ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

Τομέας Συστημάτων Παραγωγής

Εργαστήριο Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων και Ηλεκτρονικής

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΠΟΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΟΥ ΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΥΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΜΠΑΛΑΝΤΑΝΗ ΔΗΜΗΤΡΗ

ΕΠΙΒΛΕΨΗ

ΚΑΤΣΙΓΙΑΝΝΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ, Υποψ. Διδάκτωρ Πολυτεχνείου Κρήτης

ΓΕΩΡΓΙΛΑΚΗΣ ΠΑΥΛΟΣ, Επίκουρος Καθηγητής

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΔΟΥΛΑΜΗΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ, Επίκουρος Καθηγητής

ΝΙΚΟΛΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ, Λέκτορας

ΓΕΩΡΓΙΛΑΚΗΣ ΠΑΥΛΟΣ, Επίκουρος Καθηγητής

ΧΑΝΙΑ

ΜΑΡΤΙΟΣ 2008

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία αποτελεί τη Διπλωματική μου Εργασία στα πλαίσια των σπουδών μου στο Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης. Η εκπόνησή της ξεκίνησε το Μάρτιο του 2006 και ολοκληρώθηκε τον Μάρτιο του 2008, υπό την επίβλεψη του Επίκουρου Καθηγητή κ. Γεωργιλάκη Παύλου και του υποψήφιου Διδάκτορα του Πολυτεχνείου Κρήτης κ. Κατσίγιαννη Ιωάννη.

Με την ευκαιρία της παρουσίασης της εργασίας μου αυτής, θεωρώ χρέος μου να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όσους συνέβαλαν αποφασιστικά στην όλη μου προσπάθεια. Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Γεωργιλάκη Παύλο, ο οποίος μου έδωσε τη δυνατότητα να ασχοληθώ με το αντικείμενο των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και με την καθοδήγηση και τις πολύτιμες συμβουλές που παρείχε, καλλιέργησε άρτιο κλίμα συνεργασίας σε όλη την πορεία της εργασίας, υπογράφοντας την επιτυχή της ολοκλήρωση. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαιτέρως, τον Υποψήφιο Διδάκτορα του Πολυτεχνείου Κρήτης κ. Κατσίγιαννη Ιωάννη, η συμβολή του οποίου σε αυτό το εγχείρημα ήταν εξαιρετικά μεγάλη και χωρίς την άψογη συνεργασία του και το ενδιαφέρον που έδειξε δε θα ήταν εφικτή η ολοκλήρωση αυτής της εργασίας. Γιάννη, σε ευχαριστώ για όλα!

Θέλω επίσης να ευχαριστήσω τους φίλους μου, τη δεύτερή μου φαμιλιά, για τον όμορφο καιρό που περάσαμε (και περνάμε) μαζί.

Τέλος, θέλω να επίσης ευχαριστήσω την οικογένειά που είναι πάντα δίπλα μου. Είναι οι καλύτεροι!

Α, και θέλω να ευχαριστήσω και τον Shantel που έβγαλε τον τρομερό και φοβερό δίσκο «Disko Patrizani», τον οποίο άκουγα συνεχόμενα κατά τη διάρκεια προετοιμασίας αυτής της εργασίας. Άιντε, Shantelle!

Στους γονείς μου

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει τη μελέτη του περιβαλλοντικού κόστους των τεχνολογιών των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ). Στην εργασία παρατίθενται οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, εκφρασμένες σε εκπομπές ισοδύναμου CO_2, ανά τεχνολογία ΑΠΕ. Σκοπός αυτής της εργασίας είναι να παρουσιαστεί μία ολοκληρωμένη μεθοδολογία για την εκτίμηση του περιβαλλοντικού κόστους που προκαλούν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Επίσης, για μία πιο ρεαλιστική παρουσίαση των αποτελεσμάτων, εφαρμόζονται οι τιμές των εκπομπών σε υβριδικά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Για την εκτίμηση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου χρησιμοποιείται η μέθοδος της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ). Η περιβαλλοντική Ανάλυση Κύκλου Ζωής είναι η «από τη γέννηση έως το θάνατο» προσέγγιση αποτίμησης περιβαλλοντικών επιδράσεων, που μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα προϊόντα, άρα και στο ηλεκτρικό ρεύμα. Η «από τη γέννηση έως το θάνατο» προσέγγιση περιλαμβάνει όλα τα στάδια ζωής ενός προϊόντος: από την εξαγωγή των πρώτων υλών και καυσίμων μέχρι τη στιγμή που όλα τα υλικά ξαναγυρίζουν στο περιβάλλον. Η μονάδα μέτρησης της ΑΚΖ του ηλεκτρικού ρεύματος που χρησιμοποιείται στην εργασία αυτή είναι η εξής: g CO_2 / kWh.

Εξετάζονται πέντε υβριδικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι σταθμοί αυτοί μοντελοποιούνται και προσομοιώνονται μέσω ενός λογισμικού ανεπτυγμένου από το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας των ΗΠΑ, το HOMER, μέσω του οποίου πραγματοποιούνται οικονομικές και περιβαλλοντικές αναλύσεις. Συνδυάζοντας τα αποτελέσματα του HOMER με τις τιμές της ΑΚΖ, επιτυγχάνεται μία περιβαλλοντική-οικονομική αποτίμηση των υβριδικών συστημάτων.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, υβριδικά ενεργειακά συστήματα, Ανάλυση Κύκλου Ζωής, εκπομπές ισοδύναμου CO_2, προσομοίωση, HOMER

ABSTRACT

This thesis presents the study of environmental cost of Renewable Energy Sources (RES) technologies. In the thesis, the emissions of greenhouse gases, expressed in equivalent CO_2 emissions, are presented for all the different types of renewable energy technologies. The aim of this thesis is to present a methodology of assessing the environmental cost, i.e., the cost that is caused by the emissions of RES technologies. Moreover, for a more realistic presentation of the results, the methodology is applied on hybrid power systems.

Life Cycle Analysis (LCA) is the methodology that is used for the quantification of the greenhouse gas emissions. The environmental Life Cycle Analysis is a "from cradle to death" assessment of the environmental effects that can be applied in all products, hence in the electricity. "From cradle to death" approach includes all the stages of the product's life: from the gathering of the raw material and the fuels up to the moment where all the materials return back to the environment. The measure of LCA is the weight of equivalent CO_2 emissions per produced electrical energy, i.e., g CO_2/kWh.

Five hybrid power systems are examined. These power systems are simulated by HOMER software (developed by the National Renewable Energy Laboratory, USA) through which economic and environmental analyses can be done. An environmental-economical evaluation of the hybrid power systems is achieved by combining the results of HOMER with the LCA values.

KEYWORDS

Renewable Energy Sources, hybrid power systems, Life Cycle Analysis, equivalent CO_2 emissions, simulation, HOMER

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ HOMER

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Τα αυξανόμενα επίπεδα των αερίων του θερμοκηπίου (GHG) στη γήινη ατμόσφαιρα προκαλούν παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου που οδηγεί στη συνέχεια σε κλιματικές αλλαγές που δεν μπορούν να επανέλθουν μέσω της φυσικής προσαρμογής. Αν και το μέγεθος αυτών των αλλαγών και των επιδράσεών τους δεν γίνεται κατανοητό πλήρως, υπάρχει μια γενική ομοφωνία στο ότι απαιτείται η επέμβαση για να περιοριστούν οι ανθρωπογενείς εκπομπές και να σταθεροποιηθούν οι συγκεντρώσεις των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Η σημαντική θέρμανση της ατμόσφαιρας και η φυσική προσαρμογή της σε νέα ατμοσφαιρική κατάσταση θα οδηγήσει και σε άλλες περιβαλλοντικές επιδράσεις. Μερικές από τις επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής είναι οι παρακάτω [1.1]:

- Εντονότερα γεγονότα καθίζησης, αυξανόμενες πλημμύρες, καθίζηση εδάφους, χιονοστιβάδες.

- Αυξανόμενη θερινή ξηρασία για τις περισσότερες περιοχές της γης που βρίσκονται σε περιοχές με γεωγραφικό πλάτος κοντά στις 45° (όπως είναι η Ελλάδα) και σχετικός κίνδυνος ερημοποίησης.

- Αύξηση στις εντάσεις των τροπικών κυκλώνων.

- Εκτεταμένες ξηρασίες και πλημμύρες που συνδέονται με το φαινόμενο El Nino σε πολλές διαφορετικές περιοχές.

- Η άνοδος της επιφάνειας της θάλασσας και η αύξηση στην ένταση των τροπικών κυκλώνων θα οδηγούσαν στη μετανάστευση δεκάδες εκατομμύρια ανθρώπους που ζουν στις παράκτιες περιοχές της εύκρατης και τροπικής Ασίας.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι είναι κρίσιμο να μετριαστούν οι εκπομπές των αερίων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Οι εκπομπές που συνδέονται με τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούν θερμικές μεθόδους είναι κυρίως επικεντρωμένες στο στάδιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος. Οι εκπομπές που συνδέονται με την εξαγωγή και την παραγωγή των καυσίμων είναι συνήθως αμελητέες κατά τη διάρκεια ζωής του συστήματος ενέργειας όταν συγκρίνονται με την διαδικασία παραγωγής ενέργειας. Κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από συστήματα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) δεν εκπέμπονται σημαντικές ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου. Εντούτοις, υπάρχουν σημαντικές ποσότητες εκπομπών που συνδέονται με την υλική προμήθεια, κατασκευή και μεταφορά του εκάστοτε συστήματος. Για παράδειγμα:

- Εναλλακτικά καύσιμα, όπως είναι η αιθανόλη, παράγουν χαμηλότερες εκπομπές αερίων κατά την καύση τους σε σύγκριση με το πετρέλαιο, αλλά οι εκπομπές που σχετίζονται με την καλλιέργεια για την παραγωγή της αιθανόλης εξισορροπούν αυτά τα οφέλη [1.13].

- Οι κυψέλες καυσίμου δεν εκπέμπουν κατά τη λειτουργία τους αέρια του θερμοκηπίου. Κατά την παραγωγή όμως του υδρογόνου (υδρογόνο που συνήθως παράγεται μέσω αναμόρφωσης φυσικού αερίου) θα παραχθούν αέρια του θερμοκηπίου σε ποσότητες μεγαλύτερες από αυτές που θα παρήγαγαν μονάδες φυσικού αερίου.

Στην εκτίμηση των σχετικών με τις ΑΠΕ εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου είναι σημαντικό να συμπεριληφθούν οι εκπομπές ολόκληρου του κύκλου ζωής του συστήματος, από την κατασκευή των υλικών, τη λειτουργία της τεχνολογίας, μέχρι και την τελική διάθεση του συστήματος. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της λεπτομερούς αξιολόγησης του κύκλου ζωής.

1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Θεωρώντας ως δεδομένη την αύξηση της χρήσης των ήπιων μορφών ενέργειας για την παραγωγή ενέργειας, το ερώτημα που τίθεται όλο και πιο επιτακτικά είναι εάν τελικά οι ήπιες μορφές ενέργειας αποτελούν τη λύση στο περιβαλλοντικό πρόβλημα που δημιουργεί η ολοένα και αυξανόμενη παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Στην εργασία αυτή θα γίνει προσπάθεια να απαντηθεί το ερώτημα εάν, πώς και κατά πόσο επηρεάζουν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας το περιβάλλον. Στην εργασία παρατίθενται οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ανά τεχνολογία παραγωγής ενέργειας. Επίσης, για μία πιο ρεαλιστική παρουσίαση των αποτελεσμάτων, θα εφαρμοστούν οι τιμές των εκπομπών σε υβριδικά συστήματα. Σκοπός αυτής της εργασίας είναι να παρουσιαστεί μία ολοκληρωμένη μεθοδολογία για τον υπολογισμό του περιβαλλοντικού κόστους που επιφέρουν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, και ειδικότερα τον υπολογισμό (μέσω της μεθόδου της ανάλυσης κύκλου ζωής) του διοξειδίου του άνθρακα που αυτές εκπέμπουν.

Η δομή της εργασίας είναι η εξής:

Το **κεφάλαιο 1** παρουσιάζει την εξέλιξη των ΑΠΕ αλλά και περιγράφει εν συντομία το φαινόμενο του θερμοκηπίου και την κλιματική αλλαγή.

Το **κεφάλαιο 2** παρουσιάζει συμβατικούς (ντηζελογεννήτριες, μονάδες φυσικού αερίου) και ανανεώσιμους (αιολικά, φωτοβολταϊκά, μικρά υδροηλεκτρικά, κυψέλες καυσίμου, βιομάζα) σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και περιφερειακές μονάδες συστημάτων παραγωγής ενέργειας (μπαταρίες, μετατροπείς).

Το **κεφάλαιο 3** παρουσιάζει την μεθοδολογία της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ) και παραθέτει ποσοτικά το περιβαλλοντικό κόστος των ΑΠΕ.

Το **κεφάλαιο 4** παρουσιάζει το λογισμικό HOMER, ένα λογισμικό το οποίο προσομοιώνει, βελτιστοποιεί και εκτελεί ανάλυση ευαισθησίας πάνω σε υβριδικά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Το **κεφάλαιο 5** παρουσιάζει 5 εφαρμογές υβριδικών συστημάτων. Οι εφαρμογές αυτές μοντελοποιούνται μέσω του HOMER, κάνοντας παράλληλα χρήση των δεδομένων της ΑΚΖ. Στις εφαρμογές αυτές παρουσιάζεται ποσοτικά το συνολικό περιβαλλοντικό κόστος των ΑΠΕ σε υβριδικά συστήματα παραγωγής ενέργειας.

Τέλος, το **κεφάλαιο 6** παρουσιάζει τα γενικά συμπεράσματα της εργασίας

1.3 ΗΠΙΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερο παρατηρούνται όχι και τόσο θετικές εξελίξεις αναφορικά με τις ισορροπίες του ήδη διαταραγμένου κλιματικού τοπίου στον πλανήτη μας. Οι εξελίξεις αυτές συνέτειναν στο να ιδρυθούν διάφορες διεθνείς οργανώσεις οι οποίες με τη συμβολή ειδικών επιστημόνων διατρανώνουν προς όλες τις κατευθύνσεις τις συνέπειες που θα έχουν οι κλιματικές αλλαγές από την ανθρώπινη παρέμβαση στη φύση. Ήδη η Ευρωπαϊκή επιτροπή αρμόδια για θέματα προστασίας περιβάλλοντος προσανατολίζεται σε επιβολή κυρώσεων σε όποια Ευρωπαϊκή χώρα δε συμβάλλει με ενεργό τρόπο στη προσπάθεια προστασίας του περιβάλλοντος.

Η κοινή απάντηση στον παγκόσμιο αυτό προβληματισμό αρχίζει να γεμίζει με ελπίδα από τα πρώτα αποτελέσματα εφαρμογής της, τους υποστηρικτές που την προωθούν και δεν είναι άλλη από τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας. Χαρακτηρίζονται έτσι διότι δε βλάπτουν το περιβάλλον με επικίνδυνα κατάλοιπα ενώ προέρχονται απευθείας από φυσικές πηγές. Με την έννοια «Ήπιες Μορφές Ενέργειας» εννοούμε τις ακόλουθες τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας [1.2]:

- Αιολική ενέργεια
- Βιομάζα
- Γεωθερμική ενέργεια
- Ηλιακή ενέργεια
- Κυματική ενέργεια
- Υδροηλεκτρικά συστήματα

Η αιολική ενέργεια αφορά στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την εκμετάλλευση του ανέμου. Η ενέργεια από βιομάζα αφορά στην εκμετάλλευση των γεωργικών, ζωικών και δασικών υπολειμμάτων, ενώ η γεωθερμική ενέργεια στην εκμετάλλευση των ατμών που αναβλύζουν από τα εσωτερικά στρώματα της γης. Επίσης, η ηλιακή ενέργεια αφορά στην άμεση ή έμμεση εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας, η κυματική ενέργεια στην εκμετάλλευση της κίνησης των κυμάτων της θάλασσας (όχι με ιδιαίτερα καλά αποτελέσματα μέχρι στιγμής) και τέλος η υδροηλεκτρική ενέργεια αφορά στην εκμετάλλευση των υδάτινων πόρων. Οι τεχνολογίες αυτές επιπλέον ονομάζονται και «Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας» και αυτό διότι βασικό χαρακτηριστικό τους είναι η διαχρονική τους ανανέωση και διαθεσιμότητα, αφού έχουν την ικανότητα να αναπληρώνουν την στάθμη των αποθεμάτων τους (ουσιαστικά δεν υφίστανται όρια αποθεμάτων εδώ), βασιζόμενες σε φυσικά φαινόμενα, συνδεόμενα με την ύπαρξη ζωής στον πλανήτη. Τέλος, μια άλλη ονομασία για τις τεχνολογίες αυτές είναι «Εναλλακτικές Μορφές Ενέργειας», αφού θεωρείται ότι αποτελούν εναλλακτικές λύσεις παραγωγής ενέργειας έναντι των συμβατικών τρόπων παραγωγής.

Γενικά υπάρχουν αρκετά και σημαντικά **πλεονεκτήματα** για να γίνουν προσπάθειες αντικατάστασης των συμβατικών τρόπων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τους λεγόμενους εναλλακτικούς. Τα πλεονεκτήματα αυτά είναι:

- Συμβάλλουν στην επίλυση του ενεργειακού προβλήματος.
- Δεν βλάπτουν το ήδη επιβαρυμένο περιβάλλον.
- Προσφέρουν περιθώρια αυτονομίας στις χώρες που τις υιοθετούν.
- Εξοικονομείται συνάλλαγμα από τη μείωση εισαγωγής πετρελαίου.
- Έχουν πρακτικά απεριόριστη διάρκεια ζωής.

- Δεν απαιτούν διαρκή παρακολούθηση, ενώ η συντήρησή τους απαιτεί πολύ λίγο χρόνο και απλές διαδικασίες.

- Είναι ανανεώσιμες και ελεύθερα διαθέσιμες πηγές ενέργειας.

Ωστόσο υπάρχει και ο αντίλογος έναντι στα πλεονεκτήματα με βάση τα **μειονεκτήματα** εφαρμογής των ήπιων μορφών ενέργειας. Τα κυριότερα επιχειρήματα αυτού του αντιλόγου είναι:

- Το υψηλό κόστος εγκατάστασης.

- Εξαρτώνται από τα φυσικά φαινόμενα. Για παράδειγμα, εφαρμογές που εκμεταλλεύονται την ηλιακή ή αιολική ενέργεια δεν είναι δυνατό να λειτουργούν πάντα αποδοτικά και συνεχώς διότι εξαρτώνται από μια περιοδικότητα των καιρικών φαινομένων που δεν μπορεί να ελεγχθεί.

- Οι μικρές αποδόσεις που επιτυγχάνουν μέχρι στιγμής τα συστήματα αυτά.

Προφανώς και με βάση τα παραπάνω ο ρυθμός εγκατάστασης και αποδοχής των εφαρμογών ήπιων μορφών ενέργειας θα εξαρτηθεί από το πόσο ανταγωνιστικές είναι σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους. Γεγονός είναι ότι τη δεκαετία του 1980 παρατηρήθηκε μείωση του ενδιαφέροντος για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας κυρίως λόγω των μειονεκτημάτων που αναφέρθηκαν πριν. Ωστόσο καθώς το πρόβλημα της ρύπανσης του περιβάλλοντος γίνεται εντονότερο το ενδιαφέρον για αυτές αναζωπυρώνεται.

1.4 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΚΑΙ Η ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

Ο όρος "αλλαγή κλίματος", στην πιο πρόσφατή του χρήση, ειδικά στα πλαίσια της περιβαλλοντικής πολιτικής, συχνά αναφέρεται στις αλλαγές στο σύγχρονο κλίμα (βλ. την παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου). Οι τρέχουσες μελέτες δείχνουν ότι η ακτινοβολία από τα αέρια του θερμοκηπίου είναι η αρχική αιτία της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου. Τα αέρια θερμοκηπίου είναι επίσης σημαντικά στην κατανόηση της ιστορίας του γήινου κλίματος. Σύμφωνα με αυτές τις μελέτες, το φαινόμενο του θερμοκηπίου διαδραματίζει ένα βασικό ρόλο στη ρύθμιση της γήινης θερμοκρασίας.

Τα αέρια του θερμοκηπίου είναι συστατικά της ατμόσφαιρας που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Χωρίς το φαινόμενο του θερμοκηπίου η γη θα ήταν μη κατοικήσιμη [1.3]. Εάν δεν υπήρχε, η μέση θερμοκρασία της γης θα ήταν περίπου -19°C και όχι 15°C που είναι σήμερα [1.4]. Τα αέρια του θερμοκηπίου περιλαμβάνουν υδρατμούς, διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, νιτρώδη οξείδια και όζον. Τα αέρια θερμοκηπίου προέρχονται από φυσικές πηγές και από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Όταν το φως του ήλιου φθάνει στην επιφάνεια της γης ένα μέρος του απορροφάται από την επιφάνεια, την οποία θερμαίνει. Επειδή η γήινη επιφάνεια είναι πολύ πιο δροσερή από τον ήλιο, ακτινοβολεί την ενέργεια σε πολύ πιο πλατιά μήκη κύματος από ότι ο ήλιος. Η ατμόσφαιρα απορροφά αυτά τα μήκη κύματος αποτελεσματικότερα από ότι κάνει με τα πιο μικρά μήκη κύματος που έρχονται από τον ήλιο. Η απορρόφηση αυτών των κυμάτων οδηγεί στην θέρμανση της ατμόσφαιρας. Η ατμόσφαιρα επίσης θερμαίνεται από τη μεταφορά της λανθάνουσας θερμότητας από την επιφάνεια. Τα αέρια του θερμοκηπίου εκπέμπουν ακτινοβολία και προς το διάστημα και προς τα κάτω στην επιφάνεια. Το προς τα κάτω μέρος αυτής της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από την ατμόσφαιρα είναι το "φαινόμενο του θερμοκηπίου."

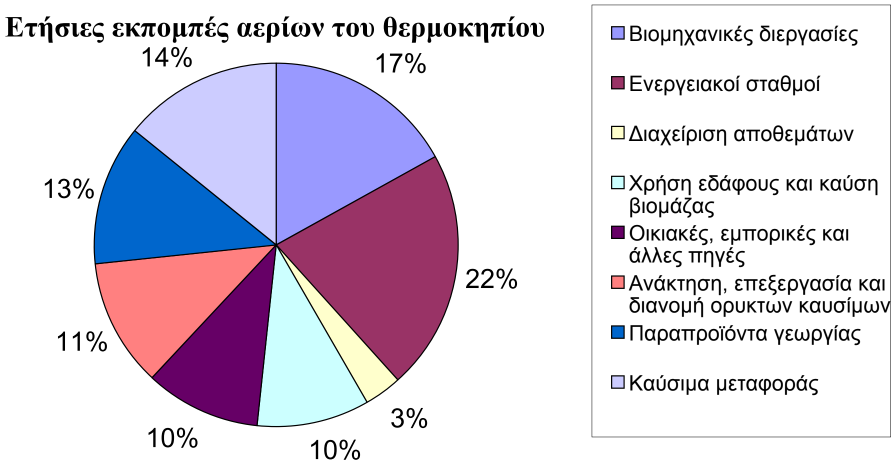
Τα σημαντικότερα αέρια του θερμοκηπίου είναι ο υδρατμός, ο οποίος προκαλεί περίπου 36-70% του φαινομένου του θερμοκηπίου στη γη, το διοξείδιο του άνθρακα, που προκαλεί το 9-26%, το μεθάνιο, που προκαλεί το 4-9%, και το όζον, που προκαλεί το 3-7% [1.5]. Δεν είναι δυνατό να βρεθεί ποιο είναι ακριβώς το ποσοστό του φαινομένου του θερμοκηπίου που προκαλεί το κάθε αέριο, επειδή δεν είναι σαφή τα όριά τους. Τα άνω όρια των ποσοστών που φαίνονται παραπάνω αναφέρονται στο κάθε αέριο ξεχωριστά ενώ στη διαμόρφωση των κάτω ορίων λαμβάνονται υπόψη και πιθανές επικαλύψεις ενός αερίου με κάποιο άλλο [1.6].

1.4.1 Ανθρωπογενή αέρια θερμοκηπίου

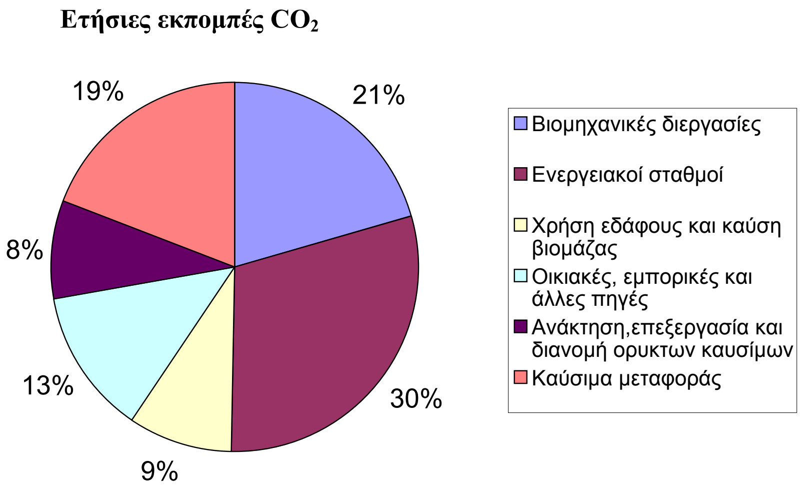
Το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο και τα οξείδια του αζώτου αποτελούν τα σημαντικότερα αέρια του θερμοκηπίου και το αντικείμενο του πρωτοκόλλου του Κιότο [1.7]. Μετρήσεις από τους ανταρκτικούς πάγους δείχνουν ότι αμέσως πριν αρχίσουν οι βιομηχανικές εκπομπές, τα ατμοσφαιρικά επίπεδα του CO_2 ήταν περίπου 280 PPM (PPM είναι η μονάδα μL/L). Από τους ίδιους πάγους φαίνεται ότι οι συγκεντρώσεις του CO_2 έμειναν μεταξύ 260 και 280 PPM κατά τη διάρκεια των προηγούμενων 10.000 ετών. Άλλες μελέτες που χρησιμοποιούν δείγματα ανασκαφών προτείνουν μεγαλύτερη διασπορά, με τα επίπεδα του CO_2 να είναι επάνω από 300 PPM κατά τη διάρκεια της περιόδου 7.000-10.000 ετών πριν [1.8]. Από την αρχή της βιομηχανικής επανάστασης, οι συγκεντρώσεις πολλών αερίων του θερμοκηπίου έχουν αυξηθεί. Η συγκέντρωση του CO_2 έχει αυξηθεί κατά περίπου 100 PPM (δηλ., από 280 PPM σε 380 PPM). Η πρώτη αύξηση των 50 PPM πραγματοποιήθηκε μέσα σε περίπου 200 χρόνια, από την έναρξη της βιομηχανικής επανάστασης έως περίπου το 1973. Η επόμενη αύξηση των 50 PPM πραγματοποιήθηκε μέσα σε περίπου 33 έτη, από το 1973 ως το 2006 [1.4].

Στα Σχήματα 1.1 έως 1.4 φαίνονται οι παγκόσμιες ανθρωπογενείς εκπομπές αερίου θερμοκηπίου για το έτος 2000 χωρισμένες σε 8 διαφορετικούς τομείς. Οι οκτώ αυτοί τομείς είναι οι παρακάτω [1.9]:

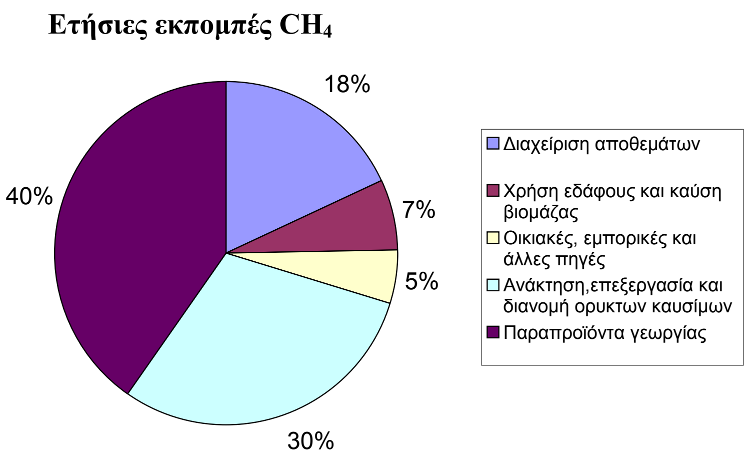
- Βιομηχανικές διεργασίες
- Ενεργειακοί σταθμοί
- Διαχείριση αποθεμάτων
- Χρήση εδάφους και καύση βιομάζας
- Οικιακές, εμπορικές και άλλες πηγές
- Ανάκτηση , επεξεργασία και διανομή ορυκτών καυσίμων
- Παραπροϊόντα γεωργίας
- Καύσιμα μεταφοράς



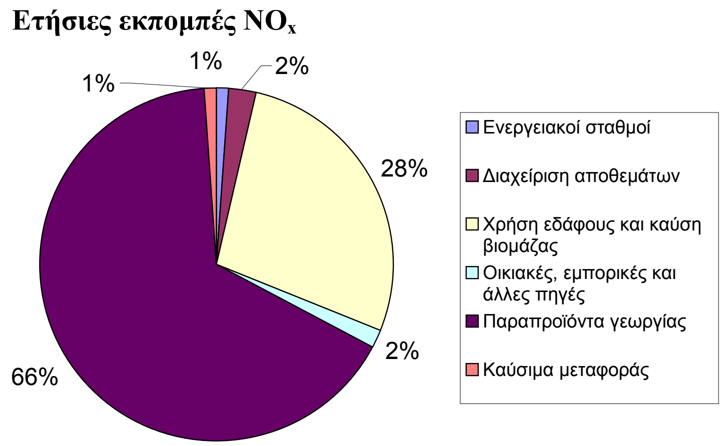
Σχήμα 1.1: Ετήσιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.



Σχήμα 1.2: Ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.



Σχήμα 1.3: Ετήσιες εκπομπές μεθανίου.



Σχήμα 1.4: Εκπομπές οξειδίων του αζώτου.

Η πηγή εκπομπών που αναλύεται στην συγκεκριμένη εργασία είναι αυτή των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Δύο κλίμακες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να περιγράψουν την επίδραση διαφορετικών αερίων στην ατμόσφαιρα. Ο πρώτος είναι η ατμοσφαιρική διάρκεια ζωής, που περιγράφει πόσο καιρό παίρνει να αποκατασταθεί το σύστημα, να βρεθεί δηλαδή σε ισορροπία μετά από μια μικρή αύξηση της συγκέντρωσης του αερίου στην ατμόσφαιρα. Η δεύτερη κλίμακα είναι ο δείκτης παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας (GWP) ή δείκτης ισοδύναμου CO_2. Ο δείκτης ισοδύναμου CO_2 εξαρτάται από την αποδοτικότητα του μορίου ως αέριο του θερμοκηπίου αλλά και από την ατμοσφαιρική διάρκεια ζωής του. Ο δείκτης ισοδύναμου CO_2 μετριέται σχετικά με την μάζα του CO_2 και αξιολογείται για ένα συγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα. Κατά συνέπεια, εάν ένα μόριο έχει υψηλό δείκτη ισοδύναμου CO_2 για σύντομο χρονικό διάστημα (πχ 20 χρόνια) αλλά έχει μόνο μια σύντομη διάρκεια ζωής, θα έχει μεγάλο δείκτη ισοδύναμου CO_2 σε μια κλίμακα 20 ετών αλλά μικρή σε μια κλίμακα 100 ετών. Αντιθέτως, εάν ένα μόριο έχει μια πιο μακροχρόνια ατμοσφαιρική διάρκεια ζωής από το CO_2, ο δείκτης ισοδύναμου CO_2 θα αυξηθεί με το χρόνο. Ακολουθούν παραδείγματα της ατμοσφαιρικής διάρκειας ζωής και του δείκτη ισοδύναμου CO_2 για διάφορα αέρια του θερμοκηπίου:

- Το CO_2 έχει μεταβλητή ατμοσφαιρική διάρκεια ζωής που δεν μπορεί να διευκρινιστεί ακριβώς [1.10]. Πρόσφατη εργασία δείχνει ότι μέχρι να γίνει η ατμοσφαιρική αποκατάσταση μετά από μια μεγάλη εισαγωγή ατμοσφαιρικού CO_2 που προέρχεται από καύση ορυκτών καυσίμων θα οδηγήσει σε αύξηση της διάρκειας ζωής του CO_2 κατά δεκάδες χιλιάδες έτη [1.11]. Το διοξείδιο του άνθρακα έχει δείκτη ισοδύναμου CO_2 ίσο με 1 κατά τη διάρκεια όλων των χρονικών διαστημάτων [1.12].

- Το μεθάνιο έχει μια ατμοσφαιρική διάρκεια ζωής 12 ± 3 έτη και δείκτη 62 για πάνω από 20 χρόνια, 23 για πάνω από 100 χρόνια και 7 για πάνω από 500 χρόνια. Η μείωση του δείκτη ισοδύναμου CO_2 συνδέεται με το γεγονός ότι το μεθάνιο υποβιβάζεται σε νερό και σε CO_2 από τις χημικές αντιδράσεις στην ατμόσφαιρα.

- Τα οξείδια του αζώτου έχουν μια ατμοσφαιρική διάρκεια ζωής 120 ετών και δείκτη ισοδύναμου CO_2 296 πάνω από 100 έτη.

1.5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1.1] L. Gagnon, C. Belanger, Y. Uchiyama, "Life-cycle assessment of electricity generation options: the status of research in year 2001," *Energy Policy*, Vol. 30, No. 14, pp.1267-1278, 2002.

[1.2] Κ.Α. Μπαλαράς, Ήπιες μορφές ενέργειας – Ηλιακή ενέργεια. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά, Αθήνα, Απρίλιος 1992.

[1.3] T.R. Karl, K.E. Trenberth, "Modern global climate change," *Science*, Vol. 302, No. 5651, pp. 1719-1723, 2003.

[1.4] H. Le Treut, R. Somerville, U. Cubasch, Y. Ding, C. Mauritzen, A. Mokssit, T. Peterson, M. Prather, Historical overview of climate change Science. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2007. Available at: http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/Report/AR4WG1_Print_Ch01.pdf, accessed on February 2008.

[1.5] J.T. Kiehl, K.E. Trenberth, "Earth's annual global mean energy budget," Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 78, No. 2, pp. 197–208, 1997.

[1.6] RealClimate, "Water vapour: feedback or forcing?," Available at: http://www.realclimate.org/index.php/archives/2005/04/water-vapour-feedback-or-forcing/, 2008.

[1.7] K.L. Lerner, B.W. Lerner, *Environmental Issues: Essential Primary Sources,* vol. 1, Detroit, Michigan, USA, Thomson Gale, p. 515, 2006.

[1.8] F. Wagner, B. Aaby, H. Visscher, "Rapid atmospheric CO_2 changes associated with the 8,200-years-B.P. cooling event," Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, Vol. 99, No. 19, pp. 12011–12014, September 2002. Available at: http://www.pubmedcentral.nih.gov/picrender.fcgi?artid=129389&blobtype=pdf, 2008.

[1.9] J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs et. al., "Observed Changes in Globally Well-Mixed Greenhouse Gas Concentrations and Radiative," The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Contribution of Working Group I: The Scientific Basis: C.1, Climate Change 2001: Synthesis Report [Online]. Available at: http://www.ldeo.columbia.edu/edu/dees/V1003/readings/IPCC%202001%20TAR/WG1_TAR-FRONT.pdf, 2001.

[1.10] S. Solomon, D. Qin, M. Manning, et al., "Are the Increases in Atmospheric Carbon Dioxide and Other Greenhouse Gases During the Industrial Era Caused by Human Activities?," The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge Press, Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Available at: http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/Report/AR4WG1_Pub_FAQs.pdf. 2007.

[1.11] D. Archer, "Fate of fossil fuel CO_2 in geologic time," *Journal of Geophysical Research* Vol. 110, No. 9, pp. 2625-2630, 2005.

[1.12] K. Caldeira, M.E. Wickett, "Ocean model predictions of chemistry changes from carbon dioxide emissions to the atmosphere and ocean," Journal of Geophysical Research, Vol. 110, No. 9, pp. 2671-2675, Available at: http://www.ipsl.jussieu.fr/~jomce/acidification/paper/Caldeira_Wickett_2005_JGR.pdf, 2005.

[1.13] F.I. Khan, K. Hawboldt, M.T. Iqbal, "Life Cycle Analysis of wind–fuel cell integrated system," *Renewable Energy*, No. 2, Vol. 30, pp.157–177, 2005.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας είναι το σύνολο των εγκαταστάσεων και των μέσων που χρησιμοποιούνται με σκοπό την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στις περιοχές κατανάλωσης τις οποίες εξυπηρετεί το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.

Το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να έχει μελετηθεί και να λειτουργεί σωστά. Πιο συγκεκριμένα, το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να ικανοποιεί τις ακόλουθες απαιτήσεις [2.1]:

1. Το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια σε όλες τις περιοχές κατανάλωσης που εξυπηρετεί.

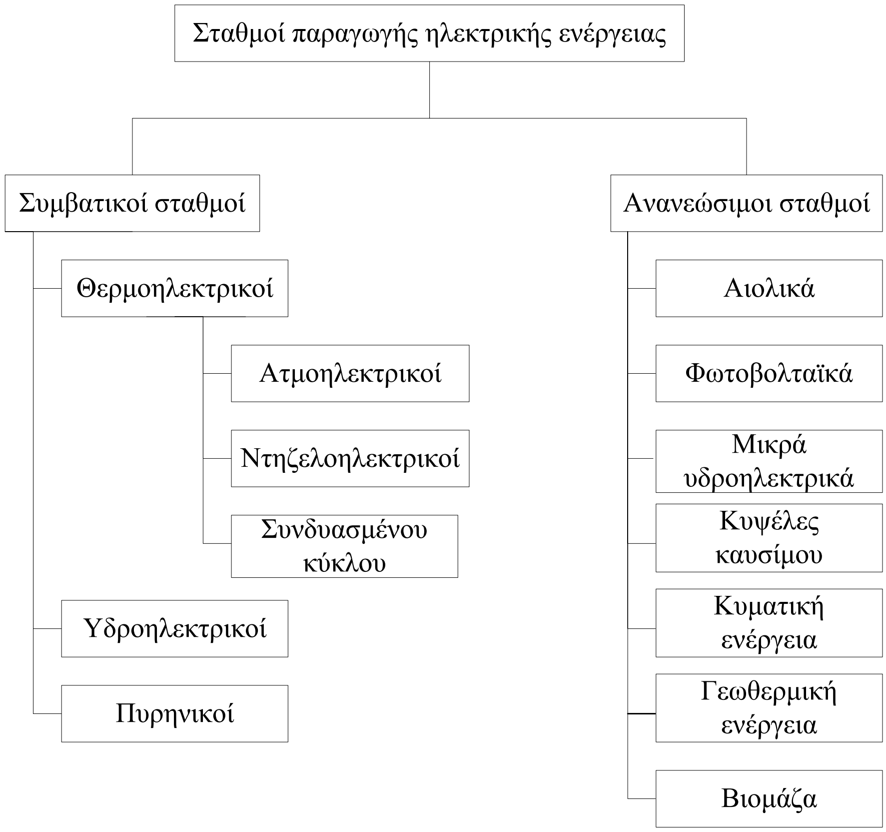
2. Το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να μπορεί να ικανοποιεί τη διαρκώς μεταβαλλόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας.

3. Το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να παρέχει ποιοτική ηλεκτρική ενέργεια, το οποίο σημαίνει ότι το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να διασφαλίζει σταθερή συχνότητα, σταθερή τάση και υψηλή αξιοπιστία τροφοδότησης.

4. Το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια με το ελάχιστο δυνατό οικονομικό κόστος και τις ελάχιστες επιπτώσεις στο περιβάλλον.

2.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι η διαδικασία μετατροπής μίας μορφής πρωτογενούς ενέργειας σε ηλεκτρική [2.1]. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται από συμβατικούς σταθμούς και από σταθμούς ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Στο Σχήμα 2.1 φαίνεται η ταξινόμηση των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί χρησιμοποιούν τον ατμό ως μέσο για την παραγωγή μηχανικής ενέργειας μέσω ατμοστροβίλων, η οποία μηχανική ενέργεια στη συνέχεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω των γεννητριών. Οι ντηζελοηλεκτρικοί σταθμοί χρησιμοποιούν το πετρέλαιο ως μέσο για την παραγωγή μηχανικής ενέργειας μέσω μηχανών εσωτερικής καύσης, η οποία μηχανική ενέργεια στη συνέχεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω των γεννητριών. Στους σταθμούς συνδυασμένου κύκλου υπάρχει συνδυασμός λειτουργίας αεριοστροβίλου και ατμοστροβίλου: από την ίδια αρχική πηγή ενέργειας, συνήθως φυσικό αέριο, παράγεται ηλεκτρική ενέργεια πρώτα στον αεριοστρόβιλο και μετά στον ατμοστρόβιλο. Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί χρησιμοποιούν την κινητική και δυναμική ενέργεια του νερού ως μέσο για την παραγωγή μηχανικής ενέργειας μέσω υδροστροβίλων, η οποία μηχανική ενέργεια στην συνέχεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω των γεννητριών. Οι πυρηνικοί σταθμοί είναι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί, όπου ο λέβητας έχει αντικατασταθεί από πυρηνικό αντιδραστήρα, στον οποίο γίνεται η πυρηνική σχάση ουρανίου ή πλουτωνίου.



