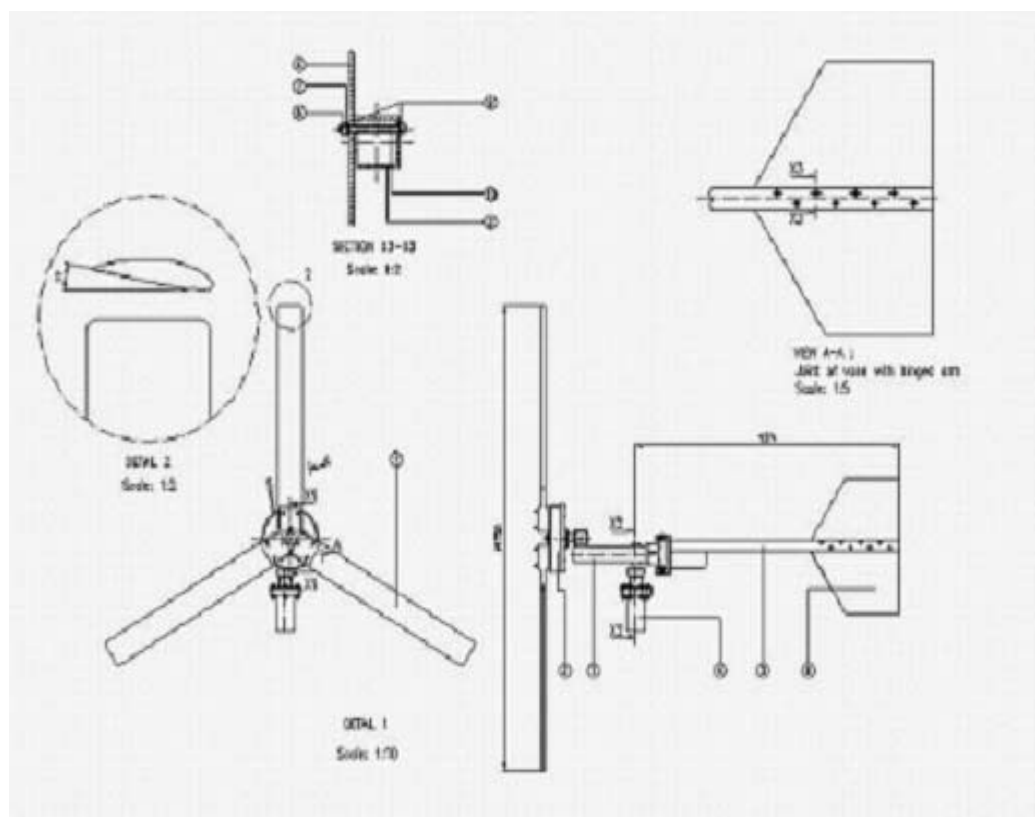


ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΔΙΔΑΚΤΙΚΕΣ ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ



ΧΡΙΣΤΟΦΗΣ Ι. ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ
ΕΠΙΣΚΕΠΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.)
«ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ»

ΑΘΗΝΑ , ΜΑΡΤΙΟΣ 2012

**ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
ΔΙΔΑΚΤΙΚΕΣ ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ**

ΧΡΙΣΤΟΦΗΣ Ι. ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διαφαινόμενη εξάντληση των ενεργειακών αποθεμάτων των συμβατικών καυσίμων του πλανήτη μας (άνθρακας, φυσικό αέριο, πετρέλαιο, σχάσιμα υλικά) σε συνδυασμό με την διαρκώς αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας, αλλά και την βαθμιαία επιδείνωση των περιβαλλοντικών προβλημάτων, οδήγησε τις σύγχρονες κοινωνίες να στραφούν αφενός σε τεχνικές εξοικονόμησης και ορθολογικής χρήσης της ενέργειας, αφετέρου στην αξιοποίηση των ήπιων ή Ανανεώσιμων Μορφών Ενέργειας (ΑΠΕ). Οι από αρχαιοτάτων χρόνων γνωστές ενεργειακές πηγές αποτελούν ανεξάντλητα (ανανεώσιμα) ενεργειακά αποθέματα, ενώ η χρήση τους είναι φιλική (ήπια) προς το περιβάλλον. Ως Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας ορίζονται οι ακόλουθες πηγές ενέργειας:

- Ηλιακή Ενέργεια
- Αιολική Ενέργεια
- Βιομάζα
- Υδροηλεκτρική Ενέργεια
- Γεωθερμία
- Ενέργεια της Θάλασσας (παλιρροιακά κύματα)

Οι διασκέψεις κορυφής στο Ρίο το 1992 και στο Γιοχάνεσμπουργκ είχαν ως κύριο θέμα το μέλλον του πλανήτη μας και την βιώσιμη ανάπτυξη. Οι στόχοι αυτοί που αφορούν βασικά στη συνέχιση της ζωής στον πλανήτη μας δεν μπορούν να επιτευχθούν χωρίς ριζικές αλλαγές στη δομή του παγκόσμιου ενεργειακού συστήματος. Ταυτόχρονα η «Ατζέντα 21» που εστερνίστηκε ο Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών, καλεί για νέες πολιτικές και νέα προγράμματα που θα στοχεύουν στην αύξηση της συνεισφοράς των ενεργειακών συστημάτων που είναι περιβαλλοντικά ασφαλή, αξιόπιστα και χαμηλού οικονομικού κόστους. Ιδιαίτερα αναφέρονται τα ενεργειακά συστήματα που χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για την ελάττωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, και την αποδοτικότερη χρήση της ενέργειας, της μεταφοράς της, της διανομής της και της τελικής χρήσης της .

Η ποιοτική και ποσοτική ανάλυση των ΑΠΕ με όρους περιβαλλοντικούς, οικονομικούς και θερμοδυναμικούς αποτελεί ένα μεγάλο μέρος τού περιεχομένου των σημειώσεων. Η αναφορά σε ειδικά κεφάλαια στην εξέργεια και την Ανάλυση Κύκλου Ζωής προσφέρει την δυνατότητα συμψηφισμού της αποδοτικότητας των ενεργειακών συστημάτων και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκύπτουν με την χρήση τους .

Χριστοφής Ι. Κορωναίος
Επισκέπτης Καθηγητής
Εθνικο Μετσοβιο Πολυτεχνειο
Διεπιστημονικο - Διατμηματικο Προγραμμα
Μεταπτυχιακων Σπουδων (Δ.Π.Μ.Σ.)
«Περιβαλλον και Αναπτυξη»
Μάρτιος 2012

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	i
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	vi
1. Η ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΗΜΕΡΑ – ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ	1
1.1 Ενεργειακό σκηνικό	1
1.2 Το μέλλον της ενέργειας	3
1.3 Πηγές ενέργειας	6
1.4 Ενέργεια και Ευρωπαϊκή Ένωση	12
1.4.1 Η κατάσταση της ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση	13
1.4.1.1 Οι ενδογενείς πόροι	15
1.4.2.2 Το περιβάλλον αποτελείται	18
1.4.2 Παρέμβαση στην προσφορά	19
1.4.3 Παρέμβαση στη ζήτηση	25
1.4.4. Λευκή Βίβλος για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	27
1.4.4.1 Η αιολική αγορά στην Ευρώπη	28
1.4.4.2. Η ευρωπαϊκή στρατηγική και το σχέδιο δράσης για τις ΑΠΕ	29
1.4.4.3. Εκστρατεία απογείωσης των ΑΠΕ	31
1.4.4.4. Θέσεις εργασίας στην Ε.Ε. και ΑΠΕ	32
1.4.4.5. Ευρωπαϊκή στρατηγική για ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού	34
1.5 Το Ενεργειακό σύστημα στην Ελλάδα	35
1.5.1 Εγκατεστημένη ισχύς παραγωγής εθνικού διασυνδεδεμένου συστήματος	38
1.5.2 Φυσικό Αέριο	44
1.5.3 Ανανεώσιμες πηγές	45
1.5.3.1 Εξέλιξη θεσμικού πλαισίου ανανεώσιμων πηγών ενέργειας	47
1.5.3.2 Πρόσφατες εξελίξεις στο θεσμικό περίγυρο των ΑΠΕ	48
1.5.3.3 Υδροηλεκτρικά έργα ΔΕΗ	52
1.5.3.4 Υδροηλεκτρικά έργα εκτός ΔΕΗ	53
1.5.3.5 Υβριδικά σχήματα	54
2. Η ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	57
2.1 Η σύσταση του ηλιακού φάσματος	57
2.2 Οι συμβατικές ηλιακές ακτινοβολίες	58
2.3 Ηλιακή Ακτινοβολία	59
2.3.1 Βασικά χαρακτηριστικά	61
2.3.2 Η ακτινοβολία του ενός ήλιου και ηλιακά γεωμετρικά χαρακτηριστικά	62
2.3.3 Γεωμετρικά στοιχεία του Φ/Β πλαισίου	64
2.3.4 Η διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας	66
2.3.5 Εξάρτηση από τη θολότητα και τη συννεφιά	68
2.4 Αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας	70
2.4.1 Παθητικά Συστήματα Θέρμανσης	70
2.4.1.1 Συλλογή της Ηλιακής Ενέργειας	70
2.4.1.1.1 Διαφανή στοιχεία του κτιρίου	70
2.4.1.1.2 Αδιαφανή στοιχεία	72
2.4.1.1.3 Προθέρμανση του αερισμού των κτιρίων	72
2.4.1.1.4 Το θερμοκήπιο ως συλλεκτικό σύστημα	73
2.4.1.2 Αποθήκευση της θερμικής ενέργειας	74
2.4.1.2.1 Συστήματα άμεσης αποθήκευσης	74
2.4.1.2.2 Συστήματα έμμεσης αποθήκευσης	74
2.4.1.2.2.1 Συστήματα τοίχου μάζας	75
2.4.1.2.2.2 Συστήματα αποθήκευσης	76
2.4.1.3 Διατήρηση της θερμότητας	77
2.4.1.3.1 Μείωση των απωλειών από το κέλυφος του κτιρίου	77
2.4.1.3.2 Μείωση των απωλειών λόγω διείσδυσης του αέρα	78
2.4.1.4 Διανομή της θερμότητας	78

2.4.2	Φωτοχημικές μέθοδοι μετατροπής	80
2.4.3	Φωτοθερμικές μέθοδοι μετατροπής	81
2.4.3.1	Επίπεδοι συλλέκτες	81
2.4.3.1.1	Επίπεδος συλλέκτης με αποθήκη θερμότητας	85
2.4.3.1.2	Ηλιακό θερμοσίφωνο	91
2.4.3.1.3	Συγκεντρωτικοί συλλέκτες και καθοδηγούμενα συστήματα	93
2.4.3.1.4	Συλλογή ενέργειας και συγκεντρωτικά συστήματα	96
2.4.4	Φωτοηλεκτρικές μέθοδοι μετατροπής	97
2.4.4.1	Η ενέργεια από ηλιακές κυψέλες	100
2.4.4.2	Οι πρώτες φωτοβολταϊκές εφαρμογές	100
2.4.4.3	Η εξέλιξη της απόδοσης και του κόστους των ηλιακών στοιχείων	101
2.4.4.4	Συνοπτική παρουσίαση και λειτουργία των μερών ενός Φ/Β στοιχείου	102
2.4.4.4.1	Τα ηλιακά στοιχεία	102
2.4.4.4.2	Μετατρέποντας το ηλιακό φως σε ηλεκτρισμό	102
2.4.4.4.3	Ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές	103
2.4.4.4.4	Οι ενεργειακές ζώνες στους ημιαγωγούς	104
2.4.4.4.5	Επανασύνδεση και διέγερση των φορέων	105
2.4.4.4.6	Οι ημιαγωγοί προσμίξεων	105
2.4.4.4.7	Η ένωση p - n και η δίοδος των ημιαγωγών	106
2.4.4.5	Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των Φ/Β στοιχείων	106
2.4.4.5.1	Πρώτη προσέγγιση	106
2.4.4.5.2	Ο συντελεστής πλήρωσης	107
2.4.4.5.3	Δεύτερη προσέγγιση	108
2.4.4.5.4	Η αποδοτική λειτουργία των Φ/Β στοιχείων – σταθερές συνθήκες	109
2.4.4.5.5	Η απόδοση του Φ/Β πλαισίου	109
2.4.4.5.6	Η επίδραση της θερμοκρασίας και της ρύπανσης	110
2.4.4.5.7	Η ισχύς αιχμής του Φ/Β πλαισίου	111
2.4.4.5.8	Φωτοβολταϊκά πανέλα και συστοιχίες	112
2.4.4.5.9	Οι απώλειες στα Φ/Β συστήματα	113
2.4.4.6	Αυτόνομα συστήματα	114
2.4.4.6.1	Η συγκρότηση του συστήματος	14
2.4.4.6.2	Ο σχεδιασμός του συστήματος	115
2.4.4.6.3	Βασικές επιλογές και προϋποθέσεις	116
2.4.4.7	Η αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας	116
2.4.4.7.1	Η ανάγκη για αποθήκευση	116
2.4.4.7.2	Οι συσσωρευτές μολύβδου	117
2.4.4.7.3	Η χωρητικότητα των συσσωρευτών	118
2.4.4.7.4	Δομή, διάρκεια ζωής και κόστος	119
2.4.4.7.5	Ρυθμιστές, μετατροπείς και αντιστροφείς (Inverter)	119
2.4.5	Αγροτικές και βιοτεχνικές εφαρμογές	120
2.4.5.1	Αγροτικά θερμοκήπια	120
2.4.5.1.1	Αγροτικά ηλιακά θερμοκήπια	121
2.4.5.2	Ηλιακή Ξήρανση	126
2.4.5.2.1	Μέθοδοι ηλιακής ξήρανσης	127
2.4.5.2.2	Τύποι ηλιακών ξηραντηρίων	127
2.4.5.2.3	Αποξηραμένα προϊόντα	129
2.4.5.2.4	Υπολογισμός θερμικού φορτίου συμβατικού ξηραντηρίου	131
2.4.6	Βιομηχανικές εφαρμογές	132
2.4.6.1	Παραγωγή ηλεκτρισμού	132

2.4.6.1.1	Θερμοδυναμικοί μηχανικοί κύκλοι	132
2.4.6.1.2	Χρήση θερμοδυναμικού κύκλου Stirling στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας	134
2.4.6.1.3	Φωτο-θερμοηλεκτρική μετατροπή	137
2.4.6.1.4	Οικονομοτεχνικά στοιχεία σύγκρισης	140
2.4.6.2	Εφαρμογές για ψύξη και άντληση	141
2.4.6.3	Αφαλάτωση	144
2.4.6.3.1	Θερμικές διεργασίες	144
2.4.6.3.1.1	Ακαριαία απόσταξη πολλαπλών βαθμίδων (Multi-Stage Flash Distillation)	145
2.4.6.3.1.2	Απόσταξη πολλαπλής επίδρασης (Multiple Effect Distillation)	146
2.4.6.3.1.3	Απόσταξη με συμπίεση ατμών (Vapor Compression Distillation)	146
2.4.6.3.2	Διεργασίες μεμβρανών	147
2.4.6.3.2.1	Ηλεκτροδιάλυση	147
2.4.6.3.2.2	Αντίστροφη Όσμωση	149
2.4.6.3.3	Άλλες διεργασίες	150
3.	ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	153
3.1	Η πηγή του ανέμου	154
3.2	Η επίδραση του ύψους και της τραχύτητας του εδάφους	156
3.3	Επεξεργασία και Αξιολόγηση του Αιολικού Δυναμικού:	158
3.3.1	Στατιστική περιγραφή	160
3.3.2	Η ισχύς του ανέμου	160
3.3.3	Συντελεστές Ισχύος	163
3.4	Χαρακτηριστικά των ανεμογεννητριών	164
3.5	Τμήματα και Λειτουργία Ανεμογεννητριών	170
3.5.1	Περιγραφή πτερυγίων	172
3.5.2	Ο μηχανισμός κίνησης της ανεμογεννήτριας δεξιά και αριστερά	172
3.6	Επιλογή Ανεμογεννητριών	173
3.6.1	Λόγοι για επιλογή μεγάλου Στροβίλου	173
3.6.2.	Λόγοι για τους μικρότερους στροβίλους	173
3.6.3	Οριζόντιος ή κατακόρυφος άξονας	173
3.6.4.	Τοποθέτηση του δρομέα ανάντη ή κατάντη του ανέμου	174
3.6.5.	Αριθμός πτερυγίων	175
3.7	Χωροθέτηση Ανεμογεννητριών - Επιλογή Θέσης	175
3.7.1	Συνθήκες Αέρα	175
3.7.2	Επιλογή Θέσης	175
3.7.3	Παραγωγή ηλεκτρισμού	177
3.8	Η κατάσταση στην ευρώπη και στην Ελλάδα	177
3.8.1	Η κατάσταση στην Ευρώπη	177
3.8.2	Η κατάσταση στην Ελλάδα	184
3.9	Κόστος ίδρυσης της Αιολικής Εγκατάστασης	185
3.9.1.	Σταθερό Κόστος Συντήρησης και Λειτουργίας	186
3.9.2.	Μεταβλητό Κόστος Συντήρησης και Λειτουργίας:	187
3.9.3	Έσοδα Λειτουργίας Αιολικού Σταθμού:	187
3.9.4	Κόστος Αγοράς Ανεμογεννήτριας:	188
3.10	Περιβαλλοντικές επίπτώσεις	189
3.10.1	Εισαγωγικά	189

3.10.2	Οπτικές επιπτώσεις	189
3.10.3	Θόρυβος	189
3.10.4	Χρήση γης	192
3.10.5	Επιπτώσεις στα πουλιά	192
3.10.6	Ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές	192
3.10.7	Αντανακλάσεις	193
3.10.8	Κατανάλωση ενέργειας – Ενεργειακό ισοζύγιο	193
3.10.9	Επαγγελματικά ατυχήματα	193
	Πρόσθετες Αναφορές	194
4	ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	197
4.1	Οι υδροηλεκτρικές μονάδες	197
4.2	Κατάταξη των υδροηλεκτρικών σταθμών	198
4.3	Το Υδροδυναμικό της Ελλάδας	199
4.4	Η Ενέργεια της Θάλασσας	200
4.4.1	Η θερμική ενέργεια των ωκεανών	200
4.4.2	Η ενέργεια των κυμάτων	201
4.4.3	Η ενέργεια των παλιρροιών	202
5	ΒΙΟΜΑΖΑ	205
5.1	Αξιοποίηση	205
5.2	Κτηνοτροφικά Απόβλητα	206
5.3	Δασική Βιομάζα	206
5.4	Γεωργικά Παραπροϊόντα	207
5.5	Αστικά Απορρίμματα	208
6	ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	217
6.1	Σχηματισμός γεωθερμικών πεδίων	219
6.2	Ενεργειακές βαθμίδες και τύποι γεωθερμικών πεδίων	221
6.3	Χρήσεις της γεωθερμίας	222
6.4	Η γεωθερμία στον κόσμο	223
6.5	Η γεωθερμία στην Ελλάδα	225
7	Η ΕΞΕΡΓΕΙΑ	229
7.1	Εισαγωγή και ορισμός της έννοιας της εξέργειας	229
7.2	Ενέργεια, ύλη και ποιότητα	229
7.3	Μαθηματικός υπολογισμός της εξέργειας	231
7.3.1	Υπολογισμός για ένα θερμοδυναμικό σύστημα	231
7.3.2	Εξεργειακό περιεχόμενο των υλικών	235
7.4	Φορείς εξέργειας	237
7.5	Παγκόσμια και τοπικά περιβαλλοντικά πρότυπα	238
7.6	Η εξέργεια και η εκτίμηση των πρώτων υλών	238
7.6.1	Η εξέργεια ως όρος για τις φυσικές επιστήμες	238
7.6.2	Εξέργεια των πηγών ενέργειας	238
7.6.3	Παγκόσμιο εμπόριο και ροή εξέργειας	244
7.6.4	Διαφορές ανάμεσα στην περιγραφή της εξέργειας και της ενέργειας	244
7.6.5	Η εξέργεια και άλλες μετρήσεις	246
7.6.6	Η ενεργειακή ανάλυση	246
7.6.7	Η έννοια της αποδοτικότητας	248
7.7	Η έννοια της απόδοσης στις μετατροπές ενέργειας	250
7.8	Εξέργεια και οικολογικά συστήματα	251

7.8.1	Υπόθεση	251
7.8.2	Υποστήριξη της υπόθεσης	252
7.8.3	Συσχέτιση με άλλες θεωρίες οικοσυστημάτων	254
7.9	Εξέργεια και πληροφορία	254
	Πρόσθετες Αναφορές	256
8	Η ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ	257
8.1	Εισαγωγή-Ορισμός της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (A.K.Z.)	258
8.2	Η A.K.Z. και η οικογένεια προτύπων ISO 14040	259
8.3	Στάδια κύκλου ζωής	259
8.4	Μεθοδολογία	260
8.5	Προσδιορισμός του σκοπού και του αντικειμένου της μελέτης	260
8.5.1	Ο Σκοπός της μελέτης	260
8.5.2	Το Αντικείμενο της A.K.Z.	260
8.5.3	Η Λειτουργική μονάδα	260
8.5.4	Ποιότητα δεδομένων	261
8.5.4.1	Δείκτες ποιότητας δεδομένων	262
8.6	Απογραφή δεδομένων κύκλου ζωής (Inventory Analysis)	263
8.6.1	Καθορισμός και οριοθέτηση συστήματος	263
8.6.2	Διαγράμματα ροής διεργασίας	264
8.7	Εκτίμηση Επιπτώσεων	268
8.7.1	Ταξινόμηση	268
8.7.2	Χαρακτηρισμός	268
8.7.3	Αξιολόγηση	268
8.7.4	Κατηγορίες επιπτώσεων	268
8.7.5	Τρόποι ποσοτικοποίησης των επιπτώσεων	269
8.7.6	Χρήση της ενέργειας	269
8.8	Εκτίμηση Βελτιώσεων (Improvement Assessment)	269
9	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΠΑΤΜΟΥ	271
9.1	Εισαγωγή	271
9.1.1	Γενικά χαρακτηριστικά	271
9.1.2	Τοπογραφία - Μορφολογία του νησιού	272
9.1.3	Κλιματολογικές συνθήκες	274
9.1.4	Πληθυσμός – Απασχόληση	276
9.2	Ενεργειακό σκηνικό Δωδεκανήσων	277
9.2.1	Κατανάλωση Ενέργειας	278
9.2.2	Εναλλακτικές λύσεις	279
9.2.3	Μοντέλο υπολογισμού ηλεκτρικής κατανάλωσης στο μέλλον	291
9.2.4	Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας	293
9.2.4.1	Αυτόνομοι σταθμοί ισχύος	294
9.3	Η Πάτμος και η κάλυψη μελλοντικών ενεργειακών αναγκών	296
9.3.1	Εκτίμηση μελλοντικών αναγκών	296
9.3.1.1	Ηλεκτρικό ρεύμα	296
9.3.1.2	Θέρμανση νερού	298
9.3.1.3	Πόσιμο νερό	301
9.3.2	Σύστημα	302
9.3.2.1	Φωτοβολταϊκά	302
9.3.2.1.1	Επιφάνεια Συλλογής	303
9.3.2.1.2	Εγκατάσταση – Διάταξη των πλαισίων	306
9.3.2.1.3	Μονάδα μετατροπής συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο (Inverter)	309

9.3.2.1.4	Μονάδες αποθήκευσης ενέργειας (Μπαταρίες)	311
9.3.2.2	Φωτοθερμικά (Ηλιακά Θερμοσίφωνα)	312
9.3.2.2.1	Συλλεκτικές επιφάνειες	312
9.3.2.3	Ηλιακή Απόσταξη	315
9.3.2.3.1	Περιγραφή και λειτουργία του συστήματος	316
9.3.2.3.2	Ισοζύγια Ενέργειας	317
9.3.2.3.3	Υπολογισμοί	321
9.3.2.3.4	Συμπεράσματα	327
9.3.2.3.5	Εγκατάσταση – Διάταξη των αποστακτήρων	328
10	ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΠΑΤΜΟΥ	331
10.1	Εισαγωγή	331
10.2	Αξιολόγηση συνολικής επένδυσης	331
10.2.1	Εκτίμηση κόστους λειτουργίας συμβατικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής	331
10.2.2	Εκτίμηση κόστους των επιμέρους ενεργειακών συστημάτων προς εφαρμογή	332
10.2.2.1	Κόστος φωτοβολταϊκού συστήματος	332
10.2.2.2	Κόστος φωτοθερμικού συστήματος (Ηλιακά Θερμοσίφωνα)	333
10.2.2.3	Εφαρμογή της μεθόδου	333
10.2.3	Άμεσα συμπεράσματα – Βελτιστοποίηση	337
10.2.3.1	Σύστημα θέρμανσης νερού	338
10.2.3.2	Φωτοβολταϊκό σύστημα	338
10. 2.4	Αξιολόγηση συστήματος ηλιακής αφαλάτωσης	345
10.2.4.1	Εκτίμηση κόστους και χρόνου απόσβεσης του συστήματος	347
10.2.4.2	Υλικοτεχνική ανάλυση	348
10.2.4.3	Κοινωνικές επιπτώσεις	349
10.3	Περιβαλλοντικά οφέλη από τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας	350
10.3.1	Αποφυγή ατμοσφαιρικής ρύπανσης	351
10.3.2	Αποφυγή μόλυνσης των θαλασσών, του εδάφους και θερμικής μόλυνσης	352
10.3.3	Υπολογισμός ετήσιων ρύπων συμβατικού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος	352
10.4	Παρενέργειες	353
10.4.1	Ηλιακοί Συλλέκτες	354
10.4.2	Φωτοβολταϊκά Συστήματα	356
10.5	Η αποδοχή των ηλιακών συστημάτων	362
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ	363
	Παράρτημα 1 – Αιολική	366
	Παράρτημα 2 – Μονάδες	378

2. Η ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΗΜΕΡΑ – ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ

2.1 Ενεργειακό σκηνικό

Η παραγωγή ενέργειας ανά τον κόσμο, είναι ένα ζήτημα σύνθετο και πολυμορφικό, το οποίο απαιτεί λεπτή και προσεκτική διαχείριση. Περιλαμβάνει πολλές πτυχές και συνδυάζει υψίστης σημασίας παραμέτρους, όπως οικονομικής, περιβαλλοντικής και κοινωνικής φύσεως.

Η γη είναι μια τεράστια αποθήκη ενέργειας και ως τέτοια, μπορεί να εξεταστεί σαν ένα αυτόνομο ενεργειακό σύστημα, το οποίο έχει τη δυνατότητα να αντλεί και ταυτόχρονα να παράγει ενέργεια.

Η ταχύτητα της, όσον αφορά την τροχιά της γύρω από τον ήλιο, είναι $3 \cdot 10^4 \text{ m/s}$, και η κινητική ενέργεια που αντιστοιχεί σε αυτή είναι περίπου $2,7 \cdot 10^{33} \text{ J}$. Επιπρόσθετα η γη περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της με μια γωνιακή ταχύτητα περίπου $7,3 \cdot 10^{-5} \text{ rad/s}$, προσδίδοντας μια επιπλέον κινητική ενέργεια της τάξης των $2,2 \cdot 10^{29} \text{ J}$. Το απαιτούμενο έργο ώστε να «απομακρυνθεί» η γη σε άπειρη απόσταση από τον ήλιο, ενάντια στη βαρυτική έλξη, είναι περίπου $5,3 \cdot 10^{33} \text{ J}$, ενώ το απαιτούμενο έργο ώστε να απομακρυνθεί η γη από το φεγγάρι είναι της τάξης των $8 \cdot 10^{28} \text{ J}$.

Αυτές είναι κάποιες εξωτερικές συνθήκες του πλανήτη αναφερόμενες σε ενεργειακές μονάδες. Είναι αρκετά δύσκολο να βγει αξιόπιστο συμπέρασμα για το περιεχόμενο της ενέργειας που περικλείεται σε όλο τον πλανήτη. Η κινητική ενέργεια της μοριακής κίνησης, για παράδειγμα, είναι της τάξης των $5 \cdot 10^{30} \text{ J}$. Αυτό προσαυξάνεται από το ποσό των $4 \cdot 10^{30} \text{ J}$ λόγω της θερμικής ενέργειας στο εσωτερικό της γης, αναφερόμενη σε μια μέση θερμοκρασία επιφάνειας 287 K .

Τα υλικά που σχηματίζουν τη γη περικλείουν πρόσθετη ενέργεια εξαιτίας της θερμοκρασίας στην οποία αυτά βρίσκονται. Περίπου 10^{21} J αντιστοιχούν σε κινητική ενέργεια ατμοσφαιρικής και ωκεανικής περιστροφής, ενώ η δυναμική ενέργεια εξαιτίας της απώλειας ύψους, με σημείο αναφοράς τη στάθμη της θάλασσας, είναι περίπου $2 \cdot 10^{25} \text{ J}$, λαμβάνοντας υπόψη μεταβολές της πυκνότητας του φλοιού. Ακόμα μεγαλύτερα ποσά περιέχονται σε χημικές και πυρηνικές «αποθήκες». Τα συνθετικά του άνθρακα αποτελούν παράδειγμα της χημικής ενέργειας. Από τα νεότερα χρόνια της γης, η απολίθωση του βιολογικού υλικού έχει δημιουργήσει κοιτάσματα κάρβουνου, πετρελαίου και φυσικού αερίου για τα οποία υπάρχει πεποίθηση ότι μπορούν να ανακτηθούν τουλάχιστον 10^{23} J σε μια μορφή κατάλληλη για χρήσεις καύσης.

Η πυρηνική ενέργεια μπορεί να απελευθερωθεί σε μεγάλες ποσότητες από πυρηνικές αντιδράσεις, όπως διάσπαση βαρέων πυρήνων ή σύντηξη ελαφρότερων. Εκτός από τα αυθορμήτως διασπόμενα πυρηνικά ισότοπα στο φλοιό της γης, που απελευθερώνουν περίπου $4 \cdot 10^{20} \text{ J}$ ανά έτος, ένα αρχικό ποσό ενέργειας πρέπει να προσδοθεί ώστε να προχωρήσουν οι διεργασίες απελευθέρωσης ενέργειας λόγω διάσπασης και σύντηξης. Εγκαταστάσεις για εκρηκτική απελευθέρωση πυρηνικής ενέργειας που περιλαμβάνουν και τους δύο τύπους διεργασιών έχουν αναπτυχθεί για στρατιωτικούς σκοπούς. Παρόλα αυτά υποστηρίζεται ότι μόνο η διεργασία διάσπασης, μέχρι τώρα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συστήματα ελεγχόμενης παροχής ενέργειας και μαζί με τις προβλεπόμενες βελτιώσεις της τεχνολογίας, οι ανακτόμενοι πόροι πυρηνικών καυσίμων εκτιμώνται να είναι της τάξης των 10^{24} J .

Διεργασίες μετατροπής ενέργειας που χρησιμοποιούν διάφορα υλικά της γης μπορούν να θεωρηθούν μη αντιστρεπτές διεργασίες, αν και μια αντιστρεπτή διεργασία είναι θεωρητικά πιθανή.

Οι όροι «χρήση ενέργειας», «καταναλισκόμενη ενέργεια», «χρησιμοποιούμενοι ενεργειακοί πόροι» κλπ, που χρησιμοποιούνται ευρέως σε άρθρα με ενεργειακό περιεχόμενο όπως και στην καθημερινή γλώσσα, είναι κατά μια έννοια ανακριβείς εκφράσεις, με μεταφορικό περιεχόμενο, οι οποίες περιγράφουν διεργασίες μετατροπής ενέργειας. Τέτοιες διεργασίες σχετίζονται τις περισσότερες φορές με μια αύξηση της εντροπίας. Η εντροπία είναι μια

ανανεώσιμη πηγή ενέργειας είναι έτσι η ηλιακή ακτινοβολία η οποία εμποδίζεται από τη γη, αφού αυτή επανακτινοβολεί στο διάστημα ένα ποσό θερμότητας ίσο με το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που προσλαμβάνει. Το να χρησιμοποιηθεί η ηλιακή ενέργεια σημαίνει ως εκ τούτου μετατροπή σε θερμότητα με κατάλληλο τρόπο για τον άνθρωπο. Τέτοια χρήση μπορεί να περιλαμβάνει καθυστέρηση στην επιστροφή της θερμότητας, είτε λόγω ανθρώπινης ανάμιξης, είτε λόγω φυσικής διεργασίας. Για αυτό το λόγο αποθήκες ενέργειας, οι οποίες αποτελούν τμήμα φυσικής διεργασίας μετατροπής ηλιακής ενέργειας σε επανακτινοβολία θερμότητας, θεωρούνται επίσης «ανανεώσιμοι» ενεργειακοί πόροι.

Η «ανανεώσιμη ενέργεια» δεν είναι απόλυτα ορισμένη εδώ και μπορεί να θεωρηθεί ότι περιλαμβάνει οποιαδήποτε δεξαμενή ενέργειας, η οποία συμπληρώνεται με ποσά συγκρίσιμα με τα ποσά ενέργειας που χάνονται.

Το ποσό της ηλιακής ενέργειας που φτάνει στη γη (από προσπίπτουσα ακτινοβολία, απορρόφηση και επανάκλαση) είναι περίπου $5,4 \cdot 10^{24} \text{J}$ ανά έτος.

Οι ροές ενέργειας εκτός ηλιακής προέλευσης, οι οποίες εμφανίζονται στην επιφάνεια της γης είναι ποσοτικά πολύ μικρότερες. Για παράδειγμα, η ροή θερμότητας από το εσωτερικό της γης είναι περίπου $9,5 \cdot 10^{20} \text{J}$ ανά έτος, ενώ η ενέργεια που χάνεται λόγω της επιβράδυνσης της περιστροφής της γης (λόγω παλιρροιακής έλξης από άλλες μάζες του ηλιακού συστήματος) είναι της τάξης των 10^{20}J ανά έτος. Πάντως οι δυσκολίες που αντιμετωπίζονται μέχρι να γίνει διαθέσιμη η ενέργεια στην απαιτούμενη ποσότητα και μορφή που χρειάζεται ο άνθρωπος, συνιστούν το ενεργειακό πρόβλημα. Στο σχ. 1.1 [1] παρουσιάζεται ένα διάγραμμα ροής ενέργειας στη γη.

2.2 Το μέλλον της ενέργειας

Ένα από τα πιο εντυπωσιακά χαρακτηριστικά των πρόσφατων μελετών, είναι η μεγάλη και συνεχώς αυξανόμενη διαφορά ανάμεσα στα επίπεδα της κατανάλωσης ενέργειας στις χώρες που πρωτοπορούν σε αυτόν τον τομέα και στο μεγάλο μέρος του παγκόσμιου πληθυσμού που αρκείται στη χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Αυτό δεν ισχύει μόνο για τη χρήση ενέργειας, αλλά και για την πρόσβαση σε έναν αριθμό άλλων πόρων.

Φυσικά, η χρήση ενέργειας και η εξάντληση των πόρων δεν αποτελούν τους πρωταρχικούς στόχους μιας κοινωνίας. Τα αληθινά οφέλη ίσως είναι δύσκολο να προσδιοριστούν, αφού εξαρτώνται από κριτήρια αξιολόγησης, τα οποία είναι ποιοτικής, υποκειμενικής και χρονικά εξαρτώμενης φύσεως. Στην προσπάθεια για αξιολόγηση του βιοτικού επιπέδου με ποσοτικούς όρους, τα οφέλη συνήθως αντικαθιστώνται από ένα μέτρο της δραστηριότητας, όπως το ακαθάριστο εθνικό προϊόν (Α.Ε.Π.), το οποίο είναι το σύνολο του πλεονάσματος της αξίας που προστίθεται, σε νομισματικές μονάδες, σε όλα τα αγαθά και τις υπηρεσίες που ανταλλάσσονται μέσα σε μια κοινωνία. Τότε θα υποθέταμε, ότι το τίμημα που είναι διατεθειμένοι ή αναγκασμένοι να πληρώσουν οι άνθρωποι για αγαθά και υπηρεσίες είναι ένα μέτρο της αξίας αυτών των αγαθών και υπηρεσιών και συνεπώς το σύνολό τους είναι ένα μέτρο του πόσο καλά ζουν αυτοί οι άνθρωποι κατά μέσο όρο. Παρόλα αυτά, υπάρχουν διάφοροι λόγοι, για τους οποίους κάτι τέτοιο δεν θεωρείται ακριβής υπόθεση. Ένας λόγος είναι ότι τα συστήματα αξιολόγησης που χρησιμοποιούνται σε διαφορετικές κοινωνίες είναι διαφορετικά, οπότε μια σύγκριση αξιών εκφρασμένη σε νομισματικές μονάδες ίσως είναι άνευ σημασίας. Ένας άλλος λόγος είναι, ότι οι δραστηριότητες που συνεισφέρουν στο Α.Ε.Π., δεν βελτιώνουν όλες απαραίτητα και το βιοτικό επίπεδο και επίσης, ότι οι μη υλικές αξίες της ζωής σπάνια υπολογίζονται στο Α.Ε.Π. Αυτό το επιχείρημα ισχύει και για κατανάλωση ενέργειας πάνω από τις βασικές απαιτήσεις διατροφής.

Στο βαθμό που η χρήση ενέργειας συσχετίζεται με καθαρά ορισμένα οφέλη, αναρωτιέται κανείς ποιο είναι το ελάχιστο στην κατανάλωση ενέργειας που θα προσφέρει κάποιο κέρδος. Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να υπάρχει ένα καλά ορισμένο φυσικό όριο, π.χ. στην εξόρυξη ενός στοιχείου από ένα συστατικό που βρίσκεται σε μικρές ποσότητες μέσα σε ένα είδος πετρώματος. Οι χημικοί δεσμοί του συστατικού, δηλαδή η φυσική ενέργεια που απαιτείται για την απελευθέρωσή του από το πέτρωμα που το περιέχει, είναι οι ελάχιστες

ενεργειακές απαιτήσεις για την εξόρυξη του επιθυμητού στοιχείου. Παρόλα αυτά, μπορεί να χρειαστούν πολύ μεγαλύτερα ποσά ενέργειας στην πράξη, ανάλογα με τη διαδικασία που θα χρησιμοποιηθεί. Το τελικό κέρδος είναι το ίδιο, όμως το ποσό ενέργειας που καταναλώθηκε είναι συνάρτηση του επιπέδου της τεχνολογίας και του αν καταβάλλεται προσπάθεια για αποτελεσματική χρήση της ενέργειας. Το σθένος με το οποίο επιδιώκεται η αποτελεσματική χρήση ενέργειας σε μια κοινωνία εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα και το σχετικό κόστος της. Σήμερα, συναντώνται ακόμη και υπερδιπλάσιες διαφορές στα ποσά ενέργειας που χρησιμοποιούνται από διαφορετικές χώρες για την παραγωγή μιας πρόσθετης μονάδας Α.Ε.Π..

Παρόλα αυτά, είναι αδιαμφισβήτητο ότι ένας αριθμός καινοτομιών στο μακρινό, αλλά και στο κοντινό παρελθόν, που αύξησαν τις ενεργειακές απαιτήσεις, είχαν επίσης και όφελος για τα άτομα και τις κοινωνίες. Ορισμένες από αυτές τις καινοτομίες, π.χ. στον αγροτικό τομέα, επιτεύχθηκαν στον αγώνα για την εξασφάλιση επαρκών προμηθειών τροφής για τους αυξανόμενους πληθυσμούς. Σε τέτοιες περιπτώσεις, τα οφέλη που συσχετίζονται με αυξημένη δραστηριότητα και αυξημένη χρήση ενέργειας μπορούν να χαρακτηριστούν συλλογικής φύσεως. Σε άλλες περιπτώσεις, οι καινοτομίες επιτεύχθηκαν από ή για μια μικρή ομάδα ανθρώπων στην εξουσία, με συγκεκριμένο σκοπό τη διατήρηση ή διεύρυνση της θέσης τους. Πολλές από αυτές τις καινοτομίες είχαν αρχικά στρατιωτικό σκοπό, αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις διαμορφώνονταν για να εξυπηρετήσουν μια ευρύτερη έκταση κοινωνικών συμφερόντων.

Από την πλευρά των ισχυρών, η τάση της χρήσης ενέργειας ιστορικά ήταν και παρέμεινε αυξητική. Τα μέσα εφαρμογής των δραστηριοτήτων που είναι υπεύθυνες για την αυξημένη χρήση ενέργειας, όπως πρόσβαση σε εξειδικευμένες γνώσεις και κατοχή επενδυτικού κεφαλαίου, καθώς και ο έλεγχος της ανάπτυξης, βρίσκονται στα χέρια των ισχυρών ή ορισμένων από αυτούς, λόγω της φυσικής και οικονομικής τους δύναμης.

Διαφορετικές κοινωνίες οργανώνονται ποικιλοτρόπως, ανάλογα με την κατανομή της εξουσίας και τη στρωμάτωση του βιοτικού επιπέδου. Η εξουσία συνήθως διαχωρίζεται με ένα σύνθετο τρόπο, όπου εμπεριέχονται από τη μία οι αρχές της δημοκρατίας ή της δικτατορίας και από την άλλη ένας αριθμός από απόλυτες λειτουργίες ελέγχου, που σχετίζονται με την επιρροή στην ανθρώπινη συμπεριφορά και τις ανθρώπινες σχέσεις. Αυτές εξαρτώνται από το είδος της οικονομικής οργάνωσης, των πνευματικών και ιδεολογικών δογμάτων, καθώς και από τις επιλογές στην τεχνολογία.

Η αναγνώριση της ρητής και απόλυτης εξουσίας των ισχυρών μπορεί να γίνει όχι μόνο μέσα σε μια κοινωνία σε κάποια χρονική στιγμή, αλλά μέσω της περιγραφής της σχέσης ανάμεσα σε διαφορετικές κοινωνίες ή έθνη, τουλάχιστον κατά τη διάρκεια μιας περιόδου στην οποία συναναστρέφονται επαρκώς. Ιστορικά, η μεταφορά του πολιτισμού και της τεχνολογίας από τα ισχυρά κράτη σε ένα μεγαλύτερο αριθμό ανθρώπων περιστασιακά λάμβανε χώρα όταν οι τελευταίοι κατάφερναν να ανατρέψουν τους πρώτους και να καταλάβουν τις εγκαταστάσεις τους, παρόλο που σε πολλές περιπτώσεις η συσσωρευμένη γνώση απλά χάνονταν. Από την άλλη, οι συχνές κατακτήσεις και αποικίσεις των λιγότερο ανεπτυγμένων περιοχών από τα ισχυρά κράτη, οδήγησε περιστασιακά αλλά όχι συστηματικά στη μεταφορά του πολιτισμού και της τεχνολογίας. Σε πολλές τέτοιες περιπτώσεις, εισάγονταν στους μικτούς πληθυσμούς (αυτόχθονες και αποίκους) των αποικισμένων περιοχών, μια διαφοροποίηση στην εξουσία και στο βιοτικό επίπεδο, που δεν ήταν πλέον δεκτά στο ισχυρό έθνος.

Ως αποτέλεσμα αυτής της ανάπτυξης, η διαφορά της κατάστασης ανάμεσα στις περισσότερο και λιγότερο ανεπτυγμένες περιοχές, σύμφωνα με τη χρήση ενέργειας και τη γενική πρόσβαση στις καινοτομίες, δείχνει να συνεχίζει να διευρύνεται, ιδίως κατά τους τελευταίους αιώνες της βιομηχανοποίησης. Οι σχέσεις εξουσίας στις περισσότερες περιόδους του αποικισμού βασίστηκαν στη διαφορά στο τεχνολογικό επίπεδο ανάμεσα σε διαφορετικές περιοχές. Παρόλα αυτά, οι σχέσεις εξουσίας διατηρήθηκαν σε πολλές περιπτώσεις, λόγω της εγκαθίδρυσης οικονομικής εξάρτησης, παρά την εγκατάλειψη της ιδέας της αποικίας.

Για την εκτίμηση της εξέλιξης της συνολικής χρήσης ενέργειας στο κοντινό μέλλον, μόνο η ανάπτυξη στο βιομηχανοποιημένο μέρος του κόσμου είναι σημαντική, εξαιτίας του κυρίαρχου μεριδίου της στη συνολική χρήση ενέργειας. Στο όχι τόσο μακρινό μέλλον όμως, ο αποφασιστικός παράγοντας θα είναι, το αν το μεγαλύτερο μέρος του κόσμου, που τώρα χρησιμοποιεί μικρά ποσά ενέργειας, θα συνεχίσει έτσι ή θα αυξήσει τη χρήση της, είτε προσπαθώντας να αντιγράψει το είδος της ανάπτυξης των βιομηχανοποιημένων εθνών, είτε ακολουθώντας εναλλακτικούς δρόμους προς την πρόοδο. Και στις δύο περιπτώσεις, η απόσταση ανάμεσα στα επίπεδα των κρατών με περισσότερη και λιγότερη κατανάλωση ενέργειας μπορεί να διευρυνθεί ή να περιοριστεί. Για τις βιομηχανοποιημένες περιοχές, η αυξημένη έμφαση στη διατήρηση της ενέργειας μπορεί να οδηγήσει σε μια μείωση στη συνολική χρήση της, παρά τις μελλοντικές καινοτομίες που θα αυξήσουν τη ζήτηση για ενέργεια.

Δεν εισέρχονται όλες οι εφευρέσεις στην παραγωγή και δεν εφαρμόζονται όλες οι προτεινόμενες καινοτομίες. Συνεπώς, η κατεύθυνση της τεχνολογίας και της ενεργειακής χρήσης βασίζεται σε κάποιο βαθμό σε μια σειρά επιλογών, που γίνονται μέσα στην ιεραρχία της αποφασιστικής εξουσίας που περιγράφεται παραπάνω. Ίσως τότε γεννηθούν ερωτήματα, όπως, αν η κατανάλωση ενέργειας θα πρέπει να αυξάνεται όποτε είναι αυτό δυνατό, με γνώμονα τους διαθέσιμους πόρους και την πορεία της οικονομίας. Αυτός είναι ένας τρόπος να τεθεί από την αντίστροφη το πρόβλημα του, αν η παροχή ή η ζήτηση ενέργειας θα πρέπει να καθορίζει το ρυθμό της κατανάλωσής της. Έτσι κι αλλιώς, η χρήση ενέργειας είναι μόνο μια «παρενέργεια» που συνοδεύει την επιδίωξη των πρωταρχικών στόχων. Η σχετικότητα του ερωτήματος βρίσκεται στην τάση για προτίμηση λύσεων, οι οποίες είναι δαπανηρές όσον αφορά στους φτηνούς και άφθονους πόρους, ακόμη και αν η τεχνολογία μπορεί να πετύχει τους ίδιους στόχους με λιγότερο δαπανηρές διαδικασίες και παρόλο που οι μακροπρόθεσμες μελέτες προτείνουν τις λιγότερο δαπανηρές λύσεις ως επωφελείς για την κοινωνία. Στην ουσία, αυτή είναι μια πρόκληση για την οικονομική θεωρία, υπονοώντας ότι οι περισσότερες οικονομικές μελέτες του παρόντος, αλλά και του παρελθόντος, είναι περιορισμένες αντίληψης και ότι η εφαρμογή της οικονομικής αξιολόγησης, αν όχι των ίδιων των οικονομικών θεωριών, θα πρέπει να διαμορφωθεί ώστε να μεγιστοποιηθούν τα μακροπρόθεσμα κοινωνικά οφέλη.

Συχνά εκφράστηκαν στο παρελθόν προβλέψεις έλλειψης πρώτων υλών και καυσίμων, μόνο και μόνο για να αναιρεθούν από ανακαλύψεις καινούριων πόρων, νέες τεχνικές εξόρυξης κλπ. Αυτό μπορεί να μην ισχύει για τις προειδοποιήσεις επί του παρόντος. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, οι ανακαλύψεις νέων πόρων, συμπεριλαμβανομένων των στερεών καυσίμων, δε συμβαδίζουν με το ρυθμό της αυξανόμενης προσπάθειας για ευημερία και της διάθεσης για αύξηση των τιμών (αυτό εκτιμάται ότι εν μέρει αντανακλά τις δυσκολίες της εξόρυξης και του καθαρισμού των πόρων). Επιπλέον, η διαπίστωση ότι η περιβαλλοντική επίδραση της εξόρυξης και χρήσης πόρων μπορεί να θέσει απόλυτα όρια για την κατανάλωση ενεργειακών πηγών, όπως τα συμβατικά καύσιμα, έδωσε επιπλέον βαρύτητα στις προειδοποιήσεις για όρια στην κατανάλωση ενέργειας και στη χρήση των υλικών. Συγκεκριμένα είδη περιβαλλοντικών παρενεργειών μπορούν να συγκρατηθούν κάτω από καθορισμένα όρια με ένα αντίστοιχο κόστος και επομένως με μια μειωμένη οικονομική απόδοση της δραστηριότητας υπό εξέταση, αλλά υπάρχουν και είδη περιβαλλοντικής επίδρασης, που είναι αναπόφευκτα. Ένα παράδειγμα είναι ίσως η κλιματική αλλαγή που μπορεί να προκληθεί από μια αύξηση στο ατμοσφαιρικό διοξείδιο του άνθρακα, που προέρχεται από την καύση στερεών καυσίμων. Ο σύγχρονος άνθρωπος είναι υπεύθυνος περίπου για το 5 % του κύκλου του ατμοσφαιρικού άνθρακα και αυτή η συνεισφορά μπορεί να μειωθεί είτε με μείωση της καύσης των στερεών καυσίμων, είτε με την εφαρμογή μιας ανταγωνιστικής ενεργειακής διαδικασίας που θα ανακουφίσει σε μεγάλο βαθμό την ατμόσφαιρα από το διοξείδιο του άνθρακα.

Οι περιβαλλοντικές παρενέργειες της μετατροπής της ενέργειας βασισμένης σε πόρους εκτός των στερεών καυσίμων είναι επί του παρόντος το αντικείμενο πολλών ερευνών. Η σύγχρονη γνώση είναι καθαρά ανεπαρκής για να συνηγορήσει στην αύξηση της κατανάλωσης

ενέργειας, η οποία βασίζεται σε οποιοδήποτε συνδυασμό ενεργειακών πηγών, που θεωρούνται ότι είναι ή μπορούν να γίνουν διαθέσιμες. Πρέπει επομένως να δοθεί έμφαση στις μελέτες της συνολικής επίδρασης κάθε προγράμματος μετατροπής ενέργειας που χρησιμοποιείται ή σχεδιάζεται. Θα άξιζε τον κόπο αν καταβαλλόταν ουσιαστική προσπάθεια για την εύρεση και την εφαρμογή ιδεών που θα μείωναν το ποσό της ενέργειας που χρειάζεται για την παροχή των επιθυμητών υπηρεσιών και ίσως έτσι να αναθεωρηθεί ποιες από αυτές συνδέονται με καθαρά οφέλη για την ανθρωπότητα και ποιες είναι απλά διατήρηση των συνηθειών με μηδαμινό ή ανύπαρκτο όφελος.

Το ζήτημα περιορισμού της ανάπτυξης ξεκαθάρισε τη διάκριση ανάμεσα σε δύο πιθανές προσεγγίσεις. Η μία είναι η επιβολή ενός εθελοντικού περιορισμού στην εκμετάλλευση των πόρων, έτσι ώστε η περαιτέρω ανάπτυξη να βασίζεται σε λεπτομερείς μελέτες της συνολικής επίδρασης και να είναι προσεκτικά σχεδιασμένη με στόχο την εξασφάλιση μιας περισσότερο δίκαιης τοπικής κατανομής των κερδών. Λόγω της σημερινής έλλειψης ισότητας, η πρώτη προτεραιότητα μπορεί να είναι η επανακατανομή των πόρων που ήδη χρησιμοποιούνται, υπονοώντας μια μείωση στα ποσά των πόρων που διατίθενται στις πιο ανεπτυγμένες χώρες.

Η άλλη προσέγγιση είναι ο «εξαναγκασμός» της ανάπτυξης όσο είναι δυνατό, μέχρι να εμποδιστεί από περιοριστικούς παράγοντες, που δεν υπόκεινται στον έλεγχο της ανθρωπότητας. Ορισμένοι πιστεύουν ότι αν ακολουθηθεί αυτή η προσέγγιση, παράγοντες που τώρα θεωρούνται ως περιοριστικοί θα εξαφανιστούν ως αποτέλεσμα της βελτιωμένης τεχνολογίας. Είναι προφανές ότι οι κίνδυνοι της δεύτερης προσέγγισης είναι μεγαλύτεροι από αυτούς που σχετίζονται με την πρώτη.

Έχουν επίσης υποβληθεί και μικτές απόψεις όπως, από τη μία η αναγνώριση ότι η ανθρωπότητα βρίσκεται κοντά στα ανώτατα όρια της εκμετάλλευσης των πόρων πάνω στη γη και από την άλλη η υπεράσπιση της υπόθεσης ότι είναι σημαντικό για την ευημερία του ανθρώπου να βρίσκεται σε μια καμπύλη ανάπτυξης, να εξερευνεί και να γνωρίζει καινούργιες, ανεξερεύνητες περιοχές, ώστε να αφυπνίζονται οι κατακτητικές του τάσεις. Το λογικό βήμα που συνηγορεί σε αυτήν την προσέγγιση είναι η εξερεύνηση και εκμετάλλευση του διαστήματος. Η δημιουργία αποικιών στο διάστημα, η εκμετάλλευση πρώτων υλών από το φεγγάρι, τους αστεροειδείς και τους πλανήτες, η υιοθέτηση των λιγότερο απαιτητικών σε ενέργεια διαδικασιών παραγωγής σε μη ατμοσφαιρικό περιβάλλον, καθώς και η διαθεσιμότητα της ηλιακής ακτινοβολίας χωρίς τη διαφοροποίηση και την εξασθένηση που προκαλείται από την ατμόσφαιρα της γης, είναι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη. Επίσης, βιομηχανικές διεργασίες που ρυπαίνουν το περιβάλλον θα μπορούν να πραγματοποιούνται σε απομακρυσμένες περιοχές στο διάστημα, συμπεριλαμβανομένης και της μετατροπής ενέργειας από πηγές μη αποδεκτές στη γη. Η ενέργεια τότε θα εκπέμπονταν στη γη με τη μορφή ακτινοβολίας μικροκυμάτων. Η φιλοσοφία πίσω από αυτήν την προσέγγιση, τουλάχιστον όπως ερμηνεύεται παραπάνω, θα ωφελούσε μία μικρή ομάδα ανθρώπων και πιθανότατα θα αύξανε το κενό ανάμεσα στους περισσότερο και λιγότερο προνομιούχους, όπως και στους αποικισμούς των νεότερων χρόνων.

Ο άνθρωπος των παλαιότερων χρόνων μπορούσε να προκαλέσει διαταραχή στο περιβάλλον μόνο σε μια απολύτως τοπική κλίμακα. Παρόλα αυτά, το εκτεταμένο κάψιμο των δασών, π.χ. για γεωργική εκμετάλλευση του εδάφους, η οποία θα εγκαταλείπονταν αργότερα λόγω μείωσης της σοδειάς εξαιτίας της υπερεκμετάλλευσης της γης, μπορεί να έχει συντελέσει στη δημιουργία των σύγχρονων έρημων περιοχών στα χαμηλά υψόμετρα. Αυτό είναι ήδη ένα σημαντικό παράδειγμα μιας κλιματικής αλλαγής, που προέρχεται πιθανότατα από τον άνθρωπο. Πρόσφατα, ο άνθρωπος έφτασε σε ένα τεχνολογικό υπόβαθρο που του επιτρέπει να μετατρέψει ενέργεια με ρυθμούς που μπορούν να διατηρηθούν σταθερά σε υψηλά επίπεδα και οι οποίοι είναι πια συγκρίσιμοι με την ενεργειακή ροή ηλιακής προελεύσεως, που είναι υπεύθυνη για το κλίμα.

Η μέση θερμική ροή ανθρωπογενούς προελεύσεως (π.χ. συμβατικά καύσιμα) σε μια βιομηχανική και αστική περιοχή όπως το Λος Άντζελες (περίπου 10^{10} m^2) υπολογίστηκε το 1970 στα 7 W/m^2 . Η παγκόσμια μέση τιμή το 1970 ήταν $0,015 \text{ W/m}^2$ και η μέση ηλιακή ροή

που απορροφάται από την ατμόσφαιρα της γης είναι 240 W/m^2 . Ως σύγκριση, μια πυρκαγιά, η οποία θα έκαιγε μια περιοχή γόνιμου και τροπικού δάσους μέσα σε μια εβδομάδα, θα απελευθέρωνε μια θερμική ροή περίπου 1.000 W/m^2 . Κι όμως η μέση θερμική ροή από πυρκαγιές σε δάση, σε όλες τις περιοχές του κόσμου είναι μικρότερη από τη μέση θερμική ροή ανθρωπογενούς προελεύσεως.

Το πυρηνικό οπλοστάσιο που δημιουργήθηκε τα τελευταία 30 χρόνια βρίσκεται στην περιοχή των $10^4 - 10^5$ μεγατόνων, με το μεγαλύτερο νούμερο να αντιστοιχεί περίπου σε $4,4 \cdot 10^{20} \text{ J}$. Εάν όλα αυτά τα όπλα πυροδοτούνταν μέσα σε μια περίοδο 24 ωρών, η μέση ροή ενέργειας θα ήταν $5 \cdot 10^{15} \text{ W}$ και αν ο στόχος είχε έκταση 10^{12} m^2 , η μέση θερμική ροή θα ήταν 5.000 W/m^2 . Τα καταστροφικά αποτελέσματα δε θα γίνονταν αντιληπτά σε όσους θα ήταν άμεσα συνδεδεμένοι με την εξαπόλυση ενέργειας. Η ραδιενεργή μόλυνση του περιβάλλοντος θα προκαλούσε επιπλέον θανάτους και αποσύνθεση και θα εγκαθιστούσε κι άλλους μηχανισμούς κλιματικής διαταραχής (π.χ. καταστροφή της στρατοσφαιρικής ασπίδας του όζοντος). Εν ολίγοις, ο άνθρωπος είναι ικανός να τελειώσει πολύ απότομα την ιστορία του πάνω στη γη και πρέπει να είναι πολύ προσεκτικός σε κάθε του ενέργεια, έτσι ώστε να μη βλάψει το ίδιο του το μέλλον.

2.3 Πηγές ενέργειας

Σε παγκόσμιο επίπεδο, η κατανάλωση ενέργειας αυξάνεται ταχύρρυθμα – κατά 15% στη δεκαετία 1990-2000. Αναμένεται ακόμη ταχύτερη αύξηση μεταξύ 2000 και 2020.

Τα ορυκτά καύσιμα (άνθρακας, φυσικό αέριο και πετρέλαιο) καταλαμβάνουν περίπου το 80% της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας. Η παγκόσμια κατανάλωση ορυκτών καυσίμων αυξήθηκε ανάλογα με την συνολική κατανάλωση ενέργειας κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '90. Μέχρι το 2020 αναμένεται ότι η χρήση ορυκτών καυσίμων θα αυξηθεί με υψηλότερο ρυθμό από ό,τι η συνολική κατανάλωση.

Τα ορυκτά καύσιμα προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα. Είναι σχετικά φθηνή η εξόρυξή τους, εύκολη η χρήση τους και είναι ευρέως διαθέσιμα. Η υποδομή για την παροχή τους υπάρχει ήδη. Οι κλάδοι εφοδιασμού με ορυκτά καύσιμα είναι καλά οργανωμένοι και η προσφορά τους καλύπτει τα περισσότερα μέρη της υφηλίου.

Έχουν ωστόσο δύο κύρια μειονεκτήματα. Πρώτον, κατά την καύση τους εκπέμπονται ρύποι και θερμοκηπιακά αέρια που προξενούν κλιματική αλλαγή. Δεύτερον, χώρες που δεν διαθέτουν επαρκή αποθέματα ορυκτών καυσίμων – κυρίως πετρέλαιο – αντιμετωπίζουν αυξανόμενους κινδύνους ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού τους. Η εξάρτηση από τις αλλαγές και το αυξανόμενο ποσοστό εισαγωγών είναι δυνατό να οδηγήσουν σε ανησυχίες σχετικά με κίνδυνο να διακοπεί ή να καταστεί δύσκολος ο εφοδιασμός. Ωστόσο, η ασφάλεια του εφοδιασμού δεν πρέπει να θεωρηθεί απλώς και μόνον ως ζήτημα μείωσης της εξάρτησης από τις εισαγωγές ή ενίσχυσης της εγχώριας παραγωγής. Η ασφάλεια του εφοδιασμού απαιτεί ευρύ φάσμα πρωτοβουλιών άσκησης πολιτικής που να αποσκοπούν, μεταξύ άλλων, στην διαφοροποίηση των πηγών εφοδιασμού και των τεχνολογιών, χωρίς ωστόσο να παραγνωρίζεται το γεωπολιτικό πλαίσιο και οι συνέπειές του.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει διατυπώσει σε άλλα έγγραφα τις ιδέες της σχετικά με την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων, συγκεκριμένα στην Πράσινη Βίβλο σχετικά με την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού (2000)1 και στην ανακοίνωσή της σχετικά με την ενεργειακή συνεργασία με τις αναπτυσσόμενες χώρες (2002). Ως υποκατάστατο των ορυκτών καυσίμων, οι ανανεώσιμες πηγές μπορούν να βοηθήσουν στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Οι ανανεώσιμες πηγές παρέχουν επίσης τη δυνατότητα βελτίωσης της ασφάλειας του εφοδιασμού, επειδή ενισχύουν τη διαφοροποίηση της παραγωγής ενέργειας. Τα επιχειρήματα υπέρ των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ενισχύονται λόγω των θετικών τους αποτελεσμάτων στην προστασία της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα και στην δημιουργία νέων θέσεων απασχόλησης και επιχειρήσεων – πολλές εκ των οποίων σε αγροτικές περιοχές.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν κύρια χαρακτηριστικά το ότι είναι ανεξάντλητες (αστείρευτες), άφθονες, περιβαλλοντικά καθαρότερες. Από την άλλη όμως, είναι αραιές

μορφές ενέργειας και μέχρι στιγμής τουλάχιστον με υψηλό κόστος ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν η ηλιακή ενέργεια, με τη στενότερη σημασία του όρου, η αιολική ενέργεια, η βιομάζα, η γεωθερμία, η ενέργεια της θάλασσας και η υδραυλική ενέργεια. Είναι οι πρώτες πηγές ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος και μέχρι τις αρχές του προηγούμενου αιώνα σχεδόν αποκλειστικά, οπότε και στράφηκε στην έντονη χρήση του άνθρακα και των υδρογονανθράκων.

