



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
TECHNICAL UNIVERSITY
OF CRETE

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

Διπλωματική εργασία

**Βελτιστοποίηση της Ροής Ισχύος ενός Υβριδικού Συστήματος
Ανανεώσιμων Πηγών Ηλεκτρικής Ενέργειας με Χρήση
Αναβαθμισμένου Γενετικού Αλγόριθμου**

Μιχαλόπουλος Γιάννης

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Κ. Πετράκης Μίνως (επιβλέπων)

Κ. Σταυρακάκης Γεώργιος

Κ. Κανέλλος Φώτιος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη σημερινή εποχή, η συνεχής καύση των ορυκτών καυσίμων για παραγωγή ενέργειας, έχει δημιουργήσει πολλά περιβαλλοντικά προβλήματα στον πλανήτη. Για το λόγο αυτό, είναι επιβεβλημένη πλέον η σταδιακή μετάβαση σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, με σκοπό την εκμετάλλευσή τους για οικολογικούς αλλά και οικονομικούς λόγους. Πολλές φορές, τα συστήματα που αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια, όπως τα φωτοβολταϊκά, και οι ανεμογεννήτριες που αξιοποιούν την αιολική ενέργεια, συνδυάζονται και συγκροτούν τα υβριδικά συστήματα ενέργειας, με σκοπό την κάλυψη των αναγκών σε ηλεκτρικό ρεύμα και την αποθήκευση της ενέργειας σε μπαταρίες. Τα υβριδικά συστήματα παραγωγής ενέργειας αποτελούν μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία για καθαρή και συνεχή ανάπτυξη. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι εύρεση της βέλτιστης εγκατάστασης ενός τέτοιου υβριδικού συστήματος με γνώμονα το μικρότερο κόστος παραγωγής ενέργειας με σκοπό την κάλυψη του απαιτούμενου φορτίου. Η τεχνική που χρησιμοποιήθηκε αφορά αλγορίθμους βελτιστοποίησης και συγκεκριμένα τον γενετικό αλγόριθμο. Η προκειμένη πρόταση βελτιστοποίησης δίνει βάση στην οικονομική ανάλυση και ελαχιστοποίηση του κόστους σε ένα τέτοιο μοντέλο, στην περιοχή της Θεσσαλίας.

ABSTRACT

Nowadays, the continuous burning of fossil fuels for energy production has created many environmental problems on the planet. For this reason, it is now imperative to gradually switch to renewable energy sources, in order to exploit them for ecological and economic reasons. Many times, solar-powered systems, such as photovoltaic panels, and wind-powered wind turbines, are combined together and form hybrid power systems to meet electricity needs and store energy in batteries. Hybrid power systems are a promising technology for clean and continuous development. The purpose of this dissertation is to find the optimal installation of such a hybrid system based on the lowest energy production costs in order to cover the load needed. The technique used concerns optimization algorithms and specifically the genetic algorithm. This optimization proposal is based on the economic analysis and cost minimization in such a model, in the region of Thessaly.

Table of Contents

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	8
2.1 Ηλιακή Ενέργεια	8
2.1.1 Φωτοβολταϊκά συστήματα – Ορισμός	8
2.1.2 Διάταξη:	9
2.1.3 Βασικά πλεονεκτήματα:	10
2.1.4 Μειονεκτήματα:.....	12
2.2.1 Ορισμός.....	16
2.2.2 Πλεονεκτήματα	17
2.2.3 Μειονεκτήματα και προκλήσεις	19
2.2.4 Χαρακτηριστικά ανεμογεννητριών	21
2.2.5 Ισχύς Ανεμογεννήτριας	21
Ο ΓΕΝΕΤΙΚΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ	23
4.1 Ορισμός.....	23
4.2 Βελτιστοποίηση	23
4.3 Αλγόριθμοι Βελτιστοποίησης	24
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΓΕΝΕΤΙΚΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΣΕ ΕΝΑ ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ	28
5.1 Περιγραφή συστήματος.....	28
5.2 Στοιχεία συστήματος	30
α) Φωτοβολταϊκό	30
β) Ανεμογεννήτρια	32
γ) Γεννήτρια Diesel	33
δ) Μπαταρία	36
5.2 Οικονομική ανάλυση	37
5.3 Γενετικός αλγόριθμος και αλγόριθμος επιλογής μπαταρίας	39
5.4 Εφαρμογή του τροποποιημένου αλγόριθμου σε εγκατάσταση της Θεσσαλίας	40
5.4.1 Επιλογή στοιχείων συστήματος.....	43
5.4.2 Εφαρμογή των αλγόριθμων επιλογής στοιχείων	47
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	51
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	52

Κεφάλαιο 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας.

Ο σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας ήταν η βελτιστοποίηση της ροής ισχύος ενός υβριδικού συστήματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, που αποτελείται από φωτοβολταϊκά συστήματα, ανεμογεννήτριες και μπαταρίες. Πιο συγκεκριμένα, στόχο έχει να αναδείξει τα πλεονεκτήματα κόστους και αποδοτικότητας τέτοιων συστημάτων που μελλοντικά θα χρησιμοποιούνται ευρέως.

1.2 Πηγές Πληροφοριών:

Για την εύρεση πληροφοριών χρησιμοποιήθηκαν κυρίως επιστημονικά άρθρα στο διαδίκτυο, καθώς και έντυπα από τη βιβλιογραφία που αναφέρεται στο τέλος. Για την εισαγωγή των δεδομένων και τη λήψη αποτελεσμάτων, χρησιμοποιήθηκε κατά κύριο λόγο το Matlab και δευτερευόντως το Microsoft Excel.

1.3 Δομή της διπλωματικής εργασίας:

Αρχικά, γίνεται μια παρουσίαση των ανανεώσιμων πηγών που χρησιμοποιούνται στα υβριδικά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας και στη συνέχεια περιγράφεται αναλυτικά η λειτουργία τους και η χρησιμότητά τους.

Σε επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο Γενετικός Αλγόριθμος, αναλύεται η αποδοτικότητά του, γίνεται χρήση του με συγκεκριμένα δεδομένα πραγματικής φύσεως στην περιοχή της Θεσσαλίας, και αναλύεται το πώς βελτιώνει έναν πληθυσμό.

Τέλος, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα χρήσης του, προτάσεις περαιτέρω βελτίωσής του και συμπεράσματα όσον αφορά τη ροή ισχύος.

ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

2.1 Ηλιακή Ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που παράγεται στον ήλιο. Είναι υπεύθυνη για πολλά καιρικά φαινόμενα όπως κινήσεις του αέρα και βροχοπτώσεις. Η ενέργεια αυτή μεταβιβάζεται στους ωκεανούς και στον αέρα. Οι άνθρωποι έχουν τη δυνατότητα σύλληψης αυτής της ενέργειας και αξιοποίησής της χωρίς περιορισμούς, καθώς είναι ανανεώσιμη.

2.1.1 Φωτοβολταϊκά συστήματα – Ορισμός



Εικόνα 1: Σύστημα φωτοβολταϊκών

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούν μία από τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας με τεράστια σημασία, ιδιαίτερα για περιοχές με μεγάλη ηλιοφάνεια, όπως έχουμε την τύχη να έχουμε στη χώρα μας. Με βάση το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, ένα φ/β σύστημα μπορεί να μετατρέψει την

ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική. Αυτή η ενέργεια χρησιμοποιείται είτε για τη λειτουργία μιας συσκευής, είτε αποθηκεύεται σε μια μπαταρία. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται ευρέως σε μικροϋπολογιστές τσέπης που λειτουργούν χωρίς μπαταρία, απλώς με την έκθεσή τους στο φως.

Αυτή τη στιγμή, η σημαντικότερη χρήση τους αφορά την παροχή ενέργειας σε δορυφόρους, διαστημόπλοια, αλλά και σε απλούστερες εφαρμογές, όπως η ενεργειοδότηση απομακρυσμένων τηλεφώνων σε εθνικές οδούς.

2.1.2 Διάταξη:

Τα Φ/Β πλαίσια έχουν ως βασικό μέρος το ηλιακό στοιχείο (solar cell) που είναι ένας ημιαγωγός μικρού πάχους σε επίπεδη επιφάνεια. Η πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας δημιουργεί ηλεκτρική τάση και με την κατάλληλη σύνδεση σε φορτίο παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα. Τα Φ/Β στοιχεία ομαδοποιούνται κατάλληλα και συγκροτούν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια ή γεννήτριες (module), τυπικής ισχύος από 20W έως 300W.

Η βιομηχανική διάταξή τους είναι πολλά φωτοβολταϊκά κύτταρα σε μία σειρά. Στην ουσία πρόκειται για τεχνητούς ημιαγωγούς (συνήθως από πυρίτιο) οι οποίοι ενώνονται με σκοπό να δημιουργήσουν ένα ηλεκτρικό κύκλωμα σε σειρά. Οι ημιαγωγοί αυτοί απορροφούν φωτόνια από την ηλιακή ακτινοβολία και παράγουν μια Ηλεκτρική τάση. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται "φωτοβολταϊκό φαινόμενο".



Εικόνα 2: Φ/Β πλαίσια σε σπίτι

Οι επενδύσεις σε φωτοβολταϊκά κινούνται με γοργούς ρυθμούς, αφού παράγουν ηλεκτρική ενέργεια που μεταπωλείται και εισάγεται στα δημόσια δίκτυα μεταφοράς. Τα προγράμματα αυτά έχουν στόχο τη διαφοροποίηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και τη σταδιακή απεξάρτησή της από το πετρέλαιο. Χαρακτηριστικά, αυτή τη στιγμή, οι ιδιώτες που έχουν εγκατεστημένα φωτοβολταϊκά, χαίρουν μειωμένου κόστους ηλεκτροδότησης από τη ΔΕΗ, και μπορούν, εφόσον παράγουν περισσότερη ενέργεια από όση καταναλώνουν, να την πουλήσουν πίσω στη ΔΕΗ, έχοντας σημαντικό κέρδος σε βάθος χρόνου.

2.1.3 Βασικά πλεονεκτήματα:

- Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τα solar cells είναι καθαρή και «ήσυχη». Λόγω του ότι δε χρησιμοποιείται κανένας πόρος πέρα από την ηλιοφάνεια, τα φ/β συστήματα δεν εξάγουν κανένα επιβλαβές αέριο και δε μολύνουν το νερό στο περιβάλλον, ούτε

εξαντλούν πόρους της γης, ούτε βλάπτουν με οποιοδήποτε τρόπο την υγεία ανθρώπων και ζώων.

- Τα φωτοβολταϊκά συστήματα δεν προκαλούν καμία ηχορύπανση και είναι αισθητικά ταπεινά και απλά.
- Μπορούν σε μικρή κλίμακα να αξιοποιήσουν τον χαμένο χώρο στις σκεπές σπιτιών και στις ταράτσες πολυκατοικιών.
- Τα φ/β αρχικά αναπτύχθηκαν για χρήση τους στο διάστημα, όπου οι επισκευές είναι αφάνταστα ακριβές, αν όχι ακατόρθωτες. Ακόμη και τώρα ενεργοδοτούν τους δορυφόρους γύρω από τον πλανήτη μας καθώς δουλεύουν αξιόπιστα για μεγάλες περιόδους χωρίς ανάγκη για συντήρηση.
- Η ηλιακή ενέργεια είναι μια πηγή ενέργειας τοπικά διαθέσιμη. Δεν χρειάζεται να εισαχθεί από άλλες περιοχές της χώρας ή του κόσμου. Αυτό έμμεσα μειώνει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των μεταφορών και την εξάρτησή μας από το πετρέλαιο. Και σε αντίθεση με τους πόρους από εξόρυξη, η αξιοποίησή της δεν εξαντλεί τα αποθέματα.
- Ένα φ/β σύστημα μπορεί να κατασκευαστεί σε οποιοδήποτε μέγεθος ανάλογα με τις ανάγκες. Επίσης, ο ιδιοκτήτης ενός τέτοιου συστήματος μπορεί να το επεκτείνει ή να το συρρικνώσει ανάλογα με τις ανάγκες του. Για παράδειγμα, οι ένοικοι μπορούν να προσθέσουν μονάδες κάθε μερικά χρόνια, εφόσον η ενεργειακή τους κατανάλωση και η οικονομική ευμάρεια αυξηθεί.



Εικόνα 3: Εκμετάλλευση χερσαίου χώρου με σύστημα φ/β.

