

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή κ. Καλαϊτζάκη Κωνσταντίνο για την επίβλεψη και την καθοδήγηση για την ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας. Επίσης, τον καθηγητή κ. Πουλιέζο Αναστάσιο που με βοήθησε για να αναλάβω αυτή τη διπλωματική εργασία καθώς και τον καθηγητή κ. Ζοπουνίδη Κωνσταντίνο και τον κ. Δούμπο Μιχάλη για τις συμβουλές που μου δώσανε στο οικονομικό κομμάτι αυτής της εργασίας.

Επιπλέον, οφείλω να ευχαριστήσω όλους όσους με βοήθησαν να συγκεντρώσω όλα τα απαραίτητα στοιχεία, ώστε να εκπονηθεί αυτή η εργασία. Πρώτα απ' όλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Πεδιαδίτη, διευθυντή της Δ.Ε.Υ.Α. Αγίου Νικολάου, για όλα τα στοιχεία που μου έδωσε όσον αφορά την υδροληψία και την υδροδότηση της πόλης του Αγ. Νικολάου. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Χρηστάκη για τα ανεμολογικά δεδομένα που μου έδωσε και την Ντένια Κολοκοτσά για τα στοιχεία ηλιοφάνειας. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Πέτρο Μαραγκουδάκη και τον Κουνενάκη Δημήτριο για τις ώρες που αφιέρωσαν, ώστε να εκπονηθεί αυτή η εργασία.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η έντονη λειψυδρία και η παρατεταμένη ξηρασία σε πολλές περιοχές του πλανήτη έχει καταστήσει αναγκαία την εφαρμογή νέων τεχνολογιών για την εκμετάλλευση του θαλασσινού και του υφάλμυρου νερού, αλλά και την ανακύκλωση του νερού, που είναι βεβαρημένο με μικροβιακά φορτία, με σκοπό την επαναχρησιμοποίησή του.

Η αφαλάτωση βρίσκει εφαρμογή σε περιοχές που παρατηρείται έλλειψη νερού καθώς και σε εκείνες που οι ορίζοντες των γλυκών νερών έχουν υποστεί υφαλμύρωση, δηλαδή έχει διεισδύσει σε αυτούς το θαλασσινό νερό. Οι ρυθμοί ανάπτυξης της τεχνολογίας και η έρευνα των επιστημόνων πάνω στον τομέα αυτό δηλώνει την αναγκαιότητα εναλλακτικών μορφών υδροληψίας.

Επίσης, το πρόβλημα της ενέργειας αποτελεί ένα από τα κύρια διεθνή προβλήματα. Ειδικά, σε ένα νησί όπως η Κρήτη, το οποίο ανήκει στην κατηγορία των «μη διασυνδεδεμένων με το εγκατεστημένο δίκτυο», το πρόβλημα γίνεται ακόμα πιο άμεσο. Αλλά και η προστασία του περιβάλλοντος από τη μόλυνση που προκαλείται με τη χρήση των φυσικών καυσίμων οδηγεί στην αναγκαιότητα χρήσης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, πηγές που η Ελλάδα διαθέτει άφθονες.

Η διπλωματική αυτή εργασία αναγνωρίζοντας τα παραπάνω προβλήματα, προσπαθεί να συνδυάσει μία μέθοδο αφαλάτωσης με τις ΑΠΕ και να εκτιμήσει τα οικονομικά χαρακτηριστικά μίας τέτοιας επένδυσης.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	3
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
1.2 ΔΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	9
2. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	10
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
2.2 ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	10
2.3 ΤΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΚΟΙΝΩΝΙΩΝ	12
2.3.1 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ	12
2.3.1.1 Διοξείδιο του Άνθρακα και το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου	12
2.3.1.2 Όξινη Βροχή	14
2.3.1.3 Μόλυνση των Θαλασσών	15
2.3.1.4 Ραδιενεργά Απόβλητα και Προβλήματα Διακοπής Λειτουργίας των Πυρηνικών Σταθμών	15
2.3.1.5 Προβλήματα Διαθεσιμότητας	17
2.3.1.6 Κοινωνικά Προβλήματα	18
2.3.1.6.1 Πολιτικές και Οικονομικές Τάσεις λόγω των Συγκεντρωμένων Αποθεμάτων	18
2.3.1.6.2 Ευαισθησία λόγω της Συγκέντρωσης	19
2.3.1.6.3 Στρατιωτικοί Κίνδυνοι από την Πυρηνική Εξάπλωση	19
2.4 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	19
2.4.1 ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΩΝ ΑΠΕ	20
2.4.1.1 Τεχνολογίες Ηλιακής Προέλευσης	20
2.4.1.2 Ηλιακή Ενέργεια	21
2.4.1.3 Αιολική Ενέργεια	22
2.4.1.4 Κυματική Ενέργεια	22
2.4.1.5 Υδροηλεκτρική Ενέργεια	22
2.4.1.6 Βιομάζα	23
2.4.1.7 Ενέργεια από τα Απόβλητα	23
2.4.1.8 Παλιρροιακή Ενέργεια	24
2.4.1.9 Γεωθερμική Ενέργεια	24
2.5 Η ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	26
2.5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	26
2.5.2 Η ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	26
2.5.3 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΎΨΟΣ	28
2.5.4 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΤΥΡΒΗΣ	29
2.5.5 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ	30
2.5.5.1 Ανεμολογικές Μετρήσεις	30
2.5.5.2 Εκτίμηση του Αιολικού Δυναμικού	30
2.5.5.2.1 Η Μέση Τιμή της Ταχύτητας	31
2.5.5.2.2 Η Τυπική Απόκλιση των τιμών της Ταχύτητας του Ανέμου	31
2.5.5.2.3 Το Ιστόγραμμα Πιθανότητας της Ταχύτητας του Ανέμου	31
2.5.5.2.4 Οι Μεταβολές της Διεύθυνσης της Ταχύτητας του Ανέμου	32
2.5.6 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ	33
2.5.6.1 Εισαγωγή	33
2.5.6.2 Είδη Αιολικών Μηχανών	33

2.5.6.3	Ανεμογεννήτριες Κάθετου Άξονα	34
2.5.6.4	Ανεμογεννήτριες Οριζόντιου Άξονα	35
2.5.6.5	Χαρακτηριστικά Μεγέθη Α/Γ	37
2.5.6.6	Ισχύς Α/Γ	38
2.5.6.7	Οικονομικά για την Παραγωγή Αιολικής Ενέργειας	40
2.5.6.7.1	Οικιακές Αιολικές Μηχανές	40
2.5.6.7.2	Αιολικές Μηχανές Γενικής Χρήσης	40
2.6	Η ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	42
2.6.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	42
2.6.2	ΕΝΤΑΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	45
2.6.3	ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	48
2.6.3.1	Φωτοβολταϊκά Πλαίσια	48
2.6.3.2	Μετατροπείς Συνεχούς-Εναλλασσόμενου (inverter)	51
2.6.3.2.1	Μετατροπείς Αυτοτελούς Συστήματος	52
2.6.4	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΓΙΑ ΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ	53
3.	ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	56
3.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	56
3.1.1	ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ	56
3.1.1.1	Ζήτηση του Νερού	57
3.1.1.2	Κριτήρια Ποιότητας	58
3.1.1.3	Ανακύκλωση του Νερού	60
3.2	Η ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	60
3.3	ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	62
3.3.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	62
3.4	ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ	64
3.4.1	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΠΟΛΥΒΑΘΜΙΑΣ ΚΑΥΣΗΣ	64
3.4.1.1	Περιγραφή Τεχνολογίας	64
3.4.1.2	Ανάπτυξη Τεχνολογίας	67
3.4.1.3	Οικονομικά	67
3.4.2	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΣΕ ΠΟΛΛΕΣ ΒΑΘΜΙΔΕΣ	67
3.4.2.1	Περιγραφή Τεχνολογίας	67
3.4.2.2	Ανάπτυξη Τεχνολογίας	69
3.4.2.3	Οικονομικά	69
3.4.3	ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΑΤΜΩΝ	69
3.4.3.1	Περιγραφή Τεχνολογίας	70
3.4.3.2	Ανάπτυξη Τεχνολογίας	71
3.4.3.3	Οικονομικά	71
3.4.4	ΗΛΙΑΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ	72
3.4.4.1	Περιγραφή Τεχνολογίας	72
3.4.4.2	Ανάπτυξη Τεχνολογίας	72
3.4.4.3	Οικονομικά	73
3.5	ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ	73
3.5.1	ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΩΣΜΩΣΗ	73
3.5.1.1	Προκατεργασία του Νερού Τροφοδοσίας	75
3.5.1.2	Χαρακτηριστικά Λειτουργίας των Μεμβρανών	75
3.5.1.3	Ανάπτυξη Τεχνολογίας	77
3.5.1.4	Οικονομικά	77
3.5.2	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑΛΥΣΗ	78
3.5.2.1	Περιγραφή Τεχνολογίας	78
3.5.2.2	Ανάπτυξη Τεχνολογίας	79
3.5.2.3	Οικονομικά	80
3.6	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ	80
3.6.1	ΤΥΠΟΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ	80

3.6.2	ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ	81
3.6.3	ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟΥ	81
3.6.4	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	81
3.6.4.1	Επένδυση	81
3.6.4.1.1	Κόστη Λειτουργίας και Συντήρησης	81
3.6.4.1.2	Συντήρηση του Συστήματος	82
3.6.4.1.3	Μισθοί	82
3.6.4.1.4	Απαιτήσεις σε Ηλεκτρική Ενέργεια	82
3.6.4.1.5	Συνολικό Κόστος	83
3.6.5	ΧΡΟΝΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	83
3.7	ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	84
3.7.1	ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΩΣΜΩΣΗ Η ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑΛΥΣΗ	86
3.7.1.1	Περιγραφή του Συστήματος	86
3.7.1.2	Λειτουργικά Χαρακτηριστικά	86
3.7.1.3	Διαθεσιμότητα και Κόστος	87
3.7.2	ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΚΑΙ ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ RO/ED/VC	87
3.7.2.1	Περιγραφή Συστήματος	87
3.7.2.2	Κόστος	88
3.8	ΤΟ ΝΕΡΟ	89
3.9	Η ΧΗΜΕΙΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ	90
3.9.1	ΑΛΜΥΡΟΤΗΤΑ	91
3.9.2	ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ	91
3.9.3	ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ	92
4.	ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΜΕ ΑΠΕ	93
4.1	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ	93
4.1.1	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ	93
4.1.2	ΑΡΧΙΚΗ ΔΑΠΑΝΗ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ	93
4.1.2.1	Μονάδα Αφαλάτωσης	94
4.1.2.2	Ανεμογεννήτριες	96
4.1.2.3	Φωτοβολταϊκά	96
4.1.2.4	Βοηθητικές Εγκαταστάσεις	97
4.1.3	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΈΞΟΔΑ	98
4.1.3.1	Λειτουργικά Έξοδα Μονάδας Αφαλάτωσης	98
4.1.3.2	Λειτουργικά Έξοδα Ανεμογεννητριών	98
4.1.3.3	Λειτουργικά Έξοδα Φωτοβολταϊκών	98
4.1.4	ΑΠΟΣΒΕΣΕΙΣ	98
4.1.5	ΚΑΘΑΡΕΣ ΤΑΜΕΙΑΚΕΣ ΡΟΕΣ	99
4.2	ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΝ	100
4.2.1	ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΕΠΑΝΕΙΣΠΡΑΞΗΣ	100
4.2.2	ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΚΑΘΑΡΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΑΞΙΑΣ	101
4.2.3	ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	102
4.2.4	ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ	103
4.3	ΈΛΕΓΧΟΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ	104
4.3.1	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ	104
4.3.2	ΑΝΑΛΥΣΗ «ΝΕΚΡΟΥ» ΣΗΜΕΙΟΥ	105
4.3.2.1	Αλγεβρικός Καθορισμός του Νεκρού Σημείου	106
5.	ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	109
5.1	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	109
5.1.1	ΠΛΗΘΥΣΜΙΑΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ	109
5.1.2	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΠΑΣΧΟΛΗΣΗΣ	111
5.1.3	ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΑΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ	111
5.1.4	ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ	112

5.2	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΝΕΡΟΥ	113
5.2.1	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΝΕΡΟΥ	113
5.2.2	ΠΡΟΜΗΘΕΙΑ ΝΕΡΟΥ	114
5.3	Ο ΑΛΜΥΡΟΣ	115
5.4	ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	117
<u>6.</u>	<u>ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ</u>	<u>124</u>
6.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	124
6.1.1	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΙΣΧΥΟΣ Α/Γ	125
6.1.2	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΙΣΧΥΟΣ Φ/Β	126
6.1.3	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	129
6.1.4	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	131
<u>7.</u>	<u>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</u>	<u>132</u>
7.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	132
7.2	ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	144
<u>8.</u>	<u>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</u>	<u>147</u>
8.1	ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ	148
<u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</u>		<u>150</u>
<u>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α</u>		<u>153</u>
<u>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β</u>		<u>154</u>

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1. Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή

Το νερό είναι μία από τις πιο άφθονες πηγές στη Γη, καλύπτοντας περίπου τα τρία τέταρτα της επιφάνειας του πλανήτη. Το 97%, περίπου, του νερού της Γης είναι θαλασσινό και το 3% του φρέσκου νερού βρίσκεται σε υπόγειες πηγές, ποτάμια και λίμνες, το οποίο καλύπτει και τις περισσότερες ανάγκες σε νερό των ανθρώπων και των ζώων.

Η σημαντικότητα του πόσιμου νερού για την κοινωνία είναι πάρα πολύ μεγάλη. Εκατομμύρια θάνατοι κάθε χρόνο οφείλονται στην έλλειψη πόσιμου νερού, στις κακές συνθήκες διανομής του και στην εσφαλμένη χρήση του. Παράλληλα, στον αναπτυσσόμενο κόσμο, περίπου το 80% των ασθενειών είναι άμεσα συνδεδεμένες με τα προβλήματα του πόσιμου νερού και το 50% των ανθρώπων δεν έχει πρόσβαση σε καθαρό νερό. Το πρόβλημα έλλειψης νερού προβλέπεται ότι θα αυξηθεί σημαντικά στο μέλλον, καθώς ο πληθυσμός συνεχώς αυξάνεται και η απαίτηση νερού ανά κάτοικο, ακολουθεί την αύξηση του επιπέδου διαβίωσης και των οικονομικών δραστηριοτήτων.

Η περιοχή της Μεσογείου και κυρίως οι νότιες Μεσογειακές χώρες συμπεριρίζονται την παραπάνω συλλογιστική: υποφέρουν από τις περιορισμένες πηγές νερού, μερικές φορές κάτω από το επίπεδο ανεφοδιασμού και επιπλέον επιβαρύνονται από τα αρνητικά αποτελέσματα που προκαλούνται από την αποψίλωση, την υποβάθμιση, την εγκατάλειψη και τη μόλυνση της γης. Λόγω της αύξησης του πληθυσμού της γης 2% το χρόνο, καθώς και του επιπέδου διαβίωσης, η ζήτηση σε πόσιμο νερό αναμένεται να αυξηθεί από 13 εκατομμύρια κυβικά το χρόνο που βρίσκεται τώρα στα 20 εκατομμύρια το 2025 [1].

Η ανομοιόμορφη κατανομή των βροχοπτώσεων στον Ελλαδικό χώρο οδηγεί σε έντονα προβλήματα λειψυδρίας, κυρίως κατά τις περιόδους αιχμής της άρδευσης (μία περίοδος αντίστοιχα κρίσιμη και για άλλες χρήσεις του νερού, όπως η χρήση του στις τουριστικές δραστηριότητες). Η αυξημένη αυτή ζήτηση νερού καλύπτεται ολοένα και περισσότερο με τη χρήση υπόγειων υδάτων, η οποία σήμερα καλύπτει πάνω από το 40% των αναγκών σε νερό προοριζόμενο για άρδευση. Στις παράκτιες περιοχές, η υπεράντληση υπόγειου ύδατος έχει οδηγήσει στη διείσδυση θαλάσσιου νερού στους υδροφορείς. Η επαναπλήρωση των υδροφορέων επηρεάζεται αρνητικά από τη διάβρωση του εδάφους, που οφείλεται στις πυρκαγιές των δασών και στην υποβαθμισμένη χρήση του παραδοσιακού, εδώ και αιώνες, συστήματος κατασκευής αναβαθμίδων στις λοφώδεις και ορεινές περιοχές.

Το νερό εμπλέκεται άμεσα με την υγεία, την εκπαίδευση, την γεωργία και την δημιουργία εργασίας. Όπως και με την ενέργεια, είναι απαραίτητο να προαχθούν πολιτικές, οι οποίες θα οδηγήσουν στην αποτελεσματική διαχείριση των αποθεμάτων νερού στη Μεσόγειο. Πολλές εναλλακτικές προτάσεις έχουν μελετηθεί, συμπεριλαμβανομένης και της κατασκευής

δεξαμενών για την αποθήκευση νερού, την αξιοποίηση των υπόγειων πηγών νερού, την αφαλάτωση και την επαναχρησιμοποίηση του νερού.

Η ανάγκη της υιοθέτησης της αφαλάτωσης ως λύση στο πρόβλημα του πόσιμου νερού δεν υπαγορεύεται μόνο από την έλλειψη αποθεμάτων πηγών νερού αλλά και από την ποιότητα του διαθέσιμου νερού. Σε πολλά σημεία της χώρας, υπόγειες πηγές νερού είναι συχνά υφάλμυρες και επομένως ακατάλληλες προς αξιοποίηση. Εκτός από κάποια αποθέματα του διαθέσιμου νερού, μόνο ένα μικρό ποσοστό ικανοποιεί τα κριτήρια ποιότητας του πόσιμου νερού, λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε άλατα. Είναι προφανές ότι ένα μεγάλο ποσοστό αυτών των αποθεμάτων νερού θα πρέπει να αφαλατωθεί, ούτως ώστε να χρησιμοποιηθεί.

Αντιμετωπίζοντας την προοδευτική υποβάθμιση του περιβάλλοντος, λόγω της μόλυνσης και της εκπομπής καυσαερίων, η Ελλάδα αναζητά μία λύση στο πρόβλημα έλλειψης νερού με τη χρήση των άφθονων και εύκολα διαθέσιμων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), σαν ένα καθαρότερο και ασφαλέστερο τρόπο διάθεσης πόσιμου νερού. Δεδομένης της τοποθεσίας της μέσα στην ηλιακή ζώνη, η Ελλάδα έχει μία επαρκή πηγή ηλιακής ενέργειας, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πολλά προγράμματα ανάπτυξης. Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να φτάσει κατά μέσο όρο στα $350 \text{ cal/cm}^2/\text{μέρα}$ στις νότιες περιοχές της χώρας. Παράλληλα με τη άφθονη πηγή ηλιακής ενέργειας, η Ελλάδα διαθέτει ικανοποιητικό δυναμικό για τη χρήση ακόμα ενός τύπου ΑΠΕ. Σε πολλά σημεία της χώρας, και κυρίως στις παραλιακές περιοχές, η μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου υπερβαίνει τα $5\text{-}6 \text{ m/sec}$.

Αφαλάτωση με τη χρήση ΑΠΕ είναι μία κατάλληλη λύση για την εξασφάλιση πόσιμου νερού σε έναν αριθμό περιοχών της Ελλάδας και της Μεσογείου γενικότερα. Η λύση αυτή γίνεται όλο και περισσότερο πιο ανταγωνιστική ειδικά στις απομακρυσμένες και αγροτικές περιοχές, όπου χρειάζονται μικρές ποσότητες νερού. Στην εποχή μας, δεδομένου των πλεονεκτημάτων των τεχνολογιών της αφαλάτωσης, μικρές και μεσαίου μεγέθους μονάδες αφαλάτωσης μπορούν εύκολα να λειτουργήσουν. Οι παραπάνω μονάδες μπορούν να λειτουργήσουν σε θερμοκρασίες μόλις $60\text{-}70^\circ\text{C}$, το οποίο κάνει τη χρήση ΑΠΕ ακόμα ευκολότερη.

Επίσης, είναι γνωστό ότι το κόστος παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές μειώνεται προοδευτικά με το πέρασμα του χρόνου. Η πρόκληση, παρ' όλα αυτά, είναι να υπερνικηθούν κάποια εμπόδια, τα οποία παρεμποδίζουν την ανάπτυξη αυτών των πηγών σε ευρύτερη κλίμακα. Αυτά τα εμπόδια είναι κυρίως: η ανεπαρκής πρόσβαση στα κεφάλαια επένδυσης, οι αγορές ενέργειας και η ανεπαρκής ικανότητα για εμπορευματοποίηση ώριμων τεχνολογιών. Για μία πραγματική επανάσταση στην παγκόσμια στρατηγική της ενέργειας, όσον αφορά τη χρήση των ΑΠΕ, τέσσερις αξιόπιστοι παράγοντες πρέπει να ικανοποιηθούν: η τεχνική βιωσιμότητα, η οικονομική ανταγωνιστικότητα, η περιβαλλοντική επίδραση και η πολιτική θέληση [2].

Επειδή η αφαλάτωση με χρήση ΑΠΕ δεν έχει ποτέ εφαρμοστεί στην Ελλάδα, δεν είναι εύκολο να καθοριστεί το πραγματικό κόστος μιας τέτοιας επένδυσης τόσο στο παρόν όσο και στο μέλλον. Η διπλωματική αυτή εργασία επιχειρεί να δώσει κατευθύνσεις, όσον αφορά τα παραπάνω, χρησιμοποιώντας δεδομένα για το κόστος κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης. Επειδή δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα για το κόστος μιας τέτοιας εφαρμογής στην Ελλάδα, τα περισσότερα δεδομένα προήλθαν από εφαρμογές του εξωτερικού. Για αυτό το λόγο, τα αποτελέσματα της διπλωματικής εργασίας παρέχουν περισσότερο γενική περιγραφή των οικονομικών θεμάτων της εφαρμογής αφαλάτωσης υφάλμυρου νερού με τη χρήση ΑΠΕ. Τα αποτελέσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν, επίσης, σαν βάση για την ανάπτυξη σχεδίων, στρατηγικών και πολιτικών για μελλοντικές εφαρμογές.

1.2 Δομή εργασίας

Το παρόν κεφάλαιο αποτελεί μία εισαγωγή στη σημασία, στο πρόβλημα έλλειψης νερού στη γη και πόσο επηρεάζει η ποιότητα νερού την ποιότητα ζωής. Επίσης, γίνεται μία εισαγωγή στην έννοια της αφαλάτωσης και στις ΑΠΕ.

Το δεύτερο κεφάλαιο αποτελείται από τρία μέρη. Στο πρώτο μέρος παρουσιάζονται τα ενεργειακά προβλήματα, τα οποία είναι επίπτωση της χρήσης των συμβατικών πηγών ενέργειας. Επίσης, γίνεται μία σύντομη αναφορά σε όλα τα είδη ΑΠΕ. Στο δεύτερο μέρος του κεφαλαίου περιγράφεται θεωρητικά η παράμετρος του Αιολικού Δυναμικού και αναφέρονται στοιχεία για τις ανεμογεννήτριες (Α/Γ). Πιο συγκεκριμένα γίνεται μία αναφορά στα είδη αιολικών μηχανών, ακολουθεί περιγραφή μίας μηχανής οριζόντιου άξονα, αναφέρονται τεχνικά χαρακτηριστικά των Α/Γ, περιγράφεται θεωρητικά ο υπολογισμός ισχύος μίας Α/Γ και τέλος παρουσιάζονται κάποια οικονομικά στοιχεία για την παραγωγή αιολικής ενέργειας. Στο τρίτο και τελευταίο μέρος του δεύτερου κεφαλαίου περιγράφεται θεωρητικά η Ηλιακή Ενέργεια, πώς υπολογίζεται η ένταση της ηλιακής ενέργειας, παρουσιάζονται τα στοιχεία που αποτελούν ένα φωτοβολταϊκό (φ/β) σύστημα και αναφέρονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος και τέλος αναφέρονται οικονομικά στοιχεία για τα φ/β.

Το τρίτο κεφάλαιο χωρίζεται επίσης σε τρεις ενότητες. Στην πρώτη ενότητα γίνεται αναφορά στο πρόβλημα του νερού παγκοσμίως και αναφέρονται τα κριτήρια ποιότητας του πόσιμου νερού. Στη δεύτερη ενότητα αναφέρονται στοιχεία για την αφαλάτωση. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται μία σύντομη ιστορική αναδρομή για την αφαλάτωση και στη συνέχεια αναπτύσσονται οι μέθοδοι αφαλάτωσης που χρησιμοποιούνται. Για κάθε μέθοδο αφαλάτωσης περιγράφεται η τεχνολογία της και αναφέρονται οικονομικά στοιχεία. Στη συνέχεια γίνεται μία σύγκριση των τεχνολογιών και συνοψίζονται οικονομικά στοιχεία για τις μεθόδους αφαλάτωσης. Σ' αυτή την ενότητα, τέλος, γίνεται αναφορά στο συνδυασμό μερικών μεθόδων αφαλάτωσης με ΑΠΕ. Στην τρίτη ενότητα του κεφαλαίου αναφέρονται κάποιες φυσικές και χημικές ιδιότητες του νερού.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναπτύσσονται αναλυτικά οικονομικά στοιχεία τόσο για τη μονάδα αφαλάτωσης όσο και για τις Α/Γ και τα φ/β. Αρχικά περιγράφονται τα στοιχεία που αποτελούν το αρχικό κόστος της επένδυσης, στη συνέχεια αναφέρονται τα λειτουργικά έξοδα, έπειτα οι αποσβέσεις και τέλος οι καθαρές ταμειακές ροές. Επίσης, αναφέρονται τα κριτήρια αξιολόγησης της επένδυσης και τα εργαλεία για τον έλεγχο αξιοπιστίας και αξιολόγησης, που χρησιμοποιούνται στην οικονομοτεχνική ανάλυση.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναφέρονται τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης (case study). Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζονται χαρακτηριστικά του πληθυσμού, στοιχεία κατανάλωσης νερού της περιοχής, στοιχεία ποιότητας του νερού του Αλμυρού και κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής.

Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή των προγραμμάτων που αναπτύχθηκαν σε γλώσσα προγραμματισμού Matlab. Περιγράφεται το κυρίως πρόγραμμα που δίνει το βέλτιστο συνδυασμό Α/Γ και φ/β, καθώς και τα υποπρογράμματα, τα οποία υπολογίζουν την ισχύ των Α/Γ, την ισχύ των φ/β.

Στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων και της οικονομικής τους επεξεργασία σε Excel. Επίσης, πραγματοποιείται μία σύντομη μελέτη των αποτελεσμάτων.

Τέλος, στο όγδοο κεφάλαιο συνοψίζονται τα συμπεράσματα όλης της εργασίας και αναφέρονται τα προβλήματα που μπορούν και αξίζει να ερευνηθούν μελλοντικά με βάση τα αποτελέσματα της εργασίας.

Κεφάλαιο 2

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

2. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

2.1 Εισαγωγή

Για χιλιάδες χρόνια η ανθρωπότητα βασιζόταν στην αξίωση ότι οι φυσικοί πόροι θα είναι διαθέσιμοι όποτε τους χρειάζονταν. Εκμεταλλεύθηκε αλόγιστα τα φυσικά καύσιμα για να παράγει ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα. Η ελάττωση αυτών των πεπερασμένων πόρων δεν αποτελούσε αντικείμενο ενδιαφέροντος μέχρι τα τέλη του 20ου αιώνα.

Η μόλυνση του περιβάλλοντος, ο υποβιβασμός της ποιότητας του αέρα και του νερού και η απειλή της παγκόσμιας αλλαγής του κλίματος, επικέντρωσε το ενδιαφέρον των επιστημόνων, των πολιτικών και των καταναλωτών στους υπερβολικά γοργούς ρυθμούς κατανάλωσης των φυσικών πηγών ενέργειας από τις βιομηχανοποιημένες χώρες. Ενώ κάποιοι συμφωνούσαν ότι η κατανάλωση του φυσικού καυσίμου αποτελεί τη βάση για την υγεία και την οικονομική ανάπτυξη, κάποιοι άλλοι επέκριναν την καύση αυτών των πρώτων υλών για την παραγωγή ενέργειας αντί της διάσωσης τους για σκοπούς υψηλότερης αξίας και για τις επόμενες γενεές.

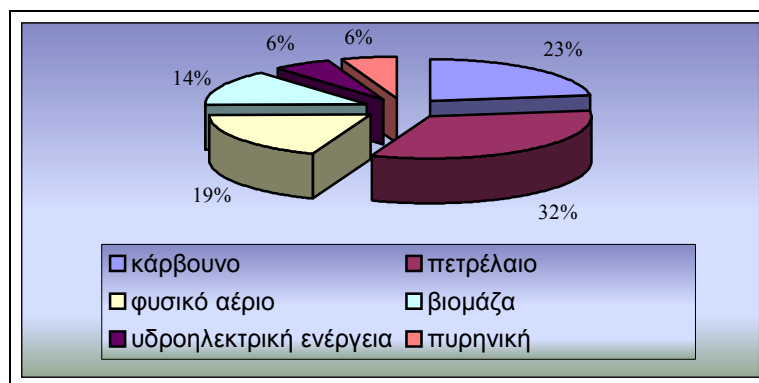
Ο Earth Summit στο Rio de Janeiro το 1992 επισήμανε την ανάγκη της αλλαγής των οικονομικών μας συστημάτων από την ανάπτυξη οικονομιών μεγιστοποίησης κέρδους σε οικονομίες παρατεταμένης ανάπτυξης. Για να επιτευχθεί ο στόχος οικονομικών δραστηριοτήτων μεγάλης περιόδου, χωρίς να καταστραφεί η φυσική βάση της ανθρώπινης ζωής, θεωρήθηκε ως προϋπόθεση η δημιουργία νέων τεχνολογιών και η υπεύθυνη χρήση των φυσικών πόρων.

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι η μόνη πηγή ενέργειας η οποία είναι διαθέσιμη σε μεγάλη κλίμακα χωρίς να ελαττώνεται. Με την ηλιακή ακτινοβολία δημιουργούνται απεριόριστα αποθέματα ανανεώσιμης ενέργειας, όπως η ενέργεια που είναι ενσωματωμένη στον αέρα και στο νερό. Παραδοσιακές τεχνολογίες έχουν εκμεταλλευτεί τον αέρα και την υδροηλεκτρική ενέργεια για να στηρίξουν την καθημερινή ζωή των ανθρώπων. Τις τελευταίες δεκαετίες, έχουν αναπτυχθεί νέες τεχνολογίες, οι οποίες μπορούν να δεσμεύσουν την ηλιακή ακτινοβολία χωρίς τη χρήση μηχανικών διατάξεων μειώνοντας έτσι τις ενεργειακές απώλειες.

2.2 Παγκόσμια Αποθέματα Ενέργειας

Οι σύγχρονες κοινωνίες και ειδικότερα οι βιομηχανοποιημένες εξαρτώνται απόλυτα από τη χρήση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας, που προέρχεται, ως επί το πλείστον, από φυσικά καύσιμα. Το 1992, εκτιμήθηκε ότι η συνολική παγκόσμια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ήταν περίπου 400 EJ, που ισοδυναμεί με 9,5 δισεκατομμύρια τόνους πετρελαίου (Σχήμα 2.2.1). Υποθέτοντας ότι ο πληθυσμός αυτό το χρόνο ήταν περίπου 5,3 δισεκατομμύρια, υπολογίζεται ότι η ετήσια μέση τιμή κατανάλωσης φυσικών καυσίμων ανά κάτοικο ήταν περίπου 1,8 τόνοι πετρελαίου [3].

Το μέγεθος του ενεργειακού προβλήματος που θα αντιμετωπίσουν οι μελλοντικές γενεές μπορεί να παρουσιαστεί με ένα απλό υπολογισμό. Ο πληθυσμός της γης το 1990 ήταν περίπου 5 δισεκατομμύρια. Η τάση αύξησης του πληθυσμού δείχνει ότι το 2025 θα έχει φτάσει γύρω στα 10 με 12 δισεκατομμύρια. Η μεγαλύτερη αύξηση θα παρουσιαστεί στις λιγότερο αναπτυγμένες χώρες. Η παρούσα κατάσταση παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.2.1, από τον οποίο παρατηρείται ότι οι αναπτυγμένες χώρες χρησιμοποιούν διπλάσιες ποσότητες καυσίμων από τις λιγότερο αναπτυγμένες, παρ' όλο που αποτελούν μόλις το ένα τρίτο του συνολικού πληθυσμού της γης.



Σχήμα 2.2.1 Ετήσια παγκόσμια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας

Ας υποθεθεί ότι μέχρι το 2025 οι αναπτυγμένες χώρες επιτυγχάνουν να διπλασιάσουν την απόδοση ενέργειας τους, και επομένως να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας ανά κάτοικο στο μισό. Επίσης, ας υποθεθεί ότι η κατανάλωση ενέργειας ανά κάτοικο των λιγότερων αναπτυγμένων χωρών διπλασιάζεται, ως συνέπεια της αύξησης του βιοτικού επιπέδου. Παρατηρείται επομένως μία σύγκλιση στην κατανάλωση ρεύματος ανά κάτοικο στα δύο μέρη του κόσμου. Παρ' όλα αυτά, δεδομένης της αναμενόμενης αύξησης του πληθυσμού, παραμένει μία αύξηση 50% στο συνολικό επίπεδο κατανάλωσης ενέργειας.

Πίνακας 2.2.1 Αύξηση της χρήσης ενέργειας σαν αποτέλεσμα της αύξησης του πληθυσμού

Έτος	Πληθυσμός (δισεκατομμύρια)	Χρήση ενέργειας TW	Χρήση ενέργειας ανά κάτοικο TW
1990 αναπτυγμένες χώρες	1,2	9,0	7,5
1990 μη αναπτυγμένες χώρες	4,1	4,5	1,1
1990 σύνολο	5,3	13,5	2,5
2025 αναπτυγμένες χώρες	1,4	5,3	3,8
2025 μη αναπτυγμένες χώρες	6,8	15,0	2,2
2025 σύνολο	8,2	20,3	2,5

Μία ταξινόμηση της κατανάλωσης της παγκόσμιας πρωτογενούς ενέργειας το 1992 φαίνεται στο Σχήμα 2.2.1. Το πετρέλαιο είναι το επικρατέστερο καύσιμο, συμβάλλοντας στο 33%, και ακολουθεί το κάρβουνο με 23%. Το κάρβουνο ήταν το επικρατέστερο καύσιμο, αλλά τώρα αρχίζει να χάνει έδαφος από το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, το οποίο καλύπτει το 19% της συνολικής κατανάλωσης. Η υδροηλεκτρική και η πυρηνική ενέργεια χρησιμοποιούνται πολύ λιγότερο, γύρω στο 6% το καθένα. Το εκτιμώμενο ποσοστό της «παραδοσιακής» ενέργειας, μη εμπορεύσιμων καυσίμων, κυρίως βιομάζας, είναι περίπου 14%.

2.3 Τα Ενεργειακά Προβλήματα των Σύγχρονων Κοινωνιών

Τα προβλήματα που σχετίζονται με την ενέργεια σήμερα είναι κυρίως περιβαλλοντικά. Πριν είκοσι χρόνια ήταν προβλήματα διατήρησης και αφορούσαν την εξάντληση των αποθεμάτων ενέργειας. Τα προβλήματα διατήρησης, βέβαια, παραμένουν, αλλά με τη μορφή ανησυχίας ότι οι χώρες από τις οποίες εισάγονται τα φυσικά καύσιμα μπορεί να αναπτύξουν εχθρική στάση. Τέλος, η ενέργεια δημιουργεί και κοινωνικά προβλήματα, τα οποία πολύ συχνά εμφανίζονται στην επικαιρότητα.

2.3.1 Περιβαλλοντικά Προβλήματα

2.3.1.1 Διοξείδιο του Άνθρακα και το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου

Ποικίλα περιβαλλοντικά προβλήματα έχουν πάρει μεγάλες διαστάσεις. Πολλά απ' αυτά είναι αποτέλεσμα κυρίως της εκτεταμένης χρήσης των καυσίμων. Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα είναι η αύξηση της θερμοκρασίας της γης, μία βαθμιαία αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας του αέρα στην επιφάνεια της γης. Η πλειοψηφία των επιστημόνων πιστεύει ότι η αύξηση της θερμοκρασίας της γης πραγματοποιείται με ρυθμό 0,3 °C ανά δεκαετία και οφείλεται στην αύξηση της συγκέντρωσης των «αερίων του θερμοκηπίου» στην ατμόσφαιρα. Το πιο σημαντικό συστατικό των αερίων του θερμοκηπίου είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το οποίο απελευθερώνεται κατά την καύση φυσικών καυσίμων [4].

Η σύσταση της ατμόσφαιρας της γης, όταν δημιουργήθηκε πριν 5 δισεκατομμύρια χρόνια, ήταν κυρίως διοξείδιο του άνθρακα, χωρίς ελεύθερο οξυγόνο. Ήταν παρόμοια με την ατμόσφαιρα του Άρη και της Αφροδίτης, που οι ατμόσφαιρες τους αποτελούνται από 90% διοξείδιο του άνθρακα.

Η σταδιακή αλλαγή της κατάστασης, με την πάροδο δισεκατομμυρίων ετών, οφείλεται στην εμφάνιση ζωής πάνω στη γη. Αυτό είχε ως συνέπεια αρχικά τη μείωση του ποσοστού του διοξειδίου του άνθρακα κατά 0,035% [3].

Η πρώτη μορφή ζωής στη γη, πριν 3,8 δισεκατομμύρια χρόνια περίπου, ήταν πρωτόγονα βακτηρίδια. Επακολούθησαν οι πρόγονοι των πρασινογάλαζων φυκιών, τα πρώτα φωτοσυνθετικά βακτηρίδια, τα οποία ήταν οι πρώτοι οργανισμοί που χρησιμοποίησαν την ηλιακή ακτινοβολία σαν πηγή ενέργειας. Αποσπούσαν διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα και το συνδύαζαν με το υδρογόνο από το νερό για να εξασφαλίσουν υδρογονάνθρακες, που αποτελούσαν το κύριο συστατικό τους. Το οξυγόνο ήταν ένα βιολογικό παραπροϊόν. Η παραπάνω διαδικασία, η οποία ονομάζεται **φωτοσύνθεση**, είναι η βάση ζωής όλων των φυτών.

Το διοξείδιο του άνθρακα ανακυκλωνόταν από οργανισμούς που λαμβάνανε οξυγόνο και εκπέμπανε διοξείδιο του άνθρακα. Κάποιες ποσότητες, όμως, CO₂ αφομοιώνονταν από τις πέτρες με τη μορφή αλάτων ανθρακικού οξέως, ή θάβονταν σε στρωματά υπολειμμάτων νεκρών οργανισμών στους βυθούς των ωκεανών. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας, μέσα από το πέρασμα δισεκατομμυρίων ετών, ήταν η σταδιακή μείωση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στο σύνολο της ατμόσφαιρας στα σημερινά επίπεδα και η σταδιακή ανάπτυξη του οξυγόνου στο σημερινό επίπεδο του 21%.

Μερικά από τα υπολείμματα της θαμμένης αυτής αρχαίας ζωής, τελικά, σχημάτισαν ανθρακούχες πέτρες σαν αυτές στα απότομα βράχια του Dover. Τα θαμμένα κατάλοιπα των δασών και άλλων ζωντανών οργανισμών από την εποχή του Άνθρακα, 350 έως 280

εκατομμύρια έτη πριν, μετατράπηκαν σε κάρβουνο, πετρέλαιο και φυσικό αέριο, τα οποία χρησιμοποιούνται ως καύσιμα σήμερα. Καίγοντας τα φυσικά καύσιμα επιστρέφεται σταδιακά στην ατμόσφαιρα ο άνθρακας, που είχε αποσπαστεί από την πρωτόγονη ζωή.

Επιστρέφοντας στις ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικρατούσαν στην αρχαιότητα, δεν απειλείται ολοκληρωτικά η βιωσιμότητα της ζωής στη γη. Παρ' όλα αυτά, πολλά σύγχρονα οικοσυστήματα και ειδικότερα εκείνα των φυτών και των ζώων, σημαντικά στις ανθρώπινες κοινωνίες, προσαρμόζονται στις παρούσες συνθήκες της θερμοκρασίας και του κλίματος και είναι αυτά που πιθανότατα θα μεταλλαχθούν.

Η θερμοκρασία της γης καθορίζεται από τη διαδικασία κατά την οποία η εισερχόμενη ακτινοβολία από τον ήλιο εξισορροπείται με την εξερχόμενη από τη γη. Ο ήλιος είναι πολύ πιο ζεστός από ότι η γη και επομένως η ακτινοβολία του φτάνει σε σχετικά υψηλές συχνότητες του ορατού φωτός. Η θερμοκρασία της γης είναι κατά μέσο όρο 15°C , και κατά συνέπεια η ακτινοβολία της φτάνει στις χαμηλότερες συχνότητες της υπέρυθρης ακτινοβολίας.

Η ισορροπία μεταξύ της εισερχόμενης και της εξερχόμενης ακτινοβολίας επηρεάζεται από την απορρόφηση ή την αντανάκλαση που συμβαίνει στην ατμόσφαιρα. Για παράδειγμα το κάλυμμα που σχηματίζουν τα σύννεφα αντανάκλα μεγάλη ποσότητα ακτινοβολίας πριν φτάσει στην επιφάνεια της γης και διατηρεί χαμηλότερη τη θερμοκρασία του πλανήτη. Τα μόρια οξυγόνου (O_2) και αζώτου (N_2), που αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος της ατμόσφαιρας, σχηματίζονται από μόνο δύο άτομα το καθένα και δεν απορροφούν τα σχετικά μεγάλα μήκη κύματος της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Ωστόσο, πιο σύνθετα μόρια της ατμόσφαιρας απορροφούν τα μεγάλα μήκη κύματος και έτσι παγιδεύουν την υπέρυθη ακτινοβολία κοντά στην επιφάνεια της γης, διατηρώντας τις θερμοκρασίες υψηλές.

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το νερό (H_2O), το μεθάνιο (CH_4), οι χλωροφθοράνθρακες και άλλα χημικά με περισσότερα άτομα απορροφούν την υπέρυθη ακτινοβολία και γενικώς τα πιο πολύπλοκα άτομα την απορροφούν περισσότερο από ότι τα απλούστερα. Τα παραπάνω ονομάζονται **αέρια θερμοκηπίου**. Ακόμα και σε πολύ μικρές ποσότητες επιδρούν σημαντικά στην θερμοκρασία. Υπολογίζεται ότι η επίδραση των σημερινών χαμηλών συγκεντρώσεων των αερίων θερμοκηπίου διατηρεί τη γη 32°C θερμότερη από ότι θα ήταν χωρίς αυτά.

Μετρήσεις σε φουσκάλες αέρα που είχαν παγιδευτεί σε θαμμένα τμήματα πάγου χρησιμοποιήθηκαν ώστε να συγκριθούν οι σημερινές θερμοκρασίες και συγκεντρώσεις των αερίων θερμοκηπίου με τις αντίστοιχες 160.000 χρόνων πριν και τα αποτελέσματα δείχνουν μεγάλη συσχέτιση μεταξύ αυτών. Κατά την περίοδο αυτή, κατά τη διάρκεια και μετά την εποχή των Πάγων, η συγκέντρωση του CO_2 κυμαινόταν μεταξύ 180 και 280ppm (*parts per million*). Το επίπεδο του CO_2 στην ατμόσφαιρα ήταν περίπου 280ppm στην προβιομηχανική εποχή, πριν το 1800 μ.Χ., αλλά τώρα έχει φτάσει στα 350ppm. Περίπου το μισό αυτής της αύξησης έλαβε χώρα μέχρι το 1960. Αν η εκπομπή του CO_2 συνεχιστεί με τον σημερινό ρυθμό, η συγκέντρωσή του θα έχει διπλασιαστεί μέχρι το 2100 μ.Χ.. Ο ρυθμός εκπομπής του αυξάνεται κατά 1,5ppm ανά έτος.

Το δεύτερο σημαντικότερο αέριο θερμοκηπίου μετά το CO_2 είναι το μεθάνιο CH_4 . Είναι ένα δευτερεύον παραπροϊόν της καύσης βιομάζας και κάρβουνου. Προέρχεται από τις αναθυμιάσεις του φυσικού αερίου (που είναι σχεδόν καθαρό μεθάνιο) και επίσης απελευθερώνεται από το εσωτερικό των ζώων και από την αποσύνθεση οργανικών ουσιών σε βάλτους και ορυζώνες. Η σημερινή του συγκέντρωση είναι περίπου 1,7 ppm και έχει αυξηθεί σχετικά με τις προ-βιομηχανικές συνθήκες, όπου ήταν 0,8ppm. Το μεθάνιο είναι πολύ πιο δραστικό αέριο θερμοκηπίου από ότι το CO_2 σε μια βάση μορίου προς μόριο, αλλά η συνολική του επίδραση είναι μικρότερη, αφού έχει πολύ μικρότερη συγκέντρωση.

Διαφορετικά φυσικά καύσιμα παράγουν διαφορετικές ποσότητες CO₂ ανά μονάδα ενέργειας που απελευθερώνεται. Το κάρβουνο είναι κατά μεγάλο ποσοστό άνθρακας και έτσι τα περισσότερα προϊόντα καύσης του είναι CO₂. Το φυσικό αέριο, που είναι μεθάνιο, παράγει νερό και διοξείδιο του άνθρακα κατά την καύση του, και εκπέμπει λιγότερο CO₂ ανά μονάδα ενέργειας από ότι το κάρβουνο. Το πετρέλαιο βρίσκεται κάπου ανάμεσα στο κάρβουνο και στο φυσικό αέριο, όσον αφορά την εκπομπή CO₂, αφού αποτελείται από ένα μείγμα υδρογονανθράκων. Αυτός είναι ένας από τους λόγους, που εμφανίζεται μια τάση μεγαλύτερης χρησιμοποίησης φυσικού αερίου στους σταθμούς παραγωγής ενέργειας, αντί πετρελαίου και κάρβουνου, παρ' όλη την αφθονία σε κάρβουνο.

Από τα παραπάνω είναι εμφανές ότι οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν επηρεάσει την αύξηση των συγκεντρώσεων των αερίων θερμοκηπίου σε μεγάλο ποσοστό. Αυτό που δεν είναι και τόσο εμφανές είναι τα πιθανά αποτελέσματα αυτής της αύξησης. Το πρόβλημα έχει μελετηθεί ευρέως τα τελευταία χρόνια από κορυφαίους επιστήμονες, κάτω από την κηδεμονία του Διακυβερνητικού Πλαισίου της Αλλαγής Κλίματος (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC). Τα συμπεράσματά τους είναι τα παρακάτω:

Όσον αφορά τις παρατηρούμενες αλλαγές, έχει γίνει μια πραγματική αλλά ανώμαλη αύξηση της μέσης τιμής της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της γης, από 0,3 ως 0,6 °C τα τελευταία 100 χρόνια, μία αξιολογούμενη αλλά ανώμαλη πτώση της πλειοψηφίας των παγετώνων της Γροιλανδίας και μία αύξηση της μέσης στάθμης της θάλασσας από 1 έως 2 mm ανά έτος [5].

Χρησιμοποιώντας πολύπλοκα μαθηματικά μοντέλα του κλίματος και υποθέτοντας ένα διπλασιασμό της συγκέντρωσης του CO₂ ή ισοδύναμου αερίου θερμοκηπίου, το οποίο μπορεί να συμβεί μέχρι το 2050 αν οι παρούσες τάσεις συνεχιστούν, οι μελέτες του IPCC προβλέπουν μία μέση αύξηση της θερμοκρασίας 1,5 έως 4,5 °C. Επίσης, είναι πιθανό να αυξηθεί η ετήσια καθίζηση και η μείωση του θαλάσσιου πάγου και του εποχιακού χιονιού.

2.3.1.2 Όξινη Βροχή

Άλλη μία παρενέργεια της καύσης των φυσικών καυσίμων είναι η όξινη βροχή. Μερικά από τα αέρια που απελευθερώνονται κατά την καύση, πιο συγκεκριμένα το διοξείδιο του θείου και τα οξείδια του αζώτου, συνδυάζονται με το νερό στη ατμόσφαιρα και σχηματίζουν θειικό και νιτρικό οξύ αντίστοιχα. Το αποτέλεσμα που προκύπτει από το παραπάνω είναι ότι κάθε βροχή που πέφτει είναι όξινη. Η όξινη αυτή βροχή μπορεί να προκαλέσει σημαντική ζημιά στη ζωή των φυτών, να επηρεάσει την ανάπτυξη των δασών και να διαβρώσει μεταλλικά αντικείμενα.

Περίπου το 70% του θειικού οξέος, που απελευθερώνεται στη Μεγάλη Βρετανία, προέρχεται από σταθμούς παραγωγής ενέργειας [3]. Προέρχεται κυρίως από την καύση κάρβουνου μαζί με πετρέλαιο, το οποίο περιέχει θείο σε συγκέντρωση που κυμαίνεται από 0,5 έως 5 % ανά μονάδα όγκου. Το φυσικό αέριο περιλαμβάνει πολύ λίγο θείο και δεν εμπλέκεται στην όξινη βροχή.

Το δεύτερο κύριο σύνολο εκροών, που προκαλεί όξινη βροχή, είναι των οξειδίων του αζώτου (NO_x). Τα οξείδια του αζώτου παράγονται από τις διαδικασίες καύσης υψηλής θερμοκρασίας, εν μέρει από την παρουσία αζωτούχων υλικών στα καύσιμα, όπως στο κάρβουνο ή στο ξύλο, και εν μέρει από την οξείδωση του αζώτου στον αέρα. Τα οξείδια του αζώτου παράγονται σε μεγαλύτερες ποσότητες από τις μηχανές των οχημάτων παρά από τους σταθμούς παραγωγής ενέργειας.

2.3.1.3 Μόλυνση των Θαλασσών

Δεν είναι όλες οι επιβλαβείς περιβαλλοντικές επιδράσεις των φυσικών καυσίμων αποτέλεσμα της καύσης τους. Υπόγεια ορυχεία κάρβουνου μπορούν να προκαλέσουν καθίζηση και να ανοίξουν ρήγματα δημιουργώντας μεγάλα σημάδια στην τοπογραφία. Οι σταθμοί παραγωγής ρεύματος και τα διυλιστήρια πετρελαίου μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές οπτικές επιπτώσεις και να δημιουργήσουν οσμές και άλλες εκροές τοπικά. Σ' αυτή την ενότητα, όμως, αναπτύσσονται οι επιδράσεις που έχει η μεταφορά πετρελαίου στις θάλασσες.

Καθώς το επίπεδο παραγωγής πετρελαίου έχει αυξηθεί τον 20^ο αιώνα, η ποσότητα του πετρελαίου που μεταφέρεται ανά τον κόσμο, κυρίως μέσω της θάλασσας, έχει επίσης αυξηθεί. Για να αντιμετωπιστεί αυτή η αύξηση, σε μία υψηλά ανταγωνιστική αγορά, το μέγεθος των πετρελαιοφόρων έχει αυξηθεί τόσο ώστε να θεωρούνται τα μεγαλύτερα εμπορικά πλοία. Ακόμα και σε μια συνηθισμένη λειτουργία, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να απελευθερώνονται μεγάλες ποσότητες πετρελαίου στις θάλασσες. Τα πετρελαιοφόρα γεμίζουν με νερό τις δεξαμενές τους για την επιστροφή. Όταν αυτό αδειάζεται, σημαντικές ποσότητες πετρελαίου απελευθερώνονται.

Παρ' όλο που η μεταφορά πετρελαίου είναι γενικώς μια ασφαλής βιομηχανία, το μέγεθος αυτής και το μέγεθος των πετρελαιοφόρων, έχει ως αποτέλεσμα, όταν συμβούν ατυχήματα να έχουν μεγάλη επίδραση. Αν και ο αριθμός των ατυχημάτων είναι μικρός συγκριτικά με τα δρομολόγια των πετρελαιοφόρων, κάθε χρόνο συμβαίνουν χιλιάδες περιστατικά που εμπλέκονται με το πετρέλαιο που χύνεται από τα πετρελαιοφόρα, με τις διαδικασίες αποθήκευσης και εφοδιασμού του πετρελαίου. Μεταξύ 1970 και 1985 συνέβησαν 186 σημαντικά ατυχήματα πετρελαιοφόρων, τα οποία είχαν σαν αποτέλεσμα την εκροή 1800 τόνων πετρελαίου το καθένα. Το 1989, το πετρελαιοφόρο Exxon Valdez προσάραξε στην Αλάσκα απελευθερώνοντας 39000 τόνους πετρελαίου, σχηματίζοντας μία πετρελαιοκηλίδα που κάλυπτε 1600 τετραγωνικά μίλια και προκαλώντας εκτεταμένη περιβαλλοντική μόλυνση [3].

Υπάρχει η τάση να θεωρείται ότι οι θάλασσες είναι τεράστιες δεξαμενές, οι οποίες μπορούν να απορροφήσουν απεριόριστες ποσότητες. Στην πραγματικότητα, ο βαθμός μόλυνσης από το πετρέλαιο είναι τέτοιος που συμπαγείς μάζες πετρελαίου είναι συνηθισμένες σχεδόν σε όλους του ωκεανούς της γης.

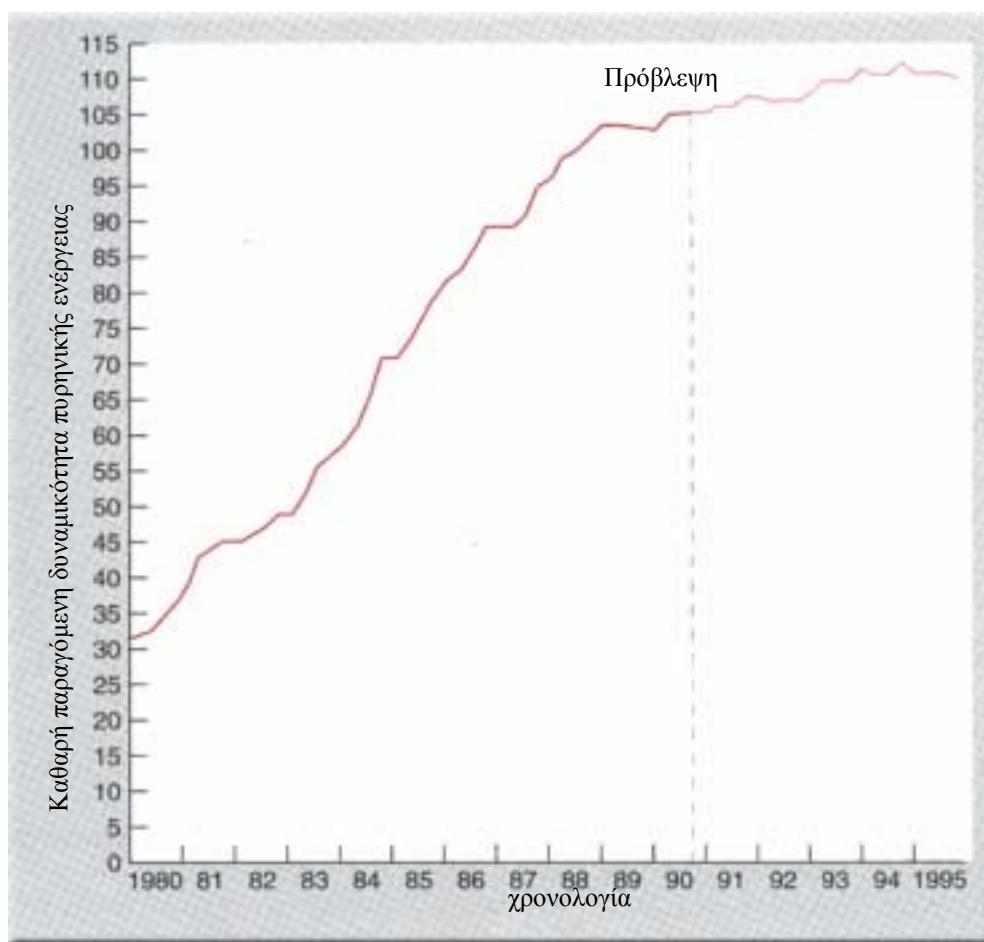
2.3.1.4 Ραδιενεργά Απόβλητα και Προβλήματα Διακοπής Λειτουργίας των Πυρηνικών Σταθμών

Το θέμα της πυρηνικής ενέργειας είναι μία από τις πιο συναισθηματικά φορτισμένες περιοχές του περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος. Πολλοί περιβαλλοντολόγοι ασχολούνται με την πυρηνική ενέργεια, όχι μόνο για την περιβαλλοντική καταστροφή αλλά και για αυτά που διαπιστώνουν σαν τα χειρότερα θέματα της βιομηχανοποιημένης κοινωνίας: σχέσεις με τις ένοπλες δυνάμεις, μυστικότητα, συγκέντρωση κ.α. Σύμφωνα με τα λεγόμενα τους είναι μία απελευθερωτική τεχνολογία. Αναπτύχθηκε στα προγράμματα πυρηνικών όπλων του Β' Παγκοσμίου Πολέμου και παρουσιάστηκε σαν λύση για το πρόβλημα καύσης φυσικών καυσίμων, μία ειρηνική δικαιολογία για του κινδύνους των πυρηνικών όπλων. Σήμερα προωθείται σαν «πράσινη» τεχνολογία, αφού δεν έχει σαν άμεσο αποτέλεσμα την απελευθέρωση διοξειδίου του άνθρακα κατά τη λειτουργία των πυρηνικών σταθμών παραγωγής ενέργειας.

Τις προηγούμενες δεκαετίες, η πυρηνική ενέργεια αναμενόταν να επικρατήσει στην ενεργειακή τεχνολογία καθώς η βιομηχανία ωρίμαζε. Αυτό δεν συνέβη. Είναι η κύρια παραγωγή ενέργειας μόνο στη Γαλλία και στο Βέλγιο και προμηθεύει σημαντικές ποσότητες

ηλεκτρικής ενέργειας σε διάφορες άλλες χώρες, αλλά παγκοσμίως είναι σχετικά δευτερεύουσα πηγή ενέργειας, συνεισφέροντας λιγότερο από 6% στην παγκόσμια ενέργεια.

Μετά το πυρηνικό ατύχημα του Τσερνομπίλ το 1986, η ανάπτυξη πυρηνικών σταθμών παραγωγής ενέργειας περιορίστηκε αισθητά. Στο Σχήμα 2.3.1 φαίνεται η αλλαγή στη παραγωγή πυρηνικής ενέργειας στην Ευρώπη μεταξύ 1980 και 1990, με τις έντονα αυξητικές τάσεις να αντανακλούν την προσδοκώμενη τελειοποίηση των πυρηνικών σταθμών παραγωγής ενέργειας. Είναι ενδεικτικό ότι η απότομη αύξηση στην αρχή της περιόδου δεν διατηρήθηκε.



Σχήμα 2.3.1 Δυναμικότητα ευρωπαϊκής παραγωγής πυρηνικής ενέργειας

Ένα ουσιαστικό πρόβλημα της πυρηνικής ενέργειας είναι ο σχηματισμός νέων στοιχείων ή ισοτόπων από γνωστά στοιχεία. Μερικά από αυτά τα παραπροϊόντα των πυρηνικών σταθμών παραγωγής ενέργειας είναι πολύ ραδιενεργά και κάποια απ' αυτά θα παραμείνουν ραδιενεργά για δεκάδες χιλιάδες χρόνια. Η ασφάλεια των μεθόδων διάθεσης τέτοιων υλικών είναι δύσκολο να εγγυηθεί, δεδομένης της αβεβαιότητας των ιδιοτήτων τους μετά από τόσο μεγάλες περιόδους. Η προοπτική να τεθούν εκτός λειτουργίας οι πυρηνικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας, οι οποίοι έχουν υπερβεί την ωφέλιμη ζωή τους, εξέθεσε παρόμοια προβλήματα.

Όπως κάθε πηγή συσσωρευμένης ενέργειας, ένας πυρηνικός σταθμός παραγωγής ενέργειας είναι ενδεχομένως επικίνδυνος. Μείζονες μονάδες πετρελαίου και φυσικού αερίου αντιπροσωπεύουν παρόμοια ενδεχόμενα ατυχήματα. Τα εργοστάσια πυρηνικής ενέργειας, όπως και τα εργοστάσια χημικών, είναι ενδεχομένως επικίνδυνα, λόγω των δηλητηριωδών χημικών που περιέχουν.

Βέβαια, η πυρηνική βιομηχανία πάντα ενδιαφερόταν για τους κινδύνους της τεχνολογίας της και έχει καταβάλει περισσότερες προσπάθειες από οποιαδήποτε άλλη βιομηχανία για να τους αντιμετωπίσει. Το κόστος των υλικών κατασκευής του δοχείου και των άλλων μέτρων ασφάλειας αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος του κόστους ενός πυρηνικού σταθμού παραγωγής ενέργειας και είναι μία από τις κύριες αιτίες που τέτοιοι σταθμοί είναι ακριβότεροι απ' αυτούς των φυσικών καυσίμων.

Σε όλα τα χρόνια λειτουργίας πυρηνικών σταθμών παραγωγής ενέργειας, έχει συμβεί μόνο ένα σημαντικό ατύχημα, αυτό του Τσερνομπίλ το 1986. Το αμέσως προηγούμενο σε έκταση ατύχημα στο νησί Three Mile στις ΗΠΑ το 1983 έφτασε πολύ κοντά στο να αποβεί η σημαντικότερη καταστροφή και να επηρεάσει χιλιάδες ανθρώπους. Παρ' όλο που τέτοια περιστατικά είναι σπάνια, έχουν συμβεί εκατοντάδες δευτερεύοντα ατυχήματα κατά τα οποία απελευθερώθηκαν σημαντικές ποσότητες ραδιενέργειας.

Η αντίδραση της πυρηνικής βιομηχανίας στα διάφορα μείζονα και δευτερεύοντα περιστατικά ήταν να αυξήσει τα επίπεδα ασφάλειας ακόμα περισσότερο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους της παραγόμενης πυρηνικής ενέργειας.

2.3.1.5 Προβλήματα Διαθεσιμότητας

Πριν είκοσι χρόνια, η κυριότερη ανησυχία σχετικά με τα φυσικά καύσιμα ήταν η εξάντληση τους. Το βιβλίο *Όρια της Ανάπτυξης* [6] αναφέρει μία σειρά υπολογιστικών προσομοιώσεων της μελλοντικής χρήσης πόρων, στις οποίες η παγκόσμια κατανάλωση καυσίμων συνεχίζει να αυξάνεται εκθετικά. Το προβλεπόμενο αποτέλεσμα ήταν η απόλυτη κατάρρευση των αποθεμάτων καυσίμων, ανεξάρτητα από την διαθέσιμη ποσότητα. Αυτοί οι φόβοι εστιάστηκαν στην πετρελαϊκή κρίση του 1973, όταν τα μέλη εθνών του OPEC (Organization of Petroleum Exporting Countries) κατάφεραν να συντονίσουν για πρώτη φορά τις πολιτικές τους και αύξησαν την τιμή του πετρελαίου. Ένας από τους παράγοντες που ώθησε τα μέλη του OPEC να ασκήσουν την μεγάλη επιρροή τους ήταν το γεγονός ότι οι Ηνωμένες Πολιτείες από εξαγωγέας πετρελαίου έγινε εισαγωγέας. Είχε εξαντλήσει όλο το πετρέλαιο των πετρελαιοπηγών του Τέξας.

Οι ανησυχίες της αναμενόμενης έλλειψης εκείνων των ημερών δεν φαίνονται άμεσες σήμερα. Η γενική αρχή ότι οι εναπομείνουσες ποσότητες φυσικών καυσίμων είναι περιορισμένες και δεν μπορούν να διαρκέσουν για πάντα είναι προφανής, αλλά ο υπολογισμός του πόσο θα διαρκέσουν δεν είναι απλή διαδικασία.

Κάθε χρόνο δημοσιεύονται διαγράμματα των «αποδεδειγμένων αποθεμάτων» του πετρελαίου, του φυσικού αερίου και του κάρβουνου. Τα αποδεδειγμένα αποθέματα θεωρούνται οι ποσότητες των οποίων οι γεωλογικές και οι μηχανικές πληροφορίες δηλώνουν με βεβαιότητα ότι μπορούν να ανακτηθούν στο μέλλον από γνωστά κοιτάσματα κάτω από τις υπάρχουσες οικονομίες και συνθήκες λειτουργίας. Σημειώνεται ότι τα διαγράμματα αυτά δεν είναι απόλυτα. Τα αποδεδειγμένα αποθέματα αυξάνονται καθώς αυξάνεται ο εντοπισμός. Ο εντοπισμός πετρελαίου είναι μία πολυέξοδη επιχείρηση. Ο βαθμός εξερεύνησης εξαρτάται από τις οικονομικές συνθήκες, ειδικότερα από την τιμή του πετρελαίου, και από τις πολιτικές συνθήκες.

Τα παγκόσμια αποδεδειγμένα αποθέματα πετρελαίου έχουν αυξηθεί από 540 δισεκατομμύρια βαρέλια που ήταν το 1969 στα 1000 δισεκατομμύρια το 1992, αλλά αυτό δεν σημαίνει ότι η δυναμικότητα των αποθεμάτων είναι απεριόριστη. Η γη έχει εξερευνηθεί με μεγάλη λεπτομέρεια από τις εταιρείες πετρελαίου και τα φθηνότερα, τα ευκολότερα και τα περισσότερο υποσχόμενα αποθέματα έχουν όλα βρεθεί. Εκτός από την τεράστια δεξαμενή

πετρελαίου στη Μέση Ανατολή, οι περισσότερες εκμεταλλεύσιμες πηγές πετρελαίου και φυσικού αερίου έχουν εξαντληθεί. Ο λόγος που δύσκολες πηγές πετρελαίου, όπως αυτές στη Βόρεια Θάλασσα και στην Αλάσκα έχουν επιβιώσει οικονομικά, είναι ότι η τιμή του πετρελαίου έχει αυξηθεί αρκετά, ώστε να αξίζει η εκμετάλλευσή τους.

Πρακτικά, τα πιο δύσκολα αποθέματα απαιτούν βαθύτερες γεωτρήσεις ή άντληση από δυσκολότερες περιοχές και τη χρήση περισσότερων υλικών και προσπάθειας για να αποδώσουν το ίδιο. Αυτό επίσης απαιτεί ενέργεια, και φτάνει στο σημείο η ενέργεια που απαιτείται για την άντληση δύσκολης πηγής να γίνεται ίση με την ενέργεια που αποκομίζεται από αυτή.

Ένα χρήσιμο διάγραμμα για την αξία των αποθεμάτων καυσίμου είναι ο λόγος αποθέματος προς παραγωγή. Αν τα αποδεδειγμένα αποθέματα που απομένουν στο τέλος ενός έτους, διαιρεθούν με την παραγωγή αυτού του έτους, το αποτέλεσμα είναι ο χρόνος εξάντλησης των εναπομεινάντων αποθεμάτων αν η παραγωγή συνεχιστεί με τον ίδιο ρυθμό.

Ο λόγος απόθεμα/παραγωγή για μία περιοχή δίνει επίσης μία ένδειξη της εξάρτησής της από τις ευνοούμενες περιοχές. Για παράδειγμα, ο λόγος απόθεμα/παραγωγή του πετρελαίου το 1992 ήταν λιγότερο από 10 χρόνια για τη δυτική Ευρώπη και 25 χρόνια για τη Βόρεια Αμερική. Είναι εμφανές ότι και οι δύο παραπάνω περιοχές θα αντιμετώπιζαν τρομερές δυσκολίες αν δε μπορούσαν να εισαγάγουν πετρέλαιο από τις χώρες της Μέσης Ανατολής, όπου ο λόγος είναι γύρω στα 100 χρόνια. Η Μέση Ανατολή έχει περίπου το 60% των αποθεμάτων πετρελαίου και μόνο η Σαουδική Αραβία περιλαμβάνει το 25% [3].

Η κατάσταση του φυσικού αερίου είναι κάπως διαφορετική, εξαιτίας των μεγάλων αποθεμάτων στην πρώην Σοβιετική Ένωση. Αυτή η περιοχή διαθέτει το 40% των παγκοσμίων αποθεμάτων φυσικού αερίου και ένα άλλο 40% είναι στην περιοχή OPEC. Πάλι, ο κόσμος εξαρτάται από έναν περιορισμένο αριθμό περιοχών που διαθέτουν τα περισσότερα αποθέματα. Ο λόγος απόθεμα/παραγωγή για τα παγκόσμια αποθέματα φυσικού αερίου το 1992 ήταν περίπου 65 χρόνια [3].

Τα παγκόσμια αποθέματα κάρβουνου είναι πολύ μεγαλύτερα και πολύ περισσότερο κατανομημένα. Το 1992 ο παγκόσμιος λόγος απόθεμα/παραγωγή για το κάρβουνο ήταν 200 χρόνια [3]. Δυστυχώς το κάρβουνο έχει μειονεκτήματα συγκρινόμενο με το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Η καύση κάρβουνου απελευθερώνει περισσότερο CO₂ ανά μονάδα ενέργειας από ότι το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο και περισσότερο διοξείδιο του θείου και οξείδια του αζώτου.

2.3.1.6 Κοινωνικά Προβλήματα

Η τελευταία κατηγορία προβλημάτων μελετάται αποτελείται από τα κοινωνικά προβλήματα. Τα βασικά θέματα εμφανίζονται να είναι τα παρακάτω:

2.3.1.6.1 Πολιτικές και Οικονομικές Τάσεις λόγω των Συγκεντρωμένων Αποθεμάτων

Στα πρώτα στάδια της βιομηχανικής επανάστασης, οι πηγές καυσίμων ήταν τοπικές και ευρέως κατανομημένες. Η βιομηχανική δραστηριότητα αναπτύχθηκε γύρω από ποταμούς, οι οποίοι παρείχαν υδροηλεκτρική ενέργεια και αργότερα γύρω από τοπικές πηγές κάρβουνου και κοκ. Καθώς η μεταφορά σχετίζεται με την βιομηχανική εξάπλωση και ανάπτυξη τα καύσιμα ξεκίνησαν να μεταφέρονται σε περισσότερο απομακρυσμένες περιοχές. Σήμερα, με τις περισσότερες προσιτές πηγές πετρελαίου να έχουν εξαντληθεί, τα καύσιμα μεταφέρονται

στον κόσμο από έναν μικρό αριθμό κύριων παραγωγικών περιοχών. Το αποτέλεσμα είναι ότι σημαντικά βιομηχανικά έθνη εξαρτώνται από τις προμήθειες των παραπάνω παραγωγικών χωρών, συγκεκριμένα από το πετρέλαιο της Μέσης Ανατολής, και είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα σε πιθανό αποκλεισμό από αυτές τις προμήθειες. Αυτή η ευαισθησία και η εξάρτηση αποτελεί σημαντικό παράγοντα στην διαμόρφωση παγκόσμιων πολιτικών. Μία σειρά σημαντικών οικονομικών και πολιτικών κρίσεων έχουν επέλθει, από την κρίση στο Σουέζ το 1956, στην πετρελαϊκή κρίση της δεκαετίας του '70 και στον πόλεμο του Κόλπου στις αρχές της δεκαετίας του '90. Εφόσον τα παραγωγικά έθνη είναι στρατιωτικά αδύναμα και τα καταναλωτικά έθνη είναι ισχυρότερα, οι τελευταίοι βρίσκονται υπό πίεση να κυριαρχήσουν στους πρώτους οικονομικά, πολιτικά και αν χρειαστεί στρατιωτικά για να διατηρήσουν την πρόσβασή τους στο πετρέλαιο.

