

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΤΜΗΜΑ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗ

ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ : «ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ Α.Π.Ε.: ΜΕΛΕΤΗ
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ
ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΤΡΟΦΟΔΟΤΟΥΝΕΝΗΣ ΑΠΟ
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΚΑΙ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ».**



**ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ : ΤΣΑΚΩΝΑΣ ΧΡΗΣΤΟΣ
ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ : ΒΙΚΤΩΡΙΑ ΠΕΚΚΑ**

ΠΕΙΡΑΙΑΣ 2014

«Δηλώνω υπεύθυνα ότι η διπλωματική εργασία για τη λήψη του μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών, του Πανεπιστημίου Πειραιώς, στη Διοίκηση Επιχειρήσεων: MBA» με τίτλο **“ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ Α.Π.Ε.: ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΤΡΟΦΟΔΟΤΟΥΝΕΝΗΣ ΑΠΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΚΑΙ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ”** έχει συγγραφεί από εμένα αποκλειστικά και στο σύνολό της. Δεν έχει υποβληθεί ούτε έχει εγκριθεί στο πλαίσιο κάποιου άλλου μεταπτυχιακού προγράμματος ή προπτυχιακού τίτλου σπουδών, στην Ελλάδα ή στο εξωτερικό, ούτε είναι εργασία ή τμήμα εργασίας ακαδημαϊκού ή επαγγελματικού χαρακτήρα.

Δηλώνω επίσης υπεύθυνα ότι οι πηγές στις οποίες ανέτρεξα για την εκπόνηση της συγκεκριμένης εργασίας, αναφέρονται στο σύνολό τους, κάνοντας πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Υπογραφή Μεταπτυχιακού Φοιτητή.....

Όνοματεπώνυμο.....

Ημερομηνία.....

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένεια μου που με στήριξε σε όλη τη διάρκεια του συγκεκριμένου έργου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εξάντληση των ορυκτών καυσίμων και το ενδεχόμενο ενεργειακό αδιέξοδο σε συνδυασμό με την δυνατότητα παραγωγής ενέργειας απο ανεξάντλητες πηγές χωρίς επιβάρυνση στο περιβάλλον έχουν οδηγήσει τους τομείς έρευνας προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ένα άλλο μεγάλο πρόβλημα είναι αυτό της εξάντλησης του νερού. Έτσι έχει αναπτυχθεί η έρευνα για την αξιοποίηση των αλμυρών ή υφάλμυρων αποθεμάτων νερού της γής μέσω της τεχνολογίας αφαλάτωσης. Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται ο σχεδιασμός και η οικονομική αξιολόγηση ενός συστήματος αφαλάτωσης το οποίο τροφοδοτείται απο υβριδικό σύστημα φωτοβολταϊκών πλαισίων και ανεμογεννητριών. Για τη διαστασιολόγηση χρησιμοποιήθηκαν γενετικοί αλγόριθμοι οι οποίοι αποτελούν εργαλεία επίλυσης προβλημάτων βελτιστοποίησης

SUMMARY

The depletion of mineral fuels and the potential future energy issues, combined with the ability to produce energy from alternative sources of practically infinite capacity without causing environmental damage, has driven research towards exploring renewable energy sources. A major issue is also the issue of water depletion, driving research towards the development of desalination technologies that use seawater or brackish water. In this thesis we explore the potential and we perform the economic evaluation of a desalination system, which is powered by a hybrid system of photovoltaics and turbines. The parameters of the proposed implementation are optimized using genetic algorithms.

Contents

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
1.1 Ηλεκτρική Ενέργεια – Ανανεώσιμες πηγές	9
1.2 Νερό – Αφαλάτωση	10
1.3. Συστήματα αφαλάτωσης τροφοδοτούμενα από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	11
1.4 Το σύστημα της παρούσας εργασίας	14
1.5 Δομή της εργασίας.....	17
2. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ-ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	19
2.1 Ήλιος και Ηλιακή ακτινοβολία.....	19
2.2 Ένταση Ηλιακής ακτινοβολίας.....	20
2.3 Ακτινοβολία ενός Ηλίου	22
2.4 Διακύμανση Ηλιακής Ακτινοβολίας.....	23
2.5 Προσανατολισμός φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	24
2.6 Σύσταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στην επιφάνεια της Γης	26
2.7 Μέθοδος υπολογισμού της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο	27
2.8 Φωτοβολταϊκά στοιχεία	36
2.8.1 Κυκλωματικό ισοδύναμο	37
2.8.2 I-V χαρακτηριστική	39
2.8.3 Συστοιχίες κυττάρων.....	42
2.8.4 Υπολογισμός ισχύος πλαισίων σε οποιοσδήποτε συνθήκες.....	43
2.8.5 Τα Φ/Β πλαίσια του συστήματος της παρούσας εργασίας	46
3. ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ-ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ	47
3.1 Αιολική Ενέργεια – Αιολικό δυναμικό	47
3.2 Ανεμογεννήτριες και είδη ανεμογεννητριών	47

3.3	Δομικά στοιχεία ανεμογεννήτριας	50
3.4	Χαρακτηριστικά Μεγέθη Ανεμογεννήτριας	53
3.5	Ισχύς Ανεμογεννητριών	54
3.6	Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου ανάλογα με το ύψος πάνω από το έδαφος.....	57
3.7	Η Ανεμογεννήτρια του συστήματος της παρούσας εργασίας.....	59
4.	ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ – ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΩΣΜΩΣΗ	60
4.1	Φυσική και χημική σύσταση νερού.	60
4.2	Μέθοδοι αφαλάτωσης.....	62
4.3	Αντίστροφη Ωσμωση.....	71
4.4	Η μονάδα αντίστροφης ώσμωσης της παρούσας εργασίας.	78
5.	ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ-ΡΥΘΜΙΣΤΕΣ ΤΑΣΗΣ-ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ	81
5.1	Συσσωρευτές.....	81
5.2	Συσσωρευτές μολύβδου-οξέος.....	82
5.3	Οι συσσωρευτές του συστήματος της παρούσας εργασίας.....	84
5.4	Ρυθμιστές τάσης.....	85
5.5	Οι ρυθμιστές τάσης του συστήματος της παρούσας εργασίας	86
5.6	Μετατροπείς DC/AC (inverters).....	87
6.	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	88
6.1	Οικονομικές παράμετροι.....	88
6.2	Προσδιορισμός χρόνου απόσβεσης	92
6.3	Προσδιορισμός εσωτερικού βαθμού απόδοσης.....	94
7.	ΓΕΝΕΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ	95
7.1	Εισαγωγή στους γενετικούς αλγόριθμους.....	95
7.2	Βασική λειτουργία και γενετικές πράξεις	95
7.3	Κωδικοποίηση μεταβλητών	98

7.4 Αντικειμενική συνάρτηση και συνάρτηση προσαρμογής.....	98
7.5 Μηχανισμοί επιλογής.....	99
7.6 Πιθανότητες διασταύρωσης και μετάλλαξης.....	101
7.7 Χειρισμός περιορισμών	101
8. ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	102
8.1 Το σύστημα της παρούσας εργασίας	102
8.2 Η τάση λειτουργίας του συστήματος	104
8.3 Ο αλγόριθμος προσωμείωσης λειτουργίας του συστήματος (SIM).....	105
9. ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΝΕΤΙΚΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ	111
9.1 Εισαγωγή	111
9.2 Αρχικοποίηση του αλγορίθμου	112
9.3 Η αντικειμενική συνάρτηση για σύστημα με μία κλίση πλαισίων	113
9.4 Η αντικειμενική συνάρτηση για σύστημα με δύο κλίσεις	118
πλαισίων.....	118
9.5 Μετασχηματισμοί των αντικειμενικών συναρτήσεων.....	119
9.6 Πράξεις Διασταύρωσης και Μετάλλαξης.....	120
9.7 Οι επιμέρους αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται στους γενετικούς	125
9.7.1 Ο αλγόριθμος εύρεσης του πεδίου τιμών μίας μεταβλητής.....	125
9.7.2 Ο αλγόριθμος διόρθωσης των εσφαλμένων λύσεων.....	126
9.7.3 Σύγκλιση του αλγορίθμου.....	126
9.8 Ανακεφαλαίωση.....	127
10. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	130
10.1 Εισαγωγή	130
10.2 Αποτελέσματα διαστασιολόγησης και οικονομικής αξιολόγησης για σταθερή κλίση των Φ/Β πλαισίων.....	134

10.3 Αποτελέσματα διαστασιολόγησης και οικονομικής αξιολόγησης με δύο κλίσεις ανα έτος των φωτοβολταϊκών πλαισίων	141
10.4 Αποτελέσματα αξιολόγησης συστημάτων για κυμαινόμενη ζήτηση νερού	143
11. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	147
12. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	148
[1] Άρης Κορνελάκης, «Βελτιστοποίηση σχεδιασμού και αξιολόγηση συστήματος φωτοβολταϊκών στοιχείων για την παραγωγή ενέργειας σε ηλεκτρικά δίκτυα», Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 2008.	149
[2] Δημήτριος Σαμακίδης, «Αυτόνομο σύστημα αφαλάτωσης με χρήση ΑΠΕ: Διαστασιολόγηση και στρατηγικές ελέγχου», Διπλωματική Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2009.	149
[3] The German Energy Society, «Planning and Installing Photovoltaic Systems : A guide for installers, architects and engineers», Earthscan Ltd, 2007.	149
[4] Ιωάννης Φραγκιαδάκης, «Φωτοβολταϊκά Συστήματα», Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 2007.	149
[5] Θωμάς Ζαχαρίας, «Ηπιες Μορφές Ενέργειας ΙΙ», Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, 2009.	149
[6] NationalGeographic, «Νερό, ο Διψασμένος Πλανήτης μας», Απρίλιος 2010.	149
[7] Eftihia Tzen , Promotion of Renewable Energy for Water production through Desalination.	149
[8] Θωμάς Ζαχαρίας, «Ηπιες Μορφές Ενέργειας Ι», Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, 2006.	149
[9] Σταμάτης Α. Αυλωνίτης, «Εισαγωγή στην Τεχνολογία Νερού και Αφαλάτωσης», Ιων, 2006.	149
[10]Ευτυχία Τζεν, «Μέθοδοι Αφαλάτωσης- Συγκριτική Αξιολόγηση και Εφαρμογές στα Νησιά του Αιγαίου», 2001.	149
[11]Αλέξανδρος Σ. Αλεξάκης, «Αφαλάτωση», Μιχ.Σιδέρη, Αθήνα 1993.	149
[12] Μαρούδας Διονύσης, «Συγκριτική Ανάλυση Αιολικών Συστημάτων και Έλεγχος Ισχύος σε Σύστημα με ΑΔΜΤ(Ασύγχρονη Μηχανή Διπλής Τροφοδοσίας)», Πανεπιστήμιο Πατρών, 2008. ...	149
[13]Νικολίνα Αράπογλου, «Μελέτη της Τεχνολογίας Ελέγχου Συστημάτων Αιολικής Ενέργειας με χρήση υδραυλικής μετάδοσης ισχύος», Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, 2010.	150
[14]Ι. Βλαχάβας, Π. Κεφαλάς, Ν.Βασιλειάδης, Φ.Κόκκορας, Η.Σακελλαρίου, «Τεχνητή Νοημοσύνη», Β' έκδοση, Εκδόσεις Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη, 2005.	150
[15]KenFerguson, «Βασικές Αρχές Οικονομικής Θεωρίας», Κριτική, 2004.	150

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ηλεκτρική Ενέργεια – Ανανεώσιμες πηγές.

Πριν το 1800, η γνώση γύρω από τον ηλεκτρισμό περιοριζόταν κυρίως στις μελέτες των ηλεκτρικών και μαγνητικών φαινομένων που είχαν γίνει από κάποιους πρωτοπόρους ερευνητές. Περίπου δύο αιώνες αργότερα η ενέργεια αποτελεί τη βάση του πολιτισμού της ανθρωπότητας. Η αξιοποίηση, μετατροπή και παραγωγή ενέργειας παίζουν καθοριστικό ρόλο σε όλους σχεδόν τους τομείς της ζωής του ανθρώπου.

Τις τελευταίες δεκαετίες, σημειώνεται ραγδαία αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας και κατά συνέπεια αύξηση του ρυθμού εξάντλησης των ορυκτών καυσίμων. Έτσι, υπό το πρίσμα της ανεξέλεγκτης αυτής σπατάλης, η βασικότερη μορφή καυσίμου, το πετρέλαιο, βαδίζει προς αναπόφευκτη εξάντληση. Εκτός αυτού, η υπερβολική κατανάλωση οδήγησε σε φαινόμενα όπως η μόλυνση του περιβάλλοντος, ο υποβιβασμός της ποιότητας του αέρα και του νερού και συνέβαλε σημαντικά στην παγκόσμια αλλαγή του κλίματος.

Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητή η ανάγκη που παρουσιάστηκε για νέες, πιο «εξευγενισμένες» μεθόδους παραγωγής ενέργειας, χωρίς πρακτικά οικολογικές επιβαρύνσεις.

Οι μέθοδοι αυτές, γνωστές σήμερα ως ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αποτελούν μια από τις πιο ελπιδοφόρες προτάσεις για το μέλλον της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ο ήλιος, ο άνεμος, τα θαλάσσια κύματα είναι ανεξάντλητες πηγές με σχεδόν μηδενική επιβάρυνση στο περιβάλλον.

Ο Συμβουλευτικός Όμιλος Ανανεώσιμης Ενέργειας της Μεγάλης Βρετανίας έχει ορίσει την ανανεώσιμη ενέργεια ως την έκφραση που χρησιμοποιείται για να καλυφθεί η κυκλοφορούμενη ενέργεια η οποία απαντάται στη φύση, επαναλαμβάνεται και μπορεί να χρησιμοποιηθεί προς όφελος του ανθρώπου. Οι βασικές πηγές αυτής της ενέργειας είναι ο ήλιος, η βαρύτητα και η περιστροφή της Γης.

1.2 Νερό – Αφαλάτωση

Το νερό είναι ζωή. Είναι το αμνιακό υγρό από το οποίο γεννήθηκε το είδος μας, το κυκλοφορικό σύστημα του πλανήτη. Συνιστά τα 2/3 του ανθρώπινου οργανισμού, αλλά και της επιφάνειας του πλανήτη μας.



Σχ 1.1 Νερό η βάση της ζωής

Ως χημική ένωση, τίποτα δεν είναι πιο απλό από το νερό: δύο άτομα υδρογόνου ενωμένα με ένα άτομο οξυγόνου. Από την ανθρώπινη σκοπιά, τα πράγματα δεν είναι τόσο απλά. Αν και ο πλανήτη μας καλύπτεται από νερό, πάνω από το 97% είναι θαλασσινό, ενώ μόνο το 2% είναι γλυκό, παγιδευμένο σε χιόνια και πάγους. Έτσι, αυτό που μένει για εμάς είναι λιγότερο από το 1%, μια πραγματικότητα που συνιστά ένα επισφαλές παρόν κι ένα ακόμα πιο επισφαλές μέλλον[6].

Τα τελευταία χρόνια έχει αυξηθεί αλματωδώς η κατανάλωση του νερού, λόγω της ραγδαίας αύξησης του πληθυσμού της Γης και της μείωσης των βροχοπτώσεων σε περιοχές όπου υπάρχει ήδη έντονο το φαινόμενο της λειψυδρίας. Όλα τα προηγούμενα σε συνδυασμό με τη μόλυνση των ήδη υπαρχόντων αποθεμάτων γλυκού νερού, με την αλόγιστη συνεχή ρίψη σ' αυτά των αποβλήτων αστικών και βιομηχανικών περιοχών, καθιστούν ακόμα πιο δύσκολη την εύρεση πόσιμου νερού. Η αδυναμία εύρεσης πόσιμου νερού αυξάνεται σε πολλές χώρες του αναπτυσσόμενου κόσμου, και όχι μόνο. Το 1/3 του πλανήτη αντιμετωπίζει έλλειψη νερού λόγω της κακής διαχείρισης των υδάτινων πόρων και της εντεινόμενης χρήσης τους. Αξιοσημείωτο

είναι το γεγονός ότι πάνω από 1 δισεκατομμύριο άνθρωποι δεν έχουν πρόσβαση σε καθαρό και πόσιμο νερό.

Διάφορες λύσεις έχουν εφαρμοσθεί για το πρόβλημα της λειψυδρίας, όπως η μεταφορά νερού και η κατασκευή φραγμάτων, αλλά παρουσιάζουν πολλά και σοβαρά μειονεκτήματα[2]. Αντιθέτως, μια πολλά υποσχόμενη λύση αποτελεί η αφαλάτωση.

Αφαλάτωση είναι η διεργασία αφαίρεσης αλάτων από μια αλατούχα ουσία και κυρίως από αλατούχα ύδατα. Με κατάλληλες διεργασίες, που θα αναπτυχθούν αργότερα, ελατώνεται η περιεκτικότητα του νερού σε άλατα και έπειτα με την κατάλληλη κατεργασία αποκτούμε πόσιμο νερό ή νερό κατάλληλο για άρδευση. Συνεπώς, είναι μια μέθοδος ανάκτησης καθαρού νερού από θαλασσινό νερό, υφάλμυρα ποτάμια και λίμνες.

1.3. Συστήματα αφαλάτωσης τροφοδοτούμενα από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Ο συνδυασμός λοιπόν των δύο αυτών τάσεων (ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και μονάδων αφαλάτωσης) αποτελεί μία ελπιδοφόρα προοπτική καθώς παρέχει ουσιώδεις λύσεις στα δύο αυτά σημαντικά προβλήματα. Από τη στιγμή που μπορεί να τεθεί σε εφαρμογή ένα σύστημα αφαλάτωσης τροφοδοτούμενο από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και να εξασφαλιστεί ένα λογικό κόστος, προκύπτουν μία σειρά από πλεονεκτήματα όπως είναι η παροχή νερού σε μέρη τα οποία παρουσιάζουν πρόβλημα, η παραγωγή ενέργειας με φιλικό προς το περιβαλλον τρόπο και η μη σπατάλη των πόρων της Γης γι' αυτό το σκοπό.

Τα συστήματα αυτά έχουν αναπτύξει αξιοσημείωτη προόδο όσον αφορά στην ενέργεια που καταναλώνουν και στο νερό που παράγουν και η έρευνα γύρω απ' αυτά ολοένα και αναπτύσσεται.

Έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές αφαλάτωσης με κύρια κατηγοριοποίηση τις θερμικές μεθόδους και τις μεθόδους που χρησιμοποιούν μεμβράνες. Οι θερμικές μέθοδοι είναι οι:

- Πολυβάθμια Αστραπιαία Εξαέρωση (MultipleStageFlash) ή MSF
- Απλή και πολλώνβαθμίδων απόσταξη (Multiple Effect Distillation) ή MED
- Συμπύεση Ατμού (Vapor Compression) ή VC

Ενώ οι τεχνικές των μεμβρανών είναι οι:

- Ηλεκτροδιάλυση (ElectroDialysis) ή ED και
- Αντίστροφη Ώσμωση (ReverseOsmosis) ή RO

Υπάρχουν και άλλες μέθοδοι οι οποίες όμως παρουσιάζουν σημαντικά μειονεκτήματα σε σχέση με τις προηγούμενες οπότε δεν έχουν τόσο συχνή εφαρμογή θα αναφερθούν όμως στα επόμενα κεφάλαια.

Η επιλογή της τεχνικής αφαλάτωσης γίνεται με βάση τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του τόπου στον οποίο πρόκειται να εγκατασταθεί το σύστημα, όπως η διαθεσιμότητα και ο τύπος του νερού και φυσικά ο τύπος της ανανεώσιμης πηγής ενέργειας που βρίσκεται στον τόπο.

Αξίζει να αναφερθεί ότι οι περισσότερο χρησιμοποιούμενες μέθοδοι είναι η Πολυβάθμια Αστραπιαία Εξαέρωση MSF από τις θερμικές μεθόδους και η Αντίστροφη Ώσμωση RO από τις μεθόδους που χρησιμοποιούν μεμβράνες.

Η εγκατεστημένη χωρητικότητα (σε νερό) ανά τον κόσμο απαρτίζεται κυρίως από μονάδες που χρησιμοποιούν απόσταξη MSF και μεθόδους αντίστροφης ώσμωσης RO. Οι δύο αυτές διαδικασίες συνιστούν το 84% της συνολικής χωρητικότητας παγκοσμίως. Το απομένον 15% συνίσταται από τις διαδικασίες MED, ED, VC ενώ οι υπόλοιπες μέθοδοι συνιστούν λιγότερο από το 1%[7].

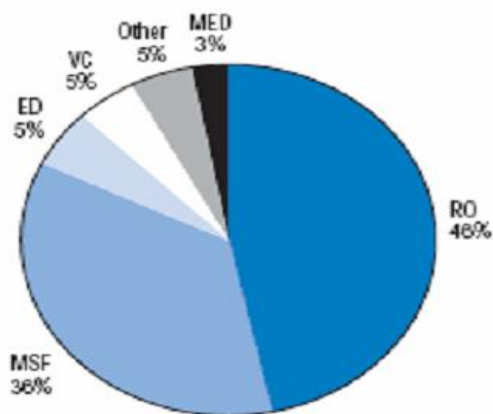
Χαρακτηριστικά αναφέρουμε ότι η Σαουδική Αραβίαέρχεται πρώτη σε παραγωγή νερούαπό μονάδες αφαλάτωσης (24% της παγκόσμιας παραγωγής), το οποίο προέρχεται κυρίως από μονάδες που χρησιμοποιούν μεθόδους απόσταξης για να αφαλατώνουν θαλασσινό νερό.



Σχ1.2 Μονάδες MSF στη Σαουδική Αραβία.

Οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής κατέχουν τη δεύτερη θέση (16% της παγκόσμιας παραγωγής) χρησιμοποιώντας κυρίως μεθόδους RO για να αφαλατώνουν υφάλμυρο νερό.

Παρακάτω παραθέτουμε τη χρήση της κάθε μεθόδου αφαλάτωσης παγκοσμίως.



Σχ 1.3 Χρήση των μεθόδων αφαλάτωσης πακοσμίως[7].

Βλέπουμε λοιπόν ότι κυρίαρχη μέθοδος είναι η αντίστροφη ώσμωση RO με 46%, ενώ ακολουθεί η MSF με 36% και ακολουθούν με αρκετά μικρότερα ποσοστά οι υπόλοιπες μέθοδοι[7].

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε μονάδα αφαλάτωσης με αντίστροφη ώσμωση RO.

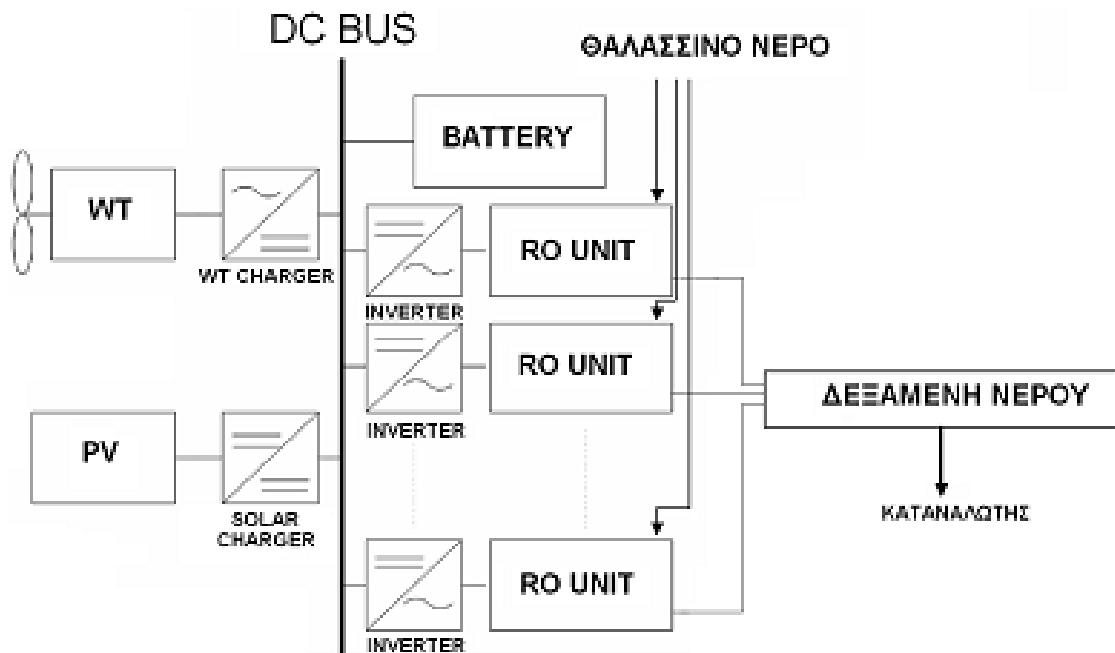
1.4 Το σύστημα της παρούσας εργασίας

Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε υβριδικό σύστημα φωτοβολταϊκών πλαισίων (ηλιακή ενέργεια) και ανεμογεννητριών (αιολική ενέργεια), όσον αφορά στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, και αντίστροφη ώσμωση RO, όσον αφορά στη μονάδα αφαλάτωσης.

Ακόμα χρησιμοποιούνται εργαλεία βελτιστοποίησης τα οποία καλούνται γενετικοί αλγόριθμοι, για τη βέλτιστη διαστασιολόγηση ενός οποιουδήποτε συστήματος Φ/Β πλαισίων και ανεμογεννητριών συνδεδεμένου με μονάδες αφαλάτωσης με σκοπό την πώληση του νερού με το μέγιστο οικονομικό όφελος. Οι γενετικοί αλγόριθμοι εγγυώνται την παραγωγή βέλτιστων λύσεων του εκάστοτε προβλήματος σε σχετικά σύντομο χρόνο.

Στο σύστημα, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.2, χρησιμοποιείται ένας ζυγός συνεχούς τάσης (DC BUS). Όπως φαίνεται στον ζυγό αυτόν είναι συνδεδεμένα τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (PV), οι ανεμογεννήτριες (WT), οι μπαταρίες (BATTERY) και οι μονάδες αφαλάτωσης (RO UNIT). Ακόμα ανάμεσα στις ανεμογεννήτριες, στα φωτοβολταϊκά πλαίσια και στον ζυγό χρησιμοποιούνται φορτιστές (CHARGERS) που ουσιαστικά είναι ρυθμιστές τάσης και φροντίζουν για την σωστή φόρτιση του συσσωρευτή. Επίσης ανάμεσα στις μονάδες αφαλάτωσης και τον ζυγό χρησιμοποιούνται μετατροπείς DC/AC (INVERTERS,

αντιστροφείς), γιατί οι μονάδες αφαλάτωσης λειτουργούν με εναλλασσόμενο ρεύμα, ενώ ο ζυγός διαρρέεται από συνεχές. Οι μονάδες αφαλάτωσης λειτουργούν παράλληλα στο σύστημα και ο αριθμός τους εξαρτάται από την ζήτηση του νερού που χρειάζεται να καλύψει το σύστημα. Τέλος, οι μονάδες αφαλάτωσης τροφοδοτούν με νερό την δεξαμενή του συστήματος (WATER TANK) από την οποία εξυπηρετείται ο καταναλωτής.



Σχ1.2. Το σύστημα της παρούσας εργασίας

Η διαστασιολόγηση του συστήματος περιλαμβάνει τον υπολογισμό:

- του βέλτιστου πλήθους των φωτοβολταϊκών πλαισίων,
- του βέλτιστου πλήθους των ανεμογεννητριών,
- του βέλτιστου πλήθους των μπαταριών,
- της βέλτιστης κλίσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων,
- του βέλτιστου πλήθους των μονάδων αφαλάτωσης,

- του βέλτιστου μεγέθους της δεξαμενής,
- του βέλτιστου ύψους του πυλώνα των ανεμογεννητριών.

Το σύστημα βελτιστοποιείται με αντικειμενικό σκοπό να λάβει τις μεγαλύτερες αποδοχές από την πώληση του νερού για τα χρόνια της μελέτης. Από αυτές τις αποδοχές θα αφαιρεθεί το συνολικό κόστος του συστήματος, το οποίο υφίσταται λόγω της αγοράς και της συντήρησης των στοιχείων του συστήματος.

Οι τιμές κόστους των δομικών μονάδων των στοιχείων του συστήματος είναι παρμένες απο την τρέχουσα οικονομική κατάσταση της αγοράς κατά τη διάρκεια διεξαγωγής της εργασίας.

Η παραγόμενη ενέργεια υπολογίζεται με τη χρήση αρχείων τα οποία περιέχουν μετρήσεις μετεωρολογικών δεδομένων (ηλιακή ακτινοβολία, ταχύτητα ανέμου, θερμοκρασία περιβάλλοντος). Έτσι υπολογίζονται οι μέσες ημερήσιες ή οι μέσες μηνιαίες τιμές τους.

Οι λύσεις που προκύπτουν αξιολογούνται οικονομικά με βάση τις καθιερωμένες οικονομικές μεθόδους της διεθνούς βιβλιογραφίας οι οποίες θα αναπτυχθούν εκτενώς στα κεφάλαια που ακολουθούν.

Συμβολή της προτεινόμενης μεθόδου είναι η οικονομοτεχνική βελτιστοποίηση του συστήματος αφαλάτωσης με τη χρήση της μεθόδου των γενετικών αλγορίθμων.

Τέλος, σημειώνεται ότι ο αλγόριθμος που έχει αναπτυχθεί στην παρούσα εργασία παρουσιάζει μεγάλη ευελιξία με την έννοια ότι μπορεί να «τρέξει» για διαφορετικές οικονομικές παραμέτρους (ανάλογα με το τι επιθυμεί ο χρήστης) ώστε να μπορεί να παράγει λύσεις για οποιοδήποτε σχετικό πρόβλημα διαστασιολόγησης.

1.5 Δομή της εργασίας

Η δομή της παρούσας εργασίας είναι η εξής:

Το 2^ο κεφάλαιο αναφέρεται στην ηλιακή ενέργεια και το πως μπορεί αυτή να χρησιμοποιηθεί. Αναλύεται το μοντέλο ενός Φ/Β στοιχείου και στη συνέχεια παρουσιάζεται η επίδραση της ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας στην ισχύ εξόδου του Φ/Β στοιχείου.

Στο 3^ο κεφάλαιο γίνεται εκτενής αναφορά στην αιολική ενέργεια και στο πως μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Αναλύεται το μοντέλο μίας ανεμογεννήτριας και τα δομικά και χαρακτηριστικά της μεγέθη.

Στο 4^ο κεφάλαιο περιγράφεται η φυσική και χημική σύσταση του νερού. Επίσης περιγράφονται οι μέθοδοι αφαλάτωσης και ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης.

Στο 5^ο κεφάλαιο περιγράφονται τα υπόλοιπα στοιχεία που χρησιμοποιούνται στο σύστημα, δηλαδή οι συσσωρευτές, οι ρυθμιστές τάσης (φορτιστές) και οι μετατροπείς DC/AC.

Στο 6^ο κεφάλαιο γίνεται οικονομική ανάλυση του συστήματος. Περιγράφονται και αναλύονται οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την οικονομική αξιολόγηση του συστήματος, μέθοδος προσδιορισμού χρόνου απόσβεσης και μέθοδος εσωτερικού βαθμού απόδοσης.

Στο 7^ο κεφάλαιο γίνεται εισαγωγική περιγραφή των γενετικών αλγορίθμων. Συγκεκριμένα περιγράφονται τα βήματα του βασικού γενετικού αλγορίθμου και οι μηχανισμοί που χρησιμοποιεί για την μοντελοποίηση και την εύρεση της λύσης ενός προβλήματος.

Στο 8^ο κεφάλαιο περιγράφεται το μοντέλο του συστήματος που χρησιμοποιήθηκε για διαστασιολόγηση και παρουσιάζεται ο αλγόριθμος προσομοίωσης του.

Στο 9^ο κεφάλαιο αναλύεται η μέθοδος διαστασιολόγησης του συστήματος. Συγκεκριμένα, αναπτύσσεται ολόκληρη η μοντελοποίηση του προβλήματος με γενετικούς αλγορίθμους και περιγράφονται οι μηχανισμοί που χρησιμοποιήθηκαν.

Στο 10^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μεθόδου που αναπτύχθηκε στην παρούσα εργασία.

Τέλος, στο 11^ο κεφάλαιο αναλύονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν και προτείνονται βελτιώσεις και μελλοντικές επεκτάσεις της μεθόδου.

2. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ-ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

2.1 *Ήλιος και Ηλιακή ακτινοβολία*

Ο Ήλιος είναι ένας τεράστιος αντιδραστήρας σύντηξης, όπου πυρήνες υδρογόνου μετατρέπονται σε πυρήνες ηλίου με ταυτόχρονη απώλεια μάζας που μετατρέπεται σε ενέργεια. Χωρίς την ενέργεια αυτή η οποία βρίσκεται στη μορφή ακτινοβολίας, η ζωή πάνω στον πλανήτη θα ήταν αδύνατον να υπάρξει. Καθ' όσον ο Ήλιος απέχει από τη γή εκατομμύρια χιλιόμετρα μόνο ένα μικρό ποσοστό της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας του φτάνει στην επιφάνεια της γής. Παρόλα αυτά η ενέργεια που μας παρέχει μπορεί να υπερκαλύψει τις ανάγκες μας.



Σχήμα 2.1 Ο Ήλιος

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία του Ήλιου αποτελεί διαδιδόμενη διαταραχή συνδυασμένου ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου. Το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας χωρίζεται στο υπεριώδες (μήκος κύματος $\lambda < 400\text{nm}$), στο ορατό φάσμα ($400\text{nm} < \lambda < 700\text{nm}$) και στο υπέρυθρο ($\lambda > 700\text{nm}$).

Από τις συχνότητες του ηλιακού φάσματος που φτάνουν στη γη, μόνο το 75% είναι εκμεταλλεύσιμο για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχ2.2 Ηλιακό φάσμα

2.2 Ένταση Ηλιακής ακτινοβολίας

Η ηλιακή ακτινοβολία παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην απόδοση των φωτοβολταϊκών πλαισίων.

Ως ένταση ακτινοβολίας ονομάζουμε την ισχύ που διαπερνά κάθετα τη μονάδα επιφάνειας, τοποθετημένη στη θέση προσδιορισμού και δίνεται από τη σχέση:

$$\mathbf{J} = d\mathbf{P}/d\mathbf{S} \quad (2.1)$$

όπου dP η στοιχειώδης ισχύς ακτινοβολίας η οποία διαπερνά κάθετα τη στοιχειώδη επιφάνεια dS . Μονάδα μέτρησης της έντασης ακτινοβολίας στο SI είναι το W/m^2 .

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας προκύπτει ως εξής:

Θεωρούμε τον αστέρα (στην περίπτωση μας τον Ήλιο) ότι εκπέμπει ακτινοβολία με ισχύ P . Η εκπεμπόμενη ακτινοβολία απομακρύνεται ακτινικά από τον αστέρα. Θεωρούμε επίσης μια νοητή ομόκεντρη του αστέρα σφαιρική επιφάνεια, ακτίνας d . Έτσι όση ενέργεια εκπέμπεται από την επιφάνεια του αστέρα σε χρόνο dt , τόση διαπερνά τη σφαιρική επιφάνεια (εμβαδού $S=4\pi d^2$) στον ίδιο χρόνο.

Άρα

$$P \cdot dt = J \cdot S \cdot dt \Rightarrow \quad (2.2)$$

$$J = P / 4 \cdot \pi \cdot d^2 \quad (2.3)$$

όπου J η ένταση της ακτινοβολίας.

Δηλαδή η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας ελαττώνεται αντιστρόφως ανάλογα με την απόσταση από τον Ήλιο. Στην αρχή της ατμόσφαιρας της Γης η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι

$$J_R = P_0 / 4 \cdot \pi \cdot R^2 \quad (2.4)$$

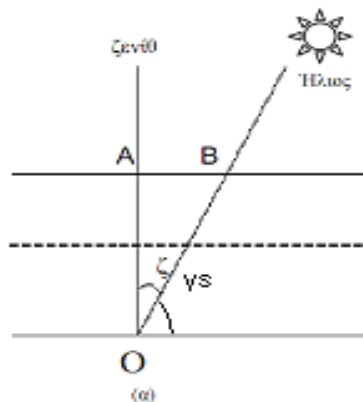
όπου R είναι η απόσταση Ήλιου-Γης[4].

2.3 Ακτινοβολία ενός Ηλίου

Η ενέργεια της ακτινοβολίας καθορίζεται από τη θέση του Ήλιου στον ουρανό. Όταν ο Ήλιος βρίσκεται κάθετα στη Γη (στο ζενίθ) η ακτινοβολία διαγράφει την συντομότερη διαδρομή μέσα από την ατμόσφαιρα. Όταν όμως ο Ήλιος βρίσκεται υπό γωνία σε σχέση με την κατακόρυφο τότε η διαδρομή αυτή μεγαλώνει.

Έτσι έχει οριστεί ένας παράγοντας γνωστός ως παράγοντας μάζας αέρα AM (air mass) ο οποίος δείχνει πόσες φορές μεγαλύτερη είναι η διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας από την κατακόρυφη διαδρομή της (τη διαδρομή που θα έκανε αν ο Ήλιος ήταν στο ζενίθ).

Άρα λοιπόν όπως βλέπουμε και στο σχήμα 2.3 είναι $AM=OB/OA$. Ο λόγος αυτός ισούται όμως με $1/\cos\zeta$ όπου ζ η ζενιθια γωνία. Επίσης μπορούμε να γράψουμε $AM=1/\sin\gamma_s$ όπου γ_s η γωνιακή απόσταση του Ήλιου από τον ορίζοντα του τόπου.



