



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

**Σχεδιασμός Ανάπτυξης δικτύου Διασύνδεσης νέων έργων
ΑΠΕ με το Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας
με χρήση Ευρετικών Αλγορίθμων**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



Φίλος Γεώργιος

Επίβλεπων: Κανέλλος Φώτιος

Χανιά, Ιούλιος 2014

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε από τον Ιανουάριο του 2013 έως το Ιούλιο του 2014 στη Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης. Αντικείμενο της εργασίας είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους σύνδεσης σταθμών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Η ελαχιστοποίηση του κόστους επιτυγχάνεται με την χρήση του ευρετικού αλγορίθμου βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων (Particle swarm optimization). Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβέποντα της διπλωματικής εργασίας κ. Φ. Κανέλλο, λέκτορα της σχολής Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης, για την πολύτιμη καθοδήγηση που μου παρείχε κατά την εκπόνηση της εργασίας.

Χανιά, Ιούλιος 2014

Φίλος Γεώργιος

Περίληψη

Η παραγωγή, μεταφορά και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζει μια ιδιαιτερότητα συγκριτικά με οποιοδήποτε άλλο εμπορικό προϊόν. Λόγω της μη επαρκούς αποθηκευτικής ικανότητας οι μονάδες παραγωγής πρέπει να ρυθμίζουν άμεσα την παραγωγή τους, να μεταφέρουν και να διανέμουν το ηλεκτρικό ρεύμα με τέτοιο τρόπο, ούτως ώστε να εξυπηρετείται ανα πάσα χρονική στιγμή η ζήτηση.

Τα τελευταία χρόνια, λόγω περιβαλλοντικών και κοινωνικών επιπτώσεων από την χρήση συμβατικών πηγών ενέργειας, σημειώνεται μεγάλη άνοδος της διεξόδου των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Μεγάλο μέρος της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ ανήκει στο μοντέλο διεσπαρμένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ενώ και τα μεγάλα έργα ΑΠΕ και αυτά δε είναι γενικώς συγκεντρωμένα στο χώρο όπως οι συμβατικοί σταθμοί. Η παραγωγή και η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ παρουσιάζει ορισμένες ιδιαιτερότητες, οι οποίες καθιστούν την διασύνδεση τους με το υπάρχον δίκτυο αρκετά απαιτητική.

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η συνοπτική περιγραφή του τρόπου σύνδεσης διεσπαρμένων σταθμών με το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, η αποτίμηση του κόστους της σύνδεσης αυτής και τέλος η ελαχιστοποίησή του.

Σύμφωνα με τους περιορισμούς που προκύπτουν από το Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας η σύνδεση διεσπαρμένων έργων ΑΠΕ προϋποθέτει την κατασκευή ενδιάμεσων Υποσταθμών ανύψωσης τάσης. Σκοπός της εργασίας είναι η εύρεση του βέλτιστου αριθμού και θέσεων των Υποσταθμών αυτών, με δεδομένες τις θέσεις των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και κριτήριο την ελαχιστοποίηση του κόστους διασύνδεσης. Η ελαχιστοποίηση του κόστους επιτυγχάνεται με την χρήση του ευρετικού αλγορίθμου βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων, αφού πρώτα έχει μοντελοποιηθεί το πρόβλημα.

Abstract

Generation, transmission and distribution of electricity have a totally different behavior than any other commodity. Due to the limited electricity storage capacity (the available technology is expensive and is mainly used in small scale applications), power generation units should regulate their output in order to continuously meet the demand in electric power.

Lately, due to environmental and social effects caused by the use of conventional energy sources, the use of renewable energy sources has been considerably increased. Large part of RES production comes from distributed resources while the large RES power plants are geographically widespread constituting their connection with the high-voltage network a complicated problem.

The main subject of the diploma thesis is to propose a methodology for the optimal placing of HV substations for the connection of RES plants and the minimization of the cost of interconnection with the existing network.

Hence, the aim of this work is to find the optimal number and locations of the substations needed for the connection of a certain number of RES plants placed in specific locations, in order to minimize the total connection cost. This optimization problem is solved with the use of the particle swarm optimization algorithm.

Λέξεις-Κλειδιά

Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας – Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας–Διεσπαρμένη Παραγωγή–Βελτιστοποίηση Σμήνους Σωματιδίων, Κόστος σύνδεσης ΑΠΕ, Χωροθέτηση Υποσταθμών ΑΠΕ

Index Terms

Electric Power System – Renewable energy sources–Distributed Generation–Particle swarm optimization, RES interconnection cost, RES substation placing.

Περιεχόμενα

Πρόλογος	2
Περίληψη	3
Abstract	4
Λέξεις-Κλειδιά	5
Index Terms	5
Περιεχόμενα	6
Ονοματολογία	8
1. ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	9
1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	9
1.2 ΔΟΜΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	11
1.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
1.2.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ	12
1.2.3 ΜΕΤΑΦΟΡΑ	15
1.2.4 ΔΙΑΝΟΜΗ	17
1.3 ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	18
1.3.1 ΤΟ ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	18
1.3.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΣΗΕ	19
1.3.3 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ	23
2 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	24
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	24
2.2 ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	24
2.3 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	26
2.4 ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΑΠΕ	27
3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗΣ ΥΠΟΣΤΑΘΜΩΝ ΑΠΕ	30
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	30
3.2 ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΙ	31
3.2.1 ΓΕΝΙΚΑ	31

3.2.2	ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΠΟΣΤΑΘΜΩΝ	32
3.3	ΓΡΑΜΜΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ	34
3.4	ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	35
3.5	ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ	37
3.5.1	ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ Υ/Σ	37
3.5.2	ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΓΡΑΜΜΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ	40
3.6	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΤΑΘΜΩΝ ΑΠΕ 41	
3.7	ΓΕΝΙΚΕΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	44
4	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΣΜΗΝΟΥΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ	46
4.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	46
4.2	ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΒΣΣ (Βελτιστοποίηση Σμήνους Σωματιδίων)	47
4.3	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ PSO	50
4.4	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΟΥ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	54
4.5	ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ PSO MATLAB	58
4.5.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	58
4.5.2	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ	59
4.5.3	ΡΟΥΤΙΝΕΣ	61
4.6	ΣΥΝΟΨΗ ΤΗΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	69
5	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ	70
5.1	ΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΗΣ PSO	70
5.2	ΑΡΧΕΙΑ ΕΙΣΟΔΟΥ	71
5.3	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ	74
5.4	ΣΥΝΟΨΗ	78
	Βιβλιογραφία	80
	Παράρτημα	83

Ονοματολογία

<i>ΣΗΕ</i>	<i>Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας</i>
<i>ΑΠΕ</i>	<i>Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας</i>
<i>ΔΕΗ</i>	<i>Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού</i>
<i>Α/Ε</i>	<i>Αιολικό Πάρκο</i>
<i>ΕΣΜΗΕ</i>	<i>Ελληνικό Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας</i>
<i>DC</i>	<i>Direct Current</i>
<i>AC</i>	<i>Alternating current</i>
<i>ΦΒ</i>	<i>Φωτοβολταϊκό Σύστημα</i>
<i>MW</i>	<i>Mega(10^6) Watt</i>
<i>KW</i>	<i>Kilo(10^3) Watt</i>
<i>PSO</i>	<i>Particle swarm optimization</i>
<i>ΒΣΣ</i>	<i>Βελτιστοποίηση Σμήνους Σωματιδίων</i>
<i>Υ/Σ</i>	<i>Υποσταθμός</i>
<i>Μ/Σ</i>	<i>Μετασχηματιστής</i>
<i>ΡΑΕ</i>	<i>Ρυθμιστική αρχή ενέργειας</i>
<i>ΑΔΜΗΕ</i>	<i>Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας</i>
<i>ΔΕΔΔΗΕ</i>	<i>Διαχειριστής ηλεκτρικού δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας</i>
<i>Υ/Τ</i>	<i>Υψηλή Τάση</i>
<i>Μ/Τ</i>	<i>Μέση Τάση</i>

1.ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Πριν το 1800, η γνώση γύρω από τον ηλεκτρισμό περιοριζόταν κυρίως στις μελέτες ηλεκτρικών και μαγνητικών φαινομένων που είχαν γίνει από κάποιους πρωτοπόρους ερευνητές. Αν και σημαντικές νέες ανακαλύψεις, που έγιναν τα επόμενα χρόνια, πρόσθεταν συνεχώς και νέα γνώση στο αντικείμενο του ηλεκτρισμού, εφαρμογές που να οδηγούν σε εκμετάλλευση αυτών των ανακαλύψεων εμφανίστηκαν αρκετά αργότερα. Η πρώτη εμπορική χρήση του ηλεκτρισμού άρχισε γύρω στο 1870, όταν χρησιμοποιήθηκαν οι λαμπτήρες τόξου για φωτισμό οικιών και οδών.

Το πρώτο πλήρες ηλεκτρικό σύστημα, αποτελούμενο από γεννήτρια, καλώδιο, ασφάλεια, μετρητή και φορτία ήταν αυτό που εγκαταστάθηκε από τον Thomas Edison στην Νέα Υόρκη, ο ιστορικός Pearl street που τέθηκε σε λειτουργία το 1882. Πολύ σύντομα αντίστοιχα συστήματα λειτούργησαν στις περισσότερες μεγαλουπόλεις σε όλον τον κόσμο. Το τεχνικό πρόβλημα που αντιμετώπιζαν αυτά τα πρώτα ηλεκτρικά συστήματα, ήταν ότι παρέμεναν ανενεργά ή τουλάχιστον υπολειπορούσαν, κατά το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου καθόσον υπήρχε έλλειψη ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας κατά την διάρκεια της ημέρας. Θα έπρεπε συνεπώς να έρθει μία άλλη εφαρμογή για να καλύψει αυτήν την έλλειψη ζήτησης. Με την ανάπτυξη των κινητήρων, η ηλεκτρική κινητήρια ισχύς κατέστη γρήγορα πολύ δημοφιλής και χρησιμοποιήθηκε σε πολλές εφαρμογές, λύνοντας ταυτόχρονα το τεχνικό πρόβλημα της έλλειψης της ζήτησης που προαναφέρθηκε

Παρά την αρχική ευρεία χρήση των συστημάτων συνεχούς ρεύματος (dc), αυτά πολύ γρήγορα αντικαταστάθηκαν πλήρως από τα συστήματα εναλλασσόμενου ρεύματος (ac). Ο λόγος ήταν ότι τα συστήματα συνεχούς ρεύματος δεν είχαν την δυνατότητα να μεταφέρουν ισχύ σε μεγάλες αποστάσεις, διότι για να γίνει κάτι τέτοιο και συγχρόνως να κρατηθούν οι απώλειες μεταφοράς RI^2 και οι πτώσεις τάσεις σε αποδεκτά επίπεδα, έπρεπε τα επίπεδα τάσης να είναι υψηλά. Υψηλές όμως τάσεις δεν ήταν αποδεκτές ούτε για την παραγωγή ούτε για την κατανάλωση επειδή δεν το επέτρεπε η τεχνολογία της εποχής αλλά και η ασφάλεια των καταναλωτών. Η λύση συνεπώς θα ήταν να ήταν να μεταφερόταν η ισχύς σε μεγάλες αποστάσεις υπό υψηλότερη τάση, η

οποία στην συνέχεια θα μειωνόταν σε χαμηλότερες τιμές στις θέσεις όπου υπήρχαν τα φορτία. Η σχεδίαση και η ανάπτυξη μιας συσκευής που θα μετασχημάτιζε στα επιθυμητά επίπεδα τάση και ρεύμα πρόβαλε πλέον σαν επιτακτική ανάγκη.

Η ανάπτυξη του μετασχηματιστή οδήγησε στην ανάπτυξη των ηλεκτρικών δικτύων εναλλασσόμενου ρεύματος, τα οποία έγιναν ακόμα πιο ελκυστικά με την ανάπτυξη των πολυφασικών συστημάτων από τον Nicola Tesla. Οι εφευρέσεις του όσον αφορά τους κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος, τις γεννήτριες, τους μετασχηματιστές και τα συστήματα μεταφοράς αποτέλεσαν την βάση για την ανάπτυξη για την ανάπτυξη των σημερινών συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας.

Στη διαμάχη που είχε ξεσπάσει ανάμεσα στους οπαδούς του συνεχούς και τους οπαδούς του εναλλασσόμενου ρεύματος για το ποιο σύστημα θα έπρεπε να τυποποιηθεί, οι οπαδοί του εναλλασσόμενου υπερίσχυαν. Ένας από τους κυριότερους λόγους ήταν ο μετασχηματιστής ο οποίος έδινε τη ζητούμενη δυνατότητα να μεταβάλλονται εύκολα τα επίπεδα τάσης και να χρησιμοποιούνται έτσι διαφορετικά επίπεδα τάσης, για την παραγωγή, τη μεταφορά και την διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας.

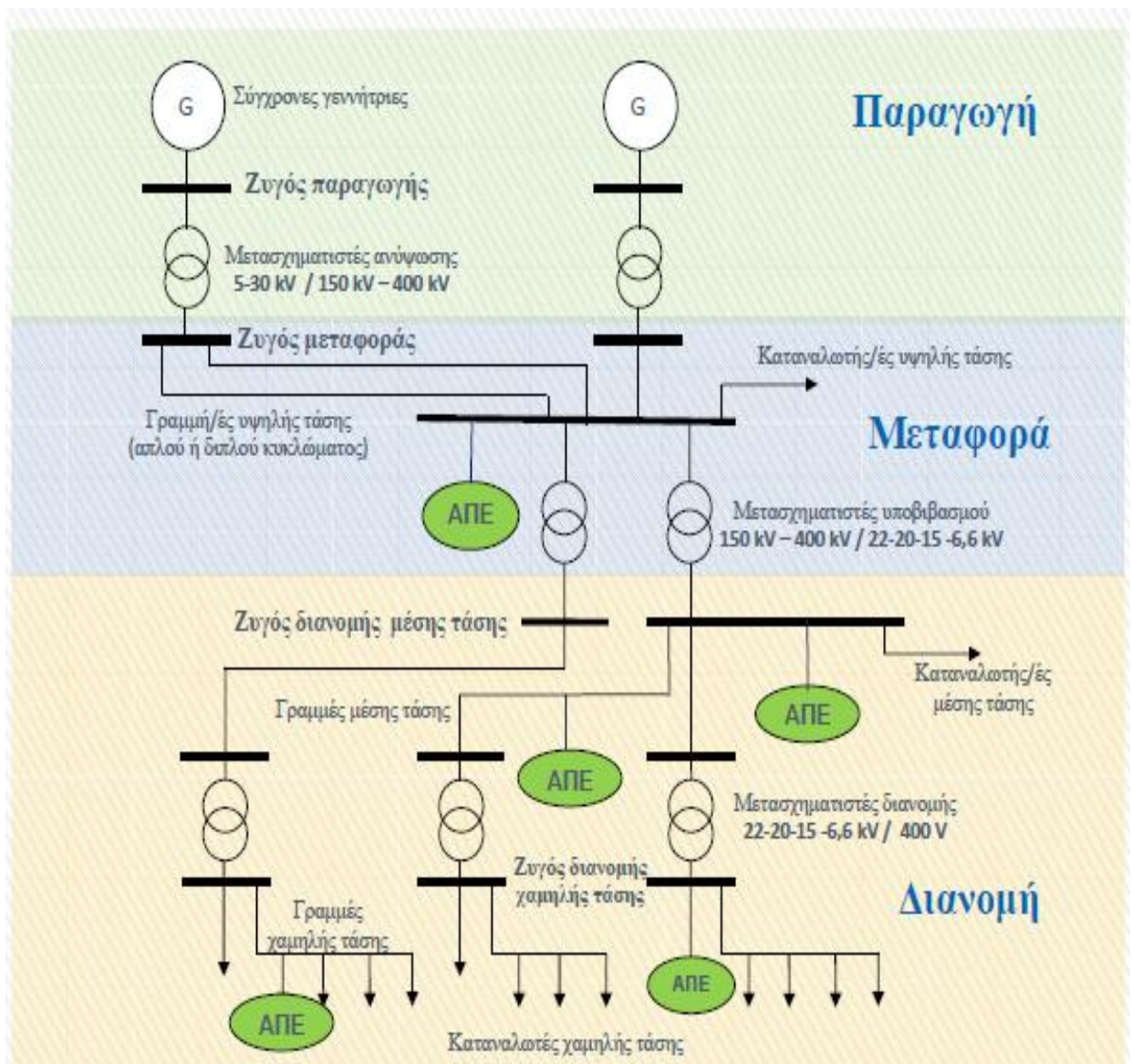
Με την επικράτηση του εναλλασσόμενου ρεύματος άρχισε η ανάπτυξη των τοπικών ηλεκτροπαραγωγών σταθμών οι οποίοι με συστήματα μεταφοράς και διανομής που εκτείνονταν μέχρι τα όρια δράσης τους, εξυπηρετούσαν το φορτίο στενών γεωγραφικών περιοχών. Πολύ σύντομα γειτονικά τέτοια συστήματα άρχισαν να διασυνδέονται, ώστε να μπορούν να ανταλλάσσουν ενέργεια και να ικανοποιούν στη βάση της αμοιβαιότητας σε φορτία αιχμής, όχι κατ'ανάγκη σε ταυτοχρονισμό, που μόνα θα ήταν αδύνατο να ικανοποιηθούν.

Η αυξανόμενη ανάγκη για μεταφορά όλο και μεγαλύτερων ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις, έδρασε σαν κίνητρο για την χρήση προοδευτικά όλο και υψηλότερων επιπέδων τάσης. Για να αποφευχθεί η εξάπλωση ενός απεριόριστου αριθμού από επίπεδα τάσης, γεγονός που θα προκαλούσε σημαντικά προβλήματα στην τυποποίηση του εξοπλισμού, η βιομηχανία επέλεξε κάποια επίπεδα ως στάνταρ. Αυτά είναι 115, 132, 138, 150, 161, 220, 230 και 275kV για την βαθμίδα των υψηλών τάσεων και 345, 400, 500 και 765 kV για την βαθμίδα των υπερυψηλών τάσεων. [1]

1.2 ΔΟΜΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σύστημα ηλεκτρικής ενέργεια καλείται το σύνολο των εγκαταστάσεων και των μέσων που χρησιμοποιούνται για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε εξυπηρετούμενες περιοχές κατανάλωσης. Βασικές προϋποθέσεις καλής λειτουργίας ενός ΣΗΕ είναι να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια οπουδήποτε υπάρχει ζήτηση με το ελάχιστο δυνατό κόστος και τις ελάχιστες δυνατές οικολογικές επιπτώσεις, εξασφαλίζοντας σταθερή συχνότητα, σταθερή τάση και αξιοπιστία τροφοδότησης.



Σχήμα 0.1: Δομή Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας [2. Κανέλλος, Φ. (2012)]

Η τροφοδότηση των καταναλωτών με ηλεκτρική ενέργεια προϋποθέτει τρεις ξεχωριστές λειτουργίες του ΣΗΕ: την παραγωγή, την μεταφορά και την διανομή. Η ηλεκτρική ενέργεια από το σημείο που θα παραχθεί μέχρι το σημείο που θα καταναλωθεί βρίσκεται σε μία συνεχή ροή και επειδή η ηλεκτρική ενέργεια δεν μπορεί να αποθηκευτεί σε μεγάλες ποσότητες με οικονομικό τρόπο, πρέπει να παράγεται την στιγμή ακριβώς που χρειάζεται η κατανάλωση της. [2] Στο σχήμα 1.1 απεικονίζονται οι τρεις βασικές λειτουργίες του ΣΗΕ.

1.2.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ

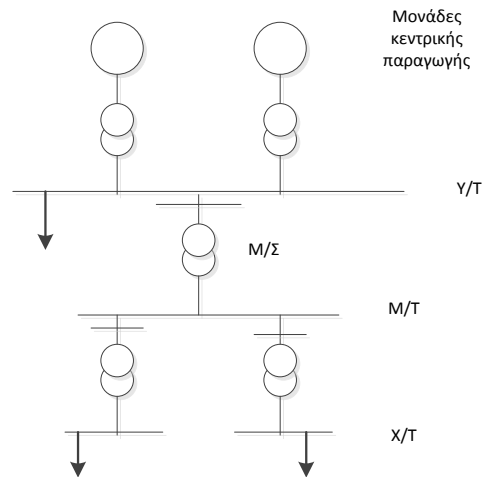
Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας επιτυγχάνεται με την εκμετάλλευση διαφόρων πρωτογενών πηγών ενέργειας και παρουσιάζει μεγάλες διαφοροποιήσεις από χώρα σε χώρα, ανάλογα με τους διαθέσιμους εγχώριους Ενεργειακούς Πόρους, την Ενεργειακή Πολιτική της χώρας, τις γεωλογικές, γεωφυσικές και κλιματολογικές ιδιαιτερότητες αυτής. Οι πηγές παραγωγής ενέργειας διακρίνονται στις συμβατικές που βασίζονται σε ορυκτά στερεά, υγρά ή αέρια καύσιμα, όπως το πετρέλαιο, ο άνθρακας (λιθάνθρακας και λιγνίτης), το φυσικό αέριο, στην πυρηνική ενέργεια και στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) που χρησιμοποιούν ανεξάντλητες πηγές (άνεμος, ήλιος, νερό κλπ) και δεν καταναλώνουν τα περιορισμένα ενεργειακά ορυκτά αποθέματα. Στην Ελλάδα το 55% της παραγωγής προέρχεται από λιγνιτικούς σταθμούς παραγωγής. [3]

Διακρίνονται δύο μοντέλα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η συγκεντρωμένη παραγωγή και η διεσπαρμένη παραγωγή. [4]

Συγκεντρωμένη παραγωγή:

Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από τους διάφορους σταθμούς παραγωγής, αποστέλλεται στο σύστημα μεταφοράς και στην συνέχεια στα τοπικά δίκτυα διανομής και τους καταναλωτές. Στο σχήμα 1.2 απεικονίζεται η διαδικασία αυτή.

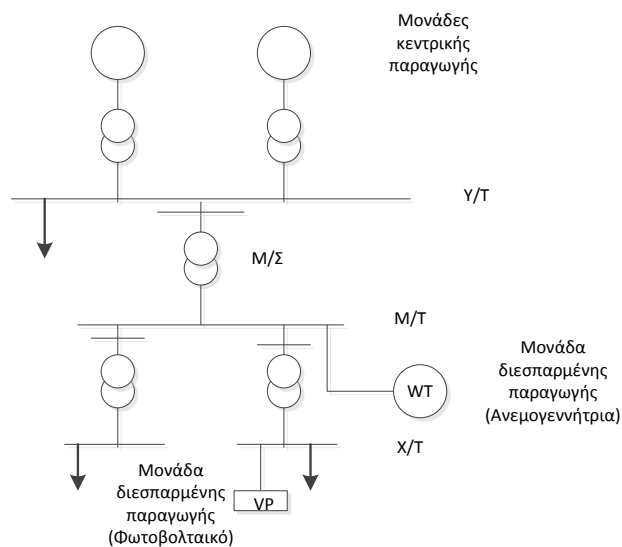
Σχεδιασμός Ανάπτυξης δικτύου Διασύνδεσης νέων έργων ΑΠΕ με το Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας με χρήση Ευρετικών Αλγορίθμων



Σχήμα 1.2: Συγκεντρωμένη παραγωγή

Διεσπαρμένη παραγωγή:

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να γίνεται από πολλές μονάδες παραγωγής, οι οποίες συνήθως έχουν εγκατασταθεί κοντά στα σημεία κατανάλωσης (φορτία). Συνήθως πρόκειται για μονάδες παραγωγής μικρής κλίμακας, έως μερικές εκατοντάδες kW. Στο σχήμα 1.3 βλέπουμε ότι οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής (Ανεμογεννήτρια, και φωτοβολταϊκό πάνελ) έχουν συνδεθεί στην μέση και την χαμηλή τάση.



Σχήμα 1.3: Διεσπαρμένη Παραγωγή

Υπάρχουν πολλοί λόγοι (οικονομικοί, τεχνικοί, περιβαλλοντικοί) για την ανάπτυξη και την εξέλιξη της *Διεσπαρμένης Παραγωγής*. Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι βασικότεροι λόγοι:

- Από οικονομικής άποψης η παραγωγή της ενέργειας κοντά στην τοποθεσία που χρησιμοποιείται ελαχιστοποιεί τις απώλειες μεταφοράς άρα και το κόστος μεταφοράς. Επιπλέον καθότι η διεσπαρμένη παραγωγή συνεπάγεται την χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, είναι επακόλουθη και η μείωση της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας, λόγω της μείωσης της ζήτησης καυσίμων.
- Από περιβαλλοντικής άποψης, οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής και κυρίως οι μη συμβατικές, βοηθούν στην μείωση κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων καθώς και στην μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.
- Από τεχνικής άποψης τα σημαντικότερα οφέλη που προσφέρει η διεσπαρμένη παραγωγή και κυρίως η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας , είναι η υποστήριξη και σταθερότητα παροχής τάσης , αξιοπιστία έργου ισχύος, και εφεδρεία για απρόβλεπτα φαινόμενα. Γενικότερα η αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ή άλλες μορφές διεσπαρμένης παραγωγής έχει σαν αποτέλεσμα την παροχή πιο ασφαλούς ηλεκτρικής ενέργειας λόγω της μείωσης της εισαγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Η *Διεσπαρμένη Παραγωγή* παρουσιάζει όμως και ορισμένα προβλήματα. Αρχικά, το κόστος ανά KW εγκατεστημένης ισχύος, είναι ψηλότερο συγκριτικά με αυτό των κεντρικών εργοστασίων παραγωγής. Επιπλέον, τα ηλεκτρικά δίκτυα σχεδιάστηκαν ώστε να μεταφέρουν την ενέργεια με μονοκατευθυντική ροή στους καταναλωτές δια μέσου των δικτύων διανομής. Η παραγωγή ενέργειας από διεσπαρμένες πηγές μπορεί να αλλάξει την κατεύθυνση ροής της ισχύος στα δίκτυα διανομής επηρεάζοντας έτσι συνολικά τη λειτουργία τους. Καθίσταται σαφές, ότι η τροποποίηση της προστασίας του δικτύου θεωρείται αναγκαία, καθώς επίσης αυξάνονται αισθητά οι απαιτήσεις για τοπική ρύθμιση της τάσης και σε ορισμένες περιπτώσεις της παραγόμενης ισχύος.