Σχήμα 2.1: Ταξινόμηση σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι συμβατικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας επιβαρύνουν το περιβάλλον. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι μειώνονται τα αποθέματα σε πρώτη ύλη (πετρέλαιο, λιγνίτης, φυσικό αέριο) για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικούς σταθμούς. Επιπλέον, η τιμή του πετρελαίου (πρώτη ύλη στους ντηζελοηλεκτρικούς σταθμούς) έχει αυξητικές τάσεις.

Τα τελευταία χρόνια οι σταθμοί ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κερδίζουν έδαφος, καθώς είναι πολύ πιο περιβαλλοντικά φιλικοί σε σχέση με τους συμβατικούς και επίσης επειδή χρησιμοποιούν πηγές ενέργειας που βρίσκονται στη φύση ανεξάντλητες (πχ. άνεμος, ήλιος). Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι τα αιολικά συστήματα, τα φωτοβολταϊκά, τα μικρά υδροηλεκτρικά, οι κυψέλες καυσίμου, η κυματική ενέργεια, η γεωθερμική ενέργεια και η βιομάζα. Οι σταθμοί ανανεώσιμων πηγών ενέργειας χρησιμοποιούνται για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε απομονωμένες περιοχές ή αυτόνομα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και για σύνδεση με συμβατικά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, σήμερα οι πλέον ώριμες είναι τα αιολικά, τα μικρά υδροηλεκτρικά και τα φωτοβολταϊκά.

Τα αιολικά συστήματα αξιοποιούν μέσω των ανεμογεννητριών την κινητική ενέργεια του ανέμου, την οποία μετατρέπουν σε ηλεκτρική. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα αξιοποιούν μέσω των φωτοβολταϊκών γεννητριών την ηλιακή ενέργεια, την οποία μετατρέπουν σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί όπως και οι συμβατικοί υδροηλεκτρικοί σταθμοί, αξιοποιούν την κινητική και δυναμική ενέργεια του νερού ως μέσο για την παραγωγή μηχανικής ενέργειας μέσω υδροστροβίλων, η οποία μηχανική ενέργεια στη συνέχεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω των γεννητριών. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί αξιοποιούν υδάτινα ρεύματα, για τα οποία δεν απαιτούνται μεγάλα έργα αποθήκευσης (πχ φράγματα) του νερού. Οι κυψέλες καυσίμου μετατρέπουν τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική, χρησιμοποιώντας κατάλληλες διατάξεις και ηλεκτρολύτες. Οι σταθμοί κυματικής ενέργειας στοχεύουν στη μετατροπή της κινητικής ενέργειας των κυμάτων της θάλασσας σε ηλεκτρική ενέργεια, με τη χρήση κατάλληλων διατάξεων. Η γεωθερμική ενέργεια είναι η θερμότητα των εσωτερικών στρωμάτων της γης. Η γεωθερμική ενέργεια είναι αξιοποιήσιμη όταν υπάρχουν κατάλληλες γεωλογικές συνθήκες. Η βιομάζα περιλαμβάνει τα διάφορα γεωργικά και δασικά υπολείμματα, από τα οποία με κατάλληλες θερμοχημικές επεξεργασίες μπορούν να ληφθούν καύσιμα. Στην παρούσα εργασία οι τεχνολογίες που θα μας απασχολήσουν είναι οι ντηζελογεννήτριες, οι γεννήτριες καύσης φυσικού αερίου, τα αιολικά συστήματα, τα φωτοβολταϊκά, τα μικρά υδροηλεκτρικά, τα συστήματα βιομάζας και οι κυψέλες καυσίμου.

.

2.3 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΟΥ ΜΕΛΕΤΩΝΤΑΙ

Οι τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που θα παρουσιαστούν παρακάτω θα χωριστούν σε τρεις ομάδες: στις συμβατικές τεχνολογίες, στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και στα περιφερειακά συστήματα.

2.3.1 Συμβατικές τεχνολογίες

Οι συμβατικές τεχνολογίες που θα παρουσιαστούν στην συγκεκριμένη εργασία είναι η ντηζελογεννήτρια, που λειτουργεί μέσω της καύσης πετρελαίου, και η γεννήτρια φυσικού αερίου, που προφανώς λειτουργεί με καύση φυσικού αερίου. Και το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο (ορυκτά καύσιμα και τα δύο) κατά την καύση τους εκπέμπουν μεγάλες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου.

2.3.1.1 Ντηζελογεννήτριες

Το ντήζελ παράγεται από το πετρέλαιο και είναι ένα μίγμα υδρογονανθράκων, που λαμβάνεται στην κλασματική απόσταξη του ακατέργαστου πετρελαίου σε θερμοκρασία μεταξύ 200 °C και 350 °C σε ατμοσφαιρική πίεση. Χρησιμοποιείται ως καύσιμο σε ντηζελομηχανές. Λόγω του πιο υψηλού επιπέδου ρύπων του, το ντήζελ υποβάλλεται σε πρόσθετη διήθηση.

2.3.1.2 Γεννήτριες φυσικού αερίου

Το φυσικό αέριο είναι αεριώδες ορυκτό καύσιμο που αποτελείται πρώτιστα από το μεθάνιο, συμπεριλαμβανομένων βέβαια σημαντικών ποσοτήτων αιθανίου, προπανίου, βουτανίου, πεντάνιου, όπως επίσης και διοξειδίου του άνθρακα, σουλφίδιου του αζώτου, ηλίου και υδρογόνου [2.2]. Βρίσκεται κυρίως είτε στις πετρελαιοπηγές, είτε σε περιοχές φυσικού αερίου. Το φυσικό αέριο συχνά ανεπίσημα αναφέρεται απλά ως αέριο, ειδικά όταν συγκρίνεται με άλλες πηγές ενέργειας όπως το πετρέλαιο. Προτού να μπορέσει το φυσικό αέριο να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο, πρέπει να υποβληθεί σε εκτενή επεξεργασία για να αφαιρεθούν σχεδόν όλα τα υλικά εκτός από το μεθάνιο. Τα υποπροϊόντα αυτής της επεξεργασίας περιλαμβάνουν το αιθάνιο, το προπάνιο, τα βουτάνια, τα πεντάνια και τους υδρογονάνθρακες υψηλότερου μοριακού βάρους, το θείο, και μερικές φορές το ήλιο και το άζωτο.

Το φυσικό αέριο είναι μια σημαντική πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της χρήσης των αεριοστροβίλων και των ατμοστροβίλων ατμού. Ιδιαίτερα υψηλές αποδόσεις μπορούν να επιτευχθούν μέσω του συνδυασμού των στροβίλων αερίου με έναν στρόβιλο ατμού. Το φυσικό αέριο παράγει τις λιγότερες βλαβερές εκπομπές από τα άλλα ορυκτά καύσιμα, όπως είναι το πετρέλαιο και ο άνθρακας, και παράγει το λιγότερο διοξείδιο του άνθρακα ανά μονάδα ενέργειας που παράγεται. Για ένα ισοδύναμο ποσό θερμότητας, το φυσικό αέριο παράγει περίπου 30% λιγότερο διοξείδιο του άνθρακα από το πετρέλαιο και περίπου 45% λιγότερο από τον άνθρακα [2.3]. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργεια από το φυσικό αέριο είναι η καθαρότερη διαθέσιμη πηγή ορυκτών καυσίμων, και αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιείται ευρέως οπουδήποτε το αέριο μπορεί να ληφθεί με λογικό κόστος. Η τεχνολογία των κυψελών καυσίμου μπορεί τελικά να παρέχει τις καθαρότερες επιλογές για το φυσικό αέριο στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (μέσω της μετατροπής του φυσικού αερίου σε υδρογόνο), αλλά μέχρι τώρα δεν είναι οικονομικά ανταγωνιστική. Επίσης, η διακίνηση φυσικού αερίου αναμένεται να κορυφωθεί γύρω στο έτος 2030. Επίσης αναμένεται ότι τα παγκόσμια αποθέματα του φυσικού αερίου θα εξαντληθούν γύρω στο έτος 2085.

2.3.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Οι ΑΠΕ προκαλούν σχεδόν μηδαμινό αλλά μη αμελητέο περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Μπορούν να καταστήσουν μεγάλες εκτάσεις άχρηστες όσον αναφορά εναλλακτική εκμετάλλευσή τους, να διαταράξουν τη θαλάσσια ζωή, τη ζωή των πουλιών και γενικότερα την πανίδα και χλωρίδα ενός τόπου. Επίσης μπορούν να προκαλέσουν οπτική αναταραχή ενός τοπίου όσο και ηχητική [2.4]. Γενικά πάντως, τέτοιου είδους διαταραχές είναι μηδαμινές ενώ υπάρχουν αρκετές μέθοδοι ελαχιστοποίησης των διαταραχών αυτών. Από την άλλη, με την χρήση των ΑΠΕ το όφελος που προκύπτει δεν έγκειται μόνο στην μείωση των εκπομπών αερίων, όπως αυτά που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Παράλληλα εμφανίζονται και άλλα οφέλη, όπως είναι για παράδειγμα το ότι μεγάλες υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις μπορούν να διευκολύνουν, με παροχή νερού, την ανάπλαση, αναμόρφωση και αναβάθμιση του περιβάλλοντος αρκετά μεγάλων εκτάσεων.

Στη συνέχεια παρατίθενται πέντε τεχνολογίες ΑΠΕ: τα αιολικά, τα φωτοβολταϊκά, τα μικρά υδροηλεκτρικά, η βιομάζα και οι κυψέλες καυσίμου.

2.3.2.1 Αιολικά

Η αιολική ενέργεια μετατρέπεται σε μία χρήσιμη μορφή ενέργειας, όπως είναι η ηλεκτρική ενέργεια, χρησιμοποιώντας ανεμογεννήτριες. Ο άνεμος είναι μία καθαρή, ανεξάντλητη ενεργειακή πηγή που μπορεί να παράγει αρκετή ηλεκτρική ενέργεια. Η αιολική ενέργεια είναι μια από τις ταχύτατες αναπτυσσόμενη μορφές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στον κόσμο. Οι Ηνωμένες Πολιτείες έχουν 10.000 μεγαβάτ (MW) εγκατεστημένης αιολικής ισχύος. Οι εμπειρογνώμονες βιομηχανίας προβλέπουν ότι, με κατάλληλη ανάπτυξη, η αιολική ενέργεια αέρα θα μπορούσε να παρέχει το 20% των ενεργειακών αναγκών των ΗΠΑ [2.5].

Η αιολική ενέργεια παράγεται στα αιολικά πάρκα μεγάλης κλίμακας που συνδέονται με το ηλεκτρικό δίκτυο, καθώς επίσης και στις μεμονωμένες ανεμογεννήτριες για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε απομονωμένες περιοχές. Η ενέργεια του ανέμου είναι άφθονη, ανανεώσιμη, διανεμημένη ευρέως, καθαρή και μειώνει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου όταν αντικαθιστά την παραγόμενη από ορυκτά καύσιμα ηλεκτρική ενέργεια. Η διακοπή του ανέμου σπάνια δημιουργεί αξεπέραστα προβλήματα όταν το ποσοστό της αιολικής ενέργειας ικανοποιεί μέχρι και το 10% της συνολικής ηλεκτρικής ζήτησης. Βέβαια παρουσιάζει προκλήσεις που ακόμα δεν λύνονται πλήρως για μεγαλύτερα ποσοστά διείσδυσης της αιολικής ενέργειας.

Η κατάλληλη επιλογή της περιοχής εγκατάστασης του αιολικού πάρκου και ο προσδιορισμός της θέσης των ανεμογεννητριών μέσα στην περιοχή είναι κρίσιμη για την οικονομική βιωσιμότητα της αιολικής ενέργειας. Εκτός από το αιολικό δυναμικό, άλλοι σημαντικοί παράγοντες είναι η διαθεσιμότητα του ηλεκτρικού δικτύου, το κόστος της γης, οι εκτιμήσεις εναλλακτικής χρήσης της γης, η περιβαλλοντική επίδραση της κατασκευής. Οι παράκτιες ανεμογεννήτριες (offshore) μπορούν να αντισταθμίσουν το υψηλότερο κόστος κατασκευής τους με την υψηλή εγκατεστημένη ισχύ.

2.3.2.2 Φωτοβολταϊκά

Τα φωτοβολταϊκά (φ/β) συστήματα είναι συστήματα ειδικά διαμορφωμένων και διασυνδεμένων διατάξεων, που επιτυγχάνουν τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας απευθείας σε ηλεκτρική. Η διαδικασία μετατροπής βασίζεται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, το οποίο λαμβάνει χώρα όταν ηλιακή ακτινοβολία πέσει στην επιφάνεια του υλικού του φ/β συστήματος [2.6]. Το υλικό που έχει μέχρι στιγμής χρησιμοποιηθεί κατά κόρον είναι το πυρίτιο. Αυτό μάλλον οφείλεται στην ευρεία χρήση του πυριτίου σε εφαρμογές της ηλεκτρονικής. Ακόμα, το πυρίτιο κυκλοφορούσε σε μεγάλες ποσότητες στην αγορά και με πολύ καλή χημική καθαρότητα και τελειότητα κρυσταλλικής δομής. Το ενδιαφέρον για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι δεδομένο. Παρόλο που στη δεκαετία του 1980 σημειώθηκε, παροδικά, μια μείωση του ενδιαφέροντος αυτού, σήμερα οι έρευνες για τη βελτιστοποίηση των χαρακτηριστικών των φ/β στοιχείων συνεχίζεται με αμείωτη ένταση. Ενδεικτικό είναι το γεγονός ότι μόνο η παραγωγή ενέργειας μέσω φ/β συστημάτων αυξήθηκε κατά 44% μέσα σε ένα χρόνο, από το 1999 έως το 2000.

Η δομική μονάδα κάθε φ/β συστήματος είναι το φ/β στοιχείο. Το φ/β στοιχείο αναπτύσσει πολύ μικρή τάση και παράγει πολύ μικρή ηλεκτρική ισχύ. Μια τυπική τάση που αναπτύσσεται σε ένα μόνο φ/β στοιχείο και για κανονική ακτινοβολία, είναι περίπου 0,5V, ενώ η παραγόμενη ισχύς δεν υπερβαίνει τα 0,4 W. Ο τρόπος για να αυξηθεί η τάση και η ισχύς από φ/β στοιχεία είναι αυτά να τοποθετηθούν πολλά μαζί (ανά 10 έως 50 περίπου) και να συνδεθούν σε σειρά και παράλληλα συγκροτώντας μια διάταξη που ονομάζεται *φωτοβολταϊκό πλαίσιο*. Το πλήθος των στοιχείων που απαρτίζουν κάθε πλαίσιο, εξαρτάται από την επιθυμητή τάση και ηλεκτρικό ρεύμα που πρέπει να επιτευχθούν. Τα πλαίσια κατασκευάζονται σε μορφή διαδοχικών στρώσεων από σειρές στοιχείων, τα οποία συγκολλούνται σε ένα ανθεκτικό φύλλο μετάλλου (συνήθως αλουμίνιο) ή ενισχυμένο πλαστικό, που αποτελεί το πίσω μέρος του πλαισίου. Το μπροστινό μέρος καλύπτεται από προστατευτικό φύλλο γυαλιού ή (διαφανούς) πλαστικού. Το εμπρός και πίσω μέρος συγκρατούνται στεγανά και μόνιμα μεταξύ τους, ενώ περιμετρικά συσφίγγονται με ένα μεταλλικό περίβλημα. Το πλαίσιο είναι η δομική φωτοβολταϊκή μονάδα, που θα χρησιμεύσει ως συλλέκτης της ακτινοβολίας. Το κόστος κατασκευής σε σχέση με το φ/β στοιχείο, είναι μεγαλύτερο.

Οι φ/β συστοιχίες είναι προκατασκευασμένες μονάδες που αποτελούνται από πολλά φ/β πλαίσια, συνδεδεμένα σε σειρά και παράλληλα. Το γεγονός αυτό αυξάνει την αξιοπιστία της φ/β συστοιχίας, αφού εάν πάθει βλάβη, η ισχύς που θα παράγει το σύστημα δε θα μηδενισθεί, όπως εάν οι συνδέσεις ήταν όλες στη σειρά. Η φ/β τεχνολογία βρίσκει εφαρμογή μέσω τεσσάρων κυρίως κατηγοριών συστημάτων [2.7]:

- Η πρώτη κατηγορία συστημάτων είναι τα μη συνδεμένα με το κεντρικό δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, προορισμένα για οικιακές χρήσεις (Off-grid domestic). Για παράδειγμα, προσφέρουν ενέργεια για φωτισμό σπιτιών, συντήρηση τροφίμων και για άλλες χαμηλού ενεργειακού φορτίου ανάγκες. Είναι συνηθισμένη λύση σε αναπτυσσόμενες περιοχές και σε οικισμούς μακριά από το κεντρικό δίκτυο ηλεκτροδότησης.

- Η δεύτερη κατηγορία αφορά συστήματα επίσης μη συνδεμένα με το κεντρικό δίκτυο (Off-grid non-domestic), αλλά αυτά βρίσκουν εφαρμογή σε μια σειρά από εφαρμογές, όπως τηλεπικοινωνίες, άντληση νερού με ηλιακές αντλίες, βοηθήματα πλοήγησης σκαφών, καταγραφή μετεωρολογικών δεδομένων κ.ά.

- Η τρίτη κατηγορία, σχετικά καινούρια, που αποτελείται από συστήματα που είναι κατανεμημένα και συνδεμένα στο δίκτυο (Grid connected distributed). Σχεδιάζονται για να προσφέρουν ενέργεια σε κατοικήσιμες περιοχές, βιομηχανικά και εμπορικά κτίρια, ενώ το τυπικό μέγεθος τους είναι από 0,4 έως 100 kW. Χαρακτηριστικό τους είναι ότι όταν η παραγωγή ενέργειας υπερβεί τις ανάγκες, το πλεόνασμα περνά στο κεντρικό δίκτυο. Πλεονεκτήματα των συστημάτων αυτών είναι ότι είναι εγκατεστημένα κοντά στο σημείο χρήσης, άρα οι απώλειες διανομής της ενέργειας ελαχιστοποιούνται. Επίσης δεν απαιτείται επιπλέον έκταση για την εγκατάστασή τους, εξαιτίας του ότι τα ίδια τα φ/β πλαίσια μπορεί να αποτελούν μέρος της οροφής ή ενός τοίχου ενός κτιρίου.

- Η τέταρτη κατηγορία συστημάτων είναι τα κεντροποιημένα (μη κατανεμημένα), συνδεμένα με το κεντρικό δίκτυο (Grid connected centralized). Τα συστήματα αυτά εγκαθίστανται κυρίως για δύο σκοπούς. Πρώτον ως εναλλακτικές πηγές ενέργειας έναντι των συμβατικών κεντροποιημένων πηγών ή, δεύτερον, για την ενίσχυση του συστήματος διανομής της ενέργειας.

Ένα πλεονέκτημα ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι ότι κατά την λειτουργία του δεν εκπέμπει καθόλου αέρια που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου, συμπεριλαμβανομένου και του CO_2 [2.8]. Όμως, εξετάζοντας την τεχνολογία σε όλη την διάρκεια ζωής της, φαίνεται να απαιτεί αρκετή ενέργεια κατά την διαδικασία παραγωγής της και να εκπέμπει (εμμέσως) αέρια που εντείνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

2.3.2.3 Μικρά Υδροηλεκτρικά

Η υδροηλεκτρική ενέργεια παρέχει περίπου 715.000 MW ή 19% της παγκόσμιας ηλεκτρικής ενέργειας (16% το 2003). Μεγάλα φράγματα σχεδιάζονται ακόμα. Η υδροηλεκτρική τεχνολογία εφαρμόζεται ευρύτατα για την ικανοποίηση της ζήτησης ηλεκτρικού φορτίου. Ένα βασικό προτέρημά της είναι το ότι μπορεί να σταματά και να τίθεται σε λειτουργία εύκολα. Εντούτοις, η υδροηλεκτρική ενέργεια δεν είναι πιθανώς μια σημαντική επιλογή για το μέλλον της ενεργειακής παραγωγής στις αναπτυγμένες χώρες επειδή τα περισσότερα σημαντικά υδροηλεκτρικά δυναμικά σε αυτές τις χώρες ήδη χρησιμοποιούνται.

Το κύριο πλεονέκτημα των υδροηλεκτρικών μονάδων είναι η δυνατότητά τους να χειριστούν τα εποχιακά (καθώς επίσης και καθημερινά) φορτία αιχμής. Όταν οι απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας μειώνονται, το φράγμα αποθηκεύει απλά περισσότερο νερό (που παρέχει μεγαλύτερη ροή όταν απελευθερώνεται). Μερικές γεννήτριες ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούν τα φράγματα για να αποθηκεύσουν την παραπανίσια ενέργεια (συχνά κατά τη διάρκεια της νύχτας), με χρήση ηλεκτρικής ενέργειας για την άντληση του νερού σε μια δεξαμενή. Η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να παραχθεί όταν αυξάνεται η ζήτηση. Στην πράξη η χρησιμοποίηση του αποθηκευμένου νερού στα φράγματα ποταμών περιπλέκεται μερικές φορές από τις απαιτήσεις για την άρδευση που μπορεί να εμφανιστούν.

Τα μικρά ηδροηλεκτρικά έργα φυσικής παροχής χρησιμοποιούν μόνο μέρος του συνολικού νερού. Τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο ως εναλλακτική πηγή ενέργειας, ειδικά σε απομακρυσμένες περιοχές όπου δεν υπάρχουν άλλες πηγές ενέργειας. Τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα μπορούν να εγκατασταθούν σε μικρούς ποταμούς ή σε ρέματα με ελάχιστη ή καμία ευδιάκριτη περιβαλλοντική επίπτωση όπως πχ. η μετανάστευση ψαριών. Τα περισσότερα μικρά υδροηλεκτρικά έργα δεν κάνουν καμία χρήση φράγματος ή σημαντικής παρεκτροπής του νερού. Εκμεταλλευόμενα την υψομετρική διαφορά, τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα εκτρέπουν ένα μέρος της συνολικής ποσότητας του ρέματος και μέσω σωλήνων το μεταφέρουν στην γεννήτρια. Σε φτωχές ή/και απομονωμένες περιοχές, μικρά υδροηλεκτρικά έργα της τάξης των 100 kW ή λιγότερο μπορούν να παρέχουν ενέργεια ζωτικής σημασίας [2.9].

Υπάρχουν μερικά θέματα που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όσο αναφορά τις εγκαταστάσεις μικρών υδροηλεκτρικών έργων. Καταρχήν, το ποσό του διαθέσιμου νερού, δεδομένου ότι η έλλειψη βροχής μπορεί να έχει επιπτώσεις στη λειτουργία εγκαταστάσεων. Δεύτερον, η υψομετρική διαφορά μεταξύ της εισαγωγής και της εξόδου του νερού. Όσο μεγαλύτερη η διαφορά, τόσο περισσότερη η ενέργεια που μπορεί να παραχθεί. Τρίτον, μπορεί να υπάρξουν νομικά και ρυθμιστικά ζητήματα, από τη στιγμή που οι περισσότερες χώρες έχουν κανονισμούς τη χρήση του νερού. Τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα σε πολλές βιομηχανικές εφαρμογές. Επίσης, ο ενεργειακός ανεφοδιασμός μιας περιοχής από ένα μικρό υδροηλεκτρικό έργο, ενώ θα είναι λιγότερο αποδοτικός, θα είναι περιβαλλοντικά φιλικός και οικονομικός.

2.3.2.4 Βιομάζα

Η βιομάζα αναφέρεται στα ζωντανά και τα πρόσφατα νεκρά βιολογικά υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμα ή στη βιομηχανική παραγωγή. Συνήθως, η βιομάζα αναφέρεται στην παραγωγή χλωρίδας για τη χρήση της ως βιολογικό καύσιμο. Η βιομάζα παράγεται από διάφορα φυτά, συμπεριλαμβανομένου του καλαμποκιού, της λεύκας, της ιτιάς, του ζαχαροκάλαμου και του ελαιοφοίνικα [2.10]. Η παραγωγή της βιομάζας αυξάνεται ραγδαία δεδομένου ότι το ενδιαφέρον για τις ανανεώσιμες πηγές καυσίμων αυξάνεται.

Η έννοια βιοαέριο αναφέρεται συνήθως σε ένα αέριο που παράγεται από τη βιολογική αποσύνθεση μιας οργανικής ουσίας ελλείψει οξυγόνου. Το βιοαέριο αποτελείται πρώτιστα από μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα. Το βιοαέριο προέρχεται από οργανικό υλικό και είναι ένας τύπος βιοκαυσίμου. Το βιοαέριο είναι ένα προϊόν της ζύμωσης των βιοδιασπάσιμων υλικών όπως το λίπασμα ή τα λύματα, τα δημοτικά απόβλητα και οι ενεργειακές συγκομιδές. Το μεθάνιο δίνει στο βιοαέριο τη δυνατότητα να χρησιμοποιείται ως καύσιμο, η καύση του οποίου απελευθερώνει ενέργεια. Στις αναπτυσσόμενες χώρες το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως χαμηλού κόστους καύσιμο για το μαγείρεμα. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί στις σύγχρονες εγκαταστάσεις αποβλήτων όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παράγει την ηλεκτρική ενέργεια.

Η χρήση της βιοενέργειας μπορεί να προσφέρει αρκετά περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα εάν οι πρώτες ύλες που απαιτούνται παραχθούν και χρησιμοποιηθούν κατά βιώσιμο τρόπο [2.11]. Εάν το έδαφος από το οποίο παράγεται η βιοενέργεια αναφυτευτεί, τότε η βιοενέργεια χρησιμοποιείται βιώσιμα, αφού ο άνθρακας που θα παραχθεί θα ανακυκλωθεί κατά την παραγωγή της επόμενης γενιάς πρώτων υλών. Άρα η μείωση του επιπέδου του διοξειδίου του άνθρακα σχετίζεται άμεσα με την αποδοτικότητα της παραγωγής και της χρήσης της βιοενέργειας. Ακόμα, η τεχνολογία της βιοενέργειας εκπέμπει μικρότερες ποσότητες διοξειδίου του θείου από ότι οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούν άνθρακα ή πετρέλαιο.

2.3.2.5 Κυψέλες καυσίμου

Μία κυψέλη καυσίμου είναι μια ηλεκτροχημική συσκευή ενεργειακής μετατροπής. Παράγει ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας ποσότητες καυσίμου (από την πλευρά της ανόδου) και οξειδωτικού (από την πλευρά της καθόδου). Αυτές αντιδρούν παρουσία ενός ηλεκτρολύτη. Γενικά, τα αντιδραστήρια εισρέουν και τα παραπροϊόντα εκρέουν ενώ ο ηλεκτρολύτης παραμένει στην κυψέλη. Οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να λειτουργήσουν ουσιαστικά συνεχώς εφόσον διατηρούνται οι απαραίτητες ροές.

Οι κυψέλες καυσίμου είναι διαφορετικές από τις μπαταρίες δεδομένου ότι καταναλώνουν το αντιδραστήριο, το οποίο πρέπει να αναπληρωθεί, ενώ οι μπαταρίες αποθηκεύουν την ηλεκτρική ενέργεια χημικά σε ένα κλειστό σύστημα. Επιπλέον, ενώ τα ηλεκτρόδια μέσα σε μια μπαταρία αντιδρούν και αλλάζουν καθώς μια μπαταρία φορτίζεται ή εκφορτίζεται, τα ηλεκτρόδια μιας κυψέλης καυσίμου είναι καταλυτικά και σχετικά σταθερά. Πολλοί συνδυασμοί καυσίμων και οξειδωτικού είναι δυνατοί. Μία κυψέλη καυσίμου χρησιμοποιεί το υδρογόνο ως καύσιμο και το οξυγόνο ως οξειδωτικό [2.12]. Στην ουσία, μία κυψέλη καυσίμου χρησιμοποιεί την κατάλυση, που χωρίζει τα ηλεκτρόνια και πρωτόνια του αντιδραστηρίου, και αναγκάζει τα ηλεκτρόνια να τίθενται σε κίνηση μέσω ενός κυκλώματος, μετατρέποντάς τα σε ηλεκτρική ενέργεια. Ο καταλύτης αποτελείται από ένα μέταλλο ή ένα κράμα λευκόχρυσου. Μια άλλη καταλυτική διαδικασία γυρίζει πίσω τα ηλεκτρόνια, ενώνοντάς τα με τα πρωτόνια και το οξειδωτικό, διαμορφώνοντας απόβλητα (χαρακτηριστικά απλές ενώσεις όπως το νερό και το διοξείδιο του άνθρακα).

Το υδρογόνο είναι ενεργειακός φορέας και όχι πηγή ενέργειας, επειδή παράγεται συνήθως από άλλες πηγές ενέργειας μέσω της καύσης του πετρελαίου, της αιολικής ενέργειας, ή των φωτοβολταϊκών κυττάρων. Το υδρογόνο μπορεί να παραχθεί σε δεξαμενές μεθανίου ή φυσικού αερίου μέσω μιας συνεργασίας των διαδικασιών αναμόρφωσης ατμού και αντίδρασης μετάλλαξης αεριοποιημένου νερού. Επίσης παράγεται από τον άνθρακα από την αεριοποίηση άνθρακα, ή από το πετρέλαιο μέσω της αεριοποίησης πετρελαίου. Η ηλεκτρόλυση, που απαιτεί ηλεκτρική ενέργεια, και η υψηλής θερμοκρασίας ηλεκτρόλυση (θερμοχημική παραγωγή), που απαιτεί υψηλές θερμοκρασίες (ιδανικές για τους πυρηνικούς αντιδραστήρες), είναι δύο μέθοδοι για την εξαγωγή του υδρογόνου από το νερό.

2.3.3 Περιφερειακά συστήματα

Ως περιφερειακά θεωρούνται τα συστήματα τα οποία, ενώ στην ουσία δεν παράγουν ενέργεια, εντούτοις η παρουσία τους είναι αναγκαία για την λειτουργία των συμβατικών συστημάτων αλλά κυρίως των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

2.3.3.1 Μετατροπέας

Ο μετατροπέας DC/AC μετατρέπει τη συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη. Η ύπαρξη του μετατροπέα DC/AC είναι αναγκαία διότι κάποια συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας παράγουν απευθείας συνεχή τάση, που εισέρχεται άμεσα στον μετατροπέα αυτό, ενώ πολλές συσκευές που προορίζονται να χρησιμοποιήσουν το ρεύμα αυτό, όπως οι οικιακές συσκευές, λειτουργούν με εναλλασσόμενη τάση. Ο μετατροπέας έχει δυνατότητα για αυτόνομη λειτουργία, ενώ η απόδοσή του εξαρτάται συνήθως από το φορτίο, με μέγιστη απόδοση κοντά στην ονομαστική απόδοση, με τιμές από 75% έως 95% [2.6]. Ένας αυτόνομος μετατροπέας επιτρέπει στην ισχύ και το φορτίο του να ακολουθούν τις απαιτήσεις του καταναλωτή. Ένας μετατροπέας με εξάρτηση από το σύστημα που εξυπηρετεί, διαμορφώνει την τάση του σύμφωνα με τη τάση της συσκευής που είναι συνδεμένη και ρυθμίζει την ισχύ και το φορτίο του ανάλογα με την παρεχόμενη ισχύ. Βασικοί παράμετροί του, είναι το αποδεκτό εύρος τάσεων εισόδου DC και η μέση (επιθυμητή) τάση εξόδου AC.

2.3.3.2 Συσσωρευτές (μπαταρίες)

Η μπαταρία είναι ένα ηλεκτροχημικό σύστημα ενεργειακής αποθήκευσης. Είναι μια συσκευή φτιαγμένη από δύο ή περισσότερα ηλεκτροχημικά κύτταρα, τα οποία αποθηκεύουν την ενέργεια χημικά. Αυτή η ενέργεια αργότερα καταναλώνεται ως ηλεκτρική. Υπάρχουν πολλοί τύποι ηλεκτροχημικών κυττάρων, συμπεριλαμβανομένων των γαλβανικών κυττάρων, των ηλεκτρολυτικών κυττάρων, των κυττάρων ροής και βολταϊκών κυττάρων [2.13]. Τυπικά, μια ηλεκτρική "μπαταρία" είναι μια σειρά παρόμοιων βολταϊκών κυττάρων ("κύτταρα") που συνδέονται στη σειρά [2.14].

Υπάρχουν δύο τύποι μπαταριών, οι πρωτεύουσες (μίας χρήσης) και οι δευτερεύουσες (επαναφορτιζόμενες). Και οι δύο μετατρέπουν τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική. Οι πρωτεύουσες μπαταρίες μπορούν μόνο να χρησιμοποιηθούν μια φορά επειδή καταναλώνουν τις χημικές ουσίες τους σε μια αμετάκλητη αντίδραση. Οι δευτερεύουσες μπαταρίες μπορούν να επαναφορτιστούν επειδή οι χημικές αντιδράσεις που χρησιμοποιούν είναι αντιστρέψιμες. Επαναφορτίζονται με ρεύμα αντίθετης κατεύθυνσης του ρεύματος αποφόρτισης [2.15]. Οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες μπορούν να φορτιστούν εκατοντάδες φορές πριν φθαρούν και μετά μπορούν να ανακυκλωθούν[2.16]. Στη συγκεκριμένη εργασία βέβαια μας αφορούν αποκλειστικά οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες.

Η μπαταρία ως κομμάτι του ηλεκτρικού συστήματος έχει τον εξής ρόλο: η αποθήκευση ενέργειας γίνεται σε μπαταρίες, οι οποίες είναι τύπου μόλυβδου-θεϊκού οξέος και σπανιότερα από συνδυασμό νικελίου-καδμίου [2.6]. Όταν η πηγή παράγει ενέργεια και μέρος αυτής αποθηκεύεται στις μπαταρίες, έχουμε τη φόρτισή τους, ενώ όταν χρησιμοποιείται η αποθηκευμένη ενέργεια έχουμε την εκφόρτιση των μπαταριών. Οι μπαταρίες μόλυβδου δεν πρέπει να εκφορτίζονται τελείως, αλλά μέχρι ενός σημείου, που εξαρτάται από τον τύπο της μπαταρίας. Αντίθετα, οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου μπορούν να εκφορτίζονται εντελώς, χωρίς να κινδυνεύουν να καταστραφούν ή να πάθουν βλάβη. Να σημειωθεί ότι πριν τις μπαταρίες τοποθετείται ένας ρυθμιστής φόρτισης, ο οποίος διασφαλίζει την ασφαλή φόρτιση των μπαταριών, φροντίζοντας για τη μέγιστη επιτρεπόμενη τάση που θα φθάνουν οι τελευταίες, χωρίς να υπάρξει κίνδυνος καταστροφής τους. Η τάση αυτή εξαρτάται από τον τύπο της μπαταρίας και τη θερμοκρασία της. Ωστόσο, έλεγχος πρέπει να γίνεται και για την ελάχιστη τάση αποσύνδεσης του φορτίου από τη μπαταρία, ώστε να μην υπερφορτιστεί, αλλά και για την τάση επανασύνδεσης του φορτίου, κάθε φορά που αποσυνδέεται αναγκαστικά. Τα βασικά χαρακτηριστικά που χαρακτηρίζουν το σύστημα συσσώρευσης, είναι τα ακόλουθα:

1. Η δυνατότητα αποθήκευσης.
2. Η επάρκεια αποθήκευσης.
3. Η κατάσταση της φόρτισης.
4. Οι διαδικασίες λειτουργίας.
5. Η συντήρηση.

2.4 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[2.1] Π.Σ. Γεωργιλάκης, "Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας", Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 2006.

[2.2] Naturalgas.org, "Overview of Natural Gas," http://www.naturalgas.org/overview/background.asp, Accessed on 1/20/2008

[2.3] Naturalgas.org, "Natural Gas and the Environment," http://www.naturalgas.org/environment/naturalgas.asp, Accessed on 1/20/2008

[2.4] M. Lenzen , J. Munksgaard, "Energy and CO_2 life cycle analyses of wind turbines – review and applications," *Renewable Energy*, Vol. 26, No. 3, pp. 339-362, July 2002.

[2.5] National Renewable Energy Laboratory (NREL), "Wind Research" [Online], Available at: http://www.nrel.gov/wind/

[2.6] Β. Σταμπολίδης, "Αξιολόγηση επενδυτικών σχεδίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα," Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, Μάρτιος, 2005.

[2.7] IEA Photovoltaics Power Systems, "Trends in Photovoltaic applications – Surney report of selected IEA countries between 1992 and 2002," Report IEA-PVPS T1-12:2003. Available at: http://www.iea-pvps.org/, 2003.

[2.8] K. Kato, A. Murata, K. Sakuta, "An evaluation on the life cycle of photovoltaic energy system considering production energy of off-grade silicon," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 47, pp. 95–100, 1997.

[2.9] S. Khennas, A. Barnett, "Best practises for sustainable development of micro hydro power in developing countries," Intermediate Technology Development Group (ITDG) [Online], Available at: http://practicalaction.org, 2000.

[2.10] T.A. Volk, L.P. Abrahamson, E.H. White, E. Neuhauser, E. Gray, C. Demeter, C. Lindsey, J. Jarnefeld, D.J. Aneshansley, R. Pellerin and S. Edick, "Developing a Willow Biomass Crop Enterprise for Bioenergy and Bioproducts in the United States," Proceedings of Bioenergy 2000, Adam's Mark Hotel, Buffalo, New York, USA: North East Regional Biomass Program, October, 2000.

[2.11] International Energy Agency (IEA), "Toward a Sustainable Energy Future," OECD/IEA, Paris, France, 2001.

[2.12] H. Holttinen, et al., "Design and Operation of Power Systems with Large Amounts of Wind Power," IEA Wind Summary Paper. Presented at Global Wind Power Conference Adelaide, Australia, September, 2006.

[2.13] Penn State, "Spotlight on Photovoltaics & Fuel Cells: A Web-based Study & Comparison," Vol. 1-2. ,Available at: http://www.psu.edu/, 2007

[2.14] The Random House Dictionary of the English Language, "Battery," The Unabridged Edition (2nd edition) [Online] , Available at: http://209.85.129.104/search?q=cache:IwJyaoFHSwIJ:www.batteria.eu/+%5E+Battery%22+(def.+6),+The+Random+House+Dictionary+of+the+English+Language,+the+Unabridged+Edition+(2nd+edition),+1996+ed.&hl=el&ct=clnk&cd=4&gl=gr&client=firefox-a, 1996.

[2.15] Science Encyclopaedia, "Battery - Background, Primary cells, Secondary cells," Net Industries [Online], Available at: http://science.jrank.org/, 2007

[2.16] BatteryRecycling, "Battery Recycling - Cost-Effective and Safe Disposal - Battery Solutions," Battery Solutions Inc. [Online], Available at: www.batteryrecycling.com, 2008.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η περιβαλλοντική επίδραση των ενεργειακών συστημάτων έχει διαφορετική προέλευση από σύστημα σε σύστημα [3.1]. Η εσωτερική καύση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας παράγει άμεσα αέρια που συμμετέχουν στην δημιουργία του φαινομένου του θερμοκηπίου, ενώ η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας δεν έχει άμεσο περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δηλαδή από καύσιμα είναι υπεύθυνη για την εκπομπή αερίων τα οποία με τη σειρά τους είναι υπεύθυνα για φαινόμενα όπως η αλλαγή κλίματος. Εάν την ενέργεια αυτή την παρήγαγαν αιολικά ή/και φωτοβολταϊκά συστήματα, οι παραπάνω εκπομπές θα αποφεύγονταν. Ωστόσο, η κατασκευή των αιολικών και των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι συνυφασμένη με περιβαλλοντικές εκπομπές. Για αυτό το λόγο, κατά την μελέτη των περιβαλλοντικών επιδράσεων των ενεργειακών φορέων, πρέπει να συμπεριλαμβάνεται όχι μόνο η διαδικασία της χρήσης του ενεργειακού φορέα αλλά και οι «συγγενικές» διαδικασίες, όπως είναι η παραγωγή ενέργειας από τη φύση, η μετατροπή της σε δευτερογενή μορφή, η χρήση της και η οποιαδήποτε απαραίτητη διαδικασία διαχείρισης των αποβλήτων στο τέλος. Η περιβαλλοντική ανάλυση κύκλου ζωής (ΑΚΖ) είναι η «από τη γέννηση έως το θάνατο» προσέγγιση αποτίμησης περιβαλλοντικών επιδράσεων, που μπορεί να εφαρμοστεί σε προϊόντα όπως είναι το ηλεκτρικό ρεύμα και το πετρέλαιο. Η «από τη γέννηση έως το θάνατο» προσέγγιση περιλαμβάνει όλα τα στάδια ζωής ενός προϊόντος: από την εξαγωγή των πρώτων υλών και καυσίμων μέχρι τη στιγμή που όλα τα υλικά ξαναγυρίζουν στο περιβάλλον.

