμικό HOMER, μας επιτρέπει να τροποποιήσουμε την ισχύ που θα μας παρέχει και την ισχύ που θα επιστρέφει το νησί (Net Metering) στο δίκτυο, από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Για τα παραπάνω αποτελέσματα, έχουν πραγματοποιηθεί πολλές παραμετροποιήσεις, λαμβάνοντας υπόψη τα διαφορετικά κόστη ανα kWh, μέσα στην διάρκεια του έτους, την απόσταση της εγκατάστασης από την Ηπειρωτική χώρα, αλλά και το κόστος αδράνειας μέσα στο χρόνο.

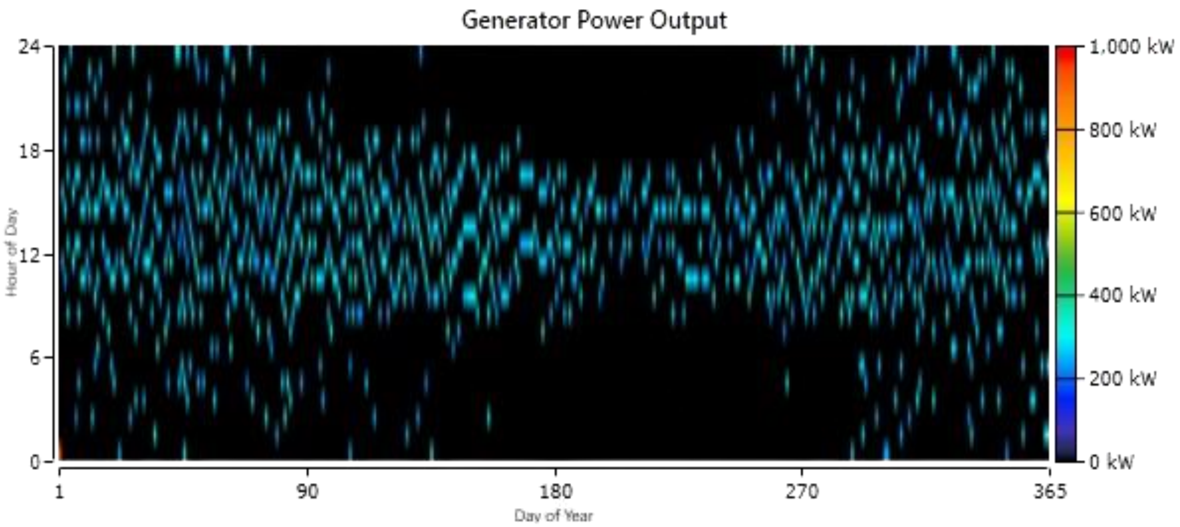


Εικόνα 7-54 Μηνιαίο διάγραμμα κατανομής παραγωγής ενέργειας 4ου σεναρίου

7.3.4.1 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ 4ΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ

Πίνακας 7-36 Συμπεριφορά γεννήτριας

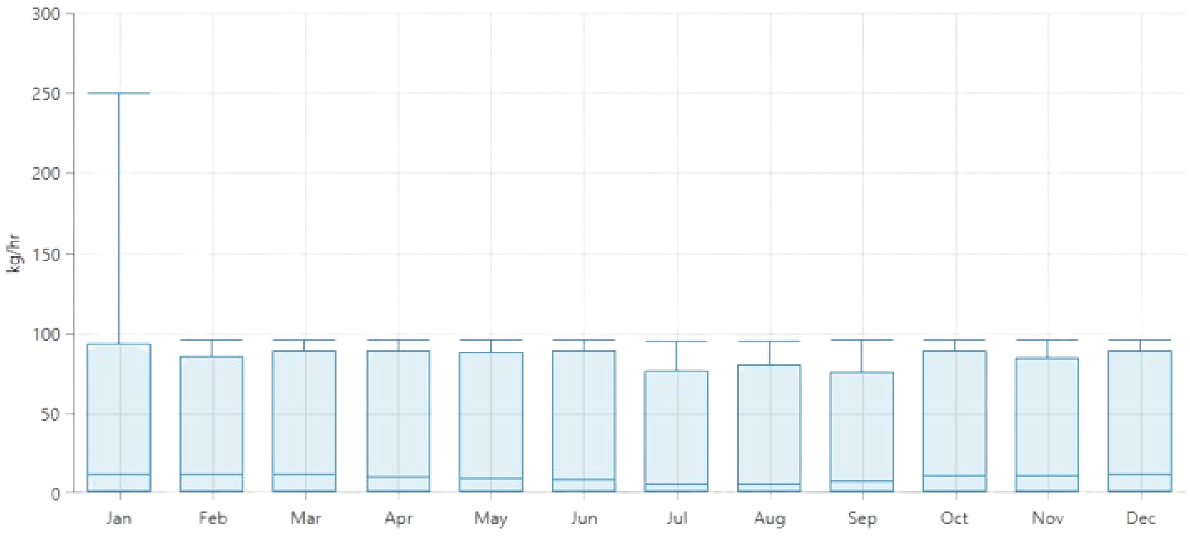
Στοιχεία Μελέτης	Ποσότητα	Μονάδες
Ηλεκτρική Περίληψη		
Ηλεκτρική Παραγωγή	275.316	kWh/έτος
Μέση Έξοδος	290	kW
Ελάχιστη Ηλεκτρική Ισχύς	250	kW
Μέγιστη Ηλεκτρική Ισχύς	967	kW
Περίληψη Καυσίμων		
Κατανάλωση Καυσίμου	80.491	kg
Ειδική Κατανάλωση Καυσίμου	0,292	kg/kWh
Εισαγωγή Ενέργειας Καυσίμου	2.683.038	kWh/έτος
Μέση Απόδοση (Ηλεκτρική)	10,3	%
Στατιστικά Στοιχεία		
Ώρες Λειτουργίας	951	ώρες/έτος
Αριθμός Εκκινήσεων	951	εκκ./έτος
Λειτουργική Ζωή	15,8	έτη
Capacity Factor	3,14	%
Σταθερό Κόστος Παραγωγής	143	€/ώρα
Οριακό Κόστος Παραγωγής	0	€/kWh



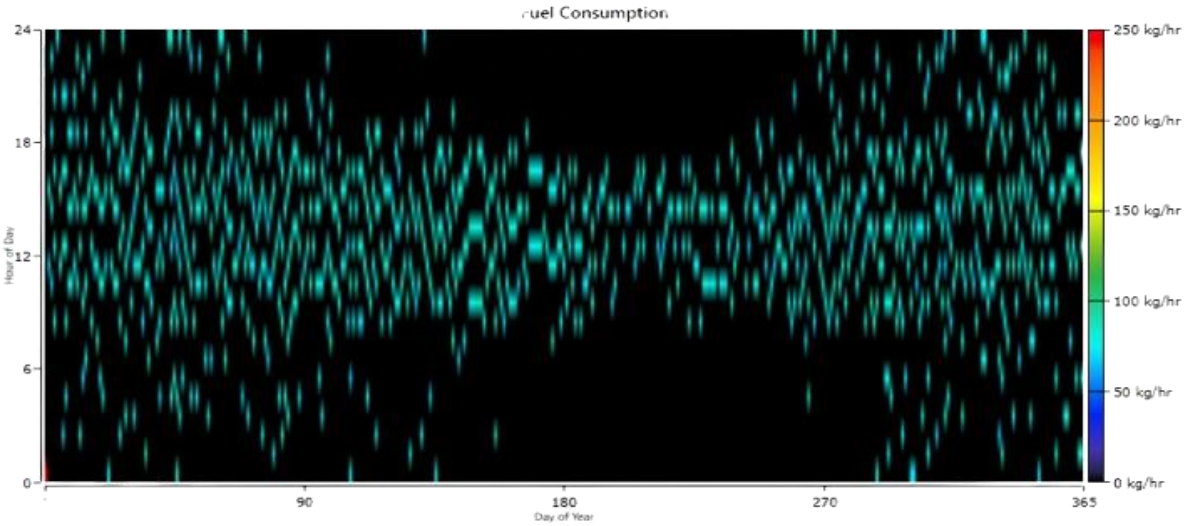
Εικόνα 7-55 Θερμικό διάγραμμα FC

Πίνακας 7-37 Τάσεις κατανάλωσης υδρογόνου

Στοιχεία	**Ποσότητα**	**Μονάδες**
Στατιστικά Κατανάλωσης Υδρογόνου		
Σύνολο Κατανάλωσης Καυσίμου	80.491	kg
Μέσο Καύσιμο / μέρα	221	kg/μέρα
Μέσο Καύσιμο / ώρα	9,19	kg/ώρα



Εικόνα 7-56 Κατάσταση κατανάλωσης υδρογόνου (kg/hr) σε συνάρτηση με τους μήνες



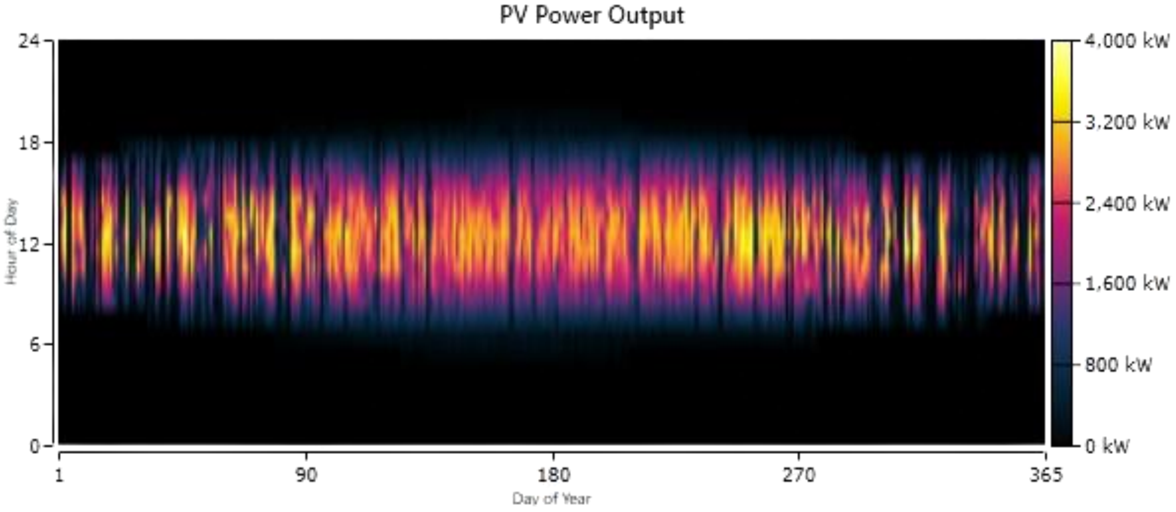
Εικόνα 7-57 Θερμικό διάγραμμα κατανάλωσης υδρογόνου ενός έτους

7.3.4.2 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ 4^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ

Από την παραγωγή φωτοβολταϊκών όπως παρέχεται στον παρακάτω πίνακα, παρατηρείται ότι το Φ/Β σύστημα έχει λειτουργήσει ακριβώς τις ίδιες ώρες με τα προηγούμενα σενάρια. Το ισοσταθμισμένο κόστος ενέργειας μέσω Φ/Β συστήματος στο σενάριο 4 είναι 0,0176 €/kWh. Τέλος, η μέγιστη ισχύς ανέρχεται στα 4 MW και τα στατιστικά στοιχεία παρέχονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 7-38 Στατιστικά Φ/Β 4^{ου} σεναρίου

Στοιχεία Μελέτης	Ποσότητα	Μονάδες
Ηλεκτρική Περίληψη		
Ελάχιστη Έξοδος	0	kW
Μέγιστη Έξοδος	3.991	kW
Διείσδυση Φ/Β	66,3	%
Ώρες Λειτουργίας	4.385	ώρες/έτος
Ισοσταθμισμένο Κόστος	0,0176	€/kWh
Στατιστικά Στοιχεία		
Ονομαστική Χωρητικότητα	4.000	kW
Μέση Έξοδος	699	kW
Μέση Έξοδος / μέρα	16.765	kWh/d
Capacity Factor	17,5	%
Ετήσια Παραγωγή	6.119.257	kWh/έτος

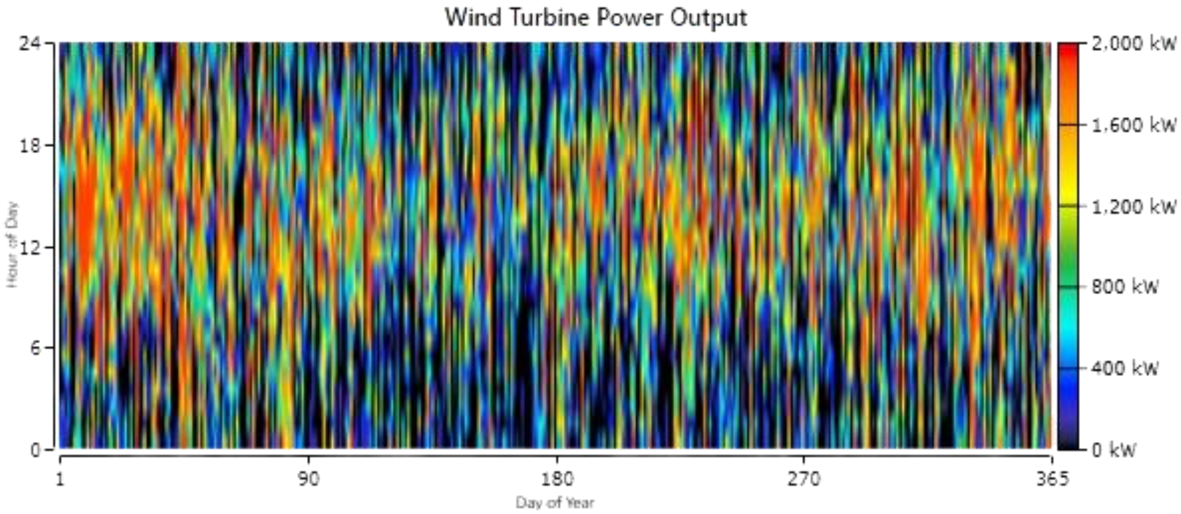


Εικόνα 7-58 Θερμικό διάγραμμα Φ/Β

7.3.4.3 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ 4^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ

Πίνακας 7-39 Στατιστικά στοιχεία Α/Γ 4ου σεναρίου

Στοιχεία Μελέτης	Ποσότητα	Μονάδες
Ηλεκτρική Περίληψη		
Ελάχιστη Έξοδος	0	kW
Μέγιστη Έξοδος	1.980	kW
Διείσδυση Ανέμου	70,5	%
Ώρες Λειτουργίας	7.435	ώρες/έτος
Ισοσταθμισμένο Κόστος	0,0277	€/kWh
Στατιστικά Στοιχεία		
Ονομαστική Χωρητικότητα	1.980	kW
Μέση Έξοδος	742	kW
Capacity Factor	37,5	%
Συνολική Ετήσια Παραγωγή	6.500.230	kWh/έτος



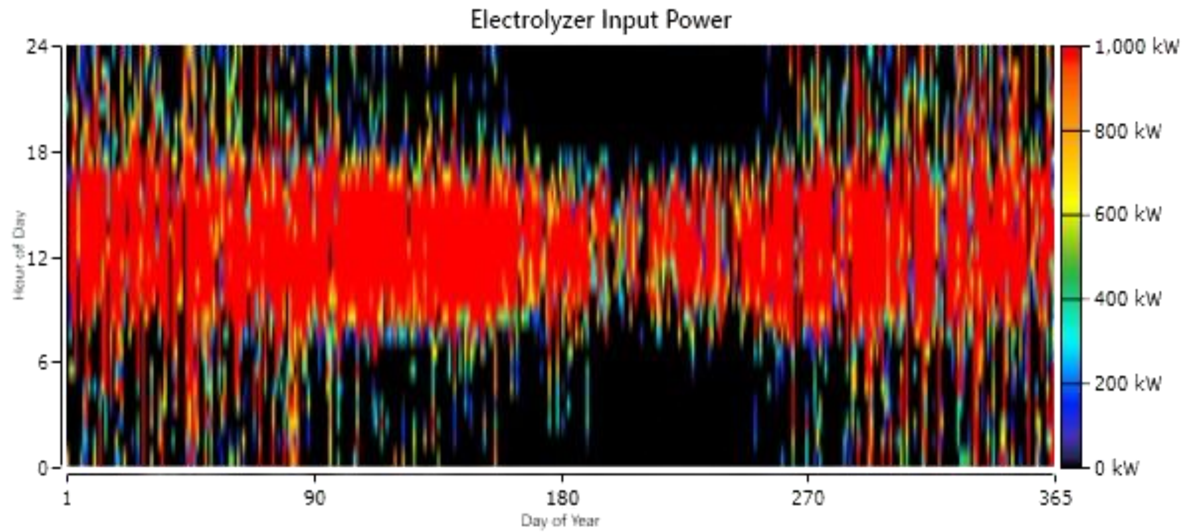
Εικόνα 7-59 Θερμικός χάρτης Α/Γ

7.3.4.4 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΤΙΚΟΥ ΔΙΑΣΠΑΣΤΗ 4ΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ

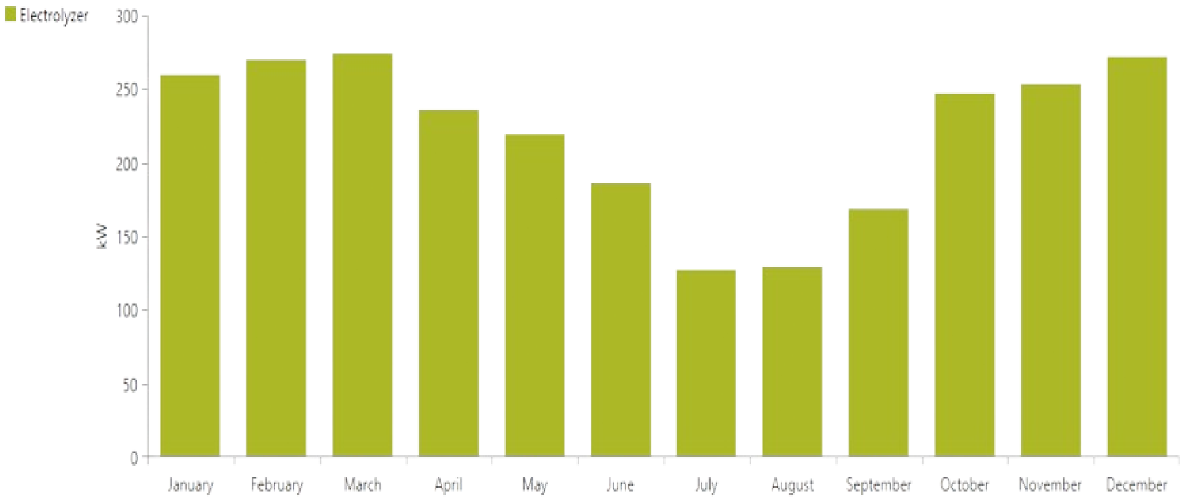
Η συμπεριφορά του ηλεκτρολυτικού διασπαστή, παρέχεται στον παρακάτω πίνακα, ο οποίος απεικονίζει ότι η ειδική κατανάλωση ανέρχεται στις 46,4 kWh/kg και η συνολική παραγωγή έχει εύρος από 1 έως 80.290 kg/έτος. Το σύνολο των ωρών λειτουργίας είναι 5.089 ώρες, ελαφρώς περισσότερες συγκριτικά με το 3ο Σενάριο. Τέλος, η συνολική ενέργεια εισόδου στον ηλεκτρολυτικό διασπαστή είναι 3.725.897 kWh/έτος, μέγεθος μικρότερο από αυτό του 3ου Σεναρίου.

Πίνακας 7-40 Στατιστικά στοιχεία ηλεκτρολυτικού διασπαστή 4ου σεναρίου

Στοιχεία Μελέτης	Ποσότητα	Μονάδες
Ηλεκτρική Περίληψη		
Μέση Απόδοση	9,17	kg/ώρα
Ελάχιστη Έξοδος	0	kg/ώρα
Μέγιστη Έξοδος	21,5	kg/ώρα
Συνολική Παραγωγή	80.290	kg/έτος
Ειδική Κατανάλωση	46,4	kWh/kg
Στατιστικά Στοιχεία		
Ονομαστική Χωρητικότητα	1.000	kW
Μέση Είσοδος	425	kW
Ελάχιστη Είσοδος	0	kW
Μέγιστη Είσοδος	1.000	kW
Συνολική Ενέργεια Εισόδου	3.725.897	kWh/έτος
Capacity Factor	42,5	%
Ώρες Λειτουργίας	5.089	ώρες/έτος



Εικόνα 7-60 Θερμικό διάγραμμα ηλεκτρολυτικού διασπαστή



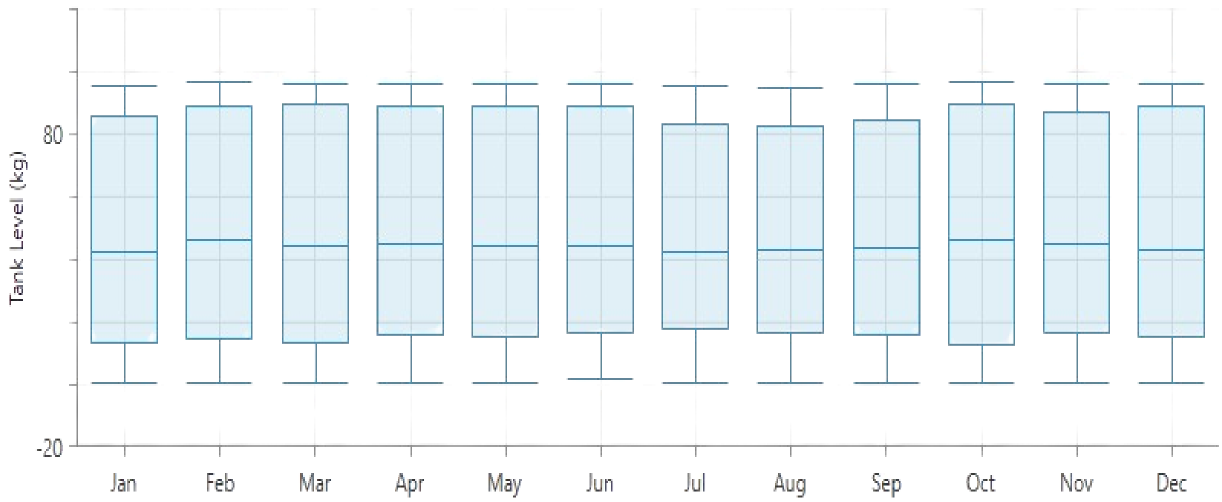
Εικόνα 7-61 Διάγραμμα εξαγώμενης ισχύος ηλεκτρολυτικού διασπαστή

7.3.4.5 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ 4^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ

Οι τάσεις της δεξαμενής υδρογόνου για αποθήκευση παρέχονται στο παρακάτω σχήμα.