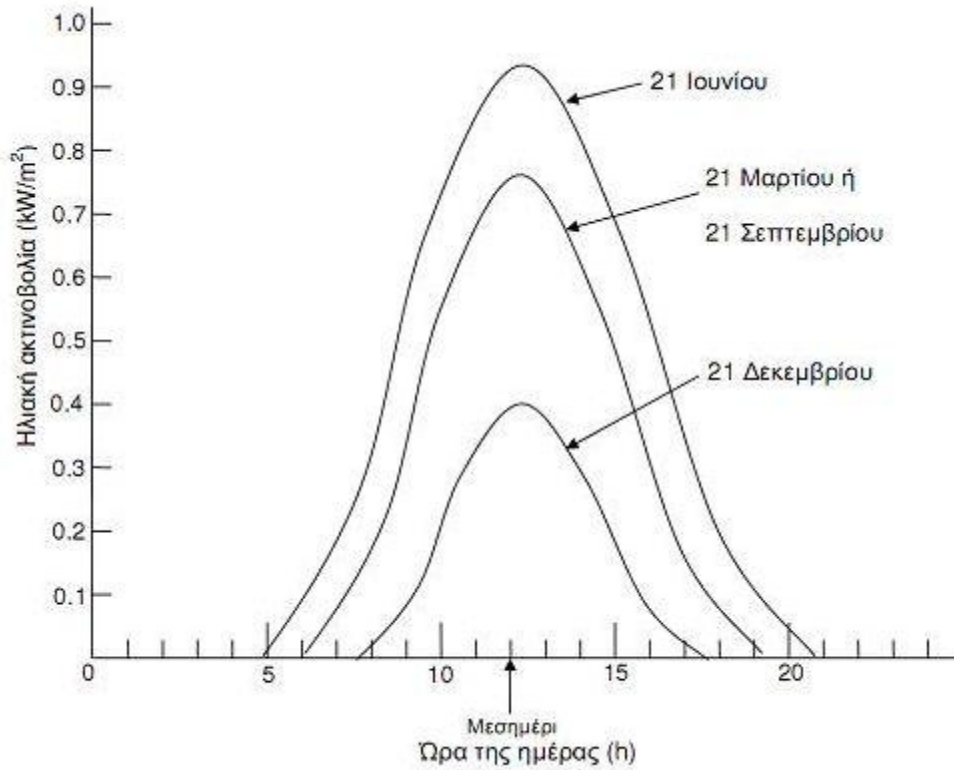
Σχήμα 2.3 Διαδρομή ηλιακής ακτινοβολίας.

Συγκεκριμένα για $AM=1$ συμβολίζουμε τη συνθήκη για τη θέση του Ήλιου στην κατακόρυφο. Όμοια με $AM=1.5$ συμβολίζουμε τη διαδρομή της ακτινοβολίας με τον Ήλιο σε 45° από το ζενίθ, ως $AM=2$ με τον Ήλιο σε γωνία 60° κτλ.

Η ηλιακή ακτινοβολία με $AM=1.5$ έχει ένταση 940 W/m^2 και ισούται περίπου με τη μέση μέγιστη ισχύ που μπορεί να δεχτεί μία επιφάνεια κάθετη στις ακτίνες όταν έχουμε τις καταλληλότερες συνθήκες. Η παραπάνω πυκνότητα ισχύος στρογγυλοποιείται στα 1000 W/m^2 και ονομάζεται ακτινοβολία ενός ήλιου. Θεωρείται η βάση σύγκρισης της ακτινοβολίας που δέχονται τα φωτοβολταϊκά στοιχεία επειδή η ισχύς αιχμής των φωτοβολταϊκών διατάξεων καθορίζεται από τους κατασκευαστές για ακτινοβολία ενός ήλιου.

2. 4 Διακύμανση Ηλιακής Ακτινοβολίας

Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια της Γης μεταβάλλεται ανάλογα με την εποχή, ουσιαστικά με τη θέση της Γης σχετικά με τον Ήλιο. Παρακάτω βλέπουμε τη διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια μίας μέρας για τέσσερις ενδεικτικές ημερομηνίες που ανήκουν σε διαφορετικές εποχές. Παρατηρούμε ότι κάθε καμπύλη παρουσιάζει μέγιστο όταν ο ήλιος βρίσκεται στο ζενίθ, δηλαδή στο λεγόμενο ηλιακό μεσημέρι.

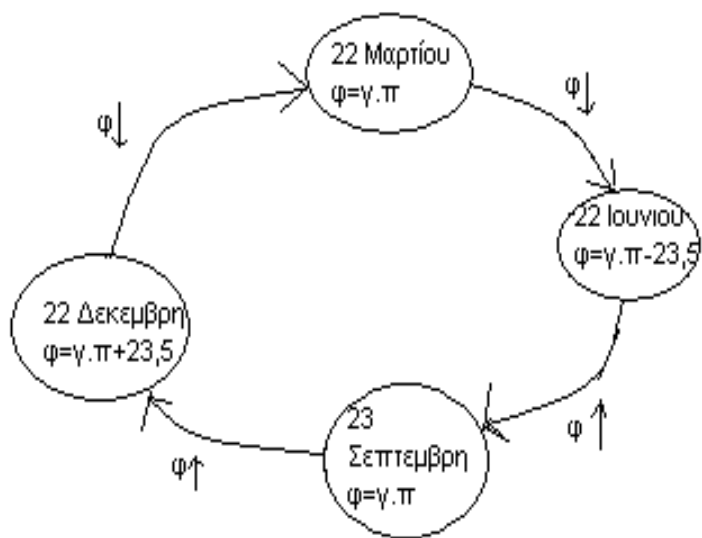


Σχ2.4 Διακύμανση ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο κατά τη διάρκεια των φωτεινών ωρών

2.5 Προσανατολισμός φωτοβολταϊκών πλαισίων

Τα φωτοβολταϊκά παρουσιάζουν μέγιστη απόδοση όταν οι ηλιακές ακτίνες προσπίπτουν κάθετα πάνω στην επιφάνειά τους. Καθώς όμως οι ακτίνες αλλάζουν διεύθυνση κατά τη διάρκεια του χρόνου έχουν κατασκευαστεί μηχανισμοί που μεταβάλλουν την κλίση των

φωτοβολταϊκών πλαισίων για να έχουμε όσο το δυνατόν κάθετη πρόσπτωση σε όλη τη διάρκεια του έτους. Στις 22 Μαρτίου και στις 23 Σεπτεμβρίου, ο ήλιος βρίσκεται το μεσημέρι σε τέτοια θέση ώστε η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της κατακόρυφου του τόπου και της ευθείας που ενώνει τον τόπο με τον ήλιο (έστω φ), να είναι ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου. Από τις 23 Σεπτεμβρίου και μετά η γωνία αυτή αυξάνεται, επειδή ο ήλιος κατεβαίνει χαμηλότερα, ως τις 22 Δεκεμβρίου, όπου ο ήλιος έχει τη χαμηλότερη θέση και η γωνία έχει αυξηθεί κατά 23.5° . Μετά τις 22 Δεκεμβρίου ο Ήλιος αρχίζει πάλι να ανεβαίνει και στις 22 Μαρτίου η γωνία γίνεται πάλι ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου. Μετά τις 22 Μαρτίου ο ήλιος συνεχίζει να ανεβαίνει ψηλότερα και η γωνία μικραίνει σταδιακά μέχρι τις 22 Ιουνίου οπότε γίνεται 23.5° μικρότερη από το γεωγραφικό πλάτος. Τα προαναφερθέντα φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχ 2.5 Μεταβολή της τροχιάς του Ήλιου στον ουρανό ανάλογα με τις εποχές

Η σταθερή τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών πλαισίων σε γωνία ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου προς τα νότια για το βόρειο ημισφαίριο έχει σαν αποτέλεσμα μια ικανοποιητική πρόσπτωση συνολικής ηλιακής ενέργειας κάθε μέρα. Το μειονέκτημα σε αυτήν την διάταξη είναι ότι υπάρχει μεγάλη διαφορά της συνολικής ηλιακής ενέργειας που δέχονται τα φωτοβολταϊκά στοιχεία ανάμεσα στις εποχές του χρόνου. Συγκεκριμένα, κατά τις ημέρες του χειμώνα η ενέργεια αυτή είναι πολύ μικρότερη από την ενέργεια που δέχονται τις ημέρες του καλοκαιριού. Για να μειωθεί αυτή η διαφορά τοποθετούνται τα φωτοβολταϊκά πλαίσια έτσι ώστε να σχηματίζουν γωνία με το οριζόντιο επίπεδο ίση με $\gamma.π+15^\circ$ (όπου $\gamma.π$ το γεωγραφικό πλάτος του τόπου) και έτσι η συνολική ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει στα πλαίσια γίνεται μεγαλύτερη τον χειμώνα και μικρότερη το καλοκαίρι, με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγαλύτερη σταθερότητα κατά την διάρκεια του έτους. Ουσιαστικά, δηλαδή, η μικρότερη ηλιοφάνεια κατά τις χειμερινές μέρες αντισταθμίζεται με την πιο κάθετη τοποθέτηση των πλαισίων προς τις ηλιακές ακτίνες.

2.6 Σύσταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στην επιφάνεια της Γης

Κατά τη διέλευση των ηλιακών ακτινών, από τη γήινη ατμόσφαιρα, η έντασή τους ελαττώνεται, καθώς τα φωτόνια σκεδάζονται αφενός στα μόρια της ατμόσφαιρας, αφετέρου στα μεγάλης διαμέτρου αιωρήματα της, δηλαδή, τους υδρατμούς, τη σκόνη και τον καπνό. Ένα άλλο μέρος της ακτινοβολίας απορροφάται από ορισμένα συστατικά της ατμόσφαιρας. Παραδείγματος χάριν, η υπεριώδης ακτινοβολία απορροφάται από τα μόρια του όζοντος, στα ανώτερα στρώματα της κύριας μάζας της ατμόσφαιρας, έτσι ώστε η ένταση των ακτίνων αυτών στην επιφάνεια της γης, να είναι εξαιρετικά μειωμένη και η καρκινογόνος δράση της αρκετά περιορισμένη. Ομοίως απορροφούν οι υδρατμοί, το CO₂ τα οξείδια του αζώτου και πολλά άλλα, σε άλλες περιοχές του φάσματος. Τέλος, μέρος της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας φτάνει στην επιφάνεια της Γης.

Συνεπώς, σε κάθε τόπο της επιφάνειας της Γης, φτάνουν δύο συνιστώσες του ηλιακού φωτός : η άμεση (Beam) και η σκεδαζόμενη στα μόρια του αέρα, η οποία ονομάζεται διάχυτη, D (Diffuse).

Γενικά λοιπόν, η προσπίπτουσα ακτινοβολία σε ένα συλλέκτη αποτελείται από την απευθείας, τη διάχυτη και τη διάχυτα «ανακλώμενη» από το έδαφος (albedo).

Η συνολική ακτινοβολία G (global) είναι το άθροισμα των τριών παραπάνω συνιστωσών[4].

2.7 Μέθοδος υπολογισμού της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο

Στην παρούσα εργασία η μέθοδος διαστασιολόγησης που ακολουθείται δίνει σαν αποτέλεσμα, εκτός των άλλων, και τη βέλτιστη κλίση των Φ/Β πλαισίων (ή το βέλτιστο συνδυασμό των δύο κλίσεων αν επιλέξουμε τα Φ/Β πλαίσια να λαμβάνουν δύο διαφορετικές κλίσεις κατά τη διάρκεια του έτους). Έτσι είναι απαραίτητο να υπολογίζεται η ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε κάθε επιθυμητή κλίση των Φ/Β πλαισίων, αφού οι μετρήσεις που είναι διαθέσιμες αφορούν το οριζόντιο επίπεδο.

Έστω λοιπόν ότι $G_d(\beta)$ είναι η συνολική ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται κεκλιμένο επίπεδο τοποθετημένο σε κλίση β° ως προς το οριζόντιο επίπεδο μετρούμενη σε Wh/m^2 . Για την $G_d(\beta)$ ισχύει:

$$G_d(\beta) = R_d(\beta) + D_d(\beta) + B_d(\beta) \quad (2.5)$$

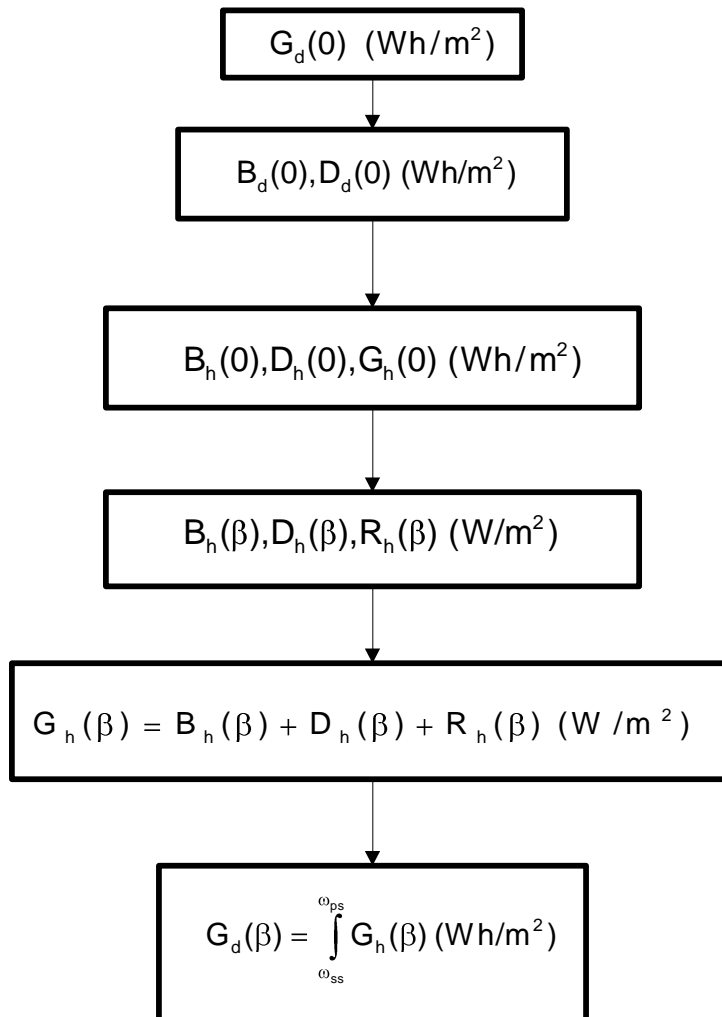
όπου:

$B_d(\beta)$ είναι η συνολική ημερήσια direct irradiation,

$D_d(\beta)$ είναι η συνολική ημερήσια diffuse irradiation και

$R_d(\beta)$ η συνολική ημερήσια albedo irradiation.

Για να συνεχίσουμε πρέπει πρώτα να γίνει διάκριση ανάμεσα στους όρους irradiation και irradiance οι οποίοι θα χρησιμοποιούνται στη συνέχεια. Ο όρος irradiance αναφέρεται στην πυκνότητα ισχύος (ένταση) που προσπίπτει σε μία επιφάνεια και μετριέται σε W/m^2 ενώ irradiation είναι η ενέργεια που προσπίπτει σε μία επιφάνεια κατά τη διάρκεια μίας συγκεκριμένης περιόδου. Διαφορετικά, το irradiation είναι η ολοκλήρωση του irradiance στη περίοδο του χρόνου και μετριέται σε Wh/m^2 . Η μέθοδος που ακολουθείται για τον υπολογισμό του $G_d(\beta)$ φαίνεται στο Σχήμα 2.6 [1]:



Σχ 2.6 Τα βήματα της μεθόδου υπολογισμού της ημερήσιας ακτινοβολίας που προσπίπτει σε ένα επίπεδο κλίσης β

Η μέθοδος ξεκινώντας από τη συνολική ημερήσια ενέργεια ακτινοβολίας πάνω στο οριζόντιο επίπεδο καταλήγει στον υπολογισμό της μέσης συνολικής ημερήσιας ενέργειας της ακτινοβολίας που προσπίπτει σε κεκλιμένο επίπεδο β° μοιρών υπολογίζοντας ενδιάμεσα τις ωριαίες τιμές των συνιστωσών της ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο και εν συνεχεία σε κεκλιμένο επίπεδο. Η επιλογή της κλίμακας της μίας ώρας γίνεται γιατί απλουστεύει τους υπολογισμούς. Ειδικότερα, για μία ώρα η συνολική ενέργεια (irradiation) ισούται αριθμητικά με τη μέση τιμή της ισχύος (irradiance) για εκείνη την ώρα. Επίσης γίνεται η παραδοχή ότι είναι ίση με την ισχύ στο μέσο της συγκεκριμένης ώρας.

Όταν εξετάζονται περιοχές του βόρειου ημισφαιρίου η αζιμούθια γωνία ηλιακού συλλέκτη είναι μηδέν. Αρχικά, έχοντας τη συνολική ημερήσια ενέργεια υπολογίζονται οι ποσότητες $D_d(0)$ και $B_d(0)$ (μπορεί χωρίς σφάλματα να θεωρηθεί ότι $R_d(0)=0$, δηλαδή ότι στο οριζόντιο επίπεδο η ανακλώμενη από τη Γη ακτινοβολία είναι μηδενική). Η τιμή του $B_d(0)$ δίνεται από τη σχέση:

$$B_d(0) = \frac{24}{\pi} B_o \epsilon_o (\cos \varphi \cos \delta) (\omega_s \cos \omega_s - \sin \omega_s) \quad (2.6)$$

Όπου $B_o=1367 \text{ W/m}^2$ είναι η ηλιακή σταθερά (η πυκνότητα ισχύος της ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μία επιφάνεια που απέχει από τον Ήλιο τόση απόσταση όση και η μέση απόσταση Γης-Ήλιου, απουσία ατμόσφαιρας). Το ϵ_o είναι το τετράγωνο του λόγου της μέσης απόστασης Γης - Ήλιου προς την απόσταση Γης - Ήλιου και δίνεται από τη σχέση:

$$\epsilon_o = 1 + 0.033 \cos\left(\frac{360d_n}{365}\right) \quad (2.7)$$

όπου

d_n είναι η μέρα του χρόνου (1,2,...365)

φ είναι το γεωγραφικό πλάτος του τόπου ($^\circ$) και

δ είναι η γωνία ηλιακής απόκλισης (solar declination), δηλαδή η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο ισημερινό επίπεδο και την ευθεία γραμμή που ενώνει τη Γη με τον Ήλιο. Η τιμή του δ ($^\circ$) υπολογίζεται από τη σχέση

$$\delta(^\circ) = 23.45 \sin\left(\frac{360}{365}(d_n + 284)\right) \quad (2.8)$$

Τέλος, ω_s είναι η γωνία ανατολής του Ήλιου (sunrise angle) και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\omega_s = -\arcsos(-\tan\delta \cdot \tan\varphi) \quad (2.9)$$

ενώ παράλληλα ισχύει ότι:

$$\cos\omega_s = -\tan\delta \cdot \tan\varphi \quad (2.10)$$

Όσον αφορά στο $D_d(0)$, η τιμή του μπορεί να υπολογιστεί από το μοντέλο των Collares-Pereira και Rabl. Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο προκύπτει ότι:

$$K_T = \frac{G_d(0)}{B_d(0)} \quad \text{και} \quad K_D = \frac{D_d(0)}{G_d(0)} \quad (2.11)$$

Όπου:

$$K_D = 0.99 \quad \text{για} \quad K_T \leq 0.17 \quad (2.12)$$

Και

$$K_D = 1.188 - 2.272K_T + 9.473K_T^2 - 21.856K_T^3 + 14.648K_T^4 \quad \text{για}$$

$$0.17 \leq K_T \leq 0.8 \quad (2.13)$$

Έχοντας υπολογίσει για κάθε ημέρα τα $G_d(0)$ και $D_d(0)$, μπορούν να υπολογιστούν και οι ωριαίες ενέργειες (hourly irradiation) $G_h(0)$ και $D_h(0)$. Το $B_h(0)$ δίνεται από τη σχέση $B_h(0) = G_h(0) - D_h(0)$. Για τα $G_h(0)$ και $D_h(0)$ ισχύουν οι σχέσεις:

$$D_h(0) = r_d D_d(0) \text{ και } G_h(0) = r_g G_d(0) \quad (2.14)$$

όπου:

$$r_d = \frac{\pi}{24} \frac{\cos\omega - \cos\omega_s}{\omega_s \cos\omega_s - \sin\omega_s} \quad (2.15)$$

και

$$r_g = r_d (a + b \cos\omega) \quad (2.16)$$

Το ω_s έχει ήδη οριστεί, το ω είναι η ηλιακή ώρα της ημέρας, ενώ τα a και b υπολογίζονται με τις σχέσεις:

$$a = 0.409 - 0.5016 \sin(\omega_s + 1.047) \quad (2.17)$$

και

$$b = 0.6609 + 0.4767 \sin(\omega_s + 1.047) \quad (2.18)$$

Σε όλες τις παραπάνω σχέσεις τα ω και ω_s πρέπει να δίνονται σε ακτίνια.

Μέχρι τώρα έχουν υπολογιστεί οι ωριαίες συνολικές ενέργειες $B_h(0)$, $G_h(0)$ και $D_h(0)$ και πρέπει να υπολογιστούν οι αντίστοιχες ποσότητες σε κεκλιμένο επίπεδο β_0 . Οι παρακάτω εξισώσεις που σχετίζονται με αυτές τις ποσότητες παρέχουν ισχύ. Για τον υπολογισμό, λοιπόν, της ενέργειας αρκεί να ολοκληρωθούν αυτές τις σχέσεις για μια ώρα. Έχοντας επιλέξει κλίμακα μιας ώρας και στηριζόμενοι στη θεώρηση που έγινε αρχικά ότι η συνολική ωριαία ενέργεια είναι αριθμητικά ίση με την ισχύ στο μέσο της ώρας οι παραπάνω υπολογισμοί γίνονται αρκετά απλούστεροι.

Έτσι λοιπόν για την ακτινοβολία $B_h(\beta)$ ισχύει:

$$B_h(\beta) = \left(\frac{G_h(0) - D_h(0)}{\cos \theta_{zs}} \right) \max(0, \cos \theta_s) \quad (\text{W/m}^2) \quad (2.19)$$

όπου:

$$\cos \theta_s = \sin \delta \sin(\varphi - \beta) + \cos \delta \cos(\varphi - \beta) \cos \omega \quad (2.20)$$

και

$$\cos \theta_{zs} = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega \quad (2.21)$$

Για την ακτινοβολία απο ανάκλαση στη Γη ισχύει:

$$R_h(\beta) = G_h(\beta) (1 - \cos \beta) \rho / 2 \quad (\text{W / m}^2) \quad (2.22)$$

Όπου ρ είναι ο δείκτης ανάκλασης του εδάφους και αν η τιμή του δεν είναι γνωστή λαμβάνεται ίση με 0.2. Στον Πίνακα παρουσιάζονται τυπικές τιμές του ρ για διάφορους τύπους εδάφους.

Πίνακας 2.1 Συντελεστής ανάκλασης για διάφορους τύπους εδάφους	
<i>Έδαφος</i>	<i>Συντελεστής ανάκλασης (ρ)</i>
Ξηρό-γυμνό έδαφος	0.2
Έδαφος με χορτάρι	0.3
Έρημος	0.4
Χιόνι	0.5-0.8

Τέλος για τον υπολογισμό του $D_h(\beta)$ χρησιμοποιείται το ανισοτροπικό μοντέλο του Klutcher σύμφωνα με το οποίο ισχύει ότι:

$$D_h(\beta) = \frac{(1 + \kappa_1 \cos^2 \theta_s \sin^3 \theta_{zs})(1 + \kappa_1 \sin^3 \frac{\beta}{2}) D_h(0)(1 + \cos \beta)}{2} (W / m^2) \quad (2.23)$$

όπου:

$$\kappa_1 = 1 - \left(\frac{D_h(0)}{G_h(0)} \right)^2 \quad (2.24)$$

Έτσι για την μέση ωριαία ισχύ (ή την συνολική ωριαία ενέργεια) ισχύει :

$$G_h(\beta) = R_h(\beta) + D_h(\beta) + B_h(\beta) \quad (W / m^2) \quad (2.25)$$

Για την εύρεση της συνολικά ακτινοβολούμενης ενέργειας σε μια ημέρα αρκεί να ολοκληρωθεί η ποσότητα $G_h(\beta)$ για μια ημέρα σύμφωνα με τη σχέση:

$$G_d(\beta) = \int_{\omega_{ss}}^{\omega_{ps}} G_h(\beta) dt \text{ (Wh/m}^2\text{)} \quad (2.26)$$

όπου:

$$\omega_{ss} = -\omega_{ps} = \max\{\omega_s, -\arcsin(-\tan\delta \tan(\varphi - \beta))\} \quad (2.27)$$

είναι η γωνία ανατολής και δύσης αντίστοιχα με το συλλέκτη σε κλίση β_0 , ενώ η σχέση που συνδέει τις ποσότητες ω και t είναι:

$$\omega(^{\circ}) = 15(t - 12) \quad (2.28)$$

2.8 Φωτοβολταϊκά στοιχεία

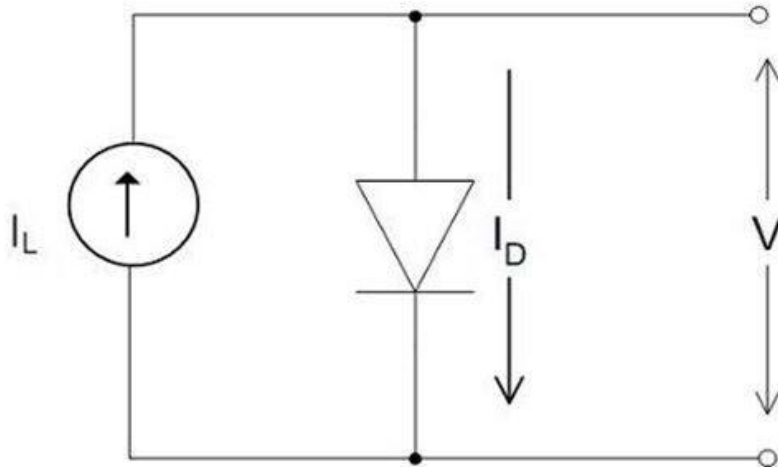
Η απ' ευθείας μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια επιτυγχάνεται με τη βοήθεια των ηλιακών κυττάρων, των οποίων την αρχή λειτουργίας αποτελεί το φωτοβολταϊκό φαινόμενο.

Πρώτος ο Becquerel (1839) παρατήρησε την ανάπτυξη τάσεως μεταξύ δύο ηλεκτροδίων μέσα σε ηλεκτρολύτη όταν ηλιακό φως πέσει σε ένα απο αυτά. Γύρω στα 1954 επιτεύχθηκε μεγάλος βαθμός απόδοσης (6%) στο πυρίτιο (Si) και στη συνέχεια στο θειούχο κάδμιο (CdS). Διαδοχικές τεχνολογικές βελτιώσεις ανύψωσαν το βαθμό απόδοσης στην τάξη του 15%. Η ενεργειακή κρίση του 1973 έδωσε τη μεγάλη ώθηση για την ανάπτυξη της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας, σε επίγειες εφαρμογές [5]. Σταδιακά η χρήση τους επεκτάθηκε σημαντικά ώστε σήμερα να διεκδικούν πρωταγωνιστική θέση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

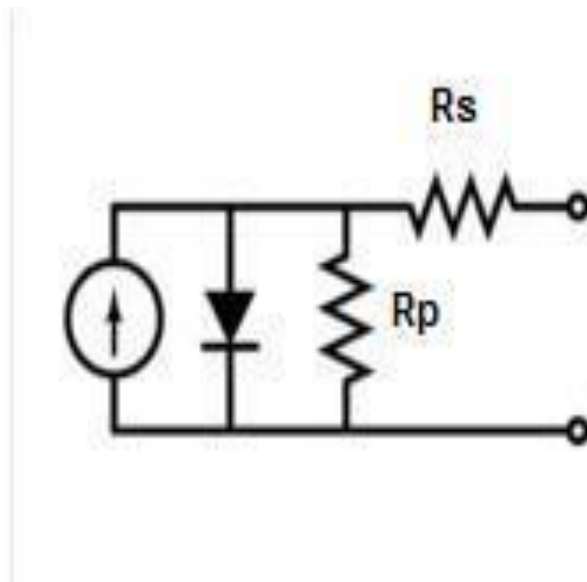
Όπως προαναφέρθηκε τα φωτοβολταϊκά μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική. Πρόκειται για διόδους ημιαγωγών οι οποίες όταν δέχονται το ηλιακό φως στην επιφάνεια τους εκδηλώνουν μια διαφορά δυναμικού. Η τάση που μπορούν να δώσουν κυμαίνεται απο 0.5 εως 1 volt και η πυκνότητα ρεύματος απο 20 εως 40 mA/cm² ανάλογα με το υλικό κατασκευής και την ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι υπο τη μορφή συνεχούς ρεύματος και μπορεί είτε να χρησιμοποιηθεί σε αυτή τη μορφή είτε να μετατραπεί σε εναλλασσόμενο ρεύμα ή ακόμα να αποθηκευτεί για να χρησιμοποιηθεί αργότερα[1].

2.8.1 Κυκλωματικό ισοδύναμο

Στο σχήμα 2.7 φαίνεται το ισοδύναμο κύκλωμα ενός ιδανικού φωτοβολταϊκού στοιχείου, ενώ στο σχήμα 2.8 το ισοδύναμο ενός πραγματικού φωτοβολταϊκού στοιχείου.



Σχήμα 2.7 Το κύκλωμα ενός ιδανικού Φ/Β στοιχείου.



Σχήμα 2.8 Το κύκλωμα ενός πραγματικού Φ/Β στοιχείου.

Όπως φαίνεται απο το σχήμα 2.8 το κύκλωμα ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου αποτελείται απο μια πηγή συνεχούς ρεύματος I_L (ή I_{PH} το οποίο καλείται φωτόρευμα, καθώς δημιουργείται απο το ηλιακό φώς), απο μία δίοδο παράλληλα συνδεδεμένη με ρεύμα I_D και απο δύο αντιστάσεις, R_s και R_p σε σειρά και παράλληλα με τη δίοδο αντίστοιχα. Το ρεύμα που παράγει το στοιχείο είναι:

$$I = I_{PH} - I_0 \left(e^{\frac{e(V+IR_s)}{AkT}} - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (2.29)$$

Όπου:

- I_0 είναι το ρεύμα κόρου διόδου,
- I είναι το ρεύμα στην έξοδο του κυττάρου,
- V είναι η τάση στα άκρα του στοιχείου,
- e είναι το φορτίο του ηλεκτρονίου,
- k είναι η σταθερά Boltzmann(= $1.38 \cdot 10^{-23}$ J/K),
- T είναι η απόλυτη θερμοκρασία του στοιχείου

Επίσης:

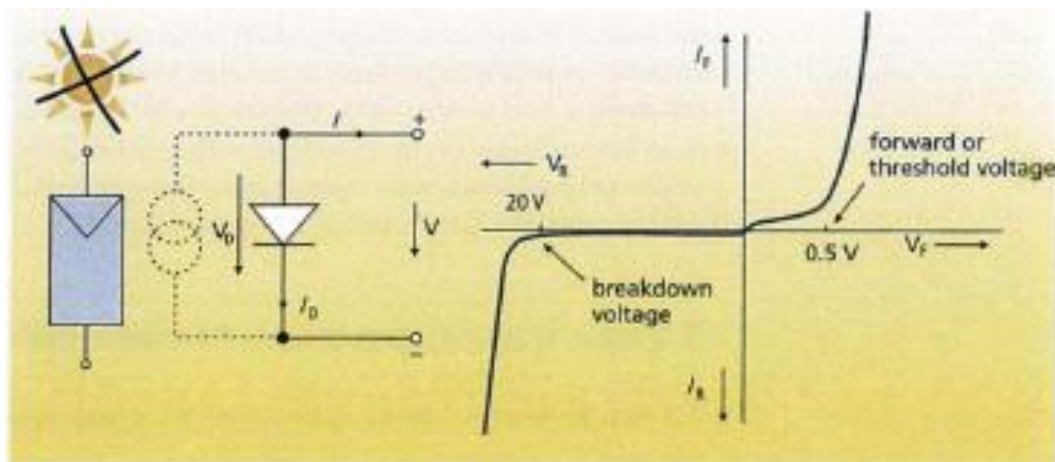
A = σταθερά με τιμές μεταξύ 1 και 2. Οφείλεται σε φαινόμενα επανασύνδεσης που συμβαίνουν στην περιοχή της επαφής.

R_s = σε σειρά αντίσταση του κυττάρου. Παριστάνει σε συγκεντρωμένη μορφή όλα τα κατανεμημένα στοιχεία αντίστασης κατα τη ροή των φορέων απο τον ημιαγωγό στις ηλεκτρικές επαφές.

R_p = παράλληλη αντίσταση. Οφείλεται σε διαρροές των φορέων που συμβαίνουν είτε στην επαφή p-n (επανασύνδεση), είτε στην εξωτερική παράπλευρη επιφάνεια του κυττάρου, είτε σε άλλες ανωμαλίες του κρυστάλλου.

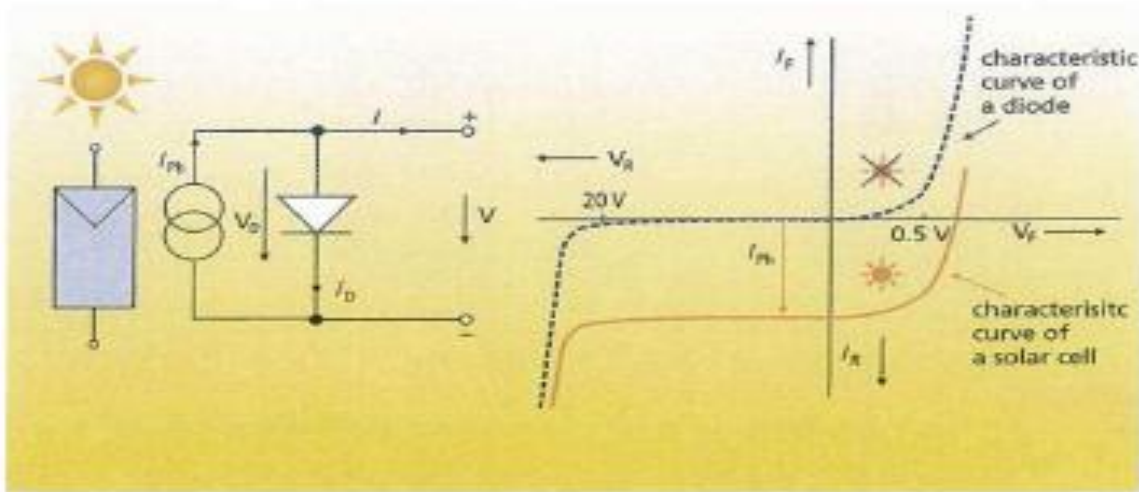
2.8.2 I-V χαρακτηριστική

Όταν το φωτοβολταϊκό στοιχείο δέν φωτίζεται η πηγή ρεύματος στο ισοδύναμο είναι ανοιχτοκυκλωμένη (δεν υπάρχει φωτόρευμα). Έτσι η χαρακτηριστική I-V του στοιχείου ταυτίζεται με τη χαρακτηριστική της διόδου. Η χαρακτηριστική αυτή φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



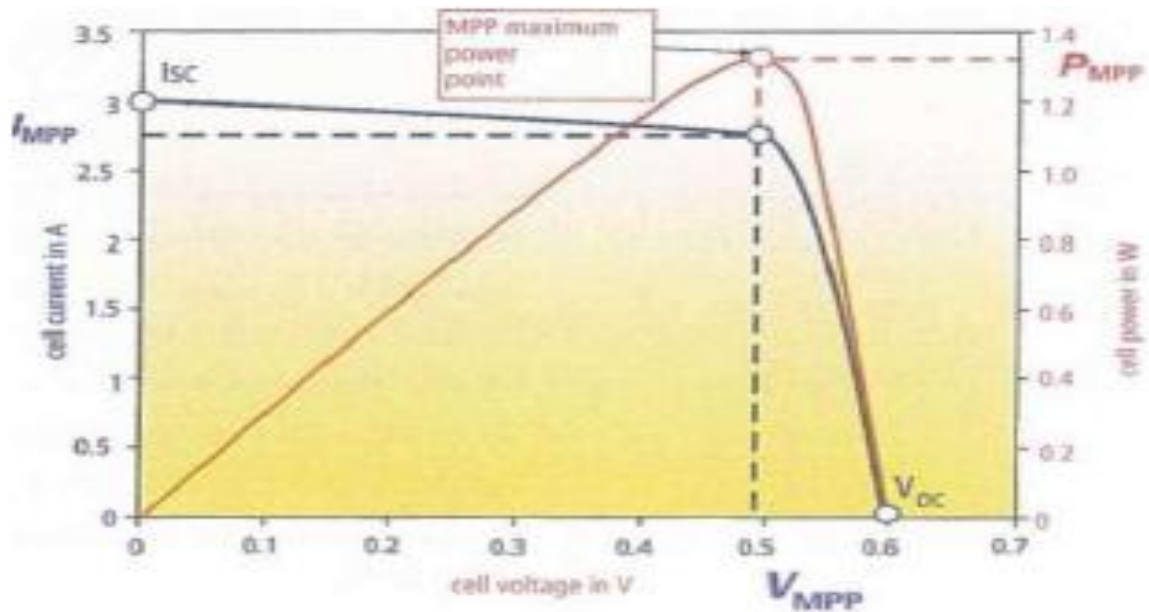
Σχ 2.9 Χαρακτηριστική I-V Φ/Β όταν δέν φωτίζεται.

Όταν ηλιακό φώς προσπίπτει στο ηλιακό κύτταρο τότε έχουμε φωτόρευμα και η χαρακτηριστική του στοιχείου μετατοπίζεται κατα I_{PH} προς τα κάτω. Οι δύο χαρακτηριστικές παρατίθενται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχ 2.10 Χαρακτηριστική I-V για σκοτεινό(με μαύρο) και για φωτισμένο(με κόκκινο) ηλιακό κύτταρο.

Για λόγους κυκλωματικής ανάλυσης έχει επικρατήσει η αναπαράσταση της χαρακτηριστικής I-V του κυττάρου να γίνεται στο πρώτο τεταρτημόριο[5] (σχήμα 2.11).



Σχ 2.11 Χαρακτηριστική I-V στο πρώτο τεταρτημόριο.