2.1.4 Μειονεκτήματα:

- Μερικά τοξικά χημικά, όπως το κάδμιο και το αρσενικό, χρησιμοποιούνται στην παραγωγή φ/β συστημάτων. Οι επιπτώσεις τους στο περιβάλλον είναι πολύ μικρές και μπορούν εύκολα να ελεγχθούν μέσω ανακύκλωσης και σωστής απόρριψης.
- Η ηλιακή ενέργεια έχει τεχνικά μια πιο ακριβή διαδικασία παραγωγής σε σχέση με συμβατικές πηγές ενέργειας αφενός της κατασκευής φ/β συσκευών, και αφετέρου της μετατροπής της αποδοτικότητας του εξοπλισμού. Όσο η αποδοτικότητα της μετατροπής αυξάνεται και τα κόστη κατασκευής μειώνονται, τα φ/β θα γίνονται όλο και περισσότερο ανταγωνιστικά σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα.
- Η ηλιακή ενέργεια όσον αφορά την ποσότητα, δεν είναι αξιόπιστη πηγή, αφού η παραγωγή της στηρίζεται αποκλειστικά στην ηλιοφάνεια. Μερικά ηλιακά καταλύματα ενδέχεται να μην παράξουν καθόλου ενέργεια μερικές φορές, κάτι που μπορεί να προκαλέσει έλλειψη αν οι ανάγκες ενέργειας είναι αυξημένες.

Στη χώρα μας, το Υπουργείο Περιβάλλοντος ανακοίνωσε έντονο ενδιαφέρον από ιδιώτες σχετικά με το πρόγραμμα αυτόνομης ενέργειας, ένα πρόγραμμα ανακαίνισης 850 εκ. € που στοχεύει στο να υπάρξουν 600.000 σπίτια με ενεργειακή αυτονομία έως το 2030. Ξεκίνησε από την Αττική και μετά από μεγάλη ζήτηση, επεκτάθηκε στην Πελοπόννησο και την κεντρική Ελλάδα.

Το κόνσεπτ αυτό δίνει τη δυνατότητα στους κατοίκους να εγκαταστήσουν φ/β σύστημα στις σκεπές τους, μια μπαταρία, ένα έξυπνο σύστημα διαχείρισης ενέργειας και έναν φορτιστή για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Αυτή και κάποιες άλλες αλλαγές, όπως η απομόνωση θερμότητας, οι αλλαγές στα παράθυρα και η χρήση ηλιακών συλλεκτών, έχουν σκοπό να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας ενός σπιτιού κατά 9%.

Είχαμε στη χώρα μας περίπου 3.247 MW εγκατεστημένης χωρητικότητας ηλιακής ενέργειας στα τέλη του 2020 (πηγή: Wikipedia). Την προηγούμενη χρονιά, εγκαταστάθηκαν φ/β που ισοδυναμούν με 111 MW ενέργειας. Η αγορά στον τομέα της ηλιακής ενέργειας έχει επιστρέψει στην ανάπτυξη μέσω κινήσεων από οργανώσεις ή από δημόσιες προσφορές ώστε να ενσωματωθούν στην καθημερινότητά μας τα φ/β, να μειωθεί το κόστος και να επιτευχθούν οι στόχοι βιωσιμότητας.

Μαθηματικό Μοντέλο:

Μια πιθανή εκτίμηση για την ισχύ μιας φωτοβολταϊκής συστοιχίας βασίζεται στην ηλιακή ακτινοβολία και τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η ισχύς εξόδου σε αυτό το μοντέλο υπολογίζεται ως

$$P_{pv} = \eta_{pvg} A_{pvg} G_t$$

όπου η_{pvg} είναι απόδοση φωτοβολταϊκής παραγωγής,

A_{pvg} είναι η περιοχή φωτοβολταϊκής γεννήτριας (σε m^2)

G_t είναι ηλιακή ακτινοβολήση σε κλίση επιπέδου μονάδας (W / m^2).

Η απόδοση $\eta_{pv g}$ χαρακτηρίζεται περαιτέρω ως

$$\eta_{pv g} = \eta_r \eta_{pc} [1 - \beta (T_c - T_{c ref})]$$

όπου το η_{pc} είναι απόδοση ρύθμισης ισχύος (power conditioning),

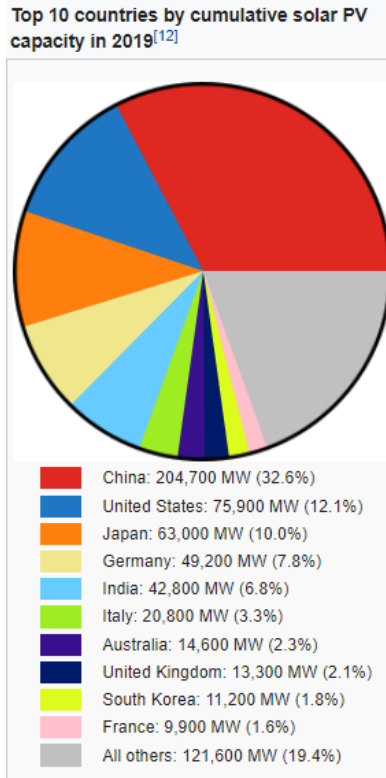
β είναι συντελεστής θερμοκρασίας ((0,004-0,006) ανά $^{\circ}\text{C}$),

η_r είναι η αποδοτικότητα της μονάδας αναφοράς, και το $T_{c ref}$ είναι θερμοκρασία κυψέλης (cell) αναφοράς σε $^{\circ}\text{C}$. Η θερμοκρασία αναφοράς ($T_{c ref}$) μπορεί να ληφθεί με την παρακάτω σχέση

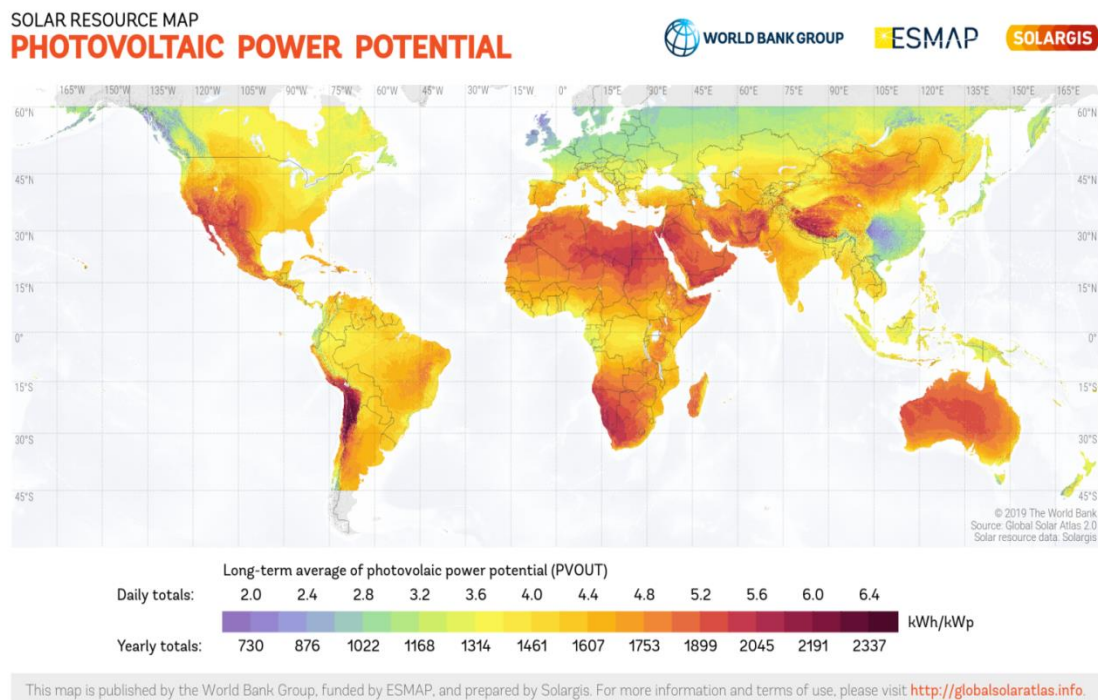
$$T_c = T_a + \frac{NOCT - 20}{800} G_t$$

όπου το T_a είναι θερμοκρασία περιβάλλοντος σε $^{\circ}\text{C}$, το NOCT είναι ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας κυψελίδων (nominal operating cell temperature) σε $^{\circ}\text{C}$ και το G_t είναι ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένη μονάδα επιπέδου (W / m^2). Η συνολική ακτινοβολία στην ηλιακή κυψελίδα λαμβάνοντας υπόψη την κανονική και διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να εκτιμηθεί ως

$$I_T = I_b R_b + I_d R_d + (I_b + I_d) R_r$$



Εικόνα 4: Οι 10 χώρες με τη μεγαλύτερη χωρητικότητα φωτοβολταϊκών



Εικόνα 5: Κατανομή ηλιακής ενέργειας παγκοσμίως.

2.2 Αιολική Ενέργεια

Το δεύτερο χαρακτηριστικό του υβριδικού συστήματος που θα μελετήσουμε, αφορά την αιολική ενέργεια με τη χρήση ανεμογεννήτριας. Η αιολική ενέργεια αποτελεί μια ακόμη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας.

2.2.1 Ορισμός

Αιολική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του ανέμου. Δεν προκαλεί ρύπους και για αυτό το λόγο χαρακτηρίζεται ως "ήπια μορφή ενέργειας" και περιλαμβάνεται στις "καθαρές" πηγές. Από πολύ παλιά οι άνθρωποι εκμεταλλεύονταν την αιολική ενέργεια στα πλοία που κατασκεύαζαν χρησιμοποιώντας τεράστια πανιά.



Εικόνα 6: Αιολικό πάρκο

Αποτελεί μια πολύ εκλυστική λύση όσον αφορά την ηλεκτροπαραγωγή στις μέρες μας αφού δεν έχει σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον και είναι βιώσιμη και δωρεάν. Επίσης, οι περιοχές στις οποίες αναπτύσσονται η

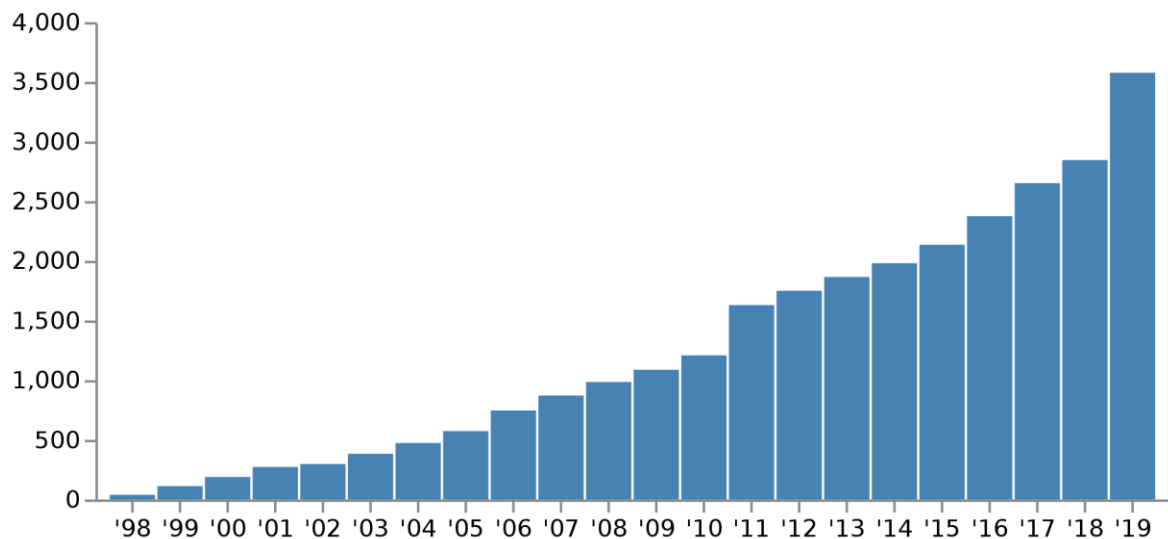
αιολική βιομηχανία έχει μεγάλα οικονομικά οφέλη. Ο άνεμος αποτελεί μια διακοπτόμενη πηγή ενέργειας και γίνεται εύκολα κατανοητό ότι η επιλογή της περιοχής εγκατάστασης είναι μείζονος σημασίας, καθώς δεν μπορεί να αποστέλλεται κατόπιν ζήτησης. Συμπληρωματικά, σε μικρά χρονικά διαστήματα έχει διακυμάνσεις, παρ'όλα αυτά αν δούμε ένα μεγαλύτερο διάστημα χρόνο, π.χ. ένα έτος, παρουσιάζει μια σταθερότητα. Για αυτό το λόγο δεν μπορεί τουλάχιστον ακόμη να καλύψει ενεργειακές ανάγκες και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με άλλες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας (σε ένα υβριδικό σύστημα) ή να αποθηκεύεται όπως και η ηλιακή ενέργεια, σε μια μπαταρία.