Οι συμβατικές μορφές ενέργειας καλύπτουν σήμερα το μεγαλύτερο ποσοστό κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας όλων σχεδόν των χωρών και θα εξακολουθήσουν να καλύπτουν το μεγαλύτερο ποσοστό για αρκετές δεκαετίες ακόμα. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι άνθρακες, οι υδρογονάνθρακες (υγροί και αέριοι) και τα ορυκτά ουρανίου. Είναι πυκνές μορφές ενέργειας (σε σχέση με τις ανανεώσιμες), καλύπτουν πλήθος εφαρμογών, αλλά έχουν αρκετές αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Στον πίν 1.1 παρουσιάζονται συγκριτικά τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα ανανεώσιμων και μη πηγών.

Πίνακας 1.1: Διαθέσιμες πηγές ενέργειας.

Ανανεώσιμες	Μη ανανεώσιμες
1. Ηλιακή Ακτινοβολία 2. Άνεμος 3. Βιομάζα 4. Υδροίσχύς 5. Ενέργειες της θάλασσας Κύματα Παλίρροια Θερμοκρασιακή διαφορά 6. Γεωθερμία	1. Στερεά καύσιμα Λιθάνθρακας Γαιάνθρακας Λιγνίτης Τύρφη 2. Υδρογονάνθρακες Πετρέλαιο Αργό Πετρέλαιο πισσούχων άμμων Πετρέλαιο πισσούχων σχιστόλιθων Φυσικό αέριο, υγρά φυσικού αερίου 3. Ουράνιο 235 4. Ουράνιο 238
Πλεονεκτήματα	
<ul style="list-style-type: none"> • Ανεξάντλητες (Ανανεώσιμες) • Αφθονες • Περιβαλλοντικά καθαρότερες 	<ul style="list-style-type: none"> • Πυκνές μορφές ενέργειας • Με πλήθος εφαρμογών
Μειονεκτήματα	

<ul style="list-style-type: none">• Αραιές μορφές ενέργειας• Υψηλό κόστος ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας• Ασυνεχείς• κ.α κατά περίπτωση	<ul style="list-style-type: none">• Εξαντλήσιμες• Αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον
--	--

Όμως μια σφαιρική αποτίμηση του κεφαλαίου Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, απαιτεί την πιο λεπτομερή αξιολόγηση των πλεονεκτημάτων αλλά και των μειονεκτημάτων τους στον ενδεχόμενο χώρο εφαρμογής τους. Μια ολοκληρωμένη εικόνα για τις δυνατότητες και τους περιορισμούς αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, είναι η ακόλουθη:

- Εξ ορισμού ανανεώσιμη πηγή ενέργειας σημαίνει *ανεξάντλητη πηγή ενέργειας* σε αντίθεση με το σύνολο των συμβατικών καυσίμων, των οποίων τα βεβαιωμένα αποθέματα του πλανήτη μας αναμένεται να εξαντληθούν σε σύντομο χρονικό διάστημα.
- Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούν μια καθαρή μορφή ενέργειας, ήπια προς το περιβάλλον.* Η χρήση τους δεν επιβαρύνει τα οικοσυστήματα των περιοχών εγκατάστασης και παράλληλα αντικαθιστά ιδιαίτερα ρυπογόνες πηγές ενέργειας, όπως ο άνθρακας, το πετρέλαιο και την πυρηνική ενέργεια. Τα σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα των περισσότερων ανεπτυγμένων χωρών καθιστούν τις ΑΠΕ ιδιαίτερα ελκυστικές σε σχέση με την προστασία του περιβάλλοντος.

Ταυτόχρονα μια αντικειμενική προσέγγιση του θέματος, απαιτεί την εξέταση και των κύριων μειονεκτημάτων που αποδίδονται στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, ώστε να αποκτήσουμε μια πλέον ολοκληρωμένη εικόνα:

- Στην περίπτωση της αιολικής ενέργειας *η χαμηλή ροή* αξιοποιήσιμης κινητικής ενέργειας του ανέμου (W/m^2) η οποία και την κατατάσσει στις "αραιές" μορφές ενέργειας. Τυπικές τιμές ροής της αξιοποιούμενης αιολικής ισχύος κυμαίνονται μεταξύ $200 W/m^2$ και $400 W/m^2$. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την χρήση είτε μεγάλου αριθμού ανεμογεννητριών είτε την χρήση μηχανών μεγάλων διαστάσεων, για την παραγωγή της επιθυμητής ποσότητας ενέργειας. Σήμερα καταβάλλονται προσπάθειες αύξησης της συγκέντρωσης ισχύος των αιολικών μηχανών, οι οποίες σε επιλεγμένες περιπτώσεις πλησιάζουν ή και υπερβαίνουν τα $500 W/m^2$.
- Η *αδυναμία ακριβούς πρόβλεψης της κατάστασης της ατμόσφαιρας*, της ακτινοβολίας δηλαδή, της ταχύτητας και της διεύθυνσης των ανέμων. Το γεγονός αυτό μας υποχρεώνει να χρησιμοποιούμε τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας κυρίως σαν εφεδρικές πηγές ενέργειας σε συνδυασμό πάντοτε με κάποια άλλη πηγή ενέργειας (π.χ. σύνδεση με ηλεκτρικό δίκτυο, παράλληλη λειτουργία με μονάδες Diesel κλπ).
- Σε *περίπτωση διασύνδεσης* με το ηλεκτρικό δίκτυο η παραγόμενη ενέργεια δεν πληρεί πάντοτε τις τεχνικές απαιτήσεις του δικτύου με αποτέλεσμα να είναι απαραίτητη η τοποθέτηση αυτοματισμών ελέγχου, μηχανημάτων ρύθμισης τάσεως και συχνότητας, καθώς και ελέγχου της άεργης ισχύος.
- Σε *περιπτώσεις αυτόνομων μονάδων* είναι απαραίτητη η ύπαρξη συστημάτων αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας, σε μια προσπάθεια να έχουμε συγχρονισμό της ζήτησης και της διαθέσιμης ενέργειας. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται αυξημένο αρχικό κόστος (λόγω της προσθήκης του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας) και βέβαια επιπλέον απώλειες ενέργειας κατά τις φάσεις μετατροπής και αποθήκευσης καθώς και αυξημένες υποχρεώσεις συντήρησης και εξασφάλισης της ομαλής λειτουργίας.

- v. Τέλος θα πρέπει να επισημανθεί το σχετικά *υψηλό κόστος της αρχικής επένδυσης* για την εγκατάσταση μιας μονάδας παραγωγής ενέργειας με ΑΠΕ. Στο σημείο αυτό πρέπει να προσθέσουμε ότι η συνεχής εξέλιξη της τεχνολογίας, ο ανταγωνισμός μεταξύ των κατασκευαστών έχει τα τελευταία χρόνια συμπίπτει σημαντικά τις τιμές των ΑΠΕ, κυρίως των ανεμογεννητριών.

Ποικιλομορφία των εφαρμογών

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά των ΑΠΕ είναι οι μεγάλες περιφερειακές διακυμάνσεις. Η ηλιακή ενέργεια ποικίλλει σημαντικά όσον αφορά την τιμή της ετήσιας μέσης ηλιακής ακτινοβολίας. Σε τροπικές περιοχές, η τιμή της είναι 3 φορές μεγαλύτερη από εκείνης των εύκρατων περιοχών.

Η γεωθερμική ενέργεια και τα μικρά υδροηλεκτρικά είναι ακόμα εντονότερα σε εντοπιότητα. Ενώ οι πηγές βιομάζας είναι ευρέως διαθέσιμες, η χρήση του εδάφους και οι κλιματικές διαφορές έχουν ως αποτέλεσμα σημαντικές διαφορές στην κλίμακα και στον τύπο της εφαρμογής (καύση, αεριοποίηση, κ.α.).

Η αιολική ενέργεια είναι επίσης ευρέως διαδεδομένη αλλά τα αιολικά συστήματα διαφέρουν ουσιαστικά και από περιφέρεια σε περιφέρεια αλλά και εντός της ίδιας περιφέρειας, καθώς ακόμα και μικρές διακυμάνσεις στην ταχύτητα του ανέμου μπορούν να έχουν επίδραση στην ενεργειακή παραγωγή.

Ως αποτέλεσμα, οι δυνατότητες των ΑΠΕ τείνουν να διαφοροποιηθούν γεωγραφικά. Επιπλέον, υπάρχει ποικιλομορφία στις τεχνολογικές μεθόδους εκμετάλλευσής τους, ενώ ορισμένες τεχνολογίες είναι περισσότερο εξελιγμένες και «ώριμες» για χρήση μεγάλης κλίμακας, άλλες θεωρούνται ευνοϊκές για τοπική αξιοποίηση, κ.λ.π.. Επομένως, η κατανόηση της προόδου και των μελλοντικών δυνατοτήτων απαιτεί μεγάλη προσοχή στις ίδιες τις τεχνολογίες.

Στον πίνακα 1.2 αναφέρονται οι κυριότερες μορφές Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και οι πιο διαδεδομένες επιλογές αξιοποίησής τους.

Πίνακας 1.2: Παγκοσμίως εκμεταλλεύσιμες μορφές ΑΠΕ

Πηγή	Τεχνικά Εκμεταλλεύσιμη (TWh/έτος)	Επιλογές ενεργειακών μετατροπών
Ηλιακή Ενέργεια	12.000-14.000	Φωτοβολταϊκά, σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος, ηλιακοί θερμοσίφωνες
Αιολική Ενέργεια	20.000-40.000	Μεγάλης και μικρής κλίμακας σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος, αντλίες νερού
Ενέργεια κυμάτων	2.000-4.000	Μεγάλος αριθμός εφαρμογών
Ενέργεια παλίρροιας	>3.500	Φράγματα, εκμετάλλευση παλίρροιακών κυμάτων
Γεωθερμία	4.000-40.000	Hot dry rock, magma, υδροθερμία, Geopressed
Βιομάζα	8.000-25.000	Καύση, αεριοποίηση, πυρόλυση, χώνευση, βιοκαύσιμα για παραγωγή θερμότητας-ηλεκτρισμού

Ωστόσο, παρά τις μεγάλες δυνατότητες αξιοποίησής τους, οι ΑΠΕ καλύπτουν μονάχα ένα μικρό μέρος από τις σύγχρονες ενεργειακές ανάγκες της ανθρωπότητας σε ηλεκτρική ενέργεια (Πίνακας 1.3), η οποία και αποτελεί τη συνηθέστερη μορφή ενέργειας, μαζί με την ενέργεια για μετακινήσεις και θέρμανση. Έτσι, το μεγαλύτερο ποσοστό της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας προέρχεται από την καύση ορυκτών καυσίμων (στερεών, υγρών, αερίων).

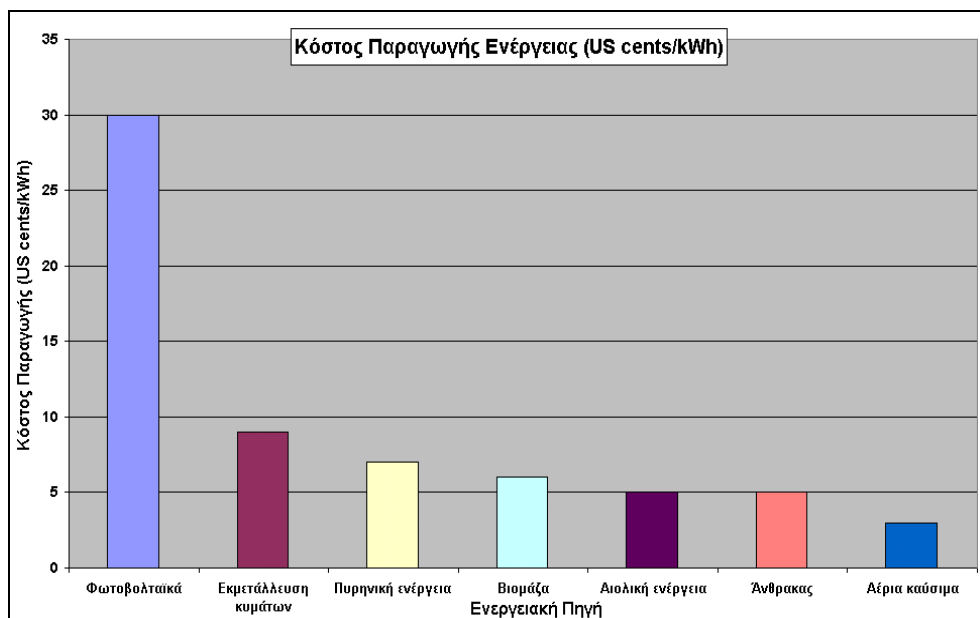
Πίνακας 1.3: Παγκόσμια Εγκατεστημένη Ηλεκτροπαραγωγός Ισχύς

Πηγή	Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)	Ετήσια Παραγόμενη Ενέργεια (TWh/έτος)
Βιομάζα	35.000	185
Αιολική Ενέργεια	36.000	200
Γεωθερμία	8.200	44
Μικρά Υδροηλεκτρικά	3.000	15
Ηλιακά Φωτοβολταϊκά	1.200	1

Ηλιακά Θερμικά	350	0,2
Συνολικά (ΑΠΕ)	83.750	445,2

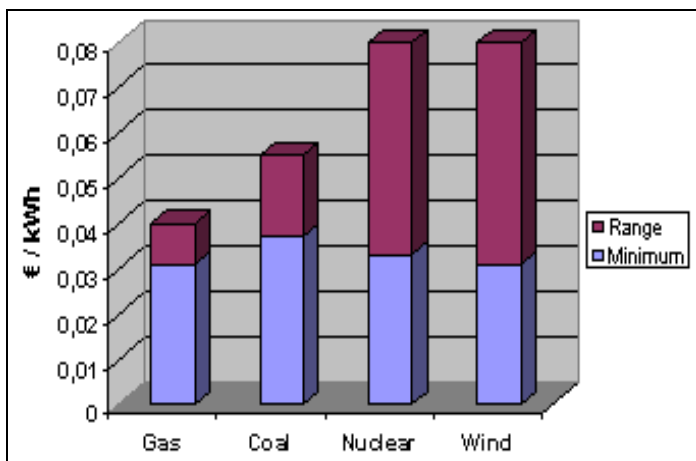
Παρ’ όλη την κλίμακα της δυναμικής, η τωρινή συνεισφορά των ανανεώσιμων πηγών ενέργεια είναι μέτρια. Οι ΑΠΕ υπολογίζεται ότι προμηθεύουν περίπου 17% της παγκόσμιας ενέργειας, η περισσότερη από την οποία προέρχεται από μεγάλες υδροηλεκτρικές μονάδες και την παραδοσιακή χρήση βιομάζας και αγροτικών αποβλήτων στις αναπτυσσόμενες χώρες – αυτές όμως καταναλώνουν το 18% του ηλεκτρισμού και το 14% της πρωτογενούς παραγωγής αντίστοιχα. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η αιολική, η ηλιακή και οι «νέες μορφές» βιομάζας (ενεργειακά φυτά, κ.α.) συνεισφέρουν σημαντικά λιγότερο – γύρω στο 3% του ηλεκτρισμού και στο 2% της πρωτογενούς παραγωγής.

Ένα από τα πιο σημαντικά θέματα για την ανάπτυξη των ΑΠΕ είναι το κόστος τους (Σχήμα 1.2). Πολλές τεχνολογίες είναι στις μέρες μας ελάχιστα ή και σημαντικά ακριβότερες από την μικρού κόστους εκμετάλλευση των ορυκτών καυσίμων.



Σχήμα 1.2: Σχετικό κόστος ΑΠΕ και συμβατικών μορφών ενέργειας

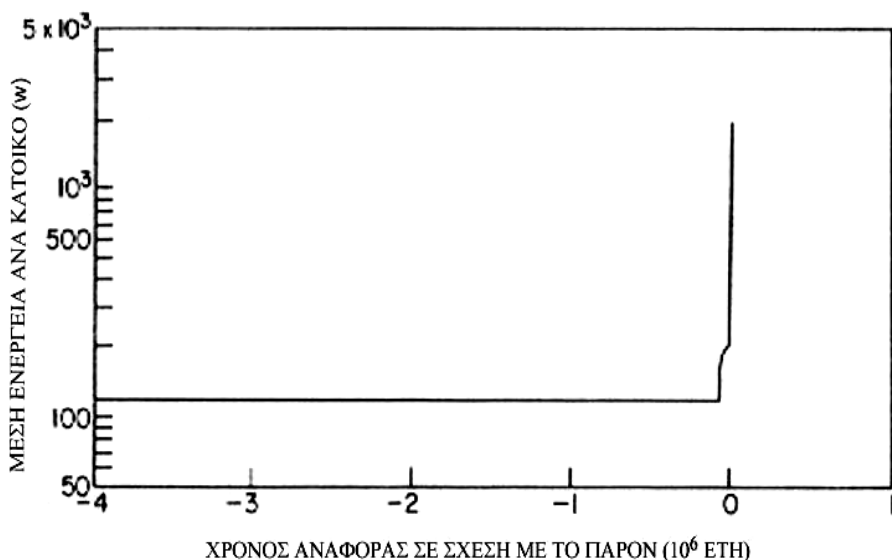
Σύμφωνα με μελέτη του 1999, το μέσο κόστος παραγωγής ηλεκτρισμού στην Ευρώπη κυμαίνεται από 0.031 σε 0.080 €/kWh. Το χαμηλότερο ειδικό κόστος το έχουν οι σταθμοί παραγωγής συνδυασμένου κύκλου με αέρια καύσιμα. Όμως, ο ηλεκτρισμός που παράγεται από την αιολική και την πυρηνική ενέργεια κοστίζει ουσιαστικά το ίδιο: μεταξύ 0.03 και 0.08 €/kWh. Αυτό δείχνει τη σχετική σπουδαιότητα που έχει αποκτήσει η αιολική ενέργεια τα τελευταία χρόνια ως σοβαρός ανταγωνιστής -και από άποψη κόστους- της πυρηνικής ενέργειας και της ενέργειας από ορυκτά καύσιμα (βλ. διάγραμμα 1.2.4).



Σχήμα 1.3: Κόστος για διάφορες τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής

Είναι λοιπόν προτιμότερο, από κάθε άποψη, ο άνθρωπος να βασιστεί είτε στις ανανεώσιμες μορφές ενέργειας, είτε στην πυρηνική σύντηξη, είτε σε συνδυασμό των δύο, έτσι ώστε να μη βρεθεί μπροστά σε μια δραματική μείωση του πληθυσμού του. Παρόλα αυτά, προς το παρόν, δεν είναι σαφές κατά πόσο η δεύτερη λύση είναι εφικτή και πρακτικώς εφαρμόσιμη σε συστήματα ελεγχόμενης παροχής ενέργειας. Κατά συνέπεια εμφανίζεται ως επείγουσα η ανάγκη για επέκταση της ήδη γνωστής, αρκετά περιορισμένης πάντως, τεχνολογίας εκμετάλλευσης ανανεώσιμων ενεργειακών πόρων. Είναι αλήθεια πως τα περισσότερα συστήματα που χρησιμοποιούν τέτοιες μορφές ενέργειας απαιτούν πρόσθετη ενέργεια από μη ανανεώσιμες πηγές, έτσι ώστε να εξομαλύνονται διαφορές στην παραγωγή. Φυσικά, εφόσον η πυρηνική σύντηξη καταλήξει σε τεχνικώς βιώσιμη λύση, θα πρέπει να γίνει έρευνα σε βάθος για το πόσο καλά μπορούν να συνδυαστούν τα πλεονεκτήματά της, με τα αντίστοιχα των ανανεώσιμων μορφών και φυσικά να επιτευχθεί ο βέλτιστος συνδυασμός των δύο.

Από τα πρώτα χρόνια της εμφάνισης του ανθρώπου στη γη, η περίοδος κατά την οποία χρησιμοποιήθηκαν μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (φυσικά καύσιμα), είναι αμελητέα. Η κατακόρυφη γραμμή στο έτος μηδέν (παρόν) στο σχήμα 1.2 αντιπροσωπεύει τέτοιες πηγές ενέργειας και αν ακόμα η μέση ισχύς ανά κάτοικο, καθώς και το μέγεθος του πληθυσμού παρέμενε σταθερό, τότε οι παρούσες υποθέσεις για τους μέγιστα ανακτόμενους μη-ανανεώσιμους ενεργειακούς πόρους (ορυκτά, ισότοπα, κλπ) δεν θα επέτρεπαν να επεκταθεί η περίοδος αυτή πέρα από την κατακόρυφη γραμμή του σχήματος 1.4 [2].



Σχήμα 1.4: Τάση μεταβολής στη μέση χρήση ενέργειας.

Πάντως σύγκριση των δύο τεχνολογιών είναι δύσκολο προς το παρόν να γίνει, μια και οι τελικές μελέτες για τις συσκευές μετατροπής, που θα μπορούσαν να παρέχουν μεγαλύτερα από τα απαιτούμενα ποσά ενέργειας, δεν έχουν ακόμα ολοκληρωθεί. Παρόλα αυτά, είναι πιθανό με βάση τις προκαταρκτικές έρευνες, τα δύο συστήματα να έχουν διαφορετικές επιδράσεις στις κοινωνίες που αναμένεται να λειτουργήσουν. Τα εργοστάσια σύντηξης φαντάζουν ως μεγάλες, κεντρικές μονάδες, που θα έχουν πρωταρχικό σκοπό την παραγωγή υψηλής ποιότητας ενέργειας όπως ηλεκτρική ή υδρογόνο. Αντίθετα τα συστήματα που χρησιμοποιούν ανεξάντλητους πόρους οραματίζονται ως μικρής κλίμακας βαθμίδες που εκμεταλλεύονται τις τοπικές συνθήκες. Κατά συνέπεια θα μπορούσε να ισχυριστεί κανείς ότι στη δεύτερη περίπτωση «παρακινείται» μια σταδιακή αποκέντρωση, αφήνοντας έτσι μεγαλύτερα περιθώρια για περιφερειακή βελτιστοποίηση των συνθηκών ζωής και δημοκρατική συμμετοχή όλων. Από την άλλη, οι τεχνολογίες ευρείας κλίμακας τείνουν να αποτελέσουν «ιδιότητα» των λίγων με αποτέλεσμα έντονη διαστρωμάτωση περιοχών και κοινωνιών όσον αφορά το βιοτικό επίπεδο.

Είναι λοιπόν προτιμότερο, από κάθε άποψη, ο άνθρωπος να βασιστεί είτε στις ανανεώσιμες μορφές ενέργειας, είτε στην πυρηνική σύντηξη, είτε σε συνδυασμό των δύο, έτσι ώστε να μη βρεθεί μπροστά σε μια δραματική μείωση του πληθυσμού του. Παρόλα αυτά, προς το παρόν, δεν είναι σαφές κατά πόσο η δεύτερη λύση είναι εφικτή και πρακτικώς εφαρμόσιμη σε συστήματα ελεγχόμενης παροχής ενέργειας. Κατά συνέπεια εμφανίζεται ως επείγουσα η ανάγκη για επέκταση της ήδη γνωστής, αρκετά περιορισμένης πάντως, τεχνολογίας εκμετάλλευσης ανανεώσιμων ενεργειακών πόρων. Είναι αλήθεια πως τα περισσότερα συστήματα που χρησιμοποιούν τέτοιες μορφές ενέργειας απαιτούν πρόσθετη ενέργεια από μη ανανεώσιμες πηγές, έτσι ώστε να εξομαλύνονται διαφορές στην παραγωγή. Φυσικά, εφόσον η πυρηνική σύντηξη καταλήξει τεχνικώς βιώσιμη λύση, θα πρέπει να γίνει έρευνα σε βάθος για το πόσο καλά μπορούν να συνδυαστούν τα πλεονεκτήματά της, με τα αντίστοιχα των ανανεώσιμων μορφών και φυσικά να επιτευχθεί ο βέλτιστος συνδυασμός των δύο.

Πάντως σύγκριση των δύο τεχνολογιών είναι δύσκολο προς το παρόν να γίνει, μια και οι τελικές μελέτες για τις συσκευές μετατροπής, που θα μπορούσαν να παρέχουν μεγαλύτερα από τα απαιτούμενα ποσά ενέργειας, δεν έχουν ακόμα ολοκληρωθεί. Παρόλα αυτά, είναι πιθανό με βάση τις προκαταρκτικές έρευνες, τα δύο συστήματα να έχουν διαφορετικές επιδράσεις στις κοινωνίες που αναμένεται να λειτουργήσουν. Τα εργοστάσια σύντηξης φαντάζουν ως μεγάλες, κεντρικές μονάδες, που θα έχουν πρωταρχικό σκοπό την παραγωγή

υψηλής ποιότητας ενέργειας όπως ηλεκτρική ή υδρογόνο. Αντίθετα τα συστήματα που χρησιμοποιούν ανεξάντλητους πόρους οραματίζονται ως μικρής κλίμακας βαθμίδες που εκμεταλλεύονται τις τοπικές συνθήκες. Κατά συνέπεια θα μπορούσε να ισχυριστεί κανείς ότι στη δεύτερη περίπτωση «παρακινείται» μια σταδιακή αποκέντρωση, αφήνοντας έτσι μεγαλύτερα περιθώρια για περιφερειακή βελτιστοποίηση των συνθηκών ζωής και δημοκρατική συμμετοχή όλων. Από την άλλη, οι τεχνολογίες ευρείας κλίμακας τείνουν να αποτελέσουν «ιδιότητα» των λίγων με αποτέλεσμα έντονη διαστρωμάτωση περιοχών και κοινωνιών όσον αφορά το βιοτικό επίπεδο.

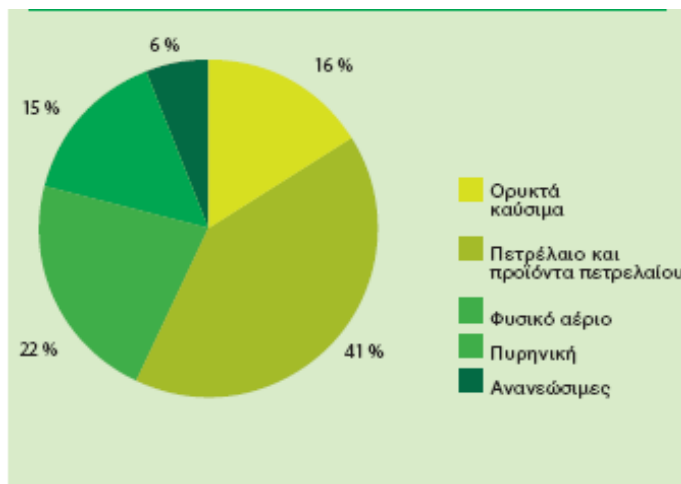
Είναι μάλλον υπερβολή να φανταστεί κανείς ότι η εισαγωγή μιας μορφής ενέργειας έναντι μιας άλλης θα καθορίσει ή θα λύσει τέτοια πολιτικά προβλήματα. Αυτό που μπορεί να είναι αλήθεια, παρόλα αυτά, είναι ότι οι συγκεκριμένοι τύποι τεχνολογίας είναι περισσότερο κατάλληλοι για κοινωνίες οργανωμένες με συγκεκριμένο τρόπο. Οι τεχνολογίες που εκμεταλλεύονται ηλιακή ενέργεια, μπορούν να εφαρμοστούν ευκολότερα σε αγροτικές περιοχές με μικρή προηγούμενη τεχνολογική εμπειρία, παρά σε μεγάλης κλίμακας κεντρικές μονάδες μετατροπής ενέργειας με συνδυαζόμενα δίκτυα διανομής, τα οποία βασίζονται σε άμεσες επενδύσεις μεγάλων κεφαλαίων παρά σε σταδιακή ανάπτυξη. Παράγοντες θεσμικής ή ιδεολογικής προέλευσης μπορούν να εντείνουν ή να εμποδίσουν τέτοιες τάσεις σε αυτόνομες κοινωνίες.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας χαρακτηρίζονται από μια μέγιστη θεωρητικά απόδοση βάσει της οποίας μπορεί να εξαχθεί ενέργεια. Σε κάποιες περιπτώσεις οι διαφορετικές συνθήκες καθώς και ο τρόπος που χρησιμοποιείται η εκάστοτε πηγή από τον άνθρωπο, μπορούν από μόνα τους να τροποποιήσουν αυτή την απόδοση. Για παράδειγμα, οι διαφορές θερμοκρασίας στους ωκεανούς καθώς και οι διαφορετικές ταχύτητες που εμφανίζονται μπορούν να μεταβάλλουν την απόδοση της διεργασίας. Από την άλλη, τα γεωθερμικά ρευστά από το εσωτερικό της γης δεν αποτελούν ανανεώσιμο πόρο, μια και το κύριο τμήμα της ροής σχετίζεται με μια ψύξη από τον πυρήνα προς το φλοιό. Επειδή το ποσό της θερμότητας που χάνεται ανά έτος είναι πολύ μικρό, για πρακτικούς σκοπούς η γεωθερμική ενέργεια μελετάται ως ανεξάντλητη πηγή.

Η ενέργεια που παράγεται από σύντηξη είναι μια μεγάλη, δυναμική φύσεως, πηγή. Παρόλα αυτά δεν εξετάζεται ως ανανεώσιμη πηγή επειδή δεν λαμβάνει χώρα φυσική ροή. Κατά συνέπεια, το παραπάνω είδος ενέργειας συγκαταλέγεται στις μη ανανεώσιμες πηγές. Πάντως, εφόσον ξεπεραστούν τα αρχικά εμπόδια και κατασκευαστούν ικανές-κατάλληλες συσκευές μπορούν να επιτευχθούν υψηλές αποδόσεις μετατροπής.

2.4 Ενέργεια και Ευρωπαϊκή Ένωση

Η τεράστια εξάρτηση της Ευρώπης από τα ορυκτά καύσιμα (πετρέλαιο, φυσικό αέριο και άνθρακας) συνεχώς εντείνεται (Σχήμα 1.5). Το γεγονός αυτό μας θέτει πολυάριθμα προβλήματα, μμεταξύ των οποίων είναι η τιμή του πετρελαίου και του φυσικού αερίου που επηρεάζουν την οικονομία μας και τη ζωή εκατομμυρίων επιχειρήσεων, η δύναμη που δίνουμε στους λιγιστούς προμηθευτές μας από το εξωτερικό, η ρύπανση προφανώς, και τέλος, όπως είδαμε πρόσφατα, ο κίνδυνος κοινωνικών ταραχών όταν οι αγορές βρίσκονται σε κρίση.



Σχήμα 1.5: EE-15 — Ισοζύγιο πρωτογενούς ενέργειας του 1998

Οι γεωπολιτικοί περιορισμοί βαρύνουν σε τεράστιο βαθμό τον τομέα της ενέργειας. Η Ευρώπη εξαρτάται κατά 50 % από τις εισαγωγές της. Το ποσοστό αυτό θα ανέλθει σε 70 % γύρω στο 2030. Οι εισαγωγές αυτές μάλιστα συνδέονται σχεδόν αποκλειστικά με τα ορυκτά καύσιμα.

Οι περιβαλλοντικοί περιορισμοί αρχίζουν να γίνονται αισθητοί στην καθημερινή μας ζωή. Πρέπει ήδη από σήμερα να προετοιμάσουμε το έδαφος για να παράγουμε ενέργεια ή να μετακινούμαστε κατά τρόπο πιο συμβατό με το περιβάλλον. Τα ορυκτά καύσιμα θέτουν πολυάριθμα περιβαλλοντικά προβλήματα που συνδέονται με την καύση τους και τη μεταφορά τους.

Οι γεωπολιτικοί περιορισμοί μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι σε πενήντα χρόνια δεν θα υπάρχει σχεδόν πλέον πετρέλαιο ή φυσικό αέριο. Ή ότι η εξόρυξή τους θα είναι πολύ δαπανηρή, και δεν θα έχει καμία σχέση με τις σημερινές τιμές. Με άλλα λόγια, αυτοί οι πόροι υπάρχουν στη φύση σε πεπερασμένες ποσότητες και αυτό που κάνουμε εμείς είναι ότι απλώς τις σπαταλούμε.

Ο τομέας της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι σε πλήρη αλλαγή: πολλοί σταθμοί φθάνουν στο τέλος της διάρκειας ζωής τους και πρέπει σήμερα να αποφασιστούν νέες επενδύσεις για την περίοδο 2005-2010. Ο τομέας της πυρηνικής ενέργειας περιμένει άλλωστε τις αποφάσεις σχετικά με το μέλλον του, εξαιτίας μιας ιδιαίτερης συγκυρίας: ελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, προβλήματα αποδοχής από το κοινό, αδιέξοδο στο θέμα των αποβλήτων ή ακόμη και στην ανακύκλωση/επανεπεξεργασία. Σύμφωνα με τους οικονομολόγους, περνάμε πλέον στο στάδιο που το πετρέλαιο θα γίνεται όλο και πιο δαπανηρό στην εξόρυξή του. Η κατανάλωσή του μάλιστα δεν κάμπτεται, το αντίθετο. Στη βραχυπρόθεσμη ανάπτυξη του τομέα της ενέργειας πρέπει να ληφθούν υπόψη οι περιβαλλοντικές δεσμεύσεις της Ένωσης στο Κιότο. Ούτως ή άλλως, εάν συνεχίσουμε κατ' αυτόν τον τρόπο, δεν θα τις σεβαστούμε καν. Προσοχή όμως! Οι πολίτες της Ένωσης είναι σήμερα πολύ ευαισθητοποιημένοι για το περιβάλλον και την υγεία τους. Παρ' όλα αυτά, τα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας είναι απλώς παλιές αναμνήσεις.

Όπως ορίζεται στην Πράσινη Βίβλο, που δημοσιεύτηκε το 2000, για την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού, κύριες προτεραιότητες της ενεργειακής πολιτικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι να αντιμετωπισθεί η αυξανόμενη εξάρτηση της Ένωσης από εισαγωγές ενέργειας προερχόμενες από λίγες περιοχές της υφής, καθώς και η κλιματική αλλαγή. Με προοπτική τα επόμενα είκοσι μέχρι τριάντα έτη η Πράσινη Βίβλος επέστησε την προσοχή στις διαρθρωτικές αδυναμίες και τα γεωπολιτικά, κοινωνικά και περιβαλλοντικά μειονεκτήματα του ενεργειακού εφοδιασμού της ΕΕ, ιδίως όσον αφορά τις δεσμεύσεις που ανέλαβε η Ευρώπη υπό το Πρωτόκολλο του Κιότο.

Η προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας πρέπει να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο για την εκπλήρωση των στόχων. Από το 1997, η Ένωση έχει καταβάλει προσπάθειες ώστε να επιτευχθεί έως το 2010 ο φιλόδοξος στόχος να είναι 12% το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών στην ακαθάριστη εσωτερική κατανάλωση ενέργειας. Το 1997, το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ήταν 5,4%· το 2001 είχε φθάσει σε 6% (χάριν σύγκρισης, το μερίδιο του πετρελαίου ανέρχεται σε 40%, του φυσικού αερίου σε 23%, της πυρηνικής ενέργειας σε 16% και των στερεών καυσίμων σε 15%).

2.4.1 Η κατάσταση της ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση

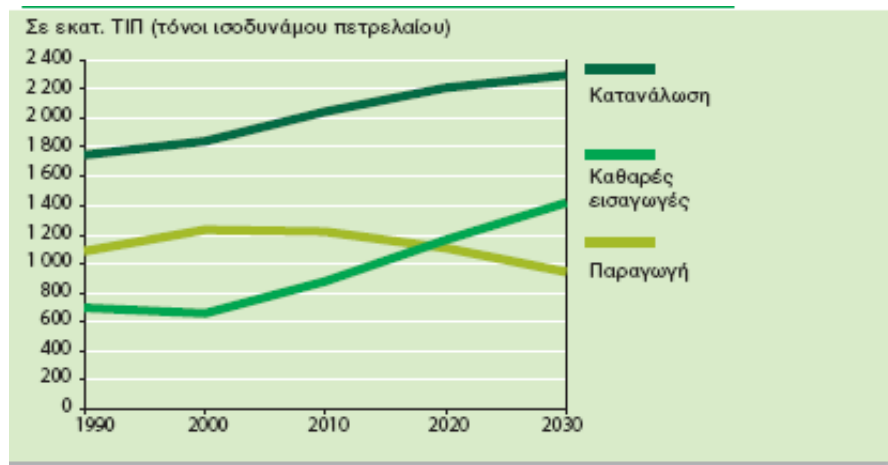
Η Ευρωπαϊκή Ένωση, ακόμη και μετά τη διεύρυνσή της σε 25 μέλη, καταλαμβάνει μόνο το 7% της αύξησης της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας μεταξύ 2000 και 2020. Περισσότερο από ένα τρίτο της αύξησης αυτής αναμένεται στην Κίνα και την Ινδία. Οι αποφάσεις στην Ευρωπαϊκή Ένωση και άλλες εκβιομηχανισμένες χώρες θα έχουν αυξανόμενες συνέπειες παγκοσμίως στο μέγεθος και τον τρόπο χρήσης της ενέργειας.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση και άλλες χώρες του ΟΟΣΑ έχουν την ηθική και πρακτική ευθύνη να καταστήσουν δυνατή την υιοθέτηση πολιτικών από τις εκβιομηχανισμένες χώρες οι οποίες θα βοηθήσουν να εξασφαλιστεί ο ενεργειακός εφοδιασμός τους και να τεθεί υπό έλεγχο η κλιματική αλλαγή χωρίς να διακυβευτεί η οικονομική τους μεγέθυνση.

Ο μέσος πολίτης στην ΕΕ-25 καταναλώνει περίπου το πενταπλάσιο σε ορυκτή ενέργεια του μέσου πολίτη της Ασίας, της Αφρικής και της Μέσης Ανατολής (πράγμα που ισχύει άλλωστε για τους πολίτες της Ιαπωνίας-περιοχής του Ειρηνικού Ωκεανού. Οι πολίτες των ΗΠΑ καταναλώνουν σχεδόν το δωδεκαπλάσιο). Εάν οι πλουσιότερες χώρες δεν μετριάσουν την κατανάλωσή τους σε στερεά καύσιμα, έχουν ελάχιστες πιθανότητες να πείσουν τις λιγότερο εύπορες χώρες να το πράξουν - ιδίως όταν τόσοι πολλοί άνθρωποι στις αναπτυσσόμενες χώρες έχουν έλλειψη επαρκών ενεργειακών υπηρεσιών.

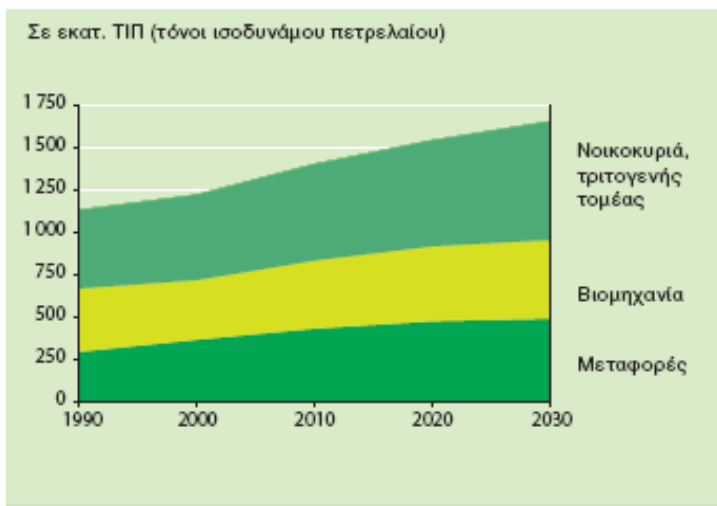
Η Επιτροπή της ΕΕ εκτιμά ότι με τα μέτρα που εφαρμόζονται το **μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην ΕΕ-15 θα φθάσει το 10% μέχρι το 2010**. Η καθυστέρηση έναντι του στόχου του 12% οφείλεται στην αργή ανάπτυξη των αγορών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για θέρμανση και ψύξη, γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι απαιτούνται σημαντικές πρόσθετες δράσεις στον τομέα αυτό ώστε να επιτευχθεί πλήρως ο στόχος του 12%.

Ακόμη και αν η ΕΕ κατάφερε να μειώσει την ενεργειακή της ένταση (η αναγκαία ποσότητα ενέργειας για την παραγωγή μιας μονάδας πλούτου). Η κατανάλωση ενέργειας αρχίζει να υπαερβαίνει το 1 έως 2 % το χρόνο (Σχήμα 1.6). Η εξάρτηση από τις τρίτες χώρες υπερέβη το 50 %. Οι πενιχροί ενδογενείς πόροι μας αρχίζουν να εξαντλούνται — για τον άνθρακα, μπορούμε να μιλάμε για «οικονομική» εξάντληση, γιατί είναι πάρα πολύ ακριβός στην εξόρυξή του. Και για να συμπληρώσουμε την εικόνα, το πετρέλαιο εξακολουθεί να είναι πρώτο στις προτιμήσεις στα νοικοκυριά, τον τριτογενή τομέα και τις μεταφορές. Δίχως άλλο, αυτός ο τελευταίος τομέας θα γνωρίσει θεαματική ανάπτυξη στο προσεχές μέλλον.



Σημά 1.6: EE-30 — Ενεργειακό ισοζύγιο

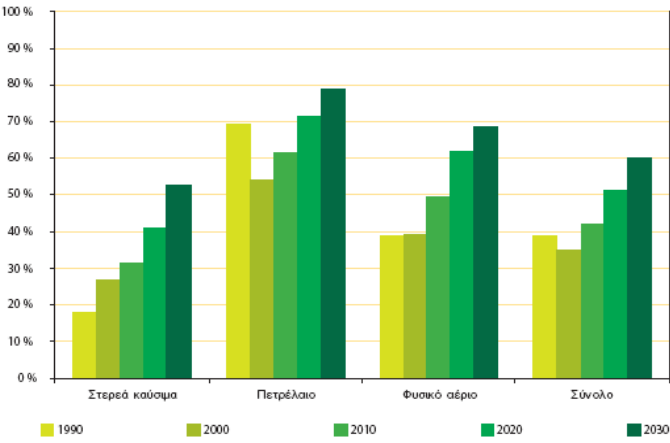
Η αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, μεταφορών και θερμότητας οφείλεται κυρίως στα νοικοκυριά και τον τριτογενή τομέα (Σημά 1.7). Και ευτυχώς που η βιομηχανία μπόρεσε να σταθεροποιήσει την κατανάλωσή της χάρη στις επενδύσεις εκσυγχρονισμού. Αντίθετα, οι μεταφορές είναι αδιαμφισβήτητα ο κύριος τομέας στη ζήτηση ενέργειας. Όλες οι προβλέψεις αφήνουν να εννοηθεί έκρηξη της δραστηριότητας γι' αυτόν τον πολύ μεγάλο καταναλωτή πετρελαίου.



Σημά 1.7: EE-30 — Τελική κατανάλωση ενέργειας

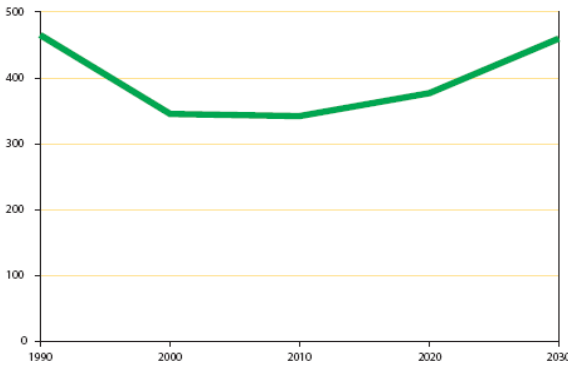
Η διεύρυνση δεν θα διορθώσει τα πράγματα, διότι οι νέες χώρες μέλη της ΕΕ θα έχουν μεγάλη οικονομική ανάπτυξη (5-6 %). Η ζήτηση ενέργειας θα αυξηθεί και αυτή: 2 % ανά έτος έως το 2020. Όσον αφορά τις μεταφορές, είναι προφανές ότι σε μια γεωγραφικά διευρυμένη Ένωση η κυκλοφορία θα αναπτυχθεί με μμεγάλους ρυθμούς. Οι μεταφορές απορροφούν το 67 % της τελικής ζήτησης πετρελαίου, από το οποίο εξαρτώνται ολοκληρωτικά (σε ποσοστό 98 %). Η ενεργειακή ένταση αυξήθηκε 10 % από το 1985 έως το 1998. Οι προβλέψεις αύξησης έως το 2010 είναι θαυμαστικές: + 16 % για το αυτοκίνητο, + 90 % για τα αεροπλάνα, + 50 % επιπλέον για τις οδικές μεταφορές. Εξαιτίας μεταξύ άλλων της συμφόρησης, το εξωτερικό κόστος των μεταφορών υπολογίζεται στο 2 % του ΑΕΠ.

EU-30 – Εξάρτηση ανά ενεργειακό προϊόν



Σχήμα 1.8: EU-30 – Εξάρτηση ανά ενεργειακό προϊόν

EU-30 – Στερεά καύσιμα: σενάριο αναφοράς (κατανάλωση σε εκατ. ΤΙΠ)

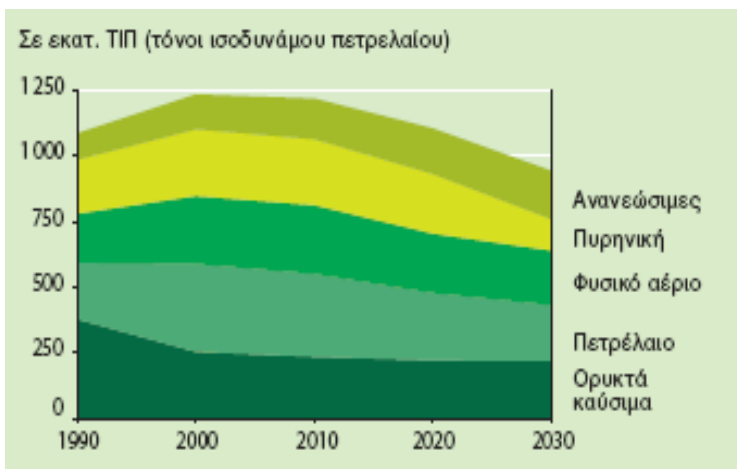


Σχήμα 1.9: EU-30 – Στερεά καύσιμα: Σενάριο αναφοράς

2.4.1.1 Οι ενδογενείς πόροι

Η Ευρωπαϊκή Ένωση δεν είναι πολύ πλούσια σε ενδογενείς φυσικούς πόρους (Σχήμα 1.10). Η εξόρυξή τους στοιχίζει περισσότερο απ’ ό,τι σε άλλα μέρη. Μπορούμε να είμαστε βέβαιοι ότι η μείωση των πόρων μας θα συνεχιστεί. Ο ρυθμός εξάντλησης θα εξαρτηθεί από τις παγκόσμιες τιμές και από την τεχνολογική πρόοδο. Η διεύρυνση δεν θα διορθώσει την κατάσταση, εκτός από την περίπτωση του άνθρακα. Όπως, μόνο το δυναμικό των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας δεν έχει χρησιμοποιηθεί σε όλη την έκτασή του, εξαιτίας της υψηλής τιμής παραγωγής. Εάν λυθεί το πρόβλημα αυτό, πρόκειται για τη μόνη πηγή που έχει μέλλον στην Ένωση.

Η ΕΕ έχει μεγάλο βάρος ως πελάτης στη διεθνή ενεργειακή σκηνή. Το 1997, οι εισαγωγές ενέργειας της ΕΕ ανήλθαν σε 120 δις. ευρώ. Η ΕΕ απορροφά το 14-15 % της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας και είναι επομένως ο μεγαλύτερος εισαγωγέας πετρελαίου (19 % της παγκόσμιας κατανάλωσης) και φυσικού αερίου (16 % των αναγκών του πλανήτη) στον κόσμο. Το 1999 οι εισαγωγές πετρελαίου της ΕΕ έφθασαν τα 240 δις. ευρώ. Το 2000 έγινε έκρηξη στις εισαγωγές. Το μισό σχεδόν των χρημάτων αυτών κατέληξε στις τσέπες των πετρελαιοπαραγωγών της Μέσης Ανατολής.

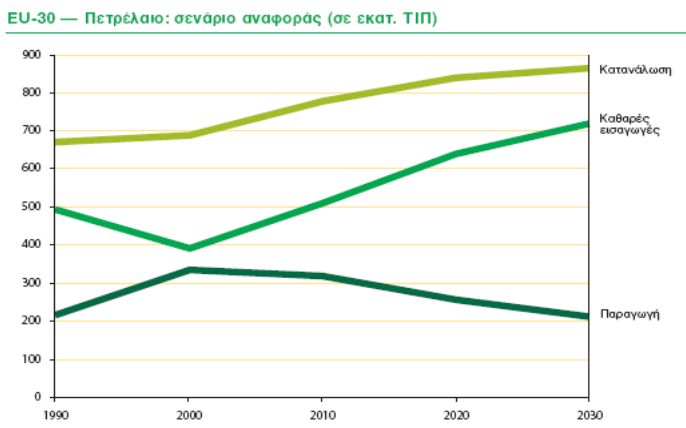


Σχήμα 1.10: EU-30 — Παραγωγή ενέργειας

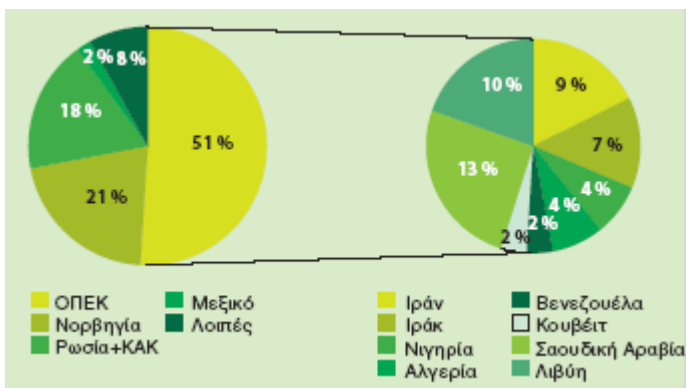
Εάν καταναλώνουμε περισσότερο απ’ ό,τι παράγουμε, πρέπει λοιπόν να εισάγουμε ή να καταναλώνουμε λιγότερο. Ούτως ή άλλως πάντως δεν θα είμαστε ποτέ αυτάρκεις στο θέμα της ενέργειας. Οι βολонταριστικές ενεργειακές πολιτικές (εξοικονόμηση, πυρηνικό πρόγραμμα, υποστήριξη των ανανεώσιμων, ενδογενής παραγωγή) που ασκήθηκαν μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση δεν αρκούν πλέον. Οι εισαγωγές θα αυξηθούν λοιπόν για να αντιμετωπιστεί η συνεχής ζήτηση. Σε 20 έως 30 χρόνια, θα εξαρτώμεθα κατά 90 % από το πετρέλαιο, κατά 70 % από το φυσικό αέριο και κατά 100 % από τον άνθρακα. Η διεύρυνση εντείνει τις τάσεις αυτές.

Το πετρέλαιο της Βόρειας Θάλασσας δεν είναι παντοτινό. Η εκμετάλλευση των κοιτασμάτων είναι δαπανηρή και τα αποθέματα περιορισμένα. Στην καλύτερη των περιπτώσεων τα αποθέματα αντιπροσωπεύουν ακόμη 25 χρόνια παραγωγής ή οκτώ χρόνια κατανάλωσης με τα σημερινά επίπεδα. Το κόστος εξόρυξης είναι πολύ πιο υψηλό απ’ ό,τι στη Μέση Ανατολή (Σχήματα 1.11 και 1.12).

Το φυσικό αέριο της Βόρειας Θάλασσας ακολουθεί το ίδιο σχέδιο με το πετρέλαιο. Μόνο που στη δεδομένη περίπτωση, μπορούμε να στηριζόμαστε στην παραγωγή της Νορβηγίας, μέλος του Ευρωπαϊκού Οικονομικού Χώρου. Τα αποθέματά της αντιπροσωπεύουν 23 χρόνια κατανάλωσης με τα σημερινά επίπεδα (Σχήματα 1.13 και 1.14).

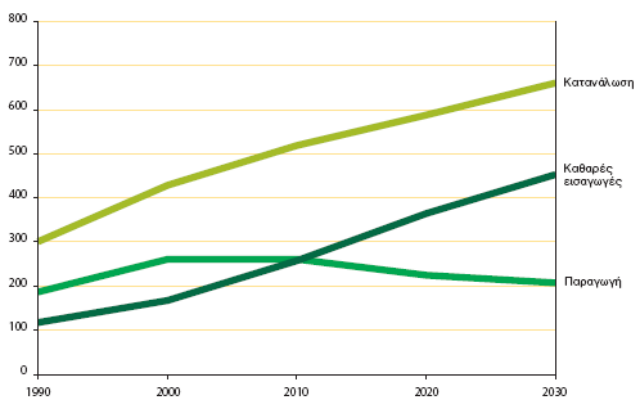


Σχήμα 1.11: EU-30 — Πετρέλαιο: Σενάριο αναφοράς

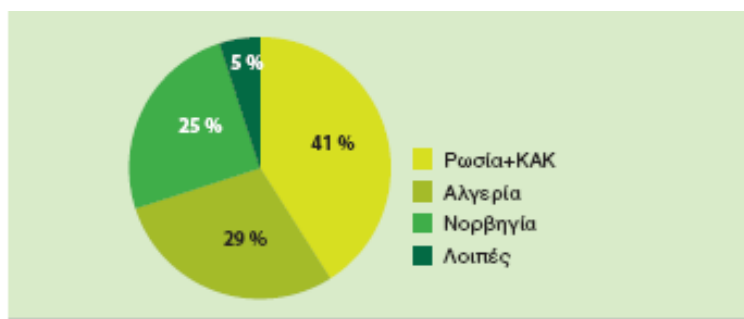


Σχήμα 1.12: EU-15: Εισαγωγές αργού πετρελαίου από τρίτες χώρες το 1999

EU-30 — Φυσικό αέριο: σενάριο αναφοράς (σε εκατ. ΤΙΠ)



Σχήμα 1.13: EU-30 — Φυσικό αέριο: Σενάριο αναφοράς



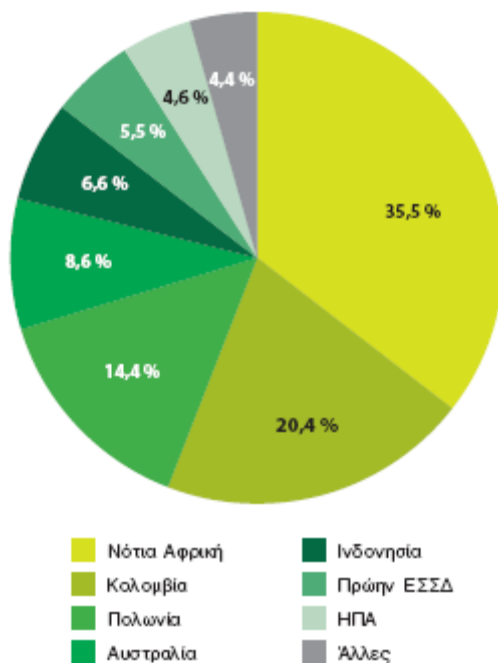
Σχήμα 1.14: EU -15 — Εισαγωγές φυσικού αερίου από τρίτες χώρες το 1999

Ο κοινοτικός άνθρακας στοιχίζει τρεις με τέσσερις φορές περισσότερο από την παγκόσμια τιμή. Τα αποθέματα είναι πολύ μεγάλα και θα είναι ακόμη μεγαλύτερα με τη διεύρυνση. Το πρόβλημα όμως της ανταγωνιστικότητας θα οδηγήσει την ΕΕ να μειώσει δραστικά την παραγωγή της (Σχήμα 1.15). Μόνο στο Ηνωμένο Βασίλειο πια η παραγωγή άνθρακα θα μπορούσε να είναι ανταγωνιστική. Ο λιγνίτης και η τύρφη αποδίδουν, δεν συντελούν όμως σε σημαντικό βαθμό στην παραγωγή ενέργειας στην ΕΕ.

Το ευρωπαϊκό ουράνιο αποτελεί το 2 % των παγκόσμιων αποθεμάτων. Με βάση τις πολύ χαμηλές τιμές στην παγκόσμια αγορά, τα ευρωπαϊκά κοιτάσματα είναι όλο και λιγότερο ανταγωνιστικά. Η αγορά ουρανίου είναι αντίθετα ανθηρή σε παγκόσμιο επίπεδο.

Η εξάρτηση από το εξωτερικό δεν θέτει τα ίδια προβλήματα για όλα τα ενεργειακά προϊόντα. Για τον άνθρακα ή το ουράνιο, δεν υπάρχει πρόβλημα διότι η παγκόσμια αγορά είναι πολύ

ρευστή, γεωγραφικά αποκεντρωμένη και χωρίς ένταση τιμών. Για το πετρέλαιο ή το φυσικό αέριο, η αγορά είναι πολύ εύθραυστη και τα αποθέματα άνισα κατανομημένα. Οι διακυμάνσεις των τιμών μπορούν να επηρεάσουν σοβαρά την οικονομία μας. Τι θα συμβεί εάν υπάρξει έκρηξη ενεργειακής ζήτησης στις αναπτυσσόμενες χώρες;



Σχήμα 1.15: EU -15 — Εισαγωγές άνθρακα για ατμοπαραγωγή από τρίτες χώρες το 1999

2.4.1.2 Το περιβάλλον απειλείται

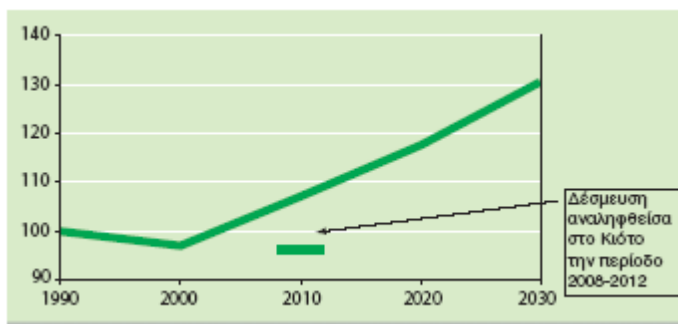
Η παραγωγή, η μεταφορά και η κατανάλωση ενέργειας έχουν σημαντικό αντίκτυπο στο περιβάλλον. Η Ένωση έχει θέσει το περιβάλλον μεταξύ των προτεραιοτήτων της. Τα περιβαλλοντικά θέματα θα μπορούσαν λοιπόν να επηρεάσουν τις αποφάσεις μας όσον αφορά την ενέργεια στο μέλλον. Η εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων είναι όλο και πιο σοβαρή για κάθε οικονομική δραστηριότητα. Αυτό αφορά π.χ. την αλλαγή του κλίματος αλλά και τη ρύπανση του περιβάλλοντος, τις πετρελαιοκηλίδες ή τα πυρηνικά ατυχήματα.

Η καταπολέμηση του φαινομένου του θερμοκηπίου έχει πλέον συμβολικό χαρακτήρα. Σχεδόν όλες οι εκπομπές CO₂ που δημιουργούνται από τον άνθρωπο αποδίδονται στον ενεργειακό τομέα. Αυτό είναι το επακόλουθο της όλο και μεγαλύτερης εξάρτησης του ανθρώπου από τα ορυκτά καύσιμα. Εκεί λοιπόν θα συγκεντρωθούν οι προσπάθειες της Ευρώπης. Η μεταφορά και η ηλεκτροπαραγωγή/ ατμοπαραγωγή ευθύνονται σε χονδρικές γραμμές η κάθε μία για το ένα τρίτο των εκπομπών CO₂.

Ωστόσο, τα εννέα δέκατα της αύξησης των εκπομπών CO₂ αποδίδονται στις μεταφορές, και κυρίως στις οδικές μεταφορές. Είναι ο τομέας λοιπόν όπου πρέπει οπωσδήποτε να υπάρξει παρέμβαση. Όσο περισσότερο περιμένουμε τόσο πιο απότομες θα είναι οι αλλαγές.

Κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας, τα αέρια που συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (CO₂, μεθάνιο κλπ.) για τα οποία ευθύνεται ο άνθρωπος, έχουν αναγνωριστεί ως σοβαρή απειλή για το κλίμα του πλανήτη. Επισπεύδουν τα φαινόμενα της κλιματικής μεταβολής. Προκαλούν μεταξύ άλλων τήξη των παγετώνων, άνοδο της στάθμης των ωκεανών και όλο και πιο υψηλές ατμοσφαιρικές θερμοκρασίες. Τα φαινόμενα αυτά συντελούνται πολύ πιο γρήγορα μάλιστα και σε αναλογίες πολύ πιο σημαντικές απ' ό,τι είχε προβλεφθεί αρχικά. Η ΕΕ ευθύνεται για το 14 % των παγκόσμιων εκπομπών CO₂ (Σχήμα 1.16). Ανέλαβε τη δέσμευση σε μία διάσκεψη στο Κιότο τον Δεκέμβριο του 1997 να μειώσει

έως το 2008-2012 τις εκπομπές αερίων που συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου κατά 8 %.



Σχήμα 1.16: EU -30 — Εκπομπές CO₂ (1990 = 100)

Η **μείωση των εκπομπών** (εκτός από εκείνες των αερίων που συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου) είναι ένα άλλο οικονομικό πρόβλημα για την Ένωση. Η ευρωπαϊκή νομοθεσία επιβάλλει περιορισμούς όλο και πιο αυστηρούς στις ρυπογόνους δραστηριότητες. Οι περιορισμοί αυτοί αφορούν ιδίως την ποιότητα των καυσίμων, την αξιοποίηση των αποβλήτων και τα ανώτατα εθνικά όρια εκπομπών αερίων που προκαλούν οξίνιση. Είναι προφανές ότι οι δραστηριότητες που ρυπαίνουν λιγότερο θα ευνοούνται όλο και περισσότερο.

Η **ασφάλεια στη ναυτιλία** ανησυχεί την Ένωση. Οι πρόσφατες πετρελαιοκηλίδες είναι απαράδεκτες. Η κυκλοφορία υδρογονανθράκων στα ευρωπαϊκά ύδατα είναι σημαντική. Η Ένωση διαθέτει πλέον μια νομοθεσία πιο προσαρμοσμένη στο θέμα της ασφάλειας στη ναυτιλία. Ωστόσο, όσο περισσότερο πετρέλαιο καταναλώνουμε, τόσο θα αυξάνεται η κυκλοφορία του πετρελαίου και επομένως και ο κίνδυνος ατυχημάτων.