2.3.1.6.2 Ευαισθησία λόγω της Συγκέντρωσης

Μία σχετική άποψη της τρωτότητας στη σημερινή μορφή βιομηχανοποίησης είναι η συγκέντρωση της παραγωγής και κατανομής καυσίμων. Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται σε σχετικά λίγους αλλά πολύ μεγάλους σταθμούς και στη συνέχεια διανέμεται σε όλη τη χώρα. Το πετρέλαιο εισάγεται με τεράστια πετρελαιοφόρα και μετατρέπεται σε καύσιμο σε μεγάλα διυλιστήρια για την παραπέρα διανομή του. Έχουν εκφραστεί ανησυχίες ότι τέτοιες μεγάλες μονάδες προσφέρουν αντικείμενο στόχου τρομοκρατών. Τα τελευταία χρόνια έχει γίνει αντιληπτό ότι κάτι τέτοιο στη Μέση Ανατολή θα είχε ως αποτέλεσμα την οικολογική αλλά και την οικονομική καταστροφή. Φυσιολογική αντίδραση για την πρόληψη ενός τέτοιου ενδεχομένου είναι να τεθούν μεγάλες πηγές σε προστασία και μυστικότητα, ώστε να αυξηθούν τα επίπεδα προστασίας.

2.3.1.6.3 Στρατιωτικοί Κίνδυνοι από την Πυρηνική Εξάπλωση

Όπως περιγράφηκε νωρίτερα, οι πυρηνικές βιομηχανίες ηλεκτρικής ενέργειας στις περισσότερες χώρες, που χρησιμοποιούν πυρηνική ενέργεια, (ΗΠΑ, Μεγάλη Βρετανία, Γαλλία, Ρωσία) αναπτύσσουν πυρηνικά όπλα. Οι πρώτοι πυρηνικοί αντιδραστήρες κατασκευάστηκαν για την παραγωγή πυρηνικών κεφαλών. Τα παραπάνω είχαν πάντα στενή σχέση όσον αφορά την τεχνολογία που χρησιμοποιούσαν, αφού τα στρατιωτικά έξοδα για έρευνα και ανάπτυξη για τα πυρηνικά όπλα αποτελούσε πρακτικά τη σημαντικότερη επιδότηση για τις βιομηχανίες παραγωγής πυρηνικής ενέργειας. Τα πυρηνικά καύσιμα δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα στα πυρηνικά όπλα. Χρειάζεται πολύ περισσότερη επεξεργασία. Παρ' όλα αυτά, αν μία χώρα επιθυμεί την ανάπτυξη πυρηνικών όπλων χωρίς να αποκαλυφθεί δημόσια το θέμα, μία προφανής προσέγγιση θα ήταν η κατασκευή πυρηνικών όπλων με μία βιομηχανία παραγωγής πυρηνικής ενέργειας.

2.4 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Ο όρος ανανεώσιμη ενέργεια μπορεί να οριστεί με διάφορους τρόπους: για παράδειγμα, οι Twidell και Weir (1986) όρισαν την ανανεώσιμη ενέργεια σαν την ενέργεια που εξασφαλίζεται από την επαναληπτική ή συνεχή κυκλοφορία της ενέργειας που επαναλαμβάνεται στο φυσικό περιβάλλον.

Ο Sorensen (1979) όρισε την ανανεώσιμη ενέργεια σαν την ενέργεια που ρέει και ανανεώνεται με τον ίδιο ρυθμό που αυτή χρησιμοποιείται, προσθέτοντας ότι ο όρος ανανεώσιμη ενέργεια μπορεί να περιλαμβάνει τη χρήση κάθε ενέργειας που είναι

αποθηκευμένη σε μία δεξαμενή και ξαναγεμίζεται με συγκρίσιμους ρυθμούς με αυτούς της εξαγωγής.

Πιο πρόσφατα, ο συμβουλευτικός όμιλος ανανεώσιμης ενέργειας της Μεγάλης Βρετανίας (Renewable Energy Advisory Group, REAG) όρισε την ανανεώσιμη ενέργεια σαν την έκφραση που χρησιμοποιείται για να καλυφτεί 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.

Οι περισσότερες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) προέρχονται από την ηλιακή ακτινοβολία, συμπεριλαμβανομένης της άμεσης χρήσης της ηλιακής ενέργειας για θέρμανση ή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και των έμμεσων μορφών της, όπως η ενέργεια από τον άνεμο, τα κύματα, το νερό, τα φυτά και τα ζώα. Οι παλιρροιακές πηγές ενέργειας είναι αποτέλεσμα της έλξης του φεγγαριού και του ηλίου και η γεωθερμική ενέργεια προέρχεται από την παραγόμενη θερμότητα στο εσωτερικό της γης. Η ενέργεια από τα απόβλητα όλων των ειδών συμπεριλαμβάνεται συχνά στον όρο ΑΠΕ.

Οι ΑΠΕ, στην τεχνολογική τους ανάπτυξη, κλιμακώνονται σε τεχνολογίες πολύ καλά εδραιωθείσες και ώριμες και σε εκείνες που χρειάζονται περισσότερη έρευνα και ανάπτυξη.

Η χρήση των ΑΠΕ σε ένα πιο σημαντικό επίπεδο απ' αυτό που είναι σήμερα, θα μπορούσε να αντικαταστήσει τουλάχιστον ένα σημαντικό μέρος της χρήσης φυσικών και πυρηνικών καυσίμων, ώστε να μειωθούν οι συνδεδεμένες με τα τελευταία περιβαλλοντικές επιδράσεις. Όλοι οι τύποι ΑΠΕ προκαλούν περιβαλλοντικές επιδράσεις, οι οποίες κλιμακώνονται από δευτερεύουσες σε κύριες, στην περίπτωση μεγάλων παλιρροιακών και υδροηλεκτρικών σχεδιασμών. Σχεδόν κανένα απ' αυτά δεν απελευθερώνει μολυσμένα αέρια ή υγρά κατά τη λειτουργία του.

Οι ανανεώσιμες πηγές είναι ασφαλείς και ανεξάντλητες, με την έννοια ότι δεν υπάρχει πρόβλημα εξάντλησης αποθεμάτων. Εκτός από μερικές εξαιρέσεις, οι προτεινόμενες ΑΠΕ είναι τοπικές και επομένως δεν μπορούν να παραχθούν από «ξένη ενέργεια». Μπορούν, επίσης, να προσθέσουν ποικιλία στον ενεργειακό εφοδιασμό. Μερικές, όπως οι μεγάλες παλιρροιακές και υδροηλεκτρικές μονάδες μπορούν να συντηρήσουν αυτόνομα εργοστάσια ενέργειας πολύ μεγαλύτερα από τους σταθμούς φυσικών καυσίμων ή πυρηνικών, αλλά οι περισσότερες είναι μικρότερες σε μέγεθος. Μικρότερα εργοστάσια ενέργειας προσφέρουν μικρότερο χρόνο υλοποίησης σχεδιασμού και κατασκευής και μειώνονται τα κόστη μεταφοράς και μετάδοσης.

2.4.1 Αρχές και Μέγεθος των ΑΠΕ

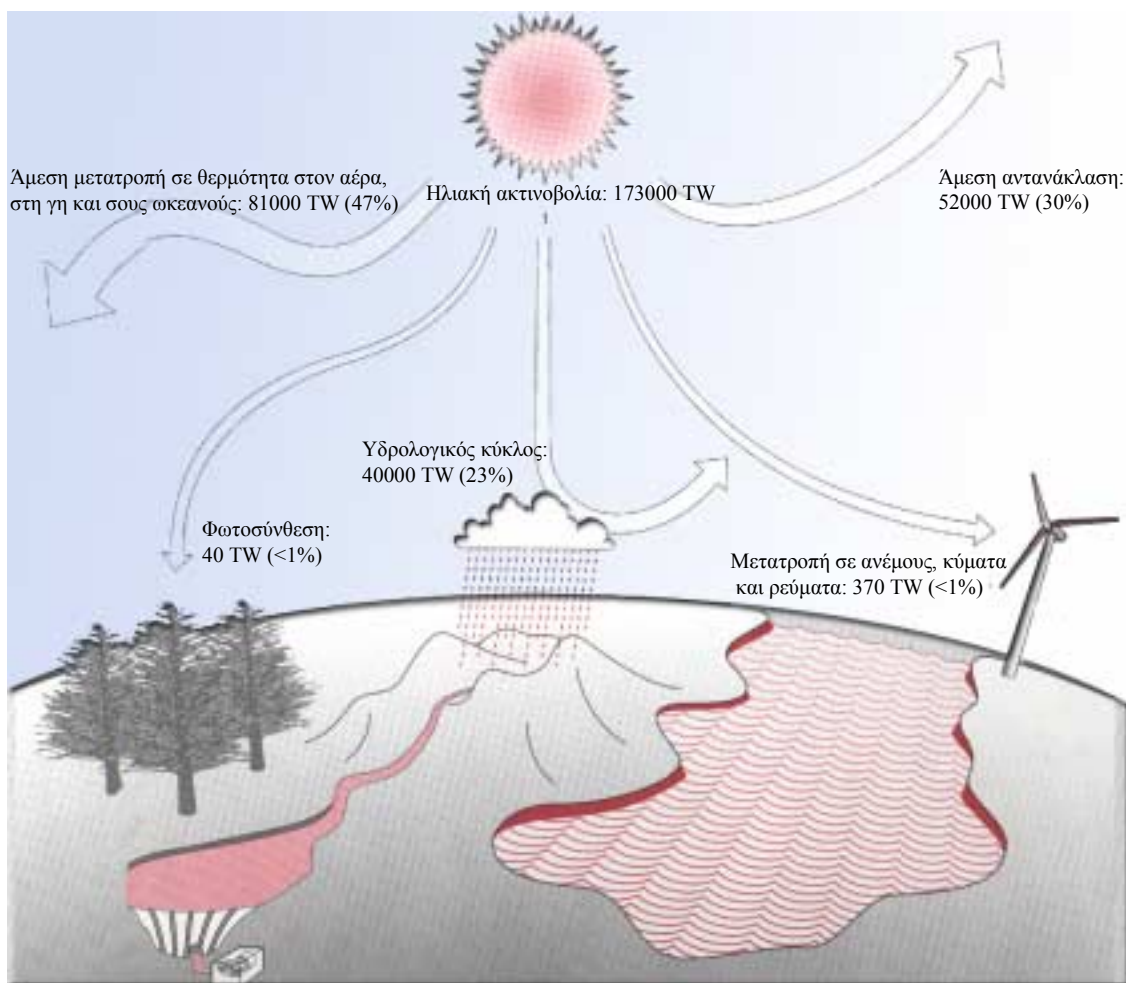
2.4.1.1 Τεχνολογίες Ηλιακής Προέλευσης

Το συνολικό μέγεθος της ροής ηλιακής ενέργειας από και προς τη γη και την ατμόσφαιρά της είναι τεράστιο. Η ποσότητα ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει κάθε χρόνο στη γη είναι [3]:

- ισοδύναμη με 160 φορές της αποθηκευμένης ενέργειας των παγκοσμίως αποδεδειγμένων αποθεμάτων των φυσικών καυσίμων.
- ισοδύναμη με περισσότερο από 15000 φορές της παγκόσμιας ετήσιας κατανάλωσης των φυσικών και πυρηνικών καυσίμων και της υδροηλεκτρικής ενέργειας.

Το θέμα δεν είναι η διαθεσιμότητα της ηλιακής ενέργειας, αλλά η πρακτικότητα μετατροπής της σε μορφές κατάλληλες για ανθρώπινη χρήση.

Το Σχήμα 2.4.1 δίνει μία γενική εικόνα της ποσότητας της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στη γη και πώς αυτή η ενέργεια μετασχηματίζεται στην ατμόσφαιρα και στην επιφάνεια του πλανήτη. Η ισορροπία της γήινης ενέργειας φαίνεται καθαρά. Το 30%, της συνολικής εισερχόμενης ακτινοβολίας, αντανάκλαται αμέσως πίσω στο διάστημα. Το μεγαλύτερο μέρος του εναπομείναντος 70% θερμαίνει την επιφάνεια της γης, την ατμόσφαιρα και τους ωκεανούς (47%), ή απορροφάται με την εξάτμιση του νερού (23%). Σχετικά μικρές ποσότητες χρησιμοποιούνται στην παραγωγή ανέμων και κυμάτων, και στη φωτοσύνθεση των φυτών. Τελικά, όλη η ενέργεια που χρησιμοποιείται στη γη εκπέμπεται πίσω στο διάστημα, με τη μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας.



Σχήμα 2.4.1 Η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε μορφές ΑΠΕ στη γη

2.4.1.2 Ηλιακή Ενέργεια

Η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να μετατραπεί σε χρήσιμη ενέργεια άμεσα, χρησιμοποιώντας διάφορες τεχνολογίες. Μπορεί να απορροφηθεί από ηλιακούς συλλέκτες για να εξασφαλιστεί η θέρμανση του νερού, σε σχετικά μικρές θερμοκρασίες. Τα κτίρια μπορούν να κατασκευαστούν με «παθητικά ηλιακά» χαρακτηριστικά, επιτρέποντας στην ηλιακή ακτινοβολία να συνεισφέρει στις απαιτήσεις θέρμανσης του χώρου τους. Μικροί ηλιακοί συλλέκτες χρησιμοποιούνται ευρέως για να προμηθεύουν ζεστό νερό για οικιακή χρήση σε πολλές χώρες, συμπεριλαμβανομένου της Ιαπωνίας, της Αυστραλίας και του Ισραήλ. Μπορεί επίσης να συγκεντρωθεί από παραβολικούς καθρέπτες για να παραχθεί θερμότητα πολλών

βαθών Κελσίου και αυτές οι υψηλές θερμοκρασίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε για σκοπούς θέρμανσης είτε για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Σταθμοί ηλιακής θερμικής ενέργειας βρίσκονται σε εμπορική λειτουργία στις ΗΠΑ. Η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να μετατραπεί απ' ευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας φωτοβολταϊκές συσκευές.

Η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να μετατραπεί σε χρήσιμη ενέργεια έμμεσα, μέσω άλλων μορφών ενέργειας. Η ηλιακή ενέργεια δημιουργεί τον καιρό της γης. Ένα μεγάλο ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας απορροφάται από τους ωκεανούς, οι οποίοι θερμαίνονται και εξατμίζονται για να προσθέσουν υγρασία στον αέρα. Η ηλιακή ακτινοβολία πέφτει περισσότερο κάθετα στις τροπικές περιοχές και πιο πλάγια στα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη και κατά συνέπεια θερμαίνει περισσότερο τις τροπικές παρά τις πολικές περιοχές. Εφόσον η θερμότητα ρέει από τις ζεστότερες προς τις πιο κρύες περιοχές, το αποτέλεσμα είναι μία μαζική ροή θερμότητας προς τους πόλους. Οι μεταφορείς αυτών των ροών κυκλοφορούν στους ωκεανούς και στην ατμόσφαιρα. Αυτή η ροή ζέστης, υγρού αέρα προς τους πόλους, όταν υπόκεινται στην περιστροφή της γης, δημιουργεί τους γνωστούς σχηματισμούς των μεγάλων στροβίλων που φαίνονται στους χάρτες του καιρού, οι οποίοι εμφανίζονται σαν κοιλότητες χαμηλής πίεσης και περιοχές υψηλής πίεσης και συνοδεύονται από καταιγίδες. Συγκεκριμένα, αυτοί οι στρόβιλοι μεταφράζονται σε ανέμους, από τους οποίους μπορεί να αποσπαστεί μέρος της ενέργειας τους με την κατασκευή ανεμογεννητριών.

Το νερό που εξατμίζεται από τον ήλιο συγκεντρώνεται με τη μορφή βροχής για να τροφοδοτήσει ρυάκια και ποταμούς, στα οποία μπορούμε να βάλουμε φράγματα και στροβίλους για να αποσπαστεί μέρος από την ενέργεια. Όταν οι άνεμοι περνάνε πάνω από μεγάλες περιοχές των ωκεανών δημιουργούν ταλαντώσεις στις επιφάνειες τους, γνωστές ως κύματα. Πάλι, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μία ποικιλία μηχανισμών για να αποσπαστεί αυτή η ενέργεια. Επομένως, ο αέρας, το κύμα και η ενέργεια του νερού είναι έμμεσες μορφές της ηλιακής ενέργειας.

2.4.1.3 Αιολική Ενέργεια

Περισσότερες από 20.000 ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούνται παγκοσμίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και περισσότερες από ένα εκατομμύριο για την άντληση νερού. Υπάρχουν πολλές περιοχές στις οποίες η αιολική ενέργεια είναι άφθονη.

2.4.1.4 Κυματική Ενέργεια

Μία ποικιλομορφία σχεδίων για μηχανισμούς για την απόσπαση ενέργειας από τα κύματα έχουν προταθεί. Πειραματικές εκδόσεις έχουν εξετασθεί, αλλά η τεχνολογία δεν έχει φτάσει ακόμα σε εμπορικό επίπεδο. Πολλές χώρες, συμπεριλαμβανομένου και της Μεγάλης Βρετανίας, έχουν σημαντικό δυναμικό για την εκτίμηση της κυματικής ενέργειας.

2.4.1.5 Υδροηλεκτρική Ενέργεια

Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι πολύ καλά εδραιωμένη, σαν μία από τις κύριες τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας στον κόσμο, παρέχοντας περίπου το 20% της παγκόσμιας ηλεκτρικής ενέργειας. Στον αναπτυσσόμενο κόσμο, το ποσοστό φτάνει το 40%. Η δυναμικότητα μεγάλων υδροηλεκτρικών σχημάτων μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή των συμβατικών σταθμών ενέργειας. Είναι αποδοτικά, αξιόπιστα και έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής. Επίσης, είναι ελεγχόμενα και προσθέτουν ένα στοιχείο αποθήκευσης σε ένα σύστημα εφοδιασμού ηλεκτρικής ενέργειας, αντισταθμίζοντας έτσι την μεταβαλλόμενη ένταση άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τις μεταβολές στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο,

τα φράγματα και οι λίμνες μεγάλων σχηματισμών έχουν σημαντικές περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιδράσεις. Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν πολλές τοποθεσίες με μεγάλα υδροηλεκτρικά φράγματα, που έχουν αναπτυχθεί τις τελευταίες δεκαετίες. Υπάρχουν επίσης πολυάριθμες συσκευές για την απόσπαση ενέργειας από μικρού και μεσαίου μεγέθους ποταμούς και ρυάκια, με ή χωρίς φράγματα.

2.4.1.6 Βιομάζα

Μία σημαντική κατηγορία ΑΠΕ προερχόμενη από τον ήλιο είναι βιολογική. Τα πράσινα φυτά απορροφούν ηλιακή ακτινοβολία στη φωτοσύνθεση, η οποία χρησιμοποιεί διοξείδιο του άνθρακα και νερό για να σχηματίσει σάκχαρα, τα οποία με τη σειρά τους αποτελούν τη βάση όλων των σύνθετων μορίων των φυτών. Το παραπάνω ονομάζεται βιομάζα από τα φυτά και είναι μία από τις κύριες πηγές καυσίμων στον κόσμο, ειδικότερα στον Τρίτο Κόσμο, όπου παρέχει το 40% των απαιτήσεων τους. Είναι σημαντική, επίσης, σε μερικές από τις πλούσιες σε δάση περιοχές των βιομηχανοποιημένων εθνών (8% στη Σουηδία, 14% στον Καναδά). Η αρχή του βιολογικού καυσίμου είναι το ξύλο, αλλά και το άχυρο και η κοπριά των ζώων χρησιμοποιείται ευρέως. Τα καύσιμα από τα ξύλα είναι ανανεώσιμη πηγή, αν ο ρυθμός με τον οποίο καταναλώνονται δεν είναι μεγαλύτερος από τον ρυθμό που ανανεώνονται. Πιο συχνά, όμως, χρησιμοποιείται μεγαλύτερος ρυθμός που οδηγεί στην καταστροφή των δασών. το οποίο έχει ως συνεπακόλουθο την ερήμωση και τη δημιουργία μολυσμένων περιοχών.

Τα αέρια και υγρά καύσιμα μπορούν επίσης να προέλθουν από βιολογικές πηγές. Πάνω από επτά εκατομμύρια μονάδες βιοαερίου έχουν κτιστεί, κατά ένα μεγάλο μέρος στην Κίνα. Οι περισσότερες απ' αυτές είναι πολύ μικρές μονάδες οι οποίες επεξεργάζονται τα βιολογικά απόβλητα, παράγοντας βιοαέριο, κυρίως μεθάνιο. Λίγο μεγαλύτερες μονάδες έχουν αναπτυχθεί στις βιομηχανοποιημένες χώρες. Υπάρχουν επίσης διάφοροι μέθοδοι για την παραγωγή υγρών καυσίμων είτε από ειδικά αναπτυσσόμενες σοδειές είτε από βιολογικά απόβλητα. Ένα σημαντικό πρόγραμμα στη Βραζιλία, για την παραγωγή αλκοόλ από ζαχαροκάλαμα, ώστε να χρησιμοποιηθεί σαν καύσιμο, είναι καθ' οδόν από τα μέσα της δεκαετίας του '70. Τα καύσιμα από αλκοόλ χρησιμοποιούνται σήμερα από 11 εκατομμύρια αυτοκίνητα. Αρχικά, το αλκοόλ αναμείχθηκε με βενζίνη, αλλά όλο και περισσότερο χρησιμοποιείται ανόθευτο από αυτοκίνητα που έχουν μετατραπεί για να το καίνε. Συγκεκριμένα, φυτικά λάδια χρησιμοποιούνται σαν υποκατάστατο του πετρελαίου. Άλλα σημαντικά προγράμματα για την παραγωγή βιολογικών υγρών καυσίμων έχουν υλοποιηθεί στις ΗΠΑ, Γερμανία και Γαλλία.

2.4.1.7 Ενέργεια από τα Απόβλητα

Η ενέργεια από τα απόβλητα εμπεριέχεται στον τίτλο της βιομάζας, αφού πολλά από τα απόβλητα, χαρτί, υπολείμματα φαγητών, νερά υπονόμων, έχουν άμεση ή έμμεση οργανική προέλευση. Πολύ μεγάλες ποσότητες αποβλήτων δημιουργούνται στους οικιακούς, οικονομικούς και βιομηχανικούς τομείς της οικονομίας. Τα απόβλητα θεωρούνται πιο πολύ ως πρόβλημα παρά ως πλεονέκτημα. Η τάση για επιχωμάτωση των σκουπιδιών είναι η πιο συνηθισμένη λύση.

Τα τελευταία χρόνια, σαν περιβαλλοντικό ενδιαφέρον, έχουν αναπτυχθεί προγράμματα ανακύκλωσης χαρτιού, τενεκέδων, γυαλιού και μερικών πλαστικών, τα οποία έχουν γίνει κοινότοπα.

Η επιχωμάτωση σκουπιδιών είναι από μόνη της ένας ελπιδοφόρος τρόπος παραγωγής χρήσιμης ενέργειας. Μία προσέγγιση είναι να σχεδιαστούν τοποθεσίες υγειονομικής ταφής για να ενθαρρυνθεί η φυσική διαδικασία της αποσάθρωσης και παραγωγής μεθανίου, το

οποίο μπορεί να αντληθεί με ρηχά πηγάδια. Αυτό είναι μία προσοδοφόρα βιομηχανία στις ΗΠΑ. Μία άλλη προσέγγιση είναι η αποτέφρωση των αποβλήτων και η ανάκτηση της θερμότητας είτε με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είτε για άλλους σκοπούς. Πολλά απόβλητα αποτεφρώνονται σήμερα, αλλά σε εργοστάσια των οποίων ο σκοπός είναι απλά να μειώσουν τα απόβλητα τους παρά να παράγουν ενέργεια.

2.4.1.8 Παλιρροιακή Ενέργεια

Η περιστροφή της σελήνης γύρω από τη γη με κύκλο 28 ημερών, οφείλεται στις βαρυτικές δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ τους. Ακόμα ένα αποτέλεσμα αυτών των δυνάμεων είναι ένα παλιρροιακό «φούσκωμα» της θάλασσας που αντικρίζει τη σελήνη και ακόμα ένα παλιρροιακό «φούσκωμα» στην αντίθετη πλευρά της γης, λόγω της φυγοκεντρικής δύναμης που αναπτύσσεται από την κοινή περιστροφή. Η μηνιαία περιστροφή της γης δεν πρέπει να συγχέεται με την καθημερινή περιστροφή της, η οποία προκαλεί αυτά τα δύο παλιρροιακά φουσκώματα για να περιστρέφεται η γη καθημερινά. Παρόμοια, αλλά μικρότερα, παλιρροιακά φουσκώματα δημιουργούνται από την βαρυτική έλξη μεταξύ της γης και του ήλιου. Οι ηλιακές και οι σεληνιακές επιδράσεις μπορούν να ενδυναμωθούν ή να αποδυναμωθούν η μία από την άλλη, και αυτό εξαρτάται από τις σχετικές θέσεις του ήλιου και της σελήνης, προκαλώντας έτσι μεταβολές στα ύψη των παλιρροιών.

Υπάρχουν συγκεκριμένες περιοχές, όπως το Severn Estuary, όπου τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά σχηματίζουν φυσικά χωνιά και περιοχές συντονισμού, τα οποία συγκεντρώνουν και ενισχύουν τις παλίρροιες. Μερικές τοποθεσίες, όπως αυτές με μεγάλους υδροηλεκτρικούς σχεδιασμούς, έχουν τη δυνατότητα να παράγουν τόση ηλεκτρική ενέργεια όση μεγάλοι συμβατικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας. Η τεχνολογία είναι παρόμοια με εκείνη της υδροηλεκτρικής. Η απόδοση των σταθμών παλιρροιακής ενέργειας είναι μεταβλητή, αλλά προβλέψιμη, αλλά δεν συμπίπτει απαραίτητα με τις μεταβολές της ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας.

Η πιο διαδεδομένη προσέγγιση για τη χρησιμοποίηση της παλιρροιακής ενέργειας είναι να φραχθεί η εκβολή ποταμού και να χρησιμοποιηθούν στρόβιλοι για να αποσπαστεί η άμπωτης και/ή η ροή των παλιρροιών.

Ο μεγαλύτερος σταθμός παλιρροιακής ενέργειας βρίσκεται στο La Rance, στη Βρετανία και έχει δυναμικότητα 240 MW. Υπάρχει ένας αριθμός μικρότερων τεχνητών φραγμάτων στον Καναδά, στην πρώην Σοβιετική Ένωση και στην Κίνα.

Κατ' αρχήν, η απόσπαση παλιρροιακής ενέργειας αυξάνει την τριβή της περιστροφής της γης και τείνει να μειώσει την ταχύτητα περιστροφής της με τα χρόνια. Στην πράξη, η ποσότητα της παλιρροιακής ενέργειας που μπορεί να ανακτηθεί είναι πολύ μικρή συγκρινόμενη με τη συνολική πηγή και κατά συνέπεια η επίδραση είναι αμελητέα.

2.4.1.9 Γεωθερμική Ενέργεια

Το εσωτερικό της γης είναι πολύ θερμότερο από ότι η επιφάνεια της, με υπολογιζόμενες θερμοκρασίες πολλών χιλιάδων βαθμών Κελσίου. Αυτή η υψηλή θερμοκρασία προέκυψε από την βαρυτική συστολή της γης όταν δημιουργήθηκε, αλλά αυτή έχει αυξηθεί από τη θερμοκρασία της διάσπασης μικρών ποσοτήτων ραδιενεργών υλικών που περιέχονται στον πυρήνα της γης. Υπάρχουν μερικές περιοχές όπου η ζεστή πέτρα είναι πολύ κοντά ή πραγματικά στην επιφάνεια της γης και θερμαίνει το νερό των υπόγειων πηγών. Τέτοιες περιοχές παρέχουν ζεστό νερό ή ατμό για αιώνες. Πάνω από 20 χώρες χρησιμοποιούν γεωθερμικό ατμό για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και πολλές άλλες για τη θέρμανση

του νερού. Η συνηθισμένη τεχνική είναι η χρήση φυσικώς παραγόμενου ατμού, αντλούμενος από βαθιές τρύπες. Είναι επίσης δυνατό να γίνουν βαθιές γεωτρήσεις, να εισαχθούν εκρηκτικά ή άλλοι μηχανισμοί ώστε να σπάσει η πέτρα και να αντληθεί νερό μέσω της θραύσης για την απόσπαση θερμότητας.

Αν ο ατμός ή το νερό αντλείται με μεγαλύτερο ρυθμό από ότι η θερμότητα αναπληρώνει τις περιβάλλουσες πέτρες, στη γεωθερμική περιοχή θα μειωθεί η δραστηριότητα της, μετά από ένα αριθμό ετών, και θα εξαντληθεί. Νέες γεωτρήσεις θα πρέπει να γίνουν στην περιοχή. Όταν λειτουργεί έτσι, η γεωθερμική ενέργεια δεν είναι ανανεώσιμη. Παρ' όλα αυτά, είναι δυνατή η λειτουργία της με ανανεώσιμη μέθοδο, διατηρώντας το ρυθμό απόσπασης χαμηλότερο από το ρυθμό ανανέωσης.

2.5 Η Αιολική Ενέργεια

2.5.1 Εισαγωγή

Ο άνεμος είναι αποτέλεσμα της μεγάλης ποσότητας ηλιακής ενέργειας που δέχεται ο ισσημερινός σε σχέση με τους πόλους γεγονός που προκαλεί την ευρεία κλίμακα μεταφορά ρευμάτων στην ατμόσφαιρα. Εκτιμάται ότι περίπου το 1% της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας μετατρέπεται σε αιολική ενέργεια. Η ηλιακή ενέργεια που δέχεται η γη σε 10 μέρες είναι ισοδύναμη με την ενέργεια που μπορούν να παράγουν τα παγκόσμια αποθέματα σε καύσιμα (λιγνίτη, πετρέλαιο, υγραέριο). Η διαπίστωση αυτή υποδεικνύει το πόσο μεγάλη πηγή ενέργειας είναι ο άνεμος. Το 1% της ημερήσιας αιολικής ενέργειας ισούται με τις ημερήσιες παρούσες ενεργειακές ανάγκες. Κανένας βέβαια δεν υποστηρίζει ότι η αιολική ενέργεια είναι πανάκεια, αλλά καθώς όμως πραγματοποιείται συνεχής πρόοδος, είναι ενθαρρυντικό τόσο τεχνολογικά όσο και οικονομικά να γνωρίζουμε ότι οι γήινες πηγές ενέργειας είναι τόσο μεγάλες.

Μια λεπτομερής έρευνα που έγινε το 1982 από επιστήμονες όλων των ευρωπαϊκών χωρών, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι στην Ευρώπη υπάρχουν σημεία κατάλληλα για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών 400.000 MW, οι οποίες θα μπορούν να παράγουν συνολικά 4.000 TWh ηλεκτρικής ενέργειας. Η ενέργεια αυτή είναι περίπου το τριπλάσιο των αναγκών της Ευρώπης και αντιστοιχεί σε μία πετρελαιοπηγή με παραγωγή 16 εκατομμύρια βαρέλια.

Αυτό που μπορούμε να τονίσουμε είναι ότι αν και ο άνεμος είναι μία στοχαστική πηγή ενέργειας, αν εξεταστεί μέρα με τη μέρα, είναι μια αξιόπιστη πηγή ενέργειας, αν εξεταστεί χρόνο με το χρόνο. Τα ολοκληρωμένα συστήματα τα οποία έχουν τελειοποιηθεί τα τελευταία χρόνια δείχνουν ότι η περιοδικότητα της αιολικής ενέργειας δεν αποτελεί πια φράγμα για τη χρήση της. Είναι πλέον προφανές, ότι η κύρια χρήση του ανέμου είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση ανεμογεννητριών, παράλληλα συνδεδεμένων με δίκτυα ηλεκτρικού ρεύματος ή παράλληλα με κινητήρες diesel για απομακρυσμένες περιοχές ή μεμονωμένες για εξειδικευμένη χρήση.

2.5.2 Η Αιολική Ενέργεια

Η αιολική ενέργεια ορίζεται ως η κινητική ενέργεια των αερίων μαζών της ατμόσφαιρας [7]. Έτσι η κινητική ενέργεια μιας αέριας μάζας m (kg) που κινείται με ταχύτητα u (m/sec) θα είναι:

$$E_k = \frac{1}{2} m u^2 \quad \text{Εξ. 2.5.1}$$

Η μάζα αυτή αν υποθέσουμε ότι διέρχεται μέσα από μία νοητή επιφάνεια A (m²), έχει ρυθμό ροής:

$$\frac{dm}{dt} = \rho A u \quad \text{Εξ. 2.5.2}$$

Έτσι η ισχύς του ανέμου είναι:

$$P = \frac{E_k}{dt} = \frac{1}{2} \frac{dm}{dt} u^2 \Rightarrow$$

$$P = \frac{1}{2} \rho A u^3 \quad \text{Εξ. 2.5.3}$$

Η πυκνότητα του αέρα δίνεται από την εξίσωση:

$$\rho \cong 0,4644 \frac{P_0 - P_u}{\theta} \quad \text{Εξ. 2.5.4}$$

όπου :

ρ	:	Η πυκνότητα του αέρα σε kg/m ³
P_0	:	Η ατμοσφαιρική πίεση σε mm Hg
P_u	:	Η πίεση υδρατμών σε mm Hg
θ	:	Η θερμοκρασία του αέρα σε °C

Η πυκνότητα του αέρα μπορεί να υπολογιστεί και από την εξίσωση:

$$\rho = 348,8 \times 10^3 \frac{P_a}{\theta} \quad \text{Εξ. 2.5.5}$$

όπου :

ρ	:	Η πυκνότητα του αέρα σε kg/ m ³
P_a	:	Η ατμοσφαιρική πίεση σε mm Hg
θ	:	Η θερμοκρασία του αέρα σε °C

Οι πιο πιθανές πρακτικά τιμές της πυκνότητας του αέρα είναι από 1,201 kg/m³ μέχρι 1,290 kg/m³ [8]. Έτσι η Εξίσωση 2.5.3 μπορεί να γραφεί:

$$P = (0,6 - 0,645) A u^3 \quad \text{Εξ. 2.5.6}$$

και αν θεωρήσουμε τη μέση τιμή των παραπάνω για την πυκνότητα του αέρα, η εξίσωση γίνεται:

$$P = 0,623 A u^3 \quad \text{Εξ. 2.5.7}$$

Από τις παραπάνω εξισώσεις παρατηρείται ότι η ταχύτητα του ανέμου, η οποία μεταβάλλεται σχετικά με το χρόνο, επηρεάζει άμεσα την ισχύ του. Έτσι είναι επιβεβλημένη η προσεκτική μελέτη των σχετικών μετεωρολογικών δεδομένων κάθε περιοχής, προκειμένου να επιλεγεί μία κατάλληλη αιολική μηχανή.

Με τη βοήθεια της Εξίσωσης 2.5.3 μπορεί να υπολογιστεί το Φυσικά Διαθέσιμο Αιολικό Δυναμικό μιας περιοχής που ορίζεται ως η κινητική ενέργεια των αερίων μαζών που κινούνται κάθε έτος πάνω από το έδαφος της περιοχής αυτής και φυσικά εξαρτάται από τις ιδιαίτερες ατμοσφαιρικές συνθήκες και την τοπογραφία της.

Το μέρος του Φυσικά Διαθέσιμου Αιολικού Δυναμικού, που μπορεί θεωρητικά να αξιοποιηθεί από τις αιολικές μηχανές, ονομάζεται Τεχνικά Αξιοποιήσιμο Αιολικό Δυναμικό. Το μέρος του δυναμικού αυτού, που είναι οικονομικά εφικτό να αξιοποιηθεί, καλείται Οικονομικά Αξιοποιήσιμο Αιολικό Δυναμικό [7][9].

2.5.3 Μεταβολή της Ταχύτητας του Ανέμου με το Ύψος

Η ταχύτητα του ανέμου μεταβάλλεται σε συνάρτηση με το ύψος. Ο G. Hellman στις αρχές του αιώνα πρότεινε την παρακάτω εξίσωση για τον υπολογισμό της ταχύτητας του ανέμου [8]:

$$u_h = 10^{-3} u_{10} [233,7 + 656 \log(h + 4,75)] \quad \text{Εξ. 2.5.8}$$

όπου :

- u_h : Η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος h σε mph
- h : Το ύψος σε m
- u_{10} : Η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος $h=10\text{m}$

Σύμφωνα όμως με νεότερες έρευνες έχει βρεθεί ότι για ύψη κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, η ταχύτητα του ανέμου μεταβάλλεται σύμφωνα με την εξίσωση:

$$u(h) = \left(\frac{U^*}{k} \right) \left[\ln \left(\frac{h}{z_0} \right) - \phi \left(\frac{h}{k} \right) \right] \quad \text{Εξ. 2.5.9}$$

όπου :

- $u(h)$: Η οριζόντια συνιστώσα της ταχύτητας του ανέμου σε ύψος h
- U^* : Ποσότητα που σχετίζεται με την αντίσταση της επιφάνειας του εδάφους (friction velocity)
- k : Μία σταθερά ($=0,4$)
- $\phi(h/k)$: Εμπειρική σταθερά που περιγράφει τη σταθερότητα της ατμόσφαιρας
- z_0 : Συντελεστής που εκφράζει την τραχύτητα του εδάφους (m)

Στην πράξη δεχόμαστε $\phi(h/k) = 0$, αφού αν η μεταβολή της θερμοκρασίας είναι μικρότερη από 1°C ανά 100 m , τότε $\phi(h/k) \rightarrow 0$. Τότε η Εξίσωση 2.5.9 γίνεται:

$$u(h) = \left(\frac{U^*}{k} \right) \ln \left(\frac{h}{z_0} \right) \quad \text{Εξ. 2.5.10}$$

με τη βοήθεια της οποίας, για δύο ύψη h_1 και h_2 :

$$\frac{u(h_2)}{u(h_1)} = \frac{\ln \left(\frac{h_2}{z_0} \right)}{\ln \left(\frac{h_1}{z_0} \right)} \quad \text{Εξ. 2.5.11}$$

Ο παραπάνω τύπος ισχύει για ύψη μέχρι 60 m από το έδαφος. Για τα ελληνικά νησιά ισχύει $z_0=0,3\text{m}$.

Μία άλλη σχέση της ταχύτητας του ανέμου σχετικά με το ύψος είναι η:

$$\frac{u_{h_1}}{u_{h_2}} = \left(\frac{h_1}{h_2} \right)^\alpha \quad \text{Εξ. 2.5.12}$$

όπου :

- u_{h_1} : Η ζητούμενη ταχύτητα του ανέμου σε ύψος h_1
- u_{h_2} : Η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος αναφοράς h_2 . Συνήθως $h_2=10\text{m}$

α : Εκθέτης που εξαρτάται από τη φύση του εδάφους της τοποθεσίας μέτρησης της ταχύτητας του ανέμου. Συνήθως $\alpha=1/7-1/4$

Στον Πίνακα 2.5.1 δίνονται διάφορες τιμές του συντελεστή α για τις αντίστοιχες τραχύτητες του εδάφους.

Πίνακας 2.5.1 Τιμές του συντελεστή α για χαρακτηριστικές περιπτώσεις τραχύτητας του εδάφους

Μορφή Εδάφους	Τραχύτητα	Συντελεστής (α)
Πεδινό	0-20	0,08-0,12
Μικρές Ανωμαλίες	20-200	0,13-0,16
Δασώδες	1000-1500	0,20-0,23
Μεγάλες Ανωμαλίες	1000-4000	0,25-0,40

Στην πράξη παίρνουμε:

- Για ελεύθερα πεδία ροής του αέρα, όπως είναι οι περιοχές θαλασσών και αεροδρομίων: $\alpha=0,17$
- Για περιοχές μικρών πόλεων με μικρές κατασκευές: $\alpha=0,20$
- Για πυκνοκατοικημένες πόλεις μεγάλων κτιρίων: $\alpha=0,25$

2.5.4 Η έννοια της Τύρβης

Ο όρος τύρβη [7] αντιστοιχεί σε ένα ενδεικτικό μέγεθος που περιγράφει τις τυχαίες απότομες μεταβολές της ταχύτητας του αέρα σε σχέση με τη μέση ταχύτητα. Αριθμητικά η τύρβη υπολογίζεται αφαιρώντας από τη στιγμιαία, τη μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου.

Έτσι αν η μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου για περίοδο ολοκλήρωσης T είναι:

$$\bar{U} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt \quad \text{Εξ. 2.5.13}$$

τότε η τύρβη ορίζεται ως:

$$u(t) = U(t) - \bar{U} \quad \text{Εξ. 2.5.14}$$

και η ένταση τύρβης:

$$\overline{u^2} = \frac{1}{T} \int_0^T [u(t) - \bar{u}]^2 dt \quad \text{Εξ. 2.5.15}$$

όπου : T : η περίοδος ολοκλήρωσης της μέσης ταχύτητας

Μέτρο της μεταβλητότητας της τύρβης αποτελεί η αδιάστατη τιμή της που είναι ίση με:

$$I = \frac{\sqrt{u^2}}{U} \quad \text{Εξ. 2.5.16}$$

και μπορεί να εκφραστεί σε σχέση με το ύψος:

$$I(z) = \frac{1}{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad \text{Εξ. 2.5.17}$$

Από την Εξίσωση 2.5.17 παρατηρείται ότι σε μεγαλύτερα ύψη αναμένουμε μικρότερα επίπεδα τύρβης, πράγμα που είναι ούτως ή άλλως λογικό, αφού ένας από τους παράγοντες που συντελούν στο φαινόμενο της τύρβης είναι και οι ανωμαλίες του εδάφους.

2.5.5 Αξιολόγηση Αιολικού Δυναμικού

Για να γίνει αξιολόγηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής, θα πρέπει σε πρώτη φάση να γίνουν οι απαραίτητες μετρήσεις και σε δεύτερη φάση η εκτίμηση των παραμέτρων του ανέμου, όπως προκύπτουν από τα ανεμολογικά δεδομένα που μετρήθηκαν. Το σφάλμα στην εκτίμηση του αιολικού δυναμικού δεν μπορεί να αποφευχθεί, καθώς ο άνεμος είναι ένα στοχαστικό φαινόμενο, πράγμα που σημαίνει ότι έχει ιδιαίτερη σημασία οι μετρήσεις και οι εκτιμήσεις του αιολικού δυναμικού να είναι όσο το δυνατό πιο ακριβείς.

2.5.5.1 Ανεμολογικές Μετρήσεις

Οι βασικές μεταβλητές του ανέμου που μας ενδιαφέρουν είναι η ταχύτητα και η διεύθυνση. Σε τακτά χρονικά διαστήματα αυτές οι δύο παράμετροι μετρώνται με τη βοήθεια ειδικών συσκευών που ονομάζονται ανεμόμετρα, για να αποτελέσουν τα ανεμολογικά δεδομένα της περιοχής.

Οι τύποι των ανεμόμετρων ποικίλουν. Οι διαφορές τους εντοπίζονται στον τρόπο λειτουργίας, στην ακρίβεια και στη συχνότητα δειγματοληψίας, με πιο συνήθη αυτή του 1Hz.

Συνήθως, όταν απαιτείται επεξεργασία αιολικών δεδομένων ενός ή περισσότερων ετών, χρησιμοποιούνται μέσες ωριαίες τιμές, διότι, εάν καταγραφόταν, μόνο για την ταχύτητα, όλες οι τιμές που μας δίνει ένα ανεμόμετρο με συχνότητα δειγματοληψίας π.χ. 1Hz, τότε θα είχαμε 94.608.000 τιμές για περίοδο 3 χρόνων, πράγμα που θα έκανε την διαδικασία επεξεργασίας και εκτίμησης ιδιαίτερα επίπονη. Τέλος το ύψος αναφοράς για τη μέτρηση της ταχύτητας του αέρα είναι 10m.

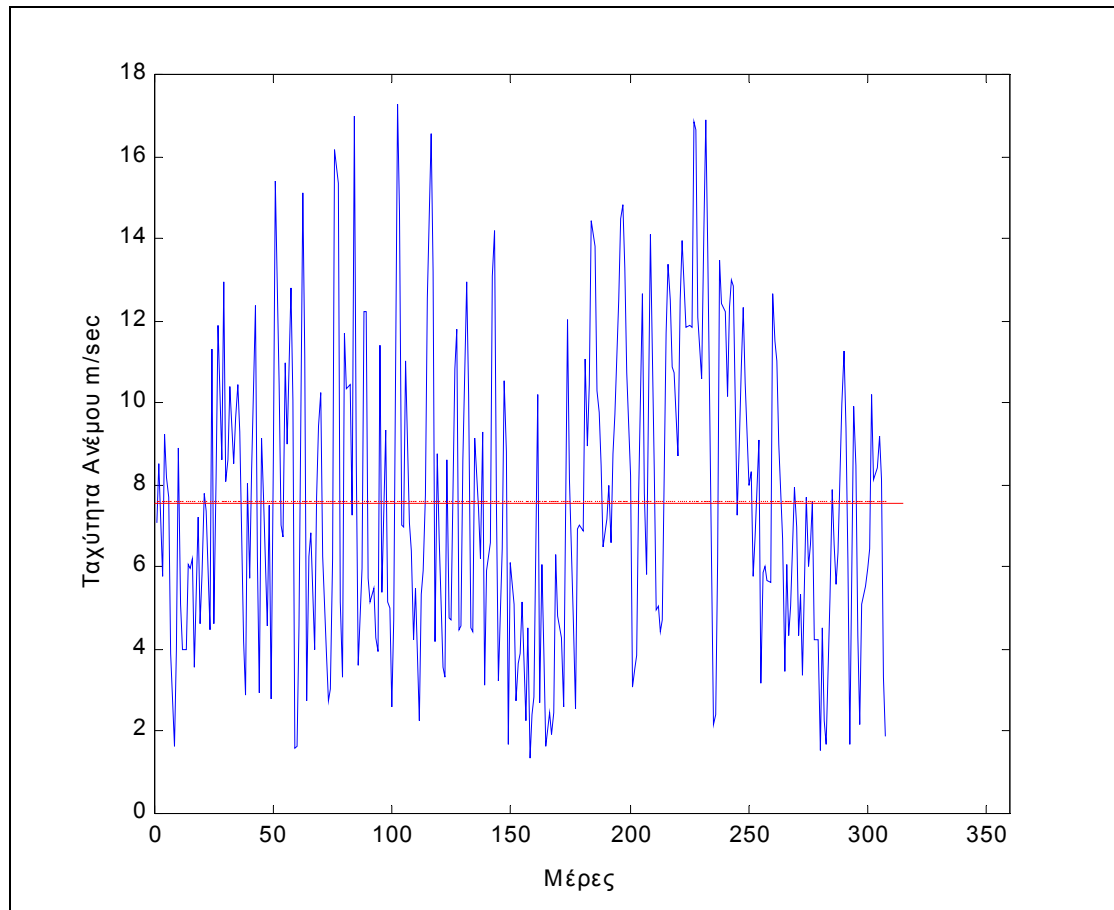
2.5.5.2 Εκτίμηση του Αιολικού Δυναμικού

Η εκτίμηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής είναι μία απαραίτητη διαδικασία που έχει σκοπό τη διερεύνηση της δυνατότητας του να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με απώτερο σκοπό την κάλυψη συγκεκριμένων αναγκών της περιοχής. Πρέπει, επομένως, να εξεταστούν οι μεταβολές της τιμής και της διεύθυνσης του ανέμου για την χρονική περίοδο που μας ενδιαφέρει.

2.5.5.2.1 Η Μέση Τιμή της Ταχύτητας

Είναι μία πρώτη εκτίμηση του κατά πόσο η περιοχή έχει σημαντικό αιολικό δυναμικό. Εάν η μέση ταχύτητα μιας περιοχής δεν υπερβαίνει τα 5 m/sec, τότε είναι ακατάλληλη, ενώ αντίθετα τιμές από 8 m/sec και άνω θεωρούνται ιδανικές περιπτώσεις.

Στο Σχήμα 2.5.1 παρουσιάζεται η μεταβολή της μέσης ωριαίας ταχύτητας, καθώς και η μέση τιμή σε μια χαρακτηριστική περίπτωση.



Σχήμα 2.5.1 Διάγραμμα μεταβολής της ταχύτητας του ανέμου και μέσης τιμής

2.5.5.2.2 Η Τυπική Απόκλιση των τιμών της Ταχύτητας του Ανέμου

Έχει ιδιαίτερη σημασία να είναι γνωστό πόσο κοντά στη μέση τιμή βρίσκονται οι στιγμιαίες τιμές που μετρήθηκαν. Είναι, λοιπόν, πολύ σημαντικό να είναι γνωστή η τυπική απόκλιση των τιμών της ταχύτητας, γιατί έτσι μπορούν βγουν συμπεράσματα για το αν και κατά πόσο υπάρχουν σοβαρές μεταπτώσεις σε μια ενδεχόμενη παραγωγή ενέργειας.

2.5.5.2.3 Το Ιστογράμμο Πιθανότητας της Ταχύτητας του Ανέμου

Το ιστόγραμμα πιθανότητας προκύπτει από τη χρονοσειρά ακολουθώντας την εξής διαδικασία [9]:

Αν u_0 η ελάχιστη και u_n η μέγιστη ωριαία τιμή της ταχύτητας του ανέμου, χωρίζεται το διάστημα $[u_0, u_n]$ σε n ίσα υποδιαστήματα - κλάσεις $[u_0, u_1], [u_1, u_2] \dots [u_{n-1}, u_n]$. Για κάθε κλάση i , υπολογίζεται το ποσοστό των μετρήσεων q_i που ανήκουν σ' αυτήν.

$$q_i = \frac{\pi_i}{\Pi} \quad \text{Εξ. 2.5.18}$$

όπου : π_i : Μετρήσεις στην κλάση $[u_{i-1}, u_i]$
 Π : Συνολικές παρατηρήσεις

Τα q_i εκφράζουν την πιθανότητα να πνέει άνεμος ταχύτητας μεταξύ u_{i-1} και u_i και η γραφική τους παράσταση ως προς τις κλάσεις αποτελεί το ιστόγραμμα πιθανότητας.

Ένα άλλο ιστόγραμμα μπορεί να προκύψει, αν τα υποδιαστήματα είναι της μορφής: $[u_0, u_n], [u_1, u_n] \dots [u_{n-1}, u_n]$. Τότε σε ένα διάστημα $[u_i, u_n]$ το q_i εκφράζει την πιθανότητα να πνέει άνεμος ταχύτητας μεγαλύτερης από u_i . Η καμπύλη που προκύπτει σ' αυτή την περίπτωση καλείται καμπύλη διαρκείας.

Η παραγόμενη πιθανοθεωρητική καμπύλη πολλές φορές μπορεί να προσεγγιστεί από μία γνωστή κατανομή, γεγονός που βοηθάει στην μοντελοποίηση της στοχαστικής διαδικασίας του ανέμου. Συνήθως η κατανομή Weibull (k, c) και σε κάποιες περιπτώσεις η κατανομή Reyleigh προσεγγίζουν ικανοποιητικά την καμπύλη διάρκειας.

Τα στοιχεία της κατανομής Weibull είναι:

$$f(u) = \frac{k}{c} \left(\frac{u}{c} \right)^{k-1} \exp \left[- \left(\frac{u}{c} \right)^k \right] \quad \text{Εξ. 2.5.19}$$

όπου : u : Η ταχύτητα του ανέμου
 k, c : Παράμετροι της καμπύλης

Η μέση τιμή μ και η διασπορά σ^2 της κατανομής Weibull είναι:

$$\mu = c \Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right) \quad \text{Εξ. 2.5.20}$$

$$\sigma^2 = c^2 \left[\Gamma \left(1 + \frac{2}{k} \right) - \Gamma^2 \left(1 + \frac{1}{k} \right) \right] \quad \text{Εξ. 2.5.21}$$

όπου : $\Gamma(x) = \int_0^{\infty} t^{x-1} e^{-t} dt$: η συνάρτηση Γάμμα

2.5.5.2.4 Οι Μεταβολές της Διεύθυνσης της Ταχύτητας του Ανέμου

Είναι πολύ σημαντικό να είναι γνωστές οι κύριες διευθύνσεις που πνέουν οι άνεμοι, γιατί βάση αυτών γίνεται ο προσανατολισμός των ανεμογεννητριών. Οι συχνές και απότομες μεταβολές της διεύθυνσης μειώνουν την απόδοση των ανεμογεννητριών, γιατί δεν είναι δυνατή η ακαριαία προσαρμογή τους στις νέες διευθύνσεις.

2.5.6 Ανεμογεννήτριες

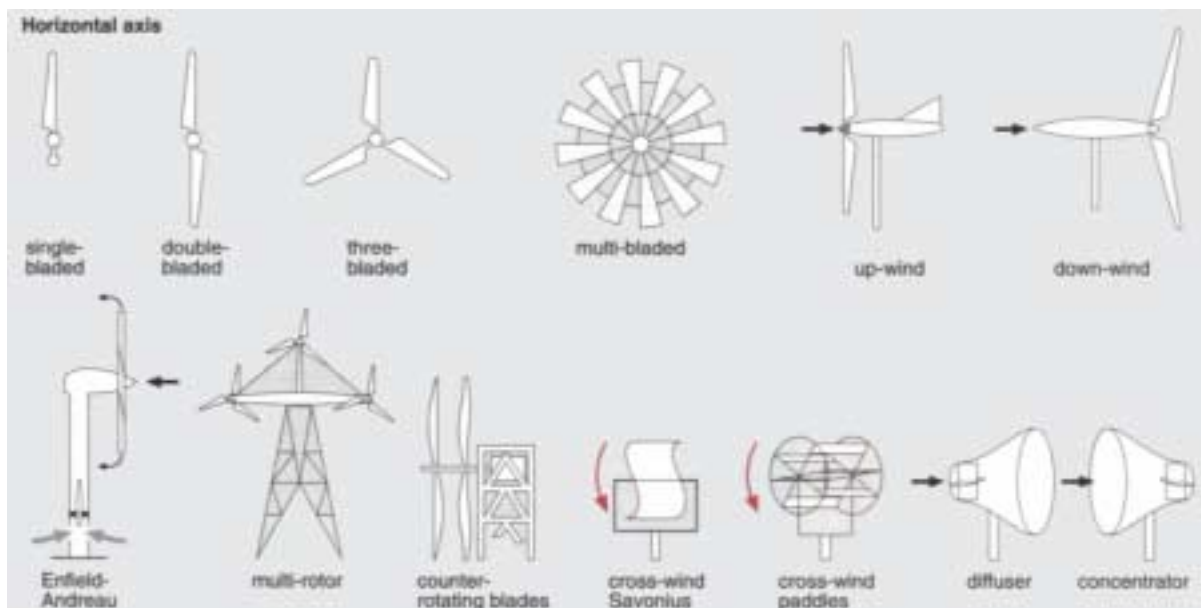
2.5.6.1 Εισαγωγή

Η ανεμογεννήτρια (Α/Γ) είναι η διάταξη που έχει σκοπό να μετατρέψει την αιολική ενέργεια σε ηλεκτρική. Από την εποχή εμφάνισης της μέχρι τις μέρες μας έχει περάσει από πολλά στάδια εξέλιξης, τόσο ως προς τον τύπο της (οριζοντίου ή κατακόρυφου άξονα) όσο και ως προς τα υποσυστήματα του (πτερύγια, κιβώτιο ταχυτήτων, πύργος, αυτοματισμοί, γεννήτρια κ.λ.π.). Εξελίξεις έχουν επίσης σημειωθεί και στον τρόπο δέσμευσης, αξιοποίησης, αποθήκευσης ή μεταφοράς ενέργειας του ανέμου.

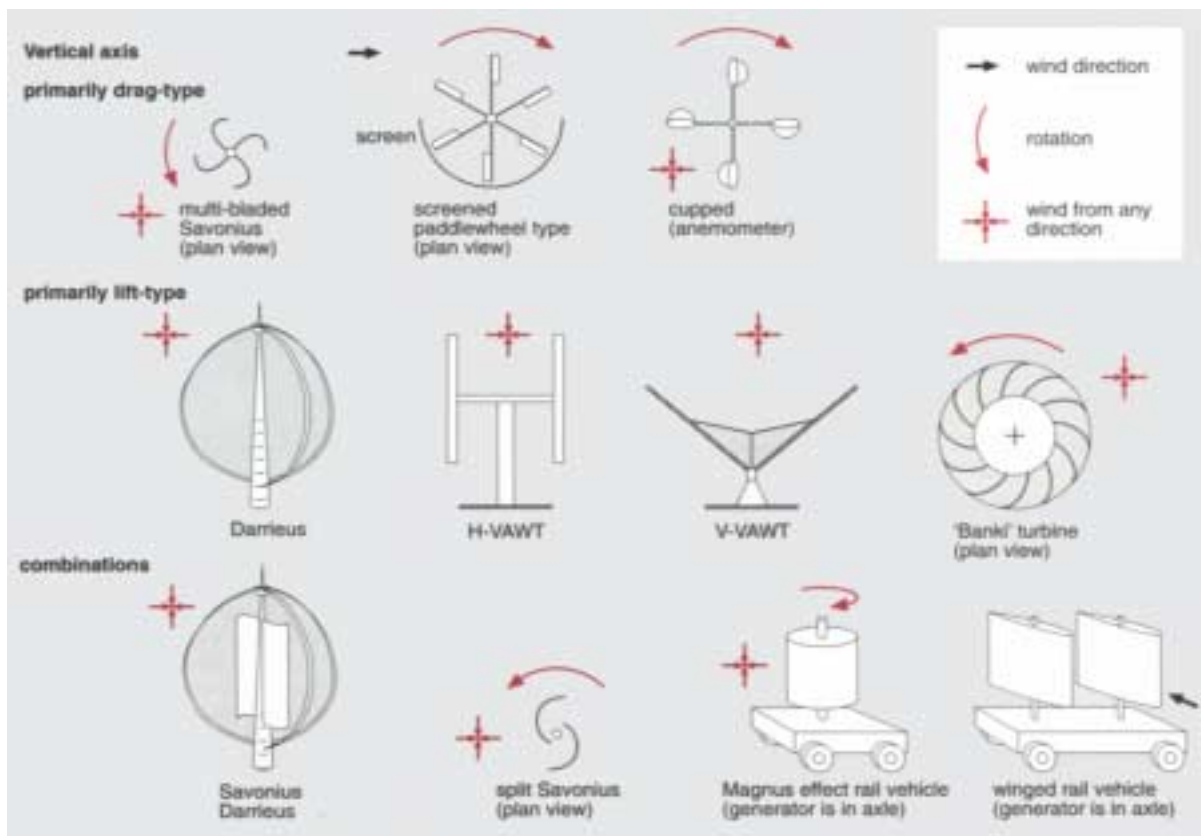
2.5.6.2 Είδη Αιολικών Μηχανών

Οι Α/Γ μπορούν να ταξινομηθούν με τον προσανατολισμό των αξόνων τους σε σχέση με τη ροή του ανέμου σε [8]:

- Οριζοντίου άξονα, στους οποίους ο άξονας περιστροφής του δρομέα είναι παράλληλος προς την κατεύθυνση ροής του ανέμου
- Οριζοντίου άξονα (Cross-Wind), στους οποίους ο άξονας περιστροφής είναι παράλληλος προς την επιφάνεια της γης αλλά κάθετος προς την κατεύθυνση ροής του ανέμου.
- Κάθετου άξονα, στους οποίους ο άξονας περιστροφής είναι κάθετος προς την επιφάνεια της γης και προς την κατεύθυνση ροής του ανέμου.



Σχήμα 2.5.2 Τύποι Α/Γ οριζόντιου άξονα



Σχήμα 2.5.3 Τύποι Α/Γ κάθετου άξονα

Μία άλλη ταξινόμηση είναι σύμφωνα με την ονομαστική τους ισχύ (Pr). Έτσι μία συνήθης κατάταξη βάση αυτού του κριτηρίου είναι η παρακάτω, κατά την οποία:

$0,03 \text{ kW} \leq Pr \leq 25 \text{ kW}$	χαρακτηρίζονται ως «μικρές»
$25 \text{ kW} \leq Pr \leq 250 \text{ kW}$	χαρακτηρίζονται ως «μεσαίες»
$250 \text{ kW} \leq Pr \leq 4 \text{ MW}$	χαρακτηρίζονται ως «μεγάλες»

2.5.6.3 Ανεμογεννήτριες Κάθετου Άξονα

Οι ανεμογεννήτριες που ανήκουν σ' αυτή την κατηγορία είναι απλούστερες κατασκευαστικά των αντίστοιχων οριζόντιου άξονα. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αυτής της κατηγορίας είναι οι μηχανές τύπου Savonius και οι μηχανές τύπου Darrieus.

Οι μηχανές τύπου Savonius πρωτοεμφανίστηκαν το 1931 από τον Savonius. Τα χαρακτηριστικά τους είναι η σχετικά μεγάλη ροπή, ο χαμηλός συντελεστής ισχύος, ο μικρός λόγος ταχύτητας ακροπτερυγίου λ για βέλτιστο συντελεστή ισχύος, το περιορισμένο μέγεθος, η εξαιρετική απλότητα και η οικονομικότητα της κατασκευής.

Οι μηχανές τύπου Darrieus κατασκευάστηκαν από τον Γάλλο G. J. M. Darrieus το 1920 και μέχρι το 1970 βρήκαν μεγάλη εφαρμογή στον Καναδά. Τα χαρακτηριστικά τους είναι ότι παρουσιάζουν σχετικά χαμηλές αρχικές ροπές και υψηλές ταχύτητες σχετικά με τον άνεμο. Έτσι έχουμε ικανοποιητική παραγωγή ενέργειας σχετικά με το μέγεθος, το βάρος και το κόστος της μηχανής. Ένα άλλο χαρακτηριστικό αυτού του τύπου των μηχανών είναι τα καμπύλα πτερύγια (egg beater), που μπορεί να είναι ένα, δύο τρία ή περισσότερα.

Γενικά τα σπουδαιότερα πλεονεκτήματα των μηχανών κάθετου άξονα είναι τα εξής [8]:

1. Έχουν μικρό βάρος
2. Είναι απλές και οικονομικές στην κατασκευή
3. Δεν απαιτούν μεγάλο πύργο
4. Οι μηχανισμοί τοποθετούνται στο έδαφος
5. Δεν απαιτούν συστήματα προσανατολισμού σχετικά με τον άνεμο, αφού δεν επηρεάζονται από τις αλλαγές διεύθυνσης του.
6. Δεν απαιτούν σύστημα ελέγχου των στροφών του δρομέα στην περίπτωση υψηλών ταχυτήτων του ανέμου.

Τα σπουδαιότερα μειονεκτήματα των μηχανών κάθετου άξονα είναι τα εξής:

1. Έχουν χαμηλή απόδοση σχετικά με τις μηχανές τύπου έλικα
2. Οι μηχανές τύπου Darrieus χαρακτηρίζονται από έλλειψη ροπής εκκίνησης με αποτέλεσμα ο δρομέας αυτού του τύπου της μηχανής να μην εκκινεί μόνος του. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται ένας δρομέας εκκίνησης τύπου Savonius.

2.5.6.4 Ανεμογεννήτριες Οριζόντιου Άξονα

Οι ανεμογεννήτριες αυτού του τύπου έχουν μεγαλύτερο ενδιαφέρον, γιατί είναι οι πιο διαδεδομένες. Γενικά μία αιολική μηχανή αυτής της κατηγορίας αποτελείται από τα παρακάτω υποσυστήματα:

- Πυλώνας
- Κέλυφος
- Δρομέας (ρότορας)
- Σύστημα προσανατολισμού
- Μηχανικό σύστημα
- Ηλεκτρική Γεννήτρια
- Σύστημα ελέγχου

Πυλώνας

Ο πυλώνας, για μεγάλες Α/Γ, είναι το βασικότερο στοιχείο από πλευράς κόστους και στηρίζει το κέλυφος και το δρομέα. Κατά την κατασκευή του λαμβάνονται υπόψη η μάζα που υποστηρίζει, οι καταπονήσεις που δέχεται από κάμψεις και στρέψεις, η ταχύτητα περιστροφής, το σημείο στολαρίσματος του δρομέα και η αντοχή του στις φυσικές φθορές.

Κέλυφος

Το κέλυφος στηρίζεται πάνω στον πυλώνα, περιβάλλει τα μηχανικά μέρη και τη γεννήτρια και τα προστατεύει. Πρέπει, επομένως, να είναι ευρύχωρο, για να γίνεται εφικτή η εποπτεία και ενδεχομένως η συντήρηση των εξαρτημάτων και να αερίζεται επαρκώς, για να ψύχεται σωστά η γεννήτρια. Μερικές μεγάλες Α/Γ έχουν σύστημα κλιματισμού.

Δρομέας

Ο δρομέας αποτελείται από την πλήμνη και την περύγωση. Σχεδιάζεται έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η μέγιστη απολαβή ενέργειας, η αντοχή σε δύσκολες συνθήκες και το ελάχιστο δυνατό κόστος κατασκευής.

Η πλήμνη είναι το τμήμα της μηχανής πάνω στο οποίο προσαρμόζονται τα περύγια και το οποίο συνδέεται εσωτερικά του κελύφους με το σύστημα μετάδοσης κίνησης (άξονα). Οι

πλήμνες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, στις σταθερού και μεταβλητού βήματος. Στις πρώτες η απόσταση των πτερύγων (βήμα) είναι σταθερή, ενώ στις δεύτερες υπάρχει υδραυλικό σύστημα αυξομείωσης του βήματος.

Τα πτερύγια είναι το βασικότερο στοιχείο της μηχανής, όσον αφορά την εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας του ανέμου. Κατά τη σχεδίαση τους λαμβάνονται υπόψη πολλές παράμετροι, όπως η ελαστικότητα, η αντοχή, το βάρος, η αεροδυναμική, το μήκος κλπ. Τα υλικά κατασκευής των πτερυγίων, στους μικρούς ανεμοκινητήρες, είναι συνήθως πολυουρεθάνη, υαλόνημα και ξύλο, υλικά που δεν υποφέρουν από διάβρωση αλλά έχουν άγνωστη συμπεριφορά σε εναλλασσόμενη φόρτιση, που οδηγεί σε πρόωρη γήρανση του υλικού.

Σύστημα προσανατολισμού

Στους ανεμοκινητήρες μεγάλου μεγέθους χρησιμοποιείται ένας σερβοκινητήρας ο οποίος ελέγχεται από τον ανεμοδείκτη του ανεμογράφου και προσανατολίζει το δρομέα κάθετα στην κατεύθυνση του ανέμου. Στους μικρού ή μεσαίου μεγέθους ανεμοκινητήρες χρησιμοποιείται καθοδηγητικό πτερύγιο (ουρά), που τόσο η επιφάνεια της ουράς όσο και η θέση της ως προς τον άξονα του πυλώνα επιλέγονται έτσι ώστε, σε απόκλιση του ανέμου 10° , να εξασκείται ροπή επαναπροσανατολισμού του δρομέα στον άνεμο ικανή να υπερνικήσει την αντίρροπη λόγω γυροσκοπικού φαινομένου.

Μηχανικό σύστημα

Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει τον άξονα του δρομέα, την έδρασή του, τον μηχανισμό μετάδοσης κίνησης, τους ελαστικούς συνδέσμους για την απόσβεση των στρεπτικών ταλαντώσεων και το σύστημα πέδησης (δισκόφρενα). Σκοπός του μηχανικού συστήματος είναι να μεταβιβάσει την κίνηση της πλήμνης και των πτερυγίων, δια μέσου του άξονα, στην ηλεκτρογεννήτρια.

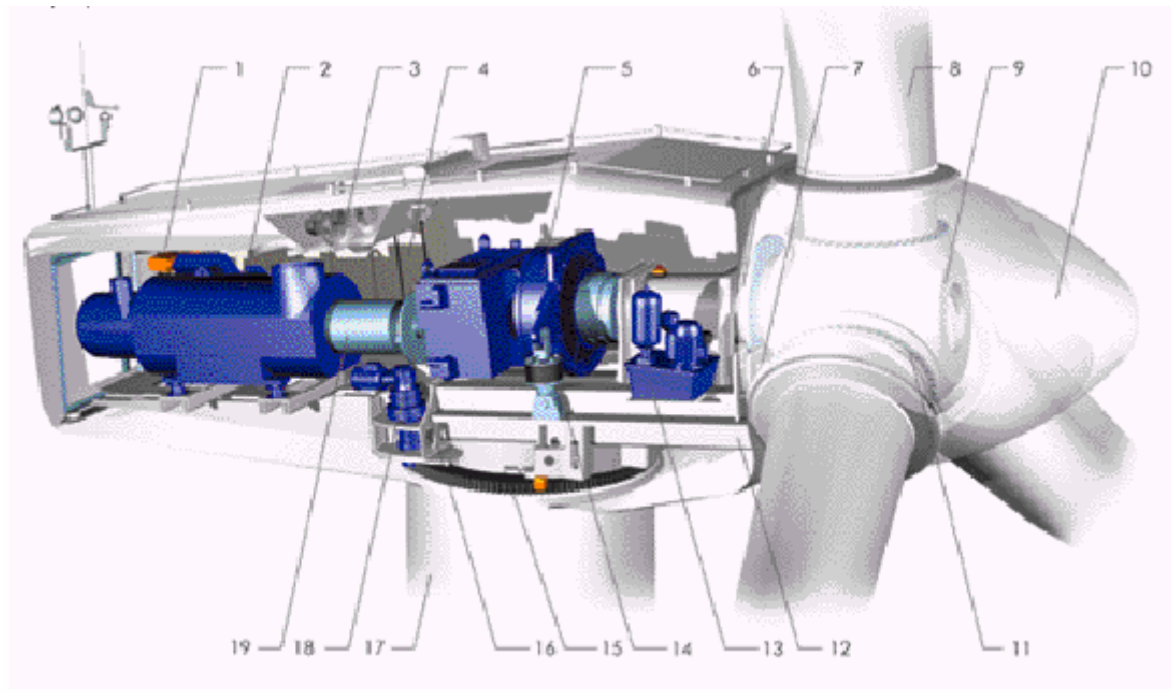
Ηλεκτρική γεννήτρια

Η ηλεκτρική γεννήτρια είναι υπεύθυνη για την μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Οι ηλεκτρικές γεννήτριες διαχωρίζονται στις ασύγχρονες, τις σύγχρονες και τις μηχανές συνεχούς ρεύματος.