Οι τεχνολογίες *Διεσπαρμένης Παραγωγής* μπορούν να διαχωριστούν σε συμβατικές και μη συμβατικές.

Τεχνολογίες παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας :

Μονάδες συμβατικών καυσίμων:

1. Μονάδες συμπαραγωγής ισχύος και θερμότητας
2. Μηχανές εσωτερικής καύσης
3. Μικροτουρμπίνες και οι κυψέλες καυσίμου(σχετικά νέα τεχνολογία)

Μονάδες μη συμβατικών καυσίμων:

1. Ανεμογεννήτριες
2. Φωτοβολταϊκά
3. Μικρά υδροϋλεκτρικά
4. Άλλες ΑΠΕ

Συστημάτα αποθήκευσης:

1. Μπαταρίες
2. Τεχνολογία υδρογόνου
3. Σφόνδυλοι (flywheels)
4. Υπερ – πυκνωτές (ultra capacitors)

1.2.3 ΜΕΤΑΦΟΡΑ

Η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνει το σύνολο των διαδικασιών λειτουργίας και ελέγχου των εγκαταστάσεων και μέσων που χρησιμοποιούνται για την μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από την έξοδο των σταθμών παραγωγής μέχρι τους υποσταθμούς που τροφοδοτούν τα μεγάλα κέντρα κατανάλωσης όπου

ξεκινούν τα δίκτυα διανομής. Επίσης τροφοδοτούν τους μεγάλους καταναλωτές υψηλής τάσης που κατασκευάζουν δικό τους υποσταθμό υποβιβασμού υψηλής και μέσης τάσης και δικά τους εσωτερικά δίκτυα μέσης και χαμηλής τάσης.

Το σύστημα μεταφοράς περιλαμβάνει τα δίκτυα των γραμμών υψηλής τάσης, τους υποσταθμούς ζεύξης των δικτύων και τους υποσταθμούς μετασχηματισμού μεταξύ των διαφόρων επιπέδων τάσεων που χρησιμοποιούνται στο σύστημα μεταφοράς. Το σύστημα μεταφοράς πρέπει να παρέχει σταθερή τάση και οι τάσεις των τριών φάσεων να βρίσκονται σε ισορροπία. Η αποδοτικότητα πρέπει να πλησιάζει την τιμή η οποία οδηγεί σε ελάχιστο ετήσιο κόστος μεταφοράς.

Η μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται με υψηλή τάση διότι αυτό συνεπάγεται μικρότερες ηλεκτρικές απώλειες και οικονομικότερη λειτουργία. Χρησιμοποιούνται διάφορες τάσεις μεταφοράς ανάλογα με την απόσταση και την ποσότητα της ισχύος που πρέπει να μεταφερθεί. [2]

Τα συστατικά στοιχεία των γραμμών μεταφοράς είναι:

- Πυλώνες ή πύργοι, στους οποίους στηρίζονται οι αγωγοί των εναέριων γραμμών
- Μονωτήρες, μέσω των οποίων αναρτώνται στους πυλώνες οι αγωγοί γραμμών
- Αγωγοί, κυρίως από χαλκό και αλουμίνιο.

Υπεύθυνος για την λειτουργία, συντήρηση και ανάπτυξη του ΕΣΜΗΕ(εθνικό σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας) ώστε να διασφαλίζεται ο εφοδιασμός της χώρας με ηλεκτρική ενέργεια με τρόπο ασφαλή, αποδοτικό και αξιόπιστο είναι ο ΑΔΜΗΕ.

Ο Διαχειριστής του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας έχει ως έργο τη λειτουργία, εκμετάλλευση, διασφάλιση της συντήρησης και μέριμνα για την ανάπτυξη του Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας σε ολόκληρη τη χώρα, καθώς και των διασυνδέσεών του με τα άλλα δίκτυα για να διασφαλίζεται ο

εφοδιασμός της χώρας με ηλεκτρική ενέργεια, κατά τρόπο επαρκή, ασφαλή, οικονομικά αποδοτικό και αξιόπιστο.

1.2.4 ΔΙΑΝΟΜΗ

Το δίκτυο Διανομής, περιλαμβάνει:

- το δίκτυο διανομής μέσης τάσης (20kV) που μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια από τους υποσταθμούς μεταφοράς στους υποσταθμούς διανομής.
- το δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης (220/380V) που μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια από τους υποσταθμούς διανομής στους καταναλωτές.

Οι γραμμές Μεταφοράς δεν μπορούν να τροφοδοτήσουν άμεσα τους καταναλωτές που χρησιμοποιούν χαμηλή τάση (220/380V) αλλά φθάνουν μέχρι ορισμένα σημεία, τους υποσταθμούς μεταφοράς, όπου γίνεται υποβιβασμός της τάσης στη μέση τάση, δηλαδή στα 20 kV του δικτύου. Οι υποσταθμοί αποτελούν κόμβους στο δίκτυο του ηλεκτρισμού. Από αυτά τα σημεία όπου βρίσκονται οι υποσταθμοί μεταφοράς, αρχίζουν οι γραμμές διανομής, που καταλήγουν στους υποσταθμούς διανομής όπου γίνεται υποβιβασμός της μέσης τάσης στη χαμηλή τάση που χρησιμοποιούν οι περισσότεροι καταναλωτές.

Υπεύθυνος για την διατήρηση ασφαλούς, αξιόπιστου και αποδοτικού δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας στην περιοχή που καλύπτει, λαμβάνοντας τη δέουσα μέριμνα για το περιβάλλον είναι ο ΔΕΔΔΗΕ (Διαχειριστής του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας) [6]

1.3 ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

1.3.1 ΤΟ ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Το έτος 1889 «έφτασε» ο ηλεκτρισμός στην Ελλάδα. Σύμφωνα με τα ιστορικά στοιχεία της ΔΕΗ Α.Ε., η «Γενική Εταιρεία Εργοληψιών» κατασκεύασε στην Αθήνα, στην οδό Αριστείδου, την πρώτη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Δέκα χρόνια αργότερα κάνουν την εμφάνισή τους στην Ελλάδα οι πολυεθνικές εταιρείες ηλεκτρισμού. Μέχρι το 1929 θα έχουν ηλεκτροδοτηθεί 250 πόλεις με πληθυσμό άνω των 5.000 κατοίκων.

Στις πιο απομακρυσμένες και αραιοκατοικημένες περιοχές, που ήταν οικονομικά ασύμφορο για τις μεγάλες εταιρείες να κατασκευάσουν μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, την ηλεκτροδότηση αναλαμβάνουν ιδιώτες ή δημοτικές και κοινοτικές αρχές κατασκευάζοντας μικρά εργοστάσια. Το έτος 1950 υπήρχαν στην Ελλάδα περίπου 400 εταιρείες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ως πρωτογενή καύσιμα χρησιμοποιούσαν το πετρέλαιο και το γαιάνθρακα, αμφότερα εισαγόμενα από το εξωτερικό.

Η κατάτμηση της παραγωγής σε πολλές μικρές μονάδες, σε συνδυασμό με τα εισαγόμενα καύσιμα, εξωθούσε την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας στα ύψη, φτάνοντας στο τριπλάσιο μέχρι και πενταπλάσιο των τιμών που ίσχυαν στις άλλες ευρωπαϊκές χώρες. Η ηλεκτρική ενέργεια ήταν λοιπόν ένα αγαθό πολυτελείας, αν και τις περισσότερες φορές παρεχόταν με ωράριο και οι ξαφνικές διακοπές ήταν σύνηθες φαινόμενο.

Τον Αύγουστο του 1950 ιδρύθηκε η ΔΕΗ και ως εκ τούτου, οι δραστηριότητες παραγωγής, μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας συγκεντρώθηκαν σε ένα δημόσιο φορέα. Η ΔΕΗ αμέσως στρέφεται προς την αξιοποίηση των εγχώριων πηγών ενέργειας ενώ ξεκινά και η ενοποίηση των δικτύων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα εθνικό διασυνδεδεμένο Σύστημα. Τα πλούσια λιγνιτικά κοιτάσματα του ελληνικού υπεδάφους που είχαν νωρίτερα εντοπισθεί, άρχισαν να εξορύσσονται και να χρησιμοποιούνται ως καύσιμη ύλη στις λιγνιτικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής που δημιουργούσε η ΔΕΗ. Παράλληλα, η Επιχείρηση ξεκίνησε την αξιοποίηση της

δύναμης των υδάτων με την κατασκευή υδροηλεκτρικών σταθμών στα μεγάλα ποτάμια της χώρας.

Μετά την απόσχιση από τη ΔΕΗ Α.Ε. των κλάδων Μεταφοράς και Διανομής, δημιουργήθηκαν δύο 100% θυγατρικές εταιρείες της ΔΕΗ Α.Ε., ο ΑΔΜΗΕ Α.Ε. (Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Ε.) και ο ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε. (Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Ε.). Ο ΑΔΜΗΕ Α.Ε. έχει την ευθύνη της διαχείρισης, λειτουργίας, ανάπτυξης και συντήρησης του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας και των διασυνδέσεών του, ενώ ο ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε. έχει την ευθύνη για τη διαχείριση, ανάπτυξη, λειτουργία και συντήρηση του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας. [5], [7]

1.3.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΣΗΕ

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα:

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα προέρχεται κυρίως από θερμοηλεκτρικούς σταθμούς. Στην Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας παράγεται περίπου το 50% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας. Η συγκέντρωση των θερμοηλεκτρικών σταθμών στο Βορρά της χώρας δημιουργεί αυξημένες απώλειες κατά τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας στα κέντρα κατανάλωσης και ανισορροπία στη λειτουργία. Ωστόσο ο σχεδιασμός τους βασίστηκε στην εγγύτητά τους στις περιοχές που υπάρχουν πλούσια κοιτάσματα λιγνίτη, ο οποίος αποτελεί την καύσιμη πρώτη ύλη για αυτούς τους σταθμούς. Στη χώρα μας υπάρχουν τέσσερις περιοχές με σημαντικά αποθέματα λιγνίτη, στη Δράμα, στη Δυτική Μακεδονία, στην Ελασσόνα και στη Μεγαλόπολη. Σύμφωνα με στοιχεία του 2011 για το Διασυνδεδεμένο Σύστημα (National Report ΠΑΕ 2012), το 66.5% της εγκατεστημένης ισχύος των ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων είναι θερμικοί σταθμοί, εκ των οποίων με λιγνίτη 4930 MW, με πετρέλαιο 730 MW και με φυσικό αέριο 4579 MW. Το 19.6% είναι μεγάλοι υδροηλεκτρικοί σταθμοί και το 13.9% είναι μονάδες ΑΠΕ.

Ο λιγνίτης είναι η σημαντική εγχώρια ενεργειακή πηγή, συνεισφέροντας το 53.15% της εγχώριας παραγωγής για το 2011. Το φυσικό αέριο συνεισφέρει το 28.3%. Ταυτόχρονα η ανάδειξη της προστασίας του περιβάλλοντος ως στόχου υψηλής προτεραιότητας της ελληνικής πολιτείας, οδηγεί σε προώθηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, θέτοντας ως στόχο την αύξηση συμμετοχής τους στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στο 40% μέχρι το 2020. Στο ίδιο πλαίσιο δίνεται έμφαση στην επιτάχυνση της διείσδυσης του φυσικού αερίου στο ενεργειακό ισοζύγιο.

Η εγκατεστημένη ισχύς των εν λειτουργία σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ ήταν 2140 MW στο τέλος του 2011. Σε επίπεδο τεχνολογίας, οι Φ/Β σταθμοί επικρατούν στο σύνολο της εγκατεστημένης ισχύος των έργων ΑΠΕ που βρίσκονται σε λειτουργία. [3]

Το ελληνικό σύστημα μεταφοράς:

Τη σπονδυλική στήλη του Διασυνδεδεμένου Συστήματος Μεταφοράς αποτελούν οι τρεις γραμμές διπλού κυκλώματος των 400 kV, που μεταφέρουν ηλεκτρισμό, κυρίως από το σπουδαιότερο για την χώρα μας ενεργειακό κέντρο παραγωγής της Δυτικής Μακεδονίας. Στη περιοχή αυτή, παράγεται περίπου το 70% της συνολικής ηλεκτροπαραγωγής της χώρας που στη συνέχεια μεταφέρεται στα μεγάλα κέντρα κατανάλωσης της Κεντρικής και Νότιας Ελλάδας, που καταναλώνεται περίπου το 65% της ηλεκτρικής ενέργειας.

Το Διασυνδεδεμένο Σύστημα Μεταφοράς διαθέτει επιπλέον γραμμές των 400 kV καθώς επίσης εναέριες, υπόγειες γραμμές και υποβρύχια καλώδια των 150 kV που συνδέουν την Άνδρο και τα νησιά της Δυτικής Ελλάδας, Κέρκυρα, Λευκάδα, Κεφαλονιά και Ζάκυνθο με το διασυνδεδεμένο σύστημα μεταφοράς, καθώς και μία υποβρύχια διασύνδεση της Κέρκυρας με την Ηγουμενίτσα στα 66 kV.

Την 31η Δεκεμβρίου 2013 το Διασυνδεδεμένο Σύστημα Μεταφοράς αποτελείτο από 11.232 χλμ. γραμμών μεταφοράς, όπως φαίνεται στον πίνακα 1.1. [10]

ΓΡΑΜΜΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ (χλμ. όδευσης)

	400kV	Σ.Ρ. (D.C.) 400kV	150 kV	66 kV	ΣΥΝΟΛΟ
ΕΝΑΕΡΙΕΣ	2.647	107	8.152	39	10.945
ΥΠΟΒΡΥΧΙΕΣ	0,58		140	15	155
ΥΠΟΓΕΙΕΣ	30		101		131
ΣΥΝΟΛΟ	2.677	107	8.393	54	11.232

Πίνακας 1.1: Στοιχεία δικτύου μεταφοράς



Σχήμα 1.4: Σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

Την 31η Δεκεμβρίου 2013 σε 331 Υποσταθμούς και ΚΥΤ του Διασυνδεδεμένου Συστήματος Μεταφοράς ήταν εγκατεστημένοι 732 Μετασχηματιστές και Αυτομετασχηματιστές με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 55.391 MVA. [10]

Το ελληνικό δίκτυο διανομής:

Βασικά μεγέθη 2013 του δικτύου διανομής [8]:

Ποσοτικά μεγέθη του δικτύου Διανομής:

- **109.700 χλμ.** Δίκτυο Μέσης Τάσης (Μ.Τ.).
- **123.300 χλμ.** Δίκτυο Χαμηλής Τάσης (Χ.Τ.).
- **160.000** Υποσταθμοί Μέσης Τάσης προς Χαμηλή Τάση (Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ).
- **966 χλμ.** Δίκτυο Υψηλής Τάσης (Υ.Τ.) εκ των οποίων **205 χλμ** στην Αττική και **744 χλμ** στα μη διασυνδεδεμένα νησιά.
- **225** Υποσταθμοί Υψηλής Τάσης προς Μέση Τάση (Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ), εκ των οποίων 19 κλειστού τύπου, κατανεμημένοι 199 στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα και 26 στα μη Διασυνδεδεμένα νησιά.
- **7.392.722 Πελάτες** (11.207 ΜΤ & 7.381.515 ΧΤ).
- **44.371 GWH Καταναλώσεις Πελατών** (11.444 στη ΜΤ & 32.927 στη ΧΤ).

1.3.3 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ

Τα χαρακτηριστικά του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας στην Κρήτη [9] είναι τα εξής:

- Είναι αυτόνομο (Δεν είναι διασυνδεδεμένο με το δίκτυο της ηπειρωτικής Ελλάδας).
- Το κυρίως φορτίο είναι χαμηλό λόγω της χαμηλής βιομηχανικής δραστηριότητας.
- Παρουσιάζει έντονες εποχιακές διακυμάνσεις στην ζήτηση ενέργειας λόγω του τουρισμού.
- Οι ρυθμοί της ετήσιας αύξησης σε ζήτηση ηλεκτρικής ισχύος είναι σχετικά υψηλοί.

2 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

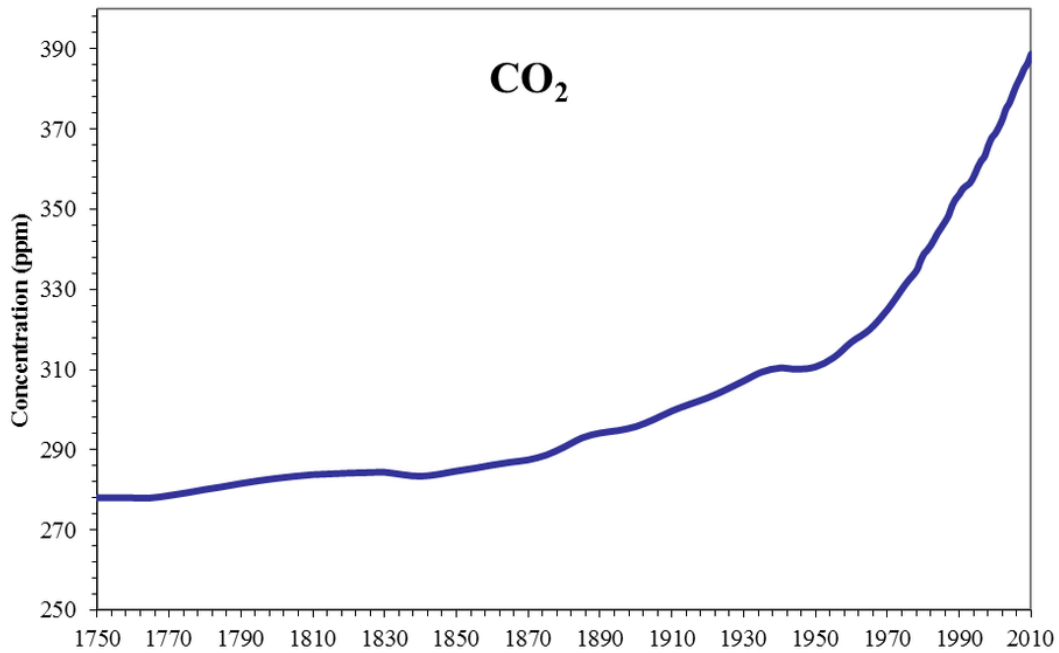
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο 1ο κεφάλαιο έγινε αναφορά στο μοντέλο διεσπαρμένης παραγωγής καθώς και τα είδη των σταθμών παραγωγής. Ένα από τα είδη των μη συμβατικών σταθμών διεσπαρμένης παραγωγής είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με την χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Στην συνέχεια θα αποσαφηνιστούν οι επιπτώσεις της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο περιβάλλον, και πως αυτές ωθούν στην χρήση άλλων εναλλακτικών πηγών ενέργειας. Τέτοιες εναλλακτικές πηγές ενέργειας είναι και οι ανανεώσιμες, των οποίων τα χαρακτηριστικά, ο ορισμός και τα είδη θα περιγραφούν παρακάτω. Η διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας τα τελευταία χρόνια συνεχώς αυξάνεται. Συνεπώς πρέπει να είμαστε σε θέση να εξηγήσουμε τους λόγους εμφάνισης της, καθώς και να αναλύσουμε τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα από την διείσδυση αυτή.

2.2 ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, με την χρήση συμβατικών καυσίμων είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες μόλυνσης της ατμόσφαιρας και γενικότερα υποβάθμισης του περιβάλλοντος. Για παράδειγμα, αναφέρονται οι σημαντικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα CO₂, οξειδίων του θείου SO_x και του αζώτου NO_x, ενώ δεν πρέπει να αγνοούνται οι περιπτώσεις άμεσης απειλής από την χρήση της πυρηνικής ενέργειας. Στο σχήμα 2.1 απεικονίζονται οι εκπομπές του CO₂ από το 1750 έως και το 2010.

Η Ε.Ε θέλοντας να μειώσει τις εκπομπές του CO₂ στα επίπεδα του 1990, διαμορφώνει την ενεργειακή πολιτική της δίνοντας κίνητρα ανάπτυξης των Ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αρχικά θέτοντας σε εφαρμογή τον πράσινο φόρο στην χρήση συμβατικών πηγών ενέργειας, αυξάνοντας καταυτόν τον τρόπο το κόστος παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, και στην συνέχεια αυξάνοντας την ανταγωνιστικότητα της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Σχήμα 2.1: Εκπομπές CO₂ [19]

Εκτός της μόλυνσης που προέρχεται από την χρήση συμβατικών πηγών ενέργειας, ένα ακόμα πρόβλημα αναγνωρίζεται από το 1980 και μετά, το πεπερασμένο των συμβατικών πηγών ενέργειας (κάρβουνο πετρέλαιο, φυσικό αέριο, ουράνιο κλπ) σε σύγκριση με την αυξανόμενη των ρυθμών κατανάλωσης ενέργειας. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία τα βεβαιωμένα αποθέματα των κυριότερων συμβατικών καυσίμων επαρκούν στην καλύτερη περίπτωση για τα επόμενα εκατό περίπου χρόνια, ενώ ακόμα και αν ανακαλυφθούν στο μέλλον χιλιαπλάσια αποθέματα συμβατικών καυσίμων, με τους σημερινούς ρυθμούς κατανάλωσης ενέργειας, θα παρατείνουν για άλλα εκατό πενήντα μόλις χρόνια την άφιξη του *ενεργειακού χειμώνα* στον πλανήτη μας.

Λαμβάνοντας υπόψιν τις παραπάνω ανησυχίες, που πηγάζουν από την χρήση των συμβατικών πηγών ενέργειας, αρκετοί ειδικοί πρότειναν την αξιοποίηση των ήπιων ή ανανεώσιμων ή εναλλακτικών πηγών ενέργειας, όπως για παράδειγμα, η υδροηλεκτρική ενέργεια, η αιολική ενέργεια, η ηλιακή ενέργεια, η βιομάζα, η θαλάσσια ενέργεια καθώς και η γεωθερμική ενέργεια.

Είναι γεγονός ότι η προτεινόμενη στροφή στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, με τα σημερινά οικονομικά και τεχνολογικά δεδομένα, δεν είναι δυνατή να επιλύσει το συνολικό ενεργειακό πρόβλημα της ανθρωπότητας. Εάν όμως η αξιοποίηση τους

συνδυασθεί με την προσπάθεια εξοικονόμησης των συμβατικών πηγών ενέργειας και με την ορθολογική διαχείριση των υφιστάμενων ενεργειακών πόρων, είναι δυνατή η σταδιακή απομάκρυνση του κινδύνου εξάντλησης των ενεργειακών αποθεμάτων. [11]

2.3 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Σαν ορισμοί για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δίνονται παρακάτω:

- Ενέργεια που την αντλούμε από τις επαναλαμβανόμενες ροές ενέργειας που εμφανίζονται διαρκώς στο φυσικό περιβάλλον
- Ενέργεια που αναπληρώνεται με τον ίδιο ρυθμό με τον οποίο καταναλώνεται
- Πηγές ενέργειας που είναι ανεξάντλητες σε χρονικούς όρους της ανθρώπινης ζωής.

Σήμερα ως τεχνολογίες ανανεώσιμης ενέργειας θεωρούνται:

- Τα ηλιακά θερμικά συστήματα (ενεργητικά ή παθητικά)
- Τα φωτοβολταϊκά συστήματα
- Οι ανεμογεννήτριες
- Η βιομάζα και τα παράγωγα της (βιοντίζελ-αιθανόλη κλπ)
- Τα υδροηλεκτρικά (κυρίως τα μικρά)
- Η ενέργεια από κύματα και την παλίρροια
- Η γεωθερμία.

Δεν θεωρούνται ΑΠΕ η πυρηνική ενέργεια και οι κυψέλες υδρογόνου.

Σε αντιπαράθεση με τις ΑΠΕ οι μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ή οι συμβατικές πηγές ενέργειας δηλαδή ο άνθρακας, ο λιγνίτης, το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο, το ουράνιο κλπ., χρειάστηκα χιλιάδες χρόνια για να δημιουργηθούν και με όρους ανθρώπινης ζωής είναι εξαντλήσιμες (σε μερικές δεκάδες χρόνια). Κατ'αυτήν την έννοια οι συμβατικές πηγές ενέργειας θεωρούνται αποθήκες ενέργειας ενώ οι ΑΠΕ αποτελούν ουσιαστικά ροές ενέργειας.

Οι Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ανεξαρτήτου είδους μοιράζονται ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά:

- Είναι ανανεώσιμες (σύμφωνα με την ονομασία τους), δηλαδή η ροή ενέργειας που προσφέρουν εμφανίζεται διαρκώς στο περιβάλλον.
- Είναι αρκετά καθαρές και ήπιες, δηλαδή προκαλούν μικρότερες (έως πολύ μικρότερες) επιπτώσεις στο περιβάλλον (τόσο στο ανθρωπογενές όσο και στο φυσικό) σε σύγκριση με τις συμβατικές.
- Έχουν μεγάλη προσαρμοστικότητα στον σχεδιασμό τους ανάλογα με τις συγκεκριμένες ανάγκες των χρηστών.