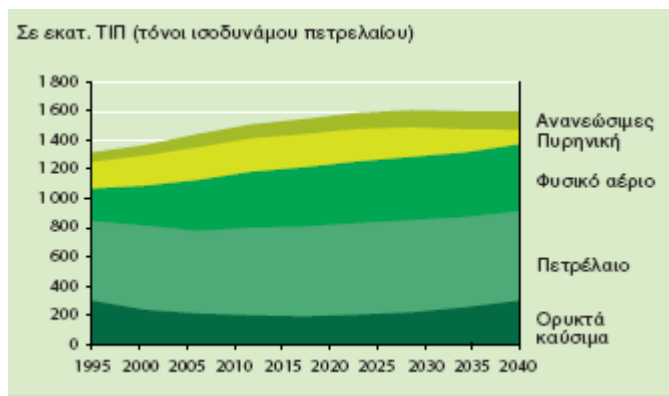
Η **πυρηνική ασφάλεια** είναι ένα σημαντικό στοιχείο στις σχέσεις μας με τις χώρες της Ανατολικής Ευρώπης. Ακόμη και αν η Ένωση δεν διαθέτει ακόμη κοινά πρότυπα, πιέζει για «υψηλά» πρότυπα στην Κεντρική και Ανατολική Ευρώπη. Οι πιθανοί κίνδυνοι για την υγεία και το περιβάλλον από την πυρηνική ενέργεια προκαλούν ανησυχία σε ένα μέρος της κοινής γνώμης. Η ανησυχία αυτή έχει κυρίως ως επίκεντρο το αδιέξοδο που υπάρχει σήμερα όσον αφορά την αποθήκευση των αποβλήτων υψηλής ακτινοβολίας.

Συμπερασματικά, το μέλλον μας επιφυλάσσει άσχημες εκπλήξεις εάν δεν αλλάξουν τις σημερινές τάσεις στο ενεργειακό ισοζύγιο. Πρέπει να επιβραδυνθεί η καμπύλη αύξησης της κατανάλωσης με μέτρα παρέμβασης στη ζήτηση. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν τεράστιο δυναμικό. Όσον αφορά το περιβάλλον, πρέπει να το λαμβάνουμε πάντοτε υπόψη μας στις ενεργειακές μας επιλογές για να ευνοήσουμε τις πιο καθαρές λύσεις.

2.4.2 Παρέμβαση στην προσφορά

Πώς θα εξασφαλίζουμε ότι θα υπάρχουν πάντοτε ενεργειακοί πόροι που θα ανταποκρίνονται στη ζήτησή μας; Πώς μπορεί να εγγυηθεί κανείς ότι η προσφορά θα είναι επαρκής και σε λογικές τιμές; Κάθε ενεργειακός πόρος μπορεί να αντικαταστήσει κάποιον άλλο, έστω και εν μέρει, με κάποια πλεονεκτήματα και κάποια μειονεκτήματα. Η ικανότητα ηλεκτροπαραγωγής της ΕΕ ανέρχεται σε 600 GWe. Έως το 2020 πρέπει να κατασκευαστούν άλλοι τόσοι σταθμοί για να αντιμετωπιστεί η κατανάλωση και για να αντικατασταθεί το ήμισυ των σημερινών ηλεκτροπαραγωγικών σταθμών που θα φθάσουν στο τέλος της διάρκειας ζωής τους (γράφημα για τους πόρους ηλεκτροπαραγωγής στην ΕΕ). Ο ρόλος του πετρελαίου και του άνθρακα αναγκαστικά θα μειωθεί ακόμη περισσότερο. Το φυσικό αέριο

θα κυριαρχεί στις νέες παραγωγικές ικανότητες. Η πυρηνική ενέργεια κατά πάσα πιθανότητα δεν θα αυξηθεί. Η συνεισφορά της θα εξαρτηθεί από πολλούς παράγοντες: διεργασίες του Κιότο, ανταγωνιστικότητα, αποδοχή από το κοινό, επίλυση του προβλήματος των αποβλήτων και της ασφάλειας στις υποψήφιες για προσχώρηση χώρες. Η συνεισφορά των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα εξαρτηθεί από την πολιτική βούληση να προωθηθούν και να αποβούν οικονομικά πιο ελκυστικές. Η ελευθέρωση των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου θα βελτιώσει οπωσδήποτε την αποτελεσματικότητα του συστήματος. Η πτώση όμως των τιμών θα παροτρύνει τον κόσμο να καταναλώνει περισσότερο.



Σχήμα 1.17: Ακαθάριστη εσωτερική κατανάλωση της ΕΕ

Χάρη στις μεταφορές, το πετρέλαιο έχει ακόμη μέλλον. Παραμένει δυστυχώς βασική συνιστώσα της οικονομίας μας. Ή πρέπει να προσπαθήσουμε να το αντικαταστήσουμε, πράγμα που έγινε στην ηλεκτροπαραγωγή (πράγμα αδύνατο όμως στις αερομεταφορές), ή να καταβάλουμε κάθε προσπάθεια ώστε να εξασφαλίσουμε την προμήθειά του, σε «λογικές» τιμές προφανώς.

Η υποκατάσταση των οδικών καυσίμων από υγρά βιολογικά καύσιμα είναι δυνατή σε ποσοστά που δεν είναι αμελητέα. Το μόνο πρόβλημα είναι το κόστος παραγωγής τους. Τα κράτη μέλη δεν φαίνεται να είναι διατεθειμένα να βοηθήσουν μαζικά. Ωστόσο, είναι μια πηγή ενέργειας 100 % ενδογενής. Το άλλο καύσιμο υποκατάστασης είναι το φυσικό αέριο, η συνεισφορά του όμως θα παραμείνει περιθωριακή εάν δεν υποστηριχθεί.

Ο άνθρακας πάντοτε για κάθε ενδεχόμενο

Ο άνθρακας είναι το αντικείμενο της πρώτης ευρωπαϊκής Συνθήκης (EKAX). Παρά το ένδοξο παρελθόν του, είναι σε δυσμενή θέση ως προς τους υδρογονάνθρακες: πιο ρυπογόνος, μικρότερη θερμαντική αξία, λιγότερο πρακτική η μεταφορά του και ογκώδης στην αποθήκευσή του. Το κύριο πλεονέκτημά του είναι η τιμή του: μικρή και σταθερή. Το μερίδιό του πάντως μειώνεται στο ενεργειακό μας ισοζύγιο.

Η **τεχνολογική πρόοδος** μας επιτρέπει να διαβλέψουμε ότι ο άνθρακας έχει πάντοτε μέλλον. Η έρευνα προσανατολίζεται στη μείωση των περιβαλλοντικών του επιπτώσεων και στην αύξηση της ενεργειακής του απόδοσης. Οι καθαρές τεχνολογίες (αεριοποίηση, καύση) είναι μια πραγματικότητα. Δεν μπορούν όμως να εφαρμοστούν χωρίς δαπανηρά προγράμματα εκσυγχρονισμού των σταθμών.

Η **διατήρηση της πρόσβασης σε κοινοτικά αποθέματα άνθρακα** αξίζει να αναλυθεί. Η οδηγία για την ηλεκτρική ενέργεια προβλέπει ότι ένα μερίδιο 15 % της ηλεκτροπαραγωγής μπορεί να εξαιρεθεί από τους κανόνες ελευθέρωσης για να δοθεί προτεραιότητα στις ενδογενείς πηγές ενέργειας. Γιατί όχι στον ευρωπαϊκό άνθρακα; Έτσι θα μπορούσαν να παραμείνουν ανοικτά τα ορυχεία και να διατηρηθεί η σχετική τεχνογνωσία.

Το φυσικό αέριο είναι δίκικο μαχαίρι

Το φυσικό αέριο έχει πολλά πλεονεκτήματα. Είναι ευέλικτο στη χρήση του, ρυπαίνει λιγότερο από άλλα ορυκτά καύσιμα, είναι άφθονο και σχετικά φθινό. Η τιμή του φυσικού αερίου αναπροσαρμόζεται με βάση την τιμή του πετρελαίου. Οι λόγοι είναι ιστορικοί. Επειδή το φυσικό αέριο απαντάται κοντά σε κοιτάσματα πετρελαίου, το εκμεταλλεύονται οι εταιρείες πετρελαίου. Η αναπροσαρμογή επέτρεπε στην αρχή την προοδευτική εισαγωγή του στην αγορά. Σήμερα, ο μηχανισμός αυτός δεν έχει πλέον οικονομική αιτιολόγηση. Θα μπορούσε μακροπρόθεσμα να αντικατασταθεί από το μηχανισμό της προσφοράς και της ζήτησης αερίου. Θα χρειαστεί επίσης πραγματικός ανταγωνισμός μεταξύ προμηθευτών μετά την ελευθέρωση της αγοράς στην Ένωση.

Η **αγορά** του φυσικού αερίου είναι σχετικά άκαμπτη εξαιτίας της τιμαριθμοποίησής του, των παραδόσεων του με βάση μακροπρόθεσμες συμβάσεις και της διοχέτευσής του μέσω αγωγών. Μελλοντικά, αναμένεται αύξηση των τιμών του φυσικού αερίου κατά 20 % έως το 2010. Πρέπει λοιπόν να εξασφαλισθεί ένας πραγματικός ανταγωνισμός μεταξύ των προμηθευτών μας. Όπως και για το πετρέλαιο, τα εφεδρικά αποθέματα θα μπορούσαν να βοηθήσουν την Ένωση ώστε να μην είναι υπερβολικά ευάλωτη.

Η **διαφοροποίηση** του εφοδιασμού φαίνεται μία λύση προσαρμοσμένη στην αύξηση της εξάρτησής μας από το εξωτερικό. Όσον αφορά το πετρέλαιο, η Ένωση έχει κάθε συμφέρον να συμβάλει στην κατασκευή νέων υποδομών μεταφοράς. Σημειώνεται ότι το υγραέριο επιτρέπει να έχουμε υπερπόντιους προμηθευτές. Οι ενδεχόμενοι προμηθευτές βρίσκονται στην Κεντρική Ασία, μέσω του Ατλαντικού (Νιγηρία, Τρινιντάντ), στη Μέση Ανατολή ή στο Μαγκρέμπ.

Η πυρηνική ενέργεια μπορεί να διαδραματίσει κάποιο ρόλο

Η πυρηνική ενέργεια συμβάλλει θετικά στην ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού της Ένωσης. Παράγει αμελητέα ποσότητα CO₂, επομένως συμβάλλει θετικά στην καταπολέμηση της αλλαγής του κλίματος. Χρησιμεύει μόνο στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, εξασφαλίζοντας περισσότερο από το ένα τρίτο της παραγωγής στην Ένωση.

Το **μέλλον** της πυρηνικής ενέργειας είναι αβέβαιο στην Ένωση. Ορισμένα κράτη μέλη που διαθέτουν πυρηνικούς σταθμούς αποφάσισαν να κλείσουν προοδευτικά τους σταθμούς τους. Θα τους αντικαταστήσουν από συμβατικούς ηλεκτροπαραγωγικούς σταθμούς και από μονάδες παραγωγής που θα λειτουργούν με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Εκτός από τη Φινλανδία, δεν υπάρχει σήμερα σχέδιο κατασκευής νέων πυρηνικών σταθμών.

Η **έρευνα** στην πυρηνική ενέργεια πρέπει να υποστηριχθεί. Η Ένωση οφείλει να διατηρήσει την παραγωγική ικανότητα αιχμής που διαθέτει και την τεχνογνωσία της στο δεδομένο θέμα. Πρέπει να είναι σε θέση να μεταφέρει στις μελλοντικές γενεές την πείρα που έχει αποκτήσει και να αναπτύξει νέους αντιδραστήρες, τους λεγόμενους «καθαρούς». Η έρευνα αφορά τους αντιδραστήρες του μέλλοντος, την πυρηνική σύντηξη, τη διαχείριση του ακτινοβολημένου καυσίμου και την αποθήκευση των αποβλήτων.

Η **διαχείριση των αποβλήτων** δηλητηριάζει σήμερα τον τομέα.. Από αυτό εξαρτάται το μέλλον της πυρηνικής ενέργειας στην Ένωση. Η πυρηνική ενέργεια δεν θα μπορέσει να αναπτυχθεί χωρίς να εξασφαλιστεί μία περίοδος επαρκούς σταθερότητας. Γι' αυτό χρειάζεται η συναίνεση του κόσμου.

Η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας πρέπει να ενθαρρυνθεί περισσότερο

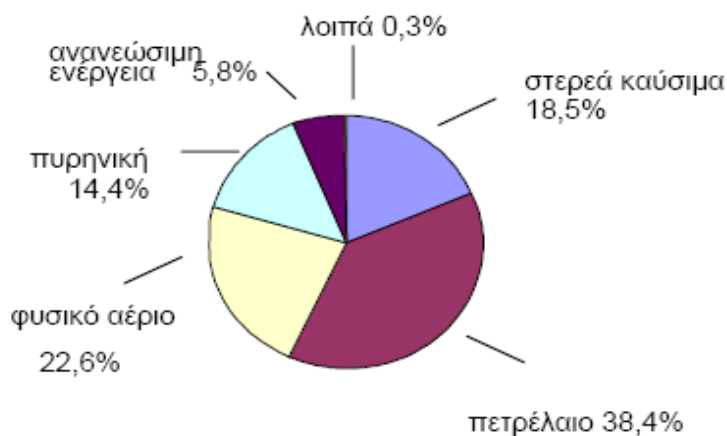
Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι ρυπογόνες σε πολύ χαμηλό βαθμό, δεν είναι όμως ακόμη αποδοτικές. Είναι πλέον καιρός να βοηθηθεί η ανάπτυξή τους. Η Ένωση δεν είναι δυνατόν να αμελεί αυτή την ενδογενή πηγή ενέργειας. Ωστόσο, τα εμπόδια είναι πάρα πολλά. Εκτός από την τιμή τους, οι συνθήκες πρόσβασης στην αγορά είναι δυσμενείς. Μία οδηγία αποσκοπεί να εξασφαλίσει σημαντική εισχώρηση στην ελευθερωμένη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.

Η Παγκόσμια Διάσκεψη για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, που θα πραγματοποιήθηκε στη Βόννη τον Ιούνιο του 2004, είχε ως αντικείμενο την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών

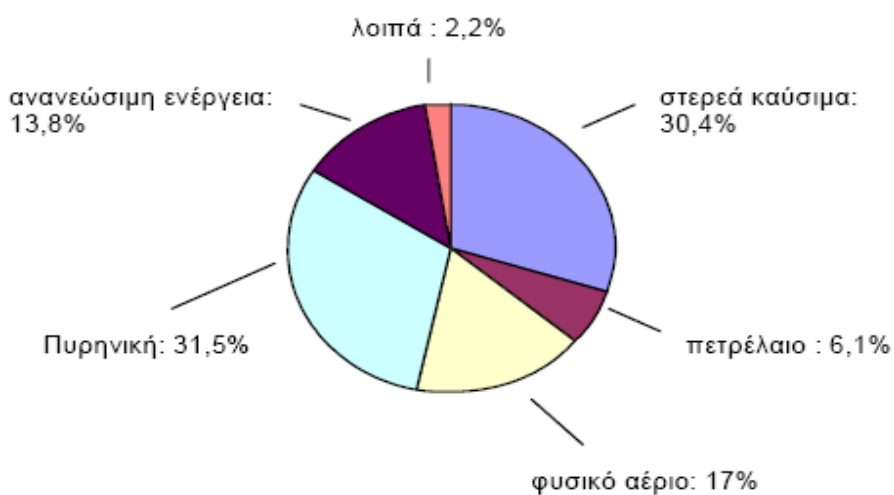
σε όλη την υφήλιο, ως μέσο για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής, την προώθηση της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού και - κυρίως για τις υπό ανάπτυξη χώρες - την μείωση της φτώχειας.

Κατά την προπαρασκευαστική διάσκεψη σε ευρωπαϊκό επίπεδο, που πραγματοποιήθηκε στο Βερολίνο τον Ιανουάριο του 2004, εξετάστηκε η δυνατότητα παράτασης πέραν του 2010 των συνολικών, γενικών στόχων για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Κατά τη διάσκεψη αυτή επισημάνθηκαν διάφορες τεχνικές μελέτες οι οποίες προτείνουν στόχο τουλάχιστον 20% ανανεώσιμων πηγών στη συνολική κατανάλωση ενέργειας της ΕΕ-25 το 2020, με την αξιοποίηση των μέσων που έχουν καθιερωθεί με την ισχύουσα κοινοτική νομοθεσία και πρόσθετες δράσεις για την επίτευξη αποτελεσμάτων.

Η Ευρώπη πρωτοπορεί στην ανάπτυξη και την εφαρμογή σύγχρονων τεχνικών αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Στη Δυτική Ευρώπη, όπου καταναλώνεται το 16% της ενέργειας παγκοσμίως, σημειώθηκε το 31% της αύξησης σε παγκόσμιο επίπεδο της ηλεκτροπαραγωγής από βιομάζα μεταξύ 1990 και 2000, το 48% της αύξησης από μικρά υδροηλεκτρικά έργα και το 79% της αύξησης ηλεκτροπαραγωγής από αιολική ενέργεια (Σχήματα 1.18 και 1.19).



Σχήμα 1.18: Ακαθάριστη εσωτερική κατανάλωση ενέργειας ανά είδος καυσίμου EU-25, 2000



Σχήμα 1.19: Ηλεκτροπαραγωγή ανά είδος καυσίμου EU-25, 2000

Παρότι η ανανεώσιμη ενέργεια πρέπει να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο, είναι σημαντικό να μην παραβλεφθούν ορισμένες δυσκολίες.

Πρώτον, η οικονομικώς αποδοτική διάθεση ανανεώσιμης ενέργειας είναι οριοθετημένη τεχνικώς και πρακτικώς. Η ηλεκτροπαραγωγή από αιολική και ηλιακή ενέργεια παρουσιάζει τεράστιες γεωγραφικές διακυμάνσεις. Η παραγωγή βιομάζας πρέπει να ανταγωνιστεί άλλες χρήσεις γης, συγκεκριμένα τη γεωργία. Είναι περιορισμένο το πλήθος των κοιλάδων που είναι δυνατό να αξιοποιηθούν για υδροηλεκτρικά έργα.

Δεύτερον, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας χρειάζονται εφεδρικές συμβατικές πηγές ενέργειας. Η ηλεκτροπαραγωγή από αιολική και ηλιακή ενέργεια είναι διακοπτόμενη και απρόβλεπτη. Κλιματικοί παράγοντες είναι δυνατό να προξενήσουν μεγάλες αυξομειώσεις στη διαθεσιμότητα βιομάζας και υδροηλεκτρικής ενέργειας από το ένα έτος στο επόμενο. Για τους λόγους αυτούς, είναι περιορισμένο το μερίδιο της ανανεώσιμης ενέργειας που είναι σε θέση να απορροφήσουν τα επί του παρόντος υφιστάμενα συστήματα εφοδιασμού με ενέργεια. Το γεγονός αυτό ενδέχεται να οδηγήσει σε πλεονάζον εφεδρικό δυναμικό παραδοσιακών πηγών ενέργειας που να συνεπάγεται ορισμένες πρόσθετες δαπάνες. Η ανάπτυξη της ανανεώσιμης ενέργειας ενδεχομένως επίσης να απαιτήσει νέες επενδύσεις στα υπάρχοντα ενεργειακά συστήματα, όπως στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας. Η ενεργειακή πολιτική χρειάζεται την ανάπτυξη πληθώρας διαφορετικών ενεργειακών πηγών, δεδομένου ότι δεν θα πρέπει να παραμελείται η ανάγκη διαφοροποίησης των ενεργειακών πηγών.

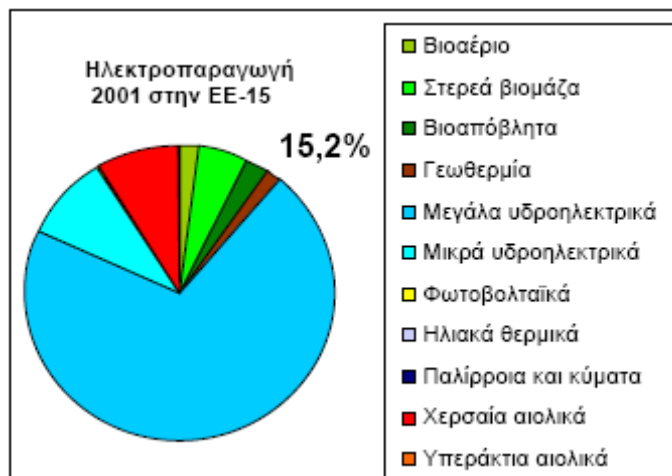
Τέλος, η ανάπτυξη διαφοροποιημένου και ασφαλούς ενεργειακού συστήματος, όπου να περιλαμβάνεται υψηλότερο μερίδιο ανανεώσιμης ενέργειας, επί του παρόντος, εξακολουθεί να αποτελεί, εν γένει, πολιτική υψηλότερου κόστους. Είναι σωστό ότι η υδροηλεκτρική ενέργεια και οι παραδοσιακές χρήσεις του ξύλου είναι ανταγωνιστικές προς τις συμβατικές μορφές ενέργειας, καθώς και ότι η αιολική ενέργεια προσεγγίζει την ανταγωνιστικότητα σε ορισμένες παράκτιες τοποθεσίες με υψηλές μέσες ταχύτητες ανέμου. Ωστόσο, πολλές μορφές ανανεώσιμες ενέργειας - για παράδειγμα ηλεκτρική ενέργεια από βιομάζα και τα βιοκαύσιμα - κοστίζουν το διπλάσιο ή ακόμη και περισσότερο απ' ό,τι τα συμβατικά εναλλακτικά καύσιμα, εάν συγκριθούν μεμονωμένα χωρίς να ληφθεί υπόψη ο αντίκτυπος του συνολικού κόστους του ενεργειακού συστήματος. Άλλες μορφές ανανεώσιμης ενέργειας, όπως η φωτοβολταϊκή, είναι ακόμη δαπανηρότερες.

Σύμφωνα με το έγγραφο "Αιολική ενέργεια - δεδομένα" (Ευρωπαϊκή Σύμπραξη για την Αιολική Ενέργεια, 2004) το κόστος για την πλέον βελτιωμένη ηλεκτροπαραγωγή από αιολική ενέργεια είναι της τάξεως των 4 μέχρι 5 λεπτών ευρώ ανά kWh. Σύμφωνα με το έγγραφο "Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για ηλεκτροπαραγωγή" (Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας, 2003), το κόστος για τη φωτοβολταϊκή ενέργεια είναι τουλάχιστον 17 λεπτά ευρώ ανά kWh ενώ το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα ανέρχεται σε 7 λεπτά ευρώ ανά kWh ή και περισσότερο. Ωστόσο, το κόστος αυτό είναι δυνατό να μειωθεί όταν η βιομάζα χρησιμοποιείται για την συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας (κατέρχεται σε 5 μέχρι 6 λεπτά ευρώ ανά kWh) ή για καύση μαζί με ορυκτά καύσιμα, επειδή αποφεύγεται το κόστος επένδυσης σε εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής (μείωση κατά 2-4 λεπτά ευρώ ανά kWh). Χάριν σύγκρισης, το κόστος χονδρικής για την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με συμβατικά καύσιμα είναι επί του παρόντος περίπου 3 λεπτά ευρώ ανά kWh. Στην ανακοίνωση της Επιτροπής με τίτλο "Εναλλακτικά καύσιμα για τις οδικές μεταφορές και δέσμη μέτρων για την προώθηση της χρήσης των βιοκαυσίμων" (COM (2001) 547) αναφέρεται κόστος της τάξεως των 500 ευρώ ανά 1000 λίτρα βιοκαυσίμων, έναντι 200-250 ευρώ ανά 1000 λίτρα καυσίμων πετρελαίου με τιμή 30 δολάρια ΗΠΑ/βαρέλι.

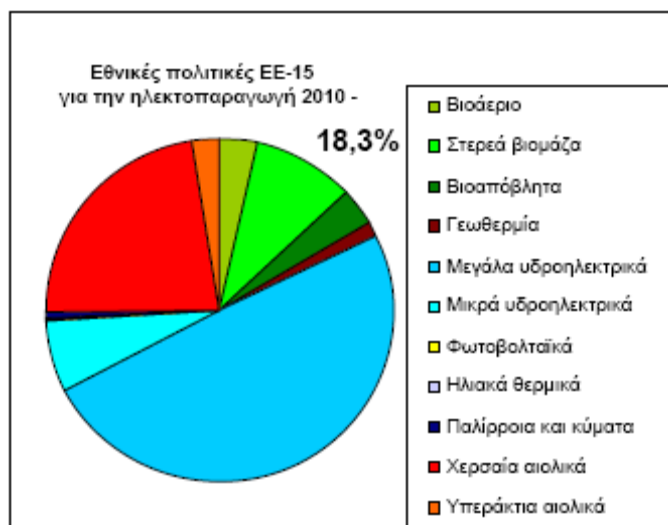
Εξακολουθούν να υφίστανται ορισμένα εμπόδια για την ανάπτυξη της ανανεώσιμης ενέργειας. Παρότι υπό την σημερινή κατάσταση της τεχνολογικής εξέλιξης αποκλείεται η προοπτική της πλήρους αντικατάστασης των συμβατικών πηγών ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές σε όλη την υφήλιο, είναι σίγουρα δυνατό να προβλεφθεί μια σταδιακή προσέγγιση.

Εμφανίζονται ήδη βελτιωμένα εργαλεία ανάλυσης και διαχείρισης που θα καταστήσουν δυνατή την ανάπτυξη της κατάλληλης αντιμετώπισης αυτών των προκλήσεων και των σημαντικών εμποδίων. Στα εργαλεία αυτά περιλαμβάνονται: πλέον εξελιγμένα μοντέλα

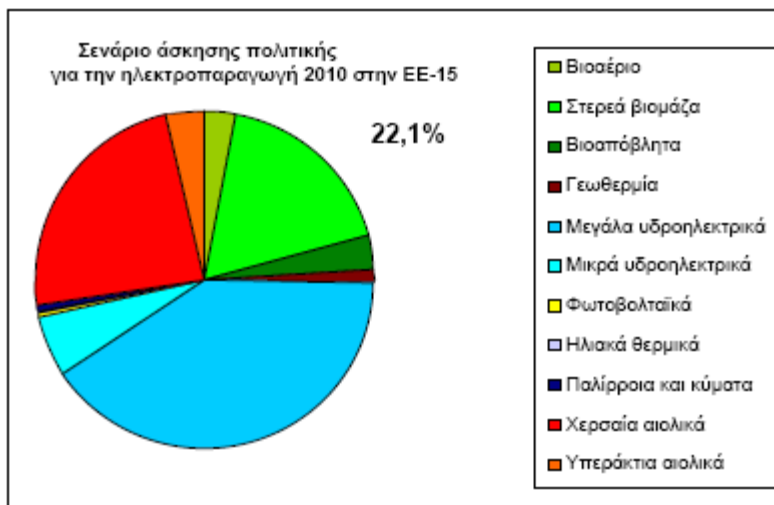
κοστολόγησης που λαμβάνουν υπόψη τον αντίκτυπο των υψηλότερων μεριδίων ανανεώσιμης ενέργειας στο συνολικό κόστος του ηλιακού συστήματος, εξελιγμένα εργαλεία μετεωρολογικών προβλέψεων που είναι δυνατό να ενσωματωθούν σε σύγχρονα συστήματα ενεργειακής διαχείρισης ώστε ο εφοδιασμός να ανταποκρίνεται καλύτερα στη ζήτηση. Προβλέπεται ότι οι πολιτικές που εφαρμόζονται σήμερα θα οδηγήσουν μάλλον σε μερίδιο μεταξύ 18% και 19% το 2010. Τα Σχήματα 1.20, 1.21, 1.22, 1.23 δείχνουν με γλαφυρότητα την προβλεπόμενη εξέλιξη χρήσης ΑΠΕ.



Σχήμα 1.20: Ηλεκτροπαραγωγή EU-15, 2001

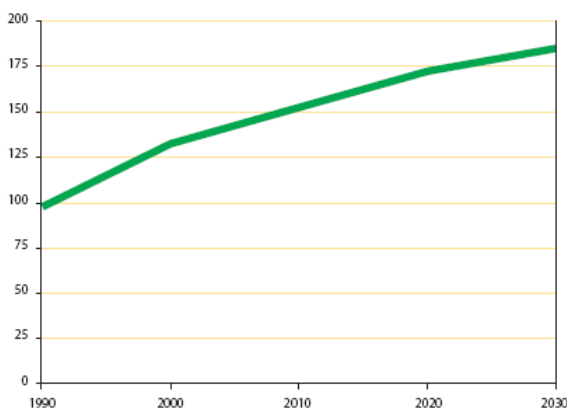


Σχήμα 1.21: Εθνικές πολιτικές EU-15 για την ηλεκτροπαραγωγή το 2010



Σχήμα 1.22: Σενάριο άσκησης πολιτικής για την ηλεκτροπαραγωγή το 2010 στις EU-25

ΕU-30 — Ανανεώσιμες μορφές ενέργειας (παραγωγή/κατανάλωση σε εκατ. ΤΙΠ)



Σχήμα 1.23: EU-30 – Ανανεώσιμες μορφές ενέργειας

Συνολικώς, η ανανεώσιμη ενέργεια ανήλθε το 2002 σε περίπου 15,2% της συνολικής ηλεκτροπαραγωγής. Η πυρηνική ενέργεια καταλαμβάνει 33%. Το υπόλοιπο καλύπτεται από ορυκτά καύσιμα.

Η ΕΕ-15 αξιοποιεί σχεδόν πλήρως το μεγάλο δυναμικό της σε υδροηλεκτρική ενέργεια. Η συμβολή αυτής της ανανεώσιμης πηγής ενέργειας είναι υψηλή, αλλά η συνολική δυναμικότητα θα παραμείνει αμετάβλητη. Οι δύο τεχνολογίες που αναμένεται ότι θα συμβάλλουν με τη μεγαλύτερη αύξηση στην ηλεκτροπαραγωγή από ανανεώσιμες πηγές στην ΕΕ-15 μέχρι το 2010 είναι η αιολική ενέργεια και η βιομάζα. Ωστόσο, στα νέα κράτη μέλη - ιδίως στη Σλοβενία, την Ουγγαρία και τη Λιθουανία - υπάρχουν ακόμη σημαντικές δυνατότητες αύξησης της ηλεκτροπαραγωγής από υδροηλεκτρικές μονάδες.

Οι προσδοκίες για παραγωγή από διαφορετικές χρήσεις βιομάζας πρέπει να επαναξιολογηθούν, λαμβάνοντας υπόψη την αποδοτικότητα και την διαθεσιμότητά της. Στο σημείο 2.2 καταδείχθηκαν οι σημαντικές διαφορές των ποσοστών αύξησης αυτών των δύο πηγών ενέργειας. Επιπλέον, για στρατηγικούς λόγους σε μεσοπρόθεσμη βάση (μέχρι το 2020 και αργότερα) πρέπει να παρακολουθείται το θέμα της ηλιακής ενέργειας.

Το **φορολογικό πλαίσιο** πρέπει να προσαρμοστεί για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Πρέπει να δημιουργήσει προτιμησιακές συνθήκες για να αποβούν ανταγωνιστικές με τις άλλες πηγές ενέργειας. Π.χ., η τύχη των βιοκαυσίμων εξαρτάται τελείως από τις φοροαπαλλαγές. Προβλέπονται μέτρα για να προωθηθεί η χρήση τους.

Οι **ενισχύσεις** είναι απαραίτητες για το οικονομικό τους άνοιγμα. Οι επενδύσεις εκκίνησης είναι σημαντικές. Οι ενισχύσεις μπορούν να λάβουν πολλές μορφές. Ταμεία αντιστάθμισης, φορολογικά κίνητρα, σταθερές τιμές, ενισχύσεις της E & A, δικαιώματα προτεραιότητας στα ηλεκτρικά δίκτυα, ενισχύσεις ανάπτυξης και λειτουργίας, συνεισφορά του μεριδίου των υπολοίπων πηγών που σήμερα είναι αποδοτικές κλπ.

Η ΕΕ είναι σήμερα εφοδιασμένη με μία ενιαία αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου που είναι η πιο ανοικτή και η πιο ολοκληρωμένη στον κόσμο. Η αγορά αυτή βασίζεται σε κοινή προσέγγιση όσον αφορά την ελευθέρωσή της: προοδευτικό άνοιγμα, βασικά μέτρα διαφάνειας, υποχρεώσεις δημόσιας υπηρεσίας, επίσημα όργανα συζήτησης των ρυθμιστικών αρχών, κοινές αρχές τιμολόγησης της μεταφοράς, πανευρωπαϊκό σχέδιο υποδομών. Τη στιγμή αυτή υπάρχουν επί τάπητος ακόμη πιο μακρόπνοες προτάσεις προς αυτή την κατεύθυνση. Στόχος τους είναι να μπορεί κάθε πολίτης ήδη από το 2005 να επιλέγει τον προμηθευτή ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου. Οι τομείς αυτοί βρίσκονται σήμερα σε πλήρη αλλαγή ούτως ώστε να αποβούν πιο αποτελεσματικοί και να βελτιωθεί η εξυπηρέτηση που παρέχουν.

Η συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας (συμπαραγωγή) θεωρείται πράσινη ενέργεια. Οι εφαρμογές αυτού του τρόπου παραγωγής είναι πολύ καινοτόμες. Οι μικροστρόβιλοι επιτρέπουν παραγωγή θερμότητας/ηλεκτρικής ενέργειας όλο και πιο αποκεντρωμένη. Χάρης σε αυτή την όλο και πιο μεγάλη απόδοση (μεταξύ 80 % και 99 %), η συμπαραγωγή επιτρέπει να μειωθεί η ζήτηση πρωτογενούς ενέργειας και οι εκπομπές CO₂. Αυτός ο τρόπος παραγωγής θα μπορούσε να τριπλασιασθεί έως το 2010 με κατάλληλο ρυθμιστικό πλαίσιο.

Υπό τις σημερινές συνθήκες, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα εξακολουθήσουν να έχουν μερίδιο της αγοράς γύρω στο 7 % μέσα σε δέκα χρόνια. Μόνον τα χρηματοδοτικά μέτρα θα τους επιτρέψουν να διπλασιάσουν το μερίδιό τους στο ενεργειακό ισοζύγιο από 6 σε 12 %.

2.4.3 Παρέμβαση Στη Ζήτηση

Η Ευρώπη πήρε μέτρα για να μειώσει τη ζήτηση ενέργειας για πρώτη φορά με την πετρελαϊκή κρίση του 1973. Τα μέτρα που τότε είχαν ληφθεί σε εθνικό επίπεδο είχαν άριστα αποτελέσματα. Σήμερα, είναι καιρός να αποκτήσουμε μία βολонταριστική πολιτική. Οι δυνατότητες εξοικονόμησης είναι μεγάλες και οι τρόποι πολλοί. Η μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση θα έχει πολλαπλασιαστικό αποτέλεσμα στην προσφορά. Η συνολική μας απόδοση είναι μόνον 25 %. Το υπόλοιπο χάνεται. Π.χ., όταν παράγεται ηλεκτρική ενέργεια, η ενεργειακή απόδοση είναι το πολύ η μισή. Το υπόλοιπο διαχέεται σε θερμότητα. Προς το επάνω μέρος της αλυσίδας, χρειάζεται επίσης ενέργεια για να παραχθεί και να διοχετευθεί το καύσιμο. Προς το κάτω μέρος της αλυσίδας, έχουμε απώλειες στο ηλεκτρικό δίκτυο. Και τι να πει κανείς για τη σπατάλη στη συνέχεια! Μια μονάδα που δεν έχει καταναλωθεί είναι επομένως τέσσερις μονάδες που στην πραγματικότητα έχουν εξοικονομηθεί. Το οικονομικό δυναμικό βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης υπολογίζεται ακόμη σε 18 % της σημερινής κατανάλωσης ενέργειας. Το κύριο εμπόδιο προέρχεται από τους καταναλωτές, οι οποίοι δυσανασχετούν να χρησιμοποιήσουν τεχνολογίες ενεργειακά αποδοτικές. Ωστόσο, η προσφορά αποδοτικών προϊόντων μπορεί πραγματικά να συνεισφέρει στην εξοικονόμηση ενέργειας. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ενέκρινε ένα σχέδιο δράσης για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης τον Απρίλιο του 2000. Προτείνει να βελτιωθεί κατά 1 % ανά έτος η ενεργειακή ένταση της ΕΕ έως το 2010. Τα χρήματα πάντως που διατίθενται στο δεδομένο πεδίο είναι πενιχρά.

Τα κτίρια ευθύνονται για το 40 % και άνω της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Αυτό αφορά τη θέρμανση, την παραγωγή ζεστού νερού, τον κλιματισμό και το φωτισμό. Η κατανάλωση είναι δυνατόν να μειωθεί περισσότερο από 22 % έως το 2010, εφόσον υπάρξουν καλοί όροι κόστους και απόδοσης. Σήμερα είναι υπό συζήτηση μία πρόταση οδηγίας για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων. Στην οδηγία προτείνεται μία κοινή μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης των νέων ή των ανακαινιζόμενων κτιρίων, η εφαρμογή ελαχίστων προτύπων στο συγκεκριμένο πεδίο, καθώς και ένα σύστημα πιστοποίησης και ο έλεγχος των εγκαταστάσεων θέρμανσης και κλιματισμού. Περισσότερα από 10 εκατ. λέβητες που λειτουργούν σήμερα στην Ένωση είναι άνω των 20 ετών. Η αντικατάστασή τους και μόνο θα επέτρεπε να μειωθεί η κατανάλωση της ενέργειας που χρησιμοποιείται για τη θέρμανση των κατοικιών κατά 5 % περίπου.

Εάν εξετάσει κανείς τις κλαδικές πολιτικές, η εξοικονόμηση ενέργειας είναι εφικτή. Οι προοπτικές απασχόλησης είναι ουσιαστικές σε ορισμένους τομείς. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή προβλέπει να λάβει χωρίς καθυστέρηση νέα μέτρα. Τα **κτίρια** παραμένουν ο πρωταρχικός κλάδος όπου πρέπει να βελτιωθεί η ενεργειακή απόδοση. Θα μπορούσε εύκολα να εξοικονομηθεί το ένα πέμπτο της κατανάλωσης ενέργειας στον τομέα αυτό. Αρκεί να χρησιμοποιηθούν οι τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας που υπάρχουν και είναι βιώσιμες: θερμομόνωση, αερισμός, ηλεκτρικός εξοπλισμός, κλπ. Προς το σκοπό αυτό, ο νομοθέτης διαθέτει πάμπολλα εργαλεία: κίνητρα για ανακαίνιση, πρότυπα κατανάλωσης, κατώτατα όρια εξοικονόμησης ενέργειας, πιστοποιητικά ενεργειακής απόδοσης κλπ.

Ο **φωτισμός** αποτελεί μια αξιοσημείωτη «εφεδρεία εξοικονόμησης». Με κατάλληλες επενδύσεις θα μπορούσε να εξοικονομηθεί το 30 έως 50 % της ηλεκτρικής ενέργειας. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρόκειται να θέσει σε εφαρμογή μία εθελούσια συμφωνία με τη βιομηχανία στον συγκεκριμένο τομέα. Η Ένωση εξέδωσε επίσης μια οδηγία που καθορίζει τα πρότυπα απόδοσης των λαμπτήρων που λειτουργούν με νέον.

Οι **ηλεκτρικές συσκευές** αποτελούν επίσης ένα τεράστιο δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας. Εάν οι μηχανισμοί κατάστασης αναστολής των συσκευών γίνουν πιο αποτελεσματικοί θα έχουμε ουσιαστική εξοικονόμηση ενέργειας. Αυτό αφορά τους υπολογιστές, τον εξοπλισμό γραφείου, τους τηλεοπτικούς δέκτες, τα μαγνητοσκόπια κλπ.

Η **βιομηχανία** μπορεί ακόμη να διαδραματίσει κάποιο ρόλο. Οι τομείς που είναι οι μεγάλοι καταναλωτές ενέργειας έχουν σημειώσει σημαντική πρόοδο. Φθάνουν σήμερα σε μεγάλα επίπεδα απόδοσης. Ωστόσο, υπάρχει ακόμη περιθώριο βελτίωσης.

Οι **μεταφορές**, λόγω της σημασίας τους στη ζήτηση, κυρίως πετρελαίου, χρειάζονται μέτρα μεγάλης εμβέλειας. Πρέπει να αποκατασταθεί και πάλι η ισορροπία μεταξύ των τρόπων μεταφοράς. Οι σιδηρόδρομοι πρέπει να ανασυγκροτηθούν και μάλιστα σε βάρος των οδικών μεταφορών. Οι οδικές μεταφορές πρέπει να αναδιαρθρωθούν. Πρέπει να αναπτυχθούν οι θαλάσσιες μεταφορές μικρών αποστάσεων και οι ποτάμιες μεταφορές. Πρέπει να ενθαρρυνθούν οι καθαρές συγκοινωνίες στις πόλεις. Πρέπει να κατασκευαστούν οχήματα ενεργειακά πιο αποδοτικά (υβριδικά οχήματα, οχήματα με στοιχεία καυσίμου).

Οι **νέες τεχνολογίες** είναι το μέλλον της ενεργειακής απόδοσης. Η Κοινότητα πρέπει απαραίτητα να τις υποστηρίξει σε μεγάλο βαθμό. Η τεχνολογική προσφορά υποστηρίζεται εδώ και πολύ καιρό. Ωστόσο, θα μπορούσε να υποστηριχθεί η ζήτηση περισσότερο προς όφελος των ενδεχόμενων χρηστών. Πρέπει να υπάρξει η προοδευτική δημιουργία αγορών επαρκούς μεγέθους εφόσον βοηθηθεί η τοπική αυτοδιοίκηση να εξοπλιστεί. Αυτό είναι πιο αποτελεσματικό απ' ό,τι οι ενισχύσεις προς όφελος της βιομηχανίας. Επιπλέον, οι εμπειρίες μεγάλης κλίμακας είναι πραγματικές βιτρίνες επίδειξης.

Η φορολόγηση είναι ένα απλό και αποτελεσματικό εργαλείο για να παρακινηθεί η αλλαγή συμπεριφοράς. Επιτρέπει επίσης να ενσωματωθούν στην τιμή της ενέργειας οι ζημιές που προκαλούνται στο περιβάλλον. Μέσα σε μια ενιαία ευρωπαϊκή αγορά, δεν πρέπει να υπάρχει φορολογική ανισότητα. Ειδάλλως υπάρχει ο κίνδυνος του φορολογικού ανταγωνισμού και οι στρεβλώσεις του ανταγωνισμού. Για το λόγο αυτό η Ένωση πρέπει να εφοδιαστεί με ένα

κοινό φορολογικό πλαίσιο για την ενέργεια. Ορισμένα κράτη μέλη δεν το θέλουν αυτό και είναι κρίμα. Όσο οι τιμές της ενέργειας δεν ανταποκρίνονται στο πραγματικό κόστος τους για την κοινωνία, οι επιλογές και οι συμπεριφορές των καταναλωτών δεν θα αλλάξουν.

1.4.5. Λευκή Βίβλος για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Στις 11 Μαΐου 1998, το Συμβούλιο Υπουργών Ενέργειας της Ευρωπαϊκής Ένωσης συνεδρίασε στις Βρυξέλλες και συζήτησε την Λευκή Βίβλο για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), η οποία προτάθηκε από τον τότε αρμόδιο Επίτροπο Ενέργειας κ. Χ. Παπουτσή. Η Λευκή Βίβλος¹ παρουσιάστηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή το Νοέμβριο του 1997, μετά από εκτεταμένες διαβουλεύσεις με τις κυβερνήσεις των κρατών μελών, την βιομηχανία και μη κυβερνητικές οργανώσεις. *Η Λευκή Βίβλος αποτελεί ουσιαστικά ένα οδηγό για τα απαραίτητα μέτρα που απαιτούνται για την ανάπτυξη της χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στον ευρωπαϊκό χώρο.*

Η ανθρωπότητα προβληματίζεται για τις παγκόσμιες κλιματικές αλλαγές που παρατηρούνται στον πλανήτη μας τα τελευταία 30 χρόνια. Η σύνοδος του Κιότο αποτέλεσε το επιστέγασμα μακροχρόνιων προσπαθειών πολιτικών, ακαδημαϊκών και περιβαλλοντικών κύκλων για την λήψη μέτρων ανά το παγκόσμιο για μεταβολή της υφιστάμενης κλιματικής δυναμικής. Η θέση της Ε.Ε. στις διαπραγματεύσεις για το Πρωτόκολλο του Κιότο για τις Κλιματικές Αλλαγές ήταν η μείωση κατά 15% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), μεθανίου και οξειδίων του αζώτου ως το 2010 (και κατά 7,5% ως το 2005). Το Πρωτόκολλο εγκρίθηκε στις 10 Δεκεμβρίου 1997 και είναι λιγότερο φιλόδοξο από τους στόχους που πρότεινε η Ευρωπαϊκή Ένωση για τη μείωση των εκπομπών κατά 15% για το έτος 2010 (με ενδιάμεσο στάδιο 7,5% για το 2005), αντιπροσωπεύει εντούτοις ένα σημαντικό βήμα προόδου στον αγώνα κατά της ανόδου της θερμοκρασίας του πλανήτη, διότι περιλαμβάνει δεσμευτικούς και ποσοτικούς στόχους περιορισμού και μείωσης των αερίων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου.² Το Πρωτόκολλο του Κιότο καταφέρεται κατά των εκπομπών έξι αερίων θερμοκηπίου:

- του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂)
- του μεθανίου (CH₄)
- του πρωτοξειδίου του αζώτου (N₂O)
- του υδροφθοράνθρακα (HFC)
- του υπερφθοριωμένου υδρογονάνθρακα (PFC)
- του εξαφθοριούχου θείου (SF₆).

Τα συμβαλλόμενα μέρη δεσμεύονται να μειώσουν τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου τουλάχιστον κατά 5% σε σχέση με το επίπεδο του 1990 κατά τη διάρκεια της περιόδου 2008-2012. Τα κράτη μέλη της Ένωσης οφείλουν συλλογικά να μειώσουν τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου κατά 8% μεταξύ 2008 και 2012. Για την περίοδο που προηγείται του 2008, οι συμβαλλόμενοι δεσμεύονται στην επίτευξη προόδου όσον αφορά την πραγματοποίηση των δεσμεύσεών τους το αργότερο το 2005 και να είναι σε θέση να παράσχουν αποδείξεις επ' αυτού. Το έτος 1995 μπορεί να θεωρηθεί από τους συμβαλλόμενους που το επιθυμούν ως έτος αναφοράς για τις εκπομπές CH₄, PFC και SF₆.

Για την επίτευξη των εν λόγω στόχων, το Πρωτόκολλο προτείνει μια σειρά μέσων:

¹ Communication from the Commission: Energy for the Future: Renewable Sources of Energy. White Paper for a Community Strategy and Action Plan (COM(97)599)

² Ατμοσφαιρική Ρύπανση: Πρωτόκολλο του Κιότο για τις Κλιματικές Αλλαγές. Πρόγραμμα SCADS Plus, Ευρωπαϊκή Επιτροπή: <http://www.europa.eon.int/>

- ενίσχυση ή δημιουργία εθνικών πολιτικών μείωσης των εκπομπών (αύξηση της ενεργειακής αποτελεσματικότητας, προώθηση των αειφόρων μορφών γεωργίας, ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας).
- συνεργασία με τα άλλα συμβαλλόμενα μέρη (ανταλλαγή εμπειριών ή πληροφοριών, συντονισμός των εθνικών πολιτικών με μέριμνα για την αποτελεσματικότητα μέσω μηχανισμών συνεργασίας, ήτοι, άδειες εκπομπής, κοινή εφαρμογή και κατάλληλος μηχανισμός ανάπτυξης).

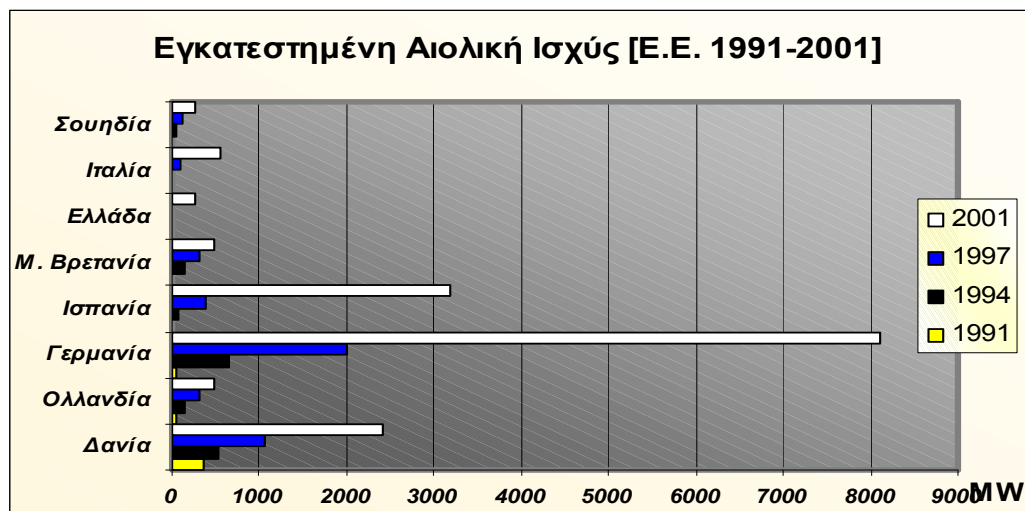
Το αργότερο ένα έτος πριν από την πρώτη περίοδο δέσμευσης, οι συμβαλλόμενοι θέτουν σε εφαρμογή ένα εθνικό σύστημα υπολογισμού των ανθρωπογενών εκπομπών από τις πηγές και της απορρόφησης από τις καταβόθρες όλων των αερίων του θερμοκηπίου που δεν ελέγχονται από το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ. Προβλέπεται έλεγχος των δεσμεύσεων το αργότερο μέχρι το 2005, για τη δεύτερη περίοδο των δεσμεύσεων.

1.4.4.1 Η αιολική αγορά στην Ευρώπη

Αν και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι αποδεδειγμένα περιβαλλοντικά σκοπιμότερες των ορυκτών καυσίμων, δυστυχώς το μερίδιό τους στην ευρωπαϊκή αγορά είναι ακόμα συμβολικό. Η δομή των εθνικών αγορών ηλεκτρικής ενέργειας, η γραφειοκρατία, η ανεπαρκής νομοθεσία και η έλλειψη επαρκών κινήτρων καθιστούν πολύ δύσκολη την ισότιμη πρόσβαση των ΑΠΕ στις εθνικές αγορές. *Συμβατική και πυρηνική ενέργεια τυγχάνουν ευνοϊκής μεταχείρισης από τις ευρωπαϊκές κυβερνήσεις με μια επιδότηση της τάξης των 15 δις ευρώ ανά έτος³*. Επιπροσθέτως, ο Ευρωπαίος φορολογούμενος είναι αυτός που τελικά πληρώνει τον λογαριασμό για τις περιβαλλοντικές καταστροφές και την επιβάρυνση της υγείας από την όξινη βροχή, τις εκπομπές ρύπων και θερμοκηπιακών αερίων που ευθύνονται για τις "φυσικές" καταστροφές που προκαλούνται από τις κλιματικές αλλαγές.

Παρά όμως τα επί μέρους εμπόδια, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και η αγορά τους καταφέρνουν να ανθούν: οι βιομηχανίες αιολικών και ηλιακών συστημάτων έχουν ήδη ένα κύκλο εργασιών πολλών δεσεκατομμυρίων ευρώ. Οι θέσεις εργασίας, τα εισοδήματα και η ενεργειακή ασφάλεια που θα προκύψουν από την επίτευξη μιας κυρίαρχης θέσης των ΑΠΕ στην ενεργειακή αγορά είναι αδιαμφισβήτητα. Αξιοσημείωτη είναι η εκρηκτική ανάπτυξη της εγκατεστημένης αιολικής ισχύς στην Ευρώπη την τελευταία δεκαετία (Βλ. Σχ 1.24).

³ Dr Karl Malone: "Η Λευκή Βίβλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας" Έκδοση της Greenpeace, Αθήνα 1998



Σχήμα 1.24: Εγκατεστημένη Αιολική Ισχύς [Ε.Ε. 1991-1997]⁴.

Αναλυτικότερα, σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης ισχύουν σήμερα τα ακόλουθα δεδομένα σε σχέση με την αγορά και την ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας:

- Δανία:** Η Δανία αποτελεί πρότυπο ανάπτυξης εφαρμογών αιολικής ενέργειας με μεγάλη ιστορία στον τομέα. Ενδεικτικό είναι το γεγονός ότι οι δανέζικες κατασκευάστριες εταιρείες ανεμογεννητριών (Vestas, Bonus, Micon, Nordtank) κατέχουν σήμερα το 40% της παγκόσμιας εγκατεστημένης αιολικής ισχύος⁴. Από τα διαθέσιμα στοιχεία, η αιολική βιομηχανία απασχολεί σήμερα στην χώρα αυτή περισσότερα από 10000 άτομα με ετήσιο τζίρο της τάξεως των 800000 Ευρώ.⁵ Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς κατά το τέλος του 2001 ήταν 2417 MW, κατατάσσοντάς την στην τρίτη θέση συνολικά στην Ευρώπη.
- Ισπανία:** Η Ισπανία αποτελεί μια χώρα με ιδιαίτερα υψηλό αιολικό δυναμικό, η αξιοποίηση του οποίου μόλις τα τελευταία χρόνια αποτέλεσε αντικείμενο συστηματικής μελέτης. Η συμβολική ισχύς των 15MW στην αρχή της περασμένης δεκαετίας, έχει αντικατασταθεί σήμερα από ονομαστική ισχύ μεγαλύτερη των 3000MW, καθιστώντας τον τομέα τον πλέον αναπτυσσόμενο στην χώρα. Η φιλική και διορατική πολιτική της ισπανικής κυβέρνησης προς την αιολική ενέργεια, έδωσε αφενός την ευκαιρία σε πολλές εγχώριες επιχειρήσεις να εισέλθουν στον τομέα, αφετέρου προώθησε την αξιοποίηση των ΑΠΕ και τα εξ αυτής προερχόμενα οφέλη.
- Γερμανία:** Κατέχει την μεγαλύτερη ονομαστική ισχύ εγκατεστημένης αιολικής ισχύς σήμερα στον κόσμο, αφού εκμεταλλεύεται το ≈35% της παγκόσμιας ωφέλιμης αιολικής ενέργειας με 8000MW εγκατεστημένη ισχύ. Η εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού στην Γερμανική ενδοχώρα σήμερα, θεωρείται ότι έχει φθάσει σε κορεσμό, με αποτέλεσμα η Γερμανική κυβέρνηση να επιχειρεί την προώθηση της έρευνας γύρω από την εγκατάσταση αιολικών μηχανών σε μονάδες εντός του θαλάσσιου χώρου (off-shore). Άξιο αναφοράς στην περίπτωση της Γερμανίας είναι το γεγονός ότι η χώρα αυτή διαθέτει μέτριο αιολικό δυναμικό, οριακά εκμεταλλεύσιμο σε πολλές περιπτώσεις.
- Ελλάδα:** Η Ελλάδα, αν και ιδιαίτερα ευνοημένη από τον Αίοιο, προχωρά με συγκρατημένους ρυθμούς στην δημιουργία αιολικών εγκαταστάσεων. Στα περισσότερα νησιά του Αιγαίου, το διαθέσιμο αιολικό δυναμικό είναι σχεδόν άριστο, ικανό να υπερκαλύψει τις ανάγκες των νησιών σε ηλεκτρική ενέργεια. Όμως τα προβλήματα

⁴ Thomas Ackermann, Lennart Soder: "An overview of wind energy-status 2002", Renewable and Sustainable Energy Reviews (2002)

⁵ Καδέλης Ιωάννης Κλεάνθη: Διαχείριση της Αιολικής Ενέργειας. Εκδόσεις Αθ. Σταμούλη, Αθήνα 1999

συνεργασίας των αιολικών μηχανών με τα μικρά τοπικά ηλεκτρικά δίκτυα, καθορίζουν, για λόγους ευστάθειας και ομαλής λειτουργίας, ιδιαίτερα χαμηλές τιμές μέγιστες επιτρεπόμενης εγκατεστημένης αιολικής ισχύος. Η εικόνα είναι διαφορετική στα ηπειρωτικά της χώρας, όπου η ύπαρξη του διασυνδεδεμένου δικτύου παρουσιάζει ελαστικότητα στην πιθανή διασύνδεση αιολικών μονάδων. Εκτιμάται ότι το αιολικό δυναμικό της Ελλάδος είναι σε θέση να καλύψει το 10% του συνολικού κρατικού ηλεκτρικού φορτίου.⁶ Τα ≈300 MW ονομαστικής αιολικής ισχύος του ελληνικού ηλεκτρικού συστήματος, έχουν σήμερα σημαντικές δυνατότητες αύξησης.

Η Ευρώπη είναι πρωτοπόρος σήμερα στην εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού, κατέχοντας το 85% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος. Οι ρυθμοί ανάπτυξης του κλάδου στην Ενωμένη Ευρώπη, φανερώνουν ένα ευοίωνο μέλλον.

Πίνακας 1.4.: Εγκατεστημένη Αιολική Ισχύς (MW)⁴

	1995	1997	1999	2000	2001
Ευρώπη	2518	4766	9307	12972	16362
Βόρεια Αμερική	1676	1611	2619	2695	4440
Λατινική Αμερική	11	38	87	103	103
Ωκεανία-Ασία	626	1149	1403	1795	2162
Μ.Ανατολή-Αφρική	13	24	39	141	203

1.4.4.6. Η ευρωπαϊκή στρατηγική και το σχέδιο δράσης για τις ΑΠΕ

Το Σχέδιο Δράσης καθορίστηκε στα πλαίσια της Λευκής Βίβλου και είναι ένα σύνολο στόχων, μέτρων και πολιτικών για την Ευρωπαϊκή Ένωση και τα κράτη μέλη. Στοχεύει στην προσφορά ίσων ευκαιριών για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας χωρίς σημαντική οικονομική επιβάρυνση, επειδή, όπως τονίζεται στην Λευκή Βίβλο "χωρίς αποφασιστική και συντονισμένη προσπάθεια κινητοποίησης των ενεργειακών δυνατοτήτων των ΑΠΕ στην Ευρωπαϊκή Ένωση, αυτές οι δυνατότητες, σε ένα σημαντικό βαθμό, δεν πρόκειται να πραγματοποιηθούν, με αποτέλεσμα να χάσουμε την ευκαιρία ανάπτυξης αυτού του χώρου και να αποτύχουμε στις προσπάθειες να μειώσουμε σημαντικά τα αέρια που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου" (Πίνακας 1.5).

i. Τα σημεία κλειδιά για το σχέδιο δράσης είναι τα ακόλουθα:

- Διπλασιασμός του μεριδίου των ΑΠΕ στο 12% του ενεργειακού ισοζυγίου της Ε.Ε.
- Αποτροπή της παραγωγής 402 εκατομμυρίων τόνων εκπομπών CO₂ ανά έτος λόγω χρήσης ΑΠΕ
- Εκατονταπλασιασμός της παραγωγής ενέργειας από φωτοβολταϊκά
- Δεκαεξαπλασιασμός της παραγωγής από αιολική ενέργεια
- Δεκαπενταπλασιασμός της παραγωγής ενέργειας από ηλιοθερμικά συστήματα
- Τριπλασιασμός της παραγωγής ενέργειας από βιομάζα

⁶ Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.) <http://www.cres.gr>

Πίνακας 1.5: Οι Στόχοι για την Παραγωγή ΑΠΕ ανά Τομέα ¹

	1995 Παραγωγική Ικανότητα	1995 Παραγωγή (TWh)	2010 Παραγωγική Ικανότητα	2010 Παραγωγή (TWh)
Φωτοβολταϊκά	0,03 GW	0,003	3 GW	3
Αιολικά	2,5 GW	4	40 GW	80
Βιομάζα	44,8 Mtoe	22,5	135 Mtoe	230
Υδροηλεκτρικά	92 GW	307	105 GW	355
Ηλιοθερμικά	0,26 Mtoe*	-	4 Mtoe	-
Γεωθερμία	0,4 Mtoe	3,5	1 Mtoe	7

ii. Στα πλαίσια της λευκής βίβλου, η Ένωση προχωρεί και στην πρόταση μέτρων για ισότιμη αγορά τα οποία είναι τα ακόλουθα:

- Ισότιμη πρόσβαση των ΑΠΕ στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας
- Δίκαιη τιμολόγηση του πραγματικού κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας έτσι ώστε να ενσωματώνει κατά το δυνατόν τα λεγόμενα "εξωτερικά κόστη" (κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις)
- Οδηγίες για τον καθορισμό του μεριδίου των ΑΠΕ στην παροχή ηλεκτρικού ρεύματος σε εθνικό και κοινοτικό επίπεδο
- Διευκόλυνση της διασύνδεσης αποκεντρωμένων φωτοβολταϊκών συστημάτων με τα ηλεκτρικά δίκτυα και την προώθηση τέτοιων συστημάτων στον οικιστικό τομέα

iii. Τα οικονομικά και χρηματοδοτικά μέτρα περιλαμβάνουν:

- Ευνοϊκή φορολογική μεταχείριση για την χρηματοδότηση προγραμμάτων ΑΠΕ και φοροαπαλλαγές για την ενέργεια που παράγεται από ΑΠΕ
- Έναρξη των επιδοτήσεων για την δημιουργία καινούριων εργοστασίων και θέσεων εργασίας
- Οικονομικά κίνητρα προς τους καταναλωτές για να αγοράσουν ενέργεια και υπηρεσία από ΑΠΕ
- Μετοχές ΑΠΕ για τους επενδυτές

iv. Πρωτοβουλία για την χρήση της βιοενέργειας και στις μεταφορές, την θέρμανση και την παραγωγή ηλεκτρισμού:

- Αντικατάσταση σε ποσοστό πάνω από 2% των εισαγωγών καυσίμων για τα μεταφορικά μέσα με υγρά βιοκαύσιμα
- Επέκταση της χρήσης ξηρής βιομάζας σε εφαρμογές συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού
- Προώθηση του βιοαερίου

Οι καθαρές επενδύσεις που απαιτούνται για την επίτευξη του Σχεδίου Δράσης για τις ΑΠΕ σε πλήρη εφαρμογή εκτιμώνται σε 6,8 δις Ευρώ ανά έτος¹. Αυτά είναι τα επιπρόσθετα κεφάλαια πέραν εκείνων που θα χρειάζονταν για παραγωγή ενέργειας με συμβατικές ρυπογόνες

* Τόνοι Ισοδύναμου Πετρελαίου

μεθόδους. Αυτό το ποσό αντιπροσωπεύει λιγότερο από τις μισές ευρωπαϊκές επιδοτήσεις που δίνονται στα ορυκτά καύσιμα και την πυρηνική ενέργεια³. Ο προσανατολισμός των επενδύσεων προς τις ΑΠΕ θα έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των εισαγωγών ενέργειας σε ποσοστό πάνω από 17%, θα εξοικονομήσει 3 δισεκατομμύρια Ευρώ ανά έτος σε κόστος ορυκτών καυσίμων και θα μειώσει τις εκπομπές CO₂ κατά 402 εκατομμύρια τόνους ανά έτος έως το 2010. Το οικονομικό όφελος από την μείωση των εκπομπών δεν έχει αποτιμηθεί αλλά οι εκτιμήσεις ποικίλουν από 5 έως 45 δις Ευρώ.