Οι ασύγχρονες μηχανές χρησιμοποιούνται ευρύτατα στις μικρού ή μεσαίου μεγέθους Α/Γ (μέχρι 500 kW), λόγω κυρίως της στιβαρότητας τους και του μικρού τους κόστους. Τα μειονεκτήματα των ασύγχρονων μηχανών είναι ότι δεν έχουν τη δυνατότητα παραγωγής της έργου ισχύος που απαιτείται για την λειτουργία τους και έτσι υποχρεωτικά τροφοδοτείται με εξωτερική πηγή έργου ισχύος, π.χ. σύνδεση συστοιχίας πυκνωτών στους ακροδέκτες της. Αυτό ονομάζεται αυτοδιέγερση της ασύγχρονης γεννήτριας και δημιουργεί προβλήματα που σχετίζονται κυρίως με την προστασία του δικτύου διανομής που είναι συνδεδεμένη η Α/Γ.

Η χρησιμοποίηση σύγχρονων γεννητριών παρουσιάζει μεν το πλεονέκτημα ότι παράγεται η έργο ισχύ που απαιτείται για τη διέγερση της μηχανής και για τις καταναλώσεις που τροφοδοτεί, αλλά μειονεκτεί στο γεγονός ότι οι διακυμάνσεις των στροφών που προκαλούνται κατά τις απότομες μεταβολές του ανέμου μεταφέρονται απευθείας στο δίκτυο, εκτός αν συνδέονται μέσω μετατροπέα AC-AC.

Οι μηχανές συνεχούς ρεύματος είναι πολύ πιο εύκολο να ελεγχθούν από τις αντίστοιχες του εναλλασσόμενου. Έχουν όμως σοβαρά μειονεκτήματα, είναι ογκώδεις, ευπαθείς, έχουν μεγάλο κόστος και δεν υπάρχει δυνατότητα παράλληλης λειτουργίας με τα δίκτυα αλλά και τροφοδοτήσεως συσκευών που λειτουργούν μόνο με εναλλασσόμενο ρεύμα.



- | | | | |
|--------------------------------|-------------------------------|---------------------------|---|
| 1. Γερανός συντήρησης | 6. Κύριος άξονας | 11. Υποστήριξη έλικα | 16. Φρένο |
| 2. Γεννήτρια | 7. Σύστημα κλειδώματος ρότορα | 12. Θεμελίωση μηχανής | 17. Πυλώνας |
| 3. Σύστημα ψύξης | 8. Έλικας | 13. Υδραυλική μονάδα | 18. Γρανάζι απόκλισης |
| 4. Ελεγκτής με μετατροπέα | 9. Άξονας ελίκων | 14. Άξονας ροπής | 19. Σύνθετος δίσκος ηλεκτρικής σύζευξης |
| 5. Σύστημα μετάδοσης ταχύτητας | 10. Κάλυμμα άξονα ελίκων | 15. Δακτύλιος παρέκκλισης | |

Σχήμα 2.5.4 Τα εσωτερικά μέρη μίας Α/Γ οριζόντιου άξονα

Σύστημα ελέγχου

Οι ανεμογεννήτριες έχουν ένα Ηλεκτρονικό Σύστημα Αυτομάτου Ελέγχου (ΗΣΑΕ), το οποίο είναι υπεύθυνο για τη λειτουργία του ανεμοκινητήρα εντός των προδιαγραφών του. Ορισμένες διεργασίες που εκτελεί είναι:

- Έλεγχος αεροδυναμικής πέδησης
- Έλεγχος μηχανικού συστήματος πέδησης
- Έλεγχος ταλαντώσεων του συστήματος
- Έλεγχος περιστροφής
- Έλεγχος βέλτιστης λειτουργίας

Έτσι το ΗΣΑΕ αποφασίζει για την ενεργοποίηση ή την παύση της λειτουργίας της Α/Γ, λαμβάνοντας υπόψη τις ενδείξεις του ανεμομέτρου και τα δεδομένα του συστήματος [7].

2.5.6.5 Χαρακτηριστικά Μεγέθη Α/Γ

Παρακάτω παρατίθενται τα μεγέθη που χαρακτηρίζουν κάθε Α/Γ:

Ταχύτητα έναρξης λειτουργίας u_{in}

Εκφράζει την ελάχιστη τιμή της ταχύτητας του ανέμου που η Α/Γ μπορεί να λειτουργήσει. Συνήθως είναι 3-5 m/sec.

Ονομαστική ταχύτητα u_r

Εκφράζει την τιμή της ταχύτητας του ανέμου που η μηχανή αποδίδει τη μέγιστη ισχύ με την μικρότερη δυνατή καταπόνηση. Με λίγα λόγια είναι η ιδανική ταχύτητα λειτουργίας της Α/Γ.

Ταχύτητα αποκοπής u_{co}

Εκφράζει την τιμή της ταχύτητας του ανέμου πάνω από την οποία το σύστημα ελέγχου της μηχανής σταματά τη λειτουργία της για λόγους αντοχής και υπερθέρμανσης. Συνήθως είναι 15-25 m/sec.

Ονομαστική ισχύς P_r

Εκφράζει την τιμή της ισχύος κατά την λειτουργία της Α/Γ στην ονομαστική της ταχύτητα. Η μηχανή σ' αυτή την κατάσταση λειτουργεί βέλτιστα, καθώς έχει μέγιστη απόδοση με την ελάχιστη καταπόνηση.

Διάμετρος πτερυγίων

Αυτή η παράμετρος έχει πολύ μεγάλη σημασία, γιατί από αυτήν καθορίζεται το κόστος της φτερωτής και εξαρτάται η ισχύς της Α/Γ.

Ύψος πυλώνα

Αυτή η παράμετρος παίζει ρόλο τόσο στη διαμόρφωση του κόστους, όσο και στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας της Α/Γ, αφού η ταχύτητα του ανέμου, άρα και η ισχύς που αυτή μπορεί να δώσει σε μία Α/Γ, εξαρτάται από το ύψος.

2.5.6.6 Ισχύς Α/Γ

Η ισχύς του ανέμου που προσπίπτει σε μία επιφάνεια A (m^2) είναι:

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A u_w^3 \quad \text{Εξ. 2.5.22}$$

όπου : ρ : Η πυκνότητα του αέρα
 u_w : Η ταχύτητα του αέρα

Η μηχανική ισχύς στον άξονα του ανεμοκινητήρα είναι:

$$P_m = C_p P_w$$

$$P_m = \frac{1}{2} C_p \rho A u_w^3 \quad \text{Εξ. 2.5.23}$$

όπου : C_p : ο αεροδυναμικός συντελεστής της έλικας

Ο αεροδυναμικός συντελεστής C_p είναι συνάρτηση του λόγου λ της γραμμικής ταχύτητας του άκρου της έλικας προς την ταχύτητα του ανέμου u_w :

$$C_p = C_p(\lambda) \quad \text{Εξ. 2.5.24}$$

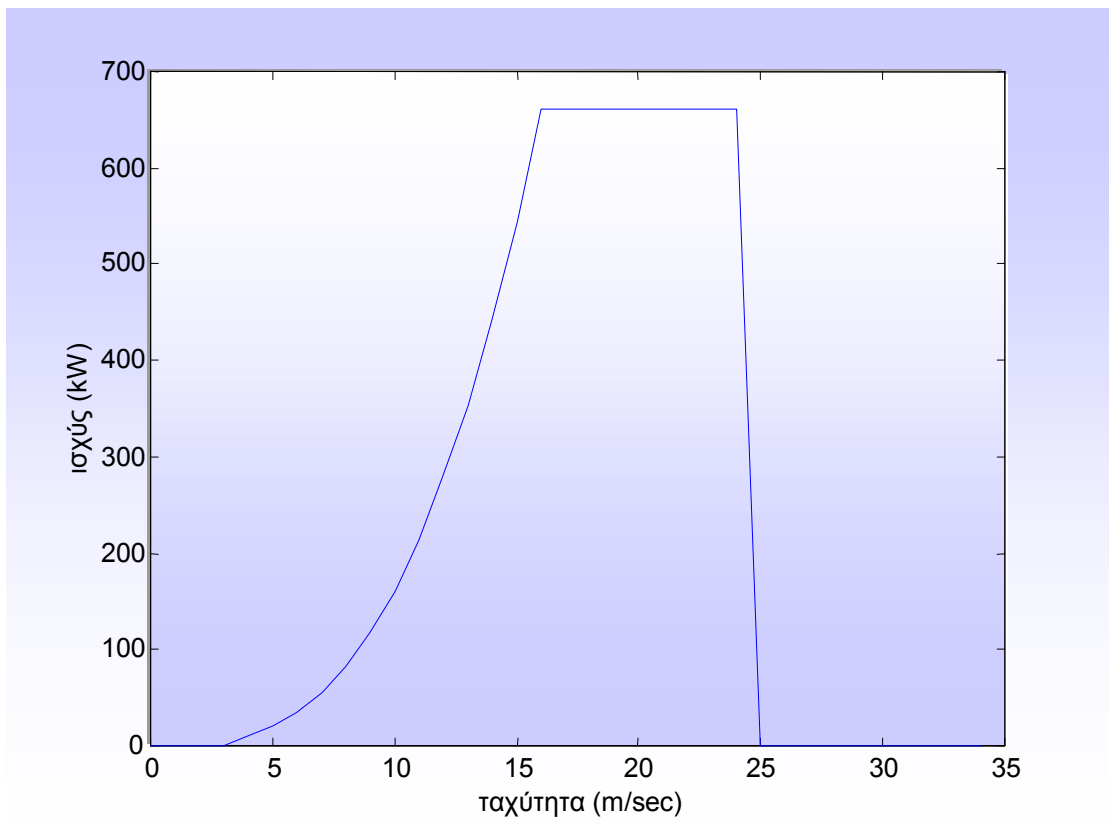
$$\lambda = \frac{u_{ελ}}{u_w} = \frac{R_{ελ} \omega_{ελ}}{u_w} \quad \text{Εξ. 2.5.25}$$

όπου : $u_{ελ}$: η γραμμική ταχύτητα του άκρου του έλικα
 $R_{ελ}$: η ακτίνα του έλικα
 $\omega_{ελ}$: η γωνιακή ταχύτητα του έλικα

Σημειώνεται ότι, στην περίπτωση που ο δρομέας έχει μεγάλη διάμετρο, η ταχύτητα του ανέμου είναι διαφορετική στις διάφορες θέσεις της έλικας κατά την περιστροφή της καθώς και μεταξύ των ίδιων των πτερυγίων. Για λόγους απλότητας η τιμή της ταχύτητας του ανέμου έχει θεωρηθεί ίδια σε όλη την επιφάνεια που σαρώνει η έλικα.

Η τιμή του αεροδυναμικού συντελεστή C_p εξαρτάται από τη γωνία σφήνωσης α (pitch angle) των πτερυγίων της έλικας. Πρόκειται ουσιαστικά για μία σχέση της μορφής:

$$C_p = C_p(\lambda, \alpha) \quad \text{Εξ. 2.5.26}$$



Σχήμα 2.5.5 Θεωρητική καμπύλη ισχύος Α/Γ

Η χαρακτηριστική καμπύλη ισχύος μίας Α/Γ φαίνεται στο Σχήμα 2.5.5 και η συνάρτηση που εκφράζει την καμπύλη ισχύος είναι:

$$P(v) = \begin{cases} 0 & , v \leq u_{in} \\ P_r \left(\frac{v}{u_r} \right) & , u_{in} \leq v \leq u_r \\ P_r & , u_r \leq v \leq u_{co} \\ 0 & , u_{co} \leq v \end{cases} \quad \text{Εξ. 2.5.27}$$

2.5.6.7 Οικονομικά για την Παραγωγή Αιολικής Ενέργειας

2.5.6.7.1 Οικιακές Αιολικές Μηχανές

Τα οικονομικά για την παραγωγή αιολικής ενέργειας διαφοροποιούνται σημαντικά με το μέγεθος της αιολικής μηχανής. Τα μικρά οικιακά συστήματα κοστίζουν περίπου 8\$/W για ανεμογεννήτριες 50W. Μία αύξηση στο μέγεθος σε Α/Γ 300W μειώνει το κόστος στο 2,5\$/W. Συστήματα 1500W φτάνουν σε επίπεδα κόστους όσο 2\$/W εγκατεστημένης δυναμικότητας, ενώ συστήματα των 10000W είναι διαθέσιμα στο 1,5\$/W [10].

Ένα τυπικό σύστημα 500 έως 600 Watt μπορεί να αγοραστεί γύρω στα 6000\$, με την ανεμογεννήτρια να υπολογίζεται στα 800\$ με 1000\$, τον πύργο στα 3000\$, οι μπαταρίες από 800\$ έως 1600\$ και οι καλωδιώσεις, ο ελεγκτής και ο μετατροπέας μεταξύ 1000\$ και 2000\$ [10]. Τα συστήματα δεσμευμένης σκοπιμότητας δεν χρειάζονται μπαταρίες και μπορούν να εξοικονομήσουν από τα συνολικά κόστος του συστήματος. Οι μπαταρίες πρέπει να αντικαθιστούνται κάθε δέκα χρόνια. Ειδικοί εκτιμούν ότι το εξισορροπημένο σημείο ενός τυπικού συστήματος της ωφέλειας εξοικονόμησης από τους λογαριασμούς και το κόστος του συνολικού συστήματος θα επιτευχθεί μετά από έξι ή επτά χρόνια.

Οι εγγυήσεις για μικρές οικιακές ενεργειακές μηχανές ποικίλουν μεταξύ ενός και τριών ετών. Επιθεωρήσεις προτείνονται, σε μερικά συστήματα απαιτείται επίσης συντήρηση με γράσο και λάδι. Αυτό μπορεί να γίνει από τον ιδιοκτήτη ή από την εταιρεία εγκατάστασης και συντήρησης.

2.5.6.7.2 Αιολικές Μηχανές Γενικής Χρήσης

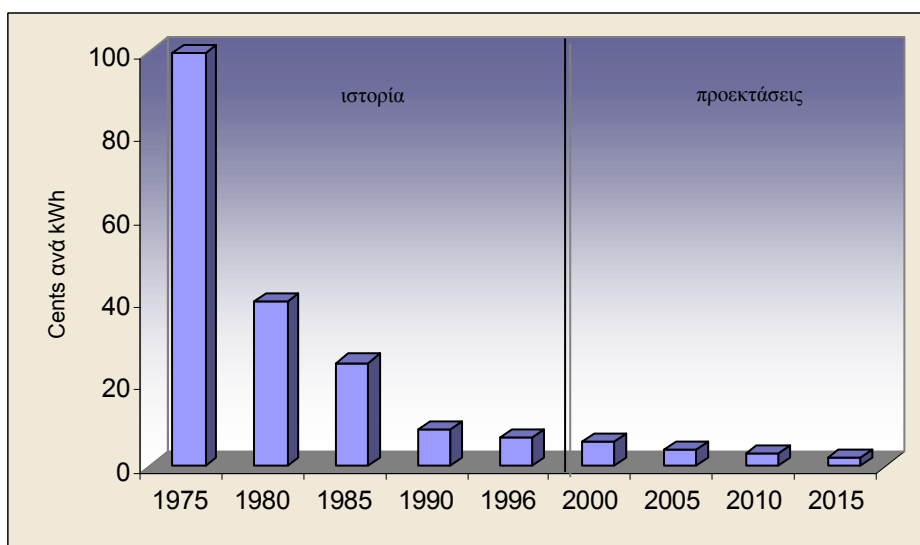
Συγκρίνοντας τις μηχανές 150kW με μηχανές 600kW, οι τιμές τριπλασιάζονται αντί να τετραπλασιάζονται. Ένας λόγος της παραπάνω εξοικονόμησης είναι ότι η απαραίτητη εργασία για την παραγωγή τέτοιων συστημάτων δεν διαφέρει πολύ. Τα έξοδα των εξαρτημάτων και των ηλεκτρονικών ασφαλείας είναι σχεδόν συγκρίσιμα για τις μηχανές των 150kW και των 600kW.

Στις αρχές της δεκαετίας του '80 οι Α/Γ παρήγαγαν ηλεκτρική ενέργεια με κόστος από 0,07\$ έως 0,10\$ ανά kWh., εξαρτώμενο από την τοποθεσία και τη σχεδίαση του συστήματος. Σε εγκαταστάσεις τεχνικής υψηλού επιπέδου παράγουν ηλεκτρική ενέργεια με λιγότερο από 0,05\$ ανά kWh σε ευνοϊκές τοποθεσίες. Οι Α/Γ που δημιουργήθηκαν το 2000 αναμένεται να μειώσουν το κόστος σε λιγότερο από 0,04\$ ανά kWh [10].

Η αιολική ενέργεια επιπέδου γενικής χρήσης αναπτύσσεται όλο και περισσότερο οικονομικά και τεχνικά αξιόπιστα. Σύμφωνα με το Υπουργείο ενέργειας των ΗΠΑ, οι εγκαταστάσεις αιολικής ενέργειας της δεκαετίας του '70 και του '80 χαρακτηρίζονταν από διάρκεια ζωής μεταξύ ενός και πέντε ετών μόνο, με ένα μέσο συντελεστή αποδοτικότητας του 10% και διαθεσιμότητα μεταξύ 60 και 70%, διαθέσιμα σε μεγέθη λιγότερο από 20 kW. Οι σύγχρονες

Α/Γ φτάνουν διάρκεια ζωής τα είκοσι χρόνια, ένα μέσο συντελεστή δυναμικότητας του 20 έως 25% και διαθεσιμότητα του 95%, με το μέγεθος να ποικίλει από 200 έως 500 kW. Οι τελευταία αναπτυσσόμενες Α/Γ αναμένεται να λειτουργούν για τριάντα χρόνια και περισσότερο, να φτάσουν ένα μέσο συντελεστή δυναμικότητας του 30% και διαθεσιμότητα μεγαλύτερη από 95%. Αυτές οι μονάδες μπορούν να εγκατασταθούν με μεγέθη από 300 έως 1000 kW.

Η Γερμανία και η Δανία είναι μεταξύ των κυρίαρχων χωρών στην τεχνολογία Α/Γ. Τυπικά Δανικά συστήματα Α/Γ 600kW κοστίζουν περίπου 400.000\$ με 500.000\$. Τα κόστη εγκατάστασης υπολογίζονται κατά μέσο όρο στα 100.000\$ με 150.000\$. Το μέσο κόστος ενός σύγχρονου αιολικού πάρκου είναι περίπου 1.000\$ ανά kW εγκατεστημένης ηλεκτρικής ενέργειας [10].



Σχήμα 2.5.6 Μέσο κόστος παραγωγής αιολικής ενέργειας

Μετά από αξιοσημείωτες μειώσεις των τιμών, οι Α/Γ γενικής χρήσης έχουν φτάσει σε ανταγωνιστικά επίπεδα κόστους. Η τελευταία γενιά Α/Γ έχει αποδεδειγμένη επιτυχία στη Γερμανία και έχει ενοποιηθεί τεχνικά με το κεντρικό δίκτυο. Οι αποδοτικότητες και η αξιοπιστία των Α/Γ έχουν βελτιωθεί την τελευταία δεκαετία και έχουν μετατρέψει την αιολική ενέργεια σε μία ελκυστική εναλλακτική πηγή ενέργειας για περιοχές με υψηλές και συνεχείς ταχύτητες ανέμου. Στη Γερμανία, Α/Γ μεγέθους 600kW έχουν τοποθετηθεί σε περιοχές ταχύτητας ανέμου μέσης ετήσιας των 6,3 m/sec στα 30 m πάνω από το επίπεδο του εδάφους, λειτουργού στα 0,09\$ ανά kWh.

2.6 Η Ηλιακή Ενέργεια

2.6.1 Εισαγωγή

Η ηλιακή ακτινοβολία έχει ορισμένα χαρακτηριστικά τα οποία επηρεάζουν τις μεταβολές που προκαλεί στα διάφορα υλικά.

Γενικά η ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας προέρχεται από τις θερμοπυρηνικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στο εσωτερικό του ηλίου. Σαν αποτέλεσμα των αντιδράσεων αυτών μεγάλες ποσότητες υδρογόνου μετατρέπονται σε ήλιο με τη σύγχρονη ελευθέρωση μεγάλων ποσών ενέργειας και με συνέπεια την ελάττωση της μάζας του ηλίου που συντελείται με ρυθμό 4.000.000 τόνους το δευτερόλεπτο. Σ' αυτά τα ποσά ενέργειας που έφτασαν στη γη κατά το παρελθόν, οφείλεται και η δημιουργία όλων των ποσοτήτων πετρελαίου και άνθρακα που υπάρχουν στο εσωτερικό της γης.

Η ηλιακή ακτινοβολία ταξιδεύει προς τη γη με ταχύτητα 300.000 χιλιόμετρα το δευτερόλεπτο και μεταφέρει ενέργεια με τα φωτόνια της. Όταν γίνει φασματοσκοπική ανάλυση της ακτινοβολίας, εμφανίζονται τα διάφορα χρώματα που περιέχονται σ' αυτή. Το σύνολο αυτών των χρωμάτων αποτελεί το ηλιακό φάσμα. Σε κάθε χρώμα αντιστοιχεί μία συχνότητα. Στο ένα άκρο του φάσματος υπάρχει το κόκκινο χρώμα με συχνότητα $4,3 \cdot 10^{14}$ ταλαντώσεις το δευτερόλεπτο και στο άλλο άκρο το ιώδες χρώμα με συχνότητα $7,5 \cdot 10^{14}$ ταλαντώσεις το δευτερόλεπτο.

Ο χρόνος μίας ταλάντωσης ενός σημείου που βρίσκεται στη διεύθυνση μετάδοσης του κύματος ονομάζεται περίοδος (T). Η περίοδος για το ιώδες είναι $1,3 \cdot 10^{-15}$ δευτερόλεπτα και για το κόκκινο $2,3 \cdot 10^{-15}$ δευτερόλεπτα. Η σχέση μεταξύ συχνότητας και περιόδου είναι:

$$T = \frac{1}{\nu} \quad \text{Εξ. 2.6.1}$$

Το μήκος κύματος λ είναι η απόσταση που διανύει το κύμα μέσα στο χρόνο της περιόδου που βρίσκεται από τον τύπο $\lambda = u \cdot T$.

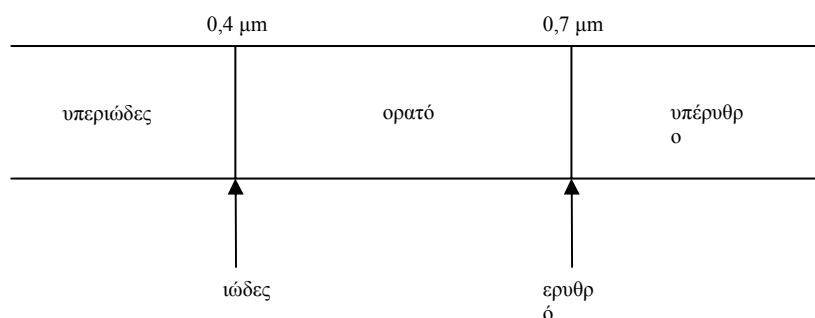
Επομένως το μήκος κύματος για το ιώδες είναι $4 \cdot 10^{-7}$ m και το μήκος κύματος για το κόκκινο είναι $7 \cdot 10^{-7}$ m.

Μεταξύ του κόκκινου και του ιώδους χρώματος περιλαμβάνεται το ορατό ηλιακό φάσμα που αποτελείται από όλα τα γνωστά χρώματα και περιλαμβάνει μόνο το 44% περίπου της ηλιακής ακτινοβολίας.

Το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας δεν περιορίζεται μεταξύ του κόκκινου και ιώδους άκρου. Αυτό σημαίνει ότι εκτός από τις ακτινοβολίες της ορατής περιοχής υπάρχουν και ακτινοβολίες αόρατες. Έτσι μετά το άκρο που βρίσκεται το κόκκινο, υπάρχει η αόρατη υπέρυθη ακτινοβολία με μήκος κύματος μεγαλύτερο των $7 \cdot 10^{-7}$ m, που αποτελεί το 50% περίπου της ηλιακής ακτινοβολίας. Τέλος μετά το άκρο του ιώδους χρώματος υπάρχει η αόρατη υπεριώδης ακτινοβολία, με μήκος κύματος μικρότερο του $4 \cdot 10^{-7}$ m, που αποτελεί το 6% περίπου της ηλιακής ακτινοβολίας [11].

Η ενέργεια E_ϕ κάθε φωτονίου βρίσκεται από τον τύπο $E_\phi = h \cdot \nu$. Η σταθερά του Planck h έχει τιμή $6,63 \cdot 10^{-34}$ J sec. Το ν είναι η συχνότητα του κύματος στο οποίο ανήκει το φωτόνιο.

Εφαρμόζοντας τον τύπο, βρίσκεται ότι η ενέργεια κάθε φωτονίου του ορατού ηλιακού φάσματος κυμαίνεται μεταξύ της τιμής $2,85 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ που έχει το φωτόνιο του κόκκινου χρώματος και της τιμής $4,97 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ που έχει το φωτόνιο του ιώδους χρώματος.



Σχήμα 2.6.1 Μήκη κύματος ηλιακής ακτινοβολίας

Από όλες τις συχνότητες του ηλιακού φάσματος μόνο οι μεγάλες συχνότητες στις οποίες αντιστοιχούν φωτόνια μεγάλης ενέργειας είναι δυνατό να προκαλέσουν ηλεκτρικό ρεύμα σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο.

Οι συχνότητες αυτές αποτελούν το 75% του φάσματος περίπου ενώ οι υπόλοιπες δεν προκαλούν αξιοσημείωτα αποτελέσματα στα φωτοβολταϊκά στοιχεία.

Ένα μέγεθος που έχει μεγάλη σημασία για την αποτελεσματικότητα των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Σαν ένταση B της ηλιακής ακτινοβολίας ορίζεται το ποσό της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει σε 1 m^2 επιφάνειας σε 1 sec με βάση τον τύπο:

$$B = \frac{E}{S \times t} = \frac{P}{S} \quad \text{Εξ. 2.6.2}$$

όπου :

- E : η ενέργεια
- P : η ισχύς που προσπίπτει στην επιφάνεια
- S : το εμβαδόν επιφάνειας
- t : ο χρόνος

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στα διάφορα σημεία μεταξύ του ήλιου και της επιφάνειας της γης βρίσκεται από τον τύπο:

$$B_o = \frac{E_o}{4\pi r^2 t} = \frac{P_o}{4\pi r^2} \quad \text{Εξ. 2.6.3}$$

όπου :

- E_o : η ολική ενέργεια που εκπέμπεται από τον ήλιο σε χρόνο t
- $4\pi r^2$: το εμβαδόν της εσωτερικής επιφάνειας νοητής σφαίρας
- r : η ακτίνα της νοητής σφαίρας

Η ένταση, δηλαδή, ελαττώνεται αντιστρόφως ανάλογα με την απόσταση από τον ήλιο. Στην αρχή της ατμόσφαιρας της γης η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι:

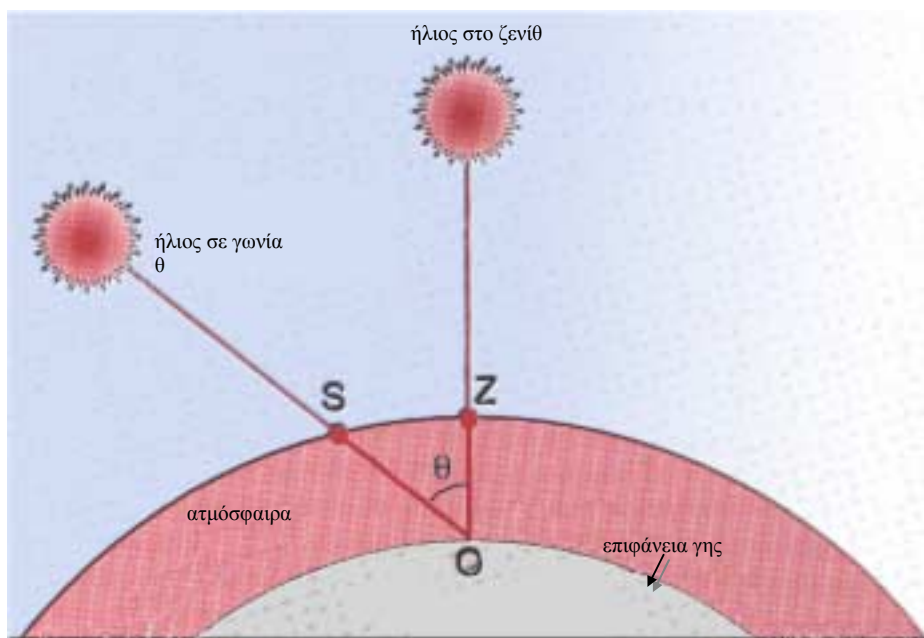
$$B_o = \frac{E_o}{4\pi R^2 t} = \frac{P_o}{4\pi R^2} \quad \text{Εξ. 2.6.4}$$

όπου : R : η απόσταση ηλίου-γης

Ελάττωση της έντασης συμβαίνει σε όλη τη διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα της γης λόγω απορρόφησης.

Όταν η ατμόσφαιρα είναι καθαρή και ο ήλιος αρκετά ψηλά ώστε οι ακτίνες να προσπίπτουν σχεδόν κάθετα στην επιφάνεια της γης, το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια απ' ευθείας είναι γύρω στο 72%. Εκτός από το ποσοστό αυτό, 7% φτάνει στην επιφάνεια μετά από διάχυση στα σωματίδια της ατμόσφαιρας. Το υπόλοιπο 18% απορροφάται από το όζον, τους υδρατμούς, τον αέρα και τη σκόνη ενώ 3% επιστρέφει στο διάστημα.

Φυσικά σε περίπτωση που οι ποσότητες των υδρατμών και της σκόνης είναι περισσότερες, η απορρόφηση είναι μεγαλύτερη και έτσι φτάνει μικρότερο ποσοστό από το 79% στην επιφάνεια της γης. Επίσης η απορρόφηση εξαρτάται από τη μάζα αέρα που συναντά η ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διαδρομή της προς την επιφάνεια της γης. Αυτό έχει σχέση με το μήκος της διαδρομής της μέσα στη γήινη ατμόσφαιρα που είναι άμεση συνέπεια της θέσης του ήλιου.



Σχήμα 2.6.2 Μάζα αέρα εκφράζει πόσες φορές μεγαλύτερη είναι η διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα από την κατακόρυφη διαδρομή της

Το μήκος της διαδρομής της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στη γήινη ατμόσφαιρα δίνεται συμβατικά από την κλίμακα μάζας αέρα MA. Μέτρο της μάζας αέρα είναι η τέμνουσα της ζενιθιακής απόστασης θ και ανάλογα με τη θέση του ήλιου εκφράζεται σαν $MA \sec \theta$. Ζενιθιακή απόσταση θ είναι η γωνία μεταξύ της θέσης του ήλιου και της κατακόρυφου. Δηλαδή η απόσταση $MA \sec \theta$ ουσιαστικά εκφράζει πόσες φορές μεγαλύτερη είναι η διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα σε σύγκριση με την κατακόρυφη διαδρομή της. Αυτό φαίνεται από τη γεωμετρία του Σχήματος 2.6.2.

$$(ZO) = (SO) \cos \theta$$

$$(SO) = \frac{(ZO)}{\cos \theta} \quad \text{Εξ. 2.6.5}$$

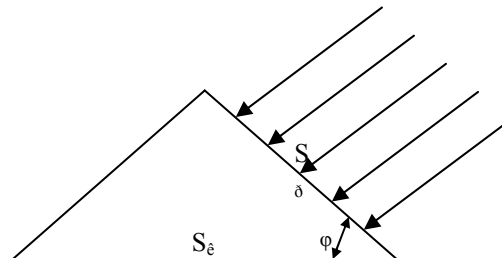
$$(SO)=(ZO)\sec\theta$$

Συγκεκριμένα, όταν οι ακτίνες πέφτουν κάθετα η μάζα αέρα εκφράζεται σαν MA1 επειδή στη θέση αυτή έχουμε $\sec\theta=1$. Το MA1,5 δείχνει ότι ο ήλιος βρίσκεται σε γωνία 45° από το ζενίθ και το MA2 όταν $\theta=60^\circ$. Το μηδέν της κλίμακας δείχνει την πλήρη απουσία ατμοσφαιρικής παρεμβολής δηλαδή την ηλιακή ακτινοβολία στην αρχή της ατμόσφαιρας της γης.

Εκτός από την ένταση της ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια και η κατανομή της ενέργειας κατά μήκος κύματος επηρεάζεται από την ατμόσφαιρα. Το γεγονός αυτό είναι πολύ βασικό στη μετατροπή της ηλιακής σε ηλεκτρική ενέργεια διότι η απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων εξαρτάται από τα μήκη κύματος μέσα στην προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία.

2.6.2 Ένταση Ηλιακής Ακτινοβολίας

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας σε μία επιφάνεια τοποθετημένη στην αρχή της ατμόσφαιρας της γης κάθετα στις ακτίνες θα είναι γύρω στα 1350 W/m^2 . Με την ύπαρξη όμως της ατμόσφαιρας υπάρχει απορρόφηση και ανάκλαση και έτσι η ακτινοβολία μέχρι να φτάσει στην επιφάνεια της γης διαμέσου της ατμόσφαιρας έχει ένταση γύρω στα 1000 W/m^2 σε επιφάνεια κάθετη στην ακτινοβολία. Επειδή μάλιστα η ακτινοβολία διανύει μεγαλύτερο διάστημα στην ατμόσφαιρα για να φτάσει στην επιφάνεια της γης τις πρωινές και τις απογευματινές ώρες, παθαίνει περισσότερη απορρόφηση και έτσι η τιμή της έντασης είναι μικρότερη των 1000 W/m^2 κατά τις ώρες αυτές.



Σχήμα 2.6.3 Η ένταση στην κάθετη επιφάνεια είναι μεγαλύτερη απ' αυτή στην πλάγια επιφάνεια

Σε περίπτωση που η ακτινοβολία δεν προσπίπτει κάθετα στην επιφάνεια, τότε η ένταση στην επιφάνεια είναι μικρότερη διότι οι ακτίνες πέφτουν πλάγια. Επειδή η ίδια ισχύς P προσπίπτει και στις δύο επιφάνειες S_κ και S_π τότε:

$$B_\pi = \frac{P}{S_\pi} \quad \text{και} \quad B_\kappa = \frac{P}{S_\kappa} \quad \text{Εξ. 2.6.6}$$

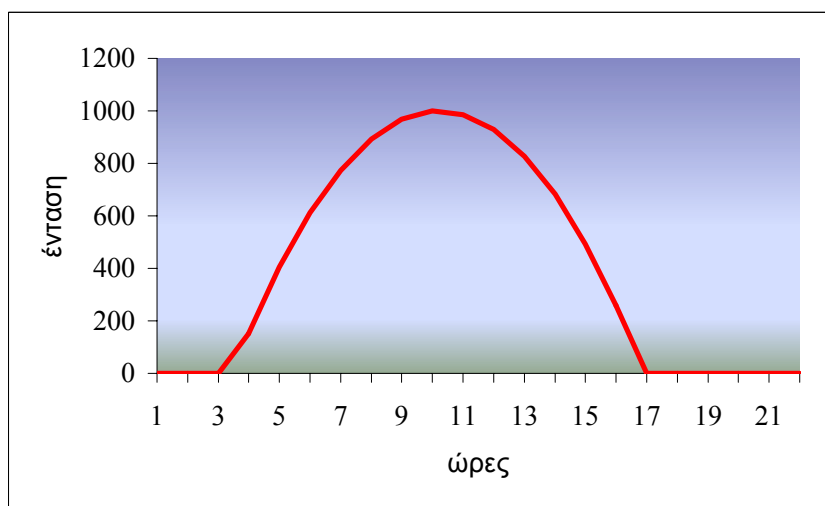
και επειδή

$$S_\kappa = S_\pi \cos \phi \quad \text{Εξ. 2.6.7}$$

η παραπάνω εξίσωση γίνεται τελικά

$$B_{\kappa} = \frac{B_{\pi}}{\cos \phi} \quad \text{Εξ. 2.6.8}$$

Για να βρούμε, δηλαδή, την ένταση στην κάθετη επιφάνεια διαιρούμε την τιμή της στην πλάγια επιφάνεια με το συνημίτονο της γωνίας που σχηματίζεται μεταξύ των δύο επιφανειών. Η ηλιακή ακτινοβολία παρουσιάζει μεγάλες μεταβολές κατά τη διάρκεια της ημέρας. Στο Σχήμα 2.6.4 φαίνεται πως μεταβάλλεται η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται μία επιφάνεια κατά τη διάρκεια μίας ημέρας, υποθέτοντας ότι υπάρχει συνεχής ηλιοφάνεια. Η μέγιστη τιμή της έντασης που είναι γύρω στα 1000 W/m² συμβαίνει το ηλιακό μεσημέρι, όταν δηλαδή ο ήλιος βρίσκεται στο Zenith (το ηλιακό μεσημέρι δεν συμπίπτει απαραίτητα με το ωρολογιακό μεσημέρι).



Σχήμα 2.6.4 Μεταβολή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται κάθετα μία επιφάνεια κατά τη διάρκεια μίας ημέρας

Ένα μέγεθος που ορίζεται ώστε να αποτελεί μέτρο της ηλιακής ενέργειας που δέχεται μία περιοχή είναι ο ισοδύναμος αριθμός ωρών. Είναι ο αριθμός των ωρών που θα έπρεπε να υπάρχει συνεχώς ακτινοβολία έντασης 1000 W/m² ώστε η συνολική ενέργεια να είναι ίση με την ενέργεια που δέχθηκε η κάθετη επιφάνεια σε όλη τη διάρκεια της ημέρας.

Επειδή η ένταση και η ολική ενέργεια μεταβάλλεται μέρα με τη μέρα ένα πιο αντιπροσωπευτικό μέγεθος είναι ο ισοδύναμος αριθμός ωρών για κάθε εποχή του έτους. Το μέγεθος αυτό δίνει το σύνολο των ωρών που θα έπρεπε να υπάρχει συνεχώς ακτινοβολία 1000 W/m² ώστε η συνολική ενέργεια να είναι ίση με την ενέργεια που δέχθηκε η περιοχή σε όλη τη διάρκεια της εποχής. Άλλωστε η ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί κατά τις μέρες μεγάλης ηλιοφάνειας και να δοθεί στον καταναλωτή τις μέρες που υπάρχει μικρή ή που δεν υπάρχει καθόλου ηλιοφάνεια.

Η συνολική ενέργεια που δέχεται ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο εξαρτάται από την ένταση B σε κάθετη επιφάνεια, τον προσανατολισμό του πλαισίου που καθορίζεται από τη γωνία ϕ μεταξύ του πλαισίου και της επιφάνειας που είναι κάθετη στην ακτινοβολία, το εμβαδόν S του πλαισίου και τον χρόνο t σύμφωνα με τον τύπο [11]

$$E = BSt \cos \phi \quad \text{Εξ. 2.6.9}$$

Αν οι ηλιακές ακτίνες προσπίπτουν συνεχώς κάθετα στο πλαίσιο σε όλη τη διάρκεια της ημέρας τότε $\phi=0$, $\cos\phi=1$ και η συνολική ενέργεια που δέχεται το πλαίσιο είναι μέγιστη.

Επειδή οι ακτίνες αλλάζουν κατεύθυνση με το χρόνο, για να επιτευχθεί συνεχώς η κάθετη πρόσπτωση πρέπει το πλαίσιο με τη βοήθεια κάποιου μηχανισμού να περιστρέφεται συνεχώς ώστε να είναι πάντοτε κάθετο στις προσπίπτουσες ακτίνες. Αυτό όμως είναι δύσκολο στην πράξη και το κόστος κατασκευής του πολύ μεγάλο. Έχουν κατασκευαστεί τέτοιοι μηχανισμοί συνεχούς επαναπροσανατολισμού του πλαισίου συλλέκτη αλλά χρησιμοποιούνται σε πολύ ειδικές περιπτώσεις όπως στα συστήματα συγκέντρωσης ακτινοβολίας με κάτοπτρα.

Εκτός από τη μεταβολή της θέσης του ήλιου κατά τη διάρκεια μίας ημέρας, μεταβάλλεται και από τη μία μέρα στην επόμενη. Είναι γνωστό ότι κατά τις ισημερίες, δηλαδή 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, είναι ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου. Μετά τις 23 Σεπτεμβρίου με την πάροδο των ημερών η γωνία αυτή αυξάνεται, επειδή ο ήλιος κατεβαίνει χαμηλότερα, και τέλος κατά τις 22 Δεκεμβρίου ο ήλιος έχει τη χαμηλότερη θέση και η γωνία αυξάνεται κατά $23,5^\circ$. Μετά τις 22 Δεκεμβρίου πάλι ψηλότερα 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 $23,5^\circ$ μικρότερη από το γεωγραφικό πλάτος.

Γι' αυτό η σταθερή τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών πλακών έτσι που να βλέπουν προς το νότο για το βόρειο ημισφαίριο και να σχηματίζουν γωνία ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, έχει σαν αποτέλεσμα μία ικανοποιητική πρόσπτωση συνολικής ηλιακής ενέργειας κάθε μέρα. Το μειονέκτημα όμως στην περίπτωση αυτή είναι ότι υπάρχει μεγάλη διαφορά της συνολικής ηλιακής ενέργειας που δέχονται τα φωτοβολταϊκά στοιχεία σε διαφορετικές ημέρες του χρόνου και μάλιστα κατά τις ημέρες του χειμώνα η ενέργεια αυτή είναι πολύ μικρότερη από την ενέργεια που δέχονται τις ημέρες του καλοκαιριού.

Για να εξουδετερωθεί αυτή η διαφορά, βρέθηκε ότι αν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια τοποθετηθούν έτσι ώστε να σχηματίζουν γωνία με το οριζόντιο επίπεδο ίση με $\phi + 15^\circ$ (ϕ το γεωγραφικό πλάτος του τόπου) η συνολική ηλιακή ενέργεια που απορροφάται από τα πλαίσια γίνεται μεγαλύτερη τον χειμώνα και μικρότερη το καλοκαίρι, με αποτέλεσμα να υπάρχει σχεδόν σταθερότητα για όλη τη διάρκεια του έτους. Δηλαδή η μικρότερη ηλιοφάνεια κατά τις χειμερινές μέρες αντισταθμίζεται με την πιο κάθετη τοποθέτηση των πλαισίων προς τις ηλιακές ακτίνες. Έτσι πρακτικά η ηλιακή ενέργεια που δέχονται τα πλαίσια το χειμώνα είναι ίση περίπου με εκείνη που δέχονται το καλοκαίρι. Επί πλέον η ενέργεια αυτή είναι ίση περίπου με εκείνη που δέχονται τα πλαίσια την άνοιξη και το φθινόπωρο και έτσι διατηρείται η σταθερότητα για όλο το χρόνο.

Στην περίπτωση όμως που το φωτοβολταϊκό σύστημα χρειάζεται να λειτουργήσει μόνο τους καλοκαιρινούς μήνες τα πλαίσια τοποθετούνται κατά γωνία $\phi - 15^\circ$ με το οριζόντιο επίπεδο ώστε η ηλιακή ακτινοβολία να προσπίπτει σχεδόν κάθετα σε αυτά και να έχουμε κάθε μέρα το καλοκαίρι τη μεγαλύτερη ενέργεια στα πλαίσια.

Οι τιμές της ολικής ηλιακής ενέργειας που δέχονται τα φωτοβολταϊκά πλαίσια κατά μέσο όρο κάθε μέρα για τις διάφορες εποχές του χρόνου δίνονται σε ισοδύναμο αριθμό ωρών ή σε KWh/m^2 ημέρα για την Ελλάδα [11].

Είναι φανερό ότι οι τιμές που αναγράφονται στον πίνακα αποτελούν μέσο όρο και καλύπτουν γενικά όλη την Ελλάδα. Οι τιμές αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν όταν δεν υπάρχουν πιο ακριβή στοιχεία για την περιοχή που θα εγκατασταθεί το φωτοβολταϊκό σύστημα. Τέτοια στοιχεία παρέχονται από τους κοντινούς μετεωρολογικούς σταθμούς ή άλλες αρμόδιες υπηρεσίες του κράτους.

Πίνακας 2.6.1 Μέσος αριθμός ωρών ανάλογα με τον προσανατολισμό των πλαισίων

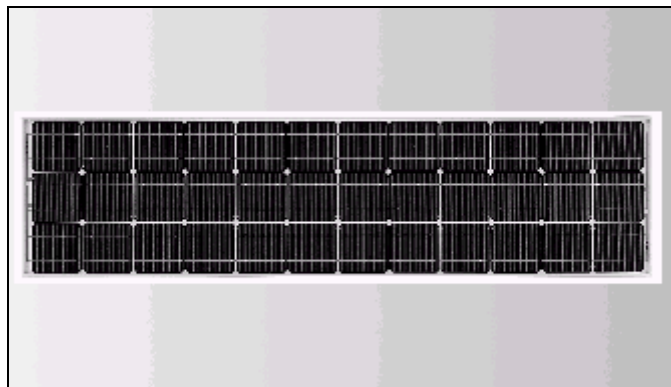
Προσανατολισμός πλαισίων	Ώρες			
	Χειμώνας	Ανοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο
κατά φ	3	5,5	6,5	4
κατά φ+15°	3,5	5	5,5	4,5
κατά φ-15°	3	6	7,5	4,5

2.6.3 Το Φωτοβολταϊκό Σύστημα

Στην παράγραφο αυτή θα μελετηθούν χωριστά τα πιο βασικά μέρη ενός φ/β συστήματος που είναι το φ/β πλαίσιο, ο ρυθμιστής τάσης και ο μετατροπέας

2.6.3.1 Φωτοβολταϊκά Πλαίσια

Η τάση και η ισχύς ενός φ/β στοιχείου είναι πολύ μικρή για να τροφοδοτήσει ένα συνηθισμένο καταναλωτή. Γι' αυτό το λόγο πολλά φ/β στοιχεία συνδέονται μαζί σ' ένα πλαίσιο με κοινή ηλεκτρική έξοδο. Το Σχήμα 2.6.5 δείχνει ένα φ/β πλαίσιο.



Σχήμα 2.6.5 Φωτοβολταϊκό πλαίσιο

Τα χαρακτηριστικά κάθε πλαισίου είναι:

Η μέγιστη ισχύ (Peak Power)

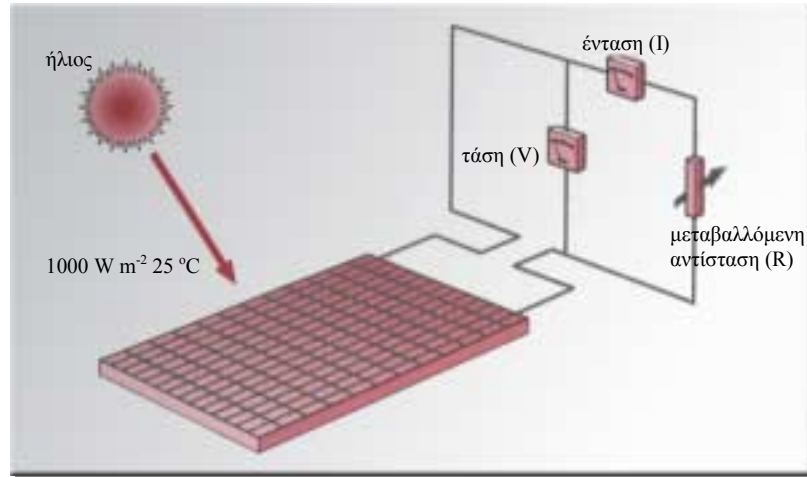
Είναι η ισχύς που θα δώσει το πλαίσιο όταν φωτίζεται με ένταση ηλιακής ακτινοβολίας 1000W σε κάθε τετραγωνικό μέτρο, όταν η θερμοκρασία του πλαισίου είναι 25°C.

Είναι φανερό ότι η ισχύς που θα δώσει ένα πλαίσιο εξαρτάται από το εμβαδόν του, το είδος του, που καθορίζει την απόδοση, και από την θερμοκρασία. Η μέγιστη ισχύς του πλαισίου δίνεται πάντοτε από τον κατασκευαστή.

Βρέθηκε ότι όταν αυξάνεται η θερμοκρασία, η ισχύς που δίνει το πλαίσιο ελαττώνεται κατά 0,4% για κάθε βαθμό Κελσίου πάνω από τους 25°C. Για παράδειγμα ένα πλαίσιο με μέγιστη ισχύ 40 W στους 25°C, θα δώσει μόνο 36,8 W στους 45°C [12].

Η τάση λειτουργίας του πλαισίου (operating voltage)

Τα περισσότερα πλαίσια που κυκλοφορούν σήμερα στην αγορά είναι κατασκευασμένα ώστε να παρέχουν τάση λίγο μεγαλύτερη από 12 V και έτσι να μπορούν να φορτίζουν μπαταρία των 12 V. Για την κατασκευή των πλαισίων αυτών χρησιμοποιούνται 35 φωτοβολταϊκά στοιχεία για κάθε πλαίσιο. Εφόσον κάθε στοιχείο δίνει τάση 0,5 V είναι επόμενο ότι η τάση του πλαισίου είναι γύρω στα 17 V.



Σχήμα 2.6.6 Φ/Β πλαίσιο συνδεδεμένο με μεταβλητή αντίσταση για να μετρηθούν οι μεταβολές στην τάση και στην ένταση όταν η αντίσταση μεταβάλλεται

Το ρεύμα λειτουργίας του πλαισίου (operating current)

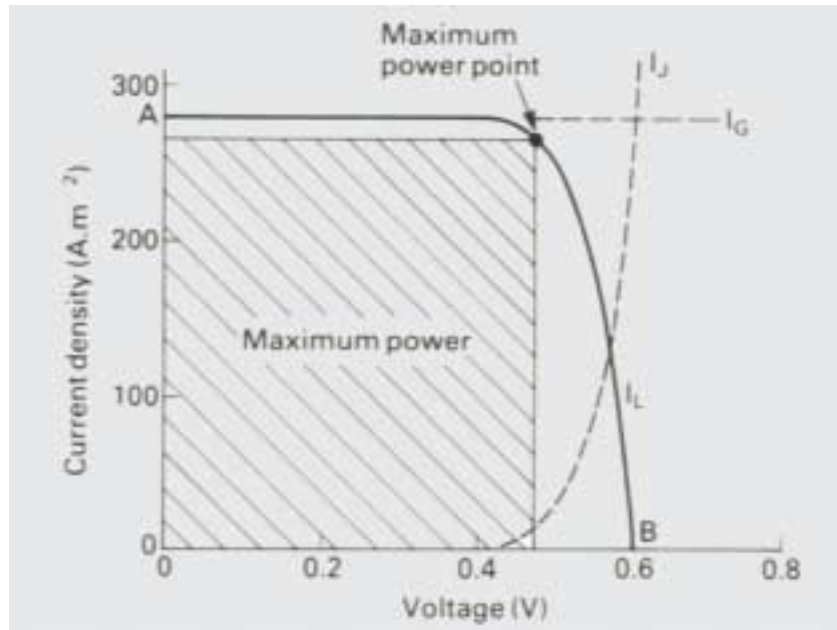
Είναι το ρεύμα που καθορίζεται από τη μέγιστη ισχύ που παρέχει το πλαίσιο και την τάση που δημιουργείται στα άκρα του όταν η ένταση της ακτινοβολίας είναι 1000 W/m^2 .

Κάθε στοιχείο, πλαίσιο ή και σειρά πλαισίων έχει χαρακτηριστική καμπύλη που δίνει τη σχέση μεταξύ τάσης και έντασης του ρεύματος, για ορισμένη ένταση ακτινοβολίας.

Στην Σχήμα 2.6.7 φαίνονται δύο άλλα χαρακτηριστικά μεγέθη που είναι το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} και η τάση ανοικτού κυκλώματος V_{oc} .

Ρεύμα βραχυκύκλωσης (Short-Circuit Current) είναι το ρεύμα που δίνει το στοιχείο ή πλαίσιο, όταν τα άκρα του βραχυκυκλώνονται, δηλαδή ενώνονται με σύρμα μηδαμινής αντίστασης.

Τάση ανοικτού κυκλώματος (Open-Circuit Voltage) είναι η τάση που εμφανίζεται στα άκρα του στοιχείου ή πλαισίου, όταν δεν ενώνονται μεταξύ τους ή ενώνονται με τη βοήθεια μίας πολύ μεγάλης αντίστασης.



Σχήμα 2.6.7 Χαρακτηριστική καμπύλη φ/β στοιχείου

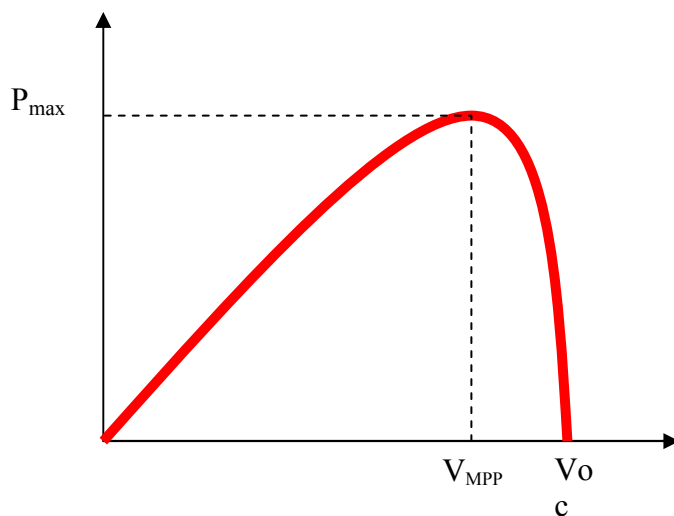
Σε κάθε χαρακτηριστική καμπύλη υπάρχει ένα σημείο στο οποίο η τάση και η ένταση του ρεύματος έχουν τέτοιες τιμές ώστε το γινόμενο τους, δηλαδή η ηλεκτρική ισχύς να παίρνει τη μεγαλύτερη τιμή. Είναι φανερό ότι για το σημείο αυτό, το ορθογώνιο που σχηματίζεται έχει το μεγαλύτερο εμβαδόν από όλα τα ορθογώνια που μπορούν να σχηματιστούν για άλλα σημεία. Το σημείο αυτό ονομάζεται σημείο μέγιστης ισχύος και ισχύει ο τύπος

$$P_{\max} = I_{MPP} V_{MPP} \quad \text{Εξ. 2.6.10}$$

όπου :

- P_{\max} : η μέγιστη ισχύς
- I_{MPP} : η ένταση του ρεύματος που δίνει τη μέγιστη ισχύ
- V_{MPP} : η τάση που δίνει τη μέγιστη ισχύ

Όταν τα άκρα του στοιχείου είναι βραχυκυκλωμένα ($R=0$) ή όταν το κύκλωμα είναι ανοικτό ($R=\infty$) η ηλεκτρική ισχύς που παράγει το στοιχείο είναι μηδέν, αφού στην πρώτη περίπτωση η τάση είναι μηδέν και στη δεύτερη η ένταση του ρεύματος είναι μηδέν. Σε ενδιάμεσες καταστάσεις η ηλεκτρική ισχύς παίρνει τιμές που φαίνονται στο διάγραμμα του Σχήματος 2.6.8. Επομένως για δεδομένες συνθήκες ακτινοβολίας, η μεγαλύτερη ισχύς που μπορεί να δώσει το φ/β στοιχείο εξαρτάται από την κατάλληλη εκλογή της αντίστασης του κυκλώματος του στοιχείου.

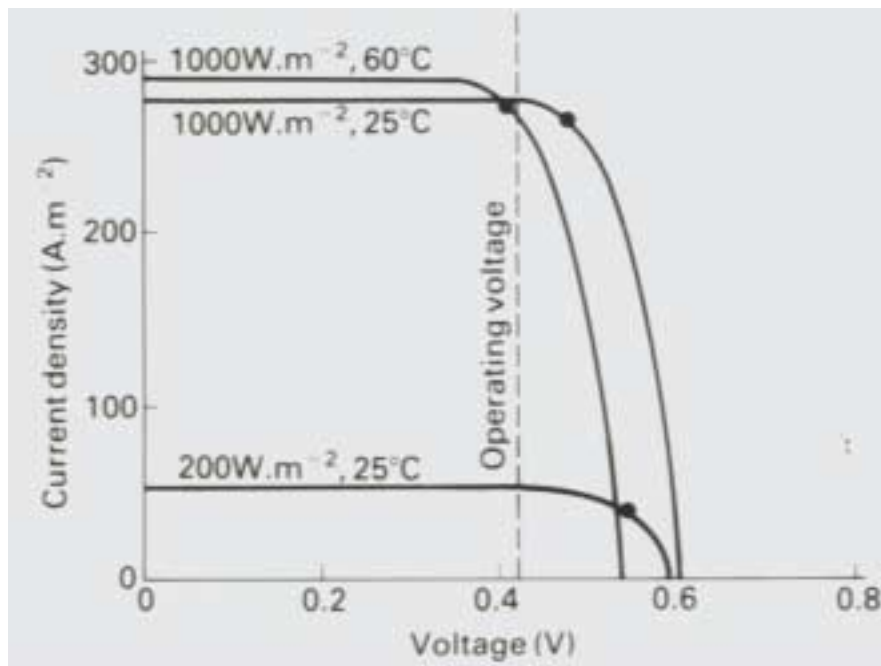


Σχήμα 2.6.8 Μεταβολή της ισχύος σε συνάρτηση με την τάση

Τα παραπάνω αναφέρονται σε σταθερή ένταση ακτινοβολίας και σταθερή θερμοκρασία.

Για διαφορετικές τιμές της έντασης ακτινοβολίας σχηματίζεται μία ομάδα από μετατοπισμένες χαρακτηριστικές καμπύλες. Φυσικά για τη μέγιστη ένταση ακτινοβολίας των 1000 W/m^2 , το σημείο μέγιστης ισχύος δίνει τη μέγιστη ισχύ που παράγει το φ/β στοιχείο ή πλαίσιο.

Αν, για ορισμένη ένταση ακτινοβολίας κατασκευαστούν οι χαρακτηριστικές καμπύλες για διαφορετικές θερμοκρασίες θ , βρίσκεται ότι η μέγιστη ισχύς επηρεάζεται σε μικρό βαθμό όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία. Έτσι είναι δυνατό με κατάλληλο ηλεκτρονικό κύκλωμα ελέγχου να ρυθμίζεται το πλαίσιο ή σύστημα πλαισίων, ώστε να εργάζεται με τέτοιο τρόπο που να δίνει συνεχώς τη μέγιστη ισχύ χωρίς μεγάλες διαφορές όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία των πλαισίων.



Σχήμα 2.6.9 Επίδραση μεταβολής της ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας

2.6.3.2 Μετατροπέας Συνεχούς-Εναλλασσόμενου (inverter)

Η συσκευή αυτή είναι απαραίτητη για τη μετατροπή του συνεχούς (DC) ρεύματος σε εναλλασσόμενο (AC) για να μπορούν να λειτουργούν οι διάφορες συσκευές που κυκλοφορούν στην αγορά.

Ένας τέτοιος μετατροπέας είναι ο περιστρεφόμενος, στον οποίο το συνεχές ρεύμα προκαλεί περιστροφή ενός κινητήρα που με τη σειρά του μεταδίδει την κίνηση σε μία γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος. Η συσκευή αυτή δεν χρησιμοποιείται σήμερα διότι με την ανάπτυξη της τεχνολογίας έχουν κατασκευαστεί παρόμοιες συσκευές με ημιαγωγούς και χωρίς κινητά μέρη. Η απόδοση των τελευταίων είναι πολύ μεγαλύτερη, η συντήρησή τους πολύ πιο εύκολη και η ανάγκη για επιδιόρθωση σπάνια.

Ανάλογα με το είδος του φ/β συστήματος χρησιμοποιείται και ο κατάλληλος μετατροπέας. Σε ένα αυτοτελές φ/β σύστημα συνδέεται μετατροπέας που έχει τέτοια κατασκευή ώστε να λειτουργεί με την ηλεκτρική ενέργεια που δίνουν τα φ/β πλαίσια και να μετατρέπει τη συνεχή μορφή της ενέργειας αυτής σε εναλλασσόμενη. Σε ένα φ/β σύστημα ενωμένο με το κεντρικό

δίκτυο, συνδέεται μετατροπέας που λειτουργεί με την τάση του κεντρικού δικτύου και καθίσταται ικανός να μετατρέψει τη συνεχή τάση των φ/β πλαισίων σε εναλλασσόμενη ώστε να τροφοδοτούνται οι ηλεκτρικές συσκευές ή ακόμα και το ηλεκτρικό δίκτυο.

2.6.3.2.1 Μετατροπέας Αυτοτελούς Συστήματος

Τα κύρια χαρακτηριστικά του μετατροπέα αυτοτελούς φ/β συστήματος είναι τα εξής: η τάση εισόδου, είναι η τάση των φ/β πλαισίων. Η ισχύς του που καθορίζεται από το μέγεθος του φ/β συστήματος. Η απόδοση του που κυμαίνεται μεταξύ του 80% και του 90%. Η ικανότητα του να μετατρέπει όσο το δυνατό καλύτερα τη συνεχή τάση εισόδου σε εναλλασσόμενη, χωρίς να εμφανίζονται σήματα παραμόρφωσης και να διατηρεί μία σχετική σταθερότητα στη συχνότητα.

Βασικό κριτήριο στην εκλογή κατάλληλου μετατροπέα που θα τοποθετηθεί σε αυτοτελές φ/β σύστημα είναι το είδος της εναλλασσόμενης τάσης που χρειάζεται για να λειτουργήσει ο καταναλωτής. Πολλές συσκευές λειτουργούν και με εναλλασσόμενη τάση διαφορετική της ημιτονοειδούς, υπάρχουν όμως συσκευές, όπως οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές, που χρειάζονται τέλεια ημιτονοειδή τάση για να λειτουργήσουν κανονικά. Άλλες συσκευές που έχουν κινητήρα χρειάζονται σταθερότητα στη συχνότητα γι' αυτό και ο μετατροπέας πρέπει να δίνει εναλλασσόμενη τάση σταθερής συχνότητας.

Η όσο το δυνατό μεγαλύτερη απόδοση αποτελεί βασικό κριτήριο για την εκλογή του μετατροπέα. Αν ένας μετατροπέας έχει 90% απόδοση τότε στην είσοδο του θα χρειαστεί ισχύ 3,3 KW για να δώσει στην έξοδο του ισχύ 3 KW. Συνήθως η απόδοση είναι μικρότερη αν η ισχύς που του δίνεται είναι μικρότερη από την τιμή για την οποία κατασκευάστηκε. Φυσικά είναι πλεονέκτημα για ένα μετατροπέα να έχει σταθερή απόδοση για μεγάλη περιοχή διαφορετικών τιμών ισχύος.

Ένα άλλο πλεονέκτημα που πρέπει να έχει ένας μετατροπέας είναι η αυτόματη διακοπή της λειτουργίας του όταν δεν είναι συνδεδεμένος με καταναλωτή σε λειτουργία. Με αυτόν τον τρόπο εξοικονομείται ενέργεια γιατί δεν θα υπάρχουν απώλειες στον ίδιο το μετατροπέα όταν δεν περνά ρεύμα απ' αυτόν.

Επίσης, σε περίπτωση που ο μετατροπέας χρειαστεί να τροφοδοτήσει μεγάλο κινητήρα σαν αυτόν που βρίσκεται σε ηλεκτρική αντλία νερού ή σε συμπιεστή ψυγείου, πρέπει να είναι σε θέση να δώσει στην αρχή την απαραίτητη ισχύ που χρειάζεται ο κινητήρας για να ξεκινήσει, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή.

Για παράδειγμα ένας κινητήρας ενός ίππου (746 W), ανάλογα με την απόδοση του, χρειάζεται 1 μέχρι 1,5 KW για να λειτουργήσει κανονικά. Για να ξεκινήσει όμως είναι δυνατό να χρειασθεί 5KW ή ακόμα και περισσότερη ισχύ. Κάθε μετατροπέας έχει ως χαρακτηριστικά τη μέγιστη στιγμιαία ισχύ που μπορεί να δώσει σε ένα κινητήρα για να τον ξεκινήσει και τη συνεχή ισχύ που δίνει στον ίδιο κινητήρα για να λειτουργήσει κανονικά.

Άλλο χαρακτηριστικό του μετατροπέα αυτοτελούς φ/β συστήματος, είναι η σταθερότητα τάσης που δίνει στον καταναλωτή. Επειδή η κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας δεν είναι πάντοτε η ίδια, υπάρχουν αυξομειώσεις στην τάση που δέχεται ο μετατροπέας. Σήμερα έχουν κατασκευαστεί εξαιρετικοί από πλευράς ποιότητας μετατροπείς που έχουν τη δυνατότητα να δίνουν ημιτονοειδή εναλλασσόμενη τάση με 1-2% αυξομείωση στην τάση εξόδου. Οι περισσότερες οικιακές συσκευές λειτουργούν κανονικά με αυξομειώσεις της τάσης γύρω στο 5-10%. Αυτές είναι συνήθως μικρότερες των αυξομειώσεων της τάσης που δίνει το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο στο σπίτι. Για προστασία τόσο του ίδιου του μετατροπέα, της μπαταρίας

αλλά και του καταναλωτή, ένας καλής ποιότητας μετατροπέας έχει μηχανισμό διακοπής της λειτουργίας του εφόσον η τάση στην είσοδο του έχει αστάθεια.

Ο συντελεστής ισχύος ($\cos\phi$) είναι ο λόγος της πραγματικής ισχύος που χρησιμοποιεί ο καταναλωτής προς την ισχύ που δίνεται στον καταναλωτή. Η τιμή του συντελεστή ισχύος εξαρτάται από την εκλογή του μετατροπέα και το είδος του καταναλωτή. Ένας καλής ποιότητας μετατροπέας παρουσιάζει συντελεστή ισχύος 0,7 κατά τη σύνδεση του με τους διάφορους καταναλωτές.

Είναι γεγονός όμως ότι πολλοί μετατροπείς παρουσιάζουν προβλήματα στη διατήρηση σταθερότητας μιας αποδεκτής τιμής του συντελεστή ισχύος κάτω από διαφορετικές συνθήκες φόρτισης. Για παράδειγμα, αν στο κύκλωμα του καταναλωτή υπάρχουν φώτα και πλυντήριο, είναι δυνατό να χαμηλώσουν τα φώτα λόγω μικρότερης ισχύος που δέχονται αν λειτουργήσει συγχρόνως και το πλυντήριο.

Πολλοί μετατροπείς, όταν λειτουργούν, προκαλούν ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή σε ηλεκτρονικές συσκευές. Για να αποφευχθεί αυτό πρέπει να γίνει καλή εκλογή του μετατροπέα ώστε το βασικό εσωτερικό κύκλωμα να μην προκαλεί ηλεκτρομαγνητική εκπομπή.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό που πρέπει να έχει ένας μετατροπέας είναι να μην προκαλεί θόρυβο κατά τη λειτουργία του. Στην περίπτωση που προκαλεί κάποιο μικρό θόρυβο, πρέπει να τοποθετείται μακριά από χώρους στους οποίους ο θόρυβος είναι ενοχλητικός.

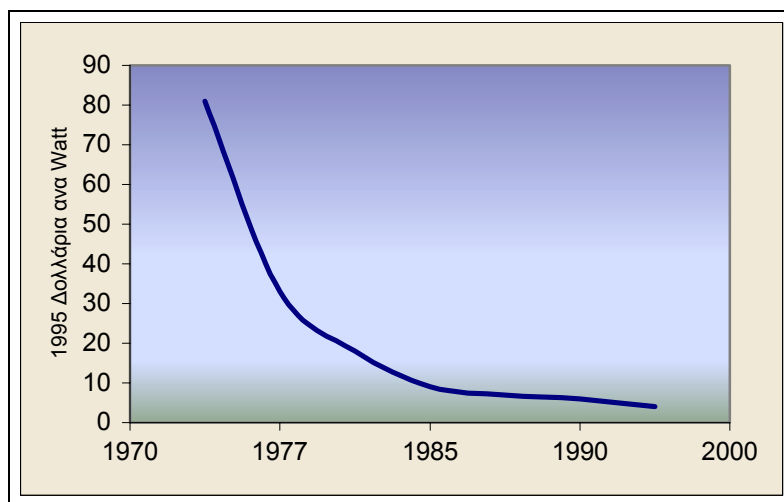
Είναι πολύ σημαντικό επίσης για το μετατροπέα να λειτουργήσει για μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς να υποστεί βλάβη αλλά και σε περίπτωση βλάβης ο αντιπρόσωπος να είναι σε θέση να τον επιδιορθώσει.

2.6.4 Οικονομικά για τα Φωτοβολταϊκά

Οι τεχνολογίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή κατανεμημένης ενέργειας έχουν προοδεύσει με γοργούς ρυθμούς την τελευταία δεκαετία. Τα φ/β χρησιμοποιήθηκαν πρώτη φορά στη βιομηχανία του διαστήματος και σύντομα παρείχε αξιόπιστη ενέργεια σε περιοχές όπου η διακοπή τροφοδοσίας ρεύματος θα ήταν τρομερά επιζήμια. Η αξιοπιστία και η αποδοτικότητα των φ/β έχει αυξηθεί αξιοσημείωτα από τότε. Οι σύγχρονες τεχνολογίες φ/β χαρακτηρίζονται από αποδόσεις ενεργειακής μετατροπής περισσότερο από 10% και οδηγεί τους κατασκευαστές των φ/β να προσφέρουν εγγυήσεις στην παραγωγή ηλεκτρισμού πάνω από 25 χρόνια, ένα χρονικό όριο που υπερβαίνει τις εγγυήσεις των περισσότερων άλλων τεχνικών προϊόντων μέχρι τώρα.

Εν τω μεταξύ, οι τιμές των φ/β μειώνονται λόγω των επιδράσεων της καμπύλης γνώσεως στην εμπειρία κατασκευής και στο ξεκίνημα μαζικής παραγωγής φ/β στοιχείων. Μεταξύ του 1975 και του 1995 η τιμή των φ/β στοιχείων ελαττώθηκε από 80\$/W σε 4\$/W [10]. Τα φ/β έγιναν μία οικονομικά αποδοτική επιλογή για την τροφοδοσία ενέργειας σε σπίτια οικισμών που είναι εγκατεστημένα εκτός δικτύου για χρόνια.