2.2.2 Πλεονεκτήματα

- **Η αιολική ενέργεια είναι φθηνή.** Ο άνεμος στη στεριά είναι ίσως η φθηνότερη πηγή ενέργειας που έχουμε διαθέσιμη σήμερα, με κόστος περίπου 1-2 λεπτά ανά KWh. Λόγω του ότι η ηλεκτρική ενέργεια από αιολικές βιομηχανίες πωλείται σε σταθερή τιμή για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα (π.χ. 20 χρόνια) και η πηγή της είναι δωρεάν, η αιολική ενέργεια μηδενίζει την αβεβαιότητα που θα είχαμε στις τιμές, οι σημερινές συμβατικές πηγές όπως τα ορυκτά καύσιμα.
- **Δημιουργεί νέες θέσεις εργασίας.** Σύμφωνα με έρευνα του Παγκοσμίου Συμβουλίου Αιολικής Ενέργειας (GWEC), περισσότερες από 3,3 εκατομμύρια νέες θέσεις εργασίας αναμένεται να δημιουργηθούν τα επόμενα πέντε χρόνια, συνέπεια της σημαντικής ανάπτυξης που καταγράφει ο κλάδος της αιολικής ενέργειας, καθώς τα υπεράκτια και χερσαία έργα πολλαπλασιάζονται σε όλο τον κόσμο.
- **Είναι καθαρή πηγή.** Η αιολική ενέργεια δε βλάπτει τον αέρα όπως οι συμβατικές πηγές που απελευθερώνουν νιτρικό οξύ και διοξείδιο του θείου, στοιχεία που προκαλούν ζημιά στην ανθρώπινη υγεία και στην οικονομία. Ακόμη, οι ανεμογεννήτριες δεν εξάγουν ουσίες που θα μπορούσαν να προκαλέσουν όξινη βροχή, νέφος ή αέρια φαινομένου θερμοκηπίου.
- **Ο άνεμος είναι μια ανεξάντλητη πηγή.** Ιδιαίτερα στη χώρα μας, με τη μορφολογία και τα πολυάριθμα νησιά, η χωρητικότητα σε αιολική

ενέργεια είναι τεράστια. Παρακάτω βλέπουμε τη χωρητικότητα αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα τα τελευταία χρόνια σε MW.

- **Οικονομική ανάπτυξη μιας περιοχής.** Ενδεχόμενη ενοικίαση της γης σε κερδοφόρες περιοχές για παραγωγή ηλεκτρισμού από εταιρείες, φέρνει στους κατόχους της ένα παθητικό εισόδημα.



Εικόνα 7: Η χωρητικότητα αιολικής ενέργειας σε MW ανά τα χρόνια



2.2.3 Μειονεκτήματα και προκλήσεις

- Η αιολική ενέργεια πρέπει ακόμη να ανταγωνιστεί τις συμβατικές πηγές ενέργειας όσον αφορά το κόστος. Αν και το κόστος έχει μειωθεί δραματικά τις τελευταίες δεκαετίες, τα πρότζεκτ αιολικής ενέργειας πρέπει να ανταγωνιστούν οικονομικά τις πηγές ηλεκτρισμού μικρότερου κόστους, και μερικές περιοχές μπορεί να μην έχουν αρκετό αέρα για να είναι εφικτό αυτό.
- Οι καλύτερες χερσαίες περιοχές για αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας βρίσκονται συνήθως αρκετά μακριά από τις μεγάλες πόλεις όπου οι ανάγκες ενέργειας είναι μεγάλες. Για αυτό το λόγο πρέπει να κατασκευαστούν γραμμές μεταφοράς της ενέργειας, με ό,τι αυτό συνεπάγεται για το κόστος. Παρ'όλα αυτά, τα τελευταία χρόνια έχουν προταθεί πολλές λύσεις για μεταφορά αυτής της ενέργειας.

- **Η ανάπτυξη αιολικού πάρκου ενδέχεται να μην είναι η καλύτερη οικονομικά λύση για ένα μέρος της γης.** Έτσι έχει να ανταγωνιστεί ιδιώτες που θέλουν το μέρος για άλλη αξιοποίηση, και τα μέρη στα οποία υπάρχει μεγάλη κίνηση του ανέμου δεν είναι πολλά.
- **Οι τουρμπίνες δημιουργούν θόρυβο και επηρεάζουν οπτικά ένα τοπίο.** Αν και τα εργοστάσια παραγωγής έχουν πολύ μικρή επίπτωση στο περιβάλλον, ωστόσο ανησυχίες μπορεί να προκληθούν από την ηχορύπανση αλλά και από επιπτώσεις οπτικές σε ένα όμορφο τοπίο.
- **Τα εργοστάσια ενδέχεται να επηρεάσουν την πανίδα.** Αρκετά πουλιά έχουν σκοτωθεί πετώντας ανάμεσα από ανεμογεννήτριες. Πολλά από αυτά τα προβλήματα έχουν εξαλειφθεί με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και με την σωστή και σχολαστική τοποθέτηση των εργοστασίων. Αρκετές νυχτερίδες επίσης έχουν σκοτωθεί μέχρι τώρα, για αυτό είναι σημαντικό να σκεφτούμε πώς μπορεί να επηρεαστεί ως προς το είδος των ζώων που φιλοξενεί μια περιοχή η οποία έχει εργοστάσιο.



2.2.4 Χαρακτηριστικά ανεμογεννητριών

Όπως αναφέραμε ήδη, για την χρησιμοποίηση της αιολικής ενέργειας είναι απαραίτητη η κατασκευή ανεμογεννητριών. Η απόδοση αυτών των τεράστιων κατασκευών (είναι συνήθως 80 με 120 μέτρα σε ύψος) εξαρτάται από τη δύναμη του ανέμου, οπότε οι εγκαταστάσεις τουρμπίνων που περιέχουν μεγάλο αριθμό ανεμογεννητριών, πρέπει να γίνουν μόνο σε μέρη που οι άνεμοι είναι ισχυροί. Στη χώρα μας υπάρχουν πολλά τέτοια μέρη κυρίως λόγω των πολυάριθμων νησιών. Θα είναι στραμμένες προς τη φορά του ανέμου, που επιτυγχάνεται μέσω ενός ανεμοδείκτη. Τα ρεύματα αέρα θα κινήσουν τα 3 βασικά μέρη της:

Το στροφέιο (rotor): Αποτελείται από 3 λεπίδες και η λειτουργία του είναι να συλλαμβάνει τη δύναμη του αέρα και να τη μετατρέπει σε μηχανική στροφική ενέργεια.

Ο πολλαπλασιαστής (multiplier): Συνδέεται στον κινητήρα μέσω ενός άξονα, και η δουλειά του είναι να αυξάνει την ταχύτητα περιστροφής από 30 rpm σε 1500 rpm.

Η γεννήτρια (generator): το στοιχείο αυτό είναι υπεύθυνο για τη μετατροπή της μηχανικής ενέργειας περιστροφής σε ηλεκτρική.

Όλες οι ανεμογεννήτριες που βρίσκονται σε μια εγκατάσταση συνδέονται μεταξύ τους μέσω καλωδίων κάτω από τη γη, που μεταφέρουν τον ηλεκτρισμό σε ένα υποσταθμό μετασχηματιστή. Από εκεί, μεταφέρεται σε σπίτια, σχολεία, εργοστάσια, κλπ. μέσω των δικτύων μεταφοράς των εταιρειών.

2.2.5 Ισχύς Ανεμογεννήτριας

Το γενικό μαθηματικό μοντέλο που αφορά την αιολική ενέργεια για μια ανεμογεννήτρια δίνεται από τον τύπο:

$$\text{Power} = \frac{1}{2} \rho \pi r^2 C_p v^3$$

Όπου:

ρ = πυκνότητα του αέρα

πr^2 = η περιοχή που σαρώνεται, με r = ακτίνα της λεπίδας

v = ταχύτητα του αέρα

C_p = συντελεστής ισχύος (περιλαμβάνει όλες τις απώλειες (αιολικής ενέργειας, μηχανικής λόγω τριβών στο κιβώτιο, και ηλεκτρικής λόγω αντιστάσεων και αντοχής υλικού)

Σε ένα υβριδικό σύστημα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τα ϕ/β συστήματα συνεργάζονται με τις ανεμογεννήτριες και με ένα αποθηκευτικό μέσο (συνήθως μπαταρία). Είναι σημαντικό λοιπόν να δούμε κάποιους εξωγενείς παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή ενέργειας. Για την ακρίβεια, είναι γνωστό ότι στους καλοκαιρινούς μήνες τα ϕ/β αποτελούν μια ισχυρότερη πηγή ενέργειας σε σχέση με το χειμώνα, και οι ανεμογεννήτριες είναι πιο αποδοτικές τους χειμερινούς μήνες σε σχέση με τους καλοκαιρινούς. Ακόμη, η παραγωγή αιολικής ενέργειας τις νυχτερινές ώρες είναι συνήθως μεγαλύτερη από τις πρωινές, οπότε μειώνεται ο ηλεκτρισμός που δανείζεται από το δίκτυο τη νύχτα που το ϕ/β σύστημα είναι ανενεργό. Σε κάθε περίπτωση, παρατηρούνται αυξομειώσεις και στην ηλιακή και στην αιολική ενέργεια με τις ταλαντώσεις στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας να είναι αναπόφευκτη.

Ο ΓΕΝΕΤΙΚΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ

4.1 Ορισμός

Ο γενετικός αλγόριθμος, εξ ορισμού, είναι ένας αλγόριθμος αναζήτησης ο οποίος, όπως προδίδει και το όνομά του, είναι εμπνευσμένος από τη θεωρία εξέλιξης του Δαρβίνου. Η διαδικασία που ακολουθεί βασίζεται στη φυσική επιλογή, όπου τα πιο ικανά μέλη ενός πληθυσμού, επιλέγονται για αναπαραγωγή, ώστε να γεννηθούν «παιδιά» με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά για την επόμενη γενιά. Δέχεται σαν είσοδο έναν πληθυσμό, ζευγαρώνει τα δυνατότερα μέλη του και αναδρομικά καταλήγει μετά από ένα διάστημα να αποτελείται μόνο από δυνατότερα μέλη στον πληθυσμό του.

4.2 Βελτιστοποίηση

Για τη βελτιστοποίηση ενός υβριδικού συστήματος έχουν χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς διάφορες ιδέες αλγοριθμικές.

Το μέγεθος της βελτιστοποίησης των υβριδικών συστατικών του συστήματος για την ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής ενέργειας, καθώς και η μεγιστοποίηση της χρήσης των ηλιακών συλλεκτών και η ελαχιστοποίηση των εκπομπών ρύπων αποτελούν τους κύριους στόχους αυτής της μελέτης. Η εξισορρόπηση της ενέργειας για κάθε ώρα καθ' όλη τη διάρκεια του έτους είναι ένα βήμα που πρέπει να γίνει πριν από την εκτέλεση ή κατά την εκτέλεση της βελτιστοποίησης. Για το σκοπό αυτό, πρέπει να υπολογίζεται η ενέργεια που παράγεται από κάθε πηγή ενέργειας. Αυτό απαιτεί μαθηματική μοντελοποίηση κάθε συστατικού στο σύστημα που με τη σειρά του απαιτεί τη διαθεσιμότητα δεδομένων για το κλίμα, πράγμα που απαιτεί την ανάλυση αυτών των δεδομένων. Η ανάλυση της ηλιακής ακτινοβολίας και η ανάπτυξη ενός μαθηματικού μοντέλου των

συστατικών που αποτελούν το υβριδικό σύστημα είναι βασικά βήματα που πρέπει να ολοκληρωθούν πριν από τη διεξαγωγή της βελτιστοποίησης μεγέθους των εξαρτημάτων του υβριδικού συστήματος, το οποίο θα παρουσιαστεί στο τέλος αυτής της μελέτης.