1.4.4.7. Εκστρατεία απογείωσης των ΑΠΕ

Ως εκστρατεία απογείωσης η Λευκή Βίβλος ορίζει σειρά μέτρων σε επί μέρους τομείς των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που χρίζουν άμεσης εφαρμογής επί των ενεργειακά συστήματα των χωρών της Ένωσης με σκοπό την προώθηση και εξάπλωση της χρήσης των ΑΠΕ. Τα μέτρα τα οποία η ευρωπαϊκή επιτροπή έθεσε για την περίπτωση της Ένωσης είναι τα ακόλουθα:

Φωτοβολταϊκά:

Ένα εκατομμύριο φωτοβολταϊκά συστήματα, τα μισά για εγχώρια κατανάλωση, τα υπόλοιπα για εξαγωγές

- Μέση ονομαστική ισχύς συστήματος ίση με ένα κιλοβάτ
- Μισό εκατομμύριο ηλιακές στέγες το χρόνο στην Ε.Ε., που αφορά περίπου το 2% των καινούριων κτιρίων.
- Η εγκατάσταση των ηλιακών συστημάτων στην Ευρώπη θα πρέπει να στοχεύει κατά προτεραιότητα σε σχολεία, δημόσια κτίρια, τουριστικές εγκαταστάσεις και εγκαταστάσεις αναψυχής.
- Κίνητρα για εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε επίπεδο κεντρικής κυβερνήσεις και οργανισμών Τοπικής Αυτοδιοίκησης
- Μισό εκατομμύριο αποκεντρωμένα, αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα στις αναπτυσσόμενες χώρες
- Προτείνονται 40 εκατομμύρια Ευρώ ετήσιες δαπάνες δημοσίου

Αιολική Ενέργεια:

- Στόχος είναι τα μεγάλα αιολικά πάρκα σε μη συμβατικές περιοχές συμπεριλαμβανομένων των θαλάσσιων αιολικών πάρκων
- Εξειδίκευση στόχων για την ανάπτυξη καινούριας τεχνολογίας ή προσαρμογής της υπάρχουσας τεχνολογίας, ώστε να καταστεί η αιολική βιομηχανία ικανή να παράσχει ενέργεια από τέτοιες περιοχές.
- Προτείνονται 100 εκατομμύρια Ευρώ δημόσιες χρηματοδοτήσεις τον χρόνο

100 "Ανανεώσιμες Κοινότητες"

- Κοινότητες, περιοχές, πόλεις και νησιά που θα λειτουργήσουν πιλοτικά ως πρότυπα για την ευρεία ανάπτυξη των ΑΠΕ
- Ο στόχος είναι να υπάρξει ει δυνατόν 100% ενεργειακή κάλυψη αυτών των περιοχών με ΑΠΕ

- Αυτά τα πιλοτικά σχέδια μπορούν να αφορούν από καινούριες γειτονιές και ορεινές κοινότητες, μέχρι μεγάλα νησιά όπως η Κρήτη, η Ρόδος, η Μαγιόρκα και οι Κανάριοι Νήσοι, ή ακόμα και πρότυπες "ηλιακές πόλεις και χωριά".
- Προτίμηση θα πρέπει να δοθεί στις υβριδικές τεχνολογίες και εφαρμογές
- Προτείνονται 40 εκατομμύρια Ευρώ δημόσιες χρηματοδοτήσεις τον χρόνο

10000 MW από Βιομάζα

- Με έμφαση στην συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού
- Μεγάλο εύρος εφαρμογών (από μικρά συστήματα των λίγων κιλοβάτ ως μεγάλες μονάδες ηλεκτροπαραγωγής των πολλών μεγαβάτ)
- Χρειάζονται 80 εκατομμύρια Ευρώ δημόσιες χρηματοδοτήσεις τον χρόνο

Η Εκστρατεία για την Απογείωση στοχεύει στο να ενθαρρύνει τις επενδύσεις, έτσι ώστε να επιτευχθούν οι στόχοι της χρησιμοποιώντας την προώθηση και την οικονομική υποστήριξη από την Ε.Ε., τα κράτη μέλη της Ε.Ε. και τον ιδιωτικό τομέα. Το συνολικό κόστος της Εκστρατείας για την Απογείωση εκτιμάται στα 20,5 δισεκατομμύρια Ευρώ από τα οποία 16,5 δις, θα είναι ιδιωτικές επενδύσεις και τα 4 δις, δημόσιες. Η Εκστρατεία για την απογείωση θα έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του CO₂ κατά περίπου 40 εκατομμύρια τόνους ανά έτος, με σημαντικά οφέλη όχι μόνο περιβαλλοντικά αλλά και οικονομικά. Αξίζει να σημειώσουμε ότι ειδικά για την αιολική ενέργεια, απαιτούνται δημόσιες επενδύσεις μόνο για την υλοποίηση του 25% του τελικού στόχου. Εκτιμάται ότι το επίπεδο ανάπτυξης αυτής της βιομηχανίας είναι τέτοιο, που επιτρέπει στην αιολική βιομηχανία να μπορεί σύντομα να καλύψει τους στόχους της, όντας ανταγωνιστική στην απελευθερωμένη αγορά ενέργειας και χωρίς να χρειάζεται να καταφύγει σε επιδοτήσεις.

1.4.4.8. Θέσεις εργασίας στην Ε.Ε. και ΑΠΕ

Το κόστος καυσίμου για την ηλιακή και την αιολική ενέργεια είναι μηδέν. Αυτό σημαίνει ότι όλο το κόστος που εξοικονομείται από ένα αιολικό πάρκο ή ένα ηλιακό σύστημα πηγαίνει σε θέσεις εργασίας που έχουν να κάνουν με την κατασκευή ή την εγκατάσταση αυτών των συστημάτων. Στοιχεία που παρουσίασε η BP⁷ δείχνουν ότι ο κατασκευαστικός τομέας ηλιακών θα δημιουργήσει 6 φορές περισσότερες θέσεις εργασίας απ ότι αν τα ίδια χρήματα επενδύονταν σε πετρελαϊκές εφαρμογές. Η πλήρης εφαρμογή της Λευκής Βίβλου για τις Ανανεώσιμες θα έχει ως αποτέλεσμα την μαζική δημιουργία θέσεων εργασίας μέσα στην Ε.Ε.. Αρκετές ευρωπαϊκές βιομηχανικές ενώσεις εκτιμούν ότι οι θέσεις εργασίας που θα δημιουργηθούν στον τομέα των ανανεώσιμων και συναφών βιομηχανικών τομέων λόγω της εφαρμογής του σχεδίου δράσης για τις ΑΠΕ θα είναι πάνω από 1,6 εκατομμύρια. Μια ανεξάρτητη μελέτη, η TERES II, εκτιμά ότι η εφαρμογή του στόχου της κάλυψης του 12% από ανανεώσιμες πηγές θα έχει ως καθαρό αποτέλεσμα την δημιουργία 500000 θέσεων εργασίας (συνυπολογίζοντας και τις απώλειες θέσεων εργασίας σε άλλους ανταγωνιστικούς τομείς)⁸.

Σε σχέση με την αιολική ενέργεια και τις νέες θέσεις εργασίας, αξιοσημείωτα είναι τα ακόλουθα στοιχεία:

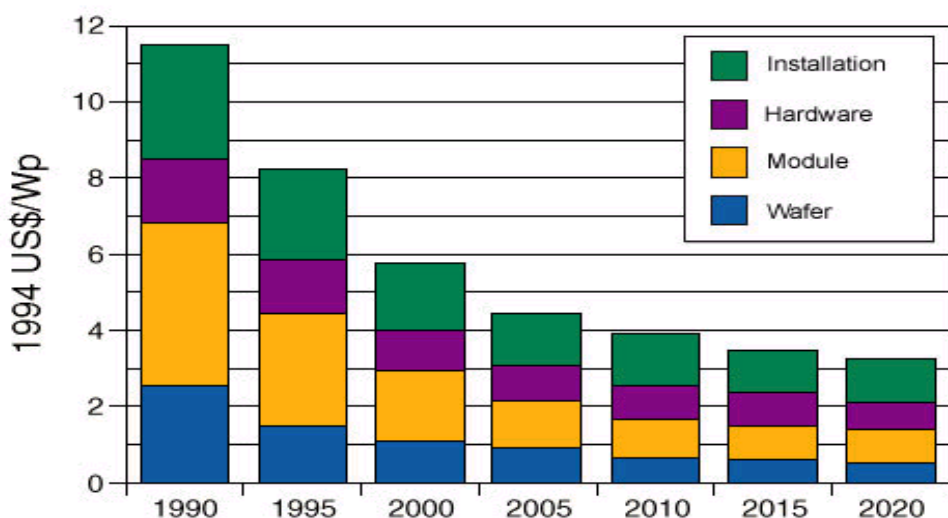
⁷ Solar for Commercial & Industrial Use. Ιστοσελίδα BP Solar <http://www.bpsolar.com>

⁸ TERES II: Energy for the Future: Meeting the Challenge. The European Renewable Study. <http://www.eurorex.com/teresii/>

- Λόγω λανθασμένων πολιτικών επιλογών, η κυριαρχία των ΗΠΑ στην αιολική ενέργεια από την δεκαετία του 1980 έχει καταρρεύσει (κύρια αιτία αποτελεί η απουσία μιας σταθερής και βιώσιμης πολιτικής κινήτρων). Το 1997 η Γερμανία αφαίρεσε τον τίτλο από τις ΗΠΑ ως η χώρα με την μεγαλύτερη εγκατεστημένη αιολική ισχύ⁵.
- Η αιολική ενέργεια στην Ευρώπη αναπτύσσεται με πολύ γρηγορότερους ρυθμούς. Τα 16000 MW εγκατεστημένης ισχύος το 2001 είναι 35 φορές πάνω από τα επίπεδα του 1990 (473 MW)⁴.
- Μια σύγχρονη ανεμογεννήτρια χρειάζεται λιγότερο από 4 μήνες (σε μία περιοχή με μέση ένταση ανέμων) για να παράγει την ενέργεια που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή της⁹.

Η βιομηχανία φωτοβολταϊκών έχει σημειώσει ραγδαίους ρυθμούς ανάπτυξης τα τελευταία χρόνια. Η Ιαπωνία, οι ΗΠΑ και η Ευρώπη έχουν εμπλακεί σε μια κούρσα ανταγωνισμού για την κατάληψη αυτής της αγοράς των δισεκατομμυρίων δολαρίων. Σε αυτή την ξέφρενη κούρσα, η Ε.Ε. κινδυνεύει να μείνει πίσω, αφού τα κίνητρα που παρέχει, υπολείπονται των ανταγωνιστών της.

- Το 1997, η αγορά φωτοβολταϊκών σημείωσε αύξηση ρεκόρ (38%). Η αξία των πωλήσεων αυτής της βιομηχανίας ξεπερνά σήμερα το 1 δις δολάρια¹⁰
- Συντηρητικές προβλέψεις θεωρούν ότι το 2010 οι παγκόσμιες ετήσιες πωλήσεις θα φθάσουν τα 8-18 δις δολάρια¹⁰
- Το 1996 αναφορά της Ε.Ε. για την ηλιακή ενέργεια τόνιζε ότι αν συνεχιστούν οι παρόντες ρυθμοί ανάπτυξης, τα φωτοβολταϊκά το 2010 θα συντηρούν 453000 θέσεις εργασίας³
- Μια πρόσφατη μελέτη της BP Solar έδειξε ότι επενδύοντας 550 εκατ. δολάρια σε μια μεγάλη μονάδα παραγωγής φωτοβολταϊκών συστημάτων⁷ (δυναμικότητας 500MW ετησίως) θα μειωθεί το κόστος των συστημάτων αυτών κατά 80% (Σχήμα 1.25). Αναλύσεις της βιομηχανίας δείχνουν ότι μείωση του κόστους σε αυτή την κλίμακα θα δημιουργούσε μια παγκόσμια αγορά τουλάχιστον 100 δις. δολαρίων ετησίως.



Σχήμα 1.25: Μείωση Κόστους Φωτοβολταϊκών [1990-2020] ¹¹

⁹ Manfred Lenzen, Jesper Munksgaard: Energy and CO₂ life-cycle analyses of wind turbines- review and applications. Renewable Energy 26 (2002) 339-362

¹⁰ Photovoltaics: Energy Efficiency and Renewable Energy Network, US Department of Energy <http://www.eren.doe.gov>

¹¹ Australian Cooperative Research Centre For Renewable Energy, <http://acre.murdoch.edu.au>

Τα επίπεδα των επιδοτήσεων των ορυκτών καυσίμων και των πυρηνικών σταθμών στην Ευρωπαϊκή Ένωση έχουν φτάσει σε αστρονομικά επίπεδα (Πίνακας 1.6). Το 1997, η Greenpeace, παρουσίασε μια λεπτομερή έρευνα των άμεσων εθνικών και κοινοτικών επιδοτήσεων της βιομηχανίας των ορυκτών καυσίμων και των ορυκτών καυσίμων και της πυρηνικής βιομηχανίας³. Η επιλεκτική αυτή επιδότηση μη καθαρών πηγών ενέργειας, πέραν των προφανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων, έχει οδηγήσει και σε μια στρέβλωση της αγοράς ενέργειας σε βάρος των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Πίνακας 1.6: Επιδοτήσεις στην Ευρώπη [Εκ. Ευρώ] ⁸.

Άμεσες Επιδοτήσεις	Κράτη Μέλη	Ε.Ε.	Σύνολο
Ορυκτά Καύσιμα	9681	531	10212
Πυρηνική Ενέργεια	4178	428	4606
Ανανεώσιμες	1247	131	1378

1.4.4.9. Ευρωπαϊκή στρατηγική για ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού

Η Ευρωπαϊκή Ένωση καταναλώνει όλο και περισσότερη ενέργεια και εισάγει όλο και περισσότερα ενεργειακά προϊόντα. Η κοινοτική παραγωγή δεν επαρκεί για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της Ένωσης. Ως εκ τούτου αυξάνεται συνεχώς η ενεργειακή εξάρτηση από το εξωτερικό. Η αιφνίδια αύξηση των τιμών του πετρελαίου, που θα μπορούσε να έχει ως αποτέλεσμα να υπονομευθεί η οικονομική ανάπτυξη στην Ευρώπη λόγω του τριπλασιασμού της τιμής του αργού πετρελαίου, άρχισε τον Μάρτιο του 1999 και αποκαλύπτει για μια εισέτι φορά τις διαρθρωτικές αδυναμίες του ενεργειακού εφοδιασμού της Ευρωπαϊκής Ένωσης, δηλαδή τον συνεχώς αυξανόμενο βαθμό ενεργειακής εξάρτησης της Ευρώπης, το ρόλο του πετρελαίου ως καθοριστικού παράγοντα στην διαμόρφωση των τιμών της ενέργειας καθώς και τα απογοητευτικά αποτελέσματα των πολιτικών περιορισμού της κατανάλωσης. Η Ευρωπαϊκή Ένωση δεν θα κατορθώσει να απαλλαγεί από την συνεχώς αυξανόμενη ενεργειακή εξάρτηση εφόσον δεν εφαρμοστεί δυναμική ενεργειακή πολιτική¹².

Εάν δεν ληφθούν μέτρα, μέσα σε 20 με 30 χρόνια, η Ένωση θα καλύπτει τις ενεργειακές της ανάγκες κατά 70% με εισαγόμενα προϊόντα, ενώ σήμερα η αντίστοιχη εξωτερική εξάρτηση της ανέρχεται σε 50%. Η εξάρτηση είναι εμφανής σε όλους τους οικονομικούς τομείς. Παραδείγματος χάριν οι μεταφορές, ο οικιακός τομέας και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτώνται ως επί το πλείστον από τους υδρογονάνθρακες και βρίσκονται στο έλεος των απρόσμενων διακυμάνσεων των διεθνών τιμών. Η διερεύνηση αναμένεται να εντείνει τις τάσεις αυτές. Οι συνέπειες της εξάρτησης είναι σημαντικές από οικονομική σκοπιά. Συγκεκριμένα οι εισαγωγές ενεργειακών προϊόντων κατά το 1999 αντιπροσώπευαν 240 δις ευρώ, δηλαδή 6% των συνολικών εισαγωγών και 1,2% του ΑΕΠ. Από γεωπολιτική σκοπιά, 45% των πετρελαϊκών εισαγωγών προέρχονται από την Μέση Ανατολή και 40% του εισαγόμενου φυσικού αερίου από την Ρωσία¹³.

¹² Πράσινη Βίβλος: Προς μια ευρωπαϊκή στρατηγική για την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού. Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 29 Νοεμβρίου 2001 (COM(2000)769). <http://www.europe.eu.int>

¹³ Energy Total Imports, 2001. Eurostat, <http://www.europa.eu.int/comm/eurostat>

Έχοντας διατυπώσει τις πιο πάνω ανησυχίες, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή προχώρησε τον Νοέμβριο του 2001 στην υιοθέτηση της Πράσινης Βίβλου της ευρωπαϊκής στρατηγικής για την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού. Στα πλαίσια της Βίβλου προτείνονται για τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης:

- Η ανάπτυξη νέων και ανανεώσιμων μορφών ενέργειας (συμπεριλαμβανομένων και των βιοκαυσίμων)
- Η θέσπιση φορολογικών μηχανισμών για τον προσανατολισμό της ζήτησης προς καλύτερα ελεγχόμενες μορφές κατανάλωσης
- Η εξισορρόπηση της πολιτικής προσφοράς μέσω δράσεων που να είναι σαφώς υπέρ μιας πολιτικής για την ζήτηση.

Η ανθρωπότητα δεν έχει την πολυτέλεια παθητικά να αναμένει τις εξελίξεις στοχαστικά, καθότι οι κλιματικές αλλαγές μεταβάλλουν το ενεργειακό ισοζύγιο του πλανήτη και επικινδύνουν. Τόσο οι ΗΠΑ όσο και η Ιαπωνία παρέχουν ήδη ισχυρά κίνητρα για την προώθηση της ανάπτυξης των εγχώριων βιομηχανιών ΑΠΕ. Ο ανταγωνισμός σε αυτόν τον τομέα είναι και θα παραμείνει έντονος. Η ανάληψη δράσης για την ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι σήμερα επιτακτική έτσι ώστε να φέρουμε εις πέρας τις δεσμεύσεις μας όσον αφορά την μείωση του CO₂. Ο στόχος της παραγωγής του 12% της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές έως το 2010 και ο δρόμος για την επίτευξη του, όπως αυτά τέθηκαν από την Λευκή Βίβλο, δεν είναι μόνο κάτι επιτακτικό αλλά και κάτι που μπορεί να επιτευχθεί.

1.5. Το ενεργειακό σύστημα στην Ελλάδα¹⁴

Η Ελλάδα καταλαμβάνει έκταση 132.000 τετρ. χιλιομέτρων, έχει πληθυσμό 10,96 εκατ. κατοίκων σύμφωνα με την απογραφή του 2001, συμμετέχει με 2,8% στο συνολικό προϋπολογισμό της ΕΕ και με 1,5% στο ακαθάριστο προϊόν της ΕΕ και με 1,9% της Ευρωζώνης. Το κατά κεφαλή ακαθάριστο εθνικό προϊόν ανήλθε κατά το 2002 σε 12 χιλ. Ευρώ που αντιστοιχεί στο 69%¹⁵ του ΑΕΠ του μέσου όρου της ΕΕ. Κατά το ίδιο έτος ο ρυθμός ανάπτυξης ως % μεταβολή του όγκου του ΑΕΠ ανήλθε σε 4,1%.

Το Ελληνικό ενεργειακό σύστημα βρίσκεται την τελευταία δεκαετία σε φάση σημαντικών αλλαγών. Η διείσδυση του φυσικού αερίου, η κατασκευή των διευρωπαϊκών δικτύων, η προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της εξοικονόμησης ενέργειας και τέλος η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν τα νέα δεδομένα του.

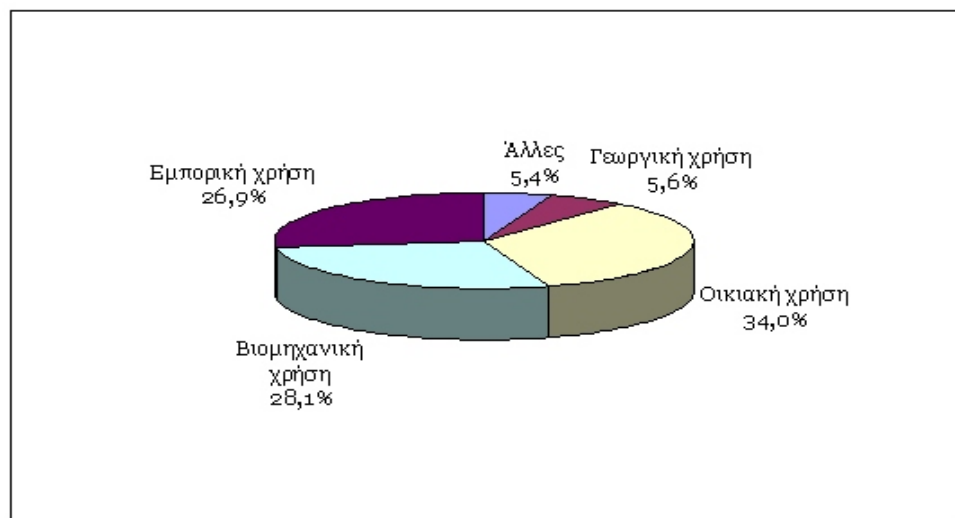
Σημαντικές είναι οι επιπτώσεις των νέων αυτών δεδομένων στην ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού της χώρας, στην μείωση της εξάρτησης της από το εισαγόμενο πετρέλαιο, με όλα τα συνεπαγόμενα οφέλη στην εθνική οικονομία, στην εξοικονόμηση μη ανανεούμενων ενεργειακών πόρων, στην αύξηση της αποδοτικότητας των διαδικασιών παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας, στην προστασία του περιβάλλοντος και τέλος στην βελτίωση των παρεχομένων υπηρεσιών στους καταναλωτές

Η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα μας παρουσιάζει τα τελευταία χρόνια ρυθμό αύξησης που είναι πολύ μεγαλύτερος από το μέσο όρο αύξησης της ζήτησης στην Ευρώπη. Οι αυξητικές τάσεις της ζήτησης αναμένεται ότι θα συνεχιστούν, αφ' ενός διότι η κατά κεφαλή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα είναι σημαντικά χαμηλότερη από τον ευρωπαϊκό μέσο όρο, αφ' ετέρου διότι η τιμή του οικιακού τιμολογίου που προσφέρει η ΔΕΗ Α.Ε. είναι η χαμηλότερη στην Ευρώπη.

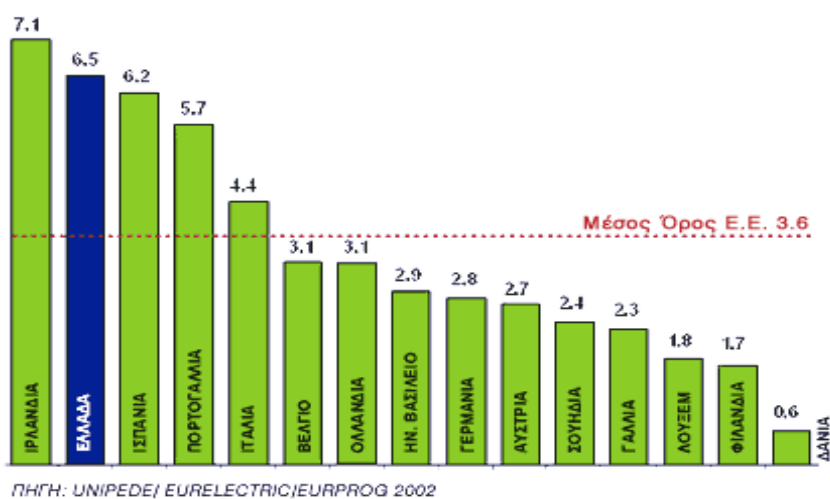
¹⁴ Τα στοιχεία προέρχονται από τη ΔΕΗ και το Υπουργείο Ανάπτυξης

¹⁵ Το ποσοστό αυτό ανέρχεται σε 78% στην περίπτωση της διευρυμένης ΕΕ

Τα διαγράμματα 1.27, 1.28 και 1.29 μας δείχνουν τις τάσεις αύξησης της κατανάλωσης στην ελληνική αγορά και συσχετισμούς τιμολογίων και ρυθμών αύξησης με τις υπόλοιπες χώρες της Ε.Ε.

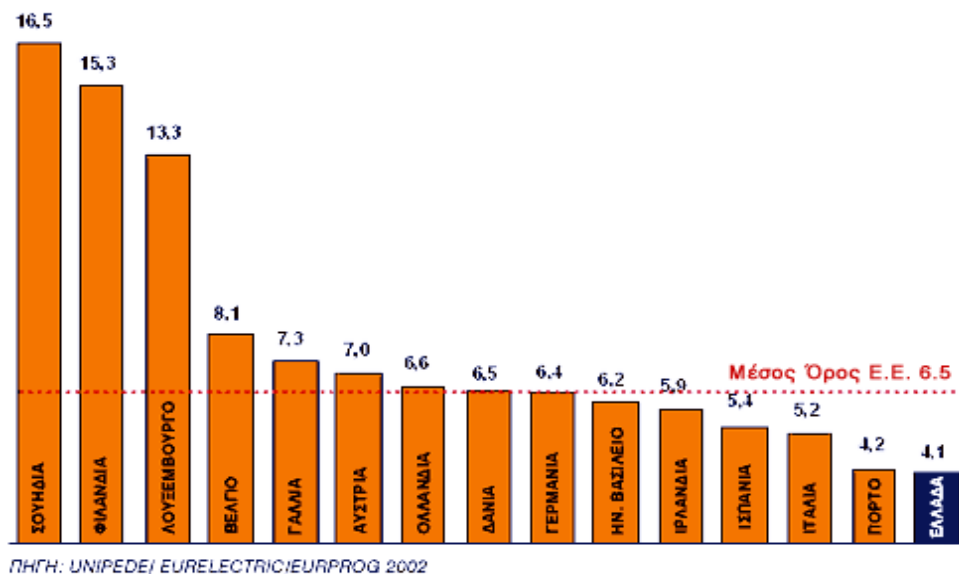


Σχήμα 1.27: Σύνοψη Κατανάλωσης Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Ελλάδα 2004 (πηγή:ΔΕΗ)



ΠΗΓΗ: UNIPEDE/ EURELECTRIC/EURPROG 2002

Σχήμα 1.28: Ετήσια ποσοστιαία (%) αύξηση κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στην Ε.Ε.



Σχήμα 1.29: Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά κάτοικο στην Ε.Ε. (σε MWh)

Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας κατά το 2002 έφθασε τις 50,6 TWh με εγκατεστημένη ισχύ 11.739 MW μονάδων της ΔΕΗ και 515 MW από αυτοπαραγωγούς και παραγωγούς ανανεώσιμης ενέργειας. Οι γραμμές μεταφοράς στο διασυνδεδεμένο σύστημα έχουν μήκος 200.989 χλμ. Ο αριθμός των εξυπηρετούμενων πελατών είναι 6,7 εκατομμύρια. Η κυριότερη πηγή καυσίμου ήταν ο εγχώριος λιγνίτης μικρής θερμογόνου δύναμης (70,3 εκατ. τόνοι) που αντιπροσωπεύει το 59,1% του συνόλου.

Ο λιγνίτης βρίσκεται σε αφθονία στο υπέδαφος της Ελλάδας. Η χώρα μας κατέχει τη δεύτερη θέση σε παραγωγή λιγνίτη στην Ευρωπαϊκή Ένωση και την έκτη θέση παγκοσμίως. Με βάση τα συνολικά αποθέματα και τον προγραμματιζόμενο ρυθμό κατανάλωσης στο μέλλον, υπολογίζεται ότι στην Ελλάδα οι υπάρχουσες ποσότητες λιγνίτη επαρκούν για τα επόμενα 45 χρόνια. Μέχρι σήμερα έχουν εξορυχτεί συνολικά 1,3 δισ. τόνοι λιγνίτη ενώ τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα ανέρχονται σε 3,2 δισ. τόνους περίπου. Το 2003 εξορύχθηκαν συνολικά 69,9,1 εκ. τόνοι.

Σήμερα, οι 8 λιγνιτικοί σταθμοί της ΔΕΗ αποτελούν το 43% της εγκατεστημένης ισχύος της και παράγουν το 62% περίπου της καθαρής ηλεκτρικής παραγωγής της ΔΕΗ.

Αποθέματα - Ποιότητα λιγνίτη

Τα συνολικά βεβαιωμένα γεωλογικά αποθέματα λιγνίτη στη χώρα ανέρχονται σε περίπου 5 δισ. τόνους. Τα κοιτάσματα αυτά παρουσιάζουν αξιοσημείωτη γεωγραφική εξάπλωση στον ελληνικό χώρο. Με τα σημερινά τεχνικό-οικονομικά δεδομένα τα κοιτάσματα που είναι κατάλληλα για ενεργειακή εκμετάλλευση, ανέρχονται σε περίπου 3,2 δισ τόνους και ισοδυναμούν με 450 εκ. τόνους πετρελαίου.

Τα κυριότερα εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα λιγνίτη βρίσκονται στις περιοχές Πτολεμαΐδας, Αμυνταίου και Φλώρινας με υπολογισμένο απόθεμα 1,9 δισ τόνους, στην περιοχή της Δράμας με απόθεμα 900 εκ. τόνους και στην περιοχή Ελασσόνας με 150 εκ. τόνους. Επίσης στην Πελοπόννησο, περιοχή Μεγαλόπολης, υπάρχει λιγνιτικό κείτασμα με απόθεμα περίπου 250 εκ. τόνους.

Με βάση τα συνολικά εκμεταλλεύσιμα αποθέματα λιγνίτη της χώρας και τον προγραμματιζόμενο ρυθμό κατανάλωσης στο μέλλον, υπολογίζεται ότι τα αποθέματα αυτά επαρκούν για περισσότερο από 45 χρόνια. Μέχρι σήμερα οι εξορυχθείσες ποσότητες λιγνίτη φτάνουν περίπου στο 29% των συνολικών αποθεμάτων. Εκτός από λιγνίτη η Ελλάδα διαθέτει

και ένα μεγάλο κοιτάσμα Τύρφης στην περιοχή των Φιλίππων (Ανατολική Μακεδονία). Τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα στο κοιτάσμα αυτό εκτιμώνται σε 4 δις κυβικά μέτρα και ισοδυναμούν περίπου με 125 εκατ. τόνους πετρελαίου.

Γενικά η ποιότητα των ελληνικών λιγνιτών είναι χαμηλή. Η θερμογόνος δύναμη κυμαίνεται από 900 - 1100 kcal/kg στις περιοχές Μεγαλόπολης, Αμυνταίου και Δράμας, από 1250 - 1350 kcal/kg στην περιοχή Πτολεμαΐδας και 1800 -2300 στις περιοχές Φλώρινας και Ελασσόνας. Σημαντικό συγκριτικό πλεονέκτημα των λιγνιτών της χώρας μας είναι η χαμηλή περιεκτικότητα σε καύσιμο θείο.

Το μεγαλύτερο λιγνιτικό δυναμικό της χώρας είναι συγκεντρωμένο σε τρεις περιοχές - λεκάνες κατά μήκος του άξονα Φλώρινα - Αμύνταιο - Πτολεμαΐδα - Κοζάνη - Σέρβια.

Σταδιακά στην περιοχή Πτολεμαΐδας - Αμυνταίου δημιουργήθηκε ένα από τα μεγαλύτερα Λιγνιτικά Κέντρα στον κόσμο όπου λειτουργούν σήμερα τέσσερα λιγνιτωρυχεία: Το Ορυχείο Νοτίου Πεδίου, το Ορυχείο Καρδιάς, το Ορυχείο Κυρίου Πεδίου και το Ορυχείο Αμυνταίου (συμπεριλαμβανομένου και του ορυχείου στη Φλώρινα). Επίσης στο Λιγνιτικό Κέντρο ανήκουν το Εργοστάσιο Λιγνιτοπλίνθων και ο ατμοηλεκτρικός σταθμός ΛΙΠΤΟΛ. Η παραγωγή λιγνίτη ανήλθε το 2004σε 54,45 εκ. τόνους .

Η μέση κατώτερη θερμογόνος δύναμη του λιγνίτη Πτολεμαΐδας ανέρχεται σε 1.300 kcal/kg και του Αμυνταίου σε 1.100 kcal/kg.

Οι ενεργειακές μονάδες που τροφοδοτούνται με λιγνίτη από το Λιγνιτικό Κέντρο Πτολεμαΐδας - Αμυνταίου παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.7.

Πίνακας 1.7: Μονάδες που τροφοδοτούνται με λιγνίτη από Λιγνιτικό Κέντρο Πτολεμαΐδας - Αμυνταίου

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW)
ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ	$10+33 = 43$
ΑΗΣ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ	$70 + 2 \times 125 + 300 = 620$
ΑΗΣ ΚΑΡΔΙΑΣ	$2 \times 300 + 2 \times 325 = 1.250$
ΑΗΣ ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ	$2 \times 300 + 2 \times 310 + 375 = 1.595$
ΑΗΣ ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ	$2 \times 300 = 600$
ΑΗΣ ΜΕΛΙΤΗΣ-ΑΧΛΑΔΑΣ	$1 \times 330 = 330$
ΣΥΝΟΛΟ	4.438

Με λιγνίτη τροφοδοτείται και το Εργοστάσιο Λιγνιτοπλίνθων. Στην Πελοπόννησο, στο Νομό Αρκαδίας έχει δημιουργηθεί το Λιγνιτικό Κέντρο Μεγαλόπολης.

Η μέση θερμογόνος δύναμη του λιγνίτη ανέρχεται σε 1.000 kcal/kg. Το 2004 η παραγωγή λιγνίτη ανήλθε σε 14,44 εκ. τόνους. Το Λιγνιτωρυχείο τροφοδοτεί με λιγνίτη τον ΑΗΣ Μεγαλόπολης Α με εγκατεστημένη ισχύ 550MW (2 μονάδες x 125MW + 1 μονάδα 300MW) και τον ΑΗΣ Μεγαλόπολης Β ισχύος 300 MW.

Πετρέλαιο

Το πετρέλαιο κυρίως για την κίνηση ηλεκτροπαραγωγικών εγκαταστάσεων νησιωτικών συστημάτων μη συνδεδεμένων με την ηπειρωτική χώρα συμμετείχε με ποσοστό 14,0% στην ηλεκτροπαραγωγή. Το φυσικό αέριο προερχόμενο από εισαγωγές από τη Ρωσία και σε μορφή LNG από την Αλγερία κάλυψε το 12,7%. Κατά το ίδιο έτος τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα απέδωσαν το 6.3%. Τέλος η αιολική ενέργεια, τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα, η βιομάζα και

τα φωτοβολταϊκά έδειξαν την παρουσία τους με ποσοστό τάξης 2,4% ενώ οι εισαγωγές-εξαγωγές κάλυψαν το υπόλοιπο 3%.

Σε σχέση με τις ανταλλαγές ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να σημειωθεί ότι με τις όμορες βαλκανικές χώρες (Αλβανία, ΠΓΔΜ και Βουλγαρία) υπάρχουν συνδέσεις ικανές να καλύψουν σε ετήσια βάση ανταλλαγές σε επίπεδο άνω του 7% των αναγκών της χώρας κυρίως από την περίσσεια ενέργειας των συστημάτων της Βουλγαρίας και Ρουμανίας. Πάντως παραμένει σε εκκρεμότητα από την εποχή του πολέμου της Γιουγκοσλαβίας¹⁶ το θέμα της επανασύνδεσης με τις χώρες της Κεντρικής Ευρώπης που συμμετέχουν στη UCTE¹⁷. Η σύνδεση με την Ιταλία υποβρύχιο καλώδιο συνεχούς ρεύματος 400 kV και δυναμικότητα μεταφοράς αντιστοιχούσας σε 500 MW τέθηκε σε εμπορική λειτουργία το 2002¹⁸.

Ο ετήσιος ρυθμός αύξησης της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας αναμένεται να κινηθεί μέχρι το 2005 σε επίπεδα 4% για το διασυνδεδεμένο σύστημα και μεγαλύτερο ποσοστό (5,5%) για τα αυτόνομα νησιωτικά συστήματα και στη συνέχεια να κινηθεί σε επίπεδο ενιαίο 3,6% για όλη τη χώρα. Με βάση αυτό το σενάριο εκτιμάται ότι κατά το έτος 2010 οι ανάγκες της χώρας θα βρίσκονται σε επίπεδα τάξης 72 TWh.

1.5.4. Εγκατεστημένη ισχύς παραγωγής εθνικού διασυνδεδεμένου συστήματος

Η πρωτογενής ενέργεια που χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι ο λιγνίτης, όπως φαίνεται και από το ισοζύγιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της ΔΕΗ (Πίνακας 1.8).

Πίνακας 1.8: Εγκατεστημένη Ισχύς και Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας του συστήματος της Δ.Ε.Η. ανά τύπο μονάδων 1999

Τύπος Μονάδας	Ισχύς (MW)	%	Παραγωγή (GWh)	%
Λιγνιτικές	4900	46.5	29115	65.0
Πετρελαϊκές	1985	18.8	7160	16.0
Υδροηλεκτρικές	3092	29.3	4800	10.7
Φυσικού Αερίου	537	5.1	3690	8.2
Α/Γ	26	0.2	56	0.1
Σύνολο	10540		44821	

¹⁶ Κατά το 1992 διακόπηκε η σύνδεση λόγω καταστροφής των υποσταθμών στο Μόσταρ της Βοσνίας-Ερζεγοβίνης και το Ερνεστίνβοβο της Κροατίας αλλά αναμένεται για τις αρχές του 2004 η ολοκλήρωση των έργων απόκατάστασης που χρηματοδοτούνται από τη Διεθνή Τράπεζα. Πάντως η τρίτη γραμμή μέσω Ρουμανίας βρίσκεται σε επιχειρησιακή ετοιμότητα.

¹⁷ Η "Ένωση για το Συντονισμό της Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας με έδρα στις Βρυξέλλες αποτελεί σύνδεσμο 35 Διαχειριστών Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (και τεσσάρων συνδεδεμένων που δεν αποτελούν μέλη) 22 χωρών της ηπειρωτικής Ευρώπης και τριών της Βόρειας Αφρικής συνολικού πληθυσμού 450 εκατ. κατοίκων. Η Ένωση συντονίζει μέσω τεχνικών κανόνων και συστάσεων την αποδοτική και ασφαλή λειτουργία των "λεωφόρων" μεταφοράς ηλεκτρισμού μέσω του διασυνδεδεμένου διευρωπαϊκού συστήματος.

¹⁸ Επί του παρόντος η πλήρης εκμετάλλευση της δυναμικότητας της σύνδεσης φαίνεται αδύνατη δεδομένης της υπερφόρτισης του ηλεκτρικού συστήματος της Ιταλίας που βοηθείται από εισαγωγές ενέργειας από Γαλλία και Ελβετία.

Το ηλεκτρικό σύστημα της Ελλάδας διακρίνεται στο Εθνικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα (Ε.Δ.Σ.) και στο Νησιωτικό Σύστημα. Το σύστημα μεταφοράς του Εθνικού Διασυνδεδεμένου Συστήματος απαρτίζεται από γραμμές μεταφοράς υψηλής (150kV) και υπερυψηλής (400 kV) τάσης. Οι σταθμοί παραγωγής του Ηλεκτρικού Συστήματος διακρίνονται σε:

- ❖ Σταθμούς παραγωγής Ε.Δ.Σ.
- ❖ Αυτόνομους Σταθμούς Παραγωγής του νησιωτικού συστήματος

*Δεν περιλαμβάνονται εγκαταστάσεις Α.Π.Ε.

Πίνακας 1.9: Θερμικοί σταθμοί παραγωγής ΔΕΗ

Σταθμός	Αρ. μονάδων	Εγκατ. Ισχύς (MW)	Περιοχή
Αγίου Δημητρίου	5	1587	Δ. Μακεδονία
Καρδιάς	4	1200	Δ. Μακεδονία
Πτολεμαΐδας	4	620	Δ. Μακεδονία
Αμυνταίου	2	600	Δ. Μακεδονία
Αλιβερίου	4	380	Ευβοία
Λαυρίου	4	1197	Αττική
Αγ. Γεωργίου	2	360	Αττική
Μεγαλόπολης	4	850	Πελοπόννησος
Λιπτολ	2	43	Δ. Μακεδονία
Αργοστολίου	1	11,6	Ν. Ιονίου
Ζακύνθου	1	27	Ν. Ιονίου

Πίνακας 1.10: Υδροηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής ΔΕΗ (ισχύς μεγαλύτερη από 10 MW)

Όνομα ΥΗΣ	Αρ. μονάδων	Εγκατ. Ισχύς (MW)	Περιοχή
Αγρας	2	50	Μακεδονία
Εδεσσαίος	1	19	Μακεδονία
Ασωμάτων	2	108	Μακεδονία
Μακροχώρι	3	10,8	Μακεδονία
Πολύφυτο	3	375	Μακεδονία
Σφηκιά	3	315	Μακεδονία
Θησαυρός	3	384	Θράκη
Πλατανόβρυση	2	116	Θράκη
Καστράκι	4	320	Κεντρ. Ελλάδα
Κρεμαστά	4	437	Κεντρ. Ελλάδα
Πλαστήρας	3	130	Κεντρ. Ελλάδα
Στράτος Ι	2	150	Κεντρ. Ελλάδα
Πουρνάρι Ι & ΙΙ	5	332,4	Ήπειρος
Πηγές Αώου	2	210	Ήπειρος

Λούρος	3	10,3	Ήπειρος
Λάδωνας	2	70	Πελοπόννησος

Η συνολική ισχύς θερμικών σταθμών **αυτοπαραγωγών** για παραγωγή ηλεκτρισμού ή/και θερμότητας είναι 250MW.

Πίνακας 1.11: Νησιώτικο σύστημα

ΤΡΟΦΟΔΟΤΟΥΜΕΝΑ ΝΗΣΙΑ	ΑΥΤΟΝΟΜΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	ΕΓΚΑΤ/ΝΗ ΙΣΧΥΣ (kW)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΖΗΤΗΣΗ (kW)	ΕΤΗΣΙΑ ΖΗΤΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (MWh)
ΚΡΗΤΗ	ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	192800	407200	1924571
	ΧΑΝΙΑ	328400		
	Σύνολο	521200		
ΡΟΔΟΣ	ΣΟΡΩΝΗ	206000	126800	
ΑΓΑΘΟΝΗΣΙ	ΑΓΑΘΟΝΗΣΙ	240	95	276
ΑΓ. ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΣ	ΑΓ. ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΣ	360	220	755
ΑΜΟΡΓΟΣ	ΑΜΟΡΓΟΣ	2650	2190	6295
ΑΝΑΦΗ	ΑΝΑΦΗ	355	340	607
ΑΝΤΙΚΥΘΗΡΑ	ΑΝΤΙΚΥΘΗΡΑ	140	38	96
ΑΣΤΥΠΑΛΛΙΑ	ΑΣΤΥΠΑΛΛΙΑ	1600	1350	3818
ΔΟΝΟΥΣΑ	ΔΟΝΟΥΣΑ	210	150	284
ΕΡΕΙΚΟΥΣΑ	ΕΡΕΙΚΟΥΣΑ	270	195	408
ΙΚΑΡΙΑ	ΙΚΑΡΙΑ	6900	5400	18570
ΚΕΑΣ	ΚΕΑΣ	-	-	-
ΚΥΘΝΟΣ	ΚΥΘΝΟΣ	2300	1960	5216
ΛΕΣΒΟΣ	ΛΕΣΒΟΣ	49500	45700	209733
ΛΗΜΝΟΣ	ΛΗΜΝΟΣ	8900	11700	47130
ΜΕΓΙΣΤΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ	390	320	1239
ΜΥΚΟΝΟΣ	ΜΥΚΟΝΟΣ	21200	17500	51802
ΟΘΩΝΟΙ	ΟΘΩΝΟΙ	270	240	498
ΠΑΤΜΟΣ	ΠΑΤΜΟΣ	4380	3580	11348
ΣΑΜΟΘΡΑΚΗ	ΣΑΜΟΘΡΑΚΗ	2200	2400	7098
ΣΕΡΙΦΟΣ	ΣΕΡΙΦΟΣ	2000	1900	4777
ΣΙΦΝΟΣ	ΣΙΦΝΟΣ	4300	3360	9437
ΣΚΥΡΟΣ	ΣΚΥΡΟΣ	4500	3750	12403
ΣΥΜΗ	ΣΥΜΗ	4350	1950	7814
ΣΥΡΟΣ	ΣΥΡΟΣ	20000	18700	85117

ΣΑΜΟΣ-ΦΟΥΡΝΟΙ	ΣΑΜΟΣ	46080	24400	99372
ΧΙΟΣ-ΨΑΡΑ	ΧΙΟΣ	38780	29800	136334
	ΨΑΡΑ	345	-	-
ΑΝΔΡΟΣ-ΤΗΝΟΣ	ΑΝΔΡΟΣ	9400	9300	32613
ΘΗΡΑ-ΘΗΡΑΣΙΑ	ΘΗΡΑ	22200	22700	67122
ΙΟΣ-ΣΙΚΙΝΟΣ-ΦΟΛΕΓΑΝΔΡΟΣ	ΙΟΣ-ΣΙΚΙΝΟΣ-ΦΟΛΕΓΑΝΔΡΟΣ	3740	4380	12563
ΚΑΛΥΜΝΟΣ-ΛΕΡΟΣ-ΛΕΙΨΟΙ-ΤΕΛΕΝΔΟΣ-ΨΕΡΙΜΟΣ-ΚΩΣ-ΝΙΣΥΡΟΣ-ΤΗΛΟΣ-ΓΥΑΛΙ	ΚΑΛΥΜΝΟΣ-ΚΩΣ	69600	57300	217824
	ΚΩΣ	60500		-
	ΝΙΣΥΡΟΣ	-		-
ΚΑΡΠΑΘΟΣ-ΚΑΣΟΣ	ΚΑΡΠΑΘΟΣ-ΚΑΣΟΣ	9000	6500	24369
ΜΗΛΟΣ-ΚΙΜΩΛΟΣ	ΜΗΛΟΣ	7600	5970	23912
ΠΑΡΟΣ-ΝΑΞΟΣ-ΑΝΤΙΠΑΡΟΣ-ΗΡΑΚΛΕΙΑ-ΣΧΟΙΝΟΥΣΑ-ΚΟΥΦΟΝΗΣΙΑ	ΠΑΡΟΣ	43250	36000	117513

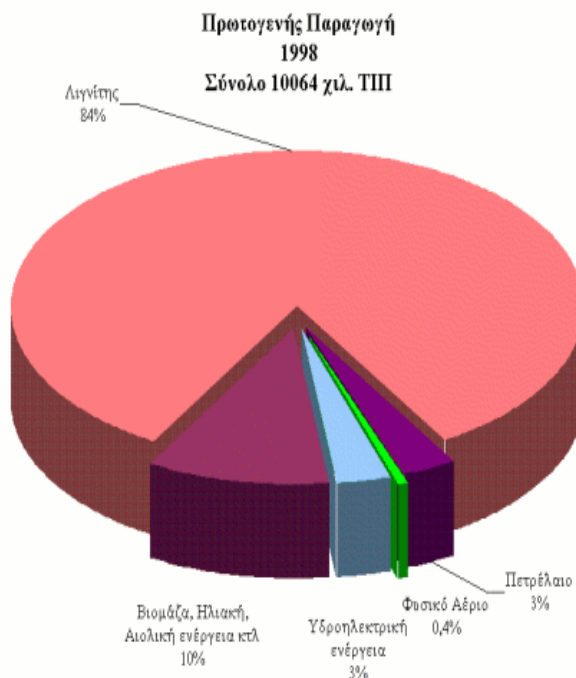
Δεν περιλαμβάνονται σταθμοί ΑΠΕ

Η κατανάλωση ενέργειας από τη βιομηχανία, τις μεταφορές, τον οικιακό, πρωτογενή και τριτογενή τομέα ανήλθε σε 18406 χιλ. ΤΠΠ, 1,8 μόλις φορά μεγαλύτερη από την εγχώρια παραγωγή. Το 69 % της κατανάλωσης τελικής ενέργειας αφορά πετρελαϊκά προϊόντα, 18 % ηλεκτρική ενέργεια ενώ μόλις 5 % της τελικής κατανάλωσης το λιγνίτη και το λιθάνθρακα (Πίνακας 1.12).

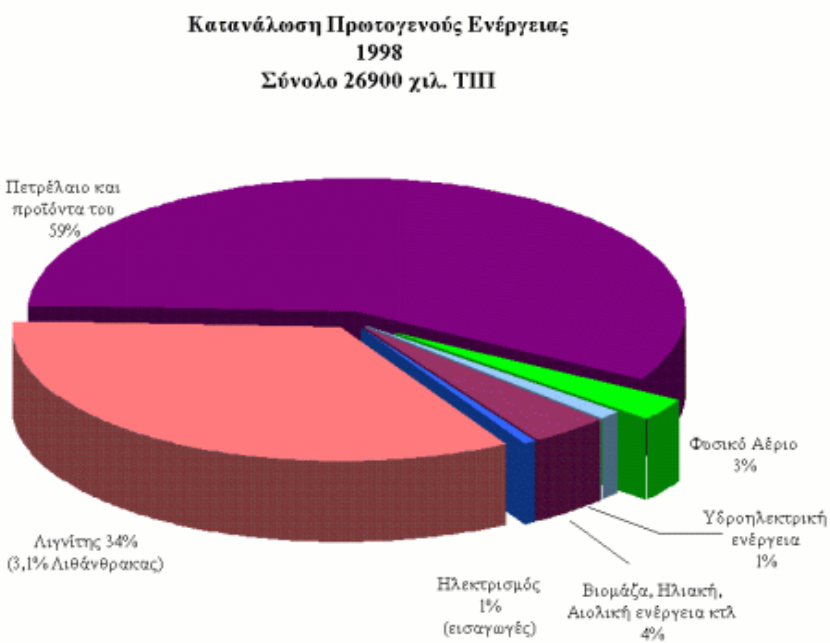
Πίνακας 1.12: Συνοπτικό Ενεργειακό Ισοζύγιο, 1998 (χιλ. ΤΠΠ)

	Λιγνίτης, Λιθάνθρακας	Πετρέλαιο και προϊόντα του	Φυσικό Αέριο	Υδροηλεκτρική ενέργεια	Βιομάζα, Ηλιακή, Αιολική ενέργεια κτλ	Ηλεκτρική ενέργεια	Σύνολο
Πρωτογενής παραγωγή	8353	316	40	320	1035	0	10064
Καθαρές εισαγωγές	849	19428	690	0	0	138	21105
Ακαθάριστη εγχώρια κατανάλωση	9156	15525	725	320	1035	138	26900
Εισροές προς	8207	23139	352	0	0	0	31698

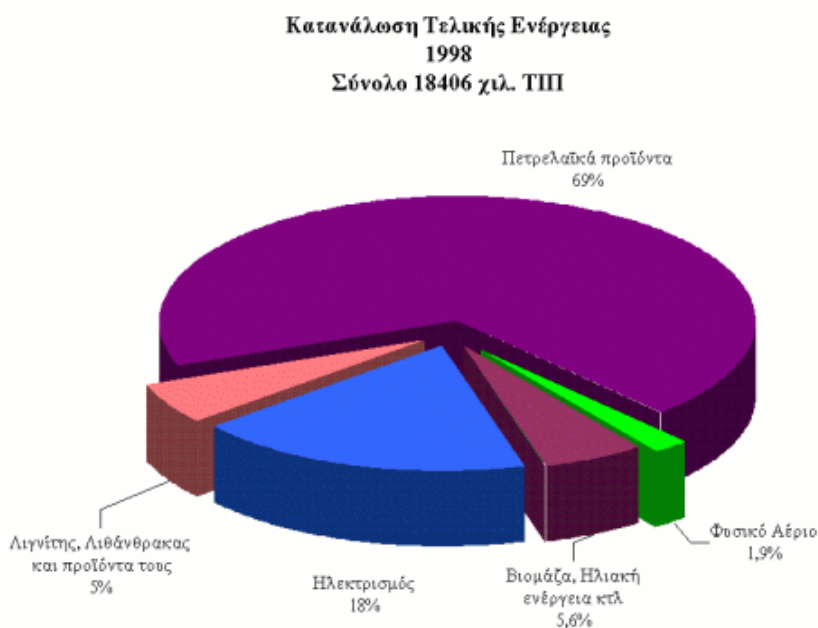
μετατροπή							
Εκροές από μετατροπή	37	21129	0	0	0	3645	24811
Κατανάλωση του ενεργειακού τομέα	0	920	29	0	0	456	1405
Απώλειες μεταφοράς	0	0	1	0	0	273	274
Τελική κατανάλωση	985	12667	344	0	1029	3380	18406
Τελική μη ενεργειακή κατανάλωση	0	379	201	0	0	0	580
Τελική ενεργειακή κατανάλωση	964	12669	142	0	1029	3380	18184
Βιομηχανία	917	2060	129		205	1110	4421
Μεταφορές	0	7277	0	0	0	15	7292
Οικιακός, Πρωτογενής, Τριτογενής τομέας	48	3332	13	0	824	2255	6472
Στατιστική διαφορά	21	-380	0	0	0	0	-359



Σχήμα 1.30: Πρωτογενής παραγωγή 1998

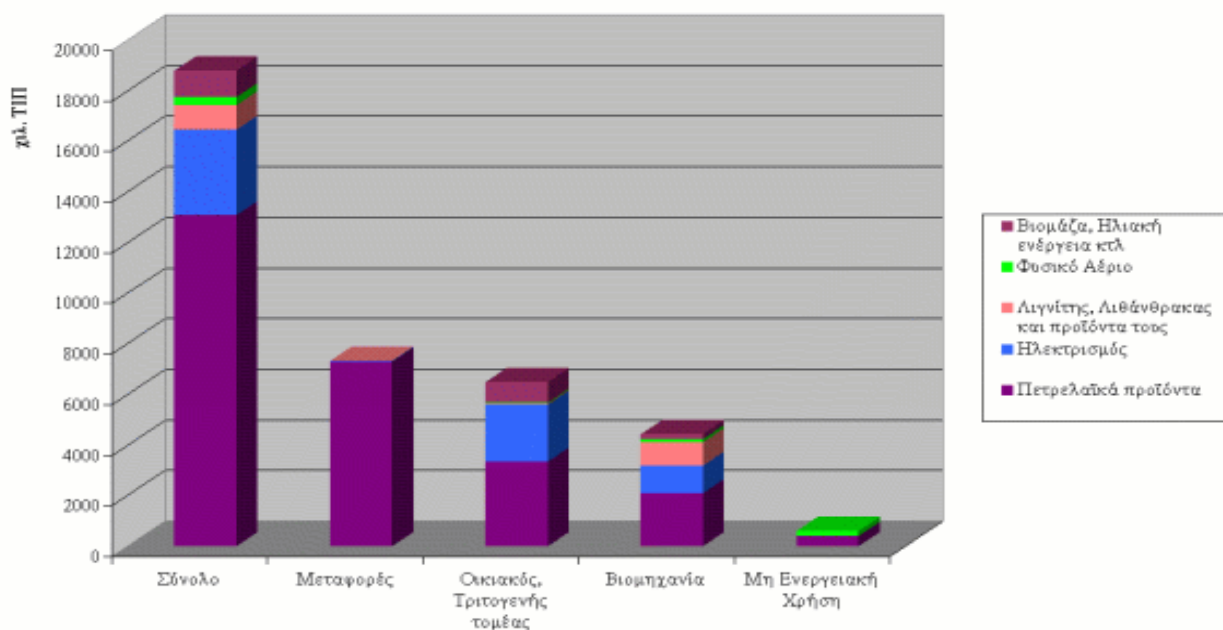


Σχήμα 1.31: Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας 1998



Σχήμα 1.32: Κατανάλωση τελικής ενέργειας 1998

Κατανάλωση Τελικής Ενέργειας, κατανομή ανά τομέα και ενεργειακή μορφή
1998



Σχήμα 1.33: Κατανάλωση τελικής ενέργειας, κατανομή ανά τομέα και ενεργειακή μορφή 1998

Οι ενεργειακοί δείκτες για την Ελλάδα παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.13.

Πίνακας 1.13: Στατιστικοί δείκτες

	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Πληθυσμός (Εκατομμύρια)	10,04	10,09	10,16	10,25	10,32	10,38	10,43	10,45	10,48	10,49	10,51
Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (δισ. ECU 1990)	62,8	65,2	65,3	67,3	67,7	66,6	67,8	69,0	70,8	73,1	75,8
Κατανάλωση Πρωτογενούς Ενέργειας/ΑΕΠ (ΤΠΠ/1990 ΜΕCU)	321,0	339,3	340,9	333,2	340,1	339,2	348,2	349,6	358,8	350,1	354,8
Κατανάλωση Πρωτογενούς Ενέργειας ανά Κάτοικο (Κιλά Ισοδύναμου Πετρελαίου/Κάτοικο)	2009	2194	2189	2187	2232	2178	2264	2309	2426	2442	2559
Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας ανά Κάτοικο (kWh/κάτοικο)	3328	3414	3444	3494	3624	3699	3896	3974	4062	4133	4399

Εκπομπές CO ₂ /ΑΕΠ (τόνοι CO ₂ /δισ. ECU 1990)			1,305	1,263	1,282	1,310	1,306	1,305	1,291	1,315	1,325
Εξάρτηση από εισαγωγές (%)	61,3	58,6	62,1	63,1	69,0	67,0	58,	65,8	66,0	66,8	69,5

1.5.2. Φυσικό Αέριο

Η εισαγωγή του φυσικού αερίου στο ενεργειακό ισοζύγιο της Ελλάδας αναμένεται να επηρεάσει σημαντικούς κλάδους της οικονομικής και κοινωνικής ζωής της χώρας, μιας και εξασφαλίζεται η διαφοροποίηση των ενεργειακών πηγών στην χώρα, και μάλιστα με ένα καύσιμο υψηλής ποιότητας που μπορεί να διεισδύσει σε όλους σχεδόν τους κλάδους (Βιομηχανία, Ηλεκτροπαραγωγή, συμπαραγωγή, υπηρεσίες και οικιακός τομέας, μεταφορές κ.α.)

Με την εισαγωγή του φυσικού αερίου αναμένονται:

- Η αύξηση της ανταγωνιστικότητας της Ελληνικής βιομηχανίας
- Η μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης
- Η βελτίωση της ποιότητας ζωής
- Η δημιουργία νέων θέσεων εργασίας

Το φυσικό αέριο εισάγεται στη Ελλάδα από:

- τη **Ρωσία** (Gazexport) μέσω αγωγών μεταφοράς με σημείο παραλαβής τα ελληνοβουλγαρικά σύνορα και σε ποσότητα 2,4 δισ. κ.μ. ετησίως μέχρι το 2016.
- την **Αλγερία**, σε υγροποιημένη μορφή (LNG), με ειδικό δεξαμενόπλοιο στις εγκαταστάσεις αποθήκευσης της Ρεβυθούσας. Η ελάχιστη ετήσια ποσότητα είναι 0,68 δισ κ.μ., με δυνατότητα μελλοντικής αύξησης.

Το σύστημα του φυσικού αερίου έχει ως σκοπό την ασφαλή τροφοδοσία των μεγάλων καταναλωτικών κέντρων της χώρας και αποτελείται από:

- το **δίκτυο μεταφοράς** του φυσικού αερίου,
- τον **τερματικό σταθμό αποθήκευσης του υγροποιημένου (LNG) αλγερινού φυσικού αερίου** στην Ρεβυθούσα. Το υγροποιημένο φυσικό αέριο επαναεριοποιείται και τροφοδοτεί το δίκτυο μεταφοράς
- το **σύστημα διανομής** του φυσικού αερίου στους καταναλωτές

Στο δίκτυο μεταφοράς του φυσικού αερίου περιλαμβάνονται:

- **Κεντρικός αγωγός** μεταφοράς αερίου υψηλής πίεσης (70 bar) από τα Ελληνοβουλγαρικά σύνορα μέχρι την Αττική, συνολικού μήκους 512 χλμ. Η διάμετρος του αγωγού είναι 36'' για τα πρώτα 100 χλμ και 30'' για τα υπόλοιπα.
- **Κλάδοι μεταφοράς** υψηλής πίεσης προς την ανατολική Μακεδονία και Θράκη, τη Θεσσαλονίκη, το Βόλο και την Αττική, συνολικού μήκους 440 χλμ
- **Μετρητικοί και ρυθμιστικοί σταθμοί** για τη μέτρηση της παροχής αερίου και τη ρύθμιση της πίεσης
- **Σύστημα τηλεχειρισμού, ελέγχου λειτουργίας και τηλεπικοινωνιών**

- **Κέντρα λειτουργίας και συντήρησης**, στην Αττική, τη Θεσσαλονίκη και τη Θεσσαλία
- **Συνοριακός Σταθμός Εισόδου (Border Station)**

Στον τερματικό σταθμό αποθήκευσης Ρεβυθούσας περιλαμβάνονται:

- **Δύο δεξαμενές αποθήκευσης** συνολικής χωρητικότητας 130.000 κ.μ. (65.000 κ.μ. έκαστη)
- **Εγκαταστάσεις ελλιμενισμού δεξαμενόπλοιων**
- **Κρυογενικές εγκαταστάσεις**
- **Αεριοποιητές**, για την επαναεριοποίηση του LNG και την τροφοδοσία του συστήματος μεταφοράς
- Δύο αγωγούς διασύνδεσης της Ρεβυθούσας με το σύστημα μεταφοράς.
- Ναυλωμένο δεξαμενόπλοιο χωρητικότητας 29,500 κ.μ. Υ.Φ.Α.