3.2 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ

Ο κύκλος ζωής αναφέρεται στη διάρκεια ζωής ενός προϊόντος, από τη φάση δηλαδή εξαγωγής των πόρων, έπειτα την κατασκευαστική φάση, τη χρήση του προϊόντος και τέλος την τελική διάθεση/ανακύκλωση του προϊόντος. Οι πρώτες ύλες δηλαδή που χρησιμοποιούνται ακολουθούνται σε ολόκληρη την πορεία τους μέχρι τη επιστροφή τους πίσω στο περιβάλλον.

Η ΑΚΖ αναφέρεται στη ανάλυση και αποτίμηση του κύκλου ζωής ενός προϊόντος. Οι επιδράσεις πού μπορούν να συμπεριληφθούν σε μια ΑΚΖ μπορούν να χωριστούν στις ακόλουθες κατηγορίες [3.2]:

- Οικονομικές επιδράσεις, όπως είναι οι επιδράσεις σε ιδιωτικό, εθνικό και διεθνές επίπεδο.

- Περιβαλλοντικές επιδράσεις, όπως είναι η χρήση γης, ο θόρυβος, οπτικές παρεμβάσεις, τοπική μόλυνση του εδάφους, του νερού, του αέρα και της χλωρίδας και πανίδας, περιφερειακή και παγκόσμια μόλυνση, όπως επιδράσεις στο ατμοσφαιρικό σύστημα της Γης, κλιματικές αλλαγές.

- Κοινωνικές επιδράσεις, συνδεδεμένες με την ικανοποίηση των αναγκών, επιδράσεις πάνω στην υγεία και το εργασιακό περιβάλλον, επιδράσεις σε ατυχήματα μεγάλης κλίμακας.

- Επιδράσεις πάνω στην ασφάλεια, συμπεριλαμβανομένων και της ασφάλειας παροχής της υπηρεσίας και επίσης της ασφάλειας ενάντια στην κακή χρήση της εκάστοτε τεχνολογίας, ενάντια στην τρομοκρατία κτλ.

- Πολιτικές επιδράσεις.

Συνήθως όμως η εκτίμηση περιορίζεται σε περιβαλλοντικά θέματα. Επομένως η ΑΚΖ είναι μία αποτίμηση των περιβαλλοντικών επιδράσεων ενός προϊόντος. Το προϊόν μπορεί να έχει φυσική διάσταση, όπως είναι για παράδειγμα ένα αυτοκίνητο ή ένα μολύβι. Ο όρος προϊόν μπορεί βέβαια να αναφέρεται και σε μία υπηρεσία, όπως είναι οι υπηρεσίες μεταφοράς και υγείας. Στην πραγματικότητα, η ΑΚΖ δεν επικεντρώνεται στο φυσικό προϊόν ή την υπηρεσία, αλλά στη λειτουργία την οποία το προϊόν εκπληρώνει.

Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό της ΑΚΖ είναι το ότι αναφέρεται σε ολοκληρωμένες αλυσίδες. Από την εξαγωγή, δηλαδή, των πρώτων υλών μέχρι την παραγωγή, την κατανάλωση, και τέλος την τελική διάθεση των απορριμμάτων. Η ΑΚΖ δεν γίνεται κατανοητή μόνο από τις διαδικασίες που περικλείονται στην αποτίμηση αλλά και από τον αριθμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Αρχικά αναφέρονται όλες οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που απορρέουν από το προϊόν και στη συνέχεια κατατάσσονται (εάν είναι δυνατόν) στις παρακάτω κατηγορίες: κλιματική αλλαγή, οξείδωση, μείωση των ενεργειακών αποθεμάτων, επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία κτλ. Η συγκεκριμένη εργασία ασχολείται κυρίως με την κλιματική αλλαγή. Η μεθοδολογία της ΑΚΖ που άρχισε να αναπτύσσεται κατά τη δεκαετία του 1990, περιλαμβάνει τα εξής βήματα [3.3]:

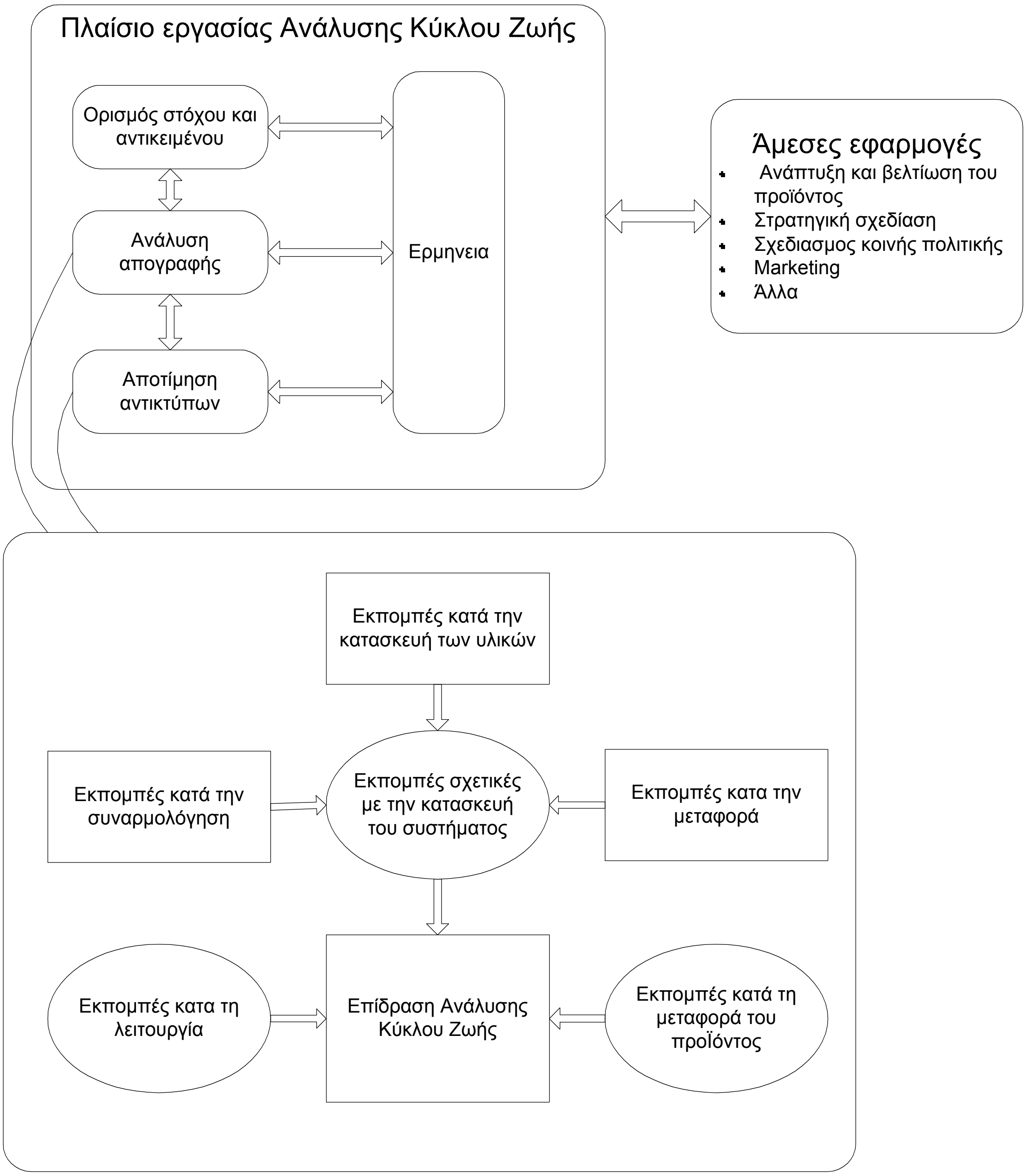
1. <u>Καθορισμός στόχου</u>: γίνεται η περιγραφή της εφαρμογής και ο τύπος της ΑΚΖ, καθορίζονται τα προς αξιολόγηση συστήματα παραγωγής, όπως επίσης και ο τόπος και ο χρόνος που θα λάβει χώρα η αξιολόγηση.

2. <u>Ανάλυση απογραφής</u>: προσδιορισμός των παραγώγων (πχ. εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου) των συστημάτων παραγωγής.

3. <u>Αποτίμηση αντίκτυπων</u>: προσδιορίζονται οι περιβαλλοντικοί αντίκτυποι που προκαλούνται από τα βλαβερά προϊόντα που περιγράφει το δεύτερο στάδιο.

4. <u>Ερμηνεία</u>: αναλύονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης απογραφής και αποτίμησης αντίκτυπων, δημιουργούνται συμπεράσματα και γεννιούνται προτάσεις.

Στο Σχήμα 3.1 φαίνονται αναλυτικά οι φάσεις της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής.



Σχήμα 3.1: Οι φάσεις της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

3.2.1 Ορισμός στόχου και αντικειμένου ανάλυσης

Στη φάση αυτή ορίζονται ο σκοπός και η μέθοδος της διαδικασίας συλλογής περιβαλλοντικών πληροφοριών. Ο πρωταρχικός σκοπός της ΑΚΖ είναι η επιλογή του προϊόντος με τις λιγότερες επιπτώσεις στον άνθρωπο και το περιβάλλον. Κατά τη φάση ορισμού του στόχου και του αντικειμένου ανάλυσης προσδιορίζονται η ποσότητα, ο τύπος και η ποιότητα των δεδομένων που απαιτούνται να συλλεχθούν.

Στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ως παραγωγική μονάδα μέτρησης θεωρείται η 1 kWh. Στην ανάλυση του περιβαλλοντικού κόστους κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας οι μονάδες μέτρησης μπορεί να είναι μία από τις ακόλουθες: παραγόμενα γραμμάρια CO_2 / kWh, παραγόμενα γραμμάρια CO_2 / έτος κ.α. Οι συγκρίσεις μεταξύ των διάφορων παραγωγικών επιλογών (π.χ. μεταξύ μιας ντηζελογεννήτριας και ενός υδροηλεκτρικού έργου) πρέπει να βασίζονται στην ίδια παραγωγική μονάδα σύγκρισης. Αυτό σημαίνει ότι 1 κιλοβατώρα παραγόμενης ενέργειας μέσω μίας τεχνολογίας πρέπει να είναι λειτουργικά ισοδύναμη με 1 κιλοβατώρα που παράγεται μέσω μιας άλλης τεχνολογίας.

3.2.2 Ανάλυση Απογραφής

Κατά την Ανάλυση Απογραφής Κύκλου Ζωής ταξινομείται ο κύκλος ζωής, δηλαδή όλες οι απαιτήσεις ενέργειας και υλικών. Επίσης ποσοτικοποιούνται οι εκπομπές στην ατμόσφαιρα, στο νερό και στο έδαφος. Κατά την απογραφή χρησιμοποιείται το διάγραμμα ροής. Το διάγραμμα ροής απεικονίζει όλες τις διαδικασίες που απαρτίζουν την παραγωγική διαδικασία, όπως και όλες τις εισροές και εκροές των διαδικασιών αυτών. Ακολουθεί η φάση της συλλογής των δεδομένων, η οποία πιθανόν είναι η πιο χρονοβόρα διαδικασία της ΑΚΖ. Τέλος, έρχεται η αναφορά. Η αναφορά είναι το προϊόν της απογραφής. Είναι μια λίστα όλων των ροών από ή προς το περιβάλλον που έχουν κοινό παρανομαστή την παραγόμενη λειτουργική μονάδα. Τα αποτελέσματα αυτά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με τη φάση στην οποία συμμετείχαν ή/και με το μέσο που έρρευσαν. Βέβαια, τα αποτελέσματα αυτά δεν εκφράζουν την περιβαλλοντική επίδραση που πιθανόν προκάλεσαν. Η μετάφραση των περιβαλλοντικών εκπομπών είναι το θέμα της επόμενης φάσης.

3.2.3 Αποτίμηση Αντικτύπων/Επιδράσεων

Η αποτίμηση των επιδράσεων του κύκλου ζωής είναι η φάση κατά την οποία μία ΑΚΖ αποτιμά τις περιβαλλοντικές επιδράσεις που προέρχονται από τις στοιχειώδεις ροές που ήδη έχουν καταγραφεί κατά τη φάση της απογραφής. Η αποτίμηση αποτελείται από τα επόμενα στάδια:

1. *Επιλογή*: επιλογή των κατάλληλων κατηγοριών επιδράσεων.
2. *Ταξινόμηση*: εκχώρηση των στοιχειωδών ροών στις κατηγορίες επιδράσεων.
3. *Χαρακτηρισμός*: μοντελοποίηση των σημαντικών επιδράσεων έτσι ώστε η κατηγορία να έχει έναν δείκτη (π.χ. δείκτες του ισοδύναμου CO_2 για την παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας).
4. *Κανονικοποίηση (προαιρετικό)*: οι τιμές διαιρούνται με μία τιμή αναφοράς.
5. *Ομαδοποίηση*: διαλογή ή κατάταξη των δεικτών των αντικτύπων.
6. *Βαρομετροποίηση*: ορισμός βαρών στις κατηγορίες επιδράσεων, αποτίμησης και αναφοράς.

3.2.4 Ερμηνεία

Η ερμηνεία του κύκλου ζωής είναι η διαδικασία κατά την οποία αναγνωρίζονται, ελέγχονται και αξιολογούνται τα αποτελέσματα της απογραφής και της αποτίμησης επιδράσεων. Η φάση της ερμηνείας του κύκλου ζωής αποτελείται από τα ακόλουθα βήματα:

1. Αναγνώριση σημαντικών θεμάτων.
2. Αξιολόγηση της πληρότητας, ευαισθησίας και συνοχής των δεδομένων.
3. Εξαγωγή συμπερασμάτων και σύσταση προτάσεων.

3.3 Ανάλυση Κύκλου Ζωής των Τεχνολογιών Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

3.3.1 Εισαγωγή

Η μεθοδολογία της ΑΚΖ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αναλυθούν τα ενεργειακά συστήματα. Μια τέτοια ανάλυση μπορεί να εφαρμοστεί τόσο πάνω σε ένα ολοκληρωμένο εθνικό σύστημα ενέργειας όσο και σε μία μεμονωμένη τεχνολογία παραγωγής ενέργειας. Μια κατάλληλη μονάδα αναφοράς για ένα σύστημα παροχής ενέργειας είναι μια ποσότητα παραγόμενης ενέργειας. Ένα παράδειγμα για τα ηλεκτρικά συστήματα ενέργειας είναι η κιλοβατώρα παραγόμενης ενέργειας. Βέβαια, χρειάζεται να γίνει μια πληρέστερη περιγραφή η οποία να περιέχει διάφορους παράγοντες όπως είναι το απαιτούμενο φορτίο, τα χρονικά μοντέλα για την τροφοδότηση ενέργειας (κυρίως στις περιπτώσεις της ηλιακής και αιολικής ενέργειας), η χωρητικότητα του συστήματος. Οι παραπάνω παράγοντες δεν μπορούν από μόνοι τους να καταστήσουν συγκρίσιμη μία κιλοβατώρα παραγόμενη από μία τεχνολογία (π.χ. κάρβουνο, φυσικό αέριο, αιολική ή πυρηνική ενέργεια) με μια άλλη κιλοβατώρα που παράχθηκε από μία άλλη τεχνολογία. Οι συγκρίσεις μπορούν να γίνουν εφόσον η συνολική μίξη της παραγόμενης ενέργειας ικανοποιεί συγκεκριμένες απαιτήσεις, όπως είναι η αξιοπιστία. Επίσης, όταν απαιτείται εγκατάσταση μονάδων αποθήκευσης ενέργειας, τότε πρέπει και αυτές οι μονάδες να συμπεριληφθούν στην ανάλυση.

Στα ενεργειακά συστήματα που χρησιμοποιούνται καύσιμα, οι σημαντικές περιβαλλοντικές επιδράσεις προκύπτουν κυρίως από τις διαδικασίες μετατροπής ενέργειας (κυρίως κατά την καύση), καθώς επίσης και από τα απόβλητα και τις εκπομπές που συνδέονται με τις διαδικασίες μετατροπής. Στις περιπτώσεις της πυρηνικής, αιολικής, ηλιακής κ.α. ενέργειας, το περιβαλλοντικό προφίλ των επιμέρους χρησιμοποιούμενων υλικών είναι αυτό το οποίο θα καθορίσει το συνολικό περιβαλλοντικό προφίλ. Η ανάλυση του κύκλου ζωής είναι μία περιβαλλοντική αποτίμηση, η οποία περιλαμβάνει όλα τα στάδια παραγωγής ενός προϊόντος. Ο στόχος της είναι να δώσει μια ολοκληρωμένη εικόνα των περιβαλλοντικών επιδράσεων των προϊόντων. Στον τομέα της παραγωγής ενέργειας, η αποτίμηση περιλαμβάνει την εξαγωγή, την επεξεργασία και τη μεταφορά των καυσίμων, την κατασκευή των εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας, την παραγωγή ενέργειας και τη διάθεση των λυμάτων.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι πολλές αποτιμήσεις κύκλου ζωής παρουσιάζουν την απογραφή των ρύπων κάθε τεχνολογίας, μη προσπαθώντας να δώσουν μια πραγματική περιγραφή των τελικών περιβαλλοντικών αντικτύπων των ρύπων αυτών. Αυτό συμβαίνει διότι οι τελικοί αντίκτυποι μπορεί να διαφέρουν αισθητά ο ένας από τον άλλο, αφού εξαρτάται από τη γεωγραφία του τόπου και από τις άλλες πηγές μόλυνσης του τόπου. Η συγκεκριμένη όμως εργασία επικεντρώνεται στο διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), διότι είναι ο μοναδικός ρύπος που δεν έχει σχέση με τοπικά φαινόμενα/μολύνσεις αλλά είναι συνυφασμένος με τη δημιουργία ενός παγκόσμιου φαινομένου. Αυτό είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου που προκαλεί την παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας. Έτσι, μία ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα που παράγεται σε ένα οποιοδήποτε μέρος του πλανήτη αφορά στην ατμοσφαιρική μόλυνση ολόκληρου του πλανήτη.

Πίνακας 3.1: Δείκτες ισοδύναμων του διοξειδίου του άνθρακα.

Εκπομπή	Ισοδύναμο	Δείκτης ισοδύναμου
CO_2	CO_2 eq.	1
CH_4	CO_2 eq.	21
N_20	CO_2 eq.	310

Πάρα πολλές μελέτες πάνω στα αέρια που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου χρησιμοποιούν τον όρο «ισοδύναμο του CO_2 (CO_2 eq.)». Αυτό συμβαίνει διότι υπάρχουν και άλλα αέρια πέρα από το CO_2 τα οποία συμμετέχουν στην παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας, με διαφορετική βέβαια επίδραση πάνω στο περιβάλλον και πιθανόν διαφορετική διάρκεια ζωής στην ατμόσφαιρα. Για αυτόν τον λόγο έχουν εισαχθεί δείκτες που μετατρέπουν τις εκπομπές διαφόρων αερίων σε ισοδύναμες εκπομπές του CO_2 έτσι ώστε να μπορούν να αθροιστούν στην απογραφή. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.1, ένα γραμμάριο CH_4 έχει δείκτη αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας 21 ενώ το N_2O έχει δείκτη 310, συγκριτικά με ένα γραμμάριο CO_2. Δηλαδή πχ. 1 γραμμάριο CH_4 έχει 21 φορές μεγαλύτερη επίδραση στην αύξηση της θερμοκρασίας από ένα γραμμάριο CO_2 (βλ. επίσης ενότητα 1.4).

Πίνακας 3.2: Περίληψη των ατμοσφαιρικών φαινομένων και των επιδράσεων αυτών συναρτήσει των ρύπων που τα προκαλούν [3.4].

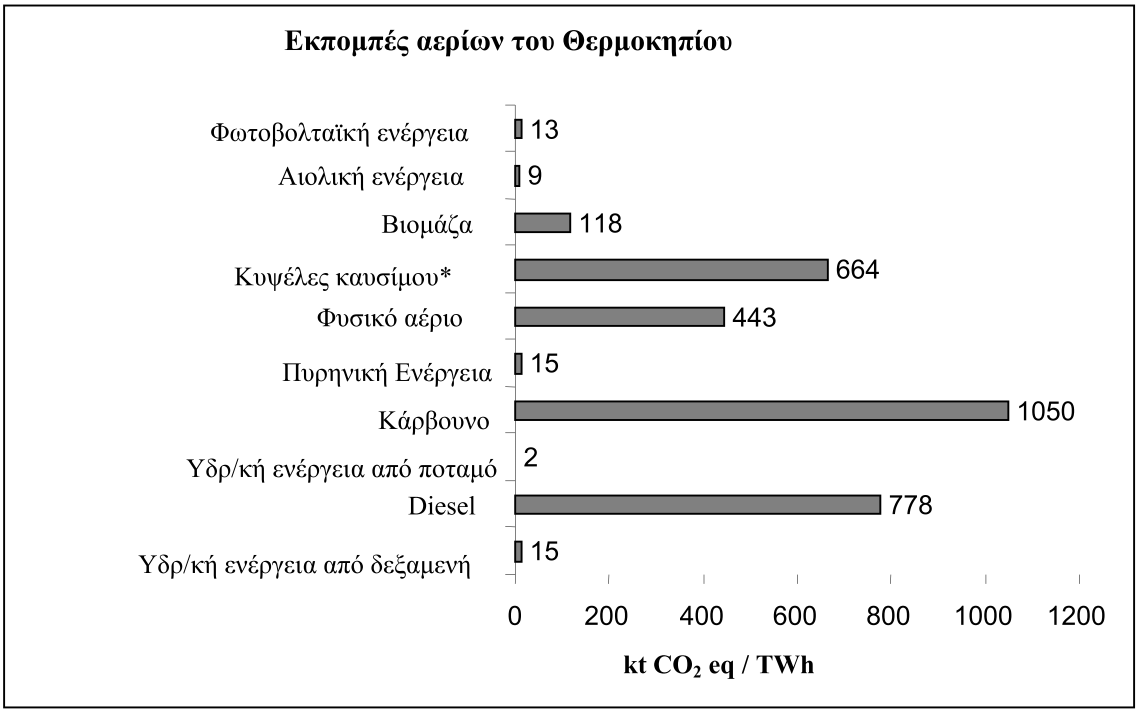
Επακόλουθο	Αντίκτυπο	Ρύποι
Όξινη βροχή: σχηματισμός θειικών και νιτρικών οξειδίων	Τοπική επιρροή σε υγροβιότοπους, δάση και αντικείμενα.	SO_2: Διοξείδιο του θείου NO_x: Οξείδια του αζώτου
Φωτοχημική αιθαλομίχλη: σχηματισμός όζοντος και άλλων τοξικών ρύπων στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας	Προσβάλλει τη ανθρώπινη υγεία σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο.	NO_x: Οξείδια του αζώτου
Αέρια του φαινομένου του θερμοκηπίου	Κλιματολογικές αλλαγές που επηρεάζουν την γεωργική παραγωγή και την ανάπτυξη των δασών. Επίσης, αυξάνεται η πιθανότητα δημιουργίας ακραίων καιρικών φαινομένων όπως τυφώνες, πλημμύρες και ξηρασία.	CO_2: Διοξείδιο του άνθρακα CH_4: Μεθάνιο NO_x: Οξείδια του αζώτου

Στην επόμενη ενότητα παρουσιάζονται οι ποσότητες CO_2 eq. που εκπέμπουν διάφορα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι τιμές που παρουσιάζονται προέρχονται από διάφορες αναλύσεις κύκλου ζωής. Το παρακάτω σχήμα (Σχήμα 3.2) είναι το αποτέλεσμα μιας συγκεκριμένης μελέτης και όπως φαίνεται η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας από σύστημα χωρίς δεξαμενή κατέχει την καλύτερη επίδοση όσο αναφορά την εκπομπή CO_2, ενώ μαζί με την αιολική ενέργεια αποτελούν τις δύο τεχνολογίες οι οποίες παρουσιάζουν διακοπτόμενη παραγωγή. Συνεπώς αυτές οι τεχνολογίες πιθανόν να χρειάζονται συστήματα υποστήριξης τα οποία μπορεί να χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα (υβριδικά συστήματα), αυξάνοντας έτσι σημαντικά το επίπεδο των τελικών εκπομπών αερίων. Το κάρβουνο δε, όπως φαίνεται, κατέχει την πρώτη θέση στην εκπομπή αερίων. Πρέπει επίσης να τονιστεί ότι στη μελέτη αυτή η τιμή της ΑΚΖ για τα φωτοβολταϊκά δεν είναι ενδεικτική μιας και συνήθως παίρνει πολύ μεγαλύτερες τιμές.

Όπως παρατηρείται στη συνέχεια του κεφαλαίου η τιμή των εκπομπών (η οποία μετριέται σε CO_2 eq. / kWh) δεν είναι μία και μοναδική αλλά εκτείνεται ανάμεσα σε δύο όρια, τα οποία άλλοτε απέχουν λίγο το ένα από το άλλο (βλ. υδροηλεκτρικά έργα) και άλλες φορές αρκετά (βλ. φωτοβολταϊκά). Αυτό συμβαίνει διότι υπάρχει μεγάλη ποικιλία τιμών στη διεθνή βιβλιογραφία εξαιτίας της συνεχούς προόδου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Επίσης, κάθε ερευνητής προσεγγίζει διαφορετικά τη μεθοδολογία της ΑΚΖ. Τέλος, μερικές φορές χρησιμοποιούνται από τους ερευνητές διαφορετικά δεδομένα εκπομπών για τα επιμέρους στάδια του κύκλου ζωής εξαιτίας της ενδελεχούς ή μη ενδελεχούς ανάλυσης του εκάστοτε σταδίου, οπότε τα τελικά αποτελέσματα της ΑΚΖ διαφέρουν μεταξύ τους. Οι πιο σημαντικοί όμως παράγοντες στους οποίους οφείλεται το εύρος των τιμών της ΑΚΖ είναι οι περιβαλλοντικές συνθήκες κάθε περιοχής (ηλιακή ακτινοβολία, ταχύτητες ανέμου, πλεόνασμα ή όχι νερού προς χρήση υδροηλεκτρικών, είδος και ποσότητα καλλιέργειας), η απόδοση της κάθε τεχνολογίας και τέλος η διάρκεια ζωής του έργου. Έτσι, για παράδειγμα, ένα φωτοβολταϊκό τεχνολογίας λεπτού film εγκατεστημένο στην Ελλάδα παράγει πολύ λιγότερα g CO_2 / kWh από ότι ένα φωτοβολταϊκό τεχνολογίας άμορφης μάζας (εκπέμπει εξορισμού περισσότερο CO_2 / kWh από τα φ/β λεπτού film) το οποίο είναι εγκατεστημένο στη Σουηδία (έχει μικρότερη ηλιοφάνεια από την Ελλάδα).

Επίσης, τα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της κάθε χώρας παίζουν και αυτά με τη σειρά τους σημαντικό ρόλο στον υπολογισμό των τιμών κατά την ΑΚΖ. Για παράδειγμα, μία ανεμογεννήτρια που κατασκευάζεται σε μια χώρα που ένα μεγάλο μέρος της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας προέρχεται από ΑΠΕ παρουσιάζει μικρότερη τιμή παραγόμενων g CO_2 eq. / kWh κατά ΑΚΖ από μία ανεμογεννήτρια που κατασκευάζεται σε χώρα της οποίας η ενεργειακή παραγωγή προέρχεται από συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας.



Σχήμα 3.2: Ενδεικτικές τιμές εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου παραγόμενα από διάφορες τεχνολογίες. * Παραγωγή υδρογόνου από φυσικό αέριο [3.4]

3.3.2 Συμβατικές τεχνολογίες

Στις τεχνολογίες που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα το μεγαλύτερο μέρος των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που εκπέμπονται κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής της τεχνολογίας προέρχεται από τη φάση της λειτουργίας του εργοστασίου. Οι αποκλίσεις που εμφανίζονται ανάμεσα στις εκπομπές των διαφόρων τεχνολογιών είναι ένας συνδυασμός παραγόντων όπως η ποσότητα άνθρακα και θερμότητας που περιέχει το εκάστοτε καύσιμο, το είδος της τεχνολογίας και η απόδοσή της. Επίσης, οι εκπομπές παρουσιάζουν διαφορές ανά είδος καυσίμου (κάρβουνο, αέριο, πετρέλαιο), κυρίως διότι χρησιμοποιούνται διαφορετικές τεχνοτροπίες και διαδικασίες κατά την εξαγωγή, μεταφορά και επεξεργασία του καυσίμου.

3.3.2.1 Ντηζελογεννήτριες

Οι περισσότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά τον κύκλο ζωής μιας ντηζελογεννήτριας παράγονται κατά τη λειτουργία ταυ εργοστασίου παραγωγής ενέργειας και κυμαίνονται μεταξύ **700 και 800 g CO_2 eq. / kWh** [3.5]. Οι εκπομπές αερίων κατά την κατασκευή και παρόπλιση του εργοστασίου είναι αμελητέες. Σημαντικές όμως εκπομπές παράγονται κατά τη διάρκεια των φάσεων της μεταφοράς, της διύλισης, της ανεύρεσης και εξαγωγής πετρελαίου, οι οποίες κυμαίνονται μεταξύ **40 και 110 g CO_2 eq. / kWh**. Γενικά, το 90% των εκπομπών παράγονται από το πετρέλαιο, ενώ οι εκπομπές κατά τον κύκλο ζωής του ντηζελογεννήτριας θεωρούνται αμελητέες. Συνολικά, οι τιμές των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που παράγονται από την τεχνολογία παραγωγής ενέργειας μέσω καύσης πετρελαίου βρίσκονται μεταξύ **500 και 1200 g CO_2 eq. / kWh**. Η μεγάλη αυτή απόκλιση οφείλεται όχι μόνο στην εκάστοτε χρησιμοποιούμενη τεχνολογία αλλά επίσης και στη διαφορετική λειτουργία ανά χώρα των εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω καύσης πετρελαίου.

3.3.2.2 Σταθμοί Φυσικού αερίου

Το μεγαλύτερο μέρος των αερίων του θερμοκηπίου που παράγονται κατά τον κύκλο ζωής των σταθμών ηλεκτρικής ενέργειας φυσικού αερίου παράγονται κατά τη λειτουργία του σταθμού. Οι εκπομπές παίρνουν τιμές που κυμαίνονται από **360 μέχρι 575 g CO_2 eq. / kWh**. Οι εκπομπές αερίων κατά την κατασκευή και παρόπλιση του εργοστασίου είναι αμελητέες. Παρόλα αυτά, υπάρχουν και άλλες σημαντικές εκπομπές αερίων. Αυτές προέρχονται κυρίως κατά την επεξεργασία του φυσικού αερίου, την άντλησή του, την λειτουργία των σωληνώσεων (κυρίως κατά τη λειτουργία των συμπιεστών) και τέλος από τη διαρροή κατά τη μεταφορά και την χρήση. Επειδή αυτοί οι παράγοντες διαφέρουν από χώρα σε χώρα, οι εγκαταστάσεις μεταφοράς του φυσικού αερίου αποτελούν έναν σημαντικό παράγοντα προσδιορισμού των συνολικών εκπομπών. Η διαρροή κατά τη μεταφορά φυσικού αερίου από τη Ρωσία σε απόσταση πάνω από 6000 χιλιόμετρα είναι της τάξης του 1,4% της αρχικής ποσότητας, ενώ η χρήση ενέργειας στους σταθμούς συμπίεσης απαιτεί 1,8% επιπλέον φυσικό αέριο ανά 1000 χιλιόμετρα στην Ευρώπη και 2,7% στη Ρωσία. Άρα ο ρυθμός της απώλειας μεγαλώνει όσο μεγαλώνει και η απόσταση διανομής.

Οι περιφερειακές απώλειες της τεχνολογίας παραγωγής ενέργειας από την καύση φυσικού αερίου ανέρχονται στις **60 έως 130 g CO_2 eq. / kWh**. Συνολικά οι εκπομπές κυμαίνονται μεταξύ **440 και 780 g CO_2 eq. / kWh**. Οι τιμές των εκπομπών του σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω καύσης φυσικού αερίου αναμένονται στο μέλλον να είναι μικρότερες των **400 g CO_2 eq. / kWh**, με περίπου **50 g CO_2 eq. / kWh** [3.5] να είναι έμμεσες εκπομπές.

3.3.3 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Σε αντίθεση με τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα, στην πλειονότητά τους οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που παράγονται από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν παράγονται κατά τη λειτουργία των ΑΠΕ. Παράγονται κυρίως κατά την παραγωγή και κατασκευή της εκάστοτε τεχνολογίας και της υποστηρικτικής υποδομής της. Βέβαια τα συστήματα βιομάζας παράγουν το μεγαλύτερο μέρος των εκπομπών τους κατά τον κύκλο καυσίμου. Για την περίπτωση των διακοπτόμενων τεχνολογιών (πχ. τα φωτοβολταϊκά, που δεν παράγουν ενέργεια το βράδυ) το ερώτημα είναι εάν στην ανάλυση κύκλου ζωής πρέπει να συμπεριλαμβάνονται ή όχι οι εκπομπές που προκύπτουν από τις συμβατικές τεχνολογίες με τις οποίες συνεργάζονται και δουλεύουν όταν σταματάνε οι διακοπτόμενες. Οι εκπομπές αυτές δεν έχουν συμπεριληφθεί στις παρακάτω τιμές. Στις υβριδικές εφαρμογές του

5[ου] κεφαλαίου, μελετώνται οι εκπομπές των συμβατικών τεχνολογιών (όπου αυτές συμμετέχουν) ανεξάρτητα από αυτές των ανανεώσιμων πηγών και συγκρίνονται μεταξύ τους.

3.3.3.1 Αιολικά

Τα συστήματα αιολικής ενέργειας δεν καταναλώνουν κανένα καύσιμο κατά τη λειτουργία τους. Η λειτουργία τους δηλαδή δεν παράγει διοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του θείου, υδράργυρο ή οποιοδήποτε άλλο τύπο ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Οι εγκαταστάσεις παραγωγής αιολικής ενέργειας καταναλώνουν ενεργειακούς πόρους κατά την κατασκευή τους και την εγκατάστασή τους. Κατά τη διάρκεια της κατασκευής της ανεμογεννήτριας, ο χάλυβας, το σκυρόδεμα, το αργίλιο και άλλα υλικά κατασκευάζονται και μεταφέρονται χρησιμοποιώντας δαπανηρές ενεργειακά διαδικασίες, οι οποίες χρησιμοποιούν συνήθως ενέργεια που παράγεται από τεχνολογίες ορυκτών καυσίμων. Οι αρχικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που παράγονται κατά την κατασκευή των ανεμογεννητριών "ξεπληρώνονται" περίπου μέσα σε 9 μήνες λειτουργίας των ανεμογεννητριών [3.6].

Μερικές φορές λέγεται ότι η αιολική ενέργεια δεν μειώνει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Αυτό ορισμένοι το δικαιολογούν στηριζόμενοι στο ότι λόγω της ασυνεχούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τα αιολικά συστήματα απαιτούν συστήματα υποστήριξης βασισμένα στα ορυκτά καύσιμα. Οι ανεμογεννήτριες όμως δεν αντικαθιστούν πλήρως την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας των ορυκτών καυσίμων. Το θέμα είναι σαφώς ότι η αιολική ενέργεια μπορεί να αντικαταστήσει μέρος της παραγωγής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα, μειώνοντας και τη χρήση των ορυκτών καυσίμων και τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα [3.7].

Στην τεχνολογία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου προέρχονται, όπως προαναφέρθηκε, κυρίως από τα στάδια κατασκευής της γεννήτριας και του εργοστασίου. Οι εκπομπές αυτές κυμαίνονται ανάμεσα στο 72% και 90% των συνολικών εκπομπών. Σημαντικές διαφορές παρατηρούνται ανάμεσα στα διάφορα είδη των αιολικών εγκαταστάσεων. Για παράδειγμα, οι μεσοθαλάσσιες εγκαταστάσεις απαιτούν αρκετά μεγαλύτερες ποσότητες χάλυβα και τσιμέντου κατά την κατασκευή τους από αυτές της ξηράς. Όσον αναφορά τις εκπομπές που δεν σχετίζονται με την κατασκευή της γεννήτριας και του εργοστασίου, αυτές παράγονται κατά τις διαδικασίες λειτουργίας και συντήρησης, παροπλισμού, μεταφοράς των υλικών κατασκευής και της γεννήτριας, κατέχοντας συνολικά το 10 έως 28% των συνολικών εκπομπών.

Σχετικά με το μέγεθος της ανεμογεννήτριας, οι μεγαλύτερες ανεμογεννήτριες εκπέμπουν σε όμοιες συνθήκες ανέμου μικρότερες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου ανά παραγόμενη kWh από τις μικρότερες. Οι μεσοθαλάσσιες εγκαταστάσεις εκπέμπουν μεγαλύτερες ποσότητες αερίων κατά τον κύκλο ζωής τους από ότι οι αντίστοιχες της ξηράς (σε όμοιες συνθήκες ανέμου), εξαιτίας των υψηλών εκπομπών κατά την κατασκευή, σύνδεση και ανύψωση των μεσοθαλάσσιων εγκαταστάσεων. Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που σχετίζονται με την παραγωγή ηλεκτρισμού από αιολική ενέργεια είναι αρκετά ευαίσθητες απέναντι στην ταχύτητα του ανέμου, εξαιτίας της κυβικής σχέσης της ταχύτητας του ανέμου με την παραγόμενη ενέργεια. Τα δεδομένα αλλάζουν από περιοχή σε περιοχή, πράγμα που φαίνεται και στις ακόλουθες τιμές: **8 έως 30 g CO_2 eq. / kWh** για μεσοθαλάσσιες εγκαταστάσεις και **9 έως 19 g CO_2 eq. / kWh** [3.5]για χερσαίες. Τα αποτελέσματα αυτά έχουν εξαχθεί λαμβάνοντας υπόψη τις εκάστοτε διάρκειες ζωής των ανεμογεννητριών. Μία βελτίωση στη διάρκεια ζωής των ανεμογεννητριών θα βελτίωνε και τις εξαγόμενες τιμές της ανάλυσης κύκλου ζωής. Ο κύκλος ζωής των συστημάτων παραγωγής αιολικής ενέργειας εμπεριέχει, όπως φαίνεται και παραπάνω, πολύ χαμηλές εκπομπές αερίων, ακολουθείται όμως από έναν υπολογίσιμο αριθμό επιπτώσεων που μπορεί να περιορίσει τις δυνατότητες της συγκεκριμένης τεχνολογίας. Οι πιο σημαντικές επιδράσεις είναι οι εξής [3.8] :

- **Οπτικές επιπτώσεις**: Οι ανεμογεννήτριες πρέπει να βρίσκονται σε ανοικτές περιοχές, οπότε καθίστανται αρκετά ορατές. Αρκετοί άνθρωποι τις θεωρούν άσχημες, ενώ έχουν αυξηθεί οι ανησυχίες λόγω του ολοένα αυξανόμενου μεγέθους των ανεμογεννητριών.

- **Θόρυβος**: Οι ανεμογεννήτριες παράγουν αεροδυναμικό θόρυβο , από τον αέρα που περνάει μέσα από τα πτερύγια, και μηχανικό θόρυβο από τα κινούμενα στοιχεία του κινητήρα, ειδικά από το κιβώτιο ταχυτήτων. Καλύτερες κατασκευές έχουν μειώσει τον θόρυβο, και η έρευνα συνεχίζεται. Τα αιολικά πάρκα που είναι εγκατεστημένα μακριά από πυκνοκατοικημένες περιοχές είναι, εξ ορισμού, λιγότερο ενοχλητικά.

- **Ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή**: Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να στέλνουν ηλεκτρομαγνητικά σήματα τα οποία με την σειρά τους προκαλούν παρεμβολές σε τηλεπικοινωνιακά συστήματα. Εγκαθιστώντας τις ανεμογεννήτριες σε κατάλληλες τοποθεσίες (εξαιρούνται οι στρατιωτικές βάσεις και τα αεροδρόμια) η επίδραση μπορεί να μειωθεί.

- **Ασφάλεια των πουλιών**: Τα πουλιά σκοτώνονται όταν συγκρούονται με τα πτερύγια μιας ανεμογεννήτριας. Τα αποδημητικά πουλιά κινδυνεύουν περισσότερο από τα υπόλοιπα. Με κατάλληλη τοποθέτηση των ανεμογεννητριών μακριά από τους δρόμους των αποδημητικών πουλιών, η ασφάλεια των πουλιών αυξάνεται.

Χρήση εδάφους

Οι ανεμογεννήτριες πρέπει κανονικά να τοποθετούνται γύρω στις δέκα φορές τη διάμετρό τους απόσταση μακριά η μία από την άλλη κατά την κατεύθυνση των κυρίων ανέμων και πέντε φορές τη διάμετρό τους μακριά η μία από την άλλη στην κάθετη κατεύθυνση έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Κατά συνέπεια, οι ανεμογεννήτριες απαιτούν κατά προσέγγιση 0,1 τετραγωνικά χιλιόμετρα ανεμπόδιστου εδάφους ανά μεγαβάτ ονομαστικής δυναμικότητας. Ένα αιολικό πάρκο 200 MW, που ενδέχεται να παράγει τόση ενέργεια κάθε έτος όσο ένα συμβατικό εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας 100 MW, ενδέχεται να έχει εξαπλωμένες τις ανεμογεννήτριες σε έναν χώρο περίπου 20 τετραγωνικών χιλιομέτρων.