Όπως φαίνεται απο το προηγούμενο σχήμα υπάρχει ένα σημείο (V_{MPP}, I_{MPP}) που αντιστοιχεί στο σημείο μέγιστης ισχύος του φωτοβολταϊκού. Με κόκκινο χρώμα φαίνεται η αντίστοιχη χαρακτηριστική ισχύος-τάσης P-V όπου για το προηγούμενο σημείο η ισχύς είναι η μέγιστη δηλαδή P_{MPP} . Επίσης για μηδενική τάση ($V=0$) έχουμε ρεύμα I_{SC} το οποίο καλείται ρεύμα βραχυκύκλωσης. Αντίστοιχα για μηδενικό ρεύμα ($I=0$) έχουμε τάση V_{OC} η οποία καλείται τάση ανοιχτοκύκλωσης.

Ως συντελεστής πλήρωσης (FillFactor) ορίζεται το πηλίκο:

$$FF = \frac{V_{MPP} \cdot I_{MPP}}{V_{OC} \cdot I_{OC}} \quad (2.30)$$

Είναι ένα μέτρο του πόσο «τετράγωνη» είναι η καμπύλη. Τυπικές τιμές βρίσκονται μεταξύ 0.7 και 0.85.

Ο βαθμός απόδοσης του Φ/Β στοιχείου ορίζεται ως ο λόγο της μέγιστης ισχύος που μπορεί να μεταφερθεί στο φορτίο P_{MPP} προς την ισχύ που παράγεται απο το στοιχείο (την ισχύ που αντιστοιχεί στο φωτόρευμα) P_L .

$$\eta = \frac{V_{MPP} \cdot I_{MPP}}{P_L} = \frac{V_{OC} \cdot I_{SC} \cdot FF}{P_L} \quad (2.31)$$

Ο βαθμός απόδοσης των ηλιακών κυττάρων του εμπορίου κυμαίνεται μεταξύ 12-14 % ενώ σε πειραματικά μοντέλα έχουν επιτευχθεί μεγαλύτερες τιμές.

2.8.3 Συστοιχίες κυττάρων

Τη μικρότερη δομική μονάδα ομαδοποιημένων ηλιακών κυττάρων αποτελεί το πλαίσιο (MODULE) που είναι ένα σύνολο κυττάρων, ηλεκτρικών συνδέσεων κ.τ.λ κατάλληλα κατασκευασμένων ώστε να δίνουν κάποια DC ισχύ όταν προσπίπτει ηλιακό φως. Ακολουθεί το PANEL, που είναι ένα σύνολο από δύο ή περισσότερα πλαίσια συνδεδεμένα μεταξύ τους τόσο από μηχανική όσο και από ηλεκτρική άποψη. Τέλος, η συστοιχία (ARRAY) είναι ένα μηχανικά ολοκληρωμένο σύνολο από PANELS μαζί με την κατασκευή στήριξης και ό,τι άλλο είναι απαραίτητο για να αποτελέσει μία ανεξάρτητη μονάδα φωτοβολταϊκής παραγωγής ισχύος[5].

Ένα σημαντικό μέγεθος που χαρακτηρίζει τα Φ/Β πλαίσια είναι η “nominal cell operating temperature”(NCOT). Η NCOT εκφράζει τη θερμοκρασία των πλαισίων υπό τις εξής συνθήκες:

- ακτινοβολία 800 W/m,
- AM 1.5,
- Ταχύτητα ανέμου 1 m/s,
- θερμοκρασία περιβάλλοντος 20°C.

Όταν ο κατασκευαστής δέν δίνει την τιμή της NCOT η τιμή που χρησιμοποιείται είναι 44°C.

Οι κατασκευαστές Φ/Β πλαισίων παρέχουν τις τιμές των παρακάτω μεγεθών της μέγιστης ισχύος εξόδου (W_p), του ρεύματος βραχυκύκλωσης και της τάσης ανοικτοκύκλωσης. Οι παρακάτω τιμές αντιστοιχούν σε ακτινοβολία 1000 W/m², AM 1.5 και θερμοκρασία στοιχείων 25°C.

2.8.4 Υπολογισμός ισχύος πλαισίων σε οποιεσδήποτε συνθήκες

Συνήθως είναι απαραίτητο να υπολογιστεί η ισχύς εξόδου ενός Φ/Β πλαισίου για συνθήκες διαφορετικές από εκείνες που δίνει ο κατασκευαστής. Συγκεκριμένα πρέπει να υπολογιστεί η μέγιστη ισχύς εξόδου ενός πλαισίου σε προκαθορισμένες συνθήκες ακτινοβολίας και θερμοκρασίας. Για αυτό το σκοπό χρησιμοποιούνται οι παρακάτω κανόνες.

A) Το ρεύμα βραχυκύκλωσης ενός στοιχείου στις εκάστοτε συνθήκες δίνεται από τη σχέση:

$$I_{sc} = C_1 G \quad (2.32)$$

Όπου G είναι η προσπίπτουσα ακτινοβολία και η σταθερά C_1 δίνεται από τη σχέση:

$$C_1 = \frac{I_{sc}(1000 \text{ W/m}^2)}{1000} \text{ Am}^2/\text{W} \quad (2.33)$$

B) Η τάση ανοικτοκύκλωσης μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία με ρυθμό:

$$\frac{dV_{oc}}{dT_c} = -2.3 \text{ mV}/^\circ \text{C} \quad (2.34)$$

Γ) Η θερμοκρασία των στοιχείων του πλαισίου εξαρτάται από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος T_a σύμφωνα με τη σχέση:

$$T_c - T_a = C_2 G \quad (2.35)$$

οπου:

$$C_2 = \frac{NCOT - 20^\circ C}{800 W / m^2} \quad (2.36)$$

Δ) Τέλος, θεωρείται οτι η αντίσταση R_s των στοιχείων των πλαισίων δεν επηρεάζεται απο τις ατμοσφαιρικές συνθήκες και δίνεται απο τη σχέση:

$$R_s = \left(1 - \frac{FF}{FF_o} \right) \frac{V_{oc}}{I_{sc}} \quad (2.37)$$

Ε) Τα FF και FF0 συνδέονται με τον εξής εμπειρικό τύπο:

$$FF = \frac{V_m I_m}{V_{oc} I_{sc}} = FF_o (1 - r_s) \quad (2.38)$$

ΣΤ) Τα r_s και FF_o υπολογίζονται αντίστοιχα από τις σχέσεις:

$$r_s = \frac{R_s}{V_{oc} / I_{sc}} \quad (2.39)$$

και

$$FF_o = \frac{v_{oc} - \ln(v_{oc} + 0.72)}{v_{oc} + 1} \quad (2.40)$$

Γνωρίζοντας τη μέγιστη ισχύ εξόδου PMPP στις standard test conditions (STC) συνθήκες (ακτινοβολία 1000 W/m^2 , AM 1.5 και θερμοκρασία στοιχείων 25°C που δίνουν οι κατασκευαστές, καθώς και τις τιμές τών κυττάρων σε σειρά N_s και τών συνδεδεμένων παράλληλα ομάδων N_p προκύπτει εύκολα η μέγιστη ισχύς εξόδου ενός στοιχείου σε STC συνθήκες[1]:

$$P_m = \frac{P_{Mm}}{N_s N_p} \quad (2.41)$$

Έχοντας υπολογίσει το P_m η μέγιστη ισχύς του πλαισίου (panel) υπολογίζεται με τη σχέση:

$$P_{Mm} = N_s N_p P_m \quad (2.42)$$

2.8.5 Τα Φ/Β πλαίσια του συστήματος της παρούσας εργασίας

Στην παρούσα εργασία θεωρούμε ότι κάθε πλαίσιο είναι σύστημα με ορισμένες εισόδους και ορισμένες εξόδους. Εκτός από την ημέρα και ώρα του έτους για την οποία θέλουμε να υπολογίσουμε την ισχύ των Φ/Β πλαισίων και την κλίση θ ως προς το οριζόντιο επίπεδο, τις υπόλοιπες εισόδους τις χωρίζουμε σε δυο κατηγορίες:

- Η πρώτη κατηγορία είναι αυτή που αφορά μετεωρολογικά δεδομένα του τόπου που μας ενδιαφέρει (δηλαδή μέση συνολική ημερήσια ή μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία G (Wh/m^2) σε οριζόντιο επίπεδο και η μέση ημερήσια ή μηνιαία θερμοκρασία T ($^{\circ}\text{C}$)).
- Η δεύτερη κατηγορία είναι αυτή που σχετίζεται με τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των Φ/Β πλαισίων (όπως είναι ο αριθμός στοιχείων ανά πλαίσιο N_C , η μέγιστη τάση εξόδου V_{MPP} , το μέγιστο ρεύμα εξόδου I_{MPP} , η τάση ανοικτοκύκλωσης V_{OC} , το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{SC} , η μέγιστη ισχύς P_{MPP} και η ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας των στοιχείων $NCOT$).

Οι έξοδοι του συστήματος είναι η μέγιστη παραγόμενη ισχύς (σε W) για κάθε ώρα της ημέρας που εξετάζεται.

3. ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ-ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

3.1 Αιολική Ενέργεια – Αιολικό δυναμικό

Η ενέργεια του ανέμου σήμερα αποτελεί τη βασικότερη συνιστώσα στις εφαρμογές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, για παραγωγή ενέργειας, μεγάλης ισχύος. Η αιολική ενέργεια προέρχεται από την ηλιακή ακτινοβολία. Η ατμόσφαιρα απορροφά θερμότητα η οποία είναι μεταβλητή χωρικά και χρονικά. Εξ' αιτίας αυτής της ανομοιόμορφης θέρμανσης δημιουργούνται διαφορές πίεσης στον αέρα όπου υποβάλλουν τεράστιες αέριες μάζες σε κίνηση, δηλαδή δημιουργούν άνεμο.

Τα βασικά χαρακτηριστικά του ανέμου είναι η διεύθυνση και η ένταση, τα οποία μετρώνται με τη βοήθεια ανεμομέτρων και ανεμογράφων και μας δίνουν τους ανεμολογικούς χάρτες και πίνακες οι οποίοι κατασκευάζονται με συνεχείς παρατηρήσεις.

3.2 Ανεμογεννήτριες και είδη ανεμογεννητριών

Ανεμογεννήτρια (Α/Γ) είναι η διάταξη που μετατρέπει την αιολική ενέργεια σε ηλεκτρική. Κάθε ανεμογεννήτρια αποτελείται από μία ηλεκτρογεννήτρια στον άξονα της οποίας είναι στερεωμένη πτερωτή με ένα, δύο ή και περισσότερα συμμετρικώς διατεταγμένα πτερύγια. Στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται δίπτερες και τρίπτερες ανεμογεννήτριες. Η περιστροφική ενέργεια της πτερωτής μεταφέρεται μέσω συστήματος γραναζιών στην ηλεκτρογεννήτρια.

Ανάλογα με την ονομαστική ισχύ που παρέχουν οι Α/Γ διακρίνονται σε:

- Μικρές Α/Γ : μέχρι 10 kW ισχύς, πτερύγια διαμέτρου ~ 4 m
- Μεσαίες Α/Γ : μέχρι 100 kW, πτερύγια διαμέτρου ~ 20 m
- Μεγάλες Α/Γ : μέχρι 2-3 kW, πτερύγια διαμέτρου ~ 60 m

Επίσης οι Α/Γ μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με τον προσανατολισμό των αξόνων τους σε σχέση με τη ροή του ανέμου ως εξής:

- Α/Γ οριζοντίου άξονα
- Α/Γ καθέτου άξονα



Σχ 3.2 Ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα

Οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα έχουν άξονα περιστροφής δρομέα παράλληλο προς την επιφάνεια της Γης και προς την κατεύθυνση ροής του ανέμου(τύπου Head-On) εκτός αν είναι τύπου Cross-Wind, οπότε έχουν (όπως και οι προηγούμενες) άξονα περιστροφής δρομέα παράλληλο προς την επιφάνεια της Γης αλλά κάθετο προς την κατεύθυνση ροής του ανέμου.

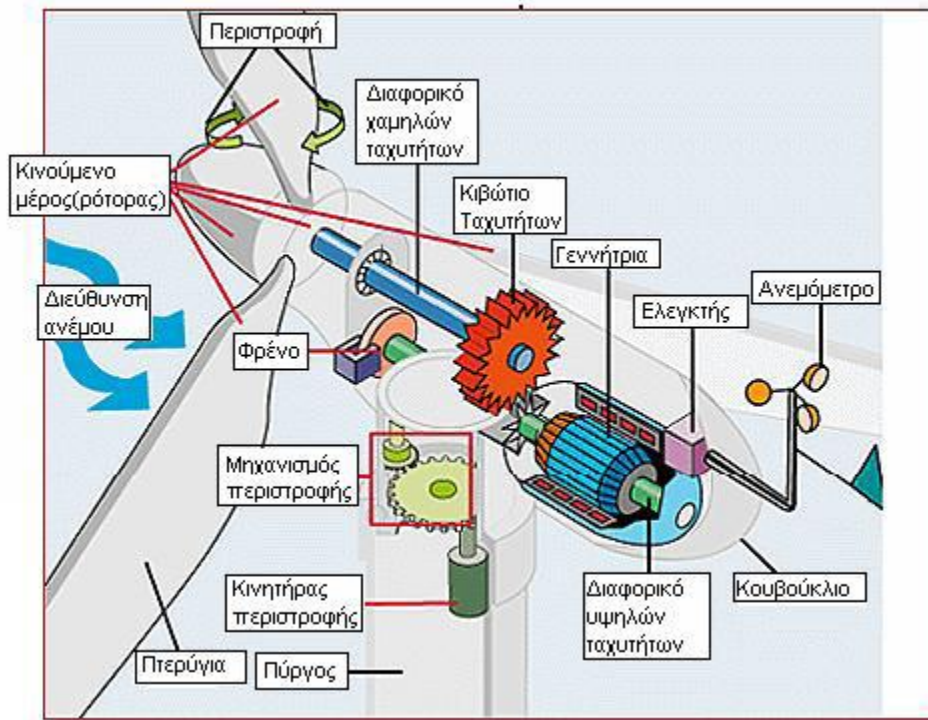


Σχ 3.3 Ανεμογεννήτρια καθέτου άξονα

Γενικότερα οι δύο κατηγορίες (οριζόντιου – κατακόρυφου άξονα) έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και η επιλογή τους εξαρτάται απο τη συγκεκριμένη χρήση. Αναφέρουμε οτι οι κατακόρυφου άξονα είναι πίο απλοί στην κατασκευή και στη συντήρηση και έχουν ανεξαρτησία στη διεύθυνση του ανέμου. Οι Α/Γ οριζοντίου άξονα έχουν μεγαλύτερη απόδοση απο τις κατακορύφου άξονα, και όντας πολύστροφοι προσφέρονται καλύτερα για ηλεκτροπαραγωγή σε μέτρια και μεγάλα συστήματα. Επίσης δεν χαρακτηρίζονται απο έλλειψη ροπής εκκίνησης όπως οι κατακορύφου άξονα.

3.3 Δομικά στοιχεία ανεμογεννήτριας

Οι βασικές δομικές μονάδες μιας ανεμογεννήτριας (σχ 3.5) είναι οι εξής:



Σχ 3.5 Οι βασικές δομικές μονάδες μιας ανεμογεννήτριας οριζώντιου άξονα

- Πτερόγια

Τα πτεύγια κατασκευάζονται για μικρά συστήματα απο ξύλο, πλαστικό ή πανί, ενώ για μεγάλα συστήματα απο χάλυβα ή απο κράματα αλουμινίου. Έχουν αεροδυναμικά σχήματα, μπορεί να είναι σταθερής ή μεταβλητής χορδής, να είναι επίπεδα ή στρεβλά, να είναι σταθερά

προσαρμοσμένα ή να επιτρέπουν κωνικοποίηση ώστε να απαλύνουν τις δυνάμεις που ασκούνται. Γενικά η κατασκευή των περυγίων γίνεται με σκοπό να είναι ανθεκτικά απέναντι στις ασκούμενες δυνάμεις και να παρουσιάζουν μεγάλη απόδοση.[8]

- Κουβούκλιο

Περιλαμβάνει όλα τα βασικά στοιχεία της Α/Γ (κιβώτιο ταχυτήτων, ηλεκτρικής γεννήτριας, ελεγκτές). Το κουβούκλιο ενώνει τον πύργο της Α/Γ με την κεφαλή στην οποία είναι στερεωμένα τα περύγια.

- Κιβώτιο ταχυτήτων

Το κιβώτιο ταχυτήτων είναι ουσιαστικά ένα σύστημα γραναζιών τα οποία μεταφέρουν την περιστροφική κίνηση από το διαφορικό χαμηλών στροφών (αριστερά του κιβωτίου) στο διαφορικό υψηλών στροφών (δεξιά του κιβωτίου) με σκοπό την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής έως και 45 φορές (λόγος 45:1). Το διαφορικό χαμηλών στροφών στρέφεται με την ταχύτητα του κινούμενου μέρους (ρότορα), ενώ το διαφορικό υψηλών στροφών με την ταχύτητα της εκάστοτε ηλεκτρικής γεννήτριας.

- Ηλεκτρική Γεννήτρια

Η ηλεκτρική γεννήτρια είναι μία σύγχρονη ή ασύγχρονη γεννήτρια. Οι ασύγχρονες μηχανές λόγω της στιβαρότητας που διαθέτουν και του μικρού τους κόστους χρησιμοποιούνται περισσότερο στις μικρού ή μεσαίου μεγέθους Α/Γ. Οι ασύγχρονες μηχανές όμως δεν έχουν τη δυνατότητα παραγωγής της αέργου ισχύος που απαιτείται για τη λειτουργία τους οπότε τροφοδοτούνται με εξωτερική πηγή αέργου ισχύος (π.χ σύνδεση συστοιχίας πυκνωτών στους ακροδέκτες της). Αυτό το μειονέκτημα δημιουργεί προβλήματα στο δίκτυο διανομής που είναι συνδεδεμένη η γεννήτρια. Οι σύγχρονες μηχανές αντίθετα παράγουν την αέργο ισχύ που

απαιτείται για τη διέγερση της μηχανής και τις καταναλώσεις που τροφοδοτεί αλλά μειονεκτούν στο ότι οι διακυμάνσεις των στροφών που προκαλούνται κατά τις απότομες μεταβολές του ανέμου μεταφέρονται απ' ευθείας στο δίκτυο, εκτός αν συνδέονται μέσω μετατροπέα AC-DC.

- Μηχανισμός Περιστροφής

Για τον προσανατολισμό του άξονα της Α/Γ σε παράλληλη θέση με τη διεύθυνση του ανέμου χρησιμοποιείται ένας σερβοκινητήρας ο οποίος ελέγχεται από τον ανεμοδείκτη του ανεμογράφου και περιστρέφει το κουβούκλιο της Α/Γ με τη βοήθεια γραναζιών.

- Ηλεκτρονικό Σύστημα Αυτόματου Ελέγχου

Οι Α/Γ διαθέτουν συστήματα αυτόματου ελέγχου. Έτσι με τη βοήθεια ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή η κατάσταση της ανεμογεννήτριας παρακολουθείται διαρκώς. Τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου εκτελούν τις ακόλουθες εργασίες:

- ✓ έλεγχος αεροδυναμικής πέδησης,
- ✓ έλεγχος μηχανικού συστήματος πέδησης,
- ✓ έλεγχος ταλαντώσεων του συστήματος,
- ✓ έλεγχος περιστροφής και
- ✓ έλεγχος βέλτιστης λειτουργίας.

Έτσι τα συστήματα αυτά φροντίζουν για την ενεργοποίηση ή παυση λειτουργίας της Α/Γ, ανάλογα με τις ενδείξεις του ανεμομέτρου και των δεδομένων του συστήματος.

- Ανεμόμετρο και ανεμοδείκτης

Το ανεμόμετρο και ο ανεμοδείκτης μετρούν ένταση και διεύθυνση του ανέμου αντίστοιχα. Τα ηλεκτρικά σήματα του ανεμομέτρου χρησιμοποιούνται από τους ηλεκτρονικούς ελεγκτές είτε για

να αρχίσει η λειτουργία της Α/Γ όταν η ταχύτητα του ανέμου ξεπεράσει μία ορισμένη τιμή είτε για να διακόψουν την λειτουργία της σε περίπτωση που ξεπεραστεί ένα ανώτατο όριο ταχύτητας ανέμου για να προστατευτεί η Α/Γ. Τα ηλεκτρικά σήματα του ανεμοδείκτη χρησιμοποιούνται για να στραφεί η Α/Γ απέναντι στον άνεμο με τη βοήθεια του μηχανισμού περιστροφής.

- Πύργος Στήριξης

Ο πύργος στήριξης της ανεμογεννήτριας στηρίζει το κουβούκλιο και τα κινούμενα μέρη της. Στο εσωτερικό του υπάρχει μία σκάλα ή και ασανσέρ τα οποία καταλήγουν στο κουβούκλιο της μηχανής. Είναι πλεονέκτημα ο πύργος να έχει μεγάλο ύψος αφού οι ταχύτητες του ανέμου αυξάνονται όσο απομακρυνόμαστε από το έδαφος.

- Υδραυλικό Σύστημα

Μέσα στο κουβούκλιο υπάρχει το υδραυλικό σύστημα το οποίο ρυθμίζει τα αεροδυναμικά φρένα της ανεμογεννήτριας.

3.4 Χαρακτηριστικά Μεγέθη Ανεμογεννήτριας

Τα βασικότερα χαρακτηριστικά μεγέθη μίας Α/Γ είναι τα ακόλουθα:

- 1) Ταχύτητα έναρξης V_i (cut-inspeed): Είναι η ελάχιστη δυνατή ταχύτητα του ανέμου για την οποία η Α/Γ αρχίζει να παράγει ηλεκτρική ισχύ. Αυτό συμβαίνει λόγω τριβών, μηχανικών απωλειών κ.λ.π. Είναι περίπου της τάξεως των 4 m/s.
- 2) Ονομαστική ταχύτητα V_R (ratedspeed): Η ταχύτητα του ανέμου για την οποία έχουμε παραγωγή της ονομαστικής (δηλαδή μέγιστης) ισχύος της γεννήτριας.

- 3) Ταχύτητα αποσύζευξης V_0 (cut-out speed): Απο την ονομαστική μέχρι αυτή την ταχύτητα η μηχανή παράγει την ονομαστική της ισχύ ενώ για μεγαλύτερες απο τη V_0 ταχύτητες (της τάξεως των 30 m/s) διακόπτεται η λειτουργία της μηχανής για λόγους προστασίας του συστήματος.
- 4) Ονομαστική Ισχύς P_R : Είναι η τιμή της ισχύος εξόδου της εκάστοτε Α/Γ στην ονομαστική της ταχύτητα.
- 5) Διάμετρος Πτερυγίων: Αυτή η παράμετρος έχει μεγάλη σημασία διότι απο αυτή καθορίζεται το κόστος της φτερωτής και εξαρτάται η ισχύς της Α/Γ.

3.5 Ισχύς Ανεμογεννητριών

Η ισχύς του ανέμου που διαπερνά κάθετα μία επιφάνεια S είναι ίση με:

$$P_w = \frac{1}{2} m \cdot u^2 \quad (3.1)$$

όπου

μη μάζα του αέρα που διαπερνά την επιφάνεια S σε kg,

μη ταχύτητα του ανέμου σε m/s.

Ισχύει ότι:

$$m = \rho \cdot S \cdot u \quad (3.2)$$

όπου ρ η πυκνότητα του αέρα σε kg/m³.

Επομένως η ισχύς του ανέμου γίνεται:

$$P_w = \frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot u^3 \quad (3.3)$$

Ορίζουμε συντελεστή ισχύος της Α/Γ τον λόγο:

$$a = \frac{P_M}{P_w} \quad (3.4)$$

όπου P_M μηχανική ισχύς που παράγεται.

Η μέγιστη τιμή του C_p είναι 0,593 και καλείται όριο του Betz.

Ο C_p είναι συνάρτηση του λόγου λ της γραμμικής ταχύτητας του άκρου της έλικας προς την ταχύτητα του ανέμου u .

$$C_p = C_p(\lambda) \quad (3.5)$$

$$\lambda = \frac{u_{ελ}}{u} = \frac{R_{ελ} \cdot \omega_{ελ}}{u} \quad (3.6)$$

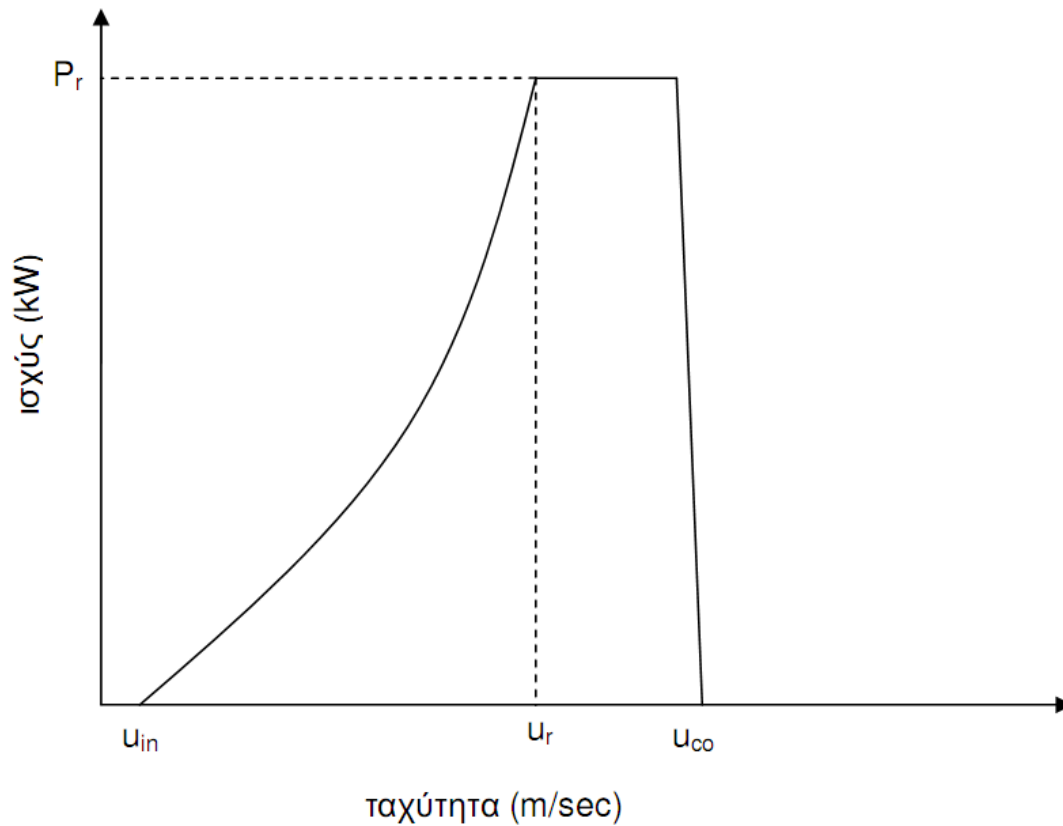
όπου:

$u_{ελ}$ η γραμμική ταχύτητα του άκρου της έλικας σε m/s,

$R_{ελ}$ η ακτίνα της έλικας σε m και

$\omega_{ελ}$ η γωνιακή ταχύτητα της έλικας σε m^{-1} .

Παρακάτω φαίνεται η χαρακτηριστική καμπύλη ισχύος μιας Α/Γ με την ταχύτητα του ανέμου.



Σχ 3.4 Χαρακτηριστική καμπύλη ισχύος Α/Γ ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου.

Η μαθηματική συνάρτηση που εκφράζει την καμπύλη ισχύος είναι η εξής:

$$P_r = \left\{ \begin{array}{l} 0, u \leq u_{in} \\ P_r \left(\frac{u}{u_r} \right)^2, u_{in} \leq u \leq u_r \\ P_r, u_r \leq u \leq u_{co} \\ 0, u_r \leq u \end{array} \right. \quad (3.7)$$

3.6 Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου ανάλογα με το ύψος πάνω από το έδαφος

Η ταχύτητα του ανέμου μεταβάλλεται ανάλογα με το ύψος. Η μεταβολή αυτή περιγράφεται μαθηματικά με δύο νόμους που είναι οι εξής:

➤ Εκθετικός Νόμος

Σύμφωνα με το νόμο αυτό η ταχύτητα του ανέμου σε ένα ύψος h είναι ίση με:

$$u_h = u_R \left(\frac{h}{h_R} \right)^a \quad (3.8)$$

όπου:

u_R είναι η μετρούμενη σε ένα ύψος h_R ταχύτητα.

a είναι ο εκθέτης του εκθετικού νόμου και εξαρτάται από τη φύση του εδάφους. Συνήθως λαμβάνει τιμές από $[1/7, 1/4]$.

Μερικές τυπικές τιμές για τον εκθέτη είναι:

- $a=0,17$ για ανοιχτά πεδία όπως είναι θάλασσες, χώροι αεροδρομίου,
- $a=0,20$ για μικρές πόλεις με σχετικά χαμηλές κατασκευές και

- $\alpha=0,25$ για μεγάλες πόλεις με πολυόροφες, υψηλές κατασκευές.

➤ Λογαριθμικός Νόμος

Ο νόμος αυτός συνδέει την ταχύτητα του ανέμου με το ύψος σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$u_h = \frac{u^*}{K} \ln \left(\frac{h}{z_0} \right) \quad (3.9)$$

Όπου:

u^* η ταχύτητα τριβής (εκφράζει την αντίσταση της επιφάνειας του εδάφους),

K η σταθερά VonKarman ~ 0.4 ,

z_0 ο συντελεστής τραχύτητας του εδάφους ή μήκος τραχύτητας.

Συνήθως στα μετεωρολογικά προβλήματα χρησιμοποιείται ο εκθετικός νόμος λόγω της απλότητας του. Επίσης για μικρά ύψη ο νόμος αυτός δίνει ακριβέστερα αποτελέσματα από τον λογαριθμικό ο οποίος είναι πιο ακριβής για μεγάλα ύψη.

3.7 Η Ανεμογεννήτρια του συστήματος της παρούσας εργασίας

Στην παρούσα εργασία θεωρούμε ότι κάθε ανεμογεννήτρια είναι σύστημα με ορισμένες εισόδους και ορισμένες εξόδους. Οι εισοδοί αποτελούνται από ανεμολογικά δεδομένα της υπο μελέτη περιοχής, το ύψος του πυλώνα της ανεμογεννήτριας που έχει επιλεγεί και η χαρακτηριστική καμπύλη ισχύος αυτής. Έξοδος είναι η ισχύς εξόδου της ανεμογεννήτριας.

Η ταχύτητες του ανέμου παρέχονται από μετρήσεις που έχουν γίνει σε ορισμένο ύψος. Για να υπολογίσουμε την ταχύτητα του ανέμου στο ύψος πυλώνα που μας ενδιαφέρει κάνουμε χρήση του εκθετικού νόμου (Εξ 3.8) όπου το a αποτελεί παράμετρο εισόδου και έχει την τιμή 0,2.

Έχουμε τη χαρακτηριστική καμπύλη ισχύος από τον κατασκευαστή της Α/Γ, οπότε μπορούμε να υπολογίσουμε την ισχύ εξόδου για οποιοδήποτε ώρα. Επειδή όμως οι κατασκευαστές δεν δίνουν μεγάλο πλήθος τιμών, αν έχουμε μια ταχύτητα ανέμου που δεν δίνεται η ισχύς γι' αυτή τότε υπολογίζουμε την ισχύ με γραμμική προσέγγιση από τις πλησιέστερες τιμές ταχύτητας που δίνονται. Έστω ότι πρέπει να υπολογιστεί η ισχύς P_x για μία ταχύτητα u_x που δεν δίνεται, χρησιμοποιείται η αμέσως μικρότερη και η αμέσως μεγαλύτερη τιμή της ταχύτητας για τις οποίες έχουμε τιμές ισχύος (έστω u_1, u_2 με $u_1 \leq u_x \leq u_2$ με ισχείς P_1 και P_2 αντίστοιχα).

Η ισχύς δίνεται από τη σχέση:

$$P_x = P_1 + (u_x - u_1) \frac{P_2 - P_1}{u_2 - u_1} \quad (3.10)$$

Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκαν ανεμογεννήτριες οι οποίες έχουν ενσωματωμένους τους ρυθμιστές τάσης για τη σωστή φόρτιση των μπαταριών. Έτσι οι καμπύλες ισχύος που παρέχονται από τον κατασκευαστή αναφέρονται σε όλο το σύστημα με έξοδο την έξοδο του ρυθμιστή και έτσι δεν χρειάζεται να αναπτυχθεί ξεχωριστό μοντέλο για τους ρυθμιστές τάσης.

4. ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ – ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΩΣΜΩΣΗ

4.1 Φυσική και χημική σύσταση νερού.

Το νερό λόγω της μεγάλης διαλυτικής του ικανότητας περιέχει πολλά μέταλλα υπο μορφή ιόντων και μορίων. Το υπάρχον νερό σε οποιαδήποτε μορφή στην επιφάνεια της Γης ή υπογείως περιέχει πάντοτε διαλυμένες στερεές ουσίες. Ο τρόπος έκφρασης των διαλυμένων στερεών ουσιών γίνεται ως συνολικά διαλυτά στερεά (totaldissolvedsolids, TDS) και μετράται ως μέρη στο εκατομμύριο(partpermillion, ppm). Έτσι έστω ότι η περιεκτικότητα σε ολικά διαλυτά στερεά είναι 1000 ppm σημαίνει ότι περιέχονται 1000 kg στερεών σε 1000000 kg νερού ή 1000 mg στερεών σε 1000000 mg δηλαδή σε 1 kg νερού. Θεωρούμε ότι 1 kg νερού αντιστοιχεί σε όγκο 1 lt οπότε:

$$1000 \text{ ppm} = 1000 \text{ mg/l} = 1 \text{ kg/m}^3.$$

Τα ολικά διαλυτά στερεά υπολογίζονται με ζύγιση του νερού και εξάτμιση του σε θερμοκρασία 180°C και νέα ζύγιση του στερεού υπολείματος.

Σύμφωνα με την περιεκτικότητα σε TDS το νερό κατατάσσεται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- 1) Πόσιμο νερό (tap-water) → $TDS < 500 \text{ ppm}$,
- 2) Ελαφρά υφάλμυρο νερό, (μπορεί να είναι πόσιμο σύμφωνα με τις σχετικές οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης),
- 3) Υφάλμυρο νερό(brackishwater), μή πόσιμο και συνήθως ακατάλληλο για καλλιέργειες → $2000 \text{ ppm} < TDS < 10.000 \text{ ppm}$,
- 4) Θαλασσινό νερό (seawater), → $30.000 \text{ ppm} < TDS < 42.000 \text{ ppm}$.

Το θαλασσινό νερό περιέχει όλα σχεδόν τα γνωστά στοιχεία υπο μορφή ιόντων. Στον πίνακα 4.1 φαίνεται η σύσταση του θαλασσινού νερού για την περιοχή του Αιγαίου πελάγους, και σχετίζεται άμεσα με τις διεργασίες αφαλάτωσης στην Ελλάδα.

Φυσικοχημικές Παράμετροι		
Παράμετρος	Αποτέλεσμα	Μονάδα
pH	7,3	-
Αγωγιμότητα	56.300	μS/cm
Ολικά διαλυτά στερεά	40.080	mg/lt
Χημικές Παράμετροι		
Χλωριούχα (Cl ⁻)	22.010	mg/lt
Νιτρικά (NO ₃ ⁻)	<5	mg/lt
Ανθρακικά (CO ₃ ⁻)	56	mg/lt
Όξινα ανθρακικά (HCO ₃ ⁻²) ⁺	159	mg/lt
Νιτρώδη (NO ₂ ⁻)	<0,05	mg/lt
Θειικά (SO ₄ ⁻²)	2.800	mg/lt
Αμμωνιακά (NH ₄ ⁺)	<0,2	mg/lt
Πυριτικά (SiO ₂)	<1,0	mg/lt
Κάλιο (K ⁺)	55	mg/lt

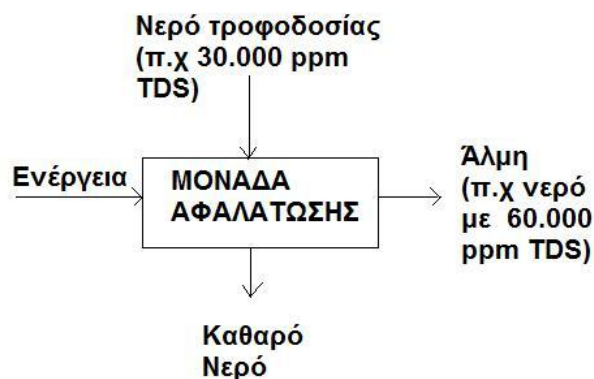
Νάτριο (Na^{+})	11.600	mg/lt
Ασβέστιο (Ca^{+2})	380	mg/lt
Μαγνήσιο (Mg^{+2})	1.500	mg/lt
Σίδηρος (Fe^{+2})	<0,04	mg/lt
Χαλκός (Cu^{+2})	0,10	mg/lt
Μαγγάνιο (Mn^{+2})	<0,04	mg/lt
Χρόμιο (Cr^{+3})	0,11	mg/lt
Ψευδάργυρος (Zn^{+2})	0,04	mg/lt

Πίνακας 4.1 Σύσταση θαλασσινού νερού στο Αιγαίο πέλαγος [9]

4.2 Μέθοδοι αφαλάτωσης

Αφαλάτωση είναι η διεργασία αφαίρεσης των αλάτων από ένα αλατούχο διάλυμα το οποίο μπορεί να είναι αλμυρό ή υφάλμυρο νερό. Αντικειμενικός σκοπός είναι η μείωση της συγκέντρωσης του νερού σε άλατα έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση ή πόση.

Η βασική ιδέα κάθε συστήματος αφαλάτωσης συνοψίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχ 4.2 Σχηματική αναπαράσταση αφάτωσης

Όπως βλέπουμε στο Σχ 4.2 η μονάδα αφαλάτωσης τροφοδοτείται με ενέργεια και με το θαλασσινό νερό για να παραγάγει καθαρό νερό και το νερό υψηλής περιεκτικότητας σε άλατα, την άλμη.