Επιπλέον βασικά χαρακτηριστικά των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τα οποία διαφοροποιούνται αναλόγως του είδους της πηγής ενέργειας, είναι η τεχνολογία αξιοποίησης της κάθε μιας καθώς και η στοχαστική συμπεριφορά με την οποία χαρακτηρίζεται η κάθε μία. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι σημαντικά καθώς μας δίνουν μια σαφή εικόνα για τα περιθώρια αξιοποίησης της ενέργειας που προσφέρει η κάθε μία καθώς και ο τρόπος που επηρεάζει η στοχαστική συμπεριφορά μιας πηγής ενέργειας τον τρόπο λειτουργίας και αξιοποίησης της. [12]

2.4 ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΑΠΕ

Στις προηγούμενες παραγράφους περιγράφηκαν οι λόγοι ανάπτυξης και αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οι οποίες παρόλο των πλεονεκτημάτων τους παρουσιάζουν συγκεκριμένες ιδιαιτερότητες στην παραγωγή καθώς και στην διασύνδεση τους.

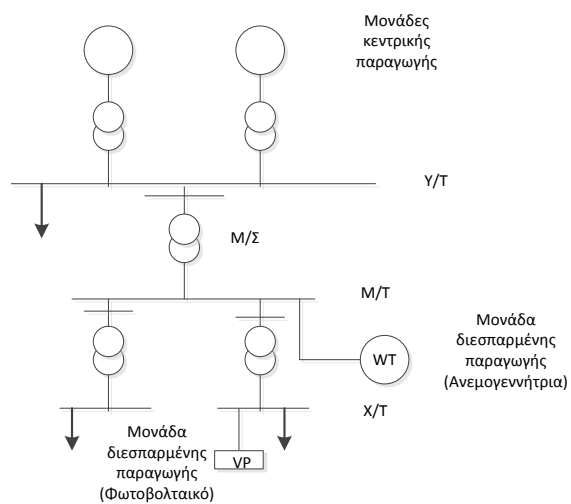
Η πλειοψηφία των ανανεώσιμων πηγών ανήκει στο μοντέλο της διεσπαρμένης παραγωγής, το οποίο περιγράφηκε στο 1^ο κεφάλαιο. Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα βασικότερα προβλήματα από την διείσδυση σταθμών διεσπαρμένης παραγωγής στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

- Μεγάλο σφάλμα στη πρόβλεψη της παραγωγής των ΑΠΕ
- Ανάγκη προσαρμογής του ενεργειακού μίγματος. Κατασκευή καινούριων ευέλικτων συμβατικών σταθμών παραγωγής.
- Ανάγκη αλλαγής των συστημάτων ελέγχου και επιτήρησης
- Αβεβαιότητα στη λειτουργία της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.
- Αλλαγές στο επίπεδο και την ποιότητα της τάσης των δικτύων
- Μεταβολή των ρευμάτων από σφάλματα του δικτύου – αλλαγή του επιπέδου βραχυκύκλωσης
- Τροποποίηση της προστασίας του δικτύου
- Αύξηση των παραγόμενων αρμονικών στο δίκτυο από τους ηλεκτρονικούς μετατροπείς ισχύος
- Επιπτώσεις στην ευστάθεια του συστήματος

Για την αξιοποίηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από διεσπαρμένους σταθμούς, είναι προφανές ότι πρέπει να ικανοποιηθούν οι παραπάνω περιορισμοί.

Στην παρούσα εργασία θα εξεταστεί το πρόβλημα διασύνδεσης τους με το δίκτυο. Δηλαδή ποιοι περιορισμοί δημιουργούνται από την σύνδεση διεσπαρμένων σταθμών, και πως αυτοί ικανοποιούνται. Η διασύνδεση τους απεικονίζεται στο σχήμα 1.3:

Σχεδιασμός Ανάπτυξης δικτύου Διασύνδεσης νέων έργων ΑΠΕ με το Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας με χρήση Ευρετικών Αλγορίθμων



Σχήμα 1.3: Διεσπαρμένη Παραγωγή

Στο επόμενο κεφάλαιο θα γίνει αναλυτική περιγραφή του προβλήματος διασύνδεσης.

[4]

3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗΣ ΥΠΟΣΤΑΘΜΩΝ ΑΠΕ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από το πρώτο κεφάλαιο, στην ιστορική ανασκόπηση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας είδαμε ότι ένα από τα βασικότερα προβλήματα που έπρεπε να αντιμετωπιστούν ήταν οι μεγάλες απώλειες που παρουσιάζονταν στην μεταφορά του ηλεκτρικού ρεύματος σε μεγάλες αποστάσεις. Η λύση ήταν η μεταφορά του ηλεκτρικού ρεύματος σε μεγάλα επίπεδα τάσης όπου οι απώλειες περιορίζονται. Στο μοντέλο της συγκεντρωμένης παραγωγής, όπου συμβατικοί σταθμοί παράγουν μεγάλα ποσά ενέργειας, δεν υπάρχει ιδιαίτερο πρόβλημα διασύνδεσης, καθώς οι σταθμοί συνδέονται απευθείας με το δίκτυο μεταφοράς στην υψηλή τάση και διοχετεύουν το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα στο δίκτυο.

Τα τελευταία χρόνια όμως, η ευαισθητοποίηση της διεθνούς κοινότητας για τον τομέα της ενέργειας, για το περιβάλλον και τα ενεργειακά αποθέματα, ωθούν πολλές ανεπτυγμένες χώρες στην χρήση νέων πηγών ενέργειας, τις ανανεώσιμες. Πλέον με την στροφή αυτή το πρόβλημα διασύνδεσης των σταθμών παραγωγής με το δίκτυο μεταφοράς γίνεται πιο πολύπλοκο. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, καθώς ανήκουν στο μοντέλο της διεσπαρμένης παραγωγής, παρουσιάζουν συγκεκριμένες ιδιαιτερότητες στην διασύνδεση τους με το υπάρχον δίκτυο μεταφοράς και διανομής.

Οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα με χαμηλή τάση, όποτε όπως είδαμε και πριν είναι απαγορευτική η μεταφορά σε μεγάλες αποστάσεις και είναι κατάλληλοι για την τροφοδότηση τοπικών φορτίων. Μεγαλύτεροι σταθμοί ΑΠΕ είναι γενικώς διεσπαρμενοι στο χώρο και όχι συγκεντρωμένοι όπως οι συμβατικοί σταθμοί. Σε αυτή την περίπτωση τα παραγόμενα ποσά ενέργειας είναι σχετικά μεγάλα και είναι απαραίτητη η σύνδεση των σταθμών αυτών με τις γραμμές υψηλής τάσης. Θα μπορούσαμε να προτείνουμε σαν λύση να συνδέεται κάθε σταθμός διεσπαρμένης παραγωγής ξεχωριστά, απευθείας στο υπάρχον δίκτυο μεταφοράς, αφού πρώτα βέβαια θα είχαν κατασκευαστεί οι κατάλληλες διατάξεις για να είναι η σύνδεση εφικτή. Η λύση αυτή, αν και εφικτή, είναι αντισυμβατική, καθώς

συνεπάγεται μεγάλο αριθμό σταθμών παραγωγής. Η κατασκευή διατάξεων σύνδεσης για κάθε ένα σταθμό παραγωγής οδηγεί σε απαγορευτικό κόστος ιδιαίτερα για σχετικά μικρούς σταθμούς και επιβαρύνει το περιβάλλον. Συνεπώς πρέπει να βρεθεί ένας διαφορετικός τρόπος σύνδεσης. Προτείνεται λοιπόν, οι διεσπαρμένοι σταθμοί να συγκεντρώνονται σε κοινούς υποσταθμούς για την σύνδεσή τους με την υψηλή τάση.

Στην συνέχεια το πρόβλημα διασύνδεσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας γίνεται πιο συγκεκριμένο, με την περιγραφή όλων των διατάξεων, εξοπλισμού και γραμμών που απαιτούνται. Επιπλέον γίνεται μία προσπάθεια αποτίμησης του συνολικού κόστους της σύνδεσης λαμβάνοντας υπόψη βασικούς περιορισμούς.

3.2 ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΙ

3.2.1 ΓΕΝΙΚΑ

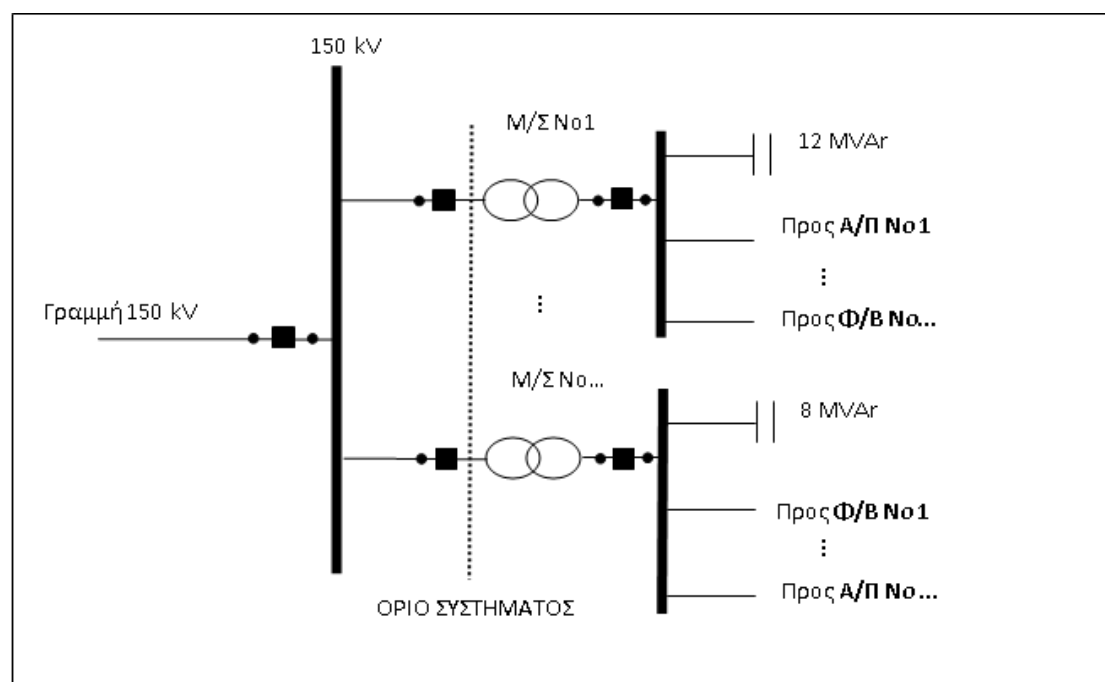
Υποσταθμός γενικά ονομάζεται η ηλεκτρική εγκατάσταση στην οποία γίνεται μετασχηματισμός τάσης, η κατανομή ή η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας. Οι γραμμές μεταφοράς αναχωρούν από και καταλήγουν στους υποσταθμούς, οι οποίοι και αποτελούν τους κόμβους του ηλεκτρικού δικτύου.

Είδη Υποσταθμών:

- Υποσταθμοί ζεύξεως ή διασυνδέσεως: Σε αυτούς τους υποσταθμούς συνδέονται απλώς γραμμές χωρίς απαραίτητως να γίνεται μετασχηματισμός τάσης.
- Υποσταθμοί υποβιβασμού: Σε αυτούς του υποσταθμούς γίνεται μετασχηματισμός τάσεως από μια βαθμίδα τάσεως μεταφοράς σε άλλη χαμηλότερη.
- Οι υποσταθμοί ανυψώσεως: Οι υποσταθμοί ανυψώσεως συνδέονται με τους σταθμούς παραγωγής και ανυψώνουν την τάση παραγωγής - η οποία κυμαίνεται από 6KV-20KV – στην τιμή της τάσεως μεταφοράς.

Τα στοιχεία συνδέσεως των γραμμών στους υποσταθμούς καλούνται ζυγοί, σε αυτούς δε οι γραμμές συνδέονται μέσω των διακοπών. Οι διακόπτες, οι οποίοι χρησιμεύουν για τη διακοπή και αποκατάσταση της ροής του ηλεκτρικού ρεύματος και οι μετασχηματιστές στους οποίους μετασχηματίζεται η τάση, αποτελούν τις σπουδαιότερες συσκευές ισχύος των συστημάτων μεταφοράς . [13]

3.2.2 ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΠΟΣΤΑΘΜΩΝ



Σχήμα 3.1: Δομικά στοιχεία Υποσταθμού

Το σχήμα 3.1 αποτελεί ένα ενδεικτικό διάγραμμα με τα δομικά στοιχεία ενός υποσταθμού, τα οποία αναλύονται παρακάτω.

Μετασχηματιστές:

Η σημαντικότερη ηλεκτρική μηχανή στον υποσταθμό (Υ/Σ) είναι ο μετασχηματιστής (Μ/Σ). Ο Μ/Σ είναι μια ηλεκτρική μηχανή με σταθερά μέρη. Έχει δύο πηνία για κάθε φάση, τα οποία είναι μεταξύ τους ηλεκτρικά ανεξάρτητα και μαγνητικά συζευγμένα. Ο Μ/Σ χρησιμοποιείται για την ανύψωση ή τον υποβιβασμό της τάσης. Το τύλιγμα που τροφοδοτούμε το ονομάζουμε πρωτεύον και αυτό από το οποίο παίρνουμε την ηλεκτρική ενέργεια με μετασχηματισμένη τάση, το ονομάζουμε δευτερεύον.

Αν στο πρωτεύον η τάση είναι U_1 , η ένταση του ρεύματος I_1 και ο αριθμός σπειρών n_1 και τα αντίστοιχα μεγέθη του δευτερεύοντος είναι U_2 , I_2 , n_2 , τότε ισχύει :

(1)

(k = λόγος μετασχηματισμού)

Διακόπτες Ισχύος:

Οι διακόπτες ισχύος, ή αυτόματοι διακόπτες είναι τα μέσα με τα οποία επιτυγχάνεται η διακοπή των βραχυκυκλωμάτων στα ηλεκτρικά δίκτυα μεταφοράς και διανομής και επομένως ο ρόλος που διαδραματίζουν στην προστασία του δικτύου και την ταχεία αποκατάσταση της ομαλής λειτουργίας σε περίπτωση βλάβης είναι κύριος. Επίσης χρησιμοποιούνται για τους συνήθεις χειρισμούς του δικτύου, δηλαδή τις ζεύξεις και αποζεύξεις των γραμμών, των μετασχηματιστών, των γεννητριών κ.λ.π.

Αντιστάθμιση Άεργης Ισχύος:

Το πρόβλημα της διατηρήσεως της τάσεως μεταξύ των επιτρεπόμενων ορίων περιπλέκεται από το γεγονός ότι το σύστημα τροφοδοτείται από πολλές πηγές και τροφοδοτεί φορτία σε όλες τις βαθμίδες του συστήματος. Συνεπώς, δεν πρόκειται για τη διατήρηση της τάσεως σε μία μόνο, αλλά σε όλες τις βαθμίδες και πολλά σημεία του συστήματος. Για το λόγο αυτό η ρύθμιση της τάσεως δεν μπορεί να γίνεται μόνο από τις γεννήτριες, που είναι φυσιολογικά οι πηγές άεργου όπως και ενεργού ισχύος, αλλά πρέπει να γίνεται και με άλλα μέσα σε περισσότερες θέσεις του δικτύου. Το πρόβλημα επομένως δεν αφορά μόνο τις μονάδες παραγωγής αλλά ολόκληρο το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας και απαιτεί τη διάθεση ειδικού εξοπλισμού για το σκοπό αυτό. Η κατάλληλη επιλογή και χρησιμοποίηση του εξοπλισμού αυτού είναι από τα σημαντικότερα προβλήματα της σχεδιάσεως και της λειτουργίας του συστήματος. Τα μέσα με τα οποία επιτυγχάνεται η ρύθμιση ή έλεγχος της τάσεως είναι τα εξής :

1. τα συστήματα διεγέρσεως των γεννητριών
2. τα συστήματα αλλαγής της τάσης υπό φορτίο των μετασχηματιστών ισχύος
3. οι μετασχηματιστές ρυθμίσεως της τάσης
4. πηγές άεργου ισχύος όπως σύγχρονοι και στατοί εγκάρσιοι πυκνωτές
5. η χωρητική αντιστάθμιση σειράς και η εγκάρσια επαγωγική αντιστάθμιση των γραμμών μεταφοράς.

Ζυγοί:

Ένας υποσταθμός ηλεκτρικής ισχύος συνίσταται από εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται για να κατευθύνουν τη ροή της ηλεκτρικής ενέργειας στο σύστημα. Συγχρόνως οι αυτοματοποιημένες αυτές διατάξεις και τα μέσα προστασίας, τοποθετούμενα σε κατάλληλα σημεία του συστήματος, επιτρέπουν τη ροή ενέργειας σε εναλλακτικές οδούς και έτσι συμβάλλουν στην ομαλή λειτουργία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Ένας υποσταθμός μπορεί να συνδυασθεί με έναν σταθμό γεννήτριας ή με μετασχηματιστές ισχύος, οι οποίοι μετατρέπουν την τάση παροχής σε υψηλότερο ή χαμηλότερο επίπεδο, ή να συνδέσει έναν αριθμό οδών παροχής στο ίδιο επίπεδο τάσης. Μία ή και περισσότερες από αυτές τις δυνατότητες μπορούν να εφαρμοσθούν σε κάθε υποσταθμό, ο οποίος βασικά αποτελείται από έναν αριθμό κυκλωμάτων, είτε εισερχόμενα είτε εξερχόμενα, συνδεδεμένα σε ένα κοινό ζυγό. [13]

3.3 ΓΡΑΜΜΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Οι γραμμές μεταφοράς σε συνδυασμό με τους υποσταθμούς που αναφέρθηκαν παραπάνω αποτελούν το βασικότερο στοιχείο για την μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από τους σταθμούς παραγωγής στους καταναλωτές. Οι μεγάλες αποστάσεις των σταθμών παραγωγής από τους καταναλωτές επιβάλλουν την χρήση γραμμών μεταφοράς, με τις οποίες η ηλεκτρική ενέργεια θα παρουσιάζει κατά το δυνατόν σταθερή τάση με τις ελάχιστες δυνατόν απώλειες.

Όσον αφορά τις γραμμές υψηλής τάσης, τα πλεονεκτήματα της μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας με υψηλή τάση είναι κυρίως οικονομικά, διότι η ισχύς μεταφέρεται με σχετικά χαμηλή ένταση, οπότε χρειάζονται αγωγοί μικρότερης

διατομής, με αποτέλεσμα οικονομία υλικού και μικρότερες απώλειες λόγω μικρότερου ρεύματος και μικρότερες πτώσεις τάσης.

Διαβαθμίσεις τάσεων μεταφοράς και διανομής:

- Υπερηψηλή: 400KV
- Υψηλή: 150KV
- Μέση: 20KV

(Η μέση τάση χρησιμοποιείται για τροφοδοσία των καταναλωτών μέσης τάσης και στα δίκτυα διανομής . Στο συγκεκριμένο πρόβλημα η μέση τάση χρησιμοποιείται για την σύνδεση των αιολικών πάρκων με τους υποσταθμούς).

- Χαμηλή: 220/330V

3.4 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

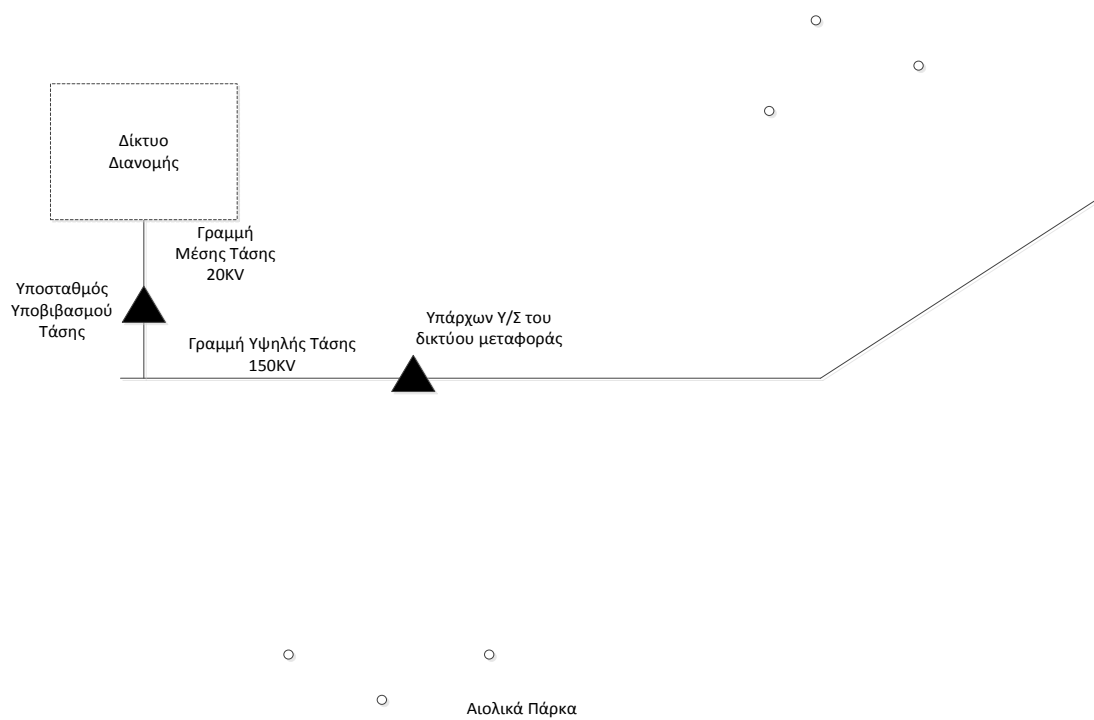
Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται μία γραμμή Υ/T 150KV του δικτύου μεταφοράς, ένας υποσταθμός υποβιβασμού τάσης και το δίκτυο διανομής.. Επιπλέον παρουσιάζεται και μια τυπική χωροθέτηση σταθμών ΑΠΕ πλησίον της γραμμής Υ/T τα οποία πρέπει να συνδεθούν με το σύστημα Υ/T.

Σύνδεση Σταθμών Διεσπαρμένης παραγωγής με το δίκτυο:

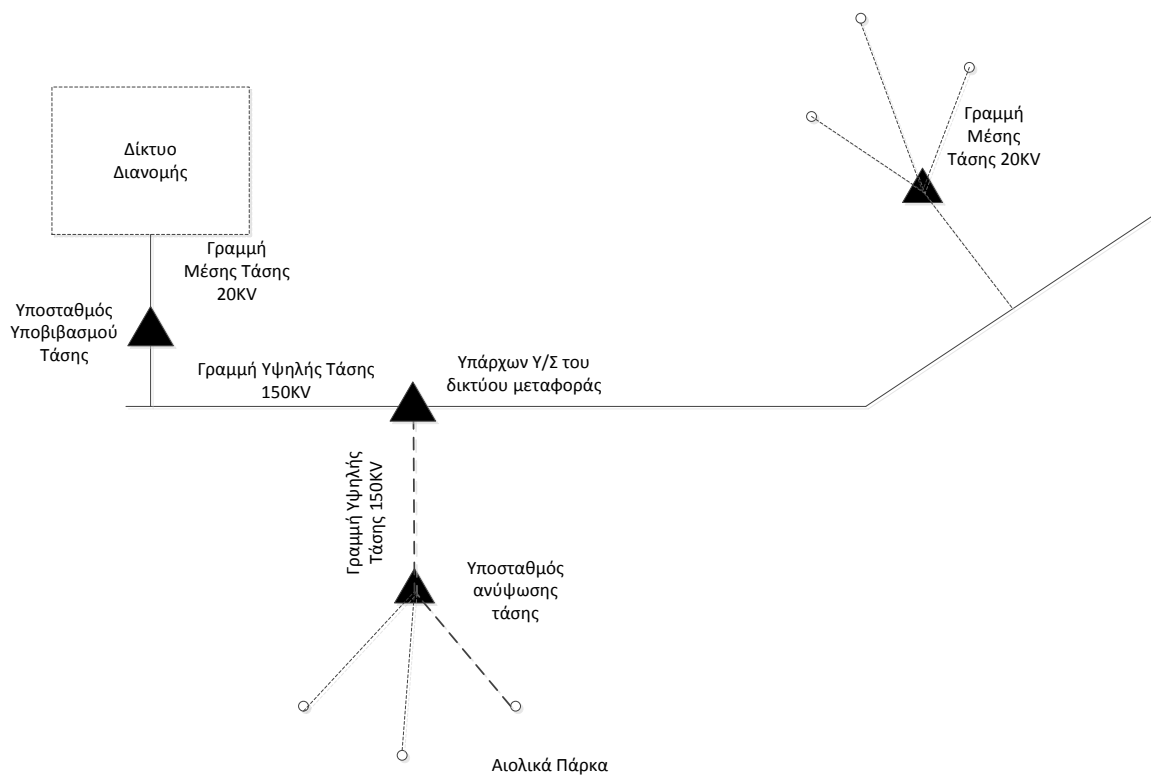
Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως η τάση στην έξοδο των σταθμών παραγωγής είναι συνήθως 20KV. Η απευθείας σύνδεση των σταθμών με την γραμμή μέσης τάσης πριν από το δίκτυο διανομής είναι μη αποδοτική λόγω των μεγάλων απωλειών και κορεσμού του δικτύου διανομής. Οι απώλειες αυξάνονται με την αύξηση της απόστασης των γραμμών και λόγω της μεγάλης έντασης του ρεύματος στις γραμμές μέσης τάσης οι απώλειες που θα δημιουργηθούν καθιστούν την απευθείας σύνδεση απαγορευτική.

Συνεπώς η σύνδεση σχετικά μεγάλων σταθμών παραγωγής από ΑΠΕ πρέπει να γίνει στις γραμμές Υψηλής τάσης 150KV. Ο τρόπος της σύνδεσης φαίνεται στο σχήμα 3.3.