Το σύστημα διανομής αποτελείται από:

- **δίκτυα μέσης πίεσης (19 bar)** στην Αττική, Θεσσαλονίκη, Θεσσαλία και στις βιομηχανικές περιοχές Οινόφυτων, Πλατέος Ημαθίας, Ξάνθης, Καβάλας και ΒΙΠΕ Κομοτηνής
- **δίκτυα χαμηλής πίεσης (4 bar)** σε Αττική, Θεσσαλονίκη και Θεσσαλία, προβλεπόμενου μήκους 6.500 χλμ.
- **υπάρχον δίκτυο διανομής στην Αθήνα**. Η ΔΕΠΑ, στο πλαίσιο του κατασκευαστικού της έργου, ολοκλήρωσε στην ευρύτερη περιοχή της πρωτεύουσας **860 χιλιόμετρα** δικτύου διανομής τα οποία προσετέθησαν στα υφιστάμενα 550 χιλιόμετρα δικτύου που ανήκαν στην Δημοτική Επιχείρηση Φωταερίου Αθηνών και ήδη τροφοδοτεί περίπου 8.000 εμπορικούς, οικιακούς και βιομηχανικούς καταναλωτές με φυσικό αέριο

1.5.3. Ανανεώσιμες πηγές

Όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 1.2 οι κύριες ανανεώσιμες μορφές ενέργειας είναι η ηλιακή ακτινοβολία, η αιολική ενέργεια, η γεωθερμία, η βιομάζα, οι ενέργειες της θάλασσας και τέλος η υδραυλική ενέργεια. Ειδικά για την περίπτωση της Ελλάδας, ισχύουν τα ακόλουθα στοιχεία:

- Η Ελλάδα διαθέτει εκμεταλλεύσιμο ανανεώσιμο δυναμικό. Αν και το αιολικό δυναμικό της Ελλάδας δεν είναι άριστης ποιότητας εντούτοις δεν παύει να κυμαίνεται οριακά σε τιμές εκμεταλλεύσιμες σε αντίθεση με το άριστο ηλιακό δυναμικό*
- Η περιορισμένη συμβολή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο κρατικό ενεργειακό ισοζύγιο με αμελητέα μάλιστα τη συμμετοχή της αιολικής ενέργειας και της βιομάζας καθιστά προφανείς τις σχεδόν απεριόριστες δυνατότητες σύστασης αιολικών εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας και εγκαταστάσεων βιομάζας, σε μια αγορά με σημαντικό αριθμό αναξιοποίητων θέσεων εγκατάστασης.*
- Η απόλυτη εξάρτηση της Ελλάδας από εισαγόμενα καύσιμα, τα οποία οδηγούν αφ ενός σε συναλλαγματική αιμορραγία, αφετέρου σε εξάρτηση από χώρες εκτός της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Παράλληλα αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η Ελλάδα εξαρτάται ενεργειακά από χώρες υψηλού πολιτικό-οικονομικού κινδύνου και οι οποίες εμπλέκονται αρκετά συχνά σε πολιτικές και στρατιωτικές κρίσεις. Με τον τρόπο αυτό, το μεσοπρόθεσμο κόστος παραγωγής ενέργειας, η οποία αποτελεί τον*

κυριότερο ίσως παραγωγικό συντελεστή για πλήθος βασικών αγαθών, δεν μπορεί να προβλεφθεί με συγκεκριμένα σενάρια.

- iv. *Η υψηλή σεισμικότητα της Ελλάδας, εγκυμονεί κινδύνους για τις πυρηνικές εγκαταστάσεις με αποτέλεσμα να θεωρείται επισφαλείς η κατασκευή τους.*
- v. *Η δυνατότητα αξιοποίησης επενδυτικών προγραμμάτων, που χρηματοδοτούνται εν μέρει από κοινοτικούς φορείς, δεδομένων των υψηλών επιχορηγήσεων και τους συγκριτικά χαμηλού κόστους που συνοδεύουν παρόμοιες επενδύσεις σε τομείς αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.*

Η κατ' έτος προστιθέμενη ισχύς των εγκαταστάσεων ΑΠΕ με ενημέρωση μέχρι 31 Ιουλίου 2003 δίδεται στο σχήμα 1.35.

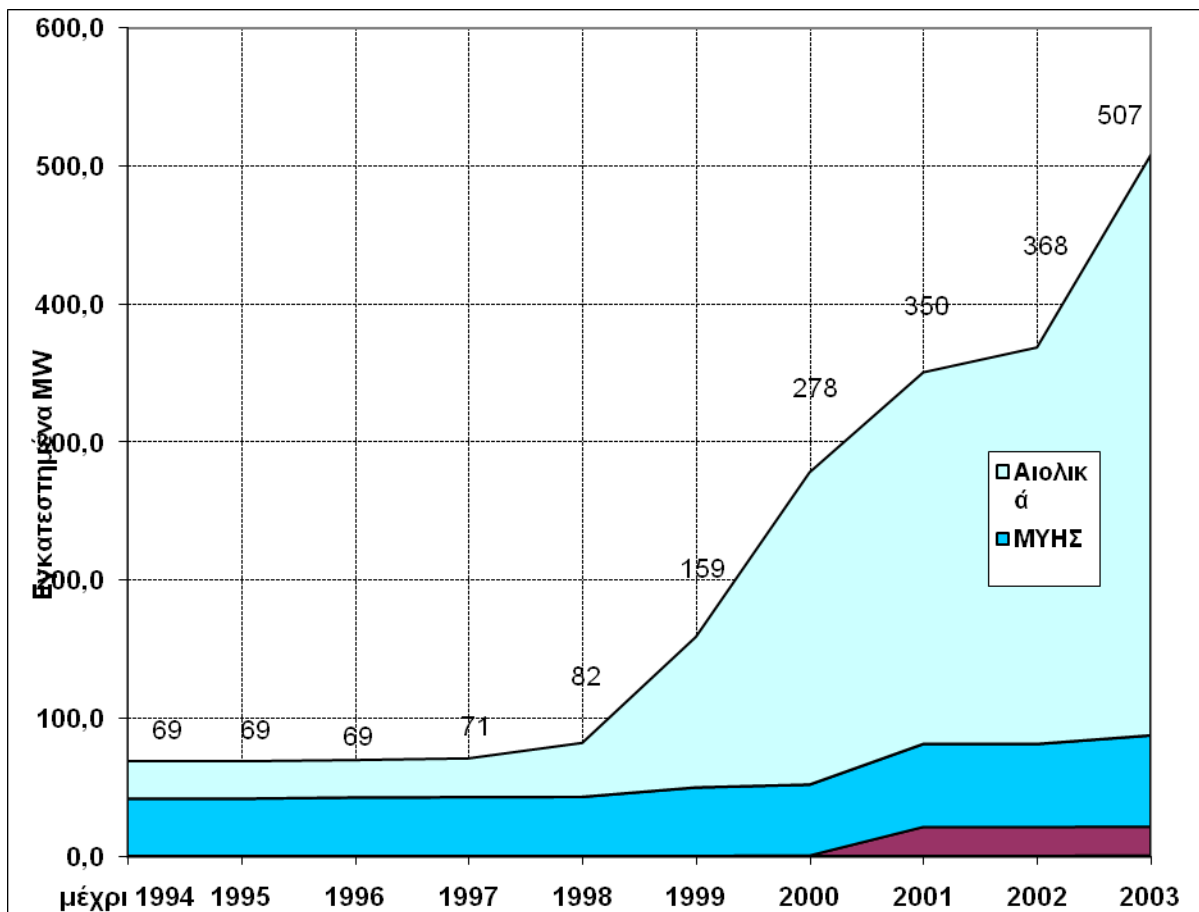
Σε σχέση με τις ανταλλαγές ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να σημειωθεί ότι με τις όμορες βαλκανικές χώρες (Αλβανία, ΠΓΔΜ και Βουλγαρία) υπάρχουν συνδέσεις ικανές να καλύψουν σε ετήσια βάση ανταλλαγές σε επίπεδο άνω του 7% των αναγκών της χώρας κυρίως από την περίσσεια ενέργειας των συστημάτων της Βουλγαρίας και Ρουμανίας. Πάντως παραμένει σε εκκρεμότητα από την εποχή του πολέμου της Γιουγκοσλαβίας¹⁹ το θέμα της επανασύνδεσης με τις χώρες της Κεντρικής Ευρώπης που συμμετέχουν στη UCTE²⁰. Η σύνδεση με την Ιταλία υποβρύχιο καλώδιο συνεχούς ρεύματος 400 kV και δυναμικότητα μεταφοράς αντιστοιχούσας σε 500 MW τέθηκε σε εμπορική λειτουργία το 2002²¹.

Ο ετήσιος ρυθμός αύξησης της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας αναμένεται να κινηθεί μέχρι το 2005 σε επίπεδα 4% για το διασυνδεδεμένο σύστημα και μεγαλύτερο ποσοστό (5,5%) για τα αυτόνομα νησιωτικά συστήματα και στη συνέχεια να κινηθεί σε επίπεδο ενιαίο 3,6% για όλη τη χώρα. Με βάση αυτό το σενάριο εκτιμάται ότι κατά το έτος 2010 οι ανάγκες της χώρας θα βρίσκονται σε επίπεδα τάξης 72 TWh.

¹⁹ Κατά το 1992 διακόπηκε η σύνδεση λόγω καταστροφής των υποσταθμών στο Μόσταρ της Βοσνίας-Ερζεγοβίνης και το Ερνεστίνβο της Κροατίας αλλά αναμένεται για τις αρχές του 2004 η ολοκλήρωση των έργων απόκατάστασης που χρηματοδοτούνται από τη Διεθνή Τράπεζα. Πάντως η τρίτη γραμμή μέσω Ρουμανίας βρίσκεται σε επιχειρησιακή ετοιμότητα.

²⁰ Η Ένωση για το Συντονισμό της Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας με έδρα στις Βρυξέλλες αποτελεί σύνδεσμο 35 Διαχειριστών Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (και τεσσάρων συνδεδεμένων που δεν αποτελούν μέλη) 22 χωρών της ηπειρωτικής Ευρώπης και τριών της Βόρειας Αφρικής συνολικού πληθυσμού 450 εκατ. κατοίκων. Η Ένωση συντονίζει μέσω τεχνικών κανόνων και συστάσεων την αποδοτική και ασφαλή λειτουργία των "λεωφόρων" μεταφοράς ηλεκτρισμού μέσω του διασυνδεδεμένου διευρωπαϊκού συστήματος.

²¹ Επί του παρόντος η πλήρης εκμετάλλευση της δυναμικότητας της σύνδεσης φαίνεται αδύνατη δεδομένης της υπερφόρτισης του ηλεκτρικού συστήματος της Ιταλίας που βοηθείται από εισαγωγές ενέργειας από Γαλλία και Ελβετία.



Σχήμα 1.35: Αθροιστική εγκατεστημένη ισχύς

1.5.3.1. Εξέλιξη θεσμικού πλαισίου ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Απαρχή της εισόδου των ΑΠΕ στη χώρα αποτέλεσε ο Ν. 1559/1985 "Ρύθμιση θεμάτων εναλλακτικών μορφών ενέργειας και ειδικών θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις" (ΦΕΚ Α 135) στα πλαίσια του οποίου η ΔΕΗ πρωτοπορούσα εγκατέστησε 24 MW ενώ οι Οργανισμοί Τοπικής Αυτοδιοίκησης περιορίστηκαν στο ελάχιστο επίπεδο των 3 MW μέχρι το 1995 και ο ιδιωτικός τομέας παρέμεινε εκτός σκηνής. Παρά το μικρό αποτέλεσμα η προσπάθεια έδειξε τις δυνατότητες και αδυναμίες του τομέα και ειδικότερα οι αρχικές αστοχίες προετοίμασαν το δρόμο για μεταγενέστερες ωριμότερες βελτιώσεις.

Ο Ν. 2244/1994 «Ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις» (ΦΕΚ Α 168) στα ίχνη του τότε ισχύοντος γερμανικού Νόμου (Stromeinspeisungsgesetz) αποτέλεσε την απαρχή για την ουσιαστική ανάπτυξη των ΑΠΕ. Ο νόμος καθόρισε σταθερές τιμές πώλησης ανανεώσιμης ενέργειας σε επίπεδα ίσο με το 90% του γενικού τιμολογίου στη μέση τάση και υποχρέωση της ΔΕΗ για αγορά του. Για τη χρέωση του σκέλους ισχύος προβλέφθηκε κλιμακωτή αποζημίωση ανάλογα με το είδος του σταθμού ανανεώσιμης ηλεκτροπαραγωγής με την έννοια της χρονικής διαθεσιμότητας του. Χονδρικά μπορεί να λεχθεί ότι το σκέλος ισχύος προσαυξάνει την τιμή ενέργειας κατά μικρό ποσοστό τάξης 6,5% με συνέπεια σήμερα η τιμή αυτή να αντιστοιχεί σε 0,06868 ευρώ/kWh. Στο μη διασυνδεδεμένο σύστημα η τιμολόγηση βασίζεται στο 90% της τιμής της οικιακής κιλοβατώρας (χαμηλή τάση) και αντιστοιχεί σε 0.07973 ευρώ/kWh ενώ δεν προβλέπεται αποζημίωση του σκέλους ισχύος.

Ο Ν. 2773/1999 για την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας διατήρησε το ευνοϊκό τιμολογιακό καθεστώς των ΑΠΕ δίνοντας έμφαση και στο θέμα της προτεραιότητας

πρόσβασης στο δίκτυο. Πάντως επέβαλε τέλος 2%, με αμφίβολο τον ανταποδοτικό χαρακτήρα, επί των πωλήσεων ανανεώσιμης ενέργειας υπέρ των οικείων οργανισμών τοπικής αυτοδιοίκησης. Παράλληλα οι τιμές θεωρήθηκαν "οροφής" και παρασχέθηκε ευχέρεια στον Υπουργό Ανάπτυξης να ζητά παροχή εκπτώσεων επ' αυτών χωρίς μέχρι σήμερα να έχει γίνει προσφυγή σ' αυτή τη δυνατότητα.

Το αυξανόμενο επενδυτικό ενδιαφέρον για εγκαταστάσεις ανανεώσιμης ηλεκτροπαραγωγής σε ορισμένες περιοχές της χώρας όπως η Ανατολική Κρήτη²², η Νότια Εύβοια και η Λακωνία που εμφανίζουν ιδιαίτερα ευνοϊκό αιολικό δυναμικό προκάλεσε έντονες αντιδράσεις των τοπικών κοινωνιών. Αφετέρου η έλλειψη διατάξεων που να προνοούν για την εγκατάσταση σε δάση και δασικές εκτάσεις έθεσε σε δοκιμασία το καθεστώς αδειοδότησης αφού το άρθρο 24 του Συντάγματος της Ελλάδος επιβάλλει αυστηρούς περιορισμούς με συνέπεια μακρούς δικαστικούς αγώνες στο Συμβούλιο της Επικρατείας που μπορεί να αποθαρρύνουν τους περισσότερους σοβαρούς επενδυτές.

Ο Ν. 2941/2001 «Απλοποίηση διαδικασιών ίδρυσης εταιρειών, αδειοδότηση; Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, ρύθμιση θεμάτων της Α.Ε. 'ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΝΑΥΠΗΓΕΙΑ' και άλλες διατάξεις» (ΦΕΚ Α 201) όχι μόνο κάλυψε ορισμένα κενά του νομοθετικού ιστού αλλά επιχείρησε βαθιά τομή στις εστίες παθογένειας του αδειοδοτικού καθεστώτος. Ορισμένοι από τους κύριους άξονες αυτού του νόμου είναι:

- Οι εξαιρέσεις που ισχύουν για μεγάλα έργα υποδομής για την εντός δασών και δασικών εκτάσεων εγκατάσταση μεγάλων έργων υποδομής δημοσίου συμφέροντος επεκτείνονται και στις ΑΠΕ
- Για την εγκατάσταση ηλιακών σταθμών και αιολικών πάρκων δεν απαιτείται έκδοση άδειας οικοδομής με εξαίρεση τα έργα πολιτικού μηχανικού.
- Έργα σύνδεσης σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με χρήση ΑΠΕ με το διασυνδεδεμένο Σύστημα της ηπειρωτικής χώρας και τα δίκτυα αυτόνομων νησιωτικών περιοχών μπορεί να κατασκευάζονται από οποιονδήποτε ενδιαφερόμενο επενδυτή σύμφωνα με προδιαγραφές παρεχόμενες από το Διαχειριστή του Συστήματος και των Δικτύων.
- Τα έργα ανανεώσιμης ηλεκτροπαραγωγής περιλαμβανομένων συνδεδεμένων δικτύων, υποσταθμών και υποδομής εν γένει θεωρούνται έργα δημόσιας ωφέλειας ανεξάρτητα από το φορέα υλοποίησης τους και ως εκ τούτου είναι δυνατή η αναγκαστική απαλλοτρίωση ακινήτων ή η σύσταση εμπραγμάτων δικαιωμάτων.
- Παρέχεται η δυνατότητα έκδοσης κοινής υπουργικής απόφασης με την οποία καθορίζονται ευνοϊκότεροι όροι δομήσεως εκτός σχεδίου πόλεων σε σχέση με τα γενικώς κρατούντα.
- Οι αρμόδιες για την έκδοση αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας Διευθύνσεις Σχεδιασμού και Ανάπτυξης των οικείων Περιφερειών δρώσες κατά μια έννοια στην αρχή του one-stop shop συντονίζουν σε κάποιο βαθμό την περιβαλλοντική αδειοδότηση στην οποία εμπλέκεται πληθώρα δημοσίων υπηρεσιών και άλλων φορέων.

Με το Ν. 3017/2002 «Κύρωση του Πρωτοκόλλου του Κιότο στη Σύμβαση-πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος» (ΦΕΚ Α 117) η Ελληνική Βουλή επισημοποίησε τη δέσμευση της χώρας για δράσεις αντιστρατευόμενες την τάση επιδείνωσης του φαινομένου του θερμοκηπίου.

²² Η Κρήτη αποτελεί παράδειγμα ευρείας διείσδυσης της αιολικής ενέργειας αφού καλύπτει από αυτήν τουλάχιστον 11% των ενεργειακών αναγκών της

1.5.3.2. Πρόσφατες εξελίξεις στο θεσμικό περίγυρο των ΑΠΕ

Ο Ν. 3175/2003 "Αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού, τηλεθέρμανση και άλλες διατάξεις" (ΦΕΚ Α 207) καθιερώνει για πρώτη φορά συνεκτικό σύνολο κανόνων για την ορθολογική χρήση της γεωθερμικής ενέργειας. Το νέο πλαίσιο είναι συμβατό με το κοινοτικό δίκαιο που θεωρεί ότι η γεωθερμία αποτελεί μορφή ανανεώσιμης ενέργειας που συνεισφέρει στη βιώσιμη ανάπτυξη. Ο Ν. 3175/2003 κινείται σε κατεύθυνση αποκλίνουσα από τον από μακρού εδραιωμένο χαρακτήρα της γεωθερμίας ως ορυκτού υπαγόμενου στις μάλλον αυστηρές ρυθμίσεις του Ν.Δ. 210/1973 "Περί Μεταλλευτικού Κώδικος" (ΦΕΚ Α 277). Συνοπτικά, κάθε γεωθερμικό πεδίο αντιμετωπίζεται ως ενιαίο κοιτάσμα-πηγή ώστε να αποφεύγεται ο κατακερματισμός που προέκυπτε από τις επί μέρους μισθωτικές εκχωρήσεις. Δημιουργείται συγκεκριμένη διαγωνιστική διαδικασία για όλο το φάσμα των προϊόντων, υποπροϊόντων και παραπροϊόντων. Το απολήψιμο δυναμικό των δύο πλήρως ερευνημένων γεωθερμικών πεδίων υψηλής ενθαλπίας για ηλεκτροπαραγωγικούς σκοπούς ανέρχεται σε 170 MW_e ενώ το πιθανό δυναμικό ολόκληρης της χώρας υπερβαίνει τα 500 MW_e.

Πάντως ο κύριος σκοπός του νέου νόμου ήταν η αναθεώρηση του Ν. 2773/1999 προκειμένου να αντιμετωπιστεί η βραδύτητα που σημειώνεται στη διαδικασία απελευθέρωσης της αγοράς ηλεκτρισμού κυρίως εξαιτίας της δεσπόζουσας θέσης της ΔΕΗ Α.Ε. Η αναθεώρηση αυτή είναι επίσης αναγκαία για να αντικατοπτριστούν τροποποιήσεις που προμηνύονται από την Οδηγία 2003/54/ΕΚ σχετικά με τους κοινούς κανόνες για την εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και την κατάργηση της Οδηγίας 96/92/ΕΚ (ΟJ L176/15.7.2003).

Στο χώρο των ΑΠΕ ο Ν. 3175/2003 επαναλαμβάνει τον ορισμό του άρθρου 2 της Οδηγίας 2001/77/ΕΚ σχετικά με τις υβριδικές εγκαταστάσεις προκειμένου να αρθεί η υπάρχουσα ασάφεια σχετικά με την πραγματική κατάσταση της ενέργειας που παράγεται από αυτά τα συστήματα. Έτσι απολαμβάνουν το ευνοϊκό τιμολογιακό καθεστώς όπως και οι άλλες μορφές ΑΠΕ αν και στο μη διασυνδεδεμένο σύστημα δεν εξαιρούνται από διαγωνιστική διαδικασία που αποτελεί προϋπόθεση για τη χορήγηση άδειας παραγωγής.

Στο πρότυπο καινοτόμων επεμβάσεων που υλοποιήθηκαν για την επίσπευση των έργων των Ολυμπιακών έργων του 2004, ο Ν. 3175/2003 περιλαμβάνει περαιτέρω δράσεις περιλαμβανομένης της εισαγωγής συντομευμένων και απλουστευμένων διαδικασιών σχετικά με τις απαλλοτριώσεις που είναι αναγκαίες για την ενίσχυση και επέκταση των γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να εξυπηρετηθεί και η ανάπτυξη των ΑΠΕ²³.

Στο κανονιστικό επίπεδο εκδόθηκε η κοινή υπουργική απόφαση 1726/2003 "Διαδικασία προκαταρκτικής εκτίμησης και αξιολόγησης, έγκρισης περιβαλλοντικών όρων, καθώς και έγκρισης επέμβασης ή παραχώρησης δάσους ή δασικής έκτασης στα πλαίσια της έκδοσης άδειας εγκατάστασης σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας" (ΦΕΚ Β 552)²⁴ που υπογράφηκε από τους υπουργούς Εθνικής Άμυνας, Ανάπτυξης, Περιβάλλοντος-Χωροταξίας-Δημοσίων Έργων, Γεωργίας, Πολιτισμού, και Μεταφορών-Επικοινωνιών ώστε να προσαρμοστεί η συνολική αδειοδότηση εγκαταστάσεων ΑΠΕ στο καθεστώς περιβαλλοντικής αποδοχής. Η σχετική διαδικασία ακολουθεί αναθεωρημένη πορεία μετά την ψήφιση του Ν. 3010/2002 «Εναρμόνιση του Ν. 1650/1986 με τις Οδηγίες 97/11/Ε.Ε. και 96/61/Ε.Ε., διαδικασία οριοθέτησης και ρυθμίσεις θεμάτων για τα υδατορέματα και άλλες διατάξεις» (ΦΕΚ Α 91) για την προσαρμογή της εθνικής νομοθεσίας που διέπει την προστασία του περιβάλλοντος στο Κοινοτικό Κεκτημένο. Μεταξύ των εισαγομένων ρυθμίσεων περιλαμβάνεται ο περιορισμός των γνωμοδοτούντων φορέων στον απόλυτα αναγκαίο αριθμό, η καθιέρωση συντομευμένων προθεσμιών άπρακτη παρέλευση των οποίων θα νομιμοποιεί την επισπεύδουσα Υπηρεσία να θεωρεί ως θετικές τις ενδιάμεσες εγκρίσεις και γνωμοδοτήσεις άλλων φορέων και γενικότερα η βελτιστοποίηση της αλληλουχίας των ενδιάμεσων συναινέσεων κατά το πνεύμα του άρθρου 6 της Οδηγίας 77/2001/ΕΚ.

²⁴ Ελληνικό και αγγλικό κείμενο της απόφασης βρίσκεται και στο δικτυακό τόπο του Υπουργείου Ανάπτυξης http://www.ypan.gr/fysikoi_poroι/pdf/JMD1726-2003.doc

Τέλος και το κανονιστικό πλαίσιο που διέπει την εφαρμογή της νομοθεσίας υπέστη σημαντική αναθεώρηση. Ειδικά η υπουργική απόφαση 8295/1995 (ΦΕΚ Β 385) που αποτελούσε το αναγκαίο παρακολούθημα του Ν. 2244/1994 αντικαταστάθηκε με την πρόσφατη απόφαση 2000/2002 (ΦΕΚ Β 158) που στην ουσία αποτελεί ενημερωμένο αδειοδοτικό κώδικα για άδειες εγκατάστασης και λειτουργίας σταθμών ΑΠΕ²⁵.

Ο πίνακας 1.14 δείχνει την ισχύ και τον αριθμό όλων των κατηγοριών εγκαταστάσεων ΑΠΕ για τις οποίες έχουν εκδοθεί άδειες παραγωγής μέχρι την 1 Σεπτεμβρίου 2003.

Επίσης εκδόθηκαν άδειες παραγωγής για 2 μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα συνολικής ισχύος 153 MW.

Μετά την ολοκλήρωση όλων των προγραμματισμένων έργων για την ενίσχυση των δικτύων και στη βάση του οικονομικού δυναμικού των ΑΠΕ και του επενδυτικού ενδιαφέροντος, μπορεί να γίνει εκτίμηση των δυνατοτήτων διείσδυσης κατά το έτος 2010 όπως φαίνεται στον πίνακα 1.15.

Στην περίπτωση κατά την οποία υλοποιηθούν όλες οι ανωτέρω επενδύσεις θα έχει επιτευχθεί ο στόχος της Οδηγίας. Λαμβανομένων υπόψη όλων των διαθέσιμων χρηματοδοτικών εργαλείων (Επιχειρησιακό Πρόγραμμα "Ανταγωνιστικότητα", Ν. 2601/1998) καθίσταται φανερό ότι από το σύνολο των 2.150 MW που είναι οικονομικά βιώσιμα, θα είναι δυνατό να λάβουν δημόσια ενίσχυση γύρω στα 850 MW. Στην περίπτωση κατά την οποία για την υλοποίηση των έργων θα δοθεί μόνο επιδότηση κεφαλαίου, το επίπεδο διείσδυσης θα πλησιάσει το 14% (βλ. πίνακα 1.16) και ο ενδεικτικός στόχος της Οδηγίας δεν θα είναι επιτεύξιμος.

²⁵ Ελληνικό και αγγλικό κείμενο της απόφασης βρίσκεται στο δικτυακό τόπο του Υπουργείου Ανάπτυξης http://www.ypan.gr/docs/Decision_2000-2002.pdf

Πίνακας 1.14: **Εγκαταστάσεις ΑΠΕ διαθέτουσες άδεια παραγωγής κατά την 1 Σεπτεμβρίου 2003 (ισχύς σε MW)**

Περιφέρεια		Αιολικά	Μικρά υδροηλεκτρικά	Γεωθερμία	Βιομάζα	Φωτοβολταϊκά	Σύνολο
Ανατολική Μακεδονία	Ισχύς	342.20	2.75	0.00	9.5	0.00	354.45
	Αριθμός	25	2	0	1	0	28
Αττική	Ισχύς	139.60	0.87	0.00	35.38	0.03	175.88
	Αριθμός	11	2	0	4	2	19
Βόρειο Αιγαίο	Ισχύς	26.46	0.00	8.00	0.00	0.01	34.47
	Αριθμός	22	0	1	0	1	24
Δυτική Ελλάδα	Ισχύς	0.00	29.04	0.00	0.37	0.00	29.41
	Αριθμός	0	14	0	1	0	15
Ήπειρος	Ισχύς	107.00	125.50	0.00	16.09	0.00	248.59
	Αριθμός	4	37	0	2	0	43
Θεσσαλία	Ισχύς	90.95	45.47	0.00	2.07	0.01	138.50
	Αριθμός	5	25	0	2	3	35
Κεντρική Μακεδονία	Ισχύς	71.90	41.65	0.00	12.54	0.60	126.69
	Αριθμός	5	36	0	4	2	47
Κρήτη	Ισχύς	166.70	1.25	0.00	5.42	0.92	174.29
	Αριθμός	31	3	0	1	10	45
Νησιά Ιονίου	Ισχύς	170.60	0.00	0.00	5.42	0.00	176.02
	Αριθμός	8	0	0	2	0	10
Νότιο Αιγαίο	Ισχύς	202.90	0.00	0.00	0.50	0.23	203.63
	Number	48	0	0	1	16	65
Πελοπόννησος	Ισχύς	595.50	17.56	0.00	19.54	0.50	633.10
	Αριθμός	33	9	0	4	2	48
Στερεά Ελλάδα	Ισχύς	1620.10	78.10	0.00	0.00	0.00	1698.20
	Αριθμός	112	35	0	0	0	147
Σύνολα	Ισχύς	3715.01	424.95	8.00	107.73	2.30	4257.99
	Αριθμός	311	204	1	23	36	575

Πίνακας 1.15: Αισιόδοξη εκτίμηση δυνατής παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ κατά το έτος 2010

	Εγκατεστη- μένη ισχύς, Απρίλιος 2003 σε MW	Εγκατεστημέν η ισχύς το 2010 σε MW	Παραγωγή ενέργειας το 2010 σε TWh	Ποσοστιαία συμμετοχή ανά τύπο ΑΠΕ το 2010
Αιολικά	420	2.170	6,08	8,45
Μικρά υδροηλεκτρικά	66	475	1,66	2,31
Μεγάλα υδροηλεκτρικά	3.060	3.680	5,47	7,59
Βιομάζα	8	125	0,99	1,37
Γεωθερμία	0	8	0,06	0,09
Φωτοβολταϊκά	0	5	0,01	0,01
Σύνολα	3461	6463	14,27	19,82

Πίνακας 1.16: Συντηρητική εκτίμηση δυνατής παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ κατά το έτος 2010

	Εγκατεστημένη ισχύς, Απρίλιος 2003 σε MW	Εγκατεστημένη ισχύς το 2010 σε MW	Παραγωγή ενέργειας το 2010 σε TWh	Ποσοστιαία συμμετοχή ανά τύπο ΑΠΕ το 2010
Αιολικά	420	1.200	3,36	4,67
Μικρά υδροηλεκτρικά	66	200	0,70	0,97
Μεγάλα υδροηλεκτρικά	3.060	3.680	5,47	7,59
Βιομάζα	8	100	0,79	1,10
Γεωθερμία	0	8	0,06	0,09
Φωτοβολταϊκά	0	5	0,01	0,01
Σύνολα	3.571	5.193	10,39	14,43

1.5.3.3. Υδροηλεκτρικά έργα ΔΕΗ

Η ΔΕΗ λειτουργεί 15 μεγάλα και 7 μικρά υδροηλεκτρικά έργα με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 3060 MW που κατά το έτος 2002 παρήγαγαν 3.381 TWh κατά το ξηρό έτος 2002 (βλ. πίνακα 1.17) ενώ κατά το 2003 το μέγεθος αυτό μπορεί να προσεγγίσει τις 5.000 TWh.

Πίνακας 1.17: Μεγάλα και μικρά υδροηλεκτρικά έργα εκμεταλλεζόμενα από τη ΔΕΗ

Περιφέρεια	Όνομα σταθμού	Ισχύς σε MW	Παραγωγή 2002 σε TWh
Ανατολ. Μακεδονία & Θράκη	Θησαυρός*	384.0	0.568
	Πλατανόβρυση	116.0	0.140
Δυτική Ελλάς	Κρεμαστά	437.0	0.512
	Καστράκι	320.0	0.374
	Στράτος	150.0	0.174
	Στράτος II	6.2	0.008
	Γλαύκος	3.7	0.011
Δυτική Μακεδονία	Πολύφυτο	375.0	0,266
Ήπειρος	Λούρος	10.3	0,032
	Πουρνάρι	300.0	0,223
	Πουρνάρι II	33,6	0,033
	Πηγές Αώου	210,0	0,131
Θεσσαλία	Ταυρωπός	130,0	0,115
Κεντρική Μακεδονία	Άγιος Ιωάννης	0,7	0,001
	Βέρμιο	1,8	0,005
	Άγρας	50,0	0,022
	Εδεσσαίος	19,0	0,018
	Μακροχώρι	10,8	0,018
	Ασώματα	108,0	0,090
	Σφηκιά*	315,0	0,441
Κρήτη	Αγιά	0,3	0,001
	Αλμυρός	0,3	0,001
Πελοπόννησος	Λάδωνας	70,0	0,188
Στερεά Ελλάς	Γκιώνα	8,5	0,009
Σύνολα		3060,2	3,381

Σημείωση: Μονάδες παράγουσες ενέργεια και από αντλησιοταμίευση

Επίσης τα έργα που φαίνονται στον πίνακα 1.17 έχουν προγραμματιστεί²⁶ για εμπορική λειτουργία το 2010 με συνολική ενεργειακή απολαβή 1.582 TWh. Παρά την πολιτική της ΔΕΗ που σε κάποιο βαθμό αποκλίνει από την υλοποίηση μεγάλων υδροηλεκτρικών έργων που είναι συνυφασμένη με σημαντικό κεφαλαιουχικό κόστος, η Κυβέρνηση αποφάσισε το 2003 να δώσει δημόσια επιχορήγηση για τον Ιλαρίωνα.

Πρέπει να σημειωθεί ότι ο ρυθμός εντάξεως μεγάλων υδροηλεκτρικών έργων συνυφασμένων όχι μόνο με σοβαρό κεφαλαιουχικό κόστος αλλά και περιβαλλοντικές εναντιώσεις και έντονη διακύμανση δυναμικότητας δεν θα μπορέσει να συμβαδίσει με την αναμενόμενη αύξηση της ζήτησης. Έτσι κατά το 2010 η συμβολή τους θα έχει υποχωρήσει στο 6,1% ακόμη και αν έχουν ενταχθεί στο σύστημα όλα τα έργα του πίνακα 1.18.

Πίνακας 1.18: Υδροηλεκτρικά έργα προγραμματισμένα για εμπορική λειτουργία έως το 2010

Περιφέρεια	Όνομα έργου	Ισχύς σε MW	Μέση παραγωγή σε TWh/έτος
Κεντρική Μακεδονία	Ιλαρίωνας	120,0	0,413
	Αγία Βαρβάρα-Αλιάκμων	0,7	0,004
Δυτική-Στερεά Ελλάς	Συκιά	126,5	0,296
Θεσσαλία	Πευκόφυτο	160,0	0,340
	Μεσοχώρα ²⁷	161,6	0,384
Ανατολική Μακεδονία	Τέμενος	19,0	0,060
Ήπειρος	Μετσοβίτικος	25,0	0,058
Θεσσαλία	Σμάκοβο	10,0	0,027
Σύνολα		622,8	1,582

1.5.3.4. Υδροηλεκτρικά έργα εκτός ΔΕΗ

Σήμερα δύο μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα βρίσκονται σε προκαταρκτική φάση υλοποίησης από άλλες εταιρίες. Τα βασικά στοιχεία τους δίνονται στον πίνακα 1.19.

Πίνακας 1.19: Μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα εκτός ΔΕΗ σε πρώιμο στάδιο υλοποίησης

Περιφέρεια	Όνομα έργου	Ισχύς σε MW	Παραγωγή σε TWh/έτος
Ήπειρος	Άγιος Νικόλαος-Άραχθος	93	0.320
Στερεά Ελλάς	Αυλάκι-Αχελώος	60	0.250
Σύνολα		153	0,570

Επίσης υπάρχουν ήδη 24 μικρά υδροηλεκτρικά έργα εκτός ΔΕΗ συνολικής ισχύος 18,83 MW και παραγωγική δυναμικότητα 0,064 TWh όπως φαίνεται στον πίνακα 1.20.

²⁶ Με δεδομένο ότι ορισμένα από τα έργα είναι πολλαπλού σκοπού, η υλοποίηση τους δεν εξαρτάται αποκλειστικά από τη στρατηγική μεσοπρόθεσμων προτεραιοτήτων της ΔΕΗ

²⁷ Ήδη ολοκληρωμένο με προοπτική εμπορικής λειτουργίας ως το τέλος του 2005

Πίνακας 1.20: Μικρά υδροηλεκτρικά έργα εκτός ΔΕΗ σε λειτουργία

Περιφέρεια	Δυναμικότητα (MW)	Αριθμός μονάδων
Ανατολική Μακεδονία και Θράκη	0,94	1
Κεντρική Μακεδονία	6,45	11
Ήπειρος	1,79	3
Θεσσαλία	2,40	3
Δυτική Ελλάς	5,12	3
Στερεά Ελλάς	1,13	2
Πελοπόννησος	1,00	1
Σύνολα	18,83	24

1.5.3.5. Υβριδικά σχήματα

Στο απομονωμένο ηλεκτρικό σύστημα της Ικαρίας βρίσκεται σε φάση κατασκευής από τη ΔΕΗ υβριδικό σχήμα αποτελούμενο από τυπική υδροηλεκτρική μονάδα συζευγμένη με δύο αντλιοσταμειυτήρες ισχύος 3,8 MW και βοηθούμενο από αιολικό πάρκο 2,4 MW για την παραγωγή περίπου 0,014 TWh/έτος. Το ηλεκτρικό σύστημα της Ικαρίας που κατά το 2003 προβλέπεται να παραγάγει 23.000.000 kWh περιλαμβάνει πετρελαιοκίνητο σταθμό δυναμικότητας 5,8 MW βοηθούμενο από κινητή, επίσης πετρελαιοκίνητη θερμική μονάδα 3,1 MW και υπάρχον αιολικό πάρκο 0.385 MW. Το υβριδικό εκμεταλλεύεται υπάρχουσα λιμνοδεξαμενή που εξυπηρετεί υδρευτικούς και αρδευτικούς σκοπούς, βρίσκεται σε υψόμετρο +721 m και έχει διαθέτει συνολική χωρητικότητα 1,000,000 m³ νερού. Η λιμνοδεξαμενή που δεν ανήκει αποκλειστικά στο αντλιοσταμειυτικό σχήμα τροφοδοτεί με τη βοήθεια αγωγού μήκους 3.500 m κατάντη ταμειυτήρα (στάθμη νερού +555 m, χωρητικότητα 80.000 m³ εφοδιασμένο με στρόβιλο Pelton 1 MW. Ο ταμειυτήρας συνδέεται με αγωγό μήκους 2.000 m με τον κατώτερο ταμειυτήρα (στάθμη νερού +65 m, χωρητικότητα 80.000 m³) εφοδιασμένο με δύο στρόβιλους Pelton 2x1,4 MW. Το αντλιοστάσιο δυναμικότητας MW 1 βρίσκεται κοντά στον κατώτερο ταμειυτήρα. Το αιολικό πάρκο αποτελείται από 4 ανεμογεννήτριες συνολικής ισχύος 2,4 MW. Η ενεργειακή απολαβή του αιολικού σκέλους ανέρχεται σε 6.232.000 kWh (27,1%) ενώ το υδροενεργειακό τμήμα παράγει 7.960.000 kWh (34,6%) και οι υπόλοιπες 8.800.000 kWh (38,3%) προέρχονται από συμβατικά παραγόμενη ενέργεια στη διάρκεια έτους μέσου βροχομετρικού ύψους.

Μετά την ολοκλήρωση όλων των προγραμματισμένων έργων για την ενίσχυση των δικτύων και στη βάση του οικονομικού δυναμικού των ΑΠΕ και του επενδυτικού ενδιαφέροντος, μπορεί να γίνει εκτίμηση των δυνατοτήτων διείσδυσης κατά το έτος 2010 όπως φαίνεται στον πίνακα 1.21.

Στην περίπτωση κατά την οποία υλοποιηθούν όλες οι ανωτέρω επενδύσεις θα έχει επιτευχθεί ο στόχος της Οδηγίας. Λαμβανομένων υπόψη όλων των διαθέσιμων χρηματοδοτικών εργαλείων (Επιχειρησιακό Πρόγραμμα "Ανταγωνιστικότητα", Ν. 2601/1998) καθίσταται φανερό ότι από το σύνολο των 2.150 MW που είναι οικονομικά βιώσιμα, θα είναι δυνατό να λάβουν δημόσια ενίσχυση γύρω στα 850 MW. Στην περίπτωση κατά την οποία για την υλοποίηση των έργων θα δοθεί μόνο επιδότηση κεφαλαίου, το επίπεδο διείσδυσης θα πλησιάσει το 14% (βλ. πίνακα 1.22) και ο ενδεικτικός στόχος της Οδηγίας δεν θα είναι επιτεύξιμος.

Πίνακας 1.21: Αισιόδοξη εκτίμηση δυνατής παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ κατά το έτος 2010

	Εγκατεστημένη ισχύς, Απρίλιος 2003 σε MW	Εγκατεστημένη ισχύς το 2010 σε MW	Παραγωγή ενέργειας το 2010 σε TWh	Ποσοστιαία συμμετοχή ανά τύπο ΑΠΕ το 2010
Αιολικά	420	2.170	6,08	8,45
Μικρά υδροηλεκτρικά	66	475	1,66	2,31
Μεγάλα υδροηλεκτρικά	3.060	3.680	5,47	7,59
Βιομάζα	8	125	0,99	1,37
Γεωθερμία	0	8	0,06	0,09
Φωτοβολταϊκά	0	5	0,01	0,01
Σύνολα	3461	6463	14,27	19,82

Πίνακας 1.22: Συντηρητική εκτίμηση δυνατής παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ κατά το έτος 2010

	Εγκατεστημένη ισχύς, Απρίλιος 2003 σε MW	Εγκατεστημένη ισχύς το 2010 σε MW	Παραγωγή ενέργειας το 2010 σε TWh	Ποσοστιαία συμμετοχή ανά τύπο ΑΠΕ το 2010
Αιολικά	420	1.200	3,36	4,67
Μικρά υδροηλεκτρικά	66	200	0,70	0,97
Μεγάλα υδροηλεκτρικά	3.060	3.680	5,47	7,59
Βιομάζα	8	100	0,79	1,10
Γεωθερμία	0	8	0,06	0,09
Φωτοβολταϊκά	0	5	0,01	0,01
Σύνολα	3.571	5.193	10,39	14,43

2 Η ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

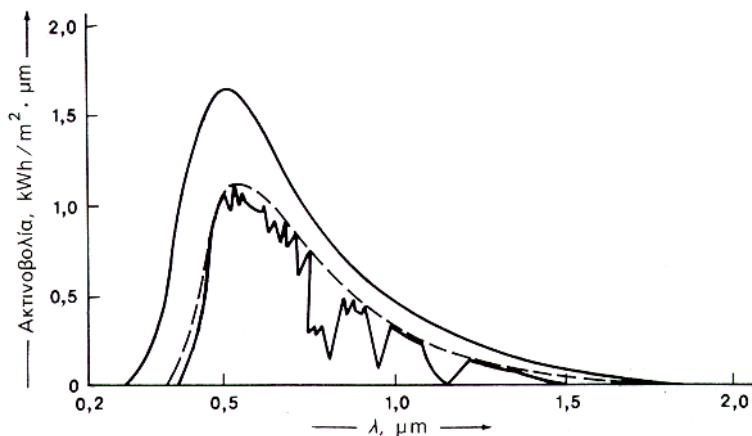
2.1 Η σύσταση του ηλιακού φάσματος

Η διαμόρφωση του φάσματος του φωτός που εκπέμπει ο ήλιος προσομοιάζεται συνήθως με την ακτινοβολία ενός μέλανος σώματος θερμοκρασίας περίπου 5800 K, όση είναι κατά μέσο όρο η θερμοκρασία της φωτόσφαιρας του ήλιου. Η προσέγγιση αυτή είναι επαρκής για τη μελέτη θερμικών εφαρμογών της ηλιακής ακτινοβολίας, όπως π.χ. η θέρμανση νερού στους ηλιακούς θερμοσίφωνες. Δεν είναι όμως το ίδιο και για τη φωτοβολταϊκή μετατροπή της ηλιακής ενέργειας αφού αυτή καθορίζεται από τη λεπτομερειακή φωτονική σύσταση της ακτινοβολίας. Άλλωστε, τα Φ/Β στοιχεία είναι κατασκευασμένα από ημιαγωγούς και η δυνατότητα της απορρόφησης των φωτονίων της ακτινοβολίας σε έναν ημιαγωγό εξαρτάται ουσιαστικά από τη σύγκριση της τιμής της ενέργειάς τους, σε σχέση με το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού.

Η ανάγκη για τη λεπτομερειακή εξέταση της φασματικής σύστασης της ηλιακής ακτινοβολίας στις Φ/Β εφαρμογές γίνεται φανερή στο **Σχήμα 2.1**, που δείχνει τη μεγάλη διαφοροποίηση του πραγματικού φάσματος του ηλιακού φωτός στην επιφάνεια της γης. Βλέπουμε ότι το ηλιακό φως αποκτά τελικά μια πολύ ανώμαλη φασματική κατανομή, που οφείλεται σε εκλεκτικές απορροφήσεις και σκεδάσεις στα συστατικά της ατμόσφαιρας που διασχίζει.

Ενδεικτική άλλωστε, της επίδρασης της ατμόσφαιρας στην ηλιακή ακτινοβολία είναι η εξάρτηση της έντασής της από το υψόμετρο της τοποθεσίας της γης, που δέχεται την ακτινοβολία. Έτσι, έχει μετρηθεί ότι ενώ στη στάθμη της θάλασσας η μέγιστη ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας φτάνει μέχρι περίπου $900\text{-}1000 \text{ W/m}^2$, η τιμή της αυξάνεται κατά περίπου 7 W/m^2 για κάθε 100 m της τοποθεσίας, επειδή μειώνεται αντίστοιχα το πάχος του στρώματος της ατμόσφαιρας που διασχίζουν οι ηλιακές ακτίνες.

Το όζον, που είναι άφθονο στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας απορροφά έντονα την υπεριώδη ακτινοβολία, και ειδικότερα στην περιοχή του ερυθρού (π.χ. $0,63$ και $0,69 \mu\text{m}$), το διοξείδιο του άνθρακα στο υπέρυθρο ($2,7$ και $4,3 \mu\text{m}$) και οι υδρατμοί στο ερυθρό και στο υπέρυθρο. Επίσης, από τη συνολική ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της γης, συνήθως λιγότερο από το 60% είναι άμεση, σε μορφή δέσμης ακτινών, που μπορούν π.χ. να εστιαστούν με κάτοπτρα ή φακούς. Η υπόλοιπη είναι διάχυτη, διότι έχει προηγουμένως σκεδαστεί και ανακλαστεί στα διάφορα σωματίδια και σταγονίδια που αιωρούνται στον αέρα, ανάλογα βέβαια με τη σύσταση της ατμόσφαιρας και το μήκος της διαδρομής της ακτινοβολίας μέσα σε αυτήν.

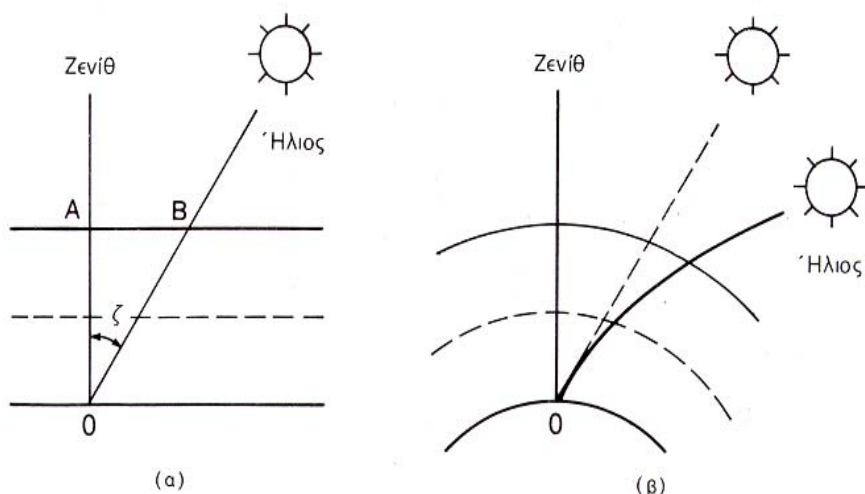


Σχήμα 2.1: Το φάσμα της ακτινοβολίας που αντιστοιχεί στην εκπομπή μέλανος σώματος θερμοκρασίας 5800 K (εξωτερική συνεχής γραμμή), το φάσμα της ίδιας πηγής ύστερα από

απορροφήσεις από το όζον και από σκεδάσεις από τα αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας (ασυνεχής γραμμή), και το πραγματικό φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της γης σε συνθήκες μέτριας υγρασίας (εσωτερική συνεχής γραμμή).

2.2 Οι συμβατικές ηλιακές ακτινοβολίες

Πέρα από τη γεωγραφική θέση και το υψόμετρο, η τελική μορφή και η ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της γης, διαφέρει σημαντικά ανάλογα με τις εκάστοτε μετεωρολογικές συνθήκες, και κυρίως τη θέση του ήλιου στον ουρανό και την περιεκτικότητα της υγρασίας στην ατμόσφαιρα. Συμβατικά, το μήκος της διαδρομής της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στη γήινη ατμόσφαιρα μέχρι τη στάθμη της θάλασσας, που είναι άμεση συνέπεια της θέσης του ήλιου, χαρακτηρίζεται από μια κλίμακα **μάζας αέρα AM** (air mass, ονομάζεται επίσης οπτική αέρια μάζα) βαθμολογημένης με την τέμνουσα (το αντίστροφο του συνημίτονου) της ζενιθιακής απόστασης (ζ), δηλαδή της γωνίας ανάμεσα στη θέση του ήλιου και στην κατακόρυφο (**Σχήμα 2.2**). Δηλαδή, η κλίμακα της μάζας αέρα δείχνει ουσιαστικά πόσες φορές μεγαλύτερη είναι η διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα, σε σύγκριση με την κατακόρυφη διαδρομή της.



Σχήμα 2.2: Η εξάρτηση της κλίμακας μάζας αέρα (AM) από τη θέση του ήλιου. (α) Απλοποιημένη απεικόνιση, με την ατμόσφαιρα να έχει επίπεδη ανάπτυξη σε άπειρη έκταση. Εξ ορισμού είναι $AM = OB/OA = 1/\text{συν}\zeta$. (β) Η πραγματική διαμόρφωση της γήινης ατμόσφαιρας, με τα στρώματά της να ορίζονται από σφαιρικές επιφάνειες, και η αντίστοιχη ατμοσφαιρική διάθλαση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διαδρομή της μέσα από τα στρώματα αυτά.

Συγκεκριμένα, ως **AM1** συμβολίζεται η συνθήκη για τη θέση του ήλιου στην κατακόρυφο, στο ζενίθ, που αντιστοιχεί στο ελάχιστο μήκος της διαδρομής της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα. Όμοια, ως **AM1,5** συμβολίζεται η διαδρομή της ακτινοβολίας με τον ήλιο σε γωνία 45° από το ζενίθ, ως **AM2** με τον ήλιο σε γωνία 60° κ.λ.π. Το μηδέν της κλίμακας (**AM0**) συμβολίζει την πλήρη απουσία ατμοσφαιρικής παρεμβολής, δηλαδή την ηλιακή ακτινοβολία στο διάστημα, σε θέση που να απέχει όση είναι η μέση απόσταση της γης από τον ήλιο. Στον **Πίνακα 2.1** γράφονται οι πυκνότητες της ισχύος και η μέση ενέργεια των φωτονίων της ηλιακής ακτινοβολίας σε διάφορες πρότυπες συνθήκες στην κλίμακα μάζας αέρα. Πάντως, η παραπάνω προτυποποίηση δεν είναι παρά πολύ αυστηρή. Έτσι π.χ. εκτός

από τις τιμές του πίνακα, η AM0 αναφέρεται επίσης ως 1353 W/m², η AM2 ως 740 W/m² κ.λ.π.

Ο άλλος πολύ σημαντικός παράγοντας της διαμόρφωσης των μετεωρολογικών συνθηκών, δηλαδή η ατμοσφαιρική υγρασία, χαρακτηρίζεται από το ύψος w της στήλης του νερού (μετρημένης σε cm), που σχηματίζεται από την υποθετική συμπύκνωση του συνόλου των υδρατμών της ατμόσφαιρας, στον συγκεκριμένο τόπο και χρόνο.

Πάντως, έτσι και αλλιώς, το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας συγκεντρώνεται στη φασματική περιοχή του κυανού και του πράσινου, και ειδικότερα σε μήκη κύματος από 0,45-0,6 μm, που αντιστοιχεί σε φωτόνια ενέργειας περίπου 2,1-2,8 eV. Για την αντιστοιχία μήκους κύματος και ενέργειας των φωτονίων, υπενθυμίζεται ότι από τη σχέση $v=c/\lambda$, που συνδέει τη συχνότητα v και το μήκος κύματος λ μιας ακτινοβολίας με την ταχύτητα του φωτός c, βρίσκουμε ότι η ενέργεια του φωτονίου $h\nu$, σε eV, συνδέεται με το αντίστοιχο μήκος της ακτινοβολίας λ, σε μm, με τη σχέση $h\nu=1,238/\lambda$.

Πίνακας 2.1: Οι πρότυπες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας στην κλίμακα μάζας αέρα (Air Mass)

Τιμή μάζας αέρα	Συμβατικές συνθήκες	Ισχύς (W/m ²)	Μέση ενέργεια φωτονίων (eV)
AM0	Στο διάστημα, έξω από την ατμόσφαιρα	1350	1,48
AM1	Ο ήλιος στο ζενίθ. Κάθετη πρόσπτωση σε επιφάνεια στη στάθμη της θάλασσας. Ξηρή ατμόσφαιρα.	1060	1,32
AM2	Απόσταση του ήλιου 60° από το ζενίθ. Κάθετη πρόσπτωση σε επιφάνεια στη στάθμη της θάλασσας. Ξηρή ατμόσφαιρα.	880	1,38
AM3	Απόσταση του ήλιου 70,5° από το ζενίθ. Κάθετη πρόσπτωση σε επιφάνεια στη στάθμη της θάλασσας. Ξηρή ατμόσφαιρα.	750	1,21

2.3 Ηλιακή Ακτινοβολία

Οι θερμοπυρηνικές αντιδράσεις που γίνονται στον ήλιο εκλύουν ενέργεια με τη μορφή ισχυρότατης ακτινοβολίας. Η ακτινοβολούμενη ενέργεια του ήλιου προέρχεται από μετατροπή 654 εκατομμυρίων τόνων υδρογόνου σε 650 εκατομμύρια τόνους ηλίου ανά δευτερόλεπτο στο εσωτερικό της ηλιακής σφαίρας (σχ. 2.3 [1]).

Μέση ηλιακή πυκνότητα $d = 1,41 \text{ g/cm}^3$
 Μέση εσωτερική θερμοκρασία $T = 16 \times 10^6 \text{ K}$
 (Η πυκνότητα, η πίεση και η θερμοκρασία των αερίων αυξάνουν στο εσωτερικό του ήλιου προς το κέντρο).
 $R = \text{ακτίνα} / D = \text{πυκνότητα του στρώματος}$

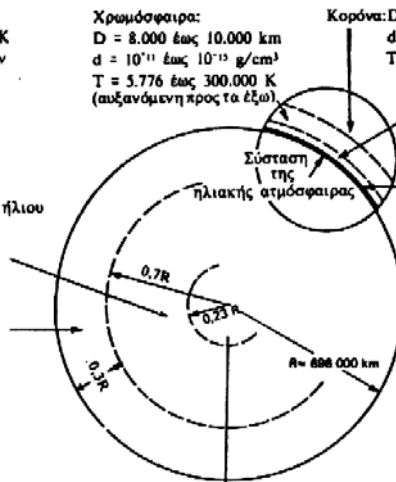
Χρωμόσφαιρα:
 $D = 8.000 \text{ έως } 10.000 \text{ km}$
 $d = 10^{11} \text{ έως } 10^{13} \text{ g/cm}^3$
 $T = 5.776 \text{ έως } 300.000 \text{ K}$
 (αυξανόμενη προς τα έξω)

Κορόνα: $D = \text{απεριόριστη}$
 $d = \text{μόνο } 10^{-10} \text{ έως } 10^{-16} \text{ g/cm}^3$
 $T = \text{περίπου } 10^6 \text{ K}$

Φωτόσφαιρα:
 Στρώμα αναστροφής
 $D = 400 \text{ έως } 500 \text{ km}$
 $d = 10^{-7} \text{ έως } 10^{-9} \text{ g/cm}^3$
 $T = 4.000 \text{ έως } 7.000 \text{ K}$ ομοίως:
 Ανώτερο στρώμα της ζώνης μεταφοράς
 Πηγή του μεγαλύτερου μέρους της ηλιακής ακτινοβολίας (=ηλιακή επιφάνεια=)

Το εσωτερικό του ήλιου
 $d = 100 \text{ g/cm}^3$,
 $T = 8-40 \times 10^6 \text{ K}$

Ζώνη μεταφοράς υδρογόνου
 $d = 0,07 \text{ g/cm}^3$,
 $T = 130.000 \text{ K}$



Εδώ:
 35-40% της μάζας
 15% του όγκου
 90% της παραγόμενης ισχύος της ακτινοβολίας

Σχήμα 2.3: Σχηματική παράσταση της σύνθεσης του ήλιου.

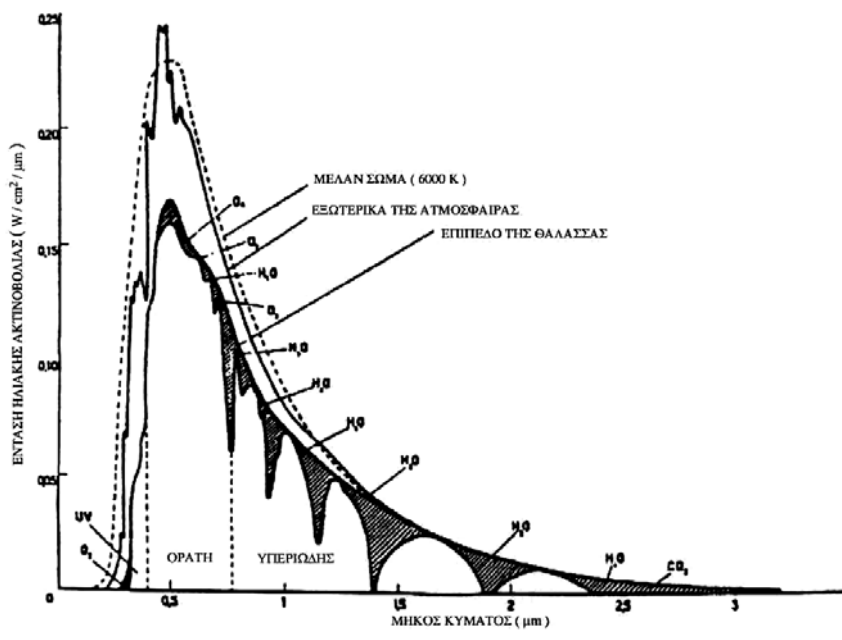
Η διαφορά των 4 εκατομμυρίων τόνων, που είναι μικρό μόνο κλάσμα της αρχικής ποσότητας υδρογόνου, μετατρέπεται σε ενέργεια με ισοδύναμη θερμαντική αξία 20 τόνων άνθρακα για κάθε γραμμάριο αερίου υδρογόνου που χάνεται.

Η επιφάνεια του ήλιου βρίσκεται σε θερμοκρασία περίπου 6.000 K. Η επιφάνεια της γης βρίσκεται σε πολύ χαμηλότερη θερμοκρασία. Έχει μια μέση τιμή 7°C . Το μέρος εκείνο της γης που βλέπει τον ήλιο, δέχεται μια συνολική ακτινοβολία, επειδή ακριβώς υπάρχει αυτή η θερμοκρασιακή διαφορά, ίση με 130.000 TW. Η συνολική ηλιακή ενέργεια που φτάνει στην επιφάνεια της γης είναι περίπου 121.000 TW ($3,8 \cdot 10^{24} \text{ J/yr}$) (εικ 1.1 [1]). Για την κάλυψη όλων των ενεργειακών αναγκών της ανθρωπότητας αρκεί η εκμετάλλευση του 0,0001 % της ενέργειας αυτής με βαθμό απόδοσης 10 %. Δεν είναι υπερβολή να πει κανείς ότι η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί τελικά να είναι η πρώτη ενεργειακή πηγή και ιδεατά η μόνη πηγή για θέρμανση, ηλεκτρισμό κλπ.

Αυτή η σύγκριση δείχνει την τεράστια ποσότητα ενέργειας που δέχεται η γη από τον ήλιο. Βέβαια, ίδιο ποσό ενέργειας εκπέμπει η γη, (το μέρος που δε βλέπει τον ήλιο) προς το διάστημα. Το 30 % της προσπίπτουσας από τον ήλιο ακτινοβολίας χωρίς να αλλάξει μήκος κύματος, ανακλάται από τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας προς το διάστημα. Το 47 % απορροφάται από την ατμόσφαιρα και από την επιφάνεια της γης. Είναι ακριβώς αυτό το ποσοστό ενέργειας που προκαλεί την ανύψωση της θερμοκρασίας και στη συνέχεια ακτινοβολείτε πάλι στο διάστημα. Το υπόλοιπο 23 % γίνεται κινητήρια δύναμη των ανέμων, των ρευμάτων, των κυμάτων, συντελεί στη διαμόρφωση του κλίματος και προκαλεί τον υδρολογικό κύκλο. Τέλος και αυτή η ενέργεια ακτινοβολείτε πάλι στο διάστημα.