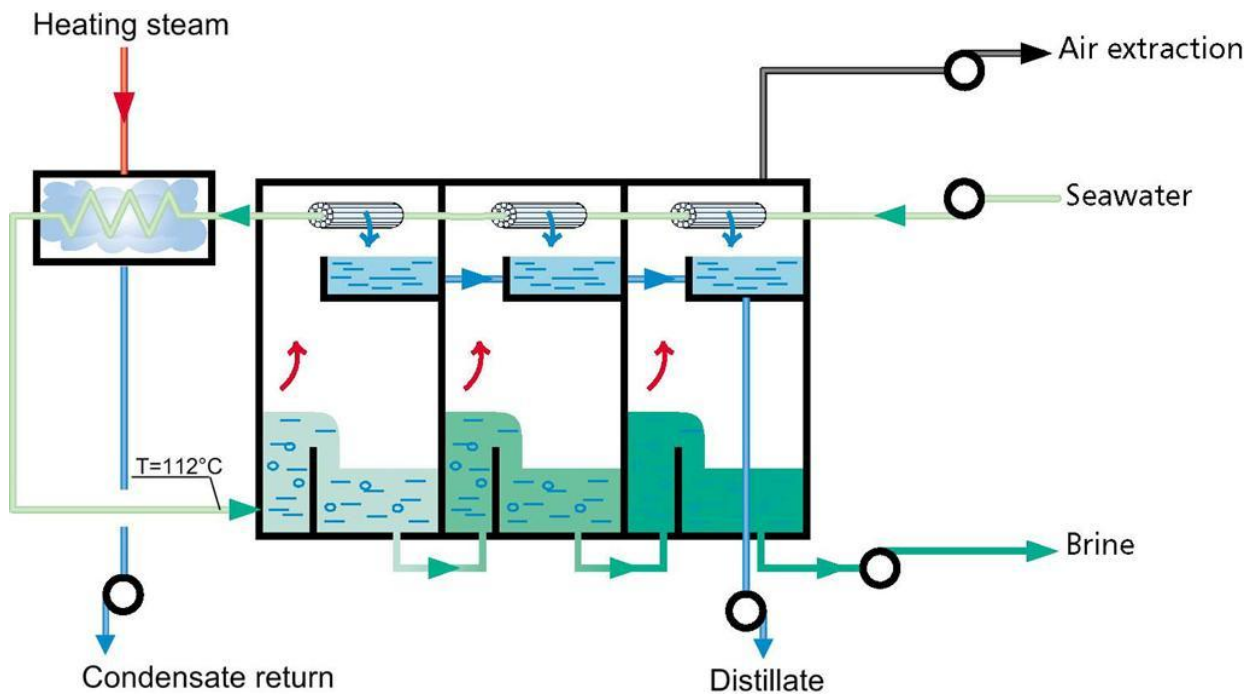
Στη συνέχεια θα αναλύσουμε τις βασικότερες κατηγορίες μεθόδων αφαλάτωσης. Όπως προαναφέρθηκε οι μέθοδοι αφαλάτωσης χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες, τις θερμικές μεθόδους (λειτουργούν με βάση την απόσταξη) και τις μεθόδους μεμβρανών. Υπάρχουν και άλλες μέθοδοι οι οποίες θα αναφερθούν παρακάτω.

Τώρα θα περιγράψουμε τις βασικότερες θερμικές μεθόδους κάθεμια χωριστά.

➤ Πολυβάθμια Αστραπιαία Εξαέρωση (MultiStageFlash) MSF

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε μεγάλες εγκαταστάσεις και αποτελεί μία καινοτόμο θεώρηση της απόσταξης. Επίσης με τη μέθοδο αυτή έχει ελατωθεί σημαντικά η απαιτούμενη ενέργεια παραγωγής νερού. Αναφέρεται ότι ενώ η ενέργεια που απαιτείται στις κλασσικές μεθόδους απόσταξης είναι 25-70 kWh/m³, στην MSF είναι 4-10 kWh/m³.

Παρακάτω φαίνεται σχηματικά η μέθοδος MSF :



Σχ 4.3 Μέθοδος MSF με τρεις βαθμίδες.

Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται η αρχή λειτουργίας της μεθόδου σε πολλά στάδια. Η MSF είναι μία μέθοδος αφαλάτωσης που αποστάζει θαλασσινό νερό ατμοποιώντας αστραπιαία μέρος του νερού σε πολλές βαθμίδες. Το νερό τροφοδοσίας (θαλασσινό, άλμη ή υφάλμυρο) θερμαίνεται σε κατάλληλη θερμοκρασία με τη βοήθεια ενός εναλλάκτη θερμότητας που χρησιμοποιεί θερμούς ατμούς για μέσο θέρμανσης. Για λόγους οικονομίας θερμότητας το νερό τροφοδοσίας έχει ήδη προθερμανθεί απο τους παραγόμενους ατμούς. Στη συνέχεια το θερμό πλέον διάλυμα εισέρχεται σε δοχείο όπου η επικρατούσα πίεση είναι μικρότερη απο την πίεση του εναλλάκτη. Η μετάβαση αυτή του νερού σε δοχείο χαμηλότερης πίεσης προκαλεί αστραπιαία ατμοποίηση μέρους του νερού. Το υπόλοιπο νερό (άλμη ουσιαστικά) περνάει απο μια σειρά πρόσθετων βαθμίδων καθεμία εκ των οποίων έχει χαμηλότερη περιβάλλουσα πίεση απο την προηγούμενη. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την διαδοχική ατμοποίηση του νερού σε κάθε βαθμίδα που εισέρχεται. Οι ατμοί που παράγονται υγροποιούνται στους συμπυκνωτήρες που υπάρχουν σε

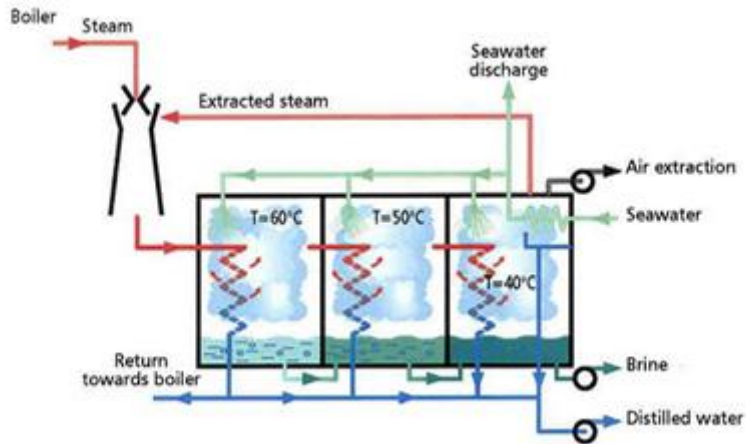
κάθε βαθμίδα, οι οποίοι χρησιμοποιούν ως μέσο ψύξεως το εισερχόμενο διάλυμα τροφοδοσίας για λόγους οικονομίας κατανάλωσης ενέργειας. Επίσης το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας των ατμών προσλαμβάνεται από το θαλασσινό νερό (νερό τροφοδοσίας) με αποτέλεσμα να ανακυκλώνεται η ενέργεια, να μειώνονται οι απώλειες θερμότητας στο περιβάλλον και να αυξάνεται ο βαθμός απόδοσης της διάταξης.

Ενδεικτικά αναφέρουμε κάποια σημαντικά στοιχεία για την MSF,[10]:

- *Εύρος δυνατότητας παραγωγής:* 1000-60.000 m³/day,
- *Νερό τροφοδοσίας:* θαλασσινό,
- *Ποιότητα παραγόμενου νερού:* ~10 ppm TDS
- *Απαιτούμενη ενέργεια:* Θερμική → 290 kJ/kg , Ηλεκτρική → 4-6 kWh/m³.

➤ Εξάτμιση πολλαπλής επίδρασης (Multiple Effect Distillation) MED

Η βασική αρχή λειτουργίας της μεθόδου αυτής είναι ότι μειούμενης της πίεσης λειτουργίας του κάθε σταδίου μειώνεται και το σημείο βρασμού του αποσταζόμενου διαλύματος. Έτσι οι παραγόμενοι ατμοί στο πρώτο δοχείο χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση του δεύτερου, οι ατμοί του δεύτερου στο τρίτο κ.ο.κ. Μόνο για τη θέρμανση του πρώτου δοχείου απαιτείται εξωτερική πηγή θερμότητας (η οποία παρέχεται από τον boiler). Η λειτουργία μιας τέτοιας μονάδας φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχ 4.4 Μέθοδος MED με τρεις βαθμίδες.

Ενδεικτικά αναφέρουμε κάποια σημαντικά στοιχεία για την MED[10]:

- *Εύρος δυνατότητας παραγωγής: 500 - 20.000 m³/day,*
- *Νερό τροφοδοσίας: θαλασσινό,*
- *Ποιότητα παραγόμενου νερού: ~10 ppm TDS*
- *Απαιτούμενη ενέργεια: Θερμική → 270 kJ/kg , Ηλεκτρική → 2,5-3 kWh/m³.*

➤ Συμπίεση ατμού (Vapor Compression) VC

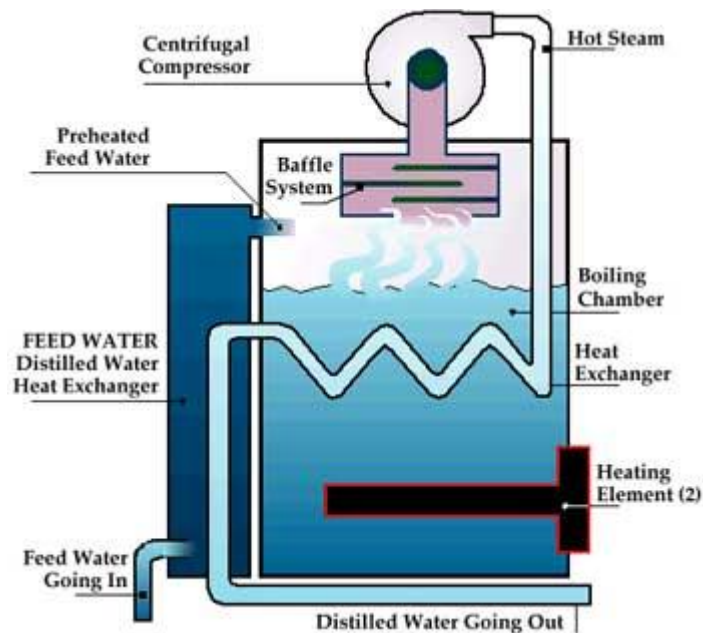
Η μέθοδος συμπίεσης ατμού αναφέρεται στη διαδικασία κατά την οποία ο ατμός που εξατμίζεται από το θαλασσινό νερό συλλέγεται από μία διάταξη θερμότητας που τον συμπιέζει. Η συμπίεση του ατμού αυξάνει την πίεση και τη θερμοκρασία του. Έτσι χρησιμοποιούμε την αποβαλλόμενη θερμότητα της συμπίεσης για να δημιουργήσουμε επιπλέον ατμό.

Η συμπίεση του ατμού μπορεί να γίνει με δύο τρόπους:

I) με χρήση ενός συστήματος εκβολής που λειτουργεί με ατμό σε μανομετρική πίεση από εξωτερική πηγή ώστε να ανακυκλώνει τον ατμό κατά τη διάρκεια της αφαλάτωσης,

II) με τη συμπίεση ατμού μέσω μίας μηχανικής διάταξης η οποία συνήθως λειτουργεί με ηλεκτρισμό (Μηχανική Συμπίεση Ατμού).

Ένα σύστημα VC φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχ 4.5 Σύστημα VC.

Ενδεικτικά αναφέρουμε κάποια σημαντικά στοιχεία για την VC[10]:

- *Εύρος δυνατότητας παραγωγής:* 25 – 2.500 m³/day,
 - *Νερό τροφοδοσίας:* θαλασινό,
- *Ποιότητα παραγόμενου νερού:* ~ 10 ppmTDS
- *Απαιτούμενη ενέργεια:* Ηλεκτρική → 8-15 kWh/m³.

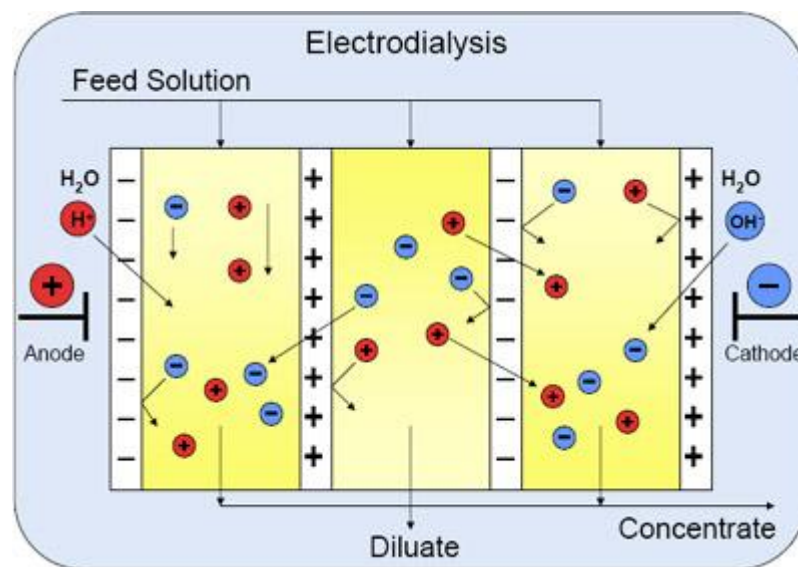
Προχωρούμε με την περιγραφή των βασικότερων μεθόδων που χρησιμοποιούν μεμβράνες:

➤ Αντίστροφη Ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis Reversal) EDR

Η ηλεκτροδιάλυση είναι μία διαδικασία αφαλάτωσης κατα την οποία τα άλατα υπο μορφή ιόντων απομακρύνονται απο την κύρια μάζα του διαλύματος μέσω μεμβρανών. Έτσι το παραμένον διάλυμα περιέχει άλατα μικρότερης συγκέντρωσης δηλαδή πόσιμο νερό. Η δύναμη που απομακρύνει τα ιόντα είναι η ηλεκτρική ενέργεια που δημιουργείται απο ένα ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται απο συνεχές ρεύμα. Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε ιδιαίτερα τα τελευταία 25 χρόνια ειδικότερα με την εφαρμογή της αντίστροφης ηλεκτροδιάλυσης, όπου έχουμε συνεχή εναλλαγή της πολικότητας του ηλεκτρικού πεδίου.

Στο σχήμα 4.6 φαίνεται μία δέσμη μιας μονάδας ED. Η διαδικασία αφαλάτωσης του νερού έχει ως εξής:

Μέσα στη δέσμη του σχήματος υπάρχουν διαχωριστικές μεμβράνες. Οι μεμβράνες αυτές διακρίνονται σε κατιονικές και ανιονικές που επιτρέπουν τη δίοδο των κατιόντων (θετικών φορτίων) και των ανιόντων (αρνητικών φορτίων) αντίστοιχα. Η μονάδα ηλεκτροδιάλυσης αποτελείται απο μια σειρά στενών θαλάμων πάχους περίπου 0,1 cm διαμέσου των οποίων εισάγεται και κινείται με τη βοήθεια αντλίας το αλατούχο διάλυμα προς αφαλάτωση. Τα εξωτερικά τμήματα φέρουν ηλεκτρόδια τα οποία τροφοδοτούνται με συνεχές ρεύμα.



Σχ 4.6 Μία δέσμη μιας μονάδας αφαλάτωσης που λειτουργεί με Ηλεκτροδιάλυση.

Όταν λοιπόν τα ηλεκτρόδια συνδεθούν με μία πηγή ρεύματος τα ιόντα αρχίζουν να κινούνται. Τα ανιόντα κινούνται προς την άνοδο (+) και τα κατιόντα προς την κάθοδο (-). Κατα την κίνηση τους αυτή συναντούν τις μεμβράνες οι οποίες επιτρέπουν μόνο στο ένα είδος απο αυτά να διέλθουν. Θεωρώντας το κεντρικό κελί λοιπόν τα θετικά ιόντα κινούνται προς τα δεξιά ενώ τα αρνητικά προς τα αριστερά εγκαταλείποντας το κελί και μειώνοντας τη συγκέντρωση σε άλατα, οπότε παράγεται αφαλατωμένο νερό. Για την αποφυγή της επικαθίσεως αλάτων στις μεμβράνες η πολικότητα αντιστρέφεται ανα ορισμένα διαστήματα οπότε έχουμε την αντίστροφη ηλεκτροδιάλυση.

Ενδεικτικά αναφέρουμε κάποια σημαντικά στοιχεία για την ED[10]:

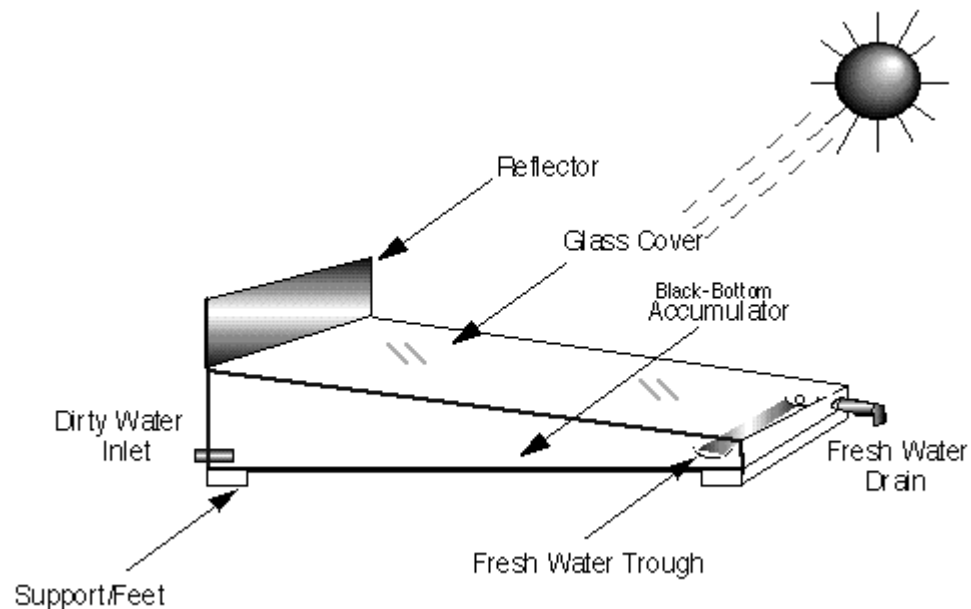
- *Εύρος δυνατότητας παραγωγής:* 15 – 50.000 m³/day,
 - *Νερό τροφοδοσίας:* κυρίως υφάλμυρο,
- *Ποιότητα παραγόμενου νερού:* ~ 300-500 ppmTDS
- *Απαιτούμενη ενέργεια:* Ηλεκτρική → 1.5 - 4 kWh/m³ για 1.500-3.500 ppmTDS.

Η αντίστροφη ώσμωση η οποία μελετάται στην παρούσα εργασία θα παρουσιαστεί εκτενώς σε επόμενο υποκεφάλαιο.

Πέρα απο τις προηγούμενες μεθόδους οι οποίες συνιστούν τις βασικότερες και τις ευρέως χρησιμοποιούμενες μεθόδους στον πλανήτη αξίζει να αναφέρουμε σχετικά επιγραμματικά και μερικές άλλες που απαντώνται μεμονωμένα και μπορούν να συνεισφέρουν στην αφαλάτωση του νερού. Κάποιες απο αυτές είναι:

❖ Απόσταξη με ηλιακή εξάτμιση

Συγκαταλέγεται στις μεθόδους απόσταξης και είναι μία μέθοδος που αξιοποιεί την ηλιακή ενέργεια. Κατασκευαστικά οι διατάξεις τους είναι πολύ πιο απλές σε σύγκριση με τις άλλες αποστακτικές μονάδες. Οι ηλιακοί αφαλατωτές αποτελούνται από έναν κλειστό χώρο που καλύπτεται με ένα διαφανές σκέπασμα. Το σκέπασμα αυτό είναι κατασκευασμένο από γυαλί στις περισσότερες περιπτώσεις. Ο πυθμένας της συσκευής είναι μαύρου χρώματος και απορροφά τις ακτίνες. Πάνω στον πυθμένα λιμνάζει το θαλασσινό νερό. Το νερό λοιπόν εξατμίζεται και οι ατμοί του θαλασσινού νερού έρχονται σε επαφή με τις διαφανείς επιφάνειες της συσκευής όπου εκεί συμπυκνώνονται. Οι σταγόνες που δημιουργούνται ρέουν προς τα κάτω όπου συγκεντρώνονται σε ειδικές υποδοχές και κατόπιν συλλέγονται. Οι δυσκολίες που παρουσιάζει αυτή η μέθοδος είναι ότι αυτού του είδους οι εγκαταστάσεις καταλαμβάνουν μεγάλες εκτάσεις εδάφους και το παραγόμενο νερό είναι πολύ λιγότερο σε σχέση με τις άλλες αποστακτικές μονάδες. Μία τέτοια μονάδα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχ 4.7 Μονάδα Ηλιακής Εξάτμισης.

❖ Κρυστάλλωση

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στο φαινόμενο της κρυστάλλωσης. Η αρχή αυτή στηρίζεται στην ακόλουθη ιδιότητα που έχουν τα υγρά : όταν ένα υδατικό διάλυμα άλατος ψυχθεί μέχρι του σημείου πήξεως του, αποβάλλονται σε ορισμένες περιπτώσεις καθαροί κρύσταλλοι νερού καθώς και της προστιθέμενης ουσίας. Συνεπώς έχουμε αφαλάτωση.

Άλλες μέθοδοι είναι η *ιονοεναλλαγή*, η *απόσταξη με μεμβράνες* ενώ νέες μέθοδοι κάνουν τα πρώτα τους βήματα όπως η *ευθεία ώσμωση*, η μέθοδος με *νανοσωλήνες άνθρακα* και η μέθοδος της *βιομημητικής*[6].

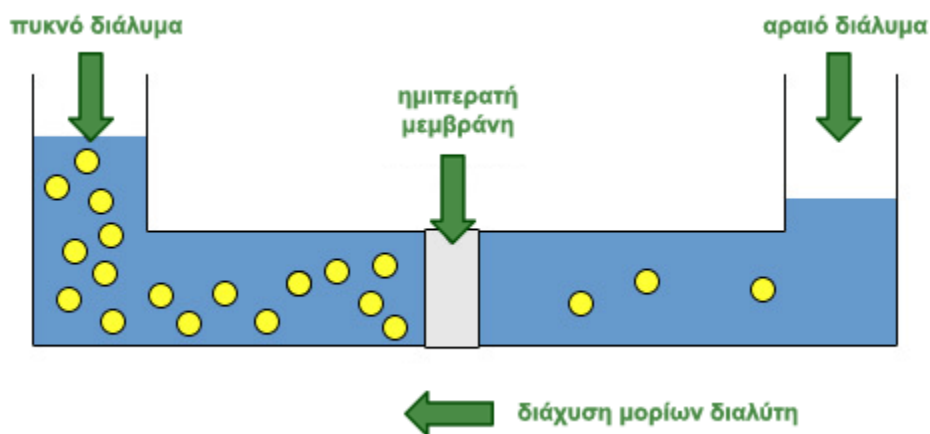
4.3 Αντίστροφη Ωσμωση

Αρχή λειτουργίας

Η αντίστροφη ώσμωση είναι μια διαδικασία αφαλάτωσης με την οποία ο διαλύτης ενός διαλύματος (όπου είναι συνήθως το νερό) διαχωρίζεται από τα συστατικά του μέσω μεμβράνης με την άσκηση πίεσης. Η τεχνική αυτή παρουσιάζει μία αξιοσημείωτη ευελιξία. Επιτρέπει την κατασκευή συστημάτων και διατάξεων από την πιο μεγάλη (τροφοδοσία μικρής πόλης 20.000 κατοίκων) έως την πιο μικρή εγκατάσταση (κάλυψη των αναγκών μίας οικογένειας).

Η αρχή λειτουργίας της μεθόδου αυτής βασίζεται στο φαινόμενο της ώσμωσης (βλέπε σχήμα 4.8).

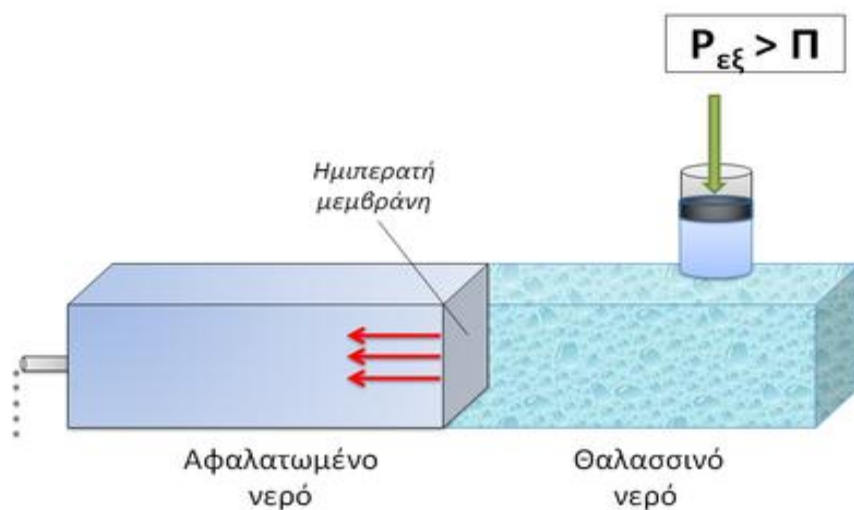
Μία ημιπερατή μεμβράνη χωρίζει το διάλυμα από τον καθαρό διαλύτη. Με τον όρο ημιπερατή μεμβράνη εννοούμε τις μεμβράνες εκείνες που επιτρέπουν τη διέλευση κυρίως του διαλύτη ενώ δεν επιτρέπουν στα συστατικά του διαλύματος να περνούν. Η μεμβράνη του σχήματος 4.8 δηλαδή επιτρέπει στο νερό να διέρχεται από αυτή αλλά όχι στα εν διαλύσει άλατα ενός αλατούχου διαλύματος. Η ταχύτητα διόδου του νερού από το αραιό διάλυμα προς πυκνό διάλυμα είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα διόδου του νερού από το πυκνό στο αραιό διάλυμα. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ώσμωση. Η διαδικασία αυτή θεωρητικά θα συνεχιστεί όταν οι συγκεντρώσεις των δύο διαλυμάτων εξισωθούν. Επειδή κάτι τέτοιο όμως δεν είναι δυνατόν να συμβεί το φαινόμενο θα εξελισσόταν συνεχώς. Στην πράξη λόγω της αύξησης του όγκου του πυκνού διαλύματος και ανύψωση της στάθμης αυτού έχουμε την άσκηση υδροστατικής πίεσης από τη μεριά του πυκνού διαλύματος με αποτέλεσμα να αυξάνεται η ταχύτητα διόδου του νερού από το πυκνό προς το αραιό διάλυμα. Έτσι κάποια στιγμή οι δύο ταχύτητες θα εξισωθούν οπότε θα επιτευχθεί δυναμική ισορροπία στο διάλυμα.



Σχ 4.8 Φαινόμενο ώσμωσης.

Η εξωτερική πίεση που θα μπορούσαμε να ασκήσουμε στο διάλυμα ώστε να σταματήσει το φαινόμενο της ώσμωσης χωρίς να αλλάξει ο όγκος του διαλύματος ονομάζεται ωσμωτική πίεση Π.

Εάν ασκήσουμε πίεση μεγαλύτερη της οσμωτικής με τη βοήθεια εμβόλου στη μεριά του διαλύματος τότε η φορά κίνησης θα αλλάξει με το νερό να κατευθύνεται από το διάλυμα προς το διαλύτη. Αυτή η διεργασία καλείται αντίστροφη ώσμωση (σχ 4.9).



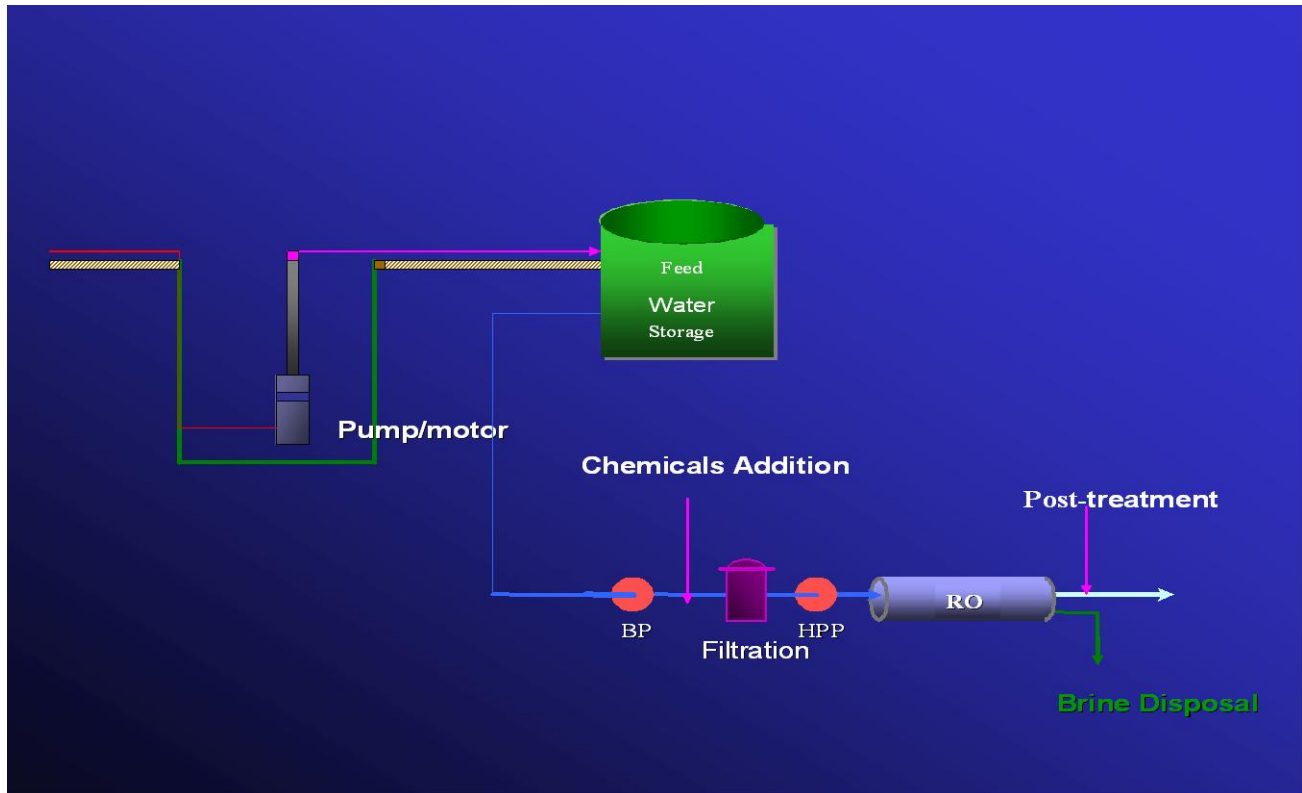
Σχ 4.9 Αντίστροφη ώσμωση.

Μία αντλία υψηλής πίεσης (High pressure pump) διοχετεύει συνεχώς το νερό με πίεση στην επιφάνεια της μεμβράνης. Η πίεση αυτή είναι περίπου 80-82 ατμόσφαιρες για θαλασσινό νερό ενώ για τα υφάλμυρα νερά είναι 27-42 ατμόσφαιρες. Έτσι το διάλυμα τροφοδοσίας χωρίζεται σε δύο μέρη. Σε εκείνο που διέρχεται από τη μεμβράνη και είναι το καθαρό παραγόμενο νερό με πολύ μικρή συγκέντρωση αλάτων και στο απορριπτόμενο διάλυμα υψηλής συγκέντρωσης την άλμη.

Η πορεία της αφαλάτωσης ακολουθεί βασικά τέσσερα στάδια λειτουργίας(σχήμα 4.10) τα οποία είναι:

- Προκατεργασία του νερού τροφοδοσίας (με άντληση απο αντλία χαμηλής πίεσης, προσθήκη χημικών, φιλτράρισμα)
- Συμπίεση του νερού τροφοδοσίας με αντλία υψηλής πίεσης,

- Αφαλάτωση μέσω των μεμβρανών,
- Τελική κατεργασία νερού.



Σχ4.10 Στάδια λειτουργίας μίας μονάδας αντίστροφης ώσμωσης[10].

Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας

Οι μονάδες αντίστροφης ώσμωσης είναι απο τις λιγότερο ενεργοβόρες μεθόδους γεγονός που κάνει το κόστος παραγωγής του νερού αρκετά χαμηλό. Ιδιαίτερα με την ανάπτυξη συστημάτων *ανάκτησης ενέργειας* μειώνεται ακόμα περισσότερο η κατανάλωση ενέργειας σε ποσοστό έως και 40%. Εξ' αιτίας των συστημάτων αυτών έχει επιτευχθεί κατανάλωση ενέργειας 3 -4 kWh/m³ για αφαλάτωση θαλασσινού νερού.

Τα συστήματα αυτά παρέχουν μηχανική υποστήριξη και γενικά αποτελούνται απο [9]:

- Υδροστρόβιλο (συνήθως τύπου PeltonWheel),
- Εναλλάκτηπίεσης (pressure exchanger PX),
- Hydraulic Turbo charger (HPBTM)

Η συμβατική μορφή των συστημάτων αυτών εκμεταλλεύεται την υψηλή πίεση της άλμης για να θέσει σε κίνηση έναν υδροστρόβιλο (συνήθως Peltonwheel). Ο υδροστρόβιλος αυτός συνδέεται μέσω μάντα με τον κινητήρα της αντλίας υψηλής πίεσης και έτσι του παρέχει μηχανική ενέργεια. Έτσι μειώνεται η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια απο τον κινητήρα της αντλίας υψηλής πίεσης. Με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται ο βαθμός απόδοσης της διάταξης [9].

Ενδεικτικά αναφέρουμε κάποια στοιχεία για την RO [10]:

- *Εύρος δυνατότητας παραγωγής:* 0.4 – 128.000 m³/day (Θ),

2.5 - 98.000 m³/day (Υ)

- *Νερό τροφοδοσίας:* θαλασσινό (Θ) ,υφάλμυρο (Υ),

- *Ποιότητα παραγόμενου νερού:* ~ 250 - 500 ppmTDS

- *Απαιτούμενη ενέργεια:* Ηλεκτρική → 3 - 15 kWh/m³ (Θ),

Ηλεκτρική → 0.5 - 3 kWh/m³ (Υ).

- *Κόστος Νερού:* ~ 1 €/ m³ (Θ),

~ 0.5 €/ m³ (Υ).

Μεμβράνες

Οι ημιπερατές μεμβράνες αποτελούν την καρδιά του συστήματος της αντίστροφης ώσμωσης. Το πρώτο είδος μεμβρανών που χρησιμοποιήθηκε αποτελούνταν από οξική κυταρρίνη στις αρχές της δεκαετίας του 60. Οι σημερινές μεμβράνες αποτελούνται από μίγμα διοξεικής και τριοξεικής κυταρίνης.

Μία μεμβράνη για να είναι κατάλληλη για τη διεργασία της αντίστροφης ώσμωσης πρέπει να πληρεί τις εξής προϋποθέσεις:

- Μεγάλη απόρριψη αλάτων και υψηλή διαπερατότητα.
- Ικανότητα κατασκευής με μεγάλο λόγο επιφάνειας προς όγκο.
- Μεγάλο εύρος λειτουργικών παραμέτρων, πίεσης, θερμοκρασίας και είδους διαλύματος τροφοδοσίας.
- Μεγάλη διάρκεια ζωής. Εξαρτάται από την ποιότητα του νερού και τον τρόπο χρήσης και καθαρισμού.
- Μεγάλη αντοχή σε χημικά αντιδραστήρια και βιολογικές επιθέσεις.
- Ικανότητα λειτουργίας με μεγάλο εύρος pH.
- Χαμηλό κόστος.

Καθαρισμός μεμβρανών

Η απόδοση των μεμβρανών αντίστροφης ώσμωσης μειώνεται σταδιακά με τη χρήση. Αυτό συμβαίνει διότι επικάθονται άλατα και άλλες ουσίες του νερού οπότε κλείνουν οι πόροι της μεμβράνης και δυσκολεύεται η διάχυση των μορίων του νερού κατά την ώσμωση. Η διάρκεια ζωής των μεμβρανών είναι μια πολύ σημαντική παράμετρος που επηρεάζει το λειτουργικό κόστος της εγκατάστασης. Για να επιβραδυνθεί η φθορά τους και να αυξηθεί η διάρκεια ζωής τους, τελείται μια διαδικασία καθαρισμού των μεμβρανών γνωστή ως flushing. Κατα τη διάρκεια του flushing γεμίζει ένας θάλαμος με φρέσκο νερό και όταν διέρχεται από τη μεμβράνη συμπαρασύρει τα άλατα και τα λοιπά στοιχεία που έχουν κολλήσει στη μεμβράνη. Η διαδικασία αυτή, όταν γίνεται ανα τακτά χρονικά διαστήματα βελτιώνει αισθητά την απόδοση της μεμβράνης.

Κατά τη διάρκεια του flushing έχουμε απώλειες ενέργειας και νερού στο σύστημά μας αφού απαιτείται χρήση μιας αντλίας (lowpressurepump) για να οδηγήσει το φρέσκο νερό στους θαλάμους. Το flushing διαρκεί μικρό χρονικό διάστημα (περίπου 3 λεπτά) και έτσι υπολογίζουμε την απώλεια ενέργειας από τη σχέση:

$$E_{fl} = P_{fl} \cdot t_{fl} \quad (4.1)$$

όπου:

E_{fl} η ενέργεια που καταναλώνεται για το flushing (Wh),

P_{fl} η ισχύς που καταναλώνεται για το flushing (W) και

t_{fl} ο χρόνος που διαρκεί το flushing (h).

Απώλεια νερού έχουμε διότι η ποσότητα πόσιμο νερού που χρησιμοποιείται για το flushing είναι άχρηστη για μετέπειτα χρήση.

Δεξαμενή αποθήκευσης πόσιμου νερού

Στο σύστημα μας έχει χρησιμοποιηθεί μια δεξαμενή αποθήκευσης πόσιμου νερού. Το νερό λοιπόν απο την έξοδο της μονάδας αφαλάτωσης τροφοδοτείται στη δεξαμενή και απο εκεί στο δίκτυο ύδρευσης για να καλύψει τη ζήτηση σε νερό. Για τις ανάγκες του συστήματος κρίθηκε προτιμότερο να κατασκευαστεί μια δεξαμενή με χωρητικότητα ίση με αυτή που χρειάζεται. Το οικονομικό κόστος της κατασκευής αυτής υπολογίζεται ανα κυβικό μέτρο χωρητικότητας και έχει βρεθεί προσεγγιστικά ύστερα απο αναγωγή του κόστους των εμπορικών δεξαμενών.