Σχεδιασμός Ανάπτυξης δικτύου Διασύνδεσης νέων έργων ΑΠΕ με το Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας με χρήση Ευρετικών Αλγορίθμων



Σχήμα 3.2: Απεικόνιση του προβλήματος 1



Σχήμα 3.3: Απεικόνιση του προβλήματος 2

Η σύνδεση των σταθμών με τις γραμμές Υ/Τ γίνεται με την χρήση υποσταθμών ανύψωσης τάσης. Από την έξοδο των σταθμών ΑΠΕ μέχρι τους Υ/Σ κατασκευάζονται γραμμές Μ/Τ σχετικά μικρής ή μεσαίας απόστασης όπου οι απώλειες είναι μικρές. Στον Υ/Σ γίνεται μετασχηματισμός της τάσης, όπου και ανυψώνεται από τα 20KV στα 150KV. Από τον υποσταθμό μέχρι την υπάρχουσα γραμμή Υ/Τ κατασκευάζεται μία νέα γραμμή Υ/Τ. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η σύνδεση των σταθμών ΑΠΕ στον υπάρχον δίκτυο μεταφοράς.

Εναλλακτικά θα μπορούσε ο Υ/Σ ΑΠΕ να συνδεθεί σε υπάρχοντα Υ/Σ όπως φαίνεται στο ανωτέρω σχήμα.

3.5 ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ

Έχοντας σαν στόχο την ελαχιστοποίηση του κόστους σύνδεσης που περιγράφηκε στην παράγραφο 3.4, πρέπει παράλληλα να αποσαφηνιστούν όλοι οι τεχνικοί περιορισμοί που προκύπτουν από την σύνδεση καθώς και να αποτιμηθούν τα διάφορα κόστη .

3.5.1 ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ Υ/Σ

Προηγουμένως έγινε αναφορά στα μέρη από τα οποία αποτελείται ένας Υ/Σ καθώς και στην χρησιμότητά τους. Στην συνέχεια επεξηγείται ο τρόπος υπολογισμού του αριθμού των στοιχείων αυτών που χρειάζονται στον υποσταθμό για να επιτευχθεί η σύνδεση συγκεκριμένου αριθμού σταθμών παραγωγής, έχοντας σαν δεδομένο την συνολική ισχύ που δέχεται ο υποσταθμός από τους σταθμούς ΑΠΕ που συνδέονται σε αυτόν.

Μετασχηματιστές:

Διακρίνονται δύο είδη μετασχηματιστών, οι Μ/Σ 40/50MW και οι Μ/Σ 20/25MW. Ξέροντας συνολικά την ισχύ που εισέρχεται στον Υ/Σ είναι εύκολο να υπολογιστεί ο

αριθμός και το είδος των Μ/Σ που χρειάζονται. Για παράδειγμα, στην περίπτωση που εισέρχονται στον Υ/Σ 70MW, χρειαζόμαστε έναν Μ/Σ 50MW και έναν Μ/Σ 25MW. Το κόστος των μετασχηματιστών φαίνεται στον πίνακα 3.1.

Μ/Σ 20/25MW	590.000 €
Μ/Σ 40/50MW	680.000 €

Πίνακας 3.1: Κοστολόγηση Μ/Σ

Αντιστάθμιση αέργου ισχύος:

Για την επίλυση αυτού του προβλήματος χρησιμοποιούμε πυκνωτές. Ο αριθμός και το είδος των πυκνωτών εξαρτάται από τον αριθμό και το είδος των μετασχηματιστών που χρησιμοποιούνται. Χρησιμοποιείται ένας πυκνωτής 12MVA_r για κάθε Μ/Σ 40/50MW και ένας πυκνωτής 8MVA_r για κάθε Μ/Σ 20/25MW. Στον πίνακα 3.2 φαίνεται το κόστος της χρησιμοποιούμενης χωρητικής αντιστάθμισης του Υ/Σ.

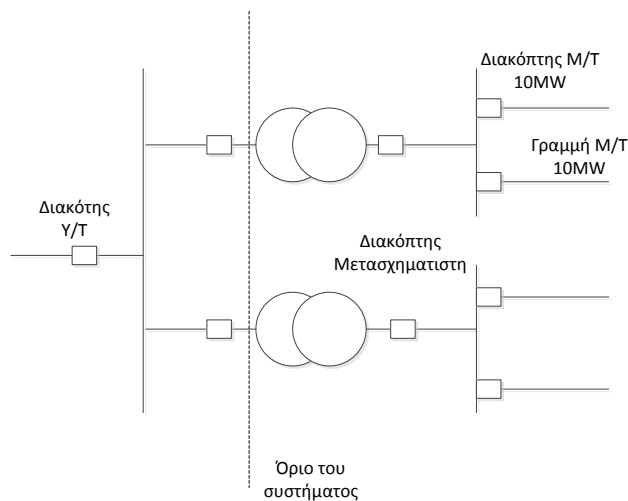
Χωρητική Αντιστάθμιση 12 MVA _r	220.000 €
Χωρητική Αντιστάθμιση 8 MVA _r	180.000 €

Πίνακας 3.2: Κοστολόγηση πυκνωτών

Διακόπτες:

Σε κάθε Υ/Σ η σύνδεση κάθε γραμμής υψηλής ή μέσης τάσης με τα υπόλοιπα δομικά στοιχεία του Υ/Σ, προϋποθέτει την ύπαρξη κατάλληλων διατάξεων όπως πύλες (ή κυψέλες) και διακόπτες ισχύος. Για λόγους απλοποίησης του τρόπου υπολογισμού του κόστους θεωρούμε τις πύλες σαν διακόπτες. Το κόστος υπολογίζεται ως εξής:

Έως το όριο του συστήματος χρησιμοποιείται ένας διακόπτης υψηλής τάσης. Μετά το όριο του συστήματος χρησιμοποιούνται δύο διακόπτες για κάθε μετασχηματιστή ανεξαρτήτως του είδους του μετασχηματιστή. Τέλος χρησιμοποιείται ένας διακόπτης μέσης τάσης για κάθε γραμμή Μ/Τ (συνήθως για κάθε 10 MW χρησιμοποιείται μια γραμμή Μ/Τ) που συνδέεται με τον Υ/Σ. Η παραπάνω θεώρηση απεικονίζεται στο σχήμα 3.4.



Σχήμα 3.4: Αριθμός διακοπών Υ/Σ

Οι τιμές των διακοπών φαίνονται στον πίνακα 3.3:

Διακόπτης υψηλής τάσης	200.000 €
Διακόπτης μετασχηματιστή	200.000 €
Διακόπτης μέσης τάσης	80.000 €

Πίνακας 3.3: Κοστολόγηση διακοπών

Ζυγοί:

Σε έναν υποσταθμό ανύψωσης της μέσης τάσης χρησιμοποιούνται δύο είδη ζυγών (Ζυγός 150KV και Ζυγός 20KV). Για κάθε μετασχηματιστή που χρησιμοποιείται, κατασκευάζεται ένας Ζυγός 20KV και σε κάθε έναν Υ/Σ κατασκευάζεται ένας ζυγός 150KV. Το κόστος για την κατασκευή ενός ζυγού 150KV είναι 500.000 € .

3.5.2 ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΓΡΑΜΜΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Γενομένης της περιγραφής του τρόπου υπολογισμού του κόστους κατασκευής ενός Υ/Σ, πρέπει να αποσαφηνιστεί και ο τρόπος υπολογισμού του κόστους των γραμμών από και προς τον Υ/Σ, ώστε να έχουμε ένα συνολικό μοντέλο του κόστους σύνδεσης.

Γραμμές Μέσης Τάσης:

Μία γραμμή Μ/Τ θεωρούμε ότι διακινεί ισχύ 10MW. Δεδομένης της συνολικής ισχύς του σταθμού παραγωγής μπορούμε να υπολογίσουμε πόσες γραμμές μέσης τάσης χρειαζόμαστε για την σύνδεση του σταθμού παραγωγής με τον υποσταθμό. Το κόστος γραμμών Μ/Τ υπολογίζεται συναρτήσει του μήκους των γραμμών.

Η εναέρια γραμμή μέσης τάσης θεωρείται ότι έχει κόστος 25.000€/km [21].

Γραμμές Υψηλής Τάσης:

Η σύνδεση ενός Υ/Σ με το σύστημα υψηλής τάσης υλοποιείται με μία νέα γραμμή υψηλής τάσης. Το κόστος των γραμμών υψηλής τάσης μεταβάλλεται αναλόγως του μήκους της γραμμής.

Η Γραμμή Μεταφοράς Β/150 kV μήκους τουλάχιστον 10 km έχει κόστος κατασκευής 100.000€/km

Η Γραμμή Μεταφοράς Β/150 kV μήκους έως 1,5 km έχει κόστος κατασκευής 145.000€/km

Το εκτιμώμενο κόστος υλοποίησης γραμμής μεταφοράς μήκους μεταξύ 1,5 και 10 χιλιομέτρων υπολογίζεται βάσει της σχέσης (1) [21]:

(2)

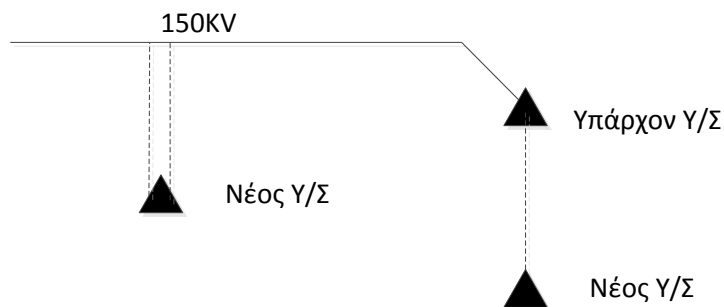
όπου:

X_{10} : το ανά km κόστος Γ.Μ. μήκους μεγαλύτερου ή ίσου των 10 km

$X_{1,5}$: το ανά km κόστος Γ.Μ. μήκους μικρότερου ή ίσου των 1,5 km

L : το μήκος της Γ.Μ. μεταξύ 1,5 και 10 km

Ένας ακόμα περιορισμός στην σύνδεση του Υ/Σ με το δίκτυο μεταφοράς φαίνεται στο σχήμα 3.5.

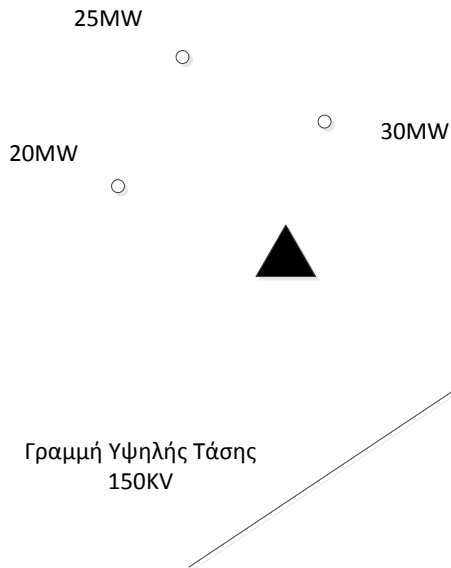


Σχήμα 3.5: Συνδεση Υ/Σ στο δίκτυο Υ/Τ

Στο δίκτυο μεταφοράς εκτός από τις γραμμές υψηλής τάσης μπορεί να υπάρχουν και υπάρχοντες Υ/Σ. Στο παραπάνω σχήμα βλέπουμε ότι ένας νέος υποσταθμός μπορεί να συνδεθεί με έναν υπάρχοντα με μία απλή γραμμή Υ/Τ. Σε περίπτωση που η σύνδεση γίνει πάνω σε μία γραμμή Υ/Τ τότε χρειάζονται δύο νέες γραμμές Υ/Τ, οπότε διπλασιάζεται και το κόστος, για την αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος (τοπολογία σύνδεσης είσοδος – έξοδος).

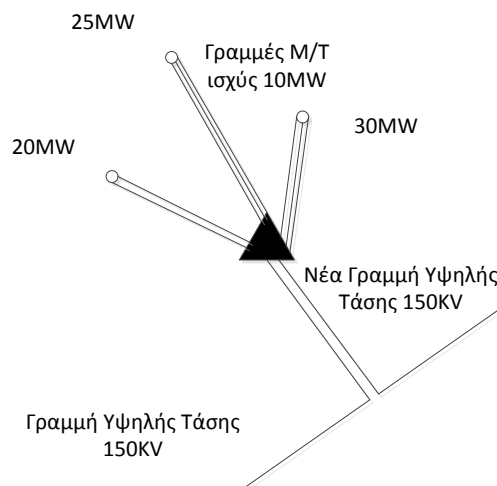
3.6 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΤΑΘΜΩΝ ΑΠΕ

Στην συνέχεια παρουσιάζεται ένα παράδειγμα υπολογισμού του κόστους σύνδεσης ενός Υ/Σ δεδομένης της θέσης του και της ισχύς που δέχεται από τους σταθμούς ΑΠΕ. Στο σχήμα 3.6 βλέπουμε τρεις σταθμούς ΑΠΕ και τη συνολική ισχύ που αποδίδουν, καθώς και την υπάρχουσα γραμμή των 150KV. Τα τρία αιολικά πάρκα θα συνδεθούν με τον Υ/Σ και αυτός εν συνεχεία με τη γραμμή Υ/Τ όπως φαίνεται στο σχήμα 3.7.



Σχήμα 3.6: Παράδειγμα Υπολογισμού κόστους 1

Υπολογισμός κόστους γραμμών:



Σχήμα 3.7: Παράδειγμα Υπολογισμού κόστους 2

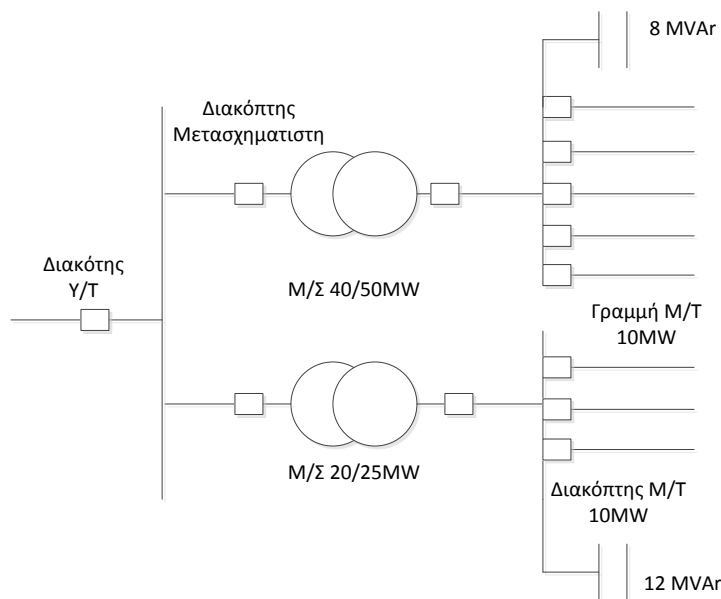
Σύμφωνα με αυτά που αναφέρθηκαν στον τρόπο κοστολόγησης των γραμμών μεταφοράς έχουμε:

- Δεδομένης της ισχύς των διεσπαρμένων σταθμών δημιουργούνται συνολικά 8 νέες γραμμές Μ/Τ από τα αιολικά πάρκα προς τον υποσταθμό. Υπενθυμίζεται ότι μία γραμμή μέσης τάσης μπορεί να μεταφέρει ισχύ έως 10MW.

- Από τον Y/Σ έως τη γραμμή Y/T δημιουργούνται δύο νέες γραμμές Y/T αφού η σύνδεση γίνεται σε υπάρχουσα γραμμή και όχι σε υπάρχοντα Y/Σ.

Δεδομένης της τοποθεσίας του Υ/Σ καθώς και του υπάρχοντος δικτύου υπολογίζονται οι αποστάσεις των νέων γραμμών. Το συνολικό κόστος των γραμμών μεταφοράς προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό των αποστάσεων με τα κόστος/km που δόθηκε στην προηγούμενη παράγραφο.

Υπολογισμός Δομικών Στοιχείων Υ/Σ:



Σχήμα 3.8: Παράδειγμα Υπολογισμού κόστους 3

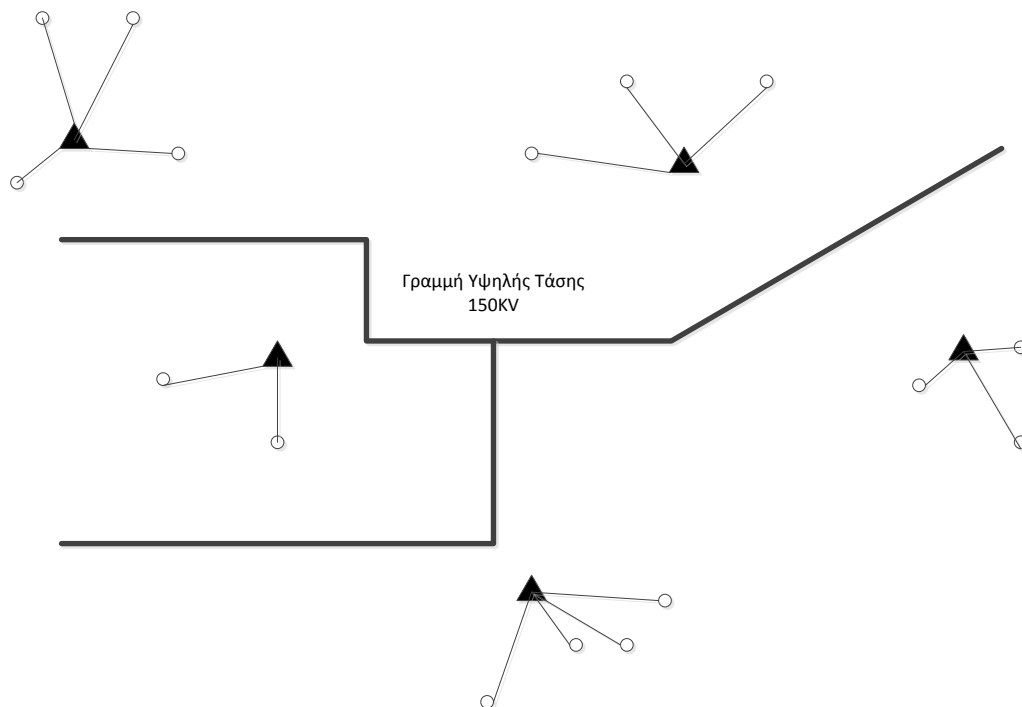
Στο σχήμα 3.8 βλέπουμε ότι οι 8 νέες γραμμές M/T συνδέονται με τον υποσταθμό. Σε κάθε γραμμή χρησιμοποιείται ένας διακόπτης M/T 10MW και κατασκευάζονται συνολικά 2 ζυγοί 20KV. Άρα έχουμε συνολικά 8 διακόπτες γραμμών M/T. Χρειαζόμαστε επίσης δύο μετασχηματιστές ισχύος, έναν M/Σ 40/50MW και έναν M/Σ 20/25MW για να μπορέσουν να καλύψουν την εισερχόμενη ισχύ. Στην συνέχεια χρειάζονται 4 διακόπτες μετασχηματιστών. Τέλος κατασκευάζεται ένας ζυγός 150KV και ένας διακόπτης υψηλής τάσης. Αφού ξέρουμε τον αριθμό και το είδος των δομικών στοιχείων που χρειάζονται για την σύνδεση, τα πολλαπλασιάζουμε με τα αντίστοιχα κόστη που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο.

Τέλος το συνολικό κόστος της σύνδεσης των αιολικών πάρκων με το δίκτυο μεταφοράς υπολογίζεται από την πρόσθεση του κόστους γραμμών μεταφοράς και του κόστους δομικών στοιχείων Υ/Σ.

3.7 ΓΕΝΙΚΕΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Παραπάνω περιγράφηκε και έγινε εκτίμηση του κόστους σύνδεσης στην περίπτωση της σύνδεσης τριών σταθμών διεσπαρμένης παραγωγής με το δίκτυο μεταφοράς. Το πρόβλημα όμως γενικεύεται στην περίπτωση που πρέπει να διασυνδεθεί ένας μεγάλος αριθμός σταθμών διεσπαρμένης παραγωγής. Σε αυτήν την περίπτωση το πρόβλημα αποκτά άλλες διαστάσεις. Πλέον ο αριθμός και η τοποθεσία των αιτούμενων υποσταθμών είναι υπό εξέταση.

Το γενικευμένο αυτό πρόβλημα είναι και το εξεταζόμενο πρόβλημα της παρούσας διπλωματικής. Σκοπός είναι η εύρεση της βέλτιστης λύσης, ώστε να ελαχιστοποιηθεί το κόστος της σύνδεσης. Η βέλτιστη λύση περιλαμβάνει τον βέλτιστο αριθμό των χρησιμοποιούμενων υποσταθμών καθώς και την βέλτιστη τοποθέτησή τους.



Σχήμα 3.9: Γενίκευση του προβλήματος σύνδεσης

Στο σχήμα 3.9 βλέπουμε την ομαδοποίηση των σταθμών διεσπαρμένης παραγωγής σε υποσταθμούς Υ/Τ. Το κόστος της σύνδεσης των σταθμών με το δίκτυο υπολογίζεται όπως στην παράγραφο 3.5. Το συνολικό κόστος της σύνδεσης υπολογίζεται αν προσθέσουμε τα κόστη των επιμέρους συνδέσεων.

Επιπλέον στο σχήμα 3.9 αναπαριστάται μία τυχαία λύση του συγκεκριμένου προβλήματος. Οι εφικτές όμως λύσεις είναι άπειρες. Γι αυτό τον λόγο, το πρόβλημα πρέπει να μοντελοποιηθεί και να επιλυθεί με κατάλληλους αλγορίθμους βελτιστοποίησης.

4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΣΜΗΝΟΥΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Πρόβλημα βελτιστοποίησης είναι ένα πρόβλημα στο οποίο ζητείται η καλύτερη δυνατή λύση ανάμεσα σε όλες τις διαθέσιμες. Υπάρχει πληθώρα τεχνικών που επιλύουν προβλήματα βελτιστοποίησης. Σημαντικές κατηγορίες τεχνικών βελτιστοποίησης είναι ο μαθηματικός προγραμματισμός, η τεχνητή νοημοσύνη, η υπολογιστική νοημοσύνη και οι μεταερευτικές τεχνικές. Δεν φαίνεται να υπάρχει μια μέθοδος ή μια κατηγορία μεθόδων η οποία να αντιμετωπίζει με καλύτερο τρόπο σε σχέση με τις υπόλοιπες το σύνολο των προβλημάτων βελτιστοποίησης.

Στην παρούσα εργασία η μέθοδος βελτιστοποίησης που θα εφαρμοστεί αφορά την νοημοσύνη σμηνών.

Ο όρος νοημοσύνη σμηνών (SI=Swarm Intelligence) αναφέρεται στις τεχνικές επίλυσης προβλημάτων που χρησιμοποιούν την συλλογική συμπεριφορά ενός πληθυσμού προκειμένου να επιδείξουν κάποιας μορφής νοημοσύνη. Η έμπνευση για αυτές τις μεθόδους έχει προκύψει από την παρατήρηση στην φύση ομάδων εντόμων και ζώων στις οποίες το κάθε άτομο της ομάδας υπακούει σε ένα μικρό σύνολο απλών κανόνων και το αποτέλεσμα είναι ότι παρατηρείται μια συλλογική συμπεριφορά που δρα προς όφελος της ομάδας. Η αλληλεπίδραση ανάμεσα στα μέλη δημιουργεί ένα πρότυπο για το σύστημα στο σύνολό του και το φαινόμενο αυτό ονομάζεται αυτοοργάνωση (self organization). Χαρακτηριστικά συστημάτων που δημιουργούνται με αυτοοργάνωση είναι η κατανομημένη τους φύση, η οργάνωσή τους σε πυκνές ετεροκρατίες και η αλληλεπίδραση με το περιβάλλον για την επικοινωνία μεταξύ των μελών της αποικίας.

Στην συνέχεια περιγράφεται ο αλγόριθμος της μεθοδολογίας σμήνους σωματιδίων, σύμφωνα με την οποία επιλύεται το πρόβλημα διασύνδεσης σταθμών ΑΠΕ με το σύστημα μεταφοράς που περιγράφηκε προηγουμένως. [14]

4.2 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΒΣΣ (Βελτιστοποίηση Σμήνους Σωματιδίων)

Στην μεθοδολογία σμήνους σωματιδίων ένας αριθμός απλών οντοτήτων -τα σωματίδια- τοποθετούνται στον χώρο αναζήτησης ενός προβλήματος ή μιας συνάρτησης, και κάθε ένα υπολογίζει την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης στην θέση που βρίσκεται. Στην συνέχεια κάθε σωματίδιο αποφασίζει την κίνηση του στον χώρο, συνδυάζοντας παράγοντες όπως η παρούσα θέση του και η καλύτερη θέση που είχε τοποθετηθεί με αυτές ενός ή περισσότερων σωματιδίων του σμήνους. Στο επόμενο στάδιο της διαδικασίας όλα τα σωματίδια έχουν αλλάξει θέσεις. Τελικά το σμήνος σαν σύνολο, όπως π.χ. ένα σμήνος πουλιών που αναζητά συλλογικά την τροφή του, πλησιάζει στην βέλτιστη λύση της συνάρτησης.

Κάθε σωματίδιο στο σμήνος χαρακτηρίζεται από τρία διανύσματα. Αυτά είναι η παρούσα θέση του \vec{x}_i , η προηγούμενη καλύτερη θέση του \vec{p}_i , και η ταχύτητα του \vec{v}_i .