Ένα μικρό ποσοστό 0,02 % από το συνολικό ποσό ακτινοβολίας που προέρχεται από τον ήλιο, μπαίνει στο βιολογικό σύστημα με φωτοσύνθεση. Ένα μικρό ποσοστό της ενέργειας αποθηκεύεται ως χημική ενέργεια στα φυτά, στους ζωντανούς ιστούς και στα ζώα. Μετά από εκατομμύρια χρόνια και κάτω από ειδικές γεωλογικές συνθήκες έχει μετασχηματιστεί στη γη σε πετρέλαιο και σε καύσιμο και είναι το γνωστό μας απόθεμα των ορυκτών καυσίμων. Ο ρυθμός μετασχηματισμού αυτών των ορυκτών είναι πάρα πολύ μικρός, αν συγκριθεί με το ρυθμό εξόρυξης και κατανάλωσης.

Το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας είναι το φάσμα της εκπομπής μέλανος σώματος που βρίσκεται σε θερμοκρασία περίπου 6.000 K (σχ. 2.4 [1]).



Σχήμα 2.4: Φασματική κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας.

Είναι συνεχές φάσμα που εκτείνεται από τα 200 nm, δηλαδή από την υπεριώδη περιοχή μέχρι 3.000 nm, δηλαδή την υπέρυθη ακτινοβολία και έχει αιχμή γύρω στα 500 nm. Η απορρόφηση που πραγματοποιείται από την ατμόσφαιρα είναι επιλεκτική για τα διάφορα μήκη κύματος και αναφέρεται στις περιοχές απορρόφησης των αερίων που περιέχει η ατμόσφαιρα.

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στα όρια της ατμόσφαιρας της γης έχει μια μέση τιμή 1.395 W/m² και ονομάζεται ηλιακή σταθερά. Διαφοροποιείται πολύ λίγο ανάλογα με τη μεταβολή της απόστασης του ήλιου και της δραστηριότητας των ηλιακών κηλίδων. Η απορρόφηση που πραγματοποιεί η ατμόσφαιρα στην ηλιακή ακτινοβολία μειώνει προφανώς την ένταση της όταν φθάνει στη γη. Η απορρόφηση αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι υπάρχουν αιωρούμενα σωματίδια ή σύννεφα τα οποία απορροφούν ενέργεια, διότι ο ατμός του νερού απορροφά ενέργεια, ενώ αντίθετα τα κύρια αέρια που αποτελούν την ατμόσφαιρα, οξυγόνο, άζωτο, δεν απορροφούν την ηλιακή ενέργεια. Έτσι η ηλιακή σταθερά φθάνει στο επίπεδο της γης και την τιμή 1.000 W/m². Από τα παραπάνω είναι αυτονόητο, ότι για συγκεκριμένο τόπο πάνω στη γη, η ετήσια ακτινοβολία είναι συνάρτηση των κλιματολογικών συνθηκών της περιοχής και φυσικά της γεωγραφικής θέσης του τόπου.

2.3.1 Βασικά χαρακτηριστικά

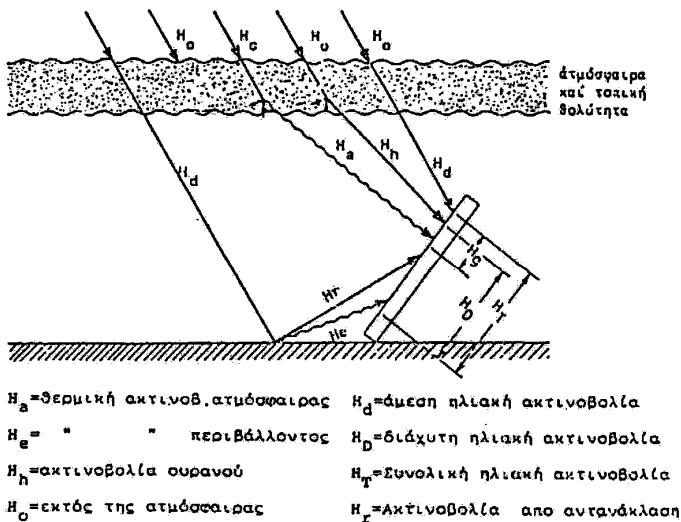
Το προφανέστερο χαρακτηριστικό της ηλιακής ακτινοβολίας είναι ότι η ενέργεια της παρουσιάζει μια μεγάλη χρονική διακύμανση μεταξύ μιας μέγιστης τιμής κατά τη διάρκεια των ευνοϊκότερων συνθηκών της ημέρας και της μηδενικής τιμής που αποκτά τη νύχτα. Επιπλέον υπάρχει μια σημαντική διακύμανση ανάλογα με την εποχή του χρόνου, όπως και ανάλογα με τη γεωγραφική θέση. Στον ισημερινό είναι τριπλάσια από ότι στις βορειότερες χώρες, στη βόρεια Ευρώπη το χειμώνα είναι το 1/10 του καλοκαιριού, ενώ στον ισημερινό διαφέρει κατά ένα λόγο 2. Επίσης υπάρχει διακύμανση και στη σχέση της έμμεσης προς την άμεση ηλιακή ακτινοβολία π.χ. στη Μεγάλη Βρετανία το χειμώνα η έμμεση είναι το 85 % της ολικής ακτινοβολίας.

Ένα δεύτερο χαρακτηριστικό είναι ότι η ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει στη γη αποτελεί μια αραιή μορφή ενέργειας π.χ. η θερμική ισχύς που μεταδίδεται μέσω 1 m² θερμαινόμενης επιφάνειας ενός λέβητα είναι περίπου 35 φορές μεγαλύτερη από τη μέγιστη τιμή της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας στο ίδιο εμβαδόν στην επιφάνεια της γης.

Τα δυο αυτά μειονεκτήματα, η χρονική διακύμανση και η χαμηλή πυκνότητα της ηλιακής ακτινοβολίας, είναι οι κύριες αιτίες για τη δημιουργία προβλημάτων που εμφανίζονται στις

πρακτικές εφαρμογές της μετατροπής της σε ηλεκτρική ενέργεια ή άλλες χρήσιμες μορφές ενέργειας.

Κατά τη δίοδο της ηλιακής ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα, ένα μέρος ανακλάται στο διάστημα ή απορροφάται, ένα μέρος διαχέεται και χαρακτηρίζεται σαν διάχυτη ακτινοβολία, ενώ το υπόλοιπο χαρακτηρίζεται σαν άμεση ακτινοβολία. Το άθροισμα των δύο (διάχυτης και άμεσης) χαρακτηρίζεται ως ολική ακτινοβολία (σχ. 2.5 [1]).



Σχήμα 2.5: Διάφορα είδη ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης.

Το αν όμως ο ήλιος μπορεί να δώσει όλη την ενέργεια που χρειάζεται για ένα κόσμο που θα αναπτύσσεται συνεχώς, εξαρτάται από τους τρόπους που θα βρεθούν για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας.

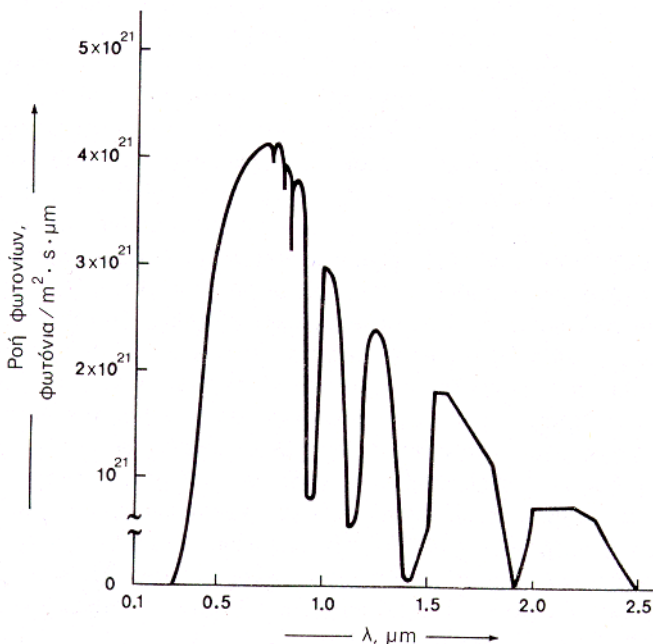
Η ηλιακή ενέργεια αξιοποιείται είτε με παθητικές μεθόδους, είτε με διάφορες μεθόδους μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε άλλες χρήσιμες μορφές ενέργειας. Αυτό είναι δυνατό με διάφορες μεθόδους που μπορούν να ομαδοποιηθούν σε 3 μεγάλες κατηγορίες: τις φωτοχημικές, τις φωτοθερμικές και τις φωτοηλεκτρικές. Αναλυτικά χαρακτηριστικά θα δοθούν σε επόμενο κεφάλαιο.

Μία εκτίμηση του μεγέθους της ηλιακής ακτινοβολίας ως πηγής ενέργειας εξαρτάται από τη γεωγραφική θέση, συμπεριλαμβανομένων των τοπικών συνθηκών όπως η συννεφιά, η ομίχλη (*turbidity*), κλπ. Ορισμένα χαρακτηριστικά της ροής της ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο είναι η φασματική κατανομή, άμεσα και διάχυτα μέρη, γεωγραφικές διαφοροποιήσεις και ετήσιες, εποχικές και ημερήσιες διαφοροποιήσεις σε δεδομένες τοποθεσίες. Παρόλα αυτά, για πραγματικές εφαρμογές είναι συχνά απαραίτητη η εκτίμηση του ποσού της ακτινοβολίας που δέχονται κεκλιμένες ή σύνθετης μορφής επιφάνειες και είναι χρήσιμο να ερευνηθούν οι σχέσεις που επιτρέπουν την εξαγωγή συγκεκριμένων πληροφοριών από ορισμένα γνωστά βασικά μεγέθη. Για παράδειγμα, δεδομένα για ακτινοβολία συχνά υπάρχουν μόνο για οριζόντια επίπεδα και επομένως χρειάζεται μια σχέση που να προβλέπει τη ροή της ακτινοβολίας σε μια κεκλιμένη επιφάνεια.

Σε αυτήν την παρουσίαση θα γίνει αναφορά με λεπτομέρεια μόνο στην εισερχόμενη ακτινοβολία, αφού η εξερχόμενη ροή μπορεί να τροποποιηθεί από το συγκεκριμένο τύπο συσκευής μετατροπής ενέργειας. Στην πραγματικότητα, μια τέτοια τροποποίηση είναι συνήθως και η ιδέα της ίδιας της συσκευής.

2.3.2 Η ακτινοβολία του ενός ήλιου και ηλιακά γεωμετρικά χαρακτηριστικά

Το **Σχήμα 2.6** δείχνει τη ροή των φωτονίων που αντιστοιχεί στα διάφορα μήκη κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας AM1,5, όταν φτάνει στη γη, στη στάθμη της θάλασσας. Η καμπύλη έχει βγει υπολογιστικά, δηλαδή έχουν αφαιρεθεί από το διαστημικό φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας τα φωτόνια που εκτιμήθηκε ότι απορροφούνται ή σκεδάζονται από το όζον, τους υδρατμούς και τα αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας.



Σχήμα 2.6: Η συμβατική φωτονική κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας σε συνθήκες AM1,5

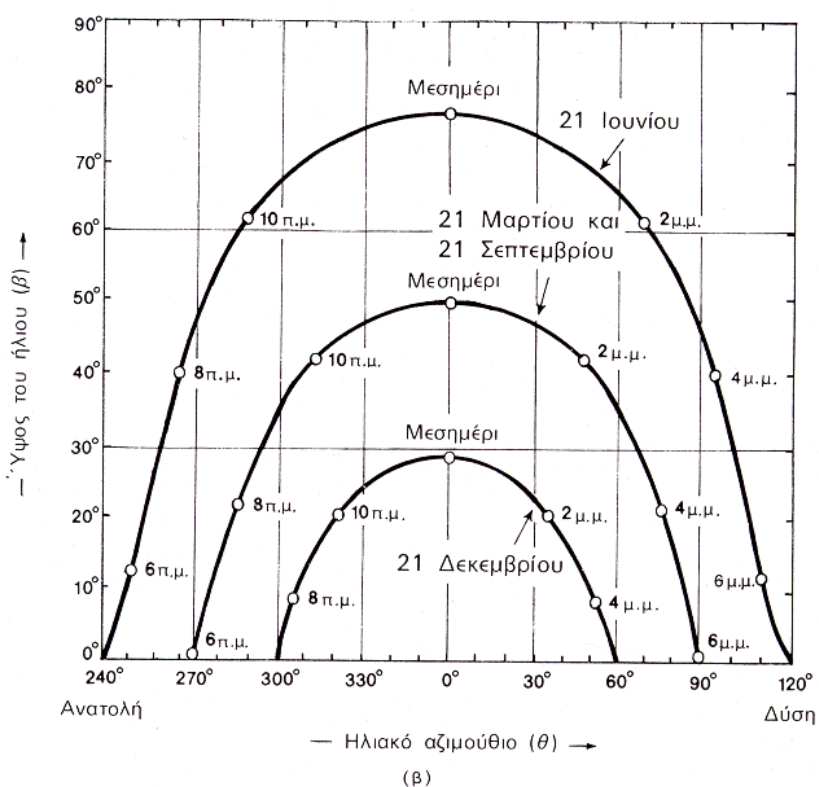
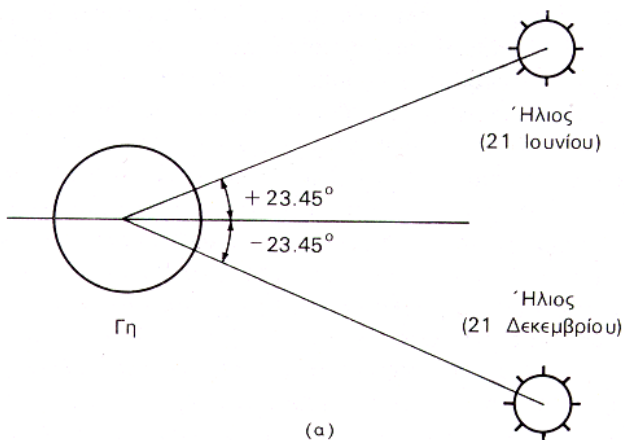
Η ηλιακή ακτινοβολία AM1,5 έχει πυκνότητα 935 W/m^2 και αποτελεί χονδρικά μια αρκετά αντιπροσωπευτική προσέγγιση της μέσης μέγιστης ισχύος που περίπου δέχεται σε επιφάνεια κάθετη προς την ακτινοβολία και στις ευνοϊκότερες δυνατές συνθήκες αιχμής (καλοκαίρι, μεσημέρι, καθαρός ουρανός κ.λ.π.). Για απλοποίηση η παραπάνω πυκνότητα ισχύος στρογγυλεύεται στα 1000 W/m^2 , ονομάζεται συμβατικά ακτινοβολία ενός ήλιου και παίρνεται συχνά ως βάση σύγκρισης της ακτινοβολίας που δέχονται τα φωτοβολταϊκά στοιχεία.

Ηλιακά γεωμετρικά στοιχεία

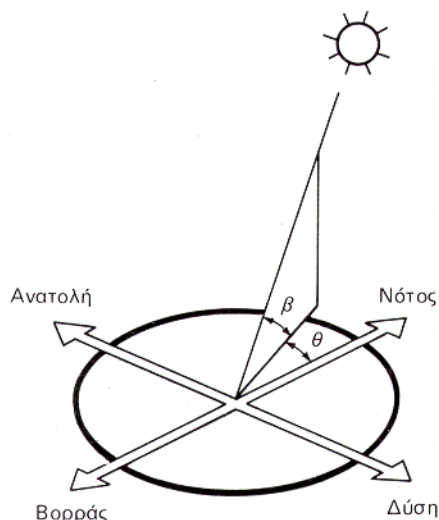
Στη συνέχεια παρατίθενται τα ηλιακά γεωμετρικά στοιχεία και τις σχέσεις που τα συνδέουν:

- i. **Απόκλιση (δ):** είναι η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην ευθεία που ενώνει το κέντρο της γης με το κέντρο του ήλιου και στο επίπεδο του ισημερινού. Οι τιμές της απόκλισης του ήλιου είναι θετικές για το βόρειο ημισφαίριο και αρνητικές για το νότιο. (Σχήμα 2.7)
- ii. **Ύψος του ήλιου (β):** είναι η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην κατεύθυνση του ήλιου και στον ορίζοντα. (Σχήμα 2.8.)
- iii. **Ζενιθιακή απόσταση (ή γωνία):** είναι η γωνία ανάμεσα στην κατεύθυνση του ήλιου και στην κατακόρυφο. Χρησιμοποιείται συχνά αντί για το ύψος, που είναι συμπληρωματική του γωνία.
- iv. **Αζιμούθιο (θ):** είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της κατεύθυνσης του ήλιου και στον τοπικό μεσημβρινό βορρά-νότου.

Προς τα δεξιά από τον νότο, το ηλιακό αζιμούθιο παίρνει θετικές τιμές, και προς τα αριστερά αρνητικές.



Σχήμα 2.7: Η μεταβολή της απόκλισης και η επίδρασή της στην τροχιά του ήλιου στον ουρανό. (α) Η ακραία απόκλιση του ήλιου κατά το θερινό και το χειμερινό ηλιοστάσιο. (β) Παράδειγμα των αντίστοιχων τροχιών που διαγράφει ο ήλιος στον ουρανό στη διάρκεια της ημέρας, κατά τα ηλιοστάσια καθώς και τις ισημερίες, σε τοποθεσία με γεωγραφικό πλάτος βόρειο 38° , όπως της Αθήνας. Οι ενδείξεις του μεσημεριού και των ωρών της ημέρας είναι σε ηλιακές τιμές.



Σχήμα 2.8: Οι γωνίες του ύψους (β) και του αζιμουθίου (θ), που περιγράφουν κάθε στιγμή τη θέση του ήλιου στον ουρανό.

2.3.3 Γεωμετρικά στοιχεία του Φ/Β πλαισίου

Όπως η θέση του ήλιου στον ουρανό, έτσι και ο προσανατολισμός ενός επιπέδου στην επιφάνεια της γης περιγράφεται από 2 γωνίες:

- i. **Κλίση του πλαισίου (β_{π}):** είναι η διέδρη γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο του συλλέκτη και στον ορίζοντα. Παίρνει τιμές από $0-180^\circ$. Για γωνίες $\beta_{\pi} > 90^\circ$ το επίπεδο του πλαισίου είναι στραμμένο προς τα κάτω.
- ii. **Αζιμούθια γωνία του πλαισίου (θ_{π}):** είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της κατακόρυφου του πλαισίου και στον τοπικό μεσημβρινό βορρά-νότου. Παίρνει τιμές από -180° μέχρι $+180^\circ$. (Σχήμα 2.9)

Προφανώς, η πυκνότερη ισχύς μιας δέσμης ηλιακής ακτινοβολίας πάνω σε ένα πλαίσιο θα πραγματοποιείται όταν η επιφάνειά του είναι κάθετη προς την κατεύθυνση της ακτινοβολίας, δηλαδή όταν η γωνία πρόσπτωσης (φ) είναι 0. Η συνθήκη όμως αυτή δεν είναι εύκολο να εξασφαλιστεί καθώς ο ήλιος συνεχώς μετακινείται στον ουρανό κατά τη διάρκεια της ημέρας. Έχουν κατασκευαστεί μηχανικές διατάξεις που επαναπροσανατολίζουν συνεχώς το πλαίσιο (π.χ. με τη βοήθεια υπολογιστή ή φωτοκύτταρων) ώστε η επιφάνειά του να αντικρίζει πάντα κάθετα τον ήλιο. Οι διατάξεις όμως αυτές είναι πολύπλοκες και δαπανηρές. Έτσι, η χρήση τους δικαιολογείται μόνο σε ειδικές περιπτώσεις εφαρμογών, όπως στα συστήματα συγκεντρωμένης ακτινοβολίας με φακούς ή κάτοπτρα.

Στις συνηθισμένες περιπτώσεις τα Φ/Β πλαίσια τοποθετούνται σε σταθερή κλίση και αζιμούθια γωνία, που επιλέγονται ώστε η γωνία της πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας να είναι όσο το δυνατό μικρότερη, κατά τη διάρκεια του έτους. Η γωνία πρόσπτωσης της ακτινοβολίας συνδέεται με τις άλλες γωνίες της ηλιακής γεωμετρίας, που αναφέρθηκαν παραπάνω, με τη σχέση:

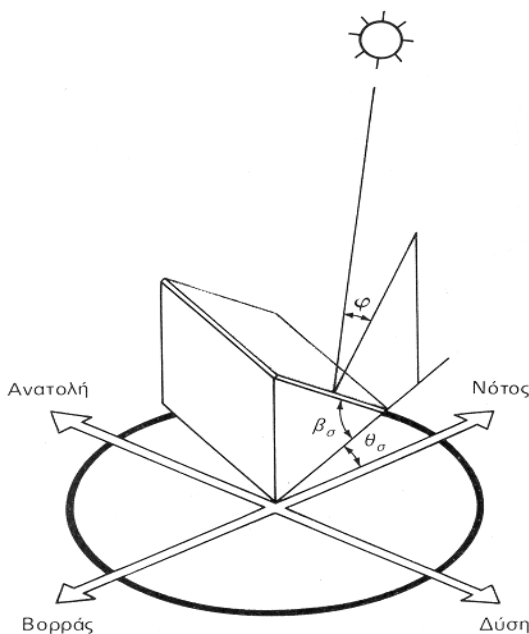
$$\cos\varphi = \cos\beta \cdot \sin\beta_{\sigma} \cdot \cos(\theta_{\sigma} - \theta) + \sin\beta \cdot \cos\beta_{\sigma} \quad (\Sigma 2.1)$$

Στο βόρειο ημισφαίριο, η βέλτιστη κλίση του πλαισίου, για τη διάρκεια ολόκληρου του έτους, είναι ίση με τη γεωγραφική παράλληλο του τόπου και η αζιμούθια γωνία είναι 0° (προς το νότο). Αλλά λόγω της μεταβολής της απόκλισης του ήλιου στη διάρκεια του έτους, η βέλτιστη κλίση του συλλέκτη είναι διαφορετική για κάθε εποχή (Σχήμα 2.10). Έτσι αν επιδιώκεται να παράγει το σύστημα όσο το δυνατό περισσότερη ενέργεια στη διάρκεια του καλοκαιριού, η κλίση του πλαισίου επιλέγεται περίπου $10^\circ-15^\circ$ μικρότερη από την

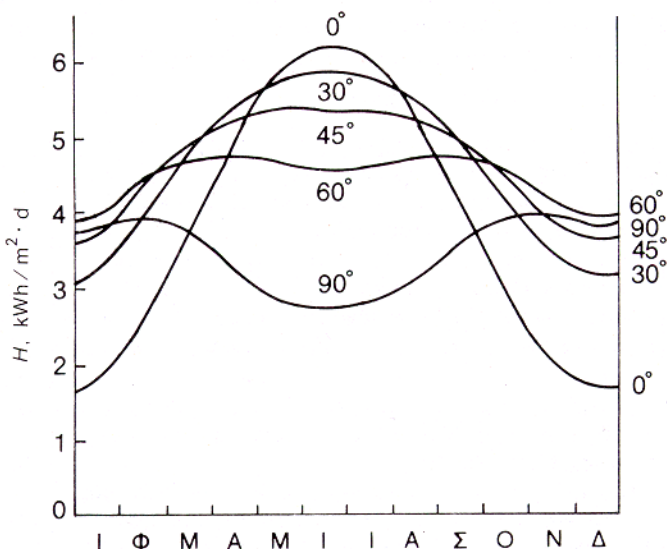
παράλληλο του τόπου, ενώ για τον χειμώνα η κλίση επιλέγεται περίπου 10° - 15° μεγαλύτερη από την παράλληλο του τόπου.

Τα παραπάνω ισχύουν για τη συλλογή της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας που έρχεται σαν δέσμη από τον ήλιο. Για τις άλλες, από ενεργειακά άποψη λιγότερο σημαντικές, μορφές της ηλιακής ακτινοβολίας, ο κυριότερος παράγοντας είναι η απόλυτη τιμή της κλίσης του πλαισίου, ανεξάρτητα από τη θέση του ήλιου. Έτσι, όσο η κλίση απέχει περισσότερο από το οριζόντιο επίπεδο, τόσο μεγαλύτερο ποσό ανακλώμενης ακτινοβολίας από το έδαφος δέχεται το πλαίσιο, αλλά και τόσο μικρότερο ποσό διάχυσης ακτινοβολίας από τον ουρανό. Για παράδειγμα, σε περιοχές με υγρό κλίμα, όπου λόγω των σταγονιδίων του νερού στην ατμόσφαιρα, ένα μεγάλο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας διαχέεται στον ουρανό, η βέλτιστη κλίση του πλαισίου για τη διάρκεια ολόκληρου του έτους είναι περίπου 10-15% μικρότερη από τη γωνία του τοπικού γεωγραφικού πλάτους. Έτσι, το πλαίσιο αντικρίζει περισσότερο τον ουρανό και δέχεται αφθονότερα τη διάχυτη ακτινοβολία.

Η ποσότητα της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το υλικό που καλύπτει την επιφάνεια που δέχεται την ακτινοβολία. Η ικανότητα της ανάκλασης εκφράζεται από ένα συντελεστή που κυμαίνεται από 0, για πλήρη απορρόφηση της ακτινοβολίας, μέχρι 1, για πλήρη ανάκλαση. Στον **Πίνακα 2.2** δίνονται ενδεικτικές τιμές του συντελεστή ανάκλασης για ορισμένα από τα είδη επιφανειών που συμβαίνει να έχει το περιβάλλον στις περιοχές, όπου τοποθετούνται τα Φ/Β πλαίσια.



Σχήμα 2.9: Η κλίση (β_{π}) και η αζιμούθια γωνία (θ_{π}), που χαρακτηρίζουν τον προσανατολισμό ενός Φ/Β πλαισίου στην επιφάνεια της γης.



Σχήμα 2.10: Παράδειγμα της εξάρτησης της μέσης ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας H , που δέχεται μια επίπεδη επιφάνεια κατά τη διάρκεια των διαφόρων μηνών του έτους, σε συνάρτηση με την κλίση της. Το παράδειγμα είναι για τοποθεσία με γεωγραφικό πλάτος 45° και αφορά σε κλίσεις του Φ/B πλαισίου (β_π) ίσες με 0° (οριζόντιο επίπεδο), 30° , 45° , 60° και 90° (κατακόρυφο επίπεδο).

Πίνακας 2.2: Παραδείγματα τιμών του συντελεστή ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας.

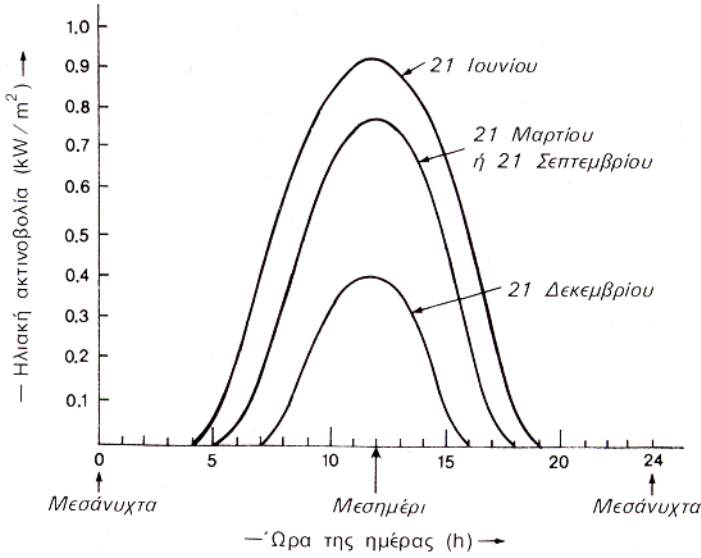
Είδος επιφάνειας	Συντελεστής ανάκλασης
Επιφάνεια νερού, θάλασσα	0,05
Ασφαλτόστρωμα	0,07
Αγρός με σκοτεινό χρώμα	0,08
Πράσινος αγρός	0,15
Βραχώδης επιφάνεια	0,20
Επιφάνεια παλαιού τσιμέντου	0,24
Επιφάνεια νέου τσιμέντου ή χρωματισμένη με ανοιχτό χρώμα	0,30
Χιόνι	0,60

2.3.4 Η διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας

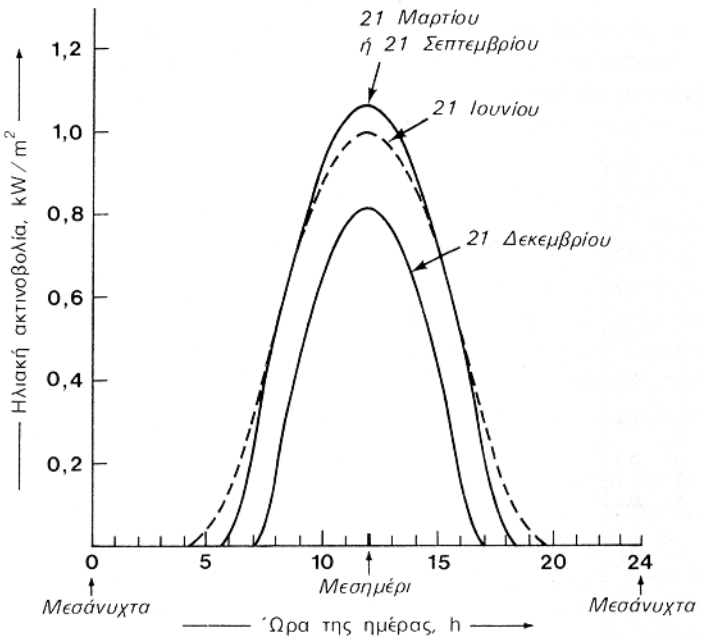
Ως γνωστόν η ηλιακή ακτινοβολία παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις. Στα επόμενα σχήματα φαίνονται οι διάφορες παράμετροι που επηρεάζουν την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται μια οριζόντια επιφάνεια.

Έτσι στο **σχήμα 2.11** δείχνονται παραδείγματα της ομαλής μεταβολής της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας για 3 ενδεικτικές ημερομηνίες (καλοκαίρι, άνοιξη και φθινόπωρο, χειμώνα) σε συνθήκες ιδανικά καθαρού ουρανού. Στο **σχήμα 2.12** φαίνεται η επίδραση της κλίσης του Φ/B πλαισίου. Όταν ο ουρανός έχει σύννεφα, η μεταβολή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης γίνεται

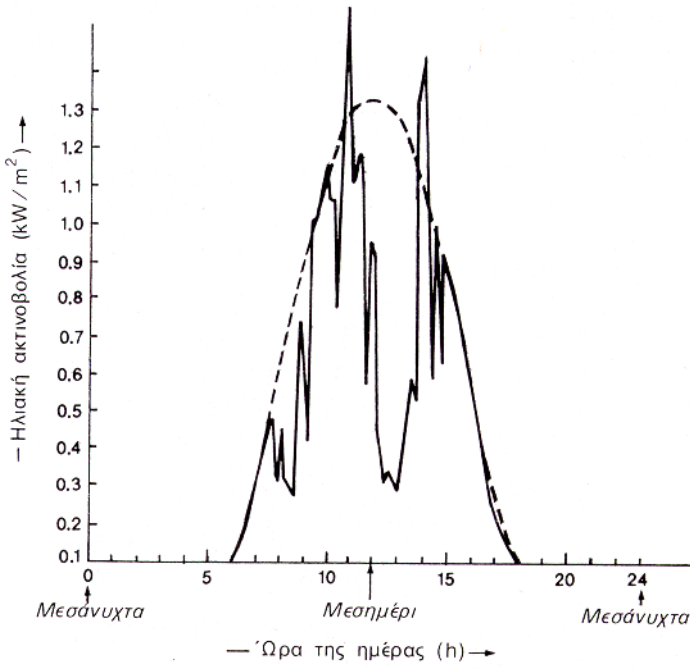
ανάμαλη, όπως φαίνεται στο **σχήμα 2.13**. Οι παρατηρούμενες απότομες πτώσεις της έντασης οφείλονται στην παρεμβολή ενός νέφους που μετακινεί ο άνεμος.



Σχήμα 2.11: Παράδειγμα της διακύμανσης της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας, που δέχεται μια οριζόντια επιφάνεια στη διάρκεια των φωτεινών ωρών τριών χαρακτηριστικών ημερομηνιών, με εντελώς καθαρό ουρανό. Οι ώρες είναι σε ηλιακές τιμές.



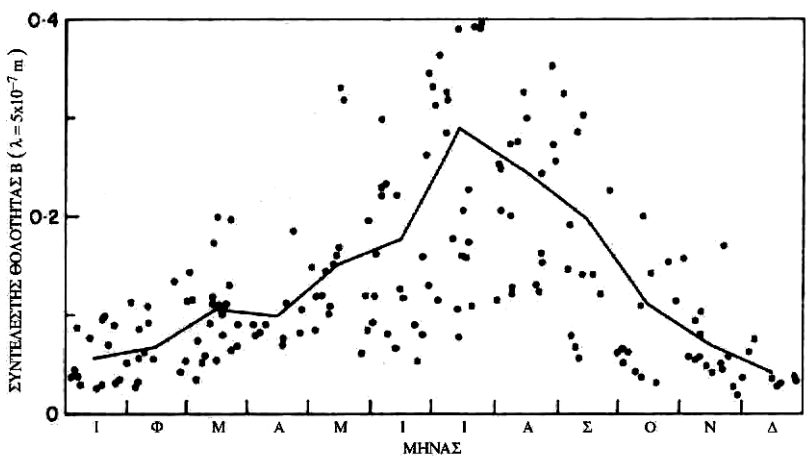
Σχήμα 2.12: Η διακύμανση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στις γεωγραφικές, εποχικές και κλιματικές συνθήκες του παραδείγματος του σχήματος 2.10, αλλά με το Φ/Β πλαίσιο σε κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου.



Σχήμα 2.13: Παράδειγμα της διακύμανσης της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη διάρκεια των φωτεινών ωρών μιας ημέρας με μερική νέφωση. Η ασυνεχής καμπύλη δείχνει την αντίστοιχη διακύμανση με εντελώς καθαρό ουρανό.

2.3.5 Εξάρτηση από τη θολότητα και τη συννεφιά

Η διακύμανση του S_N λόγω της ομίχλης μπορεί να παρουσιαστεί σημειώνοντας την ευρύτητα των τιμών του, που οφείλονται στην εξαιρετικά υψηλή ή χαμηλή θολότητα, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.14 και παίρνοντας υπόψη τη διασπορά των μέσων ημερήσιων τιμών της θολότητας, παράδειγμα της οποίας φαίνεται στο σχ. 2.14 [2].



Σχήμα 2.14: Ετήσια διακύμανση του συντελεστή θολότητας Β (Rayleigh, North Carolina 1972).

Οι διαδικασίες απορρόφησης και διάθλασης, λόγω των οποίων η ακτινοβολία εξασθενίζει σε μια κατεύθυνση, μπορούν να συνοψιστούν σε μια απλή εξίσωση [2]:

$$-\frac{dI(v)}{I(v)} = \frac{ds}{I(v)} = ds \sum_i \sigma_i(v) \quad (\Sigma 2.2)$$

όπου $\sigma_i(v)$ είναι η εγκάρσια κατεύθυνση στη συχνότητα v για την ιοστή πιθανή διαδικασία απορρόφησης ή διάθλασης, πολλαπλασιασμένη με τον αριθμό των κέντρων αλληλεπίδρασης ανά μονάδα όγκου. Λόγω των διαδικασιών διάθλασης, η διαδρομή δεν είναι ευθεία και η ολοκλήρωση του ds δεν είναι απλά μια συνάρτηση της γωνίας ζενίθ, αλλά εξαρτάται και από τη σύσταση της ατμόσφαιρας, συμπεριλαμβανομένου του περιεχομένου σε υδρατμούς και σωματίδια. Η μέση ελεύθερη διαδρομή l βρίσκεται στη δεξιά μεριά της $\Sigma 2.2$ όταν προσδιοριστούν οι σημαντικές διαδικασίες που πρέπει να συμπεριληφθούν στην διαδικασία ολοκλήρωσης. Στην περιοχή των υψηλών μήκων κύματος θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι εκπομπές, π.χ. προσθέτοντας έναν όρο στη διαφορική εξίσωση $\Sigma 2.2$.

Ο συντελεστής B_λ για δεδομένο μήκος κύματος λ ορίζεται σε όρους της έκφρασης της εξασθένισης $\Sigma 2.2$:

$$\frac{S_N(\lambda)}{E_{0+}^{SW}(\lambda)} = 10^{-m_r(\tau_\lambda^s + \tau_\lambda^\alpha + B_\lambda)}$$

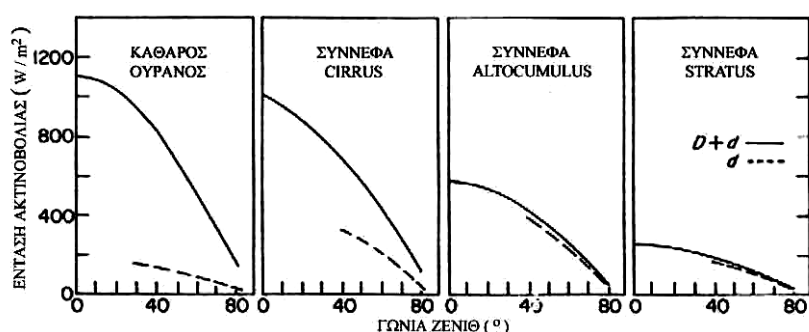
Εδώ m_r είναι η σχετική αέρια μάζα (οπτικό μήκος διαδρομής στην ατμόσφαιρα), το τ_λ^s περιγράφει το διασκορπισμό στα μόρια του αέρα και το τ_λ^α την απορρόφηση από το όζον.

Σε όρους των εγκάρσιων κατευθύνσεων της $\Sigma 2.2$, $\sigma_s(\lambda)$, $\sigma_a(\lambda)$ και $\sigma_p(\lambda)$ για διασκορπισμό στα μόρια του αέρα, απορρόφηση από το όζον και εξασθένιση από τα σωματίδια αντίστοιχα, λαμβάνεται η σχέση:

$$-m_r \tau_\lambda^s = \log_{10} \left\{ \exp \left(\int \sigma_s(\lambda) ds \right) \right\} \text{ και ομοίως για τα } \tau_\lambda^\alpha \text{ και } B_\lambda.$$

Το σχ. 2.14 δίνει ημερήσιες και μηνιαίες μέσες τιμές για το έτος 1972 και για μήκος κύματος $5 \cdot 10^{-7}$ m. Τα στοιχεία δείχνουν ότι η εύρεση απλών αναλυτικών εκφράσεων για τη λεπτομερή μεταβολή της θολότητας ή για τις ηλιακές ροές που εξαρτώνται από αυτή, είναι αδύνατη.

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που καθορίζει την ποσότητα και την κατανομή των διαφόρων τύπων ροών, είναι η συννεφιά. Σημαντική είναι και η κατανομή των σύννεφων, αλλά και το είδος τους. Για τη ροή της άμεσης ακτινοβολίας, τα σημαντικά ερωτήματα είναι, αν η διαδρομή παρεμποδίζεται ή όχι και αν ναι, τότε σε τι βαθμό η εξασθένιση οφείλεται στο συγκεκριμένο τύπο σύννεφου. Το σχ. 2.15 [2] δίνει τη συνολική και διάχυτη ροή σε οριζόντιο επίπεδο (αφαιρώντας την άμεση), για καθαρό ουρανό και για τρεις διαφορετικούς τύπους σύννεφων, ως συνάρτηση της γωνίας ζενίθ του ήλιου.



Σχήμα 2.15: Ένταση ακτινοβολίας για διάφορους τύπους σύννεφων, ως συνάρτηση της γωνίας ζενίθ.

Η κατηγοριοποίηση (τα είδη) των σύννεφων είναι καθαρά ενδεικτική και αντιπροσωπευτική των περισσότερων περιπτώσεων. Είναι προφανές σε αυτό το παράδειγμα, ότι τα σύννεφα *Alto cumulus* και *Stratus* είναι σχεδόν αδιαπέραστα από την άμεση ακτινοβολία, ενώ τα σύννεφα *Cirrus* επιτρέπουν τη διείσδυση σχεδόν της μισής ροής της άμεσης ακτινοβολίας. Μετεωρολογικές παρατηρήσεις που περιέχουν δεδομένα ηλιοφάνειας (που δείχνουν αν η κατεύθυνση του ήλιου εμποδίζεται) και συννεφιάς (ως ποσοστό και προσδιορίζοντας τα είδη των σύννεφων και το εκτιμώμενο ύψος τους) μπορούν να επιτρέψουν μια αρκετά αξιόπιστη εκτίμηση του ποσοστού της άμεσης ακτινοβολίας που φτάνει σε ένα επίπεδο για δεδομένο προσανατολισμό.

2.4 Αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας

Οι βασικές μέθοδοι αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας είναι οι φωτοχημικές, οι φωτοθερμικές και οι φωτοηλεκτρικές. Πρέπει να τονιστεί πως ιδιαίτερη βαρύτητα θα δοθεί στις δύο τελευταίες, μια και η φωτοχημική μέθοδος παρουσιάζει περιορισμένο ενδιαφέρον. Επίσης θα γίνει εκτεταμένη αναφορά στα παθητικά συστήματα θέρμανσης, ενώ θα παρουσιαστούν οι βασικότερες αγροτικές και βιομηχανικές εφαρμογές.

2.4.1 Παθητικά Συστήματα Θέρμανσης

Αρχικά θα πρέπει να αποσαφηνιστεί η έννοια «παθητικό σύστημα». Παθητικό σύστημα ονομάζεται αυτό στο οποίο δεν προσδίδεται κάποιου είδους ενέργεια, π.χ. μέσω αντλιών, από τον άνθρωπο, ενώ η ροή θερμότητας αποτελεί μια φυσική διαδικασία μετά από κατάλληλη επιλογή δομικών υλικών και αρχιτεκτονικής μορφής ενός κτιρίου. Τα παθητικά συστήματα έχουν ως σκοπό τη μεγιστοποίηση των εισερχόμενων θερμικών ροών, ενώ η απόδοση τους είναι ανεξάρτητη από την παρουσία οποιασδήποτε βοηθητικής μορφής ενέργειας ή ανθρώπινης δραστηριότητας.

Η μείωση της ενέργειας που καταναλώνεται για τη θέρμανση των κτιρίων μπορεί να επιτευχθεί κύρια με τους ακόλουθους τρόπους:

- Περιορισμό του ολικού συντελεστή απωλειών του κτιρίου προσθέτοντας θερμομόνωση στο εξωτερικό κέλυφος του κτιρίου ή χρησιμοποιώντας διπλά υαλοστάσια.
- Ανάκτηση της αποβαλλόμενης θερμότητας από το σύστημα αερισμού.
- Βελτίωση της απόδοσης του συστήματος παραγωγής και διανομής θερμότητας.
- Σωστός προσανατολισμός του κτιρίου έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η αύξηση των άμεσων ηλιακών κερδών.
- Χρήση παθητικών συστημάτων θέρμανσης.

Με βάση την ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων, υπολογίζεται ο συντελεστής απωλειών κάθε κτιρίου. Ένας σημαντικός αριθμός κτιρίων με θερμομόνωση παρουσιάζει ένα συντελεστή απωλειών μεγαλύτερο από αυτό που προβλέπει ο κανονισμός θερμομόνωσης. Υπολογίστηκε ότι για τα κτίρια αυτά, η χρήση της απαιτούμενης θερμομόνωσης θα είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση κατά 17 – 48 % της καταναλισκόμενης θερμικής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, η μείωση θα αντιστοιχούσε σε 17 % για κτίρια γραφείων, 38 % για εμπορικά κτίρια, 44 % για σχολεία, 37 % για νοσοκομεία και 48 % για ξενοδοχεία. Έχει υπολογισθεί ότι σε ένα υπάρχον κτίριο, μια τέτοια επέμβαση θα απαιτούσε κατά μέσο όρο 6 - 8 χρόνια για να αποσβεστεί, ανάλογα με τον τύπο του κτιρίου.

Η μείωση του συντελεστή απωλειών κατά 10 % θα επέφερε εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 5 – 7 %. Η μείωση αυτή μπορεί να επιτευχθεί με διάφορους τρόπους όπως η χρήση διπλών υαλοστασίων ή με απλές επεμβάσεις στο κέλυφος του κτιρίου.

Η χρησιμοποίηση παθητικών ηλιακών συστημάτων μπορεί να καλύψει ένα σημαντικό ποσοστό του φορτίου. Έτσι, σε ένα κτίριο με νότιο προσανατολισμό, που δέχεται υψηλά ποσοστά άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας, τα παθητικά συστήματα μπορούν να μειώσουν σημαντικά το θερμικό φορτίο. Τέλος, η θέρμανση των κτιρίων με τα παραπάνω συστήματα βασίζεται στα παρακάτω χαρακτηριστικά:

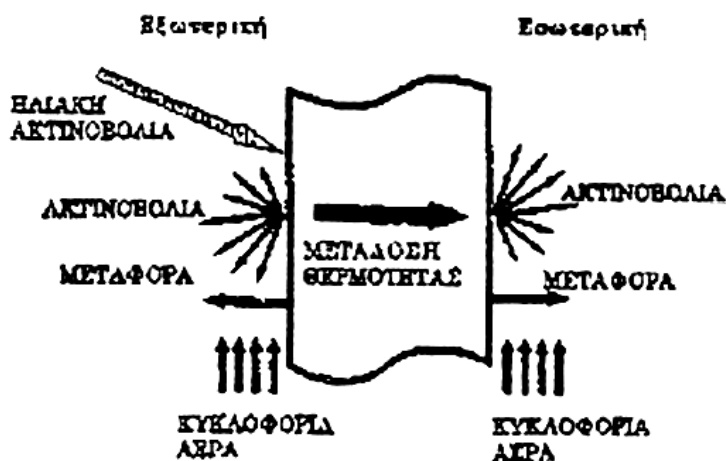
- Συλλογή της ηλιακής ενέργειας και μετατροπή της σε θερμότητα
- Αποθήκευση της θερμικής ενέργειας
- Διατήρηση της θερμότητας στο κτίριο
- Διανομή της θερμότητας

2.4.1.1 Συλλογή της Ηλιακής Ενέργειας

2.4.1.1.1 Διαφανή στοιχεία του κτιρίου

Όταν η ηλιακή ακτινοβολία πέφτει στο γυαλί, τότε ένα ποσοστό ανακλάται προς το εξωτερικό περιβάλλον, ένα ποσοστό απορροφάται από το γυαλί (από το οποίο ένα μέρος ακτινοβολείται προς το εξωτερικό περιβάλλον και ένα μέρος προς το εσωτερικό), και ανάλογα με τη διαπερατότητα του υλικού, το μεγαλύτερο ποσοστό που είναι η φωτεινή ακτινοβολία περνά από το γυαλί στον εσωτερικό χώρο. Η ηλιακή ακτινοβολία που τελικά εισέρχεται στο

χώρο, απορροφάται από τα διάφορα υλικά και αντικείμενα του χώρου, των οποίων η θερμοκρασία αυξάνει και αρχίζουν να εκπέμπουν μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία (σχ. 2.16).



Σχήμα 2.16: Μετάδοση θερμότητας μέσα από έναν τοίχο, κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Η ολική ενέργεια που διαπερνά τη διαφανή επιφάνεια και επομένως τα ηλιακά κέρδη, εξαρτώνται άμεσα από τη γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτίνων και επομένως από τον προσανατολισμό και την κλίση του τοίχου καθώς και από τα χαρακτηριστικά του διαφανούς υλικού.

Οι σημαντικότερες παράμετροι που συντελούν στη μεγιστοποίηση της συλλογής της ηλιακής ενέργειας είναι:

- Ο προσανατολισμός, το μέγεθος και η κλίση των παραθύρων
- Η διαπερατότητα των διαφανών υλικών

Προσανατολισμός και κλίση των παραθύρων

Το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας σε μια επιφάνεια εξαρτάται από τον προσανατολισμό και την κλίση της επιφάνειας.

Γενικά, εξαιρουμένων των περιοχών με πολύ μεγάλο γεωγραφικό πλάτος, οι επιφάνειες με βόρειο προσανατολισμό προσλαμβάνουν μόνο ασήμαντα ποσά ηλιακής ενέργειας στη διάρκεια της χειμερινής περιόδου. Για το λόγο αυτό, οι σχεδιαστές παθητικών ηλιακών συστημάτων θέρμανσης έχουν σχεδόν απορρίψει τον βόρειο προσανατολισμό των παραθύρων.

Νότια προσανατολισμένες επιφάνειες με κλίση προσλαμβάνουν μεγαλύτερα ποσά ηλιακής ενέργειας από τις κάθετες επιφάνειες, γεγονός το οποίο συχνά οδηγεί σε μη επιθυμητά ηλιακά κέρδη στη διάρκεια του καλοκαιριού. Γενικά υαλοπίνακες με κλίση χρησιμοποιούνται μόνο σε ψυχρά κλίματα περιοχών μεγάλου γεωγραφικού πλάτους, σε θερμοκηπιακά ή αίθρια και όχι σε πυκνοκατοικημένες περιοχές.

Όπως ήδη αναφέρθηκε στη διάρκεια της χειμερινής περιόδου, τα μεγαλύτερα ποσά ηλιακής ενέργειας προσλαμβάνονται από τις επιφάνειες με νότιο προσανατολισμό. Ωστόσο, για κτίρια που κατοικούνται κυρίως στη διάρκεια της ημέρας, όπως τα κτίρια γραφείων, ο νότιο-ανατολικός προσανατολισμός είναι προτιμότερος από τον νότιο-δυτικό αφού μια νότιο-ανατολική επιφάνεια προσλαμβάνει τα μεγαλύτερα ποσά της ηλιακής ενέργειας πριν τις 12 το μεσημέρι.

Διαπερατότητα του υαλοπίνακα

Το ποσό της ακτινοβολίας που διαπερνάει ένα υαλοπίνακα και επομένως τα ηλιακά θερμικά κέρδη εξαρτώνται ακόμα από τα οπτικά χαρακτηριστικά, το πάχος και τα στρώματα του χρησιμοποιούμενου γυαλιού.

Με τη χρήση διπλών υαλοπινάκων, η ολική διαπερατότητα του γυαλιού είναι μικρότερη από εκείνη του απλού υαλοπίνακα. Συνεπώς, οι εκπομπές μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας από τους τοίχους θα ελαττωθούν, αφού μειώνονται τα ποσά της ακτινοβολίας που πέφτουν πάνω τους.

Χρησιμοποιώντας ένα διπλό υαλοπίνακα με γυαλί μικρής δυναμότητας εκπομπής στην μεγάλο μήκους κύματος ακτινοβολία (εξαιτίας ειδικού επιστρώματος), επιτυγχάνεται μείωση της διαπερατότητας, αλλά ένα μεγάλο ποσό θερμικής ενέργειας συγκρατείται στο κτίριο.

Σε κλιματικές περιοχές όπου η ηλιακή ενέργεια είναι ευπρόσδεκτη στη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του χρόνου και ιδιαίτερα σε κτίρια με μικρά εσωτερικά θερμικά κέρδη, είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούνται παράθυρα που επιτρέπουν να περάσουν μεγάλα ποσά ηλιακής ακτινοβολίας. Αντίθετα, σε θερμά κλίματα και για κτίρια με μεγάλα εσωτερικά κέρδη, είναι προτιμότερη η χρήση ανακλαστικών υαλοπινάκων κυρίως σε επιφάνειες με δυτικό προσανατολισμό.

2.4.1.1.2 Αδιαφανή στοιχεία

Όταν η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει σε ένα εξωτερικό τοίχο ή σε μια αδιαφανή επιφάνεια, ένα μέρος της ενέργειας απορροφάται και το υπόλοιπο ανακλάται.

Ένα μέρος της ενέργειας που απορροφάται διαχέεται προς το εσωτερικό του τοίχου, ενώ το υπόλοιπο χάνεται είτε λόγω εκπομπών σαν μεγάλο μήκους κύματος ακτινοβολία προς το περιβάλλον, είτε με μεταφορά στον εξωτερικό αέρα.

Το ποσό της ηλιακής ενέργειας που απορροφάται από τους τοίχους εξαρτάται από το ποσό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, τη γωνία πρόσπτωσης, την απορροφητική ικανότητα του υλικού του τοίχου και την κατάσταση της επιφάνειας του τοίχου. Τοίχοι σκούρου χρώματος χωρίς επίχρισμα απορροφούν μεγαλύτερα ποσά ηλιακής ενέργειας από τους ανοιχτόχρωμους επιχρισμένους τοίχους.

Η συλλογή της θερμότητας μέσω των τοίχων εφαρμόζεται κύρια στις σχετικά θερμές περιοχές όπου δεν είναι απαραίτητη η χρησιμοποίηση θερμομόνωσης. Αντίθετα, στη βόρεια Ευρώπη, η ενέργεια που χάνεται μέσω μιας μη μονωμένης νότια προσανατολισμένης επιφάνειας τοίχου, είναι μεγαλύτερη από εκείνη που συλλέγεται από τον ήλιο. Έτσι, στα ψυχρά κλίματα της Ευρώπης όπου οι εξωτερικοί τοίχοι συνήθως θερμομονώνονται, η θερμομόνωση εμποδίζει τη διάχυση της θερμότητας στον τοίχο.

Η διαδικασία συλλογής θερμότητας στην πλάκα του δαπέδου είναι παρόμοια. Στην περίπτωση που το δάπεδο καλύπτεται από χαλί ή μοκέτα, τότε το χαλί έχει τη θέση του στρώματος μονώσεως.

2.4.1.1.3 Προθέρμανση του αερισμού των κτιρίων

Ο αέρας που χρησιμοποιείται για τον αερισμό των κτιρίων μπορεί να προθερμανθεί εάν παγιδευτεί σε περιοχές συλλογής, όπως τα θερμοκήπια και τα αίθρια.

Η μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία συλλέγεται μέσω των υαλοπινάκων στο κέλυφος του κτιρίου, απορροφάται από τα αδιαφανή στοιχεία του κτιρίου και μετατρέπεται σε μεγάλο μήκους κύματος ακτινοβολία (θερμότητα), η οποία δεσμεύεται από το γυαλί και παραμένει στο κτίριο.

Η αποτελεσματικότητα αυτού του συστήματος συλλογής της ηλιακής ενέργειας επηρεάζεται από τη γεωμετρία του, τα οπτικά χαρακτηριστικά του γυαλιού, καθώς και από τα χαρακτηριστικά των αδιαφανών στοιχείων του κτιρίου πάνω στα οποία προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία.

Η ενσωμάτωση ενός αίθριου ή ενός θερμοκηπίου σε ένα κτίριο, μπορεί να συμβάλλει στην εξοικονόμηση ενέργειας θερμαίνοντας τον αέρα που χρησιμοποιείται για τον αερισμό του κτιρίου. Το αίθριο (ηλιακός χώρος κλεισμένος κυρίως με γυαλί) είναι χώρος συνδεδεμένος με το κτίριο, ο οποίος χρησιμοποιείται με κύριο σκοπό την παροχή φυσικού φωτισμού και αερισμού στο κτίριο. Έτσι στις κύριες λειτουργίες ενός αίθριου περιλαμβάνονται:

- i. Παροχή ηλιακού φωτός στη διάρκεια του χειμώνα
- ii. Θέρμανση του εξωτερικού αέρα πριν εισέλθει στο κτίριο
- iii. Μείωση των απωλειών θέρμανσης λόγω αγωγής
- iv. Ήλιο το χειμώνα και σκιά το καλοκαίρι
- v. Παροχή χρήσιμου χώρου

Στη διάρκεια της ψυχρής περιόδου παρατηρείται μια αξιοσημείωτη αύξηση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του αίθριου. Η αύξηση αυτή εξαρτάται από τους ακόλουθους παράγοντες:

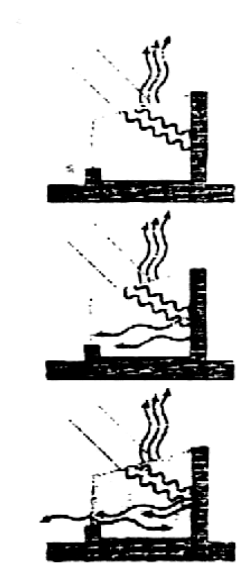
- Το λόγο της επιφάνειας του γυαλιού του αίθριου προς την επιφάνεια του τοίχου του κτιρίου, το οποίο προστατεύεται από το αίθριο.
- Τον προσανατολισμό και την κλίση του γυαλιού του αίθριου.
- Τη θερμική διαπερατότητα του τοίχου που χωρίζει το αίθριο από το κτίριο.

2.4.1.1.4 Το θερμοκήπιο ως συλλεκτικό σύστημα

Το θερμοκήπιο είναι ένας προσαρτημένος ηλιακός χώρος, κυρίως στη νότια πλευρά του κτιρίου, έχοντας μία ή και τις τρεις πλευρές του καλυμμένες με γυαλί. Οι υπόλοιπες πλευρές του είναι απλοί τοίχοι με θερμική μάζα, που συνδέονται με το κυρίως κτίριο. Συχνά τα θερμοκήπια είναι χώροι που προστίθενται εκ των υστέρων σε υπάρχοντα κτίρια, με μικρό κόστος και μπορούν να εξυπηρετούν πολλές λειτουργίες.

Η λειτουργία του συστήματος βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και είναι το αποτέλεσμα μιας διαδικασίας που ολοκληρώνεται σε τρία στάδια (σχ. 2.17):

- i. Η μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία συλλέγεται μέσω των υαλοπινάκων που υπάρχουν στο κέλυφος του κτιρίου.
- ii. Απορροφάται από τα αδιαφανή στοιχεία του κτιρίου.
- iii. Επανεκπέμπεται σαν μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία (θερμότητα), η οποία όμως παγιδεύεται από τα γυάλινα μέρη του κτιρίου, συγκρατείται και παραμένει στο κτίριο.



Σχήμα 2.17: Τα τρία στάδια λειτουργίας ενός θερμοκηπίου.

Η ηλιακή ακτινοβολία η οποία φθάνει στην επιφάνεια της γης έχει μήκη κύματος ανάμεσα σε 0,25 και 4 μm , και αποτελείται από υπεριώδες και ορατό φως. Όταν οι ακτίνες του ήλιου

πέφτουν πάνω στον υαλοπίνακα, το μεγαλύτερο μέρος από την μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία διαπερνά το γυαλί, αλλά το μεγαλύτερο ποσοστό της ακτινοβολίας μήκους κύματος μεγαλύτερου από 2,5 μm εμποδίζεται. Η ακτινοβολία που περνάει απορροφάται από τους τοίχους, το δάπεδο και τα άλλα αδιαφανή στοιχεία τα οποία θερμαίνονται και επανεκπέμπουν μεγάλο μήκους ακτινοβολία προς όλες τις διευθύνσεις. Όταν η μεγάλο μήκους κύματος ακτινοβολία φθάνει στο γυαλί, ένα τμήμα της ανακλάται και το υπόλοιπο απορροφάται. Η ενέργεια που απορροφάται τότε επανεκπέμπεται και προς τις δύο πλευρές του γυαλιού. Σαν αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας, ένα τμήμα της εισερχόμενης ακτινοβολίας παγιδεύεται στο εσωτερικό του κτιρίου προκαλώντας αύξηση της θερμοκρασίας του. Το αποτέλεσμα αυτό είναι ευρύτερα γνωστό σαν λειτουργία του θερμοκηπίου.

Η απόδοση του συστήματος επηρεάζεται από:

- Τον προσανατολισμό του θερμοκηπίου. Συνήθως προσαρτάται στη νότια όψη του κτιρίου, κατά τον άξονα ανατολή - δύση.
- Το μέγεθος του θερμοκηπίου. Για κρύα κλίματα απαιτούνται 0,65 - 1,5 m² νότιου διπλού υαλοστασίου για κάθε m² θερμαινόμενου εσωτερικού χώρου. Σε εύκρατα κλίματα η αναλογία αυτή μειώνεται σε 0,33 - 0,9 m².
- Την κλίση του υαλοστασίου.
- Το υλικό κάλυψης. Απαιτούνται διαφανή υλικά, γυαλί ή διαφανές πλαστικό. Η επιλογή γίνεται ανάλογα με το κόστος εγκατάστασης, την ποιότητα κατασκευής και τη λειτουργία του θερμοκηπίου.

2.4.1.2 Αποθήκευση της θερμικής ενέργειας

Ο σκοπός της αποθήκευσης είναι η διατήρηση της πλεονάζουσας θερμότητας με σκοπό την απελευθέρωση και τη χρησιμοποίηση της όταν χρειάζεται. Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε ένα υλικό απορροφάται μερικώς από αυτό, μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια και αποθηκεύεται στη μάζα του. Το υλικό τότε θερμαίνεται προοδευτικά με αγωγή, ενώ ταυτόχρονα η θερμότητα διαχέεται. Αυτή η διαδικασία, η οποία ονομάζεται «άμεση αποθήκευση», καθυστερεί τα αποτελέσματα της συλλογής της ηλιακής ενέργειας και αποφεύγεται έτσι η υπερθέρμανση.

Η θερμική ικανότητα αποθήκευσης ενός υλικού εξαρτάται από την ειδική του θερμότητα και το ειδικό του βάρος ή την πυκνότητα του.

Ένας τοίχος μπορεί επίσης να θερμανθεί απορροφώντας τη θερμότητα που ακτινοβολείτε από άλλους τοίχους που έχουν υψηλότερη θερμοκρασία ή από μεταφορά όταν ο αέρας που περιβάλλει τον τοίχο είναι θερμότερος. Αυτή η διαδικασία έχει σαν αποτέλεσμα την «έμμεση αποθήκευση» η οποία οφείλεται στην αυθόρμητη θερμοδυναμική τάση των σωμάτων για θερμική ισορροπία.