Η αποψίλωση των δασωδών περιοχών είναι συχνά περιττή. Οι αγρότες στις ΗΠΑ νοικιάζουν συνήθως το έδαφος στις επιχειρήσεις που χτίζουν τα αιολικά πάρκα. Επίσης, οι αγρότες μπορούν να λάβουν ετήσιες αποδοχές από 2.000 έως 5.000 δολάρια ανά ανεμογεννήτρια [3.9]. Φυσικά, το έδαφος μπορεί παρόλα αυτά να χρησιμοποιηθεί για καλλιέργεια και βοσκή ζώων. Λιγότερο από 1% του εδάφους χρησιμοποιείται για τα θεμέλια και τους δρόμους πρόσβασης, ενώ το άλλο 99% θα μπορεί ακόμα να χρησιμοποιηθεί για την καλλιέργεια [3.10]. Οι ανεμογεννήτριες επίσης μπορούν να εγκατασταθούν σε αχρησιμοποίητο έδαφος. Το καθάρισμα βέβαια των δέντρων γύρω από τις βάσεις πύργων μπορεί να είναι απαραίτητο για τις περιοχές εγκαταστάσεων στις κορυφογραμμές των βουνών [3.11].

Παράκτιος ωκεάνιος θόρυβος

Δεδομένου ότι ο αριθμός παράκτιων αιολικών πάρκων αυξάνεται και κινείται περαιτέρω σε πιο μεγάλα θαλάσσια βάθη, η ερώτηση που προκύπτει είναι εάν ο θόρυβος που παράγεται μέσα στο νερό λόγω της μηχανικής κίνησης των στροβίλων και άλλων δονήσεων που μπορούν να διαβιβαστούν μέσω των πυλώνων στη θάλασσα θα γίνει αρκετά σημαντικός έτσι ώστε να βλάψει τα θηλαστικά της θάλασσας. Οι δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στη Δανία για ρηχές εγκαταστάσεις έδειξαν ότι τα επίπεδα ήταν μόνο σημαντικά μέχρι μερικές εκατοντάδες μέτρα. Εντούτοις, ο ήχος που εγχέεται σε πιο μεγάλα θαλάσσια βάθη θα ταξιδέψει πολύ πιο μακριά και είναι πιθανότερο να προσκρούσει σε μεγαλύτερα πλάσματα όπως είναι οι φάλαινες που τείνουν να χρησιμοποιούν τις χαμηλότερες συχνότητες. Μια πρόσφατη μελέτη διαπίστωσε ότι τα αιολικά πάρκα προσθέτουν 80-110 dB στον υπάρχοντα, χαμηλής συχνότητας, περιβαλλοντικό θόρυβο (κάτω από 400 Hz), που θα μπορούσε να επηρεάσει την επικοινωνία των φαλαινών [3.12].

3.3.3.2 Φωτοβολταϊκά

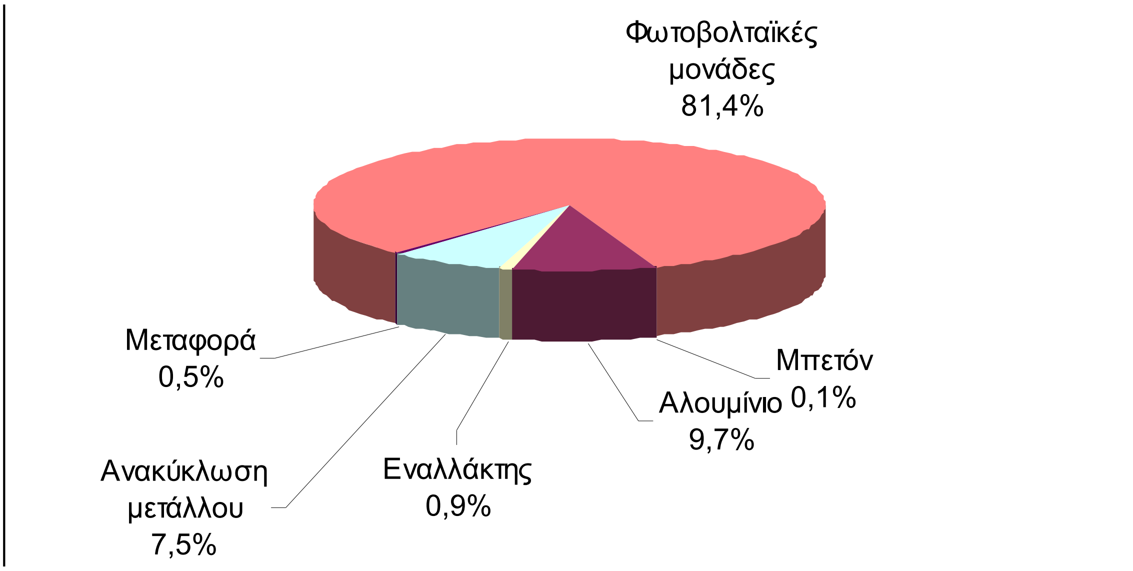
Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1970 αναλύσεις έδειχναν ότι τα φωτοβολταϊκά συστήματα δεν θα μπορούσαν να παράγουν τόση ενέργεια όση απαιτούνταν για να κατασκευαστούν κατά τη διάρκεια της παραγωγής τους. Συνεπώς, αρκετοί παρατηρητές χαρακτήριζαν την τεχνολογία αυτή ως «δικτυακό ενεργειακό οχετό», δηλαδή ως μία τεχνολογία η οποία δεν θα μπορούσε να παρέχει περιβαλλοντικά οφέλη. Εν τούτοις, έρευνες κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990 έδειξαν ότι τα φωτοβολταϊκά αποτελούν σημαντικό ενεργειακό παράγοντα, του οποίου η ενεργειακή εξόφληση πραγματοποιείται μέσα σε 5-7 μόλις χρόνια [3.13]. Κατά τις έρευνες φαινόταν ότι τα φωτοβολταϊκά συστήματα ήταν, εκείνη την περίοδο, δέκα φορές πιο ακριβά από τα αντίστοιχα συμβατικά συστήματα παραγωγής ενέργειας, αναφορικά με τη χρήση τους. Παρόλα αυτά, στο επίπεδο των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, τα φωτοβολταϊκά συστήματα υπερτερούσαν των αντίστοιχων συμβατικών, εκπέμποντας τρεις φορές λιγότερο CO_2 από τα συμβατικά κατά τη διάρκεια της ζωής τους. Υπάρχει επομένως μια εξισορρόπηση μεταξύ των περιβαλλοντικών πλεονεκτημάτων και του οικονομικού κόστους κατά τη χρησιμοποίηση των φωτοβολταϊκών συστημάτων στη θέση των συμβατικών μορφών παραγωγής ενέργειας. Παρόλο που τα φωτοβολταϊκά παρουσιάζουν σημαντικά περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα, το οικονομικό κόστος εφαρμογής τους δεν μπορεί να παραβλεφθεί. Για κάθε κιλοβατώρα ηλεκτρικής ενέργειας παραγόμενης από φωτοβολταϊκό πλαίσιο οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα μειώνονται κατά 0,38 κιλά, με επιπρόσθετο κόστος 1,125 ευρώ [3.14].

Αντίθετα από τις βασισμένες σε ορυκτά καύσιμα τεχνολογίες, η φωτοβολταϊκή ενέργεια δεν οδηγεί σε επιβλαβείς εκπομπές κατά τη διάρκεια της λειτουργίας των φωτοβολταϊκών. Βέβαια, η παραγωγή των πλαισίων οδηγεί σε κάποιο ποσό ρύπανσης. Εάν βέβαια η ενεργειακή εισαγωγή κατά την παραγωγή είναι υψηλότερη από την ενέργεια που παράγεται (όπως προαναφέρθηκε), μπορεί το σύστημα αυτό να θεωρηθεί περιβαλλοντικά επιβλαβές. Επίσης, η τοποθέτηση του φωτοβολταϊκού συστήματος έχει επιπτώσεις στον περιβάλλοντα χώρο εγκατάστασής του. Εάν τοποθετείται εκεί όπου φυτρώνουν φωτοσυνθετικά φυτά, αντικαθιστά απλά έναν ενδεχομένως ανανεώσιμο πόρο (βιομάζα) με κάποιον άλλο. Πρέπει να σημειωθεί, εντούτοις, ότι ο κύκλος της βιομάζας μετατρέπει την ηλιακή ενέργεια ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια με αρκετά μικρότερη αποδοτικότητα από ότι τα φωτοβολταϊκά κύτταρα. Εάν βέβαια τα φ/β συστήματα τοποθετούνται στις πλευρές των κτηρίων, τους φράκτες, τις στέγες ή στην έρημο, τότε είναι καθαρά θετικοί φορείς του ανανεώσιμου ενεργειακού τοπίου.

Οι εκπομπές των φωτοβολταϊκών συστημάτων κυμαίνονται από **13 μέχρι 731 g CO_2 eq. / kWh** [3.15]. Οι περισσότερες βέβαια μελέτες θέλουν τις εκπομπές να βρίσκονται στο διάστημα ανάμεσα από **13 έως 250 CO_2 eq. / kWh**. Ο κύκλος ζωής ενός φωτοβολταϊκού συστήματος περιλαμβάνει την επεξεργασία των πρώτων υλών (μετάλλευση, καθάρισμα, εξευγενισμός, εμπλουτισμός), των ηλιακών κυττάρων και φωτοβολταϊκών πλαισίων, του συστήματος ισορροπίας (εναλλάκτες ρεύματος, μετατροπείς, καλωδιώσεις, δομική υποστήριξη), του συστήματος χειρισμού και συντήρησης, του συστήματος παροπλισμού, και τέλος την διάθεσή του σε χώρο απορριμμάτων ή την ανακύκλωσή του. Η πλειονότητα των εκπομπών παράγονται κατά τη διάρκεια της κατασκευής των φωτοβολταϊκών μονάδων (50-80% g CO2 eq. / kWh των συνολικών εκπομπών). Σημαντικές επίσης εκπομπές αερίων παράγονται στη φάση της ισορροπίας του συστήματος (balance-of-plant) και από τον μετατροπέα συνεχούς/εναλλασσόμενου ρεύματος (converter). Στις περισσότερες περιπτώσεις η περιβαλλοντική επίπτωση του μετατροπέα ενσωματώνεται στη ΑΚΖ των φωτοβολταϊκών . Η λειτουργία του συστήματος, η φάση παροπλισμού του και η μεταφορά δεν αποτελούν σημαντικούς παράγοντες εκπομπών. Υπάρχουν τέσσερα είδη φωτοβολταϊκών συστημάτων: τα μονοκρυσταλλικά, τα πολυκρυσταλλικά, τα άμορφης μάζας, και τα CIGS. Από τα τέσσερα παραπάνω, αυτό που σε γενικές γραμμές εκπέμπει τα περισσότερα αέρια είναι το μονοκρυσταλλικό σύστημα (**50 έως 73 g CO_2 eq. / kWh**). Τα υπόλοιπα συστήματα εκπέμπουν από **43 μέχρι 62 g CO_2 eq. / kWh** [3.5] κατά τον κύκλο ζωής τους. Μπορεί να υπάρχουν αποκλίσεις από τις παραπάνω τιμές για διάφορους λόγους, όπως είναι η ποσότητα, η ταξινόμηση και η κλίση των πλαισίων, η αποδοτικότητα και ο χρόνος ζωής, καθώς και οι συνθήκες ακτινοβολίας. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τα αποτελέσματα είναι οι ακόλουθοι: διαφορές στην εγκατάσταση (ολοκληρωμένο ή όχι κύκλωμα, τοποθέτηση στο έδαφος, σε ταράτσα ή σε στέγη, κ.τ.λ.), διαφορές στα περιφερειακά συστήματα (πχ. μετατροπέας). Όλοι οι παραπάνω παράγοντες επηρεάζουν σε πολύ μεγάλο βαθμό το τελικό αποτέλεσμα της ΑΚΖ. Μείωση των εκπομπών μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσα από βελτίωση της αποδοτικότητας των φωτοβολταϊκών μονάδων, την αύξηση του κύκλου ζωής, χρησιμοποίηση μικρότερης ποσότητας σιλικόνης ανά πλαίσιο και χρήση λιγότερης ενέργειας στη φάση της παραγωγής του πλαισίου. Αναφορικά με την κατανάλωση ενέργειας, έχει υπολογισθεί ότι η κατανάλωση ενέργειας κατά τη διαδικασία της κατασκευής των φωτοβολταϊκών πλαισίων κυμαίνεται μεταξύ 11 και 45 MWh / kW [3.16]. Ο Πίνακας 3.3 περιέχει διάφορες τιμές της απαιτούμενης ενέργειας για τη διαδικασία παραγωγής μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών μονάδων, ενώ το Σχήμα 3.3 παρουσιάζει τη διανομή της απαιτούμενης ενέργειας κατά τον κύκλο ζωής των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Πίνακας 3.3: Απαιτούμενη ενέργεια για τη διαδικασία κατασκευής μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών μονάδων

Πηγή	Χρήση ενέργειας
Hagedorn (1989)	11-17,5 MWh/kW
Kato (1997)	17,70 MWh/kW
Mathur (2002)	40,55 MWh/kW
Karl and Theresa (2002)	16 MWh/kW
GEMIS (2002)	13,78 MWh/kW



Σχήμα 3.3: Διανομή της απαιτούμενης ενέργειας κατά τον κύκλο ζωής των φωτοβολταϊκών συστημάτων

Κατά τη φάση της λειτουργίας, το σύστημα δεν δέχεται καμία πηγή εξωτερικής ενέργειας. Άπαξ και το σύστημα ελέγχου εγκατασταθεί καθίσταται αυτοδύναμο. Τραβάει ενέργεια μόνο του από τα φωτοβολταϊκά. Κατά τη φάση της απόσυρσης, το φωτοβολταϊκό πλαίσιο θάβεται αφού προηγηθεί η αφαίρεση των πλαισίων αλουμινίου. Επομένως, κατά τη φάση την απόσυρσης, απαιτείται ενέργεια για την ανακύκλωση του αλουμινίου των βάσεων των πλαισίων. Το αλουμίνιο αποτελεί το 10% του βάρους του πλαισίου. Περίπου το 90% από το αλουμίνιο αυτό θα ανακυκλωθεί με βαθμό ανάκτησης 90%.

Όπως προαναφέρθηκε, κατά τον κύκλο ζωής ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, οι συνολικές εκπομπές αερίων που συμβάλλουν στη δημιουργία του φαινομένου του θερμοκηπίου προέρχονται κυρίως από την κατασκευαστική φάση και από τη συντήρηση του συστήματος. Μελέτη των E.A. Alsema, M.J de Wild-Scholten, V.M. Fthenakis (2006) εκτιμά τις εκπομπές αυτές περί τα **217 g CO_2 eq. / kWh** [3.14]. Αρκετά πιο σύγχρονες μελέτες μας δίνουν πιο ενθαρρυντικά αποτελέσματα. Φωτοβολταϊκά συστήματα κρυσταλλικού πυριτίου απαιτούν μόλις 1,5 έως 2 χρόνια ενεργειακής εξόφλησης σε περιοχές της Νότιας Ευρώπης ενώ 2,7 έως 3,5 χρόνια απαιτούνται σε περιοχές της Κεντρικής Ευρώπης. Διάφοροι επιστήμονες εκτιμούν ότι σε μερικά χρόνια η ενεργειακή εξόφληση θα περιοριστεί στον ένα μόνο χρόνο. Οι τεχνολογίες λεπτού film παρουσιάζουν στις νοτιοευρωπαϊκές περιοχές χρόνο ενεργειακής εξόφλησης 1 έως 1,5 χρόνια. Οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου της τεχνολογίας λεπτού film βρίσκονται στο διάστημα των **25 έως 32 g CO_2 eq. / kWh** και ενδέχεται στο μέλλον να πέσει στα **15 g CO_2 eq. / kWh**. Συνεπώς τα φωτοβολταϊκά συστήματα φαίνεται να έχουν αρκετές δυνατότητες στο πεδίο της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με μικρές εκπομπές άνθρακα.

3.3.3.3 Υδροηλεκτρικά

Οι περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιδράσεις μεγάλης κλίμακας υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων βρίσκονται υπό καθεστώς αμφισβήτησης. Τέτοιες εγκαταστάσεις μπορούν να διαταράξουν το γύρω οικοσύστημα στο οποίο εγκαθίστανται, να μειώσουν την ποικιλία της πανίδας και χλωρίδας του τόπου, ή να τροποποιήσουν την ποιότητα του νερού. Μπορούν επίσης να επιφέρουν κοινωνικοοικονομικά προβλήματα λόγω πιθανής μεταφοράς του ντόπιου πληθυσμού. Στις αναπτυσσόμενες χώρες έχουν ακυρωθεί αρκετά έργα τέτοιου μεγέθους. Κάποια άλλα έργα βέβαια απλά άλλαξαν κλίμακα μεγέθους. Από την άλλη μεριά, τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα επιφέρουν αμυδρά και χωρικά περιορισμένα περιβαλλοντικά προβλήματα. Σε σχέση όμως με τα μεγάλα, το οικονομικό κόστος ανά kWh είναι γενικά υψηλότερο.

Η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας με τη μέθοδο της ρυθμιζόμενης παροχής (με δεξαμενή) απαιτεί μεγάλες εκτάσεις γης, αλλά πέρα από αυτό, κατέχει την πρώτη θέση περιβαλλοντικής απόδοσης, λαμβάνοντας υπόψη δύο παράγοντες οι οποίοι δεν συμπεριλαμβάνονται πάντα στις αναλύσεις κύκλου ζωής: πρώτον, ότι οι δεξαμενές μπορούν να παρέχουν δευτερογενή πλεονεκτήματα όπως είναι η άρδευση και ο έλεγχος των υδάτων, και δεύτερον ότι η υδροηλεκτρική ενέργεια έχει λειτουργική ευκαμψία η οποία βελτιώνει την αξιοπιστία της παροχής ηλεκτρισμού.

Η υδροηλεκτρική ενέργεια δεν παράγει κατά τη λειτουργία της ουσιαστικά κανένα διοξείδιο του άνθρακα ή άλλες επιβλαβείς εκπομπές. Έτσι δεν αποτελεί σημαντικό παράγοντα στην παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου μέσω του παραγόμενου CO_2. Τα αέρια του θερμοκηπίου παράγονται κυρίως στη φάση της κατασκευής του υδροηλεκτρικού εργοστασίου. Οι εκπομπές μικρών υδροηλεκτρικών έργων κυμαίνονται μεταξύ **2 και 9 g CO_2 eq. / kWh.** Ωστόσο, σε μερικές περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται δεξαμενές (άρα είναι συμβατικός σταθμός / ρυθμιζόμενη παροχή) εκπέμπονται σημαντικές ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου εξαιτίας της πλημμυρισμένης βιομάζας και εδάφους. Η πλημμυρισμένη βιομάζα αποσυντίθεται αερόβια (παράγοντας διοξείδιο του άνθρακα) και αναερόβια (παράγοντας διοξείδιο του άνθρακα και μεθάνιο). Οι ποσότητες των αερίων εξαρτώνται από το μέγεθος της δεξαμενής, το είδος και την ποσότητα της βυθιζόμενης χλωρίδας, το είδος του εδάφους, το βάθος του νερού και το κλίμα. Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, η ποσότητα των εκπομπών ποικίλει αρκετά εξαιτίας των προαναφερθέντων παραγόντων. Έτσι, για δεξαμενές σε αλπικές περιοχές οι τιμές των εκπομπών βρίσκονται στο επίπεδο των 0,35 g CO_2 eq. / kWh , ενώ σε χώρες όπως η Φιλανδία στο 30 g CO_2 eq. / kWh.

Συνολικά, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου των υδροηλεκτρικών έργων κυμαίνονται μεταξύ 1 και 34 g CO_2 eq. / kWh [3.5]. Εξαρτώνται από το είδος του εργοστασίου (ρυθμιζόμενης ή φυσικής παροχής), το μέγεθός του, καθώς και από την ποσότητα ηλεκτρικού ρεύματος που απαιτείται για τη λειτουργία του εργοστασίου. Οι αποτιμήσεις της υδροηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να διαφέρουν αρκετά μεταξύ τους και αυτό εξαρτάται από το αν οι κατασκευές είναι ή όχι σχεδιασμένες για ενεργειακό μόνο σκοπό. Για παράδειγμα, εάν ένα έργο είναι κατασκευασμένο και για αρδευτικό σκοπό, τότε η δεξαμενή απαιτείται να είναι μεγαλύτερη, επηρεάζοντας αρνητικά έναν μεγάλο αριθμό περιβαλλοντικών πόρων, ενώ οι απώλειες νερού οδηγούν στη μείωση της παραγόμενης ενέργειας [3.4].

3.3.3.4 Βιομάζα

Η βιομάζα είναι μέρος του κύκλου του άνθρακα. Ο άνθρακας από την ατμόσφαιρα μετατρέπεται σε βιολογική ύλη μέσω της φωτοσύνθεσης. Στην αποσύνθεση ή την καύση ο άνθρακας επιστρέφει στην ατμόσφαιρα ή το χώμα. Αυτό συμβαίνει μετά από ένα σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα. Τα φυτά που χρησιμοποιούνται ως καύσιμα μπορούν να αντικαθίστανται συνεχώς με φύτευση νέας σοδιάς. Συνήθως το ποσό του άνθρακα που αποθηκεύεται στη βιομάζα είναι περίπου το 50% του βάρους της βιομάζας [3.17]. Αν και η βιομάζα είναι ανανεώσιμο καύσιμο, καλείται μερικές φορές ως "ανθρακικά ουδέτερο" καύσιμο. Αυτό συμβαίνει διότι όσο διοξείδιο παράγεται κατά την καύση τόσο απορροφάται κατά την παραγωγή της βιομάζας. η χρήση της μπορεί ακόμα να συμβάλει στην παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου. Αυτό συμβαίνει όταν η φυσική ισορροπία άνθρακα είναι διαταραγμένη πχ. με την αποψίλωση των δασών ή την αστικοποίηση των πράσινων περιοχών. Αυτές οι δραστηριότητες είναι γνωστές ως "διαρροή του άνθρακα".

Οι εκπομπές από διαφορετικά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα ποικίλουν σημαντικά μεταξύ τους, μιας και εξαρτώνται από την αποδοτικότητα της καύσης και το είδος τη τροφοδοσίας (ρινίσματα, κορμοί δέντρων, σβόλοι, αέριο). Κατά τον κύκλο ζωής της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου εξαρτώνται από την ενεργειακή απόδοση του καυσίμου, τις ιδιότητες του καυσίμου, καθώς επίσης και από την αποδοτικότητα της τεχνολογίας μετατροπής της θερμότητας σε ηλεκτρισμό. Το εύρος των τιμών των εκπομπών είναι περίπου το ακόλουθο: **35 έως 130 g CO_2 eq. / kWh** [3.5]. Το μεγαλύτερο κομμάτι των εκπομπών παράγεται στο στάδιο της καύσης, ενώ οι εκπομπές των υπόλοιπων φάσεων είναι αμελητέες.

Η παραγωγή των βιολογικών καυσίμων από τις πρώτες ύλες απαιτεί ενέργεια (για την καλλιέργεια, τη μεταφορά και τη μετατροπή στο τελικό προϊόν, την παραγωγή των λιπασμάτων, των φυτοφαρμάκων, των ζιζανιοκτόνων και των μυκητοκτόνων). Το επίπεδο ενεργειακών δαπανών ποικίλλει από τοποθεσία σε τοποθεσία. Οι πιο εντατικές, με υψηλή παραγωγή, γενετικά κατασκευασμένες, γεωργικές μέθοδοι συγκομιδών, όπως εκείνες που βρίσκονται στις δυτικές χώρες, απαιτούν περισσότερη ενέργεια και νερό. Όσο περισσότερα μηχανήματα χρησιμοποιούνται για την καλλιέργεια, τόσο μεγαλύτερη είναι η ενέργεια που χρησιμοποιείται στη διαδικασία. Οι αναπτυσσόμενες χώρες τείνουν να έχουν ενεργειακά φτωχές, με χαμηλή παραγωγή, γεωργικές μεθόδους. Είναι δυνατό να παραχθεί η βιομάζα χωρίς μεγάλες ενεργειακές δαπάνες. Παραδείγματος χάριν, η συγκομιδή άγριας χλόης και τα ξύλινα υποπροϊόντα των δασών μπορούν να πραγματοποιηθούν χωρίς μεγάλη ενεργειακή δαπάνη. Εντούτοις, η παραγωγή της βιομάζας από τέτοιους πόρους δεν είναι αρκετά μεγάλη για να υποστηρίξει την κατασκευή βιοκαυσίμων σε μια μεγάλη κλίμακα.

Η ενεργειακή ισορροπία των βιοκαυσίμων καθορίζεται ως η ποσότητα ενέργειας που εισάγεται για την κατασκευή των καυσίμων προς την ποσότητα ενέργειας που απελευθερώνεται όταν καίγονται. Το βιοντήζελ που προέρχεται από τους ηλίανθους μπορεί να παράγει μόνο 0,46 φορές το ποσοστό της εισαγόμενης ενέργειας [3.18]. Το βιοντήζελ που προέρχεται από τη σόγια μπορεί να παράγει 3,2 φορές το ποσοστό της εισαγόμενης ενέργειας ορυκτών καυσίμων.[3.19] Αυτό συγκρίνεται με το 0,805 για τη βενζίνη και 0,843 για το ντήζελ που γίνεται από το πετρέλαιο. [3.20] Το πετρέλαιο μπορεί να αντληθεί από το υπέδαφος και να υποβληθεί σε επεξεργασία αποτελεσματικότερα από τα βιολογικά καύσιμα . Εντούτοις, αυτός δεν είναι λόγος για να χρησιμοποιηθεί το πετρέλαιο αντί των βιολογικών καυσίμων.

Η ενεργειακή ισορροπία είναι ευνοϊκότερη για τα βιολογικά καύσιμα που παράγονται από τις συγκομιδές στις υποτροπικές ή τροπικές περιοχές από εκείνα που παράγονται από τις συγκομιδές των εύκρατων περιοχών, όπου υπάρχει χιόνι κατά το μεγαλύτερο μέρος του έτους, και η εποχή καλλιέργειας της βιομάζας είναι σύντομη. Αυτό οφείλεται κατά ένα μεγάλο μέρος στην αυξανόμενη παραγωγή της βιομάζας στις περιοχές που λαμβάνουν μεγαλύτερη ηλιακή ακτινοβολία (όπως είναι η ισημερινή Βραζιλία).

Οι αξιολογήσεις των κύκλων ζωής της παραγωγής βιοκαυσίμων δείχνουν ότι κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, η μείωση της ενέργειας και των εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου είναι περιορισμένη. Οι εισαγωγές λιπάσματος και η μεταφορά της βιομάζας σε μεγάλες αποστάσεις μπορούν να μειώσουν το περιβαλλοντικό όφελος. Η θέση των εγκαταστάσεων επεξεργασίας βιολογικών καυσίμων μπορεί να προγραμματιστεί έτσι ώστε να ελαχιστοποιεί την ανάγκη για τη μεταφορά, και η γεωργική φροντίδα μπορεί να αναπτυχθεί έτσι ώστε να περιοριστεί η ποσότητα του λιπάσματος που χρησιμοποιείται για την παραγωγή βιομάζας. Η ΑΚΖ δείχνει ότι βιοκαύσιμα εξοικονομούν περίπου το 50% των εκπομπών του CO_2 των ισοδύναμων ορυκτών καυσίμων. Αυτό το ποσοστό μπορεί να αυξηθεί στα 80% έως 90% αποταμίευσης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου εάν στις διαδικασίες παραγωγής χρησιμοποιηθούν μικρότερες ποσότητες λιπάσματος.

Μερικές περιβαλλοντικές ομάδες υποστηρίζουν ότι τα βιοκαύσιμα αποτελούν ένα σημαντικό βήμα προς την επιβράδυνση ή και την παύση της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής. Βέβαια, η παραγωγή βιοκαυσίμων μπορεί να απειλήσει το περιβάλλον εάν δεν γίνει βιώσιμα. Κατά συνέπεια, κυβερνητικές [3.21] και περιβαλλοντικές οργανώσεις εναντιώνονται στα βιολογικά καύσιμα που παράγονται με μη βιώσιμες μεθόδους. Επίσης, εκτός από την υποστήριξη αυτών των πιο βιώσιμων βιοκαυσίμων, οι περιβαλλοντικές οργανώσεις προωθούν τεχνολογίες που δεν χρησιμοποιούν μηχανές εσωτερικής καύσης, όπως είναι το υδρογόνο (βλ. ενότητα 3.3.3.5) [3.22].

Η αυξανόμενη παραγωγή των βιοκαυσίμων θα απαιτήσει περισσότερο έδαφος για να χρησιμοποιηθεί για τη καλλιέργεια. Οι διαδικασίες βιοκαυσίμων δεύτερης γενεάς μπορούν να διευκολύνουν την κατάσταση, επειδή μπορούν να χρησιμοποιήσουν τη βιομάζα των αποβλήτων, και τις υπάρχουσες (αναξιοποίητες) πηγές βιομάζας όπως είναι τα υπολείμματα συγκομιδών και ενδεχομένως ακόμη και τη θαλάσσια άλγη. Σε μερικές περιοχές του κόσμου, ένας συνδυασμός της αυξανόμενης ζήτησης για τρόφιμα και της αυξανόμενης ζήτησης για τα βιοκαύσιμα, προκαλεί αυξημένη αποψίλωση των δασών και απειλεί την βιοποικιλότητα. Ένα παράδειγμα αυτής της κατάστασης είναι η επέκταση των φυτειών ελαιοφοινίκων στη Μαλαισία και την Ινδονησία, όπου το τροπικό δάσος καταστρέφεται για να δημιουργηθούν νέες φυτείες ελαιοφοινίκων. Είναι σημαντικό το γεγονός ότι το 90% του βιοντήζελ από φοίνικες που παράγεται στη Μαλαισία χρησιμοποιείται από τη βιομηχανία τροφίμων [3.23] Επομένως τα βιοκαύσιμα δεν μπορούν να θεωρηθούν ως μοναδικοί αρμόδιοι για αυτήν την καταπάτηση του δάσους.

Αν και τα βιοκαύσιμα θεωρούνται ότι βελτιώνουν την εκπομπή του άνθρακα, το βιοντήζελ και άλλα καύσιμα δημιουργούν τοπική ατμοσφαιρική ρύπανση, συμπεριλαμβανομένων των οξειδίων αζώτου, την κύρια αιτία της αιθαλομίχλης.

3.3.3.5 Κυψέλες καυσίμου

Η πλειοψηφία των Αναλύσεων Κύκλου Ζωής που πραγματοποιούνται στις κυψέλες καυσίμου έχει εστιάσει στην χρήση τους στα οχήματα παρά ως συνδεδεμένο με το δίκτυο σύστημα παραγωγής ενέργειας. Βέβαια, οι κυψέλες καυσίμου για να λειτουργήσουν απαιτούν υδρογόνο, το οποίο παρασκευάζεται μέσω της ηλεκτρόλυσης νερού (χρήσει ηλεκτρολύτη) ή αναμόρφωσης του φυσικού αερίου (χρήσει αναμορφωτή). Οι περισσότερες από τις μελέτες που αναφέρονται στη βιβλιογραφία συσχετίζονται με την παραγωγή υδρογόνου μέσω της μετατροπής του φυσικού αερίου. Οι κυψέλες καυσίμου εκπέμπουν μόνο νερό κατά τη διάρκεια της χρήσης τους, παράγοντας εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά τη διάρκεια του μεγαλύτερου μέρους της παραγωγής υδρογόνου.

Αν και οι κυψέλες καυσίμου εκπέμπουν κατά τη λειτουργία τους μόνο νερό ως απόβλητο, προκαλείται συχνά ρύπανση κατά την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για να παραχθεί το υδρογόνο που οι κυψέλες καυσίμων χρησιμοποιούν ως πηγή ενέργειας. Αυτές οι εκπομπές θα μειωθούν εάν για την παραγωγή του υδρογόνου χρησιμοποιηθεί ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από υδροηλεκτρική, γεωθερμική, ηλιακή, αιολική ή άλλη μορφή ανανεώσιμης πηγής ενέργειας. Το υδρογόνο είναι τόσο καθαρό όσο οι πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται για να παράγουν την απαιτούμενη ενέργεια για τη διαδικασία παραγωγής υδρογόνου.

Οι συνολικές εκπομπές κατά την παραγωγή των κυψελών καυσίμου υπολογίζεται στα **19,89 g CO_2 eq. / kWh** και η κατανάλωση ενέργειας στα 0.1275 MJ/kW. Πιο αναλυτικά, τα **2,48 g CO_2 eq. / kWh** προέρχονται από την κατανάλωση ενέργειας, το **15,56 g CO_2 eq. / kWh** από την παραγωγή υλικού και το υπόλοιπο από τη μεταφορά και την τελική διάθεση. Η παραγωγή υδρογόνου μέσω της ηλεκτρόλυσης του νερού και της αποθήκευσής του είναι ένα κρίσιμο κομμάτι του συστήματος. Η εκπομπές της λειτουργία του ηλεκτρολύτη κυμαίνονται μεταξύ **11,13 και 1068,2 g CO_2 eq. / kWh**. Το κάτω όριο απέχει πολύ από το πάνω διότι, όπως προαναφέρθηκε η παραγωγή υδρογόνου μέσω ηλεκτρολύτη εκπέμπει αέρια του θερμοκηπίου σχεδόν τόσα όσα εκπέμπει η τεχνολογία παραγωγής ενέργειας που τροφοδοτεί με ηλεκτρική ενέργεια τον ηλεκτρολύτη έτσι ώστε να λειτουργήσει. Σύμφωνα με τα στοιχεία άλλων ερευνών, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά την κατασκευή και εγκατάσταση του ηλεκτρολύτη, συμπεριλαμβανομένης και της δεξαμενής αποθήκευσης υδρογόνου, υπολογίζονται από **34,75 g CO_2 eq. / kWh** έως **40,6 g CO_2 eq. / kWh**.

3.3.4 Περιφερειακά Συστήματα

3.3.4.1 Μετατροπέας

Για τον μετατροπέα δεν βρέθηκαν στοιχεία ΑΚΖ. Στην παρούσα εργασία οι εκπομπές του θα θεωρηθούν αμελητέες διότι πιθανόν σε σχέση με τις εκπομπές των υπόλοιπων στοιχείων του συστήματος (πχ ντηζελογεννήτριες, φωτοβολταϊκά) στο οποίο συμμετέχει, η συμβολή των εκπομπών του μετατροπέα να είναι μηδαμινή.

3.3.4.2 Συσσωρευτές (μπαταρίες)

Από την ανάπτυξή τους (πάνω από 250 έτη πριν) οι μπαταρίες έχουν παραμείνει μεταξύ των ακριβότερων πηγών ενέργειας, και η κατασκευή τους καταναλώνει πολλούς πολύτιμους πόρους. Περιλαμβάνει συχνά επικίνδυνες χημικές ουσίες. Οι χρησιμοποιημένες μπαταρίες συμβάλλουν επίσης στα λεγόμενα «ηλεκτρονικά απόβλητα». Για αυτούς τους λόγους, πολλές περιοχές έχουν υπηρεσίες ανακύκλωσης μπαταριών διαθέσιμες για να ανακτήσουν μερικά από τα τοξικότερα (και μερικές φορές πολύτιμα) υλικά από τις χρησιμοποιημένες μπαταρίες [3.24]. Είναι επίσης σημαντικό να αποτραπούν επικίνδυνα στοιχεία από την είσοδό τους στο περιβάλλον, όπως ο μόλυβδος, ο υδράργυρος και το κάδμιο, τα οποία βρίσκονται σε αρκετούς τύπους μπαταριών.

Όσον αναφορά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου βρέθηκαν τιμές μόνο για μοντέλο Surrette 6CS25P, μοντέλο που χρησιμοποιείται και στις εφαρμογές του 5^{ου} κεφαλαίου. Η τιμή των εκπομπών της είναι **62 g CO_2 eq. / kWh / έτος** .

3.4 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[3.1] E. Nieuwlaar, "Life Cycle Assessment and Energy Systems," *Encyclopedia of Energy*, Vol. 3. pp. 647-654, 2004.

[3.2] B. Sorensen, "Life Cycle Analysis of Renewable Energy Systems," *Renewable Energy*, Vol. 5, pp. 1270-1277, 1994.

[3.3] International Organization for Standardization (ISO), www.iso.org, Accessed on 12/10/2007

[3.4] L. Gagnon, C. Belanger, Y. Uchiyama, "Life-cycle assessment of electricity generation options: the status of research in year 2001", *Energy Policy*, Vol. 30, No. 14, pp.1267-1278, 2002.

[3.5] D. Weisser, "A guide to life-cycle greenhouse gas (GHG) emissions from electric supply technologies," *Energy*, Vol. 32, pp. 1543–1559, 2007.

[3.6] Vestas, "Life cycle assessment of electricity produced from onshore sited wind power plants based on Vestas V82-1.65 MW turbines," Vestas Corp., Denmark, 2006.

[3.7] R. Gross, P. Heptonstall, D. Anderson, et al., "The cost and impacts of intermittency, A report of the technology and policy assessment function of the UKERC," London, UK, Publisher: Imperial College, ICEPT/UKERC, 2006.

[3.8] International Energy Agency (IEA), "Toward a Sustainable Energy Future," OECD/IEA, Paris, France, 2001.

[3.9] United States Government Accountability Office, "Renewable Energy — Wind Power's Contribution to Electric Power Generation and Impact on Farms and Rural Communities," Report to the Ranking Democratic Member, Committee on Agriculture, Nutrition, and Forestry, U.S. Senate, USA, September, 2004.

[3.10] British Wind Energy Association (BWEA), "Wind energy Frequently Asked Questions" [Online], Available at: www.bwea.com, 2006.

[3.11] WindWatch, "Forest clearance for Meyersdale, Pa. Wind Power facility" [Online], Available at: www.wind-watch.org.

[3.12] J. Cummings, "Ocean Noise: What We Learned in 2006," Acoustic Ecology Institute [Online], Available at: www.acousticecology.org/docs/AEI_OceanNoise2006.doc, 2008.

[3.13] M. Oliver, T. Jackson, "The evolution of economic and environmental cost for crystalline silicon photovoltaic," *Energy Policy*, Vol. 28, issue 14, pp. 1011-1021, 2000.

[3.14] E.A. Alsema, M.J de Wild-Scholten, V.M. Fthenakis, "Enviromental impacts of PV electricity generation – a critical comparison of energy supply options," Presented at 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Dresden, Germany, 4-8 September, 2006.

[3.15] D. Pearce, "Energy Policy and Externalities: An Overview," Presented at OECD Nuclear Energy Agency Keynote address to Workshop on Energy Policy and Externalities: the Life Cycle Analysis Approach, Paris, 15-16 November, 2001.

[3.16] R. Kannan, K.C. Leong, R. Osman, H.K. Ho, C.P. Tso, "Life cycle assessment study of solar PV systems: An example of a 2.7 kWp distributed solar PV system in Singapore," *Solar Energy*, Vol. 80, pp. 555–563, 2005.

[3.17] J.T. Houghton, G.J. Jenkins, J.J. Ephraums, "Climate change: The IPCC scientific assessment," Publisher: Cambridge University Press, Cambridge, MA (United States), May, 2001.

[3.18] D. Pimentel, T.W. Patzek, "Ethanol production using corn, switchgrass and wood - biodiesel production using soybean and sunflower," *Natural Resources Research,* Vol. 14, No.1, pp. 65-76, 2005.

[3.19] J. Sheehan, V. Camobreco, J. Duffield, M. Graboski, H. Shapouri. "Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus: Final Report," NREL/SR-580-24089 (Golden, CO: National Renewable Energy

Laboratory), web site www. nrel.gov/docs/legosti/fy98/24089.pdf, May, 1998.

[3.20] H. Shapouri, J. Duffield, and M. Wang, "The Energy Balance of Corn Ethanol: An Update," U.S. Department of Agriculture, Office of the Chief Economist, Office of Energy Policy and New Uses (USDA-OCE). Agricultural Economic Report No. 813, 2002.

[3.21] European Environmental Bureau, "Biofuels no panacea: EEB urges Commission to keep close on wider environmental and social impacts" [Online], Available at: http://www.eeb.org/press/pr_biofuels_no_panacea_080206.htm, 2006.

[3.22] VIEWLS project, "Shift Gear to Biofuels, Results and recommendations from the VIEWLS project European," VIEWLS Biofuel report p.28 fig.4 [Online]. Available at: http://www.tmleuven.be/project/viewls/final_report_viewls.pdf, November, 2005.