Η παρούσα θέση \vec{x}_i μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα σημείο στον χώρο. Σε κάθε επανάληψη του αλγορίθμου, η παρούσα θέση αναπαριστά μία λύση του προβλήματος. Εάν αυτή η λύση είναι η καλύτερη από αυτές που έχουν βρεθεί μέχρι τώρα, τότε οι συντεταγμένες του αποθηκεύονται στο διάνυσμα \vec{p}_i . Η τιμή της συνάρτησης με το καλύτερο αποτέλεσμα αποθηκεύεται στην μεταβλητή, $pbesti$, για σύγκριση με επόμενες επαναλήψεις. Ο στόχος βέβαια είναι να συνεχίσει το σμήνος να βρίσκει καλύτερες θέσεις, και να ανανεώνει τα \vec{p}_i και το $pbesti$. Οι νέες θέσεις των σωματιδίων υπολογίζονται από την πρόσθεση της ταχύτητας \vec{v}_i στην παρούσα θέση του \vec{x}_i και ο αλγόριθμος λειτουργεί εφόσον υπολογιστούν οι ταχύτητες κάθε σωματιδίου \vec{v}_i .

$$\vec{x}_i(t+1) = \vec{x}_i(t) + \vec{v}_i(t+1) \quad (3)$$

Ένα σωματίδιο μόνο του δεν μπορεί να λύσει το πρόβλημα. Πρόοδος υπάρχει μόνο όταν τα σωματίδια αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Κάθε σωματίδιο επικοινωνεί με άλλα και επηρεάζεται από το καλύτερο σημείο ενός σωματιδίου το οποίο βρίσκεται χωρικά στην γειτονιά του. Αυτό είναι απλά το διάνυσμα \vec{p}_i γειτονικού σωματιδίου το οποίο δηλώνεται ως \vec{p}_g . Στην διαδικασία του βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων η

ταχύτητα του κάθε σωματιδίου σε κάθε επανάληψη υπολογίζεται με τέτοιο τρόπο ώστε το κάθε σωματίδιο να ταλαντώνεται στοχαστικά μεταξύ των \vec{p}_i και \vec{p}_g . Συχνά σε βιβλιογραφία το \vec{p}_g αναφέρεται και ως $Gbest$.

Στην συνέχεια παρουσιάζεται ο αλγόριθμος της βασικής PSO σε ψευδοκώδικα.

1: Αρχικοποίηση ενός πίνακα με τις τυχαίες θέσεις και ταχύτητες των σωματιδίων σε D-διαστάσεις.

2: LOOP

2.1: Υπολογισμός της τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης (fitness function) για κάθε σωματίδιο σε D μεταβλητές.

2.2: Γίνεται σύγκριση της παρούσας τιμής της συνάρτησης του κάθε σωματιδίου με το $pbest_i$ του κάθε σωματιδίου. Εάν η παρούσα τιμή είναι καλύτερη από την $pbest_i$ τότε $pbest_i = \text{παρούσα τιμή}$ και $\vec{p}_i = \vec{x}_i$

2.3: Εντοπίζεται το σωματίδιο στην γειτονιά με την καλύτερη τιμή μέχρι τώρα και ανατίθεται στην μεταβλητή g ή $gbestval$.

2.4: Αλλαγή ταχυτήτων και θέσεων των σωματιδίων.

$$\vec{v}_i \leftarrow \vec{v}_i + \vec{V}(0, \Phi 1) \otimes (\vec{p}_i - \vec{x}_i) + \vec{V}(0, \Phi 1) \otimes (\vec{p}_g - \vec{x}_i) \quad (4)$$

$$\vec{x}_i \leftarrow \vec{x}_i + \vec{v}_i \quad (5)$$

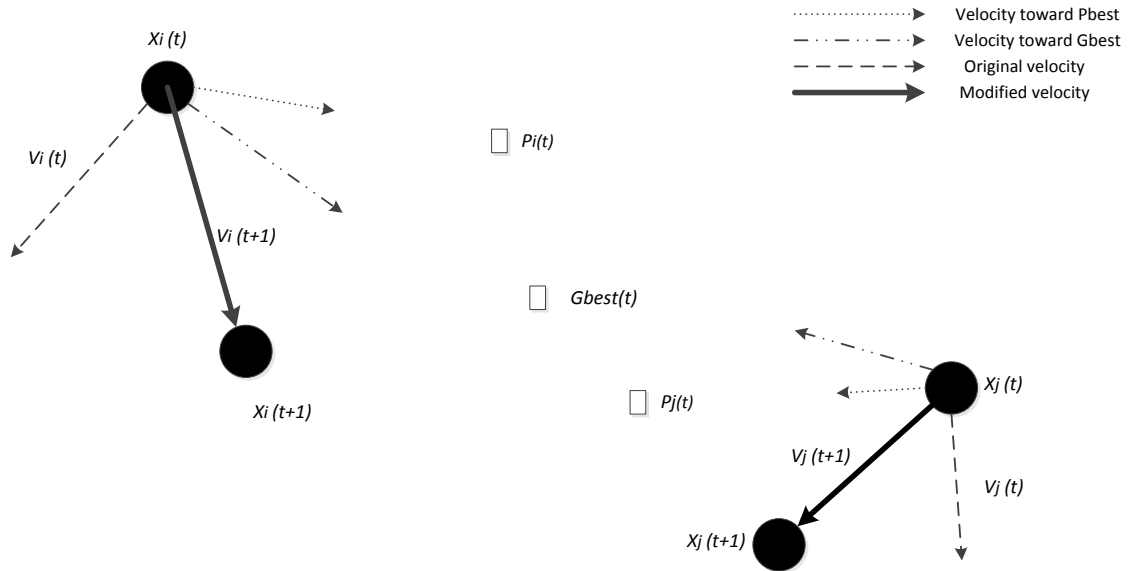
2.5: Τέλος εάν τα κριτήρια τερματισμού ικανοποιηθούν (ικανοποιητική λύση ή μέγιστος αριθμός επαναλήψεων).

3: END LOOP

Στον παραπάνω αλγόριθμο σημειώνεται ότι η ποσότητα $\vec{V}(0, \Phi i)$ αναπαριστά ένα διάνυσμα με τυχαίους αριθμούς ομοιόμορφα κατανεμημένους στο διάστημα $[0, \Phi i]$, οι οποίοι παράγονται τυχαία σε κάθε επανάληψη και για κάθε σωματίδιο. Επιπλέον

στην αρχική έκδοση της PSO κάθε στοιχείο \vec{v}_i παίρνει τιμές σε ένα διάστημα $[-V_{\min}, V_{\max}]$.

Στο σχήμα 4.1 αναπαριστάται ο τρόπος υπολογισμού της νέας θέσης του ενός σωματιδίου όπως περιγράφηκε στο βήμα 2.4 του αλγορίθμου. [17]



Σχήμα 4.1: Υπολογισμός νέων ταχυτήτων σωματιδίου

Την χρονική στιγμή t βλέπουμε τις θέσεις δύο γειτονικών σωματιδίων και τις συνιστώσες τις ταχύτητας.

Η *γνωσιακή συνιστώσα* του κάθε σωματιδίου ωθεί το σωματίδιο προς την προηγούμενη καλύτερη θέση \vec{p}_i που είχε.

Η *κοινωνική συνιστώσα* της ταχύτητας ωθεί το σωματίδιο στην καλύτερη θέση μεταξύ των γειτονικών σωματιδίων g ή $Gbest$.

Η *συνιστώσα αδράνειας* $\vec{v}_i(t)$ η οποία δείχνει την ταχύτητα που έφερε το σωματίδιο στην θέση $\vec{x}_i(t)$ από την θέση $\vec{x}_i(t-1)$.

Οι τρεις αυτές συνιστώσες ταχύτητας αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και δημιουργούν την νέα ταχύτητα του σωματιδίου $\vec{v}_i(t+1)$ η οποία στην ουσία δείχνει πόσο θα κινηθεί το σωματίδιο μέσα στον χώρο αναζήτησης για να βρεθεί τελικά στην νέα θέση $\vec{x}_i(t+1)$.

Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται για όλα τα σωματίδια του σμήνους. Καθότι έχουν υπολογιστεί οι νέες θέσεις όλων των σωματιδίων ο αλγόριθμος συνεχίζει στο βήμα 2.1 ή στο βήμα 2.5. Ο υπολογισμός των θέσεων $X_i(t+1)$ είναι ένας από τους βασικότερους παράγοντες στην μεθοδολογία σμήνους σωματιδίων, καθώς έχει πλέον αποτυπωθεί η αλληλεπίδραση των σωματιδίων μεταξύ τους, η επίδραση της παρελθούσας πορείας ενός σωματιδίου στην μελλοντική του πορεία, καθώς και ο παράγοντας της τυχαίας κίνησης ενός σωματιδίου, οι οποίοι αποτελούν και τα βασικά χαρακτηριστικά της κοινωνικής συμπεριφοράς των πουλιών στην κίνηση τους μέσα στο σμήνος.

4.3 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ PSO

Προηγουμένως παρουσιάστηκε η συμπεριφορά του αλγορίθμου βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων. Για την χρήση όμως του αλγορίθμου πρέπει να προσδιοριστούν κατάλληλες παράμετροι όπως το μέγεθος του σμήνους N , η μέγιστη ταχύτητα V_{\max} , ο αριθμός των επαναλήψεων, οι συντελεστές επιτάχυνσης Φ_i , ο συντελεστής αδρανείας w και το κριτήριο τερματισμού. Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα κύρια χαρακτηριστικά της κάθε παραμέτρου.

Μέγεθος σμήνους:

Το μέγεθος του σμήνους N αφορά το πλήθος των σωματιδίων. Κάθε σωματίδιο αναπαριστά μία λύση του προβλήματος. Συνεπώς όσο μεγαλύτερο το πλήθος τόσο περισσότερες είναι οι εξεταζόμενες λύσεις από τον αλγόριθμο. Παρόλα αυτά δεν χρησιμοποιούνται υπερβολικά μεγάλα μεγέθη σμήνους λόγω αύξησης της υπολογιστικής πολυπλοκότητας του αλγορίθμου. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία ένας συχνός αριθμός είναι 20-50 σωματίδια.

Μέγιστη ταχύτητα:

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως οι ταχύτητες που υπολογίζονται περιορίζονται εντός κάποιων ορίων. Το άνω όριο V_{\max} αναπαριστά την μέγιστη μεταβολή που μπορεί να δεχθεί ένα σωματίδιο στην μετακίνηση του από την θέση $\vec{x}_i(t)$ στην θέση $\vec{x}_i(t-1)$. Ο περιορισμός στην μέγιστη μεταβολή αποσκοπεί στην αποφυγή άσκοπης μετακίνησης των σωματιδίων εκτός του χώρου αναζήτησης. Συχνά το όριο μέγιστης ταχύτητας βελτιώνει την αναζήτηση του βέλτιστου.

Αριθμός επαναλήψεων:

Ο αριθμός των επαναλήψεων που απαιτείται για να επιτευχθεί μία καλή λύση εξαρτάται από το εξεταζόμενο πρόβλημα. Μικρός αριθμός επαναλήψεων είναι πιθανό να τερματίσουν τον αλγόριθμο χωρίς να έχει βρεθεί μία ικανοποιητική λύση. Αντιθέτως, ένας μεγάλος αριθμός επαναλήψεων αυξάνει την πολυπλοκότητα του αλγορίθμου, χωρίς να υπάρχει κάποιο πρακτικό αποτέλεσμα.

Συντελεστής επιτάχυνσης:

Οι παράμετροι Φ_1 και Φ_2 οι οποίες χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό της ταχύτητας των σωματιδίων, αποφασίζουν την δύναμη της έλξης του σωματιδίου από τις καλύτερες θέσεις σωματιδίου \vec{p}_i και από την καλύτερη θέση γειτονικών σωματιδίων \vec{p}_g . Ο συντελεστής Φ_1 δείχνει την σημασία που έχει για το σωματίδιο η προηγούμενη καλύτερη θέση του, ενώ ο συντελεστής Φ_2 την σημασία που έχει για το σωματίδιο η καλύτερη θέση του υπόλοιπου σμήνους.

Διακρίνονται δύο οριακές περιπτώσεις:

Όταν ο συντελεστής Φ_2 είναι ίσος με το μηδέν και ο συντελεστής Φ_1 θετικός, τότε η κοινωνική συνοχή του σμήνους χάνεται, δηλαδή κάθε σωματίδιο δρα μόνο του και δεν επηρεάζεται από τα υπόλοιπα.

Όταν ο συντελεστής Φ_2 θετικός και ο συντελεστής Φ_1 ίσος με το μηδέν, τότε όλα τα σωματίδια δρουν σαν μία οντότητα και επηρεάζονται μόνο από την καλύτερη θέση \vec{p}_g .

Οι δύο αυτές περιπτώσεις υποδεικνύουν την σημαντικότητα των συντελεστών επιτάχυνσης. Συνεπώς πρέπει να επιλέγονται με τέτοιο τρόπο ώστε να μην επηρεάζουν αρνητικά την διαδικασία του αλγορίθμου. Είναι σύνηθες οι τιμές των συντελεστών να εξισώνονται ώστε οι ταχύτητα να επηρεάζεται εξίσου και από τις δύο τιμές \vec{p}_g και \vec{p}_i . Παρόλα αυτά οι συντελεστές αυτοί μπορούν να μεταβάλλονται αναλόγως του προβλήματος.

Συντελεστής αδρανείας:

Οι Shi και Eberhart το 1998 θέλοντας να κάνουν καλύτερη την διαδικασία της αναζήτησης καθώς και να μειώσουν την σημαντικότητα της ύπαρξης του ανώτατου ορίου της ταχύτητας V_{\max} , εισήγαγαν στην κλασική μέθοδο της PSO την έννοια του συντελεστή αδρανείας w . Ο συντελεστής αδρανείας λειτουργεί ως συντελεστής βαρύτητας της συνεισφοράς της προηγούμενης ταχύτητας του σωματιδίου. Πρακτικά η τιμή του συντελεστή βαρύτητας υποδεικνύει σε τι βαθμό η προηγούμενη ταχύτητα του σωματιδίου επηρεάζει την μετέπειτα πορεία του στον χώρο. Η εξίσωση (4) του βήματος 2.4 στον αλγόριθμο της PSO, με χρησιμοποίηση του συντελεστή αδρανείας γίνεται:

$$\vec{v}_i \leftarrow w\vec{v}_i + \vec{V}(0, \Phi 1) \otimes (\vec{p}_i - \vec{x}_i) + \vec{V}(0, \Phi 1) \otimes (\vec{p}_g - \vec{x}_i) \quad (6)$$

$$\vec{x}_i \leftarrow \vec{x}_i + \vec{v}_i$$

Όπου, ο τελεστής \otimes σύμβολιζει τον πολλαπλασιασμό ενός προς ενός στοιχείου διανυσμάτων.

Από την παραπάνω σχέση βλέπουμε ότι η ποσότητα w αποφασίζει τον ρόλο που διαδραματίζει η συνιστώσα αδρανείας στον υπολογισμό της νέας ταχύτητας.

Διακρίνονται τρεις οριακές τιμές για τον συντελεστή αδρανείας:

1. Όταν $w \ll 1$ τα σωματίδια δεν επηρεάζονται από την προηγούμενη ταχύτητα τους, συνεπώς παρατηρούνται απότομες αλλαγές στην κίνηση τους. Επιπλέον μειώνεται η ικανότητάς τους για εξερεύνηση του χώρου αναζήτησης.
2. Όταν $w = 0$, η έννοια της αδράνειας χάνεται.
3. Όταν $w > 1$, δεν παρατηρούνται απότομες αλλαγές στην κίνηση των σωματιδίων. Επιπλέον η διασπορά τους στον χώρο αναζήτησης αυξάνεται, άρα αυξάνεται και η εξερευνητική τους ικανότητα. Παρόλα αυτά η μεγάλη σημασία που έχει για κάθε σωματίδιο η διατήρηση της ορμής του, δεν τα αφήνει να συγκλίνουν στο βέλτιστο.

Κριτήριο τερματισμού:

Ένα σύνηθες κριτήριο τερματισμού που χρησιμοποιείται είναι ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων ο οποίος παρουσιάστηκε προηγουμένως. Παρόλα αυτά πρέπει να επιλεγθεί κατάλληλος αριθμός μέγιστων επαναλήψεων λόγω των προβλημάτων που ενδέχεται να παρουσιαστούν.

Για αυτό τον λόγο, σε συνδυασμό με τον μέγιστο αριθμό επαναλήψεων χρησιμοποιείται και το κριτήριο σύμφωνα με το οποίο η επαναληπτική διαδικασία τερματίζει, όταν δεν παρατηρείται κάποια βελτίωση μετά από έναν αριθμό επαναλήψεων. Η έννοια της βελτίωσης αναφέρεται σε διάφορα μεγέθη όπως η θέση, η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης κ.α. [15],[16],[17]

4.4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΟΥ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Το πρόβλημα Βελτιστοποίησης:

Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάστηκε το πρόβλημα διασύνδεσης σταθμών ΑΠΕ με το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Ο βασικότερος παράγοντας στη διασύνδεση των σταθμών αυτών, είναι η κατασκευή Υποσταθμών ανύψωσης τάσης. Στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι η εύρεση του αριθμού και της τοποθεσίας των υποσταθμών, που ελαχιστοποιούν το συνολικό κόστος σύνδεσης. Τα δεδομένα του προβλήματος είναι οι θέσεις και οι ισχείς των σταθμών ΑΠΕ, η τοπολογία του συστήματος μεταφοράς καθώς και ο χώρος αναζήτησης της λύσης. Το πρόβλημα αυτό πρέπει να μοντελοποιηθεί με κατάλληλο τρόπο ώστε να συνδεθεί με τον αλγόριθμο της PSO. Ο προγραμματισμός του αλγορίθμου έγινε στο περιβάλλον της MATLAB.

Αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος:

Στο εξεταζόμενο πρόβλημα η αντικειμενική συνάρτηση (fitness function) είναι η συνάρτηση κόστους σύνδεσης των σταθμών ΑΠΕ με το δίκτυο.

$$\text{Συνολικό_Κόστος} = \text{penalty} * (\text{Κόστος_Y} / \Sigma + \text{Κόστος_Γραμμών}) \quad (7)$$

Όπου:

$$\text{Κόστος_Y} / \Sigma = \text{K}_M / \Sigma + \text{K}_{\text{πυκνωτών}} + \text{K}_{\text{διακοπών}} + \text{K}_{\text{ζυγών}} \quad (8)$$

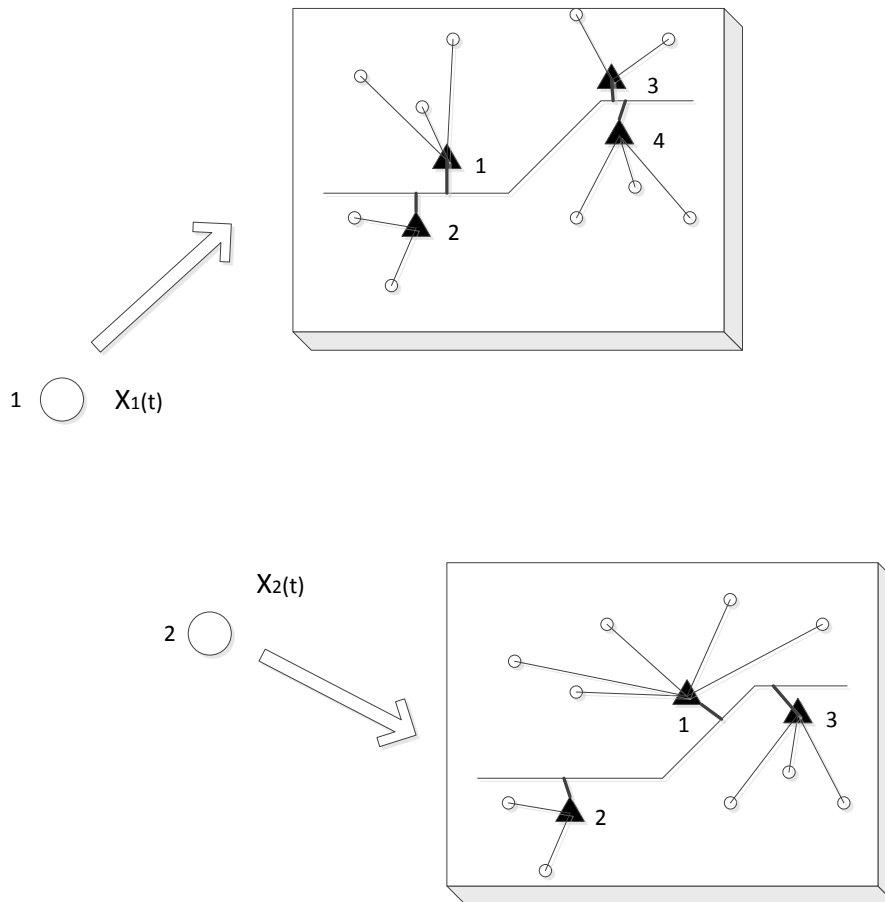
$$\text{Κόστος_Γραμμών} = \text{K}_{\text{γραμμών_Y} / \text{T}} + \text{K}_{\text{γραμμών_M} / \text{T}} \quad (9)$$

Το *penalty* έχει εξ' ορισμού τιμή 1. Όμως παίρνει διαδοχικά τιμές 2, 3, 4 ... εάν ένας, δυο, τρεις κτλ υποσταθμοί συγκεντρώνουν έργα ισχύος άνω των 250MW.

Σωματίδια:

Η κατανόηση του ρόλου των σωματιδίων, είναι πολύ σημαντική για την επίλυση του καθώς κάθε σωματίδιο αναπαριστά μία λύση του προβλήματος. Στο συγκεκριμένο

πρόβλημα κάθε σωματίδιο αναπαριστά τον αριθμό και τις τοποθεσίες των Υ/Σ απ'όπου προκύπτειτο συνολικό κόστος της σύνδεσης όλων των σταθμών ΑΠΕ, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.2.



Σχήμα 4.2: Συμβολισμός Σωματιδίων

Το σωματίδιο 1 την χρονική στιγμή t βρίσκεται στην θέση X_1 του χώρου αναζήτησης και αναπαριστά την λύση που φαίνεται στο σχήμα. Η λύση αυτή περιλαμβάνει την κατασκευή τεσσάρων υποσταθμών, καθώς και τις γραμμές Υ/Τ και Μ/Τ όπως φαίνονται στο σχήμα. Το κόστος του σωματιδίου K_1 δίνεται από τον τύπο (10) :

$$K_1 = \text{Συνολικό_Κόστος}_1 + \text{Συνολικό_Κόστος}_2 + \text{Συνολικό_Κόστος}_3 + \text{Συνολικό_Κόστος}_4 \quad (10)$$

Όπου το Συνολικό_Κόστος_i είναι το κόστος κατασκευής του υποσταθμού i και υπολογίζεται από τον τύπο της αντικειμενικής συνάρτησης (7).

Το σωματίδιο 2 την χρονική στιγμή t βρίσκεται στην θέση X_2 του χώρου αναζήτησης και αναπαριστά την λύση που φαίνεται στο σχήμα. Η δεύτερη αυτή λύση

περιλαμβάνει την κατασκευή τριών υποσταθμών, καθώς και τις γραμμές Υ/Τ και Μ/Τ όπως φαίνονται στο ίδιο σχήμα. Το κόστος του σωματιδίου K_2 δίνεται από τον τύπο (11):

$$K_2 = \text{Συνολικό_Κόστος}_1 + \text{Συνολικό_Κόστος}_2 + \text{Συνολικό_Κόστος}_3 \quad (11)$$

Όπου το Συνολικό_Κόστος_i είναι το κόστος κατασκευής του υποσταθμού i και υπολογίζεται από τον τύπο της αντικειμενικής συνάρτησης (7).

Στην περίπτωση που το πρόβλημα γενικευθεί για N σωματίδια η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης είναι το διάνυσμα:

ΣΩΜΑΤΙΔΙΟ	ΚΟΣΤΟΣ
1	K_1
2	K_2
3	K_3
.	.
.	.
.	.
N	K_N

Πίνακας 4.1: Αντικειμενική συνάρτηση basic PSO

Το διάνυσμα $[K_1 \ K_2 \ \dots \ K_N]$ είναι και το κριτήριο ελαχιστοποίησης του αλγορίθμου

Διαστάσεις του προβλήματος:

Όπως αναφέρθηκε στο 1^ο βήμα του αλγορίθμου δημιουργούνται τυχαίες θέσεις των σωματιδίων στον χώρο αναζήτησης σε D διαστάσεις. Στην περίπτωση που $D=2$ τότε δημιουργείται ο πίνακας θέσεων:

X_1	Y_1
X_2	Y_2
X_3	Y_3
.	.
.	.
.	.
X_N	Y_N

Πίνακας 4.2: Πρόβλημα με δύο διαστάσεις

Στην περίπτωση όμως αυτή, το πρόβλημα δεν μπορεί να μοντελοποιηθεί επιτυχώς. Για αυτό πρέπει να εκμεταλλευτούμε τις διαστάσεις D με τέτοιο τρόπο ώστε κάθε γραμμή του πίνακα θέσεων να δείχνει τις συντεταγμένες των υποσταθμών. Η κατασκευή του πίνακα θέσεων που δημιουργεί η PSO θα γίνει ως εξής.

1	Substation_Number	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	X ₃	Y ₃	.	.	.	X _K	Y _K
2	Substation_Number	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	X ₃	Y ₃	.	.	.	X _K	Y _K
3	Substation_Number	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	X ₃	Y ₃	.	.	.	X _K	Y _K
.	Substation_Number	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	X ₃	Y ₃	.	.	.	X _K	Y _K
.	Substation_Number	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	X ₃	Y ₃	.	.	.	X _K	Y _K
.	Substation_Number	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	X ₃	Y ₃	.	.	.	X _K	Y _K
N	Substation_Number	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	X ₃	Y ₃	.	.	.	X _K	Y _K

Πίνακας 4.3: Πρόβλημα με K διαστάσεις

- Η γραμμή N του πίνακα 4.3 αντιστοιχεί στο σωματίδιο N .
- Ο δείκτης K είναι ο μέγιστος αριθμός υποσταθμών που μπορούν να κατασκευαστούν. (Ορίζεται στην αρχικοποίηση του αλγορίθμου)
- Με (X,Y) συμβολίζονται οι συντεταγμένες των υποσταθμών.
- Η μεταβλητή *Substation_Number* είναι ένας τυχαίος ακέραιος αριθμός στο διάστημα $[K_{\min}, K_{\max}]$, και δείχνει τον αριθμό των Υποσταθμών που θα χρησιμοποιηθούν στην εξεταζόμενη λύση.