4.4 Η μονάδα αντίστροφης ώσμωσης της παρούσας εργασίας.

Στο σύστημα της παρούσας εργασίας η μονάδα αντίστροφης ώσμωσης μοντελοποιείται ως ένα σύστημα με δύο εισόδους:

- την ισχύ που παρέχεται απο τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας,
- το θαλασσινό νερό που παρέχεται απο εξωτερική αντλία.

Σαν έξοδο έχει το φρέσκο νερό που παράγεται και αποθηκεύεται στη δεξαμενή.

Οι μονάδες αντίστροφης ώσμωσης τροφοδοτούνται με ισχύ απο τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τους συσσωρευτές. Όταν η απαιτούμενη για τη λειτουργία της μονάδας ηλεκτρική ισχύς είναι διαθέσιμη τότε λειτουργεί και παράγει τόσο νερό όσο προβλέπεται στις

προδιαγραφές της μονάδας. Όταν η απαιτούμενη ισχύς δεν είναι διαθέσιμη τότε η μονάδα κλείνει και αν είναι δυνατόν γίνεται καθαρισμός των μεμβρανών (flushing).

Η εξίσωση (4.2) περιγράφει την συμπεριφορά της μονάδας όσον αφορά την παραγωγή ή κατανάλωση νερού ως συνάρτηση της παρεχόμενης ισχύος.

$$W = \left\{ \begin{array}{l} 0, \alpha v \rightarrow P_{in} < P_{fl} \\ -W_{fl}, \alpha v \rightarrow P_{fl} \leq P_{in} < P_{RO} \\ W_{RO}, \alpha v \rightarrow P_{in} \geq P_{RO} \end{array} \right\} \quad (4.2)$$

όπου:

W η ποσότητα νερού που παράγει ή καταναλώνει απο τη δεξαμενή η μονάδα αφαλάτωσης ($W > 0$ παράγει, $W < 0$ καταναλώνει) σε lt,

W_{fl} η ποσότητα νερού που χρειάζεται για flushing σε lt,

W_{RO} η ποσότητα νερού που παράγει η μονάδα σε ονομαστική λειτουργία,

P_{in} η διαθέσιμη απο τις ανανεώσιμες ισχύς σε Watt,

P_{RO} η ονομαστική ισχύς τροφοδοσίας της μοναδας RO σε Watt,

P_{fl} η ισχύς που καταναλώνεται για το flushing σε Watt.

Η εξίσωση (4.3) περιγράφει την κατανάλωση ισχύος της μονάδας ως συνάρτηση της διαθέσιμης ισχύος:

$$P = \left\{ \begin{array}{l} 0, \alpha V \rightarrow P_{in} < P_{fl} \\ P_{fl}, \alpha V \rightarrow P_{fl} \leq P_{in} < P_{RO} \\ P_{RO}, \alpha V \rightarrow P_{in} \geq P_{RO} \end{array} \right\} \quad (4.3)$$

5. ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ-ΡΥΘΜΙΣΤΕΣ ΤΑΣΗΣ-ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ

5.1 Συσσωρευτές

Ένα μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τις ανανεώσιμες πηγές είναι ανάγκη να αποθηκευθεί για να χρησιμοποιηθεί όταν δεν είναι δυνατή η παραγωγή (κατά τη διάρκεια της νύχτας, μετά τη δύση ή πριν την ανατολή του ήλιου). Την ανάγκη αυτή πληρούν οι συσσωρευτές μέσω των οποίων επιτυγχάνεται χημική αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας.

Τη βασική δομική μονάδα ενός συσσωρευτή αποτελεί το στοιχείο (CELL). Τα στοιχεία λειτουργούν με ονομαστική τάση μερικών volts (~2V) και οι δυνατότητες τους σε ρεύμα (A) και ενέργεια (Ah) είναι ανάλογες του μεγέθους τους. Πολλά τέτοια στοιχεία συνδέονται σε σειρά ή παράλληλα με σκοπό να πετύχουμε την απαιτούμενη τάση, ρεύμα και χωρητικότητα ενός συσσωρευτή.

Στη βασική του μορφή, ένα στοιχείο ηλεκτρικού συσσωρευτή αποτελείται από δύο μεταλλικά ηλεκτρόδια με τη μορφή επίπεδων πλακών τα οποία είναι εμβαπτισμένα σε ορισμένο διάλυμα ηλεκτρολύτη ο οποίος αντιδρά επιφανειακά με τις πλάκες. Κατά τη διάρκεια της φόρτισης του, μία ηλεκτρική πηγή συνεχούς τάσης συνδέεται στα άκρα του και δημιουργεί στο εσωτερικό του ηλεκτρικό πεδίο το οποίο κινεί τα ευκίνητα ιόντα προς τις αντίθετα φορτισμένες πλάκες (+,-) όπου αποδίδουν το φορτίο τους. Έτσι αν στη μία πλάκα έχουμε έλλειψη ηλεκτρονίων και στην άλλη περίσσεια και οι δύο πλάκες συνδεθούν εξωτερικά με αγωγό δημιουργείται ηλεκτρικό ρεύμα που μπορεί να τροφοδοτήσει ένα ηλεκτρικό φορτίο κατά την εκφόρτιση. Το φαινόμενο αυτό θα συνεχιστεί μέχρι την αλλοίωση των πλακών και του ηλεκτρολύτη, οπότε και θα εξουδετερωθεί η διαφορά δυναμικού ανάμεσα στις πλάκες και θα σταματήσει η διέλευση του ρεύματος.

Οι συσσωρευτές γενικά χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: στους πρωτογενείς που είναι μίας χρήσης και στους δευτερογενείς οι οποίοι όταν εκφορτιστούν μπορούν να επαναφορτιστούν λόγω της δυνατότητας αναστρεψιμότητας της χημικής αντίδρασης και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που απαιτούνται μεγάλες ισχύεις. Οι βασικότεροι εκπρόσωποι αυτής της κατηγορίας είναι οι συσσωρευτές μολύβδου (LEAD-ACID) και νικελίου-καδμίου (NICKEL-CADMIUM).

5.2 Συσσωρευτές μολύβδου-οξέος

Οι συσσωρευτές μολύβδου-οξέος είναι οι πιά διαδεδομένοι τύποι συσσωρευτών στα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Έχουν ηλεκτρολύτη διάλυμα θειϊκού οξέος σε αποσταγμένο νερό και τα ηλεκτρόδια του είναι πλάκες απο κράματα μολύβδου.

Κάθε φορτισμένο στοιχείο των συσσωρευτών αυτών έχει ονομαστική τάση 2 V. Για την φόρτιση του κάθε στοιχείου όμως απαιτείται τροφοδοσία 2,4 V.

Το χαρακτηριστικό μέγεθος των συσσωρευτών είναι η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που μπορούν να αποθηκεύσουν. Η ποσότητα εξαρτάται απο τη χωρητικότητα του συσσωρευτή και απο την τάση στα άκρα του. Για παράδειγμα, αν ένας συσσωρευτής έχει ονομαστική χωρητικότητα $C=50\text{Ah}$ και δίνει τάση $V=24\text{V}$ τότε έχει ονομαστική ικανότητα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας $50\text{ Ah} \cdot 24\text{ V} = 1,2\text{ kWh}$. Η χωρητικότητα των συσσωρευτών μειώνεται με τη χρήση, λόγω διάβρωσης των πλακών, λόγω αυτοεκφόρτισης, σχηματισμού επικαθίσεων κλπ.

Οι συσσωρευτές δέν πρέπει να υφίστανται παρατεταμένη φόρτιση σε πολύ υψηλή τάση γι' αυτούς (Overcharging), ούτε να εκφορτίζονται κάτω απο ένα όριο (Overdischarging). Ο κανόνας αυτός είναι πολύ σημαντικός για τον καθορισμό του χρόνου ζωής τους. Ο χρόνος ζωής των συσσωρευτών εκφράζεται σε κύκλους λειτουργίας όπου κάθε κύκλος λειτουργίας συνιστά φόρτιση-εκφόρτιση.

Οι συσσωρευτές μολύβδου αντέχουν συνήθως 500-1500 κύκλους και επιτρέπουν 10-80 % βάθος εκφόρτισης. Για έναν συσσωρευτή με ονομαστική χωρητικότητα C_N η ενεργός, αξιοποιήσιμη χωρητικότητα $C(Ah)$ είναι :

$$C = \beta \cdot C_N \quad (5.1)$$

όπου:

β το βάθος εκφόρτισης (%).

Έτσι, μέγιστη ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να χρησιμοποιηθεί και να αποθηκευτεί σε κάθε κύκλο φόρτισης-εκφόρτισης είναι:

$$E = C \cdot V = \beta \cdot C_N \cdot V \quad (5.2)$$

Ο συντελεστής απόδοσης των συσσωρευτών μολύβδου περιορίζεται ως ο λόγος του ηλεκτρικού έργου που αποδίδει ο συσσωρευτής κατά την εκφόρτιση δια του έργου που του προσφέρθηκε στην προηγούμενη φόρτιση του. Τυπική τιμή του είναι 80-85 %. Συνεπώς αν η ηλεκτρική ενέργεια που θέλουμε να παρέχει ο συσσωρευτής είναι E , τότε η ενεργός χωρητικότητα του θα πρέπει να αντιστοιχεί σε ενέργεια φόρτισης E_ϕ ίση με:

$$E_\phi = \frac{E}{\eta} \quad (5.3)$$

Και η ονομαστική του χωρητικότητα θα είναι:

$$C_n = \frac{E_\varphi}{\beta n V} \quad (5.4)$$

Τέλος σημαντικός παράγοντας στο κόστος του συστήματος είναι το γεγονός ότι οι συσσωρευτές θα πρέπει να αντικαθίστανται ανα τακτά χρονικά διαστήματα. Με δεδομένο ότι οι συσσωρευτές μολύβδου αντέχουν 500-1500 κύκλους φόρτισης-εκφόρτισης και ότι καθημερινά γίνεται περίπου ένας κύκλος, θα πρέπει να γίνεται αντικατάσταση των συσσωρευτών κάθε 2 με 5 χρόνια.

5.3 Οι συσσωρευτές του συστήματος της παρούσας εργασίας

Στο σύστημα της παρούσας εργασίας χρησιμοποιούνται συσσωρευτές μολύβδου-οξέος. Το επιτρεπτό βάθος εκφόρτισης β (%) λαμβάνεται ως παράμετρος εισόδου και σε περίπτωση που δεν δίνεται θεωρείται ίσο με 80%. Ο συσσωρευτής έχει μία αρχική χωρητικότητα C_i η οποία μειώνεται όταν εκφορτίζεται τροφοδοτώντας τη μονάδα αφαλάτωσης, ή αυξάνεται όταν ο συσσωρευτής φορτίζεται απορροφώντας ισχύ από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Το ρεύμα φόρτισης και εκφόρτισης των συσσωρευτών δεν επιτρέπεται να ξεπερνά το ένα πέμπτο της χωρητικότητάς τους.

Συμβολίζοντας τη χωρητικότητα του συσσωρευτή την i -οστή ημέρα την χρονική στιγμή t με $C^i(t)$ τότε αυτή υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$C^i(t) = C^i(t-1) + n_b \frac{P_b^i(t)}{V_b} \Delta t \quad (5.5)$$

όπου :

i η ημέρα του χρόνου,

$C^i(t-1)$ η χωρητικότητα την προηγούμενη χρονική στιγμή (σε Ah),

n_b βαθμός απόδοσης κατά την εκφόρτιση,

V_b η τάση της μπαταρίας που είναι ταυτόχρονα και η τάση λειτουργίας όλου του συστήματος,

$P_b^i(t)$ η ισχύς που μεταφέρεται στην μπαταρία σε W. Όταν η μπαταρία φορτίζεται $P_b^i(t) > 0$ ενώ όταν εκφορτίζεται $P_b^i(t) < 0$ και

Δt το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί από την προηγούμενη μέχρι την παρούσα χρονική στιγμή. Έχει επιλεγεί η προσομοίωση λειτουργίας του συστήματος να γίνεται σε ωριαία βάση, οπότε ισχύει $\Delta t = 1$.

5.4 Ρυθμιστές τάσης

Στα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας οι ρυθμιστές τάσης αποτελούν απαραίτητα στοιχεία. Γενικά οι ρυθμιστές τάσης «εποπτεύουν» τη διαδικασία φόρτισης και εκφόρτισης των συσσωρευτών ώστε να απομονώνουν το σύστημα αποθήκευσης από το σύστημα παραγωγής της ενέργειας στην περίπτωση υπερφόρτισης και από το σύστημα κατανάλωσης στην περίπτωση της υπερεκφόρτισης. Χρησιμοποιούνται σε Φ/Β πλαίσια και σε ανεμογεννήτριες στις οποίες είναι συνήθως ενσωματωμένοι. Οι ρυθμιστές τάσης κρατούν το επίπεδο της τάσης σταθερό. Έτσι παρέχεται ισχύς σε σταθερή τάση με σκοπό να προστατευτούν συσσωρευτής και φορτίο από ανεπιθύμητες συνέπειες.

Σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα θέλουμε να εξάγουμε από τη συστοιχία το μέγιστο δυνατό ποσό ενέργειας δηλαδή σε κάθε χρονική στιγμή το σημείο λειτουργίας να αντιστοιχεί στο σημείο μέγιστης ισχύος. Για το σκοπό αυτό κάποιοι ρυθμιστές τάσης ενσωματώνουν στη δομή τους μονάδες οι οποίες ονομάζονται Maximum Power Point Trackers (MPPT). Οι

μονάδες αυτές ακολουθώντας κατάλληλη στρατηγική ανίχνευσης του σημείου της μέγιστης ισχύος επιτυγχάνουν την απαιτούμενη προσαρμογή.

5.5 Οι ρυθμιστές τάσης του συστήματος της παρούσας εργασίας

Οι ρυθμιστές τάσης του συστήματος της παρούσας εργασίας μοντελοποιούνται ως ένα σύστημα το οποίο δέχεται ως είσοδο την ισχύ από τα Φ/Β πλαίσια. Έχουν βαθμό απόδοσης η_s και είναι είτε με είτε χωρίς δυνατότητα MPPT. Και στις δύο περιπτώσεις ο βαθμός απόδοσης δίνεται από τη σχέση:

$$\eta_s = \eta_1 \cdot \eta_2 \quad (5.6)$$

όπου:

η_1 είναι ένας συντελεστής που δείχνει πόσο κοντά στο σημείο μέγιστης ισχύος λειτουργεί η Φ/Β γεννήτρια. Αν ο ρυθμιστής έχει μονάδα MPPT είναι ίσος με τη μονάδα. Αλλιώς θεωρούμε ότι λαμβάνει μια μέση τιμή 70%

η_2 είναι ο βαθμός απόδοσης της συσκευής. Αν δεν δίνεται από τον κατασκευαστή λαμβάνεται ίσο με 90%.

Ο αριθμός των ρυθμιστών τάσης για το υβριδικό σύστημα της παρούσας εργασίας εξαρτάται από τον αριθμό και την ισχύ των Φ/Β πλαισίων. Έστω $N_{pv/ch}$ ο αριθμός των Φ/Β πλαισίων που αντιστοιχούν σε έναν ρυθμιστή τάσης. Αν N_{pv} ο συνολικός αριθμός των Φ/Β πλαισίων τότε ο συνολικός αριθμός φορτιστών N_{ch} είναι:

$$N_{ch} = \frac{N_{pv}}{N_{pv/ch}} \quad (5.7)$$

Όπου ο αριθμός των Φ/Β πλαισίων που αντιστοιχούν σε έναν ρυθμιστή τάσης ορίζεται ως:

$$N_{pv/ch} = \frac{P_{chm}}{P_{Pm}} \quad (5.8)$$

όπου :

P_{chm} η ονομαστική ισχύς του φορτιστή (W) και

P_{Pm} η ισχύς αιχμής των Φ/Β πλαισίων (W).

5.6 Μετατροπείς DC/AC (inverters)

Στην εργασία αυτή είναι αναγκαίο να υπάρχουν κάποιες συσκευές οι οποίες θα τροφοδοτούνται με συνεχή τάση και θα την μετατρέπουν σε εναλλασσόμενη στην έξοδο τους. Αυτό είναι απαραίτητο γιατί τα Φ/Β πλαίσια, οι ανεμογεννήτριες και οι μπαταρίες παράγουν συνεχή (DC) τάση ενώ οι μονάδες αφαλάτωσης λειτουργούν με εναλλασσόμενη (AC) τάση. Οι συσκευές αυτές είναι οι μετατροπείς DC/AC.

Οι μετατροπείς αυτοί χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τους μετατροπείς που εγκαθίστανται σε αυτόνομα συστήματα και τους μετατροπείς που συνδέονται με το δίκτυο. Το σύστημα της εργασίας αυτής είναι αυτόνομο άρα οι μετατροπείς που χρησιμοποιούνται ανήκουν στην πρώτη κατηγορία.

Οι μετατροπείς DC/AC χαρακτηρίζονται από ένα βαθμό απόδοσης. Όταν οι μετατροπείς λειτουργούν υπο ονομαστική ισχύ ο βαθμός απόδοσης τους προσεγγίζει το 95%. Όταν λειτουργούν σε διαφορετική ισχύ ο βαθμός απόδοσης τους μειώνεται. Στην εργασία αυτή θεωρούμε ότι οι μετατροπείς έχουν έναν μέσο βαθμό απόδοσης, η_i , που δίνεται από τον κατασκευαστή και αποτελεί παράμετρο εισόδου. Στην περίπτωση που δέν δίνεται, λαμβάνεται ίσος με 80%.

6. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

6.1 Εισαγωγή

Στην συγκεκριμένη εργασία εξετάζεται η οικονομική ανάλυση της βιωσιμότητας ενός υβριδικού συστήματος Φ/Β στοιχείων και Α/Γ για την τροφοδοσία συστήματος αφαλάτωσης. Η οικονομική ανάλυση της επένδυσης θα βασισθεί σε δύο μεθόδους της διεθνούς βιβλιογραφίας που είναι οι πλέον καθιερωμένες. Οι μέθοδοι αυτοί είναι ο προσδιορισμός του σύνθετου χρόνου απόσβεσης (PaybackPeriod) και του εσωτερικού βαθμού απόδοσης (InternalRateofReturn ή IRR) της επένδυσης. Οι μέθοδοι αυτοί θα αναλυθούν σε επόμενα υποκεφάλαια του κεφαλαίου αυτού. Ακολουθεί η περιγραφή οικονομικών παραμέτρων της εγχώριας αγοράς που επηρεάζουν την οικονομική ανάλυση του συστήματος.

6.1 Οικονομικές παράμετροι

Ορίζουμε τις παρακάτω παραμέτρους για την οικονομική αξιολόγηση της υπο εξέταση επένδυσης:

- Χρηματική αξία οικοπέδου εγκατάστασης

Βασική παράμετρο για την οικονομική αξιολόγηση του συστήματος της παρούσας εργασίας αποτελεί η αξία του οικοπέδου που χρησιμοποιείται για την εγκατάσταση όλων των μονάδων του συστήματος. Η αξία αυτή προστίθεται στα αρχικά έξοδα που

απαιτούνται για την εγκατάσταση του συστήματος. Η παρούσα εργασία έχει μελετηθεί για αξία οικοπέδου εγκατάστασης 10.000 €.

- Φορολογία επένδυσης

Το σύστημα της εργασίας αυτής αποτελεί εφαρμογή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τέτοιες εφαρμογές φορολογούνται επι των καθαρών κερδών τους. Η φορολογία που λήφθηκε για την εργασία αυτή είναι 20%.

- Επιδότηση εγκατάστασης

Το σύστημα της εργασίας αποτελεί σύστημα παραγωγής ενέργειας και θεωρείται εφαρμογή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τέτοιου είδους εφαρμογές λαμβάνουν επιδότηση. Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε για επιδότηση εγκατάστασης ίση με 40%.

- Χρονικός ορίζοντας επένδυσης

Οι κατασκευαστές των Φ/Β πλαισίων δεν εγγυώνται την ορθή λειτουργία των συσκευών πέρα από τον ωφέλιμο χρόνο ζωής των Φ/Β ο οποίος κυμαίνεται από 20 έως 30 χρόνια. Για τους μετατροπείς ισχύος ορίζεται ένας μέσος χρόνος μεταξύ επιδιορθώσιμων βλαβών που κυμαίνεται γύρω στα 25 χρόνια. Δεδομένου ότι ο χρονικός ορίζοντας αξιολόγησης της επένδυσης δεν μπορεί να υπερβαίνει το όριο ζωής των συσκευών του συστήματος, η παρούσα εργασία έχει μελετηθεί για περίοδο ανάλυσης βιωσιμότητας ίση με 25 έτη.

- Παράμετροι εγχώριας οικονομίας

Μια πολύ σημαντική παράμετρος που επηρεάζει σημαντικά την ανάλυση της παρούσας επένδυσης είναι ο πληθωρισμός (%). Ως πληθωρισμός ορίζεται η συνεχής αύξηση του γενικού επιπέδου των τιμών μίας οικονομίας μέσα σε μια συγκεκριμένη

χρονική περίοδο. Συνηθίζεται ο πληθωρισμός να μετράται ανα έτος και αυτό έχει υιοθετηθεί στην εργασία αυτή. Στην εργασία αυτή ο μέσος ετήσιος πληθωρισμός έχει ληφθεί ίσος με 2,5%.

Μια άλλη παράμετρος για την οικονομική αξιολόγηση της μελέτης που μοντελοποιείται στο σύστημα είναι το *κόστος ευκαιρίας*. Το κόστος ευκαιρίας είναι η απώλεια της αμέσως καλύτερης εναλλακτικής επένδυσης που θα μπορούσαμε να κάνουμε, αντί για την επένδυση που τελικά επιλέξαμε. Στην περίπτωση της εργασίας μας το κόστος ευκαιρίας ταυτίζεται με το τραπεζικό προεξοφλητικό επιτόκιο το οποίο λαμβάνεται ως ο μέσος όρος των επιτοκίων των Ελληνικών τραπεζών για επιχειρησιακό δάνειο με εξόφληση απο 20 εως 25 χρόνια. Ύστερα απο μελέτη σχετικά με τα επιτόκια των τραπεζών το *κόστος ευκαιρίας* (ή επιτόκιο αναγωγής ή προεξοφλητικό επιτόκιο) i (%) λαμβάνεται ίσο με 7,5%. Η χρησιμοποίηση του κόστους ευκαιρίας είναι πολύ σημαντική για να μπορούμε να ανάγουμε τις μελλοντικές ταμειακές ροές σε σημερινές αξίες ώστε να είναι συγκρίσιμες με το κόστος εγκατάστασης που εκφράζεται σε σημερινές τιμές και αντίστροφα.

Επίσης για το σύστημα *αναμένεται μέση ετήσια ανατίμηση του νερού* (%) ίση με 2%.

Τέλος ο *ετήσιος συντελεστής συντήρησης των συσκευών* $m(\%)$ λαμβάνεται ίσος με 1,5% επι της τιμής αγοράς.

- Παρούσα αξία

Η μέθοδος της παρούσας αξίας μετατρέπει το σύνολο των χρηματοροών που αναμένεται να εμφανιστούν σε ένα χρονικό ορίζοντα σε χρόνο μηδέν. Αυτό γίνεται βάσει κάποιας υπόθεσης για το προεξοφλητικό επιτόκιο. Με την προσέγγιση αυτή εάν σήμερα επενδυθεί ποσό P το άθροισμα κεφαλαίου και τόκων μετα απο n έτη θα είναι ίσο με:

$$X = P(1+i)^n \quad (6.1)$$

Αντίστροφα για να αποκτηθεί ποσό X ύστερα από n χρόνια πρέπει σήμερα να επενδυθεί ποσό:

$$P = \frac{X}{(1+i)^n} \quad (6.2)$$

Εάν μια πληρωμή επαναλαμβάνεται κάθε έτος για n έτη και αυξάνει με ρυθμό g (ανα έτος), όπου g ο πληθωρισμός, η ολική παρούσα αξία των N αυτών δαπανών προκύπτει από το άθροισμα:

$$\begin{aligned} PV &= X \left[\frac{1}{1+i} + \frac{(1+g)}{(1+i)^2} + \frac{(1+g)^2}{(1+i)^3} + \dots + \frac{(1+g)^{n-1}}{(1+i)^n} \right] = \\ &= X \frac{1}{1+i} \left[1 + \frac{(1+g)}{(1+i)} + \frac{(1+g)^2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{(1+g)^{n-1}}{(1+i)^{n-1}} \right] = \\ &= X \frac{1}{i-g} \left[1 - \left(\frac{1+g}{1+i} \right)^n \right] = X \text{gPVF} \end{aligned} \quad (6.3)$$

όπου:

X το ποσό της πρώτης πληρωμής και

PWF ο συντελεστής παρούσας αξίας.

- Καθαρή παρούσα αξία επένδυσης (NetpresentValue)

Είναι το συνολικό καθαρό όφελος μίας επένδυσης, που προκύπτει ως η διαφορά μεταξύ του λειτουργικού οφέλους και του συνόλου των δαπανών κατα τη χρονική διάρκεια της επένδυσης. Όλα τα ποσά ανάγονται σε παρούσα αξία στην αρχή του πρώτου έτους λειτουργίας του συστήματος. Η καθαρή παρούσα αξία στην περίπτωση μας υπολογίζεται απο τη σχέση:

$$NPV = \frac{R_n}{(1+i)^n} - IC_0 - \frac{FC_n}{(1+i)^n} \quad (6.4)$$

όπου:

IC_0 το αρχικά επενδυμένο κεφάλαιο,

FC_n το συνολικό κόστος της εγκατάστασης (ανηγμένο στην αρχή του πρώτου έτους)

R_n τα κέρδη απο την πώληση του νερού (ανηγμένα στην αρχή του πρώτου έτους).

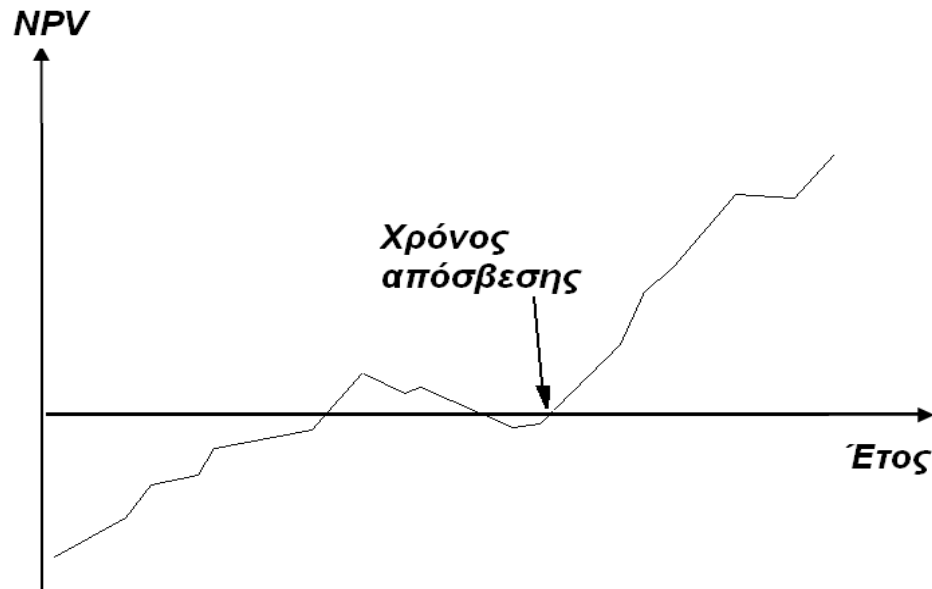
Τα παραπάνω μεγέθη θα υπολογισθούν αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο.

6.2 Προσδιορισμός χρόνου απόσβεσης

Ο χρόνος απόσβεσης (payback period) ορίζεται ως το χρονικό σημείο στο οποίο η διαφορά των συνολικών εσόδων της επένδυσης απο τα συνολικά έξοδα (το άθροισμα του αρχικού κεφαλαίου που επενδύθηκε και των συνολικών εξόδων συντήρησης) είναι μηδενική. Στο σημείο αυτό θα ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$NPV=0, \text{ όταν } n=n^* \quad (6.6)$$

Στην παρούσα εργασία επιλέγεται το μεγαλύτερο δυνατό n^* δηλαδή η τελευταία φορά στα n χρόνια της μελέτης που ισχύει η (6.6). Αυτό γίνεται γιατί είναι δυνατόν λόγω αύξησης των συνολικών εξόδων (σε μία μεταγενέστερη του σημείου n^* χρονική στιγμή) να ξαναπροκύψουν σημεία n^* . Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το διάγραμμα βάσει του οποίου γίνεται η επιλογή του χρόνου απόσβεσης.



Σχ 4.1 Διάγραμμα προσδιορισμού χρόνου απόσβεσης

Επίσης στην παρούσα εργασία ο χρόνος απόσβεσης υπολογίζεται με ακρίβεια ενός δεκάτου του έτους.

6.3 Προσδιορισμός εσωτερικού βαθμού απόδοσης

Η δεύτερη μέθοδος που χρησιμοποιείται για την οικονομική αξιολόγηση της επένδυσης σε συνδυασμό με τη μέθοδο του χρόνου απόσβεσης είναι η μέθοδος του εσωτερικού βαθμού απόδοσης (InternalRateofReturn ή IRR). Η μέθοδος αυτή μας επιτρέπει να υπολογίσουμε το κόστος ευκαιρίας που είναι ισοδύναμο με τις επιστροφές των εισροών που αναμένουμε από την επένδυση μας. Έτσι, γνωρίζοντας το IRR της επένδυσης μπορούμε να το συγκρίνουμε με τα ποσοστά κέρδους που θα μας έδιναν άλλες επενδυτικές λύσεις. Εάν ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης είναι μικρότερος από το κόστος ευκαιρίας για τη χρηματοδότηση μίας επένδυσης τότε η επένδυση είναι μη βιώσιμη. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης ορίζεται ίσος με εκείνο το κόστος ευκαιρίας για το οποίο η καθαρά παρούσα αξία της επένδυσης είναι μηδενική στα n χρόνια της αξιολόγησης. Δηλαδή ισχύει το εξής:

$$NPV=0, \text{ όταν } i=IRR \quad (6.7)$$

Για την αξιολόγηση της επένδυσης βάσει του εσωτερικού βαθμού απόδοσης που προκύπτει υπάρχουν οι παρακάτω περιπτώσεις:

- Όταν $IRR > i$, η επένδυση είναι αποδεκτή.
- Όταν $IRR = i$, η επένδυση είναι οριακή οπότε δεν έχει ενδιαφέρον ή αξιολογείται κατά περίπτωση.
- Όταν $IRR < i$, η επένδυση απορρίπεται.

7. ΓΕΝΕΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ

7.1 Εισαγωγή στους γενετικούς αλγόριθμους

Οι γενετικοί αλγόριθμοι επινοήθηκαν από τον John Holland τη δεκαετία του 1960 και αποτελούν εργαλεία βελτιστοποίησης ενός προβλήματος. Με τον όρο βελτιστοποίηση εννοούμε εύρεση μεγίστου συνάρτησης. Ο γενετικός αλγόριθμος είναι ένα υποσύνολο από αλγόριθμους οι οποίοι μοντελοποιούν βιολογικές διαδικασίες για να βελτιστοποιήσουν εξαιρετικά σύνθετες συναρτήσεις κόστους. Οι γενετικοί αλγόριθμοι αποτελούν μία μέθοδο μετακίνησης από έναν πληθυσμό «χρωμοσωμάτων» (π.χ ακολουθίες από bits 0 και 1) σε έναν νέο πληθυσμό χρησιμοποιώντας ένα είδος «φυσικής επιλογής» μαζί με εμπνευσμένους από τη γενετική τελεστές «μετάλλαξης» και «αντιστροφής». Κάθε χρωμόσωμα αποτελείται από γονίδια τα οποία αποτελούν τις μεταβλητές της εκάστοτε συνάρτησης. Παρακάτω θα επεξηγήσουμε αναλυτικότερα τις έννοιες αυτές.

7.2 Βασική λειτουργία και γενετικές πράξεις

Η ιδιαιτερότητα των γενετικών αλγορίθμων βασίζεται στην ιδιότητά τους να επιλύουν ένα πρόβλημα με «βιολογικό» και όχι με μαθηματικό τρόπο, γεγονός που τους δίνει μεγάλη ευελιξία. Οι γενετικοί αλγόριθμοι εκτελούν μία αναζήτηση στο χώρο των υποψήφια λύσεων με στόχο την εύρεση αποδεκτών σύμφωνα με κάποιο κριτήριο λύσεων. Χρησιμοποιούνται ανεξάρτητα απ' το αν οι προδιαγραφές του προβλήματος είναι γραμμικές ή όχι, διακριτού ή συνεχούς χρόνου, πολλών ή λίγων ακροτάτων.

Το βασικό πρόβλημα βελτιστοποίησης λοιπόν είναι η μεγιστοποίηση μιας συνάρτησης πολλών μεταβλητών. Η μεγιστοποίηση εγκείται στην εύρεση του σωστού συνδυασμού των μεταβλητών για τον οποίο η συνάρτηση παίρνει τη μέγιστη τιμή της.

Στους γενετικούς αλγόριθμους μια υποψήφια λύση ονομάζεται χρωμόσωμα. Κάθε χρωμόσωμα αποτελείται από ένα σύνολο γονιδίων. Κάθε γονίδιο αντιπροσωπεύει μια μεταβλητή της συνάρτησης και μπορεί να παρασταθεί από μία σειρά δυαδικών ψηφίων.

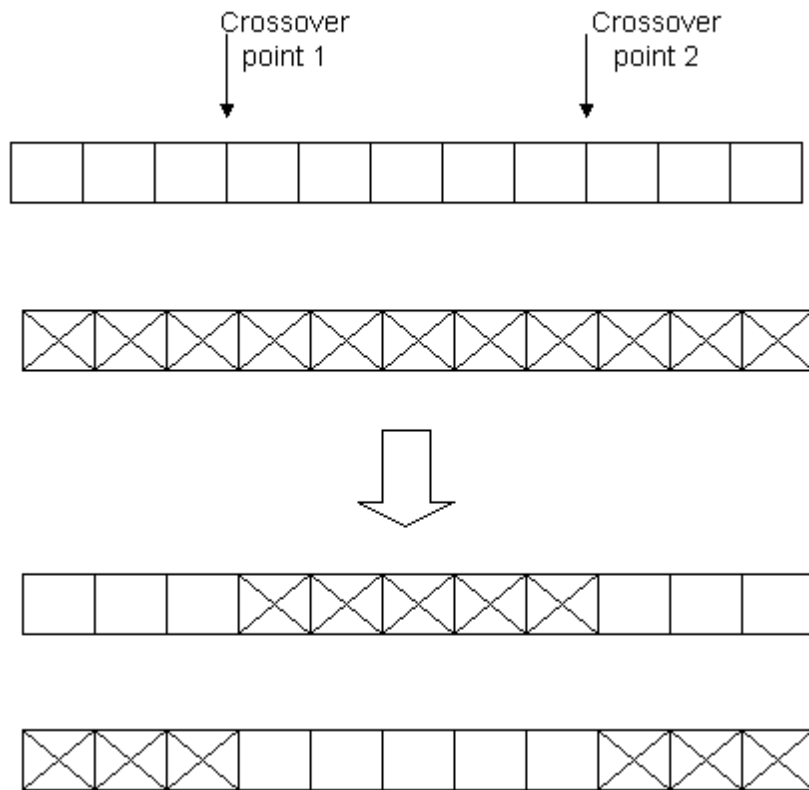
Ένα σύνολο χρωμοσωμάτων συγκεκριμένου πληθυσμού καλείται γενεά. Ο γενετικός αλγόριθμος παράγει καινούριες γενεές με ένα σύνολο από πράξεις με την τάση αυτές να είναι «καλύτερες» δηλαδή να δίνουν μεγαλύτερη τιμή στη συνάρτηση. Σε αυτό το σημείο έγκείται η αντιστοιχία με τη φυσική διαδικασία της «επιβίωσης του ισχυροτέρου». Οι πράξεις αυτές που χρησιμοποιούνται στην παραπάνω διαδικασία είναι η επιλογή, διασταύρωση και μετάλλαξη.

Επιλογή

Ο μηχανισμός της επιλογής είναι η διαδικασία κατά την οποία επιλέγεται το κριτήριο με βάση το οποίο κάποια χρωμοσώματα επιλέγονται για τις επόμενες γενεές αφού συμμετάσχουν στις πράξεις που έπονται της επιλογής (διασταύρωση, μετάλλαξη).

Διασταύρωση

Η πράξη της διασταύρωσης λαμβάνει χώρα ανάμεσα σε δύο χρωμοσώματα. Αφού επιλεγθεί ένα τυχαίο σημείο ανάμεσα στα γονίδια, οι υπακολουθίες γονιδίων ανταλλάσσονται για να δημιουργηθούν έτσι δύο νέοι απόγονοι. Η πράξη της διασταύρωσης σε δύο σημεία (Crossoverpoints) του κάθε χρωμοσώματος παρουσιάζεται παρακάτω. Προφανώς υπάρχει και η διασταύρωση ενός σημείου.



Σχ 7.1 Διασταύρωση δύο σημείων.

Μετάλλαξη

Η πράξη της μετάλλαξης που εφαρμόζεται μετά την πράξη της διασταύρωσης αλλάζει τυχαία κάποια απο τα ψηφία ενός χρωμοσώματος. Η μετάλλαξη μπορεί να γίνει σε οποιοδήποτε σημείο του χρωμοσώματος με μια μικρή πιθανότητα η οποία αποτελεί παράμετρο εισόδου.

Ο εξελικτικός κύκλος συνεχίζεται μέχρι να ισχύσει κάποια επιθυμητή συνθήκη τερματισμού η οποία μπορεί να είναι είτε το πλήθος των συνολικών εκτελέσεων του αλγορίθμου (αριθμός γενεών) ή μία προκαθορισμένη τιμή της συνάρτησης του προβλήματος.