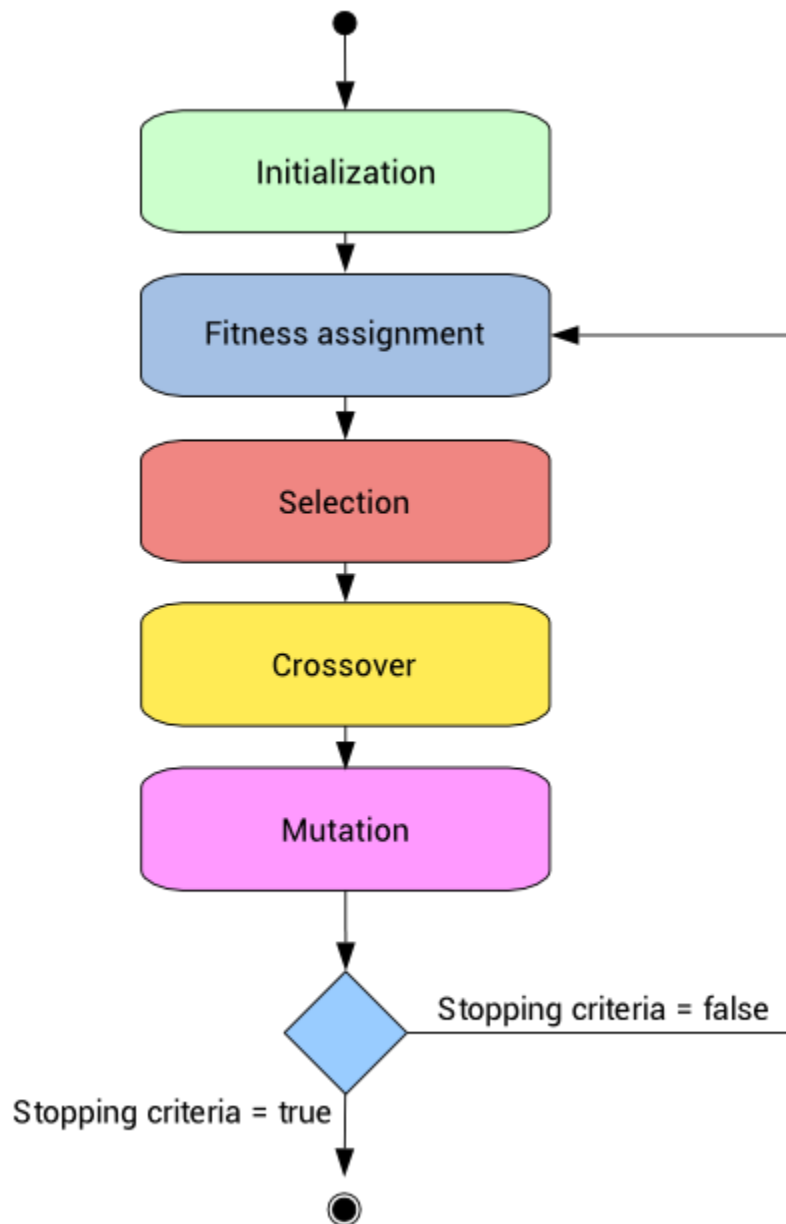
4.3 Αλγόριθμοι Βελτιστοποίησης

Ενώ έχουν προταθεί και χρησιμοποιούνται τεχνικές επαναληπτικών ή γραφικών για τη βελτιστοποίηση των υβριδικών συστατικών του συστήματος από πολλούς ερευνητές, οι νέοι αλγόριθμοι έχουν χρησιμοποιηθεί για το σκοπό αυτό από μικρότερο αριθμό ερευνητών. Σε νέες προσεγγίσεις, κατασκευάζεται πρώτα ένας χώρος σχεδιασμού πιθανών λύσεων για τα βέλτιστα μεγέθη των εξαρτημάτων. Στη συνέχεια χρησιμοποιείται μια μέθοδος αναζήτησης για την επιλογή της βέλτιστης διαμόρφωσης που ικανοποιεί τις δηλωμένες αντικειμενικές λειτουργίες. Αυτές οι προσεγγίσεις συνιστώνται όταν πρέπει να ικανοποιηθεί η συνάρτηση πολλαπλών αντικειμένων ή / και όταν πρέπει να βελτιστοποιηθούν διάφορες παράμετροι (μεταβλητές) που κατασκευάζουν το φορέα αποφάσεων. Συνιστώνται επίσης όταν πρέπει να βελτιστοποιηθεί η στρατηγική λειτουργίας του υβριδικού συστήματος. Ο γενετικός αλγόριθμος, η βελτιστοποίηση σμήνους σωματιδίων (particle swarm) και η προσομοιωμένη προσέγγιση ανόπτησης (simulated annealing) είναι παραδείγματα αυτών των νέων τεχνικών αναζήτησης. Κάθε μία από αυτές τις προσεγγίσεις έχει τα δικά της χαρακτηριστικά, αλλά μια ανασκόπηση της βιβλιογραφίας δείχνει ότι ο γενετικός αλγόριθμος διαθέτει ανώτερα χαρακτηριστικά που το καθιστούν κοινό για σκοπούς βελτιστοποίησης, ειδικά για υβριδικά συστήματα. Η απόδοσή του για αναζήτηση του παγκόσμιου βέλτιστου είναι εξαιρετικά αποτελεσματική και είναι πολύ κατάλληλη για προβλήματα βελτιστοποίησης μεγάλου αριθμού βελτιστοποιημένων παραμέτρων. Σε σύγκριση με άλλους αλγορίθμους,

είναι σχετικά πιο δύσκολο να κωδικοποιηθεί και απαιτεί περισσότερο χρόνο υπολογισμού για την επίλυση των προβλημάτων βελτιστοποίησης.

4.4 Γενικό Block Diagram

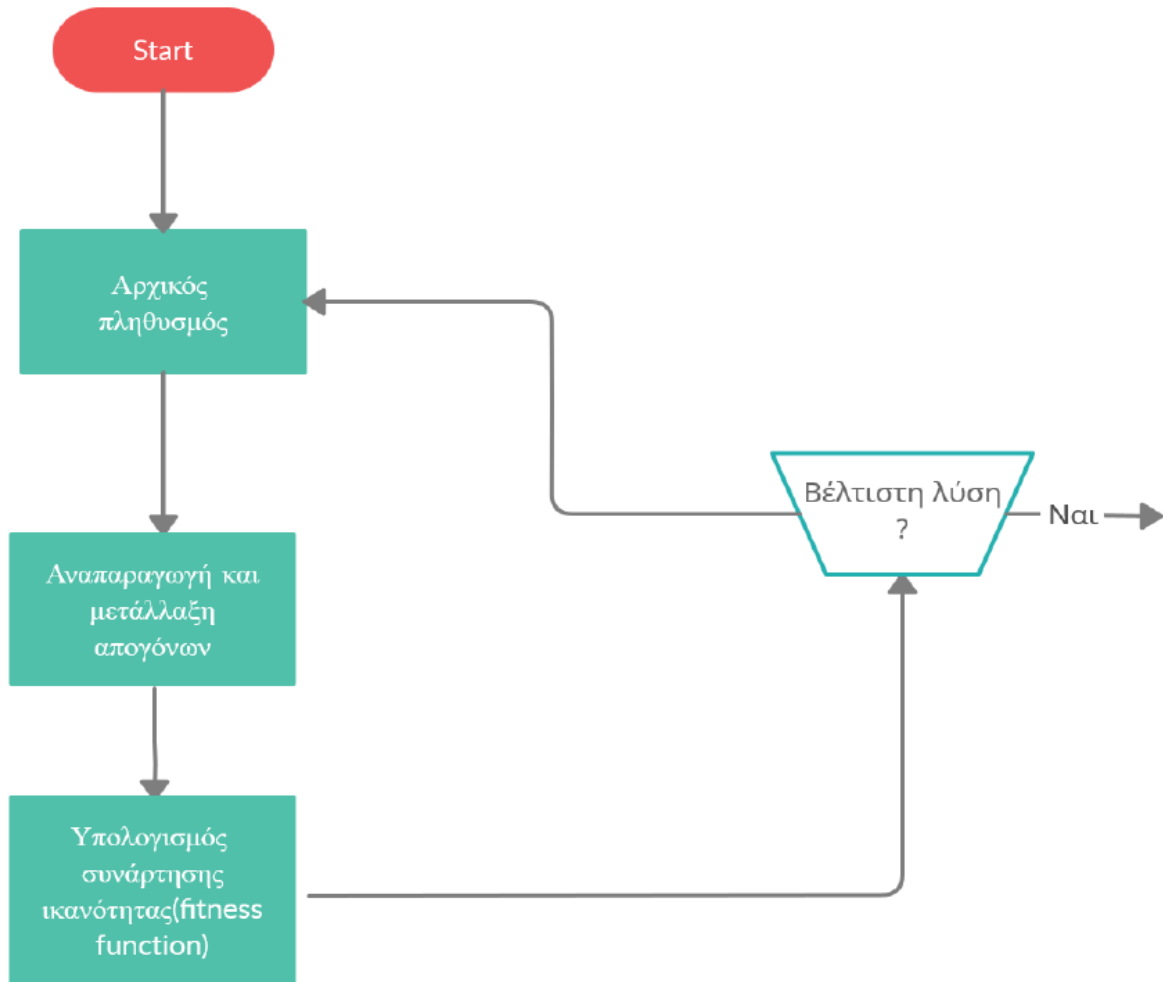
(από neuraldesigner.com)



Από το διάγραμμα βλέπουμε ότι αρχικά κατασκευάζεται ένας τυχαίος πληθυσμός αντικειμένων. Κάθε μέλος είναι μια λύση στο πρόβλημα που θέλουμε να λύσουμε, και αποτελείται από παραμέτρους (genes). Στη συνέχεια, έχουμε τη συνάρτηση καταλληλότητας (fitness function). Η συνάρτηση αυτή, καθορίζει πόσο δυνατό είναι ένα μέλος αν χρειαστεί να «αναμετρηθεί» με τα υπόλοιπα μέλη, και επιλέγει αυτά που θεωρεί ότι είναι πιο κατάλληλα για τη δουλειά μας και τα ζευγαρώνει. Έτσι, θα προκύψουν μεταλλάξεις στην επόμενη γενιά, οπότε πρέπει να ελεγχθεί αν ικανοποιείται το κριτήριο σταματημού, αλλιώς πρέπει να ξαναγίνει το ίδιο αναδρομικά. Ο πληθυσμός που έχουμε συνεχώς αλλάζει με τα νέα παιδιά που προκύπτουν, και μετά από πολλές επαναλήψεις, εύκολα καταλαβαίνει κανείς ότι ο πληθυσμός θα έχει μόνο δυνατά μέλη, που έχουν τα καλύτερα genes των γονιών τους.

Ο γενετικός αλγόριθμος αποτελεί μια από τις πιο βασικές μεθόδους βελτιστοποίησης ενός προβλήματος. Βασίζεται στη γενετική και στην αρχή της προσαρμογής. Υλοποιείται με 3 πράξεις:

- Αναπαραγωγή
- Διασταύρωση
- Μετάλλαξη



Στη δική μας περίπτωση, θα δούμε παρακάτω πώς μπορούμε να αξιοποιήσουμε τον αλγόριθμο σε ένα υβριδικό σύστημα ανανεώσιμων πηγών. Θα χρησιμοποιήσουμε ως καταλληλότητα στον πληθυσμό το κόστος, και ως περιορισμό θα πάρουμε την κάλυψη του ημερήσιου φορτίου.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΓΕΝΕΤΙΚΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΣΕ ΕΝΑ ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ

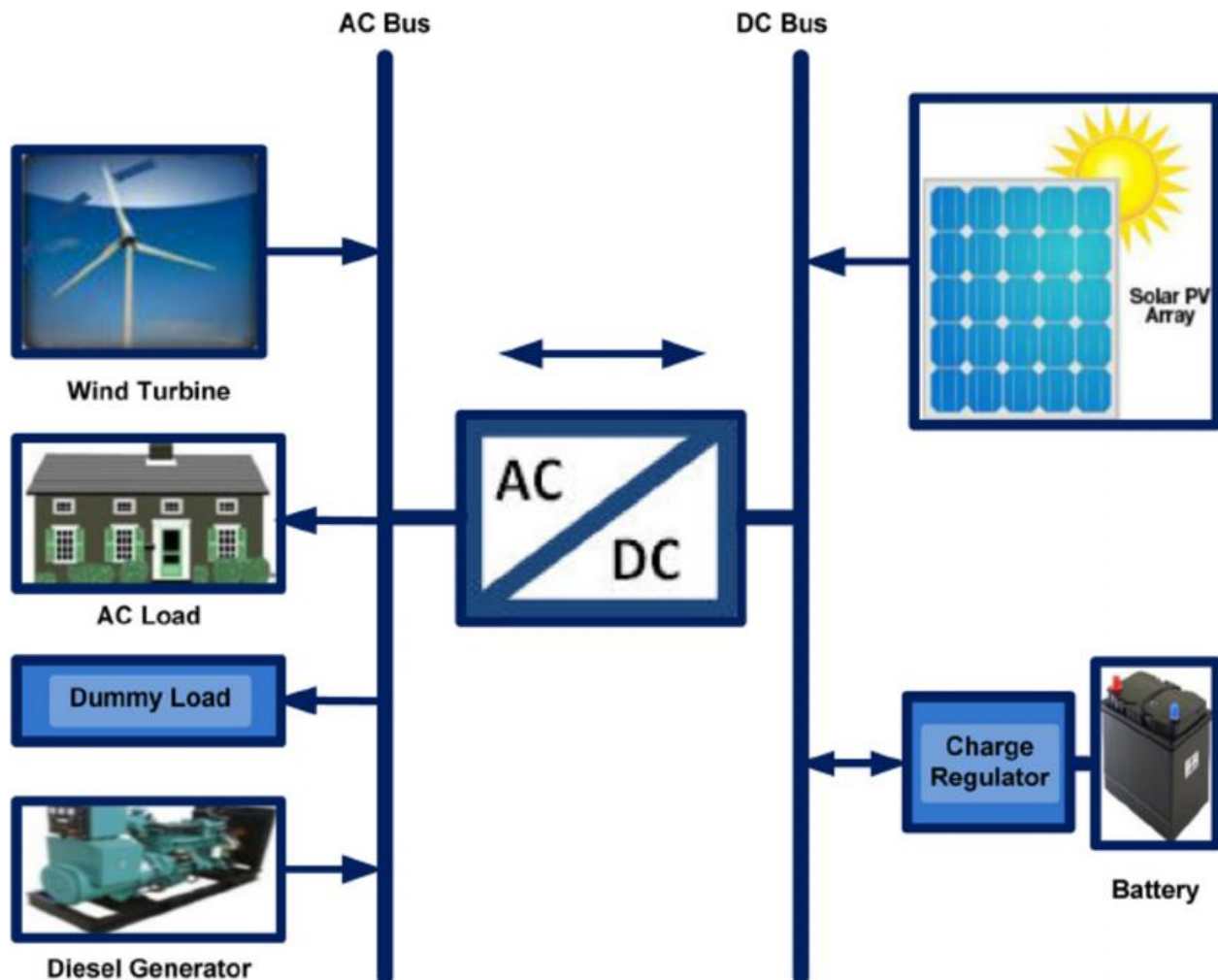


5.1 Περιγραφή συστήματος

Τα υβριδικά συστήματα ενέργειας αποτελούνται συνήθως από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε σύνδεση με μπαταρία καθώς και σε συνδυασμό με γεννήτρια Diesel. Στην παρούσα ανάλυση από τα στοιχεία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας περιλαμβάνουμε ανεμογεννήτριες και φωτοβολταϊκά.