[3.23] Friends Of Earth, "Sustainable palm oil advert false," http://www.foe.co.uk/resource/press_releases/sustainable_palm_oil_adver_09012008.html, Accessed on 21/11/2007

[3.24] Battery Recycling, "Battery Recycling Program," http://www.batteryrecycling.com/freebattrecprog.html, Accessed on 21/11/2007

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ HOMER

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το HOMER, το μοντέλο βελτιστοποίησης για διανεμημένη ενέργεια, απλοποιεί την επίπονη δουλειά της αξιολόγησης σχεδίων για μία ποικιλία εφαρμογών, είτε αφορούν σε εκτός είτε σε εντός δικτύου ενεργειακά συστήματα. Όταν σχεδιάζεται ένα ενεργειακό σύστημα, πρέπει να λαμβάνονται αποφάσεις για την διαμόρφωση του συστήματος, όπως:

- Ποια συνθετικά στοιχεία έχει νόημα να συμπεριληφθούν στην σχεδίαση του συστήματος (π.χ. ανεμογεννήτρια, φωτοβολταϊκά, ντηζελογεννήτρια, κ.τ.λ.).

- Πόσα και τι μεγέθους στοιχεία πρέπει να χρησιμοποιηθούν (πχ. 3 ανεμογεννήτριες των 10 kW η καθεμία κ.τ.λ.).

- Ποια σχεδίαση υβριδικού συστήματος έχει το μικρότερο κόστος.

Το HOMER βελτιστοποιεί υβριδικά συστήματα ενιαίων ή πολλαπλών πηγών ενέργειας όπως:

- Φωτοβολταϊκά
- Ανεμογεννήτριες
- Βιομάζα
- Ντηζελογεννήτριες
- Υδροηλεκτρικά συστήματα
- Μπαταρίες
- Ηλεκτρικό δίκτυο
- Κυψέλες καυσίμου
- Ηλεκτρολύτες

Ο μεγάλος αριθμός των τεχνολογικών επιλογών και η απόκλιση τόσο του τεχνολογικού κόστους όσο και της διαθεσιμότητας των ενεργειακών πόρων δυσκολεύουν αυτές τις αποφάσεις. Η βελτιστοποίηση και οι αλγόριθμοι αναλυτικής ευαισθησίας του HOMER διευκολύνουν στην αποτίμηση των τόσο πολλών πιθανών διατάξεων του συστήματος.

4.2 ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ HOMER

Για να χρησιμοποιηθεί το HOMER, εισάγονται στο μοντέλο δεδομένα, τα οποία περιγράφουν τεχνολογικές επιλογές, συμβαλλόμενα κόστη και η διαθεσιμότητα των πόρων. Το HOMER χρησιμοποιεί αυτά τα δεδομένα για να προσομοιώσει διαφορετικές διατάξεις του συστήματος (ή συνδυασμούς των συνθετικών στοιχείων) και παράγει αποτελέσματα τα οποία παρατίθενται ως λίστα πιθανών διατάξεων, ταξινομημένα με βάση το παρόν καθαρό κόστος. Το HOMER παραθέτει επίσης τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μέσω μιας πληθώρας πινάκων και γραφημάτων τα οποία βοηθούν στην σύγκριση των διατάξεων και στην αποτίμηση της οικονομικής και τεχνολογικής τους αξίας. Οι πίνακες και τα γραφήματα μπορούν να εξαχθούν για να χρησιμοποιηθούν σε αναφορές και παρουσιάσεις.

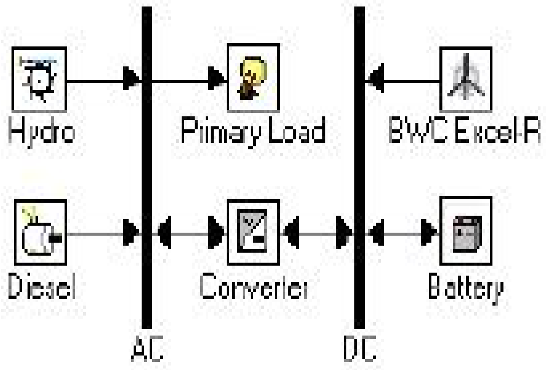
Εκτελώντας στο μοντέλο ανάλυση ευαισθησίας, τότε μπορεί κανείς να εξετάσει την επίδραση που μπορεί να επιφέρουν αλλαγές σε παράγοντες όπως η διαθεσιμότητα των πόρων και οι οικονομικές καταστάσεις πάνω στην οικονομική αποτελεσματικότητα διαφορετικών διατάξεων του συστήματος. Για να εκτελεστεί μια ανάλυση ευαισθησίας, πρέπει το HOMER να εφοδιαστεί με τιμές ευαισθησίας οι οποίες θα περιγράφουν μία διακύμανση της διαθεσιμότητας των πόρων και του συμβαλλόμενου κόστους. Το HOMER προσομοιώνει κάθε πιθανή διάταξη του συστήματος που μπορεί να παραχθεί μέσα στο πλαίσιο των εκάστοτε δεδομένων. Τα αποτελέσματα μιας ανάλυσης ευαισθησίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον προσδιορισμό των παραγόντων που έχουν τον μεγαλύτερο αντίκτυπο στον σχεδιασμό και την λειτουργία ενός ενεργειακού συστήματος. Επίσης, τα αποτελέσματα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να απαντηθούν γενικά ερωτήματα που αφορούν τεχνολογικές επιλογές σε θέματα σχεδιασμού και πολιτικής.

4.3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ HOMER

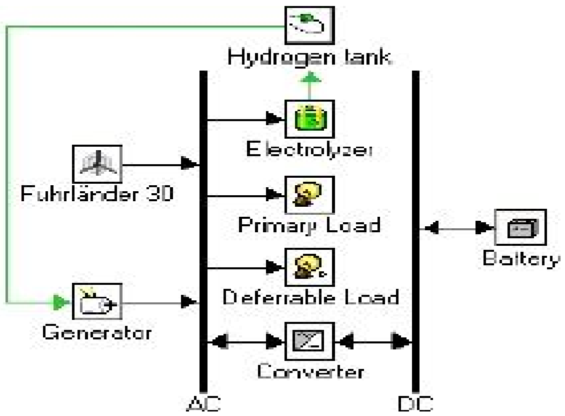
4.3.1 Προσομοίωση

Το HOMER προσομοιώνει τη λειτουργία ενός συστήματος υπολογίζοντας τον ενεργειακό ισολογισμό κάθε μιας από τις 8.760 ώρες ενός χρόνου. Για κάθε ώρα, το HOMER συγκρίνει την ηλεκτρική και την θερμική ζήτηση της συγκεκριμένης ώρας με την ενέργεια που μπορεί να παρέχει το σύστημα τη δεδομένη αυτή ώρα. Υπολογίζει επίσης τη ροή της ενέργειας από και προς κάθε στοιχείο του συστήματος. Όσο αναφορά τα συστήματα που περιέχουν μπαταρίες ή γεννήτριες καυσίμων, το HOMER αποφασίζει για κάθε ώρα πως θα λειτουργήσουν οι γεννήτριες και εάν φορτιστούν ή αποφορτιστούν οι μπαταρίες.

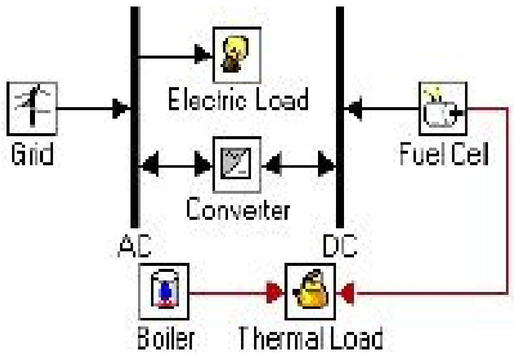
Το HOMER εκτελεί αυτούς υπολογισμούς των ενεργειακών ισολογισμών για κάθε μία διάταξη του συστήματος που χρειάζεται να μελετηθεί. Μετά καθορίζει εάν μία διάταξη είναι εφικτή (π.χ. εάν μπορεί να ικανοποιηθεί η ζήτηση κάτω από τις συνθήκες που έχουν οριστεί) και υπολογίζει το κόστος της εγκατάστασης και της λειτουργίας του συστήματος για όλη τη διάρκεια ζωής του έργου. Οι υπολογισμοί του κόστους του συστήματος αναφέρονται σε δαπάνες όπως είναι το κόστος κεφαλαίου, το κόστος αντικατάστασης, το κόστος λειτουργίας, το κόστος συντήρησης, το κόστος καυσίμων και το επιτόκιο. Στα Σχήματα 4.1 έως 4.3 παρατίθενται ορισμένα χαρακτηριστικά παραδείγματα συστημάτων ενέργειας που μπορούν να προσομοιωθούν με το HOMER.



Σχήμα 4.1: Υβριδικό σύστημα με ανεμογεννήτρια, ντηζελογεννήτρια, μπαταρία και υδροηλεκτρικό σύστημα.



Σχήμα 4.2: Υβριδικό σύστημα αποτελούμενο από ντηζελογεννήτρια, ανεμογεννήτρια, δεξαμενή υδρογόνου, μπαταρία, ηλεκτρολύτη και μετατροπέα.



Σχήμα 4.3: Υβριδικό σύστημα αποτελούμενο από κυψέλες καυσίμου, μετατροπέα, θερμοσίφωνα και ηλεκτρικό δίκτυο.

4.3.2 Βελτιστοποίηση

Αφού προσομοιωθούν όλοι οι πιθανοί σχηματισμοί του συστήματος, το HOMER παραθέτει μια λίστα από συνδυασμούς, ταξινομημένοι κατά αύξοντα καθαρό κόστος (το μερικές φορές αποκαλούμενο και κόστος κύκλου ζωής). Η λίστα μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη σύγκριση διαφόρων κατασκευαστικών επιλογών του συστήματος. Στο Πίνακα 4.1 φαίνονται τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης καθώς και όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί ενός υβριδικού συστήματος ενέργειας ταξινομημένου σύμφωνα με το καθαρό παρόν κόστος. Πρέπει επίσης να αναφέρουμε ότι η ταξινόμηση των συστημάτων ενέργειας του Πίνακα 4.1 είναι ολική, δηλαδή έχουν αποτυπωθεί όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί των συστημάτων.

Πίνακας 4.1: Παράδειγμα ολικών αποτελεσμάτων βελτιστοποίησης του HOMER**,** όπου το πιο οικονομικό υβριδικό σύστημα έχει καθαρό παρόν κόστος €849.905 και αποτελείται από μία Α/Γ των 135 kW, μία μπαταρία 64 στοιχείων και ένα μετατροπέα 30 kW.

FL30	Gen (kW)	Batt.	Conv. (kW)	Initial Capital	Total NPC	COE ($/kWh)	Diesel (L)	Gen (hrs)
1	135	64	30	$ 216,500	$ 849,905	0.273	75,107	4,528
2	135	64	30	$ 346,500	$ 854,660	0.274	54,434	3,350
1	135	48	30	$ 200,500	$ 855,733	0.275	78,061	4,910
2	135	48	30	$ 330,500	$ 856,335	0.275	57,654	3,685
2	135	32	30	$ 314,500	$ 873,322	0.280	62,394	4,139
2	135	96	60	$ 401,000	$ 878,370	0.282	48,139	2,603
2	135	64	60	$ 369,000	$ 880,421	0.282	52,999	3,195
	135	64	30	$ 86,500	$ 885,175	0.284	101,290	5,528
1	135	96	30	$ 248,500	$ 887,379	0.285	74,193	4,346
	135	48	30	$ 70,500	$ 888,528	0.285	104,009	6,067
1	135	32	30	$ 184,500	$ 889,688	0.285	85,310	5,615
2	135	96	30	$ 378,500	$ 890,504	0.286	52,442	3,136
2	135	48	60	$ 353,000	$ 891,896	0.286	57,316	3,615
2	135	32	60	$ 337,000	$ 905,969	0.291	62,312	4,080
2	135	128	60	$ 433,000	$ 907,508	0.291	45,596	2,226
1	135	64	60	$ 239,000	$ 911,667	0.292	77,753	4,613
	135	96	30	$ 118,500	$ 912,410	0.293	101,003	5,330

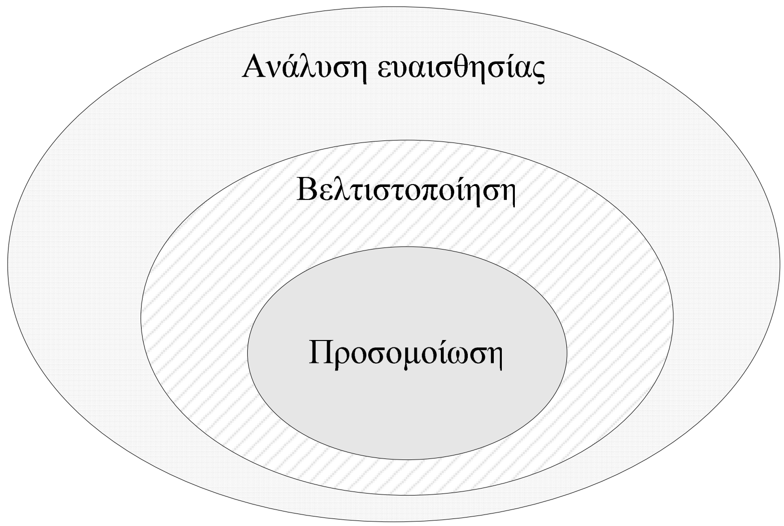
Αντίθετα, ο Πίνακας 4.2 περιέχει τα κατηγοριοποιημένα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης του HOMER. Δηλαδή ο Πίνακας 4.2 περιέχει τον φθηνότερο οικονομικά συνδυασμό από κάθε ομάδα συνδυασμών συστημάτων ενέργειας. Για παράδειγμα στον Πίνακα 4.1 έχουμε 7 συστήματα αποτελούμενα από τα ίδια στοιχεία, δηλαδή 1 Α/Γ, 1 ντηζελογεννήτρια, 1 ανορθωτή και 1 μπαταρία. Το ακριβότερο από αυτά τα συστήματα κοστίζει € 880.421 ενώ το φθηνότερο € 849.905. Τελικά στο Πίνακα 4.2 εμφανίζεται μόνο το φθηνότερο.

Πίνακας 4.2: Παράδειγμα κατηγοριοποιημένων αποτελεσμάτων βελτιστοποίησης του HOMER**,** που είναι υποσύνολο των αποτελεσμάτων του Πίνακα 4.1.

FL30	Gen (kW)	Batt.	Conv. (kW)	Initial Capital	Total NPC	COE ($/kWh)	Diesel (L)	Gen (hrs)
1	135	64	30	$ 216,500	$ 849,905	0.273	75,107	4,528
	135	64	30	$ 86,500	$ 885,175	0.284	101,290	5,528
	135			$ 0	$ 996,273	0.320	132,357	8,760
1	135			$ 130,000	$ 1,130,637	0.363	127,679	8,740

4.3.3 Ανάλυση Ευαισθησίας

Όταν καθορίζονται ως δεδομένα εισόδου διάφορες τιμές ευαισθησίας ,το HOMER επαναλαμβάνει τη διαδικασία της βελτιστοποίησης για κάθε τιμή ευαισθησίας που έχει οριστεί. Για παράδειγμα, εάν καθαριστεί ως μεταβλητή ευαισθησίας η ταχύτητα του ανέμου, το HOMER θα προσομοιώσει όλους τους σχηματισμούς του συστήματος που εμπεριέχονται στο διάστημα των τιμών του ανέμου που έχει οριστεί. Στο Σχήμα 4.4 φαίνεται η θεμελιώδης σχέση μεταξύ προσομοίωσης, βελτιστοποίησης και ανάλυσης ευαισθησίας.



Σχήμα 4.4: Θεμελιώδης σχέση μεταξύ προσομοίωσης, βελτιστοποίησης και ανάλυσης ευαισθησίας.

4.4 ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΕΙΣΟΔΟΥ ΚΑΙ ΕΞΟΔΟΥ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ HOMER

4.4.1 Φορτία

Στο Πίνακα 4.3: φαίνονται οι κατηγορίες των φορτίων του HOMER.

Πίνακας 4.3: Κατηγορίες φορτίων.

Α/Α	Περιγραφή	Description	Μονάδα
1	Κύριο φορτίο (1)	Primary load (1)	KW
2	Κύριο φορτίο (2)	Primary load (2)	kW
3	Θερμικό φορτίο	Thermal load	kW
4	Διακοπτόμενο φορτίο	Defferable load	kW

Οι τιμές των φορτίων που θα εισάγουμε στο πρόγραμμα σε kW δίδονται σε ωριαία βάση (24τιμές/ημέρα, 720τιμές/μήνα, κτλ). Το πρόγραμμα παρουσιάζει επίσης και σχεδιάγραμμα φορτίων στο οποίο απεικονίζεται η ωριαία ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας.

4.4.2 Στοιχεία του υβριδικού συστήματος

Στο Πίνακα 4.4 φαίνονται τα στοιχεία των υβριδικών συστημάτων του HOMER.

Πίνακας 4.4: Στοιχεία υβριδικών συστημάτων.

Α/Α	Περιγραφή	Description
1	Φωτοβολταϊκό	PV
2	Ανεμογεννήτρια	Wind turbine
3	Ντηζελογεννήτρια	Diesel generator
4	Ηλεκτρικό δίκτυο	Grid
5	Μπαταρία	Battery
6	Μετατροπέας	Converter
7	Ηλεκτρολύτης	Electrolyzer
8	Δεξαμενή Υδρογόνου	H_2 tank
9	Υδροηλεκτρικό σύστημα	Hydro
10	Γεννήτρια Βιομάζας	Biomass generator

4.4.3 Υπολογισμός εκπομπών μέσω του HOMER - Καυσαέρια ντηζελογεννήτριας

Στον Πίνακα 4.5 παρουσιάζονται δεδομένα καυσαερίων της ντηζελογεννήτριας.

Πίνακας 4.5: Καυσαέρια ντηζελογεννήτριας.

Α/Α	Περιγραφή	Description	Πλήθος τιμών	Μονάδα μέτρησης
1	Ποσό άνθρακα που εκπέμπεται ανά μονάδα καυσίμου	Carbon monoxide emissions factor	1	g/L
2	Ποσό υδρογονανθράκων που εκπέμπεται ανά μονάδα καυσίμου	Unburned hydroncarbon emissions factor	1	g/L
3	Ποσό καυσαερίων (αιθάλη, σταγονίδια) που εκπέμπεται ανά μονάδα καυσίμου	Particulate matter emissions factor	1	g/L
4	Ποσό θείου που εκπέμπεται ανά μονάδα καυσίμου	Sulfur emissions factor	1	g/L
5	Ποσό οξειδίων του αζώτου που εκπέμπεται ανά μονάδα καυσίμου	Nitrogen oxides factor	1	g/L

Στο HOMER υπολογίζονται μόνο οι εκπομπές άνθρακα που παράγονται κατά τη λειτουργία του συστήματος. ΔΕΝ συμπεριλαμβάνονται δηλαδή οι εκπομπές που προκύπτουν από τις Αναλύσεις Κύκλου Ζωής κάθε τεχνολογίας που συμμετέχει στο εκάστοτε σύστημα. Έτσι, οι εκπομπές άνθρακα προκύπτουν από την κατανάλωση καυσίμων (συμπεριλαμβανομένης της βιομάζας). Η ετήσια εκπομπή άνθρακα μιας γεννήτριας ή ενός λέβητα είναι ίση με την ετήσια κατανάλωση καυσίμων της επί την περιεκτικότητα σε άνθρακα των καυσίμων.

Στο Πίνακα 4.6 παρουσιάζονται όλα τα είδη καύσιμου υλικού που περιέχονται στη βιβλιοθήκη του HOMER.

Πίνακας 4.6: Είδη καυσίμου.

Βιοαέριο
Αιθανόλη
Προπάνιο
Ντήζελ
Βενζίνη
Υγραέριο
Υδρογονάνθρακες

4.4.4 Δεδομένα στοιχείων του συστήματος

4.4.4.1 Δεδομένα φωτοβολταϊκών

Στον Πίνακα 4.7 παρουσιάζονται τα δεδομένα των φωτοβολταϊκών.

Πίνακας 4.7: Δεδομένα φωτοβολταϊκών.

Α/Α	Περιγραφή	Description	Πλήθος τιμών δεδομένου	Μονάδα μέτρησης
1	Ένας παράγοντας κλιμάκωσης που ισχύει για την παραγωγή ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και καταγράφει τις απώλειες.	Derating factor	1	%
2	Ο τύπος συστήματος που χρησιμοποιείται για να κατευθύνει τις κλίσεις των φ/β προς τον ήλιο	Tracking system	1	
3	Η γωνία στην οποία τοποθετούνται τα φ/β σχετικά με τον ορίζοντα.	slope	1	degrees
4	Η κατεύθυνση ως προς την οποία τα φωτοβολταϊκά πλαίσια είναι γερμένα	azimuth	1	Degrees W of s
5	Το ποσοστό της επιφάνειας εδάφους στο οποίο αντανακλάται η ακτινοβολία	Ground reflectance	1	%
6	Χρόνος ζωής	Lifetime	1	hours

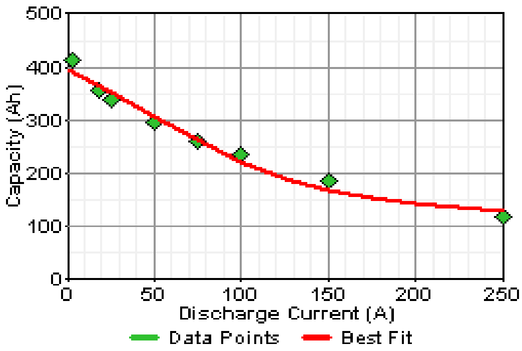
4.4.4.2 Δεδομένα μπαταρίας

Στον Πίνακα 4.8 παρουσιάζονται τα δεδομένα των μπαταριών.

Πίνακας 4.8: Δεδομένα μπαταρίας.

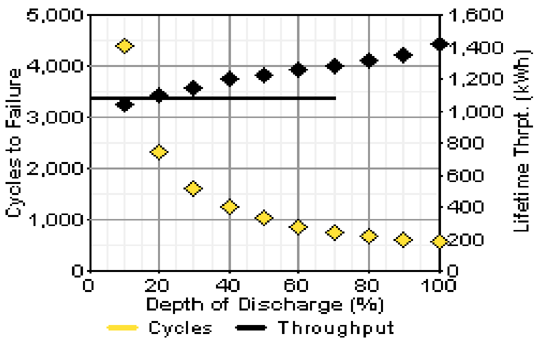
Α/Α	Περιγραφή	Description	Πλήθος τιμών	Μονάδα μέτρησης
1	Ονομαστική χωρητικότητα	Nominal capacity	1	Ah
2	Ονομαστική τάση	Nominal voltage	1	V
3	Το ποσοστό ενέργειας που αποθηκεύεται στη μπαταρία και μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί	Battery Roundtrip Efficiency	1	%
4	Η ελάχιστη στάθμη φόρτισης της μπαταρίας	Battery Minimum State Of Charge	1	%
5	Η μέγιστη διάρκεια ζωής της μπαταρίας, ανεξάρτητα από τη χρήση.	Battery Float Life	1	έτη
6	Μέγιστος ρυθμός φόρτισης της μπαταρίας	Battery Maximum Charge Rate	1	Σε A/Ah της ασυμπλήρωτης χωρητικότητας
7	Μέγιστο ρεύμα	Maximum charge current	1	Amp
8	Το συνολικό ποσό ενέργειας που μπορεί να ανακυκλωθεί μέσω της μπαταρίας προτού να χρειαστεί αντικατάσταση.	Lifetime throughput	1	kWh
9	Προτεινόμενος χρόνος χρησιμοποίησης της μπαταρίας	Suggested lifetime throughput	1	%
10	Η μέγιστη χωρητικότητα	Maximum capacity	1	Ah
11	Η αναλογία της χωρητικότητας της διαθέσιμης δεξαμενής σε συνδυασμό με τη χωρητικότητα και των δύο δεξαμενών (η μπαταρία μπορεί να αποτελείται από μία ή και περισσότερες δεξαμενές ενέργειας).	Capacity ratio	1	
12	Ένα μέτρο για το πόσο γρήγορα η ενέργεια μπορεί να κινηθεί μεταξύ των διαθέσιμων και συνδεδεμένων δεξαμενών.	Rate constant	1	hr

Η χωρητικότητα μιας μπαταρίας ορίζεται ως το ποσό ενέργειας που μπορεί να αντληθεί από αυτή ξεκινώντας από μια πλήρως φορτισμένη κατάσταση. Αλλά η ικανότητα μιας μπαταρίας εξαρτάται από το ρυθμό εκφόρτισης. Όσο πιο γρήγορη η εκφόρτιση, τόσο μικρότερη η ικανότητα. Μια καμπύλη χωρητικότητας δημιουργείται με τη μέτρηση της χωρητικότητας μιας μπαταρίας σε διαφορετικά σταθερά ρεύματα εκφόρτισης. Μια τέτοια καμπύλη φαίνεται στο Σχήμα 4.5.



Σχήμα 4.5: Καμπύλη χωρητικότητας.

Σε μια δοκιμή διάρκειας ζωής, μια μπαταρία υποβάλλεται στους επαναλαμβανόμενους κανονικούς κύκλους κατά τη διάρκεια των οποίων η μπαταρία φορτίζεται και εκφορτίζεται. Σε κάθε κύκλο, η μπαταρία εκφορτίζεται κάτω από ένα ορισμένο βάθος του ποσοστού εκφόρτισης και κατόπιν φορτίζεται πάλι πλήρως. Η δοκιμή διάρκειας ζωής καθορίζει σε πόσους τέτοιους κύκλους η μπαταρία μπορεί να χρησιμοποιηθεί προτού να χρειαστεί αντικατάσταση. Οι κατασκευαστές εκτελούν μια σειρά τέτοιων δοκιμών στα διαφορετικά βάθη εκφόρτισης για να δημιουργήσουν την καμπύλη διάρκειας ζωής της μπαταρίας όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.6.



Σχήμα 4.6: Καμπύλη διάρκειας ζωής.

Σαν δεδομένο εισόδου στα συστατικά μέρη, όταν το σύστημα περικλείει μπαταρία, είναι και ο τύπος της μπαταρίας. Η επιλογή γίνεται από έναν κατάλογο που περικλείει το HOMER.

4.4.4.3 Δεδομένα ανεμογεννήτριας

Στο Πίνακα 4.9 φαίνονται τα δεδομένα της ανεμογεννήτριας.

Πίνακας 4.9: Δεδομένα ανεμογεννήτριας.

Α/Α	Περιγραφή	Description	Πλήθος τιμών δεδομένου	Μονάδα μέτρησης
1	Χρόνος ζωής	Lifetime	1	έτη
2	Ένας παράγοντας κλιμάκωσης που χρησιμοποιείται για να ρυθμίσει την καμπύλη ισχύος των ανεμογεννητριών	Power Curve Scaling Factor	1	
3	Ένας παράγοντας κλιμάκωσης που χρησιμοποιείται για να ρυθμίσει τα στοιχεία της ταχύτητας του αέρα, ρυθμίζοντας τη διαφορά στο ύψος των ανεμόμετρων και στο ύψος των πλημνών της ανεμογεννήτριας	Wind speed scaling factor	1	

Σαν δεδομένο εισόδου στα στοιχεία, όταν το σύστημα περικλείει ανεμογεννήτρια, είναι και ο τύπος της ανεμογεννήτριας. Η επιλογή γίνεται από έναν κατάλογο που περιλαμβάνει το HOMER.

4.4.4.4 Δεδομένα υδροηλεκτρικού συστήματος

Στο Πίνακα 4.10 φαίνονται τα δεδομένα του υδροηλεκτρικού συστήματος.

Πίνακας 4.10: Δεδομένα υδροηλεκτρικού συστήματος.

Α/Α	Περιγραφή	Description	Πλήθος τιμών	Μονάδα μέτρησης
1	Η κάθετη πτώση μεταξύ της εισαγωγής της τουρμπίνας και του στροβίλου	Available head	1	m
2	Το ποσοστό ροής υγρού για το οποίο αυτός ο υδροστρόβιλος σχεδιάστηκε.	Design float rate	1	L/s
3	Το ελάχιστο ποσοστό ροής του υδροστροβίλου, ως ποσοστό του ονομαστικού ποσοστού ροής του.	Minimum flow ratio	1	%
4	Το μέγιστο ποσοστό ροής του υδροστροβίλου, ως ποσοστό του ονομαστικού ποσοστού ροής του.	Maximum flow ratio	1	%
5	Η μέση αποδοτικότητα με την οποία ο υδροστρόβιλος μετατρέπει την ενέργεια από νερό σε ηλεκτρική ενέργεια.	Generation efficiency	1	%
6	Απώλειες τριβής στους σωλήνες	Pipe head loss	1	%

4.4.4.5 Δεδομένα ηλεκτρικού δικτύου

Στο Πίνακα 4.11 φαίνονται τα δεδομένα του ηλεκτρικού δικτύου.

Πίνακας 4.11: Δεδομένα ηλεκτρικού δικτύου.

Α/Α	Περιγραφή	Description	Πλήθος τιμών δεδομένου	Μονάδα μέτρησης
1	Το κόστος αγοράς ενέργειας από το ηλεκτρικό δίκτυο	Grid power price	1	€/kWh
2	Καθαρή δοσολογία. Αποτελεί μια τιμολογιακή κατάσταση κατά την οποία το ποσό ενέργειας που αγοράζει κάποιος από το ηλεκτρικό δίκτυο το αγοράζει σε λιανική τιμή	Net metering	1	
3	Η τιμή που πληρώνεσαι για ενέργεια που πουλάς στο ηλεκτρικό δίκτυο.	Sellback rate	1	€/kWh
4	Η μηνιαία αμοιβή που χρεώνεται βάση της μηνιαίας μέγιστης ζήτησης.	Demand rate	1	€/kW/month

5	Η εφάπαξ αμοιβή που κοστίζει η σύνδεση του ηλεκτρικού δικτύου με το σύστημα ενέργειας. Σημείωση: αυτή η αμοιβή δεν ισχύει για αυτόνομα συστήματα.	Grid Interconnection Charge	1	€
6	Η ετήσια αμοιβή που εισπράττει κάποιος για την εφεδρική ενέργεια που πουλάει στο ηλεκτρικό δίκτυο. Σημείωση: Αυτή η αμοιβή δεν ισχύει για αυτόνομα συστήματα.	Grid Standby Charge	1	€/yr
7	Το μέγιστο ποσό ενέργειας που μπορεί να πωληθεί στο ηλεκτρικό δίκτυο.	Maximum power sale	1	kW
8	Τα καυσαέρια που εκπέμπονται ανά κιλό άνθρακα (όχι διοξείδιο του άνθρακα) και ανά kWh ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται.	grid carbon content	1	Kg/kWh

4.4.4.6 Δεδομένα μετατροπέα

Ο μετατροπέας DC/AC μετατρέπει τη συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη. Η ύπαρξη του μετατροπέα DC/AC είναι αναγκαία, διότι κάποια συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας παράγουν απευθείας συνεχή τάση, που εισέρχεται άμεσα στον μετατροπέα αυτό, ενώ πολλές συσκευές που προορίζονται να χρησιμοποιήσουν το ρεύμα αυτό, όπως οι οικιακές συσκευές, λειτουργούν με εναλλασσόμενη τάση.

Στο Πίνακα 4.12 φαίνονται τα δεδομένα του μετατροπέα.

Πίνακας 4.12: Δεδομένα μετατροπέα.

Α/Α	Περιγραφή	Description	Πλήθος τιμών	Μονάδα μέτρησης
1	Η αναμενόμενη διάρκεια ζωής του μετατροπέα, σε έτη.	Lifetime	1	έτη
2	Η απόδοση του μετατροπέα	Efficiency	1	%
3	Το δεδομένο αυτό ελέγχει εάν ο μετατροπέας μπορεί να λειτουργήσει ταυτόχρονα με μια ή περισσότερες γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος.	Inverter can operate simultaneously with an AC generator	1	

4.4.4.7 Δεδομένα ανορθωτή

Ένας ανορθωτής μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια εναλλασσόμενου ρεύματος σε ηλεκτρική ενέργεια συνεχούς. Τα δεδομένα του ανορθωτή φαίνονται στον Πίνακα 4.13.

Πίνακας 4.13: Δεδομένα ανορθωτή.

Α/Α	Περιγραφή	Description	Πλήθος τιμών	Μονάδα μέτρησης
1	Η χωρητικότητα του ανορθωτή σε σχέση με αυτήν του μετατροπέα	Capacity relative to inverter	1	%
2	Η απόδοση του ανορθωτή	Efficiency	1	%

4.4.4.8 Δεδομένα ηλεκτρολύτη

Ο ηλεκτρολύτης χρησιμοποιείται στην ηλεκτρόλυση του νερού. Κατά την ηλεκτρόλυση του νερού παράγεται το απαραίτητο για τη λειτουργία των κυψελών καυσίμου υδρογόνο.

Στο Πίνακα 4.14 φαίνονται τα δεδομένα του ηλεκτρολύτη.

Πίνακας 4.14: Δεδομένα ηλεκτρολύτη.

Α/Α	Περιγραφή	Description	Πλήθος τιμών	Μονάδα μέτρησης
1	Χρόνος ζωής	lifetime	1	έτη
2	Απόδοση ηλεκτρολύτη. Πιο συγκεκριμένα είναι η ποσότητα υδρογόνου που μπορεί να παραχθεί, διαιρούμενη με την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται	Efficiency	1	%
3	Η ελάχιστη ενέργεια στην οποία μπορεί να λειτουργήσει ο ηλεκτρολύτης	Minimum load ratio	1	%
4	Τι είδους ρεύμα καταναλώνει ο ηλεκτρολύτης	Type	1	

4.4.4.8 Δεδομένα δεξαμενής υδρογόνου

Στην δεξαμενή υδρογόνου αποθηκεύεται το παραγόμενο από την ηλεκτρόλυση υδρογόνο. Το υποθηκευμένο αυτό υδρογόνο εισάγεται στις κυψέλες καυσίμου οι οποίες το μετατρέπουν σε ηλεκτρική ενέργεια.

Στο Πίνακα 4.15 φαίνονται τα δεδομένα της δεξαμενής υδρογόνου.

Πίνακας 4.15: Δεδομένα δεξαμενής υδρογόνου.

Α/Α	Περιγραφή	Description	Πλήθος τιμών	Μονάδα μέτρησης
1	Χρόνος ζωής	lifetime	1	έτη
2	Η στάθμη της δεξαμενής στην αρχή της προσομοίωσης. Εκφράζεται είτε ως ποσοστό της συνολικής χωρητικότητας της δεξαμενής είτε ως απόλυτο μέγεθος	Initial tank level	1	%
3	Αν επιλέξουμε τη συγκεκριμένη επιλογή τότε το HOMER θεωρεί ως αναξιόπιστο οποιοδήποτε σύστημα στο τέλος του έτους περιέχει λιγότερο υδρογόνο από αυτό που περιείχε στην αρχή της προσομοίωσης	Require year-end tank level to equal or exceed initial tank level	1	

4.4.5 Πρόστιμα

Στο Πίνακα 4.16 φαίνονται τα δεδομένα για τα πρόστιμα. Τα πρόστιμα αυτά επιβάλλονται στις εταιρίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας όταν οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που παράγουν οι ενεργειακοί τους σταθμοί υπερβούν συγκεκριμένα όρια εκπομπών (σε κιλά). Όταν οι εκπομπές ξεπεράσουν τα όρια αυτά, η εταιρία είναι υποχρεωμένη να πληρώνει πρόστιμο για κάθε επιπλέον παραγόμενο τόνο ρύπων(πχ. 100€/τόνο).

Πίνακας 4.16: Πρόστιμα.

Α/Α	Περιγραφή	Description	Πλήθος τιμών	Μονάδα μέτρησης
1	Πρόστιμο για εκπομπές ρύπων CO	CO emissions penalty	1	€/t
2	Πρόστιμο για εκπομπές ρύπων CO_2	CO_2 emissions penalty	1	€/t
3	Πρόστιμο για εκπομπές ρύπων HC	HC emissions penalty	1	€/t
4	Πρόστιμο για εκπομπές ρύπων όπως αιθάλη και σταγονίδια	PM emissions penalty	1	€/t
5	Πρόστιμο για εκπομπές ρύπων SO_2	SO_2 emissions penalty	1	€/t
6	Πρόστιμο για εκπομπές ρύπων NO_X	NO_X emissions penalty	1	€/t

4.4.6 Επιτρεπτά όρια

Στο Πίνακα 4.17 φαίνονται τα δεδομένα για τα επιτρεπτά όρια. Τα όρια αυτά είναι τα όρια των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου τα οποία αν ξεπεραστούν από τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τότε επιβάλλονται πρόστιμα στις εταιρίες που τους διαχειρίζονται (βλ. ενότητα 4.4.5).

Πίνακας 4.17: Επιτρεπτά όρια εκπομπών.

Α/Α	Περιγραφή	Description	Πλήθος τιμών	Μονάδα μέτρησης
1	Επιτρεπτά όρια εκπομπής CO_2	CO_2 Emissions Limit	1	Kg/yr
2	Επιτρεπτά όρια εκπομπής CO	CO Emissions Limit	1	Kg/yr
3	Επιτρεπτά όρια εκπομπής HC	HC Emissions Limit	1	Kg/yr
4	Επιτρεπτά όρια εκπομπής PM	PM Emissions Limit	1	Kg/yr
5	Επιτρεπτά όρια εκπομπής SO_2	SO_2 Emissions Limit	1	Kg/yr
6	Επιτρεπτά όρια εκπομπής NO_X	NO_X Emissions Limit	1	Kg/yr

4.4.7 Περιορισμοί

Στο Πίνακα 4.18 φαίνονται τα δεδομένα για τους περιορισμούς.

Πίνακας 4.18: Περιορισμοί.

Α/Α	Περιγραφή	Description	Μονάδα μέτρησης
1	Είναι η μέγιστη δυνατή τιμή του capacity shortage fraction το οποίο είναι το κλάσμα της συνολικής χωρητικότητας σε ενέργεια διαιρούμενη από το ετήσιο φορτίο	Maximum annual capacity shortage	
2	Είναι η μικρότερη δυνατή τιμή του κλάσματος των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας	Minimum renewable fraction	kW/yr
3	Μια τιμή 10% της συγκεκριμένης μεταβλητής σημαίνει πως το σύστημα θα πρέπει να διατηρήσει ενέργεια από τη χωρητικότητά του για να υποστηρίξει μια ξαφνική αύξηση του φορτίου κατά 10%	As a percent of hourly load	
4	Αν η μέγιστη τιμή που παίρνει το φορτίο είναι 40 kW και εμείς για κάποιο λόγο θέλουμε το σύστημα να είναι σε θέση να παρέχει συνεχώς 8 kW τότε η τιμή της συγκεκριμένης μεταβλητής είναι 20%	As a percent of annual peak load	
5	Μια τιμή 40% αυτής της μεταβλητής σημαίνει πως το σύστημα θα πρέπει να είναι έτοιμο να παρέχει ενέργεια από τη χωρητικότητά του ακόμα και σε περίπτωση που η ενέργεια που παράγεται από την ανεμογεννήτρια μειωθεί κατά 40%	As a percent of wind power output	

Το κλάσμα χωρητικότητας ενέργειας είναι η συνολική χωρητικότητα σε ενέργεια του συστήματος διαιρούμενη από τη συνολική ζήτηση σε ενέργεια. Ένα σύστημα θεωρείται αποδεκτό μόνο αν το κλάσμα χωρητικότητας ενέργειας είναι μικρότερο ή ίσο από τη μέγιστη ετήσια χωρητικότητα σε ενέργεια. Η εξίσωση που δίνει το κλάσμα είναι:

$$fcs=Ecs/Etot$$

όπου Ecs η συνολική χωρητικότητα σε ενέργεια σε [kWh/yr], Etot η συνολική ζήτηση σε ενέργεια σε [kWh/yr]

Το κλάσμα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι το μερίδιο εκείνο της ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές. Υπολογίζεται από το λόγο της ενέργειας που παράγεται από τις ανανεώσιμες πηγές δια τη συνολική παραγωγή ενέργειας. Το κλάσμα δίνεται από την εξίσωση:

$$fren=(Eren +Hren)/(Etot+Htot)$$

όπου Eren είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε [kWh], Hren είναι η παραγωγή θερμικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε[kWh], Etot είναι η συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε kWh, Htot είναι η συνολική παραγωγή θερμικής ενέργειας σε kWh.

4.4.8 Χώρος αναζήτησης

Κατά τη λειτουργία του το HOMER αρχίζει να αναζητεί όλα τα λιγότερο δαπανηρά συστήματα ενέργειας για κάθε μια από τις μεταβλητές ευαισθησίας που εισαγάγαμε στο πρόγραμμα. Το σύνολο όλων των συστημάτων στα πλαίσια του οποίου γίνονται οι αναζητήσεις του HOMER καλείται **χώρος αναζήτησης**.

4.4.9 Πόροι Συστήματος

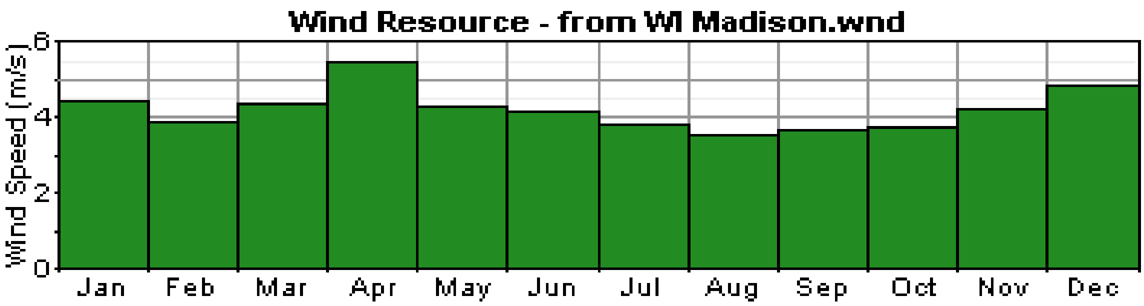
Στο Πίνακα 4.19 φαίνονται τα δεδομένα για τους πόρους του συστήματος.