7.3 Κωδικοποίηση μεταβλητών

Ο επικρατέστερος τρόπος κωδικοποίησης των μεταβλητών της συνάρτησης βελτιστοποίησης είναι αυτός που χρησιμοποιεί ακολουθίες δυαδικών ψηφίων. Ο τρόπος αυτός όμως παρουσιάζει σημαντικά μειονεκτήματα. Σε περίπτωση που οι μεταβλητές παίρνουν τιμές σε ένα πολύ μεγάλο εύρος τότε χρειάζονται πολλά bits κωδικοποίησης. Τα πράγματα γίνονται ακόμη δυσκολότερα όταν αυξάνεται ταυτόχρονα ο αριθμός των μεταβλητών (γονιδίων) του προβλήματος. Τότε τα χρωμοσώματα που δημιουργούνται είναι πολύ μεγάλου μήκους και το εύρος αναζήτησης μέσα στο οποίο μπορεί να ψάξει ο αλγόριθμος είναι πολύ μεγάλο, με αποτέλεσμα να μειώνεται η απόδοση τους. Ένα άλλο σημαντικό μειονέκτημα είναι όταν έχουμε πραγματικές μεταβλητές των οποίων η κωδικοποίηση με δυαδικά ψηφία είναι δύσκολη. Έτσι σε ένα ευρύ σύνολο προβλημάτων συμπεριλαμβανομένης και της εργασίας αυτής χρησιμοποιείται η floatingpoint αναπαράσταση. Σε μία τέτοια αναπαράσταση ένα χρωμόσωμα έχει τη μορφή $[a_1 a_2 a_3 a_4 \dots a_n]$ όπου τα a_i είναι πραγματικοί αριθμοί που παίρνουν τιμές μέσα από ένα συγκεκριμένο εύρος $[\underline{a}_i, \overline{a}_i]$ όπου \underline{a}_i , \overline{a}_i το κάτω και το άνω φράγμα αυτού του εύρους.

7.4 Αντικειμενική συνάρτηση και συνάρτηση προσαρμογής

Αντικειμενική συνάρτηση ενός προβλήματος βελτιστοποίησης ορίζεται η συνάρτηση που αντιπροσωπεύει ένα πρόβλημα και την οποία επιθυμούμε να βελτιστοποιήσουμε. Ανάλογα με το πρόβλημα η συνάρτηση αυτή μπορεί να εκφράζει οικονομικό κόστος, χρονικό κόστος ποσότητα κάποιου μεγέθους κ.τ.λ. Συνάρτηση προσαρμογής (fitnessfunction) ενός γενετικού αλγόριθμου είναι η συνάρτηση εκείνη που προέρχεται από την αντικειμενική συνάρτηση μέσω κάποιας αντιστοίχισης-μετατροπής και χρησιμοποιείται από το γενετικό αλγόριθμο για την πράξη της επιλογής. Ενώ η αντικειμενική συνάρτηση μπορεί να παίρνει και θετικές και αρνητικές τιμές, η

συνάρτηση προσαρμογής πρέπει να παίρνει μόνο μη αρνητικές τιμές. Παρακάτω θα αναλυθεί ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η αντιστοίχιση μεταξύ αντικειμενικής συνάρτησης και συνάρτησης προσαρμογής.

Οι γενετικοί αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται για την εύρεση του μεγίστου μίας συνάρτησης. Εάν έχουμε ένα πρόβλημα ελαχιστοποίησης με αντικειμενική συνάρτηση την $g(X)$ όπου X το διάνυσμα των μεταβλητών για να επιλύσουμε το πρόβλημα με τον γενετικό αλγόριθμο θεωρούμε τη συνάρτηση προσαρμογής $f(X)=-g(X)$ οπότε το πρόβλημα ελαχιστοποίησης ανάγεται σε πρόβλημα μεγιστοποίησης. Έτσι ο γενετικός αλγόριθμος βρίσκει το μέγιστο της συνάρτησης $f(X)$ το οποίο αποτελεί ταυτόχρονα και ελάχιστο της $g(X)$.

Επειδή η συνάρτηση προσαρμογής λαμβάνει μόνο μη αρνητικές τιμές και εφόσον έχουμε πρόβλημα ελαχιστοποίησης συνάρτησης η πλήρης αντιστοίχιση μεταξύ αντικειμενικής συνάρτησης και συνάρτησης προσαρμογής βασίζεται στην παρακάτω μετατροπή.

$$f(X) = \begin{cases} C_{\max} - g(X) & \Rightarrow C_{\max} - g(X) > 0 \\ 0, & \text{αλλιώς} \end{cases} \quad (7.1)$$

Η ποσότητα C_{\max} είναι παράμετρος εισόδου αλλά το πιο σωστό είναι να επιλέγεται ως η μέγιστη τιμή της $g(X)$ για κάθε γενεά.

7.5 Μηχανισμοί επιλογής

Η επιλογή αποτελεί την κρισιμότερη πράξη των γενετικών αλγορίθμων αφού από αυτή προκύπτει το σύνολο των χρωμοσωμάτων από τα οποία κάποια θα διασταυρωθούν και θα μεταλλαχθούν δίνοντας απογόνους στην επόμενη γενεά. Οι μηχανισμοί επιλογής που έχουν

αναπτυχθεί χρησιμοποιούν τη συνάρτηση προσαρμογής για να επιλέξουν ποιά χρωμοσώματα θα χρησιμοποιηθούν. Ένα χρωμόσωμα με μεγαλύτερη τιμή της συνάρτησης προσαρμογής έχει μεγαλύτερη πιθανότητα να επιλεγεί απο ένα άλλο με μικρότερη τιμή. Ο πιο διαδεδομένος μηχανισμός επιλογής χρωμοσωμάτων είναι ο μηχανισμός του τροχού της ρουλέτας. Αρχικά υπολογίζεται η συνάρτηση προσαρμογής για όλα τα χρωμοσώματα μίας γενεάς (N θεωρείται το πλήθος των χρωμοσωμάτων ανα γενεά). Στη συνέχεια υπολογίζεται

το άθροισμα $\sum_{i=1}^N f_i$ και για κάθε χρωμόσωμα υπολογίζεται η πιθανότητα επιλογής του p_i . Η πιθανότητα αυτή υπολογίζεται απο τη σχέση:

$$p_i = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^N f_i} \quad (7.2)$$

Αφού υπολογισθούν οι πιθανότητες p_i ακολουθεί η τυχαία παραγωγή N αριθμών μέσα στο διάστημα [0,1]. Ένα χρωμόσωμα επιλέγεται αν ο αριθμός που έχει παραχθεί για αυτό είναι μικρότερος απο την πιθανότητα αυτού και μεγαλύτερος απο την αμέσως μικρότερη πιθανότητα χρωμοσώματος. Ο αναμενόμενος αριθμός ενός χρωμοσώματος δίνεται απο τη σχέση:

$$n_i \equiv \frac{f_i}{f} = N \cdot p_i \quad (7.3)$$

Όπου \bar{f} η μέση τιμή της συνάρτησης προσαρμογής. Ο αριθμός αυτός δηλώνει πόσες φορές αναμένεται στατιστικά να επιλεγεί το εκάστοτε χρωμόσωμα.

7.6 Πιθανότητες διασταύρωσης και μετάλλαξης

Οι πιθανότητες διασταύρωσης και μετάλλαξης, p_c και p_m αντίστοιχα, σχετίζονται με το πλήθος των χρωμοσωμάτων μίας γενεάς. Αν για παράδειγμα έχουμε έναν πληθυσμό N χρωμοσωμάτων και η πιθανότητα διασταύρωσης είναι 50% τότε αναμένονται στατιστικά 15 χρωμοσώματα να συμμετάσχουν σε πράξεις διασταύρωσης και να δώσουν απογόνους. Η επιλογή των πιθανοτήτων διασταύρωσης και μετάλλαξης έχει να κάνει με το εκάστοτε πρόβλημα. Ενδεικτικές τιμές σύμφωνα με τη βιβλιογραφία είναι οι ακόλουθες:

Για μεγάλους πληθυσμούς (50-100) : $p_c=60\%$ και $p_m=0,1\%$

Για μικρούς πληθυσμούς (10-50) : $p_c=90\%$ και $p_m=1\%$

7.7 Χειρισμός περιορισμών

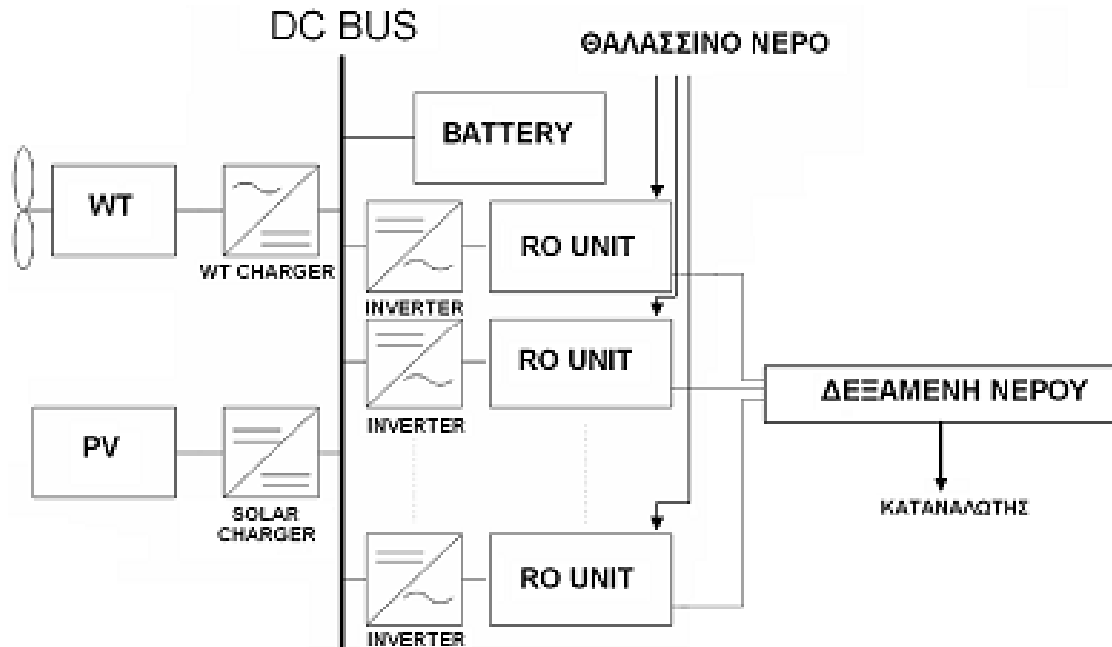
Ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης πρέπει να λυθεί μέσα σε ένα σύνολο απο περιορισμούς οι οποίοι αφορούν τις μεταβλητές του συστήματος. Σε προβλήματα με περιορισμούς είναι συχνό να γεννιούνται κάποιες λύσεις απο τη διαδικασία του αλγορίθμου που παραβιάζουν έναν ή περισσότερους περιορισμούς. Απαιτείται λοιπόν η ύπαρξη συγκεκριμένων μηχανισμών χειρισμού αυτών των μη εφικτών λύσεων. Πολλοί μηχανισμοί διαχείρισης περιορισμών χρησιμοποιούν τη λεγόμενη “penaltyfunction” η οποία λειτουργεί ως εξής : ο αλγόριθμος τρέχει κανονικά χωρίς να λαμβάνει υπ’οψιν τους περιορισμούς. Όταν κατα τη διαδικασία προκύπτουν χρωμοσώματα που παραβιάζουν τους περιορισμούς τότε η πιθανότητα των χρωμοσωμάτων αυτών να επιλεγούν κατα τη πράξη της επιλογής μειώνεται. Αυτό γίνεται προσθέτοντας στη συνάρτηση προσαρμογής μία συνάρτηση penalty η οποία μειώνει την τιμή προσαρμογής των χρωμοσωμάτων αυτών. Υπάρχουν διάφορες συναρτήσεις penalty, με βασική κατηγοριοποίηση το αν η συνάρτηση είναι μια σταθερά, όπου το penalty είναι συγκεκριμένο για κάθε χρωμόσωμα που παραβιάζει τους περιορισμούς, ή εξαρτάται απο το κατά πόσο το εκάστοτε χρωμόσωμα παραβιάζει τους περιορισμούς, όσο περισσότερο τους παραβιάζει τόσο μεγαλύτερο είναι και το penalty.

8. ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

8.1 Το σύστημα της παρούσας εργασίας

Στην παρούσα εξετάζεται υβριδικό σύστημα Φ/Β στοιχείων και Α/Γ για την τροφοδοσία μονάδων αφαλάτωσης με σκοπό να καλυφθεί μια συγκεκριμένη ζήτηση σε νερό. Στα προηγούμενα κεφάλαια έχουν περιγραφεί οι συσκευές που απαιτούνται για τη λειτουργία του συστήματος. Το σύστημα φαίνεται στο Σχήμα 8.1. Οι συσκευές – στοιχεία που χρησιμοποιούνται είναι:

- Φ/Β πλαίσια
- Ανεμογεννήτριες
- Μονάδες αφαλάτωσης
- Συσσωρευτές
- Ρυθμιστές τάσης
- Μετατροπείς DC/AC
- Δεξαμενή νερού



Σχ 8.1 Το σύστημα της παρούσας εργασίας

Στο παρόν σύστημα παράγεται ηλεκτρική ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και τις ανεμογεννήτριες η οποία μέσω του DC ζυγού είτε αποθηκεύεται στους συσσωρευτές είτε διοχετεύεται για τη λειτουργία των μονάδων αφαλάτωσης. Για κάθε μονάδα αφαλάτωσης του συστήματος (ο αριθμός τους εξαρτάται από τη ζήτηση σε νερό) αντιστοιχεί και ένας μετατροπέας DC/AC (inverter). Αυτό γίνεται λόγω της δυσκολίας των μετατροπέων να συνδεθούν παράλληλα, ώστε να παράγουν αθροιστικά αρκετή ισχύ σε εναλασσόμενο ρεύμα. Γι' αυτόν τον λόγο πρέπει η ισχύς εξόδου του μετατροπέα να είναι μεγαλύτερη από την ισχύ που καταναλώνει η μονάδα αφαλάτωσης. Οι ρυθμιστές τάσης αποτελούν απαραίτητα στοιχεία αφού εξασφαλίζουν τη σωστή φόρτιση των συσσωρευτών. Χρησιμοποιούνται στην έξοδο των φωτοβολταϊκών πλαισίων και των ανεμογεννητριών. Ο φορτιστής των ανεμογεννητριών βρίσκεται ενσωματωμένος στις ανεμογεννήτριες οπότε δεν μοντελοποιείται.

Η διαστασιολόγηση έχει άμεση σχέση με τις καιρικές συνθήκες, τη ζήτηση σε νερό και το κόστος της εγκατάστασης. Έτσι έχει αναπτυχθεί ένας αλγόριθμος προσομείωσης που χρησιμοποιείται για τη διαστασιολόγηση ο οποίος αναλύεται παρακάτω

8.2 Η τάση λειτουργίας του συστήματος

Παράγοντες όπως οι μέγιστες τάσεις εξόδου των ανεμογεννητριών και των Φ/Β πλαισίων, η ονομαστική τάση λειτουργίας των μονάδων αφαλάτωσης αλλά και τα χαρακτηριστικά των διαφόρων επιμέρους συσκευών (ρυθμιστές τάσης, μετατροπείς κλπ) επηρεάζουν την επιλογή της τάσης λειτουργίας του συστήματος.

Ως τάση λειτουργίας, V_b , στο παρόν σύστημα έχει επιλεγεί η τάση εξόδου του φορτιστή της ανεμογεννήτριας. Ακόμα γνωρίζοντας τη μέγιστη τάση εξόδου των Φ/Β πλαισίων, V_{pv}^m , μπορεί να υπολογιστεί ο αριθμός των Φ/Β πλαισίων που θα συνδεθούν σε σειρά:

$$n_{pv}^s = \frac{V_{ch,in}}{V_{pv}^m} \quad (8.1)$$

όπου $V_{ch,in}$ η τάση εισόδου του φορτιστή.

Επίσης αν v_{bn} είναι η ονομαστική τάση ενός συσσωρευτή, τότε ο αριθμός των μπαταριών που πρέπει να συνδεθούν σε σειρά είναι:

$$n_b^s = \frac{V_b}{V_{bn}} \quad (8.2)$$

8.3 Ο αλγόριθμος προσομοίωσης λειτουργίας του συστήματος (SIM)

Ο γενετικός αλγόριθμος παράγει λύσεις για τις μεταβλητές του συστήματος. Ενσωματωμένος στο γενετικό αλγόριθμο υπάρχει ένας αλγόριθμος προσομοίωσης λειτουργίας του συστήματος ο οποίος χρησιμοποιείται για να προσομοιώσει τη λειτουργία του συστήματος όσον αφορά την ισχύ και το νερό που παράγονται, αποθηκεύονται και καταναλώνονται ανά ώρα στη διάρκεια ενός έτους. Ουσιαστικά κρίνει αν μία λύση που παράχθηκε από το γενετικό αλγόριθμο είναι αποδεκτή ή όχι, δηλαδή αν παράγεται αρκετή ενέργεια ώστε να καλύψει τη ζήτηση. Οι είσοδοι του αλγορίθμου SIM είναι:

- ❖ τα χαρακτηριστικά μεγέθη όλων των συσκευών που απαρτίζουν το σύστημα,
- ❖ τα μετεωρολογικά στοιχεία της υπο μελέτη περιοχής (ακτινοβολία, θερμοκρασία, ανεμολογικά δεδομένα),
- ❖ τη λύση που προτείνει ο γενετικός αλγόριθμος,
- ❖ τη ζήτηση σε νερό της περιοχής.

Ο αλγόριθμος αρχικά γνωρίζοντας το πλήθος των παραπάνω μεταβλητών υπολογίζει την παραγόμενη ισχύ P_{re} από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Φ/Β πλαίσια και Α/Γ), η οποία τροφοδοτεί το υπόλοιπο σύστημα (μπαταρίες και μονάδες αφαλάτωσης):

$$P_{re} = n_s P_{pv} + P_{wt} \quad (8.3)$$

όπου:

n_s η απόδοση των solar chargers (%),

P_{pv} η συνολική ισχύς των Φ/Β πλαισίων (W),

P_{wt} η συνολική ισχύς των Α/Γ (W).

Αν συμβολίσουμε με P_L την ισχύ εισόδου του μετατροπέα dc/ac, τότε:

$$P_L = \frac{P_{RO}}{n_i} \quad (8.4)$$

όπου:

P_{RO} η ονομαστική ισχύς της μονάδας αφαλάτωσης (W) και

n_i ο βαθμός απόδοσης του μετατροπέα dc/ac (%).

Ακόμα συμβολίζουμε ως $W_{απ}$ την ποσότητα του νερού που απαιτείται και W_{RO} την ποσότητα νερού που παράγεται αν λειτουργήσει η μονάδα αφαλάτωσης και P_f την ισχύ που απαιτείται για flushing ης μονάδας αφαλάτωσης.

Η βασική ιδέα της προσομοίωσης είναι η εξής:

- αν $P_{re}=P_L$ και $W_{RO}=W_{απ}$ τότε η κατάσταση των συσσωρευτών και της δεξαμενής δέν μεταβάλλονται.
- αν $P_{re}=P_L$ και $W_{RO}>W_{απ}$ τότε η κατάσταση των συσσωρευτών δεν μεταβάλλεται αλλά το υπόλοιπο νερό που δεν καταναλώνεται ($W_{RO}-W_{απ}$) αποθηκεύεται στη δεξαμενή μέχρι αυτή να γεμίσει.
- αν $P_{re}=P_L$ και $W_{RO}<W_{απ}$ τότε η κατάσταση των συσσωρευτών δεν μεταβάλλεται και το έλλειμμα σε νερό προσπαθεί να το καλύψει η δεξαμενή. Αν αυτό δεν είναι εφικτό τότε ο αλγόριθμος αποτυγχάνει.
- αν $P_{re}>P_L$ και $W_{RO}=W_{απ}$ τότε οι συσσωρευτές φορτίζονται με την περίσσεια ισχύος που δέν καταναλώθηκε ($P_{re}-P_L$) ενώ η δεξαμενή δεν μεταβάλλεται.

- αν $P_{re} > P_L$ και $W_{RO} > W_{ap}$ τότε οι συσσωρευτές φορτίζονται με την περίσσεια ισχύος που δέν καταναλώθηκε ($P_{re} - P_L$) μέχρι να φορτιστούν πλήρως ενώ η δεξαμενή αποθηκεύει το υπόλοιπο του νερού ($W_{RO} - W_{ap}$) μέχρι να γεμίσει.
- αν $P_{re} > P_L$ και $W_{RO} < W_{ap}$ τότε οι συσσωρευτές φορτίζονται με την περίσσεια ισχύος που δέν καταναλώθηκε ($P_{re} - P_L$) ενώ η δεξαμενή προσπαθεί να καλύψει το έλλειμμα σε νερό. Αν αυτό δεν είναι εφικτό ο αλγόριθμος αποτυγχάνει.
- αν $P_{re} < P_L$ και οι συσσωρευτές μπορούν να τροφοδοτήσουν τις μονάδες αφαλάτωσης τότε εκφορτίζονται κατά ($P_L - P_{re}$) και:
 - αν $W_{RO} = W_{ap}$ τότε η ποσότητα νερού της δεξαμενής δεν μεταβάλλεται.
 - αν $W_{RO} > W_{ap}$ τότε η δεξαμενή αποθηκεύει το επιπλέον νερό μέχρι να γεμίσει.
 - αν $W_{RO} < W_{ap}$ τότε η δεξαμενή προσπαθεί να καλύψει το υπόλοιπο απαιτούμενο νερό. Αν δεν μπορεί τότε ο αλγόριθμος αποτυγχάνει.
- αν $P_{re} < P_L$ και οι συσσωρευτές δεν μπορούν να τροφοδοτήσουν τις μονάδες αφαλάτωσης τότε αυτές δεν λειτουργούν και:
 - αν η δεξαμενή μπορεί να καλύψει τις ανάγκες σε νερό απο μόνη της τότε οι συσσωρευτές φορτίζονται απο την P_{re} και αν μπορεί να τροφοδοτήσει το flushing τότε αυτό γίνεται και οι συσσωρευτές εκφορτίζονται κατα P_{fl} , διαφορετικά δεν γίνεται flushing, το οποίο θα γίνει όποτε υπάρχει η δυνατότητα.
 - Αν η δεξαμενή δεν μπορεί να καλύψει τις ανάγκες της σε νερό απο μόνη της τότε ο αλγόριθμος αποτυγχάνει.

Η παραπάνω προσομοίωση θεωρείται επιτυχής αν ο αλγόριθμος για κάθε ένα βήμα του, δηλαδή για κάθε μία ώρα (time-step αλγορίθμου) δεν αποτύχει. Το βήμα αυτό επαναλαμβάνεται για ένα χρόνο ($365 * 24 = 8760$ ώρες).

Στην παρούσα εργασία υπάρχουν δύο εκδόσεις του αλγορίθμου, ο SIM_1 που προσομοιώνει το σύστημα για μία κλίση θ για όλο το χρόνο και ο SIM_2 που προσομοιώνει το σύστημα για δύο κλίσεις θ_1 και θ_2 . Για τον SIM_2 η πρώτη κλίση αφορά την περίοδο απο τον Ιανουάριο μέχρι τα μέσα Απρίλη και απο τα μέσα Οκτωβρίου μέχρι και τον Δεκέμβρη ενώ η δεύτερη το υπόλοιπο χρονικό διάστημα. Σε αριθμούς ημερών του χρόνου αυτό μεταφράζεται ως εξής:

- για την θ_1 : 1-104 και 290-365
- για την θ_2 : 105-289.

Στους αλγόριθμους χρησιμοποιούνται οι παρακάτω συμβολισμοί:

N_1 : ο αριθμός των Φ/Β πλαισίων,

N_2 : ο αριθμός των Α/Γ,

N_3 : ο αριθμός των συσσωρευτών,

h : το ύψος του πυλώνα των Α/Γ

θ : η κλίση των πλαισίων στον $SIM_1(^{\circ})$,

θ_1 : η πρώτη κλίση των πλαισίων στον $SIM_2(^{\circ})$,

θ_2 : η δεύτερη κλίση των πλαισίων στον $SIM_2(^{\circ})$

N_6 : το μέγεθος της δεξαμενής (lt),

N_7 : ο αριθμός των μονάδων αφαλάτωσης,

$P_{pv}^{i,\theta}(t)$: η ισχύς που παράγει ένα Φ/Β πλαίσιο με κλίση θ κατα την ώρα t την i -οστή ημέρα του έτους(W),

$t_1^{i,\theta}$: η ώρα της i -οστής ημέρας κατα την οποία αρχίζει η ηλιακή ακτινοβολία να είναι διαθέσιμη για κλίση $\theta(h)$,

$t_2^{i,\theta}$: η ώρα της i -οστής ημέρας κατα την οποία σταματάει η ηλιακή ακτινοβολία να είναι διαθέσιμη για κλίση $\theta(h)$,

$P_{wt}^{i,h}(t)$: η ισχύς που παράγει μία ανεμογεννήτρια με ύψος πυλώνα h κατα την ώρα t την i -οστή μέρα του έτους (W),

$C^i(t)$: η συνολική χωρητικότητα των συσσωρευτών κατα την ώρα t για την i -οστή ημέρα (Ah),

DOD : το μέγιστο επιτρεπτό βάθος εκφόρτισης των συσσωρευτών (%),

P_{RO} : η ονομαστική ισχύς λειτουργίας μίας μονάδας αφαλάτωσης (W) και

$W^i(t)$: η ποσότητα νερού που υπάρχει στη δεξαμενή κατά την ώρα t της i -οστής ημέρας (lt).

Έτσι η συνολική ισχύς των ΑΠΕ για την ώρα t την ημέρα i είναι:

$$P_{re}^i = n_s N_1 P_{pv}^{i,\theta}(t) + N_2 P_{wt}^{i,h}(t) \quad (8.5)$$

Για τους συσσωρευτές ισχύει:

$$C^i(t) = C^i(t-1) + n_b \frac{P_b^i(t)}{v_b} \Delta t \quad (8.6)$$

Η αρχική συνολική χωρητικότητα των συσσωρευτών, $C^o(0)$, υπολογίζεται ως εξής:

$$C^o(0) = (1 - \frac{DOD}{2}) C_n \quad (8.7)$$

Επίσης ισχύει η σχέση:

$$C^i(24) = C^{i+1}(0) \quad (8.8)$$

Ακόμα για την φόρτιση ή εκφόρτιση των συσσωρευτών δεν επιτρέπεται να φορτίζονται ή να εκφορτίζονται με ρεύμα φόρτισης ή εκφόρτισης, αντίστοιχα, μεγαλύτερο του ενός πέμπτου της χωρητικότητας τους. Για αυτόν τον λόγο σε κάθε φόρτιση ή εκφόρτιση των συσσωρευτών γίνεται ο απαραίτητος έλεγχος. Το σύστημα θα λειτουργήσει κανονικά αν στο τέλος της

προσομοίωσης η μπαταρία είναι περισσότερο ή εξίσου φορτισμένη απο την αρχή της προσομοίωσης. Τέλος, θεωρείται οτι η δεξαμενή έχει αρχικά την ελάχιστη δυνατή ποσότητα νερού η οποία είναι το 30% της χωρητικότητάς της.

9. ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΝΕΤΙΚΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ

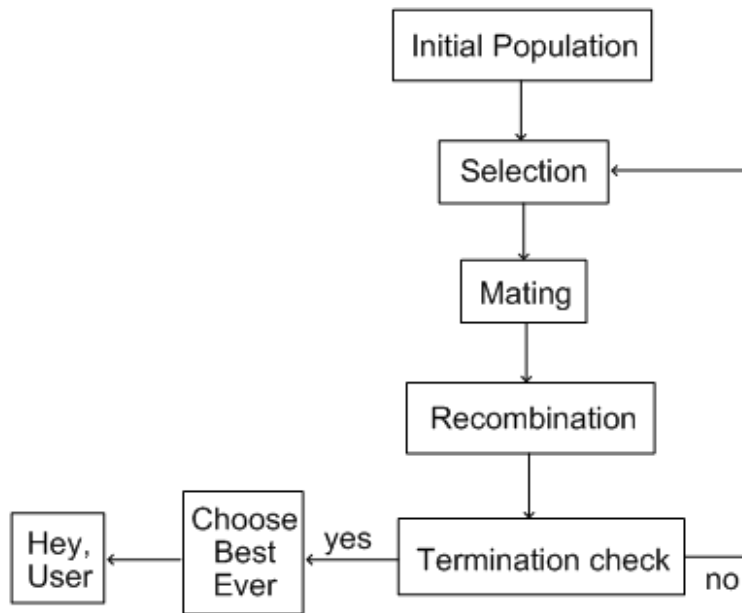
9.1 Εισαγωγή

Στην παρούσα εργασία αντιμετωπίζεται το πρόβλημα της βέλτιστης διαστασιολόγησης ενός υβριδικού συστήματος Φ/Β πλαισίων και Α/Γ το οποίο τροφοδοτεί μονάδες αφαλάτωσης (Σχήμα 8.1) με σκοπό την πώληση της παραγόμενης ποσότητας νερού και τη μεγιστοποίηση του οικονομικού οφέλους για έναν αριθμό ετών. Η παραγόμενη ποσότητα νερού εξαρτάται από την εκάστοτε ζήτηση νερού. Η διαστασιολόγηση τελείται αναφορικά με το πλήθος των Φ/Β πλαισίων, των Α/Γ, των συσσωρευτών, των φορτιστών των Φ/Β πλαισίων και των μονάδων αφαλάτωσης, το μέγεθος (χωρητικότητα) της δεξαμενής, καθώς και με την κλίση των Φ/Β πλαισίων.

Σαν είσοδος του αλγορίθμου δίνονται οι τύποι με τα χαρακτηριστικά μεγέθη όλων των στοιχείων του συστήματος (Φ/Β πλαίσια, Α/Γ, συσσωρευτές, φορτιστές, μετατροπείς και μονάδες αφαλάτωσης) καθώς και μια σειρά από παραμέτρους των γενετικών πράξεων. Αν δοθούν στην είσοδο πολλοί τύποι στοιχείων, τότε ο αλγόριθμος εκτελείται για κάθε δυνατό συνδυασμό τους και θα βρεί την οικονομικότερη λύση για κάθε ξεχωριστή περίπτωση.

Στην εργασία αυτή γίνεται χρήση δύο διαφορετικών αντικειμενικών συναρτήσεων. Η πρώτη είναι η αντικειμενική συνάρτηση για τη διαστασιολόγηση συστήματος με μία κλίση Φ/Β πλαισίων, στην οποία περιλαμβάνεται το αρχικό κεφάλαιο, το κόστος συντήρησης των στοιχείων του συστήματος και τα κέρδη από την πώληση του νερού. Η δεύτερη είναι όπως η πρώτη με τη διαφορά ότι γίνεται διαστασιολόγηση για δύο κλίσεις των Φ/Β πλαισίων του συστήματος.

Ο γενετικός αλγόριθμος απεικονίζεται συνοπτικά στο σχήμα 9.1. Αρχικά υλοποιείται μία ρουτίνα αρχικοποίησης και εν συνεχεία ακολουθούν οι γενετικές πράξεις. Η λήξη του αλγορίθμου συμβαίνει όταν ικανοποιηθεί κάποιο κριτήριο τερματισμού.



Σχ 9.1 Ο γενετικός αλγόριθμος

Στις επόμενες παραγράφους περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία της αρχικοποίησης του αλγορίθμου, η μοντελοποίηση του προβλήματος, οι τελεστές που χρησιμοποιούνται καθώς και η μέθοδος που επιλέχθηκε για την διαχείριση των περιορισμών που υπάρχουν.

9.2 Αρχικοποίηση του αλγορίθμου

Το πρώτο βήμα του αλγορίθμου πριν εκτελεστεί για ένα συγκεκριμένο συνδυασμό στοιχείο του συστήματος είναι η αρχικοποίηση του. Για την αρχικοποίηση του είναι απαραίτητο να διαβαστούν όλες οι είσοδοι-παράμετροι που απαιτούνται για την εκτέλεση του καθώς και να γίνουν κάποιοι απαραίτητοι για τη συνέχεια υπολογισμοί όπως ο υπολογισμός της παραγόμενης ενέργειας κάθε Φ/Β πλαισίου για κάθε δυνατή ημέρα και

κλίση. Οι είσοδοι διαβάζονται απο αρχεία και διακρίνονται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία αφορά στις παραμέτρους των στοιχείων του συστήματος και η δεύτερη κατηγορία αφορά στις παραμέτρους του γενετικού αλγόριθμου και σε κάποιες παραμέτρους του συστήματος. Οι παράμετροι του συστήματος αναφέρονται στα χαρακτηριστικά των Φ/Β πλαισίων, των Α/Γ, των συσσωρευτών, των φορτιστών, των μετατροπέων και των μονάδων αφαλάτωσης καθώς και με τη ζήτηση νερού το ετήσιο προφίλ ακτινοβολίας, του ανέμου και της θερμοκρασίας και τον συντελεστή ανάκλασης της περιοχής υπο μελέτη. Αφού διαβαστούν όλες οι είσοδοι γίνονται οι υπολογισμοί της ενέργειας που παράγεται για κάθε ημέρα του έτους και για κάθε δυνατή κλίση ωστε να μπορεί να εφαρμοστεί ο γενετικός αλγόριθμος.

9.3 Η αντικειμενική συνάρτηση για σύστημα με μία κλίση πλαισίων

Τα χρωμοσώματα του αλγορίθμου που εκτελεί διαστασιολόγηση για μία κλίση κατα τη διάρκεια του έτους περιλαμβάνουν επτά γονίδια και είναι της μορφής $c_1=[N_1|N_2|N_3|N_4|\theta|N_6|N_7]$, όπου N_1 είναι το πλήθος των Φ/Β πλαισίων, N_2 το πλήθος των Α/Γ, N_3 το πλήθος των συσσωρευτών, N_4 το ύψος του πυλώνα, θ η κλίση των πλαισίων, N_6 το μέγεθος της δεξαμενής (σε lt) και N_7 το πλήθος των μονάδων αντίστοιχης ώσμωσης. Στα χρωμοσώματα δεν περιλαμβάνεται ο αριθμός των φορτιστών και των μετατροπέων. Αυτό γίνεται γιατί ο αριθμός των φορτιστών καθορίζεται απο τον αριθμό των Φ/Β πλαισίων και ο αριθμός των μετατροπέων (DC/AC) καθορίζεται μονοσήμαντα απο τον αριθμό των μονάδων αφαλάτωσης. Συγκεκριμένα χρησιμοποιούμε έναν inverter για κάθε μονάδα αφαλάτωσης με τον περιορισμό ότι η ισχύς εξόδου του μετατροπέα είναι μεγαλύτερη ή ίση με την ονομαστική ισχύ λειτουργίας της μονάδας αφαλάτωσης και ότι η τάση και η συχνότητα του ρεύματος εξόδου του μετατροπέα συμπίπτουν με την τάση και τη συχνότητα λειτουργίας της μονάδας αφαλάτωσης. Το να προστεθούν λοιπόν δύο επιπλέον γονίδια στα χρωμοσώματα θα είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της πολυπλοκότητας του και του χρόνου που θα χρειαζόταν για να καταλήξει στη βέλτιστη λύση. Βέβαια, παρότι οι φορτιστές και οι μεταροπέες δεν αποτελούν παραμέτρους ελαχιστοποίησης του γενετικού αλγόριθμου, τον επηρεάζουν αφού εισέρχονται στη συνάρτηση κόστους.

Η αντικειμενική συνάρτηση κόστους λοιπόν για τη διαστασιολόγηση του συστήματος με μία κλίση πλαισίων είναι της μορφής:

$$g(N_1, N_2, N_3, N_4, \theta, N_6, N_7) = IC_n + FC_n - R_n \quad (9.1)$$

Παρακάτω περιγράφονται οι επιμέρους παράγοντες της αντικειμενικής συνάρτησης. Το συνολικό κόστος εγκατάστασης ανοιγμένο στο n-οστό έτος είναι:

$$IC_n = (1 - \gamma) \cdot IC_0 \cdot (1 + i)^n \quad (9.2)$$

όπου:

IC_0 είναι το αρχικά επενδυμένο κεφάλαιο (€),

γ είναι το ύψος της επιδότησης,

i είναι το ετήσιο κόστος ευκαιρίας και

n είναι ο χρονικός ορίζοντας της μελέτης.

Στο IC_0 περιλαμβάνεται το κόστος αγοράς των στοιχείων του συστήματος καθώς και το κόστος αγοράς της έκτασης για την εγκατάσταση του συστήματος. Το IC_0 δίνεται από τη σχέση:

$$IC_0 = N_1 C_1 + N_2 (C_2 + N_4 C_h) + N_3 C_3 + N_5 C_5 + N_7 (C_7 + C_4) + 0,001 N_6 C_6 + C_8 + C_9 + E \quad (9.3)$$

όπου:

C_1 το κόστος αγοράς κάθε Φ/Β πλαισίου (€),

C_2 το κόστος αγοράς κάθε Α/Γ (€),

C_3 το κόστος αγοράς κάθε συσσωρευτή (€),

C_4 το κόστος αγοράς κάθε inverter (DC/AC) (€),

- C_5 το κόστος αγοράς κάθε φορτιστή (€),
 C_6 το κόστος αγοράς δεξαμενής (ανα m^3) (€),
 C_7 το κόστος αγοράς κάθε μονάδας αφαλάτωσης (€),
 C_8 το κόστος αγοράς του οικοπέδου της εγκατάστασης (€),
 C_h το κόστος εγκατάστασης του πυλώνα (ανά m)
 C_9 το κόστος του ηλεκτρονικού και ηλεκτρολογικού εξοπλισμού
 E το κόστος απο εργατικά

Το κόστος συντήρησης της εγκατάστασης για τα n χρόνια της μελέτης υπολογίζεται για το n -οστό έτος απο την παρακάτω εξίσωση (9. 4) :

$$\begin{aligned}
 FC_n &= \left[N_1 C_{m1} + N_2 (C_{m2} + N_4 C_{hm}) + N_3 C_{m3} + N_5 C_{m5} + 0,001 N_6 C_{m6} + N_7 C_{m7} + C_{m4} \right] \cdot 1+g \cdot (1+i)^n \cdot \\
 &= \left[\frac{1 - \left(\frac{1+g}{1+i} \right)^n}{i-g} \right] + IN_c + B_c + CHAR_c + MEM_c
 \end{aligned}$$

όπου:

- C_{m1} είναι το ετήσιο κόστος συντήρησης των Φ/Β πλαισίων (€/ ΦΒ πλαίσιο),
 C_{m2} είναι το ετήσιο κόστος συντήρησης των Α/Γ (€/ ΑΓ),
 C_{m3} είναι το ετήσιο κόστος συντήρησης των συσσωρευτών (€/ συσσωρευτή),
 C_{m4} είναι το ετήσιο κόστος συντήρησης των inverter (€/inverter),
 C_{m5} είναι το ετήσιο κόστος συντήρησης των φορτιστών (€/φορτιστή),
 C_{m6} είναι το ετήσιο κόστος συντήρησης της δεξαμενής (€/m³),
 C_{m7} είναι το ετήσιο κόστος συντήρησης των μονάδων αφαλάτωσης (€/μονάδα αφαλάτωσης),
 C_{hm} είναι το ετήσιο κόστος συντήρησης του πυλώνα (€/m) και
 g είναι ο ετήσιος πληθωρισμός.