Το βασικό τους πλεονέκτημα είναι το γεγονός ότι μπορούν να έχουν μια συνεχή ηλεκτροπαραγωγή ανεξάρτητα από την ώρα της ημέρας. Η χρήση

τους είναι οικονομικά συμφέρουσα σε συνδυασμό με τα ορυκτά καύσιμα, τα οποία υπολογίζεται τα επόμενα 50 χρόνια να σταματήσουν εξ' ολοκλήρου να καίγονται. Είναι ιδανικά για απομακρυσμένες περιοχές καθώς μπορούν να μειώσουν την τιμή της ενέργειας καθώς και να εξασφαλίσουν συνεχή ενέργεια χωρίς διακοπές αφού δεν απαιτείται μεταφορά της ενέργειας. Παρ' όλα αυτά, είναι πιο πολύπλοκα από μια απλή πηγή, και για αυτό το λόγο είναι απαραίτητος ο έλεγχος της ροής ισχύος με αποτέλεσμα να αυξάνεται το κόστος. Η δυνατότητα που έχουν όμως να αποθηκεύουν την παραγόμενη ενέργεια, ελαχιστοποιεί τις αυξομειώσεις της ισχύος ανάλογα με τη ζήτηση, και καθιστά δυνατή τη διανομή ανάλογα με τις ανάγκες χρήσης.



Σχήμα 1

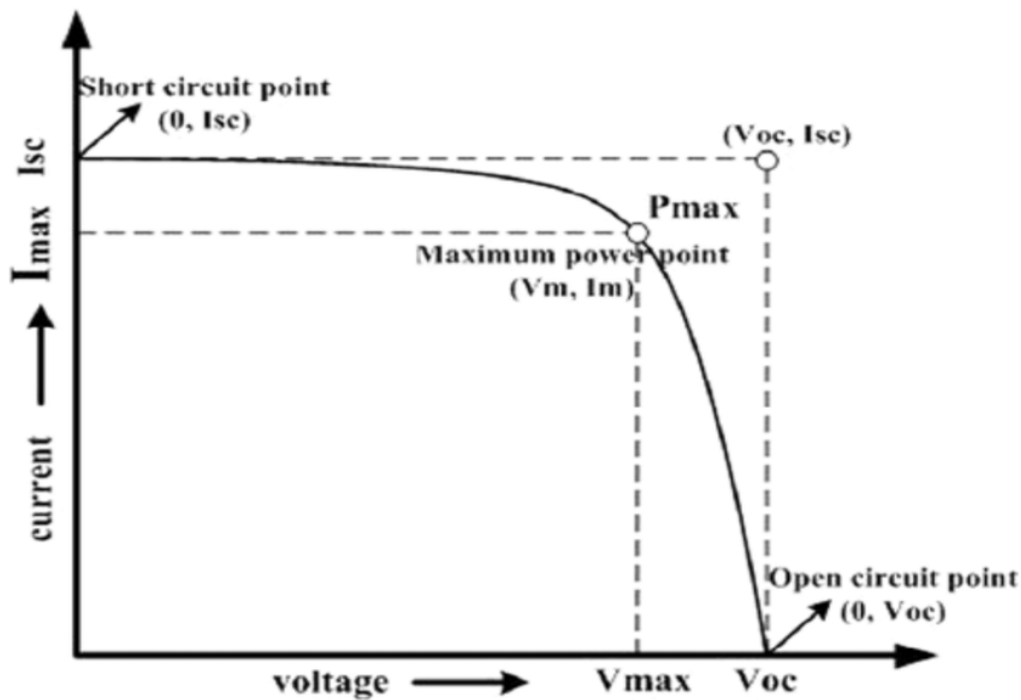
Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1 τα φωτοβολταϊκά δίνουν στην έξοδο τάση DC ενώ οι ανεμογεννήτριες και η Diesel δίνουν AC. Οπότε είναι απαραίτητος ένας αντιστροφέας (inverter) $DC \rightarrow AC$ για να αξιοποιήσουμε την απόδοση των ϕ/β .

Αν το συνολικό παραγόμενο φορτίο από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και της αποθηκευμένης στην μπαταρία δεν καλύπτεται, τότε εκκινείται η γεννήτρια Diesel. Σκοπός του αλγόριθμου που αναπτύσσεται παρακάτω είναι η βέλτιστη επιλογή στοιχείων του συστήματος προκειμένου να ικανοποιείται το φορτίο μιας εγκατάστασης στο λιγότερο κόστος.

5.2 Στοιχεία συστήματος

α) Φωτοβολταϊκό

Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα μετατρέπει την ηλιακή ενέργεια απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια. Το φωτοβολταϊκό σύστημα είναι μη γραμμικό όπως φαίνεται από τη χαρακτηριστική ρεύματος τάσης.



Σχήμα 2:

Χαρακτηριστική V-I φωτοβολταϊκού

Η απόδοση του Φ/β εξαρτάται από πολλούς παράγοντες με κύρια τη θερμοκρασία και την ηλιακή ακτινοβολία. Στοιχεία για την ηλιακή ακτινοβολία, τη θερμοκρασία ανάλογα το μέρος υπάρχουν σε βάσεις δεδομένων είτε σε καθημερινή σε μηνιαία ή και σε ετήσια δεδομένα. Για την μοντελοποίηση ενός Φ/β συνδεδεμένο σε υβριδικό σύστημα χρησιμοποιούμε τον παρακάτω τύπο:

$$P_{PV} = \left[P_{peak} \left(\frac{G(t)}{G_{standard}} \right) - a_T * (T_C(t) - T_{standard}) \right] * n_{inv} * n_{wire}$$

Όπου P_{peak} η μέγιστη ισχύς του Φ/β, $G(t)$ η ηλιακή ακτινοβολία τη χρονική στιγμή t . Τα $G_{standard}$ και $T_{standard}$ είναι οι συνθήκες που δοκιμάζεται το Φ/β. Ο a_T είναι ο συντελεστής θερμοκρασίας που μπορεί να βρεθεί από τα κατασκευαστικά στοιχεία. Τα n_{inv} και n_{wire} είναι η αποτελεσματικότητα του αντιστροφέα και του καλωδίου αντίστοιχα. Το $T_C(t)$ είναι η θερμοκρασία λειτουργίας της κυψέλης του Φ/β και βρίσκεται ως:

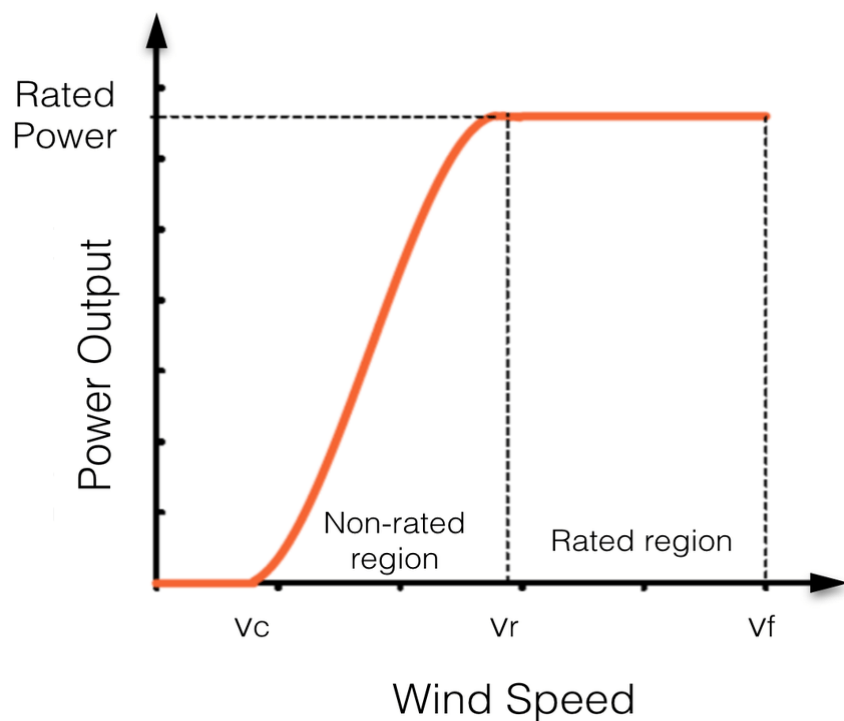
$$T_C(t) = T_{ambient}(t) + \frac{NOCT - 20}{800} Gt$$

όπου $T_{ambient}(t)$ η θερμοκρασία περιβάλλοντος

Εφόσον είναι γνωστή η ωριαία ισχύς ενός φωτοβολταϊκού συστήματος μπορεί να υπολογιστεί η ημερήσια ισχύς ως: $E_{PV} = P_{PV}(t) * S$, όπου S η διάρκεια της μέρας. Στην ανάλυση αυτή χρησιμοποιούμε την ετήσια μέση ηλιακή ακτινοβολία και θερμοκρασία.

β) Ανεμογεννήτρια

Η ανεμογεννήτρια χρησιμοποιεί τη κινητική ενέργεια του αέρα για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της περιστροφής του ρότορα της. Κύριος παράγοντας της απόδοσης των ανεμογεννητριών είναι η ταχύτητα του αέρα στη περιοχή. Επίσης, σημαντικό ρόλο παίζουν η επιφάνεια της καθώς και το ύψος του πύργου της. Για τη μοντελοποίηση της λαμβάνουμε υπόψη την ετήσια μέση ταχύτητα του αέρα. Χαρακτηριστικές είναι και οι ταχύτητες V_{CUT-in} και $V_{CUT-off}$ που αποτελούν και τα όρια που λειτουργεί η ανεμογεννήτρια.



Σχήμα 3

Στο σχήμα 3 φαίνεται μια χαρακτηριστική Ισχύος-Ταχύτητας ανεμογεννήτριας. Βλέπουμε ότι η ισχύς είναι μηδενική μέχρι τη ταχύτητα V_{CUT-in} ενώ μετά τη ταχύτητα V_r σταθεροποιείται. Τέλος, μετά την ταχύτητα $V_{CUT-off}$, σταματάει τη λειτουργία της προκειμένου να αποφευχθούν ζημιές.

Στη συγκεκριμένη ανάλυση χρησιμοποιούμε το τύπο:

$$P_{WT} = 0.5 * \rho * C * v^3 * n_{wt}$$

Όπου ρ η πυκνότητα του αέρα, C η επιφάνεια της ανεμογεννήτριας, V η ταχύτητα του ανέμου και n_{wt} η απόδοση της ανεμογεννήτριας. Επίσης, χρησιμοποιούμε ως δεδομένο τη ετήσια μέση ταχύτητα του ανέμου.

γ) Γεννήτρια Diesel

Οι κινητήρες diesel είναι μηχανές θερμότητας εσωτερικής καύσης που τροφοδοτούνται από diesel. Λειτουργούν μικρές γεννήτριες diesel που χρησιμοποιούνται σε απομακρυσμένες περιοχές σε υβριδικά συστήματα παραγωγής, αλλά και σε αυτοκίνητα και φορτηγά.