Πίνακας 7-41 Στατιστικά Στοιχεία της δεξαμενής υδρογόνου 4^{ου} σεναρίου

Στοιχεία Μελέτης	Ποσότητα	Μονάδες
Ιδιότητες		
Δυνατότητα Αποθήκευσης Υδρογόνου	500	kg
Δυνατότητα Αποθήκευσης Ενέργειας	16.667	kWh
Αυτονομία Tank	15,8	$ώρες$
Στατιστικά Στοιχεία		
Περιεχόμενο στην αρχή του έτους	250	kg
Περιεχόμενο στο τέλος του έτους	49,3	kg

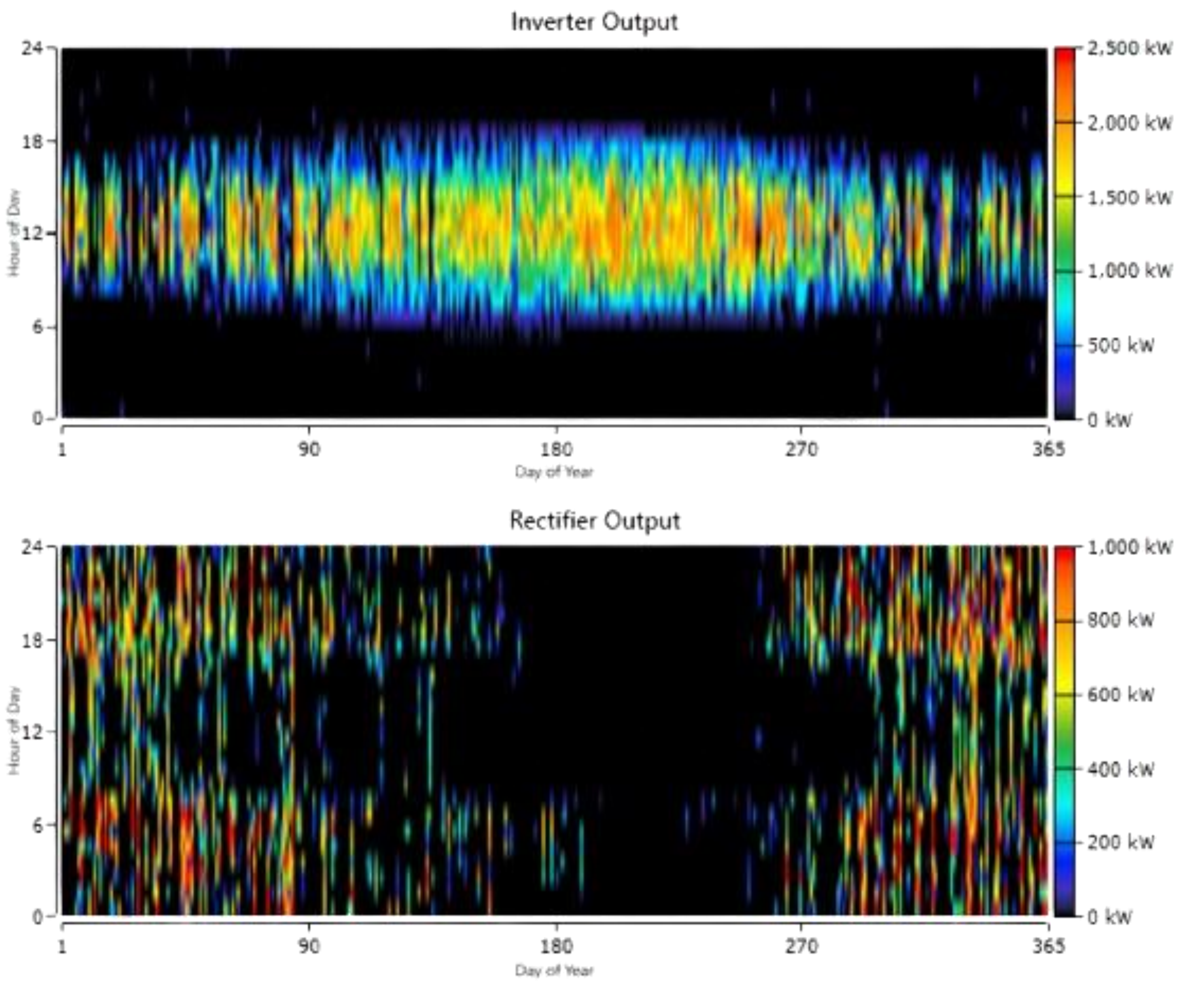


Εικόνα 7-62 Κατάσταση κατανάλωσης υδρογόνου (kg/hr) σε συνάρτηση με τους μήνες

7.3.4.6 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ 4^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ

Πίνακας 7-42 Στατιστικά μετατροπέα 4ου σεναρίου

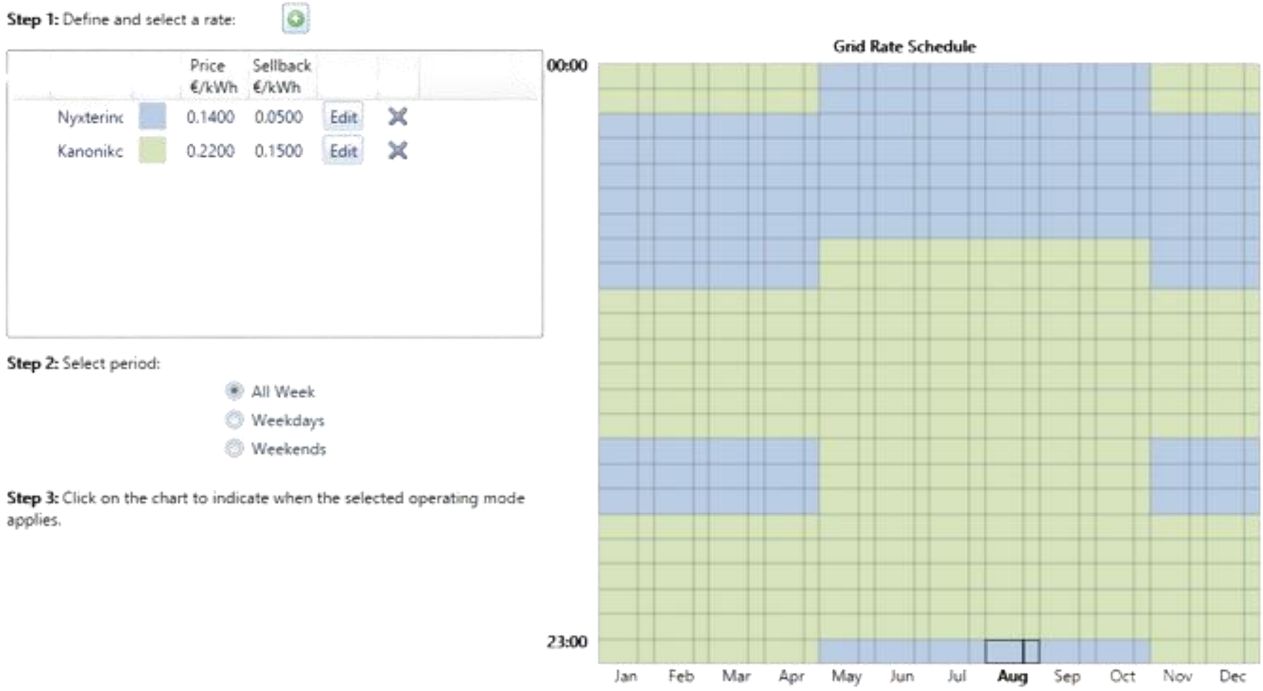
Στοιχεία Μελέτης	Ποσότητα	Μονάδες
Ηλεκτρική Περίληψη		
Εξερχόμενη Ενέργεια	3.504.777	kWh/έτος
Εισερχόμενη Ενέργεια	3.689.239	kWh/έτος
Ώρες Λειτουργίας	3.651	ώρες/έτος
Απώλειες	184.462	kWh/έτος
Στατιστικά Στοιχεία		
Ονομαστική Χωρητικότητα	2.334	kW
Μέση Έξοδος	400	kW
Capacity Factor	17,1	%
Ελάχιστη Έξοδος	0	kW
Μέγιστη Έξοδος	2.334	kW



Εικόνα 7-63 Θερμικός χάρτης μετατροπέα 4ου σεναρίου

7.3.4.7 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ 4ΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ

Στον παρακάτω πίνακα παρέχονται όλες οι πληροφορίες που σχετίζονται με την εισαγωγή του Δικτύου (Grid) στο προς μελέτη σύστημα. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, επίσης, προσαρμόστηκαν οι τιμές πώλησης ηλεκτρικού ρεύματος από το δίκτυο στους καταναλωτές με βάση το ημερήσιο και νυχτερινό (μειωμένο) τιμολόγιο που ισχύει στην Ελλάδα. Οι παρακάτω τιμές είναι μεταβαλόμενες ανα τα έτη, αλλά και κατά την διάρκεια του έτους.



Εικόνα 7-64 Χρέωση ηλεκτρικού ρεύματος καταναλωτών με βάση το ημερήσιο και νυκτερινό τιμολόγιο χρέωσης (€/kWh)

Πίνακας 7-43 Μηνιαία και ετήσια στατιστικά μέγιστης ζήτησης ενέργειας

Μήνες	Εισαγώμενη Ενέργεια (kWh)	Επιστροφή Ενέργειας στο Δίκτυο (kWh)	Ενέργεια μετά επιστροφών (kWh)	Μέγιστη Ζήτηση (kW)	Τιμή (€)
Ιανουάριος	0	0	0	864	0
Φεβρουάριος	0	0	0	1.186	0
Μάρτιος	0	0	0	994	0
Απρίλιος	0	0	0	1.324	0
Μάιος	0	0	0	1.306	0
Ιούνιος	0	0	0	1.977	0
Ιούλιος	0	0	0	3.398	0
Αύγουστος	0	0	0	3.117	0
Σεπτέμβριος	0	0	0	2.473	0
Οκτώβριος	0	0	0	990	0
Νοέμβριος	0	0	0	734	0
Δεκέμβριος	0	0	0	820	0
Σύνολο	0	0	0	3.398	0

Πίνακας 7-44 Μηνιαία και ετήσια στατιστικά με χρέωση ημερήσιου τιμολογίου

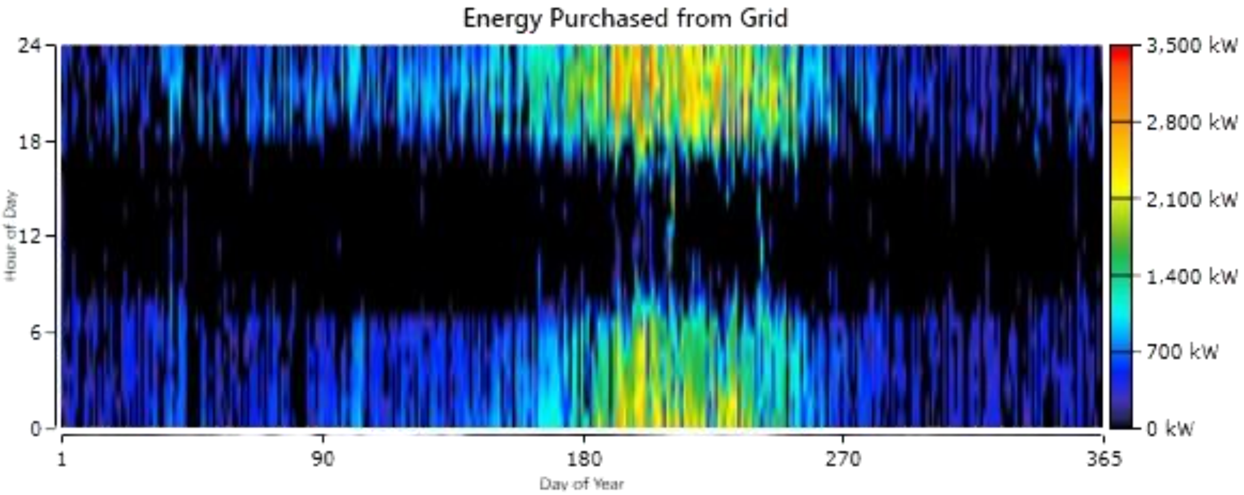
Μήνες	Εισαγώμενη Ενέργεια (kWh)	Επιστροφή Ενέργειας στο Δίκτυο (kWh)	Ενέργεια μετά επιστροφών (kWh)	Μέγιστη Ζήτηση (kW)	Τιμή (€)
Ιανουάριος	63.639	258.981	-195.342	0	-29.301
Φεβρουάριος	81.026	207.579	-126.554	0	-18.983
Μάρτιος	89.784	282.422	-192.638	0	-28.896
Απρίλιος	120.164	276.906	-156.742	0	-23.511
Μάιος	99.546	260.991	-161.445	0	-24.217
Ιούνιος	166.778	168.332	-1.554	0	-233,09
Ιούλιος	371.862	95.634	276.228	0	60.770
Αύγουστος	383.329	112.154	271.175	0	59.658
Σεπτέμβριος	207.377	226.958	-19.581	0	-2.937
Οκτώβριος	58.587	328.002	-269.416	0	-40.412
Νοέμβριος	52.101	245.598	-193.496	0	-29.024
Δεκέμβριος	56.880	185.820	-128.940	0	-19.341
Σύνολο	1.751.072	2.649.377	-898.305	0	-96.428

Πίνακας 7-45 Μηνιαία και ετήσια στατιστικά με χρέωση νυκτερινού τιμολογίου

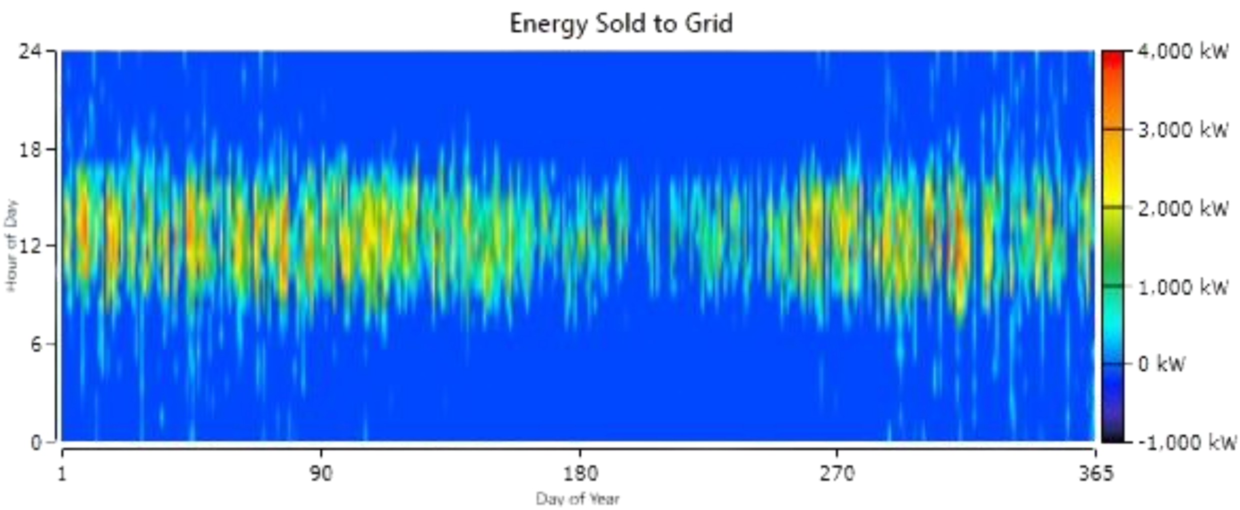
Μήνες	Εισαγώμενη Ενέργεια (kWh)	Επιστροφή Ενέργειας στο Δίκτυο (kWh)	Ενέργεια μετά επιστροφών (kWh)	Μέγιστη Ζήτηση (kW)	Τιμή (€)
Ιανουάριος	56.121	74.038	-17.917	0	-895,84
Φεβρουάριος	45.127	58.829	-13.701	0	-685,06
Μάρτιος	40.462	73.165	-32.702	0	-1.635
Απρίλιος	65.156	70.315	-8.159	0	-407,97
Μάιος	114.359	318	114,041	0	15.966
Ιούνιος	178.553	16,2	178.536	0	24.995
Ιούλιος	370.971	0	370.971	0	51.936
Αύγουστος	379.055	0	379.055	0	53.068
Σεπτέμβριος	202.746	995	201.751	0	28.245
Οκτώβριος	79.732	4.417	75.315	0	10.544
Νοέμβριος	43.567	77.425	-33.857	0	-1.693
Δεκέμβριος	47.017	55.790	-8.772	0	-438,61
Σύνολο	1.619.866	415.307	1.204.559	0	178.998

Πίνακας 7-46 Συνολικά μηνιαία και ετήσια στατιστικά

Μήνες	Εισαγώμενη Ενέργεια (kWh)	Επιστροφή Ενέργειας στο Δίκτυο (kWh)	Ενέργεια μετά επιστροφών (kWh)	Μέγιστη Ζήτηση (kW)	Τιμή (€)
Ιανουάριος	119.760	333.019	-213.259	864	-30.197
Φεβρουάριος	126.153	266.408	-140.255	1.186	-193668
Μάρτιος	130.246	355.586	-225.340	994	-30.531
Απρίλιος	182.320	347.222	-164.902	1.324	-23.919
Μάιος	213.905	261.309	-47.404	1.306	-8.251
Ιούνιος	345.331	168.348	176.982	1.977	24.762
Ιούλιος	742.833	95.634	647.199	3.398	112.706
Αύγουστος	762.384	112.154	650.229	3.117	112.726
Σεπτέμβριος	410.123	227.953	182.170	2.473	25.308
Οκτώβριος	138.319	332.420	-194.101	990	-29.868
Νοέμβριος	95.668	323.022	-227.354	734	-30.717
Δεκέμβριος	103.897	241.609	-137.712	820	-19.780
Σύνολο	3.370.938	3.064.684	306.254	3.398	82.571

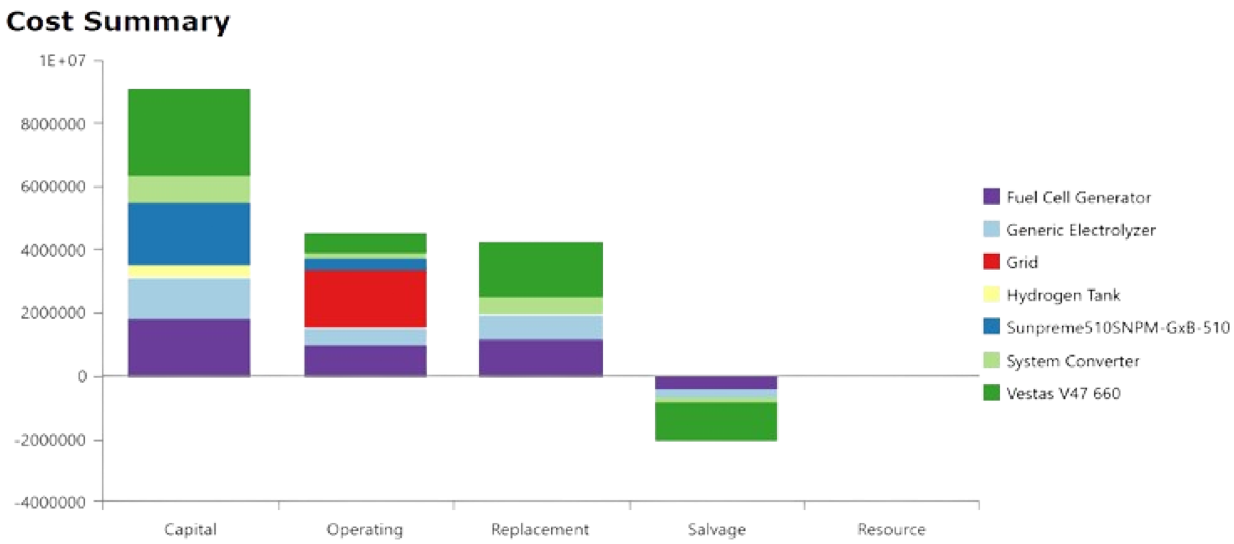


Εικόνα 7-65 Ενέργεια που προμηθεύτηκε από το δίκτυο



Εικόνα 7-66 Ενέργεια που πουλήθηκε στο δίκτυο

7.3.4.8 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 4^{ΟΥ} ΣΕΝΡΙΟΥ



Εικόνα 7-67 Περίληψη κόστους εξαρτημάτων 4ου σεναρίου

Πίνακας 7-47 Καθαρό παρόν κόστος συστήματος 4^{ου} σεναρίου

Όνομα Στοιχείου	Κεφάλαιο (€)	Αντικατάσταση (€)	Λειτουργικά Κόστοι (€)	Καύσιμο (€)	Εναπομείνουσα Αξία (€)	Σύνολο (€)
510SNPM-GxB-510	2.000.000	0,00	349.606,04	0,00	0,00	2.349.606,04
Grid	15.000	0,00	1.804.633,85	0,00	0,00	1.819.633,85
Converter	817.010,89	497.924,54	178.519,99	0,00	-149.308,58	1.344.146,84
FC	1.800.000	1.184.785,80	1.038.985,46	0,00	-445.946,07	3.577.825,19
V47	2.772.000	1.762.555,66	648.9556,22	0,00	-1.253.791,57	3.929.720,31
Electrolyzer	1.300.000	767.902,77	458.857,93	0,00	-230.264,75	2.296.495,95
HTank	365.500	0,00	32.775,57	0,00	0,00	398.275,57
Σύστημα	9.069.510,89	4.213.168,77	4.512.335,07	0,00	-2.079.310,97	15.715.703,75

Πίνακας 7-48 Σύγκριση μεταξύ βασικής περίπτωσης και συστήματος πρότασης 4^{ου} σεναρίου

Στοιχεία Μελέτης	**Σύστημα Βάσης**	**Προτεινόμενο Σύστημα**
Καθαρό Παρόν Κόστος	44,8εκατ. €	18,0εκατ. €
CAPEX	5,72εκατ. €	11,3εκατ. €
OPEX	1,79εκατ. €	304.168 €
LCOE (ανα kWh)	0,222 €	0,0669 €
Εκπομπές CO_2 (kg/έτος)	5.828.886	2.130.433
Κατανάλωση Καυσίμου (L/έτος)	225	80.491

7.4 ΠΕΡΙΣΣΕΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ – ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ Α.Π.Ε. – ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ

Το παρόν κεφάλαιο αποτελεί μια εμβληματική ανάλυση των κρίσιμων παραμέτρων που επηρεάζουν την απόδοση, την αειφορία και τη βιωσιμότητα ανεξάρτητων συστημάτων ενέργειας. Μέσα τα αποτελέσματα του λογισμικού HOMER, θα εξεταστεί η περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας, οι εκπομπές αερίων και η διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα σενάρια που πραγματοποιήθηκαν. Αναδεικνύοντας τη σημασία και τις επιπτώσεις κάθε παραμέτρου, ο χρήστης επιδιώκει να προσφέρει συνολική κατανόηση και αξιολόγηση των ενεργειακών συστημάτων που μελετήθηκαν. Μέσα από αυτήν την ανάλυση, ανοίγει ο δρόμος για την ανάπτυξη πολιτικών, τεχνολογικών και οικονομικών προσεγγίσεων που ευνοούν τη μετάβαση προς ένα πιο βιώσιμο και αποδοτικό σύστημα ενέργειας.

Πιο συγκεριμένα, η περίσσεια ενέργειας, αναφέρεται στην ποσότητα ενέργειας η οποία παράγεται από το ενεργειακό σύστημα και δεν χρησιμοποιείται άμεσα για την εξυπηρέτηση της ζήτησης ηλεκτρικού φορτίου. Σε μια κοινότητα, όπως η Σέριφος, η περίσσεια ενέργειας μπορεί να διατηρηθεί και να αξιοποιηθεί με διάφορους τρόπους.

1. Πώληση στο δίκτυο (Net Metering): Η περίσσεια ενέργειας δύναται να πωληθεί πίσω στο Δίκτυο, εφόσον αυτό είναι συνδεδεμένο με το τοπικό σύστημα. Το συγκεκριμένο μέτρο εφαρμόζεται στο Σενάριο 4. Μέσω του συστήματος Net Metering, η κοινότητα μπορεί να επωφεληθεί από την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας και να μειώσει το κόστος της, την εξάρτησή της από τις παραδοσιακές πηγές και τις εκπομπές αερίων.
2. Αποθήκευση Ενέργειας (Εφεδρεία): Η περίσσεια ενέργειας μπορεί να αποθηκευτεί σε μπαταρίες ή άλλα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας (θερμική αποθήκευση, υδροηλεκτρική αποθήκευση), για μελλοντική χρήση σε περιόδους χαμηλής παραγωγής.
3. Πίστωση Ενέργειας: Η περίσσεια ενέργειας μπορεί επίσης να πιστωθεί στους λογαριασμούς των καταναλωτών του νησιού και τις περιόδους χαμηλής κατανάλωσης, δίνεται η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών.