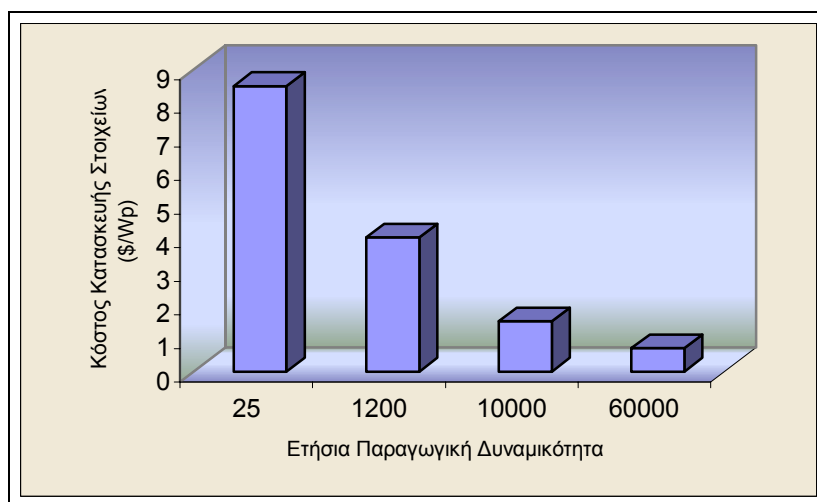
Η καλή ηλιακή έκθεση και η μεγάλη κατανομή οικιακής ηλεκτρικής ενέργειας στην Καλιφόρνια, στη Νέα Υόρκη και στη Μασαχουσέτη οδήγησαν σε φ/β σύστημα εξισορροπημένων τιμών που υπερβαίνει τα 4\$/W. Αυτά τα εξισορροπημένα κόστη είναι πολύ κοντά με τις σημερινές τιμές των φ/β συστημάτων, λαμβάνοντας υπόψη τις ελαφρύνσεις κρατικών φόρων για την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας.



Σχήμα 2.6.10 Πορεία της τιμής των φ/β πλαισίων

Το μεγαλύτερο μέρος της προόδου στις τεχνολογίες οφείλεται στην παγκόσμια ανάπτυξη σε όλες τις περιοχές του κόσμου. Οι προσπάθειες πολλών ξένων κυβερνήσεων να εισαγάγουν την τεχνολογία των φ/β στις χώρες τους είναι εκπληκτικές, ειδικότερα στις χώρες του Τρίτου Κόσμου, όπου δεν υπήρξε ποτέ μία αξιόπιστη πηγή ενέργειας μέχρι την πρόσφατη ανάπτυξη των τεχνολογιών των φ/β.

Πανεπιστήμια και διεθνείς εταιρείες αναμίχθηκαν στην ανάπτυξη φ/β πλαισίων αναπτύσσοντας καινοτόμες τεχνολογίες και υλικά. Η συνεργατική υποστήριξη της σύγχρονης έρευνας ως επίσης και της ανάπτυξης και παραγωγής από τις κυβερνήσεις, τα πανεπιστήμια και τις ιδιωτικές επιχειρήσεις είναι επιβεβλημένη.



Σχήμα 2.6.11 Μείωση του κόστους παραγωγής σε σχέση με τη μαζική παραγωγή

Ένας αριθμός ημιαγωγών υλικών, όπως το σουλφίδιο του καδμίου, το τελλουρίδιο του καδμίου, το αρσενίδιο του γαλλίου και το φωσφίδιο του ινδίου, είναι υλικά με μεγάλο ενδιαφέρον και ήδη χρησιμοποιούνται στην παραγωγή. Αν και τα ηλιακά πλαίσια που κατασκευάζονται με τα παραπάνω υλικά είναι περισσότερο αποδοτικά, τα πλαίσια με βάση το πυρίτιο είναι φθηνότερα. Τα ηλιακά πλαίσια χρησιμοποιούνταν για μεγάλο διάστημα για να παρέχουν ενέργεια σε διαστημόπλοια και σε δορυφόρους. Καθώς το κόστος μειώθηκε, χρησιμοποιήθηκαν σαν πηγές ενέργειας για συσκευές όπως αντλίες άρδευσης σε

απομακρυσμένες περιοχές, αποβάθρες γεώτρησης πετρελαίου, σταθμούς αναμετάδοσης και για πολλές μικρές συσκευές όπως οι αριθμομηχανές.

Τα τελευταία χρόνια, τα περισσότερα εργοστάσια συγκέντρωσης φ/β ενέργειας χρησιμοποιούν πλαίσια τεχνολογίας πυριτίου. Αν η τεχνολογία πυριτίου φτάσει την προβλεπόμενη δυνατή απόδοση, θα είναι πολύ κοντά στο εμπορικό εφαρμόσιμο κόστος των 12 cent/kWh όπως καθορίζεται από το Αμερικάνικο υπουργείο ενέργειας. Με τη μείωση του κόστους της τεχνολογίας του αρσενιδίου του γαλλίου, υπολογίζεται ότι η αύξηση της χρήσης της τεχνολογίας της φ/β ενέργειας μπορεί να φθάσει κόστη απόδοσης του 11,8 cents/kWh [10].

Η πιο ελπιδοφόρα τεχνολογία είναι τα φ/β πλαίσια λεπτής μεμβράνης. Τα πλαίσια λεπτής μεμβράνης απαιτούν μόνο ένα κλάσμα των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή συμβατικών ηλιακών πλαισίων. Το Κέντρο Έρευνας της Ηλιακής ενέργειας και Υδρογόνου (Zentrum für Sonnenenergie und Wasserstoff-Forschung, ZSW) στη Στουτγάρδη της Γερμανίας ανέπτυξε μία νέα γενιά φ/β λεπτής μεμβράνης νηξελιδίου ινδίου χαλκού και βρίσκεται στο κατώφλι της εμπορικής παραγωγής. Το ZSW εκτιμά μία ετήσια παραγωγή των 10 MWp να είναι εφικτή μέσα στα επόμενα τρία ή πέντε χρόνια και προσδοκεί το κόστος φ/β στοιχείου να είναι 1\$ αν η ετήσια δυναμικότητα παραγωγής φτάσει τα 60 MWp. Επειδή τα στοιχεία αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος του συνολικού κόστους, αυτή η πρόβλεψη μπορεί να κάνει τα φ/β συστήματα ανταγωνιστικά με την κεντρική παραγωγή ενέργειας από φυσικά καύσιμα.

Κεφάλαιο 3

Μέθοδοι και Συστήματα Αφαλάτωσης

3. Μέθοδοι και Συστήματα Αφαλάτωσης

3.1 Εισαγωγή

3.1.1 Το πρόβλημα του Νερού

Το νερό είναι ένα από τα πολυτιμότερα φυσικά αγαθά, απαραίτητο για τη διατήρηση της ζωής όλων ανεξάρτητα των όντων του πλανήτη, όπως και για την εξέλιξη τους.

Το νερό και ο πολιτισμός αποτελούσαν πάντοτε δύο αδιαχώριστες έννοιες, όπως γίνεται φανερό αν ανατρέξει κανείς στην ιστορία της ανθρωπότητας από την προϊστορία μέχρι σήμερα. Οι ποταμοί, οι θάλασσες, οι λίμνες, οι ωκεανοί ακόμα και οι οάσεις με άφθονο νερό υπήρξαν πάντοτε πόλοι για ομάδες ανθρώπων, που εγκαταστάθηκαν κοντά στις ακτές τους, διότι το νερό είναι πηγή ζωής. Η αναδρομή αυτή στην ιστορία του πολιτισμού προσδιορίζει ότι δεν είναι τυχαίο ότι όλοι οι μεγάλοι πολιτισμοί και η οικονομική δύναμη των διαφόρων λαών γεννήθηκαν και άνθισαν κατά μήκος των μεγάλων υδάτινων ρευμάτων. Ένα λαμπρό παράδειγμα της επίδρασης ενός ποταμού στην γέννηση και την ανάπτυξη ενός μεγάλου πολιτισμού είναι η αρχαία Αίγυπτος, την οποία ο Ηρόδοτος αποκαλούσε «το δώρο του ποταμού». Ήδη από το 3000 π.Χ. περίπου οι Αιγύπτιοι παρακολουθώντας τη συμπεριφορά του Νείλου κατήρτισαν ένα ημερολόγιο με τρεις εποχές, στις οποίες στήριζαν όλη τη γεωργική τους καλλιέργεια, η οποία καθόριζε κατά το μεγαλύτερο μέρος την οικονομία της χώρας.

Παρακολουθώντας το καλοκαίρι την πλημμύρα του νερού και της λάσπης, που ο Νείλος παράσερνε από τα υψίπεδα της Αβησσυνίας, και στη συνέχεια την υποχώρηση των νερών και την πλούσια και καρπερή λάσπη που έμενε, επινόησαν και τοποθέτησαν σε καίρια σημεία του ποταμού τα Νειλόμετρα,, ώστε να γνωρίζουν έγκαιρα την ανύψωση ή την υποχώρηση της στάθμης του ποταμού. Δημιουργώντας κανάλια για το πότισμα των αγρών τους, δάμασαν συγχρόνως και τη στάθμη του νερού κατά ένα ποσοστό. Ο Νείλος καθόριζε έτσι το ρυθμό της ζωής των κατοίκων της αρχαίας Αιγύπτου και έμμεσα την οικονομία της. Η γεωργία αναπτύχθηκε σε τέτοιο σημείο ώστε η Αίγυπτος έγινε ο σιτοβολώνας όλης της Μεσογείου.

Στη σημερινή εποχή οι συνθήκες είναι τελείως διαφορετικές. Η γενική βελτίωση του βιοτικού επιπέδου, αλλά και η εκρηκτική πληθυσμιακή αύξηση των μεγάλων αστικών κέντρων έχει επιφέρει δυσανάλογη αύξηση της ζήτησης του νερού και εξίσου δυσανάλογη σπατάλη, με αποτέλεσμα οι πηγές τροφοδότησης με νερό χρήσης μεγάλων περιοχών του πλανήτη να στερεύουν σταδιακά. Η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού έχει και ένα άλλο σημαντικό και εξίσου θλιβερό αποτέλεσμα: τη ραγδαία αύξηση της μόλυνσης όλων σχεδόν των υδάτινων αποθεμάτων. Αυτή η μόλυνση προέρχεται τόσο από λύματα οικιακής χρήσης, κυρίως όμως από τα βιομηχανικά απόβλητα, τα οποία διοχετεύονται στις λίμνες, στα ποτάμια και στη θάλασσα. Η περιεκτικότητα αυτών των λυμάτων, ακόμα και αυτών που έχουν υποστεί μερικό

καθαρισμό, σε μεγάλη ποικιλία και συγχρόνως σε μεγάλη συγκέντρωση επιβλαβών χημικών ουσιών αποτελεί μία διαρκή απειλή για την υγεία και την επιβίωση τόσο των ανθρώπων όσο και της πανίδας και της χλωρίδας της ευρύτερης περιοχής όπου διοχετεύονται. Λιγότερο ορατή αλλά εξίσου επικίνδυνη είναι η χρήση φυτοφαρμάκων, ζιζανιοκτόνων και χημικών λιπασμάτων, τα οποία εναποτίθενται στο έδαφος και παρασύρονται από το νερό της βροχής, μολύνοντας όχι μόνο τα επιφανειακά νερά αλλά και τα υπόγεια αποθέματα.

Στα αστικά κέντρα συνήθως σπαταλάτε απερίσκεπτα το νερό, χωρίς να συνειδητοποιείται ότι υπάρχει κάποιο όριο στην ποσότητα, που η ίδια η φύση έχει θέσει και χωρίς να αναλογίζεται ότι υπάρχουν περιοχές στον πλανήτη όπου υπάρχει τόση ξηρασία και έλλειψη νερού, ώστε ένα ποτήρι νερό να είναι πιο πολύτιμο από την ίδια ποσότητα σε χρυσό. Η παραπάνω κατάσταση επικρατεί όχι μόνο στις ανά την υφήλιο ερήμους και άγονες περιοχές του Τρίτου Κόσμου, αλλά ακόμα και σε περιοχές του δυτικού ημισφαιρίου.

Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα, το πιο εύκολο φαίνεται να είναι η προσπάθεια για την ευαισθητοποίηση του κόσμου στο θέμα της αλόγιστης σπατάλης και κυρίως στο θέμα της μόλυνσης. Δυστυχώς όμως αυτό είναι συγχρόνως και το πιο δύσκολο έργο, γιατί το κοινό σπανίως προσέχει ή αφομοιώνει παροτρύνσεις, εκτός και αν αντιμετωπίσει τις συνέπειες της αδιαφορίας ή της απερισκεψίας του. Η φύση, όταν δεν βιάζεται, παρέχει τα προϊόντα της αγνά, αμόλυντα και σε απεριόριστες ποσότητες. Ωστόσο, η άπληστη, αλόγιστη και χωρίς προγραμματισμό εκμετάλλευση των περισσότερων φυσικών αποθεμάτων έχει βλάψει ανεπανόρθωτα τη φύση. Οι περισσότερες φυσικές διαδικασίες είναι γενικά πολύ χρονοβόρες και η αναπλήρωση των φυσικών αποθεμάτων, κάθε μορφής, είναι δύσκολη και προβληματική, όχι μόνο γιατί απαιτείται τεράστιο χρονικό διάστημα, αλλά επίσης γιατί η φυσική ισορροπία έχει διαταραχθεί σε μεγάλο βαθμό. Παρ' όλα αυτά, η φύση εξακολουθεί να παράγει καθαρό νερό, το οποίο οι άνθρωποι το μολύνουν με τόνους φυσικών και χημικών αποβλήτων.

Η κατάσταση έχει φθάσει σε κρίσιμο σημείο σε πολλές περιοχές του πλανήτη. Η ζωή δημιουργήθηκε στο νερό και ζωή χωρίς νερό δεν είναι δυνατό να υπάρξει ή σύμφωνα με τα δεδομένα της σημερινής εποχής ζωή χωρίς καθαρό νερό δεν είναι δυνατό να υπάρξει.

Η επιφάνεια της γης καλύπτεται από τεράστιες ποσότητες νερού που όμως μόνο το 3% είναι πόσιμο ή υφάλμυρο νερό, ενώ το υπόλοιπο 97% αποτελεί το νερό των θαλασσών και των ωκεανών.

3.1.1.1 Ζήτηση του Νερού

Το νερό έχει μία ευρύτατη κλίμακα χρήσης για πολύ διαφορετικούς σκοπούς, η οποία σε μεγάλο ποσοστό εξαρτάται από το γεωγραφικό, το πολιτιστικό, το κοινωνικό και το οικονομικό επίπεδο των ομάδων που το χρησιμοποιούν. Η ζήτηση επομένως του νερού, τόσο ως ποσότητα όσο και ως είδος χρήσης, εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Γενικά μπορεί να καταταγεί σε τέσσερις μεγάλες ομάδες χρήσης [13]:

- οικιακή χρήση
- κοινοτική χρήση
- βιομηχανική χρήση
- γεωργική χρήση

Η οικιακή χρήση περιλαμβάνει το πόσιμο νερό, το νερό καθαρισμού γενικά σπιτιών και καταστημάτων και το νερό μαγειρέματος.

Η κοινοτική χρήση περιλαμβάνει το νερό ποτίσματος των δημοσίων χώρων, την τοπική διανομή νερού για σκοπούς πυρόσβεσης, τους υδάτινους δρόμους μεταφοράς, όπου υπάρχουν, όπως κανάλια για τη μεταφορά υλικών κλπ.

Η βιομηχανική χρήση του νερού αναφέρεται σε κάθε βιομηχανία χημική ή μη, η οποία χρησιμοποιεί νερό είτε για την παραγωγή είτε ως νερό ψύξης. Στη βιομηχανική χρήση ανήκουν και οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής ρεύματος.

Τέλος, η γεωργική χρήση του νερού περιλαμβάνει την κτηνοτροφία, τη γεωργία, δύο πολύ ευαίσθητους παράγοντες ως προς την ποιότητα του νερού, και την αλιεία.

Κάθε ομάδα χρήσης απαιτεί νερό διαφορετικής ποιότητας, τόσο ως προς την περιεκτικότητα των αλάτων όσο και τη βιολογική καθαρότητα. Οι γενικές προδιαγραφές, επομένως, είναι πολύ διαφορετικές για κάθε ομάδα και λιγότερο ή περισσότερο ελαστικές ανάλογα με τη χρήση.

3.1.1.2 Κριτήρια Ποιότητας

Η καταλληλότητα των νερών, ανάλογα με τη χρήση, δίνεται από πρότυπα προδιαγραφών, όπου αναφέρεται το είδος των αλάτων και τα όρια που τίθενται στην περιεκτικότητά τους. Αυτές οι προδιαγραφές έχουν καθιερωθεί παγκόσμια, χωρίς όμως αυτό να αποκλείει ολικές ή μερικές διαφορές από τοπικά κρατικά πρότυπα, ιδίως για νερά που αφορούν την κοινοτική ή βιομηχανική χρήση, όπου οι προδιαγραφές είναι ελαστικές και καθορίζονται συχνά από τις ίδιες τις βιομηχανίες ανάλογα με τις διαθέσιμες πηγές νερού.

Αντίθετα, για το πόσιμο νερό οι προδιαγραφές είναι πολύ αυστηρές και έχουν δοθεί από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, ο οποίος εδρεύει στη Γενεύη (World Health Organization, WHO). Ο οργανισμός αυτός εκδίδει κατά καιρούς πρότυπα περιεκτικότητας σε διάφορα άλατα ή σε ουσίες μόλυνσης των νερών, που καθορίζουν την καταλληλότητα του. Εκτός από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, ο οποίος ελέγχει κυρίως το νερό των χωρών του Τρίτου Κόσμου, τα διάφορα κράτη έχουν αναπτύξει τοπικούς οργανισμούς, τα πρότυπα των οποίων αποκλίνουν λιγότερο ή περισσότερο από αυτά του WHO, ανάλογα με τις δυνατότητες παροχής, τις ιδιαιτερότητες των αποθεμάτων που διατίθενται και την κρατική ελαστικότητα.

Στον Πίνακα 3.1.1 δίνονται οι τιμές των κυριότερων αλάτων σε ανώτατο δεκτό όριο και σε ανώτατο επιτρεπτό όριο, όπως αυτές έχουν θεσπιστεί από τον WHO [13].

Παρ' όλο που το ανώτατο όριο είναι 500 mg/l υπάρχουν σε διάφορες περιοχές της γης πηγαία νερά με περιεκτικότητα 1500 έως 2000 mg/l, τα οποία χρησιμοποιούνται ως πόσιμα παρ' όλο την γλυφή τους γεύση. Περιεκτικότητα χλωριούχων μεγαλύτερη των 600 mg/l αλλοιώνει τη γεύση του νερού και είναι συγχρόνως διαβρωτικά για τις σωληνώσεις του δικτύου διανομής, ενώ μεγαλύτερη ποσότητα από 400 mg/l θεικών προκαλεί γαστρεντερικούς ερεθισμούς. Ο χαλκός και ο σίδηρος επηρεάζουν τη γεύση του νερού.

Πίνακας 3.1.1 Προδιαγραφές για το πόσιμο νερό της WHO

Συστατικά		Περιεκτικότητα σε mg/l	
		Ανώτατο δεκτό	Ανώτατο επιτρεπτό
Ολικά διαλυμένα άλατα	TDS	500	1500
Χλωριούχα	Cl	200	600
Θειικά	SO ₄ ²⁺	200	400
Ασβέστιο	Ca ²⁺	75	100
Μαγνήσιο	Mg ²⁺	30	150
Φθοριούχα	F ⁻	0,7	1,7
Νιτρικά	NO ₃ ⁻	<50	100
Χαλκός	Cu ²⁺	0,05	1,5
Σίδηρος	Fe ³⁺	0,10	1,0
Χλωριούχο νάτριο	NaCl	250	-
Υδρογόνο σε μονάδες	pH	7,0 έως 8,5	6,5 έως 9,2

Ο πίνακας 3.1.2 δίνει την ανώτατη τιμή μερικών από τα συστατικά που μολύνουν το πόσιμο νερό. Τα συστατικά αυτά προκαλούν διάφορες βιολογικές ανωμαλίες στα νεφρά, στο συκώτι, στο δέρμα και στα μάτια, ενώ είναι πιθανό να προκαλέσουν ακόμα και καρκίνο.

Πίνακας 3.1.2 Ανώτατη περιεκτικότητα ουσιών μόλυνσης του νερού

Συστατικά μόλυνσης	C _{max}		Συστατικά μόλυνσης	C _{max}	
Νιτρικά	10,0	mg/l	Υδράργυρος	0,002	mg/l
Φθοριούχα	1,4-2,4	mg/l	Θολότητα	1-5	NTU
Βάριο	1,0	mg/l	Κολοβακτηρίδια	1/100	ml
Άργυρος	0,05	mg/l	Ράδιο 226 και 228	5	pCi/l
Αρσενικό	0,05	mg/l	Στρόντιο 90	8	pCi/l
Μόλυβδος	0,05	mg/l	Ακτινοβολία α	15	pCi/l
Χρώμιο	0,05	mg/l	Ακτινοβολία β	50	pCi/l
Κάδμιο	0,01	mg/l	Χλωριούχοι υδρογονάνθρακες	0,1-0,0002	
Σελήνιο	0,01	mg/l			

Οι προδιαγραφές για την βιομηχανία είναι λιγότερο αυστηρές και κυμαίνονται σε μεγάλη κλίμακα, ανάλογα με το είδος της βιομηχανίας και τη συγκεκριμένη χρήση του νερού. Οι φαρμακευτικές βιομηχανίες, ορισμένες βιομηχανίες τροφίμων και οι ατμολέβητες υψηλών πιέσεων χρησιμοποιούν αφαλατωμένο ή απιονισμένο νερό αυστηρών προδιαγραφών, ενώ το νερό ψύξης έχει ελάχιστες ή και καθόλου προδιαγραφές. Για την γεωργία η ποιότητα του νερού καθορίζεται κυρίως από το είδος του γεωργικού προϊόντος, την ποιότητα του εδάφους και του τοπικού κλίματος.

Για το αφαλατωμένο νερό ακολουθούνται οι προδιαγραφές του Παγκοσμίου Οργανισμού Υγείας. Συνήθως το νερό κατεργάζεται κατάλληλα ώστε, εφόσον προορίζεται για πόσιμο, να γίνει εύγευστο και συγχρόνως να απολυμαίνεται.

3.1.1.3 Ανακύκλωση του Νερού

Η ανακύκλωση και η επαναχρησιμοποίηση του νερού που περιέχεται σε κάθε είδους προέλευσης λύματα και υγρά απόβλητα αποτελεί ένα έμμεσο τρόπο αύξησης των πηγών νερού που είναι διαθέσιμες. Η ανάκτηση του νερού από αυτά τα διαλύματα, που πολλές φορές είναι μολυσμένα με διάφορα συστατικά, τοξικά ή μη, προϋποθέτει μεθόδους καθαρισμού με χαμηλό κόστος λειτουργίας και συνεχή έλεγχο της καθαρότητας του νερού, ώστε να ανταποκρίνεται στις προδιαγραφές επαναχρησιμοποίησής του. Διαλύματα εκροής από διάφορες βιομηχανίες επαναχρησιμοποιούνται είτε στις ίδιες κατεργασίες είτε ως νερό ψύξης. Κοινοτικά υγρά απόβλητα χρησιμοποιούνται είτε ως πόσιμο νερό και νερό οικιακής χρήσης, αφού κατεργαστούν κατάλληλα, είτε για γεωργικούς σκοπούς.

Οι μέθοδοι καθαρισμού ποικίλουν σε μεγάλο βαθμό, ανάλογα με τη μόλυνση τους, τη συγκέντρωση και το είδος των συστατικών και τον κλάδο επαναχρησιμοποίησης, από τις κοινές μεθόδους καθαρισμού λυμάτων, τις μεθόδους καθαρισμού έως τις μεθόδους της αφαλάτωσης, οι οποίες είναι απόσταξη, αντίστροφη ώσμωση και ηλεκτροδιάλυση. Σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιείται συνδυασμός των συμβατικών μεθόδων με μία μέθοδο αφαλάτωσης, ώστε να επιτευχθεί καλύτερος καθαρισμός.

3.2 Η Ιστορία της Αφαλάτωσης

Το νερό, ως φυσική πηγή ζωής, έχει απασχολήσει στο παρελθόν, ήδη από τους αρχαίους χρόνους, πρωτοπόρους ερευνητές και κυρίως πολλούς φιλόσοφους, οι οποίοι διατύπωσαν σε διάφορα συγγράμματα τις φιλοσοφικές ιδέες τους για τη φύση του νερού, τις ιδιότητες του και τη δυνατότητα παραγωγής γλυκού νερού από αλμυρά νερά.

Παρ' όλο που υπάρχει εκτεταμένη βιβλιογραφία από την Αρχαιότητα έως το Μεσαίωνα, πάνω σε θέματα σχετικά με το θαλάσσιο νερό και τη δυνατότητα μετατροπής του σε γλυκό νερό, οι περιγραφές παρέμειναν σε θεωρητικό και φιλοσοφικό επίπεδο χωρίς καμία πρακτική εφαρμογή. Μεμονωμένες περιγραφές πρακτικής εφαρμογής φανερώνουν πολύ πρωτόγονους τρόπους μετατροπής του θαλάσσιου νερού σε πόσιμο. Μία απ' αυτές αναφέρεται από τον Άγιο Βασίλειο στις «ομιλίες του». Την μέθοδο αυτή την χρησιμοποιούσαν οι ναυτικοί που διέπλεαν στη Μεσόγειο Θάλασσα. Έβραζαν νερό σε ένα δοχείο και οι ατμοί που σχηματίζονταν, συλλέγονταν στην κρύα επιφάνεια σφουγγαριών, τα οποία κρατούσαν πάνω από το δοχείο βρασμού. Πιέζοντας τα σφουγγάρια μάζευαν το γλυκό νερό που προήλθε από τη συμπύκνωση των ατμών.

Κατά το Μεσαίωνα ο Giovanni Battista Della Porta, στο βιβλίο του «Magiae Naturalis», περιέγραφε διάφορους τρόπους αφαλάτωσης και μια μέθοδο παραγωγής πόσιμου νερού από την υγρασία της ατμόσφαιρας. Από όλες τις περιγραφές του για αφαλάτωση, σημαντικότερη είναι εκείνη που αναφέρεται στη χρησιμοποίηση ηλιακής ενέργειας, ως πηγή θερμότητας για την παραγωγή πόσιμου νερού από θάλασσα ή υφάλμυρα νερά.

Το 1675 κατατίθεται το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για μία συσκευή απόσταξης θαλάσσιου νερού, για την παραγωγή πόσιμου. Αργότερα, το 1683 κατατίθεται δεύτερο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας, επίσης για απόσταξη θαλάσσιου νερού. Εγκαταστάθηκαν τρεις αποστακτήρες, δύο σε νησιά της Μάγχης και ένας στην Ηπειρωτική Αγγλία, για να αποδειχθεί η καλή λειτουργία της νέας εφεύρεσης για την παραγωγή πόσιμου νερού από τη θάλασσα.

Η πρώτη αναφορά αφαλάτωσης θαλάσσιου νερού, με πλήρη περιγραφή των επιτευγμάτων της εποχής του, και ιδιαίτερα της παραγωγής πόσιμου νερού από την θάλασσα σε ποντοπόρα πλοία, δόθηκε από το Γάλλο ναύαρχο, A.F.B. Deslanes το 1724. Αργότερα, το 1739 ο

μεγάλος φυσιολόγος Stephan Hales, εξέδωσε ένα βιβλίο, το οποίο περιείχε λεπτομερή περιγραφή όλων των προβλημάτων των σχετικών με την αφαλάτωση και εκτεταμένη βιβλιογραφία.

Το 1870 κατατίθεται στις ΗΠΑ το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για αφαλάτωση με ηλιακή ενέργεια. Αυτό το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας περιγράφει με λεπτομέρεια όλα όσα ακόμα και σήμερα εφαρμόζονται στη συμβατική αφαλάτωση με ηλιακή ενέργεια. Περιγράφεται το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η συμπύκνωση και η εξάτμιση, η χρήση μαύρης επιφάνειας για μεγαλύτερη απορροφητικότητα και γίνεται αναφορά στη διάβρωση των υλικών του αποστακτήρα. Αναφέρονται μεγάλες παροχές αφαλατωμένου νερού, περιστρέφοντας τον αποστακτήρα ώστε να ακολουθεί την ηλιακή πρόσπτωση.

Δύο χρόνια αργότερα ο Σουηδός μηχανικός Carlos Wilson σχεδίασε και κατασκεύασε την πρώτη μεγάλη εγκατάσταση αφαλάτωσης με ηλιακή ενέργεια $22,5 \text{ m}^3/\text{day}$. Οι αποστακτήρες εγκαταστάθηκαν στο Charabuco, Las Salinas της Χιλής, μία περιοχή με υψόμετρο 1200 μέτρων, όπου λειτουργούσαν διάφορα ορυχεία ορυκτών αλάτων και αργύρου. Η αφαλάτωση λειτούργησε το 1874 και τροφοδοτείτο με την άλμη την πλύσης των ορυκτών αλάτων, παρέχοντας πόσιμο νερό που κάλυπτε τις ανάγκες τόσο των εργαζόμενων στα ορυχεία του νιτρικού αμμωνίου όσο και αυτών στο παρακείμενο ορυχείο αργύρου. Η εγκατάσταση λειτούργησε επί 40 συνεχή χρόνια και σταμάτησε όταν τα ορυχεία εξαντλήθηκαν.

Το ενδιαφέρον για την αφαλάτωση αναζωπυρώθηκε στην Καλιφόρνια το 1930, όταν η περιοχή πλήχθηκε από πολύ μεγάλη ξηρασία, αλλά η οικονομική κρίση της δεκαετίας του '30 δεν επέτρεψε την περαιτέρω έρευνα του θέματος. Κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου διάφορες περιοχές τόσο στην Αφρική όσο και σε πολλά νησιά του Ειρηνικού Ωκεανού, όπου έδρευαν τα συμμαχικά στρατεύματα, υπέφεραν από μεγάλη λειψυδρία, ειδικότερα από τη έλλειψη σε πόσιμο νερό. Έγιναν μεγάλες έρευνες σε διάφορα πανεπιστήμια των ΗΠΑ, για λογαριασμό του Υπουργείου Ναυτιλίας. Έτσι κατασκευάστηκαν ατομικές συσκευές αφαλάτωσης με ηλιακή ενέργεια που έσωσαν πολλές ζωές.

Μετά το τέλος του Β' Παγκοσμίου Πολέμου άρχισε να εκδηλώνεται τεράστιο ενδιαφέρον για την αφαλάτωση, το οποίο προήλθε από τη ραγδαία αύξηση της ζήτησης καλής ποιότητας νερού, τόσο στα αστικά κέντρα όσο και σε απόμακρες ή έρημες περιοχές, όπου εγκαταστάθηκαν διάφορες ομάδες. Η τεράστια αύξηση της βιομηχανίας συνέτεινε επίσης στην αναζήτηση νέων πηγών νερού.

Η έντονη πίεση είχε ως αποτέλεσμα την εντατική έρευνα για την ανεύρεση νέων υδάτινων πόρων και την προώθηση της αφαλάτωσης για περιοχές όπου υπήρχαν μόνο αλμυρά ή υφάλμυρα νερά.

Οι ΗΠΑ, πρωτοπόροι στην έρευνα της αφαλάτωσης διέθεσαν από το 1952 ως το 1965 περίπου 100 εκατομμύρια δολάρια για την εντατική έρευνα των μεθόδων αφαλάτωσης και την κατασκευή πέντε μονάδων αφαλάτωσης, «πilotικών» προγραμμάτων με παροχή $3785 \text{ m}^3/\text{day}$ αφαλατωμένου νερού. Στις εγκαταστάσεις αυτές έγινε εκτεταμένη μελέτη όλων των συνθηκών λειτουργίας και ερευνήθηκαν η τεχνολογία, τα κατάλληλα υλικά κατασκευής και οι βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας. Οι εγκαταστάσεις λειτούργησαν υπό την επίβλεψη του Γραφείου Αφαλάτωσης (Office of Saline Water, OSW), το οποίο μετά το 1965 παρέδωσε την σκυτάλη στην ιδιωτική βιομηχανία.

Συγχρόνως διάφορα άλλα κράτη προωθούσαν την έρευνα της αφαλάτωσης με σημαντικά επιτεύγματα στην τεχνολογία των μεθόδων.

3.3 Μέθοδοι Αφαλάτωσης

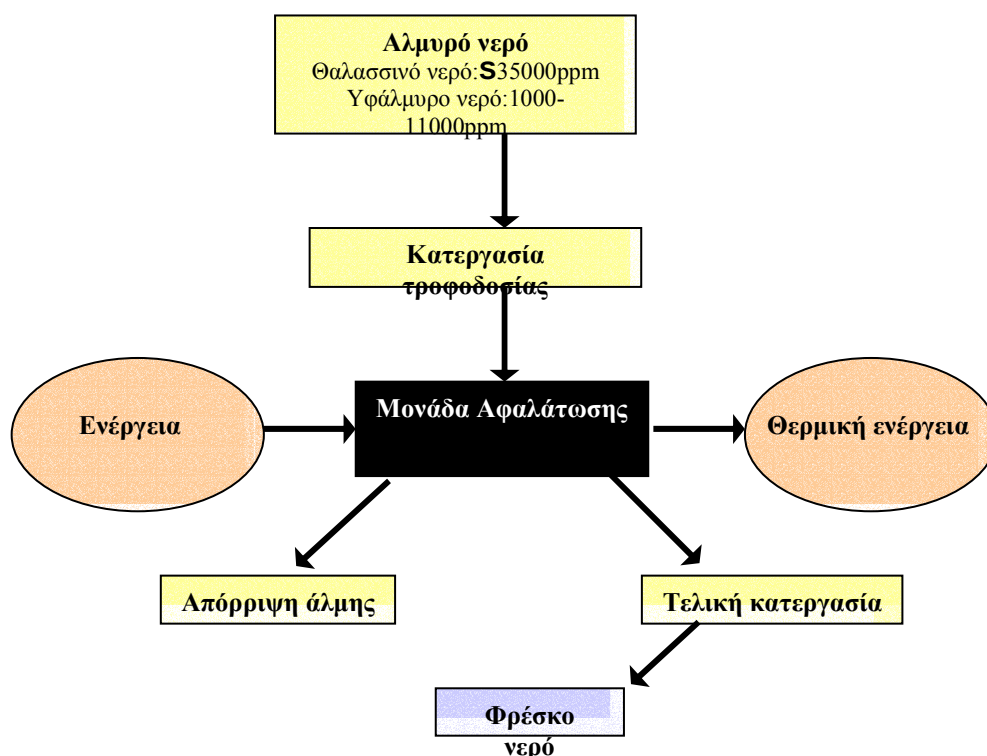
3.3.1 Εισαγωγή

Η αφαλάτωση είναι μία διαδικασία κατεργασίας, η οποία απομακρύνει τα άλατα από το νερό. Αλατούχα διαλύματα, εκτός του θαλασσινού νερού, περιγράφονται σαν υφάλμυρο νερό με συγκέντρωση αλάτων από 1000 ppm έως 11000 ppm TDS (Total Dissolved Salts). Το θαλασσινό νερό περιέχει αλμυρότητα 35000 ppm TDS ή και περισσότερο, και κυρίως χλωριούχο νάτριο.

Ένα τυπικό εργοστάσιο αφαλάτωσης αποτελείται από ένα σύστημα προκατεργασίας νερού, τη μονάδα αφαλάτωσης και ένα σύστημα τελικής επεξεργασίας. Ένα εργοστάσιο αφαλάτωσης, όπως περιγράφεται στο σχήμα 3.3.1, μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα «μαύρο κουτί» [1], μέσα στο οποίο κυκλοφορεί νερό και ενέργεια.

Διάφοροι μέθοδοι αφαλάτωσης έχουν αναπτυχθεί αλλά δεν είναι όλες αξιόπιστες και κατάλληλες για εμπορική χρήση. Οι τεχνικές αφαλάτωσης διακρίνονται σε **τεχνικές θερμικής φύσης** και σε **τεχνικές μεμβρανών**.

Υπάρχουν τρεις τεχνικές θερμικής απόσταξης, που χρησιμοποιούνται ευρέως: η τεχνική **MSF** (Multiple Stage Flash Distillation), η **MED** (Multiple Effect Distillation) και η **VC** (Vapor Compression).



Σχήμα 3.3.1 Διάγραμμα ροής ενέργειας και νερού σε μία μονάδα αφαλάτωσης

Οι τεχνικές μεμβρανών αποτελούνται από: την αντίστροφη ώσμωση (Reverse Osmosis, RO) και την ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis, ED). Η ηλεκτροδιάλυση περιορίζεται στην αφαλάτωση υφάλμυρου νερού, ενώ η αντίστροφη ώσμωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στην αφαλάτωση υφάλμυρου αλλά και θαλασσινού νερού.

Δύο αποφασιστικοί παράμετροι των διαδικασιών αφαλάτωσης είναι η ποιότητα του παραγόμενου νερού και η απαιτούμενη ενέργεια.

Η ποιότητα του παραγόμενου νερού εξαρτάται από τη διαδικασία αφαλάτωσης. Οι τεχνικές θερμικής απόσταξης παράγουν νερό γύρω στα 20 ppm TDS. Οι τεχνικές μεμβρανών σχεδιάζονται συνήθως για να παράγουν νερό των 100-500 ppm TDS. Το πόσιμο νερό για ανθρώπινη κατανάλωση θα πρέπει να συμμορφώνεται με τα όρια του WHO (Πίνακας 3.1.1) και δεν θα πρέπει να είναι πλήρως απαλλαγμένο από άλατα.

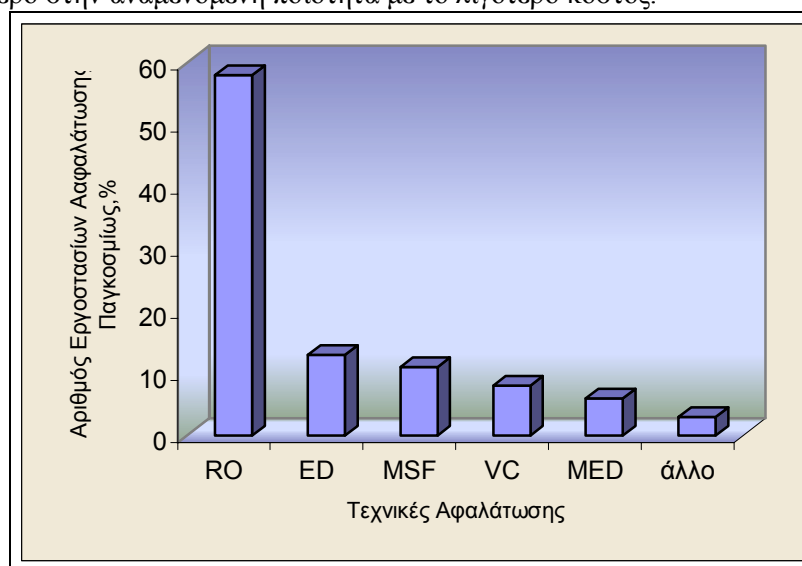
Ο πίνακας 3.3.1 δείχνει τις δυναμικότητες των εγκατεστημένων εργοστασίων αφαλάτωσης σε κάποιες Μεσογειακές ή μη χώρες [1]. Μία γενική ιδέα του αριθμού των εργοστασίων και του μέσου μεγέθους τους για κάθε τεχνολογία δίνεται στα Σχήματα 3.3.2, 3.3.3 και είναι εκφρασμένα ως ποσοστό της συνολικής εγκατεστημένης δυναμικότητας ανά τον κόσμο.

Πίνακας 3.3.1 Εγκατεστημένη δυναμικότητα εργοστασίων αφαλάτωσης σε χιλιάδες m³/day σε συγκεκριμένες χώρες

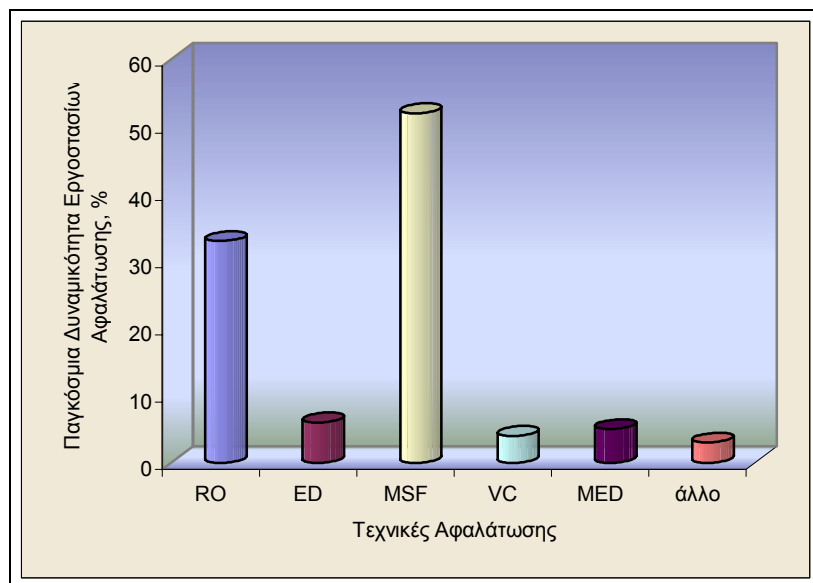
Περιοχή	MSF	MED	VC	RO	ED
Σ. Αραβία	2700	-	50	1000	94
ΗΠΑ	50	50	130	1600	280
Κουβέιτ	350	-	-	50	-
Λιβύη	400	-	-	130	67
Ισπανία	56	-	40	230	45
Ιταλία	200	-	75	40	50
Αλγερία	60	-	30	80	16

Η συνολική παγκόσμια δυναμικότητα αφαλάτωσης στα τέλη του 1995 είχε υπερβεί τα 20 εκατομμύρια m³/day παραγόμενου φρέσκου νερού σε περισσότερες από 11066 μονάδες, δυναμικότητας μεγαλύτερης των 100 m³/day (Σχήμα 3.3.4)

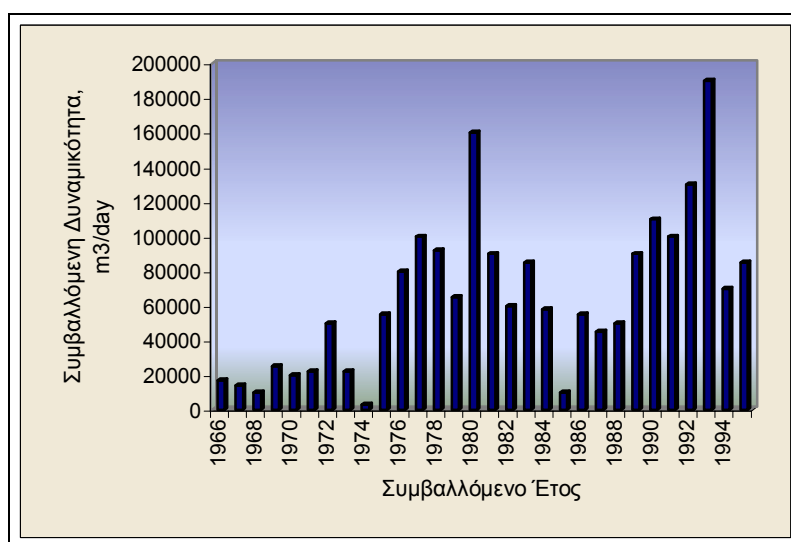
Η επιλογή της διαδικασίας βασίζεται σε διάφορες παραμέτρους, όπως τις συνθήκες της περιοχής, τις τοπικές περιστάσεις, τη διαθεσιμότητα ενέργειας κ.α. Το βέλτιστο σύστημα αφαλάτωσης για μία συγκεκριμένη εφαρμογή θα είναι το σύστημα, το οποίο παράγει αξιόπιστα νερό στην αναμενόμενη ποιότητα με το λιγότερο κόστος.



Σχήμα 3.3.2 Ποσοστό του αριθμού εργοστασίων αφαλάτωσης παγκοσμίως



Σχήμα 3.3.3 Ποσοστό της παγκόσμιας δυναμικότητας εργοστασίων αφαλάτωσης



Σχήμα 3.3.4 Ετήσια συμβαλλόμενη δυναμικότητα

3.4 Θερμικές Τεχνικές

3.4.1 Απόσταξη Πολυβάθμιας Καύσης

Η απόσταξη MSF, όσον αφορά τη δυναμικότητα, είναι η τεχνική αφαλάτωσης με την ευρύτερη χρήση.

3.4.1.1 Περιγραφή Τεχνολογίας

Σ' αυτή τη διαδικασία, όπως και σ' όλες τις διαδικασίες απόσταξης, το θαλασσινό νερό θερμαίνεται, παράγονται υδρατμοί, οι οποίοι στη συνέχεια συμπυκνώνονται για να

σχηματίσουν φρέσκο νερό. Το νερό θερμαίνεται στο σημείο βρασμού για να παραχθεί η μέγιστη ποσότητα υδρατμών.

Υπάρχουν δύο διατάξεις της τεχνικής MSF. Ο πρώτος σχηματισμός, «Once Through», αποτελείται από δύο τμήματα:

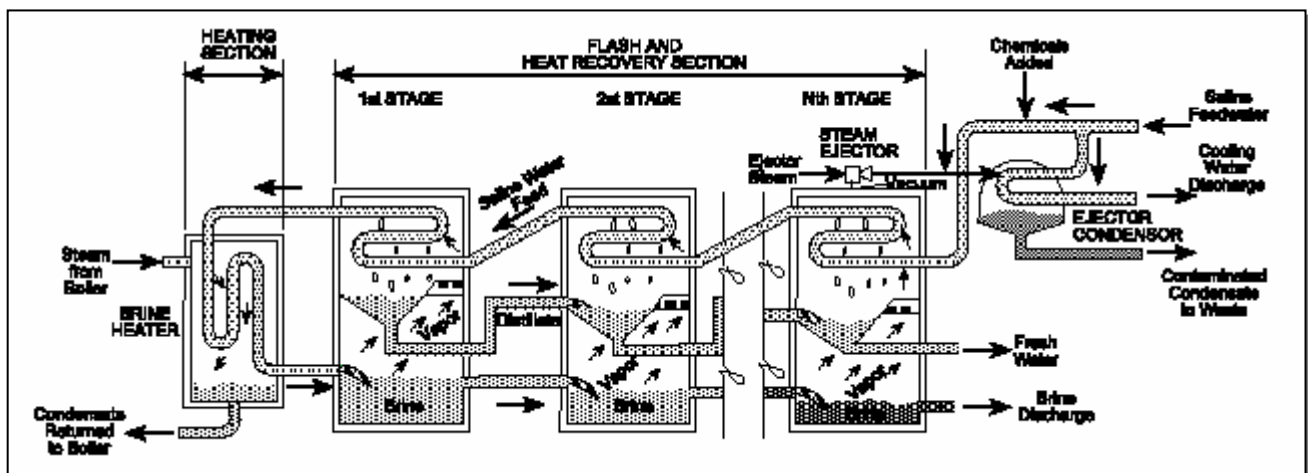
- το τμήμα απόρριψης θερμότητας
- το θερμαντή άλμης

Ο δεύτερος σχηματισμός MSF, «επανακυκλοφόρησης άλμης» αποτελείται από τα παρακάτω τρία τμήματα:

- το τμήμα απόρριψης θερμότητας
- το τμήμα ανάκτησης θερμότητας
- το θερμαντή άλμης

Τα τμήματα ανάκτησης και απόρριψης της διαδικασίας επανακυκλοφόρησης άλμης σχηματίζονται από μία σειρά βαθμίδων. Κάθε βαθμίδα αποτελείται από ένα θάλαμο καύσης και από ένα εναλλακτή / συμπυκνωτή θερμότητας. Ο θάλαμος καύσης διαχωρίζεται από τον συμπυκνωτή με έναν μηχανισμό ο οποίος αποσπά τα εισαγόμενα σταγονίδια από τους υδρατμούς καύσης και με ένα κανάλι απόσταξης για να δεσμεύει το συμπύκνωμα από τον συμπυκνωτή.

Και στις δύο διαδικασίες, το θαλασσινό νερό θερμαίνεται στον θερμαντή άλμης. Στη διαδικασία επανακυκλοφόρησης άλμης, το θαλασσινό νερό εισάγεται στο εργοστάσιο και το τροφοδοτεί μέσω του τμήματος απόρριψης θερμότητας. Η λειτουργία αυτού του τμήματος είναι να απορρίπτει τη θερμική ενέργεια από το εργοστάσιο και να επιτρέπει στο παραγόμενο νερό και στην άλμη να εξάγονται από το εργοστάσιο με τη μικρότερη δυνατή θερμοκρασία. Το νερό τροφοδοσίας αναμιγνύεται με μεγάλη μάζα νερού, η οποία κυκλοφορεί στο εργοστάσιο και καλείται ροή επανακυκλοφόρησης άλμης. Στη συνέχεια το νερό τροφοδοσίας περνάει μέσα από ένα αριθμό εναλλακτών θερμότητας, οι οποίοι αυξάνουν τη θερμοκρασία του [14].



Σχήμα 3.4.1 Τυπικό διάγραμμα ροής ενός εργοστασίου αφαλάτωσης Πολυβάθμιας Καύσης

Αφού περάσει από το τελευταίο στάδιο, στο τμήμα ανάκτησης θερμότητας, το νερό θερμαίνεται στην τελική του θερμοκρασία στον θερμαντή άλμης. Στη συνέχεια η ροή υφίσταται ένα περιορισμό στο υψηλότερο στάδιο καύσης, όπου η μείωση της πίεσης προκαλεί σε ένα ποσοστό ατμοποίηση, το οποίο περνάει από τον μηχανισμό που αποσπά τα

σταγονίδια από τους υδρατμούς καύσης και από το συμπυκνωτή, όπου ο ατμός συμπυκνώνεται και το παραγόμενο απόσταγμα στάζει σε ένα συλλέκτη. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι την τελική βαθμίδα του εργοστασίου, τη βαθμίδα απόρριψης, όπου ένα μέρος απορρίπτεται με τη μορφή ιζήματος και το υπόλοιπο αναμιγνύεται με το εισερχόμενο νερό και μετά ανακυκλώνεται για ακόμα μία φορά μέσω της αντλίας επανακυκλοφόρησης άλμης.

Στην πράξη, τα εργοστάσια MSF σχεδιάζονται για διάφορα ποσοστά απόδοσης (παραγόμενη μάζα αποστάγματος ανά μονάδα καταναλωμένης μάζας ατμού). Το ποσοστό απόδοσης είναι μία σημαντική παράμετρος, η οποία χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της απόδοσης του εργοστασίου. Ένα ποσοστό απόδοσης του 12 είναι πρακτικά το ανώτερο όριο για αυτού του τύπου τα εργοστάσια.

Ένα εργοστάσιο MSF μπορεί να περιέχει από 4 έως 40 βαθμίδες. Αυξάνοντας τον αριθμό των βαθμίδων μειώνεται η επιφάνεια μετάδοσης θερμότητας που απαιτείται και κατά συνέπεια και το αρχικό κεφάλαιο. Αυτό αντισταθμίζεται με το κόστος προμήθειας επιπλέον βαθμίδων. Ολοκληρωμένοι υπολογισμοί βελτιστοποίησης πρέπει να ληφθούν υπόψη, όπου οι κύριοι παράμετροι είναι το αρχικό κόστος έναντι του λειτουργικού κόστους.

Τα εργοστάσια MSF λειτουργούν συνήθως σε υψηλές θερμοκρασίες της τάξης των 90 έως 120 °C, ανάλογα με την κατεργασία που υπόκειται το νερό τροφοδοσίας. Λειτουργία σε υψηλότερες θερμοκρασίες των 120 °C δεν είναι εφαρμόσιμη, λόγω των προβλημάτων εναπόθεσης ιζήματος στον θερμαντή άλμης.

Τα πλεονεκτήματα του σχηματισμού «επανακυκλοφόρησης άλμης» είναι τα παρακάτω [1]:

- το προκατεργασμένο θαλασσινό νερό είναι της τάξης του ενός τρίτου του σχηματισμού «Once Through»
- η πλειοψηφία των σωλήνων λειτουργούν με θαλασσινό νερό, από το οποίο έχει αφαιρεθεί ο αέρας, προκαλώντας έτσι λιγότερη διάβρωση και ελαττώνονται τα ασυμπύκνωτα αέρια που απελευθερώνονται, επιτυγχάνοντας υψηλότερη αποδοτικότητα στα στάδια.



Σχήμα 3.4.2 MSF εργοστάσιο αφαλάτωσης θαλασσινού νερού δυναμικότητας 14400 m³/ώρα

Γενικά, τα εργοστάσια MSF είναι σχετικά εύκολο να λειτουργήσουν. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται ούτως ώστε να αποφευχθεί η δημιουργία ιζήματος και η διάβρωση των υλικών. Με την κατάλληλη συντήρηση, τα σύγχρονα εργοστάσια μπορούν να λειτουργούν για μεγάλα διαστήματα μεταξύ των διακοπών λειτουργίας.

3.4.1.2 Ανάπτυξη Τεχνολογίας

Η διαδικασία MSF έχει παίξει ζωτικό ρόλο στην τροφοδοσία νερού σε πολλές περιοχές, ειδικότερα στη Μέση Ανατολή. Η εγκατεστημένη δυναμικότητα της έχει αυξηθεί αξιοσημείωτα τα τελευταία εικοσιπέντε χρόνια.

Η MSF έχει αναπτυχθεί και προσαρμόσεται σε εφαρμογές μεγάλης κλίμακας, συνήθως μεγαλύτερες των 5.000 m³/day. Το μεγαλύτερο εργοστάσιο MSF, που λειτουργεί σήμερα, είναι δυναμικότητας 60.000 m³/day παραγόμενου νερού.

Η διαδικασία χρησιμοποιείται ευρέως στις χώρες του Κόλπου και καταλαμβάνει το 75% της παγκόσμιας συνολικής εγκατεστημένης δυναμικότητας. Στην Ευρώπη η τεχνική MSF χρησιμοποιείται κυρίως στην Ιταλία και στην Ισπανία.

3.4.1.3 Οικονομικά

Το αρχικό κόστος όπως και το ενεργειακό κόστος για ένα εργοστάσιο MSF είναι σημαντικά. Η κύρια ενεργειακή απαίτηση είναι θερμική ενέργεια. Οι απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια είναι χαμηλές και χρησιμοποιείται στις βοηθητικές υπηρεσίες, όπως στις αντλίες. Για παράδειγμα, για ένα εργοστάσιο, το οποίο λειτουργεί με ποσοστό απόδοσης ίσο με 8, η κατανάλωση θερμικής ενέργειας είναι περίπου 290 KJ/kg παραγόμενου νερού, ενώ η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να κυμαίνεται από 4 έως 6 kWh/m³ [1].

3.4.2 Απόσταξη σε Πολλές Βαθμίδες

Η απόσταξη σε πολλές βαθμίδες (Multiple Effect Distillation, MED) ήταν η πρώτη διαδικασία που χρησιμοποιήθηκε για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού. Χρησιμοποιείται ευρέως στη χημική βιομηχανία, όπου και αναπτύχθηκε. Η διαδικασία MED είναι παρόμοια με την MSF, αφού και αυτή λειτουργεί εν μέρει με καύση. Επιπλέον, σ' αυτή τη διαδικασία η πλειοψηφία του αποστάγματος παράγεται με βρασμό.

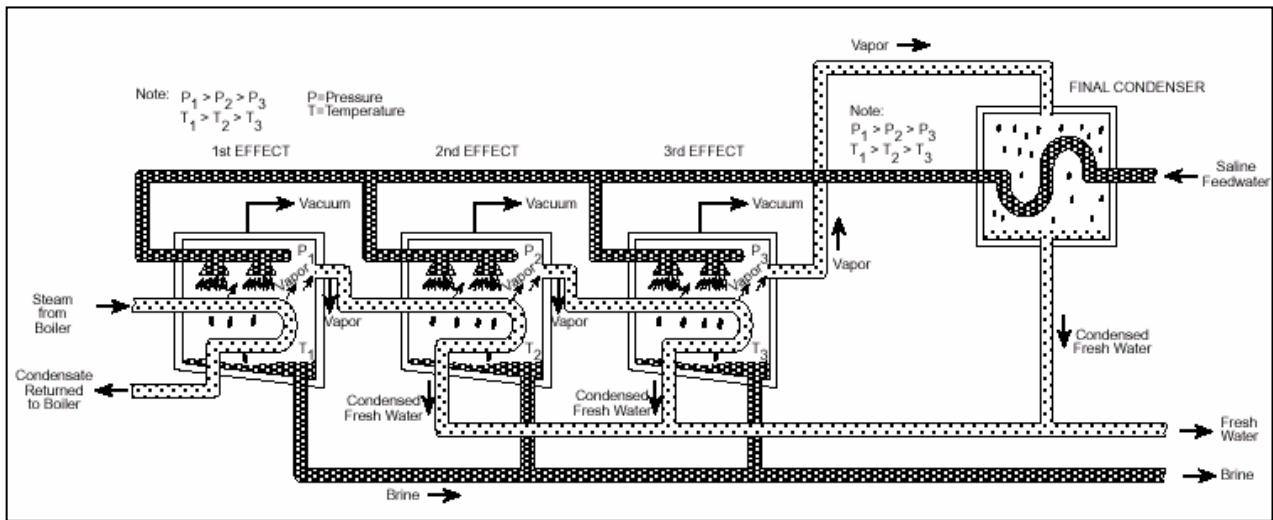
3.4.2.1 Περιγραφή Τεχνολογίας

Η MED, όπως και η MSF, λαμβάνει χώρα σε μια σειρά από δοχεία και έχει ως αρχή τη μείωση της περιεκτικότητας πίεσης στα διάφορα δοχεία. Αυτό επιτρέπει στο τροφοδοτούμενο νερό να υποβάλλεται σε πολλαπλό βρασμό, χωρίς να τροφοδοτηθεί επιπλέον θερμότητα μετά το πρώτο δοχείο.

Το εισαγόμενο νερό τροφοδοσίας αντλείται μέσα στο εργοστάσιο μέσω ενός αριθμού προθερμαντών, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε κάθε δοχείο, ούτως ώστε να αυξηθεί η θερμοκρασία του. Στη συνέχεια, αφού περάσει από όλα τα παραπάνω δοχεία, η τροφοδοσία εισάγεται στο «ανώτερο» δοχείο, όπου ο ατμός θέρμανσης από ένα βραστήρα ή άλλη πηγή αυξάνει τη θερμοκρασία του στη θερμοκρασία κορεσμού για την επίδραση πίεσης. Το δεύτερο και τα διαδοχικά δοχεία χρησιμοποιούν ατμό, ο οποίος παράγεται από τα προηγούμενα δοχεία.

Σε μερικά σύγχρονα εργοστάσια MED το νερό τροφοδοσίας ψεκάζεται σε μία επιφάνεια από σωλήνες εξάτμισης, για να σχηματιστεί ένα λεπτό κάλυμμα, το οποίο συμβάλλει στο γρήγορο βρασμό και στην εξάτμιση. Ένα μέρος του ατμού που παράγεται προωθείται για να θερμάνει

την εισαγόμενη τροφοδοσία και ένα άλλο μέρος για να προμηθεύσει θερμότητα το δεύτερο δοχείο, το οποίο έχει χαμηλότερη πίεση και τροφοδοτείται από την άλμη του πρώτου δοχείου.



Σχήμα 3.4.3 Τυπικό διάγραμμα ροής εργοστασίου αφαλάτωσης απόσταξης σε πολλές βαθμίδες

Στο δεύτερο δοχείο ο ατμός συμπυκνώνεται μόνος του, ενώ την ίδια στιγμή προσδίδει θερμότητα για να εξατμιστεί μέρος του υπολειπόμενου νερού τροφοδοσίας στο επόμενο δοχείο. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται κατά μήκος του εργοστασίου. Η θερμοκρασία στα δοχεία, σταδιακά, ελαττώνεται. Αυτό επιτυγχάνεται διατηρώντας τα δοχεία σε διαδοχικά χαμηλότερες πιέσεις.

Τα περισσότερα από τα σύγχρονα εργοστάσια MED έχουν κατασκευαστεί με την αρχή λειτουργίας σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Μερικά από τα πιο σύγχρονα εργοστάσια έχουν κατασκευαστεί να λειτουργούν με την υψηλότερη θερμοκρασία (στο πρώτο δοχείο) να είναι περίπου στους 70 °C, μειώνοντας έτσι το ενδεχόμενο του σχηματισμού επιθεμάτων μέσα στο εργοστάσιο [14].

Υπάρχει ένας αριθμός παραλλαγών της τεχνικής MED. Αυτές οι παραλλαγές εξαρτώνται από τους συνδυασμούς των σχηματισμών μεταβίβασης θερμότητας και των παραλλαγών στη ροή του νερού (οριζόντια/ κάθετα, επανακυκλοφόρηση/once through, κ.α.). Κάποιοι σχηματισμοί της επιφάνειας μεταβίβασης θερμότητας είναι [1]:

- Πολλές βαθμίδες σωλήνων καλυμμένων με νερό
- Πολλές βαθμίδες κάθετων σωλήνων αναρριχόμενων μεμβρανών
- Πολλές βαθμίδες κάθετων σωλήνων κατηφορικών μεμβρανών
- Πολλές βαθμίδες οριζόντιων σωλήνων κατηφορικών μεμβρανών

Τα εργοστάσια MED τείνουν να έχουν μικρότερο αριθμό δοχείων από ότι βαθμίδες MSF. Συνήθως, σε τυπικά μεγάλα εργοστάσια χρησιμοποιούνται 8 με 16 δοχεία, λόγω της σχέσης του αριθμού των δοχείων με το ποσοστό απόδοσης.

Όπως και στο εργοστάσιο MSF, ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται όσον αφορά τη θερμοκρασία λειτουργίας για να αποφευχθεί η δημιουργία επιθεμάτων και η διάβρωση των υλικών. Επίσης, επιπλέον φροντίδα απαιτείται όσον αφορά το επίπεδο άλμης σε κάθε δοχείο.



Σχήμα 3.4.4 Μονάδα απόσταξης σε πολλές βαθμίδες

3.4.2.2 Ανάπτυξη Τεχνολογίας

Η τεχνική MED χρησιμοποιείται ευρέως σε βιομηχανικές εφαρμογές (π.χ. για την παραγωγή ζάχαρης από την απόσταξη χυμού) και στην παραγωγή αλατιού από την απόσταξη θαλασσινού νερού. Μερικά από τα πρώτα εργοστάσια απόσταξης νερού χρησιμοποιούσαν τη διαδικασία MED, αλλά εκτοπίστηκε από τις μονάδες MSF, λόγω των συντελεστών κόστους, των λιγότερων προβλημάτων λειτουργίας και της φαινομενικής τους υψηλότερης απόδοσης. Παρ' όλα αυτά, το ενδιαφέρον για την τεχνική MED αυξήθηκε και αναπτύχθηκαν νέοι σχεδιασμοί. Μονάδες MED, δυναμικότητας μεγαλύτερης των 5000m³/day, έχουν σχεδιαστεί. Ωστόσο, μικρές μονάδες απλών και πολλών βαθμίδων είναι περισσότερο συνηθισμένες.

Η διαδικασία MED χρησιμοποιούταν κυρίως στην πρώην Σοβιετική Ένωση, η οποία καταλάμβανε το 39% της παγκόσμιας εγκατεστημένης δυναμικότητας MED, το 10% στα νησιά της Καραϊβικής, το 7,2% στις ΗΠΑ και το 12,7% στην Ευρώπη [1].

3.4.2.3 Οικονομικά

Το κόστος ενός εργοστασίου MED εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το ποσοστό απόδοσης. Το αρχικό και το ενεργειακό κόστος είναι σημαντικοί παράγοντες. Η κύρια ενεργειακή απαίτηση είναι η θερμική ενέργεια. Για ένα εργοστάσιο που λειτουργεί με ποσοστό απόδοσης ίσο με 8, η κατανάλωση θερμικής ενέργειας είναι περίπου 290 kJ/kg παραγόμενου νερού. Η απαίτηση σε ηλεκτρική ενέργεια είναι χαμηλή, περίπου 2,5 έως 3 kWh/m³ [1].

3.4.3 Συμπύεση Ατμών

Υπάρχουν δύο διαδικασίες συμπύεσης ατμών (Vapor Compression, VC). Ο πρώτος σχηματισμός είναι η μηχανική συμπύεση ατμών (Mechanical Vapor Compression, MVC), στον οποίο χρησιμοποιείται μηχανικός συμπιεστής. Ο δεύτερος είναι η θερμική συμπύεση

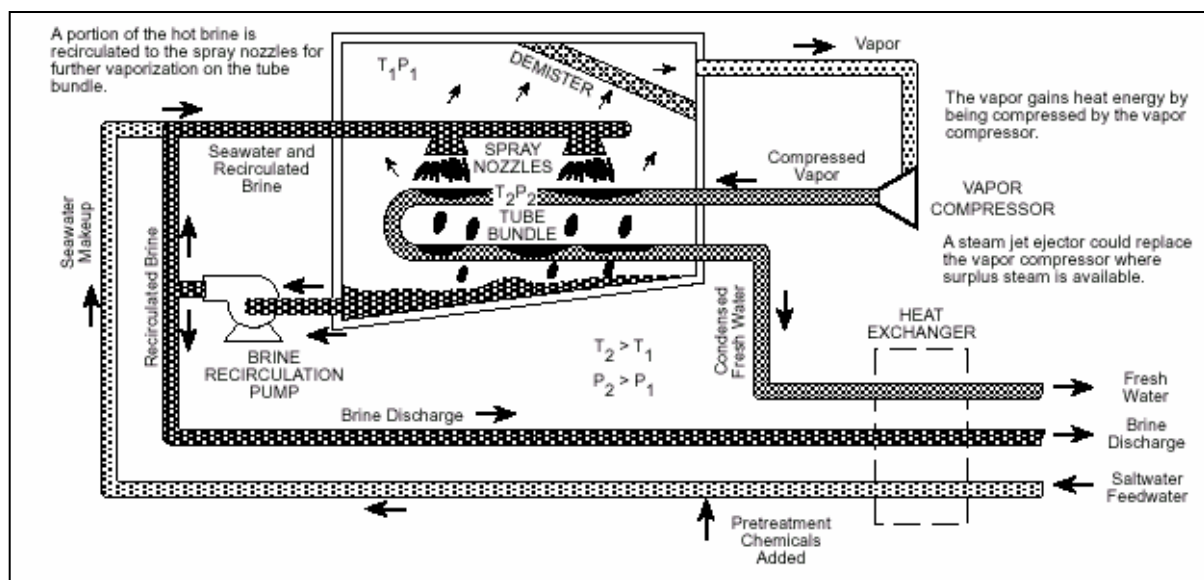
ατμών (Thermal Vapor Compression, TVC), στον οποίο χρησιμοποιείται θερμικός συμπιεστής ή εκτοξευτής, για να αυξηθεί η πίεση του ατμού. Και οι δύο τύποι συμπίεσης ατμών χρησιμοποιούνται ευρύτατα.

Η θεμελιώδης αρχή αυτής της διαδικασίας είναι απλή, κατά το ότι ο ατμός που παράγεται, στη συνέχεια συμπιέζεται για να αυξηθεί η πίεση του και κατά συνέπεια και η θερμοκρασία κορεσμού του, πριν επιστρέψει στον εξατμιστή, για να θερμανθεί ο ατμός ώστε να εξατμιστεί περισσότερο υγρό.

3.4.3.1 Περιγραφή Τεχνολογίας

Ο κύριος εξοπλισμός που χρησιμοποιείται στη διαδικασία VC είναι ο εξατμιστής, ο συμπιεστής, οι αντλίες και ο εναλλάκτης θερμότητας.

Στη διαδικασία αυτή το νερό τροφοδοσίας προθερμαίνεται σε ένα εναλλάκτη θερμότητας ή σε μία σειρά από εναλλάκτες θερμότητας, με θερμότητα που προέρχεται από την αποφόρτιση της άλμης και του αποστάγματος.



Σχήμα 3.4.5 Τυπικό διάγραμμα εργοστασίου συμπίεσης ατμών

Το ζεστό νερό τροφοδοσίας εισέρχεται στον εξατμιστή, όπου θερμαίνεται μέχρι τη θερμοκρασία βρασμού του, και μέρος αυτού εξατμίζεται. Ο ατμός που σχηματίζεται στον εξατμιστή πηγαίνει στον συμπιεστή, όπου η πίεση του και κατά συνέπεια και η θερμοκρασία κορεσμού του αυξάνεται.

Η κατανάλωση ενέργειας στον συμπιεστή, καθώς και η αποδοτικότητα της διαδικασίας, εξαρτάται από τη διαφορά πίεσης. Επομένως, ο συμπιεστής εκπροσωπεί τον κύριο ενεργειακό καταναλωτή του συστήματος.

Ο συμπιεσμένος ατμός τροφοδοτείται στη συνέχεια πίσω στον εξατμιστή για να συμπυκνωθεί, παρέχοντας τη θερμική ενέργεια που είχε δεσμεύσει, ώστε να εξατμιστεί το θαλασσινό νερό που εισέρχεται από την άλλη μεριά των σωλήνων. Η διαδικασία έχει τη δυνατότητα να αποδίδει υψηλά ποσοστά απόδοσης, λόγω της αποτελεσματικής επανακυκλοφόρησης της άδηλης θερμότητας μέσα στο εργοστάσιο. Αυξάνοντας την

επιφάνεια και μειώνοντας το λόγο συμπίεσης (διαφορά θερμοκρασίας), είναι πιθανό να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας της διαδικασίας.

Το αποσταγμένο νερό που παράγεται από την παραπάνω συμπύκνωση αποχωρεί από το εργοστάσιο μέσω των προθερμαντών και αποτελεί το προϊόν της απόσταξης.

Επιπλέον φροντίδα χρειάζεται ο έλεγχος του επιπέδου άλμης στον εξατμιστή και η κατάλληλη συντήρηση στον συμπιεστή. Μερικοί κατασκευαστές χρησιμοποιούν συμπιεστές, οι οποίοι περιστρέφονται με πολύ μεγάλες ταχύτητες. Η λειτουργία σε χαμηλές θερμοκρασίες ελαττώνει το σχηματισμό επιθεμάτων και τη διάβρωση των υλικών.



Σχήμα 3.4.6 Εργοστάσιο Θερμικής Συμπίεσης ατμών



Σχήμα 3.4.7 Εργοστάσιο Μηχανικής Συμπίεσης ατμών

3.4.3.2 Ανάπτυξη Τεχνολογίας

Τα εργοστάσια VC χρησιμοποιούνται από τα τέλη του 19^{ου} αιώνα. Η διαδικασία συμπίεσης ατμού χρησιμοποιείται συνήθως σε μικρής και μεσαίας κλίμακας μονάδες αφαλάτωσης νερού, της τάξης των 20 έως 2500 m³/day. Πολλές εφαρμογές της διαδικασίας συμπίεσης ατμών έχουν αναπτυχθεί. Λόγω του μικρού χώρου που καταλαμβάνουν, της ευκολίας τους στη λειτουργία και στη μεταφορά, έχουν αναπτυχθεί και στρατιωτικές εκδοχές.