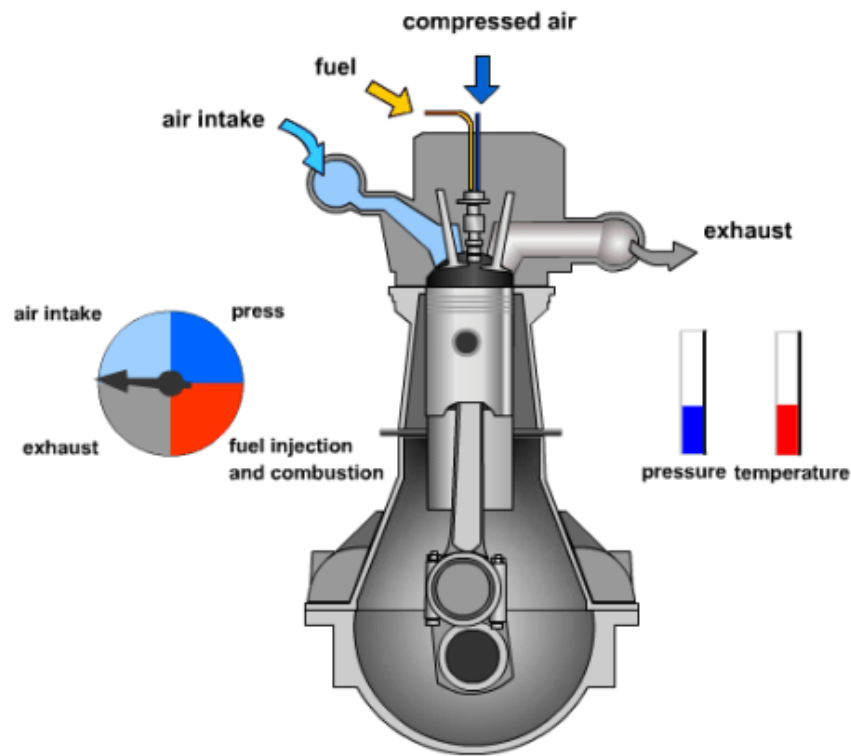
Για την εκκίνηση του κινητήρα diesel, ανοίγει η βαλβίδα εισαγωγής και ο αέρας εισέρχεται στον κύλινδρο, όπου συμπιέζεται όσο ανεβαίνει το έμβολο και αυξάνεται η θερμοκρασία του, οπότε στο τέλος της διαδρομής είναι αρκετά ζεστός για να ανάψει το καύσιμο. Στην κορυφή της διαδρομής ο εγχυτήρας καυσίμου οδηγεί το καύσιμο στον κύλινδρο, όπου αναφλέγεται με την επαφή με τον θερμαινόμενο αέρα. Καθώς καίγεται το καύσιμο, το αέριο στον κύλινδρο θερμαίνεται, σπρόχνωντας το έμβολο. Η βαλβίδα εξαγωγής ανοίγει και η εξάτμιση εξέρχεται από τον κύλινδρο.

Οι γεννήτριες Diesel έχουν

- απλό σχεδιασμό και εγκατάσταση
- χαμηλό κόστος καυσίμων
- μικρότερη αποθήκευση για το καύσιμο

Diesel

©HowStuffWorks.com



Σκοπός της γεννήτριας Diesel στο σύστημα είναι να καλύπτει το φορτίο όταν η παραγόμενη ενέργεια από τις ανανεώσιμες πηγές και η αποθηκευμένη στη μπαταρία δεν επαρκεί. Η ωριαία κατανάλωση ντίζελ μπορεί να βρεθεί ως: $C_{dg}(t) = a * P_{dg}(t) + b * P_r$

Όπου P_{dg} (kw) η ωριαία ισχύς της γεννήτριας και P_r (kw) η ονομαστική. Οι συντελεστές a και b ονομάζονται συντελεστές ειδικής κατανάλωσης και διαφέρουν ανάλογα με το κατασκευαστή.

Η λειτουργία της γεννήτριας για να έχει ικανοποιητική απόδοση πρέπει να ξεπερνάει πάντα ένα επίπεδο της ονομαστικής π.χ. $P_{dg}(t) > 0.2 * P_r$

Στον επόμενο πίνακα παρατίθενται τα κόστη του καυσίμου, ανάλογα με την ισχύ της γεννήτριας:

GENERATOR SIZE (KW)	50 PERCENT LOAD	75 PERCENT LOAD	100 PERCENT LOAD
8	0.39 gal/hr	0.54 gal/hr	0.69 gal/hr
10	0.53 gal/hr	0.65 gal/hr	0.88 gal/hr
15	0.69 gal/hr	0.94 gal/hr	1.22 gal/hr
20	0.90 gal/hr	1.30 gal/hr	1.60 gal/hr
30	1.80 gal/hr	2.40 gal/hr	2.90 gal/hr
40	2.30 gal/hr	3.20 gal/hr	4.00 gal/hr
60	2.90 gal/hr	3.80 gal/hr	4.80 gal/hr
75	3.40 gal/hr	4.60 gal/hr	6.10 gal/hr
100	4.10 gal/hr	5.80 gal/hr	7.40 gal/hr
125	5.00 gal/hr	7.10 gal/hr	9.10 gal/hr
135	5.40 gal/hr	7.60 gal/hr	9.80 gal/hr
150	5.90 gal/hr	8.40 gal/hr	10.90 gal/hr
175	6.80 gal/hr	9.70 gal/hr	12.70 gal/hr
200	7.70 gal/hr	11.00 gal/hr	14.40 gal/hr
230	8.80 gal/hr	12.50 gal/hr	16.60 gal/hr
250	9.50 gal/hr	13.60 gal/hr	18.00 gal/hr
300	11.30 gal/hr	16.10 gal/hr	21.50 gal/hr

Συντελεστής ανανεώσιμων πηγών

REF – Renewable energy fraction

Ο συντελεστής ανανεώσιμων πηγών μας δείχνει το ποσοστό του συστήματός μας που καλύπτεται από ανανεώσιμες πηγές και υπολογίζεται από τον τύπο

$$REF = \left(1 - \frac{E_{L,DG}}{E_{L,served}} \right) 100\%$$

Όπου $E_{L,DG}$ είναι το φορτίο που παρέχεται από τη γεννήτρια Diesel. Τα εξ' ολοκλήρου ανανεώσιμα συστήματα έχουν $REF = 100\%$, ενώ τα εξ' ολοκλήρου Diesel έχουν 0%

δ) Μπαταρία

Η χρήση της μπαταρίας στο σύστημα είναι για να αποθηκεύεται η ενέργεια που παράγουν οι ανανεώσιμες πηγές όταν αυτή υπερβαίνει το απαιτούμενο φορτίο μιας εγκατάστασης. Αντίστοιχα, η μπαταρία συμβάλλει στη κάλυψη του φορτίου όταν το φορτίο των ανανεώσιμων πηγών δεν επαρκεί να καλύψει την απαιτούμενη ενέργεια.

Η φόρτιση ή εκφόρτιση της μπαταρίας εξαρτάται από το έλλειμα ενέργειας

$$E_D = P_{WT+PV} - P_L.$$

Αν το E_D είναι αρνητικό έχουμε έλλειμα ενέργειας και η μπαταρία εκφορτίζεται. Η φόρτισή της τότε θα είναι

$$SOC(t) = E_{battery}(t - 1) * n_{discharging} - E_D.$$

(SOC=state of charge)

Αν το E_D είναι θετικό τότε έχουμε θετικό έλλειμα ενέργειας και η μπαταρία φορτίζεται. Η φόρτιση της τότε θα είναι: $SOC(t) = E_{battery}(t-1) * n_{charge} + E_D.$

Ενώ αν το έλλειμα είναι μηδενικό η φόρτιση της μπαταρίας παραμένει αμετάβλητη.

Τέλος, για τη βέλτιστη απόδοση και αντοχή στο χρόνο της μπαταρίας η φόρτιση της πρέπει να διατηρείται ανάμεσα στις ακόλουθες τιμές:

$$(1 - DOD_{max})SOC_{max} \leq SOC(t) \leq SOC_{max}$$

Ο όρος DOD_{max} περιγράφει τη μέγιστη χρήσιμη χωρητικότητα για την ασφάλεια της μπαταρίας και τη συντήρησή της. Είναι σημαντικό να επισημάνουμε ότι σε ορισμένες περιπτώσεις, όπως π.χ. σε συστήματα αποθήκευσης νερού μπορεί κάλλιστα να φτάσει στο 100%, όμως σε άλλες περιπτώσεις όπως η αποθήκευση συμπιεσμένου αέρα, υδρογόνου ή μεθανίου, το DOD είναι μόλις 50% και εύκολα βλέπει κανείς ότι αν είναι

50%, τότε θα χρειαστεί να χρησιμοποιηθεί διπλάσιος αριθμός από αποθηκευτικά μέρη, με ό,τι αυτό συνεπάγεται για το κόστος.

Για τις μπαταρίες λιθίου μια τυπική τιμή DOD είναι 80%.

Όπου DOD_{max} είναι το μέγιστο όριο εκφόρτισης που επιτρέπεται ενώ SOC_{max} είναι το μέγιστο όριο χωρίς γνώμονα την ασφάλεια.

$$C_{arep} = C_{rep} * SFF_{comp} - C_{rep} * \left(\frac{R_{rem}}{R_{comp}} \right) * SFF_{project}$$

5.3 Οικονομική ανάλυση

Για να επιτευχθεί το ελάχιστο δυνατό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας του υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μιας εγκατάστασης είναι αναγκαία η σαφής ανάλυση των οικονομικών όρων.

Συντελεστής ανάκτησης κεφαλαίου: CRF (Capital Recovery Factor):

$$CRF = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1}$$

όπου i το επιτόκιο και N τα χρόνια του project.

Ο συντελεστής ανάκτησης κεφαλαίου χρησιμοποιείται για να καταναμεθεί η παρούσα αξία ενός ποσού σε μια περίοδο N χρόνων.

Συντελεστής SSF (Sinking Fund factor): $SSF = \frac{i}{(1+i)^N - 1}$

Τα κόστη της εγκατάστασης είναι το κόστος κεφαλαίου, το κόστος αντικατάστασης, το κόστος λειτουργίας και συντήρησης και για τη γεννήτρια Diesel το κόστος του καυσίμου.

$$Cost = \sum_i C_{acapi} + C_{arepi} + C_{a(o+m)i} + C_{afuel dg}$$

(a=annual, cap=capital, rep=replacement, o=operation, m=maintenance, field generator)

Το ετήσιο κεφαλαιακό κόστος κάθε στοιχείου είναι: $C_{acapi} = CRF * C_{capi}$

Αντίστοιχα το ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης είναι:
 $C_{a(o+m)i} = CRF * C_{(o+m)i}$

$R_{rep} = R_{comp} * INT(\frac{R_{proj}}{R_{comp}})$ replacement cost duration

Υπολειπόμενη ζωή στοιχείου. $R_{rem} = R_{comp} - (R_{proj} - R_{rep})$

Κόστος αντικατάστασης: $C_{arep} = C_{rep} * f_{rep} * SFF_{comp} - C_{rep} * \frac{R_{rem}}{R_{comp}} * SSF_{project}$

Καταλληλότητα - Κόστος

Στη συνάρτηση καταλληλότητας του αλγορίθμου, προφανώς στη δική μας περίπτωση, ο παράγοντας θα είναι το κόστος. Θα πρέπει να ορίσουμε πώς ένα μέλος του πληθυσμού επικρατεί των υπολοίπων, καθώς και το χρονικό περιθώριο. Σύμφωνα με τον συντελεστή ανάκτησης κεφαλαίου, ορίζουμε τα χρόνια $N=30$ και το επιτόκιο $i=0.5\%$ και στη συνέχεια φτιάχνουμε εξισώσεις για τα κόστη των εξαρτημάτων μας (PV, WT, Generator).

Στη γεννήτρια, Diesel, σύμφωνα με τον πίνακα που παραθέσαμε στη παραπάνω, εφόσον η επιλεγμένη γεννήτρια είναι ισχύος 10kW, το κόστος του καυσίμου είναι 0.88 gal/h σε συνθήκες full load, που σημαίνει 2.9lt/h, ή περίπου 4.7\$.

5.4 Περιορισμοί

Όσον αφορά τη συνάρτηση περιορισμών (constraint function), πρέπει να δούμε την παραγωγή ενέργειας των εξαρτημάτων. Για τα ϕ/β , ισχύει ότι λόγω των καλωδίων, μια τυπική και συνήθης απώλεια είναι της τάξης του 2%, οπότε θέτουμε απόδοση καλωδίων 98%.

Επίσης, σύμφωνα με τα στοιχεία που βρήκαμε, η περιοχή της Θεσσαλίας έχει περίπου $G=0.2\text{kW/m}^2$ οπότε αν μπει αυτό στον τύπο του T_c , παίρνουμε θερμοκρασία κυψελίδας 27.5°C . Υπολογίζουμε έτσι το συνολικό άθροισμα ισχύος σε ϕ/β και ανεμογεννήτρια.