Επίσης, η διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αντιπροσωπεύει ένα κρίσιμο στάδιο προς την κατεύθυνση της αειφόρου ενέργειας. Τα αποτελέσματα αυτής, αναδεικνύουν την τάση προς τη μείωση της εξάρτησης από τις παραδοσιακές πηγές ενέργειας και την αύξηση του ποσοστού που καλύπτεται από ανανεώσιμες πηγές. Τα αποτελέσματα αυτά μπορούν να δείξουν την αυξανόμενη συμβολή των ΑΠΕ στο συνολικό ενεργειακό μείγμα και τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Επιπλέον, η διείσδυση των Α.Π.Ε. θα έχει θετικές επιπτώσεις στη δημιουργία θέσεων εργασίας και τη δημιουργία οικονομικών ευκαιριών σε τοπικό επίπεδο. Αναδεικνύει, επίσης, την ανάγκη για περαιτέρω επενδύσεις και πολιτικές υποστήριξης προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι βιωσιμότητας και αειφορίας στον τομέα της ενέργειας.

Τέλος, η καταγραφή και η ανάλυση των εκπομπών αερίων είναι ζωτικής σημασίας για τη κατανόηση της περιβαλλοντικής επίδρασης και την λήψη μέτρων για τη μείωση της ρύπανσης του αέρα. Στο πλαίσιο αυτό, το λογισμικό, παρέχει πληροφορίες για τις εκπομπές έξι διαφορετικών αερίων.

7.4.1 ΠΕΡΙΣΕΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ – ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ Α.Π.Ε.

Πίνακας 7-49 Συγκεντρωτικός πίνακας περίσσειας ενέργειας και διύσδεισης Α.Π.Ε.

Ποσότητα	Τιμή	Ποσοστό (%)	Μονάδες
ΣΕΝΑΡΙΟ 1			
Περίσσεια Ηλεκτρικής Ενέργειας	1.764.593	15,6	kWh/έτος
Μη καλυφθέντα φορτία	289	0,00310	kWh/έτος
Ελλείψεις χωρητικότητας	5.113	0,0554	kWh/έτος
Ποσοστό Α.Π.Ε	65,1	-	-
ΣΕΝΑΡΙΟ 2			
Περίσσεια Ηλεκτρικής Ενέργειας	2.805.545	22,9	kWh/έτος
Μη καλυφθέντα φορτία	42.655	0,463	kWh/έτος
Ελλείψεις χωρητικότητας	122.714	1,33	kWh/έτος
Ποσοστό Α.Π.Ε	80,4	-	-
ΣΕΝΑΡΙΟ 3			
Περίσσεια Ηλεκτρικής Ενέργειας	9.436.200	40,9	kWh/έτος
Μη καλυφθέντα φορτία	84.053	0,911	kWh/έτος
Ελλείψεις χωρητικότητας	146.776	1,59	kWh/έτος
Ποσοστό Α.Π.Ε	100	-	-
ΣΕΝΑΡΙΟ 4			
Περίσσεια Ηλεκτρικής Ενέργειας	13.284	0,0817	kWh/έτος
Μη καλυφθέντα φορτία	0	0	kWh/έτος
Ελλείψεις χωρητικότητας	0	0	kWh/έτος
Ποσοστό Α.Π.Ε	72,6	-	-

Καθώς συγκρίνουμε τα αποτελέσματα των Σεναρίων 1, 2 και 3, παρατηρούμε τις εξής διαφορές. Το Σενάριο 3 έχει τη μεγαλύτερη περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ το Σενάριο 1 έχει τη μικρότερη. Αυτό δηλώνει πως το Σενάριο 3 έχει τη μεγαλύτερη ικανότητα να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες της κοινότητας με ανανεώσιμες πηγές.

Το Σενάριο 3 έχει τα μεγαλύτερα μη καλυφθέντα φορτία, ενώ το Σενάριο 1 έχει τα λιγότερα. Αυτό υποδεικνύει ότι το σενάριο 1 είναι το πιο αυτάρκες και μπορεί να καλύψει τις ανάγκες της κοινότητας με μικρότερη εξωτερική προμήθεια ενέργειας.

Επίσης, το τρίτο σενάριο παρουσιάζει τις μεγαλύτερες ελλείψεις σε αντίθεση με το πρώτο. Γίνεται κατανοητό, έτσι, ότι το Σενάριο 1 έχει την καλύτερη ικανότητα να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις ενέργειας της κοινότητας με τα υφιστάμενα ανανεώσιμα συστήματα.

Το Σενάριο 3 έχει το υψηλότερο ποσοστό ανανεώσιμων ενεργειών με 100%, ενώ το Σενάριο 1 έχει το χαμηλότερο ποσοστό με 65,1%. Αυτό υποδεικνύει ότι το σενάριο 3 έχει την πιο βιώσιμη ενεργειακή πολιτική.

Βασιζόμενοι στα παραπάνω, καταλήγουμε στο γεγονός πως το Σενάριο 3 έχει τα πιο ευνοϊκά αποτελέσματα σε όλες τις κατηγορίες, υποδεικνύοντας την πιο βιώσιμη και αποδοτική ενεργειακή πολιτική για την κοινότητα.

Τέλος, η εφαρμογή του συστήματος Net Metering στο τέταρτο σενάριο δικαιολογεί γιατί η περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας είναι τόσο μικρή σε σύγκριση με τα άλλα σενάρια. Στο Net Metering, η περίσσεια ενέργειας που παράγεται από τα ανανεώσιμα συστήματα δεν αποθηκεύεται σε μπαταρίες αλλά πωλείται πίσω στο δίκτυο, γεγονός που οδηγεί σε μικρότερη περίσσεια ενέργειας σύμφωνα με την ανάλυση του λογισμικού. Επομένως, παρότι η περίσσεια είναι χαμηλή, αυτό δεν αντικατοπτρίζει απαραιτήτως μια ανεπάρκεια στην παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, αλλά μάλλον τον τρόπο με τον οποίο διαχειρίζεται η παραγωγή και η χρήση της ενέργειας στο πλαίσιο αυτό. Κατά συνέπεια, η μικρή περίσσεια ενέργειας δεν αποτελεί αρνητικό στοιχείο, αλλά αντανακλά τη διαφορετική μέθοδο λειτουργίας του, συγκριτικά με τα άλλα σενάρια.

7.4.2 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ

Πίνακας 7-50 Συγκεντρωτικός πίνακας εκπομπών αερίων

Στοιχεία Ρύπων	Τιμή	Μονάδα
ΣΕΝΑΡΙΟ 1		
Διοξείδιο του άνθρακα	2.292.257	kg/έτος
Μονοξείδιο του άνθρακα	11.859	kg/έτος
Άκαυστοι υδρογονάνθρακες	629	kg/έτος
Αιωρούμενα σωματίδια	101	kg/έτος
Διοξείδιο του θείου	5.603	kg/έτος
Οξείδια του αζώτου	2.273	kg/έτος
ΣΕΝΑΡΙΟ 2		
Διοξείδιο του άνθρακα	1.273.045	kg/έτος
Μονοξείδιο του άνθρακα	6.597	kg/έτος
Άκαυστοι υδρογονάνθρακες	350	kg/έτος
Αιωρούμενα σωματίδια	56,4	kg/έτος
Διοξείδιο του θείου	3.112	kg/έτος
Οξείδια του αζώτου	1.263	kg/έτος
ΣΕΝΑΡΙΟ 3		
Διοξείδιο του άνθρακα	81,7	kg/έτος
Μονοξείδιο του άνθρακα	1.198	kg/έτος
Άκαυστοι υδρογονάνθρακες	63,8	kg/έτος
Αιωρούμενα σωματίδια	6,31	kg/έτος
Διοξείδιο του θείου	0	kg/έτος
Οξείδια του αζώτου	126	kg/έτος
ΣΕΝΑΡΙΟ 4		
Διοξείδιο του άνθρακα	2.130.433	kg/έτος
Μονοξείδιο του άνθρακα	1.092	kg/έτος
Άκαυστοι υδρογονάνθρακες	58	kg/έτος
Αιωρούμενα σωματίδια	9,34	kg/έτος
Διοξείδιο του θείου	9,236	kg/έτος
Οξείδια του αζώτου	4,726	kg/έτος

Με βάση τον παραπάνω πίνακα το Σενάριο 3 διακρίνεται για τις χαμηλές εκπομπές αερίων, καθώς δεν παράγει σχεδόν καθόλου διοξείδιο του θείου και ελάχιστα μονοξείδια άνθρακα. Η ελάχιστη παραγωγή διοξειδίου του θείου στο σενάριο 3 μπορεί να ερμηνευθεί ως αποτέλεσμα της μετάβασης προς πιο καθαρές μεθόδους παραγωγής ενέργειας.

Το Σενάριο 4, παρά τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, παρουσιάζει υψηλές εκπομπές αερίων, κυρίως λόγω των υψηλών ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα και διοξειδίου του θείου. Επίσης, η εκπομπή αιωρούμενων σωματιδίων στο τέταρτο σενάριο είναι υψηλή, προκαλώντας ανησυχία για την ποιότητα του αέρα και την υγεία του περιβάλλοντος.

Στην άλλη πλευρά η σύγκριση μεταξύ των δυο πρώτων σεναρίων, μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το Σενάριο 2 φαίνεται έχει μικρότερες εκπομπές αερίων, πιθανότατα λόγω της χρήσης πιο αποτελεσματικών τεχνολογιών.

Η παραγωγή μειωμένων εκπομπών αερίων επιφέρει θετικές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπινου πληθυσμού και στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Η επένδυση σε τεχνολογίες μειωμένων εκπομπών αερίων μπορεί να ενισχύσει την αειφορία και την ανταγωνιστικότητα στον ενεργειακό τομέα. Καταλήγουμε, λοιπόν, στο συμπέρασμα ότι με βάση τη σύγκριση των σεναρίων και των εκπομπών αερίων, φαίνεται ότι το τρίτο σενάριο ξεχωρίζει για την χαμηλή παραγωγή εκπομπών αερίων, προβάλλοντας την αξία της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

8 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8Ο ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ

8.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μελέτη που πραγματοποιήθηκε στο 7ο κεφάλαιο αντιμετωπίζει την ανάγκη για μετάβαση της Σερίφου προς νέες, βιώσιμες και ανθεκτικές ενεργειακές λύσεις υπό το φως της τρέχουσας μεγάλης εξάρτησης από τις γεννήτριες diesel, οι οποίες θεωρούνται και επιβλαβείς για το περιβάλλον. Καθώς οι παγκόσμιες προσπάθειες επικεντρώνονται στην επίτευξη της μείωσης του άνθρακα έως το 2030, καθιστάται επιτακτική η διερεύνηση και η πρόταση βιώσιμων εναλλακτικών λύσεων που προωθούν τη παραγωγή καθαρής ενέργειας, ελαχιστοποιώντας παράλληλα τις αρνητικές επιπτώσεις στο οικοσύστημα και τις τοπικές κοινωνίες.

Η παραπάνω μελέτη, περιέχει μια ολοκληρωμένη ανάλυση διαφορετικών σεναρίων με στόχο τη μείωση των εκπομπών άνθρακα και την ενίσχυση της ενεργειακής βιωσιμότητας στη Σέριφο. Συγκρίνοντας διαφορετικά μοντέλα, η έρευνα επιδιώκει να εντοπίση την πιο βέλτιστη λύση, προσαρμοσμένη στις μοναδικές ανάγκες και τους περιορισμούς του νησιού. Στη μελέτη εξετάζονται τέσσερα διαφορετικά σενάρια, το καθένα από τα οποία ενσωμετώνει διαφορετικούς συνδυασμούς τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και υποδομής δικτύου.

Το πρώτο σενάριο, ενσωματώνει υφιστάμενες γεννήτριες diesel με ανεμογεννήτριες και ηλιακά φωτοβολταϊκά συστήματα, δίνοντας έμφαση σε μια υβριδική προσέγγιση παραγωγής ενέργειας. Το δεύτερο σενάριο περιλαμβάνει τη τροποποίηση του υπάρχοντος συστήματος με την αντικατάσταση μιας γεννήτριας diesel με γεννήτρια βιοκαυσίμου. Στο τρίτο σενάριο, προτείνεται η εισαγωγή μιας γεννήτριας κυψελών καυσίμου, μαζί με ηλεκτρολυτικούς διασπαστές και δεξαμενές αποθήκευσης υδρογόνου ως πηγή καθαρής ενέργειας. Το συγκεκριμένο σενάριο, αντιπροσωπεύει μια προοδευτική προσέγγιση για την υιοθέτηση αναδυόμενων τεχνολογιών και την μετάβαση προς μια ενεργειακή οικονομία βασισμένη στο υδρογόνο. Τέλος, το τέταρτο σενάριο, διερευνά την ενοποίηση των ανανεώσιμων πηγών που έχουν ήδη εξετασθεί στα τρια προηγούμενα σενάρια με την υποθετική σύνδεση του νησιού στο ηπειρωτικό σύστημα ηλεκτροδότησης. Αυτό το σενάριο, είναι βασισμένο στο υπάρχον έργο που πραγματοποιείται στα νησιά του Αιγαίου.

8.1.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΑΝΑΛΥΣΗ 1ΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ

Στο πρώτο σενάριο, η ανάλυση της παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας του νησιού αποκαλύπτει μια πολύπλοκη αλληλεπίδραση μεταξύ διαφόρων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και συμβατικών γεννητριών. Η ενσωμάτωση ενός συστήματος αιολικής ενέργειας Vestas, ενός ηλιακού φωτοβολταϊκού συστήματος και τριών υφιστάμενων γεννητριών παρέχει πληροφορίες για το συνολικό ενεργειακό τοπίο. Η ανάλυση δείχνει ότι το ηλιακό φωτοβολταϊκό σύστημα συμβάλλει στο 28,3% της συνολικής ζήτησης ενέργειας, ενώ το σύστημα αιολικής ενέργειας Vestas αντιπροσωπεύει το 43,2%. Αντίθετα, οι τρεις γεννήτριες συμβάλλουν λιγότερο στη συνολική παραγωγή ενέργειας. Περαιτέρω εξέταση της μεμονωμένης ηλεκτρικής περίληψης κάθε γεννήτριας αποκαλύπτει διαφορετικές ώρες λειτουργίας. Μία από τις γεννήτριες S16R-PTA λειτουργεί για 3.570 ώρες ετησίως, μια άλλη λειτουργεί για 1.635 ώρες και η τρίτη για 528 ώρες. Αυτή η διαφορά στις ώρες λειτουργίας υπογραμμίζει πιθανές ανεπάρκειες ή διαφορές στη χρησιμοποίηση της παραγωγικής ικανότητας μεταξύ των γεννητριών.

Το ηλιακό φωτοβολταϊκό σύστημα λειτουργεί για περισσότερο από το ήμισυ του έτους, εκμεταλλευόμενο τις μέγιστες ώρες της ημέρας. Το ισοσταθμισμένο κόστος ενέργειας (LCOE) για το φωτοβολταϊκό σύστημα είναι 0,0168 €/kWh, με αποτέλεσμα ελάχιστο LCOE 0,0416 €/kWh όταν συνυπολογίζονται τα κόστη συστήματος. Το σύστημα αιολικής ενέργειας Vestas επιτυγχάνει μέγιστη παραγωγή λόγω της υψηλής διαθεσιμότητας αιολικής ενέργειας, λειτουργώντας για 7.072 ώρες ετησίως. Επιπλέον, οι 80 μπαταρίες των 100 kWh συμβάλλουν στη μέγιστη ζήτηση ισχύος και στη σταθερότητα του συστήματος. Από την ανάλυση των οικονομικών πτυχών του έργου προκύπτει συνολικό κόστος ≈45,8 εκατ. ευρώ, με ποσοστό απόδοσης 54,7% και απλή περίοδο αποπληρωμής 1,76 ετών. Οι συγκρίσεις μεταξύ του προτεινόμενου συστήματος και ενός βασικού συστήματος που ενσωματώνει μόνο γεννήτριες δείχνουν ότι το προτεινόμενο σύστημα προσφέρει χαμηλότερο ισοσταθμισμένο ενεργειακό κόστος 0,227 €/kWh σε σύγκριση με 0,335 €/kWh για το βασικό σύστημα.

8.1.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΑΝΑΛΥΣΗ 2^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ

Στο δεύτερο σενάριο, η ενεργειακή υποδομή αποτελείται από συνδυασμό ανανεώσιμων και συμβατικών πηγών ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων ανεμογεννητριών, φωτοβολταϊκών πάνελ, γεννητριών diesel και γεννήτριας βιομάζας. Συγκεκριμένα, το σενάριο περιλαμβάνει την εγκατάσταση 10 ανεμογεννητριών ισχύος 225 kW η καθεμία, φωτοβολταϊκών πάνελ συνολικής ισχύος 2.550 kW, δύο γεννητριών diesel, ισχύος 1100 kW η καθεμία και μιας γεννήτριας βιομάζας 500 kW που δημιουργήθηκε από τη μετατροπή μιας παλαιότερης γεννήτριας ώστε να λειτουργεί με καύσιμο βιομάζας. Η περίληψη παραγωγής ενέργειας του συστήματος δείχνει ότι το ηλιακό φωτοβολταϊκό σύστημα καλύπτει περίπου το 33,3% της ενεργειακής ζήτησης των καταναλωτών, ενώ το σύστημα αιολικής ενέργειας Vestas συμβάλλει περισσότερο με συνολική παραγωγή ενέργειας 39,9%. Οι γεννήτριες diesel έχουν μικρότερες συνεισφορές 10,2% και 4,52%, αντίστοιχα. Ωστόσο, η γεννήτρια βιομάζας διαδραματίζει σημαντικό ρόλο, συμβάλλοντας έως και 12,1% στην κάλυψη της ζήτησης ενέργειας των καταναλωτών. Η εξέταση των μεμονωμένων ηλεκτρικών περιλήψεων κάθε γεννήτριας ή εξαρτήματος συστήματος αποκαλύπτει διαφορετικές ώρες λειτουργίας. Μία από τις γεννήτριες diesel λειτουργεί για 1.943 ώρες ετησίως, ενώ οι γεννήτρια βιομάζας λειτουργεί περί τις 4.006 ώρες. Το Φ/Β σύστημα λειτουργεί για σημαντικό μέρος του έτους, μεγιστοποιώντας την απόδοσή του κατά τη διάρκεια της ημέρας. Το ισοσταθμισμένο κόστος ενέργειας (LCOE) για το φωτοβολταϊκό σύστημα είναι 0,0168 €/kWh, τιμή παρόμοια με εκείνη του πρώτου σεναρίου.

Η αποθήκευση ενέργειας μέσω μπαταριών διαδραματίζει σημαντικό ρόλο, με 82 μπαταρίες να συμβάλλουν στη μέγιστη ζήτηση ισχύος και στη συνολική σταθερότητα του συστήματος. Το σύστημα επιδεικνύει εξάρτηση από τις μπαταρίες, ιδιαίτερα τους τελευταίους μήνες του έτους. Το συνολικό κόστος κεφαλαίου του συστήματος είναι ≈7,36 εκατ. €, με το συνολικό κόστος του έργου να εκτιμάται σε ≈31,5 εκατ. €. Ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης (IRR) για το σενάριο 2 είναι 44,8% και η απλή περίοδος αποπληρωμής για το σύστημα είναι 2,3 έτη. Η σύγκριση του σεναρίου αυτού με ένα παραδοσιακό σύστημα βάσης αποκαλύπτει ότι το προτεινόμενο σύστημα μειώνει σημαντικά το ισοσταθμισμένο ενεργειακό κόστος σε 0,157 €/kWh, σε σύγκριση με 0,283 €/kWh στο επιχειρηματικό σύστημα βάσης. Αυτή η μείωση του κόστους καταδεικνύει την οικονομική βιωσιμότητα και ελκυστικότητα του συστήματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που εφαρμόζεται στο δεύτερο σενάριο. Επιπλέον, παρατηρείται μείωση του ισοσταθμισμένο κόστους συγκριτικά με το πρώτο σενάριο, όπου προέκυψε η τιμή των 0,227 €/kWh.

8.1.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΑΝΑΛΥΣΗ 3ΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ

Στο τρίτο σενάριο, προκύπτει ότι το ηλιακό φωτοβολταϊκό σύστημα αντιπροσωπεύει περίπου το 33,6% της συνολικής ζήτησης ενέργειας. Ωστόσο, το μεγαλύτερο μερίδιο της παραγωγής ενέργειας και η κύρια διαφοροποίηση από τα δυο προηγούμενα σενάρια, αποδίδεται στο σύστημα αιολικής ενέργειας Vestas, το οποίο αντιπροσωπεύει το 59,8% της συνολικής παραγωγής. Αντίθετα, οι δύο γεννήτριες συνεισφέρουν σχετικά μικρότερα ποσοστά, με 5,61% και 1,05%, αντίστοιχα. Περαιτέρω εξέταση των γεννητριών αποκαλύπτει ότι η γεννήτρια βιοκαυσίμου έχει ετήσια παραγωγή 1.294.271 kWh/έτος, ενώ η γεννήτρια κυψελών καυσίμου παράγει 241.579 kWh/έτος. Είναι ενδιαφέρον ότι η ανάλυση δείχνει ότι με φωτοβολταϊκή ισχύ 5 MW, η ανάγκη για γεννήτριες βιοκαυσίμου και κυψελών καυσίμου θα μπορούσε ενδεχομένως να εξαλειφθεί. Η απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος δείχνει ότι λειτουργεί για λίγο περισσότερο από το ήμισυ του έτους, ευθυγραμμιζόμενο με τη μέγιστη διάρκεια ημέρας. Η επίδοση αυτή οδηγεί σε ισοσταθμισμένο κόστος ενέργειας (LCOE) 0,0174 €/kWh, με μέγιστη ισχύ εξόδου 5,048 MW. Επιπλέον, η ανάλυση περιλαμβάνει τη συμπεριφορά του ηλεκτρολυτικού αποσυνθέτη, ο οποίος καταναλώνει 46,4 kWh/kg ηλεκτρολύτη και παράγει έως 87.858 kg/έτος. Οι συνολικές ώρες λειτουργίας ανέρχονται σε 4.639 ετησίως, με συνολική εισροή ενέργειας 4.077.084 kWh/έτος.

Συγκρίνοντας το συνολικό κόστος επένδυσης του προτεινόμενου συστήματος με το ισοσταθμισμένο ενεργειακό κόστος, παρατηρείται ότι το προτεινόμενο σύστημα επιτυγχάνει LCOE 0,0669 €/kWh, το οποίο είναι χαμηλότερο τόσο από το Σενάριο 1 (0,227 €/kWh) όσο και από το βασικό σύστημα που ενσωματώνει γεννήτριες (0,222 €/kWh). Αυτό υποδηλώνει ότι το προτεινόμενο σύστημα προσφέρει μια οικονομικά αποδοτικότερη λύση για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων.

8.1.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΑΝΑΛΥΣΗ 4ΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ

Στο τέταρτο σενάριο, η διαμόρφωση που περιγράφεται ενσωματώνει μια γεννήτρια που τροφοδοτείται με υδρογόνο, μια ηλιακή φωτοβολταϊκή εγκατάσταση ισχύος 4.000 MW, έναν ηλεκτρολυτικό διασπαστή χωρητικότητας 1.000 kW και μια δεξαμενή υδρογόνου ικανή να αποθηκεύσει 500 kg. Στόχος αυτής της διαμόρφωσης είναι η αποκλειστική κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του νησιού με τη χρήση εναλλακτικών πηγών ενέργειας, με τυχόν παραγόμενη πλεονάζουσα ενέργεια να πιστώνεται πίσω στο δίκτυο μέσω ενός συστήματος Net Metering. Διάφορα μοντέλα φωτοβολταϊκών πάνελ και ανεμογεννητριών έχουν επιλεγεί για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης ισχύος, αντανακλώντας το στόχο της εξάρτησης αποκλειστικά από εναλλακτικές πηγές ενέργειας. Η ανάλυση δείχνει ότι το φωτοβολταϊκό σύστημα καλύπτει το 37,6% της ζήτησης ενέργειας των καταναλωτών, ενώ το σύστημα αιολικής ενέργειας Vestas συνεισφέρει το 40%. Η γεννήτρια κυψελών καυσίμου παρέχει μικρότερη συνεισφορά 1,69%, ενώ το δίκτυο συμπληρώνει τη ζήτηση ενέργειας σε ποσοστό 20,7%.