Για παράδειγμα όταν η μεταβλητή *Substation_Number* =2 για κάποιο από τα σωματίδια όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα :

2	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	X ₃	Y ₃	.	.	.	X _K	Y _K
---	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	---	---	---	----------------	----------------

Αυτό πρακτικά σημαίνει:

2	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	X ₃	Y ₃	.	.	.	X _K	Y _K
---	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	---	---	---	----------------	----------------

Πίνακας 4.4: Επεξήγηση μεταβλητής integer_number

Δηλαδή το σωματίδιο στην γραμμή i εξετάζει την κατασκευή δύο υποσταθμών στις θέσεις (X_1, Y_1) και (X_2, Y_2) .

Καταυτών τον τρόπο μπορούμε να υπολογίσουμε ακριβώς το κόστος που «κουβαλάει» κάθε σωματίδιο, όπως περιγράφηκε προηγουμένως. Έτσι λοιπόν δημιουργείται ο πίνακας κόστους (Πίνακας 4.5) ο οποίος αποτελεί και την αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος:

ΚΟΣΤΟΣ
K_1
K_2
K_3
\cdot
\cdot
\cdot
K_N

Πίνακας 4.5: Αντικειμενική Συνάρτηση

4.5 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ PSO MATLAB

4.5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

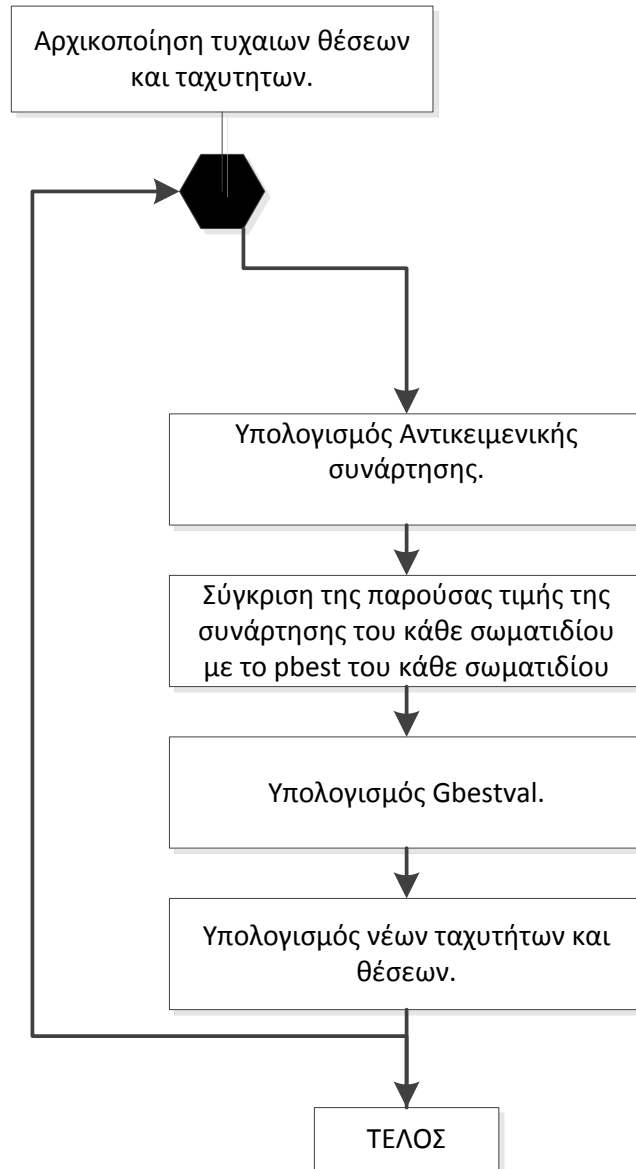
Ο αλγόριθμος της PSO σε προγραμματιστικό περιβάλλον MATLAB δημιουργεί τον πίνακα θέσεων σε κάθε επανάληψη (εποχή). Στην συνέχεια η ρουτίνα κόστους του αλγορίθμου δέχεται σαν ορίσματα τον πίνακα αυτόν και τελικά επιστρέφει το διάνυσμα κόστους. Στην συνέχεια η κυρίως ρουτίνα της PSO σε συνδυασμό με δευτερεύουσες υλοποιούν την διαδικασία του αλγορίθμου που παρουσιάστηκε προηγουμένως.

Για την μοντελοποίηση του συγκεκριμένου προβλήματος της παρούσας εργασίας χρειάζεται οι κατάλληλες αρχικοποιήσεις των παραμέτρων και των μεταβλητών της PSO, καθώς και ο σχεδιασμός κατάλληλων ρουτίνων και υπορουτίνων σε περιβάλλον MATLAB, οι οποίες θα λαμβάνουν τον πίνακα θέσεων και θα γυρνάνε το διάνυσμα κόστους του συγκεκριμένου προβλήματος.

Οι ρουτίνες που αναπτύχθηκαν παρουσιάζονται υπο τη μορφή διαγραμμάτων ροής στην συνέχεια.

4.5.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

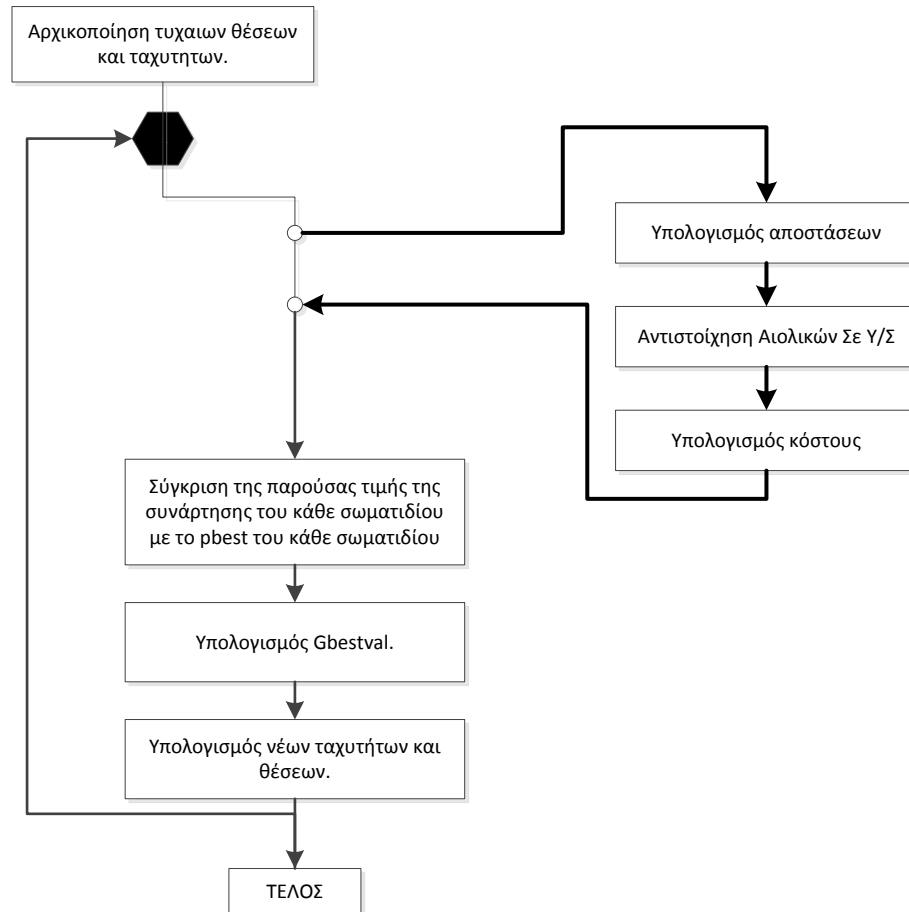
Η βασικός αλγόριθμος της PSO ο οποίος παρουσιάστηκε προηγουμένως φαίνεται στο σχήμα 4.3:



Σχήμα 4.3: Βασικός αλγόριθμος PSO

Σε συνδυασμό με το σχήμα 4.3, στο σχήμα 4.4 παρουσιάζεται ο τροποποιημένος αλγόριθμος που αναπτύχθηκε για τις ανάγκες επίλυσης του προβλήματος.

Σχεδιασμός Ανάπτυξης δικτύου Διασύνδεσης νέων έργων ΑΠΕ με το Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας με χρήση Ευρετικών Αλγορίθμων



Σχήμα 4.4: Τροποποιημένος αλγόριθμος PSO

Περιγραφή τροποποιημένης διαδικασίας:

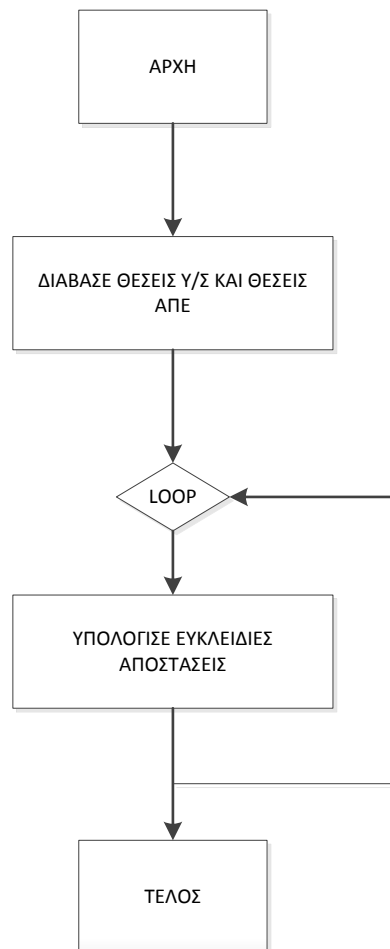
1. Η PSO δημιουργεί τον αρχικό τυχαίο πίνακα θέσεων που περιγράφηκε προηγουμένως (πίνακας 4.3). Έτσι έχουμε για κάθε σωματίδιο τις θέσεις και τον αριθμό των υποσταθμών.
2. Δεδομένων των θέσεων και του αριθμού υπολογίζονται οι αποστάσεις τους από τα νέα έργα ΑΠΕ, των οποίων είναι γνωστές οι θέσεις.
3. Στην συνέχεια, με κριτήριο την μικρότερη απόσταση του κάθε σταθμού διεσπαρμένης παραγωγής από τους υποσταθμούς, γίνεται η αντιστοίχιση τους. Δηλαδή πλέον είναι γνωστό ποιοι σταθμοί ΑΠΕ ανατίθενται σε ποιους υποσταθμούς.
4. Τέλος, βάσει της ανάθεσης υπολογίζεται το κόστος κάθε υποσταθμού όπως περιγράφηκε σε προηγούμενες παραγράφους. Το συνολικό κόστος του σωματιδίου είναι η πρόσθεση των επιμέρους κοστών.

Τα βήματα (2),(3),(4) επαναλαμβάνονται για όλα τα σωματίδια. Έτσι έχουμε τελικά την δημιουργία του πίνακα κόστους, ο οποίος εισάγεται στον αλγόριθμο της PSO. Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να ικανοποιηθεί το κριτήριο τερματισμού.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά οι ρουτίνες σε ψευδοκώδικα.

4.5.3 ΡΟΥΤΙΝΕΣ

4.5.3.1 ΡΟΥΤΙΝΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΑΠΕ ΑΠΟ ΤΟΥΣ Υ/Σ



Σχήμα 4.5: Ρουτίνα υπολογισμού αποστάσεων

Η ρουτίνα διαβάζει τις θέσεις των Υ/Σ και των σταθμών ΑΠΕ (από εξωτερικά αρχεία). Στην συνέχεια με επαναληπτική διαδικασία υπολογίζει τις ευκλείδειες αποστάσεις κάθε Υ/Σ από κάθε σταθμό ΑΠΕ.

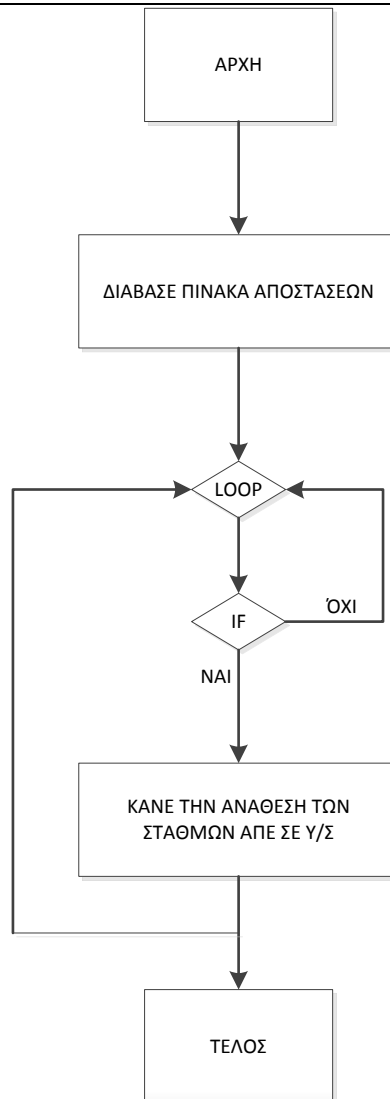
Ο τύπος υπολογισμού των αποστάσεων είναι:

$$d = \sqrt{(x_2 - X_1)^2 + (y_2 - Y_1)^2} \quad (12)$$

Όπου (X_1, Y_1) οι συντεταγμένες του Υ/Σ και (x_2, y_2) οι συντεταγμένες ενός έργου ΑΠΕ.

Η επαναληπτική διαδικασία περατώνεται όταν έχουν υπολογιστεί οι αποστάσεις όλων των έργων ΑΠΕ από όλους τους Υποσταθμούς. Είναι προφανές, ότι η ρουτίνα στο τέλος δίνει σαν αποτέλεσμα έναν πίνακα με αριθμό στοιχείων ίσο με τον πολλαπλασιασμό του αριθμού των Υ/Σ με τον αριθμό των έργων ΑΠΕ.

4.5.3.2 ΡΟΥΤΙΝΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗΣΗΣ ΑΠΕ ΣΤΟΥΣ Υ/Σ

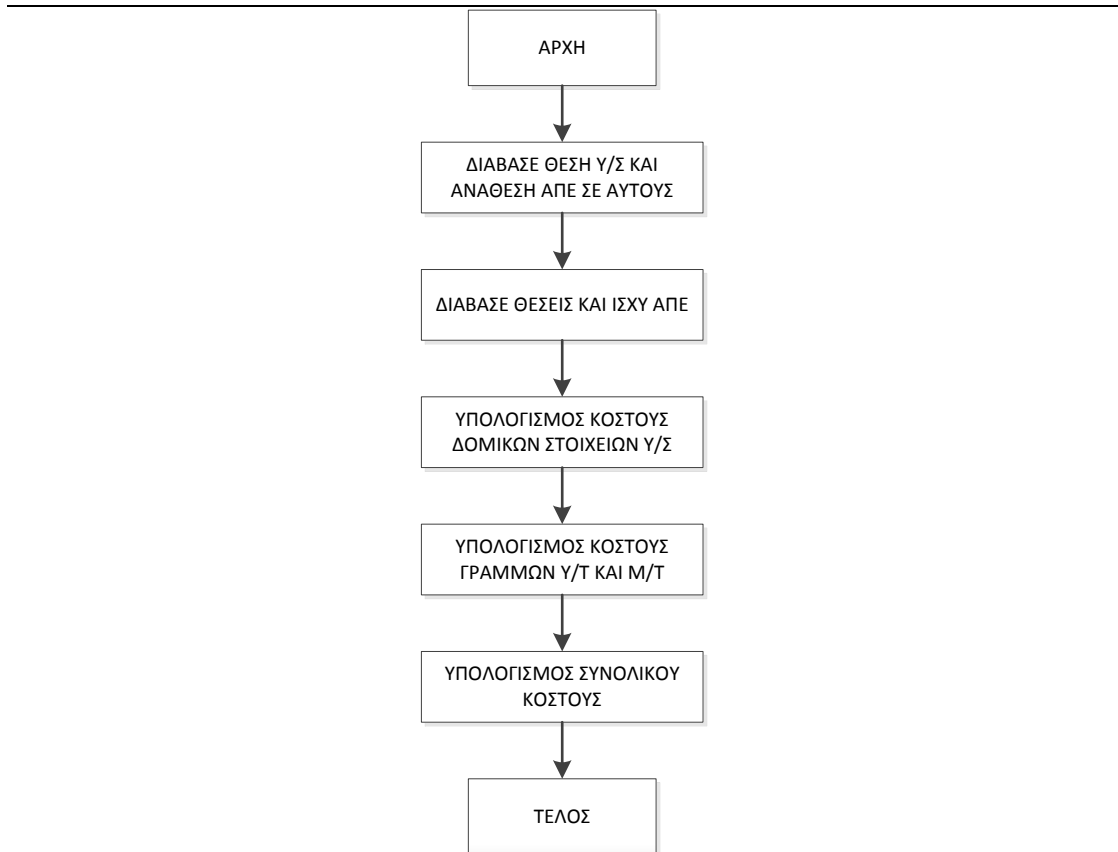


Σχήμα 4.6: Ρουτίνα αντιστοίχισης έργων ΑΠΕ

Η ρουτίνα διαβάζει έναν πίνακα αποστάσεων. Οι γραμμές του πίνακα αναπαριστούν τα έργα ΑΠΕ και οι στήλες τους Υ/Σ. Αρχίζει η επαναληπτική διαδικασία όπου γίνεται προσπέλαση κάθε γραμμής για την εύρεση του μικρότερου στοιχείου. Δηλαδή αναζήτησης της απόστασης του έργου ΑΠΕ από τον Υ/Σ με το μικρότερο μήκος. Στην συνέχεια, ελέγχεται εάν το μικρότερο στοιχείο είναι ίσο με ένα στοιχείο στήλης της κάθε γραμμής. Εάν ισχύει τότε γίνεται η αντιστοίχιση της γραμμής στην στήλη (Δηλαδή αντιστοιχίζεται το ΑΠΕ στον Υ/Σ), διαφορετικά συνεχίζεται η επαναληπτική διαδικασία.

Τέλος η ρουτίνα μας δίνει σαν αποτέλεσμα το διάνυσμα ανάθεσης, στο οποίο βλέπουμε κάθε έργο ΑΠΕ σε ποιον Υ/Σ έχει ανατεθεί.

4.5.3.3 ΡΟΥΤΙΝΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ



Σχήμα 4.7: Ρουτίνα υπολογισμού κόστους Υ/Σ

Η ρουτίνα κόστους δέχεται σαν ορίσματα την θέση του Υ/Σ, του οποίου θέλουμε να υπολογίσουμε το κόστος του, καθώς και ένα διάνυσμα το οποίο μας δείχνει ποια έργα ΑΠΕ πρέπει να συνδεθούν με τον Υ/Σ. Επιπλέον διαβάζει από εξωτερικά αρχεία την θέση και την ισχύ των έργων ΑΠΕ.

Στην συνέχεια γίνεται υπολογισμός των δομικών στοιχείων του Υ/Σ όπως ακριβώς περιγράφηκε στο κεφάλαιο 3.

Ο υπολογισμός του κόστους γραμμών Υψηλής και Μέσης τάσης προϋποθέτει τον υπολογισμό του μήκους των γραμμών που θα χρησιμοποιηθούν. Συνεπώς, υπολογίζονται οι μικρότερες αποστάσεις από τα έργα ΑΠΕ στους Υ/Σ και από τους Υ/Σ στις υπάρχουσες γραμμές ή υπάρχοντες Υ/Σ.

Τέλος, προσθέτοντας το κόστος δομικών στοιχείων και το κόστος γραμμών υπολογίζεται το συνολικό κόστος.

Η ρουτίνα υπολογισμού κόστος στο τερματισμό δίνει μία τιμή κόστους, η οποία αναπαριστά πόσο θα κοστίσει η κατασκευή του εν λόγω Υποσταθμού.

4.5.3.4 ΡΟΥΤΙΝΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΑΤΩΝ ΡΟΥΤΙΝΩΝ

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως η κυρίως ρουτίνα του PSO δίνει σαν όρισμα στην συνάρτηση υπολογισμού κόστους τον πίνακα 4.6:

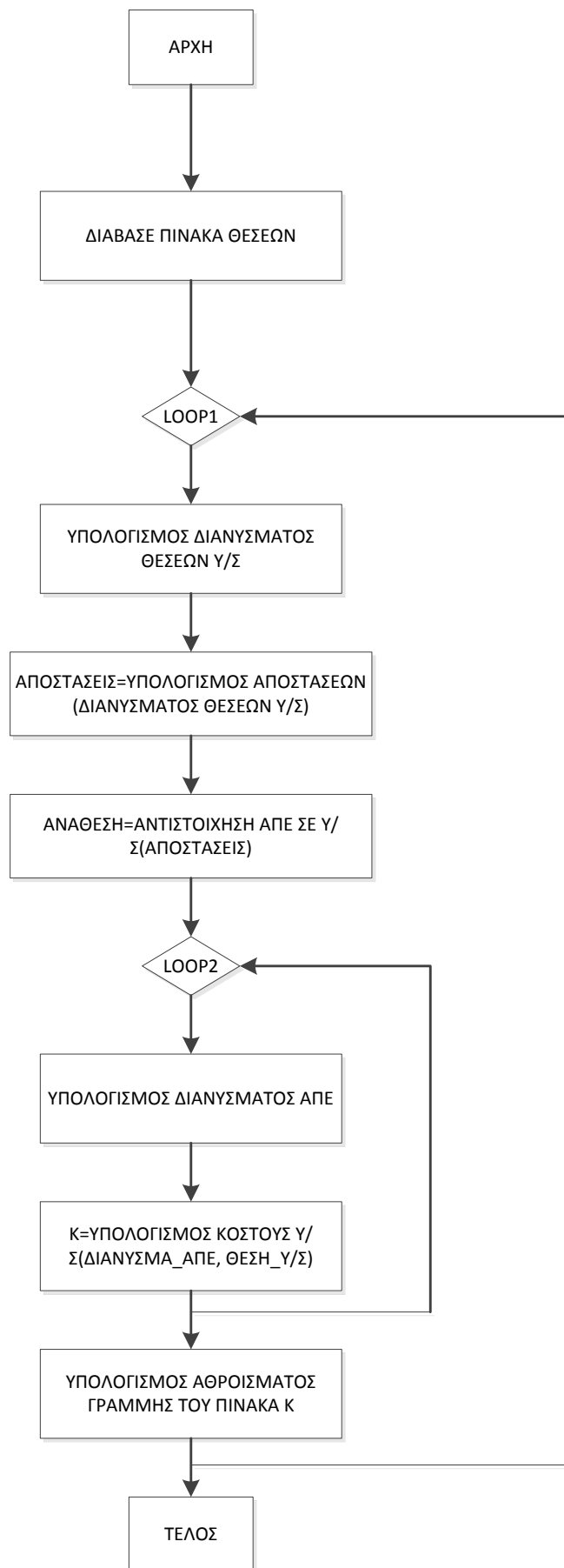
1	I_1	X_1	Y_1	X_2	Y_2	X_3	Y_3	.	.	.	X_K	Y_K
2	I_2	X_1	Y_1	X_2	Y_2	X_3	Y_3	.	.	.	X_K	Y_K
3	I_3	X_1	Y_1	X_2	Y_2	X_3	Y_3	.	.	.	X_K	Y_K
.	.	X_1	Y_1	X_2	Y_2	X_3	Y_3	.	.	.	X_K	Y_K
.	.	X_1	Y_1	X_2	Y_2	X_3	Y_3	.	.	.	X_K	Y_K
.	.	X_1	Y_1	X_2	Y_2	X_3	Y_3	.	.	.	X_K	Y_K
N	I_N	X_1	Y_1	X_2	Y_2	X_3	Y_3	.	.	.	X_K	Y_K

Πίνακας 4.6:Όρισμα συνάρτησης κόστους

Η συνάρτηση κόστους πρέπει να επιστρέψει στην DemoPSObehavior.m το παρακάτω διάλυσμα κόστους:

ΚΟΣΤΟΣ
K_1
K_2
K_3
.
.
.
K_N

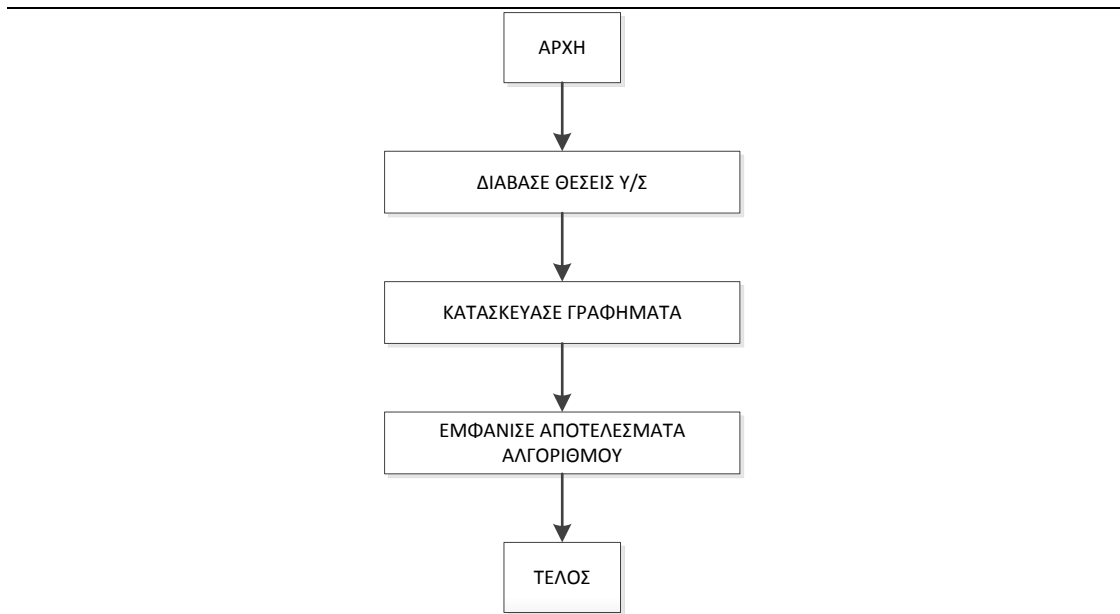
Η ρουτίνα Υπολογισμού της ανάθεσης επεξεργάζεται τα ορίσματα και τα αποτελέσματα από όλες τις ρουτίνες και τα συνδέει μεταξύ τους ώστε τελικά να δοθεί στην κυρίως ρουτίνα ο πίνακας κόστους.