5.5 Γενετικός αλγόριθμος και αλγόριθμος επιλογής μπαταρίας

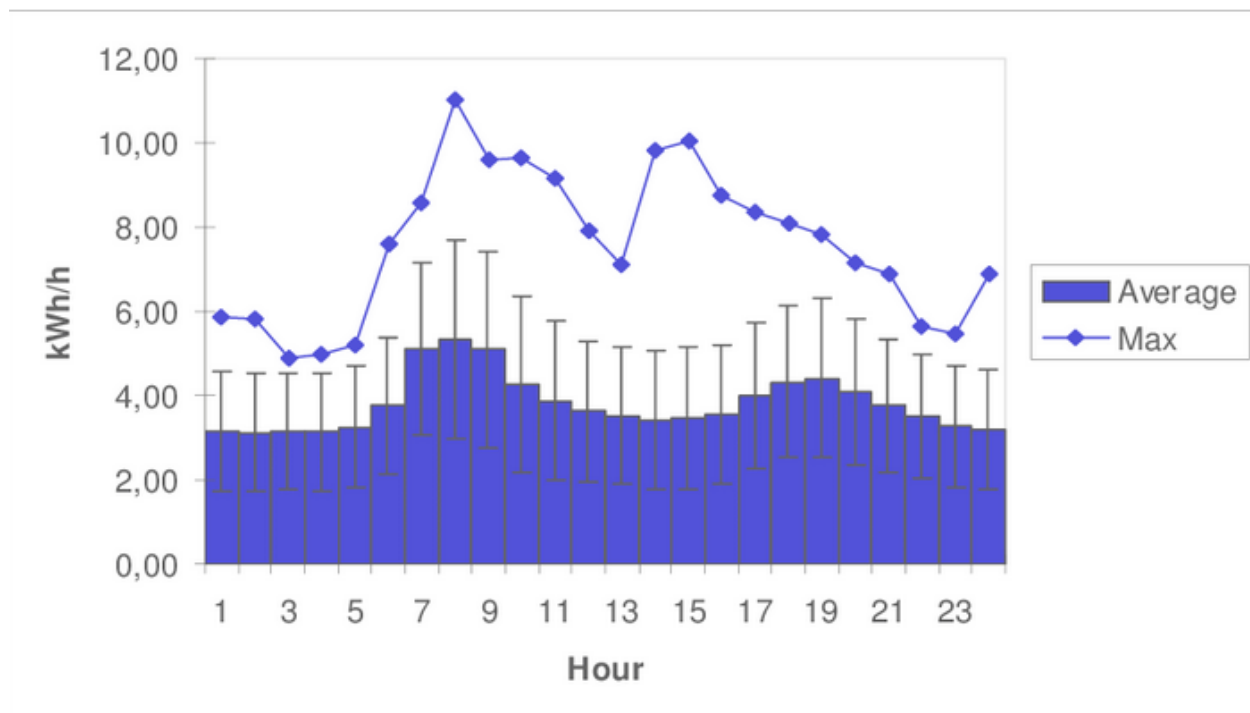
Στο μοντέλο αυτό θεωρούμε το φορτίο που απαιτεί η εγκατάσταση σταθερό για όλες τις μέρες του χρόνου (συναντιέται σε βιομηχανίες που δεν σταματούν ποτέ τη λειτουργία τους). Ως συνάρτηση καταλληλότητας του γενετικού αλγόριθμου τίθεται η συνάρτηση κόστους της οποίας και επιθυμείται η ελαχιστοποίηση της. Ταυτόχρονα, προκειμένου το φορτίο να καλύπτεται, ελέγχεται το ισοζύγιο ενέργειας σε ημερήσια βάση στην συνάρτηση constraints. Επιλέγεται η μακροσκοπική ανάλυση του προβλήματος στο πεδίο του χρόνου (ημερησίως και όχι ωριαία) έτσι ώστε να γίνει μετέπειτα η επιλογή της μπαταρίας και να αποφευχθούν περίπλοκοι υπολογισμοί στο γενετικό αλγόριθμο.

Το αρχικό χρωμόσωμα είναι $[N_{PV} \ N_{WT} \ P_{dg}]$ ο αριθμός των ϕ/β , ο αριθμός των ανεμογεννητριών και τα kWatt που καλύπτει η γεννήτρια Diesel. Ο γενετικός αλγόριθμος παράγει πολλαπλές αντιγραφές των μεταβλητών στην αρχή τυχαία. Μετέπειτα, οι λύσεις που βρίσκονται πιο κοντά στο ζητούμενο (ελάχιστο κόστος, συνάρτηση ικανότητας) επιβιώνουν και με τη σειρά τους δημιουργούν νέους πληθυσμούς λύσεων. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να φτάσουμε στη βέλτιστη λύση.

Αφού τρέξει ο γενετικός αλγόριθμος χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος επιλογής μπαταρίας, προκειμένου να επιτευχθεί η αποθήκευση ενέργειας που απαιτείται ώστε το φορτίο να καλύπτεται σε συνεχή βάση. Ο αλγόριθμος επιλογής μπαταρίας συγκρίνει τη διαφορά του απαιτούμενου φορτίου με το φορτίο των ανανεώσιμων πηγών και αντίστοιχα βρίσκει το φορτίο της μπαταρίας σε ωριαίο χρόνο. Για να το κάνει αυτό διαβάζει από ένα αρχείο excel την ανά ώρα παραγόμενη ισχύ από τις ανεμογεννήτριες και τα φωτοβολταϊκά σε συνδυασμό με τις ανάγκες φορτίου. Αν η ενέργεια υπερβαίνει το όριο της μπαταρίας αποθηκεύεται στη μεταβλητή dump (χαμένη ενέργεια) ενώ αν δεν μπορεί να το καλύψει, στη μεταβλητή deff. Κύριος στόχος είναι η επιλογή μπαταρίας με τις μικρότερες δυνατές τιμές dump.

5.6 Εφαρμογή του τροποποιημένου αλγόριθμου σε εγκατάσταση της Θεσσαλίας

Για τη πρακτική εφαρμογή του αλγορίθμου που αναλύθηκε παραπάνω επιλέγεται η περιοχή της Θεσσαλίας. Ένα τυπικό φορτίο που απεικονίζει τις ανάγκες μιας βιομηχανικής εγκατάστασης παρουσιάζεται παρακάτω.



Σχήμα: Ωριαία κατανάλωση kWh εγκατάστασης.

Στην ανάλυσή μας χρησιμοποιούμε το μέγιστο ωριαίο φορτίο ώστε να υπάρχει σίγουρη κάλυψή του οποιαδήποτε στιγμή χρειαστεί. Το άθροισμα των ωριαίων φορτίων μας δίνει το ημερήσιο φορτίο που ανέρχεται σε 177.5kWh.

Για τον υπολογισμό τόσο της ισχύος των φ/β όσο και της ισχύος των ανεμογεννητριών είναι αναγκαία μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής, όπως η μέση ετήσια ηλιακή ακτινοβολία και η μέση ταχύτητα του ανέμου.

Για τα φωτοβολταϊκά τα δεδομένα αντλούνται από το εργαλείο της Ευρωπαϊκής Ένωσης: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#MR

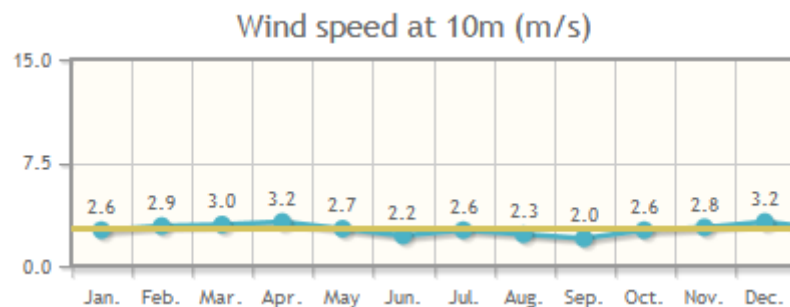
Προκύπτει ως μέση ετήσια ηλιακή ακτινοβολία $\bar{g}_{annual} = 0.20 kW / m^2 / hour$

Η μέση ταχύτητα του ανέμου για τη περιοχή της Θεσσαλίας μπορεί να βρεθεί χρησιμοποιώντας το λογισμικό του meteo.gr για τη συγκεκριμένη περιοχή. (<https://www.meteo.gr/windStatistics.cfm>)



Σχήμα: Μελέτη περιοχής Θεσσαλίας

Η μέση ταχύτητα σε ύψος ανεμογεννήτριας 10 μέτρων είναι:



Σχήμα: Μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου: 2.81m/s

5.6.1 Επιλογή στοιχείων συστήματος

Προκειμένου να υλοποιήσουμε τον αλγόριθμο είναι απαραίτητη η επιλογή των στοιχείων που θα χρησιμοποιηθούν.

Για το σύστημα των φωτοβολταϊκών επιλέγονται τα solar panel 500W monocrystalline Bluesun



Εικόνα: Τα φωτοβολταϊκά της εγκατάστασης

Τα χαρακτηριστικά τους είναι :

P _{pn} (Ονομαστική ισχύς)	500Watt
NOCT	50C
Θερμοκρασία αναφοράς	25C
Κόστος κεφαλαίου	250.6 €
Κόστος συντήρησης και επισκευών	10 €
Συντελεστής θερμοκρασίας	0.4% / °C

Για το σύστημα των ανεμογεννητριών επιλέγονται οι: **AVATAR™-III**



Εικόνα: Η ανεμογεννήτρια της εγκατάστασης

Τα χαρακτηριστικά της είναι:

Pwt(Ονομαστική ισχύς)	3000Watt
Ύψος ρότορα	10m
Διάμετρος ρότοροα	4.15m
Κόστος κεφαλαίου	2645€
Κόστος συντήρησης και επισκευών	80€
Ταχύτητα Cut-in	2.2m/s
Ταχύτητα Cut-off	15m/s

Για γεννήτρια diesel επιλέγεται η: 10kW Kompak Silent Diesel Generator



Εικόνα :Η γεννήτρια της εγκατάστασης

Τα χαρακτηριστικά της είναι:

Pgen(Ονομαστική ισχύς)	10000Watt
Ελάχιστο φορτίο(%)	20%
Κόστος κεφαλαίου	7500 €
Κόστος συντήρησης και επισκευών	120 €
Συντελεστής κατανάλωσης α	0.246
Συντελεστής κατανάλωσης β	0.08

Ως αντιστροφέας (inverter) του συστήματος επιλέγεται ο GoodWe GW12KN-DT

Η λειτουργία του αντιστροφέα στο σύστημά μας είναι να μετατρέπει την τάση εξόδου που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά από συνεχή σε εναλλασσόμενη προκειμένου να τροφοδοτεί το φορτίο. Η επιλογή του αντιστροφέα έχει να κάνει με τη συνολική παραγόμενη ισχύ που προκύπτει από τα φωτοβολταϊκά και τις ανεμογεννήτριες.



Εικόνα: Ο αντιστροφέας της εγκατάστασης

Χαρακτηριστικά του αντιστροφέα

Μέγιστη ισχύς	15kw
Βαθμός απόδοσης	0.98
Κόστος κεφαλαίου	1369€
Κόστος συντήρησης και επισκευών	68.45€

Τέλος, για μπαταρία επιλέγεται η Powervault 3



Εικόνα: Η μπαταρία της εγκατάστασης

Η σωστή επιλογή μπαταρίας είναι σημαντική, καθώς αποτελεί θεμέλιο στη εύρυθμη λειτουργία του συστήματος. Σε μεγάλες εγκαταστάσεις ανανεώσιμων πηγών πολλές μπαταρίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν μαζί συνδεδεμένες σε σειρά.

Τα χαρακτηριστικά της είναι:

Μέγιστη φόρτιση	4KWh
Υλικό	Λίθιο
Depth of discharge	80%
Κόστος κεφαλαίου	3992€
Κόστος συντήρησης και επισκευών	79€

5.6.2 Εφαρμογή των αλγορίθμων επιλογής στοιχείων

Ως συντελεστής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας τίθεται το όριο του 40%.