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται βασίζονται σε εκτεταμένη παραμετροποίηση, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως το μεταβαλλόμενο κόστος ανά kWh, η απόσταση εγκατάστασης καλωδίων του Δικτύου από την ηπειρωτική χώρα και το κόστος διακοπής λειτουργίας. Το ισοσταθμισμένο κόστος ενέργειας για το φωτοβολταϊκό σύστημα στο Σενάριο 4 υπολογίζεται σε 0,0176 €/kWh, με μέγιστη ισχύ εξόδου 4 MW. Η απόδοση του ηλεκτρολυτικού διασπαστή δείχνει ειδική κατανάλωση 46,4 kWh/kg και συνολική παραγωγή που κυμαίνεται από 1 έως 80.290 kg/έτος. Οι ώρες λειτουργίας ανέρχονται συνολικά σε 5.089 ώρες, ελαφρώς υψηλότερες από ό, τι στο προηγούμενο σενάριο, με συνολική ενέργεια εισόδου 3.725.897 kWh/έτος.

Η ενσωμάτωση του δικτύου στο σύστημα συνεπάγεται την προσαρμογή των τιμών πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές με βάση τη δομή των ημερήσιων και νυχτερινών τιμολογίων που ισχύουν στην Ελλάδα, με τις τιμές να υπόκεινται σε διακυμάνσεις με την πάροδο του χρόνου. Αυτή η ολοκληρωμένη προσέγγιση εξασφαλίζει αποδοτική παραγωγή και διαχείριση ενέργειας εντός των καθορισμένων παραμέτρων του σεναρίου.

8.2 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ

Για την περαιτέρω ενίσχυση της ενεργειακής βιωσιμότητας στη Σέριφο, προκύπτουν διάφορες συστάσεις από την ολοκληρωμένη ανάλυση των ενεργειακών σεναρίων. Πρώτον, η επένδυση σε τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας, όπως οι μπαταρίες ή η αντλησιοταμίευση, μπορεί να συμβάλει στον μετριασμό της διαλείπουσας λειτουργίας των ανανεώσιμων πηγών, ενισχύοντας τη σταθερότητα του δικτύου. Δεύτερον, η διερεύνηση της ενσωμάτωσης των τεχνολογιών υδρογόνου, όπως φαίνεται στα δυο τελευταία σενάρια, υπόσχεται αύξηση της ικανότητας αποθήκευσης ενέργειας και υποστήριξη των προσπαθειών απαλλαγής από τον άνθρακα στις μεταφορές και τη βιομηχανία. Επιπλέον, η υιοθέτηση λύσεων έξυπνων δικτύων, όπως οι έξυπνοι μετρητές και αυτοματοποιημένος έλεγχος, θα προσφέρουν στους καταναλωτές πληροφόρηση σε πραγματικό χρόνο σε ό,τι αφορά την κατανάλωση και την τιμολόγηση.

Επιπλέον, η ενημέρωση και η προώθηση του συστήματος αυτοπαραγωγής ενέργειας (Net Metering) αναμένεται να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στο νησιωτικό χώρο. Αυτό το σύστημα παρέχει κίνητρα στους καταναλωτές για την υιοθέτηση εναλλακτικών πηγών ενέργειας για την κάλυψη των ηλεκτρικών τους αναγκών, με συνέπεια τη μείωση του κόστους χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας. Η προώθηση αυτής της τεχνολογίας απαιτεί επίσης ενεργή συμμετοχή και εκπαίδευση της κοινότητας, συνεχή παρακολούθηση και αξιολόγηση της απόδοσης του συστήματος, καθώς και στενή συνεργασία με περιφερειακές και εθνικές αρχές. Αυτές οι στρατηγικές αποτελούν βασικό πυλώνα για τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης ενέργειας, την ευαισθητοποίηση της κοινότητας και τη διασφάλιση πόρων για ένα βιώσιμο και ανθεκτικό ενεργειακό μέλλον στη Σέριφο.

Η εγκατάσταση σταθμών φόρτισης υδρογόνου στη Σέριφο θα συμβάλει στην ευρύτερη υιοθέτηση οχημάτων κυψελών καυσίμου στο νησί. Αρχικά, αυτοί οι σταθμοί θα εξυπηρετούν τα οχήματα του δήμου, παρέχοντας μια αξιόπιστη πηγή καύσιμου για τα κοινής ωφελείας οχήματα. Καθώς η τεχνολογία των κυψελών καυσίμου γίνεται ολοένα και πιο δημοφιλής, οι σταθμοί φόρτισης θα μπορούν στη συνέχεια να εξυπηρετούν και τα ενοικιαζόμενα οχήματα, προσφέροντας μια βιώσιμη και καθαρή εναλλακτική λύση για τη μετακίνηση των κατοίκων και των επισκεπτών του νησιού. Η παροχή αυτής της υποδομής θα ενθαρρύνει τη μετάβαση σε πιο βιώσιμες μορφές μεταφοράς και θα συμβάλει στην προστασία του περιβάλλοντος του νησιού μας.

Τέλος, μελλοντική σύσταση μπορεί να είναι η δημιουργία ενός προγράμματος ανακύκλωσης και βιώσιμης διαχείρισης απορριμμάτων στο νησί. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την εγκατάσταση συλλογής και διαχωρισμού απορριμμάτων, την εκπαίδευση των κατοίκων σχετικά με τις βέλτιστες πρακτικές ανακύκλωσης, και την προώθηση της χρήσης ανακυκλώσιμων υλικών και την αντικατάσταση των μη βιώσιμων υλικών με πιο φιλικές προς το περιβάλλον επιλογές.

Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές

Ελληνική (Βιβλία, Διπλωματικές-Μεταπτυχιακές-Διδακτορικές διατριβές, Εκθέσεις, Δημοσιεύσεις)

[1] Αραμπατζής Γ., Πολύζος Σ., Φυσικοί Πόροι & Ανάπτυξη, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2008.

[2] Βλάχου Α., Περιβάλλον και Φυσικοί Πόροι, Εκδόσεις Κριτική, Αθήνα, 2001.

[3] Κορωναίος Χ., Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Διδακτικές Σημειώσεις, 2012.

[4] Μοσχάτος Α., Ενέργεια, Εκδόσεις Δίαυλος, Αθήνα, 2013.

[5] Ασημακόπουλος Δ., Αραμπατζής Γ., Δημάκης Α., Καρταλίδης Α., Τσιλιγκιρίδης Γ., Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας: Δυναμικό-Τεχνολογίες, Εκδόσεις Σοφία, Θεσσαλονίκη, 2015.

[6] Βαμβούκα Δ., Βιομάζα: Βιοενέργεια & Περιβάλλον, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2019.

[7] Μπιζιώνης Β., Μπιζιώνης Δ., Ηλιακή & Αιολική Ενέργεια: Θεωρία & Εφαρμογές, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2015.

[8] Πολυζάκης Απ., Ενέργεια, Περιβάλλον και Αειφόρος Ανάπτυξη, Εκδόσεις Power Heat Cool, Αθήνα, 2020.

[9] Κοδοσάκης Δ., Διαχείριση Φυσικών Πόρων και Ενέργειας, Εκδόσεις Σταμούλης, Αθήνα, 1994.

[10] Οικονομίδης Μ., Δαλαμαρίνης Π., Το ενεργειακό Μέλλον και το Περιβάλλον, Εκδόσεις Γερμανός, Θεσσαλονίκη, 2010.

[11] Κικκίδης Ε., Μακρίδης Σ., «Τεχνολογίες Υδρογόνου», Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, Κοζάνη, 2006.

[12] ΚΑΠΕ, «Οδηγός Τεχνολογιών Ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ», Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας, Αθήνα, 2001.

[13] Αναστασοπούλου Α., «Παραγωγή ενέργειας από λιγνίτη με μηδενική έκλυση αερίων θερμοκηπίου και σύγκριση με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για την Ελλάδα», Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Αθήνα, Δεκέμβριος 2011.

[14] Κορακιανίτης Ν., «Προσομοίωση διείσδυσης φωτοβολταϊκής ισχύος σε μικροδίκτυο», Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Πάτρα, 2015.

[15] Νικολοπούλου Β., «ΜΕΛΕΤΗ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ», Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Πάτρα, 2012.

Ξενόγλωσση (Βιβλία, Διπλωματικές-Μεταπτυχιακές-Διδακτορικές διατριβές, Εκθέσεις, Δημοσιεύσεις)

[1] A. G. Anastasiadis, P. Papadimitriou, Paraskevi Vlachou, and G. A. Vokas, “Management of Hybrid Wind and Photovoltaic System Electrolyzer for Green Hydrogen Production and Storage in the Presence of a Small Fleet of Hydrogen Vehicles—An Economic Assessment,” Energies, vol. 16, no. 24, pp. 7990–7990, 2023

[2] B. Robyns, A. Davigny, B. François, A. Henneton, and J. Sprooten, Eds., “Electricity production from renewable energies”, 2nd ed. London, England: ISTE Ltd and John Wiley & Sons, 2021.

[3] I. Hadjipaschalis, A. Poullikkas, and V. Efthimiou, “Overview of current and future energy storage technologies for electric power applications,” Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 13, no. 6–7, pp. 1513–1522, 2009.

[4] T. Dittrich, “Materials concepts for solar cells”, 2nd ed. London, England: World Scientific Europe, 2018.

[5] F. M. Guangul and G. T. Chala, “A comparative study between the seven types of fuel cells,” j.asep, vol. 13, no. 3, 2020.

[6] J. O. M. Bockris, “The hydrogen economy: Its history,” Int. J. Hydrogen Energy, vol. 38, no. 6, pp. 2579–2588, 2013.

[7] S. Nawaz Khan and S. Ali Abbas Kazmi, “Integrative decision-making framework for techno-economic planning and sustainability assessment of renewable dominated standalone hybrid microgrids infrastructure at provincial scale of Pakistan,” Energy Convers. Manag., vol. 270, no. 116168, p. 116168, 2022.

[8] T. Khan, M. Waseem, M. Tahir, S. Liu, and M. Yu, “Autonomous hydrogen-based solar-powered energy system for rural electrification in Balochistan, Pakistan: An energy-economic feasibility analysis,” Energy Convers. Manag., vol. 271, no. 116284, p. 116284, 2022.

[9] Z.-U.-A. Qureshi, S. A. A. Kazmi, S. Mushtaq, and M. Anwar, “An integrated assessment framework of renewable based Microgrid deployment for remote isolated area electrification across different climatic zones and future grid extensions,” Sustain. Cities Soc., no. 105069, p. 105069, 2023.

[10] A. Al-Badi, A. Al Wahaibi, R. Ahshan, and A. Malik, “Techno-economic feasibility of a solar-wind-fuel cell energy system in duqm, Oman,” Energies, vol. 15, no. 15, p. 5379, 2022.

[11] D. N. Luta and A. K. Raji, “Optimal sizing of hybrid fuel cell-supercapacitor storage system for off-grid renewable applications,” Energy (Oxf.), vol. 166, pp. 530–540, 2019.

[12] L. W. Chong, Y. W. Wong, R. K. Rajkumar, R. K. Rajkumar, and D. Isa, “Hybrid energy storage systems and control strategies for stand-alone renewable energy power systems,” Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 66, pp. 174–189, 2016.

[13] A. Singh and P. Baredar, “Techno-economic assessment of a solar PV, fuel cell, and biomass gasifier hybrid energy system,” Energy Rep., vol. 2, pp. 254–260, 2016.

[14] A. Singh, P. Baredar, and B. Gupta, “Computational Simulation & Optimization of a Solar, Fuel Cell and Biomass Hybrid Energy System Using HOMER Pro Software,” Procedia Engineering, vol. 127, pp. 743–750, 2015.

[15] M. A. V. Rad, R. Ghasempour, P. Rahdan, S. Mousavi, and M. Arastounia, “Techno-economic analysis of a hybrid power system based on the cost-effective hydrogen production method for rural electrification, a case study in Iran,” Energy, vol. 190, p. 116421, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.energy.2019.116421.

[16] M. Kamran et al., "Designing and optimization of stand-alone hybrid renewable energy system for rural areas of Punjab, Pakistan," International Journal of Renewable Energy Research, no. v8i4, 2018.

Διαδικτυακές Πηγές

[1] "Comparison of fuel cell technologies," Energy.gov. [Online]. Available: https://www.energy.gov/eere/fuelcells/comparison-fuel-cell-technologies.

[2] Rae.gr. [Online]. Available: https://www.rae.gr/wp-content/uploads/2021/05/2.%CE%A3%CF%87%CE%AD%CE%B4%CE%B9%CE%BF-%CE%91%CE%BD%CE%AC%CF%80%CF%84%CF%85%CE%BE%CE%B7%CF%82-%CE%94%CE%B9%CE%BA%CF%84%CF%8D%CE%BF%CF%85-2021-2025-_-%CE%95%CE%B9%CF%83%CE%AE%CE%B3%CE%B7%CF%83%CE%B7-%CE%94%CE%95%CE%94%CE%94%CE%97%CE%95-%CE%91%CF%80%CF%81%CE%AF%CE%BB%CE%B9%CE%BF%CF%82-2021.pdf.

[3] Ypeka.gr. [Online]. Available: https://wrm.ypeka.gr/ota-statistics-search-form.

[4] P. Stackhouse, "Nasa power," Nasa.gov. [Online]. Available: https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/.

[5] "Welcome to HOMER," Ul-renewables.com. [Online]. Available: https://support.ul-renewables.com/homer-manual-pro/index.html.

[6] Deddie.gr. [Online]. Available: https://deddie.gr/el/themata-tou-diaxeiristi-mi-diasundedemenwn-nisiwn/leitourgia-mdn/dimosieusi-imerisiou-energeiakou-programmatismou/%CE%B7%CF%83-%CF%83%CE%B5%CF%81%CE%AF%CF%86%CE%BF%CF%85/.

[7] "Use of hydrogen - U.S. Energy Information Administration (EIA)," Eia.gov. [Online]. Available: https://www.eia.gov/energyexplained/hydrogen/use-of-hydrogen.php.

[8] Europa.eu. [Online]. Available: https://www.europarl.europa.eu/document/activities/cont/201109/20110906ATT26009/20110906ATT26009EN.pdf.

[9] "Χάρτες Δυναμικού," [Online]. www.cres.gr. http://www.cres.gr/kape/datainfo/maps.htm

Παράρτημα Α

MITSUBISHI DIESEL ENGINE TECHNICAL INFORMATION	ITEM NO.	T0216-0001E Rev.2 (1/4)
	DATE	March, 2013

Specification Sheets of S16R-PTA Engine

Specification Sheets of S16R-PTA Engine are enclosed herein.

Revision				
	First Edition : September, 2007 (T13-0311-E Jun.99)	Engine Engineering Department Engine System Designing Section		
	Rev.1 : Dec., 2012			
	Rev.2 : Mar., 2013	Approved by	Checked by	Drawn by
		T.HASHIGUCHI	T.OGURA	K.NAKAMURA

MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.
GENERAL MACHINERY & SPECIAL VEHICLE

MITSUBISHI

S16R-PTA SPECIFICATION SHEET DIESEL ENGINES

GENERAL ENGINE DATA		
Type	4-Cycle, Water Cooled	
Aspiration	Turbo-Charged, After Cooler (Jacket water to Cooler)	
Cylinder Arragement	60°V	
No.of Cylinders	16	
Bore mm(in.)	170	(6.69)
Stroke mm(in.)	180	(7.09)
Displacement liter(in^3)	65.37	(3989)
Compression Ratio	14.0:1	
Dry Weight - Engine only - kg(lb)	6750	(14884)
Wet Weight - Engine only - kg(lb)	7127	(15715)
PERFORMANCE DATA		
Steady State Speed Stability Band at any Constant Load		
Electric Governor - %	±0.25 or better	
Maximum Overspeed Capacity - rpm	2100	
Moment of inertia of Rotating Components - $N \cdot m^2(lbf \cdot ft^2)$ (Includes Std.Flywheel)	793	(1918)
Cyclic Speed Variation with Flywheel at 1800rpm	1/283	
1500rpm	1/188	
1200rpm	1/131	
ENGINE MOUNTING		
Maximum Bending Moment at Rear Face of Flywheel Housing - $N \cdot m(lbf \cdot ft)$	4413	(3256)
AIR INLET SYSTEM		
Maximum Intake Air Restriction (Includes piping)		
With Clean Filter Element - mm H_2O (in.H_2O)	400	(15.7)
With Dirty Filter Element - mm H2O (in.H2O)	635	(25.0)
EXHAUST SYSTEM		
Maximum Allowable Back Pressure - mm H_2O (in.H_2O)	600	(23.6)
LUBRICATION SYSTEM		
Oil Pressure at ldle - MPa(psi)	0.2～0.3	(29～43)
at Rate Speed - MPa(psi)	0.49～0.64	(71～93)
Maximum Oil Temperature of Oil pan - °C(°F)	110	(230)
Oil Capacity of Standard Oil parHigh - liter (U.S.gal)	200	(52.8)
Low - liter (U.S.gal)	140	(37.0)
Total System Capacity (lncludes Oil Filter) - liter (U.S.gal)	230	(60.8)
Maximum Angle of lnstallation (Std. Pan) Front Down	5°	
(Engine Only) Front Up	5°	
Side to Side	22.5°	
COOLING SYSTEM		
Coolant Capactiy (Engine only) - liter (U.S.gal)	170	(44.9)
Maximum External Friction Head at Engine Outlet - MPa(psi)	0.034	(5.0)
Maximum Static Head of Coolant above Crankshaft Center - m(ft)	10	(32.8)
Maximum Outlet Pressure of Engine Water Pump - MPa(psi)	0.20	(28.6)
Standard Thermostat (modulating)Range- °C(°F)	71～85	(160～185)
Maximum Coolant Temperature at Engine Outlet- °C(°F)	98	(208)
Minimum Coolant Expansion Space - % of System Capacity	10	
Maximum Coolant Temperature at Intercooler lnlet, TK type- °C(°F)	-	
Maximum Air Restriction on Discharge Side of Radiator and Fan-mm H_2O(in.H_2O)	10	(0.4)

The specifications are subject to change without notice.

APPLICATION : GENERATOR

Pub. No. T0216-0001E Rev.2 2/4

Mar. '13 Printed in Japan

MITSUBISHI
S16R-PTA SPECIFICATION SHEET DIESEL ENGINES

FUEL SYSTEM
Fuel Injector .... Mitsubishi PS8 × 2
Maximum Suction Head of Feed Pump - mm Hg (in. Hg) 75 (3.0)
Maximum Static Head of Return & Leak Pipe - mm Hg (in.Hg) 150 (5.9)
STARTING SYSTEM
Battery Charging Alternator - V-Ah 24-30
Starting Motor Capacity - V -kW .... 24-7.5×2
Maximum Allowable Resistance of Cranking Circuit - m Ω 1.5
Recommended Minimum Battery Capacity
At 5 °C(41°F) and above - Ah 300
Below 5 °C(41°F) through - 5 °C(23°F) 600

The specifications are subject to change without notice.

APPLICATION : GENERATOR

Pub. No. T0216-0001E Rev.2 3/4

Mar. '13 Printed in Japan

MITSUBISHI

S16R-PTA SPECIFCATION SHEET DIESEL ENGINES

ENGINE RATING

All data represent net performance with standard accessories such as air cleaner, inlet /exhaust manifolds, fuel oil system, L.O. pump, etc. under the condition of 100kPa(29.6inHg) barometric pressure, 77°F(25°C) ambient temperature and 30% relative humidity.

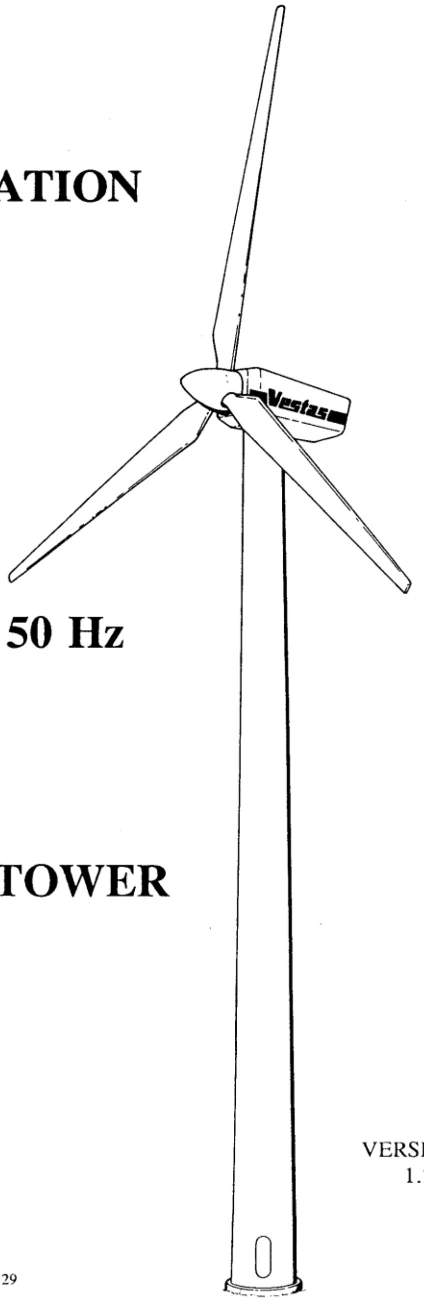
ITEM	UNIT	STAND-BY POWER			PRIME POWER			CONTINUOUS C	CONTINUOUS D
		60Hz	50Hz	60Hz	60Hz	50Hz	60Hz	50Hz	50Hz
Engine Speed	rpm	1800	1500	1200	1800	1500	1200	1500	1500
No. of Cylinders		16							
Bore	mm	170							
	(in.)	(6.69)							
Stroke	mm	180							
	(in.)	(7.09)							
Displacement	liter	65.37							
	(in.^{3})	(3989)							
Brake Horse power without Fan	kW	1750	1620	1120	1590	1480	1020	1330	1180
	(HP)	(2346)	(2172)	(1501)	(2131)	(1984)	(1367)	(1783)	(1582)
Brake Mean Effective Pressure	MPa	1.8	2.0	1.7	1.6	1.8	1.6	1.6	1.4
without Fan	(psi)	(258)	(287)	(248)	(235)	(262)	(226)	(236)	(209)
Mean Piston Speed	m/s	10.8	9.0	7.2	10.8	9.0	7.2	9.0	9.0
	(ft/min)	(2126)	(1772)	(1417)	(2126)	(1772)	(1417)	(1772)	(1772)
Maximum Regenerative Power	kW	192	140	96	192	140	96	140	140
Absorption Capacity without Fan	(HP)	(258)	(188)	(129)	(258)	(188)	(129)	(188)	(188)
Intake Air flow	m^3/min	141	128	90	127	117	82	107	96
	(CFM)	(4979)	(4520)	(3178)	(4484)	(4131)	(2895)	(3778)	(3390)
Exhaust Gas Flow	m^3/min	373	339	237	337	309	216	284	253
	(CFM)	(13171)	(11970)	(8368)	(11899)	(10911)	(7627)	(10028)	(8933)
Coolant Flow	liter/min	1850	1650	1300	1850	1650	1300	1650	1650
	(U.S. GPM)	(489)	(436)	(343)	(489)	(436)	(343)	(436)	(436)
Coolant Flow to Intercooler	liter/min	–	–	–	–	–	–	–	–
(TK only)	(U.S. GPM)								
Cooling Air Flow	m^3/min	1950	1950	1560	1950	1950	1560	1950	1950
(Std. Fan)	(CFM)	(68855)	(68855)	(55084)	(68855)	(68855)	(55084)	(68855)	(68855)
Fan Loss Horse Power	kW	50	30	20	50	30	20	30	30
(Std. Fan)	(HP)	(67)	(40)	(27)	(67)	(40)	(27)	(40)	(40)
Radiated Heat to Ambient	kJ/hr	444750	403417	282634	401261	368498	257402	338017	301939
	(BTU/min)	(7027)	(6374)	(4466)	(6340)	(5822)	(4067)	(5341)	(4771)
Heat Rejection to Coolant	kJ/hr	3706247	3361804	2355280	3343839	3070819	2145016	2816811	2516155
	(BTU/min)	(58558)	(53116)	(37213)	(52832)	(48518)	(33891)	(44505)	(39755)
Heat Rejection to Inter Cooler	kJ/hr	–	–	–	–	–	–	–	–
(TK Version)	(BTU/min)								
Heat Rejection to Exhaust	kJ/hr	4374807	3850015	2752910	3908364	3516772	2507147	3324929	2998740
	(BTU/min)	(69121)	(60829)	(43495)	(61751)	(55564)	(39612)	(52533)	(47379)
Noise Level (1 m height & distance)	dB(A)	TBD	TBD	TBD	TBD	TBD	TBD	TBD	TBD
(excludes, Intake,Exhaust & Fan)									

The specifications are subject to change without notice.