Η διαδικασία χρησιμοποιείται ευρύτατα στις Δυτικές χώρες. Το 20% της συνολικής εγκατεστημένης δυναμικότητας είναι στις ΗΠΑ, το 13% στη Μέση Ανατολή και το 22% στην Ευρώπη [1].

3.4.3.3 Οικονομικά

Το αρχικό και το ενεργειακό κόστος αποτελούν σημαντικούς παράγοντες στον προσδιορισμό του συνολικού κόστους παραγωγής νερού. Η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται, χρησιμοποιείται κυρίως για να καθοδηγείται ο κινητήρας συμπύκνωσης ατμού. Η λειτουργία και η συντήρηση του μερικές φορές καλύπτει το μισό του συνολικού κόστους λειτουργίας και συντήρησης.

Παρ' όλα αυτά, οι απαιτήσεις σε ενέργεια των εργοστασίων VC έχει μειωθεί από 20 kWh/m³ στα σημερινά επίπεδα που κυμαίνονται από 8 έως 12 kWh/m³, με δυνατότητα περισσότερης μείωσης [1].

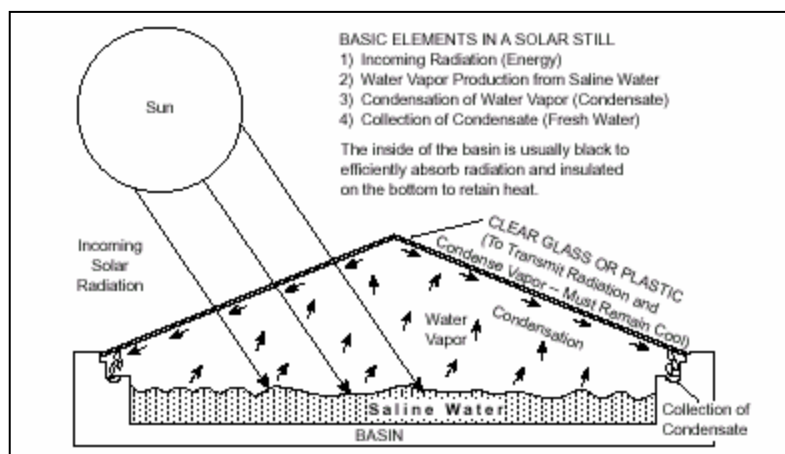
3.4.4 Ηλιακή Απόσταξη

Η ηλιακή απόσταξη είναι μία διαδικασία, στην οποία η ενέργεια από τον ήλιο χρησιμοποιείται άμεσα για την εξάτμιση του θαλασσινού ή του υφάλμυρου νερού. Η διαδικασία χρησιμοποιούνταν για πολλά χρόνια σε μικρής κλίμακας εφαρμογές.

3.4.4.1 Περιγραφή Τεχνολογίας

Στα εργοστάσια ηλιακής απόσταξης, η ηλιακή ακτινοβολία δεσμεύεται στον ηλιακό αποστακτήρα με το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ένας απλός ηλιακός αποστακτήρας αποτελείται από μία ρηχή λεκάνη άλμης, η οποία είναι ευθυγραμμισμένη με μαύρα υλικά για καλύτερη απορρόφηση της ακτινοβολίας και καλυμμένη με ένα απορροφητή ατμού, και από μία διαφανή οροφή που έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να ενεργεί ως συμπυκνωτής. Ο ατμός που παράγεται από την εξάτμιση του θαλασσινού νερού, συμπυκνώνεται στην κρύα επιφάνεια της οροφής του αποστακτήρα και το συμπύκνωμα που συλλέγεται είναι το παραγόμενο νερό [14]. Καλά σχεδιασμένες μονάδες έχουν τη δυνατότητα να παράξουν περίπου $2,5 \text{ l/m}^2$ ανά ημέρα, με θερμική αποδοτικότητα 50%.

Οι ηλιακοί αποστακτήρες είναι απλοί στη λειτουργία και στη συντήρηση. Η συντήρηση που απαιτείται είναι ο καθαρισμός του εργοστασίου και ειδικότερα της γυάλινης οροφής.



Σχήμα 3.4.8 Τυπικός σχεδιασμός εργοστασίου ηλιακής απόσταξης

3.4.4.2 Ανάπτυξη Τεχνολογίας

Η ουσιαστική ανάπτυξη αυτής της τεχνολογίας, όσον αφορά τη βελτίωση της αποδοτικότητας των ηλιακών αποστακτήρων και τη μείωση του κόστους κατασκευής, έγινε τις δεκαετίες του '60 και του '70. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου κατασκευάστηκαν πολλά εργοστάσια απόσταξης ανά τον κόσμο. Αρκετά μικρής κλίμακας εργοστάσια κατασκευάστηκαν στη Σαουδική Αραβία, σε μικρά ελληνικά νησιά, κ.α. Ωστόσο, τα περισσότερα απ' αυτά δεν λειτουργούν σήμερα.

Η ηλιακή απόσταξη είναι συνήθως κατάλληλη για μικρής κλίμακας εφαρμογές. Σε απομακρυσμένες περιοχές, όπου το κόστος γης είναι χαμηλό και η ηλιακή ακτινοβολία υψηλή, η ηλιακή απόσταξη μπορεί να είναι βιώσιμη.

3.4.4.3 Οικονομικά

Τα κόστη κατασκευής όπως και οι μεγάλες απαιτήσεις σε έκταση είναι οι κύριοι παράμετροι που καθορίζουν το κόστος του νερού που παράγεται με ηλιακή απόσταξη. Οι απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια για την άντληση είναι ελάχιστες.

3.5 Τεχνικές Μεμβρανών

3.5.1 Αντίστροφη Ώσμωση

Η διεργασία της αντίστροφης ώσμωσης (Reverse Osmosis, RO) είναι συνέπεια της εφαρμογής μιας εξωτερικής πίεσης P , μεγαλύτερης της ωσμωτικής Π , σε ένα πυκνό διάλυμα, το οποίο διαχωρίζεται από ένα αραιό διάλυμα με ένα ημιπερατό τοίχωμα ή μία διεκλεκτική μεμβράνη.

Αν πάρουμε για παράδειγμα καθαρό νερό με TDS 400ppm στο θάλαμο κ και θαλασσινό νερό με αλμυρότητα 35 g/kg, στο θάλαμο θ . Τα δύο νερά χωρίζονται από μία ημιπερατή μεμβράνη M και βρίσκονται σε συνηθισμένη ατμοσφαιρική πίεση. Λόγω της διαφοράς δυναμικού στις δύο πλευρές της μεμβράνης, παρατηρείται διάχυση νερού από τον θάλαμο κ προς τον θάλαμο θ , μέσω της μεμβράνης. Δεν είναι η κανονική ροή δια των πόρων της μεμβράνης, αλλά διάχυση των μορίων του νερού μέσα από τα κενά της μοριακής δομής του πλέγματος της μεμβράνης.

Η κινητικότητα των μορίων του νερού στην διεπιφάνεια νερό-μεμβράνης είναι μεγαλύτερη από αυτή των αλάτων, με αποτέλεσμα τα άλατα να απορρίπτονται από τη μεμβράνη και να παραμένουν στο θάλαμο κ . Το καθαρό νερό που διαχέεται μέσα από τη μεμβράνη ελαττώνει την πίεση και αυξάνει τη συγκέντρωση των αλάτων του καθαρού νερού, ενώ ταυτόχρονα αραιώνει το θαλασσινό νερό και αυξάνει την πίεση στο θάλαμο θ . Η αύξηση αυτή εμφανίζεται σαν υδροστατική διαφορά της στάθμης των δύο διαλυμάτων. Αυτή η αύξηση της υδροστατικής πίεσης έχει σαν συνέπεια τη βαθμιαία ελάττωση της ροής του νερού. Σε κάποιο σημείο της διαρκώς ελαττούμενης ποσότητας νερού που διαχέεται προς τον θάλαμο θ , η αύξηση της υδροστατικής πίεσης αντισταθμίζει τη ροή και αποκαθίσταται μία κινητική ισορροπία, όπου το νερό ρέει προς τις δύο κατευθύνσεις. Στο σημείο της ισορροπίας η υδροστατική διαφορά της πίεσης ονομάζεται ωσμωτική πίεση. Εφόσον δεν επεμβαίνουν άλλοι εξωτερικοί παράγοντες παραμένει σταθερή στο σημείο ισορροπίας.

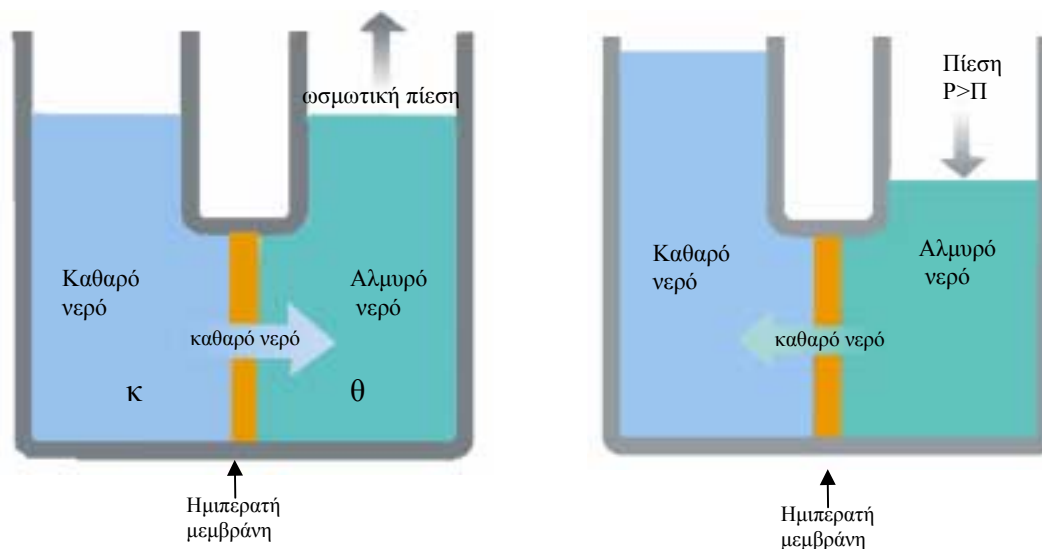
Η αριθμητική τιμή της ωσμωτικής είναι συνάρτηση της συγκέντρωσης του νερού σε άλατα και της θερμοκρασίας του, ανεξάρτητη δε από τη μεμβράνη του. Το κανονικό θαλάσσιο νερό αλμυρότητας 35 g/kg έχει ωσμωτική πίεση 23,5 bar ενώ σε νερό με αλμυρότητα 50 g/kg η ωσμωτική πίεση ανέρχεται σε 37,4 bar [13].

Αν τώρα εφαρμοστεί μία εξωτερική πίεση στην επιφάνεια του θαλασσινού νερού μεγαλύτερης της ωσμωτικής $\Delta P >> \Delta \Pi$ το φαινόμενο της ώσμωσης αντιστρέφεται και τα μόρια του νερού διαχέονται από το θαλάσσιο νερό προς το καθαρό, από τον θάλαμο θ προς τον θάλαμο κ . Η ταχύτητα ροής του νερού είναι ανάλογη με την κινητική δύναμη της αντιστροφής, δηλαδή τη διαφορά της εφαρμοζόμενης πίεσης ΔP και της ωσμωτικής $\Delta \Pi$.

Στην αντίστροφη ώσμωση οι ιδιότητες της μεμβράνης έχουν, αντίθετα με την ώσμωση, ιδιαίτερη σημασία στη διεργασία της μεθόδου όπως π.χ. η σταθερά περατότητας, η διεκλεκτικότητα κ.α.

Στο Σχήμα 3.5.1 το θαλασσινό νερό είναι στάσιμο και η μεταφορά του νερού προς το θάλαμο κ αυξάνει την αλμυρότητα του, επομένως και την ωσμωτική του πίεση, με αποτέλεσμα να ελαττώνεται η ροή των μορίων του νερού και να απαιτείται η βαθμιαία αύξηση της πίεσης, ώστε η διαφορά $\Delta P - \Delta \Pi$ να διατηρείται σταθερή.

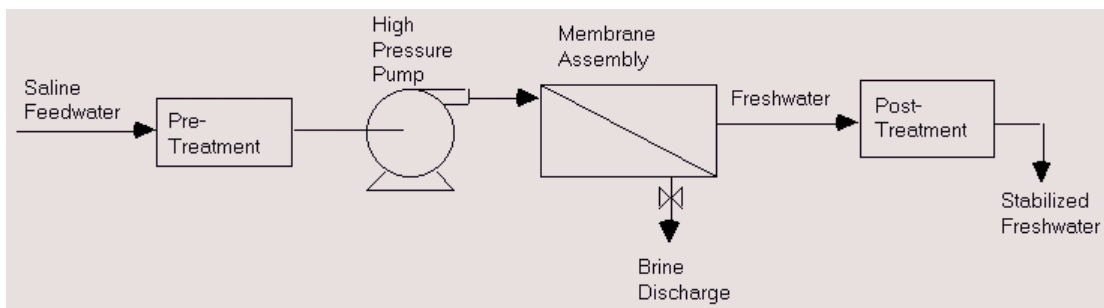
Στη διεργασία της αντιστροφής ώσμωσης η ροή του νερού τροφοδότησης είναι συνεχής ενώ η ταχύτητα του ρυθμίζεται, ώστε η συγκέντρωση της άλμης να διατηρείται σε συγκεκριμένα όρια, που να μην ελαττώνουν τη ροή του καθαρού νερού για την επικρατούσα πίεση.



Σχήμα 3.5.1 Σχηματική παράσταση της ωσμωτικής πίεσης και της αντιστροφής της ωσμωτικής πίεσης

Η πορεία της μεθόδου ακολουθεί γενικά τέσσερα στάδια λειτουργία:

- Προκατεργασία του νερού τροφοδότησης
- Συμπύεση του προκατεργασμένου νερού σε αντλία υψηλής πίεσης
- Αφαλάτωση από στοιχεία μεμβρανών
- Τελική κατεργασία του νερού



Σχήμα 3.5.2 Τα στάδια λειτουργίας της μονάδας αφαλάτωσης αντιστροφής ώσμωσης

3.5.1.1 Προκατεργασία του Νερού Τροφοδοσίας

Η αντίστροφη ώσμωση κατεργάζεται όλα τα είδη των νερών, όπως επιφανειακά νερά με μερικές εκατοντάδες ppm ολικά διαλυμένα στερεά, πηγαία και υφάλμυρα νερά και θαλασσινό νερό με ανώτερο όριο αλμυρότητας 50 g/kg, αντίθετα με την απόσταξη που τροφοδοτείται μόνο με θαλασσινό νερό.

Τα νερά που χρησιμοποιεί η αντίστροφη ώσμωση έχουν τεράστιες διαφορές στα περιεχόμενα άλατα, τόσο στη χημική τους σύσταση όσο και στη συγκέντρωση. Εκτός από τα διαλυμένα άλατα περιέχουν με μικρότερη ή μεγαλύτερη αναλογία μία μεγάλη ποικιλία από αιωρούμενα συστατικά, από κολλοειδείς ουσίες ή και μικροοργανισμούς που ρυπαίνουν, δηλητηριάζουν ή αποσθρώνουν τις μεμβράνες ελαττώνοντας την απόδοση και συντομεύοντας τον χρόνο ζωής των. Η απομάκρυνση των περισσότερων από τα προαναφερθέντα συστατικά είναι απαραίτητη για την αποδοτική και οικονομική λειτουργία της μεθόδου, επομένως απαιτείται σχολαστικός καθαρισμός του νερού πριν από την τροφοδότηση του στα στοιχεία της αντίστροφης ώσμωσης. Γενικά το κόστος προκατεργασίας στην αντίστροφη ώσμωση είναι υψηλό και ανέρχεται στο 60 έως το 65% του ολικού κεφαλαίου της εγκατάστασης.

Για να είναι αποδοτικός ο καθαρισμός, μία προσεκτική ανάλυση του νερού είναι απαραίτητη. Η ανάλυση πρέπει να περιλαμβάνει τις παρακάτω φυσικές παραμέτρους και χημικά στοιχεία τα οποία θεωρούνται ιδιαίτερα καταστρεπτικά για τις μεμβράνες [13]:

- Θολότητα, χρώμα, pH και μέση θερμοκρασία άντλησης
- Δείκτη πυκνότητας ιλύος για τα περιεχόμενα κολλοειδή συστατικά
- Περιεκτικότητα σε κολοβακτηρίδια και σε διάφορα άλλα βακτηρίδια
- Περιεχόμενα αέρια π.χ. οξυγόνο, CO₂, υδρόθειο κ.α.
- TDS, από τα άλατα του νερού, αυτά της σκληρότητας (ασβέστιο και μαγνήσιο), κάλιο, σίδηρο, μαγγάνιο, βάριο και στρόντιο, πυρίτιο, θειικά, νιτρικά, αμμωνία, φωσφορικά, φθοριούχα και χλωριούχα.

Τα συστατικά αυτά αν δεν απομακρυνθούν ολικά ή σε ένα επιτρεπτό όριο, δημιουργούν προβλήματα στην διεπιφάνεια μεμβράνη-νερού, στη μεμβράνη και στα στοιχεία μεμβράνης. Γενικά δημιουργούν:

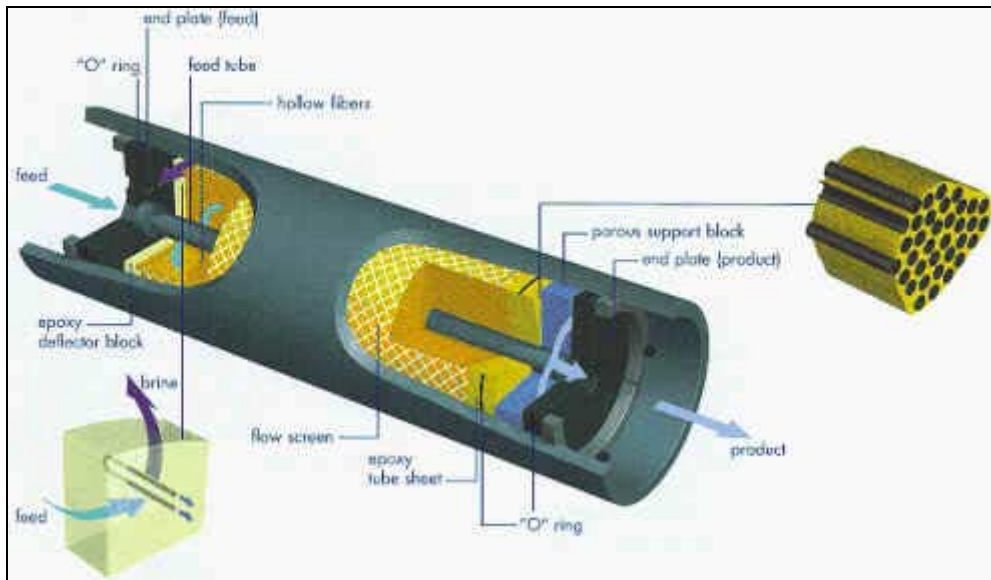
- Επιθέματα στην επιφάνεια της μεμβράνης από υπέρβαση του ορίου διαλυτότητας ή από σχηματισμό αδιάλυτων αλάτων λόγω τοπικών αντιδράσεων.
- Επικάθιση στην επιφάνεια της μεμβράνης πολύ λεπτών σωματιδίων ή κολλοειδών συστατικών
- Χημικές αντιδράσεις στη διεπιφάνεια μεμβράνης-νερό τροφοδότησης
- Προσρόφηση από τις πολυμερείς ομάδες της μεμβράνης, διαφόρων μικρομορίων που περιέχονται στο νερό ή σχηματισμού λεπτού στρώματος ζελατίνας
- Φράξιμο από τα λεπτά αιωρούμενα συστατικά των καναλιών κυκλοφορίας της άλμης, στα στοιχεία της αντίστροφης ώσμωσης

3.5.1.2 Χαρακτηριστικά Λειτουργίας των Μεμβρανών

Μετά τη συμπίεση στην προκαθορισμένη πίεση το νερό τροφοδοτείται στα στοιχεία των μεμβρανών για να αφαλατωθεί. Η καλή λειτουργία της μεθόδου εξαρτάται τόσο από τον προκαταρκτικό καθαρισμό του νερού όσο και από τις ιδιότητες της μεμβράνης. Μία μεμβράνη θεωρείται εμπορικά αξιοποιήσιμη και λειτουργικά πετυχημένη όταν κατέχει τα εξής χαρακτηριστικά [13]:

- Κατασκευάζεται εύκολα

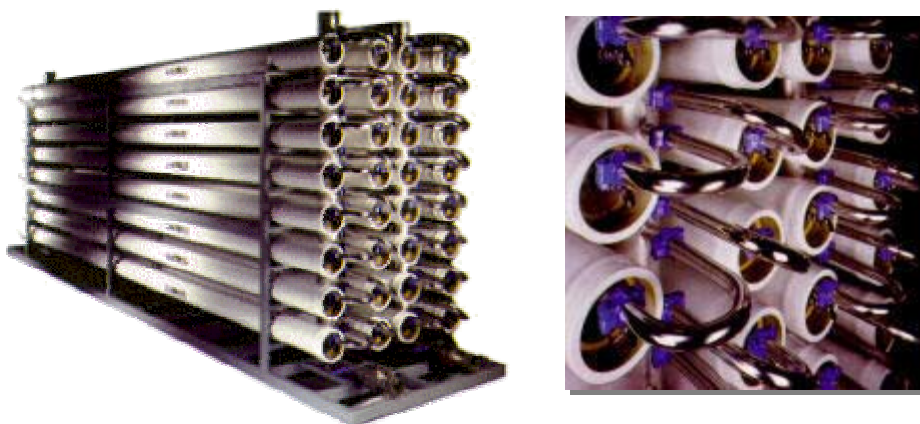
- Είναι φθηνή
- Έχει ικανοποιητική διάρκεια ζωής
- Έχει ικανοποιητική μηχανική αντοχή τόσο κατά τη συναρμολόγηση της σε στοιχεία, όσο και στην εφαρμοζόμενη πίεση κατά τη λειτουργία της
- Έχει χημική, φυσική και θερμική σταθερότητα στα αλμυρά κυρίως, όμως στα διάφορα θαλάσσια νερά
- Έχει μεγάλη περατότητα στο νερό και συγχρόνως έχει τη μεγαλύτερη δυνατή απόρριψη αλάτων



Σχήμα 3.5.3 Εγκάρσια τομή μεμβράνης αντίστροφης ώσμωσης

Οι παράγοντες οι οποίοι καθορίζουν την καλή απόδοση των μεμβρανών για τις διάφορες συνθήκες λειτουργίας της αντίστροφης ώσμωσης, έχουν δοθεί από διάφορους ερευνητές σε μαθηματικά πρότυπα, ανεξάρτητα συνήθως από τον τύπο του στοιχείου.

Οι παράμετροι γενικά που χαρακτηρίζουν την καλή λειτουργία μίας μεμβράνης είναι: η ροή του νερού δια της μεμβράνης, η ροή των διαλυμένων αλάτων, εφόσον καμία μεμβράνη πρακτικά δεν είναι τέλεια, η απόρριψη των αλάτων και η αναλογία απόληψης.



Σχήμα 3.5.4 Μεμβράνες σπειροειδούς περιέλιξης

Δύο τύποι μεμβρανών αντίστροφης ώσμωσης χρησιμοποιούνται εμπορικά. Αυτοί είναι οι Σπειροειδούς Περιέλιξης (Spiral Wound, SW) μεμβράνες και οι Κοίλων Ινών (Hollow Fiber, HF). Και οι δύο τύποι μεμβρανών χρησιμοποιούνται για να αφαλατώσουν τόσο θαλασσινό νερό όσο και υφάλμυρο. Η επιλογή μεταξύ των δύο βασίζεται σε παράγοντες όπως το κόστος, η ποιότητα του νερού τροφοδοσίας και η δυναμικότητα του νερού που παράγεται.

3.5.1.3 Ανάπτυξη Τεχνολογίας

Μεγάλος αριθμός εργοστασίων αντίστροφης ώσμωσης έχουν εγκατασταθεί για εφαρμογές τόσο θαλάσσιου νερού (Sea Water Reverse Osmosis, SWRO) όσο και υφάλμυρου νερού (Brackish Water Reverse Osmosis, BWRO). Η διαδικασία χρησιμοποιείται επίσης ευρύτατα στις κατασκευές, στη γεωργία, στις διαδικασίες τροφίμων και στις φαρμακευτικές βιομηχανίες.

Το 32% των συνολικών μονάδων αντίστροφης ώσμωσης εγκατεστημένης δυναμικότητας απαντάται στις ΗΠΑ, το 21% στη Σαουδική Αραβία, το 8% στην Ιαπωνία και το 8,9% στην Ευρώπη [1].

Οι μονάδες αντίστροφης ώσμωσης είναι διαθέσιμες σε μία ευρεία κλίμακα δυναμικοτήτων λόγω του αρθρωτού σχεδιασμού τους. Μεγάλα εργοστάσια είναι κατασκευασμένα από εκατοντάδες ή χιλιάδες στοιχεία τα οποία είναι διευθετημένα σε τριγωνικούς σχηματισμούς. Επίσης, πολύ μικρές μονάδες για ναυτιλιακούς σκοπούς, για σπίτια ή ξενοδοχεία είναι διαθέσιμες.



Σχήμα 3.5.5 Μονάδα αντίστροφης ώσμωσης στη Δεκέλεια της Κύπρου

3.5.1.4 Οικονομικά

Μία μονάδα αντίστροφης ώσμωσης θαλασσινού νερού έχει χαμηλό αρχικό κόστος και σημαντικό κόστος συντήρησης, το οποίο οφείλεται στο υψηλό κόστος αντικατάστασης των μεμβρανών. Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται είναι επίσης σημαντικό. Η κύρια ενεργειακή απαίτηση για αφαλάτωση αντίστροφης ώσμωσης είναι για τη συμπίεση του νερού τροφοδοσίας. Οι ενεργειακές απαιτήσεις για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού έχουν μειωθεί περίπου στις 5 kWh/m³ για μεγάλες μονάδες με συστήματα ανάκτησης ενέργειας,

ενώ για μικρές μονάδες μπορεί να υπερβούν τις 15 kWh/m³. Για αφαλάτωση υφάλμυρου νερού η ενεργειακή απαίτηση είναι μεταξύ 1 με 3 kWh/m³ [1].

3.5.2 Ηλεκτροδιάλυση

Η ηλεκτροδιάλυση είναι μια ηλεκτροχημική διαδικασία και μια μέθοδος χαμηλού κόστους για την αφαλάτωση υφάλμυρου νερού. Η διαδικασία της ηλεκτροδιάλυσης δεν είναι οικονομικά ελκυστική για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού, λόγω της εξάρτησης της ενεργειακής κατανάλωσης με τη συγκέντρωση αλάτων του νερού τροφοδοσίας,

3.5.2.1 Περιγραφή Τεχνολογίας

Στη διαδικασία της ηλεκτροδιάλυσης (ElectroDialysis, ED), ιόντα μεταφέρονται μέσω μίας μεμβράνης από ένα ηλεκτρικό πεδίο που εφαρμόζεται επί της μεμβράνης. Μία μονάδα ED αποτελείται από τα ακόλουθα βασικά στάδια:

- Σύστημα προκατεργασίας
- Στήλη μεμβρανών
- Αντλία κυκλοφορίας χαμηλής πίεσης
- Τροφοδοσία ενέργειας συνεχούς ρεύματος
- Τελική κατεργασία

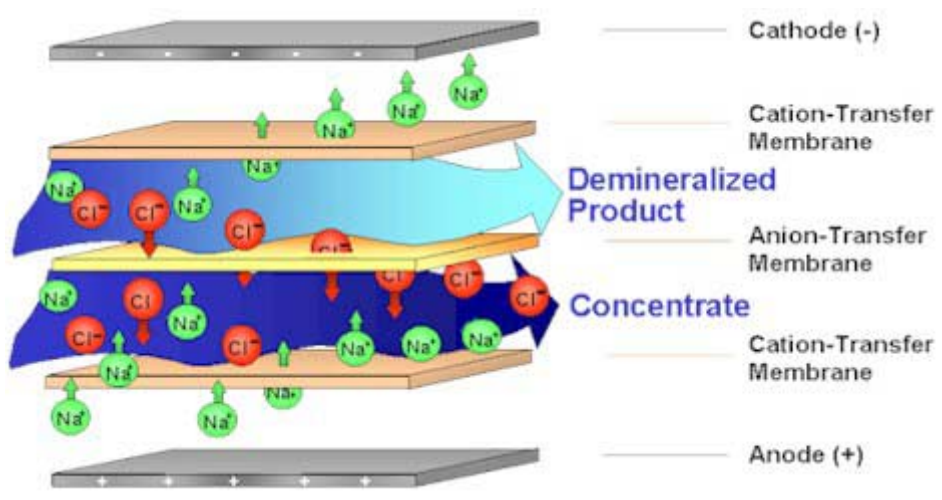
Η αρχή της λειτουργίας της ED φαίνεται στο Σχήμα 3.5.6. Όταν τα ηλεκτρόδια συνδεθούν με μία εξωτερική πηγή συνεχούς ρεύματος, όπως μία μπαταρία, στο δοχείο που περιέχει αλμυρό νερό, το ηλεκτρικό ρεύμα μεταφέρεται μέσω του διαλύματος και τα ιόντα τείνουν να μεταφερθούν στο ηλεκτρόδιο με το αντίθετο φορτίο. Τα θετικά φορτισμένα ιόντα κινούνται προς την κάθοδο και τα αρνητικά φορτισμένα ιόντα κινούνται προς την άνοδο. Αν μεταξύ των ηλεκτροδίων τοποθετηθεί ένα ζεύγος μεμβρανών (κελί), το οποίο αποτελείται από μία μεμβράνη διαπερατή από ανιόντα και από μία μεμβράνη διαπερατή από κατιόντα, τότε θα δημιουργηθεί μία περιοχή με νερό χαμηλής αλμυρότητας μεταξύ των μεμβρανών. Μεταξύ κάθε ζεύγους μεμβρανών, τοποθετείται μία επιφάνεια με διαστήματα για να επιτρέπει τη ροή του νερού κατά μήκος της πλευράς της μεμβράνης και για να προκαλεί ένα βαθμό αναταραχής. Μία επιφάνεια με διαστήματα παρέχει ένα κανάλι το οποίο μεταφέρει το παραγόμενο νερό, ενώ το επόμενο μεταφέρει άλμη. Μ' αυτή τη διευθέτηση, δημιουργούνται συμπυκνωμένα και αραιωμένα διαλύματα στα κενά μεταξύ των διαδοχικών μεμβρανών.

Τα κελιά της ED μπορούν να τοποθετηθούν είτε κάθετα είτε οριζόντια. Στην πράξη, πολλά ζεύγη μεμβρανών χρησιμοποιούνται μεταξύ ενός ζεύγους ηλεκτροδίων, σχηματίζοντας μία δέσμη ED. Το νερό τροφοδοσίας περνάει ταυτόχρονα μέσα από όλα τα κελιά, παρέχοντας μία συνεχή ροή παραγόμενου νερού και άλμης. Οι δέσμες στα εμπορικά εργοστάσια ED περιέχουν μεγάλο αριθμό, συνήθως πολλές εκατοντάδες ζεύγη κελιών.

Όσον αφορά τη συντήρηση ενός εργοστασίου ED, ιδιαίτερη φροντίδα απαιτείται στην προκατεργασία του νερού τροφοδότησης για να προληφθεί η αποσάθρωση της μεμβράνης.

Μία τροποποίηση της βασικής διαδικασίας της ηλεκτροδιάλυσης είναι η αντίστροφη ηλεκτροδιάλυση. Μία μονάδα αντίστροφης ηλεκτροδιάλυσης (Reversal Electrodialysis, EDR) λειτουργεί με την ίδια γενική αρχή όπως ένα τυπικό εργοστάσιο ED, εκτός από ότι και τα δύο, το κανάλι παραγόμενου νερού και το κανάλι άλμης, είναι ταυτόσημα στην κατασκευή. Σ' αυτή τη διαδικασία η πολικότητα των ηλεκτροδίων μεταβάλλεται περιοδικά με το χρόνο, αντιστρέφοντας τη ροή μέσω των μεμβρανών. Αυτό εμποδίζει την απόθεση ανόργανων επιθεμάτων και κolloειδών ουσιών στις μεμβράνες, χωρίς την προσθήκη

χημικών στο νερό τροφοδοσίας. Αυτή η ανάπτυξη επαύξησε τη ζωτικότητα αυτής της διαδικασίας αξιοσημείωτα, καθώς η διαδικασία είναι αυτοκαθαριζόμενη. Γενικά, η αντίστροφη ηλεκτροδιάλυση απαιτεί ελάχιστη προκατεργασία του νερού τροφοδοσίας και ελάχιστη χρήση χημικών για τον καθαρισμό των μεμβρανών.



Σχήμα 3.5.6 Τυπικό διάγραμμα εργοστασίου αφαλάτωσης Ηλεκτροδιάλυσης

3.5.2.2 Ανάπτυξη Τεχνολογίας

Η ηλεκτροδιάλυση είναι σε εμπορική χρήση από το 1954, δέκα χρόνια πριν την αντίστροφη ώσμωση. Από τότε, αυτή η διαδικασία συνάντησε εκτεταμένες εφαρμογές σε έναν αριθμό σκοπών, από τις οποίες η παραγωγή πόσιμου νερού είναι μία από τους σημαντικότερους. Λόγω της αρθρωτής δομής του, η ηλεκτροδιάλυση είναι διαθέσιμη σε μία μεγάλη κλίμακα μεγεθών, από μικρές έως μεγάλες δυναμικότητες παραγωγής νερού.

Η ηλεκτροδιάλυση χρησιμοποιείται ευρέως στις ΗΠΑ που κατέχει το 31% της συνολικής εγκατεστημένης δυναμικότητας. Στην Ευρώπη η διαδικασία ED υπολογίζεται στο 15% ενώ στη Μέση Ανατολή στο 23% [1].



Σχήμα 3.5.7 Εργοστάσιο αφαλάτωσης Ηλεκτροδιάλυσης

Η διαδικασία της αντίστροφης ηλεκτροδιάλυσης αναπτύχθηκε στις αρχές της δεκαετίας του '70. Σήμερα, η διαδικασία βρίσκεται σε χρήση σε παραπάνω από τριάντα χώρες ανά τον κόσμο με 1100 εγκαταστάσεις. Οι τυπικοί βιομηχανικοί χρήστες της EDR είναι εργοστάσια ενέργειας, κατασκευαστές ημιαγωγών, φαρμακευτική βιομηχανία κ.α.

3.5.2.3 Οικονομικά

Η ED είναι γενικά μία διαδικασία οικονομικά ελκυστική για νερό χαμηλής αλμυρότητας. Με όρους αρχικού κόστους, η EDR χρειάζεται επιπλέον εξοπλισμό (ελεγκτές συγχρονισμού, αυτόματες βαλβίδες κ.α.) σε σχέση με την ED, αλλά μειώνει ή σχεδόν εξαλείφει την απαίτηση για χημική προκατεργασία.

Γενικά, η συνολική κατανάλωση ενέργειας, σε συνθήκες θερμοκρασίες περιβάλλοντος και υποθέτοντας παραγωγή νερού 500 ppm TDS, είναι περίπου 1,5 και 4 kWh/m³ για νερό τροφοδοσίας των 1500 και 3500 ppm TDS αντίστοιχα [1]. Επιπλέον, οι απαιτήσεις σε ενέργεια για την άντληση είναι ελάχιστες.

3.6 Σύγκριση Τεχνολογιών

Η επιλογή μίας διαδικασίας έναντι μίας άλλης είναι πολύ συγκεκριμένη και εξαρτάται από τις συνθήκες του νερού τροφοδοσίας, την πηγή ενέργειας, τη γεωγραφική κατανομή, κ.α. Για την επιλογή μίας διαδικασίας αφαλάτωσης πρέπει να ληφθούν υπόψη πολλοί παράγοντες Πίνακας 3.6.1. Τα κύρια σημεία αναπτύσσονται παρακάτω:

3.6.1 Τύπος του Νερού Τροφοδοσίας

Οι θερμικές διαδικασίες και η RO χρησιμοποιούνται για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού, ενώ η RO και η ED χρησιμοποιούνται για την αφαλάτωση υφάλμυρου νερού.

Συγκρίνοντας τις δύο διαδικασίες μεμβρανών, με τροφοδοσία χαμηλής αλμυρότητας, η διαδικασία ED καθίσταται περισσότερο ελκυστική για μεγάλα εργοστάσια αφαλάτωσης. Για νερό τροφοδοσίας υψηλότερης αλμυρότητας η διαδικασία RO, συνήθως αποβαίνει φθηνότερη επιλογή. Στην διαδικασία RO η προκατεργασία του νερού τροφοδοσίας είναι σημαντική και πολλές φορές το κόστος της φτάνει σε υψηλά επίπεδα.

Πίνακας 3.6.1 Χαρακτηριστικά των κύριων διαδικασιών αφαλάτωσης

Διαδικασία	Τύπος νερού τροφοδοσίας	Πηγή Ενέργειας	Ποιότητα Παραγόμενου Νερού (ppm TDS)	Τυπική Μέγιστη Δυναμικότητα Μονάδας (m ³ /day)
MSF	θαλασσινό	ατμός	~10	5000-60000
MED	θαλασσινό	ατμός	~10	5000-20000
VC	θαλασσινό	ηλεκτρισμό	~10	2400
SWRO	θαλασσινό	ηλεκτρισμό	~350-500	128000
BWRO	υφάλμυρο	ηλεκτρισμό	~350-500	98000
ED	υφάλμυρο	ηλεκτρισμό	~350-500	45000

3.6.2 Ποιότητα Παραγόμενου Νερού

Γενικά, οι θερμικές τεχνικές παράγουν αποσταγμένο νερό με πάρα πολύ χαμηλά TDS, περίπου 10 με 20 ppm. Αντίθετα τα TDS του παραγόμενου νερού από RO και ED είναι συνήθως περίπου 350 με 500 ppm. Η τελική κατεργασία του νερού εξαρτάται από τη χρήση του παραγόμενου νερού. Όταν το παραγόμενο νερό προορίζεται προς πόση, θα πρέπει να κατεργάζεται σύμφωνα με τα πρότυπα του WHO. Όσον αφορά το αποσταγμένο νερό που παράγεται με θερμικές διαδικασίες, υπάρχουν ανησυχίες για το πόσο κατάλληλο για πόσιμο θα είναι μετά από μεγάλο χρονικό διάστημα. Αν και σε αυτήν την ερώτηση δεν έχουν δοθεί ακόμα ικανοποιητικές απαντήσεις.

3.6.3 Δυναμικότητα Εργοστασίου

Τα εργοστάσια απόσταξης είναι διαθέσιμα σε μεγάλες μονάδες δυναμικότητας. Εξαίρεση σ' αυτό αποτελεί η διαδικασία VC, η οποία χρησιμοποιείται σε μικρής και μεσαίας κλίμακας εφαρμογές. Οι μονάδες MSF είναι κατάλληλες για λειτουργία μεγάλης κλίμακας. Η διαδικασία MED χρησιμοποιείται κυρίως σε εφαρμογές μεσαίας και μεγάλης κλίμακας, ενώ έχουν αναπτυχθεί και εργοστάσια MED μικρής κλίμακας.

Οι διαδικασίες μεμβρανών μπορούν εύκολα να προσαρμοστούν σε οποιοδήποτε μέγεθος εργοστασίου και μπορούν να απαντηθούν σε όλες τις τάξεις δυναμικότητας. Και οι δύο τεχνολογίες, RO και ED είναι κατάλληλες για εφαρμογές μικρής και μεγάλης κλίμακας.

3.6.4 Οικονομικά αφαλάτωσης

Τα κόστη αφαλάτωσης εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη διαδικασία, τον τύπο του νερού τροφοδοσίας, τις απαιτήσεις σε ποιότητα του παραγόμενου νερού, την τιμή ηλεκτρικής ενέργειας, κ.α. Το συνολικό κόστος του νερού που παράγεται από μονάδες αφαλάτωσης περιλαμβάνει το κόστος επένδυσης καθώς και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης. Συγκρίνοντας την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού με την αφαλάτωση υφάλμυρου νερού, το κόστος της πρώτης είναι 3 ως 5 φορές το κόστος της δεύτερης για μία μονάδα ίδιου μεγέθους.

3.6.4.1 Επένδυση

Γενικά, η επένδυση συμπεριλαμβάνει τον εξοπλισμό, την εγκατάσταση και μηχανολογικές εργασίες. Οι μονάδες απόσταξης έχουν υψηλότερα κόστη επένδυσης και χαμηλότερα κόστη λειτουργίας από τις διαδικασίες μεμβρανών. Επιπλέον, οι απαιτήσεις σε γη των θερμικών διαδικασιών είναι μεγαλύτερες από αυτές των διαδικασιών μεμβρανών.

3.6.4.1.1 Κόστη Λειτουργίας και Συντήρησης

Τα κόστη λειτουργίας και συντήρησης περιλαμβάνουν τις απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια, τους μισθούς και τα αναλώσιμα, τα οποία συμπεριλαμβάνουν τα χημικά και την αντικατάσταση των μεμβρανών.

3.6.4.1.2 Συντήρηση του Συστήματος

Η συντήρηση μίας μονάδας αφαλάτωσης συμπεριλαμβάνει την προκατεργασία του νερού τροφοδοσίας, τον περιοδικό καθαρισμό του συστήματος, την αντικατάσταση του μηχανικού εξοπλισμού και των οργάνων ελέγχου. Η κυριότερη απαίτηση συντήρησης για τη διαδικασία μεμβρανών είναι η αντικατάσταση των μεμβρανών, η οποία αποτελεί ένα μείζον παράγοντα κόστους.

Τα κόστη λειτουργίας και συντήρησης είναι λιγότερα στις θερμικές διαδικασίες. Η πρόληψη δημιουργίας επιθεμάτων και ο έλεγχος διάβρωσης είναι σημαντικοί παράγοντες, ιδιαίτερα σε μονάδες που λειτουργούν με υψηλές θερμοκρασίες.

Οι απαιτήσεις σε χημικά για τις διαδικασίες προκατεργασίας και για την τελική κατεργασία εξαρτώνται στενά από την ποιότητα του νερού τροφοδοσίας. Γενικά, οι διαδικασίες απόσταξης χρειάζονται λιγότερα χημικά για την προκατεργασία του νερού τροφοδοσίας από τις διαδικασίες μεμβρανών.

3.6.4.1.3 Μισθοί

Γενικά, το συγκεκριμένο κόστος των μισθών για μία μεγάλη μονάδα είναι χαμηλότερο από ότι για μία μικρή. Σε μικρά εργοστάσια, οι μισθοί είναι ελαφρώς χαμηλότεροι στις διαδικασίες απόσταξης από ότι στην αντίστροφη ώσμωση, ωστόσο εξισώνονται για μεγαλύτερες μονάδες.

3.6.4.1.4 Απαιτήσεις σε Ηλεκτρική Ενέργεια

Το θεωρητικό απόλυτο ελάχιστο της ενέργειας που χρειάζεται για αφαλάτωση είναι περίπου $0,8 \text{ kWh/m}^3$ παραγόμενου νερού, εξαρτάται από τη συγκέντρωση του σε άλατα και είναι ανεξάρτητο της διαδικασίας που χρησιμοποιείται. Σε κάθε διαδικασία αφαλάτωσης, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η συγκέντρωση του θαλασσινού νερού, η θερμοκρασία λειτουργίας για τις διαδικασίες μεμβρανών, καθώς και από το ποσοστό απόδοσης, τις θερμικές απώλειες, τη διαφορά θερμοκρασίας για τις θερμικές διαδικασίες.

Οι διαδικασίες που βασίζονται σε αλλαγή της φάσης του νερού, όπως στις θερμικές διαδικασίες, συνήθως περικλείουν υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας (Πίνακας 3.6.2) [15] από ότι οι διαδικασίες που δεν απαιτούν αλλαγή της φάσης. Γι' αυτό οι διαδικασίες απόσταξης συναντούνται περισσότερο σε χώρες με φθηνά καύσιμα (π.χ. Σαουδική Αραβία, Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα). Ωστόσο οι θερμικές διαδικασίες (MSF, NED) που λειτουργούν με ατμό ο οποίος τροφοδοτείται με εξάτμιση ή απόσπαση ατμού από επιστρεφόμενη πίεση ή από στροβίλους απόσπασης ατμού, είναι οικονομικά ελκυστικές και συγκρίσιμες με το ενεργειακό κόστος της αντίστροφης ώσμωσης. Η ενέργεια που απαιτείται για τις διαδικασίες μεμβρανών εξαρτάται από την επιλεκτική μεταφορά των ιόντων και είναι ανάλογη της αλμυρότητας του νερού τροφοδοσίας που χρησιμοποιείται και του προϊόντος που εξασφαλίζεται. Για μεγάλα και μεσαία συστήματα RO μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα σύστημα ανάκτησης ενέργειας, το οποίο ανακτά περίπου το 40% της εισαγόμενης ενέργειας.

Πίνακας 3.6.2 Εκτίμηση της ενεργειακής κατανάλωσης των κύριων μεθόδων αφαλάτωσης

Διαδικασία	Ενέργεια από ατμό kWh/m ³	Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας kWh/m ³	Σύνολο kWh/m ³
MSF	7,5-11	2,5-3,5	10-14,5
MED	4-7	~2	6-9
VC	-	7-15	7-15
SWRO	-	4-6 με ανάκτηση ενέργειας 7-13 χωρίς ανάκτηση ενέργειας	4-6 με ανάκτηση ενέργειας 7-13 χωρίς ανάκτηση ενέργειας
BWRO	-	0,5-2,5	0,5-2,5
ED	-	0,7-2,5	0,7-2,5

3.6.4.1.5 Συνολικό Κόστος

Τα συνολικά κόστη των κύριων μεθόδων αφαλάτωσης φαίνονται στον Πίνακα 3.6.3. Τα κόστη αναφέρονται σε ένα τυπικό μέγεθος εργοστασίου μεταξύ 10.000 ως 20.000 m³/day, με εξαίρεση του VC το οποίο αναφέρεται σε μέγεθος εργοστασίου μικρότερο των 2500 m³/day [15].

Πίνακας 3.6.3 Κόστη για τις κύριες διαδικασίες αφαλάτωσης

Διαδικασία	Επένδυση €/m ³ -day	Ενέργεια €/m ³	Αναλώσιμα €/m ³	Εργατικά €/m ³	Συντήρηση €/m ³	Σύνολο Κόστους Λειτουργίας & Συντήρησης €/m ³
MSF	1000-2000	0,6-1,8	0,03-0,09	0,03-0,2	0,02-0,06	0,68-2,15
MED	900-1800	0,38-1,12	0,02-0,15	0,03-0,2	0,02-0,06	0,45-1,53
VC	900-2500	0,56-2,4	0,02-0,15	0,03-0,2	0,02-0,08	0,63-2,38
SWRO	800-1600	0,32-1,28	0,09-0,25	0,03-0,2	0,02-0,05	0,46-1,78
BWRO	200-500	0,04-0,4	0,05-0,13	0,03-0,2	0,004-0,02	0,124-0,75
ED	266-388	0,06-0,4	0,05-0,013	0,03-0,2	0,006-0,009	0,146-0,739

3.6.5 Χρόνος Κατασκευής

Όσον αφορά το χρόνο κατασκευής, μία θερμική διαδικασία απαιτεί περισσότερο χρόνο από ότι μία διαδικασία μεμβράνης. Ο χρόνος κατασκευής για μεγάλες μονάδες MSF μπορεί να είναι από τρία ως πέντε χρόνια.

Μεγάλες μονάδες RO μπορούν να εγκατασταθούν και να λειτουργήσουν σε περίοδο από 18 ως 24 μήνες. Μικρές μονάδες RO μπορούν να παραχθούν και να εγκατασταθούν μέσα σε ένα μήνα.

3.7 Συνδυασμός Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας με Μεθόδους Αφαλάτωσης

Συμβαίνει συχνά, γεωγραφικές περιοχές που χρειάζονται νερό να διαθέτουν ΑΠΕ, όπως ηλιακή, άνεμο κ.α Σε αυτές τις περιοχές λοιπόν ο συνδυασμός των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με μία μονάδα αφαλάτωσης μπορεί να αποδώσει τις απαιτούμενες ποσότητες νερού.

Μία ανανεώσιμη μονάδα αφαλάτωσης μπορεί να σχεδιαστεί ώστε να λειτουργεί συνδεδεμένη με το δίκτυο διανομής ρεύματος ή και εκτός δικτύου (αυτόνομη). Η τελευταία περίπτωση θέτει το πρόβλημα της αστάθειας της ανανεώσιμης ενέργειας, αφού τα περισσότερα συστήματα ανανεώσιμης ενέργειας στερούνται ενός μηχανισμού αποθήκευσης. Η παραγόμενη ενέργεια διαφοροποιείται με το χρόνο, καθώς η ταχύτητα του ανέμου ή το επίπεδο ηλιακής ακτινοβολίας μεταβάλλεται. Η ενέργεια θα πρέπει να καταναλωθεί άμεσα, διαφορετικά θα χαθεί. Ο καταναλωτής μπορεί να είναι μία μονάδα αφαλάτωσης και αφού το νερό μπορεί να αποθηκευθεί με μικρό κόστος σε μεγάλες ποσότητες και για μεγάλες περιόδους, αυτή η έλλειψη της σταθερότητας φαίνεται να μην είναι πρόβλημα.

Από την άλλη μεριά, τα συστήματα αφαλάτωσης έχουν σχεδιαστεί για να λειτουργούν με αμετάβλητη ενέργεια εισόδου. Οι απρόβλεπτες και οι μεταβλητές εισοδοί ενέργειας, όπως στην περίπτωση των ΑΠΕ, αναγκάζουν τη μονάδα αφαλάτωσης να λειτουργεί στις μη βέλτιστες συνθήκες και μπορεί να προκαλέσουν λειτουργικά προβλήματα. Ένα μικρό σύστημα αποθήκευσης μπορεί να προστεθεί ώστε να διευκολυνθεί το πρόβλημα, αλλά αυτό αυξάνει το συνολικό κόστος του συστήματος.

Γενικά, η εναρμόνιση των ΑΠΕ με τις μονάδες αφαλάτωσης είναι μία τεχνολογική πρόκληση, με κύρια προβλήματα που συνδέονται με τον ασυνεχή χαρακτήρα τους και το συνολικό κόστος του συστήματος.

Σχεδιάζοντας ένα αυτόνομο ανανεώσιμο εργοστάσιο αφαλάτωσης, η αρχή της εναρμόνισης ενέργειας [16] κυριαρχεί. Στην περίπτωση απουσίας οποιουδήποτε τύπου αποθήκευσης, αυτό σημαίνει ότι η ενέργεια που παρέχεται από τις ΑΠΕ ισούται με αυτή που καταναλώνεται στη διαδικασία αφαλάτωσης. Δυστυχώς δεν υπάρχει μία φυσική ισορροπία, αφού οι ΑΠΕ, όπως ο άνεμος τείνει να προμηθεύει με ένα πολύ στοχαστικό τρόπο και η ηλιακή ακτινοβολία ακολουθεί ένα συγκεκριμένο περιοδικό τρόπο, και η διαδικασία αφαλάτωσης τείνει να εκθέτει μία συνεχή, καθορισμένη ζήτηση ενέργειας. Η βασική πρόκληση επομένως είναι να δημιουργηθούν αρχιτεκτονικές συστημάτων και στρατηγικές ελέγχου, οι οποίες θα επιτυγχάνουν αυτή την ισορροπία.

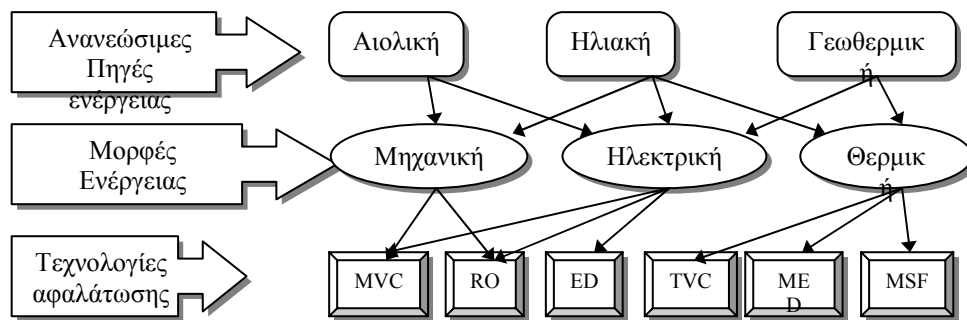
Υπάρχουν τρεις τρόποι ούτως ώστε να επιτευχθεί αυτή η εναρμόνιση. Κατ' αρχήν, από την πλευρά διαχείρισης της ενέργειας ο στόχος είναι να παρέχεται στη μονάδα αφαλάτωσης η ζητούμενη ενέργεια. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι η μονάδα τροφοδοσίας ρεύματος πρέπει να σχεδιαστεί ώστε να παράγει μια αμετάβλητη έξοδο άσχετα με τις επικρατούσες συνθήκες ενέργειας. Αυτό απαιτεί μία λύση υβριδικής ενέργειας το οποίο έχει ένα αριθμό πηγών παροχής ενέργειας. Αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν και ανανεώσιμες (ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά) και μη ανανεώσιμες μονάδες (ντίζελοκινητήρες), καθώς και μέσα αποθήκευσης (μπαταρίες ή τροχούς).

Ο δεύτερος τύπος σχεδιασμού μπορεί να περιγραφεί σαν διαχείριση φορτίου. Σ' αυτό το σχεδιασμό η μονάδα ενέργειας βασίζεται ολοκληρωτικά στις ΑΠΕ και ο σκοπός είναι να διαφοροποιηθούν τα χαρακτηριστικά του φορτίου, έτσι ώστε όλη η ενέργεια που παράγεται να απορροφάται από το φορτίο. Η εναρμόνιση του φορτίου μπορεί να επιτευχθεί μέσω δύο επιπέδων ελέγχου. Ανοιγοκλείνοντας τα στοιχεία αφαλάτωσης μπορεί να επιτευχθεί

συντονισμός επιτρέποντας στη μονάδα αφαλάτωσης να παρεκκλίνει από το φυσιολογικό σημείο σχεδιασμού, π.χ. όσον αφορά τη διαφορά υδροστατικής πίεσης ή/ και το ρυθμό ροής.

Ένας τρίτος τύπος σχηματισμού υπάρχει, ο οποίος περιγράφεται καλύτερα σαν ολοκληρωμένος. Όσο αφορά τους σχηματισμούς διαχείρισης του φορτίου, ένας στόχος είναι να ελαχιστοποιηθεί η εξάρτηση από τις μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ωστόσο, αντί να εφαρμόζεται έλεγχος εναρμόνισης ενέργειας στη μονάδα αφαλάτωσης, έλεγχος εφαρμόζεται επίσης στη προμήθεια ανανεώσιμης ενέργειας. Στην περίπτωση της ανεμογεννήτριας, αυτό μπορεί να σημαίνει να λαμβάνονται αποφάσεις δραστικού ελέγχου, για παράδειγμα γωνία βήματος έλικα ή ταχύτητα του ρότορα, για να περιοριστεί η παραγωγή ενέργειας σε ένα χαμηλότερο επίπεδο από ότι φυσιολογικά θα παραγόταν για τη δεδομένη ταχύτητα του ανέμου.

Η διαχείριση της ενέργειας υποδηλώνει πλεόνασμα στο εργοστάσιο ενέργειας, ενώ η διαχείριση φορτίου πλεόνασμα στη μονάδα αφαλάτωσης. Το σχετικό αρχικό κόστος κάθε υποσυστήματος (τροφοδοσία ενέργειας και ζήτηση από την αφαλάτωση) καθορίζει πόσο κατάλληλος μπορεί να είναι ένας συγκεκριμένος συνδυασμός ενέργειας και μεθόδου αφαλάτωσης. Οι εφικτοί συνδυασμοί ανανεώσιμης ενέργειας-τεχνολογίας αφαλάτωσης απεικονίζονται με τη μορφή δέντρου στο παρακάτω διάγραμμα 3.7.1 [17]. Από αυτό το δέντρο δυνατοτήτων, επιλέχθηκαν κάποιοι συνδυασμοί ώστε να περιγραφούν εκτενέστερα.



Σχήμα 3.7.1 Εφικτοί συνδυασμοί ΑΠΕ με τεχνολογίες αφαλάτωσης

Όσον αφορά το υψηλότερο επίπεδο τεχνικής, η αιολική ενέργεια και τα φωτοβολταϊκά φαίνονται να είναι μία ελκυστική επιλογή. Η εφαρμογή αυτών των τεχνολογιών είτε μεμονωμένα είτε διατεταγμένα στη σειρά, σε συνεργασία με τη διαδικασία αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης φαίνεται περισσότερο ενδιαφέρουσα.

Η ζωτικότητα οποιουδήποτε συνδυασμού ΑΠΕ αφαλάτωσης θα εξαρτάται κυρίως από [1]:

- τη δυναμικότητα της ανανεώσιμης ενέργειας στη συγκεκριμένη περιοχή και τη μορφή της χρήσιμης ενέργειας που είναι διαθέσιμη αφού μετατραπεί από τις ανανεώσιμες πηγές, σε θερμική, μηχανική, ηλεκτρική
- την απαιτούμενη δυναμικότητα παραγωγής από τη μονάδα αφαλάτωσης, η δυναμικότητα αυτή καθορίζει κατά κάποιο τρόπο το μέγεθος του υποσυστήματος συλλογής ενέργειας
- τη διαθεσιμότητα προσωπικού συντήρησης και εξειδικευμένου προσωπικού για τη λειτουργία της μονάδας στη συγκεκριμένη περιοχή
- το συνολικό κόστος του συστήματος

3.7.1 Φωτοβολταϊκά και Αντίστροφη Ώσμωση ή Ηλεκτροδιάλυση

Η ηλεκτρική ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά για εφαρμογές αφαλάτωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ηλεκτρο-μηχανικές συσκευές, όπως αντλίες, ή σε συσκευές συνεχόμενου ρεύματος, για την ηλεκτροδιάλυση. Το κυριότερο πλεονέκτημα των συστημάτων αφαλάτωσης με φ/β είναι η δυνατότητα ανάπτυξης μικρών μονάδων αφαλάτωσης.

3.7.1.1 Περιγραφή του Συστήματος

Η μονάδα παραγωγής ενέργειας αποτελείται από ένα αριθμό φ/β στοιχείων, τα οποία μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρισμό συνεχούς ρεύματος (DC). Η κατάλληλη διαδικασία αφαλάτωσης γι' αυτό το συνδυασμό θα πρέπει να χρησιμοποιεί ηλεκτρισμό. Επομένως, η αντίστροφη ώσμωση και η ηλεκτροδιάλυση εμφανίζονται ως οι πιο κατάλληλες επιλογές για να συνδυαστούν με φ/β συστήματα.

Η αντίστροφη ώσμωση συνήθως χρησιμοποιεί εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) για τις αντλίες, το οποίο σημαίνει ότι πρέπει να χρησιμοποιηθούν μετατροπείς DC/AC. Από την άλλη μεριά, η ηλεκτροδιάλυση χρησιμοποιεί συνεχές ρεύμα για τα ηλεκτρόδια στη δέσμη κελιών και γι' αυτό το λόγο μπορεί να χρησιμοποιήσει την ενέργεια από τα φ/β στοιχεία χωρίς να γίνουν κάποιες σημαντικές τροποποιήσεις.

Η αποθήκευση της ενέργειας είναι και πάλι ένα θέμα ενδιαφέροντος και οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται στην έξοδο ρεύματος των φ/β είναι για να εξομαλύνουν και για να διατηρούν τη λειτουργία του συστήματος, όταν δεν είναι διαθέσιμη ικανοποιητική ηλιακή ενέργεια.

3.7.1.2 Λειτουργικά Χαρακτηριστικά

Οι κύριοι παράμετροι σχεδιασμού σε αυτό το συνδυασμό είναι:

- ηλιακή ενέργεια
- αποδοτικότητα των φ/β στοιχείων
- η δυναμικότητα των εγκατεστημένων φ/β

Βέβαια, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από τη μονάδα αφαλάτωσης παίζει σημαντικό ρόλο όταν αποτιμάται η επιτευξιμότητα αυτού του συνδυασμού.

Ένα χαρακτηριστικό που αποτελεί πλεονέκτημα είναι το γεγονός ότι η διαδικασία λειτουργεί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, το οποίο μειώνει την πιθανότητα δημιουργίας επιθεμάτων και διάβρωσης. Επίσης, όλη η απαιτούμενη ενέργεια μπορεί να προμηθευτεί από τα φ/β και δεν χρειάζεται βοηθητική προμήθεια.

Η απόδοση των διαδικασιών των μεμβρανών είναι πολύ ευαίσθητη στην αλμυρότητα του νερού τροφοδοσίας. Ο τύπος του εισαγόμενου νερού τροφοδοσίας και η προκατεργασία του είναι καθοριστικά για την απόδοση και τα λειτουργικά αποτελέσματα της μονάδας αφαλάτωσης. Ωστόσο, οι μεμβράνες συνήθως παρέχουν παραγόμενο νερό με υψηλότερη αλμυρότητα από ότι η απόσταξη. Τέλος, η ηλεκτροδιάλυση είναι διαθέσιμη σε εμπορική βάση μόνο για αφαλάτωση υφάλμυρου νερού.

3.7.1.3 Διαθεσιμότητα και Κόστος

Τα φ/β συστήματα και οι μονάδες αφαλάτωσης μεμβρανών είναι διαθέσιμα οπουδήποτε και οι τιμές τους τείνουν να μειωθούν. Πολύ σημαντικό είναι το γεγονός ότι μονάδες RO είναι διαθέσιμες σε μικρά μεγέθη. Μικρές μονάδες φ/β-RO για την προμήθεια νερού μικρών χωριών ή ακόμα και μεμονωμένων σπιτιών μπορούν να κατασκευαστούν.

Το κόστος του νερού από μία μονάδα αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με φ/β κυμαίνεται από 5,5 έως 20 €/m³ [18] για δυναμικότητα παραγόμενου νερού από 120 ως 12 m³/day αντίστοιχα. Επίσης, το κόστος του νερού που παράγεται από μία μονάδα αφαλάτωσης υφάλμυρου νερού φ/β-RO είναι περίπου 5 €/m³ για ένα σύστημα 250 m³/day [19]. Για το ίδιο μέγεθος συστήματος και της ίδιας αλμυρότητας τροφοδοσίας νερό το κόστος είναι 4 €/m³ για ένα σύστημα φ/β-ED.

Το κόστος του νερού επηρεάζεται, εκτός από το μέγεθος της μονάδας, από παράγοντες όπως:

- τη συγκέντρωση του νερού τροφοδοσίας
- τις ώρες λειτουργίας
- τη συχνότητα αντικατάστασης των στοιχείων
- την υποτιθέμενη αξία επιστροφής

3.7.2 Ανεμογεννήτριες και Μονάδες Αφαλάτωσης RO/ED/VC

3.7.2.1 Περιγραφή Συστήματος

Ένας συνδυασμός, ο οποίος αναπτύσσεται, είναι η σύζευξη των Α/Γ με κάποιες μονάδες αφαλάτωσης, οι οποίες μπορούν να επιλεγούν από ένα αριθμό εναλλακτικών: αντίστροφη ώσμωση, ηλεκτροδιάλυση, συμπίεση ατμών.

Η επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας αφαλάτωσης εξαρτάται από τη διαθέσιμη ποιότητα του νερού τροφοδοσίας και την απαιτούμενη ποιότητα του παραγόμενου νερού. Τα συστήματα μεμβρανών συνήθως παράγουν νερό με υψηλότερη αλμυρότητα από τα συστήματα απόσταξης. Επιπλέον η αφαλάτωση με ED χρησιμοποιείται συνήθως για υφάλμυρο νερό.

Σε όλες τις παραπάνω εναλλακτικές η τροφοδοσία ενέργειας προέρχεται από μία Α/Γ ή από ένα αιολικό πάρκο.

Το κυριότερο χαρακτηριστικό των συστημάτων αιολικής ενέργειας είναι η τυχαία κατανομή της ταχύτητα του ανέμου, η οποία δεν έχει καμία προβλεπόμενη διασπορά. Δεν υπάρχει καμία τάση ή μοντέλο όπως το μοντέλο μέρα/ νύκτα της ηλιακής ενέργειας. Γι' αυτό το λόγο είναι δύσκολο να προβλεφθεί η ποσότητα της διαθέσιμης ενέργειας.

Κατάλληλα συστήματα ελέγχου ενέργειας απαιτούνται για την εναρμόνιση της εισαγόμενης ενέργειας στο φορτίο της αφαλάτωσης. Η ενέργεια τροφοδοσίας πρέπει να παρέχεται σε εναλλασσόμενο ρεύμα για την RO και την VC, ενώ η ED απαιτεί συνεχές ρεύμα. Στους περισσότερους σχεδιασμούς χρησιμοποιούνται μετατροπείς, ανορθωτές και συσκευές μεταβλητής συχνότητας. Η εναρμόνιση της ενέργειας απαιτεί κάποια μορφή ενεργειακής απώλειας ή συσκευή αποθήκευσης, γι' αυτό το λόγο σε όλες τις περιπτώσεις το σύστημα ελέγχου ενέργειας περιλαμβάνει φορτία αποθήκευσης ή τροχούς ή αποθήκευση σε μπαταρίες ή συνδυασμούς αυτών.

Παράμετροι ειδικού ενδιαφέροντος για το σχεδιασμό περιλαμβάνουν: την κατανομή της ταχύτητας του ανέμου, την κατανομή της διαθέσιμης ενέργειας, την κατανάλωση της ενέργειας στη μονάδα αφαλάτωσης και την αλμυρότητα του νερού τροφοδοσίας. Ο σχεδιασμός του συστήματος ελέγχου είναι το πιο κρίσιμο και το πιο ενδιαφέρον μέρος.

Έχει γίνει μία σειρά από προσπάθειες για να συνδυαστεί η αιολική ενέργεια με συστήματα αφαλάτωσης RO, ED και MVC. Ένας αριθμός εργοστασίων είναι ήδη σε λειτουργία. Ωστόσο, τα περισσότερα απ' αυτά ήταν μικρού μεγέθους, κυρίως για ερευνητικούς σκοπούς. Συνεπώς δεν έχουν εξαχθεί πολλά συμπεράσματα όσον αφορά την πραγματογνωμοσύνη και τη γνώση κατασκευής.

Παραμένει δύσκολο να ελεγχθεί η χρήση του ανέμου με ένα αποτελεσματικό τρόπο ως προς το κόστος. Συνδυάζοντας ένα σύστημα μεταβλητού εφοδιασμού ενέργειας με μία μονάδα αφαλάτωσης απαιτείται διαχείριση είτε ενέργειας είτε ζήτησης και δεν υπάρχει αρκετή εμπειρία σ' αυτό.

Ωστόσο, οι προσδοκίες γι' αυτό το συνδυασμό είναι υψηλές κυρίως λόγω του χαμηλού κόστους της αιολικής ενέργειας. Η λειτουργική εμπειρία από πρόσφατες υποδειγματικές μονάδες αναμένεται να συνεισφέρει στη βελτίωση των σχεδιασμών και ένας μεγάλος αριθμός εμπορικών συστημάτων αναμένεται να εμφανιστεί σύντομα στην αγορά.

3.7.2.2 Κόστος

Η εμπειρία σε μονάδες αφαλάτωσης MVC θαλασσινού νερού με Α/Γ καθορίζει ότι αν η μονάδα λειτουργεί αυτόνομα το μέσο κόστος νερού ποικίλλει μεταξύ 3,07 και 3,73 €/m³ [20].

Σε ένα άλλο αυτόνομο σύστημα αφαλάτωσης ανέμου-πετρελαίου, το οποί περιλαμβάνει μία μονάδα αφαλάτωσης MVC, τα κόστη που αναφέρονται είναι: 60 €/MWh για το κόστος της αιολικής ενέργειας που παράγεται και 1,3 €/m³ για το κόστος του νερού που παράγεται. Θεωρείται ότι το 100% της αιολικής ενέργειας αξιοποιείται.

Επιπλέον, το κόστος του νερού που παράγεται από μία μονάδα αφαλάτωσης RO υφάλμυρου νερού με αιολική ενέργεια είναι της τάξης των 2 €/m³ [19], ενώ για την ίδια αλμυρότητα τροφοδοσίας νερού και μεγέθους, το κόστος του νερού για μία μονάδα ED με αιολική ενέργεια είναι περίπου 1,5 €/m³.

3.8 Το Νερό

Ο πλανήτης γη διαθέτει μία ολική επιφάνεια από $510 \cdot 10^{12} \text{ m}^2$. Από αυτά στερεό έδαφος αποτελούν μόνο το $150 \cdot 10^{12}$ ενώ τα υπόλοιπα $360 \cdot 10^{12}$ αποτελούν τις υδάτινες επιφάνειες. Ο ολικός όγκος των αποθεμάτων της γης είναι $1,41 \cdot 10^{18} \text{ m}^3$, εκ των οποίων περίπου το 97% ή $1,37 \cdot 10^{18} \text{ m}^3$, αποτελούν τις θάλασσες και τους ωκεανούς, δηλαδή τα πολύ αλμυρά νερά, ενώ το υπόλοιπο 3% σχηματίζει τα αποθέματα του γλυκού ή πόσιμου νερού στα οποία συγκαταλέγονται και τα υφάλμυρα νερά. Το 3% του γλυκού νερού κατανέμεται ως εξής [13]:

● Πάγος στους πόλους και στους παγετώνες	$30 \cdot 10^{15}$	m^3
● Νερά μέχρι βάθους 750 m	$4,4 \cdot 10^{15}$	m^3
● Νερά σε βάθος από 750 m έως 3500 m	$5,6 \cdot 10^{15}$	m^3
● Νερά λιμνών	$12 \cdot 10^{15}$	m^3
● Ποταμοί και ρυάκια	$1,2 \cdot 10^{15}$	m^3
● Υγρασία εδάφους	$2,4 \cdot 10^{15}$	m^3
● Υγρασία ατμόσφαιρας	$1,3 \cdot 10^{15}$	m^3

Από αυτά τα στατιστικά στοιχεία υπολογίζεται ότι μόνο το 0,75% του γήινου γλυκού ή πόσιμου νερού υπάρχει σε υγρή μορφή και ότι μόνο το 0,01% από αυτό το νερό βρίσκεται στα ποτάμια και τις λίμνες.