Ως χρονικό ορίζοντα της ενεργειακής εγκατάστασης τίθενται τα 30 χρόνια. Ως μέση τιμή του πετρελαίου diesel 1.16 ευρώ/λίτρο. Οι χρόνοι ζωής κάθε στοιχείου παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Στοιχείο	Χρόνος ζωής
Φωτοβολταϊκό	25
Ανεμογεννήτρια	25
Γεννήτρια Diesel	35

Τα αποτελέσματα του γενετικού αλγορίθμου παρατίθενται στον επόμενο πίνακα:

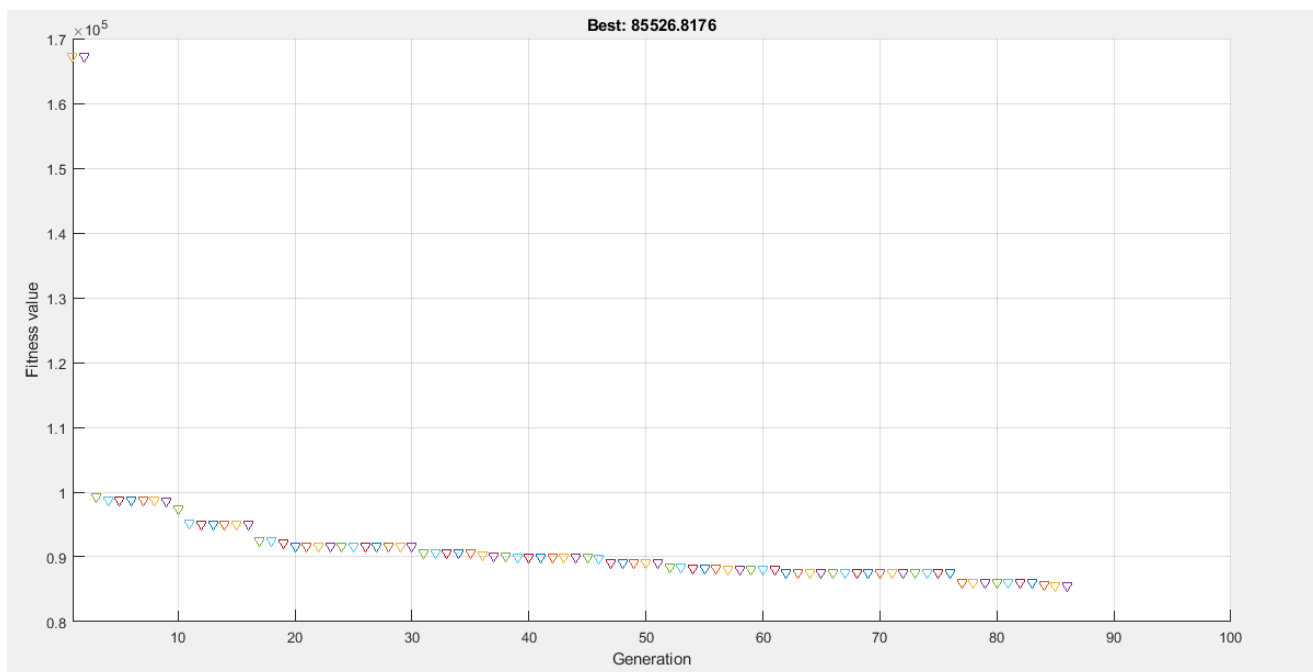
Αριθμός Φωτοβολταϊκών (panel) $P_{rated} = 0.5kW$	Αριθμός Ανεμογεννητριών ($P_{rated} = 3kW$)	kWh γεννήτριας Diesel ($P_{rated} = 10kW$)	Συνολικό κόστος Υβριδικού συστήματος	Συντελεστής ανανεώσιμων πηγών
121	0	94	44462€	0.45
105	17	99.1	83812€	0.42
192	13	50	92321€	0.73

Ως φθηνότερη επιλογή αναδεικνύεται ο συνδυασμός εγκατάστασης φωτοβολταϊκών πλαισίων με τη γεννήτρια diesel, γεγονός που απορρέει

απο τη χαμηλή μέση ταχύτητα του αέρα στη περιοχή, κάτι που καθιστά χαμηλή και μη συμφέρουσα τη χρήση ανεμογεννητριών.

Στη δεύτερη επιλογή στοιχείων (που βρίσκεται σε προγενέστερη γενιά στον αλγόριθμο), το κόστος αυξάνεται σημαντικά σε σύγκριση με την 1^η, ωστόσο παρά τη προσθήκη των ανεμογεννητριών ο συντελεστής ανανεώσιμων πηγών παραμένει σε χαμηλότερο επίπεδο απο την 1^η επιλογή.

Η τρίτη επιλογή (βρίσκεται ακόμη προγενέστερα στον αλγόριθμο) επιτυγχάνει μεγάλο συντελεστή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας γεγονός που προκύπτει από τη χρήση μεγάλου αριθμού φωτοβολταϊκών πλαισίων. Ο πολύ μεγάλος συντελεστής ανανεώσιμων πηγών την καθιστά ιδανική επιλογή για εγκαταστάσεις που θέλουν να στηριχθούν σε πράσινες μορφές ενέργειας. Αυτή η επιλογή θα γίνεται πιο συμφέρουσα όσο εξελίσσεται η τεχνολογία των φ/β και η απόδοσή τους αυξάνεται.



Σχήμα: Διάγραμμα συνάρτησης καταλληλότητας-παραγόμενων γενιών λύσεων

Το fitness value δείχνει πόσο μπορεί ένα μέλος του πληθυσμού να βελτιωθεί κατά μέσο όρο. Στο διάγραμμα αυτό βλέπουμε ότι όσο περνάνε οι γενιές, η τιμή καταλληλότητας μειώνεται, που είναι λογικό καθώς τα αντικείμενα του πληθυσμού είναι ολοένα και πιο ίσης καταλληλότητας για αναπαραγωγή και ο αλγόριθμος βρίσκει όλο και λιγότερες λύσεις για να βελτιώσει.

Για την εύρεση του αριθμού των μπαταριών υλοποιούμε τον αλγόριθμο επιλογής μπαταρίας.

Ο αλγόριθμος της μπαταρίας διαβάζει από ένα αρχείο excel την παραγόμενη ωριαία ισχύ τόσο από τα φωτοβολταϊκά όσο και από τις ανεμογεννήτριες. Έπειτα, σε συνδυασμό με τις απαιτήσεις του φορτίου ελέγχει την μέγιστη φόρτιση που πρέπει να έχει η μπαταρία προκειμένου να μην υπάρχουν απώλειες φορτίου.

Έτσι προσθέτοντας το κόστος του inverter και της μπαταρίας το τελικό κόστος προκύπτει για την πρώτη επιλογή ως: 49762€.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στη διπλωματική αυτή αναπτύχθηκε ένας συνδυαστικός αλγόριθμος επιλογής των στοιχείων ενός υβριδικού συστήματος ενέργειας προκειμένου να επιτευχθεί το ελάχιστο κόστος σε συνδυασμό με συνεχή κάλυψη του φορτίου μιας εγκατάστασης. Από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας υλοποιήθηκαν τα μοντέλα των ανεμογεννητριών και των φωτοβολταϊκών με βάση στατιστικά για την ετήσια μέση ταχύτητα του ανέμου μιας περιοχής και της ετήσιας μέσης ηλιακής ακτινοβολίας αντίστοιχα. Έπειτα, υλοποιήθηκε γενετικός αλγόριθμος που μέσω των εργαλείων του Matlab υπολόγιζε τη βέλτιστη κατανομή των στοιχείων του συστήματος.

Ως συνάρτηση ικανότητας ορίστηκε το κόστος, ενώ ως συνάρτηση περιορισμού ορίστηκε το ισοζύγιο ενέργειας σε ημερήσια βάση. Συμπληρωματικά, με το γενετικό αλγόριθμο δημιουργήθηκε και ο αλγόριθμος επιλογής μπαταρίας με σκοπό τον έλεγχο της διαφοράς της ενέργειας που προκύπτει από την απαιτούμενη ενέργεια και την παραγόμενη από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργεια. Ο αλγόριθμος μπαταρίας διασφαλίζει την κατάλληλη επιλογή μπαταρίας του συστήματος, ώστε να μη χάνεται ενέργεια που δεν μπορεί να αποθηκευτεί.

Έπειτα, έγινε μια ανάλυση για μια εγκατάσταση στο χώρο της Θεσσαλίας χρησιμοποιώντας ένα τυπικό φορτίο βιομηχανίας. Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα τόσο για τα φωτοβολταϊκά και τις ανεμογεννήτριες από βάσεις δεδομένων για την ικανοποιητική προσομοίωσή τους. Παράλληλα, επιλέχθηκαν στην κρίση του συντάκτη τα κατάλληλα στοιχεία για την προσομοίωση, δίνοντας βάση στα φωτοβολταϊκά, τις ανεμογεννήτριες, τη γεννήτρια diesel, την μπαταρία και τον αντιστροφέα. Αφού έγινε η επιλογή

των βασικών στοιχείων του συστήματος χρησιμοποιήθηκε ο γενετικός αλγόριθμος ώστε να βρεθούν οι βέλτιστες λύσεις.

Παρατηρήσαμε ότι ο αλγόριθμος, όσο περνούσανε οι γενιές, συνειδητοποιούσε ότι δε συμφέρει η ανεμογεννήτρια στη συγκεκριμένη περιοχή, και τελικώς μείωσε τον αριθμό τους. Αν μας ενδιέφερε μόνο το κόστος, η γεννήτρια Diesel θα συνέβαλε στο σύστημα πολύ περισσότερο, όμως για λόγους πράσινης ενέργειας τέθηκε ένα κατώτατο όριο 40% για να έχει νόημα η χρήση των ανανεώσιμων. Μελλοντικά θα μπορεί να αυξάνεται ο συντελεστής αυτός με όχι τόσο ραγδαία αύξηση κόστους, αν συμβουλευτούμε και τα γραφήματα μείωσης κόστους που παρατέθηκαν στα πρώτα κεφάλαια.

Μελλοντικές βελτιώσεις

Παρ'όλο που η μείωση κόστους και η τεχνολογική εξέλιξη των υβριδικών συστημάτων ενέργειας τα τελευταία χρόνια είναι ενθαρρυντικά, παραμένουν μια ακριβή πηγή ενέργειας. Για να πετύχουμε εκτενή εφαρμογή αυτής της νέας -ομολογουμένως- τεχνολογίας, υπάρχει ανάγκη για περαιτέρω R&D βελτιώσεις στα φωτοβολταϊκά και σε τεχνολογίες ανέμου που μειώνουν το κόστος του συστήματος. Το κόστος των συμβατικών πηγών που χρησιμοποιούμε σήμερα για ενέργεια αυξάνεται συνεχώς, αλλά το κόστος για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ακολουθεί φθίνουσα πορεία και εξαπλώνεται ραγδαία, προβάλλοντας το σύστημα ανανεώσιμων πηγών ως ένα οικονομικό μέσο παραγωγής ενέργειας για το μέλλον πολλών εφαρμογών ανάπτυξης.

Μια σημαντική βελτίωση στην είσοδο δεδομένων θα αποτελούσε η ανάγνωση ολόκληρης database με όλα τα στοιχεία του εμπορίου, που θα αύξανε κατά πολύ την πολυπλοκότητα και τους υπολογισμούς αλλά θα μας έβγαζε καλύτερα αποτελέσματα. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα επιλέξαμε εμείς τα στοιχεία με γνώμονα το μέσο καταναλωτή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Michalewisc, Z. and M. Schoenauer - **Evolutionary Algorithms for Constrained Parameter Optimization Problems**

Hybrid energy system (N/A). Low Carbon Green Growth Roadmap for Asia and the Pacific: **FACT SHEET: Hybrid energy system**

Oliver Kramer – **Genetic Algorithm Essentials**

J. Lopez - **Optimization with Matlab using Genetic Algorithm, Multiobjective Optimization**

Barbisa, H.J.C. and A.C.C. Lemonge (2003) - **A new adaptive penalty scheme for genetic algorithms, Information Sciences**

Randy L.Haupt,Sue Ellen Haupt - **Practical Genetic Algorithms, 2nd Edition**

Camara, D. (2015). 1 - **Evolution and Evolutionary Algorithms**

A.H. Shahirinia, S. Moghaddas – Tafreshi, A.H. Gastaj, A.R. Moghaddomjoo - **Optimal sizing of hybrid power system using genetic algorithm**

Suresh Muthusamy, R. Meenakumari - **An improved genetic algorithm based optimal sizing of Solar Photovoltaic/ Wind Turbine Generator/ Diesel Generator/ Battery connected Hybrid Energy Systems for standalone applications**

Barun K.Das, Rakibul Hassan, Mohammad Shahed H.K, Tushar, Forhad Zaman, Mahmudul Hasan, Pronob Das - **Techno-economic and environmental assessment of a hybrid renewable energy system using multi-objective genetic algorithm: A case study for remote Island in Bangladesh**

M. Fadaee - **Multi-objective optimization of a stand-alone hybrid renewable energy system by using evolutionary algorithms: A review**

Yassine Amirat, Mohamed Benbouzid - **Economical Evaluation and Optimal Energy Management of a Stand-Alone Hybrid Energy System Handling in Genetic Algorithm Strategies**

J K Kaldellis - **Stand-Alone and Hybrid Wind Energy Systems 1st Edition**

Vikas Khare, Savita Nema, Prashant Baredar- **Solar–wind hybrid renewable energy system: A review, 2016**

Osama Abdelkhalik - **Algorithms for Variable-Size Optimization Applications in Space Systems and Renewable Energy**

Prof. Ibrahim El-mohr Prof. Ahmed Anas- **RENEWABLE ENERGY SYSTEMS HYBRID ENERGY SYSTEMS APPLICATIONS, 2014**

Prabodh Bajpai, Vaishalee Dash - **Hybrid renewable energy systems for power generation in stand-alone applications: A review, 2012**

Nicu Bizon Hossein Shayeghi Naser Mahdavi Tabatabaei - **Analysis, Control and Optimal Operations in Hybrid Power Systems Advanced Techniques and Applications for Linear and Nonlinear Systems, 2013**

Michael A. Laughton - **Renewable Energy Sources, 2003**

Priscila Gonçalves Vasconcelos Sampaioa, Mario Orestes Aguirre González - **Photovoltaic solar energy: Conceptual framework, 2017**

Amjed Hina Fathima, Kaliannan Palanisamy HCL Technologies Ltd., **Renewable systems and energy storages for hybrid systems Chennai, India; School of Electrical Engineering, VIT University, Vellore, Tamil Nadu, India**