Πίνακας 4.19: Πόροι.

Α/Α	Περιγραφή	Description
1	Αιολικό δυναμικό	Wind resource
2	Πόρος καυσίμου	Diesel/natural gas/gasoline
3	Ηλιακό δυναμικό	Solar resource
4	Υδρολογικό δυναμικό	Hydro-resource
5	Δυναμικό βιομάζας	Biomass resource

4.4.9.1 Χαρακτηριστικά αιολικού δυναμικού

Για τον υπολογισμό του αιολικού δυναμικού απαιτούνται 8.760 τιμές που αντιπροσωπεύουν τη μέση ταχύτητα αέρα, που εκφράζεται σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο, για κάθε ώρα του έτους. Το HOMER επιδεικνύει τους μηνιαίους μέσους όρους της ταχύτητας αέρα στο Σχήμα 4.7.

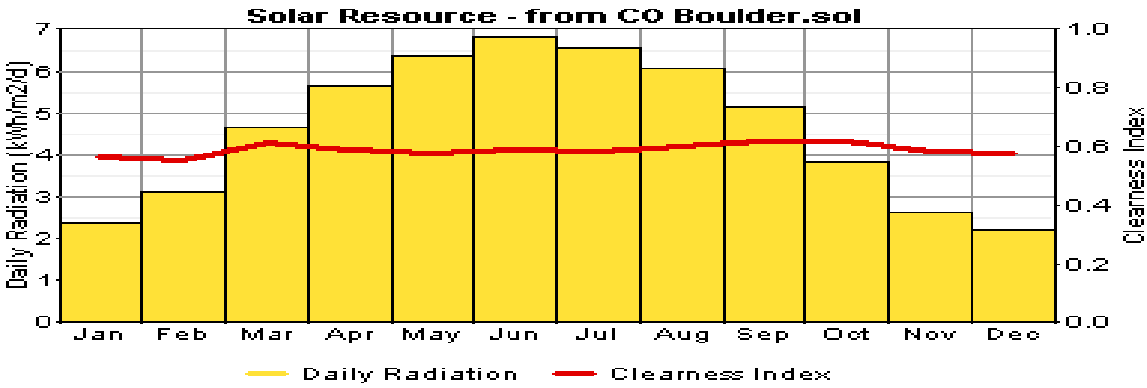


Σχήμα 4.7: Καμπύλη αιολικού δυναμικού.

Για να συνθέσει τα στοιχεία το HOMER, πρέπει να εισαγάγουμε δώδεκα μέσες τιμές ταχύτητας αέρα, μια για κάθε μήνα του έτους. Καθώς εισάγουμε τις τιμές στον πίνακα, το HOMER χτίζει ένα σύνολο 8.760 τιμών, που η καθεμία απεικονίζει την τιμή της ταχύτητας αέρα για κάθε ώρα του έτους.

4.4.9.2 Χαρακτηριστικά ηλιακού δυναμικού

Για τον υπολογισμό του ηλιακού δυναμικού απαιτούνται 8.760 τιμές που αντιπροσωπεύουν τη μέση ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια, που εκφράζεται σε kWh/m^2, για κάθε ώρα του έτους. Το HOMER παρουσιάζει τη μηνιαία μέση ακτινοβολία και το δείκτη καθαρότητας της ηλιακής ακτινοβολίας αναλυτικά στο Σχήμα 4.8.

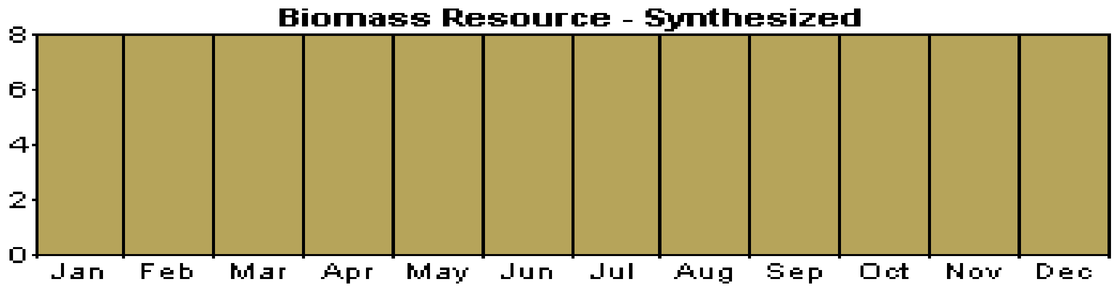


Σχήμα 4.8: Καμπύλη ηλιακού δυναμικού.

Για να συνθέσουμε τα στοιχεία, πρέπει να εισαγάγουμε δώδεκα μέσες μηνιαίες τιμές είτε της ηλιακής ακτινοβολίας είτε του δείκτη καθαρότητας. Δεν είναι απαραίτητο να εισαγάγουμε και των δύο αφού το HOMER υπολογίζει τον ένα δείκτη από τον άλλο χρησιμοποιώντας το γεωγραφικό πλάτος. Εισάγουμε κάθε μηνιαία τιμή στη σχετική σειρά και στήλη των δεδομένων του ηλιακού δυναμικού. Καθώς εισάγουμε τις τιμές στον πίνακα, το HOMER χτίζει ένα σύνολο 8.760 ηλιακών τιμών ακτινοβολίας, ένα για κάθε ώρα του έτους. Το HOMER δημιουργεί τις τιμές χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο του Graham.

4.4.9.3 Χαρακτηριστικά δυναμικού βιομάζας

Για τον υπολογισμό του δυναμικού βιομάζας απαιτούνται 8.760 τιμές που αντιπροσωπεύουν τη μέση διαθεσιμότητα αερίου βιομάζας, που εκφράζεται σε χιλιόγραμμα, για κάθε ώρα του έτους. Το HOMER επιδεικνύει τους μηνιαίους μέσους όρους των πόρων βιομαζών στο Σχήμα 4.9



Σχήμα 4.9: Καμπύλη πόρου βιομαζών

Για να συνθέσει τα στοιχεία, πρέπει να εισαγάγουμε δώδεκα μέσες τιμές της διαθεσιμότητας αερίου βιομαζών μία για κάθε μήνα του έτους. Εισάγουμε τη μέση διαθεσιμότητα αερίου βιομαζών κάθε μήνα (σε τόνους ανά ημέρα) στην κατάλληλη σειρά του πίνακα των πόρων βιομαζών. Καθώς εισάγουμε τις τιμές στον πίνακα, το HOMER χτίζει ένα σύνολο 8.760 τιμών, που καθεμία απεικονίζει την αξία για κάθε ώρα του έτους. Το HOMER δημιουργεί τις τιμές με την υπόθεση ότι η διαθεσιμότητα αερίου βιομαζών είναι σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του κάθε μήνα έτσι ώστε το HOMER να ορίζει απλά τη μηνιαία μέση τιμή σε κάθε ώρα σε εκείνο τον μήνα.

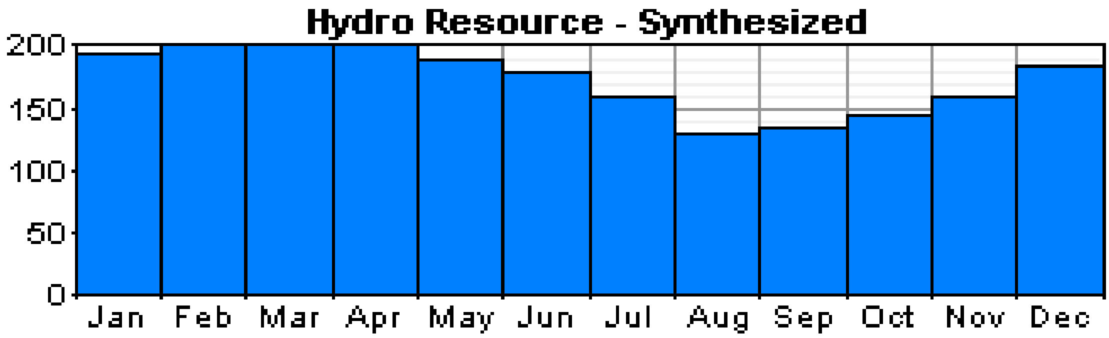
Στο Πίνακα 4.20 φαίνονται τα δεδομένα για τις μεταβλητές του δυναμικού βιομάζας.

Πίνακας 4.20: Μεταβλητές δυναμικού βιομάζας.

Α/Α	Περιγραφή	Description	Πλήθος τιμών	Μονάδα μέτρησης
1	Το μέσο κόστος ανά τόνο του αερίου βιομαζών(βιοαέριο)	Average cost	1	€/t
2	Η περιεκτικότητα κατά βάρος σε άνθρακα, της βιομάζας	Carbon content	1	%
3	Η αναλογία βιομάζας που παράγεται και βιομάζας που καταναλώνεται στον εξαερωτή.	Gasification ratio	1	Kg gas/ kg biogas
4	Το ενεργειακό περιεχόμενο (χαμηλότερη αξία θέρμανσης) του βιοαερίου που παράγεται από τον εξαερωτή.	LHV of biogass	1	

4.4.9.4 Χαρακτηριστικά υδρολογικού δυναμικού

Για τον υπολογισμό του υδρολογικού δυναμικού απαιτούνται 8.760 τιμές που αντιπροσωπεύουν τη μέση ροή ρευστού, που εκφράζεται σε λίτρα ανά δευτερόλεπτο, για κάθε ώρα του έτους. Το HOMER επιδεικνύει τους μηνιαίους μέσους στο Σχήμα 4.11.



Σχήμα 4.10: Καμπύλη υδροηλεκτρικού δυναμικού.

Για να συνθέσει τα στοιχεία, πρέπει να εισάγουμε δώδεκα μέσες τιμές ροής, μια για κάθε μήνα του έτους. Εισάγουμε τη μέση ροή κάθε μήνα σε (L/s) στην κατάλληλη σειρά στον πίνακα ροής. Καθώς εισάγουμε τις τιμές στον πίνακα, το HOMER χτίζει ένα σύνολο 8.760 τιμών, κάθε τιμή για κάθε ώρα του έτους. Το HOMER δημιουργεί τις τιμές με την υπόθεση ότι η ροή είναι σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια κάθε μήνα.

4.4.9.5 *Χαρακτηριστικά πόρου καυσίμου*

Όσον αφορά τον πόρο καυσίμου, εισαγάγουμε την τιμή του καυσίμου ανά κυβικό μέτρο (€/m^3). Υπάρχουν δύο τρόποι να δημιουργηθούν τα στοιχεία των πόρων καυσίμου, είτε εισάγοντας τα στοιχεία από το πληκτρολόγιο, είτε εισάγοντας τα ωριαία στοιχεία κάθε πόρου από ένα αρχείο.

4.5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[4.1] NREL, *HOMER: the optimization model for distributed power*, National renewable energy laboratory, Available at: http://www.nrel.gov/homer.

[4.2] NREL, *HOMER: the micropower optimization model, version 2.19*. National renewable energy laboratory, Available at: http://www.nrel.gov/homer

[4.3] Κ. Σαξώνης, "Βέλτιστη σχεδίαση υβριδικών συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας," Διπλωματική εργασία, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 2006.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό μελετώνται πέντε υβριδικά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα υβριδικά αυτά συστήματα αποτελούνται από ντηζελογεννήτριες, γεννήτριες φυσικού αερίου, ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά, μικρά υδροηλεκτρικά, κυψέλες καυσίμου, γεννήτριες βιομάζας, μετατροπείς και μπαταρίες. Τα συστήματα μοντελοποιούνται και προσομοιώνονται μέσω του λογισμικού HOMER. Στη συνέχεια, κάνοντας χρήση των δεδομένων της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής του κεφαλαίου 3, επιτυγχάνεται μία οικονομική-περιβαλλοντική αξιολόγηση των υβριδικών συστημάτων.

5.2 ΤΙΜΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΕΙΣΟΔΟΥ

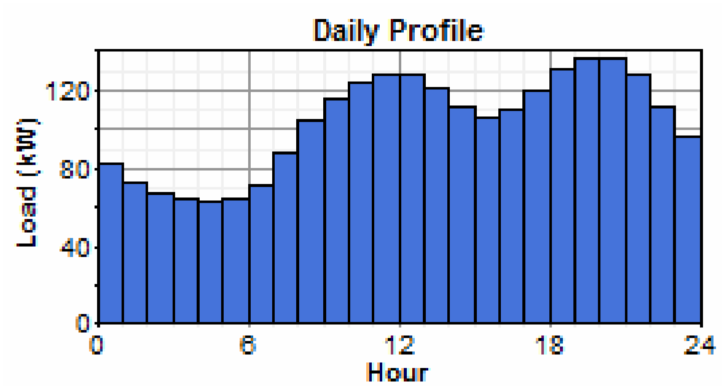
Στις παρακάτω ενότητες παρατίθενται οι τιμές των μεταβλητών εισόδου που θα χρησιμοποιηθούν στις προσομοιώσεις, βελτιστοποιήσεις και στις αναλύσεις ευαισθησίας πέντε υβριδικών συστημάτων στο HOMER. Παρατίθενται δηλαδή οι τιμές των φορτίων, των πόρων, των στοιχείων του συστήματος, οικονομικά στοιχεία, οι τιμές προστίμων για εκπομπές CO_2 και οι τιμές εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου της κάθε τεχνολογίας παραγωγής ενέργειας. Και στις πέντε εφαρμογές θα χρησιμοποιηθούν οι ίδιες τιμές για όλες τις τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Σε κάθε περίπτωση όμως θα αλλάζουν, ανάλογα με τις απαιτήσεις του προβλήματος, οι ποσότητες των στοιχείων κάθε τεχνολογίας που λαμβάνουν μέρος στις προσομοιώσεις. Οι τιμές του ηλεκτρικού φορτίου είναι υποδιαστασιολογημένες τιμές του σημερινού ηλεκτρικού φορτίου της Κρήτης, τα δεδομένα αιολικών και ηλιακών δυναμικών είναι πραγματικά δεδομένα της περιοχής των Αθηνών, ενώ τα δεδομένα δυναμικών βιομάζας και υδρολογικού δυναμικού λαμβάνονται από το HOMER.

5.2.1 Φορτίο

Στις επιλογές του λογισμικού HOMER επιλέγεται το κύριο φορτίο για να συνδεθεί με τα συστατικά στοιχεία του συστήματος ενέργειας, ενώ επιλέγεται και ο τύπος του ρεύματος. Στις συγκεκριμένες εφαρμογές επιλέγεται το εναλλασσόμενο ρεύμα (AC). Στη συνέχεια εισάγονται 24 τιμές φορτίου σε kW, κάθε μια από αυτές τις τιμές αντιπροσωπεύει και μια διαφορετική ώρα ενός 24ώρου. Στις συγκεκριμένες εφαρμογές χρησιμοποιήθηκαν πραγματικά στοιχεία που προέκυψαν υποδιαστασιολογώντας το ωριαίο προφίλ του ηλεκτρικού φορτίου της Κρήτης για το έτος 2005, ορίζοντας ως φορτίο αιχμής την τιμή 196 kW, οπότε το μέσο ημερήσιο φορτίο έχει τιμή 2,5 MWh / ημέρα. Στο Πίνακα 5.1 παρουσιάζονται οι συγκεκριμένες επιλογές ενώ στο Σχήμα 5.1 φαίνεται η γραφική αναπαράσταση του φορτίου.

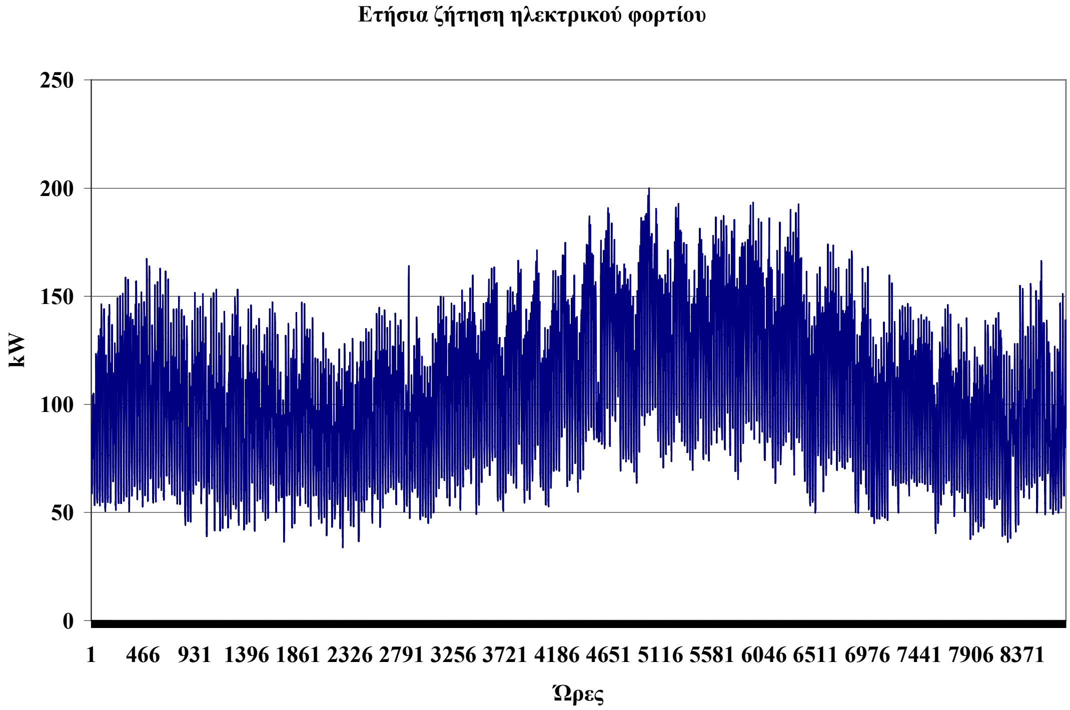
Πίνακας 5.1: Δεδομένα φορτίου.

Ώρες	Φορτίο σε (kW)
00:00-01:00	82,271
01:00-02:00	72,819
02:00-03:00	67,449
03:00-04:00	64,288
04:00-05:00	63,066
05:00-06:00	64,816
06:00-07:00	72,000
07:00-08:00	87,866
08:00-09:00	10,082
09:00-10:00	11,975
10:00-11:00	124,247
11:00-12:00	128,619
12:00-13:00	128,110
13:00-14:00	121,756
14:00-15:00	111,877
15:00-16:00	106,290
16:00-17:00	109,874
17:00-18:00	119,416
18:00-19:00	130,849
19:00-20:00	136,712
20:00-21:00	136,668
21:00-22:00	128,055
22:00-23:00	112,022
23:00-24:00	95,871



Σχήμα 5.1: Μέσο ημερήσιο φορτίο.

Τα φορτία του πίνακα 5.1 είναι οι μέσες τιμές φορτίων ενός 24ώρου για ένα ολόκληρο έτος. Φυσικά, οι πραγματικές τιμές των φορτίων κατά τη διάρκεια ενός έτους παρουσιάζουν μεταξύ τους αρκετά μεγάλη διακύμανση. Αυτό φαίνεται καλύτερα στο Σχήμα 5.2 όπου παρουσιάζονται όλα τα φορτία για 8760 ώρες (δηλαδή 1 έτος).



Σχήμα 5.2: Ετήσια ζήτηση ηλεκτρικού φορτίου

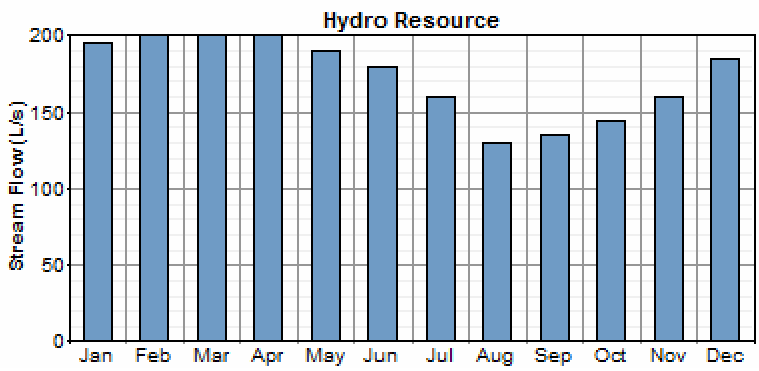
5.2.2 Πόροι

5.2.2.1 Υδρολογικό δυναμικό

Σαν μεταβλητές εισόδου για το υδρολογικό δυναμικό το HOMER ζητάει τη μέση ροή νερού κάθε μήνα, οπότε προκύπτουν τα στοιχεία του Πίνακα 5.2. Στο Σχήμα 5.3 φαίνεται η γραφική αναπαράσταση του υδρολογικού δυναμικού.

Πίνακας 5.2: Δεδομένα εισόδου υδρολογικού δυναμικού.

Μήνας	Ροή ύδατος (L/sec)
Ιανουάριος	195
Φεβρουάριος	200
Μάρτιος	200
Απρίλιος	200
Μάιος	190
Ιούνιος	180
Ιούλιος	160
Αύγουστος	130
Σεπτέμβριος	135
Οκτώβριος	145
Νοέμβριος	160
Δεκέμβριος	185



Σχήμα 5.3: Ετήσιο υδρολογικό δυναμικό

Στη συγκεκριμένη περίπτωση το HOMER δεν εξισώνει τον μέσο όρο των ταχυτήτων κάθε μήνα με τον κλιμακωτό μέσο όρο, αλλά εισάγονται τιμές του κλιμακωτού μέσου όρου, τιμές που θα ελεγχθούν από το HOMER κατά τη διάρκεια της ανάλυσης ευαισθησίας. Το HOMER κατά την εισαγωγή των τιμών της παροχής νερού διαμορφώνει από μόνο του έναν μέσο όρο που ονομάζεται κλιμακωτός και ο οποίος διευκολύνει το πρόγραμμα στους υπολογισμούς που διενεργεί. Στη συγκεκριμένη περίπτωση κι επειδή οι τιμές της ροής του νερού είναι αρκετά σημαντικές, ζητείται από το HOMER να εκτελέσει την ανάλυση ευαισθησίας και για τις τρεις διαφορετικές τιμές του κλιμακωτού μέσου όρου όπως αυτές φαίνονται στο πίνακα 5.3.

Πίνακας 5.3: Τιμές κλιμακωτού μέσου όρου υδρολογικού δυναμικού

Κλιμακωτός μέσος όρος (τιμές σε L/sec)
15
20
25

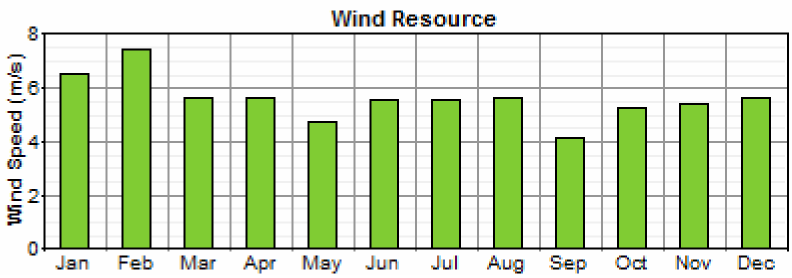
Οι τιμές του κλιματικού μέσου είναι αρκετά μικρότερες από αυτές του υπάρχοντος υδρολογικού δυναμικού διότι για περιβαλλοντικούς λόγους δεν επιτρέπεται η πλήρης εκτροπή ενός ρέματος. Έτσι χρησιμοποιείται υδρογεννήτρια που έχει ονομαστική ροή νερού ίση με 25 L/sec.

5.2.2.2 Αιολικό δυναμικό

Στο αιολικό δυναμικό εισάγεται ο μέσος όρος της ταχύτητας του ανέμου κάθε μήνα και το HOMER δημιουργεί με τη σειρά του το αντίστοιχο γράφημα. Στις συγκεκριμένες εφαρμογές εισάγεται στο HOMER ένα αρχείο που περιέχει τις πραγματικές ωριαίες μέσες τιμές ταχύτητας του ανέμου της Αθήνας πολλαπλασιασμένες με έναν συντελεστή έτσι ώστε τα αποτελέσματα να είναι πιο ρεαλιστικά, δηλαδή πιο κοντά στις πραγματικές συνθήκες που διέπουν μια πιθανή τοποθεσία εγκατάστασης του σταθμού παραγωγής ενέργειας όπως είναι πχ. οι κορυφογραμμές των βουνών. Το HOMER κλιμακώνει τα στοιχεία προκειμένου να διευκολυνθεί η προσομοίωση. Τα στοιχεία που εισάγονται παρουσιάζονται στο Πίνακα 5.4. Στο Σχήμα 5.4 φαίνεται η μέση μηνιαία τιμή του αιολικού δυναμικού.

Πίνακας 5.4: Δεδομένα εισόδου αιολικού δυναμικού.

Μήνας	Μέση ταχύτητα ανέμου (m/sec)
Ιανουάριος	6,508
Φεβρουάριος	7,430
Μάρτιος	5,661
Απρίλιος	5,633
Μάιος	4,720
Ιούνιος	5,593
Ιούλιος	5,540
Αύγουστος	5,667
Σεπτέμβριος	4,158
Οκτώβριος	5,266
Νοέμβριος	5,451
Δεκέμβριος	5,669



Σχήμα 5.4: Ετήσιο αιολικό δυναμικό

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή το HOMER δεν εξισώνει τον μέσο όρο των ταχυτήτων κάθε μήνα με τον κλιμακωτό μέσο όρο, αλλά εισάγονται οι τιμές του κλιμακωτού μέσου όρου, τιμές που θα ελεγχθούν από το HOMER κατά τη διάρκεια της ανάλυσης ευαισθησίας. Το HOMER κατά την εισαγωγή των τιμών της ταχύτητας αέρα διαμορφώνει από μόνο του έναν μέσο όρο που ονομάζεται κλιμακωτός και ο οποίος διευκολύνει το πρόγραμμα στους υπολογισμούς που διενεργεί. Στη συγκεκριμένες εφαρμογές επειδή οι τιμές της ταχύτητας του αέρα είναι αρκετά σημαντικές, ζητείται από το HOMER να εκτελέσει την ανάλυση ευαισθησίας και για τις τρεις διαφορετικές τιμές του κλιμακωτού μέσου όρου όπως αυτές φαίνονται στο Πίνακα 5.5. Οι τιμές αυτές είναι το 5,6 m/sec (τιμή κοντινή στο 5,598 m/sec που είναι ο πραγματικός μέσος όρος) και το 5,1 και 6,1 m/sec (- 10% και + 10% του 5,6 m/sec, αντίστοιχα).

Πίνακας 5.5 Τιμές κλιμακωτού μέσου όρου αιολικού δυναμικού

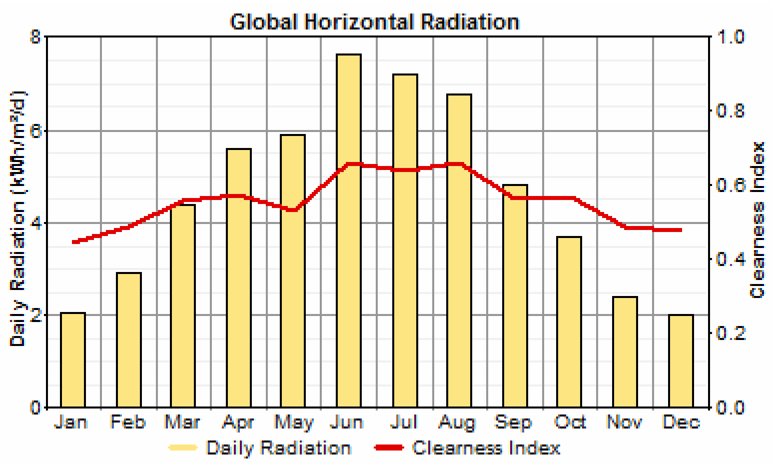
Κλιμακωτός μέσος όρος (τιμές σε m/sec)
5,6
5,1
6,1

5.2.2.3 Ηλιακό δυναμικό

Σαν μεταβλητές εισόδου για το ηλιακό δυναμικό το HOMER ζητάει εκτός από το γεωγραφικό μήκος και πλάτος της περιοχής, τη μέση ημερήσια ακτινοβολία αλλά και το μέσο δείκτη καθαρότητας της ατμόσφαιρας κάθε μήνα, οπότε προκύπτουν τα στοιχεία του Πίνακα 5.6. Στο Σχήμα 5.5 φαίνεται η γραφική αναπαράσταση του ηλιακού δυναμικού.

Πίνακας 5.6: Μεταβλητές εισόδου ηλιακού δυναμικού

Μήνας	Δείκτης καθαρότητας	Ημερήσια ακτινοβολία (kW/m^2/d)
Ιανουάριος	0,448	2,050
Φεβρουάριος	0,490	2,913
Μάρτιος	0,557	4,382
Απρίλιος	0,573	5,596
Μάιος	0,532	5,886
Ιούνιος	0,660	7,639
Ιούλιος	0,639	7,218
Αύγουστος	0,663	6,777
Σεπτέμβριος	0,566	4,810
Οκτώβριος	0,571	3,713
Νοέμβριος	0,488	2,382
Δεκέμβριος	0,479	1,993



Σχήμα 5.5: Ετήσιο ηλιακό δυναμικό

Τα στοιχεία του Πίνακα 5.6 αποτελούν πραγματικά στοιχεία ηλιοφάνειας της περιοχής της Αθήνας. Το HOMER στη συνέχεια κάνει κλιμάκωση των παραπάνω δεδομένων για να διευκολύνει έτσι την προσομοίωση. Το HOMER από μόνο του έχει υπολογίσει τους μέσους όρους των παραπάνω στοιχείων και έχει θέσει τον ημερήσιο μέσο όρο της ηλιακής ακτινοβολίας ίσο με τον κλιμακωτό μέσο όρο. Στις συγκεκριμένες εφαρμογές επειδή οι τιμές της ηλιακής ενέργειας είναι αρκετά σημαντικές, ζητείται από το HOMER να εκτελέσει την ανάλυση ευαισθησίας και για τις τρεις διαφορετικές τιμές του κλιμακωτού μέσου όρου όπως αυτές φαίνονται στο Πίνακα 5.7. Οι τιμές αυτές είναι το 4,62 kWh/τετραγωνικό μέτρο/ημέρα και το 4,1 και 5,1 m/sec (- 10% και + 10% του 4,62kWh/τετραγωνικό μέτρο/ημέρα, αντίστοιχα).

Πίνακας 5.7: Τιμές κλιμακωτού μέσου όρου ηλιακού δυναμικού

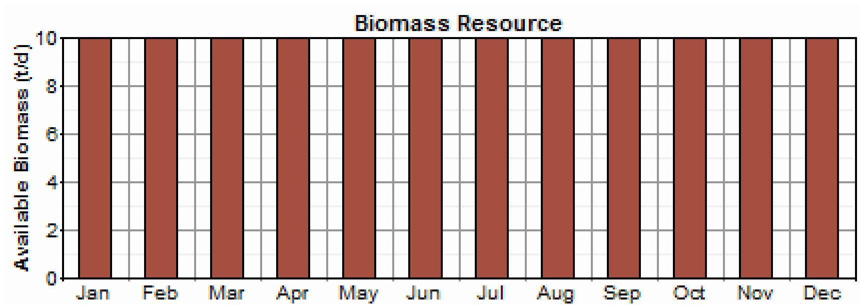
Κλιμακωτός μέσος όρος (kWh/τετραγωνικό μέτρο/ημέρα)
4,62
4,10
5,10

5.2.2.4 Δυναμικό βιομάζας

Στο δυναμικό βιομάζας εισάγονται ο μέσος όρος της διαθέσιμης βιομάζας κάθε μέρας και το HOMER δημιουργεί με τη σειρά του το αντίστοιχο γράφημα. Το HOMER κλιμακώνει τα στοιχεία προκειμένου να διευκολυνθεί η προσομοίωση. Τα στοιχεία που εισάγονται παρουσιάζονται στο Πίνακα 5.8. Στο Σχήμα 5.6 φαίνεται η γραφική αναπαράσταση του δυναμικού βιομάζας.

Πίνακας 5.8: Δεδομένα εισόδου δυναμικού βιομάζας

Μήνας	Διαθέσιμη βιομάζα (t/d)
Ιανουάριος	10
Φεβρουάριος	10
Μάρτιος	10
Απρίλιος	10
Μάιος	10
Ιούνιος	10
Ιούλιος	10
Αύγουστος	10
Σεπτέμβριος	10
Οκτώβριος	10
Νοέμβριος	10
Δεκέμβριος	10



Σχήμα 5.6: Ετήσιο δυναμικό βιομάζας

Στις παρακάτω εφαρμογές (όπου υπάρχει γεννήτρια βιομάζας) γίνεται ανάλυση ευαισθησίας και για κάποιες άλλες τιμές του δυναμικό της βιομάζας. Οι τιμές αυτές είναι οι εξής: 0, 5, 15, 20 και 25 t/ημέρα. Πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι η γεννήτρια βιομάζας χρησιμοποιεί ως καύσιμο το βιοαέριο το οποίο προέρχεται από την βιομάζα. Από κάθε κιλό βιομάζας παράγονται 0,7 κιλά βιοαερίου. Ο λόγος αεριοποίησης της βιομάζας σε βιοαέριο θεωρείται από το HOMER σταθερός.

5.2.2.5 Χαρακτηριστικά πόρου καυσίμου

Από τα χαρακτηριστικά της ντηζελογεννήτριας και της γεννήτριας φυσικού αερίου μας ενδιαφέρει η τιμή των καυσίμου που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι 1€/L και 0,3€/m^3, αντίστοιχα [5.2].

5.3 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

5.3.1 Υδροηλεκτρικό σύστημα

Στο Πίνακα 5.9 είναι τα δεδομένα του υδροηλεκτρικού συστήματος και στον Πίνακα 5.10 τα κόστη του υδροηλεκτρικού συστήματος.

Πίνακας 5.9: Δεδομένα του υδροηλεκτρικού συστήματος

Α/Α	Περιγραφή	Τιμή
1	Η κάθετη πτώση μεταξύ της εισαγωγής της τουρμπίνας και του στροβίλου.	150 m
2	Η ονομαστική ροή νερού για την οποία αυτός ο υδροστρόβιλος σχεδιάστηκε.	25 L/s
3	Το ελάχιστο ποσοστό ροής του υδροστροβίλου, ως ποσοστό του ονομαστικού ποσοστού ροής του.	75 %
4	Το μέγιστο ποσοστό ροής του υδροστροβίλου, ως ποσοστό του ονομαστικού ποσοστού ροής του.	150 %
5	Η μέση αποδοτικότητα με την οποία ο υδροστρόβιλος μετατρέπει την ενέργεια από νερό σε ηλεκτρική ενέργεια.	75 %
6	Απώλειες τριβής σωλήνων που εκφράζονται ως ποσοστό του διαθέσιμου ακροφυσίου.	10,49 %
7	Χρόνος ζωής.	50 έτη

Πίνακας 5.10: Κόστη υδροηλεκτρικού συστήματος [5.3].

Μέγεθος (kW)	Κόστος αρχικής επένδυσης (€)	Κόστος αντικατάστασης (€)	Κόστος λειτουργίας και συντήρησης (€/yr)
27,6	50000	40000	1000

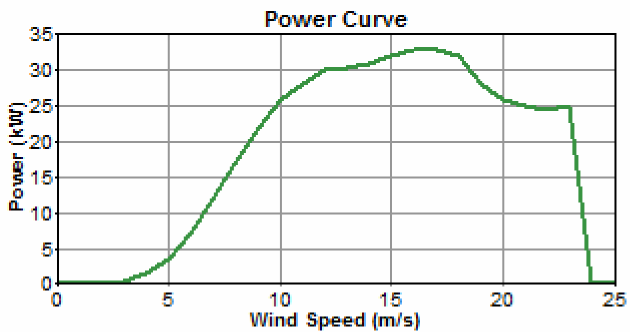
5.3.2 Ανεμογεννήτριες

Το μοντέλο της ανεμογεννήτριας που χρησιμοποιείται στις παρακάτω εφαρμογές είναι το Fuhrlander 30. Στο Πίνακα 5.11 δίνονται τα δεδομένα της ανεμογεννήτριας και στον πίνακα 5.12 τα κόστη της ανεμογεννήτριας.

Πίνακας 5.11: Δεδομένα ανεμογεννήτριας

Α/Α	Περιγραφή	Τιμή
1	Χρόνος ζωής.	20 έτη
2	Παράγοντας κλιμάκωσης που χρησιμοποιείται για να ρυθμίσει την καμπύλη ισχύος των ανεμογεννητριών.	-
3	Παράγοντας κλιμάκωσης που χρησιμοποιείται για να ρυθμίσει τα στοιχεία της ταχύτητας του αέρα, ρυθμίζοντας τη διαφορά στο ύψος των ανεμόμετρων και στο ύψος των πλημνών της ανεμογεννήτριας.	-

Ο τύπος της συγκεκριμένης ανεμογεννήτριας είναι Fuhrlander 30 (με ονομαστική ισχύ 33 kW) και το ύψος πλήμνης της ανεμογεννήτριας από το έδαφος είναι 27m. Επίσης για το συγκεκριμένο τύπο ανεμογεννήτριας η καμπύλη ισχύος είναι αυτή που φαίνεται στο Σχήμα 5.7.



Σχήμα 5.7: Καμπύλη ισχύος Fuhrlander 30 (33 kW).

Πίνακας 5.12: Κόστη ανεμογεννήτριας ονομαστικής ισχύος 33 kW [5.4].

Ποσότητα	Κόστος αρχικής επένδυσης (€)	Κόστος αντικατάστασης (€)	Κόστος λειτουργίας και συντήρησης (€/yr)
1	50000	42500	1000

5.3.3 Φωτοβολταϊκά

Στο Πίνακα 5.13 δίνονται τα δεδομένα των φωτοβολταϊκών και στον Πίνακα 5.14 τα κόστη των φωτοβολταϊκών.

Πίνακας 5.13: Δεδομένα φωτοβολταϊκών

Α/Α	Περιγραφή	Τιμή
1	Παράγοντας κλιμάκωσης που ισχύει για την παραγωγή ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και καταγράφει τις απώλειες.	90%
2	Ο τύπος συστήματος που χρησιμοποιείται για να κατευθύνει τις κλίσεις των φωτοβολταϊκών προς τον ήλιο.	-
3	Η γωνία στην οποία τοποθετούνται τα φωτοβολταϊκά σχετικά με τον ορίζοντα.	40^0
4	Η κατεύθυνση ως προς την οποία τα φωτοβολταϊκά πλαίσια είναι γερμένα.	0^0
5	Το ποσοστό της επιφάνειας εδάφους στο οποίο αντανακλάται η ακτινοβολία.	20%
6	Χρόνος ζωής.	20 έτη

Πίνακας 5.14: Κόστη φωτοβολταϊκών [5.5].

Μέγεθος (kW)	Κόστος αρχικής επένδυσης (€)	Κόστος αντικατάστασης (€)	Κόστος λειτουργίας και συντήρησης (€/hr)
1	5000	5000	0

5.3.4 Γεννήτρια βιομάζας

Στο Πίνακα 5.15 δίνονται τα δεδομένα της γεννήτριας βιομάζας και στον Πίνακα 5.16 τα κόστη της γεννήτριας βιομάζας.

Πίνακας 5.15: Δεδομένα γεννήτριας βιομάζας

Α/Α	Περιγραφή	Τιμή
1	Χρόνος ζωής	20000 hrs
2	Η ελάχιστη ποσότητα ενέργειας που μπορεί να παρέχει η γεννήτρια βιομάζας στο σύστημα, η οποία εκφράζεται ως ποσοστό της συνολικής ισχύς της ντηζελογεννήτριας	30%
3	Η κατανάλωση καυσίμου προς την εγκατεστημένη ισχύ της γεννήτριας βιομάζας.	0.08 L/hr/kW
4	Η πρόσθετη ποσότητα καυσίμου που χρησιμοποιείται ανά ώρα καθώς ο εφοδιασμός της γεννήτριας αυξάνει.	0.25 L/hr/kW
5	Το ποσοστό της θερμότητας των αποβλήτων που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξυπηρετήσει το θερμικό φορτίο.	-
6	Η ενέργεια που απελευθερώνεται ανά κιλό καυσίμων που καταναλώνεται	43,2 MJ/kg
7	Πυκνότητα	820 kg/m^3
8	Η βασισμένη στη μάζα περιεκτικότητα σε άνθρακα των καυσίμων	88%
9	Το ποσό άνθρακα που εκπέμπεται ετησίως από τη γεννήτρια βιομάζας.	-

Πίνακας 5.16: Κόστη γεννήτριας βιομάζας.