Το γλυκό νερό προέρχεται από τη συμπύκνωση των ατμών της ατμόσφαιρας που με τις βροχοπτώσεις παρασύρεται και σχηματίζει τα υδάτινα ρεύματα στην επιφάνεια της γης. Οι ατμοί της ατμόσφαιρας σχηματίζονται όταν από την επιφάνεια των λιμνών, των θαλασσών και των ωκεανών εξατμίζεται νερό λόγω της θερμότητας της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι ατμοί οι οποίοι σχηματίζονται, το μεγαλύτερο μέρος τους συμπυκνώνονται σε σύννεφα, ενώ το υπόλοιπο αποτελεί την υγρασία της ατμόσφαιρας. Κατά την εποχή των βροχοπτώσεων το συμπύκνωμα από τα σύννεφα, ως γλυκό νερό και όχι αναγκαστικά στο σημείο που δημιουργήθηκε, πέφτει σαν βροχή στην επιφάνεια της γης και σχηματίζει υδάτινα ρεύματα ή εισχωρεί στο έδαφος σχηματίζοντας τις υδάτινες φλέβες του νερού. Και στις δύο περιπτώσεις η τελική κατάληξη είναι είτε μία λίμνη ή η θάλασσα. Κατά την πορεία του προς την θάλασσα παρασύρει η διαλύει διάφορα συστατικά από τα πετρώματα με τα οποία έρχεται σε επαφή και εμπλουτίζεται προοδευτικά με μία μεγάλη ποικιλία από διαλυτές ή αιωρούμενες ουσίες σχηματίζοντας τα αλμυρά ή τα υφάλμυρα νερά, εμπλουτίζοντας τις θάλασσες με διάφορα άλατα. Ο κύκλος αυτός της εξάτμισης και της επιστροφής του συμπυκνώματος ως βροχή, καλείται «κύκλος του ύδατος» και αποτελεί μία φυσική διεργασία αφαλάτωσης που η φύση επεξεργάζεται ασταμάτητα εκατομμύρια χρόνια.

Τα διάφορα συστατικά που παρασύρει το νερό καθώς κυλάει στην επιφάνεια της γης ή στο υπέδαφος είναι ανόργανες και οργανικές ουσίες, που του προσδίδουν ορισμένα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, όπως οσμή, χρώμα, γεύση, θολότητα, σκληρότητα και προπάντων καταλληλότητα για μία ορισμένη χρήση.

Οι περισσότερες οργανικές ενώσεις στα φυσικά νερά περιέχονται σε μικρές ποσότητες και προέρχονται από σπόρους, φύλλα, κομμάτια από διάφορα φυτά κ.α., που τα παρασύρει κατά τη ροή του στην επιφάνεια της γης. Σε επιφανειακά, στάσιμα νερά, σχηματίζονται μεγάλες ποσότητες χουμικού οξέως που προέρχονται από την αποσύνθεση οργανικών ουσιών μεγάλου μοριακού βάρους.

Στη σημερινή εποχή, εκτός από τις φυσικές οργανικές ουσίες, τα νερά περιέχουν και μεγάλες ποσότητες οργανικών ουσιών που προέρχονται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως κάθε είδους οικιακά και βιομηχανικά λύματα, τα οποία αποσυντίθενται και παραμένουν στο νερό εμπλουτίζοντας το με επικίνδυνα συστατικά.

Οι περισσότερες οργανικές ουσίες είναι συνδυασμοί άνθρακα με υδρογόνο, οξυγόνο, άζωτο, φώσφορο και θείο, η παρουσία τους δεν προκαλεί προβλήματα για την καταλληλότητα του σαν νερό χρήσης, οικιακής, κοινοτικής ή και αγροτικής.

Οι ανόργανες ουσίες είναι διάφορα μεταλλικά άλατα που η περιεκτικότητά τους καθορίζει την καταλληλότητα για μία ορισμένη χρήση.

Όταν τα φυσικά νερά καταλήξουν στη θάλασσα ή σε λίμνες, τα μεν ανόργανα άλατα εμπλουτίζουν το νερό της υδάτινης λεκάνης, ενώ οι φυσικές ανόργανες ουσίες αποσυντίθενται.

3.9 Η Χημεία του Νερού

Το νερό κατέχει δύο πολύ ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά που το ξεχωρίζουν από τα άλλα φυσικά υλικά. Παρουσιάζει μεγάλη σταθερότητα, ως χημική ένωση, ενώ αλλάζει εύκολα φυσική κατάσταση, από υγρό σε αέριο ή στερεό. Η αλλαγή φάσης δεν μεταβάλλει την αρχική του μορφή στην οποία επανέρχεται τελικά, δηλαδή στην πλέον σταθερή μορφή της υγρής φάσης. Στη φύση απαντάται ως υγρό, ως στερεό, δηλαδή ως πάγος, ως αέριο υπό τη μορφή υδρατμών και ως κρυσταλλικό νερό ενωμένο με διάφορες χημικές ενώσεις.

Το δεύτερο ενδιαφέρον χαρακτηριστικό είναι η μεγάλη διαλυτική του ικανότητα. Διαλύει στερεά, υγρά και αέρια συστατικά με μεγάλη ευκολία. Κατά τη διάλυση των περισσότερων στερεών ουσιών σχηματίζεται ένα διάλυμα που περιέχει τα διαλυμένα άλατα στην ιοντική τους μορφή, ενώ τα αέρια παραμένουν σε μοριακή κατάσταση.

Τα διάφορα φυσικά νερά των πηγών, των ποταμών και των λιμνών έχουν πολύ χαμηλή περιεκτικότητα αλάτων ενώ στο θαλασσινό νερό η περιεκτικότητά των αλάτων είναι μεγαλύτερη, κυρίως σε χλωριούχο νάτριο, το οποίο του προσδίδει αλμυρότητα.

Το θαλάσσιο νερό και αλμυρά νερά κατατάσσονται στην ομάδα των υδάτινων διαλυμάτων και οι περισσότερες ιδιότητες τους υπολογίζονται από τις αντίστοιχες εξισώσεις των αραιών διαλυμάτων κατόπιν προσαρμογής των αριθμητικών συντελεστών.

Τόσο η ποσότητα όσο και οι χημικές ιδιότητες των διαλυμένων αλάτων επηρεάζουν τη γεύση και τη χρησιμότητα του νερού γενικά. Ανάλογα με την ποσότητα των ολικώς διαλυμένων αλάτων (Total Dissolved Solids, TDS), κατατάσσονται σε:

1. Κατάλληλο πόσιμο νερό με 500 ppm TDS
2. Ελαφρώς αλμυρό νερό με 1000 ppm TDS, το οποίο γίνεται αποδεκτό και ως πόσιμο νερό
3. Αλμυρό νερό με 1000 έως 2000 ppm TDS, το οποίο μόνο σε ακραίες περιπτώσεις γίνεται αποδεκτό για οικιακή χρήση
4. Γλυφό νερό με περιεκτικότητα αλάτων από 2000 έως 10000 ppm TDS. Η χρησιμοποίησή του ως πόσιμο νερό προκαλεί διάφορες διαταραχές
5. Πολύ αλμυρό νερό με TDS > 10000 ppm
6. Θαλάσσιο και ωκεάνιο νερό με περιεκτικότητα αλάτων από 10000 έως περίπου 42000 ppm TDS

Αυτή η κατηγοριοποίηση είναι σχετική. Υπάρχουν διαβαθμίσεις ανάλογα με τη σκοπιμότητα της χρήσης του.

Η περιεκτικότητα σε άλατα και η χημική σύσταση των αλάτων παρουσιάζει μεγάλη διαφορά όχι μόνο μεταξύ των διαφόρων πηγών, αλλά και για την ίδια πηγή ανάλογα με την

αυξομείωση της άντλησης του νερού και τη βροχόπτωση. Το νερό στις μεγάλες υδάτινες λεκάνες, όπως ωκεανοί, θάλασσες και μεγάλες λίμνες, είναι ως επί το πλείστον ομοιόμορφο ακόμα και στις εκβολές των ποταμών, διότι τα ισχυρά θαλάσσια ρεύματα βοηθούν στην ομοιογενοποίηση των υδάτινων όγκων.

Για τη μελέτη των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του θαλάσσιου νερού χρησιμοποιείται συνθετικό νερό το οποίο ονομάζεται «πρότυπο» ή «κανονικό».

Στη συνέχεια αναπτύσσονται κάποιες από τις φυσικές και χημικές ιδιότητες του νερού.

3.9.1 Αλμυρότητα

Η ολική συγκέντρωση των ιόντων σε ένα υδατικό διάλυμα είναι μία σημαντική παράμετρος που καθορίζει όχι μόνο τις ιδιότητες του αλλά και την χρησιμότητα του. Η χημική ιδιαιτερότητα των ιόντων έχει μικρότερη επίδραση στις ιδιότητες του θαλάσσιου και του υφάλμυρου νερού. Η ολική συγκέντρωση των ιόντων στο νερό καλείται «αλμυρότητα» (salinity) και ορίζεται ως «το ολικό ποσό των στερεών συστατικών σε g που περιέχονται σε ένα κιλό νερού, όταν όλα τα ανθρακικά έχουν μετατραπεί σε οξείδια και όλα τα βρωμιούχα και ιωδιούχα έχουν αντικατασταθεί ως ισοδύναμα χλωριούχα».

Ο αναλυτικός προσδιορισμός της αλμυρότητας είναι πολύπλοκος και όχι πολύ ακριβής διότι οι διάφορες προσμίξεις, ιδίως οι οργανικές, που περιέχονται στα δείγματα του φυσικού νερού αλλοιώνουν τα αναλυτικά αποτελέσματα. Για την αποφυγή του αναλυτικού προσδιορισμού καθιερώθηκε μία δεύτερη παράμετρος η χλωρινότητα (chlorinity), Cl, η οποία ορίζεται ως «το ολικό ποσό των ιόντων χλωρίου σε g/kg νερού, όταν όλα τα βρωμιούχα και τα ιωδιούχα έχουν αντικατασταθεί από τα ισοδύναμα χλωριούχα». Μία τρίτη παράμετρος η χλωριότητα (chlorosity), ορίζεται ως «το ολικό ποσό των χλωριούχων, στα οποία περιλαμβάνονται τα βρωμιούχα και τα ιωδιούχα, ως ισοδύναμα, σε γραμμάρια ανά κυβικό μέτρο νερού θερμοκρασίας 20 °C».

Η χλωρινότητα προσδιορίζεται ή με αναλυτικό προσδιορισμό των αλογόνων στο δείγμα ή με μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε θερμοκρασία 15 °C.

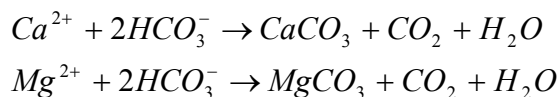
3.9.2 Σκληρότητα

Το ασβέστιο και το μαγνήσιο, μετά το νερό, βρίσκονται σε μεγαλύτερη αναλογία στο νερό. Το ασβέστιο και το μαγνήσιο αποτελούν τα στοιχεία της σκληρότητας του νερού ανεξάρτητα με τα ανιόντα με τα οποία είναι ενωμένα. Η σκληρότητα εκφράζεται ως «η ολική ποσότητα του μαγνησίου και του ασβεστίου σε eq/m³» [13].

$$\text{σκληρότητα} = (\text{Ca}^{2+}) + (\text{Mg}^{2+})$$

Παλιότερα η σκληρότητα εκφραζόταν σε βαθμούς σκληρότητας που αναφερόταν σε ισοδύναμο ποσότητα CaO ή CaCO₃.

Υπάρχουν δύο τύποι σκληρότητας, αυτή που οφείλεται στα όξινα ανθρακικά άλατα του ασβεστίου και του μαγνησίου και εκείνη η οποία οφείλεται στα χλωριούχα, θειικά ή νιτρικά άλατα των ιδίων κατιόντων. Η σκληρότητα των ανθρακικών αλάτων ονομάζεται «παροδική», διότι σε θερμοκρασία πάνω από 80 °C και κυρίως κατά το βρασμό του νερού τα όξινα ανθρακικά άλατα διασπώνται σχηματίζοντας αδιάλυτο ανθρακικό ασβέστιο, το οποίο αποβάλλεται ελαττώνοντας την ολική σκληρότητα.



Τα αδιάλυτα ανθρακικά άλατα αποβάλλονται πάνω στις μεταλλικές επιφάνειες των εγκαταστάσεων αφαλάτωσης σχηματίζοντας τον λεβητόλιθο.

Ο δεύτερος τύπος σκληρότητας ονομάζεται «μόνιμη σκληρότητα» και κατά το βρασμό δεν σχηματίζει αδιάλυτα άλατα, αλλά αποβάλλει τα χλωριούχα ή θειικά άλατα μόνο όταν κατά τη συμπύκνωση ή συγκέντρωση τους υπερβεί το γινόμενο διαλυτότητας.

Η σκληρότητα συνδέεται άμεσα με το σχηματισμό επιθεμάτων στις μεταλλικές επιφάνειες των σωληνώσεων και των εξατμιστηρίων σε εγκαταστάσεις αφαλάτωσης με τη μέθοδο της απόσταξης. Τα επιθέματα αποτελούνται από πέτρινα στρώματα, που ανάλογα με τις χημικές ενώσεις που τα απαρτίζουν είναι μαλακά έως πολύ σκληρά. Η σκληρότητα του νερού έχει ουσιώδη σημασία για την καλή λειτουργία μίας εγκατάστασης αφαλάτωσης, διότι καθορίζει τόσο τη μέθοδο προκατεργασίας του νερού τροφοδοσίας, όσο και την όλη οικονομία της μεθόδου αφαλάτωσης.

3.9.3 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα

Ηλεκτρική αγωγιμότητα ενός διαλύματος είναι η ικανότητα του να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα. Εάν σε ένα διαλύτη, π.χ. απεσταγμένο νερό τοποθετηθούν δύο ηλεκτρόδια και διοχετευθεί συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα, δεν θα υπάρξει ροή ρεύματος. Εάν ο διαλύτης περιέχει διαλυμένα άλατα, υπό μορφή ιόντων, τότε παρατηρείται ροή ηλεκτρικού ρεύματος. Αυτό το ρεύμα που μεταφέρεται διαμέσου ενός διαλύματος ηλεκτρολυτών, ονομάζεται αγωγιμότητα του διαλύματος και μετρείται σε «μικρο-Σήμενς ανά εκατοστό, $\mu\text{S}/\text{cm}$ ».

Πρακτικά η αγωγιμότητα μετράται από την αντίσταση που προβάλλει ένα διάλυμα στη ροή συνεχούς ρεύματος, που δημιουργείται με τη βοήθεια δύο ηλεκτροδίων πλατίνας.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα αυξάνεται με την αύξηση της συγκέντρωσης των ιόντων και με την αύξηση της θερμοκρασίας του. Υπολογίζεται με μεγάλη προσέγγιση από την εξίσωση:

$$E_c = C_i \times f_{ai}$$

όπου:	E_c	:	η ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα	$\mu\text{S}/\text{cm}$
	C_i	:	η συγκέντρωση των ιόντων i στο διάλυμα	eq/m^3 ή g/m^3 ή ppm
	f_{ai}	:	συντελεστής αγωγιμότητας των ιόντων	$\mu\text{S}/\text{cm}$

Κεφάλαιο 4

Οικονομοτεχνική Ανάλυση Μονάδας Αφαλάτωσης με ΑΠΕ

4. Οικονομοτεχνική Ανάλυση Μονάδας Αφαλάτωσης με ΑΠΕ

4.1 Οικονομικά Μεγέθη

Η κατασκευή και λειτουργία μίας μονάδας αφαλάτωσης με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σαν οικονομική επένδυση χαρακτηρίζεται από κάποια μεγέθη που πρέπει εκ των προτέρων να λαμβάνονται υπόψη [21]. Αυτά τα μεγέθη αφορούν κυρίως την αρχική δαπάνη του έργου, τα έξοδα εγκατάστασης, τα έξοδα λειτουργίας, τα οποία παίζουν μεγάλο ρόλο στην αξιολόγηση της επένδυσης.

Παρακάτω αναπτύσσονται οι κυριότεροι παράμετροι για τη μονάδα αφαλάτωσης με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

4.1.1 Διάρκεια Ζωής της Επένδυσης

Η διάρκεια οικονομικής ζωής της επένδυσης καθορίζεται ως επί το πλείστον από τη διάρκεια της τεχνικής ζωής που δίνουν οι κατασκευαστές. Αυτό συμβαίνει διότι το προϊόν που παράγεται δεν χάνει την οικονομική του χρησιμότητα, με συνέπεια η επένδυση να έχει ωφέλιμη ζωή ίση με την τεχνική ζωή που δίνουν οι κατασκευαστές. Στην περίπτωση της μονάδας αφαλάτωσης με ΑΠΕ η διάρκεια αυτή προσδιορίζεται από τη συσκευή που έχει τη μικρότερη διάρκεια ζωής. Συνεπώς, η διάρκεια ζωής της μονάδας αφαλάτωσης με ΑΠΕ καθορίζεται από τη μονάδα αφαλάτωσης, αφού έχει διάρκεια ζωής 10 χρόνια, ενώ οι Α/Γ 20 χρόνια και τα φ/β 30 χρόνια.

Πολλές φορές όμως η διάρκεια ζωής της επένδυσης δεν είναι μόνο θέμα τεχνικό αλλά και οικονομικό. Έτσι σε πολλές επενδύσεις η οικονομική ή ωφέλιμη ζωή είναι πολύ μικρότερη από την ενδεχόμενη τεχνική ζωή της επένδυσης.

4.1.2 Αρχική Δαπάνη της Επένδυσης

Η αρχική δαπάνη είναι τα χρήματα που ξοδεύονται μέχρι η επένδυση ή το περιουσιακό στοιχείο να είναι έτοιμο για να χρησιμοποιηθεί από την επιχείρηση. Η δαπάνη αυτή περιλαμβάνει:

- το κόστος εγκατάστασης

- άλλες εκροές χρηματικών μέσων απαραίτητες μετά την απόκτηση της μονάδας, των Α/Γ και των φ/β, οι οποίες δεν αποτελούν ούτε κόστος ούτε έξοδο. Πρόκειται κυρίως για την αύξηση των αναγκών σε κεφάλαιο κίνησης
- εκροές μετά την απόκτηση, οι οποίες χαρακτηρίζονται σαν έξοδα

Η αρχική δαπάνη στο συγκεκριμένο επενδυτικό πρόγραμμα περιλαμβάνει τέσσερις ομάδες κόστους: το κόστος της μονάδας αφαλάτωσης, το κόστος των Α/Γ, το κόστος των φ/β και το κόστος ανάπτυξης βοηθητικών εγκαταστάσεων. Επομένως στην αρχική δαπάνη περιλαμβάνονται τα παρακάτω:

4.1.2.1 Μονάδα Αφαλάτωσης

Περιλαμβάνει την αγορά της μονάδας αφαλάτωσης, η οποία αποτελείται από τα εξής επιμέρους τμήματα:

Αντληση του νερού από τον ποταμό. Πρέπει να κατασκευαστεί έργο υδροληψίας από τον ποταμό, ώστε να εξασφαλίζεται η παροχή του εργοστασίου αφαλάτωσης, με σταθερές συνθήκες ροής υδάτινων ποσοτήτων. Η δυναμικότητα των αντλιών θα είναι περίπου 500-600m³/h, ώστε να εξασφαλίζεται η παραγωγή 5000 m³/day.

Προχλωριωτής. Αποτελείται από αποθηκευτικό δοχείο διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου με δοσομετρική αντλία ικανής παροχής. Η έγχυση του διαλύματος θα γίνεται στον αγωγό τροφοδοσίας δια μέσου των φίτρων άμμου.

Φίλτρα άμμου. Η φίλτρωση των αιωρούμενων στερεών επιτυγχάνεται με συστοιχία φίτρων (προφίλτρα – τύπου χαλικοδυλιστηρίου και φίλτρα ασφαλείας συγκράτησης στερεών μικρής διαμέτρου) για τη συγκράτηση στερεών άμμου κλπ των οποίων η λειτουργία θα είναι κυκλική για να υπάρχει αρκετός χρόνος για τον καθαρισμό τους, ο οποίος θα γίνεται μέσω της αντλίας πλύσης. Επίσης τα φίλτρα θα φέρουν σύστημα αυτόματης έκπλυσης τους, με νερό και αέρα ελεγχόμενα με αυτοματισμούς και αισθητήρια όργανα.

Φίλτρα ενεργού άνθρακα. Τα φίλτρα ενεργού άνθρακα προορίζονται για την απομάκρυνση του υπολειμματικού χλωρίου από το νερό τροφοδοσίας της μονάδας RO, αλλά και από την απομάκρυνση οσμών από το νερό άντλησης.

Δοσομετρητής θεικού οξέως. Αποτελείται από αποθηκευτικό δοχείο διαλύματος θεικού οξέως με δοσομετρική αντλία για τη ρύθμιση του pH του νερού τροφοδοσίας της μονάδας RO και την αποφυγή επικαθίσεων ανθρακικού ασβεστίου. Η έγχυση του διαλύματος γίνεται στην είσοδο της μονάδας RO.

Δοσομετρητής Αντικαθαλωτικού Διαλύματος. Αποτελείται από αποθηκευτικό δοχείο αντικαθαλωτικού διαλύματος με δοσομετρική αντλία για την αποφυγή επικαθίσεων αλάτων στη μονάδα RO. Η έγχυση του διαλύματος γίνεται στην είσοδο της μονάδας RO.

Φίλτρα ασφάλειας. Τα φίλτρα ασφάλειας τύπου φυσιγγίου χρησιμοποιούνται για τη συγκράτηση των αιωρούμενων σωματιδίων. Τοποθετούνται πριν την απορρόφηση της αντλίας υψηλής πίεσης της μονάδας RO. Τα φίλτρα φέρουν σύστημα αντίστροφης έκπλυσης για τον αυτόματο καθαρισμό τους από αισθητήρια που είναι ενσωματωμένα σε αυτά.

Όργανα ελέγχου-ανάλυσης εισερχόμενου νερού στην μονάδα RO. Ο έλεγχος της ορθής δοσομέτρησης των προαναφερθέντων διαλυμάτων επιτυγχάνεται με τα ακόλουθα όργανα:

- αγωγιμόμετρο για τον έλεγχο της αλμυρότητας του νερού

- αναλυτής Redox για τον έλεγχο της απομάκρυνσης του υπολειμματικού χλωρίου
- pH-μετρο για τον έλεγχο της σωστής δοσομέτρησης οξέως

Μονάδα αντίστροφης όσμωσης.

● *Αντλία υψηλής πίεσης.* Η αντλία προτείνεται να είναι οριζόντια, φυγοκεντρική, πολυβάθμια με πίεση κατάθλιψης 25-30 bar.

● *Μεμβράνες.* Το υλικό των μεμβρανών είναι σύμφωνο με τη σύγχρονη τεχνολογία των υλικών (π.χ. οξική κυτταρίνη, πολυαμίδιο κ.α.). Οι σχεδιασμός των μονάδων μπορεί να γίνει με παράλληλες συστοιχίες μεμβρανών, ώστε να εξασφαλίζεται η ευελιξία του συστήματος, σύμφωνα με τις εποχιακές διακυμάνσεις απαίτησης καθαρού νερού.

● *Υδραυλικά εξαρτήματα.* Τα υδραυλικά εξαρτήματα συνδέσεως της γραμμής υψηλής πίεσης θα πρέπει να είναι από AISI 316, τα δε εξαρτήματα της γραμμής χαμηλής πίεσης από PVC.

● *Όργανα ελέγχου λειτουργίας.* Η μονάδα RO πρέπει να είναι εξοπλισμένη με τα απαραίτητα όργανα ελέγχου λειτουργίας όπως μανόμετρα, πρεσοστάτες, ροόμετρα και αγωγιμόμετρα.

Απαεριστής. Λόγω της ύπαρξης διοξειδίου του άνθρακα, εξαιτίας της δοσομέτρησης των ρυθμιστικών διαλυμάτων, απαιτείται η απαερίωση του παραγόμενου νερού.

Τελική επεξεργασία

● *Χλωρίωση για την απολύμανση.* Αποτελείται από αποθηκευτικό δοχείο διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου με δοσομετρική αντλία ικανής παροχής. Η έγχυση του διαλύματος γίνεται στη δεξαμενή αποθήκευσης του διαλύματος.

● *Έλεγχος του pH.* Περιλαμβάνει δοσομετρικές αντλίες και δοχεία αποθήκευσης χημικών για την τελική ρύθμιση του pH πριν την είσοδο του στο δίκτυο ύδρευσης ή άρδευσης.

● *Έλεγχος και διόρθωση αγωγιμότητας.* Το νερό μετά τη διέλευση του στη μονάδα αντίστροφης όσμωσης έχει υψηλή αγωγιμότητα με μεγάλη διαβρωτική ικανότητα. Πριν τη διάθεση του στο δίκτυο απαιτείται διόρθωση του δείκτη Langelier, δείκτη μέτρησης αγωγιμότητας.

● *Έλεγχος σκληρότητας.* Μετά την επεξεργασία του έχει χαμηλή σκληρότητα και είναι ακατάλληλο για χρήση. Με φυσικές ή χημικές μεθόδους το νερό επανακτά στα αποδεκτά όρια πόσιμου νερού την απαιτούμενη σκληρότητα (πέραςμα από ημιπεφρυγμένο δολομίτη ή δοσομετρούμενες ποσότητες ανθρακικού ασβεστίου, θειικού οξέως και τελική προσθήκη υδρασβέστου).

Αντλητικό συγκρότημα ή δίκτυο μεταφοράς του επεξεργασμένου νερού στο δίκτυο ύδρευσης ή άρδευσης. Απαιτείται η εγκατάσταση κατάλληλου αντλητικού συγκροτήματος, για τη διοχέτευση του πόσιμου νερού στο δίκτυο ύδρευσης ή άρδευσης.

Σύστημα πλύσης / χημικού καθαρισμού μεμβρανών RO. Απαιτείται η εγκατάσταση κατάλληλου συστήματος για την πλύση των μεμβρανών, το οποίο θα αποτελείται από πολυεστερικό δοχείο με αναδευτήρα για την προετοιμασία του διαλύματος πλύσης, οριζόντια φυγοκεντρική αντλία AISI 316, φίλτρα ασφάλειας, υδραυλικά εξαρτήματα από PVC και θα φέρει αυτόνομο ηλεκτρικό πίνακα για τη λειτουργία του.

Συνοδευτικά ανταλλακτικά. Το συγκρότημα RO συνοδεύεται απ' όλα τα απαραίτητα ανταλλακτικά που απαιτούνται για τη συντήρηση του βάσης του προγράμματος συντήρησης του κατασκευαστή για τα πέντε πρώτα έτη. Επιπλέον αυτών απαιτούνται και τα ακόλουθα εφεδρικά μηχανήματα:

- μία αντλία υψηλής πίεσης
- δύο δοσομετρικές αντλίες υποχλωριώδους νατρίου
- μία δοσομετρική αντλία θειικού οξέως

- μία δοσομετρική αντλία αντικαθαλωτικού διαλύματος
- ένα πλήρες σετ μεμβρανών
- εφεδρικές αντλίες για τα χημικά πρόσθετα όπου αυτά απαιτούνται

4.1.2.2 Ανεμογεννήτριες

Το αρχικό κόστος για τις ανεμογεννήτριες περιλαμβάνει:

Αγορά των ανεμογεννητριών.

- Κόστος ατράκτου
- κόστος συστήματος ελέγχου
- κόστος πτερύγωσης
- κόστος πυλώνων

Κόστος ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων.

- Μετασχηματιστής. Σε κάθε Α/Γ τοποθετείται και ένας μετασχηματιστής.
- Γειώσεις. Σε κάθε Α/Γ απαιτείται ξεχωριστή γείωση.

Στο σενάριο πώλησης πλεονάσματος ηλεκτρικής ενέργειας στη ΔΕΗ απαιτείται, επιπλέον, γραμμή μεταφοράς για τη σύνδεση με το δίκτυο της ΔΕΗ.

Κόστος μεταφοράς. Στο κόστος μεταφοράς περιλαμβάνονται τα έξοδα μεταφοράς από τη χώρα κατασκευής της Α/Γ έως τον τόπο εγκατάστασης.

Κόστος εγκατάστασης. Στο κόστος εγκατάστασης περιλαμβάνονται:

- τα έξοδα για την εκσκαφή των βάσεων, επιφάνειας 1,20 m² και βάθους 4 m, για τη θεμελίωση των Α/Γ.
- τα έξοδα κατασκευής των βάσεων για τη θεμελίωση των Α/Γ από οπλισμένο σκυρόδεμα
- τα έξοδα των εργασιών συναρμολόγησης

Κόστος οργάνων μέτρησης του ανέμου. Στο αιολικό πάρκο τοποθετείται τουλάχιστον ένα όργανο μέτρησης του ανέμου.

4.1.2.3 Φωτοβολταϊκά

Στην αρχική δαπάνη των φωτοβολταϊκών περιλαμβάνεται εκτός από κόστος αγοράς των φ/β στοιχείων και τα εξής:

Ρυθμιστής συνεχούς τάσης. Η συσκευή αυτή ρυθμίζει τη ροή του ρεύματος προς τις μπαταρίες αποθήκευσης και διατηρεί την κανονική κατάσταση φόρτισης των μπαταριών.

Μπαταρία. Η μπαταρία είναι απαραίτητη σε ένα φ/β σύστημα για να αποθηκεύει την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται στα φ/β πλαίσια και να τη δίνει στον καταναλωτή κατά τα χρονικά διαστήματα που δεν υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία.

Μετατροπέας συνεχούς-εναλλασσόμενου. Η συσκευή αυτή είναι απαραίτητη για τη μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο για να μπορεί να απορροφηθεί το ρεύμα που παράγουν τα φ/β από τη μονάδα αφαλάτωσης.

4.1.2.4 Βοηθητικές Εγκαταστάσεις

Οι βοηθητικές εγκαταστάσεις της μονάδας αφαλάτωσης με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούνται από τα εξής:

Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις. Το κόστος για ηλεκτρικές εγκαταστάσεις αποτελείται από τα εργατικά και τα υλικά για παροχή ενέργειας και φωτισμό, από εγκαταστάσεις για φωτισμό των κτιρίων κλπ. Οι ηλεκτρικές εγκαταστάσεις περιλαμβάνουν τέσσερα κυρίως τμήματα: καλωδιώσεις μεταφοράς ισχύος, φωτισμό, μετασχηματιστές και καλωδιώσεις οργάνων και συσκευών ελέγχου.

Κτίρια και χώροι εξυπηρέτησης. Το κόστος αυτό περιλαμβάνει εργατικά, υλικά και άλλα εφόδια που απαιτούνται για την ανέγερση όλων των κτιριακών κατασκευών που συνδέονται με το εργοστάσιο. Περιλαμβάνονται έξοδα για υδραυλικά, θέρμανση φωτισμό, εξαερισμό κ.α.

Εγκαταστάσεις εξυπηρέτησεως. Εγκαταστάσεις για παροχή ατμού, νερού, ηλεκτρισμού και συμπιεσμένου αέρα είναι μέρος των εγκαταστάσεων εξυπηρέτησης μίας βιομηχανικής μονάδας. Η διάθεση των αποβλήτων, η προστασία από πυρκαγιές και διάφορα άλλα θέματα εξυπηρέτησεως τέτοια όπως καφετέρια, πρώτες βοήθειες κ.α. απαιτούν κεφάλαια επενδύσεως που περιλαμβάνονται υπό την ονομασία «κόστος εγκαταστάσεων εξυπηρέτησεως».

Η γη. Το κόστος της γης και των συνακόλουθων εξόδων για νομικές και γεωτεχνικές έρευνες και διάφορες άλλες αμοιβές εξαρτάται από την τοποθεσία όπου βρίσκεται το οικόπεδο και ποικίλλει ανάλογα με το αν είναι σε αγροτική ή βιομηχανική περιοχή.

Μηχανολογικά σχέδια και επίβλεψη. Τα έξοδα για τα σχέδια των κατασκευών και για τα μηχανολογικά, προμήθειες, λογιστικά, ταξίδια, αναπαραγωγή σχεδίων, επικοινωνίες και ενοίκια γραφείων πριν από την έναρξη λειτουργίας της μονάδας αποτελούν το κόστος των μηχανολογικών σχεδίων και της επιβλέψεως.

Έξοδα κατασκευής. Άλλα έξοδα που περιλαμβάνονται στα έμμεσα έξοδα της επένδυσης είναι το κόστος που περιλαμβάνεται στις προσωρινές κατασκευές και τη λειτουργία, κατασκευαστικά εργαλεία και ενοικιάσεις, αμοιβές προσωπικού γραφείων και λοιπό προσωπικό που είναι εγκατεστημένο στο εργοτάξιο, ταξίδια και έξοδα κινήσεως, ασφάλιστρα και άλλα κατασκευών πριν από τη λειτουργία της μονάδας.

Αμοιβή κατασκευαστή. Η αμοιβή του κατασκευαστή ποικίλλει ανάλογα με την τοποθεσία εγκαταστάσεως της μονάδας.

Απρόβλεπτα έξοδα. Συνήθως στην εκτίμηση του κεφαλαίου επενδύσεως περιλαμβάνεται και ένα ποσό απρόβλεπτων εξόδων προκειμένου να καλύψει μη προβλεπόμενα γεγονότα τέτοια όπως καταιγίδες, πλημμύρες, απεργίες, μεταβολές τιμών, μικρές αλλαγές στα σχέδια, σφάλματα εκτιμήσεων και άλλα απρόβλεπτα έξοδα που προηγούμενες εκτιμήσεις έχουν αποδείξει ότι, στατιστικά, εμφανίζονται.

Έξοδα εκκινήσεως. Αφού συμπληρωθεί η κατασκευή της μονάδας υπάρχουν πολύ συχνά αλλαγές που πρέπει να γίνουν πριν η μονάδα μπορέσει να λειτουργήσει στο μέγιστο των συνθηκών για τις οποίες σχεδιάστηκε. Οι αλλαγές αυτές περιλαμβάνουν δαπάνες για υλικά και μηχανήματα και θεωρούνται απώλειες εισοδήματος καθώς η μονάδα λειτουργεί μερικώς ή ακινητοποιείται πλήρως.

4.1.3 Λειτουργικά Έξοδα

Είναι τα έξοδα λειτουργίας της μονάδας αφαλάτωσης, των ανεμογεννητριών και των φωτοβολταϊκών.

4.1.3.1 Λειτουργικά Έξοδα Μονάδας Αφαλάτωσης

Τα λειτουργικά έξοδα της μονάδας αφαλάτωσης περιλαμβάνουν τα εξής:

- την κατανάλωση χημικών αντιδραστηρίων τα οποία είναι FeCl_3 , Na_2SO_3 , H_2SO_4 , χημικά σκλήρυνσης αφαλατωμένου νερού $\text{Ca}(\text{OH})_2$, ανθρακικό ασβέστιο χημικά συντήρησης μεμβρανών διττανθρακική αμμωνία, τανικό οξύ, υλικά πλήρωσης του φίλτρου διήθησης, διατομική γη.
- την αντικατάσταση του ενεργού άνθρακα
- την αντικατάσταση των φίλτρων τύπου φυσιγγίου
- την αλλαγή των μεμβρανών αντίστροφης ώσμωσης σύμφωνα με το ρυθμό αντικατάστασης τους από τις κατασκευάστριες εταιρείες
- το κόστος του προσωπικού για τη λειτουργία της εγκατάστασης
- τα έξοδα ασφάλισης

4.1.3.2 Λειτουργικά Έξοδα Ανεμογεννητριών

Τα λειτουργικά έξοδα των ανεμογεννητριών αποτελούνται από τα:

- κόστος συντήρησης
- έξοδα ασφάλισης
- δαπάνες μισθοδοσίας

4.1.3.3 Λειτουργικά Έξοδα Φωτοβολταϊκών

Τα λειτουργικά έξοδα των φωτοβολταϊκών αποτελούνται από τα:

- κόστος συντήρησης
- έξοδα ασφάλισης
- δαπάνες μισθοδοσίας

4.1.4 Αποσβέσεις

Απόσβεση είναι η βαθμιαία μείωση της αξία των πάγιων περιουσιακών στοιχείων λόγω λειτουργική φθοράς, οικονομικής απαξίωσης ή και απλής παρόδου του χρόνου. Με την απόσβεση κατανέμεται το κόστος του πάγιου περιουσιακού στοιχείου σε όλα τα χρόνια της ωφέλιμης ζωής του. Η απόσβεση είναι ένα έξοδο που δεν συνεπάγεται την πληρωμή μετρητών.

Το κόστος του περιουσιακού στοιχείου που θα αποσβεστεί αποτελείται από το κόστος αγοράς του συν τα διάφορα έξοδα μεταφοράς και εγκατάστασης του κλπ., που αποτελούν την αρχική δαπάνη, μείον τις ταμειακές εκπτώσεις.

Οι μέθοδοι απόσβεσης είναι πάρα πολλές και σαφώς εξαρτώνται από τη στρατηγική της επιχείρησης. Οι πιο συνήθεις όμως είναι:

Η σταθερή μέθοδος

Σ' αυτή τη μέθοδο ο συντελεστής ή το ποσοστό απόσβεσης είναι σταθερό και κατανέμεται το ίδιο σε όλα τα χρόνια της ωφέλιμης ζωής του πάγιου περιουσιακού στοιχείου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η επιβάρυνση της απόσβεσης να είναι ίδια σε όλη τη διάρκεια ζωής του περιουσιακού στοιχείου.

Η μέθοδος της επιταχυνόμενης απόσβεσης

Αυτή η μέθοδος στηρίζεται στην αρχή ότι θα πρέπει να υπολογίζουμε μεγαλύτερο ποσοστό απόσβεσης στα πρώτα χρόνια της ζωής της επένδυσης, είτε γιατί η φθορά είναι μεγαλύτερη είτε γιατί τα έξοδα συντήρησης θα είναι αυξημένα αργότερα. Διακρίνονται δύο παραλλαγές της μεθόδου αυτής:

● *Μέθοδος της διπλάσιας μείωσης της αναπόσβεστης λογιστικής αξίας.* Στη μέθοδο αυτή ο συντελεστής απόσβεσης είναι διπλάσιος από εκείνον της σταθερής μεθόδου και χρησιμοποιείται σταθερά ο ίδιος επί της αναπόσβεστης λογιστικής αξίας, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η υπολειμματική αξία. Επειδή όμως με τη μέθοδο αυτή δεν είναι δυνατό να αποσβεστεί πλήρως η αξία του περιουσιακού στοιχείου, τα τελευταία χρόνια, όταν η ετήσια απόσβεση είναι μικρή και για να μην παρουσιαστεί όλη η διαφορά στον τελευταίο χρόνο, μεταπηδούμε στη σταθερή μέθοδο για την υπόλοιπη αναπόσβεστη λογιστική αξία ή ισοκατανέμεται στα ποσά όλων των χρόνων.

● *Μέθοδος του αθροίσματος της σειράς των ετών ζωής.* Σ' αυτή την περίπτωση, η απόσβεση του πρώτου έτους βρίσκεται αν πολλαπλασιάσουμε το αποσβεστέο ποσό (αρχικό κόστος μείον την υπολειμματική αξία) με ένα κλάσμα, στο οποίο ο αριθμητής είναι ο αύξων αριθμός του τελευταίου έτους και ο παρονομαστής το σύνολο των ετών ζωής της επένδυσης.

Στο μοντέλο αξιολόγησης της συγκεκριμένης εργασίας χρησιμοποιείται η σταθερή μέθοδος απόσβεσης.

4.1.5 Καθαρές Ταμειακές Ροές

Οποιαδήποτε μέθοδο και αν χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση μίας πρότασης επένδυσης, θα πρέπει να εξεταστεί το κόστος και τα έσοδα ή κέρδη κάθε επένδυσης. Όλες οι μέθοδοι ανάλυσης των επενδύσεων βασίζονται στη ροή μετρητών που είναι αποτέλεσμα κάθε επένδυσης. Μία επένδυση θα γίνει αποδεκτή μόνο αν η ροή μετρητών εκπληρώνει ορισμένα κριτήρια. Για να γίνει μία επένδυση πληρώνονται μετρητά, τα οποία αναμένεται να εισπραχθούν κατά τη διάρκεια της ωφέλιμης ζωής της.

Η χρονική κατανομή της είσπραξης των μετρητών έχει μεγάλη σημασία για την αξία της απόδοσης μίας επένδυσης. Αν η είσπραξη των μετρητών γίνει πολύ νωρίς και αμέσως μετά την εγκατάσταση της επένδυσης, αυτό θα συντελέσει στο να αυξηθεί η αξία της. Αν γίνει αργότερα, προς το τέλος της ζωής της, αυτό θα έχει ως συνέπεια την ελάττωση κατά πολύ της αξίας της σήμερα. Εκείνο που δίνει ιδιαίτερη σημασία στη χρονική κατανομή των εισπράξεων δεν είναι μόνο ο πληθωρισμός, που μεταβάλλει την αξία του χρήματος αλλά και η ίδια η αξία του χρήματος χρονικά, έστω και αν ο πληθωρισμός σε δεδομένη περίοδο είναι μηδέν. Η ροή των μετρητών για ορισμένη περίοδο εκφράζεται με το σχετικό κόστος και την ωφέλεια που προέρχεται από το συγκεκριμένο περιουσιακό στοιχείο αυτής της περιόδου [21].

Καθαρή ροή μετρητών για ένα έργο = Εισροή μετρητών – εκροή μετρητών
 = έσοδα του έργου – έξοδα άλλα εκτός αποσβέσεων –
 – κεφαλαιουχικός εξοπλισμός – φόροι εισοδήματος.

όπου: Έσοδα του έργου είναι οι ακαθάριστες ταμειακές ροές από την πώληση του παραγόμενου νερού.

Έξοδα άλλα, εκτός αποσβέσεων είναι τα λειτουργικά έξοδα του έργου (μισθοί, έξοδα συντήρησης και ασφάλισης).

Οι αποσβέσεις, αποτελούν ένα λογιστικό έξοδο που δεν συνεπάγεται την πληρωμή μετρητών αλλά επηρεάζει όμως τη ροή μετρητών μόνο μέσω της επίδρασης επί των φόρων. Οι αποσβέσεις κατανέμουν το κόστος της επένδυσης σε όλη τη διάρκεια της ωφέλιμης ζωής της. Από την άποψη όμως της ροής των μετρητών, η δαπάνη του κεφαλαίου αποτελεί εκροή μετρητών όταν γίνεται η επένδυση και όχι όταν αυτή χρησιμοποιείται.

Φόροι εισοδήματος δεν υφίστανται, αφού πρόκειται για δημόσιο έργο και κατά συνέπεια δεν φορολογείται.

Σ' αυτή την εργασία, έχει θεωρηθεί ότι η υπολειμματική αξία της επένδυσης καθώς και η αξία εκποίησης της είναι ίσες με μηδέν.

4.2 Κριτήρια Αξιολόγησης Επενδύσεων

Η επένδυση αξιολογείται μετά την εκτίμηση των μεταβλητών της, συγκρίνοντας την ακολουθία των αναμενόμενων καθαρών ταμειακών ροών με την αρχική δαπάνη. Μία τέτοια εκτίμηση μπορεί να παρουσιαστεί σαν μία διαδικασία ταξινόμησης στην περίπτωση που υπάρχουν πολλά ανταγωνιστικά επενδυτικά έργα.

Τα κριτήρια διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τα κριτήρια που δεν λαμβάνουν υπόψη τους τη διαχρονική αξία του χρήματος. Λέγονται ακόμα και «αγαθές τεχνικές επιλογής», ή εμπειρικά κριτήρια. Πρόκειται για τα κριτήρια [21]:

- Κριτήριο περιόδου επανείσπραξης (Payback Period)
- Μέσος Βαθμός Απόδοσης (Accounting Rate of Return)

Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τα κριτήρια που λαμβάνουν υπόψη τους τη διαχρονική αξία του χρήματος. Λέγονται ακόμα «πολύπλοκες τεχνικές επιλογής». Πρόκειται για τα κριτήρια:

- Κριτήριο Καθαρής Παρούσας Αξίας (Net Present Value)
- Δείκτης Αποδοτικότητας (Index of Profitability)
- Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης (Internal Rate of Return)

4.2.1 Κριτήριο Περιόδου Επανείσπραξης

Η περίοδος επανείσπραξης ορίζεται ως ο αριθμός των ετών που απαιτούνται για να επανακτηθεί η αρχική επένδυση. Στην περίπτωση που μία επένδυση απαιτεί μία αρχική εκροή μετρητών, η οποία έχει σαν αποτέλεσμα μία ομοιόμορφη εισροή μετρητών (καθαρών ταμειακών ροών) στα επόμενα χρόνια, τότε η περίοδος επανείσπραξης θα ορίζεται σαν ο λόγος της αρχικής δαπάνης της επένδυσης, προς την ετήσια καθαρή είσπραξη μετρητών.

Όταν όμως ποικίλλει η ροή των μετρητών, μετά την αρχική εκροή μετρητών τότε θα πρέπει να αφαιρείται από το ποσό της επένδυσης κάθε ετήσια εισροή μετρητών μέχρι να επιστραφεί

το συνολικό ποσό, κάνοντας και αντιπαραβολή στον τελευταίο χρόνο αν χρειαστεί. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι παρέχει χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με τον κίνδυνο και τη ρευστότητα της επένδυσης, γι' αυτό λέγεται και κριτήριο ρευστότητας. Έτσι, όσο βραχύτερη είναι η περίοδος επανείσπραξης τόσο μεγαλύτερη είναι η ρευστότητα της επιχείρησης και τόσο μικρότερος είναι ο κίνδυνος απώλειας ή ζημιών από την επένδυση. Γι' αυτό το λόγο το κριτήριο αυτό έχει μεγάλη βαρύτητα για επιχειρήσεις που αντιμετωπίζουν προβλήματα ρευστότητας.

Η κυριότερη αδυναμία αυτής της μεθόδου είναι ότι δε λαμβάνει υπόψη τι θα συμβεί όταν επιστραφεί το κεφάλαιο και υπερεκτιμά τις γρήγορες χρηματοοικονομικές επιστροφές. Επιπλέον, αυτή η μέθοδος δεν μετράει το επικερδές της προτεινόμενης επενδύσεως αλλά ασχολείται κυρίως με τη ρευστότητα της [21].

4.2.2 Κριτήριο Καθαρής Παρούσας Αξίας

Η έννοια της μεθόδου της Καθαρής Παρούσας Αξίας, ΚΠΑ, είναι απλή: συγκρίνεται η παρούσα αξία των προβλεπόμενων καθαρών ταμειακών ροών που δίνει ένα επενδυτικό έργο με την αρχική του δαπάνη και η σύγκριση πραγματοποιείται στο χρόνο μηδέν.

Ο μαθηματικός τύπος της ΚΠΑ είναι ο ακόλουθος:

$$\text{ΚΠΑ} = \sum_{t=1}^n C_t (1+k)^{-t} - I \quad \text{Εξ. 4.2.1}$$

όπου :

I	:	η αρχική δαπάνη του επενδυτικού έργου
C_t	:	η καθαρή ταμειακή της επένδυσης για τη χρονική περίοδο t
k	:	το επιτόκιο προεξόφλησης ή παρούσας αξίας
t	:	η χρονική περίοδος (= 1,2,...,n)

Ο όρος $(1+k)^{-t}$ ονομάζεται συντελεστής προεξόφλησης. Ο πολλαπλασιασμός αυτού του συντελεστή με την καθαρή ταμειακή ροή κάθε έτους t την ανάγει στην παρούσα αξία της. Το επιτόκιο προεξόφλησης, που χρησιμοποιείται για την αναγωγή, αποτελεί και το ελάχιστο ποσοστό απόδοσης του κεφαλαίου. Η επιλογή ενός τέτοιου επιτοκίου δίνει τη δυνατότητα ενιαίας αντιμετώπισης των ευκαιριών επένδυσης. Ως ένα κατώτατο όριο για το k μπορεί να ληφθεί το ισχύον επιτόκιο ασφαλών τοποθετήσεων, όπως είναι οι επενδύσεις σε ομόλογα. Μπορούν επίσης να ληφθούν επιτόκια ίσα με:

- το μέσο ρυθμό του πληθωρισμού
- το μέγιστο επιτόκιο που δίνεται από τις τράπεζες
- τα επιτόκια που λαμβάνονται για ανάλογες επενδύσεις
- ο ρυθμός απόδοσης κάποιας άλλης εναλλακτικής επένδυσης

Όταν το κριτήριο λαμβάνει θετικές τιμές, η επένδυση είναι συμφέρουσα, επειδή είναι ικανή στο χρόνο ζωής της να αποφέρει στον επενδυτή όφελος που υπερκαλύπτει το αρχικό κόστος της και αυξάνει την αξία της επιχείρησης. Επενδύσεις με ΚΠΑ αρνητική δεν πρέπει να γίνονται αποδεκτές.

Τα πλεονεκτήματα του κριτηρίου της ΚΠΑ, τόσο από πρακτικής όσο και θεωρητικής πλευράς συγκεντρώνονται στα ακόλουθα σημεία [21]:

- λαμβάνει υπόψη του τη χρονική αξία του χρήματος

- η χρησιμοποίηση ενός οριακού κόστους κεφαλαίου για την προεξόφληση των ταμειακών ροών, αναγνωρίζει τόσο το κόστος χρηματοδότησης της επιχείρησης όσο και την ελάχιστη απόδοση που απαιτούν οι μέτοχοι και οι εξωτερικοί επενδυτές
- η ΚΠΑ εκφράζεται σε χρηματικές μονάδες και κατά συνέπεια διευκολύνεται η σύγκριση της με τη δαπάνη των επενδυτικών έργων
- η ΚΠΑ προσαρμόζεται εύκολα σε αποφάσεις επένδυσης υπό αβέβαιο μέλλον

Τα μειονεκτήματα είναι τα παρακάτω:

- το κριτήριο της ΚΠΑ προϋποθέτει ότι οι ενδιάμεσες ταμειακές ροές επανεπενδύονται με το οριακό κόστος κεφαλαίου της επιχείρησης· αυτή η παραδοχή δεν αληθεύει πάντοτε
- η προϋπόθεση ότι το οριακό κόστος κεφαλαίου της επιχείρησης παραμένει σταθερό σε όλη τη διάρκεια της ζωής του επενδυτικού έργου δημιουργεί προβλήματα στον ακριβή υπολογισμό της ΚΠΑ (στην περίπτωση που το οριακό κόστος μειωθεί, η ΚΠΑ υποεκτιμάτε και στην περίπτωση που το οριακό κόστος αυξηθεί, η ΚΠΑ υπερεκτιμάται)
- στην περίπτωση που η ΚΠΑ είναι ίση με μηδέν, είναι πιθανόν να θεωρηθεί ότι το επενδυτικό έργο έχει μηδενική αποδοτικότητα
- επειδή εκφράζεται σε χρηματικές μονάδες, το κριτήριο της ΚΠΑ καθιστά δύσκολη τη σύγκριση επενδυτικών έργων με διαφορετικές αρχικές δαπάνες

4.2.3 Δείκτης Αποδοτικότητας

Ο δείκτης αποδοτικότητας συνδέεται άμεσα με την ΚΠΑ. Το κριτήριο της ΚΠΑ αφαιρεί την αρχική δαπάνη ενός επενδυτικού έργου από την παρούσα αξία των ταμειακών του ροών ώστε να φθάσει σε ένα απόλυτο χρηματικό αριθμό αποδοτικότητας. Όμως, αν αντί για τη διαφορά μεταξύ της παρούσας αξίας των ταμειακών ροών και της αρχικής δαπάνης ενός επενδυτικού έργου υπολογισθεί ο λόγος τους, τότε σχηματίζεται ο δείκτης αποδοτικότητας:

$$\Delta A = \frac{\sum_{t=1}^n C_t (1+k)^{-t}}{I} \quad \text{Εξ. 4.2.2}$$

Από την Εξίσωση 4.2.1 προκύπτει:

$$\sum_{t=1}^n C_t (1+k)^{-t} = \text{ΚΠΑ} + I \quad \text{Εξ. 4.2.3}$$

Το άθροισμα της παρούσας αξίας των ταμειακών ροών στην εξίσωση 4.2.2 αντικαθίσταται από το άθροισμα ΚΠΑ+Ι. Οι νέες σχέσεις για το δείκτη αποδοτικότητας είναι τώρα οι ακόλουθες

$$\Delta A = \frac{\text{ΚΠΑ} + I}{I} \quad \text{ή} \quad \Delta A = \frac{\text{ΚΠΑ}}{I} + 1 \quad \text{Εξ. 4.2.4}$$

Ο λόγος $\frac{\text{ΚΠΑ}}{I}$ καλείται σχετικός δείκτης εμπλουτισμού. Ο δείκτης αποδοτικότητας εξηγείται εύκολα σε σχέση με την ΚΠΑ. Μπορεί να είναι ίσος, μικρότερος ή μεγαλύτερος από 1:

- ίσος με 1, σημαίνει ότι $KPA=0$
- μικρότερος από 1, σημαίνει ότι KPA είναι αρνητική
- μεγαλύτερος από 1, σημαίνει ότι KPA είναι θετική

Γίνονται αποδεκτά τα επενδυτικά έργα που έχουν δείκτη αποδοτικότητας μεγαλύτερο του 1. Μεταξύ δύο επενδυτικών έργων, επιλέγεται εκείνο που έχει τον πιο μεγάλο θετικό δείκτη. Σε ότι αφορά την ταξινόμηση των επενδυτικών έργων, είναι σπουδαίο να υπογραμμισθεί ότι ο δείκτης αποδοτικότητας δεν δίνει απαραίτητα την ίδια ταξινόμηση που δίνει η KPA .

Ο δείκτης αποδοτικότητας έχει σχεδόν τα ίδια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα με αυτά της KPA . Οι κυριότερες διαφορές συγκεντρώνονται στα ακόλουθα σημεία:

- ο δείκτης αποδοτικότητας εκφράζει την ικανότητα απόδοσης ενός επενδυτικού έργου σε σχέση με την κάθε επενδύσιμη δραχμή
- ο δείκτης αποδοτικότητας δεν εκφράζει το απόλυτο μέγεθος της αναμενόμενης απόδοσης του επενδυτικού έργου

4.2.4 Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης

Είναι οι πιο γενική και ευρύτερα χρησιμοποιούμενη μέθοδος συντελεστή αποδόσεως για οικονομικές αναλύσεις επενδυτικών σχεδίων. Ο υπολογισμός του εσωτερικού συντελεστή απόδοσης για ένα απλό επενδυτικό πρόγραμμα απαιτεί την εύρεση του επιτοκίου στο οποίο η παρούσα αξία των ταμειακών εισροών ισούται με την παρούσα αξία των ταμειακών εκροών.

$$C_1(1+k_o)^{-1} + C_2(1+k_o)^{-2} + C_3(1+k_o)^{-3} + \dots + C_n(1+k_o)^{-n} = I \quad \text{Εξ. 4.2.5}$$

Είναι λοιπόν το επιτόκιο προεξόφλησης που μηδενίζει την KPA του επενδυτικού έργου.

Η KPA ενός επενδυτικού έργου είναι συνάρτηση του επιτοκίου προεξόφλησης: $KPA=f(k)$. Στην περίπτωση που όλες οι ταμειακές ροές είναι θετικές, η συνάρτηση αυτή είναι συνεχής, μονότονη, φθίνουσα: όταν $k=0$, η KPA ισούται με το άθροισμα όλων των ταμειακών ροών· όταν k τείνει προς το άπειρο, η KPA τείνει προς την αρχική δαπάνη του έργου.

Η σημασία του εσωτερικού συντελεστή απόδοσης, όταν πρόκειται να ληφθεί μία απόφαση επένδυσης είναι απλή [21]:

- όταν ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης k_o είναι μεγαλύτερος από το επιλεγόμενο επιτόκιο προεξόφλησης k του επενδυτή, η KPA του επενδυτικού έργου είναι θετική και το έργο γίνεται αποδεκτό
- όταν αντίθετα ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης k_o είναι μικρότερος από το επιλεγόμενο επιτόκιο προεξόφλησης k του επενδυτή, η KPA είναι αρνητική και το έργο απορρίπτεται

Πριν την παρουσίαση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων του εσωτερικού συντελεστή απόδοσης, είναι χρήσιμο να αναφερθούν μερικοί περιορισμοί ως προς τη χρησιμοποίηση αυτού του κριτηρίου. Οι περιορισμοί αυτοί είναι:

- η ανάγκη ύπαρξης ενός κανόνος. Ο υπολογισμός εσωτερικού συντελεστή απόδοσης δεν αρκεί για να κριθεί η ποιότητα ενός επενδυτικού έργου. Επιπλέον οφείλει να συγκριθεί με ένα επιτόκιο που αποτελεί το κανόνα (επιτόκιο προεξόφλησης) και το οποίο χρησιμεύει στον υπολογισμό της KPA . Έτσι, αν ο υπολογισμός του εσωτερικού συντελεστή απόδοσης στηρίζεται σε εσωτερικά δεδομένα του επενδυτικού έργου, η σημασία του εξηγείται σε σχέση

με μία εξωτερική παράμετρο (το επιτόκιο προεξόφλησης). Η χρησιμοποίηση του εσωτερικού συντελεστή απόδοσης σαν κριτήριο αξιολόγησης βρίσκεται λοιπόν σε άμεση σχέση με το πρόβλημα επιλογής του επιτοκίου προεξόφλησης

• η ύπαρξη επενδυτικών έργων με πολλαπλούς εσωτερικούς συντελεστές απόδοσης. Όταν όλες οι ταμειακές ροές είναι θετικές, τότε υπολογίζεται ένας και μόνος εσωτερικός συντελεστής απόδοσης. Στην περίπτωση, όμως, που υπάρχουν και αρνητικές ταμειακές ροές, η επίλυση του πολυωνύμου βαθμού n θα δώσει περισσότερους από ένα εσωτερικούς συντελεστές απόδοσης

• η ύπαρξη πιθανών διαφορών με την ΚΠΑ σε ότι αφορά την ταξινόμηση των επενδυτικών έργων

Τα πλεονεκτήματα του εσωτερικού συντελεστή απόδοσης είναι τα ακόλουθα:

• εκφράζει, μαζί με τα κριτήρια ΚΠΑ και ΔΑ, την έννοια της διαχρονικής αξίας του χρήματος

• σε αντίθεση με τα κριτήρια ΚΠΑ και ΔΑ, ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης δεν προεξοφλεί τις ταμειακές ροές, αλλά αναζητεί τον πραγματικό δείκτη απόδοσης ενός συγκεκριμένου έργου. Ο δείκτης αυτός δύναται στη συνέχεια να συγκριθεί με το οριακό κόστος κεφαλαίου της επιχείρησης, ώστε να ληφθούν οι ανάλογες αποφάσεις αποδοχής ή απόρριψης του επενδυτικού έργου

• επειδή δεν εκφράζει άμεσα το κόστος χρηματοδότησης, ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης πλεονεκτεί έναντι της ΚΠΑ, όταν το κόστος κεφαλαίου αυξάνεται κατά περιόδους

• προσαρμόζεται εύκολα στην απόφαση επένδυσης υπό αβέβαιο μέλλον

Τα μειονεκτήματα του εσωτερικού συντελεστή, εκτός από τους περιορισμούς που ήδη παρουσιάστηκαν, είναι τα ακόλουθα:

• προϋποθέτει ότι ενδιάμεσες ταμειακές ροές επανεπενδύονται με το επιτόκιο k_0

• η μέθοδος της δοκιμής και απόκλισης που χρησιμοποιείται μαζί με τη γραμμική παρεμβολή είναι επίπονη και κοπιαστική

• ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης, σαν συγκριτικός δείκτης αποδοτικότητας, δεν εκφράζει το απόλυτο χρηματικό μέγεθος της επένδυσης. Στην περίπτωση αυτή ταυτίζεται με το δείκτη αποδοτικότητας

4.3 Έλεγχος Αξιοπιστίας και Αξιολόγησης

4.3.1 Οικονομική Ανάλυση με Αβεβαιότητα

Οι προβλέψεις της ζήτησεως, της παραγωγής και των πωλήσεων δεν μπορούν να είναι ακριβείς, λόγω της αβεβαιότητας περί το μέλλον. Ομοίως, υποθέσεις που αφορούν τις εκτιμήσεις του κόστους παραγωγής και επενδύσεως, τις τιμές και τη διάρκεια ζωής του προγράμματος, δεν μπορούν πάντοτε να είναι σωστές. Οποιαδήποτε μορφή τελικής προτάσεως για το πρόγραμμα και αν ληφθεί, ο μεγάλος αριθμός των στοιχείων της θα πρέπει να εξετάζεται λεπτομερώς με στόχο την αύξηση της ακρίβειας της προτάσεως. Οι αποφάσεις για μία επένδυση υπόκεινται σε πολλές πολιτικές και κοινωνικές επιδράσεις, καθώς και σε τεχνολογικές αλλαγές, αλλαγές τιμών και μεταβολές της παραγωγικότητας.

Όταν αποφασισθεί το επιθυμητό του προγράμματος, όλα αυτά τα στοιχεία πρέπει να ληφθούν υπόψη σε μία μορφή προβλεπτού κινδύνου, είτε μπορεί είτε δεν μπορεί να αντέξει. Αυτή είναι πιθανόν η πιο δύσκολη απόφαση που πρέπει να ληφθεί κατά τη διάρκεια προετοιμασίας του προγράμματος. Το μέγεθος της προσφοράς που γίνεται για αυτό το σκοπό θα έχει

αποφασιστική επίδραση στην απόδοση του προγράμματος και μπορεί, στην περίπτωση μίας επωφελούς πρότασης, να γείρει το ζυγό εναντίον της εκτελέσεως του προγράμματος.

Μία τεχνική αξιολογήσεως ενός επενδυτικού σχεδίου θα πρέπει να μπορεί να αντιμετωπίσει και να μετρήσει τον κίνδυνο, την αβεβαιότητα ή και την ευαισθησία.

Όταν εξετάζουμε μία επένδυση κάτω από συνθήκες αβεβαιότητας, ερευνώνται κυρίως τρεις μεταβλητές: έσοδα πωλήσεων, κόστος παραγωγής και κόστος επενδύσεως. Ένα πλήθος άλλων θεμάτων εισέρχονται σ' αυτές τις μεταβλητές και όλα αφορούν τις τιμές και τις ποσότητες. Η ομάδα σχεδιασμού του προγράμματος πρέπει να εντοπίσει τις μεταβλητές που θα μπορούσαν να έχουν αποφασιστική επίδραση στην απόδοση του προγράμματος και που να υπόκεινται σε ανάλυση αβεβαιότητας. Πρέπει πάντως να σημειωθεί ότι το πρόβλημα της αβεβαιότητας επιδεινώνεται λόγω παρατεταμένης φάσεως σχεδιασμού.

Οι πιο κοινοί λόγοι για αβεβαιότητα είναι ο πληθωρισμός, οι αλλαγές της τεχνολογίας, η λανθασμένη εκτίμηση της δυναμικότητας και η επιμήκυνση του χρόνου κατασκευής και του χρόνου έναρξης της κανονικής λειτουργίας.

Η ανάλυση αβεβαιότητας μπορεί να γίνει σε τρία βήματα: ανάλυση νεκρού σημείου, ανάλυση ευαισθησίας και ανάλυση πιθανοτήτων.

Κάθε επενδυτική πρόταση πρέπει να εξετάζεται, για το αν ή όχι χρειάζεται και τα τρία βήματα της αναλύσεως της αβεβαιότητας, πράγμα που απαιτεί πλήθος υπολογισμών. Μόνο αν υπάρξουν σοβαρές αντιρρήσεις για τη βιωσιμότητα ενός σημαντικού προγράμματος, είναι πραγματικά άξιο λόγου να γίνουν και τα τρία βήματα της αναλύσεως.

Στην παρούσα εργασία η ανάλυση αβεβαιότητας γίνεται κυρίως με την ανάλυση του νεκρού σημείου. Παρακάτω περιγράφεται αναλυτικά αυτή η τεχνική.

4.3.2 Ανάλυση «Νεκρού» Σημείου

Η ανάλυση του νεκρού σημείου (break-even analysis, BEP) καθορίζει το σημείο στο οποίο οι εισπράξεις από τις πωλήσεις είναι ίσες με το κόστος παραγωγής. Το νεκρό σημείο, επίσης, μπορεί να ορίζεται από τις παραγόμενες φυσικές μονάδες ή από το επίπεδο της χρησιμοποιούμενης δυναμικότητας στο οποίο οι πρόσοδοι των πωλήσεων και το κόστος παραγωγής ισούνται. Πριν υπολογιστεί το BEP γίνονται συνήθως οι παρακάτω υποθέσεις [22]:

- το κόστος παραγωγής είναι συνάρτηση του όγκου της παραγωγής ή των πωλήσεων
- ο όγκος της παραγωγής ισούται με τον όγκο των πωλήσεων
- τα σταθερά έξοδα λειτουργίας είναι ίδια σε κάθε όγκο παραγωγής
- το μεταβλητό κόστος ανά μονάδα ποικίλλει ανάλογα με τον όγκο παραγωγής και επομένως το συνολικό κόστος παραγωγής μεταβάλλεται ανάλογα με τον όγκο της
- η ανά μονάδα τιμή πώλησης του προϊόντος ή των προϊόντων είναι η ίδια για όλα τα επίπεδα παραγωγής διαχρονικά. Η αξία των πωλήσεων είναι επομένως γραμμική συνάρτηση της τιμής πωλήσεως και της πωλούμενης ποσότητας
- πρέπει να λαμβάνονται στοιχεία από κανονικό έτος λειτουργίας
- το επίπεδο της ανά μονάδα τιμής πωλήσεως, του μεταβλητού κόστους και του σταθερού λειτουργικού κόστους παραμένουν σταθερά
- αν παράγεται ένα απλό προϊόν ή παράγονται μερικά όμοια προϊόντα, το σύνολο τους πρέπει να μετατρέπεται στο απλό προϊόν
- το σύνολο των προϊόντων πρέπει να παραμένει το ίδιο στην περίοδο που εξετάζεται

Αυτές οι αρχές δεν θα υπάρχουν πάντοτε στην πράξη και τα αποτελέσματα της αναλύσεως του νεκρού σημείου μπορεί, και μόνο γι' αυτούς τους λόγους, να μην είναι αξιόπιστα. Επομένως, η ανάλυση του νεκρού σημείου πρέπει να θεωρείται συμπληρωματικό εργαλείο και να χρησιμοποιείται μαζί με άλλες μεθόδους εκτιμήσεως επενδυτικών προγραμμάτων.

4.3.2.1 Αλγεβρικός Καθορισμός του Νεκρού Σημείου

Όταν το νεκρό σημείο εκφράζεται σε παραγόμενες φυσικές μονάδες, οι βασικές υποθέσεις μπορούν να τίθενται στις παρακάτω σχέσεις (ετήσια στοιχεία):

$$\begin{aligned} \text{αξία πωλήσεων} &= \text{κόστος παραγωγής} \\ \text{αξία πωλήσεων} &= (\text{όγκος πωλήσεων}) * (\text{τιμή μονάδος}) \\ \text{κόστος παραγωγής} &= (\text{σταθερά έξοδα}) + (\text{μεταβλητά έξοδα ανά μονάδα}) * (\text{όγκο πωλήσεων}) \end{aligned}$$

Θέτοντας x για τον όγκο παραγωγής στο νεκρό σημείο, y για την αξία των πωλήσεων, σ για τα σταθερά έξοδα, τ για την τιμή πώλησης ανά μονάδα και μ για το μεταβλητό ανά μονάδα κόστος, υφίστανται οι παρακάτω αλγεβρικές εκφράσεις:

$$\begin{aligned} \text{συνάρτηση πωλήσεων} &: y = \tau * x \\ \text{συνάρτηση κόστους παραγωγής} &: y = \mu * x + \sigma \Rightarrow \\ &\tau * x = \mu * x + \sigma \Rightarrow \\ &\Rightarrow x = \frac{\sigma}{\tau - \mu} \end{aligned} \quad \text{Εξ. 4.3.1}$$

Σ' αυτές τις συναρτήσεις το νεκρό σημείο καθορίζεται από τη σχέση μεταξύ σταθερών εξόδων και της διαφοράς της τιμής πώλησης μείον το μεταβλητό ανά μονάδα κόστος.

Έτσι από την ανάλυση του νεκρού σημείου, μπορούν να εξαχθούν μερικά πρακτικά συμπεράσματα [22]:

- υψηλό νεκρό σημείο είναι ακατάλληλο αφού καθιστά μία επιχείρηση τρωτή σε μεταβολές του επιπέδου παραγωγής
- όσο υψηλότερα είναι τα σταθερά έξοδα τόσο υψηλότερο είναι το νεκρό σημείο
- όσο μεγαλύτερη η διαφορά μεταξύ τιμής πώλησεως ανά μονάδα και του μεταβλητού κόστους λειτουργίας τόσο χαμηλότερο το νεκρό σημείο. Σ' αυτή την περίπτωση τα σταθερά έξοδα απορροφώνται πολύ ταχύτερα από τη διαφορά μεταξύ τιμής πώλησης ανά μονάδα και του μεταβλητού κόστους ανά μονάδα.