APPLICATION : GENERATOR

Pub. No. T0216-0001E Rev.2 4/4

Mar. '13 Printed in Japan



GENERAL SPECIFICATION

VESTAS V27-225 kW, 50 Hz WINDTURBINE

with

TUBULAR/LATTICE TOWER

ITEM no.: 941129

VERSION
1.2.0.
24

2.0. SPECIFICATIONS

2.1. ROTOR:

Diameter:	27 m
Swept area:	573 m^2
Rotational speed, generator 1:	43 RPM
Rotational speed, generator 2:	33 RPM
Rotational direction:	Clockwise
Orientation:	Upwind
Number of blades:	3
Aerodynamic brakes:	Full feathering

2.2. BLADES:

Air foil:	NACA 63.214-63.235
Length:	13 m
Width:	1,3m/0,5 m
Twist:	13°
Weight:	600 kg/pcs.

2.3. TUBULAR TOWER

Height:	30 m
Diameter Top:	1,4 m
Diameter Bottom:	2,4 m

LATTICE TOWER:

Height:	30 m

2.4. WEIGHTS and HEIGHTS:

Tubular Tower (excl. foundationsbolts):	12.000 kg
Lattice Tower (excl. foundationsbolts):	9.000 kg
Turbine:	7.900 kg
Rotor:	2.900 kg
TOTAL:	19.800 kg
Hub height:	31,5 m
Free height:	18,0 m
Highest point:	45,0 m

VESTAS 13. Jan 1994 Item no. 941129

Page 6

2.5. OPERATIONAL DATA:

Cut-in wind speed:	3,5 m/s
Rated wind speed (225 kW):	14 m/s
Cut-off wind speed:	25 m/s
Survival wind speed:	56 m/s

2.6. POWER CURVE: (air density 1.225 kg/m^3)

WINDSPEED m/s	OUTPUT kW
3,5	1,5
4,0	4,5
5,0	16,6
6,0	31,8
7,0	52,5
8,0	82,4
9,0	114,5
10,0	148,3
11,0	181,0
12,0	205,0
13,0	217,6
14,0	**225,0**
15,0 - 25,0	225,0

2.7. YEARLY OUTPUT: (Acc. to Beldringe Site, Denmark)

Roughness class 0:	808.000 kWh
Roughness class 1:	517.000 kWh
Roughness class 2:	415.000 kWh
Roughness class 3:	275.000 kWh

VESTAS 13. Jan 1994 Item no. 941129

3.0. **COMPONENTS OF THE WINDTURBINE**

3.1. BLADES:

3.1.	Manufacturer:	VESTAS
	Material:	GRP
	Principle:	Supporting beam with glued on shells
	Bolts connection:	Threadrods

3.2. BLADEBEARING:

Manufacturer:	Rothe Erde or corresponding
Type:	4 points bearing

3.3. BLADE CONSOLE:

Manufacturer:	VESTAS
Type:	Casted
Material:	SG-iron,GGG403,DIN1693

3.4. MAIN SHAFT:

Manufacturer:	VESTAS
Material:	$CrNiMo_6$
Type:	Forged with flange
Shaft/console connection:	Bolts 10.9

3.5. BEARING HOUSING:

Manufacturer:	VESTAS
Type:	Welded tubular construction.
Material:	Steel 37.2, DIN 17100

3.6. MAIN BEARINGS:

Manufacturer:	SKF or corresponding
Type:	Spherical roller bearing

3.7. MACHINEFOUNDATION:

Manufacturer:	VESTAS
Type:	Tubular construction
Material:	Steel 44.2, DIN 17100

3.8. YAWING SYSTEM:

Manufacturer:	VESTAS
Type:	Slideblocksystem with build in friction

3.8.1. YAWING GEAR, 2 UNITS:

Type:	Planetary- and reductiongear
Rated torque:	2 x 5500 Nm
Manufacturer:	Bonfiglioli/Transmittal or corresponding

3.8.2. YAWING MOTORS:

Type:	Induction/Asynchronous
Rotational speed:	920 RPM
Rated power:	0,55 kW

3.9. TOWER:

Type:	**Tubular**
Height:	30 m
Manufacturer:	VESTAS/Roug
Surface treatment:	Metallized + Paint
Weight:	12.000 kg

Paintsystem, Outside:

Sandblasting:	SA3 (DS2019)
Metallizing:	DSI/ISO 2063 Zn80
Epoxy paint:	Min. 120 μm (2 coats)
Polyurethane paint:	UV resistant min. 40 μm (1 coat)

Paintsystem, Inside:

Sandblasting:	SA2.5 (DS2019)
Zinxiferous first coat:	Min. 50 μm (1 coat)
Epoxy paint:	Min. 100 μm (1 coat)

Type:	**Lattice**
Height:	30 m
Manufacturer:	Carl C. Jensen, DK
Surface treatment:	Galvanized
Weight:	9.000 kg

3.10. GEARBOX:

Nominal power:	433 kW
Ratio:	1 : 23.4
Type:	Two stage, parallel shafts
Oilquantity:	70 l
Slowspeed shaft:	Hollow shaft
Manufacturer:	Hansen, Flender or corresponding

3.11. COUPLINGS:

Main shaft, gearbox:

Type:	Conical shrink disc

Gearbox, generator:

Type:	Transmission shaft with friction clutch

3.12. GENERATOR:

Type:	Doublewinding, asynchronous
Manufacturer:	Siemens, AEG, ABB or corresponding
Rated power:	225 kW
Voltage:	400 VAC
Rated current:	396 A
Frequency:	50 Hz
Class of insolation:	F
Rotational speed (225 kW):	1008 RPM
Consumed reactive power:	163 kVAr at 1/1 load
Rated power:	50 kW
Voltage:	400 VAC
Rated current:	101 A
Frequency:	50 Hz
Class of insolation:	F
Rotational speed (50 kW):	760 RPM
Consumed reactive power:	48 kVAr at 1/1 load

3.13. BRAKE UNIT:

Type:	Disc brake
Diameter:	600 mm
Calipers:	2 hydraulic activated
Manufacturer, Calipers:	Brembo
Disc material:	SG-iron, GGG50,DIN 1693

3.14 HYDRAULIC UNIT:

Pump capacity:	4,5 l/min.
Max. pressure:	100 bar
Brake pressure:	25 bar
Pressure switches:	Piezoelectrical
Oil quantity:	30 l

3.15 ANEMOMETER:

Type:	Optoelectrical
Manufacturer:	VESTAS

3.16. WINDVANE:

Type:	Optoelectrical
Manufacturer:	VESTAS

3.17. CONTROL UNIT:

Heavy current:

Voltage:	3x400 V, 50 Hz
Max. power:	400 A
Lockable circuit breaker:	400 A/400 - 500A
Power supply for light:	1x10 A
Generator cut in:	By thyristors
Phasecompensation:	2 stages : 100/37,5 kVAr

Computer:

CPU:	2 x 8086
Programming language:	Modula-2
Build up:	Module builded up
Operation:	Numeric keyboard + functionkeys
Showing:	Display 4x40 characters

Top processor:

Supervision/Control:	Yawing Hydraulic Surroundings (Wind-Temp.) Rotation Generator Pitch system

Bottom processor:

Supervision/Control:	Grid Phasecompensation Thyristors

Operator panel:

Information:	Operation data Production Operation Log Alarm Log
Commands:	Operation/Pause Man. Yaw start/stop Maintenance routine
Remote supervision:	Possibility of connection of serial communication
MTBF for Computer:	43.800 hours

3.18	MEASURING DEVICE:	Can be supplied for build together with the control unit.
	Measuring type:	Productionsmeasuring or Sale/Purchase measure.

VESTAS 13. Jan 1994 Item no. 941129

4.0. INSTALLATION:

4.1. TERRAIN:

If the terrain within a 100 m radius of the turbine has a slope of more than 10° or 18%, there must be taken particularly considerations.

4.2. CLIMATIC CONDITIONS:

The turbine is designed for an ambient temperature range from -20° C to +40° C. Outside this range special precautions must be taken.

In regard to wind the turbine is designed in accordance with Danish conditions (roughness class 0, 1, 2 and 3).

The windturbine is designed for a mean air density of 1.23 kg m^3. Operational data and the power curve are given at this air density. If the mean air density differs from this value the data as well as the power curve will be changed.

4.3. GRID CONNECTION:

Intermittent or rapid fluctuations of utility grid frequencies may cause serious damage to the wind turbine. Steady variations within +1/-3 Hz are acceptable. The voltage may have a variation of ±10% as the highest.

The short circuit power must in most cases be at least 10 times the rated power of the generator in order to fulfill this requirement.

Grid drop out must only take place 1 time per week in the lifetime of the turbine.

A groundconnection of max. 10 Ω must be present. (In the Netherlands Max. 2,5 Ω)

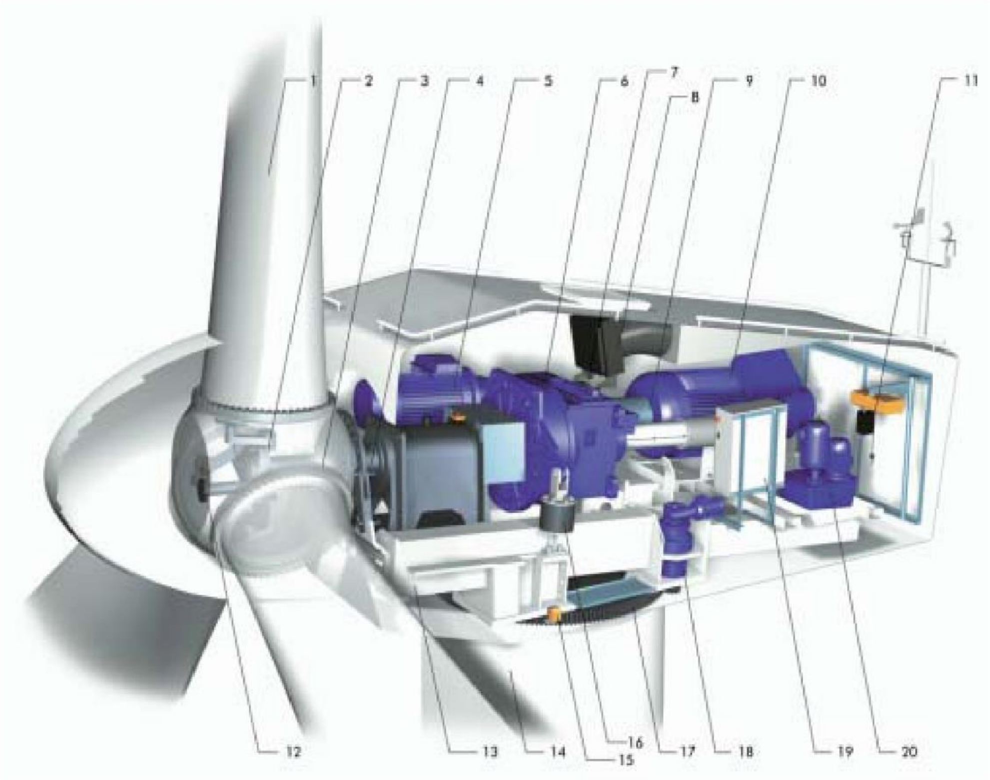
In the case of small independent grids it is necessary to check the actual conditions.

Furthermore please see the electrical installation instruction for VESTAS V27 .

In consequence of our current continuing development and updating of our products, we reserve the right to change in the specifications.

V47-660 kW

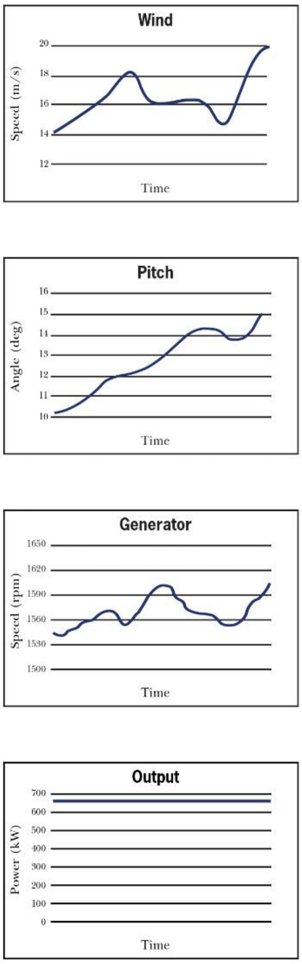
Pitch regulated wind turbine with OptiTip® and OptiSlip®



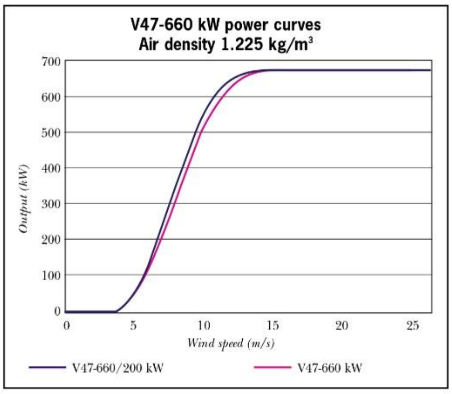
1. Blade	11. Service crane
2. Blade hub	12. Pitch cylinder
3. Blade bearing	13. Machine foundation
4. Main shaft	14. Tower
5. Secondary generator (V47-660/200 kW)	15. Yaw control
	16. Gear tie rod
6. Gearbox	17. Yaw ring
7. Disc brake	18. Yaw gears
8. Oil cooler	19. VMP top control unit
9. Cardan shaft	
10. Primary generator	20. Hydraulic unit

Rotor	V47-660 kW	V47-660/200 kW
Diameter:	47 m	47 m
Area swept:	1,735 m²	1,735 m²
Revolution speed:	28.5	26/20
Number of blades:	3	3
Power regulation:	Pitch/OptiSlip®	Pitch/OptiSlip®
Air brake:	Feathered	Feathered
Tower		
Hub height (approx.):	40 - 45 - 50 - 55 m	40 - 45 - 50 - 55 - 60 - 65 m
Operational data		
Cut-in wind speed:	4 m/s	4 m/s
Nominal wind speed (660 kW):	15 m/s	16 m/s
Stop wind speed:	25 m/s	25 m/s
Generator		
Large generator:	Asynchronous with OptiSlip®	Asynchronous with OptiSlip®
Nominal output:	660 kW	660 kW
Operational data:	50/60 Hz 690 V 1,515–1,650 rpm 1,818–1,980 rpm	50 Hz 690 V 1,515–1,650 rpm
Small generator:		Asynchronous
Nominal output:		200 kW
Operational data:		50 Hz 690 V 1,500–1,516 rpm
Gearbox		
Type:	Planet /parallel axles	Planet /parallel axles
Control		
Type:	Microprocessor-based control of all turbine functions with the option of remote monitoring. OptiSlip® output regulation and OptiTip® pitch regulation of the blades.	

Actual measurements of a Vestas 660 kW turbine with OptiSlip®



OptiSlip® allows the revolution speeds of both the rotor and the generator to vary by approx. 10%. This reduces both unwanted fluctuations in the grid supply and the loads on the vital parts of the construction.



Contacts

Subsidiaries

Vestas - Danish Wind Technology A/S
Smed Sørensens Vej 1
6950 Ringkøbing
Denmark
Tel. +45 96 75 25 75
Fax +45 97 30 62 50
vestas-dwt@vestas.com

Vestas - Scandinavian Wind Technology A/S
Smed Sørensens Vej 1
6950 Ringkøbing
Denmark
Tel. +45 96 75 25 75
Fax +45 97 30 62 64
vestas-swt@vestas.com

Vestas - International Wind Technology A/S
Smed Sørensens Vej 1
6950 Ringkøbing
Denmark
Tel. +45 96 75 25 75
Fax +45 97 30 62 25
vestas-int@vestas.com

Vestas - American Wind Technology, Inc.
111 SW Columbia Street, Suite 480
Portland, OR 97201
USA
Tel. +1 503 327 2000
Fax +1 503 327 2001
vestas-awt@vestas-awt.com

Vestas Deutschland GmbH
Otto-Hahn-Strasse 2 - 4
25813 Husum/Nordsee
Germany
Tel. +49 4841 971 0
Fax +49 4841 971 360
vestas@vestas.de

Vestasvind Svenska AB
Åkarevägen 17
31132 Falkenberg
Sweden
Tel. +46 346 713500
Fax +46 346 713525
info@vestasvind.se

Vestas - Nederland Windtechnologie B.V.
Dr. Langemeijerweg 1 a
Postbus 63 · 6990 AB Rheden
The Netherlands
Tel. +31 264971500
Fax +31 264971555
vestas@vestas.nl

IWT - Italian Wind Technology S.r.l.
Via Ariosto 12 · Zona Industriale
74100 Taranto
Italy
Tel. +39 099 4 606 111
Fax +39 099 4 606 333
vestas@vestas-iwt.it

Vestas - Celtic Wind Technology Ltd.
P.O. Box 9263
Campbeltown, PA28 6WA, Argyll
Scotland
Tel. +44 1586 555 000
Fax +44 1586 555 111
v-celtic@vestas.com

Cotas Computer Technology A/S
Paludan-Müllers Vej 82
8200 Århus N
Denmark
Tel. +45 87 39 40 00
Fax +45 87 39 40 01
mail@cotas.dk

Sales companies

Vestas Hellas Wind Technology S.A.
150, A. Papandreou Ave. 2nd Floor
165 61 Glyfada, Athens
Greece
Tel. +30 10 96 46 251
Fax +30 10 96 46 252

Vestas France SAS
Le Millénium – Bâtiment A
501, rue Denis Papin
F-34000 Montpellier
France
Tel. +33 4 67 202 202
Fax +33 4 67 207 899
vestas-france@vestas.com

Vestas - Australian Wind Technology Pty. Ltd.
33 Coventry Street, Southbank
Melbourne, Victoria 3006
Australia
Tel. +61 3 9645 0999
Fax +61 3 9645 0111

Beijing Vestas Wind Technology Ltd.
29A2, China Merchants Tower, Jianguo Rd.
Chaoyang District
Beijing 100022
China
Tel: +86 10 65667330 31 32
Fax: +86 10 65667335

Vestas - Canadian Wind Technology, Inc.
R.R No. 5
1475 Concession 5
Kincardine, Ontario
N2Z 2X6
Canada
Tel. +1 519 396 6922
Fax +1 519 396 6158

Associated company

Vestas RRB India Ltd.
189, Sukhdev Vihar
New Delhi 110 025
India
Tel. +91 11 26327711
Fax +91 11 26327733
vrrb@gndel.global.net.in

Vestas Wind Systems A/S
Smed Sørensens Vej 5
6950 Ringkøbing
Denmark
Tel. +45 96 75 25 75
Fax +45 97 30 24 36
vestas@vestas.com
www.vestas.com

03/03

NEW

CanadianSolar

MAXPOWER (1500 V)
CS6U-325|330|335|340M

Canadian Solar's new 1500 V module is a product for high voltage systems, which can increase the string length of solar systems by up to 50%, saving BOS costs.

KEY FEATURES

1500 V — Designed for high voltage systems of up to 1500 V_{DC}, saving on BoS costs

Cell efficiency of up to 20.0 %

Outstanding low irradiance performance: 96.5 %

No. 1 PTC — High PTC rating of up to 91.7 %

IP67 — IP67 junction box for long-term weather endurance

Heavy snow load up to 5400 Pa, wind load up to 2400 Pa

25 years linear power output warranty

10 years product warranty on materials and workmanship

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001:2008 / Quality management system
ISO 14001:2004 / Standards for environmental management system
OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

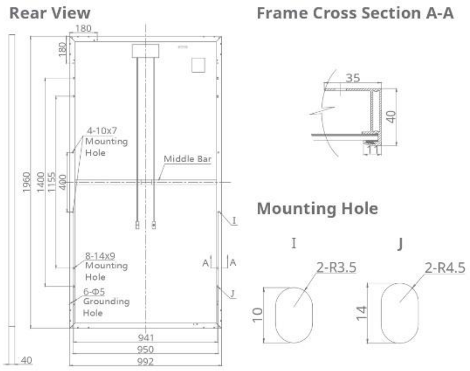
IEC 61215 / IEC 61730: VDE / CE
UL 1703 / IEC 61215 performance: CEC listed (US)
UL 1703: CSA / IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: VDE / Take-e-way

* As there are different certification requirements in different markets, please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific certificates applicable to the products in the region in which the products are to be used.

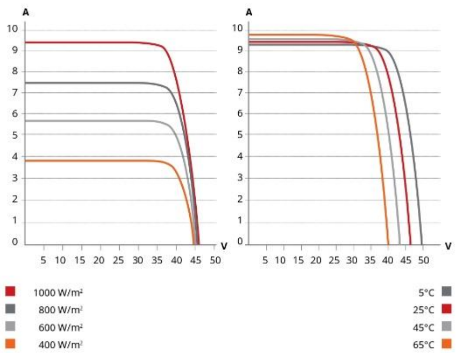
CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 15 GW deployed around the world since 2001, Canadian Solar Inc. (NASDAQ: CSIQ) is one of the most bankable solar companies worldwide.

CANADIAN SOLAR INC.
545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS6U-335M / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

CS6U	325M	330M	335M	340M
Nominal Max. Power (Pmax)	325 W	330 W	335 W	340 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	37.4 V	37.5 V	37.8 V	37.9 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.69 A	8.80 A	8.87 A	8.97 A
Open Circuit Voltage (Voc)	45.8 V	45.9 V	46.1 V	46.2 V
Short Circuit Current (Isc)	9.21 A	9.31 A	9.41 A	9.48 A
Module Efficiency	16.72 %	16.97 %	17.23 %	17.49%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C			
Max. System Voltage	1500 V (IEC) or 1500 V (UL)			
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)			
Max. Series Fuse Rating	15 A			
Application Classification	Class A			
Power Tolerance	0 ~ + 5 W			

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	72 (6 × 12)
Dimensions	1960 × 992 × 40 mm (77.2 × 39.1 × 1.57 in)
Weight	22.4 kg (49.4 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP67, 3 diodes
Cable	PV1500DC-F1 4 mm2 (IEC) & 12 AWG 2000 V (UL), 1160 mm (45.7 in)
Connector	T4 series or PV2 series
Per Pallet	26 pieces, 635 kg (1400 lbs)
Per container (40' HQ)	624 pieces

ELECTRICAL DATA | NOCT*

CS6U	325M	330M	335M	340M
Nominal Max. Power (Pmax)	235 W	238 W	242 W	245 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	34.1 V	34.2 V	34.5 V	34.6 V
Opt. Operating Current (Imp)	6.88 A	6.96 A	7.01 A	7.10 A
Open Circuit Voltage (Voc)	42.0 V	42.1 V	42.3 V	42.4 V
Short Circuit Current (Isc)	7.46 A	7.54 A	7.62 A	7.67 A

* Under Nominal Operating Cell Temperature (NOCT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.41 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.31 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.053 % / °C
Nominal Operating Cell Temperature	45±2 °C

PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE

Outstanding performance at low irradiance, average relative efficiency of 96.5 % from an irradiance of 1000 W/m² to 200 W/m² (AM 1.5, 25°C).

The specification and key features described in this datasheet may deviate slightly and are not guaranteed. Due to on-going innovation, research and product enhancement, Canadian Solar Inc. reserves the right to make any adjustment to the information described herein at any time without notice. Please always obtain the most recent version of the datasheet which shall be duly incorporated into the binding contract made by the parties governing all transactions related to the purchase and sale of the products described herein.

Caution: For professional use only. The installation and handling of PV modules requires professional skills and should only be performed by qualified professionals. Please read the safety and installation instructions before using the modules.