Αυτή η ισορροπία είναι πολύ χρήσιμη για την επίτευξη συνθηκών θερμικής άνεσης μέσα στο κτίριο.

2.4.1.2.1 Συστήματα άμεσης αποθήκευσης

Ο εσωτερικός χώρος θερμαίνεται άμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται από τα γυάλινα ανοίγματα. Η θερμική μάζα για την αποθήκευση είναι εκτεθειμένη στην ακτινοβολία (εξωτερικά ή εσωτερικά) ή θερμαίνεται λόγω θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ του εσωτερικού αέρα και του υλικού.

Οι παράγοντες που ευνοούν τη λειτουργία συστημάτων άμεσης αποθήκευσης είναι:

- Μεγάλοι υαλοπίνακες με νότιο προσανατολισμό
- Μεγάλη θερμική μάζα για την αποθήκευση της πλεονάζουσας ηλιακής ενέργειας ή των εσωτερικών κερδών
- Εξωτερική θερμική προστασία
- Μείωση θερμικών απωλειών

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα ενός συστήματος άμεσης αποθήκευσης είναι τα εξής:

- Η χρησιμοποίηση ενός συστήματος άμεσης αποθήκευσης, στην απλή του μορφή, συνεπάγεται ελάχιστο επιπλέον κόστος.
- Ένα σύστημα άμεσης αποθήκευσης επιτρέπει άμεση οπτική επαφή του εξωτερικού χώρου μέσω του συλλέκτη.

Ομοίως το σημαντικότερο μειονέκτημα του είναι:

- Η χρήση μεγάλων επιφανειών παραθύρων με νότιο ή νότιο - ανατολικό προσανατολισμό προϋποθέτει την ύπαρξη τεχνικών ελέγχου για την αποφυγή θάμβωσης ή υπερθέρμανσης του κτιρίου.

2.4.1.2.2 Συστήματα έμμεσης αποθήκευσης

Τα πιο διαδεδομένα συστήματα έμμεσης αποθήκευσης της θερμότητας σε ένα κτίριο θεωρούνται τα ακόλουθα:

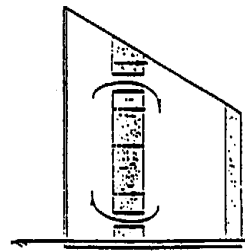
- α) Συστήματα τοίχου μάζας
- β) Συστήματα αποθήκευσης

2.4.1.2.2.1 Συστήματα τοίχου μάζας

Ο τοίχος μάζας συνδυάζει συλλογή, αποθήκευση και μετάδοση της ηλιακής ενέργειας σε ένα «γυάλινο τοίχο». Κατασκευάζεται από υλικά με μεγάλη θερμοχωρητικότητα και τοποθετείται κυρίως στη νότια πλευρά του κτιρίου. Ένα υαλοστάσιο τοποθετημένο σε μια απόσταση 3 - 10 cm από αυτόν προς την εξωτερική του πλευρά, χρησιμεύει για την δέσμευση της ηλιακής ακτινοβολίας. Ο τοίχος μάζας λειτουργεί ταυτόχρονα σαν ηλιακός συλλέκτης και σαν αποθηκευτικός χώρος ενέργειας εν αντιθέσει με τα ενεργητικά ηλιακά αποθηκευτικά συστήματα τα οποία λειτουργούν ανεξάρτητα με τα συστήματα συλλογής ηλιακής ενέργειας. Ο τοίχος μάζας είναι ένα παθητικό ηλιακό σύστημα το οποίο επιτελεί ταυτόχρονα τρεις λειτουργίες:

- Συγκεντρώνει την ηλιακή ενέργεια, σαν ένας κλασικός ενεργητικός ηλιακός συλλέκτης, κυρίως όταν είναι καλά προσανατολισμένος.
- Η ηλιακή ενέργεια απορροφάται από τον τοίχο και η επιφανειακή του θερμοκρασία αυξάνει, προκαλώντας επίσης αύξηση της θερμοκρασίας του ενδιάμεσου χώρου του τοίχου.
- Η θερμότητα η οποία απορροφάται από τον τοίχο μεταδίδεται αργά με αγωγή μέσω του τοίχου στα δωμάτια του κτιρίου. Ταυτόχρονα, ο αέρας μπορεί να μεταφερθεί από τον ενδιάμεσο χώρο του τοίχου προς τα δωμάτια του κτιρίου, παθητικά με φυσική κυκλοφορία ή ενεργητικά με μηχανικό αερισμό.

Μια παραλλαγή του κοινού τοίχου μάζας είναι ο τοίχος “Trombe”, ο οποίος μελετήθηκε από τον καθηγητή F. Trombe και τον αρχιτέκτονα J. Michel στη Γαλλία και εφαρμόστηκε στα πρώτα πειραματικά ηλιακά σπίτια στο Odeillo της Γαλλίας το 1967 (σχ. 2.18). Το σύστημα του τοίχου “Trombe” αποτελείται από ένα τοίχο από μπετόν, πάχους 30 - 40 cm, βαμμένο με σκούρο χρώμα στην εξωτερική πλευρά και με την γυάλινη επιφάνειά του σε απόσταση 3 cm από τον τοίχο.



Σχήμα 2.18: Τοίχος “Trombe”.

Πλεονεκτήματα του Τοίχου Μάζας

- Ο τοίχος μάζας είναι ένας απλός ηλιακός συλλέκτης και χρησιμοποιώντας αυτόν αποφεύγονται προβλήματα θάμβωσης μέσα στο κτίριο όταν συλλέγονται τα ηλιακά κέρδη.
- Η μεγάλη θερμική αδράνεια του τοίχου μάζας ελαχιστοποιεί τις ακραίες τιμές θερμοκρασίας στο τμήμα του κτιρίου που κατοικείται.
- Η λειτουργία αποθήκευσης του τοίχου μάζας δημιουργεί μια χρονική καθυστέρηση ανάμεσα στη συλλογή της ηλιακής ενέργειας και στη χρησιμοποίησή της. Αυτό δηλώνει πως σε πολλές περιπτώσεις το κτίριο θα μπορούσε να μην θερμαίνεται στην διάρκεια της νύχτας.
- Το γυαλί προστατεύει τον τοίχο από τα διάφορα καιρικά φαινόμενα.

Μειονεκτήματα του Τοίχου Μάζας

- Ο φυσικός φωτισμός μπορεί να περιορισθεί καθώς ο τοίχος μάζας ανταγωνίζεται τους υαλοπίνακες των παραθύρων.
- Εάν τα παράθυρα είναι πολύ μικρά και η αντίθεση ανάμεσα στον σκούρο τοίχο και στο γυαλί του τοίχου είναι μεγάλη, τότε ο τοίχος μάζας μπορεί να προκαλέσει θάμβωση μέσα στο κτίριο.
- Η μεγάλη γυάλινη επιφάνεια του τοίχου μάζας απαιτεί συχνό καθαρίσμα.
- Ο τοίχος μάζας κάνει περισσότερο πολύπλοκο τον έλεγχο των βοηθητικών συστημάτων θέρμανσης και δροσισμού.

Είδη Συστημάτων Τοίχου Μάζας

i. Τύπος τοίχου μάζας με εσωτερικά παράθυρα (σχ. 2.19)

Τα εσωτερικά παράθυρα στον τοίχο μάζας επιτρέπουν καλύτερη διέλευση των ηλιακών κερδών, αλλά και του φυσικού φωτισμού διαμέσου της επιφάνειας του τοίχου μάζας. Ωστόσο, παρουσιάζουν το μειονέκτημα ότι ο αποθηκευτικός όγκος ελαττώνεται.



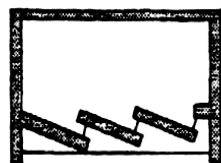
Σχήμα 2.19: Τοίχος μάζας με εσωτερικά παράθυρα

ii. Προσανατολισμός του τοίχου μάζας

Εάν ο τοίχος δεν είναι παράλληλος προς τον υαλοπίνακα, η περιοχή απορρόφησης και ο αποθηκευτικός όγκος αυξάνει σε σχέση με την επιφάνεια του γυαλιού.

iii. *Τοίχος μάζας με τεχνικές σκίασης (σχ. 2.20)*

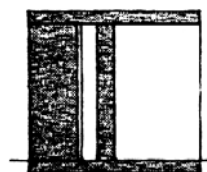
Ένα κινούμενο σκίαστρο για την προστασία από τον ήλιο στο μπροστινό μέρος του τοίχου μάζας διευκολύνει την αποφυγή υπερθέρμανσης στη διάρκεια των θερμών ημερών και ελαττώνει τις θερμικές απώλειες στην διάρκεια της νύχτας. Η προσθήκη του κινούμενου σκιάστρου αυξάνει φυσικά το ολικό κόστος, όμως είναι απαραίτητο για την επίτευξη συνθηκών θερμικής άνεσης.



Σχήμα 2.20: Τοίχος μάζας με τεχνικές σκίασης.

iv. *Τοίχος μάζας με αερισμό (σχ. 2.21)*

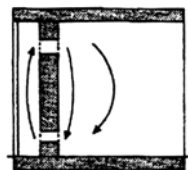
Όταν ο τοίχος μάζας αερίζεται φυσικά ή μηχανικά, η ηλιακή ενέργεια μεταδίδεται πιο γρήγορα στο κτίριο και με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα. Η αποθηκευτική ικανότητα του συστήματος μειώνεται, ενώ η χρονική καθυστέρηση ανάμεσα στην συλλογή και στην χρήση της ηλιακής ενέργειας ελαττώνεται.



Σχήμα 2.21: Τοίχος μάζας με αερισμό.

v. *Τοίχος μάζας με μόνωση (σχ. 2.22)*

Στην περίπτωση ενός αεριζόμενου τοίχου μάζας, ο τοίχος μπορεί να έχει μόνωση έτσι ώστε να ελαττώνονται οι απώλειες θερμότητας από το κτίριο.



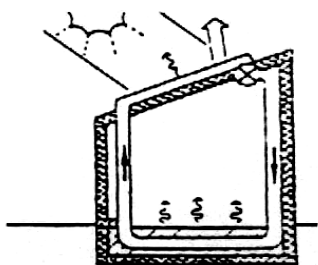
Σχήμα 2.22: Τοίχος μάζας με μόνωση.

2.4.1.2.2.2 Συστήματα αποθήκευσης

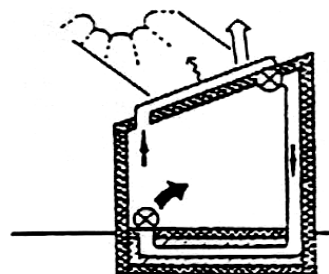
Τα συστήματα αυτά συνδυάζουν μια μικρής κλίμακας θερμική αποθήκευση με ηλιακούς συλλέκτες. Η αποφόρτιση της αποθηκευμένης ενέργειας μπορεί να γίνεται παθητικά ή ενεργητικά.

Εάν η αποφόρτιση είναι παθητική, το σύστημα ανακύκλωσης είναι πάντα κλειστό (σε συστήματα ανακύκλωσης, ο αέρας ρέει μέσα σε ένα κλειστό κύκλωμα και δεν έρχεται σε επαφή με τον αέρα του δωματίου, σχ. 2.23).

Εάν το σύστημα αποφόρτισης είναι ενεργητικό, τότε η αποφόρτιση μπορεί να είναι μέρος τόσο ενός κλειστού όσο και ενός ανοικτού συστήματος ανακύκλωσης (στο ανοικτό σύστημα ανακύκλωσης, ο αέρας του δωματίου χρησιμοποιείται σαν μέσο μεταφοράς θερμότητας, σχ. 2.24).



Σχήμα 2.23: Παθητική αποφόρτιση
αποφόρτιση



Σχήμα 2.24: Ενεργητική

(κλειστό σύστημα ανακύκλωσης).
ανακύκλωσης).

(ανοιχτό σύστημα

Πλεονεκτήματα

- Η θερμική αποθήκευση αυξάνει τη χρησιμοποίηση των ηλιακών κερδών καθώς η θερμική ενέργεια αποθηκεύεται κατά τη διάρκεια της ημέρας όταν ο ήλιος είναι δυνατός, μέχρι να χρησιμοποιηθεί κάποια στιγμή όταν η ηλιακή ακτινοβολία είναι μικρή.
- Τα συστήματα θερμικής αποθήκευσης συμβάλλουν στη μείωση των θερμικών φορτίων το πρωί, υπό την προϋπόθεση ότι η θερμοκρασία του αποθηκευτικού υλικού το οποίο εκτίθεται στο δωμάτιο (παθητική αποφόρτιση) δεν είναι μικρότερη από την καθορισμένη επιθυμητή θερμοκρασία του δωματίου στην διάρκεια της ημέρας.
- Ένα επιπλέον πλεονέκτημα είναι ότι τα υλικά του κτιρίου μπορούν να εφαρμόζονται ποικιλοτρόπως, όπως σαν δομικά υλικά, ή για προστασία από φωτιά και για αποθήκευση θερμότητας.

Μειονεκτήματα

- Η χρησιμοποίηση θερμικών αποθηκευτικών συστημάτων απαιτεί δυστυχώς κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας όταν το αποθηκευτικό σύστημα φορτίζεται ή αποφορτίζεται.
- Η δομή του κτιρίου πρέπει να είναι τέτοια ούτως ώστε να παρέχει επιπλέον όγκο για το αποθηκευτικό σύστημα.
- Οι ανεμιστήρες μπορεί να προκαλούν θόρυβο.

2.4.1.3 Διατήρηση της θερμότητας

Στη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του έτους, το κέλυφος του κτιρίου χάνει θερμότητα μέσω των θερμικών διαδικασιών της αγωγής, συναγωγής και ακτινοβολίας ή εξαιτίας του αερισμού και της μη επιθυμητής διείσδυσης του αέρα. Αυτές οι απώλειες θερμότητας όταν ο καιρός είναι ψυχρός πρέπει να ελαχιστοποιούνται ούτως ώστε η προσφερόμενη ενέργεια εξαιτίας των ηλιακών κερδών, καθώς και των βοηθητικών συστημάτων θέρμανσης να διατηρείται στο κτίριο όσο το δυνατόν περισσότερο.

2.4.1.3.1 Μείωση των απωλειών από το κέλυφος του κτιρίου

Οι απώλειες αυτές οφείλονται κύρια στη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στην εσωτερική και στην εξωτερική επιφάνεια του κελύφους, καθώς και στην θερμική αντίσταση των υλικών του κελύφους. Οι απώλειες αυτές πραγματοποιούνται με τις θερμικές διαδικασίες της αγωγής, της συναγωγής και της ακτινοβολίας και υπάρχουν διάφοροι τρόποι να ελαττωθούν. Οι σημαντικότεροι από αυτούς είναι οι εξής:

- Η χρησιμοποίηση θερμομόνωσης στο κέλυφος του κτιρίου με σκοπό την αύξηση της θερμικής του αντίστασης και έτσι την ελάττωση των απωλειών με αγωγή.
- Ο σχεδιασμός ενός όσο το δυνατόν περισσότερο συμπαγούς κτιρίου με σκοπό τη μείωση της επιφάνειας μέσω της οποίας η θερμότητα μπορεί να διαφύγει.
- Η μείωση, όπου είναι δυνατόν, της εσωτερικής θερμοκρασίας του κτιρίου με σκοπό να μειωθεί η θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα στον εσωτερικό και στον εξωτερικό αέρα και επομένως να μειωθούν και οι θερμικές απώλειες.
- Η χρησιμοποίηση κατάλληλων «εμποδίων» για τη διαφυγή της θερμότητας με ακτινοβολία, όπως για παράδειγμα υαλοπίνακες μικρής δυνατότητας εκπομπής.

Στα αδιαφανή στοιχεία του κτιρίου όπως οι τοίχοι, οι οροφές ή τα δάπεδα, η μείωση των θερμικών απωλειών επιτυγχάνεται κύρια με τη χρησιμοποίηση θερμομόνωσης. Αυτή

λειτουργεί ως εμπόδιο στη διαφυγή της θερμότητας με αγωγή βελτιώνοντας τις θερμικές ιδιότητες των αδιαφανών στοιχείων του κτιρίου. Η θερμομόνωση μπορεί να τοποθετηθεί στην εξωτερική επιφάνεια του τοίχου, στην εσωτερική ή μέσα στον τοίχο. Ωστόσο, η θέση της μόνωσης επηρεάζει την θερμική αδράνεια του τοίχου καθώς και την υγρασία μέσα στο κτίριο. Η εξωτερική θερμομόνωση αυξάνει την θερμική αδράνεια του τοίχου και μειώνει τον κίνδυνο εμφάνισης υγρασίας μέσα στο κτίριο.

Τα διαφανή στοιχεία του κτιρίου, όπως οι υαλοπίνακες, αποτελούν ένα εύκολο τρόπο για τη διαφυγή της θερμότητας από το κτίριο εξαιτίας των μικρών θερμικών ιδιοτήτων του γυαλιού. Η θερμική διαπερατότητα του διαφανούς υλικού μπορεί να μειωθεί στο μισό ή στο ένα τρίτο αν χρησιμοποιηθούν δύο ή τρία στρώματα γυαλιού αντί για ένα και τα κενά ανάμεσά τους πληρωθούν με ξηρό αέρα ή ένα ειδικό αέριο μικρής θερμικής αγωγιμότητας.

2.4.1.3.2 Μείωση των απωλειών λόγω διείσδυσης του αέρα

Η ανανέωση του αέρα μέσα στο κτίριο είναι απαραίτητη για την αποβολή του στάσιμου αέρα, του καπνού και των οσμών και για τη διατήρηση ικανοποιητικών επιπέδων οξυγόνου και υγρασίας μέσα στο κτίριο. Το ποσό του εξωτερικού αέρα που εισέρχεται στο κτίριο εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου και την πίεση καθώς και από τις θερμοκρασιακές διαφορές ανάμεσα στο εσωτερικό του κτιρίου και το εξωτερικό περιβάλλον.

Φυσικά δεν είναι επιθυμητό να σταματήσει τελείως η διείσδυση του αέρα μέσα στο κτίριο. Ο σκοπός είναι να ελαττωθεί τόσο ώστε να αποφευχθεί ο μη απαραίτητος αερισμός και η ανανέωση του αέρα να μπορεί να ελεγχθεί. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή σε κάθε σχεδιαστική παράμετρο που αφορά τη διείσδυση του αέρα στο κτίριο.

2.4.1.4 Διανομή της θερμότητας

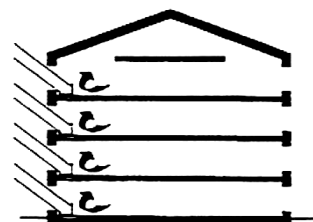
Ένα ιδανικό παθητικό ηλιακό κτίριο οφείλει να παρέχει τη θερμότητα απευθείας προς τις περιοχές όπου θα χρησιμοποιηθεί και έτσι δεν απαιτείται σύστημα διανομής της θερμότητας. Ωστόσο, αυτό δεν είναι πάντα εφικτό, όπως στην περίπτωση δωματίων με βόρειο προσανατολισμό, όπου η αποθηκευμένη θερμότητα πρέπει να διανεμηθεί στον κατάλληλο χρόνο. Η διανομή αυτή επιτυγχάνεται με φυσικά και μηχανικά μέσα.

Φυσική διανομή της θερμότητας

Στη φυσική διανομή της θερμότητας, η αποθηκευμένη θερμότητα μεταδίδεται με συναγωγή και ακτινοβολία. Η μεταφορά λαμβάνει χώρα όταν η θερμοκρασία επιφάνειας του αποθηκευτικού υλικού είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του αέρα που περιβάλλει το υλικό. Ιδιαίτερος παράγοντας σε αυτή την περίπτωση είναι η κίνηση της αέριας μάζας. Όσον αφορά την ακτινοβολία, όταν η θερμοκρασία επιφάνειας του αποθηκευτικού υλικού είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία επιφανείας των γειτονικών σωμάτων, τότε εκπέμπεται μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία.

Όταν η θερμότητα συσσωρευτεί στον τοίχο του κτιρίου, η διάχυσή της στην πλευρά που είναι εκτεθειμένη στον ήλιο είναι σχεδόν άμεση. Αντιθέτως, χρειάζεται κάποιος χρόνος μέχρι η θερμότητα να απελευθερωθεί στην αντίθετη πλευρά. Αυτή η χρονική καθυστέρηση, η οποία καθορίζεται σαν ο χρόνος ανάμεσα στη στιγμή που η εκτεθειμένη στον ήλιο επιφάνεια του τοίχου αποκτά την μέγιστη θερμοκρασία της και στη στιγμή που η αντίθετη επιφάνεια αποκτά την μέγιστη θερμοκρασία της, εξαρτάται από την θερμική αδράνεια του τοίχου.

Όταν η εσωτερική πλευρά ενός τοίχου αποκτά την κατάλληλη θερμοκρασία, ο αέρας του γειτονικού χώρου θερμαίνεται με μεταφορά, ενώ οι γειτονικές επιφάνειες θερμαίνονται με ακτινοβολία προκαλώντας έτσι τη διανομή της προσλαμβανόμενης θερμότητας σε χώρους του κτιρίου που δεν μπορούν να επωφεληθούν από τα άμεσα ηλιακά κέρδη. Έτσι, επιτυγχάνεται η διατήρηση των υψηλών θερμοκρασιών και μετά την έκθεση στον ήλιο, επομένως ελαττώνονται οι ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου (σχ. 2.25). Ένας τοίχος με μεγάλη θερμική αδράνεια θα επιτρέψει την αποθήκευση της θερμότητας στη διάρκεια της ημέρας και την απελευθέρωσή της κατά τη διάρκεια της νύχτας. Ένας μη μονωμένος τοίχος αυτού του τύπου είναι ιδιαίτερα χρήσιμος σε θερμά κλίματα όπου οι κατοικήσιμοι χώροι χρειάζονται θέρμανση μόνο κατά τη διάρκεια της νύχτας.

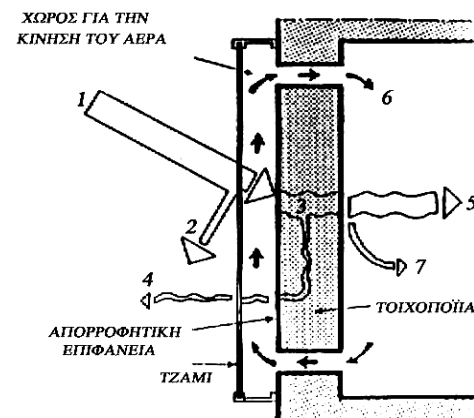


Σχήμα 2.25: Φυσική διανομή της θερμότητας μέσα στο κτίριο.

Θερμοκυκλοφορία

Μια άλλη μορφή φυσικής κυκλοφορίας είναι η θερμοκυκλοφορία. Αυτή εμφανίζεται όταν ο αέρας γίνεται ελαφρύτερος καθώς θερμαίνεται και επομένως αποκτά ανοδική κίνηση προκαλώντας έτσι την είσοδο φρέσκου αέρα στη θέση του.

Όταν η ηλιακή ακτινοβολία θερμαίνει έναν εσωτερικό τοίχο, η αποθηκευμένη θερμότητα ελευθερώνεται και θερμαίνει τον αέρα μέσα στο δωμάτιο με αγωγή. Καθώς ο αέρας γίνεται θερμότερος αποκτά ανοδική κίνηση και τη θέση του την παίρνει ο ψυχρότερος αέρας. Όταν ο θερμός αέρας φθάνει σε μια περιοχή του κτιρίου μη θερμαινόμενη άμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία, γίνεται ψυχρότερος. Στο μεταξύ, ο ψυχρότερος αέρας θερμαίνεται από την επαφή του με την επιφάνεια του τοίχου που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία. Έτσι δημιουργείται ένα σύστημα ανακύκλωσης του αέρα ανάμεσα στη ζώνη που θερμαίνεται άμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία και στις μη θερμαινόμενες ζώνες, όσο φυσικά το επιτρέπει η οργάνωση των χώρων. Αυτή η κίνηση του αέρα, η οποία μπορεί να ελεγχθεί από το άνοιγμα και κλείσιμο των θυρών και των εσωτερικών παραθύρων, ονομάζεται θερμοκυκλοφορία. Τέλος στο σχ. 2.26 παρουσιάζεται η λειτουργία ενός συστήματος τοίχου “Trombe” [1], ενώ στα σχ. 2.27 – σχ. 2.31 [1] φαίνονται διάφορες εφαρμογές των παθητικών συστημάτων.

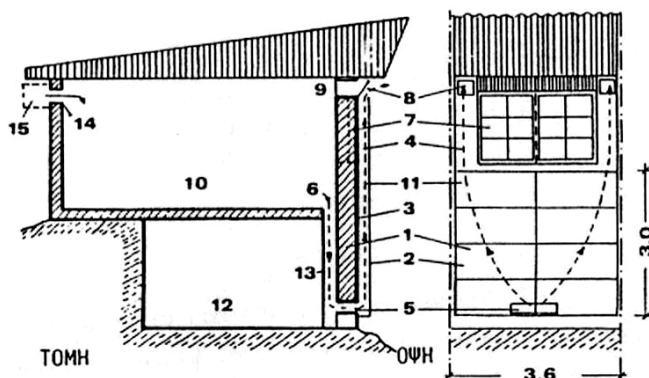


Σχήμα 2.26: Τοίχος θερμικής αποθήκευσης ή τοίχος “Trombe” (αναφέρονται οι διάφορες ενεργειακές διεργασίες).

1. Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία
2. Ανακλώμενη ακτινοβολία από τη γυάλινη επιφάνεια
3. Θερμική ενέργεια που απορροφάται από τον τοίχο
4. Θερμότητα που χάνεται από τον τοίχο
5. Θερμότητα που ακτινοβολείτε από τον τοίχο, προς τα μέσα, με χρονική καθυστέρηση
6. Θερμότητα που μεταφέρεται από τον αέρα
7. Θερμότητα που μεταφέρεται από την επιφάνεια του τοίχου

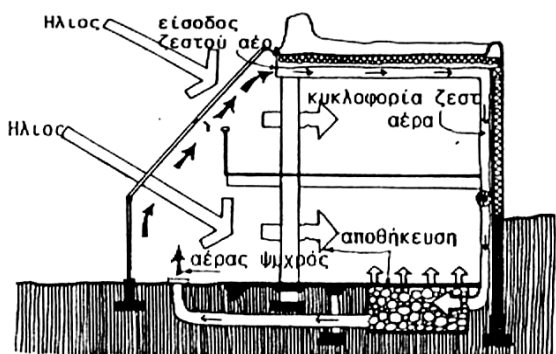
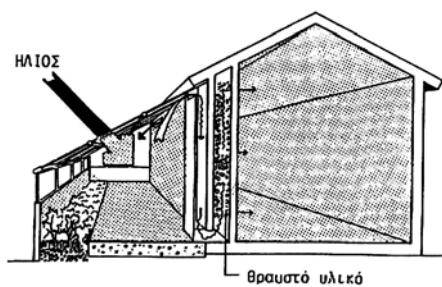
Επεξηγήσεις της κατασκευής:

1. Τοίχος από μπετόν για

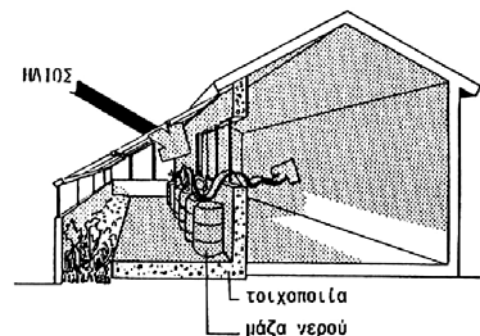
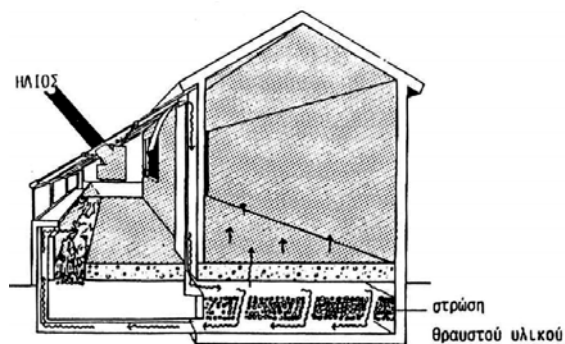


Σχήμα 2.27: Σχηματική παράσταση λειτουργίας ενός συστήματος τοίχου “Trombe”, κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.

1. Γυάλινη επιφάνεια σε απόσταση 5 cm
2. Τραχιά, θερμοαπορροφητική, βαμμένη μαύρη, επιφάνεια
3. Χώρος για την κίνηση του ζεστού αέρα
4. Είσοδος δροσερού αέρα από το περιβάλλον
5. Ψυχρότερος αέρας του χώρου
6. Παράθυρα
7. Θυρίδες με βαλβίδα για τη ρύθμιση της ροής του αέρα προς τα μέσα ή προς τα έξω
8. Έξοδος ζεστού αέρα
9. Εσωτερικός χώρος
10. Κίνηση του αέρα στο χώρο, ανάμεσα στο γυαλί και στον τοίχο
11. Διαχωριστικός τοίχος
12. Είσοδος δροσερού αέρα από τη βορινή πλευρά, με βαλβίδα για τη ρύθμιση της ροής το καλοκαίρι
13. Καθαρισμός του αέρα



Σχήμα 2.28: Ενίσχυση της θερμικής αποθήκευσης τεχνητή του διαχωριστικού τοίχου με θραυστό υλικό. θερμότητας.



Σχήμα 2.30: Ενίσχυση της θερμικής αποθήκευσης του θερμοκηπίου με δάπεδο από θραυστό υλικό.

Σχήμα 2.29: Θέρμανση χώρου με ανακυκλοφορία αέρα και αποθήκευση θερμότητας.

Σχήμα 2.31: Η θερμική μάζα του ενισχύεται με την τοποθέτηση δοχείων νερού.

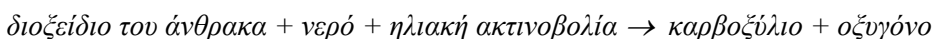
2.4.2 Φωτοχημικές μέθοδοι μετατροπής

Όπως αναφέρθηκε και στο πρώτο κεφάλαιο, οι φωτοχημικές μέθοδοι μετατροπής της ηλιακής ενέργειας παρουσιάζουν περιορισμένο ενδιαφέρον και για αυτό το λόγο θα παρουσιαστούν μόνο τα βασικά χαρακτηριστικά, ενώ θα αναφερθούν και οι κυριότερες εφαρμογές τους.

Η κατηγορία αυτή μεθόδων βασίζεται κυρίως στη χρησιμοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας για την πραγματοποίηση χημικών αντιδράσεων, που τα προϊόντα τους αποτελούν πρώτες ύλες για την εύκολη παραγωγή χρήσιμης ενέργειας.

Η κυριότερη μορφή χημικής μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας είναι η φωτοβιοχημική μετατροπή. Ορισμένοι βιολογικοί οργανισμοί κυρίως τα φυτά, συνθέτουν καρβοξύλιο από διοξείδιο του άνθρακα και νερό, απορροφώντας ένα ποσό από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία και αποθηκεύοντάς τη σε χημικές συνθέσεις.

Η γενική μορφή της φωτοσύνθεσης είναι:



Σήμερα το μεγαλύτερο ενδιαφέρον συγκεντρώνεται:

- α) Στη φωτοηλεκτρόλυση του νερού για την παραγωγή H_2 για να χρησιμοποιηθεί σαν καύσιμο. Οι αποδόσεις μετατροπής που επιτυγχάνονται εδώ φτάνουν το 2 %.

β) Στην προγραμματισμένη ανάπτυξη κατάλληλων φυτών για την παραγωγή καύσιμης ξυλείας (βιομάζα). Η απόδοση της μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας στην περίπτωση αυτή είναι περίπου 0,5 - 2 %.

2.4.3 Φωτοθερμικές μέθοδοι μετατροπής

Η ακτινοβολούμενη από τον ήλιο ενέργεια, όταν πέφτει πάνω σε μια μαύρη επιφάνεια απορροφάται κατά το μεγαλύτερο μέρος της από την επιφάνεια αυτή. Το φαινόμενο της απορρόφησης είναι αρκετά πολύπλοκο, όμως το τελικό αποτέλεσμα είναι ότι η ακτινοβολούμενη ενέργεια όλων των μηκών κύματος, η οποία είναι ενέργεια πολύ υψηλής ποιότητας, όταν προέρχεται από πολύ υψηλή θερμοκρασία, όπως είναι αυτή της επιφάνειας του ήλιου, υποβαθμίζεται σε θερμότητα, αυξάνοντας έτσι τη θερμοκρασία του σώματος που την απορροφά. Ο βαθμός απορρόφησης όλων των επιφανειών κυμαίνεται από 0,6 - 0,98, δηλαδή το 40 - 2 % της ενέργειας που προσπίπτει στην επιφάνεια δεν απορροφάται, αλλά ανακλάται στο περιβάλλον. Ένα μέρος από τη θερμότητα μεταφέρεται με αγωγή από την επιφάνεια που απορροφά την ενέργεια μέσω ενός εργαζόμενου μέσου, που μπορεί να είναι νερό ή αέρας που θερμαίνεται, ενώ το υπόλοιπο μεταδίδεται πάλι στο περιβάλλον με συναγωγή και ακτινοβολία. Η εκπομπή αυτή θερμότητας εξαρτάται βέβαια από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της επιφάνειας και του περιβάλλοντος χώρου. Έτσι, καθώς η επιφάνεια θερμαίνεται, οι απώλειες θερμότητας αυξάνονται. Θερμοκρασιακή ισορροπία επιτυγχάνεται όταν το ποσό της προσπίπτουσας ενέργειας ισοσκελίζει τις απώλειες, αλλά και την ενέργεια που απορροφά το εργαζόμενο μέσο.

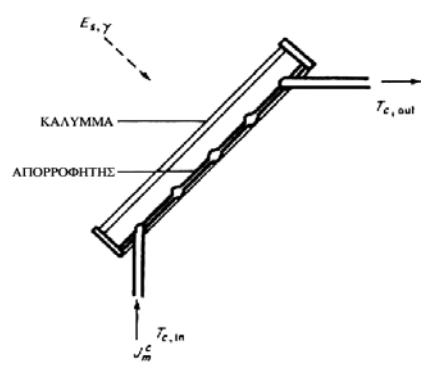
Αν η επιφάνεια απορρόφησης σκεπαστεί με ένα ή περισσότερα τζάμια, οι θερμικές απώλειες μειώνονται σημαντικά χωρίς σπουδαία μείωση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας από τον ήλιο. Αυτό οφείλεται στην επιλεκτική διαπερατότητα του τζαμιού. Ο συντελεστής διαπερατότητας του τζαμιού είναι μεγάλος για την εκπομπή μικρού μήκους κύματος, που αντιστοιχεί στην ηλιακή ακτινοβολία και σχεδόν μηδενίζεται για μεγαλύτερα μήκη κύματος που αντιστοιχούν στην υπέρυθη ακτινοβολία, που εκπέμπεται από την επιφάνεια απορρόφησης η οποία βρίσκεται σε θερμοκρασία μικρότερη των 100 °C. Το τζάμι μειώνει επίσης τις απώλειες συναγωγής, με άλλα λόγια δηλαδή αποτελεί «βαλβίδα» για την ακτινοβολία και επιτρέπει τη δίοδο ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος, ενώ παγιδεύει την ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος στο εσωτερικό. Το φαινόμενο αυτό είναι ευρύτερα γνωστό ως φαινόμενο «θερμοκηπίου».

Σε πολλές περιπτώσεις αντί για γυαλί χρησιμοποιούνται πλαστικά καλύμματα σε πολύ λεπτά φύλλα, που έχουν το πλεονέκτημα να είναι λιγότερο εύθραυστα, ελαφρύτερα και φθηνότερα από το γυαλί, όμως παρουσιάζουν ορισμένα μειονεκτήματα. Δεν έχουν τη διάρκεια ζωής του γυαλιού σε καιρικές συνθήκες δύσκολες και γηράσκουν, πράγμα που μειώνει τη διαπερατότητα της ηλιακής ακτινοβολίας και οδηγεί στη μείωση της μηχανικής αντοχής. Εξάλλου, το πλαστικό σε αντίθεση με το γυαλί, είναι διαφανές για ένα μέρος της ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος, με αποτέλεσμα οι απώλειες ακτινοβολίας του συλλέκτη να είναι μεγαλύτερες.

Με τους συλλέκτες πραγματοποιείται η μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμική ενέργεια, η οποία χρησιμοποιείται για οικιακές ή άλλες χρήσεις.

2.4.3.1 Επίπεδοι συλλέκτες

Ο όρος «επίπεδος συλλέκτης» χρησιμοποιείται για επιφάνειες απορρόφησης γενικά επίπεδες, αν και η συλλεκτική επιφάνεια δεν είναι απαραίτητο να είναι επίπεδη (μπορεί να είναι σχήματος V ή να έχει πρόσθετη εστιακή υποκατασκευή). Η πλευρά του συλλέκτη που αντικρίζει τον ήλιο μπορεί να έχει ένα σύστημα κάλυψης (π.χ. ένα ή περισσότερα στρώματα γυαλιού) και μια ροή μάζας J_m^c κάποιου ρευστού (π.χ. νερό ή αέρας) περνά μέσα από την επιφάνεια απορρόφησης «κουβαλώντας» τη θερμότητα, η οποία μεταφέρεται από το επίπεδο απορρόφησης στο ρευστό και από εκεί στην περιοχή φορτίου (όπου γίνεται χρήση) ή σε κάποια προσωρινή αποθήκη ενέργειας. Η γενική διάταξη παριστάνεται στο σχ. 2.32 [2].

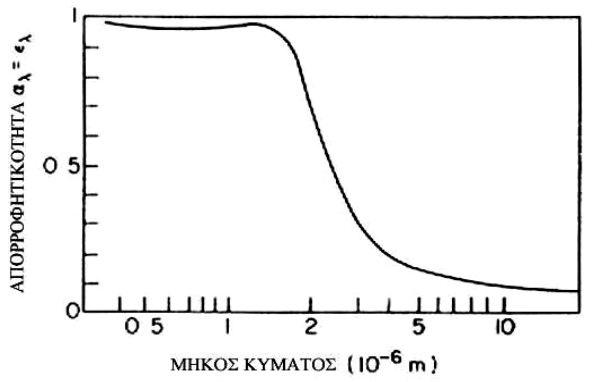


Σχήμα 2.32: Τυπικός ηλιακός συλλέκτης

Ο λεγόμενος απορροφητής χαρακτηρίζεται από μια απορροφητικότητα $\alpha_\lambda(\Omega)$, η οποία μπορεί να εξαρτάται από το μήκος κύματος και από τη διεύθυνση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

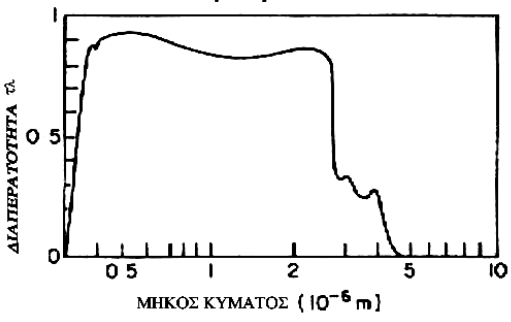
Σε αρκετές περιπτώσεις μπορεί να υποθεθεί, σε πρώτη φάση, ότι η απορροφητικότητα είναι ανεξάρτητη του μήκους κύματος και της διεύθυνσης («γκρίζο σώμα»). Για μια βαμμένη μαύρη επιφάνεια αυτό το α μπορεί να είναι περίπου 0,95, αλλά αν η επιφάνεια δέχεται ακτινοβολία με γωνία πρόσπτωσης άνω των 60° , τότε η απορροφητικότητα εξαρτάται από τη διεύθυνση πρόσπτωσης. Γύρω στις 90° η απορροφητικότητα σχεδόν μηδενίζεται [2]. Η δυνατότητα εκπομπής ϵ ισούται με την απορροφητικότητα (και οι δύο είναι ιδιότητες της επιφάνειας σύμφωνα με τη θεωρία του «γκρίζου σώματος»), και υψηλή απορροφητικότητα συνεπάγεται υψηλή ικανότητα εκπομπής σε όλα τα μήκη κύματος, συμπεριλαμβανομένου και αυτών που χαρακτηρίζουν την εκπομπή θερμότητας από τον απορροφητή θερμοκρασίας T_c .

Για να μειωθούν αυτές οι απώλειες, γίνονται κάποιες μετατροπές στην επιφάνεια έτσι ώστε η δυνατότητα εκπομπής να είναι μεγάλη για μικρά μήκη κύματος του ηλιακού φάσματος και μικρή στην περίπτωση μεγάλων μηκών κύματος (εκπομπή θερμότητας από τον απορροφητή). Τέτοιες επιφάνειες ονομάζονται «επιλεκτικές» και η εξάρτηση της ικανότητας εκπομπής-απορρόφησης είναι παρόμοια με αυτή που παρουσιάζεται στο σχ. 2.33 [2], η οποία δείχνει τις περιοχές που χαρακτηρίζονται από $\alpha^{sw} \approx 0,95$ και $\epsilon^{hw} \approx 0,1$.



Σχήμα 2.33: Φασματική απορρόφηση μιας μαύρης, επιλεκτικής, επιχρωμιωμένης επιφάνειας εμπορίου.

Εξάλλου, όπως φαίνεται και στο σχ. 2.32, ο απορροφητής μπορεί να καλύπτεται με υλικό το οποίο ελαττώνει τις απώλειες θερμότητας και ταυτόχρονα επιτρέπει τη διέλευση του μεγαλύτερου ποσού της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Το κάλυμμα μπορεί να αποτελείται, για παράδειγμα, από ένα ή περισσότερα στρώματα τζαμιού. Η διαπερατότητα του τζαμιού εξαρτάται από τον τύπο



Σχήμα 2.34: Φασματική εκπομπή γυάλινου καλύμματος με προσθήκη 10% κ.β. Fe₂O₃.

του και ιδιαίτερα από τα μοριακά συστατικά του, όπως Fe_2O_3 . Το σχ. 2.34 [2] δίνει ένα παράδειγμα της εξάρτησης της διαπερατότητας τ_λ , ενός απλού τζαμιού παραθύρου, από το μήκος κύματος.

Η διαπερατότητα τ_λ ορίζεται σαν το ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που δεν ανακλάται, αλλά ούτε απορροφάται. Δηλαδή:

$$\tau_\lambda = 1 - \rho_\lambda - \alpha_\lambda \quad (\Sigma 2.3)$$

Για ένα συλλέκτη τέτοιου τύπου, πολλαπλές ανακλάσεις μπορεί να συμβούν ανάμεσα στον απορροφητή και το σύστημα κάλυψης, όπως επίσης και ανάμεσα στα επί μέρους στρώματα κάλυψης, αν αυτά είναι πάνω από ένα. Οι ανακλάσεις είναι κυρίως κατοπτρικές (γωνία πρόσπτωσης ίση με γωνία ανάκλασης) σε γυάλινες επιφάνειες, αλλά διάχυτες (ημισφαιρικά ισοτροπικές) στην επιφάνεια απορρόφησης. Για το λόγο αυτό το ποσό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που απορροφάται από τον απορροφητή δεν μπορεί να υπολογιστεί γενικά με απλή γνώση της ολικής προσπίπτουσας ροής, αλλά πρέπει να υπολογιστεί για κάθε διεύθυνση πρόσπτωσης, όπως επίσης και για κάθε μήκος κύματος τόσο για την άμεση, όσο και για τη διάχυτη ή την ανακλώμενη ροή. Η ολική απορροφούμενη ροή προκύπτει τότε με ολοκλήρωση.

Σε πολλές περιπτώσεις, μια ικανοποιητικά καλή προσέγγιση, μπορεί να είναι η θεώρηση «μικρών» και «μεγάλων» μήκων κύματος (πάνω από $3 \cdot 10^{-6}$ m). Η καθαρή ενέργεια μικρού μήκους κύματος που συλλέγεται τότε, μπορεί να γραφτεί ως [2]:

$$E_c^{sw} = A \int E_{c+}^{sw}(\Omega) P^{t.a.}(\Omega) d\omega \quad (\Sigma 2.4)$$

όπου: $E_{c+}^{sw}(\Omega)$, η εισερχόμενη ροή μικρού μήκους κύματος για δεδομένη διεύθυνση

$P^{t.a.}(\Omega)$, το «προϊόν μεταφοράς - απορρόφησης» που ορίζεται ως το ποσοστό της ακτινοβολίας που διαπερνά το κάλυμμα και απορροφάται από την επιφάνεια απορρόφησης εμβαδού A .

Έχει υποθεθεί πως η επιφάνεια εμβαδού A συμπεριφέρεται ως αναλογική σταθερά, κάτι που σημαίνει πως η προσπίπτουσα ακτινοβολία όπως και οι ιδιότητες μεταφοράς - απορρόφησης συμπεριφέρονται ομοιόμορφα σε όλη την επιφάνεια συλλογής. Για ένα σύστημα κάλυψης που αποτελείται από N στρώματα, π.χ. γυαλιού, που χαρακτηρίζεται από ένα δείκτη διάθλασης σε σχέση με τον αέρα $n \sim 1,5$ και ένα συντελεστή εξάλειψης x , τέτοιο ώστε η μείωση στην ένταση της ακτινοβολίας η οποία καλύπτει μια απόσταση d εγκάρσια στο υλικό να είναι e^{-xd} , ενώ το ολικό πάχος για κάθε στρώμα κάλυψης να είναι L , τότε το «προϊόν μεταφοράς - απορρόφησης» μπορεί να γραφτεί ως [2]:

$$P^{t.a.}(\Omega) = \frac{1 - \rho}{1 + (2N - 1)\rho} e^{-xNL\cos\theta} \frac{a^{sw}}{1 - (1 - a^{sw})\rho_d(N)} \quad (\Sigma 2.5)$$

Όπου: θ , η πολική γωνία ανάμεσα στην γωνία πρόσπτωσης Ω και την κάθετη στην επιφάνεια ρ , η ανακλαστικότητα κάθε στρώματος καλύμματος, η οποία σε περίπτωση μη πολωμένου φωτός δίνεται από τη σχέση $\Sigma 2.6$.

$$\rho = \frac{1}{2} \left(\frac{\sin^2(\theta' - \theta)}{\sin^2(\theta' + \theta)} + \frac{\tan^2(\theta' - \theta)}{\tan^2(\theta' + \theta)} \right) \quad (\Sigma$$

2.6)

και θ' , η πολική γωνία διάθλασης:

$$\theta' = \text{Arcsin} \left(\frac{\sin \theta}{n} \right) \quad (\Sigma$$

2.7)

Η Σ 2.5 αποτελείται από 3 παράγοντες. Ο πρώτος περιγράφει τις πολλαπλές ανακλάσεις ανάμεσα στα N στρώματα κάλυψης, ο δεύτερος περιγράφει τη μείωση της έντασης της ακτινοβολίας όταν αυτή διαπερνά το τζάμι, ενώ ο τελευταίος παράγοντας περιγράφει την απορρόφηση στον απορροφητή μετά από πολλαπλές ανακλάσεις μπροστά και πίσω από το σύστημα κάλυψης και τον απορροφητή. Ο τελευταίος παράγοντας στη Σ 2.5 μπορεί να γραφτεί και ως εξής:

$$\frac{a^{sw}}{1 - (1 - a^{sw})\rho_d(N)} = a^{sw} \sum_{i=1}^{\infty} \left((1 - a^{sw})\rho_d \right)^i \quad (\Sigma 2.8)$$

κάτι που αποκαλύπτει, πως είναι το άθροισμα των i ανακλάσεων ανάμεσα σε απορροφητή και κάλυμμα (θεωρώντας μόνο το κατώτερο στρώμα), με την υπόθεση ότι το μη απορροφούμενο ποσοστό $(1 - a^{sw})$ από κάθε πρόσκρουση στον απορροφητή, ανακλάται διάχυτα προς την εσωτερική επιφάνεια του καλύμματος ανακλαστικότητας ρ_d (διαφορετική από την κατοπτρική ανάκλαση ρ). Για να γίνουν κατανοητές οι διαδικασίες κατά τις οποίες το φως το οποίο ανακλάται από την επιφάνεια απορρόφησης, διαπερνά και ανακλάται από τα στρώματα κάλυψης (όχι μόνο το κατώτερο) και τελικά επιστρέφει πίσω ώστε να απορροφηθεί από τον απορροφητή, ενεργές τιμές του ρ_d σαν συνάρτηση του N μπορούν να χρησιμοποιηθούν όπως φαίνεται στη Σ 2.5. Η διάχυτη ανάκλαση ρ_d μπορεί να προσεγγιστεί από την κατοπτρική ανάκλαση για μια γωνία πρόσπτωσης 60° [2].

Για το άμεσο τμήμα της προσπίπτουσας ροής, μόνο μια διεύθυνση Ω επιτρέπεται και η ολοκλήρωση στη Σ 2.4 θα πρέπει να παραληφθεί. Το ίδιο συμβαίνει στην περίπτωση κατοπτρικής ανάκλασης στο συλλέκτη, σε απλές περιπτώσεις, ενώ για περίπλοκη γεωμετρία των γύρω ανακλαστικών αντικειμένων περισσότερες διευθύνσεις θα πρέπει να ληφθούν υπόψη.

Το καθαρό κέρδος σε ενέργεια μεγάλου μήκους κύματος από το συλλέκτη, είναι η διαφορά ανάμεσα στη μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία που λαμβάνεται από το περιβάλλον, και στη μεγάλου μήκους κύματος που εκπέμπεται από το σύστημα συλλογής. Θεωρώντας τη θερμοκρασία του απορροφητή T_c σταθερή, η θερμική ακτινοβολία και το καθαρό κέρδος του απορροφητή χωρίς κάλυμμα θα ήταν [2]:

$$E_c^{hw}(N=0) = A \varepsilon^{hw} \sigma (T_e^4 - T_c^4) \quad (\Sigma 2.9)$$

Όπου η θερμοκρασία T_e του περιβάλλοντος είναι γενικά χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του αέρα T_a που περιβάλλει το σύστημα.

Τελικά, αισθητή θερμότητα μπορεί να ανταλλαχθεί ανάμεσα στο συλλέκτη και το περιβάλλον μέσω αγωγής και συναγωγής. Η μεταφερόμενη θερμότητα από το πίσω και το πλαϊνό μέρος του συλλέκτη μπορεί να εκφραστεί με τον ίδιο τρόπο όπως οι απώλειες θερμότητας από τα κτίρια, δηλαδή [2]:

$$\underset{back}{E}^{sens} = -A U_{back} (T_c - T_b) \quad (\Sigma$$

2.10)

Όπου U_{back} είναι μια σταθερά η οποία εξαρτάται από τις μονωτικές ιδιότητες των υλικών που χωρίζουν το πίσω τμήμα της επιφάνειας απορρόφησης από το περιβάλλον θερμοκρασίας T_b η οποία μπορεί να είναι ίση με την T_a , αν ο συλλέκτης στερεώνεται ελεύθερα σε εξωτερικό χώρο ή ίση με την εσωτερική θερμοκρασία T_L αν ο συλλέκτης αποτελεί τμήμα ενός τοίχου κτιρίου ή στέγης.

Η σταθερά U_{back} μπορεί να υποθεθεί ότι περιλαμβάνει τις απώλειες θερμότητας από τα πλαϊνά τμήματα του συλλέκτη, κυρίως λόγω αγωγής.

Το καθαρό τμήμα της αισθητής θερμότητας που εναλλάσσεται στο μπροστινό τμήμα του συλλέκτη εξαρτάται από τον αριθμό των στρωμάτων κάλυψης και από την ταχύτητα του ανέμου V , μια και η μεταφορά θερμότητας με συναγωγή περιορίζεται από το ρυθμό με τον οποίο ο θερμός αέρας στην κορυφή του μπροστινού καλύμματος απάγεται. Απουσία καλύμματος η εναλλαγή θερμότητας μπορεί να γραφτεί και ως εξής [2]:

$$E_{top}^{sens}(N=0) = -A f_1 (T_c - T_a) \quad (\Sigma 2.11)$$

Όπου f_1 είναι ένα πολυώνυμο του V με εμπειρικούς συντελεστές [2].

$$f_1 = 5,7 + 3,8V (W/deg \cdot m^2) \quad \text{και} \quad V (m/sec) \quad (\Sigma 2.12)$$

Με γυάλινο κάλυμμα οι $\Sigma 2.9$ και $\Sigma 2.11$ πρέπει να τροποποιηθούν, για παράδειγμα, λαμβάνοντας υπόψη τις εξισώσεις μεταφοράς θερμότητας για κάθε κάλυμμα στην περίπτωση μόνιμης κατάστασης, για σταθερές αλλά διαφορετικές θερμοκρασίες. Η $\Sigma 2.13$ [2] αποτελεί το αποτέλεσμα της προσέγγισης αυτής.

$$E_c^{hw} = - \frac{A\sigma(T_e^4 - T_c^4)}{\frac{1}{\varepsilon_p^{hw} + c_1 N(1 - \varepsilon_p^{hw})} + \frac{N}{\varepsilon_g^{hw}} [2 + (f_2 - 1/N)]} - N \quad (\Sigma 2.13)$$

Όπου: ε_p^{hw} και ε_g^{hw} είναι οι εκπομπές μεγάλου μήκους κύματος του απορροφητή και του τζαμιού αντίστοιχα.

$$\text{Επίσης,} \quad c_1 = 0,05 \quad \text{και} \quad f_2 = (1 - 0,04f_1 + 5 \cdot 10^{-4} f_1^2)(1 + 0,091N) \quad (\Sigma 2.14)$$

Έτσι λοιπόν η $\Sigma 2.11$ γίνεται [2]:

$$E_{top}^{sens} = -A (T_c - T_a) \left(\frac{NT_c}{f_3} f_4^{-c_2} + f_1^{-1} \right)^{-1} \quad (\Sigma 2.15)$$

$$\text{εδώ,} \quad c_2 = 0,33 \quad \text{και} \quad f_3 = 365,9(1 - 0,00883s + 0,0001298s^2) [K] \quad (\Sigma 2.16)$$

με s τη γωνία κλίσης του συλλέκτη, ενώ:

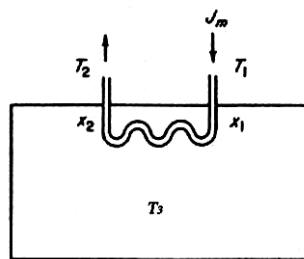
$$f_4 = (T_c - T_a)/(N + f_2) \quad (\Sigma 2.17)$$

Σε περίπτωση που $f_4 < 1$, αντικαθίσταται η σταθερά f_4 με τη μονάδα, ενώ όλες οι θερμοκρασίες που εμφανίζονται είναι σε Κ. Τελικά το ολικό κέρδος του συλλέκτη προκύπτει από τη συνεισφορά των παραπάνω μεγεθών και είναι [2]:

$$E_c^{gain} = E_c^{sw} + E_c^{hw} + E_{top}^{sens} + E_{back}^{sens} \quad (\Sigma 2.18)$$

2.4.3.1.1 Επίπεδος συλλέκτης με αποθήκη θερμότητας

Αρχικά θα παρουσιαστούν οι βασικές αρχές εναλλαγής θερμότητας, έτσι ώστε να γίνουν πιο κατανοητές οι όλες διαδικασίες. Η κατάσταση που περιγράφεται στο σχ. 2.20 συχνά συναντάται στα συστήματα παροχής ενέργειας. Ένα ρευστό περνά μέσα από μια δεξαμενή θερμοκρασίας T_3 αλλάζοντας έτσι τη θερμοκρασία του από T_1 σε T_2 . Για να καθοριστεί η T_2 σαν συνάρτηση των T_1 και T_3 με την προϋπόθεση ότι η μεταβολή της T_3 είναι αρκετά μικρότερη από την αντίστοιχη από T_1 σε T_2 , γίνεται η θεώρηση ότι το ρευστό διανύει μια μικρή απόσταση dx μέσα στον αγωγό και ότι η θερμότητα που μεταφέρεται στην δεξαμενή εξαρτάται γραμμικά από τη μεταβολή της θερμοκρασίας. Έτσι:



Σχήμα 2.35:
Εναλλάκτης θερμότητας
(Δεξαμενή ομοιόμορφης
θερμοκρασίας T_3).

$$J_m C_p^{fluid} \frac{dT^{fluid}}{dx} = h'(T_3 - T^{fluid})$$

(Σ 2.19)

Όπου: h' είναι η μεταφορά θερμότητας ανά μονάδα χρόνου για μια μονάδα μήκους του αγωγού και για μια μοναδιαία μεταβολή θερμότητας.

Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας h' για όλο το μήκος του εναλλάκτη είναι:

$$h' = \int_{x_1}^{x_2} h' dx \quad (\Sigma 2.20)$$

Στην είσοδο του ρευστού ($x = x_1$) η Σ 2.19 γίνεται:

$$T^{fluid}(x) - T_3 = (T_1 - T_3) \exp\left(-\frac{h'(x - x_1)}{J_m C_p^{fluid}}\right) \quad (\Sigma 2.21)$$

Ενώ για $x = x_2$ [2]:

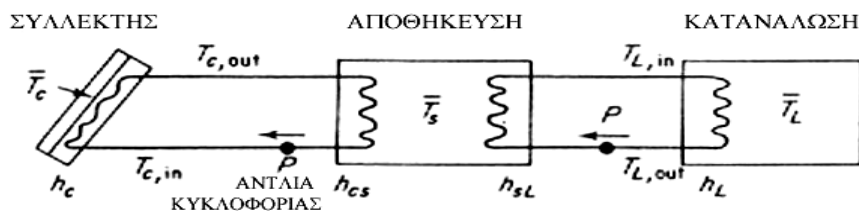
$$T_1 - T_2 = (T_1 - T_3) \left(1 - \exp\left(-\frac{h}{J_m C_p^{fluid}}\right)\right) \quad (\Sigma 2.22)$$

Τέλος ο συντελεστής h' μπορεί να γραφτεί και ως εξής:

$$h = U_h A_h$$

όπου U_h ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας ανά μονάδα επιφάνειας του αγωγού και A_h η ενεργός επιφάνεια του εναλλάκτη.

Ο γενικός σχεδιασμός ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη με αποθήκευση θερμότητας παρουσιάζεται στο σχ. 2.36.



Σχήμα 2.36: Σχηματική παράσταση ενός ηλιακού θερμικού συστήματος με επίπεδο συλλέκτη και δεξαμενή αποθήκευσης της θερμότητας. Διακρίνονται οι τέσσερις εναλλαγές θερμότητας:

- α) Ηλιακή ακτινοβολία → Πλάκα απορρόφησης συλλέκτη
- β) Πλάκα απορρόφησης συλλέκτη → Σωλήνες ρευστού μεταφοράς θερμότητας
- γ) Σωλήνες ρευστού μεταφοράς θερμότητας → Ρευστό δεξαμενής αποθήκευσης
- δ) Ρευστό δεξαμενής αποθήκευσης → Υδραυλικό σύστημα (προς κατανάλωση)

Υπάρχουν δύο εναλλάκτες θερμότητας στην πλευρά του συλλέκτη και δύο στην περιοχή φορτίου. Αν ο πραγματικός αριθμός είναι μικρότερος, για παράδειγμα εάν η αποθήκευση είναι με τη μορφή ρευστού το οποίο κυκλοφορείται απευθείας μέσω του συλλέκτη, τότε ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας h στην Σ 2.22 απειρίζεται. Ενώ η σχέση ανάμεσα στις θερμοκρασίες σε κάθε εναλλάκτη θερμότητας δίνεται από την Σ 2.22, η ενέργεια που μεταφέρεται στην αποθήκη σχετίζεται με την θερμοκρασία αποθήκευσης (η μέση τιμή της οποίας είναι T_s) και μπορεί να υπολογιστεί από το ισοζύγιο ενέργειας των σχετικών ροών, με την προϋπόθεση ότι η θερμοκρασία αποθήκευσης είναι ομοιόμορφη [2].

$$S C^s \frac{dT_s}{dt} = J_m^c C_p^c (T_{c,out} - T_{c,in}) - J_m^L C_p^L (T_{L,in} - T_{L,out}) - h_s (T_s - T_0) \quad (\Sigma 2.23)$$

Εδώ S είναι ο όγκος αποθήκευσης (ή η μάζα) και C^s η θερμοχωρητικότητα του όγκου (ή της μάζας) αποθήκευσης βασιζόμενη στο υλικό που χρησιμοποιείται για αποθήκευση (υποθέτοντας αποθήκευση με τη μορφή αισθητής θερμότητας). Οι δείκτες c και L διαχωρίζουν τις ροές στο συλλέκτη και την περιοχή φορτίου, ενώ T_0 είναι η περιβάλλουσα θερμοκρασία γύρω από τον όγκο αποθήκευσης, για παράδειγμα η θερμοκρασία χώματος στην περίπτωση υπόγειας αποθήκευσης, βάση της οποίας το σύστημα χάνει ενέργεια μέσω των τοιχωμάτων του. Ένα παρόμοιο ισοζύγιο ενέργειας για την περιοχή φορτίου είναι της μορφής:

$$L C^L \frac{dT_L}{dt} = J_m^L C_p^L (T_{L,in} - T_{L,out}) - h_L (T_L - T_0) \quad (\Sigma 2.24)$$

Γίνεται η υπόθεση ότι η περιοχή φορτίου είναι ένα κτίριο όγκου (ή μάζας) L και μέσης θερμοκρασίας T_L το οποίο μπορεί να χάνει ενέργεια προς το περιβάλλον θερμοκρασίας T_0 . Στην περίπτωση που σκοπός είναι η θέρμανση νερού μπορεί να περιγραφεί από ένα όρο παρόμοιο με τον πρώτο στο δεξιό σκέλος της Σ 2.24, αλλά $T_{L,out}$ είναι η θερμοκρασία εισόδου και $T_{L,in}$ η θερμοκρασία του νερού που παρέχεται από το σύστημα προς χρήση. Χρησιμοποιώντας τις παραπάνω σχέσεις υπολογίζονται τα h_c , h_{cs} , h_{sL} και h_L που εμφανίζονται στο σχ. 2.37.