Σχήμα 4.8: Ρουτίνα ανάθεσης

- Η ρουτίνα δέχεται σαν όρισμα τον πίνακα θέσεων.
- Αρχίζει η πρώτη επαναληπτική διαδικασία. Για κάθε μία γραμμή υπολογίζεται το διάνυσμα θέσεων. (Διαβάζει τον πρώτο τυχαίο ακέραιο και αποφασίζει πόσες συντεταγμένες θα διαβάσει)
- Η ρουτίνα υπολογισμού αποστάσεων δέχεται σαν όρισμα το διάνυσμα θέσεων, και υπολογίζει τον πίνακα αποστάσεων.
- Η ρουτίνα υπολογισμού της αντιστοίχισης δέχεται σαν όρισμα τον πίνακα αποστάσεων και επιστρέφει το διάνυσμα ανάθεσης.
- Αρχίζει η δεύτερη επαναληπτική διαδικασία. Για κάθε έναν Υ/Σ υπολογίζεται το διάνυσμα αντιστοίχισης, δηλαδή ποια έργα ΑΠΕ συνδέονται σε αυτόν τον Υ/Σ.
- Η συνάρτηση υπολογισμού κόστους δέχεται σαν όρισμα το διάνυσμα αντιστοίχισης και την θέση του Υ/Σ και επιστρέφει το κόστος. (Αν κάποιος Υ/Σ δεν χρησιμοποιείται το διάνυσμα αντιστοίχισης είναι κενό και επιστρέφει μηδενικό κόστος.
- Τερματίζει η δεύτερη επαναληπτική. Στο σημείο αυτό έχει δημιουργηθεί ένας πίνακας κόστους με διαστάσεις $[N \times K]$.
- Για κάθε σωματίδιο N αθροίζονται όλα τα κόστη.
- Τελικά έχει δημιουργηθεί το διάνυσμα κόστους το οποίο η ρουτίνα dokimastiki_anathesi.m επιστρέφει στην DemoPSObehavior.m .

4.5.3.5 ΡΟΥΤΙΝΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ



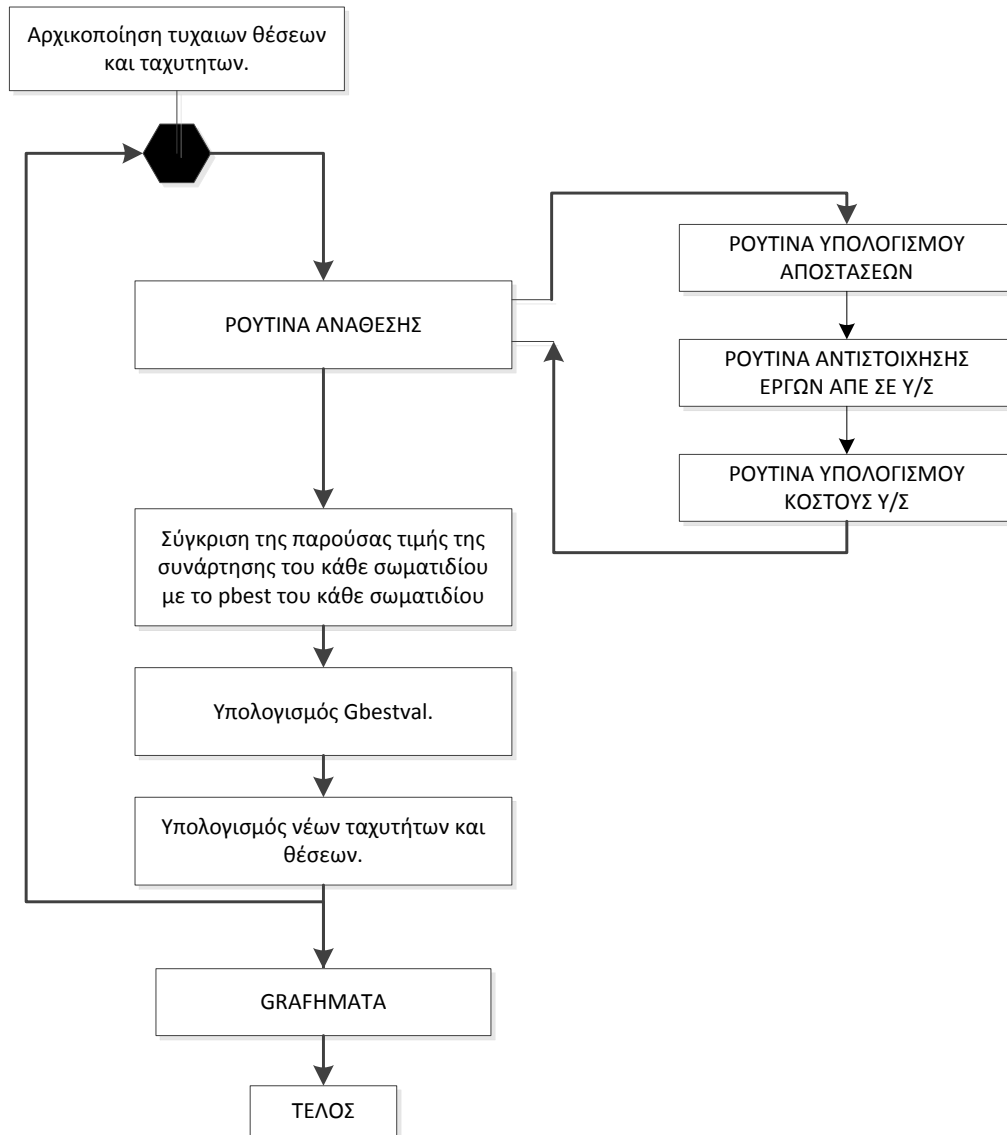
Σχήμα 4.9: Ρουτίνα υλοποίησης γραφημάτων

Η ρουτίνα γραφημάτων, δέχεται σαν όρισμα τις θέσεις των Υ/Σ και κατασκευάζεται κατάλληλο γράφημα στο οποίο φαίνονται οι θέσεις των Υ/Σ, οι γραμμές του υπάρχοντος δικτύου καθώς και οι νέες γραμμές Υ/Τ που κατασκευάζονται.

Επιπλέον εμφανίζει το συνολικό κόστος καθώς και το κόστος κάθε Υ/Σ. Η ρουτίνα `grafhmata.m` τρέχει μετά την εύρεση της βέλτιστης λύσης από τον αλγόριθμο, οπότε εμφανίζει τα αποτελέσματα μόνο της βέλτιστης λύσης.

4.6 ΣΥΝΟΨΗ ΤΗΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Η επίλυση του προβλήματος με τις ρουτίνες που κατασκευάστηκαν συνοψίζεται στο σχήμα 4.10:



Σχήμα 4.10: Αλγόριθμος PSO με ρουτίνες

Τα αρχεία εισόδου του αλγορίθμου της παραπάνω διαδικασίας είναι οι θέσεις των σταθμών ΑΠΕ, η ισχύς τους καθώς και οι θέσεις των υπαρχόντων γραμμών υψηλής τάσης.

Τέλος για την επιτυχή εφαρμογή του αλγορίθμου χρειάζεται κατάλληλη αρχικοποίηση των παραμέτρων της PSO.

5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

5.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΗΣ PSO

Στην προηγούμενη παράγραφο έγινε η περιγραφή των ρουτινών που θα χρησιμοποιηθούν για την επίλυση του προβλήματος βελτιστοποίησης. Ωστόσο για να τρέξει η βασική συνάρτηση της PSO πρέπει να οριστούν οι κατάλληλες παράμετροι. Αυτές είναι το μέγεθος σμήνους, ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων και οι διαστάσεις του προβλήματος.

Μέγεθος σμήνους:

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως στις παραμέτρους της PSO ένας σύνηθες αριθμός σωματιδίων είναι 50. Γι αυτό το λόγο το μέγεθος του σμήνους επιλέγεται 50 σωματίδια και στο συγκεκριμένο πρόβλημα.

Μέγιστος αριθμός επαναλήψεων:

Το κριτήριο τερματισμού που χρησιμοποιείται είναι ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων. Επιπλέον σε περίπτωση που η λύση δεν έχει μεταβληθεί για συγκεκριμένο αριθμό επαναλήψεων ο αλγόριθμος τερματίζει. Ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων ορίζεται στις 500 επαναλήψεις.

Διαστάσεις:

Σε προηγούμενη παράγραφο έγινε εκτενής αναφορά στις διαστάσεις του εξεταζόμενου προβλήματος. Οι διαστάσεις του προβλήματος που εξετάζεται ορίζονται στις 49. Δηλαδή ο πίνακας θέσεων των Y/Σ έχει 49 στήλες. Η πρώτη στήλη περιέχει τον τυχαίο ακέραιο αριθμό που αντιστοιχεί στο πλήθος των Y/Σ , οι υπόλοιπες 48 διαστάσεις αντιστοιχούν στις συντεταγμένες x και y των Y/Σ οι οποίοι θεωρήθηκαν κατά το μέγιστο 24.

5.2 ΑΡΧΕΙΑ ΕΙΣΟΔΟΥ

Τα αρχεία εισόδου περιέχουν τα δεδομένα τα οποία είναι απαραίτητα στην υλοποίηση του αλγορίθμου. Τα δεδομένα αυτά αφορούν τις θέσεις των νέων σταθμών ΑΠΕ για την Κρήτη, τις θέσεις των γραμμών μεταφοράς Υ/Τ του υπάρχοντος δικτύου μεταφοράς της Κρήτης, καθώς και τις θέσεις των υπαρχόντων Υ/Σ. Κάθε ένα από τα αρχεία εισόδου έχει συγκεκριμένη δομή ώστε να μπορούν να προσπελαστούν τα δεδομένα τους από τις ρουτίνες. Η δομή των αρχείων περιγράφεται στη συνέχεια ενώ τα δεδομένα των αρχείων παρατίθενται στο παράρτημα της εργασίας.

Θέσεις νέων έργων ΑΠΕ:

Τα δεδομένα των νέων σταθμών ΑΠΕ αντλήθηκαν από το site της ΡΑΕ. Από τα δεδομένα της ΡΑΕ επιλέχθηκαν αυτά τα έργα των οποίων η συνολική αποδιδόμενη ισχύς βρίσκεται εντός του διαστήματος [10,100] MW. Επιπλέον οι άδειες παραγωγής των έργων που επιλέχθηκαν, έχουν γίνει δεκτές ή είναι σε αξιολόγηση.

Η δομή του αντίστοιχου αρχείου φαίνεται παρακάτω (Πίνακας 5.1):

X	Y	KW	MW	ΤΥΠΟΣ
705399	3905635	74000	74	AIOLIKA
482012	3913123	15000	15	ISLANDS_HYBRID
696763,3	3883349	52000	52	SOLAR_GEO

Πίνακας 5.1: Δομή αρχείου δεδομένων σταθμών ΑΠΕ

Οι πρώτες δύο στήλες περιέχουν τις συντεταγμένες X και Y των νέων έργων ΑΠΕ σύμφωνα με το γεωπληροφοριακό σύστημα της ΡΑΕ. Στην επόμενη στήλη φαίνεται η αποδιδόμενη ισχύς των έργων αυτών σε KW. Στην τέταρτη στήλη αναφέρεται το είδος του έργου.

Τα δεδομένα των τριών πρώτων στηλών διαβάζονται από την ρουτίνα της PSO .

Γραμμές Μεταφοράς υψηλής Τάσης και Υπάρχοντες Υ/Σ:

Για την σύνδεση των Υ/Σ με το υπάρχον δίκτυο, είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε την θέση των γραμμών Υψηλής Τάσης, και των υποσταθμών του υπάρχοντος δικτύου

μεταφοράς της Κρήτης. Τα δεδομένα αυτά αντλήθηκαν από το site του ΑΔΜΗΕ και καταχωρήθηκαν στα αντίστοιχα αρχεία. [20]

Αρχείο Γραμμών Υψηλής Τάσης

X1	Y1	X2	Y2	ΓΡΑΜΜΗ
500984	3923977	487776	3923977	xania- kisamos
487776	3923977	487776	3921379	
487776	3921379	486400	3920761	
487776	3923977	467591	3923977	
467591	3923977	464337	3920946	

Πίνακας 5.2: Δομή Αρχείου γραμμών Υ/T

Η μορφή του αρχείου με τις θέσεις των γραμμών φαίνεται στον πίνακα 5.2. Κάθε μία γραμμή του πίνακα αναπαριστά μία ευθεία. Τα (x_1, y_1) και (x_2, y_2) αποτελούν το αρχικό και τελικό σημείο της ευθείας, αντίστοιχα. Το σύνολο των ευθειών αναπαριστά την υπάρχουσα γραμμή υψηλής τάσης ΧΑΝΙΑ-ΚΙΣΣΑΜΟΣ.

Αρχείο Υπαρχόντων Υ/Σ

X	Y	ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ
464337	3920946	kissamos
481912	3920521	agia
500914	3923977	xania

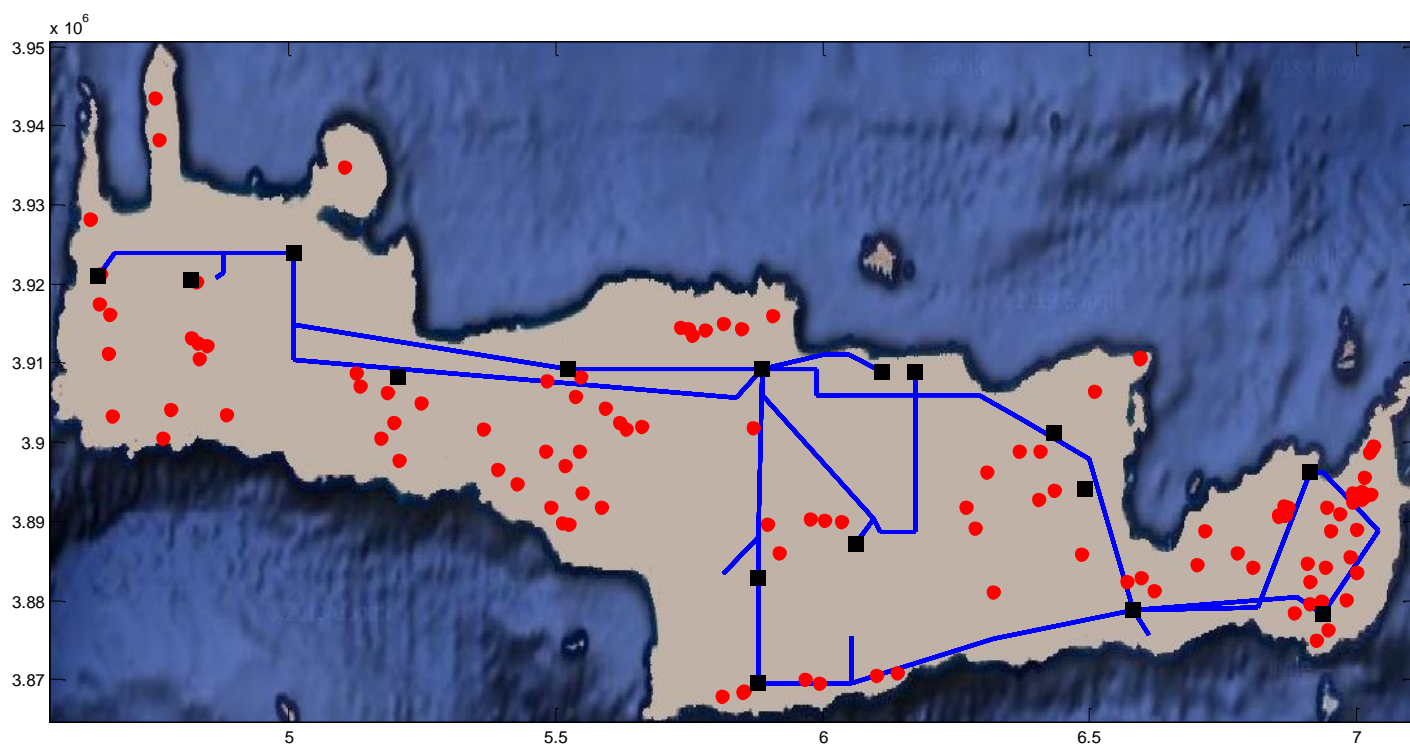
Πίνακας 5.3: Δομή Αρχείου θέσεων υπαρχόντων Υ/Σ

Η μορφή του αρχείου με τις θέσεις των υπαρχόντων Υ/Σ φαίνεται στον πίνακα 5.3. Τα (x, y) είναι οι συντεταγμένες των Υ/Σ. Στην Τρίτη στήλη αναφέρεται η τοποθεσία της.

Τα παραπάνω δεδομένα των τριών αρχείων αναπαρίστανται γραφικά στο σχήμα 5.1.

- Με μπλε χρώμα παρουσιάζονται οι υπάρχουσες γραμμές Υ/T.
- Με μαύρο χρώμα οι Υπάρχοντες Υ/Σ του δικτύου μεταφοράς.
- Με κόκκινο χρώμα τα νέα έργα ΑΠΕ.

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι θέσεις των γραμμών και των Υ/Σ είναι προσεγγιστικές καθώς δεν βρέθηκαν ακριβή δεδομένα. Αυτό δεν βλάπτει όμως τη γενικότητα της συγκεκριμένης εφαρμογής.

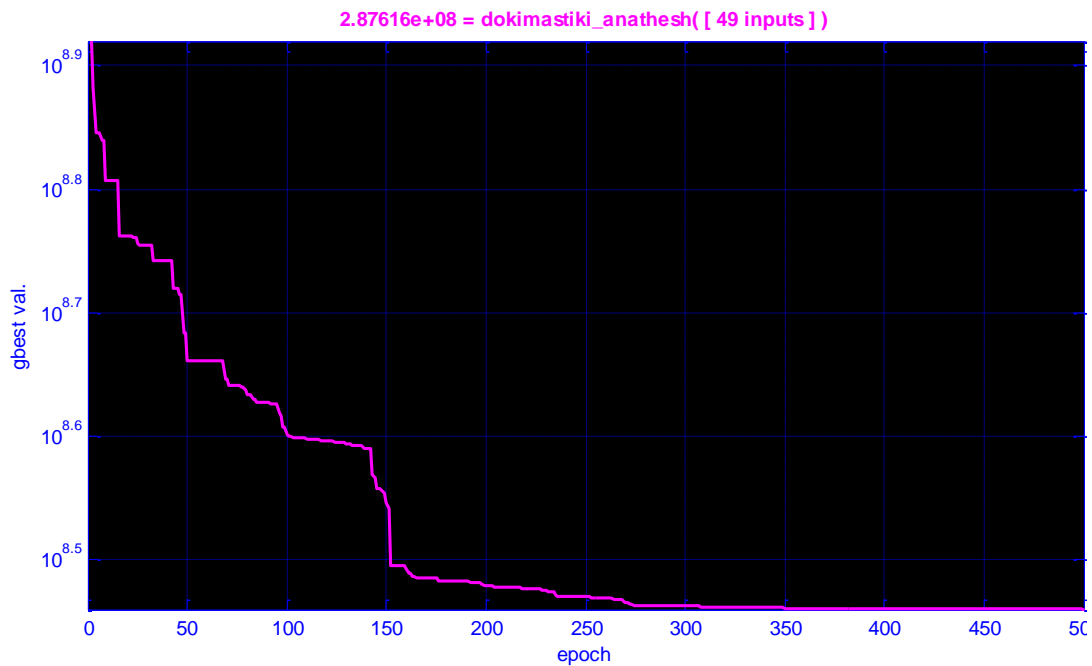


Σχήμα 5.1: Γραμμές δικτύου και Υπάρχοντες Υ/Σ

5.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του αλγορίθμου, όπως αυτά προκύπτουν για τις προηγούμενες τιμές των παραμέτρων της PSO και για τα δεδομένα των αρχείων εισόδου.

Αρχικά, στο σχήμα 5.2 φαίνεται η διαδικασία σύγκλισης του αλγορίθμου.



Σχήμα 5.2 Διαδικασία του αλγορίθμου

Στο γράφημα φαίνεται το κόστος σύνδεσης συναρτήσει των επαναλήψεων. Το κόστος σύνδεσης αφορά την gbestval, δηλαδή την καλύτερη λύση που έχει βρεθεί σε κάθε επανάληψη.

Η ελαχιστοποίηση του κόστους είναι φανερή από την πορεία του γραφήματος. Τελικά ο αλγόριθμος τερματίζει στην επανάληψη 500 με κόστος περίπου 287.000.000€.

Το κόστος αυτό αφορά το συνολικό κόστος σύνδεσης όλων των Υ/Σ ΑΠΕ και αναλύεται στην συνέχεια.

Υ/Σ	Χ	Υ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΡΓΩΝ	ΕΡΓΑ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΙΣΧΥΣ (MW)	ΚΟΣΤΟΣ(€)
1	472982,547	3909337,038	10	30,52,83,92,98,105,106,107,109,122	247,3	17.600.938,55
2	555216,0655	3889089,343	5	19,20,21,36,65	194,1	14.497.226,63
3	666035,5039	3885233,039	5	12,22,80,88,110	144,1	10.050.629,38
4	700758,8166	3886083,615	5	9,29,68,89,101	146,2	8.017.946,44
5	510444,2882	3909807,83	4	16,35,37,91	130,1	7.767.430,58
6	612711,6783	3888619,355	6	23,24,27,76,99,132	195	15.182.048,83
7	638835,2893	3900937,051	7	45,55,56,57,44,118,119	248,7	13.470.932,22
8	691778,3941	3879309,738	8	61,64,69,77,78,81,126,131	236,9	12.406.775,41
9	561986,6331	3903403,429	7	32,58,59,66,70,96,136	225,4	13.496.800,46
10	524633,1485	3905259,122	9	13,26,33,44,53,103,115,116,127	237,4	16.905.925,99
12	648261,4906	3889966,231	5	50,54,67,75,111	145,5	10.226.097,23
13	495588,9531	3915924,897	1	38	34,5	5.445.818,19
14	587102,3134	3875582,048	9	6,7,39,86,95,97,100,120,135	229,95	17.279.984,43
15	692731,8097	3895915,861	7	2,4,43,48,79,102,104	244	17.240.609,87
16	620247,9291	3906043,114	2	14,13	68	4.203.751,23
17	549817,0447	3905509,181	7	11,18,28,40,49,62,71	247,1	14.869.474,56
18	549009,5988	3910372,882	4	34,133,134,137	199	10.437.223,97
19	648669,0483	3907979,594	1	3	68	5.452.238,86
20	676955,6779	3887485,971	8	47,72,108,112,113,117,121,123	215,2	13.405.458,21
21	467003,8387	3912748,945	9	31,63,73,84,85,90,93,124,125	218,5	19.216.844,63
22	581441,2133	3909237,543	6	15,41,42,60,82,87	184	11.563.257,83
23	613525,4718	3882547,797	5	8,10,46,74,128	192,2	16.385.125,62
24	697052,0734	3885419,248	6	5,17,25,51,94,129	247,1	12.479.738,12

Πίνακας 5.4: Στοιχεία Βέλτιστης λύσης

Τα αποτελέσματα και οι πληροφορίες σύνδεσης εκτυπώνονται σε 3 αρχεία εξόδου (kostos.xls, theseis.xls, anathesh.xls). Τα τρία αυτά αρχεία επεξεργάζονται κατάλληλα για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

Τα αποτελέσματα δίνονται στον πίνακα 5.4 και αναλύονται στην συνέχεια.