Η παραπάνω σχέση προκύπτει χρησιμοποιώντας την εξίσωση (6.3) για τον υπολογισμό του συνολικού κόστους των ετήσιων δαπανών που επηρεάζονται από τον ετήσιο πληθωρισμό.

Το B_C είναι το κόστος που προκύπτει από την ανάγκη για αντικατάσταση των συσσωρευτών και δίνεται από την εξίσωση:

$$B_C = C_3 \cdot N_3 \cdot \left[\sum_{j=k^*} \frac{(1+g)^j}{(1+i)^j} \right] \cdot (1+i)^n \quad (9.5)$$

Επειδή οι συσσωρευτές αλλάζουν συγκεκριμένες χρονιές, το άθροισμα των αντικαταστάσεων υπολογίζεται μόνο εκείνες τις χρονιές στις οποίες χρειάζεται αλλαγή. Για παράδειγμα, εάν οι συσσωρευτές έχουν χρόνο ζωής 4 χρόνια και η μελέτη γίνεται για 15 χρόνια το k^* θα πάρει τις τιμές 4, 8 και 12. Σημειώνεται ότι ο χρόνος ζωής των συσσωρευτών υπολογίζεται κάθε φορά που γίνεται η προσομοίωση και εξαρτάται από τον τύπο του συσσωρευτή.

Το IN_C είναι το κόστος το οποίο αναπαριστά το κόστος επισκευής των μετατροπέων ισχύος και δίνεται από την εξίσωση:

$$IN_C = N_7 \cdot R_{\text{cost}IN} \cdot \left[\sum_{j=n^*} \frac{(1+g)^j}{(1+i)^j} \right] \cdot (1+i)^n \quad (9.6)$$

όπου $R_{\text{cost}IN}$ είναι το κόστος για την επισκευή του μετατροπέα ισχύος. Το n^* υπολογίζεται ως εξής: Διαβάζεται από το αρχείο που έχει τα τεχνικά χαρακτηριστικά των μετατροπέων ισχύος ο μέσος χρόνος μεταξύ βλαβών (MTBF). Στη συνέχεια μετατρέπονται τα έτη για τα οποία γίνεται η μελέτη σε ώρες και διαιρούνται με το μέσο χρόνο μεταξύ βλαβών.

Με τον ίδιο τρόπο υπολογίζεται και το κόστος CHARC το οποίο αναπαριστά το κόστος επισκευής των φορτιστών και δίνεται από την εξίσωση:

$$CHAR_C = N_5 \cdot R_{\text{cost}CHAR} \cdot \left[\sum_{j=m^*} \frac{(1+g)^j}{(1+i)^j} \right] \cdot (1+i)^n \quad (9.7)$$

όπου $R_{\text{cost}CHAR}$ είναι το κόστος για την επισκευή του φορτιστή. Το m^* υπολογίζεται όμοια με την περίπτωση του μετατροπέα ισχύος.

Το MEM_C είναι το κόστος που προκύπτει από την ανάγκη για αντικατάσταση των μεμβρανών των μονάδων αφαλάτωσης και δίνεται από την εξίσωση:

$$MEM_C = N_7 \cdot R_{\text{cost}MEM} \cdot \left[\sum_{j=p^*} \frac{(1+g)^j}{(1+i)^j} \right] \cdot (1+i)^n \quad (9.8)$$

όπου $R_{\text{cost}MEM}$ είναι το κόστος αγοράς μίας μεμβράνης.

Για τον υπολογισμό των εντόκων κερδών από την πώληση του παραγόμενου νερού στο n -οστό έτος χρησιμοποιείται η παρακάτω σχέση:

$$R_n = R_0 \cdot (1 - TAX) \cdot (1 + e) \cdot (1 + i)^n \cdot \left[\frac{1 - \left(\frac{1 + e}{1 + i} \right)^n}{i - e} \right] \quad (9.9)$$

όπου:

R_0 είναι τα έσοδα από την πώληση του νερού για το πρώτο έτος,

e είναι η μέση ετήσια ανατίμηση του νερού και

TAX είναι το ύψος της φορολογίας.

Η παραπάνω σχέση προκύπτει από την Εξ. (6.3) όπως και η σχέση για τον υπολογισμό του κόστους συντήρησης της εγκατάστασης. Το R_0 υπολογίζεται από την παρακάτω την Εξ. (9.10):

$$R_0 = \frac{C_0}{1000} \cdot \sum_{n=1}^{8760} W_{\alpha\pi}(h) \quad (9.10)$$

όπου:

C_0 είναι τιμή πώλησης του νερού (€) ανά m^3 και

$W_{\alpha\pi}$ είναι η ποσότητα νερού που απαιτείται κάθε ώρα για ένα ολόκληρο χρόνο.

9.4 Η αντικειμενική συνάρτηση για σύστημα με δύο κλίσεις

πλαισίων

Η αντικειμενική συνάρτηση για τη διαστασιολόγηση του συστήματος με δύο κλίσεις των Φ/Β πλαισίων είναι της μορφής:

$$g(N_1, N_2, N_3, N_4, \theta_1, \theta_2, N_6, N_7) = IC_n + FC_n + R_n \quad (9.11)$$

όπου:

θ_1 είναι η κλίση των πλαισίων για τις ημέρες 1 ως 104 και 290 ως 365 και

θ_2 είναι η δεύτερη κλίση για τις ημέρες 105 ως 289.

Οι παράμετροι n IC_n , FC_n και R_n υπολογίζονται όπως και στην περίπτωση διαστασιολόγησης του συστήματος με μία κλίση.

9.5 Μετασχηματισμοί των αντικειμενικών συναρτήσεων

Οι παραπάνω αντικειμενικές συναρτήσεις υπολογίζουν το συνολικό κόστος του συστήματος ανάλογα με τον τύπο του (1 ή 2 κλίσεις των Φ/Β πλαισίων). Επειδή πρόκειται για πρόβλημα ελαχιστοποίησης συνάρτησης λαμβάνουμε τον μετασχηματισμό της $g(X)$ που δίνεται από τη σχέση:

$$f(X) = \begin{cases} C_{\max} - g(X) \Rightarrow C_{\max} - g(X) > 0 \\ 0, \text{αλλιώς} \end{cases} \quad (9.12)$$

Η συνάρτηση $f(X)$ είναι η συνάρτηση προσαρμογής του γενετικού αλγορίθμου και χρησιμοποιείται από την πράξη της επιλογής για την επιλογή των χρωμοσωμάτων που θα συμμετάσχουν σε πράξεις διασταύρωσης και μετάλλαξης. Η ποσότητα C_{\max} είναι η απόλυτη τιμή της ελάχιστης τιμής της $g(X)$ και δε λαμβάνεται σταθερή αλλά υπολογίζεται σε κάθε γενεά.

Οι περιορισμοί του προβλήματος συνοψίζονται στις παρακάτω σχέσεις:

$$0 \leq N_1 \leq \text{BND}_1, 0 \leq N_2 \leq \text{BND}_2, 1 \leq N_3 \leq \text{BND}_3, 8 \leq N_4 \leq 15, 1 \leq N_6 \leq \text{BND}_6, 1 \leq N_7 \leq \text{BND}_7, 0 \leq \theta_{1,2} \leq 90 \text{ και}$$

$$\text{SIM}_1(N_1, N_2, N_3, N_4, \theta, N_6, N_7) = 1 \quad \text{ή} \quad \text{SIM}_2(N_1, N_2, N_3, N_4, \theta_1, \theta_2, N_6, N_7) = 1$$

όπου θεωρούμε ότι όταν ο αλγόριθμος SIM_1 ή SIM_2 επιτυγχάνει, επιστρέφει μονάδα. Οι αλγόριθμοι SIM_1 και SIM_2 χρησιμοποιούνται για να εξεταστεί το αν μια υπονήφια λύση ικανοποιεί την ζήτηση σε νερό. Τα $\text{BND}_1, \text{BND}_2, \text{BND}_3, \text{BND}_6$ και BND_7 είναι τα άνω όρια των γονιδίων και οι τιμές τους ορίζονται από το χρήστη. Τέλος, στο πρόβλημα που εξετάζεται εφαρμόζεται η απλή μέθοδος του τροχού της ρουλέτας σαν μηχανισμός επιλογής. Μετά την επιλογή ακολουθούν οι πράξεις της διασταύρωσης και της μετάλλαξης.

9.6 Πράξεις Διασταύρωσης και Μετάλλαξης

Στην παρούσα εργασία οι τελεστές της διασταύρωσης και της μετάλλαξης που χρησιμοποιούνται είναι λίγο διαφορετικοί από αυτούς που αναφέρθηκαν στο 2^ο κεφάλαιο. Κάποιοι από αυτούς είναι ομοιόμορφοι με την έννοια ότι η δράση τους δεν αλλάζει κατά την εξέλιξη των γενεών και κάποιοι άλλοι είναι μη ομοιόμορφοι καθώς αλλάζει ο τρόπος δράσης τους όσο εξελίσσεται ο αλγόριθμος. Όλοι οι τελεστές που χρησιμοποιούνται ενδείκνυται για προβλήματα με floating point αναπαράσταση και έχουν αποδειχθεί πολύ ισχυροί.

9.5.1 Διασταύρωση

Για τη διασταύρωση των χρωμοσωμάτων χρησιμοποιούνται οι εξής τρεις τελεστές:

- Απλή διασταύρωση (Simple Crossover, SC): εφαρμόζεται η μέθοδος που έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 7. Για το συγκεκριμένο πρόβλημα θεωρούμε ότι η SC συμβαίνει μόνο σε ένα σημείο του χρωμοσώματος. Η πιθανότητα p_{sc} , κάποιο χρωμόσωμα από αυτά που έχουν προκύψει από την πράξη της επιλογής να συμμετάσχει σε απλή διασταύρωση, λαμβάνεται ως παράμετρος εισόδου. Η προεπιλεγμένη τιμή για πληθυσμό γενεών ίσο με 30 χρωμοσώματα είναι $p_{sc}=10\%$ (τιμή που προτείνεται από τη βιβλιογραφία). Η επιλογή των χρωμοσωμάτων που θα διασταυρωθούν γίνεται με τη γέννηση ενός τυχαίου αριθμού r ($0 \leq r \leq 1$) για κάθε χρωμόσωμα. Αν για κάποιο χρωμόσωμα ισχύει $r \leq p_{sc}$ τότε αυτό το χρωμόσωμα επιλέγεται για διασταύρωση. Αν ο συνολικός αριθμός χρωμοσωμάτων που έχουν επιλεγεί για SC δεν είναι άρτιος τότε επιλέγεται ένα ακόμα χρωμόσωμα. Αν θεωρήσουμε ότι τα χρωμοσώματα έχουν ένα αύξοντα αριθμό ανά γενεά, ο αλγόριθμος, ξεκινώντας από το χρωμόσωμα με αριθμό 1, επιλέγει το πρώτο χρωμόσωμα που έχει επιλεγεί για διασταύρωση. Η διασταύρωση εν συνεχεία λαμβάνει χώρα ανάμεσα στα χρωμοσώματα με αύξουσα σειρά, δηλαδή θα διασταυρωθούν το πρώτο χρωμόσωμα που έχει επιλεγεί με το δεύτερο που έχει επιλεγεί, το τρίτο με το τέταρτο κ.ο.κ.

- Απλή αριθμητική διασταύρωση (SimpleArithmeticalCrossover, SAC): αν τα χρωμοσώματα $c_1=[u_1 \dots u_m]$ και $c_2=[w_1 \dots w_m]$ πρόκειται να πάρουν μέρος σε πράξη S.A.C τότε οι απόγονοί τους θα είναι $c'_1=[u_1 \dots u_k' \dots u_m]$ και $c'_2=[w_1 \dots w_k' \dots w_m]$, όπου:

$$u'_k = a w_k + (1-a) u_k,$$

$$w'_k = a u_k + (1-a) w_k \text{ και}$$

$$k \in [1, m].$$

Η τιμή του k επιλέγεται τυχαία, ενώ το a είναι μία τυχαία επιλογή με τέτοιο τρόπο ώστε οι απόγονοι να βρίσκονται μέσα στο πεδίο εφικτών λύσεων (λύσεων δηλαδή που δεν παραβιάζουν τους περιορισμούς). Συγκεκριμένα το a είναι μία τυχαία επιλογή στο διάστημα:

$$a \in \left\{ \begin{array}{l} [\max(\alpha, \beta), \min(\gamma, \delta)], \rightarrow u_k > w_k \\ [0, 0], \rightarrow u_k = w_k \\ [\max(\gamma, \delta), \min(\alpha, \beta)], \rightarrow u_k < w_k \end{array} \right\} \quad (9.13)$$

όπου:

$$\alpha = (I_k^{c_2} - w_k) / (u_k - w_k) \quad (9.14)$$

$$\beta = (u_k^{c_1} - u_k) / (w_k - u_k) \quad (9.15)$$

$$\gamma = (I_k^{c_1} - u_k) / (w_k - u_k) \quad (9.16)$$

$$\delta = (u_k^{c_2} - w_k) / (u_k - w_k) \quad (9.17)$$

Οι ποσότητες I_k^{c1} και u_k^{c1} συμβολίζουν το κάτω και άνω φράγμα του γονιδίου k του χρωμοσώματος i . Τα I_k^{c1} και u_k^{c1} δεν λαμβάνονται σταθερά κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης αλλά υπολογίζονται με τη βοήθεια του αλγορίθμου `dyn_bnd` κάθε φορά που γίνεται απλή αριθμητική διασταύρωση. Ο αλγόριθμος `dyn_bnd` περιγράφεται παρακάτω (παράγραφος 9.7.1). Η πιθανότητα για SAC, p_{sac} , λαμβάνεται ως παράμετρος εισόδου και η προεπιλεγμένη τιμή είναι 10% (τιμή που προτείνεται στη βιβλιογραφία). Η επιλογή και ο τρόπος για SAC γίνεται ακριβώς όπως και στην απλή διασταύρωση. Για κάθε χρωμόσωμα γεννιέται ένας αριθμός r ($0 \leq r \leq 1$). Αν $p_{sc} \leq r \leq p_{sac}$ τότε το χρωμόσωμα συμμετέχει σε SAC.

- Ολική αριθμητική διασταύρωση (WholeArithmeticalCrossover, WAC): αν τα χρωμοσώματα $c_1=[u_1 \dots u_m]$ και $c_2=[w_1 \dots w_m]$ πρόκειται να πάρουν μέρος σε πράξη WAC τότε οι απόγονοι τους θα είναι $c'_1=ac_2+(1-a)c_1$ και $c'_2=ac_1+(1-a)c_2$. Το a έχει σταθερή τιμή καθ'όλη τη διάρκεια εκτέλεσης του αλγορίθμου και επιλέγεται μέσα από το διάστημα $[0,1]$. Η επιλογή του a μέσα από αυτό το διάστημα τιμών εγγυάται ότι οι απόγονοι θα βρίσκονται μέσα στο πεδίο των εφικτών λύσεων. Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε η τιμή $a=0,75$. Η πιθανότητα για WAC p_{wac} λαμβάνεται ως παράμετρος εισόδου και η προεπιλεγμένη τιμή της είναι 10%. Η επιλογή και ο τρόπος ολικής αριθμητικής διασταύρωσης γίνεται ακριβώς όπως και στην απλή διασταύρωση μόνο που εδώ ισχύει $p_{sac} \leq r \leq p_{wac}$.

Οι τρεις παραπάνω τελεστές διασταύρωσης εφαρμόζονται με τη σειρά που παρουσιάστηκαν αμέσως μετά την πράξη της επιλογής. Τα χρωμοσώματα που επιλέγονται για κάποιο είδος διασταύρωσης δε μπορούν να συμμετέχουν σε άλλο είδος διασταύρωσης. Από τους τρεις τελεστές που αναφέρθηκαν μόνο ο δεύτερος και ο τρίτος εγγυώνται ότι οι απόγονοι που θα προκύψουν με την εφαρμογή τους δε θα παραβιάζουν το σύνολο των περιορισμών. Ο πρώτος τελεστής μπορεί να δώσει λύσεις που να βρίσκονται εκτός του συνόλου των επιτρεπτών λύσεων. Για την εξάλειψη αυτών των λύσεων χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος διόρθωσης (`repair`) που θα περιγραφεί στην παράγραφο 9.7.2. Ο αλγόριθμος αυτός εφαρμόζεται σε κάθε γενεά αμέσως μετά την ολοκλήρωση της διασταύρωσης.

9.5.2 Μετάλλαξη

Κατα τη διαδικασία της μετάλλαξης θεωρούμε ότι πάντα σε ένα χρωμόσωμα μόνο ένα γονίδιο μεταλλάσσεται. Για τη μετάλλαξη χρησιμοποιούνται οι παρακάτω τελεστές:

- Ομοιόμορφη μετάλλαξη (UniformMutation,UM): στην ομοιόμορφη μετάλλαξη επιλέγεται τυχαία ένα γονίδιο του χρωμοσώματος. Η νέα τιμή του γονιδίου λαμβάνεται τυχαία μέσα απο το επιτρεπτό εύρος τιμών του το οποίο υπολογίζεται με τη βοήθεια του αλγορίθμου `dyn_bnd`. Η πιθανότητα μετάλλαξης είναι παράμετρος εισόδου και η προεπιλεγμένη τιμή της είναι ίση με 10%. Η επιλογή των χρωμοσωμάτων τα οποία θα δώσουν κάποιο γονίδιο για UM γίνεται με τον ίδιο τρόπο που επιλέγεται κάποιο χρωμόσωμα προς διασταύρωση (με γέννηση τυχαίου αριθμού r για κάθε χρωμόσωμα). Αν ισχύει $r \leq p_{um}$, τότε το χρωμόσωμα επιλέγεται για μετάλλαξη.
- Boundary μετάλλαξη (BoundaryMutation, BM): το γονίδιο του χρωμοσώματος επιλέγεται τυχαία και λαμβάνει με ίση πιθανότητα τη μέγιστη ή την ελάχιστη τιμή απο το επιτρεπτό εύρος τιμών που μπορεί να λάβει και το οποίο προκύπτει απο τον αλγόριθμο `dyn_bnd`. Και εδώ η πιθανότητα μετάλλαξης είναι παράμετρος εισόδου και η προεπιλεγμένη τιμή της είναι 3%. Η επιλογή κάποιου χρωμοσώματος προς BM γίνεται όπως και στις προηγούμενες πράξεις. Εδώ πρέπει να ισχύει $p_{um} \leq r \leq p_{bm}$.
- Μη-ομοιόμορφη μετάλλαξη (Non-UniformMutation,NUM): όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο χαρακτηρισμός «ομοιόμορφη» σχετίζεται με το γεγονός ότι η δράση ενός τελεστή δεν παραμένει σταθερή αλλά μεταβάλλεται κατα την εξέλιξη του αλγορίθμου. Οι γενετικοί αλγόριθμοι σε προβλήματα με μεταβλητές πραγματικών αριθμών και με μεγάλα πεδία επιτρεπτών τιμών αυτών των μεταβλητών αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην τοπική αναζήτηση. Τοπική αναζήτηση είναι η αναζήτηση κοντά στη βέλτιστη λύση του προβλήματος. Ενώ δηλαδή, μπορούν να φτάσουν εύκολα στην περιοχή της βέλτιστης λύσης παρουσιάζουν δυσκολίες στην τοπική αναζήτηση. Η δυνατότητα του αλγορίθμου να εκτελεί επιτυχώς και τοπική αναζήτηση ονομάζεται “finelocaltuning”. Η NUM, λοιπόν χρησιμοποιείται για την ενίσχυση της ικανότητας του συστήματος για

“finelocaltuning”. Αν σε ένα χρωμόσωμα έχει επιλεγεί (όπως πάντα με τυχαίο τρόπο) για μετάλλαξη το γονίδιο g_k τότε το νέο γονίδιο g'_k δίνεται απο τη σχέση:

$$g'_k = \begin{cases} g_k + \rho(\overline{g_k} - g_k) & \text{πιθανότητα ίση με } 1/2 \\ g_k - \rho(g_k - \underline{g_k}) & \text{με πιθανότητα ίση με } 1/2 \end{cases} \quad (9.18)$$

όπου $[\underline{g_k}, \overline{g_k}]$ είναι το επιτρεπτό εύρος τιμών του γονιδίου g_k (υπολογίζεται απο τον αλγόριθμο dyn_bnd) και ρ είναι η συνάρτηση:

$$\rho = u(1 - t/T)^B \quad (9.19)$$

όπου u είναι ένας τυχαίος αριθμός απο το διάστημα $[0,1]$ (γεννιέται για κάθε γενεά), t είναι ο αριθμός της τρέχουσας γενεάς, T είναι ο συνολικός αριθμός γενεών και B είναι ένας συντελεστής ανομοιομορφίας που είναι σταθερός κατά τη διάρκεια του αλγορίθμου και παίρνει τιμές στο διάστημα $[2,5]$. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε $B=3.5$. Όταν η τιμή του t είναι μικρή τότε ο τελεστής ψάχνει ομοιόμορφα όλο το πεδίο των λύσεων ($\rho \rightarrow u$), ενώ όσο μεγαλώνει ($\rho \rightarrow 0$) ψάχνει πιο τοπικά. Όσο πιο μεγάλο είναι το B τόσο πιο γρήγορα θα αρχίσει η τοπική αναζήτηση. Η πιθανότητα για NUM, p_{num} , είναι παράμετρος εισόδου και η προεπιλεγμένη τιμή της είναι 35%. Η τιμή αυτή επιλέχθηκε αρκετά μεγάλη ώστε να ενισχύεται η δυνατότητα “finelocaltuning” του παρόντος αλγορίθμου. Η επιλογή χρωμοσώματος προς μη ομοιόμορφη μετάλλαξη γίνεται όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις αλλά με $p_{bm} \leq t \leq p_{num}$.

Οι τελεστές της μετάλλαξης εφαρμόζονται αμέσως μετά τις πράξεις της διασταύρωσης με τη σειρά που παρουσιάστηκαν. Τα χρωμοσώματα των οποίων κάποιο γονίδιο μεταλλάσσεται με κάποιον απο τους τρεις τρόπους δεν μπορούν να συμμετέχουν σε άλλου είδους μετάλλαξη. Τέλος και οι τρεις τελεστές που αναλύθηκαν εγγυώνται οτι τα χρωμοσώματα που παράγουν ανήκουν στο σύνολο των επιτρεπτών λύσεων.

9.7 Οι επιμέρους αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται στους γενετικούς

9.7.1 Ο αλγόριθμος εύρεσης του πεδίου τιμών μίας μεταβλητής

Ο αλγόριθμος εύρεσης του πεδίου τιμών (dyn_bnd) χρησιμοποιείται απο κάποιους γενετικούς τελεστές (SAM, UM και BM) για την εύρεση του πεδίου επιτρεπτών τιμών μίας μεταβλητής σε ένα συγκεκριμένο χρωμόσωμα. Ένα τέτοιο πεδίο δεν παραμένει σταθερό κατά την διάρκεια εκτέλεσης του αλγορίθμου αλλά είναι συνάρτηση των τιμών των υπόλοιπων μεταβλητών του εξεταζόμενου χρωμοσώματος. Έστω ότι το γονίδιο είναι το N_1 . Ο αλγόριθμος εκτελεί τον αλγόριθμο προσομοίωσης SIM_1 ή SIM_2 διαδοχικά μειώνοντας, όσο ο SIM_1 ή ο SIM_2 τερματίζει επιτυχώς, την τιμή του εξεταζόμενου γονιδίου (κατά 1 κάθε φορά μέχρι να αποτύχει). Η τελευταία τιμή του γονιδίου για την οποία ο αλγόριθμος SIM_1 ή ο SIM_2 τερμάτισε επιτυχώς αποτελεί και το κάτω όριο του ζητούμενου πεδίου τιμών. Το άνω όριο επιλέγεται να παίρνει την ίδια τιμή με το άνω όριο του γονιδίου BND_1 γιατί με αυτό τον τρόπο είναι βέβαιο ότι θα υπάρξει σύγκλιση του αλγορίθμου στη βέλτιστη λύση. Τέλος για τη γωνία $\theta_{1,2}$ δεν ακολουθείται μία διαδικασία που να βρίσκει το επιτρεπτό εύρος τιμών αλλά αρκεί το διάστημα των αρχικών ορίων που τίθενται απο τον αλγόριθμο, δηλαδή το διάστημα $[0,90]$. Αν τώρα η νέα τιμή της κλίσης που θα προκύψει για ένα χρωμόσωμα θέτει το χρωμόσωμα εκτός του χώρου των επιτρεπτών λύσεων τότε απλά εφαρμόζεται ο αλγόριθμος διόρθωσης (repairalgorithm) που περιγράφεται στην επόμενη παράγραφο.

9.7.2 Ο αλγόριθμος διόρθωσης των εσφαλμένων λύσεων

Όπως προαναφέρθηκε ο τελεστής απλής διασταύρωσης μπορεί να δώσει χρωμοσώματα εκτός του επιτρεπτού συνόλου λύσεων. Επίσης, εσφαλμένα χρωμοσώματα μπορεί να προκύψουν εξαιτίας της επιλογής λανθασμένων γωνιών. Ο αλγόριθμος διόρθωσης (repairalgorithm) χρησιμοποιείται για να εξαλείψει αυτά τα χρωμοσώματα αντικαθιστώντας τα με άλλα που δεν παραβιάζουν το σύνολο των περιορισμών.

Ο σχεδιασμός του αλγορίθμου διόρθωσης εξαρτάται από το εκάστοτε πρόβλημα και απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή καθώς επηρεάζει άμεσα τη σύγκλιση του αλγορίθμου στη βέλτιστη τιμή. Η βασική ιδέα της διόρθωσης είναι το χρωμόσωμα να διορθωθεί έτσι ώστε να μη χάσει την ομοιότητα με τους γονείς του. Συγκεκριμένα ο repair αλγόριθμος που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία εξετάζει από ποια πράξη προήλθε το εσφαλμένο χρωμόσωμα. Αν είναι από μετάλλαξη τότε απλά αντικαθιστά το χρωμόσωμα με αυτό που είχε τη θέση του στην προηγούμενη γενεά, δηλαδή ακυρώνει τη μετάλλαξη. Αν προήλθε από διασταύρωση, τότε παίρνει την θέση του ο γονέας που προσφέρει την βέλτιστη από τις δύο λύσεις.

9.7.3 Σύγκλιση του αλγορίθμου

Ένα σημαντικό πρόβλημα που προκύπτει είναι το κριτήριο λήξης της εκτέλεσης του γενετικού αλγορίθμου ή διαφορετικά το πώς μπορεί να διαπιστωθεί αν η λύση που έχει προκύψει από την εφαρμογή του αλγορίθμου μετά από κάποιο αριθμό επαναλήψεων είναι η βέλτιστη. Οι γενετικοί αλγόριθμοι προσεγγίζουν την περιοχή της βέλτιστης λύσης και δεν παγιδεύονται σε τοπικά μέγιστα.

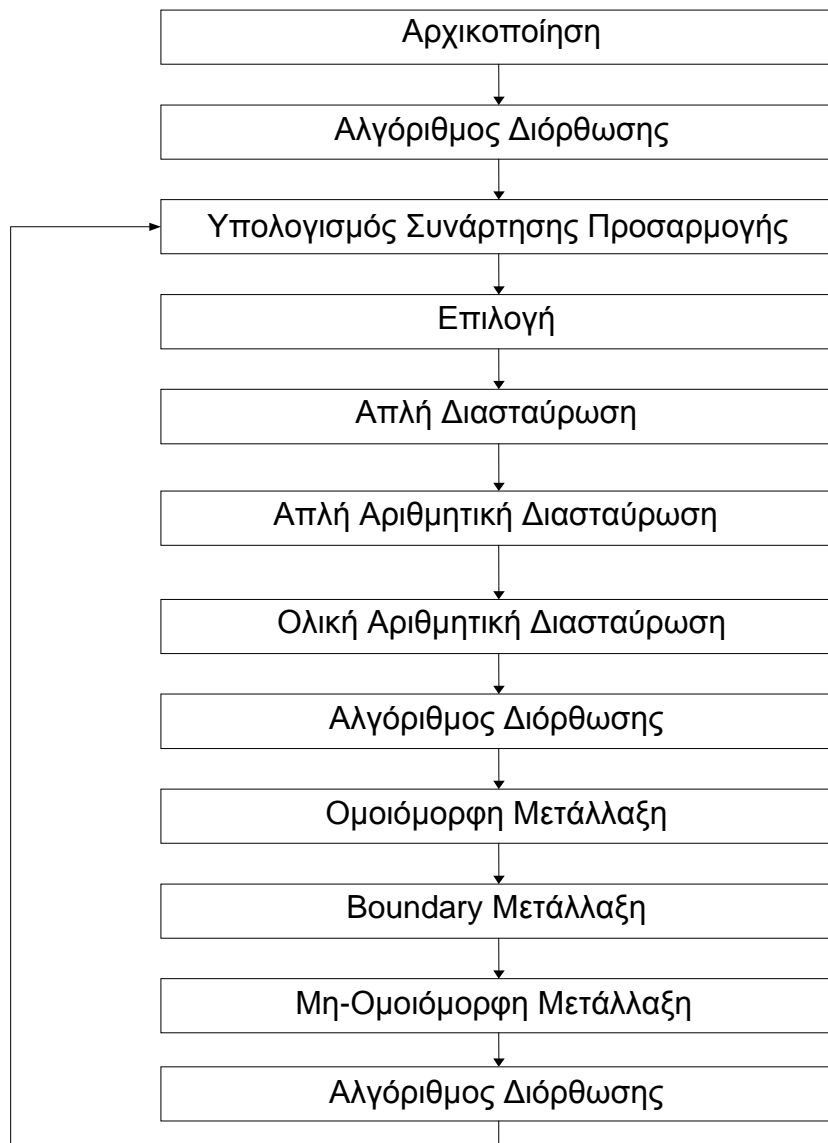
Το πιο απλό κριτήριο σύγκλισης είναι η εκτέλεση του αλγορίθμου για ένα συγκεκριμένο πλήθος γενεών. Το ποιο είναι το κρίσιμο πλήθος γενεών πέρα από το οποίο είναι βέβαιο ότι ο αλγόριθμος συγκλίνει στη βέλτιστη λύση προκύπτει μετά από την εξέταση ενός μεγάλου εύρους περιπτώσεων του προβλήματος.

Ένα άλλο κριτήριο που χρησιμοποιείται συχνά είναι το κριτήριο «σύγκλισης του πληθυσμού». Ένας πληθυσμός θεωρείται ότι συγλίνει όταν η διαφορά της μέσης τιμής της συνάρτησης κόστους του απο τη βέλτιστη (ελάχιστη) τιμή είναι μικρότερη απο κάποιο ποσοστό της βέλτιστης τιμής.

Η ύπαρξη του τελεστή της μη-ομοιόμορφης μετάλλαξης προυποθέτει την εκ των προτέρων γνώση του συνολικού αριθμού γενεών. Αυτό σημαίνει ότι στην παρούσα εργασία δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί το κριτήριο της «σύγκλισης του πληθυσμού» γιατί τότε δεν είναι γνωστός ο συνολικός αριθμός των επαναλήψεων. Έτσι λοιπόν, χρησιμοποιείται ένας μέγιστος αριθμός επαναλήψεων και ο αλγόριθμος εκτελείται μέχρι να ολοκληρωθούν όλες οι επαναλήψεις. Στην παρούσα εργασία ύστερα απο πολλές δοκιμές επιλέχθηκε αριθμός γενεών ίσος με 30.000. Με λιγότερες γενεές ο αλγόριθμος δεν ήταν βέβαιο οτι θα έβρισκε τη βέλτιστη λύση, ενώ με περισσότερες απλά καθυστερούσε.

9.8 Ανακεφαλαίωση

Τα βήματα που ακολουθεί ένας γενετικός αλγόριθμος απεικονίζονται στο παρακάτω διάγραμμα.



Σχ 9.2 Τα βήματα του γενετικού αλγόριθμου

Όπως φαίνεται αρχικά εκτελείται μια συνάρτηση αρχικοποίησης. Αυτή ουσιαστικά παράγει με τυχαίο τρόπο ένα σύνολο αρχικών λύσεων ($1^{\text{η}}$ γενεά). Το εύρος τιμών των μεταβλητών αυτών των λύσεων καθορίζεται από το χρήστη. Για τη γωνία $\theta_{1,2}$ έχει θεωρηθεί ότι $0 \leq \theta \leq 90^\circ$. Επειδή κάποιες από αυτές τις τυχαία παραγόμενες λύσεις μπορεί να παραβιάζουν τους περιορισμούς εφαρμόζεται ο αλγόριθμος διόρθωσης. Αμέσως μετά ακολουθεί η διαδικασία της αποτίμησης της συνάρτησης προσαρμογής για κάθε χρωμόσωμα-λύση

(fitnessfunctionevaluation). Σε αυτή τη διαδικασία λαμβάνει χώρα η αντιστοίχιση αντικειμενικής συνάρτησης και συνάρτησης προσαρμογής. Ακολουθεί η πράξη της επιλογής με τον απλό κανόνα του τροχού της ρουλέτας. Έτσι επιλέγονται τα χρωμοσώματα που θα έχουν τη δυνατότητα να δώσουν απογόνους στην επόμενη γενεά μέσα από τις πράξεις της διασταύρωσης και της μετάλλαξης. Ακολουθεί η εφαρμογή των τελεστών της διασταύρωσης. Αμέσως μετά εκτελείται ο αλγόριθμος διόρθωσης ο οποίος διορθώνει τυχόν λανθασμένα χρωμοσώματα. Στη συνέχεια, έχει σειρά η εφαρμογή των διαδικασιών της μετάλλαξης. Ο αλγόριθμος διόρθωσης που εκτελείται αμέσως μετά προβαίνει στις κατάλληλες διορθώσεις. Ο αλγόριθμος λήγει όταν ικανοποιηθεί η συνθήκη τερματισμού (αριθμός γενεών) που χρησιμοποιείται. Η συνθήκη τερματισμού εξετάζεται στο τμήμα «Υπολογισμός Συνάρτησης Προσαρμογής» που φαίνεται στο σχήμα 9.2 .

10. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

10.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη διαστασιολόγηση του συστήματος για διαφορετικές περιπτώσεις. Αρχικά παρουσιάζονται οι συνολικές λύσεις για όλους τους δυνατούς συνδυασμούς διαστασιολόγησης των συσκευών. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η διαστασιολόγηση για ένα συγκεκριμένο συνδυασμό Φ/Β πλαισίων, ανεμογεννητριών, συσσωρευτών, φορτιστών, μετατροπέων και μονάδων αφαλάτωσης, ο οποίος αποτελεί και τον βέλτιστο δυνατό συνδυασμό τόσο στην περίπτωση της μίας κλίσης ανά έτος όσο και στην περίπτωση των δύο κλίσεων ανά έτος των Φ/Β πλαισίων. Επίσης διαστασιολογείται το σύστημα για διαφορετικές οικονομικές παραμέτρους για να τονιστεί η σπουδαιότητά τους στις επενδυτικές εφαρμογές.

Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις ο γενετικός αλγόριθμος εκτελέστηκε με τις εξής παραμέτρους:

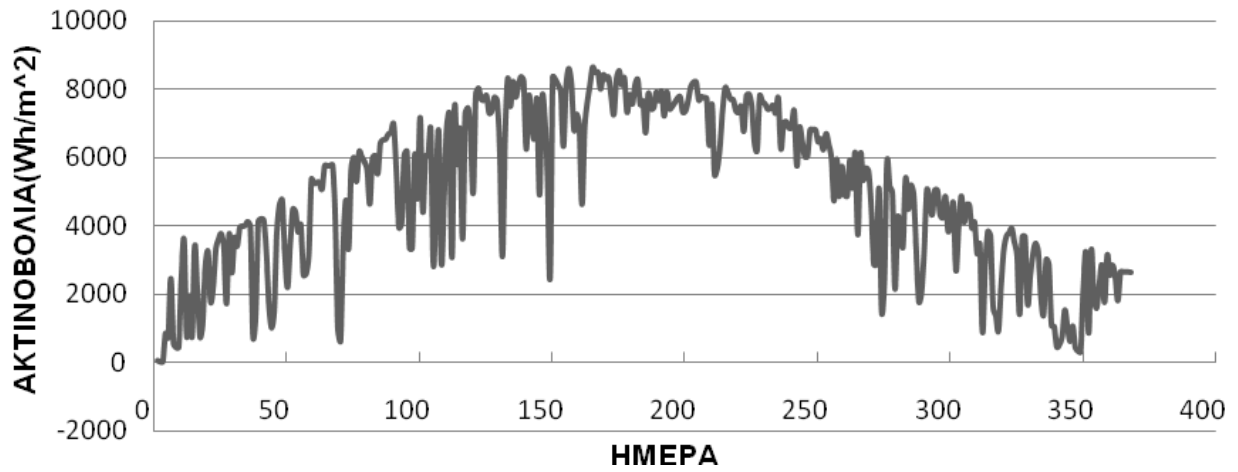
- ✓ πλήθος χρωμοσωμάτων ανά γενεά : 30
- ✓ πιθανότητα απλής διασταύρωσης : 10%
- ✓ πιθανότητα απλής αριθμητικής διασταύρωσης: 10%
- ✓ πιθανότητα ολικής αριθμητικής διασταύρωσης : 10%
- ✓ πιθανότητα ομοιόμορφης μετάλλαξης : 10%
- ✓ πιθανότητα boundary μετάλλαξης : 3%
- ✓ πιθανότητα μη ομοιόμορφης μετάλλαξης : 35%
- ✓ αριθμός γενεών: 30000

Οι οικονομικές παράμετροι για τις οποίες εκτελέστηκε ο γενετικός αλγόριθμος είναι:

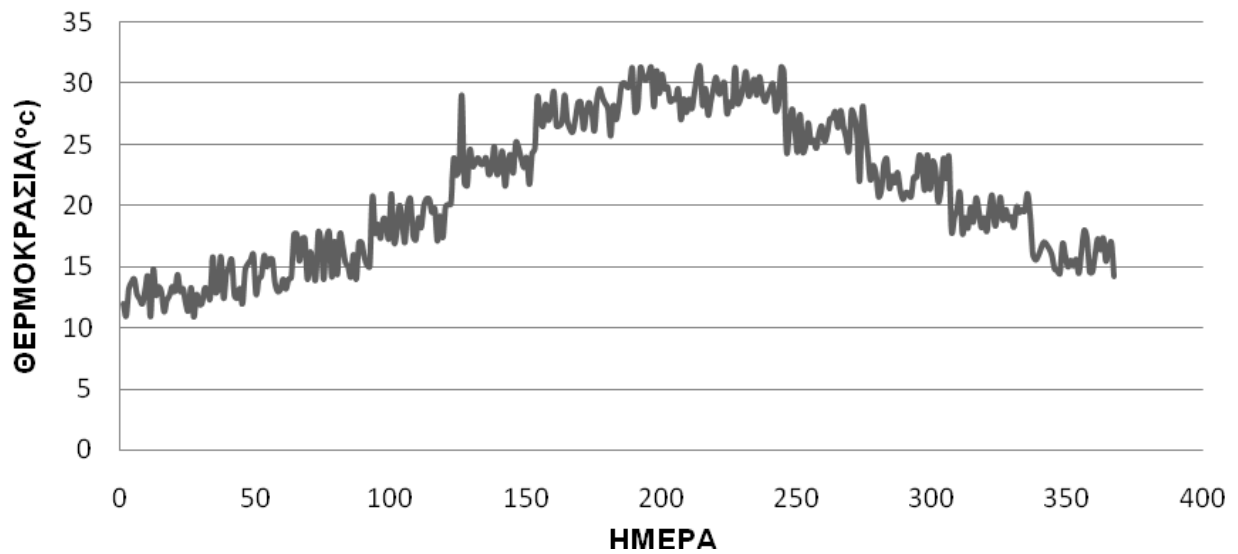
Πίνακας 10.1 : Set οικονομικών παραμέτρων για τις οποίες διαστασιολογούμε το σύστημα		
Οικονομικές παράμετροι	Set A	Set B
Ποσοστό επιδότησης	40%	0%
Φορολογία	20%	25%
Πληθωρισμός	2,5%	4%
Κόστος ευκαιρίας	7,54%	7,54%
Μέση ετήσια ανατίμηση νερού	2%	2%
Κόστος αγοράς οικοπέδου εγκατάστασης	10.000€	10.000€
Ετήσιος συντελεστής συντήρησης των συσκευών	1,5%	1,5%
Χρονικός ορίζοντας αξιολόγησης επένδυσης	25 χρόνια	25 χρόνια

Το γεωγραφικό πλάτος του τόπου για το οποίο έγινε η διαστασιολόγηση είναι 35°, ο συντελεστής ανάκλασης του εδάφους έχει τιμή 0,2 και ο εκθέτης του εκθετικού νόμου για την ταχύτητα του ανέμου έχει τιμή 0,2.

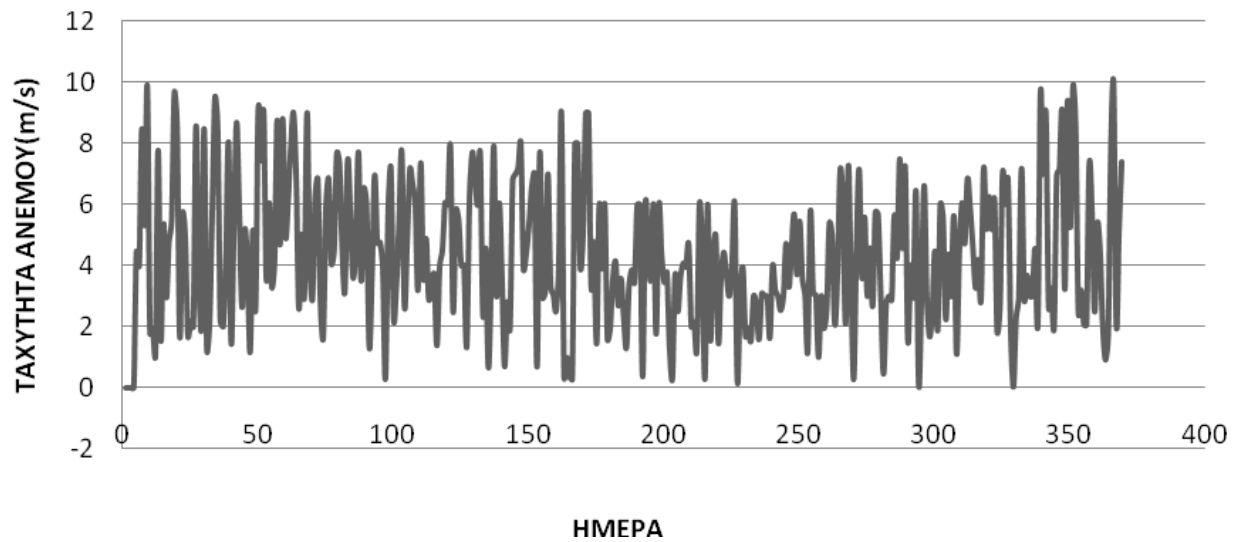
Παρακάτω φαίνονται τα διαγράμματα της μέσης ημερήσιας ακτινοβολίας, της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας και της μέσης ημερήσιας ταχύτητας του ανέμου που χρησιμοποιήθηκαν.



Σχ 10.1 Η μέση ημερήσια ακτινοβολία



Σχ 10.2 Η μέση ημερήσια θερμοκρασία



Σχ 10.3 Η μέση ημερήσια ταχύτητα ανέμου

Στις ενότητες 10.2 και 10.3 τα δεδομένα ζήτησης νερού που χρησιμοποιήθηκαν είναι για μία κοινότητα 15 σπιτιών. Στην ενότητα 10.4 παρουσιάζονται και αποτελέσματα του προβλήματος τα οποία έχουν χρησιμοποιήσει δεδομένα ζήτησης νερού μίας κοινότητας 15 σπιτιών, μίας κοινότητας 20 σπιτιών, μίας κοινότητας 30 σπιτιών, μίας κοινότητας 45 σπιτιών και μίας κοινότητας 60 σπιτιών έτσι ώστε να παρατηρηθεί η διακύμανση των καθαρών κερδών, του χρόνου απόσβεσης καθώς και του εσωτερικού βαθμού απόδοσης ανάλογα με τη ζήτηση του νερού.

10.2 Αποτελέσματα διαστασιολόγησης και οικονομικής αξιολόγησης για σταθερή κλίση των Φ/Β πλαισίων

Ο αλγόριθμος εκτελέστηκε για όλους τους δυνατούς συνδυασμούς των στοιχείων και κατέληξε στην ολική βέλτιστη λύση για μία κλίση. Οι συνδυασμοί εξάγονται από τους τύπους των στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν, οι οποίοι φαίνονται στον Πίνακα 10.2:

Πίνακας 10.2: Τύποι και κόστη των στοιχείων του συστήματος			
<i>Είδος</i>	<i>Τύπος</i>	<i>Κόστος αγοράς(€)</i>	<i>Κόστος συντήρησης (€/έτος)</i>
<i>Φ/Β πλαίσιο</i>	AT 55	265.81	2.7
	AT 110	519.14	5.2
<i>Ανεμογεννήτρια</i>	<i>BWCXL.1</i>	1681	16.81
<i>Μπαταρία</i>	<i>Solar 230</i>	264	2.64
<i>Φορτιστής</i>	SB2000E	200	2
	SR20	94	0.94
<i>Μετατροπέας (dc/ac)</i>	<i>AIMS5000</i>	453	4.53
<i>Πολύνας</i>	<i>BWCXL.1</i>	55(€/m)	0. 55(€/m)
<i>Δεξαμενή</i>	-	260 (€/m ²)	1 (€/m ²)
<i>Μονάδα αφαλάτωσης</i>	<i>AP3000</i>	4667.97	466.7

Πίνακας 10.3: Αποτελέσματα για το ολικό κόστος του συστήματος και το χρόνο απόσβεσης όλων των δυνατών συνδυασμών για μία κοινότητα 15 σπιτιών και μία κλίση των Φ/Β πλαισίων

PV	WT	BT	INV	CHAR	RO	Total Cost(€)	Pay Back time(years)
AT55	BWCXL.1	Solar 230	AIMS5000	SB2000E	AP3000	81692	6.6
AT55	BWCXL.1	Solar 230	AIMS5000	SR20	AP3000	82861	6.6
AT110	BWCXL.1	Solar 230	AIMS5000	SB2000E	AP3000	<u>81521</u>	6.6
AT110	BWCXL.1	Solar 230	AIMS5000	SR20	AP3000	82834	6.6

Αρχικά ο αλγόριθμος εκτελέστηκε για όλους τους πιθανούς συνδυασμούς έτσι ώστε να εντοπισθεί ο συνδυασμός των στοιχείων του συστήματος που επιφέρει τα καλύτερα αποτελέσματα, δηλαδή όσο το δυνατόν περισσότερα κέρδη, μικρότερο χρόνο απόσβεσης και μεγαλύτερο εσωτερικό βαθμό απόδοσης. Στον πίνακα 10.3 φαίνεται το ολικό κόστος του συστήματος (κόστος εγκατάστασης και συντήρησης) και ο χρόνος απόσβεσης για όλους τους δυνατούς συνδυασμούς(για τους οποίους η επένδυση είναι αποδεκτή), με χρονικό ορίζοντα επένδυσης 25 χρόνια, για δεδομένα ζήτησης μίας κοινότητας 15 σπιτιών και μία κλίση των Φ/Β πλαισίων. Για τον πίνακα αυτό η τιμή πώλησης του νερού είναι 8 €/m³.

Κριτήριο για την επιλογή του βέλτιστου συνδυασμού δεν αποτέλεσε ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης καθώς όλες οι λύσεις των συνδυασμών είναι κοντινές και ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης είναι ο ίδιος (0.3) .Αρα για την περίπτωση της μίας κλίσης ο αλγόριθμος δίνει ως ολική βέλτιστη λύση τον εξής συνδυασμό συσκευών:

Πίνακας 10.4 : Βέλτιστος συνδυασμός στοιχείων για μία κλίση	
Είδος	Τύπος
Φ/Β πλαίσιο	AT110
Ανεμογεννήτρια	BWCXL.1
Μπαταρία	Solar 230
Φορτιστής	SB 2000E
Μετατροπέας (dc/ac)	AIMS 5000
Πυλώνας	BWCXL.1
Μονάδα αφαλάτωσης	AP3000

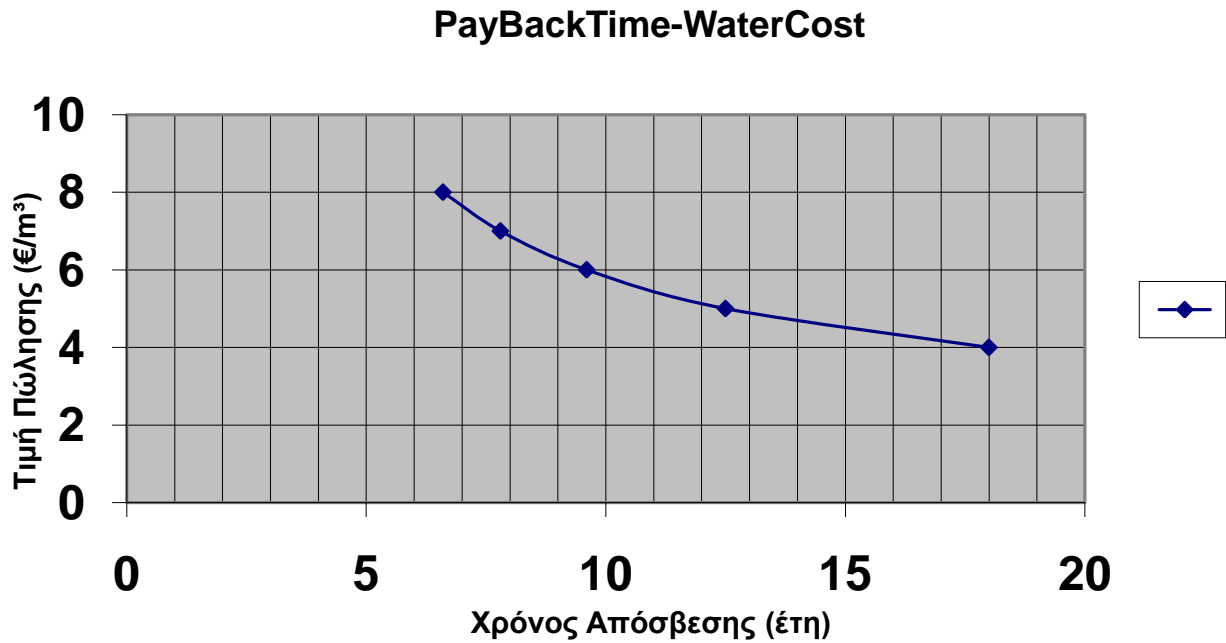
Στον πίνακα 10.5 με βάση τον παραπάνω συνδυασμό συσκευών, τα δεδομένα εισόδου του αλγορίθμου που έχουν αναφερθεί σε προηγούμενα κεφάλαια και ανάλογα με την τιμή πώλησης του νερού (τέσσερα, πέντε, έξι, επτά και οκτώ ευρώ) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της διαστασιολόγησης του αλγορίθμου για το σύστημα της παρούσας εργασίας. Ακόμα στον πίνακα 10.5 φαίνεται το κόστος για το υβριδικό σύστημα τροφοδοσίας (κόστος εγκατάστασης και συντήρησης), τα συνολικά καθαρά κέρδη του συστήματος, ο χρόνος απόσβεσης καθώς και ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης της επένδυσης.

Πίνακας 10.5 : Αποτελέσματα διαστασιολόγησης για μία κοινότητα 15 σπιτιών για μία κλίση Φ/Β πλαίσιων ανάλογα με την τιμή πώλησης του νερού

Τιμή πώλησης(€)	4	5	6	7	8
PV	31	31	31	31	31
WT	12	12	12	12	12
BT	18	18	18	18	18
INV	1	1	1	1	1
CHAR	11	11	11	11	11
RO	1	1	1	1	1
θ(°)	38°	38°	38°	38°	38°
h(m)	15	15	15	15	15
V_b(volt)	24	24	24	24	24
Δεξαμενή (lt)	1000	1000	1000	1000	1000
Κόστος εγκατάστασης(€)	58498	58498	58498	58498	58498
Κόστος συντήρησης(€)	23023	23023	23023	23023	23023
Καθαρά κέρδη(€)	34447	59050	83655	108259	132863
Χρόνος απόσβεσης(έτη)	18	12.5	9.6	7.8	6.6
Εσωτερικός βαθμός απόδοσης	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3

Από τα αποτελέσματα της διαστασιολόγησης παρατηρείται ότι ανεξάρτητα από την τιμή πώλησης του νερού ο αριθμός των συσκευών των συστημάτων είναι ίδιος για όλες τις περιπτώσεις. Αυτό συμβαίνει επειδή η διαστασιολόγηση γίνεται με βάση τη ζήτηση του νερού και είναι ανεξάρτητη από την τιμή πώλησης αυτού. Αυτό έχει ως συνέπεια το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης να είναι επίσης ίδιο σε όλες τις περιπτώσεις. Επίσης παρατηρείται ότι η αύξηση του χρόνου απόσβεσης είναι αντιστρόφως ανάλογη με τα καθαρά κέρδη της επένδυσης. Επίσης παρατηρούμε ότι για τιμή πώλησης του νερού 4 €/m³ ο χρόνος απόσβεσης είναι πολύ μεγάλος και δύσκολα ένας επιχειρηματίας θα δεχτεί μία τέτοια επένδυση αν λάβει υπόψη του το χρόνο, το επιχειρηματικό ρίσκο και τα προβλήματα που θα προκύψουν από την πραγματοποίηση της συγκεκριμένης επένδυσης. Αν η τιμή πώλησης του νερού πέσει κάτω από τα 4 ευρώ το σύστημα της παρούσας εργασίας σταματά να είναι οικονομικά βιώσιμο καθώς ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης γίνεται μικρότερος από το κόστος ευκαιρίας. Σύμφωνα με την επίσημη κοστολόγηση της Ε.Υ.Δ.Α.Π 0,4 ευρώ για κατανάλωση έως 5 κυβικά και 3,05 ευρώ ανά κυβικό για ποσότητες άνω των 100 κυβικών την τριμηνία και με βάση τα τεράστια προβλήματα που υπάρχουν περί της εξάντλησης του νερού παρατηρείται ότι το σύστημα της εργασίας αυτής αποτελεί μια πολύ ενδιαφέρουσα μορφή επένδυσης.

Στο σχήμα 10.4 φαίνεται γραφικά η σχέση χρόνου απόσβεσης του συστήματος σε σχέση με την τιμή πώλησης του νερού.



Σχ 10.4 Σχέση χρόνου απόσβεσης επένδυσης ανάλογα με την τιμή πώλησης του παραγόμενου νερού

Ακόμη το σύστημα διαστασιολογήθηκε για διαφορετικές οικονομικές παραμέτρους (SetB, πίνακας 10.1) με τιμή πώλησης του νερού 8 €/m³ για να τονιστεί η σπουδαιότητα τους στην συγκεκριμένη επενδυτική εφαρμογή. Στον παρακάτω πίνακα λοιπόν αντιπαραθέτουμε τις διαστασιολογήσεις για τα SetA και SetB των οικονομικών παραμέτρων με την ίδια τιμή πώλησης για το νερό.

Πίνακας 10.6 : Διαστασιολόγηση για διαφορετικές οικονομικές παραμέτρους με την ίδια τιμή πώλησης παραγόμενου νερού		
	Οικονομικές παράμετροι	
Στοιχεία συστήματος/Set παραμέτρων	Set A	Set B
Κόστος εγκατάστασης(€)	58498	58498
Κόστος συντήρησης(€)	23023	27207
Καθαρά κέρδη(€)	132863	89079
Χρόνος απόσβεσης (έτη)	6.6	7.3
Εσωτερικός βαθμός απόδοσης	0.3	0.2

Παρατηρούμε ότι και με τιμή πώλησης του νερού 8 €/m³ τα καθαρά κέρδη της επένδυσης μειώνονται σημαντικά για το SetB των οικονομικών παραμέτρων. Επίσης ο χρόνος απόσβεσης απο 6.6 χρόνια ανήλθε στα 7.2 και μειώθηκε ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης της επένδυσης. Αυτό καταδεικνύει τη σπουδαιότητα των οικονομικών παραμέτρων (επιδότηση εγκατάστασης, πληθωρισμός, φορολογία) στις επενδυτικές εφαρμογές.

10.3 Αποτελέσματα διαστασιολόγησης και οικονομικής αξιολόγησης με δύο κλίσεις ανα έτος των φωτοβολταϊκών πλαισίων.

Όπως έγινε και στην περίπτωση της μίας κλίσης ο αλγόριθμος εκτελέστηκε για όλους τους δυνατούς συνδυασμούς των στοιχείων και κατέληξε στην ολική βέλτιστη λύση για δύο ανά έτος κλίσεις των Φ/Β πλαισίων. Οι συνδυασμοί εξάγονται από τους τύπους των πλαισίων που χρησιμοποιήθηκαν και στην περίπτωση της μίας κλίσης των Φ/Β πλαισίων. Στον πίνακα 10.7 φαίνεται το ολικό κόστος του υβριδικού συστήματος (κόστος εγκατάστασης και συντήρησης) για χρονικό ορίζοντα επένδυσης 25 χρόνια, για όλους τους δυνατούς συνδυασμούς, για δεδομένα ζήτησης μίας κοινότητας 15 σπιτιών και για δύο κλίσεις των Φ/Β πλαισίων καθώς και ο χρόνος απόσβεσης για όλους τους δυνατούς συνδυασμούς. Σημειώνεται ότι η τιμή πώλησης του νερού είναι οκτώ ευρώ.

Πίνακας 10.7: Αποτελέσματα για το ολικό κόστος του συστήματος και το χρόνο απόσβεσης όλων των δυνατών συνδυασμών για μία κοινότητα 15 σπιτιών και δύο κλίσεις των Φ/Β πλαισίων							
PV	WT	BT	INV	CHAR	RO	Total Cost (€)	PayBack Time (years)
AT55	BWCXL.1	Solar230	AIMS5000	SB2000E	AP3000	<u>80.055</u>	<u>6.1</u>
AT55	BWCXL.1	Solar230	AIMS5000	SR20	AP3000	<u>80.055</u>	6.1
AT110	BWCXL.1	Solar230	AIMS5000	SR20	AP3000	110.090	8.6

Με βάση λοιπόν τον συνδυασμό συσκευών της πρώτης γραμμής του πίνακα 10.8 παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα διαστασιολόγησης του αλγορίθμου για δύο κλίσεις ανά έτος ανάλογα με την τιμή πώλησης του νερού (τέσσερα, πέντε, έξι, επτά, οκτώ ευρώ).

Πίνακας 10.8 : Αποτελέσματα διαστασιολόγησης για μία κοινότητα 15 σπιτιών για δύο κλίσεις Φ/Β πλαισίων ανάλογα με την τιμή πώλησης του νερού					
Τιμή πώλησης(€)	4	5	6	7	8
PV	61	61	61	61	61
WT	12	12	12	12	12
BT	18	18	18	18	18
INV	1	1	1	1	1
CHAR	11	11	11	11	11
RO	1	1	1	1	1
θ₁,θ₂(°)	51°, 2°	51°, 2°	51°, 2°	51°, 2°	51°, 2°
h(m)	15	15	15	15	15
V_b(volt)	24	24	24	24	24
Δεξαμενή (lt)	1000	1000	1000	1000	1000
Κόστος εγκατάστασης(€)	56619	56619	56619	56619	56619
Κόστος συντήρησης(€)	23436	23436	23436	23436	23436
Καθαρά κέρδη(€)	37321	62451	86612	111488	135713
Χρόνος απόσβεσης(έτη)	16.3	10.8	8.5	7.2	6.1
Εσωτερικός βαθμός απόδοσης	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3

Παρατηρούμε ότι σε σύγκριση με τον πίνακα 10.5 (μία κλίση πλαισίων) υπάρχει μία μικρή διαφορά στο συνολικό καθαρό κέρδος. Συγκεκριμένα το καθαρό κέρδος στην περίπτωση με δύο κλίσεις πλαισίων είναι αυξημένο. Άμεσο αποτέλεσμα αυτού είναι ότι οι χρόνοι απόσβεσης στην περίπτωση των δύο κλίσεων είναι αισθητά μικρότεροι από αυτούς της μίας κλίσης των Φ/Β πλαισίων. Όμοια με τον πίνακα 10.5 ο αριθμός των συσκευών είναι ο ίδιος για όλες τις περιπτώσεις ανεξάρτητα από την τιμή πώλησης του νερού. Ακόμη παρατηρείται ότι η αύξηση του χρόνου απόσβεσης είναι αντιστρόφως ανάλογη με τα καθαρά κέρδη της επένδυσης. Τέλος από τα αποτελέσματα που προέκυψαν με μία και με δύο ανά έτος κλίσεις παρατηρείται ότι σε μία πιθανή επένδυση του παρόντος συστήματος είναι οικονομικά πιο ωφέλιμο να προτιμηθεί το σύστημα με τις δύο κλίσεις ανά έτος.

10.4 Αποτελέσματα αξιολόγησης συστημάτων για κομινόμενη ζήτηση νερού

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται αποτελέσματα διαστασιολόγησης για μία κλίση των Φ/Β πλαισίων, όπου τα δεδομένα ζήτησης νερού στο κάθε σύστημα είναι διαφορετικά. Συγκεκριμένα παρουσιάζονται τέσσερα διαφορετικά συστήματα όπου η ζήτηση νερού ολοένα και αυξάνεται. Όλες οι υπόλοιπες παράμετροι εισόδου είναι ίδιες για όλα τα συστήματα. Σκοπός είναι να παρατηρηθεί η διακύμανση των καθαρών κερδών, του χρόνου απόσβεσης και του εσωτερικού βαθμού απόδοσης ανάλογα με τη ζήτηση του νερού.

Τα δεδομένα ζήτησης που χρησιμοποιήθηκαν είναι για:

- μία κοινότητα 15 σπιτιών
- μία κοινότητα 30 σπιτιών
- μία κοινότητα 45 σπιτιών
- μία κοινότητα 60 σπιτιών

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της διαστασιολόγησης για την κυμαινόμενη ζήτηση νερού.

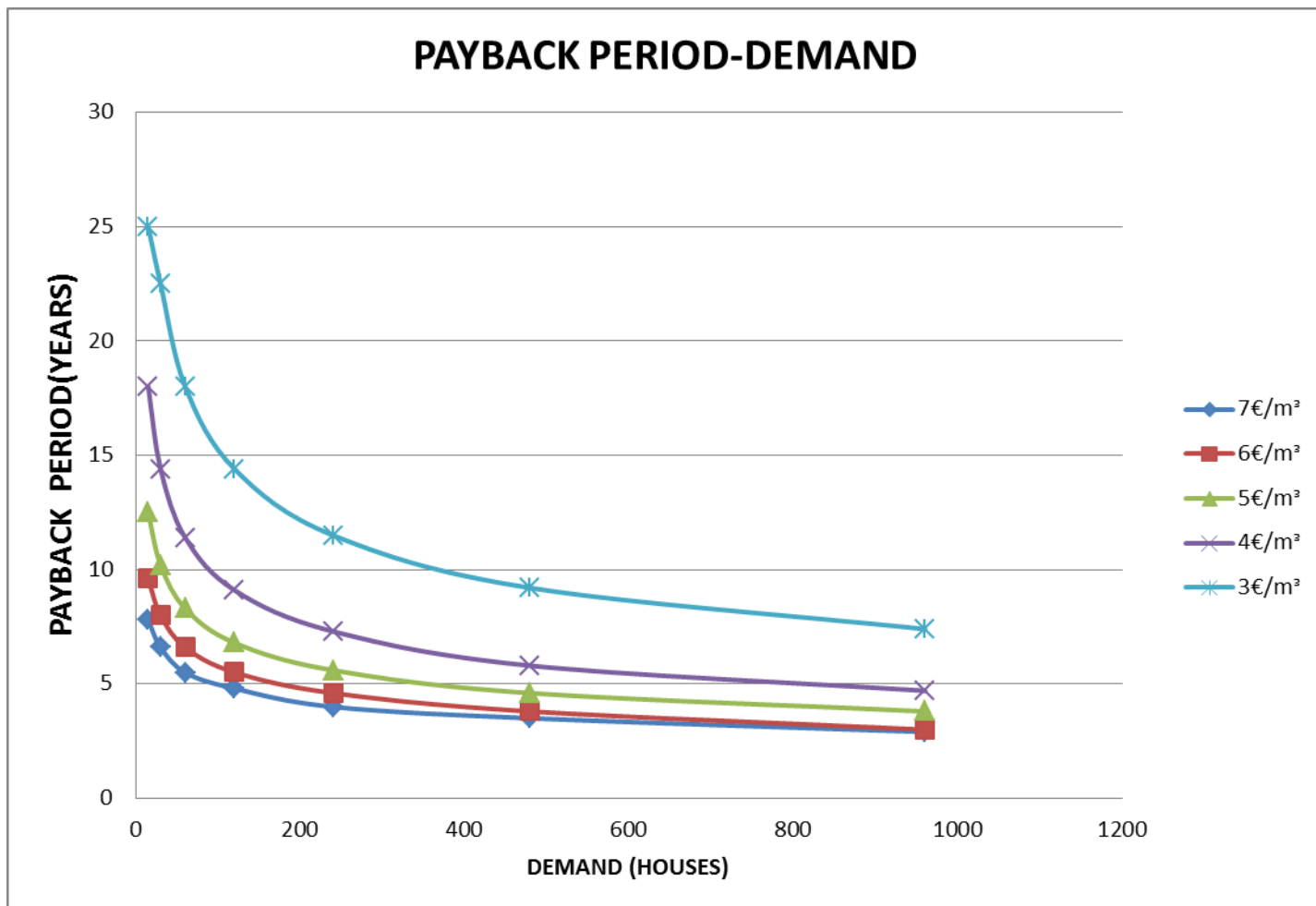
Πίνακας 10.9 : Αποτελέσματα οικονομικής αξιολόγησης των συστημάτων για κυμαινόμενη ζήτηση νερού					
Ζήτηση νερού	Κόστος αγοράς (€)	Κόστος συντήρησης (€)	Καθαρά κέρδη (€)	Χρόνος Απόσβεσης (έτη)	Εσωτερικός βαθμός απόδοσης
15 σπίτια	58498	23023	83655	9.6	0.20
30 σπίτια	107258	43814	181384	8	0.20
45 σπίτια	144736	53374	293223	6.6	0.30
60 σπίτια	194621	74325	393858	6.6	0.30

Απο τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρείται ότι ανεξάρτητα από την τιμή πώλησης (6 ευρώ για όλα), η αναλογία κόστους-κερδών διαφοροποιείται έντονα. Αρχικά παρατηρούμε ότι όσο μεγαλύτερη είναι η ζήτηση του νερού τόσο μικρότερος είναι ο χρόνος απόσβεσης του συστήματος. Αυτό συμβαίνει επειδή όπως φαίνεται απο τον παραπάνω πίνακα, η αύξηση του κόστους αγοράς και του κόστους συντήρησης του συστήματος δεν είναι ανάλογη με την αύξηση των καθαρών κερδών. Παρατηρείται δηλαδή ότι για διπλάσια ζήτηση νερού το κόστος αυξάνεται λιγότερο απο ότι τα καθαρά κέρδη.

Σημαντικό είναι να παρατηρηθεί ότι σε όλες τις περιπτώσεις ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης είναι ίσος και μεγαλύτερος απο 0.2. Αυτό, σύμφωνα με τη μέθοδο προσδιορισμού του εσωτερικού βαθμού απόδοσης αξιολογεί την επένδυση ως οικονομικά βιώσιμη. Σύμφωνα με τη μέθοδο όμως προσδιορισμού του χρόνου απόσβεσης παρατηρείται ότι όσο μεγαλύτερη είναι η ζήτηση νερού, τόσο μεγαλύτερο είναι το κέρδος της επένδυσης και τόσο μικρότερος ο χρόνος

απόσβεσης. Άρα στην περίπτωση μίας πιθανής επένδυσης είναι σημαντικό ένα τέτοιο σύστημα να εγκαθίστανται αφού προηγουμένως έχει εξασφαλιστεί μία σχετικά υψηλή ζήτηση νερού.

Στη συνέχεια θα προσδιορίσουμε με προσεγγιστική μέθοδο την ζήτηση ώστε να είναι η επένδυση οικονομικά βιώσιμη με μία ανταγωνιστική τιμή για το νερό. Έχουμε λοιπόν :



Σχήμα 10.5 Διάγραμμα εξάρτησης ζήτησης-χρόνου απόσβεσης ανάλογα με την τιμή πώλησης

Το παραπάνω διάγραμμα μας δείχνει για διάφορες τιμές πώλησης του νερού (3,4,5,6,7 €/m³ οι οποίες παρίστανται με καμπύλες) τη σχέση ζήτησης και χρόνου απόσβεσης. Το διάγραμμα αυτό είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο το οποίο φανερώνει την σκοπιμότητα ή μη να γίνει η επένδυση, όταν η τιμή πώλησης για το νερό θα είναι εκείνη για την οποία θεωρούμε ότι είμαστε ανταγωνιστικοί. Επίσης βλέπουμε πέρα από ποιά ζήτηση και ύστερα το σύστημα παρουσιάζει απόσβεση σε έναν λογικό αριθμό ετών υπό το πρίσμα μιας ανταγωνιστικής τιμής πώλησης.

Παρατηρούμε λοιπόν ότι για μια τιμή του νερού που μας επιτρέπει να είμαστε ανταγωνιστικοί (πχ 3 €/m³) για ζήτηση 1000 σπιτιών έχουμε απόσβεση σε περίπου 7,5 χρόνια.

11. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το ενδεχόμενο ενεργειακό αδιέξοδο και η δυνατότητα να αποκτήσουμε ενέργεια απο ανεξάντλητες πηγές, χωρίς να επιβαρύνουμε το περιβάλλον, έχουν οδηγήσει τους τομείς έρευνας στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ταυτόχρονα, ένα άλλο μεγάλο πρόβλημα θεμελιώδους σημασίας, αυτό της εξάντλησης του νερού γίνεται αισθητό σε πολλές περιοχές όπως στα ελληνικά νησιά. Συνεπώς η αξιοποίηση του θαλασσινού νερού για την παραγωγή πόσιμου νερού είναι μια σημαντική καινοτομία που αναμένεται να λύσει πολλά σημαντικά προβλήματα.

Ο τρόπος υλοποίησης και η διαστασιολόγηση συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που τροφοδοτούν μονάδες αφαλάτωσης και η οικονομική αξιολόγηση των συστημάτων αυτών, αποτελεί ένα ζήτημα υψηλής σημασίας διότι είναι η διαδικασία η οποία θα καταδείξει το κατά πόσο είναι εφικτό να χρησιμοποιηθεί αυτή η τεχνολογία.

Το σύστημα της παρούσας εργασίας μελετά το συνδυασμό αυτών των δύο μεγάλων τομέων έρευνας, της ενέργειας και του νερού. Με πρώτη ύλη θαλασσινό ή υφάλμυρο νερό και με την κατάλληλη τεχνολογία μπορούμε να έχουμε πόσιμο νερό που να τροφοδοτεί και να καλύπτει τις ανάγκες μίας ολόκληρης πόλης.

Μελετώντας τα αποτελέσματα της μεθόδου, είναι φανερό ότι το κόστος του συστήματος δεν είναι απαγορευτικό για να εφαρμοστεί σε πραγματικό επίπεδο.

Μελλοντικές επεκτάσεις της παρούσας εργασίας θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν τη δυνατότητα να υποστηρίξει και άλλες μεθόδους αφαλάτωσης και όχι μόνο την αντίστροφη ώσμωση. Μία σημαντική βελτίωση του παρόντος συστήματος θα περιλάμβανε τη χρήση και άλλων τύπων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (π.χ βιομάζα). Επίσης μία άλλη σημαντική επέκταση του συστήματος θα μπορούσε να είναι η ανάπτυξη ενός γραφικού user-interface για ευκολότερη χρησιμοποίηση της μεθόδου από το χρήστη καθώς και διασύνδεση του με μία βάση δεδομένων με μετεωρολογικά δεδομένα ή και με δεδομένα για τους τύπους των στοιχείων.

12. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Άρης Κορνελάκης, «Βελτιστοποίηση σχεδιασμού και αξιολόγηση συστήματος φωτοβολταϊκών στοιχείων για την παραγωγή ενέργειας σε ηλεκτρικά δίκτυα», Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 2008.
- [2] Δημήτριος Σαμακίδης, «Αυτόνομο σύστημα αφαλάτωσης με χρήση ΑΠΕ: Διαστασιολόγηση και στρατηγικές ελέγχου», Διπλωματική Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2009.
- [3] The German Energy Society, «Planning and Installing Photovoltaic Systems : A guide for installers, architects and engineers», Earthscan Ltd, 2007.
- [4] Ιωάννης Φραγκιαδάκης, «Φωτοβολταϊκά Συστήματα», Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 2007.
- [5] Θωμάς Ζαχαρίας, «Ήπιες Μορφές Ενέργειας II», Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, 2009.
- [6] NationalGeographic, «Νερό, ο Διψασμένος Πλανήτης μας» , Απρίλιος 2010.
- [7] Eftihia Tzen , Promotion of Renewable Energy for Water production through Desalination.
- [8] Θωμάς Ζαχαρίας, «Ήπιες Μορφές Ενέργειας I», Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, 2006.
- [9] Σταμάτης Α. Αυλωνίτης, «Εισαγωγή στην Τεχνολογία Νερού και Αφαλάτωσης», Ιων, 2006
- [10] Ευτυχία Τζεν, «Μέθοδοι Αφαλάτωσης- Συγκριτική Αξιολόγηση και Εφαρμογές στα Νησιά του Αιγαίου», 2001.
- [11] Αλέξανδρος Σ. Αλεξάκης, «Αφαλάτωση» ,Μιχ.Σιδέρη, Αθήνα 1993.
- [12] Μαρούδας Διονύσης, «Συγκριτική Ανάλυση Αιολικών Συστημάτων και Έλεγχος Ισχύος σε Σύστημα με ΑΔΜΤ(Ασύγχρονη Μηχανή Διπλής Τροφοδοσίας)», Πανεπιστήμιο Πατρών, 2008.

[13]Νικολίνα Αράπογλου, «Μελέτη της Τεχνολογίας Ελέγχου Συστημάτων Αιολικής Ενέργειας με χρήση υδραυλικής μετάδοσης ισχύος», Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, 2010.

[14]Ι. Βλαχάβας, Π. Κεφαλάς, Ν.Βασιλειάδης, Φ.Κόκκορας, Η.Σακελλαρίου, «Τεχνητή Νοημοσύνη», Β' έκδοση, Εκδόσεις Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη, 2005.

[15]KenFerguson, «Βασικές Αρχές Οικονομικής Θεωρίας», Κριτική, 2004