Μέγεθος (kW)	Κόστος αρχικής επένδυσης (€)	Κόστος αντικατάστασης (€)	Κόστος λειτουργίας και συντήρησης (€/hr)
1	180	150	0,1

Το κόστος της γεννήτριας βιομάζας σχετίζεται με το κόστος της ντηζελογεννήτριας. Πρακτικά, μία γεννήτρια βιομάζας είναι μια τροποποιημένη ντηζελογεννήτρια. Οπότε το κόστος της γεννήτριας βιομάζας ισούται με το άθροισμα του κόστους της ντηζελογεννήτριας με το κόστος των απαραίτητων μετατροπών που εφαρμόζονται πάνω στην ντηζελογεννήτρια έτσι ώστε να είναι σε θέση να καίει βιομάζα.

5.3.5 Κυψέλες καυσίμου

Στο Πίνακα 5.17 δίνονται τα δεδομένα των κυψελών καυσίμου και στον Πίνακα 5.18 τα κόστη των κυψελών καυσίμου.

Πίνακας 5.17: Δεδομένα κυψελών καυσίμου.

Α/Α	Περιγραφή	Τιμή
1	Χρόνος ζωής	20000 hrs
2	Η ελάχιστη ποσότητα ενέργειας που μπορούν να παρέχουν οι κυψέλες καυσίμου στο σύστημα, η οποία εκφράζεται ως ποσοστό της συνολικής ισχύς των κυψελών καυσίμου	0%
3	Η κατανάλωση καυσίμου προς την εγκατεστημένη ισχύ των κυψελών καυσίμου	0,0 L / hr / kW
4	Η πρόσθετη ποσότητα καυσίμου που χρησιμοποιείται ανά ώρα καθώς ο εφοδιασμός της γεννήτριας αυξάνει	0,06 L / hr / kW
5	Το ποσοστό της θερμότητας των αποβλήτων που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξυπηρετήσει το θερμικό φορτίο.	-
6	Η ενέργεια που απελευθερώνεται ανά κιλό καυσίμων που καταναλώνεται	120 MJ/kg
7	Πυκνότητα	0,09 kg/m^3
8	Η βασισμένη στη μάζα περιεκτικότητα σε άνθρακα των καυσίμων	0%
9	Το ποσό άνθρακα που εκπέμπεται ετησίως από τις κυψέλες καυσίμου	-

Πίνακας 5.18: Κόστη κυψελών καυσίμου [5.3].

Μέγεθος (kW)	Κόστος αρχικής επένδυσης (€)	Κόστος αντικατάστασης (€)	Κόστος λειτουργίας και συντήρησης (€/hr)
1	3000	3000	0,1

5.3.6 Ηλεκτρολύτης

Στον Πίνακα 5.19 είναι τα δεδομένα του ηλεκτρολύτη και στον Πίνακα 5.20 φαίνονται τα κόστη του ηλεκτρολύτη.

Πίνακας 5.19: Δεδομένα ηλεκτρολύτη

Α/Α	Περιγραφή	Τιμή
1	Χρόνος ζωής.	20 έτη
2	Απόδοση ηλεκτρολύτη. Πιο συγκεκριμένα είναι η ποσότητα υδρογόνου που μπορεί να παραχθεί διαιρούμενη από την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται.	85%
3	Η ελάχιστη ενέργεια στην οποία μπορεί να λειτουργήσει ο ηλεκτρολύτης.	0%
4	Τι είδους ρεύμα καταναλώνει ο ηλεκτρολύτης.	DC

Πίνακας 5.20: Κόστη ηλεκτρολύτη [5.3].

Μέγεθος (kW)	Κόστος αρχικής επένδυσης (€)	Κόστος αντικατάστασης (€)	Κόστος λειτουργίας και συντήρησης (€/hr)
1	2000	2000	0

5.3.7 Δεξαμενή υδρογόνου

Στο Πίνακα 5.21 είναι τα δεδομένα της δεξαμενής υδρογόνου

Πίνακας 5.21: Δεδομένα δεξαμενής υδρογόνου.

Α/Α	Περιγραφή	Τιμή
1	Χρόνος ζωής.	20 έτη
2	Η στάθμη της δεξαμενής στην αρχή της προσομοίωσης. Εκφράζεται είτε ως ποσοστό της συνολικής χωρητικότητας της δεξαμενής είτε ως απόλυτο μέγεθος.	10%
3	Αν επιλεχθεί η συγκεκριμένη επιλογή τότε το HOMER θεωρεί ως αναξιόπιστο οποιοδήποτε σύστημα στο τέλος του έτους περιέχει λιγότερο υδρογόνο από αυτό που περιείχε στην αρχή της προσομοίωσης	ναι

Στο Πίνακα 5.22 φαίνονται τα κόστη της δεξαμενής υδρογόνου:

Πίνακας 5.22: Κόστη δεξαμενής υδρογόνου [5.3].

Ποσότητα (kg)	Κόστος αρχικής επένδυσης (€)	Κόστος αντικατάστασης (€)	Κόστος λειτουργίας και συντήρησης (€/hr)
1	1500	1500	0

5.3.8 Ντηζελογεννήτρια

Στον Πίνακα 5.23 είναι τα δεδομένα της ντηζελογεννήτριας και στον Πίνακα 5.32 φαίνονται τα κόστη της ντηζελογεννήτριας.

Πίνακας 5.23: Δεδομένα ντηζελογεννήτριας.

Α/Α	Περιγραφή	Τιμή
1	Χρόνος ζωής.	20000 hrs
2	Η ελάχιστη ποσότητα ενέργειας που μπορεί να παρέχει η ντηζελογεννήτρια στο σύστημα, η οποία εκφράζεται ως ποσοστό της συνολικής ισχύς της ντηζελογεννήτριας.	30%
3	Η κατανάλωση καυσίμου προς την εγκατεστημένη ισχύ της ντηζελογεννήτριας.	-
4	Η πρόσθετη ποσότητα καυσίμου που χρησιμοποιείται ανά ώρα καθώς ο εφοδιασμός της γεννήτριας αυξάνει.	0,25 L/hr/kW
5	Το ποσοστό της θερμότητας των αποβλήτων που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξυπηρετήσει το θερμικό φορτίο.	-
6	Η ενέργεια που απελευθερώνεται ανά κιλό καυσίμων που καταναλώνεται.	43,2 MJ/kg
7	Πυκνότητα.	820 kg/m3
8	Η βασισμένη στη μάζα περιεκτικότητα σε άνθρακα των καυσίμων.	88%
9	Το ποσό άνθρακα που εκπέμπεται ετησίως από τη ντηζελογεννήτρια.	

Πίνακας 5.24: Κόστη ντηζελογεννήτριας [5.7].

Μέγεθος (kW)	Κόστος αρχικής επένδυσης (€)	Κόστος αντικατάστασης (€)	Κόστος λειτουργίας και συντήρησης (€/hr)
1	150	135	0,1

5.3.9 Γεννήτρια φυσικού αερίου

Στον Πίνακα 5.25 είναι τα δεδομένα της γεννήτριας φυσικού αερίου και στον Πίνακα 5.26 φαίνονται τα κόστη της γεννήτριας φυσικού αερίου.

Πίνακας 5.25: Δεδομένα γεννήτριας φυσικού αερίου.

Α/Α	Περιγραφή	Τιμή
1	Χρόνος ζωής.	20000 hrs
2	Η ελάχιστη ποσότητα ενέργειας που μπορεί να παρέχει η γεννήτρια φυσικού αερίου στο σύστημα, η οποία εκφράζεται ως ποσοστό της συνολικής ισχύς της γεννήτριας φυσικού αερίου.	30%
3	Η κατανάλωση καυσίμου προς την εγκατεστημένη ισχύ της γεννήτριας φυσικού αερίου.	-
4	Η πρόσθετη ποσότητα καυσίμου που χρησιμοποιείται ανά ώρα καθώς ο εφοδιασμός της γεννήτριας αυξάνει.	0,25 L/hr/kW
5	Το ποσοστό της θερμότητας των αποβλήτων που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξυπηρετήσει το θερμικό φορτίο.	-
6	Η ενέργεια που απελευθερώνεται ανά κιλό καυσίμων που καταναλώνεται.	45 MJ/kg
7	Πυκνότητα	0,79 kg/m3
8	Η βασισμένη στη μάζα περιεκτικότητα σε άνθρακα των καυσίμων.	67%
9	Το ποσό άνθρακα που εκπέμπεται ετησίως από την γεννήτρια φυσικού αερίου.	

Πίνακας 5.26: Κόστη γεννήτριας φυσικού αερίου [5.8].

Μέγεθος (kW)	Κόστος αρχικής επένδυσης (€)	Κόστος αντικατάστασης (€)	Κόστος λειτουργίας και συντήρησης (€/hr)
1	165	148	0,1

5.3.10 Μετατροπέας

Στον Πίνακα 5.27 είναι τα δεδομένα του μετατροπέα και στον Πίνακα 5.28 τα κόστη του μετατροπέα.

Πίνακας 5.27: Δεδομένα μετατροπέα.

Α/Α	Περιγραφή	Τιμή
1	Η αναμενόμενη διάρκεια ζωής του μετατροπέα, σε έτη.	20 έτη

Πίνακας 5.28: Κόστη μετατροπέα [5.8].

Μέγεθος (kW)	Κόστος αρχικής επένδυσης (€)	Κόστος αντικατάστασης (€)	Κόστος λειτουργίας και συντήρησης (€/hr)
1	700	700	0

Το αρχικό κόστος επένδυσης του μετατροπέα ισούται πρακτικά με το άθροισμα του μετατροπέα (DC σε AC) και του ανορθωτή (AC σε DC). Πρακτικά δηλαδή χρησιμοποιούνται δύο μετατροπείς.

5.3.11 Ανορθωτής

Στον Πίνακα 5.29 είναι τα δεδομένα του ανορθωτή.

Πίνακας 5.29: Ανορθωτής

Α/Α	Περιγραφή	Τιμή
1	Η χωρητικότητα του ανορθωτή σε σχέση με αυτήν του αναστροφέα	75%
2	Η απόδοση με την οποία ο ανορθωτής μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχή ηλεκτρική ενέργεια	85%

5.3.12 Μπαταρία

Το μοντέλο που χρησιμοποιείται στις εφαρμογές είναι το Surrette 6CS25P. Η ικανότητα αποθήκευσής της είναι 1156 Ah. Η συνολική ποσότητα της ενέργειας την οποία μπορεί να διαχειριστεί η μπαταρία μέχρι να αντικατασταθεί είναι 9.645 kWh. Στο Πίνακα 5.30 φαίνονται τα κόστη της συγκεκριμένης μπαταρίας.

Πίνακας 5.30: Κόστη μπαταρίας [5.6].

Ποσότητα	Κόστος αρχικής επένδυσης (€)	Κόστος αντικατάστασης (€)	Κόστος λειτουργίας και συντήρησης (€/yr)
1	850	850	35

5.4 ΤΙΜΕΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ

Ο Πίνακας 5.31 περιέχει τις τιμές των εκπομπών του αερίου του θερμοκηπίου της ΑΚΖ που θα χρησιμοποιηθούν στις εφαρμογές του 5^{ου} κεφαλαίου.

Πίνακας 5.31: Τιμές των εκπομπών του αερίου του θερμοκηπίου κάθε τεχνολογίας

Τεχνολογία	kgr CO_2 eq. / kWh
Υδροηλεκτρικό σύστημα	0,010
Ανεμογεννήτριες	0,016
Φωτοβολταϊκά	0,080
Γεννήτρια βιομάζας	0,130
Κυψέλες καυσίμου	0,020
Ηλεκτρολύτης+Δεξ.υδρογόνου	0,040
Ντηζελογεννήτρια	0,800
Γεννήτρια φυσικού αερίου	0,450
Μετατροπέας	-
Μπαταρία	62 kg/(kWh·year)

5.5 ΠΡΟΣΤΙΜΑ

Σύμφωνα με οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) επιβάλλονται ποινικές ρήτρες για τις υπερβολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Το πρόστιμο είναι 100 € / τόνο CO_2 eq. [5.1]. Το πρόστιμο αυτό επιβάλλεται όταν ξεπεραστούν κάποια συγκεκριμένα όρια εκπομπών. Ας επισημανθεί ότι η Ελλάδα έχει περάσει κατά πολύ τα επιτρεπτά όρια.

5.6 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ

Στο Πίνακα 5.32 φαίνονται τα οικονομικά δεδομένα.

Πίνακας 5.32: Οικονομικά δεδομένα.

Α/Α	Περιγραφή	Τιμή
1	Το ποσοστό έκπτωσης που χρησιμοποιείται για να εξισωθούν τα εφάπαξ κόστη με τα ετήσια κόστη.	8 %
2	Χρόνος ζωής του έργου.	20 έτη
3	Το κόστος σταθερού κεφαλαίου που εμφανίζεται ανεξάρτητα από το μέγεθος ή την αρχιτεκτονική του συστήματος.	0€
4	Οι σταθερές ετήσιες δαπάνες που εμφανίζονται ανεξάρτητα από το μέγεθος ή την αρχιτεκτονική του συστήματος.	0€
5	Μια ποινική ρήτρα που ισχύει σε περίπτωση που προκύψουν προβλήματα κατά την υλοποίηση του έργου	0€

5.7 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Σκοπός των εφαρμογών είναι να υπολογιστούν κάποιες ενδεικτικές τιμές εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα πέντε υβριδικών συστημάτων. Ο αλγόριθμος υπολογισμού των εκπομπών αυτών είναι ο εξής:

1. Προσομοίωση, βελτιστοποίηση και ανάλυση ευαισθησίας στο HOMER του συστήματος.

2. Πολλαπλασιασμός των παραγόμενων κιλοβατώρων/έτος της κάθε τεχνολογίας (πχ φωτοβολταϊκά) με την αντίστοιχη τιμή της ΑΚΖ της τεχνολογίας αυτής (πχ. για τα φωτοβολταϊκά η τιμή της ΑΚΖ ισούται με 0,080 kgr CO2 eq. / kWh) για να βρεθούν οι ετήσιες εκπομπές.

3. Πολλαπλασιασμός του αποτελέσματος που βρέθηκε στο δεύτερο στάδιο με το συνολικό χρόνο ζωής του έργου για να βρεθούν οι συνολικές ποσότητες που παράγει η κάθε τεχνολογία.

Ο παραπάνω αλγόριθμος αφορά μόνο τον υπολογισμό των αερίων του θερμοκηπίου του κάθε συστήματος. Όπως φαίνεται παρακάτω, σε κάθε υβριδικό σύστημα υπολογίζονται και άλλα στοιχεία, όπως πχ. το ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ στις συνολικές εκπομπές.

5.7.1 Υβριδικό Σύστημα 1: Φωτοβολταϊκά, Κυψέλες καυσίμου, Ηλεκτρολύτης, Δεξαμενή υδρογόνου

Στον Πίνακα 5.33 φαίνονται οι ποσότητες κάθε στοιχείου του συστήματος που χρησιμοποιήθηκαν στις προσομοιώσεις του HOMER. Ας επισημανθεί ότι η χρήση ενός τόσο μεγάλου φ/β συστήματος στην συγκεκριμένη θεωρητική εφαρμογή δύσκολα μπορεί να απαντηθεί σε πραγματικές συνθήκες. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή απαιτείται μεγάλη ονομαστική ισχύς του φ/β συστήματος εξαιτίας της μεγάλης κατανάλωσης ενέργειας του ηλεκτρολύτη κατά την παραγωγή υδρογόνου. Για την ελάττωση της ισχύος του φ/β συστήματος θα μπορούσε να χρησιμοποιηθούν άλλες τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας όπως πχ. οι ανεμογεννήτριες.

Πίνακας 5.33: Ποσότητες στοιχείων του συστήματος που συμμετέχουν στις προσομοιώσεις του υβριδικού συστήματος 1.

	Φωτοβολταϊκά (kW)	Κυψέλες καυσίμου (kW)	Ηλεκτρολύτης (kW)	Δεξαμενή υδρογόνου (kg)
Κάτω όριο	1590	160	900	400
Βήμα	1	5	1	5
Πάνω όριο	2000	180	1101	430

Στον Πίνακα 5.34 φαίνονται οι τιμές ανάλυσης ευαισθησίας του υβριδικού συστήματος 1.

Πίνακας 5.34: Τιμές ανάλυσης ευαισθησίας του υβριδικού συστήματος 1.

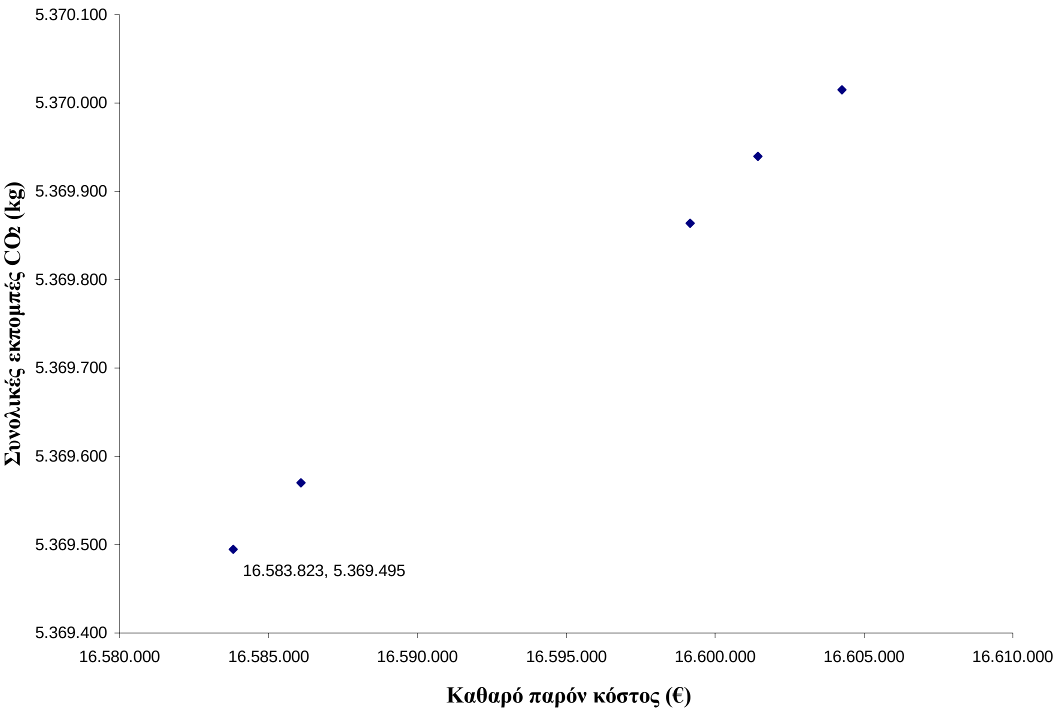
	Ηλιακό δυναμικό (kWh/m²/d)
1	4,620
2	4,100
3	5,100

Αφού εισάγονται όλα τα απαραίτητα δεδομένα που αφορούν στη μοντελοποίηση του υβριδικού συστήματος 1, το HOMER αρχίζει τη διαδικασία προσομοίωσης χρησιμοποιώντας όλους τους ενεργειακούς υπολογισμούς για τα στοιχεία που του έχουν εισαχθεί για κάθε μια από τις 8.760 ώρες του έτους. Με τη βοήθεια αυτών των ενεργειακών υπολογισμών προσπαθεί να δημιουργήσει όλους τους πιθανούς συνδυασμούς συστημάτων ενέργειας. Στη συνέχεια το HOMER κατά τη διάρκεια της βελτιστοποίησης παραθέτει ένα κατάλογο όλων των αποδεκτών συστημάτων ταξινομημένων σύμφωνα με το καθαρό παρόν κόστος. Στη συγκεκριμένη εργασία έχουν προστεθεί στο καθαρό παρόν κόστος τα εκάστοτε κόστη από τα πρόστιμα των εκπομπών CO_2 eq. κάθε συνδυασμού. Στον Πίνακα 5.35 φαίνονται τα πέντε πρώτα υβριδικά συστήματα ενέργειας τα οποία αποτελούν αποτέλεσμα της βελτιστοποίησης της σχεδίασης που εφαρμόζει το HOMER προκειμένου να βρει το βέλτιστο σύστημα. Οι πέντε αυτοί συνδυασμοί των υβριδικών συστημάτων ενέργειας είναι οι καλύτεροι αφού η ταξινόμησή τους γίνεται σύμφωνα με το καθαρό παρόν κόστος θεωρώντας ως καλύτερο εκείνο το σύστημα με το μικρότερο καθαρό παρόν κόστος.

Πίνακας 5.35: Αποτελέσματα της βελτιστοποίησης στο HOMER για το υβριδικό σύστημα 1.

Συστήματα	Φωτοβολταϊκά (kW)	Κυψέλες καυσίμου (kW)	Ηλεκτρολύτης (kW)	Δεξαμενή υδρογόνου (kg)	Συνολικές εκπομπές CO_2 (kg)	Καθαρό παρόν κόστος (€)
1	1765	175	1100	410	5.369.495	16.583.823
2	1765	175	1101	410	5.369.570	16.586.097
3	1765	175	1099	420	5.369.864	16.599.158
4	1765	175	1100	420	5.369.940	16.601.434
5	1765	175	1101	420	5.370.015	16.604.262

Στο Σχήμα 5.8 απεικονίζονται τα στοιχεία του Πίνακα 5.35. Στον άξονα των x κλιμακώνεται το καθαρό παρόν κόστος (€) ενώ στον άξονα των y οι συνολικές εκπομπές CO_2 eq (kg). Όπως φαίνεται από το Σχήμα 5.8, υπάρχει ένα σύστημα το οποίο υπερτερεί των υπολοίπων και στους δύο παράγοντες. Το σύστημα που με βάση τον Πίνακα 5.35 υπερτερεί των υπολοίπων και οικονομικά και περιβαλλοντικά είναι το Σύστημα 1 που αποτελείται από φωτοβολταϊκά ισχύος 1765 kW, κυψέλες καυσίμου ισχύος 175 kW, ηλεκτρολύτες ισχύος 1100 kW, δεξαμενή υδρογόνου χωρητικότητας 410 kg υδρογόνου, εκπέμπει 5.369.495 kg CO_2 σε όλη τη διάρκεια ζωής του, και το καθαρό παρόν κόστος του είναι 16.583.823 ευρώ.



Σχήμα 5.8: Γραφική απεικόνιση των 5 πρώτων από την βελτιστοποίηση του HOMER συστημάτων για το υβριδικό σύστημα 1.

Στον Πίνακα 5.36 φαίνονται τα συνολικά καθαρά παρόντα κόστη (€) των πέντε συστημάτων που προέκυψαν από την βελτιστοποίηση του HOMER. Με τον όρο *συνολικό* καθαρό παρόν κόστος εννοείται το άθροισμα του καθαρού παρόντος κόστους με το κόστος που προέρχεται από τα πρόστιμα που επιβάλλονται λόγω υπερβολικών εκπομπών CO_2. Από τον Πίνακα 5.36 προκύπτει ότι το σύστημα με το μικρότερο συνολικό καθαρό παρόν κόστος είναι το Σύστημα 1 που αποτελείται από φωτοβολταϊκά ισχύος 1765 kW, κυψέλες καυσίμου ισχύος 175 kW, ηλεκτρολύτες ισχύος 1100 kW, δεξαμενή υδρογόνου χωρητικότητας 410 kg υδρογόνου, εκπέμπει 5.369.495 kg CO_2 σε όλη τη διάρκεια ζωής του, το καθαρό παρόν κόστος του είναι 16.583.823 ευρώ, το πρόστιμο εκπομπών CO_2 είναι 263.592 ευρώ και το συνολικό καθαρό παρόν κόστος 16.847.415 ευρώ.

Για τον υπολογισμό του συνολικού προστίμου εκπομπών CO_2 κατά την διάρκεια ζωής του έργου χρησιμοποιείται ο εξής τύπος:

$$C_{\text{ΚΠΚΕ}} = \frac{C_{\text{ΕΣ}}}{\dfrac{\iota(1+\iota)^{\mathrm{N}}}{(1+\iota)^{\mathrm{N}}-1}} \tag{5.1}$$

όπου $C_{\text{ΚΠΚΕ}}$ το συνολικό καθαρό παρόν κόστος εκπομπών CO_2 (βλ. Πρόστιμο εκπομπών CO_2 στον Πίνακα 5.36), $C_{\text{ΕΣ}}$ το ετήσιο πρόστιμο εκπομπών CO_2, i ετήσιο επιτόκιο και N ο αριθμός των ετών λειτουργίας του σταθμού. Έτσι, για τον υπολογισμό πχ. του συνολικού καθαρού παρόντος κόστους εκπομπών CO_2 του συστήματος 1 ακολουθείται η εξής διαδικασία: υπολογίζεται το γινόμενο της τιμής των συνολικών ετήσιων εκπομπών CO_2 του συστήματος (268.474 kg CO_2 eq.) με την τιμή του προστίμου εκπομπών CO_2 (0,1 € / kg CO_2) και το αποτέλεσμα αυτής της πράξης είναι το $C_{\text{ΕΣ}}$. Στη συνέχεια εισάγεται στη Σχέση 5.1, όπου αντικαθιστώντας το i με 0,08 και το N με 20, υπολογίζεται το επιθυμητό αποτέλεσμα (263.592 €).

Πίνακας 5.36: Συνολικά καθαρά παρόντα κόστη για το υβριδικό σύστημα 1.

Συστήματα Πίνακα 5.35	Καθαρό παρόν κόστος (€)	Πρόστιμο εκπομπών CO_2 (€)	Συνολικό καθαρό παρόν κόστος (€)
1	16.583.823	263.592	16.847.415
2	16.586.097	263.596	16.849.693
3	16.599.158	263.611	16.862.769
4	16.601.434	263.614	16.865.048
5	16.604.262	263.618	16.867.880

Κατά την ανάλυση ευαισθησίας του υβριδικού συστήματος 1 παρατηρείται ότι όσο αυξάνει η ηλιακή ακτινοβολία τόσο μειώνονται και το συνολικό καθαρό παρόν κόστος όσο και οι συνολικές εκπομπές CO_2. Στον Πίνακα 5.37 φαίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας του HOMER για το υβριδικό σύστημα 1.

Πίνακας 5.37: Αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας του HOMER για το υβριδικό σύστημα 1.

Ηλιακή ακτινοβολία (kWh/m²/d)	Συνολικό καθαρό παρόν κόστος (€)	Συνολικές εκπομπές CO_2 eq. (kg)
4.620	16.847.415	5.369.495
4.100	18.187.629	5.471.690
5.100	15.920.596	5.256.990

5.7.2 Υβριδικό Σύστημα 2: Ανεμογεννήτριες, Ντηζελογεννήτρια, Υδροηλεκτρικό σύστημα, Μπαταρίες, Μετατροπείς

Στον Πίνακα 5.38 φαίνονται οι ποσότητες κάθε στοιχείου του συστήματος που χρησιμοποιήθηκαν στις προσομοιώσεις του HOMER.

Πίνακας 5.38: Ποσότητες στοιχείων του συστήματος που συμμετέχουν στις προσομοιώσεις του υβριδικού συστήματος 2

	Ανεμογεννήτριες ονομαστικής ισχύος 33 kW (Ποσότητα)	Ντηζελογεννήτρια (kW)	Μπαταρίες Surrette 6CS25P (Ποσότητα)	Μετατροπείς (kW)
Κάτω όριο	4	90	70	60
Βήμα	1	5	5	5
Πάνω όριο	10	130	110	100

Στον Πίνακα 5.39 φαίνονται οι τιμές ανάλυσης ευαισθησίας του υβριδικού συστήματος 2.

Πίνακας 5.39: Τιμές ανάλυσης ευαισθησίας του υβριδικού συστήματος 2.

	Αιολικό δυναμικό (m/s)	Δυναμικό ύδατος (L/s)
1	5,600	15
2	5,100	20
3	6,100	25

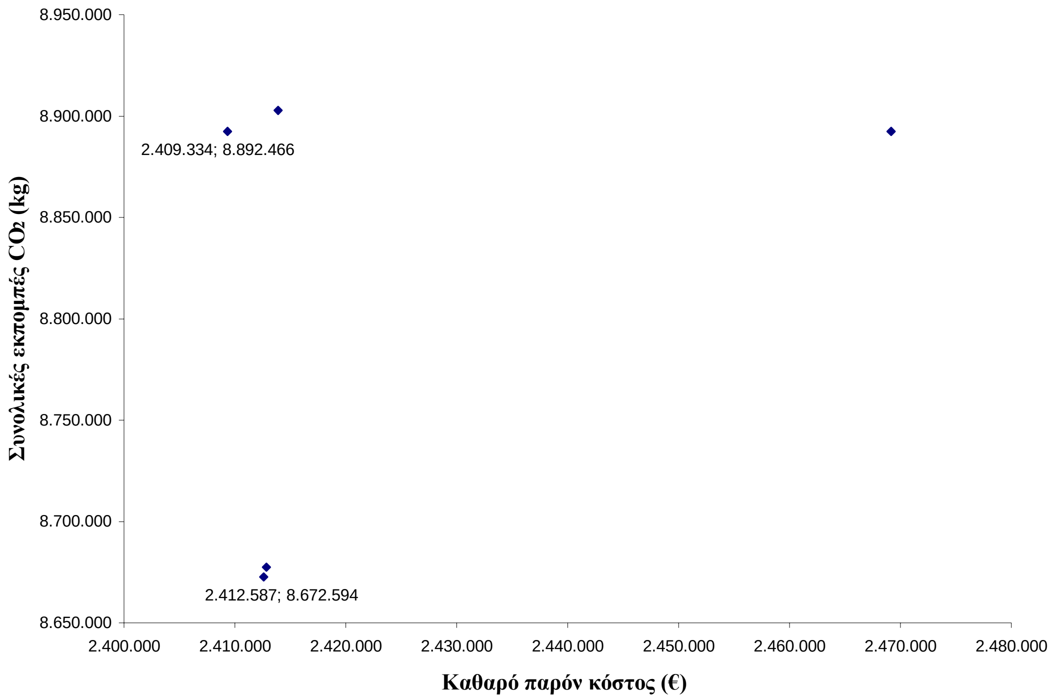
Στον Πίνακα 5.40 φαίνονται τα πέντε πρώτα υβριδικά συστήματα ενέργειας τα οποία αποτελούν αποτέλεσμα της βελτιστοποίησης της σχεδίασης που εφαρμόζει το HOMER προκειμένου να βρει το βέλτιστο σύστημα. Οι πέντε αυτοί συνδυασμοί των υβριδικών συστημάτων ενέργειας είναι οι καλύτεροι αφού η ταξινόμησή τους γίνεται σύμφωνα με το καθαρό παρόν κόστος θεωρώντας ως καλύτερο εκείνο το σύστημα με το μικρότερο καθαρό παρόν κόστος. Πρέπει να σημειωθεί ότι κατά το υπολογισμό των συνδυασμών των συστημάτων στο HOMER το υδροηλεκτρικό έργο ή υπολογίζεται ως ενεργό στοιχείο ή ως ανενεργό, δεν υπάρχει δηλαδή κλιμάκωση για το στοιχείο αυτό όπως υπάρχει σε άλλα πχ. στα φωτοβολταϊκά (0 φ/β, 1 φ/β, 2 φ/β κοκ.).

Πίνακας 5.40: Αποτελέσματα της βελτιστοποίησης στο HOMER για το υβριδικό σύστημα 2.

Συστήματα	Ανεμογεννήτριες ονομαστικής ισχύος 33 kW (ποσότητα)	Υδροηλεκτρικό (kW)	Ντηζελογεννήτρια (kW)	Μπαταρίες Surrette 6CS25P (ποσότητα)	Μετατροπείς (kW)	Συνολικές εκπομπές CO_2 (kg)	Συμμετοχή των ΑΠΕ στις συνολικές εκπομπές CO_2	Καθαρό παρόν κόστος (€)
1	8		120	90	80	8.892.466	2,78%	2.409.334
2	9		120	90	90	8.672.594	3,21%	2.412.587
3	9		120	90	80	8.677.410	3,21%	2.412.852
4	8		120	90	90	8.902.786	2,78%	2.413.897
5	8	27,6	120	90	80	8.892.466	2,78%	2.469.152

Στο Σχήμα 5.9 απεικονίζονται τα στοιχεία του Πίνακα 5.40. Στον άξονα των x κλιμακώνεται το καθαρό παρόν κόστος (€) ενώ στον άξονα των y οι συνολικές εκπομπές CO_2 eq (kg). Όπως φαίνεται από το Σχήμα 5.9, δεν υπάρχει ένα σύστημα το οποίο να υπερτερεί των υπολοίπων και στους δύο παράγοντες. Το σύστημα που με βάση τον Πίνακα 5.40 υπερτερεί των υπολοίπων οικονομικά είναι το Σύστημα 1, που αποτελείται από 8 ανεμογεννήτριες, ντηζελογεννήτρια ισχύος 120kW, 90 μπαταρίες, μετατροπείς ισχύος 80 kW, εκπέμπει 8.892.466 kg CO_2 σε όλη τη διάρκεια ζωής του και το καθαρό παρόν κόστος του είναι 2.409.334 ευρώ. Το σύστημα που με βάση τον Πίνακα 5.40 υπερτερεί των υπολοίπων περιβαλλοντικά είναι το Σύστημα 2 που αποτελείται από 9 ανεμογεννήτριες, ντηζελογεννήτρια ισχύος 120kW, 90 μπαταρίες, μετατροπείς ισχύος 90 kW, εκπέμπει 8.672.594 kg CO_2 σε όλη τη διάρκεια ζωής του, και το καθαρό παρόν κόστος του είναι 2.412.587 ευρώ.

Από τη μελέτη του Σχήματος 5.9 προκύπτει ότι τα 2 συστήματα που επικρατούν είναι τα Συστήματα 1 και 2, καθώς υπάρχει τουλάχιστον ένα από αυτά που επικρατεί και στους δύο παράγοντες έναντι των υπολοίπων συστημάτων, ενώ συγκρίνοντας οποιαδήποτε δύο από αυτά μεταξύ τους, διαπιστώνεται ότι το ένα από αυτά υπερέχει του άλλου σε έναν παράγοντα και ταυτόχρονα υπολείπεται του άλλου στον άλλον παράγοντα.



Σχήμα 5.9: Γραφική απεικόνιση των 5 πρώτων από την βελτιστοποίηση του HOMER συστημάτων για το υβριδικό σύστημα 2.

Στον Πίνακα 5.41 φαίνονται τα συνολικά καθαρά παρόντα κόστη (€) των πέντε συστημάτων που προέκυψαν από την βελτιστοποίηση του HOMER. Με τον όρο *συνολικό* καθαρό παρόν κόστος εννοείται το άθροισμα του καθαρού παρόντος κόστους με το κόστος που προέρχεται από τα πρόστιμα που επιβάλλονται λόγω υπερβολικών εκπομπών CO_2. Από τον Πίνακα 5.41 προκύπτει ότι το σύστημα με το μικρότερο συνολικό καθαρό παρόν κόστος είναι το Σύστημα 2 που αποτελείται από 9 ανεμογεννήτριες, ντηζελογεννήτρια ισχύος 120kW, 90 μπαταρίες, μετατροπείς ισχύος 90 kW, εκπέμπει 8.672.594 kg CO_2 σε όλη τη διάρκεια ζωής του, το καθαρό παρόν κόστος του είναι 2.409.334 ευρώ, το πρόστιμο εκπομπών CO_2 είναι 436.538 ευρώ και το συνολικό καθαρό παρόν κόστος 2.845.872 ευρώ.

Πίνακας 5.41: Συνολικά καθαρά παρόντα κόστη για το υβριδικό σύστημα 2.

Συστήματα Πίνακα 5.39	Καθαρό παρόν κόστος (€)	Πρόστιμο εκπομπών CO_2 (€)	Συνολικό καθαρό παρόν κόστος (€)
1	2.409.334	436.538	2.845.872
2	2.412.587	425.744	2.838.331
3	2.412.852	425.980	2.838.832
4	2.413.897	437.044	2.850.941
5	2.469.152	436.538	2.905.690

Κατά την ανάλυση ευαισθησίας του υβριδικού συστήματος 2 παρατηρούνται τα εξής:

- Όσο αυξάνει η ταχύτητα του ανέμου τόσο μειώνονται και το συνολικό καθαρό παρόν κόστος όσο και οι συνολικές εκπομπές CO_2.

- Όσο αυξάνει η παροχή νερού τόσο μειώνονται και το συνολικό καθαρό παρόν κόστος όσο και οι συνολικές εκπομπές CO_2.

Στον Πίνακα 5.42 φαίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας του HOMER για το υβριδικό σύστημα 2.

Πίνακας 5.42: Αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας του HOMER για το υβριδικό σύστημα 2.

Αιολικό δυναμικό (m/s)	Υδρολογικό δυναμικό (L/s)	Συνολικό καθαρό παρόν κόστος (€)	Συνολικές εκπομπές CO2 eq. (kg)
6	15	2.845.872	8.892.466
6	20	2.632.412	7.850.193
6	25	2.297.849	7.029.785
5	15	3.013.107	9.372.601
5	20	2.789.573	8.491.838
5	25	2.445.390	7.344.456
6	15	2.699.984	8.307.477
6	20	2.512.529	7.504.657
6	25	2.190.021	6.571.973

5.7.3 Υβριδικό Σύστημα 3: Ανεμογεννήτριες, Φωτοβολταϊκά, Ντηζελογεννήτρια, Μπαταρία, Μετατροπείς

Στον Πίνακα 5.43 φαίνονται οι ποσότητες κάθε στοιχείου του συστήματος που χρησιμοποιήθηκαν στις προσομοιώσεις του HOMER.

Πίνακας 5.43: Ποσότητες στοιχείων του συστήματος που συμμετέχουν στις προσομοιώσεις του υβριδικού συστήματος 3.

	Φωτοβολταϊκά (kW)	Ανεμογεννήτριες ονομαστικής ισχύος 33 kW (Ποσότητα)	Ντηζελογεννήτρια (kW)	Μπαταρίες Surrette 6CS25P (Ποσότητα)	Μετατροπείς (kW)
Κάτω όριο	0	0	140	140	45
Βήμα	5	1	5	5	5
Πάνω όριο	60	5	170	275	70

Στον Πίνακα 5.44 φαίνονται οι τιμές ανάλυσης ευαισθησίας του υβριδικού συστήματος 3.

Πίνακας 5.44: Τιμές ανάλυσης ευαισθησίας του υβριδικού συστήματος 3.

	Ηλιακό δυναμικό ($kWh/m^2/d$)	Αιολικό δυναμικό (m/s)
1	4,620	5,600
2	4,100	5,000
3	5,100	6,200

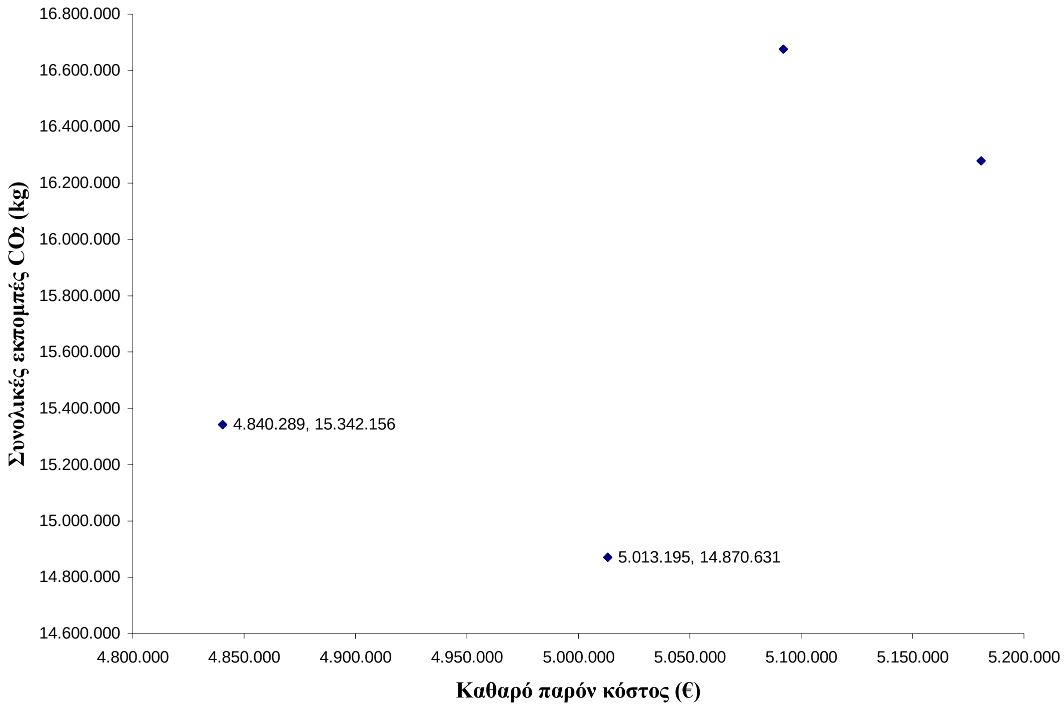
Στον Πίνακα 5.45 φαίνονται τα τέσσερα πρώτα υβριδικά συστήματα ενέργειας τα οποία αποτελούν αποτέλεσμα της βελτιστοποίησης της σχεδίασης που εφαρμόζει το HOMER προκειμένου να βρει το βέλτιστο σύστημα. Οι τέσσερις αυτοί συνδυασμοί των υβριδικών συστημάτων ενέργειας είναι οι καλύτεροι αφού η ταξινόμησή τους γίνεται σύμφωνα με το καθαρό παρόν κόστος θεωρώντας ως καλύτερο εκείνο το σύστημα με το μικρότερο καθαρό παρόν κόστος.