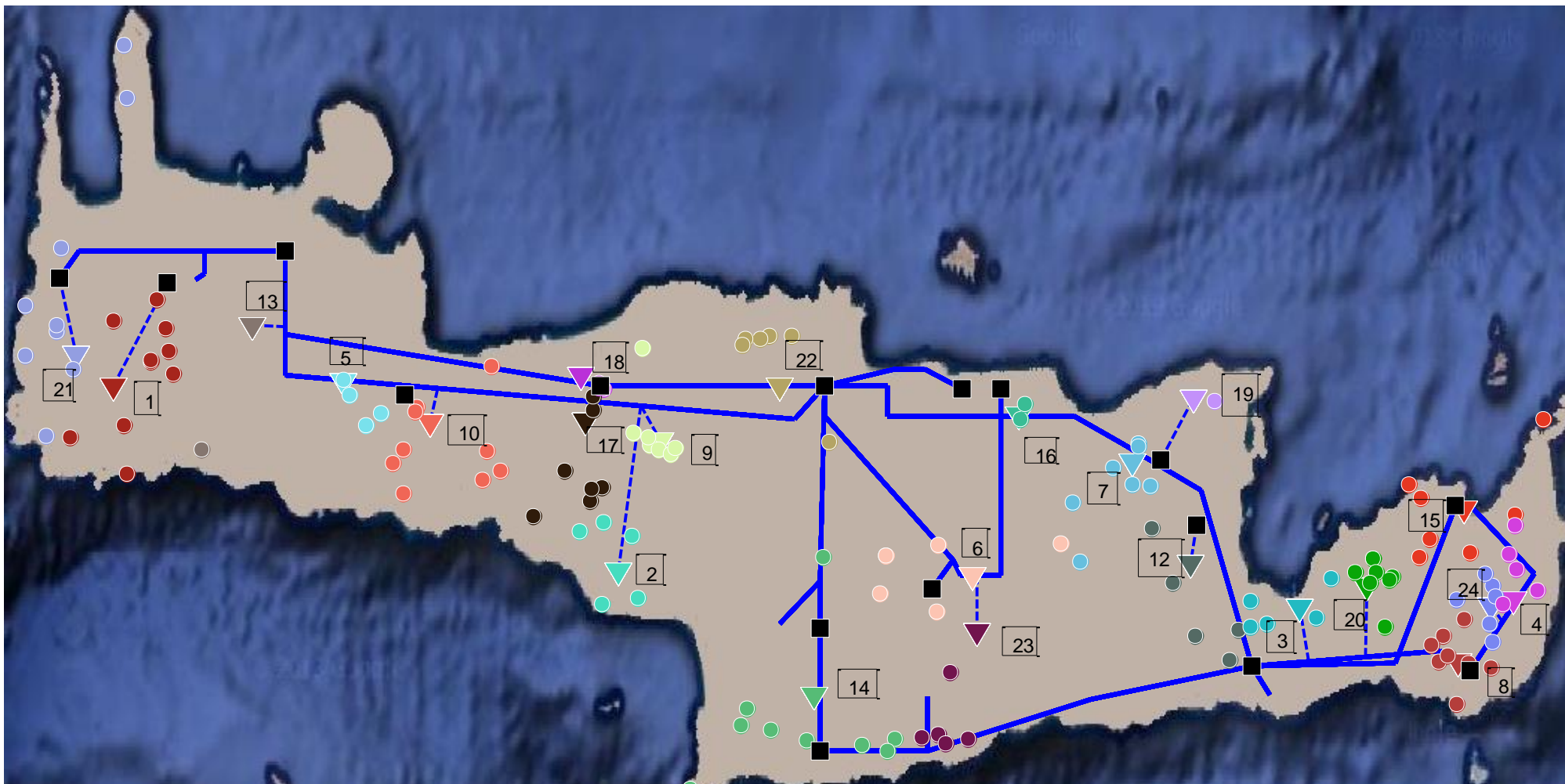
Συνολικά κατασκευάζονται 23 Υ/Σ. Χ και Υ είναι οι συντεταγμένες των βέλτιστων θέσεων των Υ/Σ. Στην τρίτη και τέταρτη στήλη φαίνονται ο αριθμός και ποια νέα έργα συνδέονται στον κάθε Υ/Σ. Στον Υ/Σ 11 δεν συνδέονται σταθμοί ΑΠΕ και για αυτό δεν φαίνεται στο πίνακα.

Στην 5^η στήλη βλέπουμε την συνολική ισχύ που εισέρχεται στον κάθε Υ/Σ βάσει της ανάθεσης των σταθμών ΑΠΕ σε Υ/Σ. Τέλος στην τελευταία στήλη βλέπουμε πως διαμορφώνεται το κόστος για κάθε Υ/Σ ξεχωριστά.

Είναι προφανές, ότι οι Υ/Σ οι οποίοι δέχονται μεγαλύτερη ισχύ έχουν και μεγαλύτερο κόστος από άλλους που δέχονται μικρότερη ισχύ. Το γεγονός αυτό είναι απόλυτα λογικό γιατί το κόστος των δομικών στοιχείων ενός Υ/Σ καθώς και το κόστος γραμμών μέσης τάσης είναι ανάλογο της ισχύος που δέχεται ένας Υ/Σ.

Στο σχήμα 5.3 απεικονίζεται η βέλτιστη λύση που περιγράφηκε προηγουμένως. Τα τρίγωνα αναπαριστούν του νέους Υ/Σ. Χρησιμοποιείται διαφορετικό χρώμα για να γίνει κατανοητή η ομαδοποίηση που περιγράφηκε στον πίνακα 5.4. Με διακεκομμένες γραμμές φαίνονται οι νέες γραμμές Υ/Τ.

Επιπλέον έχουν αριθμηθεί οι Υ/Σ του σχήματος ώστε να γίνονται πιο κατανοητά τα αποτελέσματα του πίνακα 5.4.



Σχήμα 5.3: Απεικόνιση βέλτιστης λύσης.

5.4 ΣΥΝΟΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη διασύνδεσης νέων έργων ΑΠΕ με το υπάρχον δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Βασική προϋπόθεση για την διεκπεραίωση της μελέτης ήταν ο προσδιορισμός του τρόπου σύνδεσης νέων έργων ΑΠΕ με το δίκτυο μεταφοράς. Ο τρόπος σύνδεσης τους πρέπει να υπακούει σε διάφορους κανόνες και περιορισμούς. Σκοπός της εργασίας ήταν η εύρεση των βέλτιστων θέσεων και αριθμού των Υ/Σ αυτών ώστε να ελαχιστοποιηθεί το κόστος σύνδεσης.

Στο κεφάλαιο 3 το εξεταζόμενο πρόβλημα μοντελοποιείται. Προσδιορίζονται οι βασικότεροι τεχνικοί περιορισμοί και γίνεται αποτίμηση του κόστους σύνδεσης. Εφόσον το πρόβλημα έχει πλέον μοντελοποιηθεί εξετάζεται ο τρόπος επίλυσής του. Η επίλυση πραγματοποιείται με χρήση ευρετικών αλγορίθμων, και συγκεκριμένα με την μέθοδο βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων (PSO).

Η χρήση του αλγορίθμου της PSO προϋποθέτει την κατασκευή κατάλληλων ρουτίνων για την αποτύπωση του εξεταζόμενου προβλήματος. Οι ρουτίνες που κατασκευάστηκαν σε προγραμματιστικό περιβάλλον MATLAB, περιγράφηκαν εκτενώς στο κεφάλαιο 4.

Η προτεινόμενη μέθοδος εφαρμόστηκε στο σύστημα της Κρήτης. Τα αποτελέσματα παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 5.3 Η χρήση της μεθοδολογία σμήνους σωματιδίων μας δίνει την βέλτιστη θέση και αριθμό των Υ/Σ. Επίσης αποτυπώνεται γραφικά η προτεινόμενη λύση και αποτιμάται επίσης ποσοτικά.

Όσον αφορά την λύση που έδωσε ο αλγόριθμος, θα μπορούσαμε να σχολιάσουμε την τελική θέση και τον τελικό αριθμό των Υ/Σ. Από το σχήμα 5.3 βλέπουμε ότι οι Υ/Σ τείνουν να πλησιάζουν τις γραμμές Υ/Τ ώστε να μειώνεται το κόστος γραμμών Υ/Τ. Επιπλέον σε περίπτωση σύνδεσης πολλών έργων με έναν Υ/Σ, οι Υ/Σ τοποθετούνται σε μία μέση απόσταση από τα έργα ώστε να μειωθεί το μήκος των γραμμών Μ/Τ.

Αναφορικά με την ποιότητα των λύσεων, πρέπει να επισημανθεί ότι αυτές δεν ανταποκρίνονται πλήρως στην πραγματικότητα. Παρόλο που έχουμε μία αρκετά σαφή εικόνα της διασύνδεσης των έργων ΑΠΕ, υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί οι οποίοι μπορούν να τροποποιήσουν την λύση αυτή. Για παράδειγμα δεν έχουν αποτυπωθεί στο πρόβλημα περιοχές στις οποίες δεν μπορούν να κατασκευαστούν

Υ/Σ λόγω της μορφολογίας του εδάφους ή λόγω προστατευόμενων περιοχών. Επιπλέον το πρόβλημα λύθηκε σε διασδιάστατο επίπεδο, οπότε τα μήκη των γραμμών Υ/Τ και Μ/Τ αφορούν ευκλείδειες αποστάσεις από ένα σημείο σε ένα άλλο. Είναι προφανές ότι τα μήκη των γραμμών μεταβάλλονται αν συνιπολογιστούν και οι διάφορες υψομετρικές διαφορές από ένα σημείο σε ένα άλλο. Άμεση συνέπεια τούτου είναι και η μεταβολή του κόστους.

Οι περιορισμοί αυτοί μπορούν να αποτελέσουν επέκταση της παρούσας εργασίας, ώστε τα αποτελέσματα που θα μας δώσει ο αλγόριθμος επίλυσης να πλησιάζουν ακόμη περισσότερο στην πραγματικότητα.

Βιβλιογραφία

- [1]Γαβριήλ Β. Γιαννακόπουλος, Νικόλαος Α. Βοβός. *Εισαγωγή στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας*. Θεσσαλονίκη: Ζήτη 2008.
- [2]Βουρνάς Κων/νος., Κονταξής Γεώργιος. *Εισαγωγή στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας*. Αθήνα: Συμμετρία 2010.
- [3]Ρυθμιστική αρχή ενέργειας (ΡΑΕ). *Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας*. Ανάκτηση Από:
[http://www.rae.gr/site/categories_new/consumers/know_about/electricity/producti
on.csp](http://www.rae.gr/site/categories_new/consumers/know_about/electricity/producti
on.csp)
- [4]Παπαιωάννου Γρηγόριος. *Βέλτιστος προγραμματισμός λειτουργίας θερμικών μονάδων παραγωγής με ελαχιστοποίηση κόστους λειτουργίας και παραγόμενων ρύπων*. Διπλωματική εργασία. Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης 2014. Ανάκτηση Από:
<http://dias.library.tuc.gr/view/17231>.
- [5]Ρυθμιστική αρχή ενέργειας (ΡΑΕ). *Το ιστορικό ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα*. Ανάκτηση Από:
[http://www.rae.gr/site/categories_new/consumers/know_about/electricity/history.c
sp](http://www.rae.gr/site/categories_new/consumers/know_about/electricity/history.c
sp)
- [6]Ρυθμιστική αρχή ενέργειας (ΡΑΕ). *Μεταφορά και Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας*. Ανάκτηση Από:
[http://www.rae.gr/site/categories_new/consumers/know_about/electricity/distributi
on.csp](http://www.rae.gr/site/categories_new/consumers/know_about/electricity/distributi
on.csp)
- [7]Ρυθμιστική αρχή ενέργειας (ΡΑΕ). *Η οργάνωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα μας*. Ανάκτηση Από:
[http://www.rae.gr/site/categories_new/consumers/know_about/electricity/market.c
sp](http://www.rae.gr/site/categories_new/consumers/know_about/electricity/market.c
sp)

- [8] Διαχειριστής του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ). *Βασικά μεγέθη του δικτύου ηλεκτρισμού*.
Ανάκτηση Από: <http://www.deddie.gr/el/to-diktuo-ilektrismou/vasika-megethi-tou-diktuou-ilektrismou>
- [9] Ανάκτηση Από: <http://poseidon.library.tuc.gr/artemis/MT2008-0089/MT2008-0089.pdf>
- [10] Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ). *Περιγραφή Συστήματος Μεταφοράς*. Ανάκτηση Από:
<http://www.admie.gr/to-systima-metaforas/dedomena-stoicheia-systimatos/perigrafi-systimatos-metaforas/>
- [11] Ιωάννης Κ. Κάλδέλλης. *Διαχείριση αιολικής ενέργειας*. Αθήνα: Σταμούλης Α.Ε 2005
- [12] Τσούτσος Θ., Κανάκης Ι. *Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας*. Παπασωτηρίου 2013.
- [13] Κατερινοπούλου Α., Κατσέλου Χ. *Δείκτες αξιοπιστίας λειτουργίας των Υποσταθμών του συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας*. Διπλωματική Εργασία. 2004. Ανάκτηση Από:
<http://artemis-new.cslab.ece.ntua.gr:8080/jspui/bitstream/123456789/3707/1/DT2004-0226.doc>
- [14] Γκόγκος Χ. *Αλγόριθμοι συνδυαστικής βελτιστοποίησης με εμφαση σε μεταερευτικές τεχνικές*. Διδακτορική Διατριβή. 2009. Ανάκτηση Από:
<http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/handle/10889/2524>
- [15] Παλαιογιάννης Φ. *Μεθοδολογία Βελτιστοποίησης Σμήνους Σωματιδίων Για Την Εύρεση Της Βέλτιστης Θέσης Και Των Βέλτιστων Ρυθμίσεων Ευέλικτων Συστημάτων Μεταφοράς*. Διπλωματική εργασία. 2012. Ανάκτηση Από:
<http://artemis-new.cslab.ece.ntua.gr:8080/jspui/handle/123456789/5364?mode=full>
- [16] Aleksandar Laziniva. *Paricle swarm optimization* . Επιστημονικό Άρθρο.
Ανάκτηση Από:
<http://personnel.sju.edu.tw/%E6%94%B9%E5%96%84%E5%B8%AB%E8%B3%>

[87%E7%A0%94%E7%A9%B6%E6%88%90%E6%9E%9C/98%E5%B9%B4%E5%BA%A6/%E8%91%97%E4%BD%9C/86.pdf](ftp://emci.udg.edu/amade/mms/OME/treballs/articles_PSO/Particle-swarm-optimization-SI-Vol-1.pdf)

- [17] Riccardo Poli, James Kennedy, Tim Blackwell. *Particle swarm optimization An overview*. Επιστημονικό Άρθρο. Ανάκτηση Από: ftp://emci.udg.edu/amade/mms/OME/treballs/articles_PSO/Particle-swarm-optimization-SI-Vol-1.pdf
- [18] Κανέλλος Φ. (2012). *Παρουσιάσεις Μαθήματος Ηλεκτρική Οικονομία*. Χανιά: Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης.
- [19] European Environment Agency. Ανάκτηση Από: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/atmospheric-greenhouse-gas-concentrations-2/assessment-1>
- [20] Ρυθμιστική αρχή ενέργειας (ΡΑΕ). *Γεωπληροφοριακός χάρτης* . Ανάκτηση Από: <http://www.rae.gr/geo/>
- [21] Ρυθμιστική αρχή ενέργειας (ΡΑΕ). *Κοστολόγηση στοιχείων δικτύου*.

Παράρτημα

Αρχείο εισόδου έργων ΑΠΕ:

Χ	Υ	KW	MW	ΤΥΠΟΣ
705399	3905635	74000	74	ΑΙΟΛΙΚΑ
652026	3907530	68000	68	ΑΙΟΛΙΚΑ
685661,13	3897118,44	66000	66	ΑΙΟΛΙΚΑ
697243	3887471	62000	62	ΑΙΟΛΙΚΑ
579862	3871846	52000	52	ΑΙΟΛΙΚΑ
585777	3870662	52000	52	ΑΙΟΛΙΚΑ
607106	3871309	52000	52	ΑΙΟΛΙΚΑ
704623	3886941	52000	52	ΑΙΟΛΙΚΑ
604411	3871102	52000	52	ΑΙΟΛΙΚΑ
551118,3639	3906663,917	48000	48	ΑΙΟΛΙΚΑ
671066	3888395	48000	48	ΑΙΟΛΙΚΑ
520227	3897620	48000	48	ΑΙΟΛΙΚΑ
620627,5865	3905650,529	48000	48	ΑΙΟΛΙΚΑ
589306	3903223	46000	46	ΑΙΟΛΙΚΑ
516591	3906214	45000	45	ΑΙΟΛΙΚΑ
697209	3881357	45000	45	ΑΙΟΛΙΚΑ
550498	3896653	44000	44	ΑΙΟΛΙΚΑ
548741	3893364	44000	44	ΑΙΟΛΙΚΑ
552617	3885481	44000	44	ΑΙΟΛΙΚΑ
558374	3886230	44000	44	ΑΙΟΛΙΚΑ
668666	3884039	42000	42	ΑΙΟΛΙΚΑ
627016	3892136	42000	42	ΑΙΟΛΙΚΑ
598658	3890774	42000	42	ΑΙΟΛΙΚΑ
696053	3888852	42000	42	ΑΙΟΛΙΚΑ
520287,27	3902411,2	41400	41,4	ΑΙΟΛΙΚΑ
597588,8878	3886654,485	39000	39	ΑΙΟΛΙΚΑ
546328	3900025	39000	39	ΑΙΟΛΙΚΑ
701144	3889339	39000	39	ΑΙΟΛΙΚΑ
474868	3904949	39000	39	ΑΙΟΛΙΚΑ
463895	3915118	39000	39	ΑΙΟΛΙΚΑ
560207	3902834	36000	36	ΑΙΟΛΙΚΑ
533678	3902158	36000	36	ΑΙΟΛΙΚΑ
552763	3909002	36000	36	ΑΙΟΛΙΚΑ
510531	3909987	34500	34,5	ΑΙΟΛΙΚΑ
552829	3894405	34500	34,5	ΑΙΟΛΙΚΑ
511495	3908208	34500	34,5	ΑΙΟΛΙΚΑ
487304	3902277	34500	34,5	ΑΙΟΛΙΚΑ
594764	3870265	34500	34,5	ΑΙΟΛΙΚΑ
552596	3898269	34500	34,5	ΑΙΟΛΙΚΑ
579814	3914660	34500	34,5	ΑΙΟΛΙΚΑ
583283	3914703	34500	34,5	ΑΙΟΛΙΚΑ
700819	3895306	33000	33	ΑΙΟΛΙΚΑ
518411	3900816	33000	33	ΑΙΟΛΙΚΑ
630225	3890061	33000	33	ΑΙΟΛΙΚΑ
608256	3870370	32200	32,2	ΑΙΟΛΙΚΑ
680971,23	3888506,05	32200	32,2	ΑΙΟΛΙΚΑ
683616,0105	3898490,082	30000	30	ΑΙΟΛΙΚΑ

Σχεδιασμός Ανάπτυξης δικτύου Διασύνδεσης νέων έργων ΑΠΕ με το Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας
με χρήση Ευρετικών Αλγορίθμων

551059	3908059	30000	30	AIOLIKA
645309	3887862	30000	30	AIOLIKA
697703	3886320	30000	30	AIOLIKA
475239	3899769	30000	30	AIOLIKA
534643	3911336	30000	30	AIOLIKA
648950,31	3882069,33	29900	29,9	AIOLIKA
641568	3898384	29900	29,9	AIOLIKA
629107	3896597	29900	29,9	AIOLIKA
638761	3898570	29900	29,9	AIOLIKA
561793	3902296	29900	29,9	AIOLIKA
563672	3901878	29900	29,9	AIOLIKA
578353	3914398	29900	29,9	AIOLIKA
688596,09	3879233,26	27600	27,6	AIOLIKA
550711	3897980	27600	27,6	AIOLIKA
474792	3946305	27600	27,6	AIOLIKA
689364	3882083	27600	27,6	AIOLIKA
557325	3892887	27600	27,6	AIOLIKA
564462	3902570	27600	27,6	AIOLIKA
641929	3893730	27600	27,6	AIOLIKA
698990	3885461	27000	27	AIOLIKA
687282	3880996	27000	27	AIOLIKA
557670	3904222	27000	27	AIOLIKA
541397	3895110	24000	24	AIOLIKA
679859	3883084	24000	24	AIOLIKA
464654	3924323	24000	24	AIOLIKA
612000	3870849	23000	23	AIOLIKA
655864	3882777	23000	23	AIOLIKA
598658	3890774	21000	21	AIOLIKA
689883	3880002	21000	21	AIOLIKA
691371	3874600	21000	21	AIOLIKA
693690	3891075	21000	21	AIOLIKA
657977	3885793	20700	20,7	AIOLIKA
692558	3883942	20700	20,7	AIOLIKA
575872,721	3914344,138	20700	20,7	AIOLIKA
465970	3903612	20700	20,7	AIOLIKA
466578,9996	3911038,999	20700	20,7	AIOLIKA
475306	3940518	20000	20	AIOLIKA
600155	3870887	18400	18,4	AIOLIKA
575258,937	3913689,948	18400	18,4	AIOLIKA
660632	3883346	18400	18,4	AIOLIKA
700035	3890982	18000	18	AIOLIKA
458711	3917985	16100	16,1	AIOLIKA
514144	3905022	16100	16,1	AIOLIKA
473010	3916268	16100	16,1	AIOLIKA
462136	3903805	16100	16,1	AIOLIKA
691370,9995	3885964,999	16100	16,1	AIOLIKA
574995,55	3872268,25	16100	16,1	AIOLIKA
559997	3903717	15000	15	AIOLIKA
588371	3890567	14450	14,45	AIOLIKA
482798,67	3910533,38	11500	11,5	AIOLIKA
607157	3891900	11500	11,5	AIOLIKA
598925,9996	3869497,999	11500	11,5	AIOLIKA
700828,26	3894159,91	10200	10,2	AIOLIKA
686977	3892570	10000	10	AIOLIKA
535969,9996	3900096,999	10000	10	AIOLIKA

Σχεδιασμός Ανάπτυξης δικτύου Διασύνδεσης νέων έργων ΑΠΕ με το Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας με χρήση Ευρετικών Αλγορίθμων

685422	3890620	10000	10	AIOLIKA
482012	3913123	15000	15	ISLANDS_HYBRID
481671	3915596	12000	12	ISLANDS_HYBRID
479255	3911926	75000	75	ISLANDS_HYBRID
680435,9995	3888134,999	75000	75	ISLANDS_HYBRID
480175	3918586	12000	12	ISLANDS_HYBRID
657852	3883097	15000	15	ISLANDS_HYBRID
654569	3879429	35000	35	ISLANDS_HYBRID
677804	3890491	30000	30	ISLANDS_HYBRID
677805	3890492	12000	12	ISLANDS_HYBRID
635670,9128	3900346,565	50000	50	ISLANDS_HYBRID
522426,5697	3906872,475	12000	12	ISLANDS_HYBRID
522040	3906421	12000	12	ISLANDS_HYBRID
678346	3889064	10000	10	ISLANDS_HYBRID
639614	3902973	38000	38	ISLANDS_HYBRID
639580,2352	3902623,045	38000	38	ISLANDS_HYBRID
566739,2747	3865347,036	16000	16	ISLANDS_HYBRID
677437,1614	3887891,208	16000	16	ISLANDS_HYBRID
479227,3688	3912092,164	16000	16	ISLANDS_HYBRID
674992,3101	3889067,877	16000	16	ISLANDS_HYBRID
458768,1615	3912472,421	16000	16	ISLANDS_HYBRID
463945	3915901	39000	39	ISLANDS_HYBRID
697056,9995	3878572,999	42000	42	ISLANDS_HYBRID
533181,3291	3899086,696	15000	15	ISLANDS_HYBRID
608985,7782	3878148,694	33000	33	ISLANDS_HYBRID
696763,34	3883349,16	52000	52	SOLAR_GEO
621189,889	3907338,662	20000	20	SOLAR_GEO
693465	3879093	50000	50	SOLAR_GEO
606833,7124	3884742,481	39500	39,5	SOLAR_GEO
552037,073	3909537,316	70000	70	SOLAR_GEO
552070,1422	3909087,528	33000	33	SOLAR_GEO
575958,98	3874084,184	15000	15	SOLAR_GEO
559080,03	3913324,1	60000	60	SOLAR_GEO
552070,1422	3909087,528	60000	60	SOLAR_GEO

Αρχείο εισόδου Γραμμών Υψηλής Τάσης:

X1	Y1	X2	Y2	ΓΡΑΜΜΗ
500984	3923977	487776	3923977	xania-kisamos
487776	3923977	487776	3921379	
487776	3921379	486400	3920761	
487776	3923977	467591	3923977	
467591	3923977	464337	3920946	
500914	3923977	500914	3914794	xania-rethimno- linoperamata
500914	3914794	500914	3910446	
500914	3914794	552285	3909231	
552285	3909231	588746	3909231	
500914	3910446	583774	3905616	
583774	3905616	588746	3909231	linoperamata moires
588746	3909231	587942	3887985	
587942	3887985	581347	3883437	
587942	3887985	587942	3869571	linoperamata-hrakleio1
588746	3909231	600000	3911000	
600000	3911000	605000	3911000	
605000	3911000	611000	3908928	linoperamata- hrakleio3-hrakleio2
588746	3909231	588746	3906033	
588746	3906033	609567	3890227	
609567	3890227	606221	3887184	
609567	3890227	610710	3888608	
610710	3888608	617433	3888608	linoperamata-ierapetra
617433	3888608	617433	3908928	
588746	3909231	598956	3909231	
598956	3909231	598956	3906033	
598956	3906033	603344	3906033	
598956	3906033	629351	3906033	
629351	3906033	637085	3902974	
637085	3902974	649914	3897952	ierapetra-this
649914	3897952	658251	3878779	
658251	3878779	661062	3875709	
658251	3878779	688795	3880485	ierapetra-shteia
688795	3880485	693728	3878343	
658251	3878779	681555	3879090	
681555	3879090	691097	3896114	shteia-this
691097	3896114	693598	3896187	
693598	3896187	704149	3888798	
704149	3888798	693728	3878343	moires-ierapetra
587942	3869571	605470	3869571	
605470	3869571	605470	3875508	
605470	3869571	631992	3875116	
631992	3875116	658251	3878779	

Αρχείο εισόδου Θέσεων Υπαρχόντων Υ/Σ:

X	Y	ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ
464337	3920946	kissamos
481912	3920521	agia
500914	3923977	xania
552285	3909231	rethumno
588746	3909231	linoperamata
587942	3869571	moires
611000	3908928	hrakleio1
617433	3908928	hrakleio2
606221	3887184	hrakleio3
658251	3878779	ierapetra
693728	3878343	this
691097	3896187	shteia
520338	3908243	vroutses
587942	3882818	ag.varvara
649166	3894018	ag.nikolaos
643299	3901142	stalida