Εκφράζοντας σε έσοδα πωλήσεων η συνάρτηση 4.3.1 γίνεται:

$$BEP = \tau \left(\frac{\sigma}{\tau - \mu} \right) \quad \text{Εξ. 4.3.2}$$

Η ανάλυση του νεκρού σημείου δίνει από μόνη της εύκολα την ανάλυση ευαισθησίας, ιδιαίτερα με την παραπάνω τροποποιημένη εξίσωση, η οποία χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί το ποσοστό της χρησιμοποίησης της δυναμικότητας στο νεκρό σημείο:

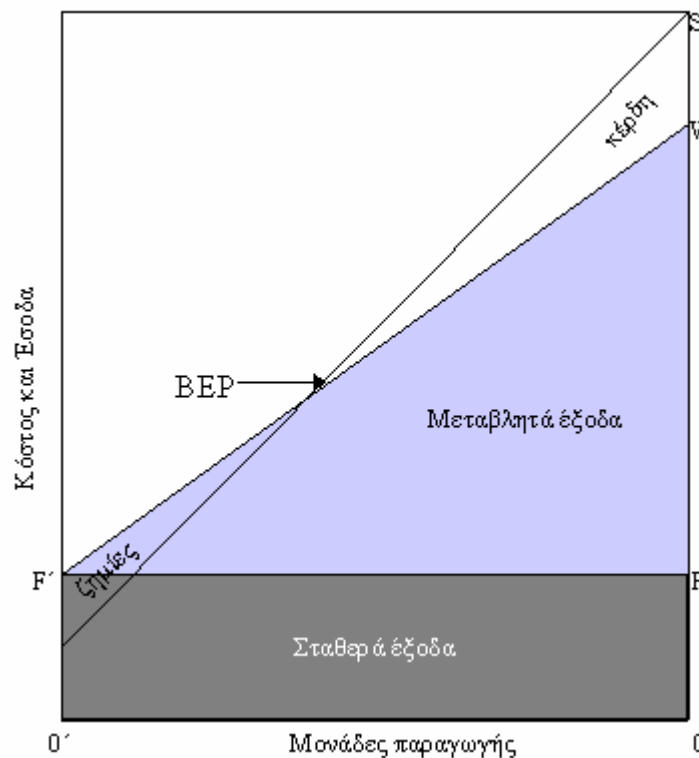
$$BEP = \frac{\sigma}{\varepsilon - \mu} \quad \text{Εξ. 4.3.3}$$

όπου : ε : τα έσοδα από πωλήσεις σε πλήρη δυναμικότητα

Μ' αυτό τον τρόπο, η ανάλυση νεκρού σημείου μπορεί να είναι χρήσιμη για τον προσδιορισμό της επιδράσεως των μεταβολών των τιμών μονάδας και στα σταθερά έξοδα και στο μεταβλητό κόστος παραγωγής επί του νεκρού σημείου του επενδυτικού προγράμματος. Η παραπάνω προσέγγιση έχει το πλεονέκτημα ότι καθιστά ικανό τον σχεδιαστή του προγράμματος να υπολογίζει διάφορα νεκρά σημεία, λαμβάνοντας υπόψη εναλλακτικές επενδυτικές προτάσεις διαφόρων εγκατεστημένων δυναμιכוτήτων ή εναλλακτικών τεχνολογικών διεργασιών. Μεταβολές στην εγκατεστημένη δυναμικότητα προξενούν μεταβολές στα σταθερά έξοδα. Μεταβολές στις τεχνολογικές διεργασίες, επίσης, ασκούν επίδραση στο μεταβλητό κόστος, αφού, για παράδειγμα, μία πιο εξελιγμένη τεχνολογικά διεργασία κανονικά οδηγεί σε χαμηλότερο ανά μονάδα μεταβλητό κόστος, ιδιαίτερα σε όσα αφορούν το εργατικό κόστος.

Στο διάγραμμα 4.3.1 παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ όγκου παραγωγής και σταθερών εξόδων, των μεταβλητών εξόδων και των εσόδων. Αυτή η απεικόνιση καλείται διάγραμμα νεκρού σημείου. Τα διαγράμματα αυτά είναι πολύ χρήσιμα στην απεικόνιση και τη κατανόηση των επιδράσεων των παρεκκλίσεων στα σταθερά και μεταβλητά έξοδα και στην αποδοτικότητα μίας επιχείρησης.

Στα διαγράμματα νεκρού σημείου τα σταθερά έξοδα, τα μεταβλητά έξοδα και τα έσοδα τίθενται έναντι της παραγωγής είτε σε μονάδες είτε σε ποσοστό % της δυναμικότητας. Έτσι, στο διάγραμμα, η γραμμή FF' αντιπροσωπεύει τα σταθερά έξοδα της παραγωγής. Η γραμμή F'V δείχνει την απόκλιση στα συνολικά μεταβλητά έξοδα σε σχέση με την παραγωγή· επειδή το σημείο ενάρξεως της είναι το F', στην πραγματικότητα αυτή αντιπροσωπεύει το άθροισμα όλων των εξόδων παραγωγής.



Σχήμα 4.3.1 Γραφική απεικόνιση του νεκρού σημείου

Τα μικτά έσοδα από τις πωλήσεις αντιπροσωπεύονται απ' τη γραμμή O'S. Επειδή F'V αντιπροσωπεύει το συνολικό κόστος παραγωγής και η O'S τα συνολικά έσοδα από πωλήσεις

η συνάντηση των δύο αυτών γραμμών είναι το σημείο στο οποίο τα έσοδα είναι ακριβώς ίσα με τα έξοδα και καλείται νεκρό σημείο. Με το ποσοστό παραγωγής σ' αυτό το σημείο η επιχείρηση ούτε θα κερδίζει ούτε θα ζημιώνει. Αν το ποσοστό παραγωγής είναι μεγαλύτερο από ότι αντιστοιχεί στο νεκρό σημείο η επιχείρηση θα πραγματοποιεί κάποιο κέρδος. Όταν το ποσοστό παραγωγής είναι μικρότερο από εκείνο που αναφέρεται στο νεκρό σημείο, παρουσιάζεται ζημιά για την επιχείρηση. Παριστάνοντας τα έσοδα και τα έξοδα μιας επιχείρησης μ' αυτό τον τρόπο, μπορούμε εύκολα να καθορίσουμε τη δυνατότητα κέρδους για κάθε ποσοστό παραγωγής. Επειδή τα διαγράμματα των νεκρών σημείων δείχνουν τη σχέση μεταξύ εσόδων και εξόδων για όλους τους δυνατούς όγκους δραστηριότητας, αποτελούν συνεχείς καταστάσεις εισοδήματος για την επιχείρηση.

Κεφάλαιο 5

Περιοχή Μελέτης

5. Περιοχή Μελέτης

5.1 Χαρακτηριστικά Περιοχής Μελέτης

Ο πληθυσμός του Αγ. Νικολάου, κατά την απογραφή του 1991, και πριν από τη δημιουργία του ομώνυμου δήμου σύμφωνα με το Ν.2539/97, ήταν 8.574 κάτοικοι. Η εξέλιξη του πληθυσμού στον Αγ. Νικόλαο παρουσιάζεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 5.1.1 Εξέλιξη του πληθυσμού

	Αγιος Νικόλαος
1951	3.321
1961	3.861
1971	5.170
1981	8.344
1991	8.574
2001	11.089

Παρατηρούμε ότι στον Αγ. Νικόλαο κατά τη διάρκεια των 40 τελευταίων ετών έχουμε συνεχείς αυξήσεις του πληθυσμού.

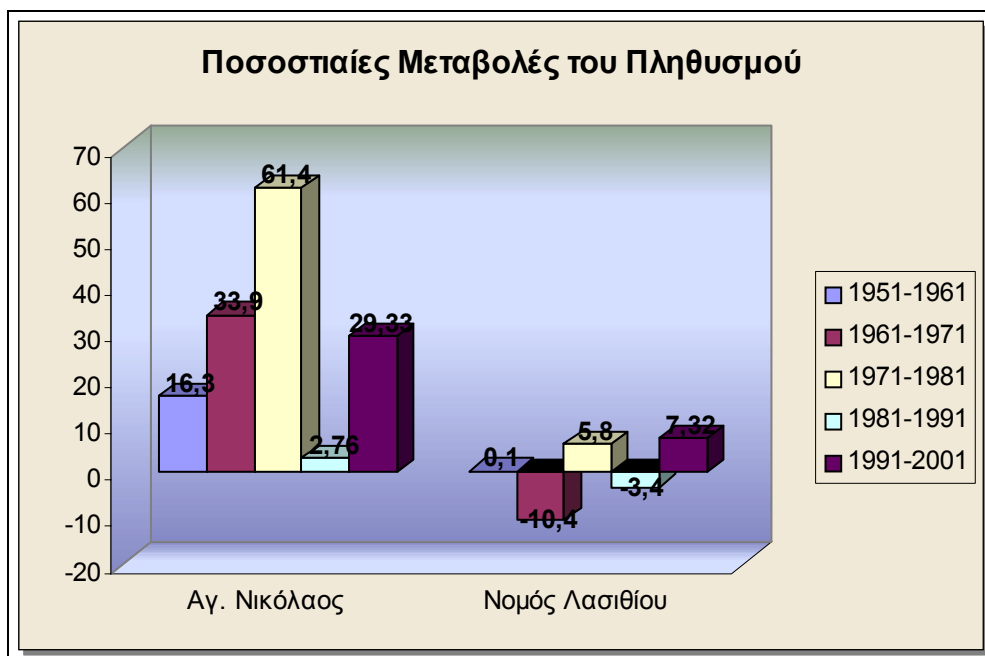
Ειδικότερα στο δήμο Αγ. Νικολάου παρατηρείται κατά τη δεκαετία 1951-1961 μία αύξηση του πληθυσμού της τάξεως του 16,3%, την επόμενη δεκαετία μία αύξηση της τάξεως του 33,9%, ενώ στη δεκαετία του 1971-1981 η αύξηση αγγίζει το 61,4%. Την επόμενη δεκαετία όμως η αύξηση είναι μόλις 2,76%. Σύμφωνα με την τελευταία απογραφή, ο πληθυσμός του Αγ. Νικολάου παρουσίασε σημαντική αύξηση της τάξεως του 29,33%.

5.1.1 Πληθυσμιακή Πυκνότητα

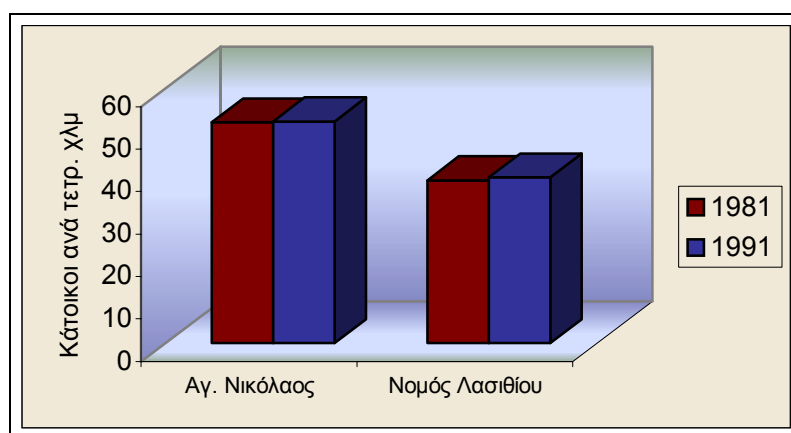
Η πληθυσμιακή πυκνότητα στο δήμο Αγ. Νικολάου το 1981 ήταν 52,07 κάτοικοι ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο. Την επόμενη δεκαετία η πυκνότητα μεταβλήθηκε ελάχιστα με την πληθυσμιακή πυκνότητα να φτάνει στους 52,35 κατοίκους ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο. Συνολικά στον Αγ. Νικόλαο η πληθυσμιακή πυκνότητα αυξήθηκε τη δεκαετία 1981-1991 κατά 0,53%.

Ως προς την πληθυσμιακή πυκνότητα του Νομού Λασιθίου, το 1981 ήταν 38,43 κάτοικοι ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο, ενώ το 1991 με αύξηση κατά 1,75% ο ίδιος δείκτης έφθασε στους 39,1 κατοίκους ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί φαίνεται η εξέλιξη της πληθυσμιακής πυκνότητας κατά το 1981 και 1991.



Σχήμα 5.1.1 Ποσοστιαίες μεταβολές του πληθυσμού



Σχήμα 5.1.2 Πληθυσμιακή πυκνότητα 1981-1991

5.1.2 Στοιχεία Απασχόλησης

Στην περιοχή του Αγ. Νικολάου, ο οικονομικά ενεργός πληθυσμός το 1991 (απασχολούμενοι-άνεργοι) αποτελούσε το 41,89% του συνολικού πληθυσμού, όπως φαίνεται και από τον παρακάτω πίνακα. Οι απασχολούμενοι αποτελούν το 40,29% του συνολικού πληθυσμού, ενώ οι άνεργοι αντιπροσωπεύουν μόλις το 3,82% του οικονομικά ενεργού πληθυσμού.

Πίνακας 5.1.2 Οικονομικά ενεργός πληθυσμός και Απασχολούμενοι

	Οικονομικά Ενεργός Πληθυσμός	%Συνολικού Πληθυσμού	Απασχολούμενοι	%Συνολικού Πληθυσμού	Άνεργοι	% του ΟΕΠ
Δήμος Αγίου Νικολάου	3150	41,89	3063	40,29	266	3,82

Το μεγαλύτερο τμήμα που δεν έχει ενταχθεί στην οικονομική ζωή της περιοχής αποτελείται κυρίως από γυναίκες, που ασχολούνται με τις οικιακές εργασίες, από μαθητές, σπουδαστές και άτομα ηλικίας άνω των 65 ετών.

Από τους απασχολούμενους η συντριπτική πλειοψηφία απασχολείται στον τριτογενή τομέα (67,00%) και δευτερογενή τομέα παραγωγής (16,35%), ενώ ποσοστό 13,05% απασχολείται στο πρωτογενή τομέα.

Πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι η αξιοπιστία των παραπάνω ελέγχεται, δεδομένου ότι ένα μεγάλο μέρος των κατοίκων της περιοχής ασχολείται παράλληλα στον πρωτογενή τομέα και στον τουρισμό, κάτι που δεν εμφανίζεται στις επίσημες απογραφές.

5.1.3 Ξενοδοχειακό Δυναμικό

Σημαντική πηγή πλούτου για το δήμο Αγ. Νικολάου αποτελεί ο κλάδος του τουρισμού, ο οποίος γνωρίζει σημαντική άνθηση από τις αρχές της δεκαετίας του '80.

Όπως φαίνεται και από τον παρακάτω πίνακα ο Αγ. Νικόλαος αποτελεί τουριστικό κέντρο στο οποίο φιλοξενούνται κάθε χρόνο χιλιάδες τουρίστες. Τα περισσότερα ξενοδοχεία ανήκουν στην κατηγορία των δύο αστέρων, ενώ δε λείπουν και τα ξενοδοχεία κατηγορίας πέντε αστέρων, που φιλοξενούν επισκέπτες με υψηλή αγοραστική δύναμη.

Πίνακας 5.1.3 Ξενοδοχειακό δυναμικό

	ΑΓΙΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ			
	1998		1999	
	Μονάδες	Κλίνες	Μονάδες	Κλίνες
Κατηγορία LUX	4	935	4	935
Κατηγορία Α	2	711	2	711
Κατηγορία Β	12	1689	12	1689
Κατηγορία Γ	38	1794	36	1720
Κατηγορία Δ	1	44	2	67
Κατηγορία Ε	6	120	5	101
Επιπλωμένα Διαμερίσματα	29	1491	27	1307
ΣΥΝΟΛΟ	92	6784	88	6530

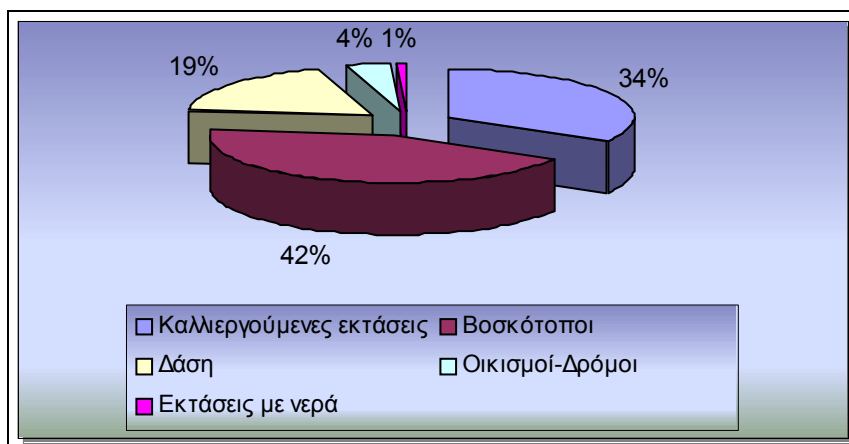
5.1.4 Χρήσεις Γης

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι χρήσεις γης στην πόλη του Αγ. Νικολάου καθώς και στο Νομό Λασιθίου, όπως αυτά διαμορφώνονται στην απογραφή του 1991. Από τα στοιχεία φαίνεται καθαρά ότι στην πόλη του Αγ. Νικολάου το μεγαλύτερο μέρος των εκτάσεων χρησιμοποιείται για καλλιέργειες-αγροανάπαυση (33,67%) και βοσκότοπους (42,93%), ενώ μόνο το 0,91% καταλαμβάνουν οι εκτάσεις με νερά.

Πίνακας 5.1.4 Χρήσεις γης

	Άγιος Νικόλαος		Νομός Λασιθίου	
	Έκταση (χιλ. στρ.)	Ποσοστό	Έκταση (χιλ. στρ.)	Ποσοστό
Καλλιέργειες- Αγροανάπαυση	107,2	33,67	569,3	31,23
Βοσκότοποι	136,7	42,93	1026,1	56,29
Δάση	59,5	18,69	149,3	8,19
Εκτάσεις με νερά	2,9	0,91	10,9	0,59
Οικισμοί - Δρόμοι	12,1	3,80	59,1	3,25
Άλλες Εκτάσεις	0	0,00	8,1	0,44
ΣΥΝΟΛΟ	318,4	100,00	1822,8	100,00

Ανάλογη εικόνα παρουσιάζει και ο ολόκληρος ο Νομός Λασιθίου, όπου το 56,29% της συνολικής έκτασης χρησιμοποιείται σαν βοσκότοπος, το 31,23% για καλλιέργειες-αγροανάπαυση, ενώ μόλις το 8,19% καταλαμβάνουν οι δασικές εκτάσεις.



Σχήμα 5.1.3 Χρήσεις γης στο δήμο Αγ. Νικολάου (1991)

5.2 Στοιχεία Κατανάλωσης Νερού

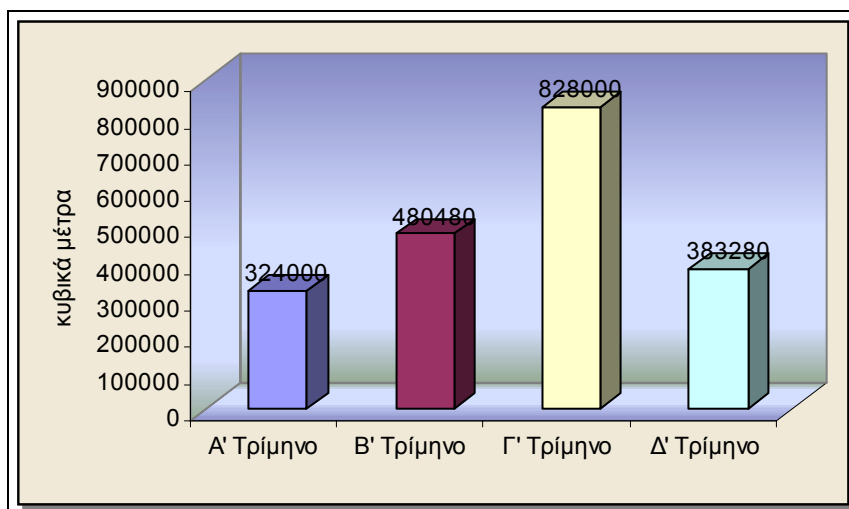
Βάση των στοιχείων που παραχώρησε η Δ.Ε.Υ.Α.Α.Ν παρουσιάζονται η κατανάλωση και οι γεωτρήσεις και οι πηγές που προμηθεύουν τον δήμο Αγίου Νικολάου για το έτος 1999.

5.2.1 Κατανάλωση Νερού

Η κατανάλωση [23] του νερού στο δημοτικό διαμέρισμα Αγ. Νικολάου, όπως φαίνεται και από τα στοιχεία που ακολουθούν, παρουσιάζει έντονη εποχικότητα, γεγονός που οφείλεται στον τουριστικό χαρακτήρα της περιοχής, η οποία φιλοξενεί κατά την καλοκαιρινή περίοδο μεγάλο αριθμό τουριστών.

Πίνακας 5.2.1 Κατανάλωση ανά τρίμηνο

1998	Άγιος Νικόλαος
Α' ΤΡΙΜΗΝΟ	324000 m ³
Β' ΤΡΙΜΗΝΟ	480480 m ³
Γ' ΤΡΙΜΗΝΟ	828000 m ³
Δ' ΤΡΙΜΗΝΟ	383280 m ³



Σχήμα 5.2.1 Κατανάλωση νερού

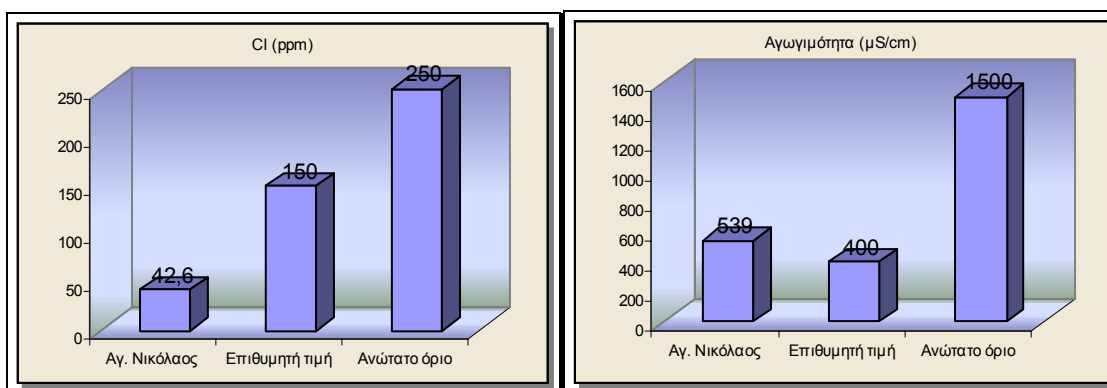
5.2.2 Προμήθεια Νερού

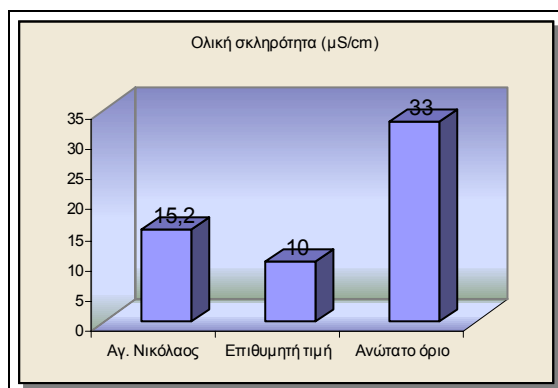
Τα σημεία υδατοπρομήθειας του δημοτικού διαμερίσματος του Αγ. Νικολάου είναι κυρίως γεωτρήσεις και ένα μικρό ποσοστό από πηγές. Τα σημεία υδατοπρομήθειας, πιο συγκεκριμένα, είναι τα παρακάτω:

● Γεωτρήσεις	Δράσι 4	270 m ³ /h
	Εντίχτης 4	165 m ³ /h
	Δάμακας	40 m ³ /h
● Πηγές	Σύμπλεγμα πηγών στο Οροπέδιο Λασιθίου	20 m ³ /h (καλοκαίρι) έως
	(Κυνηγού, Χαλασσά, Χειλιά)	70 m ³ /h (χειμώνα)

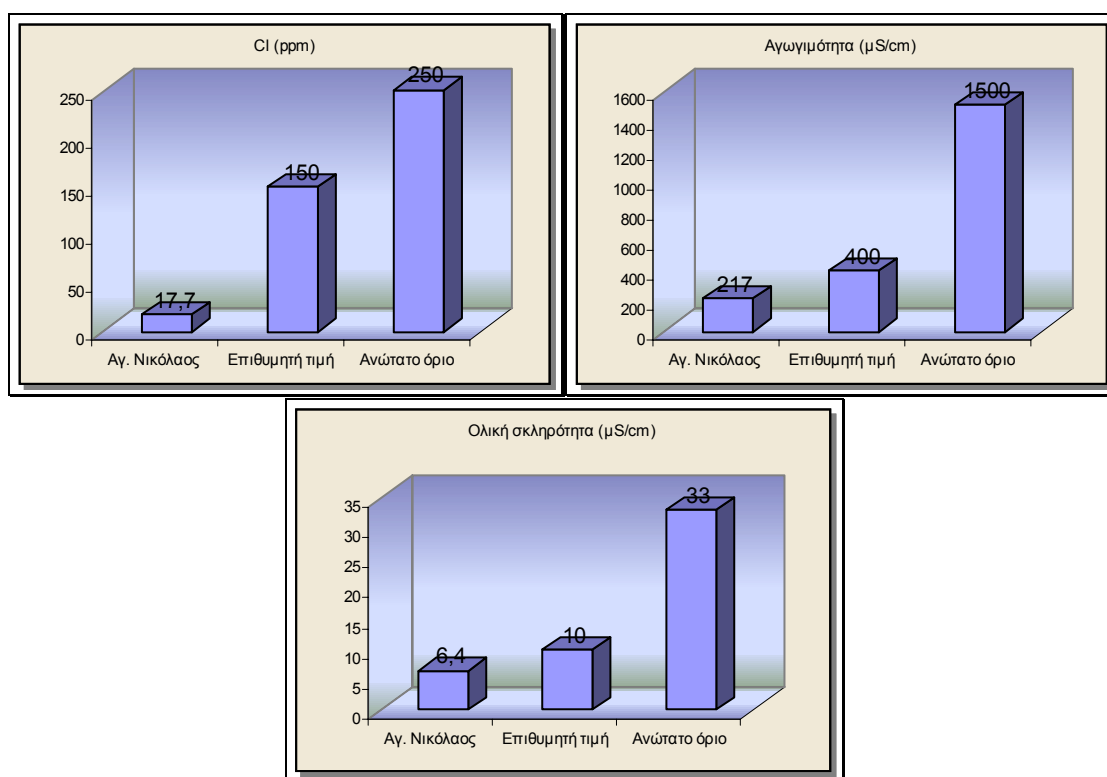
Τα χαρακτηριστικά του νερού που παρέχεται παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα:

Γεωτρήσεις





Πηγές



Θα πρέπει να σημειωθεί ότι δύο από τις παραπάνω γεωτρήσεις δεν αποδίδουν πλέον και ουσιαστικά βρίσκονται σε αχρηστία. Επίσης, παρατηρούνται κάποιες απώλειες στο δίκτυο διανομής, με αποτέλεσμα οι ποσότητες νερού που δηλώνονται παραπάνω να μην αντιπροσωπεύουν την πραγματική υδατοπρομήθεια του δήμου Αγ. Νικολάου. Συνεπώς, η ζήτηση του νερού του Αγ. Νικολάου, με βάση τα παραπάνω στοιχεία μπορεί να καλυφθεί, αυτό δεν ισχύει στην πραγματικότητα.

5.3 Ο Αλμυρός

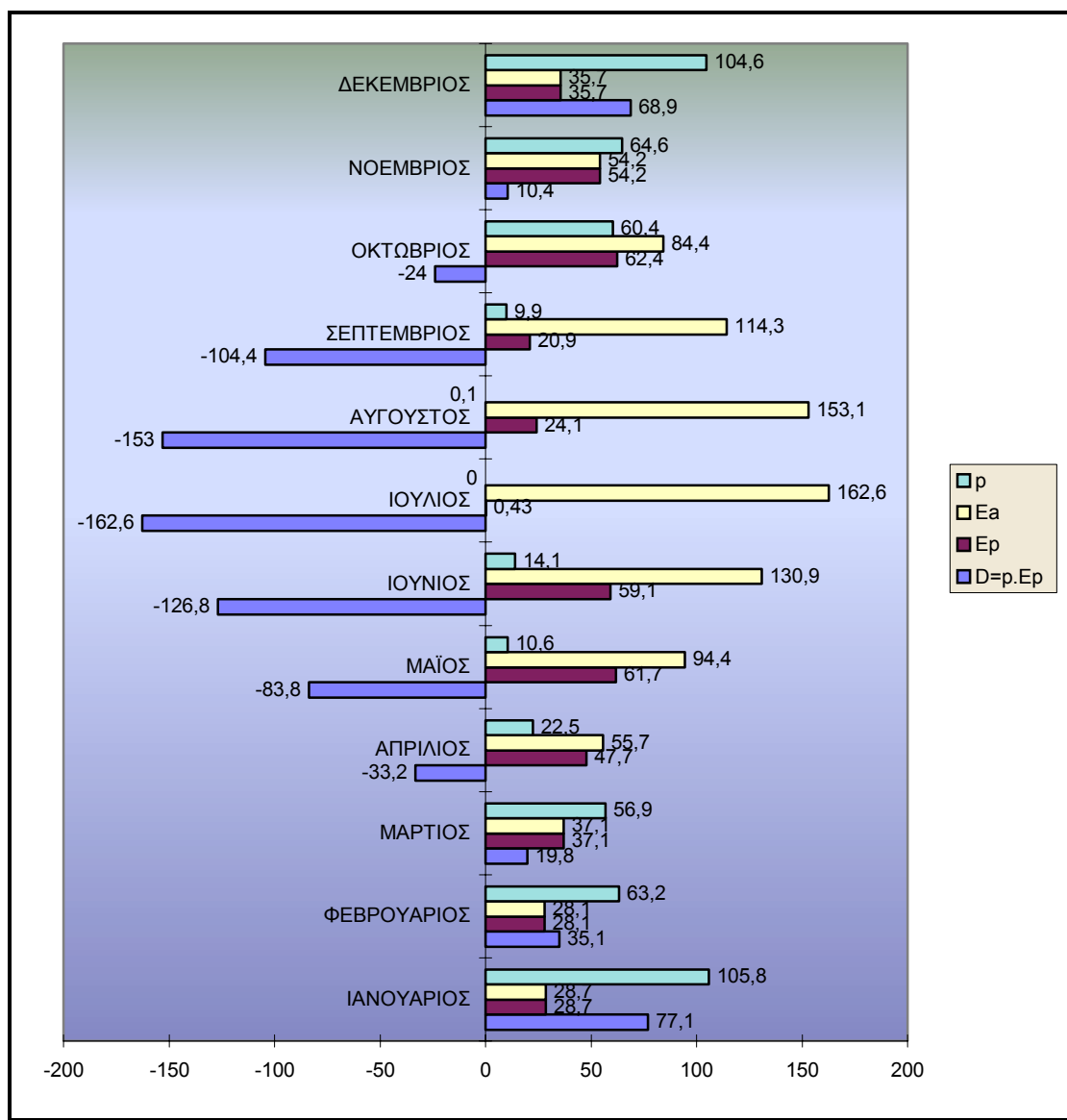
Ο Αλμυρός είναι ένα ποτάμι, το οποίο βρίσκεται νότια του Αγ. Νικολάου, σε απόσταση ενός χιλιομέτρου. Τα στοιχεία που έχουμε στη διάθεση μας για τον Αλμυρό δεν είναι πάρα πολλά,

αλλά αρκετά για να καθορισθεί και να επιλεγθεί η διαδικασία αφαλάτωσης και για να καθορισθούν οι τεχνικοί και οι οικονομικοί παράγοντες της μονάδας αφαλάτωσης.

Η παροχή του Αλμυρού είναι περίπου 1,94 έως 3 m³/sec. Αναλυτικότερα στοιχεία για την παροχή του Αλμυρού παρατίθενται στο Παράρτημα Α. Τα ολικά διαλυμένα άλατα του Αλμυρού είναι 2900 έως 3000 ppm TDS και η θερμοκρασία του νερού υπολογίζεται στους 14,5 °C.

5.4 Κλιματολογικές Συνθήκες της Περιοχής

Βάση των στοιχείων που παραχώρησε ο μετεωρολογικός σταθμός της Σητείας, παρουσιάζονται παρακάτω σε πίνακες και διαγράμματα οι κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούσαν στην περιοχή το έτος 1998.



όπου : $D=p.E_p$: Πλεόνασμα θετικό ή αρνητικό νερού
 E_p : Δυνατή εξατμησιδιαπνοή
 E_a : Πραγματική εξατμησιδιαπνοή
 p : Μέσο μηνιαίο ύψος βροχόπτωσης

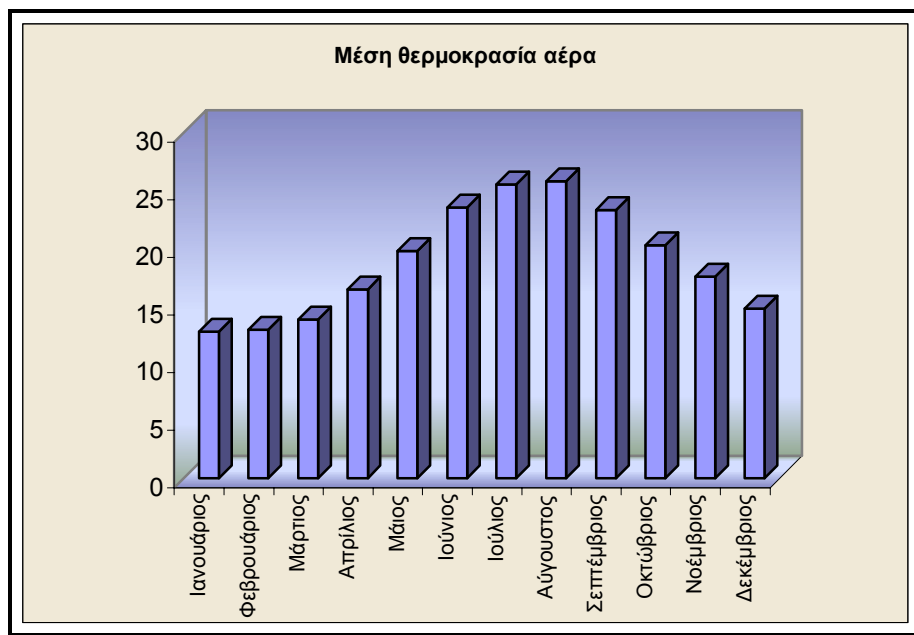
Δυνατή εξατμησιδιαπνοή (**E_p**) είναι η ποσότητα νερού που μπορεί να μεταφερθεί στην ατμόσφαιρα, όταν η γη έχει τη δυνατότητα να καλύψει σε νερό τις ατμοσφαιρικές πιέσεις.

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι τους καλοκαιρινούς μήνες το πλεόνασμα του νερού είναι αρνητικό.

Στο παρακάτω διάγραμμα δίνεται η μέση θερμοκρασία του αέρα ανά μήνα.

Πίνακας 5.4.1 Μέση θερμοκρασία του αέρα ανά μήνα

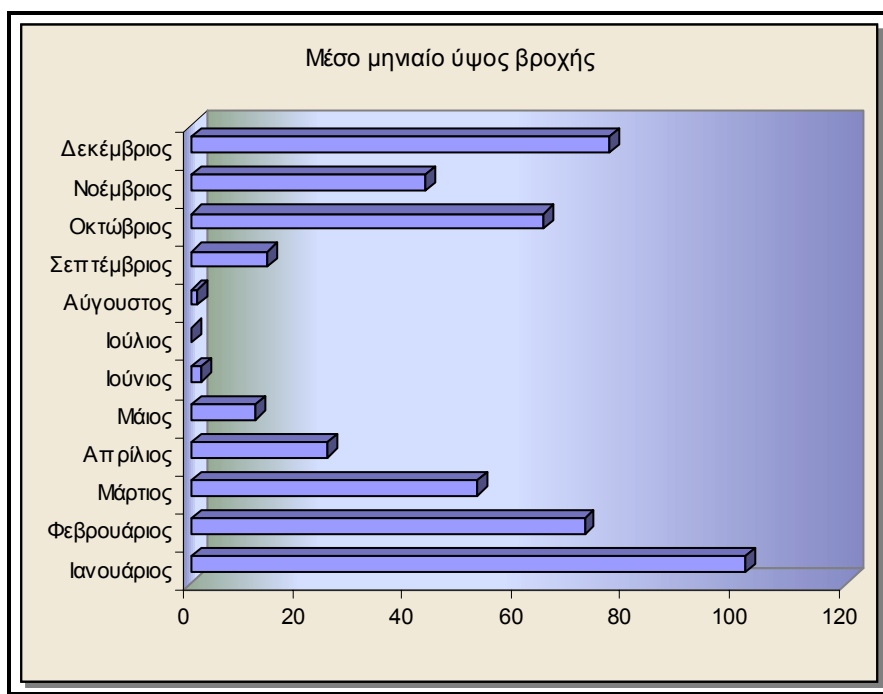
Ιανουάριος	12,7
Φεβρουάριος	12,9
Μάρτιος	13,8
Απρίλιος	16,4
Μάιος	19,7
Ιούνιος	23,5
Ιούλιος	25,5
Αύγουστος	25,8
Σεπτέμβριος	23,3
Οκτώβριος	20,2
Νοέμβριος	17,5
Δεκέμβριος	14,7



Μέσο μηνιαίο ύψος βροχής:

Πίνακας 5.4.2 Μέσο μηνιαίο ύψος βροχής

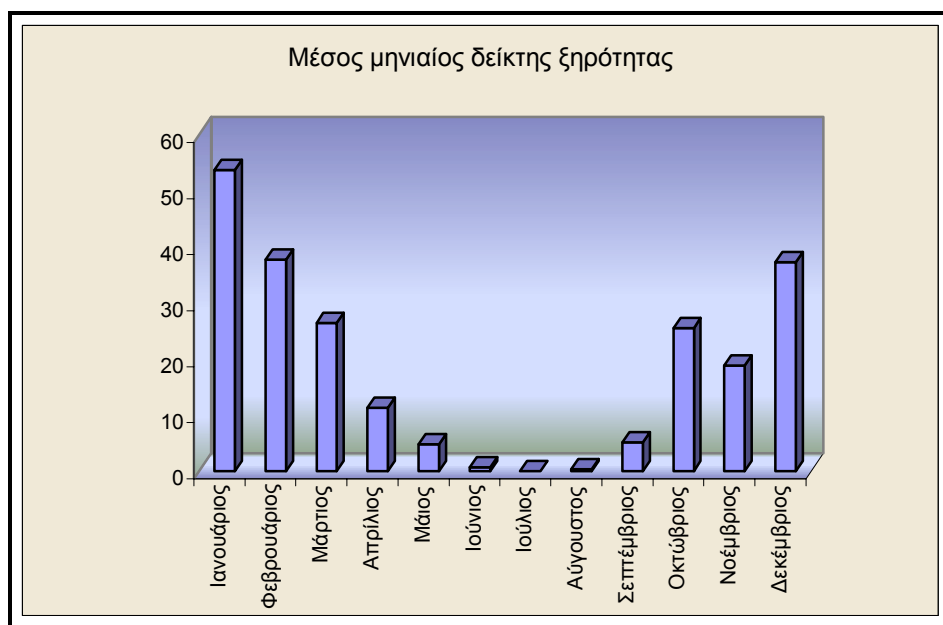
Ιανουάριος	101,6
Φεβρουάριος	72,1
Μάρτιος	52,5
Απρίλιος	24,9
Μάιος	11,8
Ιούνιος	1,9
Ιούλιος	0,1
Αύγουστος	1,1
Σεπτέμβριος	14
Οκτώβριος	64,5
Νοέμβριος	43,1
Δεκέμβριος	76,7



Μέσος μηνιαίος δείκτης ξηρότητας:

Πίνακας 5.4.3 Μέσος μηνιαίος δείκτης ξηρότητας

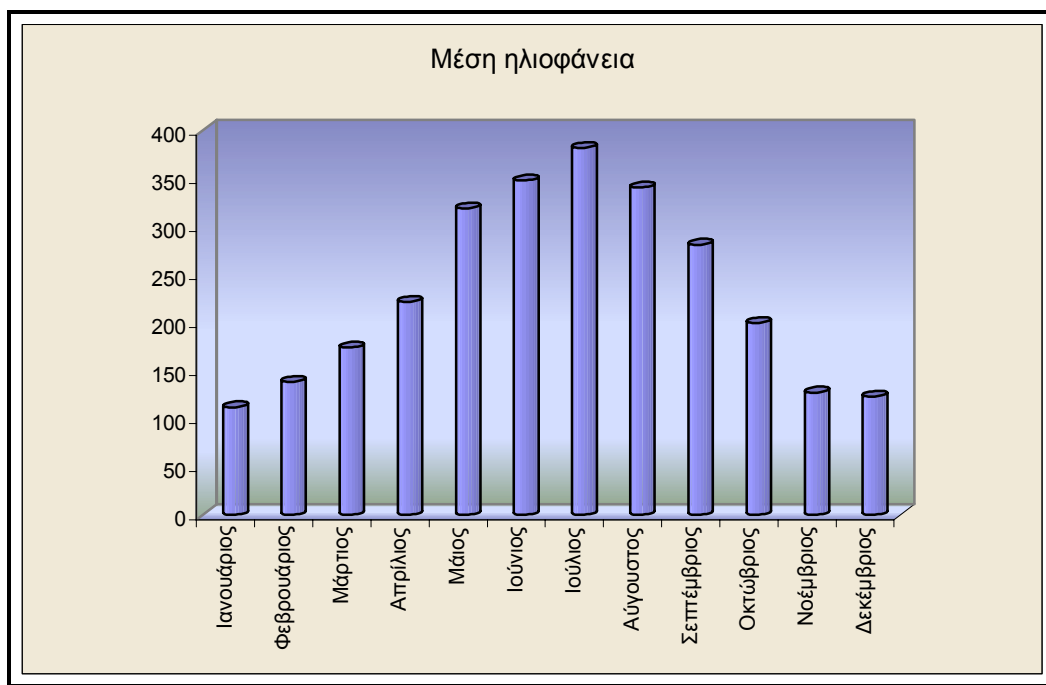
Ιανουάριος	53,7
Φεβρουάριος	37,8
Μάρτιος	26,5
Απρίλιος	11,3
Μάιος	4,8
Ιούνιος	0,7
Ιούλιος	0
Αύγουστος	0,4
Σεπτέμβριος	5,1
Οκτώβριος	25,6
Νοέμβριος	18,8
Δεκέμβριος	37,3



Μέση ηλιοφάνεια σε ώρες:

Πίνακας 5.4.4 Μέση ηλιοφάνεια σε ώρες

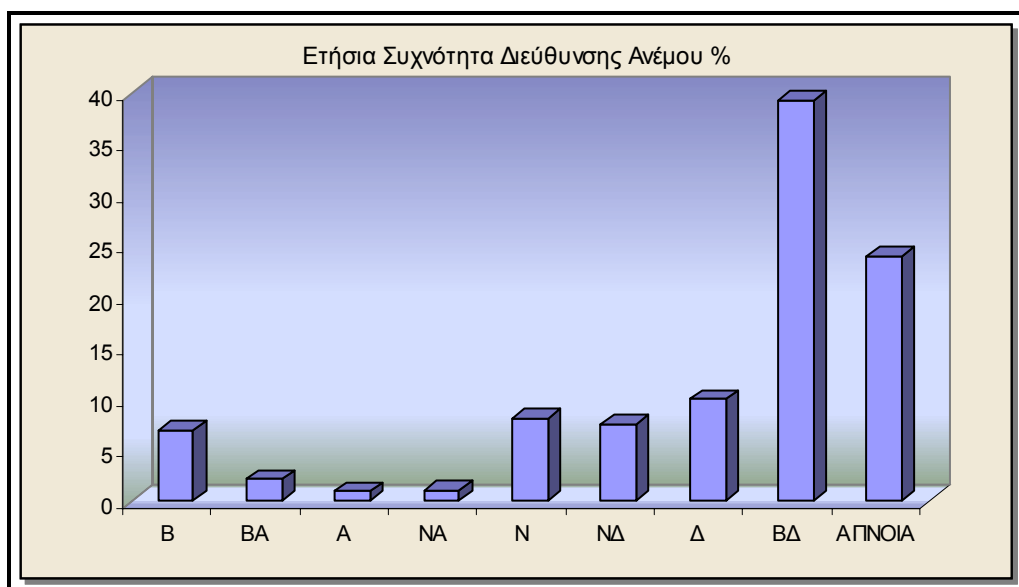
Ιανουάριος	111,8
Φεβρουάριος	138,4
Μάρτιος	174,3
Απρίλιος	221,7
Μάιος	319,2
Ιούνιος	348,3
Ιούλιος	382
Αύγουστος	341
Σεπτέμβριος	281,4
Οκτώβριος	199,7
Νοέμβριος	127,2
Δεκέμβριος	123,1



Ετήσια συχνότητα διεύθυνσης ανέμου:

Πίνακας 5.4.5 Ετήσια συχνότητας διεύθυνσης ανέμου

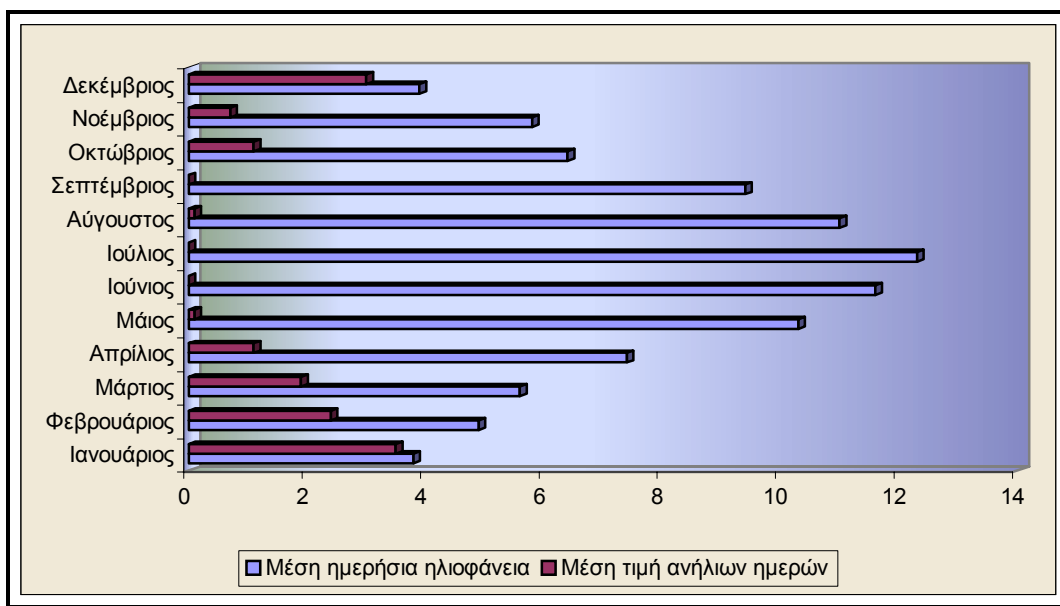
B	6,92
BA	2,14
A	0,97
NA	1,04
N	8,13
NΔ	7,54
Δ	9,97
BΔ	39,36
ΑΠΝΟΙΑ	23,98



Μέση ημερήσια ηλιοφάνεια και Μέση τιμή ανήλιων ημερών:

Πίνακας 5.4.6 Μέση ημερήσια ηλιοφάνεια και μέση τιμή ανήλιων ημερών

	Μέση ημερήσια ηλιοφάνεια	Μέση τιμή ανήλιων ημερών
Ιανουάριος	3,8	3,5
Φεβρουάριος	4,9	2,4
Μάρτιος	5,6	1,9
Απρίλιος	7,4	1,1
Μάιος	10,3	0,1
Ιούνιος	11,6	0
Ιούλιος	12,3	0
Αύγουστος	11	0,1
Σεπτέμβριος	9,4	0
Οκτώβριος	6,4	1,1
Νοέμβριος	5,8	0,7
Δεκέμβριος	3,9	3



Κεφάλαιο 6

Περιγραφή Αλγορίθμου

6. Περιγραφή Αλγορίθμου

6.1 Εισαγωγή

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας αναπτύχθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού Matlab [24], πρόγραμμα για τον υπολογισμό του κόστους μίας μονάδας αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Σκοπός αυτού του προγράμματος είναι να υπολογίσει το κόστος της μονάδας του νερού, λαμβάνοντας υπόψη τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή μελέτης καθώς και τα χαρακτηριστικά του νερού που πρόκειται να αφαλατωθεί.

Στο διάγραμμα ροής που ακολουθεί φαίνεται η κύρια δομή του κεντρικού προγράμματος, το οποίο ελαχιστοποιεί τη συνάρτηση κόστους και δίνει το βέλτιστο συνδυασμό ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών για την ικανοποίηση της ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια μίας μονάδας αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης.

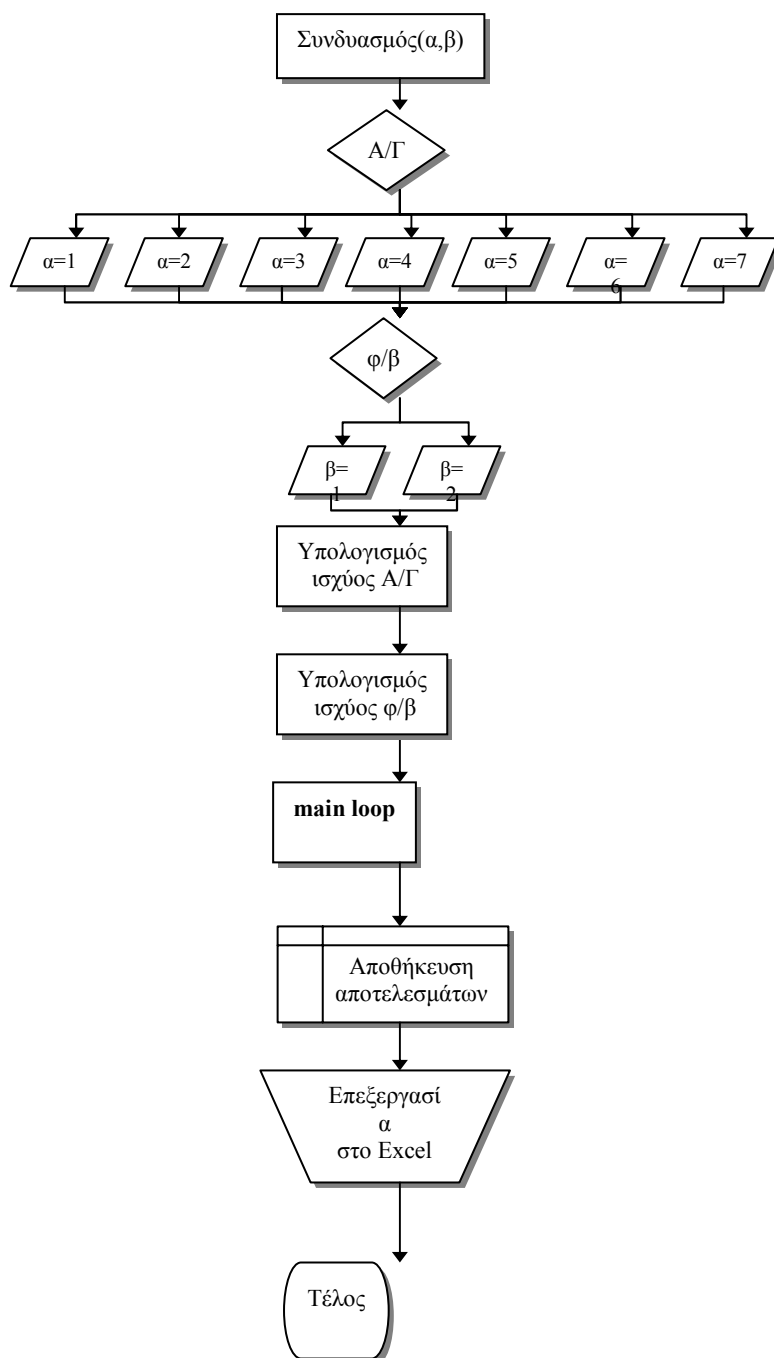
Πιο συγκεκριμένα στο πρόγραμμα υπάρχουν οικονομικά και τεχνικά στοιχεία τόσο για ανεμογεννήτριες όσο και για φωτοβολταϊκά. Υπάρχουν στοιχεία για επτά τύπους ανεμογεννητριών και για δύο τύπους φωτοβολταϊκών, στα οποία μπορούν εύκολα να προστεθούν και άλλοι τύποι ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών ή ακόμα και να μετατραπούν τα υπάρχοντα στοιχεία, αν χρειαστεί. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει οποιοδήποτε συνδυασμό ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών, ώστε να υπολογισθεί ο βέλτιστος συνδυασμός τους για την ανάκτηση της απαιτούμενης ενέργειας λειτουργίας της μονάδας αφαλάτωσης. Οι τύποι ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών που είναι ενσωματωμένοι στο πρόγραμμα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.1.1 Οι τύποι Α/Γ και φ/β που χρησιμοποιήθηκαν κατά τις προσομοιώσεις

Ανεμογεννήτριες	Φωτοβολταϊκά
Vestas 660	Siemens SM55
Vestas 850	Siemens SP75
Vestas 2000	
NegMicon 600	
NegMicon 1500	
Enercon 850	
Enercon 1500	

Τα χαρακτηριστικά λειτουργίας και οι τιμές που χρησιμοποιούνται στο πρόγραμμα δίνονται από τους κατασκευαστές της κάθε συσκευής.

Στη συνέχεια ακολουθεί λεπτομερέστερη περιγραφή των υποπρογραμμάτων που χρησιμοποιεί το κυρίως πρόγραμμα, καθώς και του ίδιου του προγράμματος.



Σχήμα 6.1.1 Διάγραμμα ροής του κεντρικού προγράμματος

6.1.1 Υπολογισμός Ισχύος A/Γ

Σκοπός του προγράμματος αυτού είναι να υπολογίσει την ισχύ που παράγουν οι ανεμογεννήτριες. Για να πραγματοποιηθεί αυτό, χρησιμοποιεί αποθηκευμένα δεδομένα της ταχύτητας του ανέμου σε διάφορα ύψη για κάθε ανεμογεννήτρια, αφού οι ανεμογεννήτριες ανάλογα με το μοντέλο τους κατασκευάζονται σε διαφορετικά ύψη. Στο Παράρτημα Β

παρατίθενται, ενδεικτικά, κάποια στοιχεία ανέμου που χρησιμοποιήθηκαν. Για παράδειγμα το μοντέλο Vestas 660 κατασκευάζεται στα παρακάτω ύψη:

Πίνακας 6.1.2 Ύψη πυλώνα Α/Γ Vestas660

	Ύψος Πυλώνα
Vestas 660:	40 m
	45 m
	50 m
	55 m
	60 m
	65 m

Η αναγωγή της ταχύτητας του ανέμου στα διαφορετικά ύψη γίνεται με τη βοήθεια της Εξίσωσης 2.5.12.

Στη συνέχεια, καλείται το υποπρόγραμμα που περιέχει τα τεχνικά χαρακτηριστικά των ανεμογεννητριών, όπως η ονομαστική ισχύς, η ταχύτητα έναρξης, η ονομαστική ταχύτητα και η ταχύτητα αποκοπής, όπως δίνονται από τους κατασκευαστές τους. Το πρόγραμμα αυτό επεξεργάζεται τα στοιχεία της ταχύτητας του ανέμου, που έχουν φορτωθεί για μία συγκεκριμένη Α/Γ, και υπολογίζει την ισχύ που δίνει η ανεμογεννήτρια. Η επεξεργασία αυτή και ο υπολογισμός της ισχύος γίνεται με τη βοήθεια της Εξίσωσης 2.5.27. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται για όλα τα στοιχεία ανέμου και για όλα τα ύψη που είναι διαθέσιμη η Α/Γ.

Τέλος, κατασκευάζει τον πίνακα ισχύος της Α/Γ του έτους ανά ημέρα, τον οποίο χρησιμοποιεί το κυρίως πρόγραμμα για τους υπολογισμούς που απαιτούνται.

Στο διάγραμμα ροής (Σχήμα 6.1.2) αναπαριστάται η διαδικασία που εκτελεί το συγκεκριμένο πρόγραμμα.

6.1.2 Υπολογισμός Ισχύος ϕ/β

Στο διάγραμμα ροής (Σχήμα 6.1.3) φαίνεται η δομή του προγράμματος που υπολογίζει την ισχύ που δίνουν τα φωτοβολταϊκά.

Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί αποθηκευμένα δεδομένα ηλιοφάνειας για να υπολογίσει την ισχύ των ϕ/β . Τα στοιχεία αυτά χρησιμοποιούνται από ένα υποπρόγραμμα, στο οποίο υπάρχουν τεχνικά χαρακτηριστικά για τα δύο ϕ/β , όπως η μέγιστη ισχύς, η τάση λειτουργίας και το ρεύμα λειτουργίας, τα οποία καθορίζονται από τους κατασκευαστές. Τα στοιχεία ηλιοφάνειας εισάγονται στην Εξίσωση 2.6.9 για να υπολογιστεί η ηλιακή ενέργεια. Στη συνέχεια τα αποτελέσματα της παραπάνω σχέσης χρησιμοποιούνται στη Εξίσωση 6.1.1:

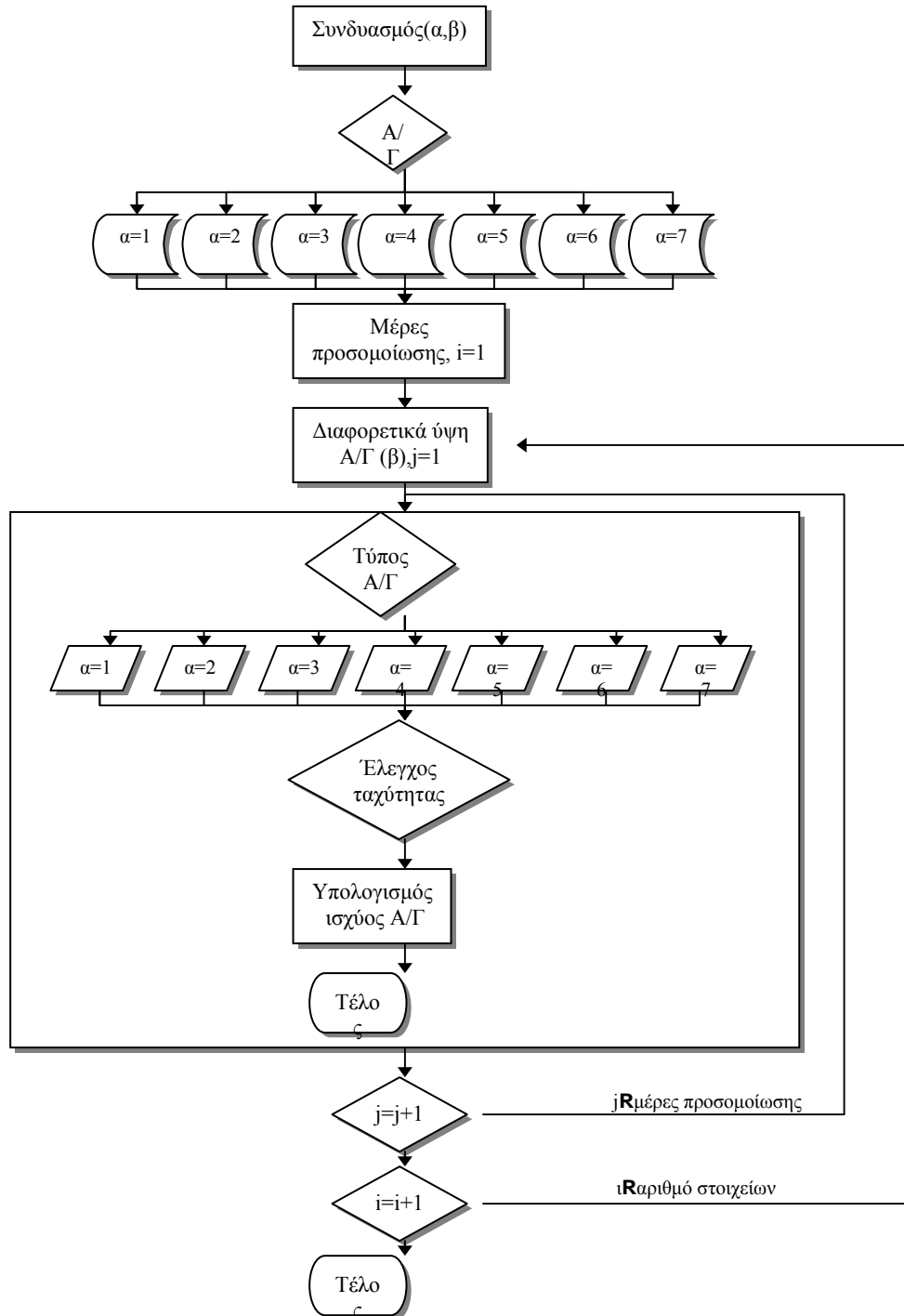
$$\text{Ισχύς} = \text{τάση} \times \text{ένταση} \times \text{ηλιακή ενέργεια} \times \text{συνολική απόδοση} \quad \text{Εξ. 6.1.1}$$

όπου :	τάση	:	είναι η τάση που αντιστοιχεί στη μέγιστη παραγόμενη ισχύ, η οποία δίνεται από τη χαρακτηριστική καμπύλη του ϕ/β στοιχείου
	ένταση	:	είναι η ένταση που αντιστοιχεί στη μέγιστη παραγόμενη ισχύ, η οποία δίνεται από τη χαρακτηριστική καμπύλη του ϕ/β στοιχείου
	ηλιακή ενέργεια	:	είναι η ενέργεια που υπολογίζεται από την Εξίσωση 2.6.9

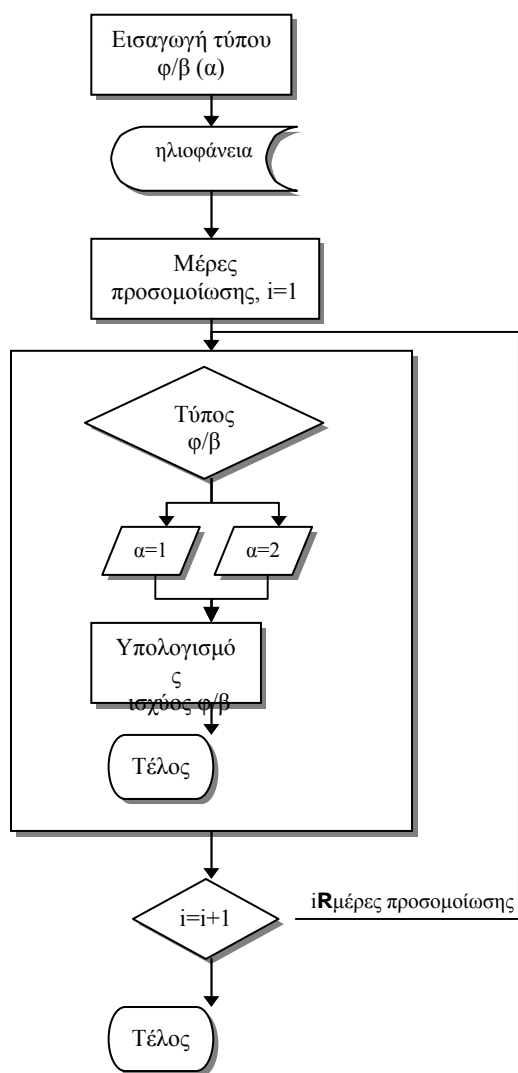
συνολική απόδοση : είναι η απόδοση μετατροπής του φ/β και του μετατροπέα

Η διαδικασία υπολογισμού της ισχύος που δίνουν τα φ/β συνεχίζεται για όλες τις μέρες του χρόνου.

Το αποτέλεσμα του προγράμματος αυτού είναι η δημιουργία του πίνακα ισχύος του έτους ανά ημέρα του φ/β στοιχείου, που έχει επιλεγθεί από το κεντρικό πρόγραμμα.



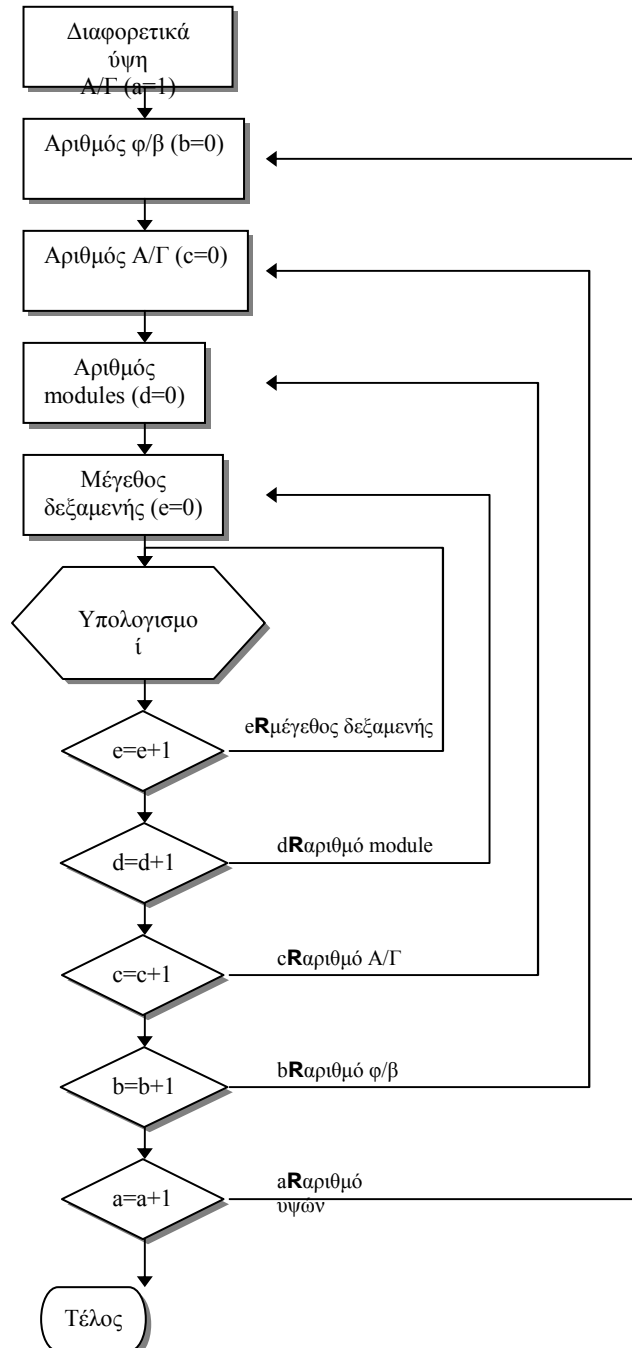
Σχήμα 6.1.2 Διάγραμμα ροής υπολογισμού ισχύος της Α/Γ



Σχήμα 6.1.3 Διάγραμμα ροής υπολογισμού ισχύος του φ/β

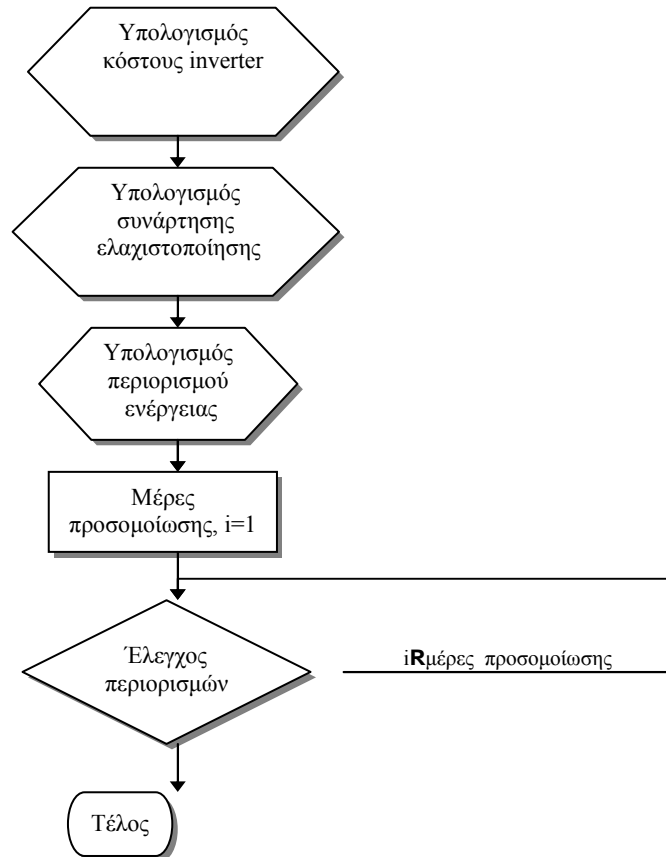
6.1.3 Προσομοίωση

Στο διάγραμμα ροής (Σχήμα 6.1.4) που ακολουθεί περιγράφεται η διαδικασία υπολογισμού του βέλτιστου συνδυασμού ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών, για την παραγωγή της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας λειτουργίας της μονάδας αφαλάτωσης, καθώς και του βέλτιστου μεγέθους της δεξαμενής, για την αποθήκευση του νερού, και τις επιπλέον μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης, για την κάλυψη της ζήτησης.



Σχήμα 6.1.4 Διάγραμμα ροής της διαδικασίας προσομοίωσης

Το πρόγραμμα βασίζεται στη μέθοδο του γραμμικού προγραμματισμού και χρησιμοποιεί εξαντλητικό αλγόριθμο (greedy algorithm), ο οποίος ελέγχει όλους τους συνδυασμούς των μονάδων που προσομοιώνονται για την εύρεση της βέλτιστης λύσης. Οι υπολογισμοί που γίνονται για κάθε συνδυασμό, ώστε να επιλυθεί το πρόβλημα βελτιστοποίησης, φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα ροής (Σχήμα 6.1.5):



Σχήμα 6.1.5 Διάγραμμα ροής των υπολογισμών που εκτελούνται κατά την προσομοίωση

Αρχικά, υπολογίζει το κόστος του μετατροπέα (inverter), ο οποίος είναι απαραίτητος για τη μετατροπή του συνεχούς ρεύματος που δίνεται από τα φ/β σε εναλλασσόμενο, ώστε να είναι αξιοποιήσιμο. Ο αριθμός και ο τύπος του μετατροπέα που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από την ποσότητα και τον τύπο των φ/β στοιχείων. Πιο συγκεκριμένα καλείται ένα πρόγραμμα που έχει αποθηκευμένα στοιχεία, τόσο οικονομικά όσο και τεχνικά, για πέντε μετατροπείς διαφορετικού μεγέθους. Το πρόγραμμα αυτό υπολογίζει το ελάχιστο κόστος των μετατροπέων για τα φ/β που επιλέγονται από τη διαδικασία της προσομοίωσης.

Στη συνέχεια του προγράμματος, υπολογίζεται η συνάρτηση που πρόκειται να ελαχιστοποιηθεί (minimize function) και ο περιορισμός υπό τον οποίο ελαχιστοποιείται η συνάρτηση. Το πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού που αναπτύσσεται από τους παραπάνω υπολογισμούς είναι το εξής:

$$\begin{aligned} \min f = & \text{κόστος Α/Γ} \times \text{αριθμό Α/Γ} + \text{κόστος φ/β} \times \text{αριθμό φ/β} + \text{κόστος μετατροπέα} + \\ & + \text{κόστος δεξαμενής} \times \text{μέγεθος δεξαμενής} + \text{κόστος μεμβρανών} \times \text{αριθμό μεμβρανών} \end{aligned}$$

υπό τον περιορισμό:

$$\text{ισχύς Α/Γ} \times \text{αριθμό Α/Γ} + \text{ισχύς φ/β} \times \text{αριθμό φ/β} \geq \text{απαιτούμενη ενέργεια}$$

Τα κόστη που αναφέρονται στην συνάρτηση ελαχιστοποίησης περιλαμβάνουν το αρχικό κόστος, το κόστος εγκατάστασης και τα λειτουργικά κόστη για κάθε συσκευή. Επίσης, η απαιτούμενη ενέργεια δεν παραμένει σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, λόγω της διαφορετικής ζήτησης σε ποσότητες νερού (Σχήμα 5.2.1), γι' αυτό το λόγο ο περιορισμός υπολογίζεται για κάθε μέρα του έτους.