PARTNER SECTION

SUNPREME
Premium Bifacial Thin Film Solar

MAXIMA GxB 500 Bifacial Module

A Trusted Quality Brand in Solar

High Performance

Bifacial technology generates power from both the front and back faces of the module, resulting in up to 20% higher energy harvest (kWh). Our HCT bifacial cells packaged in frameless double glass modules yield higher power and do not suffer from light-induced degradation (LID) or potential induced degradation (PID).

Robust Quality & Reliability

Double glass modules designed for durability. Certified to international certification body standards: IEC, UL, and CEC listed. Manufactured according to the International Quality Management System ISO9001.

Extreme Climate Performance

As temperatures rise, our patented hybrid cell technology produces more power [kW] than conventional crystalline silicon solar panels at the same elevated temperature.

Guaranteed Performance

All modules have a 10 year product warranty and 25 year power output warranty.

Superior Aesthetics

Thin profile double-glass construction provides superior aesthetics that are a perfect complement to roofs, carports, and canopies.

About Sunpreme

Sunpreme is an innovative solar PV module manufacturer headquartered in Sunnyvale, California with manufacturing facilities in the United States and China. We provide high quality, reliable and aesthetically superior modules to residential, commercial, and utility customers globally. Sunpreme solar systems are delivering clean energy on 5 continents.

Sunpreme solar panels are designed and engineered in Silicon Valley, CA, USA.

Hybrid Cell Technology

Sunpreme modules use our patented Hybrid Cell Technology platform that utilizes enabling thin-film materials on surface engineered Silicon substrate to achieve high-efficiency power output and reliable energy production for increased project returns.

Unlike conventional crystalline silicon cell technologies, Sunpreme uses highly scalable process to deliver high output solar power at very competitive Levelized Cost of Energy (LCOE).

www.sunpreme.com | info@sunpreme.com
Toll Free: +1.866.245.1110

High Efficiency

19.3 % Module Efficiency (STC),
21.2 % efficiency with 10% Backside Power Boost,
23.2 % with 20% Backside Power Boost

Bifacial Energy Boost

Harvests sun from the backside to increase power output up to 20%

Dual-Glass Frameless Design

Sunpreme Design is more robust, and does not require module grounding

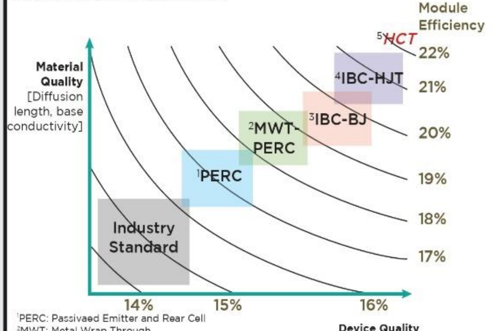
10 YEAR

PRODUCT WARRANTY

25 YEAR

POWER WARRANTY

"At 22%, Sunpreme HCT Bifacial Double Glass modules move to the top of the class in effective efficiency" Dr. Eicke Weber quoted in:
http://www.pv-magazine.com/news/details/beitrag/sunpreme-unveils-500-w-bifacial-double-glass-module-with-222-efficiency-_100016882/#ixzz4580N3Rh4



[1]PERC: Passivaed Emitter and Rear Cell
[2]MWT: Metal Wrap Through
[3]IBC - BJ - Inte rdigitated Back Contact - Back Junction
[4]HJT: Hetero Junction Technology
[5]HCT: Hybrid Cell Technology
Graph adapted from Preu et al., EU-PVSEC

SUNPREME Premium Bifacial Thin Film Solar

Maxima GxB 500 Bifacial Solar Module

High Performance 96-cell Thin-Film enabled Solar Module

ELECTRICAL SPECIFICATIONS[1]	490	500	510
STC rated output P_{MPP} (W)	490	500	510
Cell Efficiency	20.9%	21.3%	21.8%
Module Efficiency STC	18.9%	19.3%	19.7%
Standard sorted output	-3%/+5%	-3%/+5%	-3%/+5%
Open Circuit Voltage V_{OC} (V)	71.8	72.9	74.7
Short circuit current I_{SC} (A)	9.2	9.3	9.4
Rated Voltage V_{MPP} (V)	56.3	57.4	57.3
Rated Current I_{MPP} (A)	8.7	8.8	8.9

1: Standard Test Conditions for front-face of panel: 1000 W/m², 25°C.

BI-FACIAL OUTPUT*			
With 10% Backside Power Boost			
Power Output (W)	539	550	561
Module Efficiency	20.8%	21.2%	21.7%
With 20% Backside Power Boost			
Power Output (W)	588	600	612
Module Efficiency	22.7%	23.2%	23.6%

*Backside boost for flush mount configuration is <5%, resulting in I_{sc} <9.56 - 9.77 A

TEST OPERATING CONDITIONS	
Operating Temperature	- 40 to + 85°C
Storage Temperature	- 40 to + 85°C
Maximum Series Fuse	15 A
Maximum System Voltage	1,000VDC (UL & IEC)
Power/Sq.Ft. w/ 20% backside power boost	21.5 W / Sq. Foot
Maximum load capacity	3,600 Pa (snow load) 125 mph (wind rating)
Fire Class	Class A - Type 3

TEMPERATURE COEFFICIENTS	
Temperature coefficient P_{MPP}	-0.30%/C
Temperature coefficient I_{SC}	+0.04%/C
Temperature coefficient V_{OC}	-0.24%/C
Normal operating cell temperature (NOCT)°C	45C +/- 2

WARRANTY
10 year product warranty
95% power warranty first 5 years
-0.6% per year degradation for the following 20 years

CERTIFICATION

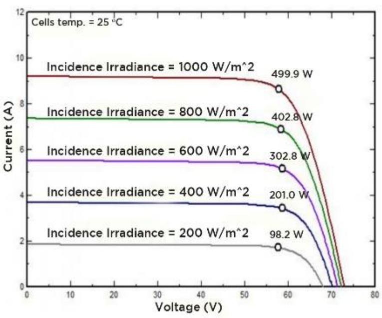
Certified to UL 1703, IEC 61646, IEC 61730-01, IEC 61730-02, IEC 61701 standards, CEC & FSEC listed, and CE mark

MECHANICAL SPECIFICATIONS	
Dimensions	1,981 x 1,308 x 6 mm (6.43 x 3.25 x 0.02 ft)
Weight	36.3 kg (80.0 lbs)
Area	2.59m2 (27.90 ft2)
Cell type	Bifacial Hybrid Cell Technology (HCT)
Module type	96 Cells, Frameless double glass design with tempered glass, no grounding required
Glass	Tempered 2.9mm anti-reflective coating, low-iron
Junction Box	Tyco IP-67 rated; 1,000V UL/IEC, 3 diodes (2 units)
Cables	4mm2 x 1.2 m cable: MC4 or MC4 compatible Tyco connectors
Clamps	Recommended Sunpreme 200mm

PACKAGING	
Modules per crate	26
Crate per shipping container	16

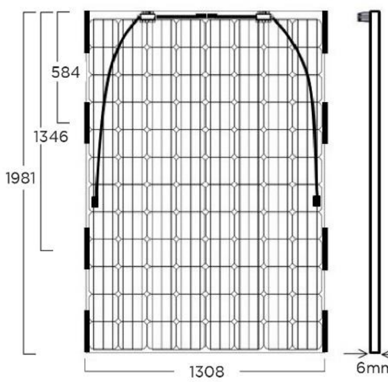
Imax - Vmax (96 cell Version)

Multi-Irradiance Curve for Maxima GxB - 500

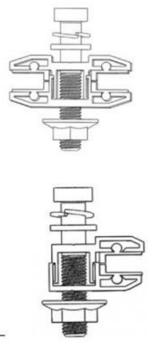


Covered by one or more of the following U.S. patents: 7,951,640; 7,956,283; 7,960,644

Rear & Side View (mm)



Clamp Profiles



Mid Clamp Profile with lock washers combination and nuts.

End Clamp Profile with lock washers combination and nuts.

www.sunpreme.com | info@sunpreme.com | Toll Free: +1.866.245.1110

Παράρτημα Β

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ																															
ΩΡΕΣ/ΜΕΡΕΣ	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**
00:00	573	552	547	598	598	571	590	579	557	552	549	556	548	558	580	550	616	583	619	571	625	644	591	634	600	591	554	583	594	569	629
01:00	547	536	526	570	554	553	568	553	541	531	531	525	533	531	529	539	580	559	571	547	600	601	564	604	572	562	542	572	577	547	586
02:00	541	519	518	571	545	538	551	547	525	524	519	532	528	532	513	526	560	543	569	542	577	585	557	587	561	570	532	559	544	537	574
03:00	532	525	531	564	550	530	540	537	530	536	528	524	523	522	505	515	551	533	557	540	554	566	544	591	556	554	531	527	563	517	560
04:00	527	512	511	567	539	523	532	532	517	516	511	518	508	517	501	517	544	531	547	537	554	560	544	584	553	540	540	531	538	524	575
05:00	544	509	515	594	553	536	545	549	514	520	512	519	522	520	514	526	549	538	560	544	572	579	572	603	576	551	534	567	529	531	568
06:00	569	536	542	638	603	574	589	575	541	547	539	558	566	568	543	563	593	578	612	577	627	597	619	662	628	602	577	605	554	572	625
07:00	543	523	544	663	611	594	583	548	529	550	534	559	557	549	536	580	607	594	628	607	616	588	628	654	628	613	593	520	569	605	650
08:00	559	526	561	682	656	631	595	565	531	566	544	571	535	572	543	584	628	606	642	623	639	596	608	636	610	593	617	693	559	607	623
09:00	588	486	574	687	675	589	578	594	496	580	530	537	491	543	557	556	651	604	605	685	623	615	750	666	606	540	688	695	537	583	596
10:00	594	471	540	715	720	592	550	600	480	546	506	517	506	547	627	577	736	656	595	731	595	630	583	625	592	533	746	719	542	559	582
11:00	598	477	518	688	710	552	519	604	486	523	512	522	496	552	579	525	799	662	579	741	638	615	577	649	601	525	736	707	623	547	583
12:00	573	471	529	672	673	528	517	579	480	535	500	508	503	569	574	530	765	647	617	756	635	640	574	650	589	548	610	586	608	526	560
13:00	521	469	562	646	624	554	505	527	478	567	515	506	557	572	611	522	783	652	623	792	657	641	585	675	617	582	614	600	632	554	596
14:00	502	489	555	622	555	580	508	507	475	560	511	508	540	567	600	545	759	652	610	792	658	640	637	681	646	596	602	609	596	548	598
15:00	506	509	551	644	587	589	548	511	514	556	530	553	567	563	585	547	769	658	641	794	687	633	654	691	659	597	592	644	600	546	609
16:00	570	544	566	696	629	618	658	576	549	572	561	592	627	603	615	588	756	672	686	802	749	691	687	753	706	631	606	685	650	600	663
17:00	645	635	657	758	698	713	778	651	642	664	646	659	683	673	675	696	753	724	767	824	861	776	771	803	771	694	681	763	703	685	719
18:00	699	694	716	816	766	770	849	706	701	723	712	715	778	759	739	766	784	783	838	871	873	854	860	849	850	779	773	808	764	770	828
19:00	699	688	719	811	753	788	821	706	695	726	703	719	765	762	739	759	794	785	839	864	843	850	859	866	858	789	813	834	761	797	835
20:00	698	689	694	801	735	785	802	705	696	701	692	700	761	709	718	756	786	779	829	833	849	825	837	851	831	745	783	785	737	815	816
21:00	671	674	658	761	691	719	718	678	681	664	666	662	723	690	663	783	557	670	773	769	820	778	821	808	807	709	716	741	695	813	779
22:00	629	631	615	678	659	672	666	635	637	621	623	639	662	665	629	783	691	715	717	717	761	701	745	709	713	653	645	667	669	736	726
23:00	577	590	580	645	621	633	627	582	596	586	585	596	611	618	585	682	636	659	654	666	693	647	676	649	649	585	615	625	612	682	661

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ																												
ΩΡΕΣ/ΜΕΡΕΣ	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**
00:00	599	744	688	689	719	769	794	816	797	764	785	829	721	806	716	755	728	745	729	645	662	648	691	654	699	732	682	597
01:00	567	686	654	662	687	727	749	774	751	731	735	774	686	751	685	716	673	720	684	611	630	609	650	617	641	652	633	552
02:00	556	675	630	655	689	705	730	752	722	715	706	750	676	727	659	684	642	683	670	582	613	599	635	600	644	676	611	570
03:00	538	653	611	629	685	695	721	731	712	693	698	732	660	699	646	665	624	673	653	576	597	590	612	588	625	644	623	549
04:00	549	653	614	624	675	699	715	725	707	689	701	733	665	705	642	665	630	665	637	593	587	582	609	584	621	626	609	537
05:00	550	677	631	645	686	717	736	756	743	727	728	729	689	706	649	685	644	679	625	612	599	591	625	610	629	620	588	553
06:00	598	763	692	694	705	785	803	817	818	813	788	761	741	807	740	771	716	732	673	675	669	664	681	672	716	661	644	622
07:00	627	774	708	688	765	829	845	885	830	828	769	785	766	766	730	734	701	717	688	649	649	653	683	667	691	655	665	612
08:00	615	714	700	742	778	919	960	949	880	904	808	794	775	746	769	709	701	703	659	652	622	654	640	661	686	697	681	640
09:00	589	702	682	812	858	1021	1023	995	942	922	884	758	823	751	704	687	650	628	622	616	591	624	633	602	713	750	673	688
10:00	570	683	691	830	1029	1080	1056	996	960	928	941	784	912	764	665	683	629	656	589	598	582	626	626	611	696	685	699	720
11:00	565	650	664	825	1095	1050	1069	957	990	868	931	781	902	753	648	689	629	652	584	601	555	590	627	618	668	617	678	695
12:00	559	667	610	855	1104	1119	1085	958	1002	961	911	757	919	729	756	670	616	615	562	606	555	588	610	711	637	575	624	728
13:00	575	387	704	823	1098	1102	1106	1007	649	974	970	769	927	754	792	675	665	599	549	591	581	599	595	757	684	598	637	752
14:00	573	703	764	910	1057	1093	1082	950	912	929	906	759	962	751	810	682	651	602	572	573	570	588	598	731	777	665	610	706
15:00	578	718	815	1031	971	1101	1077	1002	910	1006	884	791	974	767	870	701	695	651	631	607	564	554	625	687	835	742	607	740
16:00	632	759	880	1010	958	1125	1092	1038	1001	1068	965	868	1027	808	925	717	773	719	713	648	645	613	688	734	823	802	663	771
17:00	702	863	937	976	1018	1170	1110	1086	1071	1121	1026	924	1067	898	956	794	841	789	813	709	719	692	744	824	907	789	691	804
18:00	799	993	1037	1074	1087	1241	1204	1183	1139	1201	1166	1015	1140	986	1043	932	1008	949	890	843	846	827	853	922	990	893	766	848
19:00	816	1034	1017	1029	1099	1199	1239	1186	1124	1187	1168	1057	1153	1051	1101	696	1031	1029	892	922	898	882	911	1018	1028	992	797	925
20:00	815	1022	976	978	1052	1129	1168	1130	1071	1119	1089	1012	1089	1028	1100	930	999	942	811	894	891	895	869	958	937	951	819	869
21:00	796	954	921	912	987	1053	1097	1044	1014	1015	1057	956	993	952	978	889	958	899	739	870	832	900	830	901	908	887	757	774
22:00	731	830	842	871	925	957	989	959	939	934	983	880	955	843	897	830	917	825	677	784	753	829	723	815	830	786	687	716
23:00	671	768	767	784	845	887	892	870	861	861	943	794	887	769	935	770	818	773	677	715	663	741	715	752	797	721	643	659

ΜΑΡΤΙΟΣ																															
ΩΡΕΣ/ΜΕΡΕΣ	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**
00:00	628	638	635	670	692	614	612	632	600	582	587	618	595	614	655	674	662	701	709	691	660	648	684	634	686	638	599	668	645	725	689
01:00	588	626	599	609	644	567	581	604	559	560	551	577	535	578	639	659	648	661	658	631	639	621	656	611	637	614	563	626	616	677	641
02:00	579	594	586	620	642	589	581	586	542	532	552	546	550	587	630	639	584	679	645	631	616	586	623	586	609	598	541	603	604	635	622
03:00	580	584	598	605	616	578	589	591	567	542	535	547	542	580	611	620	607	655	650	621	605	588	649	584	595	587	529	583	589	615	601
04:00	581	598	601	591	604	569	575	594	571	523	557	553	548	576	622	635	597	676	637	615	612	597	638	578	598	578	558	597	602	648	626
05:00	588	614	599	593	616	586	586	586	594	544	535	538	547	618	634	641	590	662	646	646	623	611	642	588	612	584	569	620	608	669	644
06:00	637	655	644	644	654	649	645	651	614	605	489	596	616	656	682	676	660	722	692	686	663	641	672	630	614	604	599	647	678	706	680
07:00	643	662	643	691	693	649	642	660	641	598	636	564	583	701	666	662	679	697	722	682	679	647	703	640	653	604	616	633	672	731	691
08:00	669	676	669	732	695	616	650	676	620	584	616	552	601	673	632	640	741	685	786	657	708	624	706	610	657	612	633	624	694	739	672
09:00	634	720	636	731	708	610	611	645	593	556	625	568	600	679	618	671	786	675	795	676	737	630	725	643	591	593	647	629	742	701	663
10:00	656	742	639	813	647	604	591	601	557	558	615	572	584	623	648	675	796	690	812	639	748	634	674	615	567	608	627	618	732	693	638
11:00	672	728	577	805	614	575	621	562	563	549	644	544	588	616	637	668	807	680	783	606	758	614	669	591	579	618	564	617	778	670	603
12:00	598	747	573	826	613	545	652	585	559	572	643	573	573	595	606	668	795	679	801	608	753	619	599	616	566	599	574	587	719	608	596
13:00	667	744	582	829	611	559	644	551	534	571	659	561	628	631	691	662	853	669	828	622	746	629	608	644	592	587	571	596	684	594	644
14:00	638	689	533	855	629	543	693	568	571	586	635	546	625	613	757	690	896	702	771	630	735	623	660	635	567	553	573	609	660	592	652
15:00	595	697	617	834	604	555	733	563	578	658	639	639	626	603	796	704	843	733	768	664	701	601	696	643	597	565	573	583	632	567	638
16:00	665	721	689	862	609	610	729	609	593	760	728	649	637	655	802	736	824	764	729	684	745	626	740	695	599	538	607	627	705	631	674
17:00	712	805	747	914	682	696	787	697	671	852	745	721	775	696	916	785	967	852	807	751	862	732	784	760	644	543	621	575	714	678	693
18:00	872	901	864	933	806	783	866	798	805	869	841	825	885	864	953	875	1010	955	881	862	947	829	868	812	754	597	663	780	775	739	742
19:00	924	973	928	987	855	846	927	890	891	839	876	817	955	944	957	972	1082	1036	971	926	964	935	970	917	880	671	748	869	900	808	824
20:00	911	931	896	945	860	876	879	857	851	768	800	786	882	934	939	967	1029	1005	969	821	935	966	940	938	888	777	857	876	994	951	893
21:00	858	834	843	874	783	854	813	758	767	706	762	726	828	849	842	868	911	941	915	887	876	917	872	884	825	784	838	860	964	909	862
22:00	744	776	773	784	717	773	755	710	721	627	688	661	746	785	812	797	875	834	804	837	809	844	777	848	758	694	782	785	885	833	825
23:00	709	687	699	746	689	690	711	629	624	629	651	623	698	719	767	737	773	802	734	753	707	758	713	749	684	645	720	716	797	755	772

ΑΠΡΙΛΙΟΣ																														
ΩΡΕΣ/ΜΕΡΕΣ	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**
00:00	685	739	652	683	670	666	719	772	799	787	874	896	921	1004	1055	1035	959	846	786	753	728	737	728	660	705	674	688	684	801	791
01:00	652	673	597	638	617	631	649	719	747	728	765	816	842	924	929	993	861	780	718	692	672	685	655	603	664	637	656	647	739	747
02:00	632	644	576	623	595	602	623	675	709	696	729	779	802	890	870	921	805	747	685	665	640	642	620	585	636	595	599	606	687	693
03:00	617	620	574	625	581	590	612	662	684	667	718	769	778	845	826	871	776	722	679	651	616	625	616	578	603	590	592	588	665	672
04:00	627	637	589	628	576	608	635	680	701	663	735	765	782	827	823	854	762	703	669	649	626	623	604	585	613	599	595	600	653	673
05:00	640	648	593	628	596	613	633	685	703	685	734	763	776	819	823	823	752	700	666	654	628	644	590	589	636	612	596	601	691	676
06:00	705	685	641	675	653	689	690	722	751	727	781	790	825	869	866	834	787	759	713	679	671	688	654	632	656	641	641	656	728	721
07:00	667	695	665	721	657	694	698	742	759	764	815	826	865	916	920	878	801	757	738	715	680	655	711	652	680	677	687	705	760	760
08:00	703	732	701	774	669	681	731	776	770	821	922	890	920	963	1000	913	920	866	811	739	704	719	709	648	676	710	698	749	784	780
09:00	673	747	702	850	685	793	694	801	742	813	1002	882	941	963	1106	1006	987	908	822	732	735	720	716	672	684	698	718	788	783	774
10:00	626	742	720	825	660	730	707	824	753	822	1088	912	963	982	1180	1077	1075	922	837	764	729	723	767	725	708	706	737	801	783	849
11:00	712	747	718	758	651	682	688	804	701	849	1065	910	895	961	1149	1054	994	859	782	741	738	734	774	698	724	705	707	734	777	849
12:00	687	697	694	686	635	653	637	739	691	822	1011	860	879	912	1123	997	965	846	801	724	678	719	797	644	707	680	679	696	757	741
13:00	634	693	716	693	621	612	636	725	678	863	1071	857	943	909	1105	968	915	872	832	712	694	706	757	648	705	691	681	830	740	773
14:00	655	691	963	655	585	651	652	756	694	836	956	852	812	918	1093	862	900	835	738	707	717	690	711	645	650	670	691	868	745	737
15:00	787	659	712	644	592	639	625	764	699	902	952	860	829	937	1013	771	877	770	688	710	676	668	687	648	632	677	666	765	728	725
16:00	810	665	760	638	582	698	755	822	708	921	988	874	875	911	1065	806	851	784	704	663	723	669	664	657	707	713	680	797	752	765
17:00	831	725	790	708	609	697	808	929	778	965	993	934	974	1010	1142	866	930	837	767	717	742	710	669	686	749	729	724	800	810	799
18:00	888	785	957	752	696	731	852	986	835	1062	1049	1011	1059	1115	1324	943	943	879	828	786	839	788	724	753	813	775	772	895	897	872
19:00	932	812	1082	809	806	869	954	1078	942	1115	1147	1122	1189	1204	1453	1019	986	911	881	879	911	845	779	842	863	850	832	971	967	942
20:00	991	896	1014	938	901	990	1097	1153	1086	1239	1288	1254	1300	1239	1456	1160	1112	1050	978	937	952	950	876	945	933	925	921	1053	1079	1037
21:00	965	848	973	896	935	940	1082	1122	1057	1214	1270	1219	1332	1199	1365	1188	1136	1025	998	933	859	939	850	910	916	916	900	1065	1086	1026
22:00	881	768	845	803	849	827	965	1021	1001	1174	1176	1170	1280	1163	1214	1140	1027	951	907	848	869	847	813	853	808	819	817	945	1002	928
23:00	813	712	772	736	751	770	854	888	912	1023	1031	1018	1148	1109	1058	1040	965	884	837	788	805	808	746	772	725	759	750	865	906	863