Πίνακας 5.45: Αποτελέσματα της βελτιστοποίησης στο HOMER για το υβριδικό σύστημα 3.

Συστήματα	Φωτοβολταϊκά (kW)	Ανεμογεννήτριες ονομαστικής ισχύος 33 kW (ποσότητα)	Ντηζελογεννήτρια (kW)	Μπαταρίες Surrette 6CS25P (Ποσότητα)	Μετατροπείς (kW)	Συνολικές εκπομπές CO_2 eq. (kg)	Συμμετοχή των ΑΠΕ στις συνολικές εκπομπές CO_2	Καθαρό παρόν κόστος (€)
1	40	1	150	250	55	15.342.156	0,80%	4.840.289
2		1	170	140	45	14.870.631	0,20%	5.013.195
3	50		150	255	60	16.675.739	0,69%	5.091.990
4			170	145	45	16.279.611	0%	5.180.846

Στο Σχήμα 5.10 απεικονίζονται τα στοιχεία του Πίνακα 5.45. Στον άξονα των x κλιμακώνεται το καθαρό παρόν κόστος (€) ενώ στον άξονα των y οι συνολικές εκπομπές CO_2 eq (kg). Όπως φαίνεται από το Σχήμα 5.10 δεν υπάρχει σύστημα το οποίο να υπερτερεί των υπολοίπων και στους δύο παράγοντες. Το σύστημα που με βάση τον πίνακα 5.45 υπερτερεί των υπολοίπων οικονομικά είναι το Σύστημα 1 που αποτελείται από φωτοβολταϊκά ισχύος 40 kW, 1 ανεμογεννήτρια, ντηζελογεννήτρια ισχύος 150 kW, 250 μπαταρίες, μετατροπείς ισχύος 55 kW, εκπέμπει 15.342.156 kg CO_2 σε όλη τη διάρκεια ζωής του, και το καθαρό παρόν κόστος του είναι 4.840.289 ευρώ. Το σύστημα που με βάση τον πίνακα 5.45 υπερτερεί των υπολοίπων περιβαλλοντικά είναι το Σύστημα 2 που αποτελείται από 1 ανεμογεννήτρια, ντηζελογεννήτρια ισχύος 170 kW, 140 μπαταρίες και μετατροπείς ισχύος 45 kW, εκπέμπει 14.870.631 kg CO_2 σε όλη τη διάρκεια ζωής του, και το καθαρό παρόν κόστος του είναι 5.013.195 ευρώ.

Από τη μελέτη του Σχήματος 5.10 προκύπτει ότι τα 2 συστήματα που επικρατούν είναι τα Συστήματα 1 και 2, καθώς υπάρχει τουλάχιστον ένα από αυτά που επικρατεί και στους δύο παράγοντες έναντι των υπολοίπων συστημάτων, ενώ συγκρίνοντας οποιαδήποτε δύο από αυτά μεταξύ τους, διαπιστώνεται ότι το ένα από αυτά υπερέχει του άλλου σε έναν παράγοντα και ταυτόχρονα υπολείπεται του άλλου στον άλλον παράγοντα.



Σχήμα 5.10: Γραφική απεικόνιση των 4 πρώτων από την βελτιστοποίηση του HOMER συστημάτων για το υβριδικό σύστημα 3.

Στον Πίνακα 5.46 φαίνονται τα συνολικά καθαρά παρόντα κόστη (€) των είκοσι συστημάτων που προέκυψαν από την βελτιστοποίηση του HOMER. Με τον όρο *συνολικό* καθαρό παρόν κόστος εννοείται το άθροισμα του καθαρού παρόντος κόστους με το κόστος που προέρχεται από τα πρόστιμα που επιβάλλονται λόγω υπερβολικών εκπομπών CO_2. Από τον Πίνακα 5.46 προκύπτει ότι το σύστημα με το μικρότερο συνολικό καθαρό παρόν κόστος είναι το Σύστημα 1 που αποτελείται από φωτοβολταϊκά ισχύος 40 kW, 1 ανεμογεννήτρια, ντηζελογεννήτρια ισχύος 150 kW, 250 μπαταρίες, μετατροπείς ισχύος 55 kW, εκπέμπει 15.342.156 kg CO_2 σε όλη τη διάρκεια ζωής του, το καθαρό παρόν κόστος του είναι 4.840.289 ευρώ, το πρόστιμο εκπομπών CO_2 είναι 753.158 ευρώ και το συνολικό καθαρό παρόν κόστος 5.593.447 ευρώ.

Πίνακας 5.46: Συνολικά καθαρά παρόντα κόστη για το υβριδικό σύστημα 3.

Συστήματα Πίνακα 5.43	Καθαρό παρόν κόστος (€)	Πρόστιμο εκπομπών CO_2 (€)	Συνολικό καθαρό παρόν κόστος (€)
1	4.840.289	753.158	5.593.447
2	5.013.195	730.010	5.743.205
3	5.091.990	818.624	5.910.614
4	5.180.846	799.178	5.980.024

Κατά την ανάλυση ευαισθησίας του υβριδικού συστήματος 1 παρατηρούνται τα εξής:

- Όσο αυξάνει η ταχύτητα του ανέμου τόσο μειώνονται και το συνολικό καθαρό παρόν κόστος όσο και οι συνολικές εκπομπές CO_2.

- Όσο αυξάνει η ηλιακή ακτινοβολία τόσο μειώνονται και το συνολικό καθαρό παρόν κόστος όσο και οι συνολικές εκπομπές CO_2.

Στον Πίνακα 5.47 φαίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας του HOMER για το υβριδικό σύστημα 3.

Πίνακας 5.47: Αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας του HOMER για το υβριδικό σύστημα 3.

Ηλιακή ακτινοβολία ($kWh/m^2/d$)	Αιολικό δυναμικό (m/s)	Συνολικό καθαρό παρόν κόστος (€)	Συνολικές εκπομπές CO2 eq. (kg)
5	6	5.593.447	15.342.156
5	5	5.643.015	15.537.585
5	6	5.550.306	15.177.779
4	6	5.608.547	15.409.994
4	5	5.658.105	15.605.408
4	6	5.565.302	15.245.138
5	6	5.581.992	15.290.820
5	5	5.631.131	15.485.465
5	6	5.538.674	15.126.923

5.7.4 Υβριδικό Σύστημα 4: Γεννήτρια Βιομάζας, Ντηζελογεννήτρια

Στον Πίνακα 5.48 φαίνονται οι ποσότητες κάθε στοιχείου του συστήματος που χρησιμοποιήθηκαν στις προσομοιώσεις του HOMER.

Πίνακας 5.48: Ποσότητες στοιχείων του συστήματος που συμμετέχουν στις προσομοιώσεις του υβριδικού συστήματος 4.

	Ντηζελογεννήτρια (kW)	Γεννήτρια Βιομάζας (kW)
Κάτω όριο	0	0
Βήμα	5	5
Πάνω όριο	220	205

Στον Πίνακα 5.49 φαίνονται οι τιμές ανάλυσης ευαισθησίας του υβριδικού συστήματος 4.

Πίνακας 5.49: Τιμές ανάλυσης ευαισθησίας του υβριδικού συστήματος 4.

	Βιομάζα (t/d)
1	0.000
2	5.000
3	10.000
4	15.000
5	20.000
6	25.000

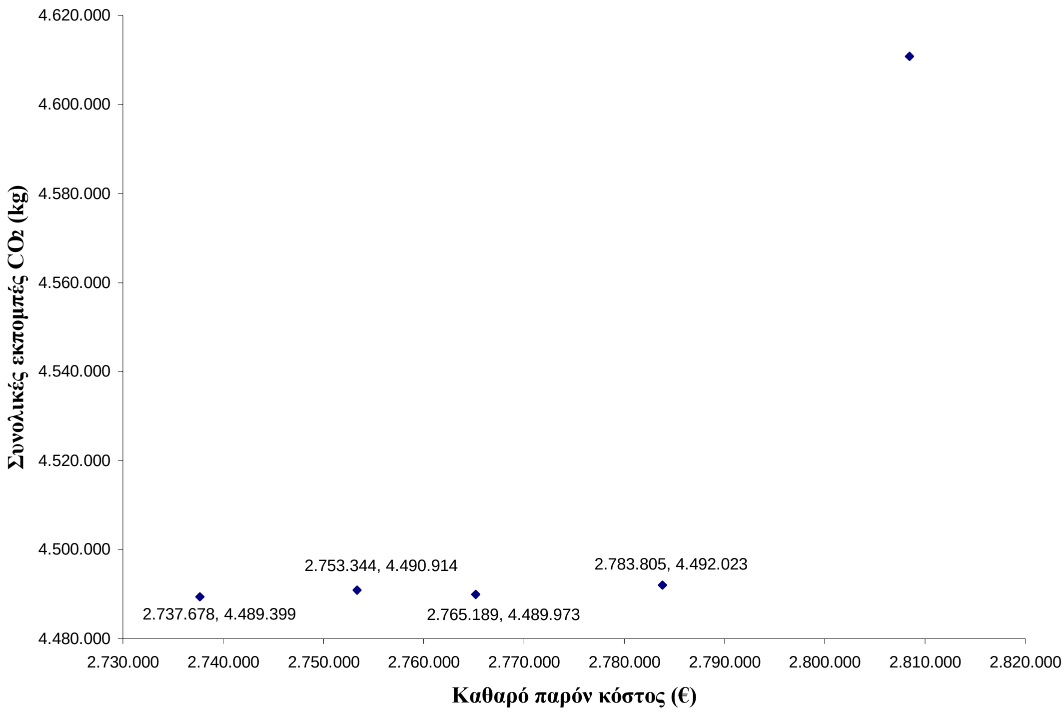
Στον Πίνακα 5.50 φαίνονται τα πέντε πρώτα υβριδικά συστήματα ενέργειας τα οποία αποτελούν αποτέλεσμα της βελτιστοποίησης της σχεδίασης που εφαρμόζει το HOMER προκειμένου να βρει το βέλτιστο σύστημα. Οι πέντε αυτοί συνδυασμοί των υβριδικών συστημάτων ενέργειας είναι οι καλύτεροι αφού η ταξινόμησή τους γίνεται σύμφωνα με το καθαρό παρόν κόστος θεωρώντας ως καλύτερο εκείνο το σύστημα με το μικρότερο καθαρό παρόν κόστος. Στους υπολογισμούς των υβριδικών συστημάτων θεωρείται ότι η βιομάζα παρέχεται δωρεάν.

Πίνακας 5.50: Αποτελέσματα της βελτιστοποίησης στο HOMER για το υβριδικό σύστημα 4.

Συστήματα	Ντηζελογεννήτρια (kW)	Γεννήτρια Βιομάζας (kW)	Συνολικές εκπομπές CO_2 eq. (kg)	Συμμετοχή των ΑΠΕ στις συνολικές εκπομπές CO_2	Καθαρό παρόν κόστος (€)
1	185	185	4.489.399	43,57%	2.737.678
2	190	185	4.490.914	43,55%	2.753.344
3	195	185	4.489.973	43,56%	2.765.189
4	200	185	4.492.023	43,53%	2.783.805
5	185	190	4.610.796	41,97%	2.808.425

Στο Σχήμα 5.11 απεικονίζονται τα στοιχεία του Πίνακα 5.50. Στον άξονα των x κλιμακώνεται το καθαρό παρόν κόστος (€) ενώ στον άξονα των y οι συνολικές εκπομπές CO_2 eq. (kg). Όπως φαίνεται από το σχήμα, υπάρχει ένα σύστημα το οποίο υπερτερεί των υπολοίπων και στους δύο παράγοντες. Το σύστημα που με βάση τον Πίνακα 5.50 υπερτερεί των υπολοίπων και οικονομικά και περιβαλλοντικά είναι το Σύστημα 1 που αποτελείται από ντηζελογεννήτρια 185 kW και γεννήτρια βιομάζας ισχύος 185 kW, εκπέμπει 4.489.399 kg CO_2 σε όλη τη διάρκεια ζωής του, και το καθαρό παρόν κόστος του είναι 2.737.678 ευρώ.

Από τη μελέτη του Σχήματος 5.11 προκύπτει ότι τα 4 συστήματα που επικρατούν είναι τα Συστήματα 1, 2, 3 και 4 καθώς υπάρχει τουλάχιστον ένα από αυτά που επικρατεί και στους δύο παράγοντες έναντι των υπολοίπων συστημάτων, ενώ συγκρίνοντας οποιαδήποτε δύο από αυτά μεταξύ τους, διαπιστώνεται ότι το ένα από αυτά υπερέχει του άλλου σε έναν παράγοντα και ταυτόχρονα υπολείπεται του άλλου στον άλλον παράγοντα.



Σχήμα 5.11: Γραφική απεικόνιση των 5 πρώτων από την βελτιστοποίηση του HOMER συστημάτων για το υβριδικό σύστημα 4.

Στον Πίνακα 5.51 φαίνονται τα συνολικά καθαρά παρόντα κόστη (€) των είκοσι συστημάτων που προέκυψαν από την βελτιστοποίηση του HOMER. Με τον όρο *συνολικό* καθαρό παρόν κόστος εννοείται το άθροισμα του καθαρού παρόντος κόστους με το κόστος που προέρχεται από τα πρόστιμα που επιβάλλονται λόγω υπερβολικών εκπομπών CO_2. Από τον Πίνακα 5.51 προκύπτει ότι το σύστημα με το μικρότερο συνολικό καθαρό παρόν κόστος είναι το Σύστημα 1 που αποτελείται από ντηζελογεννήτρια 185 kW και γεννήτρια βιομάζας ισχύος 185 kW, εκπέμπει 4.489.399 kg CO_2 σε όλη τη διάρκεια ζωής του, το καθαρό παρόν κόστος του είναι 2.737.678 ευρώ, το πρόστιμο εκπομπών CO_2 είναι 220.388 ευρώ και το συνολικό καθαρό παρόν κόστος 2.958.066 ευρώ.

Πίνακας 5.51: Συνολικά καθαρά παρόντα κόστη για το υβριδικό σύστημα 4.

Συστήματα Πίνακα 5.47	Καθαρό παρόν κόστος (€)	Πρόστιμο εκπομπών CO_2 (€)	Συνολικό καθαρό παρόν κόστος (€)
1	2.737.678	220.388	2.958.066
2	2.753.344	220.462	2.973.806
3	2.765.189	220.416	2.985.605
4	2.783.805	220.517	3.004.322
5	2.808.425	226.347	3.034.772

Κατά την ανάλυση ευαισθησίας του υβριδικού συστήματος 4 παρατηρούνται τα εξής:

- Όταν το δυναμικό βιομάζας βρίσκεται στην περιοχή ανάμεσα από 0 έως 13 τόνους ανά ημέρα τότε οι συνολικές εκπομπές CO_2 eq., ξεκινώντας από μια αρχική υψηλή τιμή, μειώνονται μέχρι ένα ολικό ελάχιστο. Από 13 τόνους/ημέρα μέχρι 15 οι εκπομπές αυξάνονται και από 15 και άνω παγιώνονται σε μία τιμή. Υπάρχει δηλαδή τοπικό ελάχιστο για τις εκπομπές.

- Όταν το δυναμικό βιομάζας βρίσκεται στην περιοχή ανάμεσα από 0 έως 13 τόνους ανά ημέρα τότε το συνολικό κόστος, ξεκινώντας από μια αρχική υψηλή τιμή, μειώνεται μέχρι ένα ολικό ελάχιστο. Από 13 τόνους/ημέρα και άνω η τιμή παραμένει στο ίδιο κατώτατο όριο.

Συμπερασματικά, οι 13 t/ημέρα αποτελούν την ιδανικότερη συνθήκη για τις τιμές τόσο των εκπομπών CO_2 όσο και του κόστους. Στον Πίνακα 5.52 φαίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας του HOMER για το υβριδικό σύστημα 4.

Πίνακας 5.52: Αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας του HOMER για το υβριδικό σύστημα 4.

Δυναμικό βιομάζας (t/d)	Συνολικό καθαρό παρόν κόστος (€)	Συνολικές εκπομπές CO2 eq. (kg)
0	7.008.104	14.601.632
5	4.948.977	9.554.544
10	3.842.554	9.554.544
15	3.384.375	13.005.670
20	3.384.639	13.005.906
25	3.384.639	13.005.906

5.7.5 Υβριδικό Σύστημα 5: Ανεμογεννήτρια, Φωτοβολταϊκά, Υδροηλεκτρικό Σύστημα, Μπαταρίες, Μετατροπείς, Γεννήτρια Φυσικού αερίου

Στον Πίνακα 5.53 φαίνονται οι ποσότητες κάθε στοιχείου του συστήματος που χρησιμοποιήθηκαν στις προσομοιώσεις του HOMER.

Πίνακας 5.53: Ποσότητες στοιχείων του συστήματος που συμμετέχουν στις προσομοιώσεις του υβριδικού συστήματος 5.

	Φωτοβολταϊκά (kW)	Ανεμογεννήτριες ονομαστικής ισχύος 33 kW (Ποσότητα)	Γεννήτρια φυσικού αερίου (kW)	Μπαταρίες Surrette 6CS25P (Ποσότητα)	Μετατροπείς (kW)
Κάτω όριο	0	0	100	0	0
Βήμα	1	1	5	10	10
Πάνω όριο	5	13	200	260	110

Στον Πίνακα 5.54 φαίνονται οι τιμές ανάλυσης ευαισθησίας του υβριδικού συστήματος 5.

Πίνακας 5.54: Τιμές ανάλυσης ευαισθησίας του υβριδικού συστήματος 5.

	Ηλιακό δυναμικό ($kWh/m^2/d$)	Αιολικό δυναμικό (m/s)	Υδρολογικό δυναμικό (L/s)
1	4,620	5,600	15
2	4,100	5,000	20
3	5,100	6,200	25

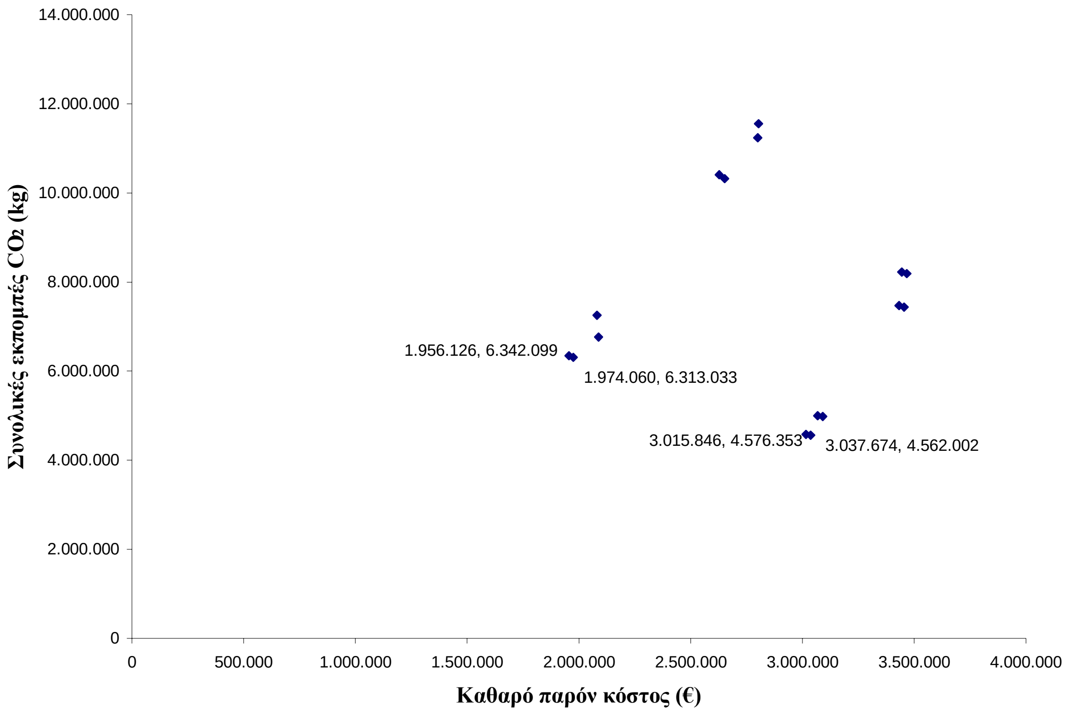
Στον πίνακα 5.55 φαίνονται τα δεκαέξι πρώτα υβριδικά συστήματα ενέργειας τα οποία αποτελούν αποτέλεσμα της βελτιστοποίησης της σχεδίασης που εφαρμόζει το HOMER προκειμένου να βρει το βέλτιστο σύστημα. Οι πέντε αυτοί συνδυασμοί των υβριδικών συστημάτων ενέργειας είναι οι καλύτεροι αφού η ταξινόμησή τους γίνεται σύμφωνα με το καθαρό παρόν κόστος θεωρώντας ως καλύτερο εκείνο το σύστημα με το μικρότερο καθαρό παρόν κόστος. Πρέπει να σημειωθεί ότι κατά το υπολογισμό των συνδυασμών των συστημάτων στο HOMER το υδροηλεκτρικό έργο ή υπολογίζεται ως ενεργό στοιχείο ή ως ανενεργό. Δεν υπάρχει δηλαδή κλιμάκωση για το στοιχείο αυτό όπως υπάρχει σε άλλα πχ. στα φωτοβολταϊκά (0 φ/β, 1 φ/β, 2 φ/β κοκ.).

Πίνακας 5.55: Αποτελέσματα της βελτιστοποίησης στο HOMER για το υβριδικό σύστημα 5.

Συστήματα	*Φωτοβολταϊκά (kW)*	*Ανεμογεννήτριες ονομαστικής ισχύος 33 kW (ποσότητα)*	*Υδροηλεκτρικό (kW)*	*Γεννήτρια φυσικού αερίου (kW)*	*Μπαταρίες Surrette 6CS25P (ποσότητα)*	*Μετατροπείς (kW)*	*Συνολικές εκπομπές CO_2 eq. (kg)*	*Συμμετοχή των ΑΠΕ στις συνολικές εκπομπές CO_2*	*Καθαρό παρόν κόστος (€)*
1		7	27,6	125	200	90	6.342.099	3,75%	1.956.126
2	4	7	27,6	125	200	90	6.313.033	3,90%	1.974.060
3		7		125	230	100	7.257.355	2,99%	2.081.234
4	4	8		125	200	90	6.763.120	3,78%	2.088.445
5			27,6	150	200	90	10.406.621	0,21%	2.628.023
6	4		27,6	150	200	90	10.323.510	0,29%	2.652.615
7	4			150	200	90	11.235.319	0,07%	2.799.386
8				150	220	90	11.550.399	0,00%	2.804.043
9		13	27,6	200			4.576.353	9,26%	3.015.846
10	4	13	27,6	200		10	4.562.002	9,47%	3.037.674
11		13		200			4.995.944	8,05%	3.068.542
12	4	13		200		10	4.981.809	8,24%	3.091.282
13			27,6	200			7.469.585	0,29%	3.432.001
14				200			8.224.416	0,00%	3.444.675
15	4		27,6	200		10	7.436.928	0,40%	3.455.060
16	4			200		10	8.190.913	0,10%	3.467.680

Στο Σχήμα 5.12 απεικονίζονται τα στοιχεία του Πίνακα 5.55. Στον άξονα των x κλιμακώνεται το καθαρό παρόν κόστος (€) ενώ στον άξονα των y οι συνολικές εκπομπές CO_2 eq (kg). Όπως φαίνεται από το Σχήμα 5.12 δεν υπάρχει σύστημα το οποίο να υπερτερεί των υπολοίπων και στους δύο παράγοντες. Το σύστημα που με βάση τον Πίνακα 5.55 υπερτερεί των υπολοίπων οικονομικά είναι το Σύστημα 1 που αποτελείται από 7 ανεμογεννήτριες, υδροηλεκτρικό ισχύος 27,6 kW, γεννήτρια φυσικού αερίου ισχύος 125 kW, 200 μπαταρίες και μετατροπείς ισχύος 90kW, εκπέμπει 6.342.099 kg CO_2 σε όλη τη διάρκεια ζωής του, και το καθαρό παρόν κόστος του είναι 1.956.126 ευρώ. Το σύστημα που με βάση τον Πίνακα 5.55 υπερτερεί των υπολοίπων περιβαλλοντικά είναι το Σύστημα 10 που αποτελείται από φωτοβολταϊκά ισχύος 4 kW, 13 ανεμογεννήτριες, υδροηλεκτρικό ισχύος 27,6 kW, γεννήτρια φυσικού αερίου ισχύος 200 kW και μετατροπείς ισχύος 10kW, εκπέμπει 4.562.002 kg CO_2 σε όλη τη διάρκεια ζωής του, και το καθαρό παρόν κόστος του είναι 3.037.674 ευρώ.

Από τη μελέτη του Σχήματος 5.12 προκύπτει ότι τα 4 συστήματα που επικρατούν είναι τα Συστήματα 1, 2, 9 και 10, καθώς υπάρχει τουλάχιστον ένα από αυτά που επικρατεί και στους δύο παράγοντες έναντι των υπολοίπων συστημάτων, ενώ συγκρίνοντας οποιαδήποτε δύο από αυτά μεταξύ τους, διαπιστώνεται ότι το ένα από αυτά υπερέχει του άλλου σε έναν παράγοντα και ταυτόχρονα υπολείπεται του άλλου στον άλλον παράγοντα.



Σχήμα 5.12: Γραφική απεικόνιση των 16 πρώτων από την βελτιστοποίηση του HOMER συστημάτων για το υβριδικό σύστημα 5.

Στον Πίνακα 5.56 φαίνονται τα συνολικά καθαρά παρόντα κόστη (€) των είκοσι συστημάτων που προέκυψαν από την βελτιστοποίηση του HOMER. Με τον όρο *συνολικό* καθαρό παρόν κόστος εννοείται το άθροισμα του καθαρού παρόντος κόστους με το κόστος που προέρχεται από τα πρόστιμα που επιβάλλονται λόγω υπερβολικών εκπομπών CO_2. Από τον Πίνακα 5.56 προκύπτει ότι το σύστημα με το μικρότερο συνολικό καθαρό παρόν κόστος είναι το Σύστημα 1 που αποτελείται από 7 ανεμογεννήτριες, υδροηλεκτρικό ισχύος 27,6 kW, γεννήτρια φυσικού αερίου ισχύος 125 kW, 200 μπαταρίες και μετατροπείς ισχύος 90kW, εκπέμπει 6.342.099 kg CO_2 σε όλη τη διάρκεια ζωής του, το καθαρό παρόν κόστος του είναι 1.956.126 ευρώ, το πρόστιμο εκπομπών CO_2 είναι 311.338 ευρώ και το συνολικό καθαρό παρόν κόστος 2.267.464 ευρώ.

Πίνακας 5.56: Συνολικά καθαρά παρόντα κόστη

Συστήματα Πίνακα 5.51	Καθαρό παρόν κόστος (€)	Πρόστιμο εκπομπών CO_2 (€)	Συνολικό καθαρό παρόν κόστος (€)
1	1.956.126	311.338	2.267.464
2	1.974.060	309.911	2.283.971
3	2.081.234	356.269	2.437.503
4	2.088.445	332.007	2.420.452
5	2.628.023	510.869	3.138.892
6	2.652.615	506.789	3.159.404
7	2.799.386	551.550	3.350.936
8	2.804.043	567.018	3.371.061
9	3.015.846	224.657	3.240.503
10	3.037.674	223.952	3.261.626
11	3.068.542	245.255	3.313.797
12	3.091.282	244.561	3.335.843
13	3.432.001	366.687	3.798.688
14	3.444.675	403.743	3.848.418
15	3.455.060	365.084	3.820.144
16	3.467.680	402.098	3.869.778

Κατά την ανάλυση ευαισθησίας του υβριδικού συστήματος 1 παρατηρούνται τα εξής:

- Όσο αυξάνει η ταχύτητα του ανέμου τόσο μειώνονται και το καθαρό παρόν κόστος όσο και οι συνολικές εκπομπές CO_2.

- Όσο αυξάνει η παροχή νερού τόσο μειώνονται και το καθαρό παρόν κόστος όσο και οι συνολικές εκπομπές CO_2.

- Όσο αναφορά τη ηλιακή ακτινοβολία, το καθαρό παρόν κόστος και οι εκπομπές CO_2 έχουν τοπικό μέγιστο στην τιμή 4,62. Αυτό εξηγείται ως εξής: από 4,1 έως 4,62 $kWh/m^2/d$ αυξάνονται οι συνολικές εκπομπές CO_2 και το κόστος διότι όσο αυξάνεται η ηλιακή ακτινοβολία, τόσο περισσότερες μπαταρίες χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση της ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά με αποτέλεσμα να αυξάνονται και οι εκπομπές και το κόστος. Από 4,62 έως το 5,1 $kWh/m^2/d$ παρατηρείται ότι μέρος της απαιτούμενων κιλοβατώρων που στο διάστημα από 4,1 έως 4,62 $kWh/m^2/d$ παραγόταν από τη γεννήτρια φυσικού αερίου έχει αντικατασταθεί από κιλοβατώρες παραγόμενες από φωτοβολταϊκά, τα οποία εκπέμπουν λιγότερες εκπομπές ανά kWh από τη γεννήτρια φυσικού αερίου, ενώ ο αριθμός των μπαταριών δεν αυξάνεται, οπότε μειώνονται οι συνολικές εκπομπές. Τέλος, το συνολικό κόστος μειώνεται διότι μειώνεται το κόστος λειτουργίας της γεννήτριας φυσικού αερίου.

Στον Πίνακα 5.57 φαίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας του HOMER για το υβριδικό σύστημα 5.

Πίνακας 5.57: Αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας του HOMER για το υβριδικό σύστημα 5.

Ηλιακή ακτινοβολία (kWh/m²/d)	Αιολικό δυναμικό (m/s)	Υδρολογικό δυναμικό (L/s)	Συνολικό καθαρό παρόν κόστος (€)	Συνολικές εκπομπές CO2 eq. (kg)
5	6	15	2.267.464	6.342.099
5	6	20	2.145.454	5.999.570
5	6	25	2.067.101	5.762.370
5	5	15	2.472.746	7.011.887
5	5	20	2.281.703	6.398.647
5	5	25	2.205.972	6.158.882
5	6	15	2.155.465	6.023.959
5	6	20	2.037.480	5.689.980
5	6	25	1.969.679	5.478.728
4	6	15	2.267.464	6.342.099
4	6	20	2.145.454	5.999.570
4	6	25	2.067.101	5.762.370
4	5	15	2.459.954	6.905.426
4	5	20	2.281.703	6.398.647
4	5	25	2.205.972	6.158.882
4	6	15	2.155.465	6.023.959
4	6	20	2.037.480	5.689.980
4	6	25	1.969.679	5.478.728
5	6	15	2.267.464	6.342.099
5	6	20	2.145.454	5.999.570
5	6	25	2.067.101	5.762.370
5	5	15	2.471.802	7.009.666
5	5	20	2.281.703	6.398.647
5	5	25	2.205.972	6.158.882
5	6	15	2.155.465	6.023.959
5	6	20	2.037.480	5.689.980
5	6	25	1.969.679	5.478.728

5.8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα από την οικονομική-περιβαλλοντική μελέτη των 5 υβριδικών συστημάτων είναι τα εξής:

- Αναφορικά με την επιρροή των πόρων που χρησιμοποιεί ένα υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, συνήθως παρατηρούνται τα εξής: το αιολικό δυναμικό, το ηλιακό δυναμικό, το υδρολογικό δυναμικό και το δυναμικό βιομάζας είναι ποσά αντιστρόφως ανάλογα με την τιμή των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που παράγει ένας σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και με το οικονομικό κόστος του σταθμού. Αυτό σημαίνει ότι όταν αυξάνεται ένα από τα παραπάνω δυναμικά τότε οι συνολικές εκπομπές CO_2 που εκπέμπει ένας σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και το συνολικό καθαρό παρόν κόστος του σταθμού μειώνονται.

- Τα ποσοστά συμμετοχής του κόστους των εκπομπών CO_2 στο συνολικό καθαρό παρόν κόστος του συστήματος κυμαίνονται από 3% έως 16%.

- Τα ποσοστά συμμετοχής των εκπομπών CO_2 των ΑΠΕ στις συνολικές εκπομπές CO_2 ενός υβριδικού συστήματος στο οποίο συμμετέχει είτε ντηζελογεννήτρια είτε γεννήτρια φυσικού αερίου έχουν γραμμική σχεδόν σχέση με το ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ στη συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

- Το πιο ακριβό υβριδικό σύστημα όσον αναφορά το συνολικό καθαρό παρόν κόστος είναι το υβριδικό σύστημα 1 (περιλαμβάνει φ/β ισχύος 1765 kW, κυψέλες καυσίμου ισχύος 175 kW, ηλεκτρολύτη ισχύος 1101 kW, δεξαμενή υδρογόνου 420 kg, έχει συνολικό καθαρό παρόν κόστος 16.867.880€, εκπέμπει 5.370.015 kg CO_2) ενώ το πιο οικονομικό είναι το υβριδικό σύστημα 5 (περιλαμβάνει 7 ανεμογεννήτριες των 33 kW, υδροηλεκτρικό ισχύος 27,6 kW, γεννήτρια φυσικού αερίου ισχύος 125 kW, 200 μπαταρίες, μετατροπείς ισχύος 90kW, έχει συνολικό καθαρό παρόν κόστος 2.267.464€, εκπέμπει 6.342.099 kg CO_2).

- Το σύστημα με τις λιγότερες εκπομπές CO_2 είναι το υβριδικό σύστημα 4 (περιλαμβάνει ντηζελογεννήτρια 185 kW, γεννήτρια βιομάζας ισχύος 185 kW, έχει συνολικό καθαρό παρόν κόστος 2.958.066 €, εκπέμπει 4.489.399 kg CO_2) ενώ αυτό με τις περισσότερες εκπομπές CO_2 είναι το υβριδικό σύστημα 3 (περιλαμβάνει φ/β ισχύος 50kW, ντηζελογεννήτρια ισχύος 150kW, 255 μπαταρίες, μετατροπείς ισχύος 60 kW, έχει συνολικό καθαρό παρόν κόστος 5.091.990 €, εκπέμπει 16.675.739 kg CO_2). Ας σημειωθεί ξανά ότι όλες οι εφαρμογές προσομοιώθηκαν χρησιμοποιώντας την ίδια ζήτηση ηλεκτρικού φορτίου.

5.8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[5.1] J. Kruger, W.A. Pizer, “The EU Emissions Trading Directive: Opportunities and Potential,” *Resources For the Future* (RFF), RFF DP 04-24 [Online], Available at: http://www.rff.org/documents/RFF-DP-04-24.pdf, April, 2004.

[5.2] Η Ναυτεμπορική, «Στα ύψη η τιμή του ρωσικού φυσικού αερίου στην Ευρώπη,» http://www.naftemporiki.gr/news/static/08/03/15/1488759.htm, Accessed on 3/24/2008

[5.3] NREL, *HOMER: the optimization model for distributed power*, National renewable energy laboratory, Available at: http://www.nrel.gov/homer.

[5.4] Lorax Energy Systems, LLC, H. DuPont, “Fuhrlander Wind Turbine Overview,” presented at the Wind Diesel Workshop, Alyeska Resort, Girdwood, AK ,USA, September, 2004.

[5.5] Greenpeace Energy, D. Lenardic (2003), “Photovoltaic economics,” [Online], Available at: http://www.pvresources.com/en/economics.php.

[5.6] J. Camerlynck, “Modelling of Renewable Energy Systems in the Malvides,” Internal Report: NWS-I-2004-21 (2004), Utrecht, The Netherlands, [Online], Available at: http://www.chem.uu.nl/nws/www/publica/I2004-21.pdf.

[5.7] DuroPower, “Diesel generators,” http://www.duropower.com/index.asp?FID=14&level=1, Accessed on 3/24/2008

[5.8] The Alternative Energy Store, “Off Grid No Utility Needs Batteries,” http://store.altenergystore.com/Inverters/Off-Grid-No-Utility-Needs-Batteries/3000-to-5500-Watts/c603/, Accessed on 3/24/2008

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε το περιβαλλοντικό κόστος των τεχνολογιών των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ). Πιο συγκεκριμένα, η εργασία επικεντρώνεται στις ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα που εκπέμπονται από τις τεχνολογίες αυτές. Για την επίτευξη αυτού του σκοπού συγκεντρώθηκαν στοιχεία Ανάλυσης Κύκλου Ζωής για την κάθε τεχνολογία. Από τα στοιχεία αυτά και μόνο συμπεραίνεται ότι:

- Οι ΑΠΕ δεν εκπέμπουν καθόλου διοξείδιο του άνθρακα κατά τη λειτουργία τους (με εξαίρεση τη βιομάζα). Καταναλώνουν όμως σημαντικούς ενεργειακούς πόρους, εκπέμποντας έτσι εξίσου σημαντικές ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα κατά την απόκτηση των πρώτων υλών, την κατασκευή και εγκατάσταση των σταθμών παραγωγής ενέργειας, κατά τη μεταφορά των επιμέρους στοιχείων του σταθμού και τέλος κατά την αποικοδόμηση και ανακύκλωση του σταθμού.

- Η πιο φιλική περιβαλλοντικά τεχνολογία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας φαίνεται να είναι τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα. Ακολουθούν οι ανεμογεννήτριες, οι κυψέλες καυσίμου (εφόσον βέβαια για να παραχθεί το υδρογόνο χρησιμοποιείται ενέργεια από άλλες ΑΠΕ, κατά προτίμηση ανεμογεννήτριες ή μικρά υδροηλεκτρικά), τα φωτοβολταϊκά και τελευταία έρχεται η βιομάζα. Η κατάταξη αυτή είναι πάρα πολύ σχετική διότι τα αποτελέσματα της ΑΚΖ επηρεάζονται δραματικά και από τις διάφορες τεχνολογίες (πχ. τα μονοκρυσταλλικά φ/β εκπέμπουν πολύ περισσότερο CO_2 από τα φ/β λεπτού φιλμ) και από τη τοποθεσία του ηλεκτρικού σταθμού (αλλάζουν τα αιολικά και ηλιακά δυναμικά, τα δυναμικά βιομάζας, κτλ). Οπότε η παραπάνω κατάταξη είναι αρκετά γενική.

- Αναφορικά με την επιρροή των πόρων που χρησιμοποιεί ένα υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, συνήθως παρατηρούνται τα εξής: το αιολικό δυναμικό, το ηλιακό δυναμικό, το υδρολογικό δυναμικό και το δυναμικό βιομάζας είναι ποσά αντιστρόφως ανάλογα με την τιμή των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που παράγει ένας σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και με το οικονομικό κόστος του σταθμού. Αυτό σημαίνει ότι όταν αυξάνεται ένα από τα παραπάνω δυναμικά τότε οι συνολικές εκπομπές CO_2 που εκπέμπει ένας σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και το συνολικό καθαρό παρόν κόστος του σταθμού μειώνονται.

- Τα ποσοστά συμμετοχής του κόστους των εκπομπών CO_2 στο συνολικό καθαρό παρόν κόστος του συστήματος κυμαίνονται από 3% έως 16%.

- Τα ποσοστά συμμετοχής των εκπομπών CO_2 των ΑΠΕ στις συνολικές εκπομπές CO_2 ενός υβριδικού συστήματος στο οποίο συμμετέχει είτε ντηζελογεννήτρια είτε γεννήτρια φυσικού αερίου έχουν γραμμική σχεδόν σχέση με το ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ στη συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

- Το πιο ακριβό υβριδικό σύστημα όσον αναφορά το συνολικό καθαρό παρόν κόστος είναι το υβριδικό σύστημα 1 (περιλαμβάνει φ/β ισχύος 1765 kW, κυψέλες καυσίμου ισχύος 175 kW, ηλεκτρολύτη ισχύος 1101 kW, δεξαμενή υδρογόνου 420 kg, έχει συνολικό καθαρό παρόν κόστος 16.867.880€, εκπέμπει 5.370.015 kg CO_2) ενώ το πιο οικονομικό είναι το υβριδικό σύστημα 5 (περιλαμβάνει 7 ανεμογεννήτριες των 33 kW, υδροηλεκτρικό ισχύος 27,6 kW, γεννήτρια φυσικού αερίου ισχύος 125 kW, 200 μπαταρίες, μετατροπείς ισχύος 90kW, έχει συνολικό καθαρό παρόν κόστος 2.267.464€, εκπέμπει 6.342.099 kg CO_2).

- Το σύστημα με τις λιγότερες εκπομπές CO_2 είναι το υβριδικό σύστημα 4 (περιλαμβάνει ντηζελογεννήτρια 185 kW, γεννήτρια βιομάζας ισχύος 185 kW, έχει συνολικό καθαρό παρόν κόστος 2.958.066 €, εκπέμπει 4.489.399 kg CO_2) ενώ αυτό με τις περισσότερες εκπομπές CO_2 είναι το υβριδικό σύστημα 3 (περιλαμβάνει φ/β ισχύος 50kW, ντηζελογεννήτρια ισχύος 150kW, 255 μπαταρίες, μετατροπείς ισχύος 60 kW, έχει συνολικό καθαρό παρόν κόστος 5.091.990 €, εκπέμπει 16.675.739 kg CO_2). Ας σημειωθεί ξανά ότι όλες οι εφαρμογές προσομοιώθηκαν χρησιμοποιώντας την ίδια ζήτηση ηλεκτρικού φορτίου.