Στη συνέχεια ελέγχεται αν ικανοποιείται ο περιορισμός, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, για όλες τις μέρες του έτους. Ο έλεγχος ξεκινάει με την πρώτη μέρα και ελέγχει αν ικανοποιείται η απαίτηση ενέργειας. Αν ικανοποιείται ο περιορισμός για την πρώτη μέρα και η ενέργεια που παράγεται είναι πλεονάζουσα, τη χρησιμοποιεί για να προμηθεύσει τη δεξαμενή. Αυτό γίνεται στην περίπτωση που η δεξαμενή δεν είναι γεμάτη και η μονάδα αφαλάτωσης δεν λειτουργεί στη μέγιστη δυναμικότητα της. Αν η μονάδα αφαλάτωσης λειτουργεί στη μέγιστη δυναμικότητα της τότε χρησιμοποιεί επιπλέον μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης για να προμηθεύσει τη δεξαμενή. Η ποσότητα νερού που είναι αποθηκευμένη πλέον στη δεξαμενή, αφού μετατραπεί σε ισοδύναμη ενέργεια, αφαιρείται από την απαίτηση ενέργειας της επόμενης μέρας, και κατά συνέπεια μέρος της ενέργειας που απαιτείται για την κάλυψη της ζήτησης έχει ικανοποιηθεί. Σκοπός της διαδικασίας αυτής είναι πρώτον να καλυφθεί η ζήτηση για μέρες που η παραγωγή ενέργειας από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν επαρκεί, δεύτερον για την χρησιμοποίηση της πλεονάζουσας ενέργειας και τέλος για την ελαχιστοποίηση του κόστους της συνολικής επένδυσης.

Τέλος αφού ελεγχθούν όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί των παραπάνω στοιχείων, το πρόγραμμα αποθηκεύει σε ένα αρχείο τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για την ανεμογεννήτρια και το φωτοβολταϊκό που επιλέχθηκαν. Δίνει, δηλαδή, τον αριθμό των ανεμογεννητριών στα διάφορα ύψη, τον αριθμό των φωτοβολταϊκών, το μέγεθος της δεξαμενής καθώς και τον αριθμό των επιπλέον μεμβρανών αντίστροφης ώσμωσης. Επίσης, κρατούνται στοιχεία τόσο για το συνολικό κόστος της επένδυσης καθώς και για την περίσσεια ενέργειας, η οποία δεν χρησιμοποιήθηκε από τη μονάδα αφαλάτωσης.

6.1.4 Επεξεργασία των Αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα που δίνει το πρόγραμμα στη συνέχεια εισάγονται στο Excel, όπου υπολογίζονται, οι αποσβέσεις και γενικότερα τα λειτουργικά έξοδα, ώστε να υπολογισθεί το κόστος του παραγόμενου νερού, τα κριτήρια αποδοτικότητας που αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 4, καθώς και το νεκρό σημείο της επένδυσης.

Πιο συγκεκριμένα υπολογίζονται τα κριτήρια για κάθε συνδυασμό ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών και για κάθε ύψος ανεμογεννήτριας. Επίσης αναπτύσσονται δύο εναλλακτικές προσεγγίσεις: υπολογισμός του κόστους του νερού χωρίς άλλα έσοδα και υπολογισμός του κόστους του νερού με πώληση της πλεονάζουσας ενέργειας στο δίκτυο ηλεκτροδότησης.

Τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα της επεξεργασίας τους θα παρουσιαστούν στα επόμενα κεφάλαια.

Κεφάλαιο 7

Μελέτη Περιπτώσεων Ανάπτυξης Μονάδας Αφαλάτωσης με ΑΠΕ στον Άγιο Νικόλαο

7. Αποτελέσματα

7.1 Εισαγωγή

Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε, όπως περιγράφηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, εφαρμόστηκε σε μία συγκεκριμένη περίπτωση (case study), για να γίνει δυνατή η αξιολόγηση της. Η περίπτωση αυτή είναι η υδροδότηση του δήμου Αγίου Νικολάου από μονάδα αφαλάτωσης με ΑΠΕ.

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται οι βέλτιστοι συνδυασμοί Α/Γ, φ/β, μεγέθους δεξαμενής και επιπλέον μεμβρανών αντίστροφης ώσμωσης, ώστε να καλυφθεί η ζήτηση του νερού από το δήμο Αγ. Νικολάου, με το μικρότερο κόστος. Τα αποτελέσματα αυτά εξάχθηκαν με τη βοήθεια του αλγορίθμου που περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 6. Στη συνέχεια αναπτύσσονται τα οικονομικά στοιχεία για τους βέλτιστους συνδυασμούς.

Τα στοιχεία που συνθέτουν τους παρακάτω πίνακες είναι τα εξής:

- σε κάθε πίνακα αναπτύσσονται οι συνδυασμοί ενός φ/β με όλα τα ύψη μίας Α/Γ, όπως αυτά έχουν δοθεί από τους κατασκευαστές της
- το μέγεθος της δεξαμενής εκφράζεται σε χιλιάδες m^3
- οι μεμβράνες που υπολογίζονται είναι δυναμικότητας $100 m^3/day$
- τα οικονομικά στοιχεία αναπτύσσονται για δύο εναλλακτικές λύσεις, η πρώτη για την πώληση του νερού που παράγεται και η δεύτερη για την πώληση του νερού και της πλεονάζουσας ενέργειας, που παράγεται από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
- όλες οι τιμές που αναφέρονται στους παρακάτω πίνακες είναι εκφρασμένες σε Ευρώ (€)
- η ζήτηση σε νερό παραμένει σταθερή για όλους του συνδυασμούς και για όλα τα έτη ζωής της επένδυσης
- η τιμή πώλησης του νερού υπολογίζεται, εφαρμόζοντας ένα συντελεστή κέρδους 5% στο κόστος παραγωγής του νερού
- η τιμή πώλησης του ρεύματος είναι καθορισμένη από το νόμο και ορίζεται στις 18,62 δρχ/kWh (0,05 €/kWh)
- το επιτόκιο που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της Καθαρής Παρούσας Αξίας είναι 12%

Πίνακας 7.1.1 Αποτελέσματα συνδυασμού Siemens SM55 – Vestas 660

	Siemens SM55					
	Vestas 660					
Ύψη Α/Γ σε m	40	45	50	55	60	65
Α/Γ	10	9	9	8	8	7
Φ/β	-	-	-	-	100	-
Δεξαμενή	15	15	15	15	15	15
Μεμβράνες	10	10	8	9	7	9
<i>1^η εναλλακτική</i>						
Αρχικό Κόστος	13.834.025	13.230.564	12.791.120	12.424.578	12.092.863,5	11.844.027
Αποσβέσεις	1.309.750,5	1.250.236,76	1.206.385,8	1.170.493,52	1.137.257,35	1.113.239,18
Λειτουργικά	602.835,5	595.760,44	596.252,2	589.132,88	636.517,03	582.326,42
Κόστος νερού	1,185	1,144	1,117	1,091	1,099	1,051
Τιμή πώλησης	1,245	1,201	1,173	1,145	1,154	1,103
Προβλεπόμενες ταμειακές ροές	2.715.130,3	2.592.773,38	2.502.903,5	2.428.968,36	2.363.203,42	231.156,64
Κριτήριο Περιόδου Αποπληρωμής	5 χρόνια 1 μήνας	5 χρόνια 1 μήνας	5 χρόνια 1 μήνας	5 χρόνια 1 μήνας	5 χρόνια 1 μήνας	5 χρόνια 1 μήνας
ΚΠΑ	1.345.595,31	1.267.128,45	1.206.109,82	1.160.388,36	1.124.788,29	1.084.900,44
ΔΑ	1,10	1,10	1,09	1,09	1,09	1,09
ΕΣΑ	15%	15%	15%	15%	14%	14%
Νεκρό σημείο	1.890.168,68	1.823.388,71	1.779.943,89	1.737.767,27	1.751.011,27	1.672.479,85
<i>2^η εναλλακτική</i>						
Αρχικό Κόστος	143.00.610,3	13.657.320,9	13.224.698,4	12.816.052,2	12.498.269,4	12.197.184,8
Αποσβέσεις	1.334.352,27	1.272.738,49	1.229.247,21	1.168.794,96	1.136.673,32	1.131.860,23
Λειτουργικά	602.835,5	595.760,44	596.252,2	589.132,88	636.517,03	582.326,42
Κόστος νερού	1,167	1,124	1,101	1,058	1,071	1,030
Τιμή πώλησης	1,225	1,180	1,156	1,110	1,125	1,082
Προβλεπόμενες ταμειακές ροές	2.762.826,89	2.636.171,00	2.547.352,66	2.422.912,99	2.395.770,74	2.346.856,48
Κριτήριο Περιόδου Αποπληρωμής	5 χρόνια 2 μήνες	5 χρόνια 2 μήνες	5 χρόνια 2 μήνες	5 χρόνια 3 μήνες	5 χρόνια 4 μήνες	5 χρόνια 2 μήνες
ΚΠΑ	1.169.623,01	1.105.029,61	1.043.225,20	780.309,40	745.501,38	946.176,45
ΔΑ	1,08	1,08	1,08	1,06	1,06	1,08
ΕΣΑ	14%	14%	14%	14%	14%	14%
Νεκρό σημείο	1.915.432,55	1.846.577,99	1.803.440,92	1.735.693,32	1.750.965,77	1.691.819,50

Πίνακας 7.1.2 Αποτελέσματα συνδυασμού Siemens SP75 – Vestas 660

	Siemens SP75					
	Vestas 660					
Ύψη Α/Γ σε m	40	45	50	55	60	65
Α/Γ	10	9	9	8	8	7
Φ/β	-	-	-	-	48	52
Δεξαμενή	15	15	15	15	15	15
Μεμβράνες	10	10	8	9	7	8
<i>1^η εναλλακτική</i>						
Αρχικό Κόστος	13.834.025	13.230.564	12.791.120	12.424.578	12.038.107,5	11.642.455,9
Αποσβέσεις	1309.750,5	1.250.236,76	1.206.385,8	1.170.493,52	1.131.861,67	1.093.098,16
Λειτουργικά	602.835,5	595.760,44	596.252,2	589.132,88	614.917,03	609.512,37
Κόστος νερού	1,185	1,144	1,117	1,091	1,083	1,055
Τιμή πώλησης	1,245	1,201	1,173	1,145	1,136	1,108
Προβλεπόμενες ταμειακές ροές	2.715.130,3	2.592.773,38	2.502.903,5	2.428.968,36	2.351.062,28	2.271.326,84
Κριτήριο Περιόδου Αποπληρωμής	5 χρόνια 1 μήνας	5 χρόνια 1 μήνας	5 χρόνια 1 μήνας	5 χρόνια 1 μήνας	5 χρόνια 1 μήνας	5 χρόνια 2 μήνες
ΚΠΑ	1.345.595,31	1.267.128,45	1.206.109,82	1.160.388,36	1.112.427,42	1.063.435,04
ΔΑ	1,10	1,10	1,09	1,09	1,09	1,09
ΕΣΑ	15%	15%	15%	15%	14%	14%
Νεκρό σημείο	1.890.168,68	1.823.388,71	1.779.943,89	1.737.767,27	1.723.924,94	1.679.575,67
<i>2^η εναλλακτική</i>						
Αρχικό Κόστος	14.300.610,3	13.657.320,9	13.224.698,4	12.816.052,2	12.439.899,5	12.000.222,5
Αποσβέσεις	1.334.352,27	1.272.738,49	1.229.247,21	1.168.794,96	1.130.988,53	1.088.702,99
Λειτουργικά	602.835,5	595.760,44	596.252,2	589.132,88	614.917,03	609.512,37
Κόστος νερού	1,167	1,124	1,101	1,058	1,054	1,023
Τιμή πώλησης	1,225	1,180	1,156	1,110	1,107	1,074
Προβλεπόμενες ταμειακές ροές	2.762.826,89	2.636.171,00	2.547.352,66	2.422.912,99	2.347.036,91	2.259.925,27
Κριτήριο Περιόδου Αποπληρωμής	5 χρόνια 2 μήνες	5 χρόνια 2 μήνες	5 χρόνια 2 μήνες	5 χρόνια 3 μήνες	5 χρόνια 4 μήνες	5 χρόνια 4 μήνες
ΚΠΑ	1.169.623,01	1.105.029,61	1.043.225,20	780.309,40	733.377,23	686.481,46
ΔΑ	1,08	1,08	1,08	1,06	1,06	1,06
ΕΣΑ	14%	14%	14%	14%	14%	14%
Νεκρό σημείο	1.915.432,55	1.846.577,99	1.803.440,92	1.735.693,32	1.723.599,79	1.675.775,31

Πίνακας 7.1.3 Αποτελέσματα συνδυασμού Siemens SM55 – Vestas 850

	Siemens SM55				
	Vestas 850				
Ύψη Α/Γ σε m	44	49	55	60	65
Α/Γ	9	8	7	7	6
Φ/β	-	-	37	-	-
Δεξαμενή	15	15	15	15	15
Μεμβράνες	8	9	9	8	10
<i>1^η εναλλακτική</i>					
Αρχικό Κόστος	13.640.544,5	13.179.506	12.482.347	12.249.327,5	11.999.949
Αποσβέσεις	1.290.156,63	1.244.945,04	1.176.384,44	1.152.953,85	1.128.872,66
Λειτουργικά	606.210,97	597.983,76	606.716,48	589.900,15	581.332,54
Κόστος νερού	1,175	1,142	1,105	1,080	1,060
Τιμή πώλησης	1,234	1,199	1,160	1,134	1,113
Προβλεπόμενες ταμειακές ροές	2.675.131,64	2.582.036,52	2.441.923,93	2.393.050,40	2.343.255,58
Κριτήριο Περιόδου Αποπληρωμής	5 χρόνια 1 μήνας	5 χρόνια 1 μήνας	5 χρόνια 1 μήνας	5 χρόνια 1 μήνας	5 χρόνια 1 μήνας
ΚΠΑ	1.316.558,84	1.258.550,18	1.172.381,96	1.135.661,59	1.107.113,96
ΔΑ	1,10	1,10	1,09	1,09	1,09
ΕΣΑ	15%	15%	15%	14%	14%
Νεκρό σημείο	1.873.952,44	1.820.335,01	1.760.319,71	1.719.962,17	1.687.148,27
<i>2^η εναλλακτική</i>					
Αρχικό Κόστος	14.130.184,9	13.620.805,5	12.879.766	12.647.147,6	12.345.485,3
Αποσβέσεις	1.315.974,03	1.268.213,56	1.197.233,81	1.173.929,82	1.147.091,86
Λειτουργικά	606.210,97	597.983,76	606.716,48	589.900,15	581.332,54
Κόστος νερού	1,161	1,124	1,086	1,063	1,037
Τιμή πώλησης	1,219	1,181	1,140	1,116	1,089
Προβλεπόμενες ταμειακές ροές	2.725.645,17	2.627.145,25	2.482.096,56	2.433.622,43	2.377.858,63
Κριτήριο Περιόδου Αποπληρωμής	5 χρόνια 2 μήνες	5 χρόνια 2 μήνες	5 χρόνια 2 μήνες	5 χρόνια 2 μήνες	5 χρόνια 2 μήνες
ΚΠΑ	1.134.212,67	1.092.099,20	1.021.993,87	985.144,53	973.166,29
ΔΑ	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08
ΕΣΑ	14%	14%	14%	14%	14%
Νεκρό σημείο	1.900.369,45	1.844.262,02	1.781.845,47	1.741.601,20	1.706.120,71

Πίνακας 7.1.4 Αποτελέσματα συνδυασμού Siemens SP75 – Vestas 850

	Siemens SP75				
	Vestas 850				
Ύψη Α/Γ σε m	44	49	55	60	65
Α/Γ	8	8	7	7	6
Φ/β	75	99	18	-	-
Δεξαμενή	15	15	15	15	15
Μεμβράνες	10	8	9	8	10
<i>1^η εναλλακτική</i>					
Αρχικό Κόστος	13.459.748,8	13.041.049,6	12.464.409,5	12.249.327,5	11.999.949
Αποσβέσεις	1.272.831,05	1.231.023,36	1.174.419,79	1.152.953,85	1.128.872,66
Λειτουργικά	636.996,37	650.067,00	598.851,62	589.900,15	581.332,54
Κόστος νερού	1,184	1,166	1,099	1,080	1,060
Τιμή πώλησης	1,243	1,224	1,154	1,134	1,113
Προβλεπόμενες ταμειακές ροές	2.641.153,46	2.556.101,24	2.437.503,16	2.393.050,40	2.343.255,58
Κριτήριο Περιόδου Αποπληρωμής	5 χρόνια 1 μήνας	5 χρόνια 1 μήνας	5 χρόνια 1 μήνας	5 χρόνια 1 μήνας	5 χρόνια 1 μήνας
ΚΠΑ	1.306.568,98	1.251.332,57	1.167.881,20	1.135.661,59	1.107.113,96
ΔΑ	1,10	1,10	1,09	1,09	1,09
ΕΣΑ	15%	15%	15%	14%	14%
Νεκρό σημείο	1.887.402,51	1.858.632,09	1.750.457,89	1.719.962,17	1.687.148,27
<i>2^η εναλλακτική</i>					
Αρχικό Κόστος	13.901.631,9	13.491.123,4	12.858.512,7	12.647.147,6	12.345.485,3
Αποσβέσεις	1.296.130,34	1.254.754,53	1.195.199,78	1.173.929,82	1.147.091,86
Λειτουργικά	636.996,37	650.067,00	598.851,62	589.900,15	581.332,54
Κόστος νερού	1,164	1,151	1,080	1,063	1,037
Τιμή πώλησης	1,222	1,208	1,134	1,116	1,089
Προβλεπόμενες ταμειακές ροές	2.686.192,59	2.602.342,43	2.477.533,56	2.433.622,43	2.377.858,63
Κριτήριο Περιόδου Αποπληρωμής	5 χρόνια 2 μήνες	5 χρόνια 2 μήνες	5 χρόνια 2 μήνες	5 χρόνια 2 μήνες	5 χρόνια 2 μήνες
ΚΠΑ	1.139.245,75	1.082.760,48	1.017.950,41	985.144,53	973.166,29
ΔΑ	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08
ΕΣΑ	14%	14%	14%	14%	14%
Νεκρό σημείο	1.911.359,42	1.882.963,42	1.771.919,14	1.741.601,20	1.706.120,71

Πίνακας 7.1.5 Αποτελέσματα συνδυασμού Siemens SM55 – Vestas 2000

	Siemens SM55			
	Vestas 2000			
Υψη Α/Γ σε m	60	67	78	100
Α/Γ	3	3	2	2
φ/β	-	32	-	-
Δεξαμενή	15	15	15	15
Μεμβράνες	4	3	8	4
<i>1^η εναλλακτική</i>				
Αρχικό Κόστος	9.346.776	9.172.505,82	9.111.571	8.127.094
Αποσβέσεις	865.676,84	848.245,60	843.506,14	745.390,96
Λειτουργικά	567.157,96	582.412,20	553.112,66	552.858,24
Κόστος νερού	0,888	0,887	0,866	0,805
Τιμή πώλησης	0,932	0,931	0,909	0,845
Προβλεπόμενες ταμειακές ροές	1.802.995,42	1.768.024,09	1.756.843,22	1.555.694,38
Κριτήριο Περιόδου Αποπληρωμής	5 χρόνια 2 μήνες	5 χρόνια 2 μήνες	5 χρόνια 2 μήνες	5 χρόνια 3 μήνες
ΚΠΑ	750.491,29	729.664,85	727.665,20	591.898,40
ΔΑ	1,08	1,08	1,08	1,07
ΕΣΑ	14%	14%	14%	14%
Νεκρό σημείο	1.408.673,91	1.406.512,12	1.372.132,31	1.273.213,02
<i>2^η εναλλακτική</i>				
Αρχικό Κόστος	9.624.677,32	9.456.817,71	9.302.299,19	8.324.496,30
Αποσβέσεις	880.329,82	863.236,59	853.562,72	755.799,45
Λειτουργικά	567.157,96	582.412,20	553.112,66	552.858,24
Κόστος νερού	0,875	0,876	0,842	0,789
Τιμή πώλησης	0,919	0,920	0,884	0,829
Προβλεπόμενες ταμειακές ροές	1.831.273,77	1.797.167,42	1.775.042,32	1.575.271,29
Κριτήριο Περιόδου Αποπληρωμής	5 χρόνια 3 μήνες	5 χρόνια 3 μήνες	5 χρόνια 3 μήνες	5 χρόνια 3 μήνες
ΚΠΑ	645.024,94	622.838,42	649.183,75	514.408,79
ΔΑ	1,07	1,07	1,07	1,06
ΕΣΑ	14%	14%	14%	14%
Νεκρό σημείο	1.423.958,41	1.422.083,15	1.383.037,33	1.284.326,5

Πίνακας 7.1.6 Αποτελέσματα συνδυασμού Siemens SP75 – Vestas 2000

	Siemens SP75			
	Vestas 2000			
Ύψη Α/Γ σε m	60	67	78	100
A/Γ	3	2	2	2
Φ/β	-	75	-	-
Δεξαμενή	15	15	15	15
Μεμβράνες	4	10	8	4
1^η εναλλακτική				
Αρχικό Κόστος	9.346.776	9727.779,86	9.111.571	8.127.094
Αποσβέσεις	865.676,84	904.813,79	843.506,14	745.390,96
Λειτουργικά	567.157,96	592.969,43	553.112,66	552.858,24
Κόστος νερού	0,888	0,928	0,866	0,805
Τιμή πώλησης	0,932	0,975	0,909	0,845
Προβλεπόμενες ταμειακές ροές	1.802.995,42	1884526,73	1.756.843,22	1.555.694,38
Κριτήριο Περιόδου Αποπληρωμής	5 χρόνια 2 μήνες	5 χρόνια 2 μήνες	5 χρόνια 2 μήνες	5 χρόνια 3 μήνες
ΚΠΑ	750.491,29	821.571,41	727.665,20	591.898,40
ΔΑ	1,08	1,08	1,08	1,07
ΕΣΑ	14%	14%	14%	14%
Νεκρό σημείο	1.408.673,91	1.473.809,50	1.372.132,31	1.273.213,02
2^η εναλλακτική				
Αρχικό Κόστος	9.624.677,32	9.923.353,04	9.302.299,19	8.324.496,30
Αποσβέσεις	880.329,82	915.125,83	853.562,72	755.799,45
Λειτουργικά	567.157,96	592.969,43	553.112,66	552.858,24
Κόστος νερού	0,875	0,901	0,842	0,789
Τιμή πώλησης	0,919	0,946	0,884	0,829
Προβλεπόμενες ταμειακές ροές	1.831.273,77	1.902.931,23	1.775.042,32	1.575.271,29
Κριτήριο Περιόδου Αποπληρωμής	5 χρόνια 3 μήνες	5 χρόνια 3 μήνες	5 χρόνια 3 μήνες	5 χρόνια 3 μήνες
ΚΠΑ	645.024,94	739.850,76	649.183,75	514.408,79
ΔΑ	1,07	1,07	1,07	1,06
ΕΣΑ	14%	14%	14%	14%
Νεκρό σημείο	1.423.958,41	1.484.986,05	1.383.037,33	1.284.326,55

Πίνακας 7.1.7 Αποτελέσματα συνδυασμού Siemens SM55 – SP75 – NegMicon 600

	Siemens SM55			SIEMENS SP75		
	NegMicon 600					
Υψη Α/Γ σε m	40	46	56	40	46	56
Α/Γ	10	9	8	10	9	8
φ/β	38	19	-	18	9	66
Δεξαμενή	15	15	15	15	15	15
Μεμβράνες	10	10	10	10	10	9
1 ^η εναλλακτική						
Αρχικό Κόστος	13.571.586,1	12.999.201,5	12.463.282	13.552.186,5	12.986.906,7	12.300.811,1
Αποσβέσεις	1.283.873,29	1.227.428,54	1.174.566,88	1.281.964,18	1.226.214,49	1.158.308,43
Λειτουργικά	617.026,97	601.626,40	586.764,72	608.691,84	597.458,83	621.366,88
Κόστος νερού	1,178	1,134	1,092	1,172	1,130	1,103
Τιμή πώλησης	1,237	1,190	1,146	1,230	1,187	1,158
Προβλεπόμενες ταμειακές ροές	2.662.791,60	2.546.309,82	2.437.200,34	2.658.461,15	2543612,62	2.405.600,62
Κριτήριο Περιόδου Αποπληρωμής	5 χρόνια 1 μήνας	5 χρόνια 1 μήνας	5 χρόνια 1 μήνας	5 χρόνια 1 μήνας	5 χρόνια 1 μήνας	5 χρόνια 1 μήνας
ΚΠΑ	1.315.875,25	1.239.300,73	1.167.360,26	1.311.349,88	1.236.671,28	1.153.007,99
ΔΑ	1,10	1,10	1,09	1,10	1,10	1,09
ΕΣΑ	15%	15%	15%	15%	15%	15%
Νεκρό σημείο	1.878.450,60	1.806.395,03	1.738.453,74	1.868.177,58	1.800.996,82	1.756.882,89
2 ^η εναλλακτική						
Αρχικό Κόστος	14.020.850,5	13.410.688,5	12.839.398,3	14.000.170,5	13.397.582,3	12.684.116,7
Αποσβέσεις	1.307.561,78	1.249.125,12	1.194.398,47	1.305.585,15	1.247.868,28	1.178.519,09
Λειτουργικά	617.026,97	601.626,40	586.764,72	608.691,84	597.458,83	621.366,88
Κόστος νερού	1,159	1,113	1,070	1,153	1,110	1,084
Τιμή πώλησης	1,217	1,169	1,123	1,210	1,165	1,138
Προβλεπόμενες ταμειακές ροές	2.708.626,41	2.588.056,70	2.475.104,23	2.704.157,57	2.585.271,79	2.444.465,43
Κριτήριο Περιόδου Αποπληρωμής	5 χρόνια 2 μήνες	5 χρόνια 2 μήνες	5 χρόνια 2 μήνες	5 χρόνια 2 μήνες	5 χρόνια 2 μήνες	5 χρόνια 2 μήνες
ΚΠΑ	1.145.975,72	1.082.598,04	1.022.761,23	1.141.895,36	1.080.160,62	1.006.837,64
ΔΑ	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08
ΕΣΑ	14%	14%	14%	14%	14%	14%
Νεκρό σημείο	1.902.802,17	1.828.785,68	1.759.015,01	1.892.466,26	1.823.347,31	1.777.769,57

Πίνακας 7.1.8 Αποτελέσματα συνδυασμού Siemens SM55 – SP75 – NegMicon 1500

	Siemens SM55			SIEMENS SP75		
	NegMicon 1500					
Ύψη Α/Γ σε m	60	68	80	60	68	80
Α/Γ	4	4	3	4	4	3
φ/β	-	-	-	85	-	79
Δεξαμενή	15	15	15	15	15	15
Μεμβράνες	8	6	9	7	6	8
1 ^η εναλλακτική						
Αρχικό Κόστος	10.926.478	10.457.222	10.159.591	10.794.281,5	10.457.222	10.019.337,3
Αποσβέσεις	1.022.493,52	975.702,48	947.118,94	1.009.225,27	975.702,48	933.056,73
Λειτουργικά	574.390,88	574.533,12	562.577,86	619.057,91	574.533,12	604.066,51
Κόστος νερού	0,990	0,961	0,936	1,009	0,961	0,953
Τιμή πώλησης	1,039	1,009	0,982	1,060	1,009	1,000
Προβλεπόμενες ταμειακές ροές	2.124.831,26	2.028.916,74	1.969.722,72	2.099.864,70	2.028.916,74	1.942.969,63
Κριτήριο Περιόδου Αποπληρωμής	5 χρόνια 2 μήνες	5 χρόνια 2 μήνες	5 χρόνια 2 μήνες	5 χρόνια 2 μήνες	5 χρόνια 2 μήνες	5 χρόνια 2 μήνες
ΚΠΑ	963.654,03	898.759,01	865.876,49	955.734,27	898.759,01	856.137,86
ΔΑ	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09
ΕΣΑ	14%	14%	14%	14%	14%	14%
Νεκρό σημείο	1.573.429,36	1.526.623,92	1.485.810,24	1.604.985,78	1.526.623,92	1.513.397,22
2 ^η εναλλακτική						
Αρχικό Κόστος	11.236.990,1	10.772.587,9	10.401.576,1	11.113.980,9	10.772.587,9	10.269.978,1
Αποσβέσεις	1.038.865,97	992.330,87	959.878,16	1.026.082,15	992.330,87	946.272,34
Λειτουργικά	574.390,88	574.533,12	562.577,86	619.057,91	574.533,12	604.066,51
Κόστος νερού	0,970	0,945	0,911	0,992	0,945	0,931
Τιμή πώλησης	1,018	0,993	0,957	1,041	0,993	0,978
Προβλεπόμενες ταμειακές ροές	2.155.964,84	2.060.921,30	1.993.280,85	2.132.170,94	2.060.921,30	1.967.653,06
Κριτήριο Περιόδου Αποπληρωμής	5 χρόνια 3 μήνες	5 χρόνια 3 μήνες	5 χρόνια 3 μήνες	5 χρόνια 3 μήνες	5 χρόνια 3 μήνες	5 χρόνια 3 μήνες
ΚΠΑ	843.475,10	778.640,20	768.665,39	833.268,18	778.640,20	756.875,50
ΔΑ	1,08	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07
ΕΣΑ	14%	14%	14%	14%	14%	14%
Νεκρό σημείο	1.590.533,96	1.543.916,56	1.499.396,58	1.622.508,47	1.543.916,56	1.527.366,00

Πίνακας 7.1.9 Αποτελέσματα συνδυασμού Siemens SM55 – Enercon 850

	Siemens SM55				
	Enercon 850				
Ύψη Α/Γ σε m	70	75	80	85	90
Α/Γ	3	3	3	3	3
Φ/β	-	-	-	-	-
Δεξαμενή	15	14	13	15	14
Μεμβράνες	2	2	2	1	1
<i>1^η εναλλακτική</i>					
Αρχικό Κόστος	7.176.597,50	7.137.679,50	7.098.805,00	7.008.597,00	6.969.722,50
Αποσβέσεις	651.139,65	648.667,73	646.200,10	634.314,98	631.847,35
Λειτουργικά	547.358,35	547.762,27	548.166,7	548.210,62	548.615,05
Κόστος νερού	0,743	0,742	0,740	0,733	0,733
Τιμή πώλησης	0,780	0,779	0,777	0,770	0,768
Προβλεπόμενες ταμειακές ροές	1.362.204,2	1.357.156,96	1.352.118,54	1.327.756,24	1.322.717,82
Κριτήριο Περιόδου Αποπληρωμής	5 χρόνια 3 μήνες	5 χρόνια 3 μήνες	5 χρόνια 3 μήνες	5 χρόνια 3 μήνες	5 χρόνια 3 μήνες
ΚΠΑ	464.428,61	473.714,29	483.005,64	440.644,54	449.935,88
ΔΑ	1,06	1,07	1,07	1,06	1,06
ΕΣΑ	14%	14%	14%	14%	14%
Νεκρό σημείο	1.172.694,67	1.170.607,45	1.168.524,98	1.156.603,25	1.154.520,17
<i>2^η εναλλακτική</i>					
Αρχικό Κόστος	7.347.091,84	7.310.447,67	7.273.849,87	7.185.915,70	7.149.317,91
Αποσβέσεις	660.129,35	657.777,32	655.429,74	643.664,51	641.316,93
Λειτουργικά	547.358,35	547.762,27	548.166,70	548.210,62	548.615,05
Κόστος νερού	0,731	0,729	0,728	0,723	0,721
Τιμή πώλησης	0,767	0,767	0,764	0,759	0,757
Προβλεπόμενες ταμειακές ροές	1.379.201,51	1.374.386,68	1.369.571,79	1.345.625,06	1.340.819,14
Κριτήριο Περιόδου Αποπληρωμής	5 χρόνια 4 μήνες	5 χρόνια 4 μήνες	5 χρόνια 4 μήνες	5 χρόνια 4 μήνες	5 χρόνια 4 μήνες
ΚΠΑ	397.950,29	406.378,21	414.764,47	372.469,64	380.901,13
ΔΑ	1,05	1,06	1,06	1,05	1,05
ΕΣΑ	13%	14%	14%	13%	13%
Νεκρό σημείο	1.182.336,21	1.180.377,01	1.178.426,43	1.166.566,56	1.164.611,83

Πίνακας 7.1.10 Αποτελέσματα συνδυασμού Siemens SP75 – Enercon850

	Siemens SP75				
	Enercon 850				
Ύψη Α/Γ σε m	70	75	80	85	90
Α/Γ	3	3	3	3	3
Φ/β	-	-	-	-	-
Δεξαμενή	15	14	13	15	14
Μεμβράνες	2	2	2	1	1
<i>1^η εναλλακτική</i>					
Αρχικό Κόστος	7.176.597,50	7.137.679,50	7.098.805,00	7.008.597,00	6.969.722,50
Αποσβέσεις	651.139,65	648.667,73	646.200,10	634.314,98	631.847,35
Λειτουργικά	547.358,35	547.762,27	548.166,7	548.210,62	548.615,05
Κόστος νερού	0,743	0,742	0,740	0,733	0,733
Τιμή πώλησης	0,780	0,779	0,777	0,770	0,768
Προβλεπόμενες ταμειακές ροές	1.362.204,2	1.357.156,96	1.352.118,54	1.327.756,24	1.322.717,82
Κριτήριο Περιόδου Αποπληρωμής	5 χρόνια 3 μήνες	5 χρόνια 3 μήνες	5 χρόνια 3 μήνες	5 χρόνια 3 μήνες	5 χρόνια 3 μήνες
ΚΠΑ	464.428,61	473.714,29	483.005,64	440.644,54	449.935,88
ΔΑ	1,06	1,07	1,07	1,06	1,06
ΕΣΑ	14%	14%	14%	14%	14%
Νεκρό σημείο	1.172.694,67	1.170.607,45	1.168.524,98	1.156.603,25	1.154.520,17
<i>2^η εναλλακτική</i>					
Αρχικό Κόστος	7.347.091,84	7.310.447,67	7.273.849,87	7.185.915,70	7.149.317,91
Αποσβέσεις	660.129,35	657.777,32	655.429,74	643.664,51	641.316,93
Λειτουργικά	547.358,35	547.762,27	548.166,70	548.210,62	548.615,05
Κόστος νερού	0,731	0,729	0,728	0,723	0,721
Τιμή πώλησης	0,767	0,767	0,764	0,759	0,757
Προβλεπόμενες ταμειακές ροές	1.379.201,51	1.374.386,68	1.369.571,79	1.345.625,06	1.340.819,14
Κριτήριο Περιόδου Αποπληρωμής	5 χρόνια 4 μήνες	5 χρόνια 4 μήνες	5 χρόνια 4 μήνες	5 χρόνια 4 μήνες	5 χρόνια 4 μήνες
ΚΠΑ	397.950,29	406.378,21	414.764,47	372.469,64	380.901,13
ΔΑ	1,05	1,06	1,06	1,05	1,05
ΕΣΑ	13%	14%	14%	13%	13%
Νεκρό σημείο	1.182.336,21	1.180.377,01	1.178.426,43	1.166.566,56	1.164.611,83

Πίνακας 7.1.11 Αποτελέσματα συνδυασμού Siemens SM55 – Enercon 1500

	Siemens SM55					
	Enercon 1500					
Ύψη Α/Γ σε m	67	75	80	85	90	98
Α/Γ	2	2	2	2	2	2
Φ/β	-	-	-	-	-	-
Δεξαμενή	15	13	15	13	12	11
Μεμβράνες	2	2	1	1	1	1
<i>1^η εναλλακτική</i>						
Αρχικό Κόστος	6.945.715,00	6.835.746,00	6.734.054,00	6.610.311,00	6.559.909,00	6.523.311,00
Αποσβέσεις	628.369,76	620.257,04	607.239,36	597.768,14	594.163,66	591.920,54
Λειτουργικά	544.651,44	545.082,56	544.991,84	545.261,46	545.530,74	545.961,86
Κόστος νερού	0,727	0,722	0,714	0,708	0,706	0,705
Τιμή πώλησης	0,763	0,758	0,750	0,744	0,742	0,740
Προβλεπόμενες ταμειακές ροές	1.315.390,58	1.298.781,06	1.272.090,28	1.252.687,76	1.245.312,04	1.240.735,2
Κριτήριο Περιόδου Αποπληρωμής	5 χρόνια 3 μήνες	5 χρόνια 3 μήνες	5 χρόνια 4 μήνες	5 χρόνια 3 μήνες	5 χρόνια 3 μήνες	5 χρόνια 3 μήνες
ΚΠΑ	434.407,27	448.800,58	404.946,24	417.548,42	425.340,86	434.928,21
ΔΑ	1,06	1,07	1,06	1,06	1,06	1,07
ΕΣΑ	14%	14%	14%	14%	14%	14%
Νεκρό σημείο	1.146.974,28	1.139.216,20	1.126.006,56	1.116.708,51	1.113.337,79	1.111.506,36
<i>2^η εναλλακτική</i>						
Αρχικό Κόστος	7.100.970,02	6.993.428,98	6.893.252,86	6.771.027,67	6.722.141,55	6.687.970,51
Αποσβέσεις	636.555,99	628.571,23	615.633,48	606.242,29	602.717,74	600.602,59
Λειτουργικά	544.651,44	545.082,56	544.991,84	545.261,46	545.530,74	545.961,86
Κόστος νερού	0,714	0,709	0,703	0,697	0,695	0,694
Τιμή πώλησης	0,750	0,745	0,738	0,732	0,730	0,729
Προβλεπόμενες ταμειακές ροές	1.330.735,21	1.314.355,76	1.288.000,00	1.268.735,82	1.261.520,57	1.257.185,76
Κριτήριο Περιόδου Αποπληρωμής	5 χρόνια 4 μήνες	5 χρόνια 4 μήνες	5 χρόνια 4 μήνες	5 χρόνια 4 μήνες	5 χρόνια 4 μήνες	5 χρόνια 4 μήνες
ΚΠΑ	373.197,07	386.584,12	343.066,44	355.011,34	362.259,86	370.901,26
ΔΑ	1,05	1,06	1,05	1,05	1,05	1,06
ΕΣΑ	13%	13%	13%	13%	13%	13%
Νεκρό σημείο	1.155.829,95	1.148.221,37	1.135.031,94	1.125.833,87	1.122.548,38	1.120.856,57

Πίνακας 7.1.12 Αποτελέσματα συνδυασμού Siemens SP75 – Enercon 1500

	Siemens SP75					
	Enercon 1500					
Ύψη Α/Γ σε m	67	75	80	85	90	98
Α/Γ	2	2	2	2	2	2
Φ/β	-	-	-	-	-	27
Δεξαμενή	15	13	15	13	12	10
Μεμβράνες	2	2	1	1	1	1
<i>1^η εναλλακτική</i>						
Αρχικό Κόστος	6.945.714,00	6.835.746,00	6.734.054,00	6.610.311,00	6.559.909,00	6.486.198,35
Αποσβέσεις	628.369,76	620.257,04	607.239,36	597.768,14	594.163,66	589.623,76
Λειτουργικά	544.651,44	545.082,56	544.991,84	545.261,46	545.530,74	560.264,56
Κόστος νερού	0,727	0,722	0,714	0,708	0,706	0,713
Τιμή πώλησης	0,763	0,758	0,750	0,744	0,742	0,748
Προβλεπόμενες ταμειακές ροές	1.315.390,58	1.298.781,06	1.272.090,28	1.252.687,76	1.245.312,04	1.236.741,93
Κριτήριο Περιόδου Αποπληρωμής	5 χρόνια 3 μήνες	5 χρόνια 3 μήνες	5 χρόνια 4 μήνες	5 χρόνια 3 μήνες	5 χρόνια 3 μήνες	5 χρόνια 3 μήνες
ΚΠΑ	434.407,27	448.800,58	404.946,24	417.548,42	425.340,86	447.919,07
ΔΑ	1,06	1,07	1,06	1,06	1,06	1,07
ΕΣΑ	14%	14%	14%	14%	14%	14%
Νεκρό σημείο	1.146.974,28	1.139.216,20	1.126.006,56	1.116.708,51	1.113.337,79	1.123.639,33
<i>2^η εναλλακτική</i>						
Αρχικό Κόστος	7.100.970,02	6.993.428,98	6.893.252,86	6.771.027,67	6.722.141,55	6.653.250,84
Αποσβέσεις	636.555,99	628.571,23	615.633,48	606.242,29	602.717,74	598.431,98
Λειτουργικά	544.651,44	545.082,56	544.991,84	545.261,46	545.530,74	560.264,56
Κόστος νερού	0,714	0,709	0,703	0,697	0,695	0,701
Τιμή πώλησης	0,750	0,745	0,738	0,732	0,730	0,736
Προβλεπόμενες ταμειακές ροές	1.330.735,21	1.314.355,76	1.288.000,00	1.268.735,82	1.261.520,57	1.253.437,92
Κριτήριο Περιόδου Αποπληρωμής	5 χρόνια 4 μήνες	5 χρόνια 4 μήνες	5 χρόνια 4 μήνες	5 χρόνια 4 μήνες	5 χρόνια 4 μήνες	5 χρόνια 4 μήνες
ΚΠΑ	373.197,07	386.584,12	343.066,44	355.011,34	362.259,86	382.993,72
ΔΑ	1,05	1,06	1,05	1,05	1,05	1,06
ΕΣΑ	13%	13%	13%	13%	13%	14%
Νεκρό σημείο	1.155.829,95	1.148.221,37	1.135.031,94	1.125.833,87	1.122.548,38	1.133.111,24

7.2 Μελέτη των Αποτελεσμάτων

Εξετάζοντας τα παραπάνω αποτελέσματα, παρατηρείται ότι η τιμή πώλησης του νερού δεν είναι σταθερή για όλους του συνδυασμούς και ο στόχος της εργασίας αυτής είναι η εκτίμηση του κόστους παραγωγής του νερού. Γι' αυτό το λόγο, είναι σκόπιμο να γίνει μία ταξινόμηση των συνδυασμών με βάση την τιμή πώλησης του νερού. Έτσι, συνοψίζοντας τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στους παραπάνω πίνακες με βάση την τιμή πώλησης του νερού έχουμε τον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 7.2.1 Σύνοψη αποτελεσμάτων με βάση την τιμή πώλησης

Συνδυασμοί	Τιμή Πώλησης €/m ³	Χρόνος Αποπληρωμής	ΚΠΑ	ΔΑ	ΕΣΑ	Νεκρό Σημείο
Enercon1500(98m)- Siemens SM55 (2 ^η εναλλακτική)	0,729	5 χρόνια 4 μήνες	370.901,26	1,06	13%	1.120.856,57
Enercon1500(90m)- Siemens SM55 (2 ^η εναλλακτική)	0,73	5 χρόνια 4 μήνες	362.259,86	1,05	13%	1.122.548,38
Enercon1500(90m)- Siemens SP75 (2 ^η εναλλακτική)	0,73	5 χρόνια 4 μήνες	362.259,86	1,05	13%	1.122.548,38
Enercon1500(85m)- Siemens SM55 (2 ^η εναλλακτική)	0,732	5 χρόνια 4 μήνες	355.011,34	1,05	13%	1.125.833,87
Enercon1500(85m)- Siemens SP75 (2 ^η εναλλακτική)	0,732	5 χρόνια 4 μήνες	355.011,34	1,05	13%	1.125.833,87

Λόγω των πολλών αποτελεσμάτων δεν είναι εφικτή η παρουσίαση όλων των συνδυασμών. Παρουσιάζονται επομένως οι πρώτοι πέντε συνδυασμοί που δίνουν τη μικρότερη τιμή πώλησης νερού. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η μεγαλύτερη τιμή πώλησης φτάνει τα 1,245 €/m³, και δίνεται από το συνδυασμό Vestas 660 – Siemens SM55 (1^η εναλλακτική).

Όσον αφορά την αποδοτικότητα των παραπάνω συνδυασμών, παρατηρείται ότι ο πρώτος συνδυασμός συγκριτικά με τους άλλους τέσσερις είναι αποδοτικότερος όσον αφορά την ΚΠΑ και το δείκτη αποδοτικότητας. Ο χρόνος αποπληρωμής και ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης είναι ίδιοι με τους υπόλοιπους τέσσερις. Και τέλος το νεκρό σημείο του πρώτου συνδυασμού είναι μικρότερο σε σχέση με τους παραπάνω συνδυασμούς, γεγονός που δηλώνει ότι αφού καλυφθεί το συγκεκριμένο ποσό η επιχείρηση έχει κέρδος και το οποίο καλύπτεται από το πρώτο έτος λειτουργίας, σύμφωνα με τις προβλεπόμενες ταμειακές ροές.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι η δεύτερη εναλλακτική, δηλαδή η πώληση και της πλεονάζουσας ενέργειας μειώνει το κόστος παραγωγής νερού και κατά συνέπεια την τιμή πώλησης του. Επομένως, ο επενδυτής θα πρέπει να κάνει τις απαιτούμενες εγκαταστάσεις, ούτως ώστε να συνδεθεί με το δίκτυο διανομής.

Η κατάταξη των αποτελεσμάτων ως προς την Καθαρή Παρούσα Αξία της επένδυσης δίνει τα ακόλουθα αποτελέσματα:

Πίνακας 7.2.2 Σύνοψη αποτελεσμάτων με βάση την ΚΠΑ

Συνδυασμοί	Τιμή Πώλησης €/m³	Χρόνος Αποπληρωμής	ΚΠΑ	ΔΑ	ΕΣΑ	Νεκρό Σημείο
Vestas660 (40m)- Siemens SM55 (1 ^η εναλλακτική)	1,245	5 χρόνια 1 μήνας	1.345.595,3	1,10	15%	1.890.168,68
Vestas660 (40m)- Siemens SP75 (1 ^η εναλλακτική)	1,245	5 χρόνια 1 μήνας	1.345.595,3	1,10	15%	1.890.168,68
Vestas850 (44m)- Siemens SP75 (1 ^η εναλλακτική)	1,234	5 χρόνια 1 μήνας	1.316.558,8	1,10	15%	1.873.952,44
NegMicon600(40m)- Siemens SM55 (1 ^η εναλλακτική)	1,237	5 χρόνια 1 μήνας	1.315.875,3	1,10	15%	1.878.450,60
NegMicon600(40m)- Siemens SP75 (1 ^η εναλλακτική)	1,230	5 χρόνια 1 μήνας	1.311.349,9	1,10	15%	1.868.177,58

Όπως ήταν αναμενόμενο την μεγαλύτερη ΚΠΑ έχει ο συνδυασμός που δίνει τη μεγαλύτερη τιμή πώλησης του νερού και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι προβλεπόμενες ταμειακές ροές εξαρτώνται από την τιμή πώλησης του νερού. Παρατηρείται, επίσης, ότι με βάση αυτή την κατάταξη προτιμάται η πρώτη εναλλακτική, το οποίο είναι επίσης αναμενόμενο, αφού το κόστος εγκατάστασης καλωδίων για τη μεταφορά της πλεονάζουσας ενέργειας στο κεντρικό δίκτυο είναι μεγαλύτερο από τα έσοδα πώλησης του ρεύματος.

Κεφάλαιο 8

Συμπεράσματα

8. Συμπεράσματα

Το πρόβλημα της έλλειψης του νερού δεν περιορίζεται μόνο σε μερικές χώρες. Στην περιοχή της Μεσογείου μόνο, περίπου έξι χώρες είναι κάτω από το όριο των 1000 m³ πόσιμου νερού ανά κάτοικο, συμπεριλαμβανομένης και της Ελλάδας. Δεδομένης της αύξησης του πληθυσμού και της προοδευτικής αστικοποίησης και βιομηχανοποίησης, τουλάχιστον δέκα χώρες της Μεσογείου αναμένεται να πέσουν κάτω από το προαναφερθέν όριο μέχρι το έτος 2025. Σαν αποτέλεσμα των παραπάνω, η προσφυγή σε μη συμβατικά μέσα, όπως η αφαλάτωση, για την κάλυψη του ελλείμματος νερού είναι αναπόφευκτη.

Αν η αφαλάτωση υφάλμυρου ή θαλασσινού νερού αναφάνεται σαν μία υποσχόμενη λύση του προβλήματος έλλειψης νερού, ένας αριθμός από σχετιζόμενες καταστάσεις πρέπει να διευθετηθούν, ώστε να εγγραφεί μία παρατηνόμενη και μεγάλης διάρκειας ανάπτυξη στη βιομηχανία της αφαλάτωσης. Είναι σημαντικό να γίνει πρόβλεψη των μεγάλων ποσών ενέργειας που απαιτούνται από τη μονάδα αφαλάτωσης. Λόγω του ότι τα αποθέματα φυσικών καυσίμων είναι περιορισμένα και τα αρνητικά αποτελέσματα της χρήσης τους επιφέρουν στο περιβάλλον μόλυνση και εκπομπή αερίων, η ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας απαιτείται άμεσα όσο ποτέ άλλοτε.

Στη παρούσα διπλωματική εργασία ασχοληθήκαμε με το πρόβλημα έλλειψης νερού στο δήμο Αγ. Νικολάου και πως αυτό μπορεί να αντιμετωπισθεί με μη συμβατικές μεθόδους, όπως η αφαλάτωση. Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν να υπολογιστεί το κόστος παραγωγής του νερού από μία μονάδα αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ανεμογεννήτριες και φωτοβολταϊκά.

Για την επίτευξη του παραπάνω σκοπού, αναπτύχθηκε πρόγραμμα σε γλώσσα προγραμματισμού Matlab, όπου χρησιμοποιήθηκαν οικονομικά και τεχνικά στοιχεία τόσο για τη μονάδα αφαλάτωσης όσο και για τις ΑΠΕ, καθώς και κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής που μελετήθηκε. Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν, κυρίως τα οικονομικά, ήταν για τη χειρότερη περίπτωση (worst case study), ούτως ώστε να υπερκαλυφθούν όλα τα έξοδα και τα αποτελέσματα να έχουν ρεαλιστική εφαρμογή. Στις προσομοιώσεις που έγιναν η μονάδα αφαλάτωσης παρέμενε σταθερής δυναμικότητας (5000 m³/day), αφού θεωρήσαμε ότι μία μονάδα τέτοιας δυναμικότητας μπορεί να καλύψει την παρούσα ζήτηση, αλλά και μελλοντικές απαιτήσεις σε νερό, σύμφωνα με το χρόνο ζωής της επένδυσης.

Από τη μελέτη των αποτελεσμάτων στο Κεφάλαιο 7, παρατηρούμε ότι στα αποτελέσματα των προσομοιώσεων τα φωτοβολταϊκά δεν συμπεριλαμβάνονται συνήθως στη βέλτιστη λύση, το οποίο οφείλεται στη χαμηλή απόδοση των ίδιων αλλά και του μετατροπέα (inverter). Αντίθετα οι ανεμογεννήτριες είναι αυτές που δίνουν το μεγαλύτερο ποσό ενέργειας που απαιτείται για τη λειτουργία της μονάδας αφαλάτωσης. Η ενσωμάτωση της δεξαμενής στο πρόγραμμα, σαν αποθήκη, είχε σαν αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση του κόστους, αλλά και τη δυνατότητα λειτουργίας του εργοστασίου, κάποιες μέρες που οι κλιματολογικές συνθήκες

της περιοχής δεν επέτρεπαν στις ΑΠΕ να παράγουν την απαιτούμενη ενέργεια. Γι' αυτό το λόγο το μέγεθος της δεξαμενής είναι σχεδόν σε όλες τις προσομοιώσεις αρκετά μεγάλο. Αλλά και οι επιπλέον μεμβράνες αφαλάτωσης συνέβαλλαν στη μείωση του κόστους παραγωγής του νερού, λόγω του ότι χωρίς τη χρήση τους η δεξαμενή δεν θα γέμιζε τις μέρες που η μονάδα αφαλάτωσης λειτουργούσε στη μέγιστη δυναμικότητα της.

Παρατηρούμε από τις προσομοιώσεις που έγιναν, ότι το κόστος παραγωγής του νερού από τη μονάδα αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης με ΑΠΕ είναι υψηλό συγκριτικά με το κόστος παραγωγής του νερού, από τις γεωτρήσεις και τις πηγές που χρησιμοποιούνται σήμερα. Πιο συγκεκριμένα το μέσο κόστος παραγωγής του νερού που ισχύει στο συγκεκριμένο δήμο ανέρχεται στις 197 δρχ/m³, δηλαδή 0,578 €/m³, ενώ οι προσομοιώσεις δίνουν ελάχιστο κόστος παραγωγής τις 236 δρχ/m³ (0,694 €/m³).

Για την ανάπτυξη μίας μονάδας αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης, η χρέωση του νερού είναι το κυριότερο εμπόδιο. Σύμφωνα με το Νόμο 1739/1987 για τη διαχείριση των υδατικών πόρων το σύνολο των υδατικών πόρων στην Ελλάδα ανήκει αποκλειστικά και μόνο στο κράτος και προσπαθεί να κρατήσει τις τιμές χαμηλές. Αυτή τη στιγμή το νερό, επειδή ακριβώς είναι φτηνό, δεν δίνει τη δυνατότητα σε εναλλακτικές μορφές διαχείρισης, όπως η αφαλάτωση. Αυτή, λοιπόν, η εξαιρετικά χαμηλή τιμή του νερού μέσα από τα συστήματα ύδρευσης απαγορεύει αυτήν τη στιγμή την ανάπτυξη εναλλακτικών δραστηριοτήτων.

Πιο συγκεκριμένα, η τιμή πώλησης του νερού οικιακής χρήσης, για τα δύο τελευταία έτη, στο δήμο Αγ. Νικολάου έχει την παρακάτω κοστολόγηση:

Πίνακας 0.1 Τιμή πώλησης νερού οικιακής χρήσης

Κατανάλωση	< 10 m ³	11 έως 60 m ³ (δρχ)	61 έως 120 m ³ (δρχ)	> 121 m ³
2000	πάγιο τέλος 1650	165	210	265
2001	πάγιο τέλος 1750	175	220	500

Από τα παραπάνω δεδομένα εξάγεται το συμπέρασμα ότι η τιμή πώλησης του νερού δέχεται μία ετήσια αύξηση της τάξης του 6%. Αν υποθεθεί ότι και τα επόμενα έτη θα ακολουθηθεί ανάλογη πολιτική, η μονάδα αφαλάτωσης με ΑΠΕ μπορεί να είναι ανταγωνιστική το έτος 2007. Μέχρι το έτος 2007 εναλλακτικές πηγές προμήθειας νερού, εκτός των δεξαμενών, θα πρέπει να αναπτυχθούν.

8.1 Μελλοντικές Επεκτάσεις

Με βάση τα αποτελέσματα που αναπτύχθηκαν από την παρούσα διπλωματική εργασία, θα μπορούσε να γίνουν κάποιες εργασίες πάνω στις παρακάτω ενδιαφέρουσες κατευθύνσεις:

- Εξέταση μεγαλύτερου αριθμού συνδυασμών ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών από αυτούς που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, ώστε να αναζητηθεί οικονομικότερη λύση. Στην κατεύθυνση αυτή θα πρέπει να συμπεριληφθεί και η αναζήτηση των ρεαλιστικών οικονομικών στοιχείων τόσο για τις ΑΠΕ όσο και για τη μονάδα αφαλάτωσης.

- Λεπτομερέστερη μελέτη των τεχνικών χαρακτηριστικών της μονάδας αφαλάτωσης, ώστε να υπολογισθεί η απόδοση της και η ποιότητα του νερού που αποδίδει. Αυτό μπορεί να

επιτευχθεί με εργαστηριακά πειράματα, για να μελετηθεί η συμπεριφορά των μεμβρανών σε διάφορες ποιότητες νερού.

● Μία πιλοτική εφαρμογή της μονάδας αφαλάτωσης, ώστε να υπολογισθεί το πραγματικό κόστος και να εκτιμηθεί η αποδοτικότητα της επένδυσης

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] C.R.E.S. Center of Renewable Energy Sources (1998), “Desalination Guide Using Renewable Energies”
- [2] F. BenJemaa, I. Houcine, M. H. Chahbani, Pergamon (1998), “Potential of renewable energy development for water desalination in Tunisia”
- [3] Godfrey Boyle (1996), “Renewable Energy: Power for a Sustainable Future”, Oxford University Press, UK
- [4] J. T. Houghton, G. J. Jenkins, S. K. Varney (1990) “Climate Change 1992. The Supplementary Report to the IPCC Assessment”, Cambridge University Press
- [5] J. T. Houghton, G. J. Jenkins, J. J. Ephraums (1990) “Climate Change: The IPCC Scientific Assessment”, Cambridge University Press, p. 365
- [6] D. Meadows et al. (1970), “The Limits to Growth”, Earth Island Books, London
- [7] Γ. Παναγιωτόπουλος, Α. Ψειρίδη (1991), “Αξιοποίηση επενδύσεων εκμετάλλευσης αιολικού δυναμικού”, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά
- [8] Ι. Παπαστυλιάνου (2000), “Οικονομοτεχνική Βελτιστοποίηση μικρών απομονωμένων υβριδικών ενεργειακών συστημάτων”, Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά
- [9] Γ. Καρινιώτακης (1990), “Ένας αλγόριθμος βελτιστοποίησης προδιαγραφών αιολικού πάρκου”, Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά
- [10] R. Edinger, S. Kaul (2000), “Renewable Resources for Electric Power: Prospects and Challenges”, Quorum Books, London
- [11] Α. Νεοκλέους, Σ. Κωνσταντινίδη (1991), “Μετατροπή της Ηλιακής Ενέργειας σε Ηλεκτρική με Φωτοβολταϊκά Συστήματα”, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα
- [12] F. Treble (1991), “Generating Electricity from the Sun”, Pergamon Press
- [13] Δεληγιάννη (1995), “Μέθοδοι και Συστήματα Αφαλάτωσης”, Αθήνα
- [14] O. K. Burols, “The ABCs of Desalting”, International Desalination Association, Massachusetts, USA
- [15] J. Ribeiro (1996), “Desalination Technology-Survey and Prospects”, IPTS, Seville, Spain
- [16] M. McCourt, R. S. Hunter, J. Mugnai (1996), “Desalination by Reverse Osmosis using Wind Energy – A Review of Options”, Mediterranean Conference on Renewable Energy Sources for Water Production, Santorini, pp. 118-123
- [17] Rodriguez-Girones, M. Rodriguez, J. Perez, J. Veza (1996), “A Systematic Approach to Desalination powered by Solar, Wind and Geothermal Energy Sources”, Mediterranean Conference on Renewable Energy Sources for Water Production, Santorini, pp. 20-25

- [18] L. Sardi (1996), “RO Desalinators Powered by PV Systems for Small/Medium Italian Islands”, Mediterranean Conference on Renewable Energy Sources for Water Production, Santorini, pp. 36-44
- [19] F. Finken, K. Korupp (1991), “Water Desalination Plants Powered by Wind Generators and Photovoltaic Systems”, New Technologies for the use of Renewable Energy Sources in Water Desalination Conference, Athens, pp. 65-98
- [20] W. Damm, P. Gaiser, D. Kowalzyck, U. Plantikow (1996), “Windpowered MVC Sea Water Desalination – Operating Results and Economical Aspects”, Mediterranean Conference on Renewable Energy Sources for Water Production, Santorini, pp. 143-146
- [21] Κ. Ζοπουνίδης (1992–93), “Ανάλυση Επενδυτικών Αποφάσεων”, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά
- [22] Σ. Καρβούνης (1993), “Μεθοδολογία Εκπονήσεως Οικονομοτεχνικών Μελετών”, Εκδόσεις Σταμούλης, Αθήνα
- [23] Στοιχεία που δόθηκαν από τη Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης Αποχέτευσης Αγίου Νικολάου (Δ.Ε.Υ.Α.Α.Ν)
- [24] A. Biran, M. Breiner (1999), “MATLAB 5 για Μηχανικούς”, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθεται η μέση παροχή ανά μήνα σε l/sec του ποταμού Αλμυρού:

ΥΔΡ.ΕΤΟΣ	ΣΕΠ.	ΟΚΤ.	ΝΟΕ.	ΔΕΚ.	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙ.	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	Μ.ΕΤΟΥΣ
1968-69	2.200	1.970	3.125	3.750	3.300	3.430	3.600	3.420	3.250	3.180	3.040	2.850	3.092,9
1969-70	3.180	2.970	2.720	2.675	2.555	2.525	2.590	2.695	2.790	2.830	2.870	2.899	2.774,9
1970-71	2.635	2.075	1.932	1.914	2.610	3.164	3.200	3.200	3.050	2.820	2.920	2.730	2.687,5
1971-72	2.724	2.901	2.610	2.127	1.922	2.411	2.373	2.631	2.806	2.474	2.679	2.746	2.532,8
1972-73	2.595	2.530	2.262	2.433	2.546	3.152	2.955	3.216	2.940	2.675	2.480	2.295	2.673,3
1973-74	2.110	2.090	2.170	1.960	1.790	2.230	2.820	3.070	2.920	2.740	2.500	2.260	2.388,3
1974-75	2.152	2.050	2.085	2.190	2.310	2.460	2.630	2.465	2.300	2.235	2.220	2.200	2.274,8
1975-76	2.236	1.808	1.700	1.990	2.480	3.210	3.924	3.760	3.320	3.000	2.740	2.560	2.727,8
1976-77	2.620	2.640	2.340	2.353	2.367	2.649	2.728	2.590	2.734	2.660	2.480	2.180	2.528,4
1977-78	2.604	2.260	1.946	2.240	3.053	3.541	3.456	3.551	3.210	3.070	2.960	2.861	2.896,0
1978-79	2.686	2.575	2.310	2.718	3.395	3.894	3.565	3.194	3.085	3.035	2.940	2.820	3.018,1
1979-80													
1980-81	2.810	2.890	2.610	3.200	3.610	3.440	3.530	3.750	3.460	3.350	3.260	2.930	3.236,7
1981-82	2.710	2.710	2.710	2.630	2.505	2.790	3.560	3.280	2.950	2.800	2.730	2.630	2.833,8
1982-83	2.407	2.342	2.546	2.868	2.789	2.839	3.350	3.393	3.738	3.568	3.140	2.972	2.996,0
1983-84	2.516	2.314	2.529	2.690	2.663	2.781	2.987	3.040	3.176	2.710	2.493	2.387	2.690,5
1984-85	2.541	2.541	2.497	2.733	3.262	3.478	3.681	3.568	3.228	3.251	3.339	3.357	3.123,0
1985-86	3.069	2.897	2.830	2.221	2.041	2.656	2.755	2.967	2.609	2.454	2.539	2.490	2.627,3
1986-87	2.613	2.596	2.455	2.321	2.225	2.593	3.529	3.718	3.292	3.271	3.250	3.207	2.922,5
1987-88	2.933	2.645	2.411	2.379	2.433	2.852	3.123	3.043	3.019	2.735	2.670	2.472	2.726,3
1988-89	2.161	2.122	2.319	2.265	2.211	2.546	3.112	2.556	2.860	2.438	2.685	2.672	2.495,6
1989-90	2.655	2.327	2.533	2.357	1.686	2.245	1.756	1.864	1.713	1.834	1.912	1.925	2.067,3
1990-91	1.938	2.030	1.664	1.463	1.571	2.185	2.247	2.400	2.101	1.908	2.087	2.211	1.983,8
1991-92	1.948	1.887	1.845	1.863	2.033	2.475	2.825	2.961	2.755	2.809	2.509	2.465	2.364,6
1992-93	2.390	2.358	2.115	1.992	1.805	1.852	1.964	2.511	2.707	2.215	1.986	1.946	2.153,4
1993-94	1.960	2.021	1.696	1.455	1.826	2.466	2.518	2.825	2.652	2.198	2.373	2.331	2.193,4
1994-95	2.173	2.346	2.062	2.059	2.343	2.719	2.747	2.400	2.495	2.303	2.152	2.043	2.320,0
1995-96	2.014	1.970	2.160	1.936	2.183	2.872	3.756	3.528	3.391	3.024	2.822	2.759	2.701,2
1996-97	2.449	2.415	2.557	2.558	2.639	2.654	2.921	3.024	2.827	2.577	2.341	2.261	2.602,0
1997-98	2.492	2.396	2.359	2.293	2.343	1.639	2.962	2.990	2.881	1.558	2.727	2.520	2.430,1
1998-99	2.271	2.310	2.509	2.091	2.241	2.479	2.383	2.379	2.942	2.740	2.636	2.670	2.470,9
Μ.Ο.	2.460	2.366	2.320	2.324	2.425	2.741	2.985	3.000	2.907	2.682	2.649	2.555	2.618

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Παρακάτω παρουσιάζονται ανεμολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν κατά την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας. Τα παρακάτω δεδομένα είναι ενδεικτικά και αναφέρονται σε μία μέρα, πιο συγκεκριμένα στην 1^η Ιανουαρίου 1997. Όλα τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν είναι της μορφής αυτής, αλλά δεν θεωρήσαμε σκόπιμο να τα επισυνάψουμε όλα.

ΤΑΧΥΤΗΤΑ 30Μ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ 30Μ	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ 30Μ	ΩΡΑ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ
.4	.4	347	0 0	1 197
.0	.0	347	10	1 197
.0	.0	347	20	1 197
.0	.0	347	30	1 197
.6	.4	323	40	1 197
1.2	.3	285	50	1 197
.6	.4	310	1 0	1 197
.0	.2	302	110	1 197
.4	.4	236	120	1 197
.7	.3	298	130	1 197
.7	.2	306	140	1 197
1.3	.3	315	150	1 197
1.3	.4	333	2 0	1 197
1.8	.4	5	210	1 197
.7	.4	306	220	1 197
.9	.3	285	230	1 197
1.9	.4	315	240	1 197
2.2	.4	345	250	1 197
1.3	.3	329	3 0	1 197
1.5	.4	279	310	1 197
2.2	.3	289	320	1 197
2.2	.5	336	330	1 197
1.6	.3	333	340	1 197
1.7	.3	313	350	1 197
2.4	.4	336	4 0	1 197
1.9	.4	341	410	1 197
1.4	.4	334	420	1 197
1.2	.5	326	430	1 197
1.6	.5	270	440	1 197
1.9	.4	306	450	1 197
1.6	.3	309	5 0	1 197
1.7	.4	319	510	1 197
1.6	.4	341	520	1 197
1.2	.4	330	530	1 197
1.1	.3	302	540	1 197
1.0	.3	303	550	1 197
.4	.4	299	6 0	1 197
.0	.0	288	610	1 197
.0	.0	295	620	1 197

.0	.0	293	630	1 197
.0	.2	302	640	1 197
1.0	.3	350	650	1 197
1.1	.4	352	7 0	1 197
.9	.3	344	710	1 197
.9	.3	323	720	1 197
.4	.4	296	730	1 197
.1	.3	298	740	1 197
.4	.4	316	750	1 197
.9	.3	307	8 0	1 197
.9	.2	309	810	1 197
1.4	.3	330	820	1 197
1.1	.3	317	830	1 197
.5	.3	307	840	1 197
.8	.2	271	850	1 197
.9	.2	279	9 0	1 197
.7	.3	312	910	1 197
.7	.2	312	920	1 197
1.0	.3	300	930	1 197
.7	.4	307	940	1 197
.9	.3	336	950	1 197
1.2	.3	347	10 0	1 197
1.1	.3	323	1010	1 197
.9	.4	340	1020	1 197
1.5	.3	16	1030	1 197
.9	.6	323	1040	1 197
.6	.4	307	1050	1 197
.6	.5	327	11 0	1 197
1.5	.9	7	1110	1 197
.8	.5	18	1120	1 197
.8	.4	30	1130	1 197
.2	.4	132	1140	1 197
.6	.5	158	1150	1 197
1.2	.7	36	12 0	1 197
1.3	.8	8	1210	1 197
2.2	.7	18	1220	1 197
1.3	.6	358	1230	1 197
1.7	.4	347	1240	1 197
1.6	.5	338	1250	1 197
1.7	.5	340	13 0	1 197
1.7	.4	1	1310	1 197
1.3	.5	337	1320	1 197
1.1	.7	343	1330	1 197
1.5	.6	345	1340	1 197
1.8	.4	341	1350	1 197
1.6	.5	343	14 0	1 197
1.2	.4	329	1410	1 197
.9	.6	336	1420	1 197

.3	.4	330	1430	1 197
.6	.5	344	1440	1 197
.6	.4	345	1450	1 197
.0	.2	351	15 0	1 197
.7	.6	109	1510	1 197
1.5	.4	77	1520	1 197
1.0	.6	80	1530	1 197
1.1	.6	63	1540	1 197
1.9	1.4	172	1550	1 197
4.0	.4	182	16 0	1 197
4.0	.7	185	1610	1 197
3.6	.7	184	1620	1 197
4.0	.3	195	1630	1 197
4.5	.4	195	1640	1 197
4.1	.3	195	1650	1 197
4.3	.3	196	17 0	1 197
4.6	.4	196	1710	1 197
5.0	.3	202	1720	1 197
4.8	.4	203	1730	1 197
5.4	.5	201	1740	1 197
5.3	.4	202	1750	1 197
4.6	.5	209	18 0	1 197
4.5	.4	206	1810	1 197
4.3	.4	225	1820	1 197
4.6	.8	241	1830	1 197
3.0	1.0	243	1840	1 197
1.6	.5	247	1850	1 197
.5	.6	236	19 0	1 197
.6	.8	229	1910	1 197
2.4	.6	216	1920	1 197
3.3	.6	206	1930	1 197
3.5	.4	216	1940	1 197
2.9	.4	222	1950	1 197
2.4	.4	217	20 0	1 197
2.0	.3	216	2010	1 197
2.7	.5	213	2020	1 197
1.3	.5	232	2030	1 197
.8	.4	237	2040	1 197
.6	.3	241	2050	1 197
.1	.2	247	21 0	1 197
.0	.0	247	2110	1 197
.6	.2	279	2120	1 197
.8	.4	281	2130	1 197
1.2	.4	244	2140	1 197
2.0	.4	250	2150	1 197
2.2	.3	254	22 0	1 197
2.0	.3	257	2210	1 197
1.8	.4	255	2220	1 197

1.3	.3	265	2230	1 197
1.3	.4	262	2240	1 197
1.2	.3	262	2250	1 197
.7	.4	260	23 0	1 197
.0	.2	244	2310	1 197
.0	.0	237	2320	1 197
.0	.0	237	2330	1 197
.0	.0	237	2340	1 197
.0	.0	237	2350	1 197