ΜΑΪΟΣ																															
ΩΡΕΣ/ΜΕΡΕΣ	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**
00:00	811	730	769	723	767	757	746	691	690	724	767	762	790	779	719	721	732	778	752	809	796	790	828	784	834	799	875	891	837	852	883
01:00	744	683	693	677	724	716	684	637	643	676	720	713	716	702	663	666	676	738	702	757	750	728	742	731	750	753	789	812	775	785	820
02:00	686	638	665	627	698	678	651	611	597	639	681	676	693	674	641	628	644	681	668	729	708	697	692	692	698	711	761	769	740	739	771
03:00	658	636	649	609	980	656	632	604	584	625	648	663	660	652	614	629	638	656	661	685	699	669	673	675	686	687	737	749	711	722	753
04:00	647	647	649	611	672	642	626	612	593	622	652	650	651	635	624	630	631	647	632	684	663	665	677	656	666	658	706	718	692	710	735
05:00	671	656	668	637	679	657	648	625	613	638	675	660	672	664	631	651	663	664	648	705	679	670	693	697	686	693	751	741	701	743	767
06:00	709	700	715	677	727	718	690	680	660	679	736	721	719	730	679	679	686	710	683	738	735	735	731	732	736	743	777	775	774	790	802
07:00	721	735	755	725	778	734	711	712	677	726	774	755	754	749	740	724	751	758	737	805	781	804	779	790	798	792	929	828	819	852	886
08:00	800	764	799	758	859	792	764	736	741	739	830	800	770	782	774	750	774	803	825	839	856	867	844	815	837	898	1021	894	891	907	913
09:00	867	801	791	815	832	843	759	720	761	763	871	824	812	777	783	797	814	853	870	891	906	941	868	864	861	862	1042	931	984	961	975
10:00	894	809	786	839	780	845	760	782	792	756	895	830	842	815	842	860	788	855	883	915	956	977	918	846	881	825	1008	1014	1031	990	985
11:00	892	798	733	827	784	764	740	748	762	753	807	773	84	783	792	895	782	843	816	907	939	1008	933	843	821	853	1066	1003	989	1001	1002
12:00	877	855	788	791	815	783	762	711	769	802	790	772	871	790	779	845	806	860	877	903	966	991	926	903	821	874	1097	1010	963	1052	1027
13:00	888	807	76	765	795	787	719	699	803	781	833	754	817	813	806	824	825	796	875	933	963	968	881	896	808	964	1069	983	967	1050	1067
14:00	849	821	736	763	840	790	739	716	756	807	867	784	770	756	837	837	823	809	850	905	994	919	886	857	888	974	1029	1001	937	1028	1045
15:00	807	867	712	791	872	733	712	690	763	765	854	770	780	780	794	867	818	803	877	880	987	898	852	874	878	991	962	959	919	961	1037
16:00	832	925	786	823	895	744	735	718	811	779	856	799	805	749	831	894	822	789	869	904	997	875	839	881	880	945	952	930	939	1023	1037
17:00	872	960	791	852	937	748	780	769	855	803	890	830	857	797	830	922	839	827	885	962	1046	927	870	944	915	1004	1071	984	977	1025	1021
18:00	883	962	865	907	1014	841	820	869	920	864	983	899	946	841	947	965	929	912	975	1040	1086	984	960	895	1012	1063	1113	1068	1081	1097	1122
19:00	958	996	918	954	1095	938	892	863	1004	958	1018	958	1010	916	985	1051	1019	954	1010	1045	1059	1027	1011	1056	1034	1092	1124	1107	1161	1154	1184
20:00	1047	1081	992	1017	1068	1030	937	959	1035	1055	1073	1027	1030	969	1052	1051	1085	988	1072	1106	1084	1108	1096	1092	1072	1122	1187	1174	1177	1207	1240
21:00	1001	1072	992	973	1000	1011	943	947	945	1056	1063	1034	1021	984	1015	1004	1043	1042	1110	1053	1064	1133	1109	1085	1105	1145	1085	1210	1180	1226	1306
22:00	898	961	913	904	933	938	855	855	885	946	970	949	931	914	901	918	923	904	998	943	1004	1005	984	1013	995	1042	970	1044	1083	1161	1166
23:00	803	867	803	826	851	840	763	763	799	866	857	874	842	799	824	823	853	825	922	890	889	915	896	933	911	958	942	937	998	994	1062

ΙΟΥΝΙΟΣ																														
ΩΡΕΣ/ΜΕΡΕΣ	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**
00:00	931	957	1083	1132	1099	1015	969	969	952	1021	1055	1093	1100	1018	1065	1083	1161	1190	1121	1173	1191	1205	1245	1296	1336	1412	1423	1418	1543	1522
01:00	863	872	970	1005	1011	922	873	887	874	940	977	984	994	937	955	994	1046	1093	1003	1086	1094	1094	1147	1201	1220	1303	1275	1275	1378	1366
02:00	811	819	902	922	913	830	815	833	832	879	915	935	920	881	902	924	980	1007	919	1008	1013	1028	1043	1218	1148	1239	1196	1188	1291	1269
03:00	778	790	855	881	869	818	824	817	819	857	901	888	897	871	862	890	963	968	890	964	980	1004	1043	1089	1097	1165	1162	1153	1255	1196
04:00	780	782	835	878	845	797	801	803	785	825	892	871	881	845	841	891	936	960	874	950	952	972	1030	1082	1050	1121	1138	1116	1217	1164
05:00	786	807	860	900	876	822	832	761	796	840	892	893	907	862	869	901	935	952	878	952	978	986	1017	1060	1060	1128	1143	1122	1189	1169
06:00	835	850	890	906	881	855	855	856	822	857	909	917	924	884	887	911	932	950	912	936	1001	1016	1030	1061	1057	1109	1145	1126	1163	1148
07:00	911	936	986	980	982	950	964	932	920	971	971	1023	1002	981	984	1007	1064	1029	1021	1049	1095	1116	1109	1172	1169	1238	1247	1255	1294	1220
08:00	974	1023	1087	1066	1044	1027	1048	1016	1012	1046	1046	1104	1077	1092	1079	1132	1167	1133	1168	1171	1177	1185	1213	1269	1254	1329	1324	1359	1394	1359
09:00	1041	1118	1160	1160	1134	1144	1122	1133	1091	1098	1146	1219	1149	1163	1173	1194	1252	1244	1264	1266	1240	1260	1281	1382	1342	1408	1393	1491	1518	1474
10:00	1040	1187	1202	1207	1221	1195	1136	1204	1094	1147	1232	1226	1203	1194	1211	1254	1311	1382	1298	1315	1323	1298	1324	1427	1438	1481	1483	1548	1614	1498
11:00	1063	1196	1201	1210	1243	1154	1145	1126	1119	1174	1274	1221	1199	1191	1223	1254	1392	1393	1314	1375	1305	1370	1368	1460	1435	1521	1532	1563	1634	1567
12:00	1070	1228	1171	1193	1214	1131	1166	1114	1117	1178	1220	1211	1185	1182	1209	1266	1428	1415	1259	1366	1311	1332	1371	1506	1437	1552	1534	1588	1633	1562
13:00	1094	1313	1207	1218	1201	1118	1166	1109	1122	1172	1241	1218	1186	1207	1220	1278	1403	1430	1286	1326	1370	1343	1435	1520	1455	1565	1527	1598	1652	1565
14:00	1137	1309	1223	1243	1226	1142	1156	1103	1127	1181	1227	1208	1204	1210	1265	1316	1471	1340	1303	1348	1365	1364	1479	1556	1524	1539	1549	1602	1699	1595
15:00	1071	1313	1189	1199	1198	1175	1094	1096	1147	1174	1196	1173	1205	1189	1282	1364	1422	1348	1283	1377	1308	1333	1446	1543	1506	1501	1524	1639	1694	1638
16:00	1078	1313	1204	1212	1194	1156	1105	1101	1107	1187	1182	1217	1171	1197	1269	1324	1459	1291	1248	1351	1359	1328	1424	1544	1515	1540	1513	1605	1688	1630
17:00	1136	1323	1221	1292	1270	1228	1213	1128	1197	1243	1249	1289	1230	1256	1330	1380	1477	1268	1365	1408	1407	1367	1467	1589	1556	1591	1559	1634	1736	1674
18:00	1157	1385	1486	1421	1424	1332	1278	1200	1245	1357	1350	1402	1288	1344	1401	1461	1552	1412	1494	1501	1492	1480	1598	1665	1624	1662	1642	1742	1806	1741
19:00	1211	1418	1575	1561	1465	1364	1360	1268	1334	1409	1392	1439	1399	1410	1491	1537	1611	1473	1517	1574	1512	1519	1721	1749	1714	1763	1766	1873	1914	1900
20:00	1285	1494	1657	1571	1493	1420	1402	1333	1360	1458	1471	1479	1378	1468	1520	1602	1639	1533	1553	1581	1590	1595	1741	1759	1775	1818	1786	1924	1951	1924
21:00	1321	1511	1682	1576	1470	1394	1389	1381	1423	1491	1427	1510	1416	1511	1529	1625	1585	1528	1606	1573	1562	1615	1626	1796	1815	1830	1812	1976	1977	1825
22:00	1194	1380	1490	1463	1324	1256	1278	1223	1315	1351	1363	1386	1326	1377	1379	1481	1510	1411	1521	1472	1473	1546	1472	1690	1727	1715	1736	1852	1855	1659
23:00	1056	1235	1326	1269	1154	1122	1150	1084	1175	1198	1201	1254	1161	1228	1223	1300	1371	1270	1340	1376	1347	1419	1429	1518	1581	1636	1582	1719	1715	1620

ΙΟΥΛΙΟΣ																															
ΩΡΕΣ/ΜΕΡΕΣ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
00:00	1494	1684	1649	1679	1702	1772	1841	2206	1913	1766	1739	1951	2144	2374	2947	2860	2263	2120	2110	2260	2535	2798	3020	3065	2783	2775	3233	2570	2262	2274	2263
01:00	1337	1497	1467	1526	1553	1700	1700	2007	1766	1596	1579	1756	1939	2198	2795	2688	2075	1955	1975	2080	2325	2601	2833	2905	2642	2604	3036	2399	2117	2133	2088
02:00	1226	1391	1369	1374	1449	1571	1571	1820	1624	1478	1454	1629	1801	2035	2555	2596	1955	1802	1860	1985	2157	2441	2628	2712	2456	2414	2826	2222	1979	1980	2000
03:00	1154	1323	1312	1360	1371	1499	1499	1761	1583	1420	1445	1537	1696	1943	2366	2485	1869	1723	1780	1883	2038	2317	2539	2575	2359	2279	2667	2073	1844	1913	1917
04:00	1121	1292	1269	1314	1351	1455	1455	1681	1540	1391	1370	1455	1605	1842	2289	2370	1781	1653	1700	1830	1981	2221	2397	2497	2318	2216	2630	2000	1798	1838	1825
05:00	1137	1286	1266	1306	1330	1439	1439	1657	1512	1355	1313	1416	1551	1747	2265	2317	1723	1608	1644	1811	1937	2128	2340	2435	2233	2134	2524	1929	1759	1799	1793
06:00	1141	1268	1267	1264	1318	1409	1409	1600	1460	1337	1297	1412	1549	1725	2227	2217	1678	1597	1641	1772	1817	2106	2214	2330	2153	2046	2368	1891	1726	1758	1785
07:00	1268	1365	1373	1368	1421	1512	1512	1681	1560	1476	1390	1553	1637	1833	2255	2225	1716	1687	1695	1827	1917	2205	2345	2428	2202	2097	2367	1924	1856	1820	1852
08:00	1405	1488	1500	1519	1546	1682	1682	1798	1658	1590	1553	1731	1810	2061	2389	2342	1900	1826	1881	1940	2134	2382	2573	2557	2382	2291	2509	2052	2009	2008	2034
09:00	1512	1668	1608	1672	1628	1715	1807	1890	1805	1773	1718	1872	2013	2239	2568	2445	1987	2012	1966	2084	2303	2557	2775	2686	2530	2498	2709	2164	2114	2070	2230
10:00	1594	1813	1712	1777	1733	1784	1941	1959	1880	1872	1857	1947	2107	2453	2670	2555	2052	2104	2050	2253	2445	2617	2939	2806	2644	2773	2791	2268	2193	2207	2350
11:00	1636	1790	1746	1794	1785	1833	1979	2055	1920	1889	1949	1982	2202	2456	2754	2506	2133	2076	2076	2338	2495	2732	2956	2769	2625	2857	2747	2315	2209	2252	2373
12:00	1637	1779	1720	1796	1693	1767	1999	1991	1903	1829	1963	2046	2201	2465	2728	2455	2095	2007	2105	2301	2553	2692	3031	2744	2582	2835	2715	2256	2231	2334	2322
13:00	1663	1779	1737	1828	1756	1820	2068	1965	1873	1871	1914	2132	2250	2583	2705	2383	2157	2054	2102	2353	2655	2787	3091	2791	2657	2923	2764	2311	2280	2320	2395
14:00	1672	1824	1812	1844	1785	1857	2083	1967	1880	1881	1990	2121	2347	2703	2832	2383	2180	2070	2114	2438	2673	2804	3131	2899	2714	3093	2852	2336	2298	2398	2483
15:00	1675	1775	1788	1870	1831	1861	2109	1987	1966	1907	1995	2114	2377	2760	2863	2400	2146	2097	2143	2584	2722	2845	3181	2855	2780	3106	2845	2314	2288	2327	2478
16:00	1682	1770	1788	1838	1874	1901	2120	2021	1937	1899	1965	2198	2386	2812	2877	2468	2187	2136	2197	2622	2718	2873	3195	2850	2840	3131	2907	2326	2272	2326	2509
17:00	1783	1864	1847	1895	1901	1953	2226	2103	2039	1962	2056	2223	2458	2774	2873	2538	2239	2229	2214	2670	2820	2900	3194	2889	2799	3192	2843	2432	2335	2390	2505
18:00	1896	1965	1921	1955	1997	2079	2334	2161	2167	2089	2203	2280	2520	2841	2988	2633	2401	2353	2309	2740	2870	2987	3215	2908	2857	3259	2845	2538	2436	2513	2603
19:00	1989	2088	2019	2002	2046	2083	2436	2281	2201	2154	2301	2323	2590	3013	3083	2701	2509	2480	2429	2803	2973	3123	3266	2967	2919	3277	2816	2639	2554	2641	2684
20:00	2016	2060	2092	2038	2076	2107	2536	2336	2189	2160	2310	2396	2661	3053	3034	2621	2481	2429	2510	2819	3058	3175	3276	2929	2926	3280	2800	2699	2653	2697	2757
21:00	2107	2025	2130	2116	2138	2147	2528	2362	2245	2145	2345	2429	2700	3132	3101	2645	2483	2449	2505	2886	3155	3242	3355	2960	3010	3398	2865	2714	2734	2706	2801
22:00	1982	1911	1934	2001	2039	2076	2457	2239	2084	2058	2275	2378	2678	3055	3033	2566	2391	2379	2588	2820	3094	3221	3355	2957	2995	3381	2822	2527	2596	2593	2668
23:00	1850	1793	1862	1837	1922	1967	2362	2084	1937	1887	2140	2299	2597	2982	3007	2469	2292	2291	2497	2708	2986	3137	3276	2881	2909	3306	2707	2419	2421	2467	2554

ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ																															
ΩΡΕΣ/ΜΕΡΕΣ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
00:00	2351	2317	2556	2559	2698	2687	2631	2463	2356	2073	2166	2045	2129	2161	2210	2316	2467	2439	2510	2382	2312	2391	2439	2450	2425	2332	2199	1939	1974	2154	1969
01:00	2161	2143	2355	2325	2435	2440	2414	2223	2136	1923	1958	1885	1869	1936	2069	2157	2237	2224	2335	2211	2161	2225	2296	2277	2262	2162	2050	1786	1774	1944	1802
02:00	2011	1999	2200	2137	2213	2289	2201	2045	1993	1744	1789	1711	1701	1791	1933	1966	2095	2088	2167	2059	1996	2023	2084	2034	2075	2010	1911	1633	1620	1779	1633
03:00	1937	1917	2100	1921	2095	2211	2079	1938	1889	1642	1683	1624	1622	1689	1811	1846	1969	1987	2008	1949	1872	1939	1931	1914	1964	1899	1798	1540	1559	1671	1553
04:00	1894	1846	1989	1900	2011	2172	1984	1848	1783	1584	1644	1617	1547	1647	1784	1758	1867	1910	1933	1841	1793	1866	1879	1872	1914	1853	1779	1530	1533	1613	1491
05:00	1866	1767	1894	1856	1932	2149	1950	1781	1740	1553	1627	1545	1522	1590	1729	1713	1814	1857	1891	1772	1732	1776	1797	1846	1863	1810	1727	1497	1472	1561	1458
06:00	1816	1705	1816	1797	1841	2071	1924	1878	1685	1529	1601	1514	1537	1601	1273	1737	1800	1807	1846	1744	1713	1720	1787	1801	1826	1755	1729	1491	1456	1529	1458
07:00	1845	1804	1949	1908	1933	2084	1988	1874	1771	1662	1653	1654	1601	1742	1773	1773	1880	1898	1926	1838	1777	1822	1860	1835	1834	1790	1768	1588	1534	1591	1515
08:00	2014	2003	2103	2111	2125	2243	2136	2093	1910	1839	1865	1858	1764	1936	1969	1942	2049	2073	2073	1992	1954	1983	1945	1996	2016	1944	1884	1804	1779	1749	1698
09:00	2169	2212	2304	2318	2440	2418	2332	2251	2062	2049	2058	1996	2021	2155	2164	2208	2241	2214	2271	2180	2120	2152	2191	2186	2198	2060	2015	1889	1949	1879	1783
10:00	2327	2416	2482	2497	2681	2530	2493	2411	2168	2168	2164	2110	2163	2272	2283	2355	2367	2364	2411	2268	2221	2317	2308	2233	2296	2163	2071	1997	2089	1966	1908
11:00	2420	2444	2540	2685	2772	2607	2542	2533	2248	2184	2196	2189	2216	2382	2422	2460	2451	2435	2482	2353	2314	2313	2343	2290	2246	2197	2120	2037	2138	2034	1992
12:00	2452	2452	2559	2718	2765	2660	2546	2540	2173	2204	2158	2188	2255	2372	2449	2526	2447	2420	2428	2446	2262	2328	2341	2307	2267	2242	2105	1982	2082	1994	1951
13:00	2434	2479	2615	2762	2835	2634	2613	2582	2221	2250	2215	2196	2309	2444	2435	2534	2495	2466	2452	2370	2347	2329	2386	2323	2291	2221	2085	2070	2086	2012	1907
14:00	2423	2523	2624	2761	2867	2641	2686	2545	2287	2243	2275	2250	2244	2433	2393	2606	2515	2495	2507	2388	2374	2375	2411	2328	2341	2263	2150	2084	2113	2095	1980
15:00	2473	2545	2687	2687	2850	2609	2606	2579	2219	2175	2185	2165	2241	2336	2404	2547	2440	2521	2478	2376	2305	2358	2361	2398	2323	2217	2083	2061	2185	2101	1980
16:00	2510	2560	2696	2698	2860	2616	2606	2592	2228	2218	2204	2189	2195	2381	2386	2512	2453	2518	2447	2336	2321	2378	2337	2385	2337	2234	2019	2060	2150	2053	1975
17:00	2543	2631	2742	2753	2875	2686	2690	2630	2276	2308	2241	2268	2291	2455	2417	2549	2557	2602	2499	2258	2373	2350	2401	2454	2407	2281	2063	2052	2205	2043	2018
18:00	2563	2723	2865	2893	2938	2820	2774	2699	2439	2469	2405	2367	2517	2697	2603	2763	2636	2696	2678	2554	2526	2643	2557	2549	2514	2460	2160	2146	2308	2156	2085
19:00	2692	2824	2963	3038	3045	2897	2917	2799	2575	2657	2633	2570	2753	2822	2813	2911	2818	2886	2832	2755	2701	2761	2773	2684	2712	2539	2350	2304	2497	2327	2183
20:00	2768	2923	3023	3198	3217	3023	2943	2909	2718	2768	2832	2800	2861	3010	3002	3069	3023	3060	2995	2909	2829	2873	2974	2872	2824	2669	2457	2524	2586	2480	2368
21:00	2762	2993	3180	3021	3244	3073	3070	2967	2721	2787	2754	2800	2755	2908	3021	3063	3037	3122	2985	2916	2826	2839	2888	2858	2737	2631	2428	2437	2531	2428	2302
22:00	2617	2878	2992	2898	3098	2962	2913	2727	2436	2566	2561	2530	2582	2714	2816	2885	2845	2881	2795	2731	2705	2697	2761	2667	2606	2513	2275	2263	2408	2287	2119
23:00	2502	2728	2776	2761	2900	2814	2679	2545	2280	2338	2259	2320	2371	2485	2560	2683	2665	2714	2589	2550	2601	2572	2584	2548	2474	2331	2084	2101	2302	2161	2020

ΣΕΠΤΕΜΒΡΗΣ																														
ΩΡΕΣ/ΜΕΡΕΣ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
00:00	1744	1762	1805	1825	2033	1760	1743	1716	1745	1807	1787	1579	1316	1198	1352	1287	958	1016	950	972	950	964	942	951	791	804	795	845	782	815
01:00	1559	1561	1668	1599	1945	1553	1570	1544	1546	1583	1651	1551	1118	1136	1258	1282	870	1083	878	994	892	875	865	897	770	798	784	805	734	792
02:00	1380	1461	1579	1478	1791	1426	1439	1366	1446	1463	1563	1513	1283	1457	1181	1241	821	1085	811	882	857	834	800	852	770	782	762	779	744	782
03:00	1294	1386	1467	1444	1660	1363	1348	1281	1372	1430	1496	1470	1413	1396	1162	1216	795	1059	827	825	780	816	785	784	758	762	732	846	756	756
04:00	1380	1315	1434	1393	1621	1365	1324	1287	1302	1379	1463	1428	1377	1382	1124	1184	776	1044	803	859	800	874	768	800	728	736	714	802	736	734
05:00	1300	1314	1425	1354	1784	1304	1297	1265	1300	1341	1539	1528	1336	1328	1009	1215	918	1022	798	887	827	826	800	821	716	728	730	826	700	747
06:00	1278	1331	1958	1323	1749	1300	1312	1464	1318	1309	1938	1656	1368	1328	1007	1142	863	995	816	942	826	914	821	854	749	764	770	884	720	788
07:00	1479	1394	1995	1415	1885	1412	1363	1864	1380	1407	1975	1722	1483	1342	1100	1095	855	1048	816	972	854	908	811	879	772	782	769	859	758	788
08:00	1882	1763	2147	1974	2198	1582	1885	1962	1745	1954	1932	1855	1727	1387	1262	1154	904	1022	867	976	873	925	964	892	856	864	832	783	846	862
09:00	1982	1753	1943	1788	2348	1836	1811	2013	1736	1770	1884	1884	1827	1314	1334	1137	972	1246	952	897	947	904	972	952	834	879	795	781	835	854
10:00	1751	1855	1875	1862	2148	1965	1959	1989	1837	1844	1856	1887	1889	1380	1329	1120	987	1248	970	888	972	912	954	901	869	810	812	777	935	860
11:00	1950	1862	1885	1890	2095	1993	2009	1963	1844	1871	1863	1906	1852	1340	1371	1207	942	1234	970	888	968	912	948	897	858	786	800	777	959	819
12:00	1983	1990	1900	1933	2094	2012	2056	1959	1970	1914	1881	1936	1833	1287	1408	1217	917	1123	981	888	893	874	882	883	860	742	800	716	926	778
13:00	1978	1982	1754	1962	2131	1953	1998	1986	1963	1943	1736	1877	1770	1300	1332	1232	900	1324	918	898	884	835	891	881	847	742	798	732	823	725
14:00	2006	1946	1894	1956	2072	1945	1896	1962	1927	1937	1875	1867	1834	1371	1324	1257	875	1187	925	1003	853	882	876	882	792	736	770	864	804	698
15:00	1982	1895	1858	2016	1963	1881	1918	1903	1876	1996	1839	1898	1913	1340	1310	1300	875	1017	974	1230	891	1001	904	897	764	725	725	1010	846	722
16:00	1922	1853	2366	1973	1967	1858	1908	1882	1834	1953	2058	1952	1898	1290	1451	1300	887	973	991	1310	987	1023	882	1003	793	759	754	1182	889	754
17:00	1901	1932	2442	1966	2032	1955	1910	1973	1913	1946	2149	1987	1928	1677	1578	1284	1008	992	1003	1310	1003	1033	982	1023	880	850	919	1193	1072	904
18:00	1993	2124	2483	2117	2134	2101	1966	2039	1997	2053	2235	2070	1992	1874	1639	1248	1214	1019	1220	1264	1023	1037	1128	1031	1040	1004	1082	1090	1210	1084
19:00	2102	2243	2327	2243	1429	2292	2171	2261	2064	2176	2095	2103	2072	2062	1534	1274	1221	1007	1294	1171	1031	1034	1124	1031	1194	1151	1206	985	1210	1105
20:00	2331	2405	2438	2553	1946	2424	2321	2434	2165	1349	2121	2246	2188	2287	1438	1223	1228	978	1334	1168	1031	1028	1123	1216	1187	1193	1182	972	1145	1095
21:00	2459	2325	1780	2342	1995	2240	2218	2473	2092	2272	1833	2082	2130	2252	1340	1283	1318	982	1284	1092	1026	1008	1247	1171	1100	1100	1073	886	1000	1028
22:00	2550	2642	1595	2128	1975	2297	1877	2049	2299	2064	1627	1880	2012	2301	1218	1104	1247	994	1162	1074	1117	1002	1103	1122	982	982	986	844	908	975
23:00	1626	2020	1312	2038	1922	1909	1896	1898	1960	1977	1495	1692	1904	2003	1208	1088	1009	987	1007	1047	1006	987	1002	1006	900	896	928	823	914	882

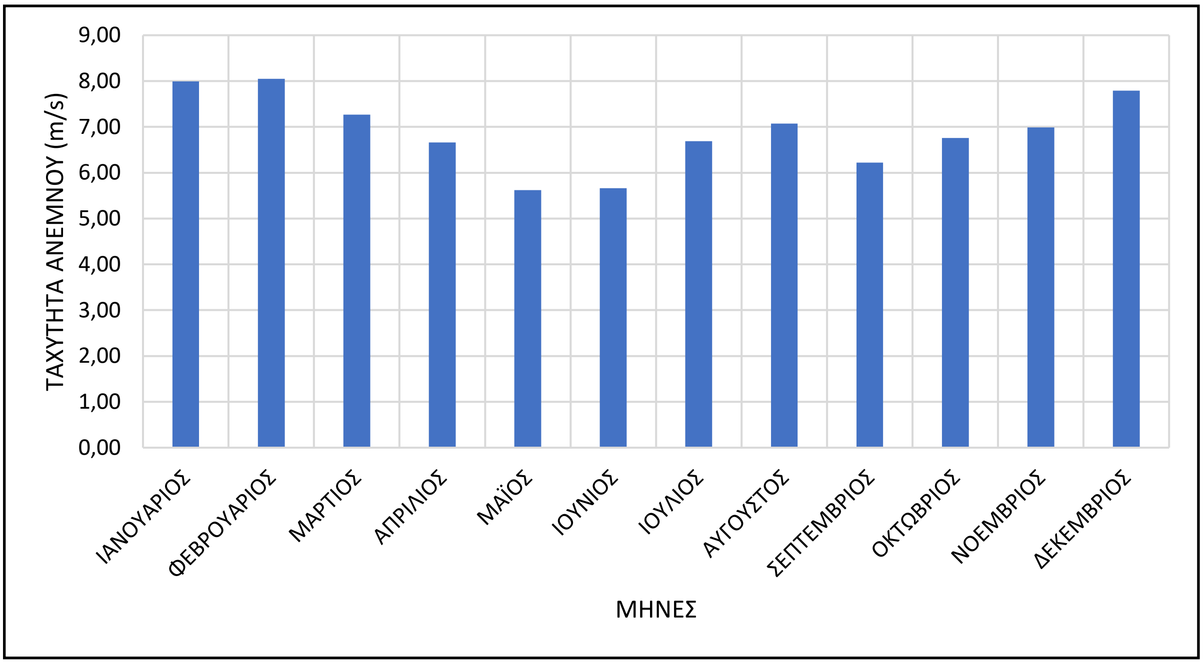
ΟΚΤΩΒΡΗΣ																															
ΩΡΕΣ/ΜΕΡΕΣ	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**
00:00	850	881	872	830	887	780	762	711	700	680	685	700	600	698	590	612	590	613	601	550	563	578	543	555	551	565	563	532	520	550	521
01:00	831	846	844	832	826	754	732	676	652	652	657	642	600	692	600	572	578	627	554	550	557	540	581	532	571	562	532	514	500	550	516
02:00	826	826	826	854	815	759	745	662	612	695	625	666	582	671	594	564	562	602	549	548	579	540	572	514	571	550	521	497	482	550	498
03:00	792	819	846	834	815	725	758	648	592	668	567	651	592	652	578	542	602	571	568	532	562	540	563	506	568	531	502	482	476	540	453
04:00	728	762	810	758	798	728	748	648	598	675	572	648	573	643	531	523	602	543	558	524	550	540	548	506	552	527	502	486	472	500	451
05:00	736	799	828	762	824	714	735	625	598	629	593	687	581	760	523	549	597	552	563	539	611	540	531	548	538	537	548	475	468	481	478
06:00	782	835	782	819	816	732	760	659	628	653	621	701	619	700	564	533	571	593	597	587	592	532	578	587	546	582	597	514	504	475	513
07:00	810	842	806	857	816	765	760	672	672	685	634	725	652	720	583	600	593	642	607	562	573	596	562	574	567	565	573	485	487	540	549
08:00	890	881	849	905	859	858	805	725	672	704	798	705	623	740	631	620	607	703	619	569	612	572	584	534	589	567	564	506	492	532	530
09:00	880	856	825	869	832	829	774	698	771	692	758	719	623	710	610	632	586	662	594	571	597	552	542	582	593	570	491	498	487	568	480
10:00	854	855	840	842	856	800	789	725	738	718	700	679	601	703	597	615	575	648	685	589	572	584	568	612	564	574	547	475	483	507	442
11:00	792	824	840	772	856	758	768	682	714	692	648	682	574	682	588	648	612	597	642	631	613	623	585	625	550	573	568	492	496	487	469
12:00	785	796	837	741	840	789	769	682	669	672	679	653	584	641	516	598	623	534	623	657	584	584	549	700	498	612	562	500	451	496	451
13:00	777	770	794	682	820	751	731	653	682	654	651	625	533	655	507	584	637	572	600	600	506	501	541	711	511	662	548	451	442	482	442
14:00	777	770	756	688	801	758	715	627	652	652	643	579	546	602	497	578	607	534	600	581	492	501	622	654	475	618	568	462	507	472	443
15:00	777	782	826	736	787	728	652	572	613	589	665	618	582	637	513	566	584	578	578	579	504	501	607	632	572	619	511	510	487	488	437
16:00	777	815	954	858	847	700	729	641	613	622	635	762	681	678	576	532	592	600	608	541	569	568	598	512	668	654	537	507	515	512	478
17:00	804	915	1106	892	944	832	850	774	597	748	723	900	827	745	674	601	574	692	681	618	671	674	624	568	721	598	604	486	576	508	580
18:00	902	1038	1181	1004	1098	974	903	904	752	890	878	982	928	792	778	614	574	804	708	720	734	698	643	581	732	710	604	475	608	493	698
19:00	1028	1125	1158	1062	1182	1007	982	965	892	942	990	991	853	803	803	638	551	906	752	782	784	743	647	617	654	725	622	498	587	523	771
20:00	1106	1146	1062	1078	1187	1001	951	972	973	968	978	821	770	841	760	622	548	831	794	791	769	752	695	632	662	732	657	523	548	537	742
21:00	1145	1095	1000	1015	1110	918	892	913	984	931	982	814	712	776	710	578	583	772	740	700	700	721	622	655	645	681	632	587	532	512	692
22:00	1096	1028	956	972	1064	816	817	849	896	821	879	805	703	705	661	593	592	691	732	620	684	692	630	648	632	657	600	532	534	500	648
23:00	940	928	931	871	962	735	758	782	732	730	721	784	659	621	623	581	571	648	667	584	631	657	584	600	618	624	567	507	502	492	562

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ																														
ΩΡΕΣ/ΜΕΡΕΣ	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**
00:00	565	532	562	521	510	480	470	520	540	510	510	520	520	480	550	490	490	480	500	498	475	500	492	483	504	500	482	512	450	432
01:00	551	497	547	480	475	460	460	500	510	490	491	490	480	460	550	460	470	470	460	475	452	470	472	452	467	462	461	492	450	448
02:00	540	542	532	472	462	440	440	480	490	490	485	480	480	470	510	460	460	460	450	468	452	480	462	452	452	441	452	492	448	447
03:00	540	562	504	463	458	460	450	480	480	460	481	470	470	430	500	432	450	440	440	445	436	460	458	431	431	423	443	474	448	432
04:00	532	562	507	453	443	450	440	420	490	470	452	460	470	460	490	458	470	460	450	462	448	460	478	438	440	448	437	481	447	437
05:00	547	540	548	462	435	450	450	490	530	420	468	480	430	460	530	452	480	450	440	475	446	480	485	457	451	437	448	463	451	427
06:00	583	567	592	481	472	490	480	520	530	500	501	460	480	490	530	447	500	470	460	482	448	480	500	482	478	411	492	387	448	398
07:00	570	512	574	479	468	500	500	520	580	510	510	450	490	480	510	481	470	430	420	463	443	460	470	471	443	452	480	392	448	387
08:00	570	600	568	501	492	510	510	540	590	460	472	440	500	450	477	503	490	390	380	481	442	460	470	432	421	452	451	384	452	392
09:00	570	680	491	458	447	490	490	530	530	440	450	450	510	460	446	477	470	400	392	455	452	430	472	385	440	434	500	399	462	404
10:00	589	571	541	437	421	440	430	500	480	480	410	470	480	470	408	481	430	410	411	415	419	410	482	386	440	426	551	375	468	428
11:00	649	548	562	442	432	440	440	470	450	400	410	460	450	420	432	473	440	390	385	452	405	390	492	388	459	453	510	412	435	415
12:00	652	564	562	400	398	460	450	450	480	420	430	480	460	470	407	518	440	400	392	415	370	425	497	372	432	478	510	448	457	434
13:00	612	534	511	400	385	420	410	480	460	400	450	520	430	450	432	492	420	420	445	436	411	460	442	376	478	496	523	435	422	387
14:00	573	521	543	384	392	420	410	490	430	440	460	540	450	460	421	473	450	450	445	498	452	460	446	368	520	461	500	462	434	358
15:00	598	584	607	402	420	420	400	450	490	460	434	550	450	510	512	490	490	470	478	515	449	520	457	354	508	458	482	457	510	358
16:00	574	612	697	439	530	470	470	510	570	470	468	530	440	530	548	563	550	510	521	564	504	542	463	371	487	462	496	462	478	358
17:00	553	622	772	551	648	570	560	610	610	520	503	510	420	521	582	630	574	580	567	584	552	485	452	368	496	520	487	487	464	376
18:00	624	614	751	652	691	620	640	680	600	550	619	480	500	522	612	650	596	567	566	592	523	446	492	475	452	460	483	450	452	410
19:00	731	608	653	704	663	610	700	700	570	500	657	470	510	482	608	690	600	568	567	547	568	453	512	521	470	452	475	455	465	480
20:00	820	574	614	678	621	680	670	670	590	480	586	490	480	483	570	690	587	565	598	523	532	485	510	487	421	431	423	437	457	421
21:00	804	532	567	648	579	640	630	620	550	490	531	475	460	497	532	524	561	535	574	512	524	463	497	467	450	427	452	416	485	426
22:00	714	537	543	582	562	590	580	560	530	500	527	462	480	468	510	532	502	500	532	532	507	468	463	453	446	431	461	460	432	412
23:00	667	510	518	541	521	550	550	520	480	460	509	423	440	452	488	510	493	498	521	487	480	435	422	431	458	428	431	387	398	405

ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ																															
ΩΡΕΣ/ΜΕΡΕΣ	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**
00:00	663	587	638	623	547	599	607	657	582	631	616	541	593	592	622	580	557	555	518	560	586	586	560	578	567	546	541	534	534	521	542
01:00	643	571	591	581	531	578	558	636	566	585	576	526	573	579	594	557	538	542	501	538	559	543	542	557	542	530	521	513	526	504	533
02:00	630	571	581	564	509	556	555	624	566	576	558	504	550	547	582	543	525	524	486	535	560	534	528	540	536	514	513	516	523	503	518
03:00	617	567	574	557	520	546	555	611	562	568	552	515	541	520	581	552	525	507	494	526	553	539	520	530	527	520	526	508	516	493	504
04:00	600	554	576	551	517	544	530	594	548	571	545	512	539	524	560	532	513	503	485	523	556	528	513	522	521	507	506	501	501	489	496
05:00	616	561	606	559	532	555	561	610	555	600	553	527	549	550	576	527	509	513	486	535	583	542	525	534	539	504	510	505	497	480	515
06:00	678	598	616	608	587	611	605	671	592	609	602	581	605	577	610	575	565	553	542	574	626	591	563	578	563	531	536	541	534	528	556
07:00	678	597	598	613	577	620	602	672	591	592	607	571	614	604	625	576	573	552	559	589	650	599	582	571	537	518	539	554	542	516	555
08:00	698	600	629	601	586	598	609	691	594	623	595	580	592	628	627	577	578	537	594	645	669	643	618	583	554	521	555	579	536	546	557
09:00	690	586	622	614	593	585	618	683	580	616	608	587	597	656	626	579	576	533	620	660	674	662	577	567	582	481	568	564	546	520	547
10:00	643	629	634	626	593	593	667	637	623	628	620	587	587	627	694	541	562	533	609	721	701	706	581	539	588	466	535	539	597	520	509
11:00	617	576	635	656	596	614	666	610	570	629	650	590	607	576	662	559	562	550	578	766	674	696	541	508	592	472	512	509	533	500	506
12:00	669	583	619	617	625	584	613	662	577	613	611	618	578	598	603	545	559	532	580	762	658	660	517	506	567	466	524	495	497	478	553
13:00	651	600	640	593	661	588	661	645	594	633	587	654	582	608	594	554	547	554	562	769	633	611	543	495	516	464	556	527	498	478	628
14:00	697	588	676	616	672	594	688	690	582	669	610	665	588	599	636	546	554	527	575	748	610	544	568	498	497	452	549	503	502	480	634
15:00	683	627	669	670	727	620	705	676	620	663	663	720	613	651	657	567	593	536	618	765	631	576	578	537	501	504	545	513	510	509	681
16:00	819	680	710	721	787	672	761	676	674	703	714	779	665	725	685	615	629	584	630	756	683	617	606	645	564	539	561	573	527	565	691
17:00	881	810	849	778	860	758	855	811	802	840	770	851	751	803	743	719	678	653	689	820	743	684	699	763	638	629	651	648	619	645	759
18:00	835	855	921	819	844	830	910	872	849	866	811	835	821	825	805	740	726	667	748	814	804	751	755	833	692	687	710	710	665	677	797
19:00	810	821	862	806	819	854	927	827	835	845	798	811	845	825	781	738	720	694	761	875	799	738	773	805	692	681	711	698	649	686	756
20:00	793	783	820	786	802	816	892	802	812	811	778	794	808	808	747	718	694	668	748	842	785	720	769	786	691	682	688	696	652	672	708
21:00	812	724	757	725	775	750	821	785	775	749	718	767	743	779	725	683	664	634	673	766	746	677	705	704	664	668	651	657	620	625	649
22:00	635	664	711	663	729	684	755	704	717	704	656	722	677	739	675	645	619	580	613	689	665	646	659	653	623	624	609	627	593	608	630
23:00	628	652	666	597	655	632	738	629	658	659	591	648	626	739	628	598	585	551	584	628	633	609	620	615	571	584	574	586	566	574	600

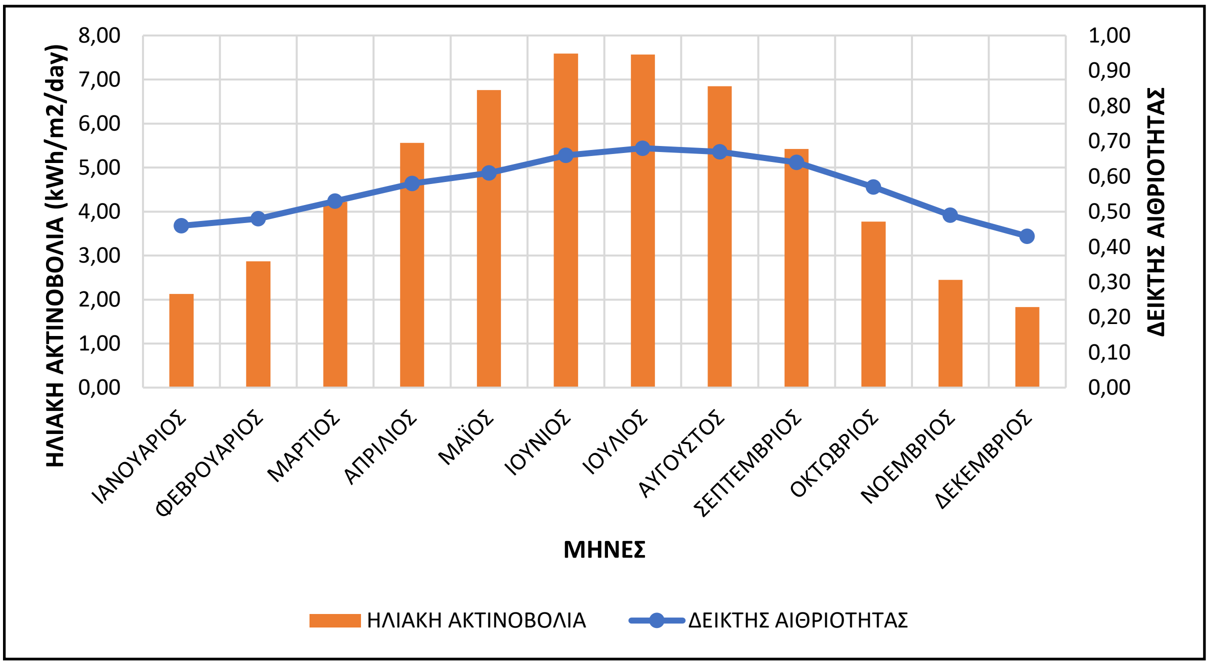
-BEGIN HEADER-
NASA/POWER CERES/MERRA2 Native Resolution Climatology Climatologies
20-year Meteorological and Solar Monthly & Annual Climatologies (January 2001 - December 2020)
Location: Latitude 37.1547 Longitude 24.5055
Elevation from MERRA-2: Average for 0.5 x 0.625 degree lat/lon region = 8.03 meters
The value for missing source data that cannot be computed or is outside of the sources availability range: -999
Parameter(s):
WS50M MERRA-2 Wind Speed at 50 Meters (m/s)
WS50M_MAX MERRA-2 Wind Speed at 50 Meters Maximum (m/s)
-END HEADER-

PARAMETER	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	ΜΑΡΤΙΟΣ	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	ΜΑΪΟΣ	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	Μ.Ο.
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ	7.99	8.05	7.27	6.66	5.62	5.66	6.69	7.07	6.22	6.76	6.99	7.79	6.90



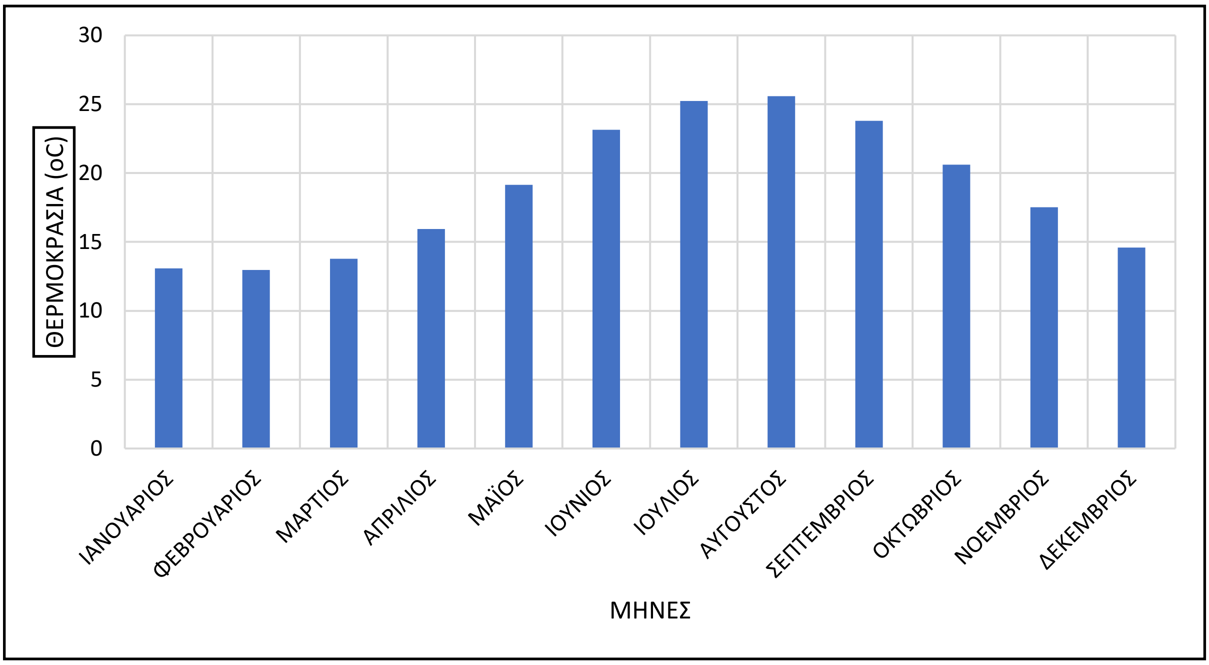
-BEGIN HEADER-
NASA/POWER CERES/MERRA2 Native Resolution Climatology Climatologies
39-year Meteorological and Solar Monthly & Annual Climatologies (January 1984 - December 2022)
Location: Latitude 37.1547 Longitude 24.5054
Elevation from MERRA-2: Average for 0.5 x 0.625 degree lat/lon region = 8.03 meters
The value for missing source data that cannot be computed or is outside of the sources availability range: -999
Parameter(s):
SI_EF_TILTED_SURFACE_HORIZONTAL SRB V4/CERES SYN1deg Solar Irradiance for Equator Facing Horizontal Surface (kW-hr/m^2/day)
ALLSKY_KT SRB V4/CERES SYN1deg All Sky Insolation Clearness Index (dimensionless)
-END HEADER-

	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	ΜΑΡΤΙΟΣ	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	ΜΑΪΟΣ	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	Μ.Ο.
ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΙΘΡΙΟΤΗΤΑΣ	0.46	0.48	0.53	0.58	0.61	0.66	0.68	0.67	0.64	0.57	0.49	0.43	0.57
ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	2.13	2.87	4.22	5.56	6.76	7.59	7.57	6.85	5.42	3.77	2.45	1.83	4.75



Location: Latitude 37.1547 Longitude 24.5054
Elevation from MERRA-2: Average for 0.5 x 0.625 degree lat/lon region = 8.03 meters
The value for missing source data that cannot be computed or is outside of the sources availability range: -999
Parameter(s):
T2M MERRA-2 Temperature at 2 Meters (C)
T2M_RANGE MERRA-2 Temperature at 2 Meters Range (C)
-END HEADER-

PARAMETER	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	ΜΑΡΤΙΟΣ	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	ΜΑΪΟΣ	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	Μ.Ο.
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	13.09	12.97	13.78	15.93	19.15	23.15	25.24	25.59	23.8	20.6	17.51	14.59	18.78



C O S T S	Capital		Replacement		O&M		Fuel Price		Lifetime	
PV Panel	250	€/kW	175	€/kW	3	€/kW/year			25	years
Wind Turbine	1150	€/kW	1050	€/kW	14	€/kW/year			20	years
Diesel Generator	457	€/kW	400	€/kW	0.0025	€/kW/hour			28000	hours
Biomass Generator	520	€/kW	450			€/kW/year			25000	hours
Fuel Cell Generator	1800	€/kW	1400	€/kW	0.05	€/kW/hour			15000	hours
Converter	350	€/kW	0	€/kW	0				15	years
Li Ion Battery	25	€/kWh	20	€/kWh	0				5 to 15	years
Hydrogen Tank	731	€/kg	640	€/kg	2.74	€/kg/yr			25	years
Electrolyzer	1300	€/kW	900	€/kW	20	€/kW/hour			15	years