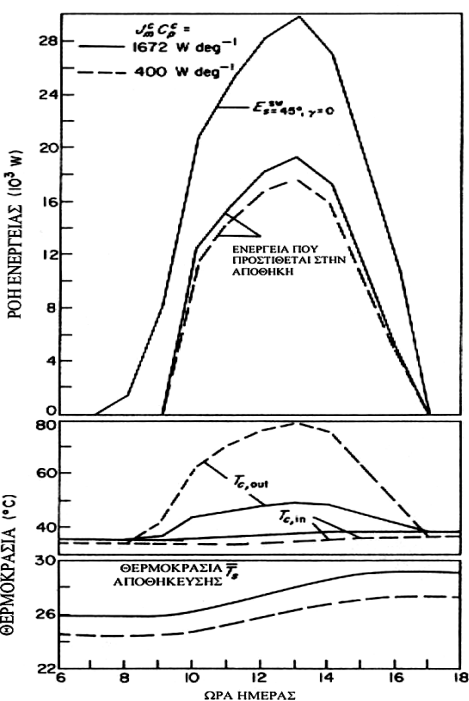
Η απόδοση του συλλέκτη μπορεί να οριστεί ως [2]:

$$\eta_c = J_m^c C_p^c (T_{c,out} - T_{c,in}) / E_{s,\gamma}^{SW} \quad (\Sigma 2.25)$$

Όπου ο παρανομαστής υπολογίζεται από την Σ 1.28. Μόνο εάν η θερμοχωρητικότητα του συλλέκτη είναι αμελητέα ή αυτός λειτουργεί σε σταθερή θερμοκρασία, μπορεί η μεταφορά θερμότητας από το συλλέκτη (προς το ρευστό) να υπολογιστεί από την Σ 2.18 απευθείας.

Όταν η θερμοκρασία αποθήκευσης T_s , είναι χαμηλή, η μέση θερμοκρασία της επιφάνειας του συλλέκτη T_L θα είναι αρκετά χαμηλή και επομένως οι απώλειες θα είναι μικρές. Μια και η $T_{c,in}$ θα είναι πάντα υψηλότερη από την

T_s (αλλά όχι πάντα από την \bar{T}_s , μια και συχνά το ρευστό αφήνει το μέρος αποθήκευσης από ένα μέρος χαμηλής θερμοκρασίας, εάν η T_s δεν είναι ομοιόμορφη), η συσσωρευμένη αποθηκευμένη ενέργεια και οι σχετικές μεταξύ τους αυξήσεις, των T_s και $T_{c,in}$ θα επιφέρουν αύξηση στις απώλειες του συλλέκτη, δηλαδή μειωμένη απόδοση. Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας στο να οριστεί η απόδοση ενός ενεργειακού συλλέκτη, είναι η ροή μάζας του ρευστού που κυκλοφορεί μέσα στη μονάδα του συλλέκτη J_m^c . Το σχ. 2.37 [2] δίνει ένα παράδειγμα της λειτουργίας ενός παρόμοιου συστήματος με δυο διαφορετικές τιμές της J_m^c . Με τη χαμηλή ταχύτητα του ρευστού, η θερμοκρασία εξόδου από το συλλέκτη $T_{c,out}$, είναι περίπου 45 °C πάνω από τη θερμοκρασία εισόδου, αλλά η ενέργεια που μεταφέρεται στην αποθήκη είναι αρκετά μικρότερη από την αντίστοιχη στην περίπτωση της υψηλότερης ταχύτητας του ρευστού, προκαλώντας μια μικρότερη διαφορά ανάμεσα σε $T_{c,out}$ και $T_{c,in}$, αλλά μεγαλύτερο ενεργειακό όφελος εξαιτίας των μικρότερων απωλειών.



Σχήμα 2.37: Λειτουργία ενός θερμικού ηλιακού συστήματος.

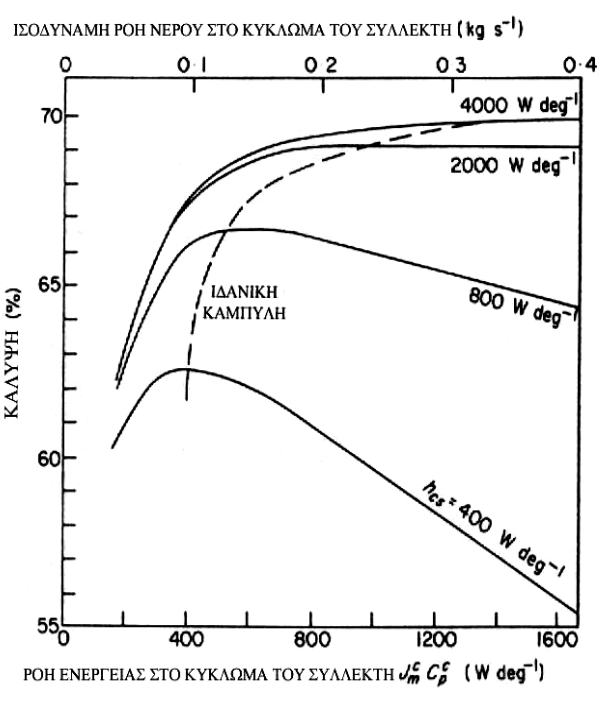
Η βέλτιστη ροή μάζας του ρευστού για μια δεδομένη ικανότητα εναλλαγής θερμότητας h_{cs} (υποθέτοντας τέλεια μεταφορά θερμότητας στον συλλέκτη), μπορεί να βρεθεί με υπολογισμό της απόδοσης του συλλέκτη σαν συνάρτηση της J_m^c ή πιο πρακτικά, με υπολογισμό του ποσοστού κάλυψης της απαιτούμενης ενέργειας από το ηλιακό θερμικό σύστημα. Αν θεωρηθεί ένα δεδομένο ηλιακό θερμικό σύστημα, το ποσοστό κάλυψης του ολικού θερμικού φορτίου για μια εκτεταμένη περίοδο, π.χ. χρόνος, μπορεί να αποτιμηθεί σαν συνάρτηση της J_m^c , όπως φαίνεται στο σχ. 2.38 [2].

Αν στόχος είναι η 100 % κάλυψη, η παράμετρος προς βελτιστοποίηση θα μπορούσε να είναι το μικρότερο μέγεθος, π.χ. επιφάνεια συλλογής A , κάτι που θα επέτρεπε την πλήρη κάλυψη του φορτίου οποιαδήποτε ώρα. Το παράδειγμα του σχ. 2.38 εκφράζει τις ανάγκες μιας οικογένειας, που κατοικεί σε γεωγραφικό πλάτος 56° βόρεια, για θέρμανση και ζεστό νερό. Για κάθε τιμή του συντελεστή εναλλαγής θερμότητας h_{cs} ανάμεσα στο συλλέκτη και τη μονάδα αποθήκευσης, καθορίζεται η βέλτιστη ροή μάζας. Με αυξανόμενο h_{cs} , η περιοχή αποδεκτών τιμών της J_m^c διευρύνεται, ενώ η αύξηση της J_m^c που φαίνεται για μεγαλύτερα h_{cs} , δεν βελτιώνει σημαντικά τη λειτουργία του συστήματος

Έτσι σύντομα το σύστημα γίνεται αντικοινωνικό εξαιτίας της ενέργειας που ξοδεύεται κατά την άντληση του ρευστού (η απαιτούμενη ενέργεια για άντληση είναι αμελητέα για χαμηλές ταχύτητες ρευστού, αλλά η αντίσταση του αγωγού αυξάνεται με την ταχύτητα του ρευστού και η αντίσταση του εναλλάκτη αυξάνει με το h_{cs}).

Τα αποτελέσματα του σχ. 2.38 μπορούν να ερμηνευτούν υποθέτοντας μια μικρή αύξηση της ταχύτητας του ρευστού, από περίπου 0,1 έως περίπου 0,2 kg (ή lt)/sec, όταν ο συντελεστής εναλλαγής θερμότητας αυξάνεται από 400 σε 4.000 W/deg (για το δεδομένο σύστημα).

Το πρόβλημα βελτιστοποίησης που περιγράφηκε στο προηγούμενο παράδειγμα, είναι τυπικό της προσέγγισης που αφορά την απόδοση ολοκληρωμένων ηλιακών θερμικών συστημάτων. Επειδή η κατανομή του φορτίου με το χρόνο σχετίζεται με την αντίστοιχη της συλλογής της ηλιακής ενέργειας, μια στιγμιαία απόδοση (ποσό της ενέργειας που προσδίδεται στην κατανάλωση προς την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια) δεν θα είχε νόημα να οριστεί. Αντίθετα αν ο παραπάνω λόγος υπολογιστεί για μέσες τιμές, οι οποίες θα έχουν υπολογιστεί



Εικόνα 2.38: Εξάρτηση της ροής ενέργειας στο κύκλωμα του συλλέκτη, από το ποσοστό κάλυψης ($s=45^\circ$).

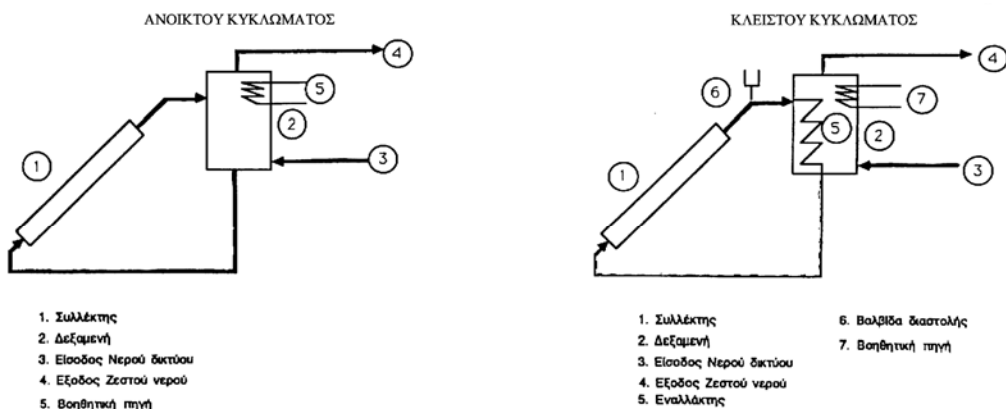
για μεγάλο χρονικό διάστημα και θα εκφράζουν έτσι την περιοδικότητα των μεγεθών, τότε η απόδοση που ορίζεται έχει πραγματική σημασία.

$$n_{system} = \frac{\bar{c}}{E_{s,\gamma}^{sw}} \quad (\Sigma \quad 2.26)$$

όπου: \bar{c} η μέση κάλυψη του φορτίου από το ηλιακό ενεργειακό σύστημα

$E_{s,\gamma}^{sw}$ η μέση μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια του συλλέκτη

Συμπερασματικά, η μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία ή οι άλλες θερμικές συνεισφορές στην προσπίπτουσα ροή δεν περιλαμβάνονται στους παραπάνω ορισμούς (Σ 2.25 /2.26). Στο σχ. 2.39 τέλος, παρουσιάζονται συστήματα ανοικτού και κλειστού κυκλώματος με επίπεδο συλλέκτη και αποθήκη θερμότητας.



Σχήμα 2.39: Σχηματική παράσταση θερμικών συστημάτων φυσικής κυκλοφορίας, ανοικτού και κλειστού κυκλώματος.

Επίσης μια και το αντικείμενο του κεφαλαίου ήταν οι επίπεδοι συλλέκτες στους πίν 2.3-2.7 [1] παρουσιάζεται η ολική ακτινοβολία για διάφορα μέρη της Ελλάδας, για όλους τους μήνες του χρόνου και για κλίσεις συλλέκτη 0° , 30° , 45° , 60° και 90° αντίστοιχα.

Πίνακας 2.3: Ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο [$\text{kWh/m}^2 \cdot \text{mo}$].

	ΣΤΑΘΜΟΣ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΣΥΝΟΛΟ
1	Αθήνα	58	74	110	147	190	204	219	202	149	104	70	54	132	1.581
2	Άλιartos	48	64	102	139	182	197	205	210	138	91	61	47	124	1.483
3	Αραξος	59	71	111	143	181	189	207	195	147	103	68	52	127	1.527
4	Αγοστόλι	61	72	111	137	190	207	217	198	146	102	67	52	130	1.559
5	Αρτα	60	68	109	130	178	193	208	192	141	100	65	52	125	1.497
6	Βράκλειο	59	75	110	151	196	214	226	205	157	105	75	58	136	1.631
7	Θεσσαλονίκη	49	64	96	135	174	186	205	178	131	87	55	44	117	1.403
8	Ιεράπετρα	72	85	127	155	195	216	227	211	164	120	87	69	144	1.728
9	Ιωάννινα	48	59	95	124	165	177	196	177	127	91	56	42	113	1.357
10	Καλαμάτα	66	76	116	135	192	209	217	198	149	106	75	55	133	1.596
11	Κέρκυρα	54	65	103	137	178	201	217	193	140	97	60	48	124	1.493
12	Κομοτινή	50	61	92	128	165	183	194	177	130	91	55	45	114	1.368
13	Κόνιτσα	52	61	100	118	163	174	193	176	126	89	59	49	113	1.361
14	Κόρινθος	54	69	110	139	185	199	208	194	145	101	69	54	127	1.526
15	Κύθηρα	67	77	114	143	190	212	218	200	153	109	74	59	135	1.615
16	Λαμία	51	62	105	137	180	198	204	187	135	92	63	52	122	1.466
17	Λάρισα	47	62	100	138	179	189	202	186	135	91	61	44	119	1.433
18	Μεθώνη	59	73	113	136	186	202	213	194	147	107	73	55	130	1.556
19	Μήλος	53	60	107	159	200	227	241	220	168	102	72	49	138	1.660
20	Μυτιλήνη	51	65	102	138	189	207	222	200	150	101	64	49	128	1.539
21	Νάξος	54	69	107	142	183	199	207	192	150	105	70	54	128	1.531
22	Πάρος	58	75	114	151	198	216	223	202	155	108	72	56	136	1.629
23	Πάτρα	53	67	113	129	177	199	203	185	141	99	62	51	123	1.479
24	Πύργος	64	73	117	138	191	206	216	198	149	106	74	59	133	1.592
25	Ρέθυμνο	59	76	106	145	194	206	222	203	149	95	76	56	132	1.587
26	Ρόδος	64	77	122	155	196	214	227	211	166	117	79	61	141	1.686
27	Σάμος	60	74	111	144	188	210	221	202	158	111	72	54	134	1.606
28	Σέρρες	47	60	97	130	170	185	196	178	129	87	56	45	115	1.380
29	Σητεία	60	75	115	149	195	212	224	202	156	107	77	58	136	1.630
30	Εκώρος	45	61	95	139	187	205	215	194	142	93	59	45	123	1.480
31	Σούδα	59	75	112	149	196	206	221	208	156	102	74	57	135	1.616
32	Σύρος	56	75	109	154	198	208	226	204	155	112	70	55	135	1.621
33	Τυμπάκιο	69	83	128	152	193	213	223	213	162	118	83	66	142	1.703
34	Χανιά	59	75	112	149	196	215	229	210	154	101	74	56	136	1.630
35	Χίος	53	67	108	144	195	214	226	205	155	107	67	52	133	1.594
36	Αθηνος	45	62	101	140	184	200	206	192	142	96	58	44	132	1.469

Πίνακας 2.4: Ολική ηλιακή ακτινοβολία σε επίπεδο με κλίση 30° [kWh/m²·mo].

	ΣΤΑΣΜΟΣ	I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΣΥΝΟΛΟ ΕΤΟΥΣ
1	Αθήνα	87	99	129	152	179	184	202	203	170	136	105	85	144	1.730
2	Αλιάρτος	69	83	119	144	172	179	189	211	156	117	89	71	133	1.600
3	Αραβος	89	94	130	148	171	171	191	196	167	135	102	81	140	1.677
4	Αγιοστάλι	93	96	130	142	180	187	200	199	166	134	100	81	142	1.707
5	Αστα	94	91	129	135	169	176	193	194	161	132	99	84	138	1.656
6	Βράκλειο	83	97	126	154	183	190	205	202	176	133	108	87	145	1.744
7	Βεσσαλονίκη	75	87	113	142	167	171	192	181	151	115	83	70	129	1.544
8	Βεράπετρα	106	111	147	158	181	192	205	208	184	155	129	107	157	1.882
9	Βεθάνινα	71	77	111	129	157	162	182	179	144	119	83	64	123	1.478
10	Βελαμύτα	100	101	135	138	180	188	199	197	168	138	112	84	145	1.741
11	Βέρκυρα	83	87	121	148	170	183	202	195	161	129	90	76	137	1.640
12	Βουσιτινή	78	83	108	134	158	168	182	180	150	132	84	74	127	1.522
13	Βόνιτσα	80	81	118	123	156	160	180	178	144	117	89	80	125	1.503
14	Βόρινθος	79	91	129	144	175	180	192	194	165	132	103	85	139	1.666
15	Βούθηρα	100	101	132	146	178	189	199	198	172	140	108	90	146	1.753
16	Βαυλία	75	81	123	142	171	180	189	188	153	120	94	83	133	1.600
17	Βαυσία	69	82	117	144	171	173	188	188	154	119	92	68	130	1.565
18	Βεθάνη	86	96	131	139	175	181	195	193	165	139	108	84	141	1.692
19	Βηλλος	75	75	123	164	188	203	220	219	192	131	106	72	147	1.767
20	Βυτιλήνη	76	86	119	143	180	188	206	202	173	134	96	77	140	1.580
21	Βάθος	77	90	124	146	172	179	190	191	170	136	103	83	138	1.660
22	Βάρος	83	98	132	155	185	193	203	200	174	140	104	84	146	1.751
23	Βάτρα	78	88	133	133	167	180	187	185	160	125	91	79	134	1.611
24	Βύργος	98	97	138	142	100	186	199	198	169	139	112	94	146	1.751
25	Βέθυμνο	83	98	120	148	181	183	201	200	166	118	110	83	141	1.691
26	Βόδος	95	101	142	159	184	191	207	210	188	153	118	95	153	1.843
27	Βάμος	90	99	130	149	177	189	203	202	181	147	108	84	147	1.759
28	Βέρες	72	81	115	136	163	170	184	181	149	116	86	74	127	1.526
29	Βητεία	85	96	132	152	181	188	203	199	174	136	111	86	146	1.743
30	Βκύρος	64	79	110	144	178	186	199	195	162	121	87	68	133	1.594
31	Βούδα	84	97	129	152	183	184	201	206	175	129	107	85	144	1.731
32	Βύρος	82	100	127	159	187	187	207	204	176	148	104	85	147	1.766
33	Βυμπάκιο	101	108	148	155	179	189	202	210	181	152	122	101	154	1.847
34	Βανιά	83	97	128	152	183	191	208	207	172	127	107	83	145	1.738
35	Βίος	78	88	127	149	185	194	208	206	178	142	100	82	145	1.737
36	Βήμος	66	82	119	147	176	183	192	195	164	128	82	69	134	1.606

Πίνακας 2.5: Ολική ηλιακή ακτινοβολία σε επίπεδο με κλίση 45° [kWh/m²·mo].

ΕΤΑΘΜΟΣ	I	Φ	Ν	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Ε	Ο	Ν	Δ	ΜΕΤΩΣ ΟΡΟΣ	ΕΥΝΟΔΟ ΕΤΟΥΣ
1 Αθήνα	95	104	128	144	162	163	179	188	167	142	115	94	140	1.680
2 Αλιάρτος	74	87	118	136	156	158	169	196	154	121	97	78	129	1.545
3 Αραξός	98	99	130	140	155	152	170	181	165	141	111	90	136	1.631
4 Αργυστόλι	102	101	130	134	162	165	178	184	163	139	109	90	138	1.658
5 Άστα	103	96	129	128	154	156	173	180	159	139	108	93	135	1.617
6 Βοάκλειο	90	100	124	145	164	166	181	186	171	137	117	95	140	1.675
7 Θεσσαλονίκη	82	92	113	135	152	153	172	169	149	120	90	78	125	1.505
8 Γεράπετρα	115	116	146	148	162	167	180	190	179	160	139	117	152	1.821
9 Ιωάννινα	77	81	111	122	143	145	164	166	142	125	90	70	120	1.436
10 Καλαμάτα	109	105	135	130	163	165	176	182	165	143	122	93	141	1.689
11 Κέρκυρα	91	91	122	136	154	163	181	182	159	135	98	85	133	1.596
12 Κομοτινή	87	87	109	128	145	151	164	169	149	128	92	83	124	1.491
13 Κόνιτσα	88	85	118	116	142	143	162	166	142	122	98	89	122	1.469
14 Κόρινθος	86	95	128	136	158	159	171	180	162	137	112	93	135	1.617
15 Κύθηρα	108	105	131	137	160	166	176	182	168	145	117	99	141	1.694
16 Λαμία	82	85	123	135	155	160	169	175	151	124	104	92	129	1.553
17 Λάρισα	75	86	118	137	155	154	169	175	152	125	101	75	127	1.520
18 Μεθώνη	93	100	131	131	157	160	173	178	162	144	117	92	136	1.638
19 Μήλος	80	77	122	155	169	178	194	202	188	135	115	78	141	1.694
20 Μυτιλήνη	82	90	119	136	163	167	184	188	170	140	105	85	136	1.630
21 Νάξος	83	93	123	138	155	158	169	177	166	141	112	91	134	1.605
22 Πάρος	89	102	131	146	166	169	179	184	170	145	113	92	140	1.685
23 Πάτρα	84	92	133	126	152	160	167	172	157	134	98	87	130	1.563
24 Πύργος	107	102	138	134	163	164	177	183	166	145	122	105	142	1.705
25 Ρέθυμνο	89	102	119	139	162	160	177	184	161	121	118	90	135	1.622
26 Ρόδος	103	106	142	150	165	168	183	193	185	159	128	104	148	1.785
27 Σάμος	98	103	129	141	160	167	181	187	178	153	118	93	142	1.708
28 Σέρρες	79	85	116	130	149	152	166	170	147	121	94	83	125	1.492
29 Σητεία	91	100	130	142	162	164	179	183	170	140	120	94	140	1.674
30 Σκύρος	69	83	108	137	161	165	178	182	160	126	94	75	128	1.538
31 Σούδα	90	101	127	143	164	161	177	189	171	133	115	93	138	1.664
32 Σύρος	89	105	126	151	168	165	184	189	173	154	113	94	142	1.710
33 Τυμπάκιο	109	113	147	145	160	165	177	192	176	157	131	111	149	1.784
34 Χανιά	90	100	127	143	164	167	183	190	168	131	115	90	139	1.667
35 Χίος	85	92	126	141	167	171	186	191	175	148	109	90	140	1.683
36 Δήμος	71	87	119	139	160	163	172	182	162	134	95	76	130	1.559

Πίνακας 2.6: Ολική ηλιακή ακτινοβολία σε επίπεδο με κλίση 60° [kWh/m²·mo].

	ΣΤΑΘΜΟΣ	I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΣΥΝΟΛΟ ΕΤΟΥΣ
1	Αθήνα	97	103	122	129	138	135	150	164	155	140	118	97	129	1.549
2	Αλλιατος	75	86	112	122	133	132	142	171	143	119	99	81	118	1.417
3	Αραξος	101	99	124	125	132	127	143	159	153	139	114	93	126	1.508
4	Αργοστόλι	105	100	124	120	139	137	149	161	152	137	112	93	127	1.529
5	Αστα	107	96	123	115	132	131	145	158	148	137	111	97	125	1.500
6	Ηράκλειο	91	99	117	128	138	136	149	161	158	134	119	97	127	1.526
7	Θεσσαλονίκη	85	92	108	122	131	129	146	149	139	119	93	82	116	1.395
8	Ιεράπετρα	118	115	137	131	136	136	148	164	165	156	142	121	139	1.670
9	Ιωάννινα	80	80	105	110	123	122	139	147	133	123	92	73	111	1.326
10	Καλαμάτα	118	105	128	116	138	136	147	159	153	140	125	96	130	1.556
11	Κέρκυρα	94	91	116	122	133	136	152	160	148	133	101	89	123	1.476
12	Κομοτινή	90	87	104	116	125	128	140	149	140	128	95	87	116	1.388
13	Κόνιτσα	91	85	113	105	122	121	137	146	132	121	100	93	114	1.366
14	Κόρινθος	88	94	122	121	135	132	143	157	150	135	115	97	124	1.490
15	Κύθηρα	111	104	123	122	135	136	146	158	155	142	119	102	130	1.554
16	Λαμία	84	84	117	121	133	133	142	153	141	123	105	96	119	1.433
17	Λάρισα	77	86	112	123	133	129	143	154	142	123	104	78	117	1.403
18	Μεθώνη	95	99	123	117	134	132	144	155	150	141	120	95	125	1.505
19	Μήλος	82	76	115	138	143	146	160	175	174	133	117	80	128	1.538
20	Μυτιλήνη	85	90	113	122	139	139	154	165	159	139	108	89	125	1.502
21	Νάξος	85	92	116	123	132	131	141	154	154	139	114	94	123	1.474
22	Πάρος	91	100	123	129	140	138	148	160	157	142	114	95	128	1.538
23	Πάτρα	87	91	126	113	130	133	141	150	146	132	101	91	120	1.441
24	Πύργος	111	101	131	120	138	136	148	160	154	142	125	109	131	1.575
25	Ρέθυμνο	91	100	112	123	136	132	146	159	149	118	120	92	123	1.477
26	Ρόδος	105	105	134	133	139	138	151	167	171	156	131	108	137	1.639
27	Σάμος	101	103	123	126	136	138	151	163	165	151	121	96	131	1.575
28	Σέρρες	82	85	111	117	129	129	141	150	138	120	97	87	116	1.387
29	Σητεία	92	98	123	126	137	135	147	158	156	136	122	96	127	1.525
30	Σκύρος	70	82	104	123	138	138	149	159	149	124	96	78	117	1.410
31	Σούδα	92	99	120	127	138	132	147	163	157	130	117	96	126	1.518
32	Σύρος	91	104	119	134	143	137	153	164	161	152	115	98	131	1.571
33	Τυμπάκιο	111	111	139	128	135	135	146	166	162	153	134	114	136	1.634
34	Χανιά	91	99	119	127	138	137	151	164	155	128	117	93	126	1.517
35	Χίος	87	92	120	127	142	142	155	167	163	146	112	94	129	1.548
36	Δρυϊνος	73	86	114	125	137	136	146	160	151	133	98	79	120	1.438

Πίνακας 2.7: Ολική ηλιακή ακτινοβολία σε κατακόρυφο επίπεδο [kWh/m²·mo].

	ΣΤΑΘΜΟΣ	I	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΣΥΝΟΛΟ ΕΤΟΥΣ
1	Αθήνα	87	86	91	83	78	72	80	97	109	114	104	89	91	1.090
2	Αλιάρτος	67	72	84	79	77	71	78	101	101	97	87	73	82	987
3	Αραξός	90	82	93	81	76	69	78	95	108	113	101	85	89	1.070
4	Αργυστόλι	94	84	93	78	79	73	80	96	107	112	99	85	90	1.078
5	Αστα	97	80	93	75	77	72	80	96	105	112	99	89	90	1.075
6	Βράκλειο	79	81	86	81	75	69	76	92	108	107	103	87	87	1.043
7	Θεσσαλονίκη	77	78	83	81	78	72	82	92	101	98	83	75	83	1.000
8	Ιεράπετρα	104	94	100	82	74	68	75	93	112	124	124	109	97	1.159
9	Ιωάννινα	71	67	80	73	73	69	78	90	95	101	82	66	79	946
10	Καλαμάτα	100	87	95	75	77	71	78	93	106	113	110	87	91	1.093
11	Κέρκυρα	85	77	88	80	77	74	83	97	106	110	90	81	87	1.049
12	Κομοτινή	82	74	80	77	75	72	80	93	101	106	85	81	84	1.008
13	Κόνιτσα	82	71	86	70	73	68	78	90	95	99	90	86	82	989
14	Κόρινθος	78	79	91	79	77	71	77	94	106	109	102	88	87	1.050
15	Κύθηρα	98	86	91	78	75	70	76	92	107	114	104	92	90	1.082
16	Λαμία	75	70	88	79	77	72	78	93	100	100	93	88	85	1.014
17	Λάρισα	69	72	85	81	78	72	79	94	102	101	92	71	83	995
18	Μεθώνη	84	82	92	75	75	69	76	91	104	114	105	86	88	1.054
19	Μήλος	72	62	86	87	79	73	81	100	120	107	103	72	87	1.041
20	Μυτιλήνη	76	75	86	80	80	75	83	99	113	114	96	81	88	1.057
21	Νάξος	75	76	87	79	75	69	76	91	107	112	100	85	86	1.031
22	Πάρος	80	83	91	82	77	70	77	92	108	114	100	85	88	1.058
23	Πάτρα	77	76	95	74	75	71	77	91	103	108	89	83	85	1.018
24	Πύργος	99	84	98	78	78	72	79	95	108	116	111	99	93	1.116
25	Ρέθυμνο	79	82	82	77	75	67	75	91	102	94	104	82	84	1.010
26	Ρόδος	93	86	99	84	77	71	78	96	118	126	115	98	95	1.141
27	Σάμος	90	86	92	81	77	73	80	96	115	123	107	87	92	1.108
28	Σέρρες	75	72	85	78	77	73	80	94	100	100	87	80	83	1.002
29	Σητεία	80	80	90	79	74	68	75	90	107	108	106	86	87	1.043
30	Σκύρος	62	68	78	80	79	74	81	96	106	101	85	71	82	981
31	Σούδα	80	82	88	80	76	68	75	93	108	104	102	85	87	1.042
32	Σύρος	80	86	89	86	80	72	80	96	112	123	102	89	91	1.095
33	Τυμπάκιο	98	91	101	80	74	68	74	93	110	122	116	102	94	1.130
34	Χανιά	79	81	88	80	75	69	76	94	106	102	101	82	86	1.033
35	Χίος	78	77	90	82	80	75	82	99	115	120	100	86	90	1.082
36	Αίγινα	65	73	87	83	80	75	81	97	108	109	87	72	85	1.017

2.4.3.1.2 Ηλιακό θερμοσίφωνο

Τα πλέον διαδεδομένα ηλιακά θερμικά συστήματα για οικιακή χρήση, είναι τα λεγόμενα θερμοσιφωνικά συστήματα (ηλιακοί θερμοσίφωνες). Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούν επίπεδους συλλέκτες και η απόδοση μετατροπής της ηλιακής ενέργειας φθάνει το 30 – 40 %. Η ευρεία αποδοχή τους οφείλεται στο χαμηλό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας. Στην Ελλάδα είναι σήμερα εγκατεστημένα πάνω από 1.500.000 m² ηλιακών συλλεκτών, που το 90 % ανήκει σε θερμοσιφωνικά συστήματα.

Τα θερμοσιφωνικά συστήματα κατατάσσονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες. Η μία είναι η ονομαζόμενη «ανοικτού κυκλώματος» ή «φυσικής κυκλοφορίας», όπου το υγρό που κυκλοφορεί στο συλλέκτη είναι το ίδιο με το προς κατανάλωση νερό του δοχείου αποθήκευσης (σχ 2.39α). Αυτό το σύστημα αποτελεί την πιο απλή ηλιακή συσκευή όπου το νερό ζεσταίνεται μέσα στο συλλέκτη και λόγω διαφοράς πυκνότητας ανέρχεται στη δεξαμενή. Για να γίνει αυτό πρέπει η δεξαμενή να βρίσκεται σε ψηλότερο σημείο. Στο κύκλωμα του συλλέκτη κυκλοφορεί νερό δικτύου, οπότε υπάρχει κίνδυνος παγώματος και διάβρωσης. Ενδείκνυται για θερινές χρήσεις (π.χ. εξοχικά σπίτια), ενώ παρουσιάζει καλό βαθμό απόδοσης. Η άλλη κατηγορία συστημάτων είναι τα λεγόμενα «κλειστού κυκλώματος» και είναι αυτά που κυρίως εφαρμόζονται σήμερα. Στη συνέχεια θα γίνει παρουσίαση αυτών των συστημάτων και θα περιγραφούν τα βασικότερα χαρακτηριστικά τους.

• Περιγραφή και λειτουργία συστημάτων κλειστού κυκλώματος

Στα συστήματα «κλειστού κυκλώματος» το υγρό του συλλέκτη είναι διαφορετικό από το νερό του δοχείου, η δε ανταλλαγή θερμότητας γίνεται μέσω εναλλάκτη. Ένα ηλιακό θερμοσίφωνο λοιπόν, τέτοιου τύπου αποτελείται από τα εξής τμήματα:

Ηλιακός συλλέκτης

Τα ενεργειακά χαρακτηριστικά του συλλέκτη αναφέρθηκαν σε προηγούμενη παράγραφο του κεφαλαίου, οπότε εδώ θα δοθεί βαρύτητα στα γεωμετρικά-κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του. Αρχίζοντας από τη συλλεκτική-απορροφητική επιφάνεια, είναι κατασκευασμένη συνήθως από δύο συγκολλημένα ελάσματα (χάλυβα, χαλκού, νικελίου ή αλουμινίου). Το άνω έλασμα το οποίο επιστρώνεται εξωτερικά με ειδική, απορροφητική, ανεξίτηλη μαύρη βαφή (υψηλής απορροφητικότητας), διαμορφώνεται κατάλληλα ώστε να σχηματίζει κανάλια, στα οποία εφάπτονται οι σωλήνες (συνήθως χαλκού) οι οποίοι μεταφέρουν το θερμικό υγρό, που κυκλοφορεί στο κλειστό κύκλωμα του συλλέκτη. Η εφαρμογή γίνεται με τέτοιο τρόπο (σύσφιξη ή συγκόλληση) ώστε να εξασφαλίζεται πλήρης και άμεση μετάδοση της θερμότητας προς το εργαζόμενο μέσο.

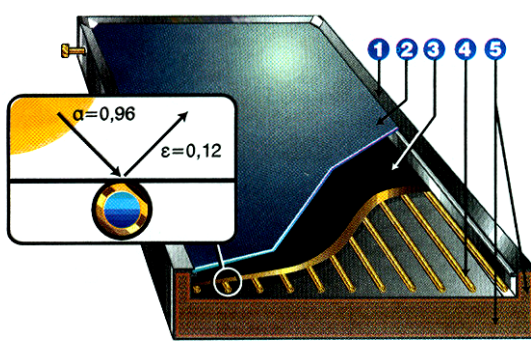
Η απορροφητική πλάκα μαζί με τους σωλήνες εγκαθίστανται πάνω σε ειδικό πλαίσιο με πλάτη το οποίο μπορεί να είναι από ανοδευμένο αλουμίνιο ή ατσάλι ορθογώνιου συνήθως σχήματος και ποικίλων διαστάσεων. Η τοποθέτηση του πλαισίου γίνεται για προφανείς στηρικτικούς και προστατευτικούς λόγους.

Για να ελαττωθούν οι θερμικές απώλειες από τα πλαϊνά και την πλάτη του συλλέκτη, τοποθετείται μόνωση από υαλοβάμβακα, πολουρεθάνη ή πετροβάμβακα.

Το πάνω τμήμα του συλλέκτη καλύπτεται από ειδικό, άθραυστο (για προστασία έναντι των καιρικών συνθηκών) κρύσταλλο, για καλύτερη απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι ιδιότητες του υαλοπίνακα έναντι της ακτινοβολίας αναφέρθηκαν σε προηγούμενη παράγραφο. Συνήθως χρησιμοποιούνται παραπάνω από ένα, γυάλινα καλύμματα, μικρού πάχους, για να ελαττωθούν οι απώλειες εκπομπής μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας από την απορροφητική πλάκα του συλλέκτη.

Η στήριξη του υαλοπίνακα πάνω στο πλαίσιο του συλλέκτη γίνεται με ειδικό, υδατοστεγή και αντικραδασμικό τρόπο.

Ένας τυπικός ηλιακός συλλέκτης εμπορίου παρουσιάζεται στο σχ. 2.40.



1. Ειδικά σχεδιασμένο φαρδύ πλαίσιο, από ανοδευμένο αλουμίνιο.
2. Ειδικό άθραυστο κρύσταλλο για καλύτερη απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας.
3. Συλλεκτική επιφάνεια. Μαύρο χρώμα πάνω σε ειδικό υπόστρωμα νικελίου κολλημένο στους σωλήνες χαλκού με τεχνολογία υπερήχων.
4. Σωλήνες χαλκού.
5. Μόνωση πετροβάμβακα.

Σχήμα 2.40: Βασικά χαρακτηριστικά ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη, επιλεκτικής επιφάνειας.

Το όλο σύστημα του συλλέκτη τοποθετείται πάνω σε ειδικά διαμορφωμένες βάσεις, υπό κλίση, ανάλογα με διάφορους παράγοντες, όπως είναι οι κλιματολογικές συνθήκες, η γεωγραφική θέση, η εποχή λειτουργίας κ.α.

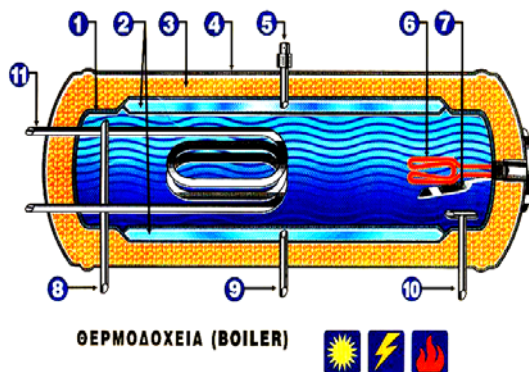
Θερμοδοχείο (Boiler)

Το θερμοδοχείο είναι κυλινδρικής μορφής από ανοξείδωτο συνήθως ατσάλι (έναντι διάβρωσης) ή χαλκό. Εσωτερικά γίνεται επίστρωση συνήθως από μαγνήσιο για την επίτευξη ανοδικής προστασίας. Από τη μια πλευρά του δοχείου εφαρμόζεται συνήθως ανοξείδωτη φλάντζα για τον προσικό καθαρισμό του δοχείου.

Κυλινδρικά, εξωτερικά, υπάρχει ο εναλλάκτης θερμότητας, από ανοξείδωτο συνήθως χάλυβα, υπό μορφή λεπτού στρώματος (μανδύα) ώστε να περιβρέχει εξωτερικά μεγάλο τμήμα του δοχείου. Ο εναλλάκτης μπορεί να εφαρμοστεί και υπό μορφή αυλών ή σερπαντίνας, αλλά αυτός ο τρόπος δεν έχει ευρεία εφαρμογή.

Εξωτερικά του θερμοδοχείου υπάρχει θερμομόνωση από πολουρεθάνη συνήθως, πάχους περίπου 70 mm και πυκνότητας 35 - 40 kg/m³.

Εξωτερικά υπάρχει το κυλινδρικό κέλυφος (περίβλημα) από ανοξείδωτο ατσάλι (π.χ. 304B ή L). Εσωτερικά τώρα, υπάρχει ηλεκτρική αντίσταση ειδικής κατασκευής, αντιδιαβρωτική με θερμοστάτη ασφαλείας (στα λεγόμενα boiler διπλής ενέργειας). Έτσι σε περίπτωση μη επαρκούς ηλιοφάνειας χρησιμοποιείται η ηλεκτρική αντίσταση. Συνήθως συνδυάζεται με ανοδική προστασία έναντι διάβρωσης. Στα boiler τριπλής ενέργειας (3E) τώρα, εισάγεται στο εσωτερικό του θερμοδοχείου σερπαντίνα από ανοξείδωτο χάλυβα, για συμπληρωματική πηγή ενέργειας, η οποία συνδέεται π.χ. με λέβητα κεντρικής θέρμανσης. Το boiler τοποθετείται πιο ψηλά από το συλλέκτη συνήθως οριζόντια (αλλού όπως π.χ. Κύπρος τοποθετείται και κατακόρυφα), διότι επιτυγχάνεται καλύτερη θερμοκρασιακή ανάμιξη. Στο σχ. 2.41 παρουσιάζεται ένα τυπικό boiler εμπορίου.



ΘΕΡΜΟΔΟΧΕΙΑ (BOILER)

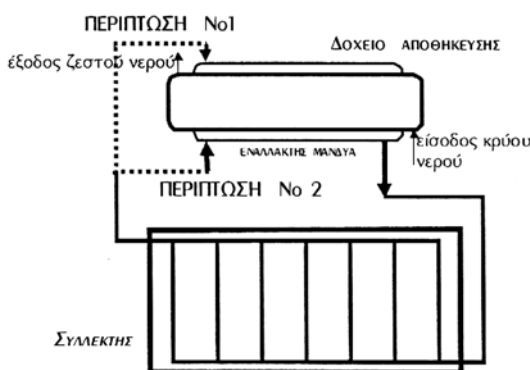


1. Θερμοδοχείο από ανοξείδωτο χάλυβα (A.I.S.I. 316L HiMo)
2. Εναλλάκτης θερμότητας από ανοξείδωτο χάλυβα.
3. Μόνωση θερμοδοχείου (πολυουρεθάνη 35-40kg/s.m.)
4. Εξωτερικό κάλυμμα θερμοδοχείου από ανοξείδωτο χάλυβα 304 B.
5. Βαλβίδα ασφαλείας κλειστού κυκλώματος.
6. Ηλεκτρική Αντίσταση ειδικής κατασκευής, με ανοξείδωτη φλάντζα, και θερμοστάτη ασφαλείας.
7. Αντιδιαβρωτική (ανοδική) προστασία.
8. Έξοδος Ζεστού Νερού.
9. Σωλήνας κλειστού κυκλώματος.
10. Είσοδος κρύου νερού(δικτύου ύδρευσης).
11. Σερπαντίνα από ανοξείδωτο χάλυβα A.I.S.I. 316L για συμπληρωματική πηγή ενέργειας (π.χ. λέβητας κεντρικής θέρμανσης) (Μόνο για μπούιλερ τριπλής ενέργειας-3E)

Σχήμα 2.41: Τυπική διάταξη ενός boiler.

Σωληνώσεις - Κυκλοφορία ρευστών

Το θερμανταλλακτικό υγρό του κλειστού κυκλώματος, είναι συνήθως νερό με προσθήκη αντιψυκτικού υγρού και αντιδιαβρωτικών πρόσθετων. Για την εξασφάλιση όσο το δυνατόν μεγαλύτερης περιβρεχόμενης επιφάνειας και υψηλότερης ταχύτητας θερμοσιφωνικής ροής (μεγιστοποίηση θερμανταλλαγής), το υγρό του συλλέκτη πρέπει να εισέρχεται στο ένα άκρο του μανδύα στο ανώτερο τμήμα του και να εξέρχεται από το άλλο άκρο στο κατώτερο μέρος (σχ. 2.42 [4]).



Σχήμα 2.42: Δυο διαφορετικές συνδεσμολογίες του κλειστού κυκλώματος συλλέκτη – μανδύα.

Η θερμοσιφωνική ροή εξασφαλίζεται όταν το κύκλωμα συλλέκτη - μανδύα διατηρείται πλήρως γεμισμένο με θερμοανταλλακτικό ρευστό και δεν δημιουργούνται θύλακες αέρα. Οι θύλακες αέρα αντιμετωπίζονται με την τοποθέτηση ενός εξαεριστικού στο ανώτερο σημείο του κυκλώματος, η πληρότητα όμως μπορεί εύκολα να καταστραφεί. Κατά τη λειτουργία του συστήματος μικρές ποσότητες ρευστού είναι δυνατόν να εξατμίζονται (λόγω θερμοκρασιακής ανόδου αλλά και διαστολής), με αποτέλεσμα μετά την πάροδο κάποιου χρονικού διαστήματος να καταστρέφεται η πληρότητα του κυκλώματος και έτσι παύει η θερμοσιφωνική ροή. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με την τοποθέτηση ενός μικρού δοχείου διαστολής στο ανώτερο σημείο του κυκλώματος (συνήθως στο σημείο εισόδου του ρευστού) που χρησιμεύει και ως δοχείο πλήρωσης. Η λύση αυτή προϋποθέτει τακτικό έλεγχο του δοχείου και συμπλήρωμα της στάθμης του υγρού, αν αυτό απαιτείται. Επειδή όμως ο καταναλωτής αντιμετωπίζει τον ηλιακό θερμοσίφωνα σαν κοινό ηλεκτρικό θερμοσίφωνα (ανύπαρκτη συντήρηση), πολλοί κατασκευαστές καταφεύγουν στο να οδηγούν το θερμοανταλλακτικό ρευστό να εισέρχεται στο μανδύα σε χαμηλότερο σημείο, εξασφαλίζοντας έτσι τη λειτουργία (με μειωμένη απόδοση) έστω και αν η ποσότητα του ρευστού έχει μειωθεί.

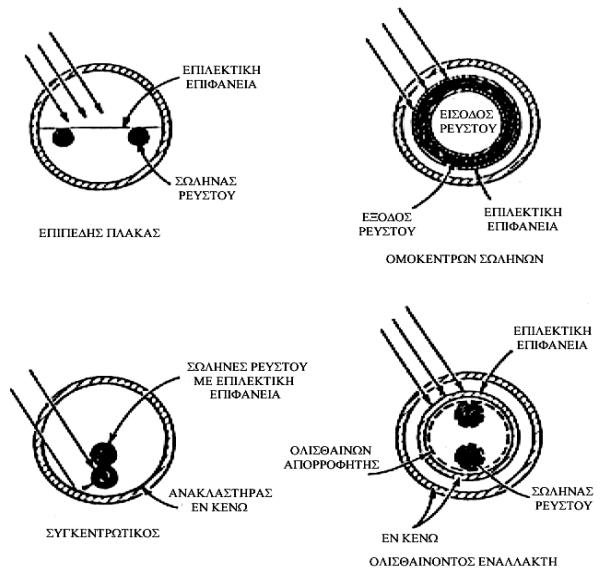
Η ασφαλέστερη και μακροβιότερη λύση επιτυγχάνεται με την εισαγωγή του ρευστού στο ίδιο ύψος με την εξαγωγή του (κάτω μέρος του μανδύα), στην αντίθετη πλευρά (σχ. 2.42 2^η περίπτωση). Η απόδοση έτσι του συστήματος ελαττώνεται με τη συνεχή βραδεία μείωση της ποσότητας του ρευστού που έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση της επιφάνειας θερμοανταλλαγής. Πάντως και αν ακόμη λαμβάνεται πρόνοια ώστε να μην ελαττώνεται η ποσότητα του ρευστού, η λύση αυτή εμπεριέχει μεταβολή στην κυκλοφορία του ρευστού, που έχει επίπτωση στην ενεργό διαβρεχόμενη επιφάνεια του μανδύα (μορφή κυκλοφορίας) και κατά συνέπεια στην ταχύτητα ροής και στη θερμοκρασιακή διαφορά εισόδου - εξόδου. Με αυτή τη λύση εξασφαλίζεται η απρόσκοπτη λειτουργία του συστήματος, χωρίς να υπάρχει κίνδυνος διακοπής της θερμοσιφωνικής ροής. Έτσι ο κατασκευαστής είναι σίγουρος ότι το σύστημα του θα είναι αξιόπιστο, χωρίς την ανάγκη περιοδικού ελέγχου και συντήρησης. Θα ήταν ίσως αποδεκτή αυτή η θυσία στην απόδοση, αν η μείωση της σταματούσε εδώ. Όμως ένα σύστημα αυτού του είδους δεν ειδοποιεί το χρήστη για την περαιτέρω ελάττωση της απόδοσής του, όταν η ποσότητα του υγρού στο κλειστό κύκλωμα συνεχώς μειώνεται. Εξάκολουθεί να παρέχει ζεστό νερό σε μικρότερες ποσότητες και θερμοκρασία σε αντίθεση με ένα σύστημα όπως της πρώτης περίπτωσης του σχ. 2.42, που αν η στάθμη του υγρού πέσει κάτω από το ύψος εισόδου στο μανδύα, παύει να λειτουργεί. Πολλές φορές αυτό είναι προτιμότερο (εξαρτάται από τη νοοτροπία του χρήστη) διότι έτσι ειδοποιείται ο καταναλωτής να προβεί στην απαραίτητη συμπλήρωση του υγρού. Αυτή η άποψη ενισχύεται, αν επιπρόσθετα συνεκτιμηθεί η επιμήκυνση του χρόνου απόσβεσης που δημιουργείται με τη συνεχώς μειούμενη απόδοση ενός συστήματος στη δεύτερη περίπτωση του σχ. 2.42.

2.4.3.1.3 Συγκεντρωτικοί συλλέκτες και καθοδηγούμενα συστήματα

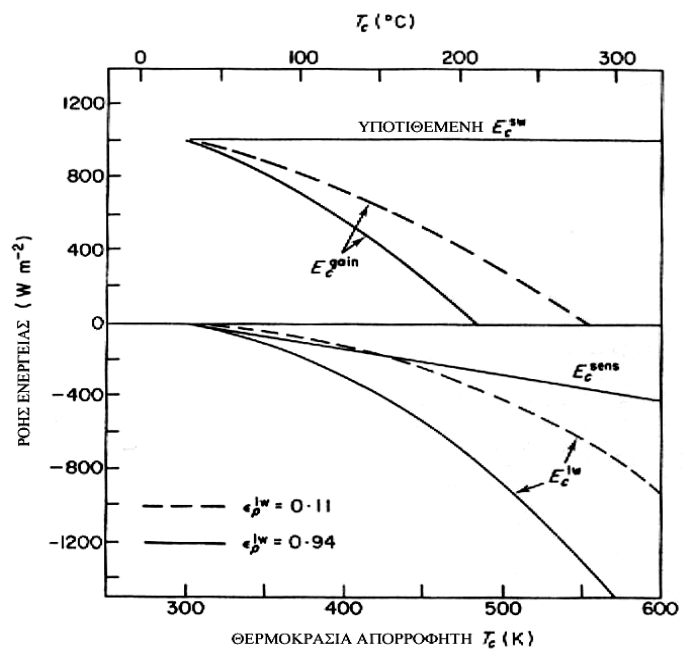
Ποικίλες μορφές επίπεδων συλλεκτών έχουν επινοηθεί και κατασκευαστεί, έτσι ώστε να αυξηθεί το ποσό της απορροφούμενης ενέργειας και να μειωθούν οι θερμικές απώλειες. Η μέση προσπίπτουσα ροή μπορεί να αυξηθεί με αντικατάσταση του συστήματος προσανατολισμού (γωνιών κλίσης και αζιμουθίου s και γ αντίστοιχα) από ένα κινητό, το οποίο μπορεί να παρακολουθεί τη διεύθυνση του ήλιου. Πλήρως καθοδηγούμενα συστήματα (ύψος και γωνία αζιμουθίου) μπορούν να επιτευχθούν με τρόπο παρόμοιο με αυτό που χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση των αστεριών στα διάφορα αστρονομικά όργανα. Μερικώς καθοδηγούμενα συστήματα (π.χ. αυτά που ακολουθούν τη γωνία αζιμουθίου του ήλιου) μπορούν να συνδυάσουν απλοποιημένο σχεδιασμό, αλλά με βελτιωμένα ενεργειακά οφέλη. Οι διάχυτες και οι διάχυτα ανακλώμενες ροές δεν αλλάζουν σημαντικά κατά μέσο όρο με τη μετάβαση από έναν σταθερό σε έναν καθοδηγούμενο συλλέκτη, αλλά το άμεσο τμήμα της ακτινοβολίας αντικαθίσταται από την κατακόρυφη πρόσπτωσης ροή S_N . Για ένα επίπεδο

συλλέκτη, το μέγιστο κέρδος από τη χρήση ενός πλήρως καθοδηγούμενου συστήματος σπάνια θα δικαιολογούσε το επιπλέον κόστος του συστήματος, το οποίο τουλάχιστον για τώρα, υπερβαίνει το αντίστοιχο κόστος διπλασιασμού της επιφάνειας συλλογής του συλλέκτη.

Άλλες πιθανές βελτιώσεις του συστήματος ενός επίπεδου συλλέκτη περιλαμβάνουν επικάλυψη των στρωμάτων κάλυψης έτσι ώστε να ελαττωθούν οι απώλειες ανάκλασης προς το εξωτερικό και να αυξηθούν οι ανακλάσεις προς τον απορροφητή στο εσωτερικό. Οι κύριες απώλειες θερμότητας λόγω συναγωγής E_{top}^{sens} μπορούν να μειωθούν με τοποθέτηση προστατευτικών τα οποία ελαχιστοποιούν την ταχύτητα του αέρα στο πάνω εξωτερικό κάλυμμα. Η ισχυρή εξάρτηση των απωλειών συναγωγής από την ταχύτητα του αέρα είναι φανερή από την Σ 2.11. Αυτές οι απώλειες μπορούν να συρρικνωθούν ριζικά με την εκκένωση του χώρου (από αέρα) ανάμεσα στον απορροφητή και το σύστημα κάλυψης. Στο κενό, η μεταφορά θερμότητας μπορεί να συμβεί μόνο με ακτινοβολία. Η εκκένωση του σημαντικότερου αυτού χώρου, τυπικό χαρακτηριστικό των συλλεκτών του σχ. 2.32 δεν είναι πρακτική και συστήματα τέτοιου τύπου χρησιμοποιούν σωλήνες κενού σχ. 2.43 [2] ή σφαίρες απορροφητές με πρόσθετο συγκεντρωτικό εξοπλισμό.



Σχήμα 2.43: Διάφοροι τύποι σωλήνων κενού.



Σχήμα 2.44: Εξάρτηση της ροής ενέργειας, ενός σταθερού, επίπεδου συλλέκτη, από τη θερμοκρασία του απορροφητή.

Εστιακές ή γενικότερα συγκεντρωτικές συσκευές αποτελούν ξεχωριστό είδος ηλιακών συλλεκτών. Αυτοί είναι απαραίτητοι εφόσον απαιτούνται πολύ υψηλές θερμοκρασίες, αλλά γενικά χρησιμοποιούνται για θερμαντικούς σκοπούς.

Για ένα επίπεδο συλλέκτη χωρίς τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά μείωσης των θερμικών απωλειών, που περιγράφονται

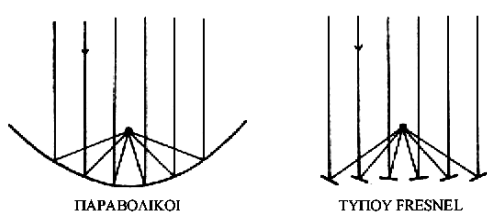
παραπάνω, το καθαρό ενεργειακό κέρδος είναι μια εντόνως φθίνουσα συνάρτηση της θερμοκρασίας του απορροφητή, όπως φαίνεται και στο σχ. 2.44 [2]. Μια και οι απώλειες είναι ανάλογες της επιφάνειας απορρόφησης, υπάρχει έντονο ενδιαφέρον στο να μειωθεί αυτή η επιφάνεια σε σχέση με την επιφάνεια συλλογής A που καθορίζει την προσπίπτουσα ακτινοβολία.

Αν ο απορροφητής τοποθετείται πάνω στον άξονα συμμετρίας, εκεί που εστιάζει ο συλλέκτης, και η διάστασή του ανταποκρίνεται στο είδωλο του ήλιου, όταν αυτός είναι στη διεύθυνση του άξονα συμμετρίας (οπτικό άξονα), τότε λαμβάνεται άμεση ακτινοβολία, αλλά μόνο για όσο χρόνο ακολουθεί ο οπτικός άξονας συμμετρίας τον ήλιο. Οι ατέλειες και στην περίπτωση των φακών, η εξάρτηση του δείκτη διάθλασης από το μήκος κύματος, μπορούν να μεγεθύνουν τις διαστάσεις του ειδώλου. Το μέγεθος του απορροφητή πρέπει να επιλεγθεί κατάλληλα έτσι ώστε να καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της εικόνας του ήλιου, τις περισσότερες περιπτώσεις.

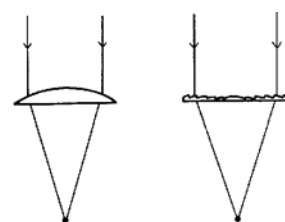
Η ολική ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος που λαμβάνεται από τον απορροφητή E_c^{sw} , μπορεί να γραφεί με ανάλογο προς τον συλλέκτη τρόπο (Σ 2.4), αλλά με ένα προϊόν μεταφοράς - απορρόφησης $P^{l.a.}(\Omega)$, κατάλληλο για εστιακή γεωμετρία, διαφορετικό από της Σ2.5. Αν οι πολλαπλές ανακλάσεις και απορροφήσεις στον απορροφητή αμεληθούν, το προϊόν μεταφοράς-απορρόφησης για μια εστιακή συσκευή μπορεί να γραφεί ως το προϊόν της απορρόφησης από τον απορροφητή α^{sw} και μιας συνάρτησης μεταφοράς $t^{sw}(\Omega)$, η οποία εκφράζει το ποσοστό της ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος κατά τη διεύθυνση Ω που φθάνει στην επιφάνεια απορρόφησης (άμεσα ή μετά από πολλαπλές ανακλάσεις ή διαθλάσεις). Έτσι:

$$P^{l.a.}(\Omega) = \alpha^{sw} t^{sw}(\Omega) \tag{Σ 2.27}$$

Για τον παραβολικό ανακλαστήρα σχ. 2.45 [2] και τους φακούς σχ. 2.46 [2], η ιδανική συνάρτηση μεταφοράς είναι μηδενική, εκτός αν ο απορροφητής τοποθετείται ακριβώς στο σημείο εστίασης, ανάλογα με την εισερχόμενη ακτινοβολία διεύθυνσης Ω .



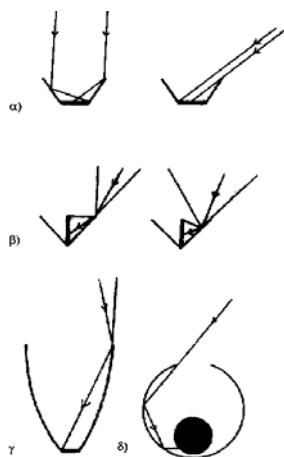
Σχήμα 2.45: Τύποι ανακλαστήρων (για ηλιοστάτες και πύργους ψύξης).



Σχήμα 2.46: Απλός και τύπου Fresnel φακός.

Έτσι, είτε ο συλλέκτης πρέπει να ακολουθεί πλήρως τον ήλιο, είτε ο απορροφητής να μετακινείται στο σημείο εστίασης, ανάλογα με τη δεδομένη διεύθυνση του ήλιου. Για τη διάχυτη ακτινοβολία, που εξορισμού δεν προέρχεται από τη διεύθυνση του ήλιου, η $t^{sw}(\Omega)$ είναι μηδενική και επομένως αυτού του είδους η ακτινοβολία δεν είναι εκμεταλλεύσιμη από τέτοιες συσκευές. Πάντως, κάποιο τμήμα της διάχυτης και της ανακλώμενης ακτινοβολίας είναι εφικτό να αποκομιστεί και η πλήρης καθοδήγηση δεν είναι απαραίτητη.

Το σχ. 2.47 [2] δίνει ένα παράδειγμα τέτοιων συσκευών. Οι επικλινείς καθρέφτες «αρωγοί» κατά μήκος του άκρου του επίπεδου συλλέκτη (σχ. 2.47α), έχουν σαν αποτέλεσμα μια μικρή αύξηση στη συγκέντρωση για γωνίες πρόσπτωσης όχι πολύ μακριά από την κάθετη στον απορροφητή, αλλά μια μείωση (εξαιτίας σκίασης) για μεγαλύτερες γωνίες πρόσπτωσης. Οι συλλέκτες τύπου V ή κώνου με τον απορροφητή στη μορφή τοιχώματος ή κυλίνδρου στη μέση (σχ. 2.47β), έχουν γωνία αποδοχής η οποία εξαρτάται από την απόσταση από το σημείο σύγκλισης του κώνου. Στο σημείο αυτό, η γωνία αποδοχής ισούται με τη γωνία ανοίγματος αλλά για σημεία μακριά από τις πλευρές του κώνου, είναι μικρότερη (εξαρτάται από το μήκος της γραμμής απορρόφησης ή το ύψος του τοιχώματος) σε σχέση με αυτή του κώνου.



Σχήμα 2.47: Τύποι συγκεντρωτικών συλλεκτών.

Μια αρκετά υψηλή συγκέντρωση μπορεί να επιτευχθεί με μια οξεία κατασκευή (σχ. 2.47γ), που περιλαμβάνει δύο παραβολικά τμήματα που το καθένα από αυτά εστιάζει στο σημείο της διασταύρωσης ανάμεσα στο απέναντι παραβολικό τμήμα και τον απορροφητή. Το σχ. 2.47δ παρουσιάζει μια συσκευή «παγίδα», η οποία αποτελείται από έναν κύλινδρο (ή σφαίρα) με ένα άνοιγμα και ο απορροφητής βρίσκεται στο εσωτερικό. Οι διαστάσεις του απορροφητή είναι τέτοιες έτσι ώστε ένα μεγάλο ποσοστό της ακτινοβολίας που περνά από το άνοιγμα να απορροφηθεί μετά από πολλαπλές ανακλάσεις στα εσωτερικά τοιχώματα του κυλίνδρου. Επίσης για την ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος που εκπέμπεται από τον απορροφητή, τα ανακλαστικά τοιχώματα θα οδηγήσουν ένα σημαντικό ποσοστό πίσω σε αυτόν, έτσι ώστε ο λόγος απωλειών προς ενεργειακά οφέλη να βελτιωθεί, αν και δεν υπάρχει πραγματική συγκέντρωση (εφόσον το μέγεθος του απορροφητή είναι ανάλογο με αυτό του ανοίγματος). Στον πίν 2.8 παρουσιάζονται συγκριτικά οι επίπεδοι και οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες.

Το σχ. 2.47 [2] δίνει ένα παράδειγμα τέτοιων συσκευών. Οι επικλινείς καθρέφτες «αρωγοί» κατά μήκος του άκρου του επίπεδου συλλέκτη (σχ. 2.47α), έχουν σαν αποτέλεσμα μια μικρή αύξηση στη συγκέντρωση για γωνίες πρόσπτωσης όχι πολύ μακριά από την κάθετη στον απορροφητή, αλλά μια μείωση (εξαιτίας σκίασης) για μεγαλύτερες γωνίες πρόσπτωσης. Οι συλλέκτες τύπου V ή κώνου με τον απορροφητή στη μορφή τοιχώματος ή κυλίνδρου στη μέση (σχ. 2.47β), έχουν γωνία αποδοχής η οποία εξαρτάται από την απόσταση από το σημείο σύγκλισης του κώνου. Στο σημείο αυτό, η γωνία αποδοχής ισούται με τη γωνία ανοίγματος αλλά για σημεία μακριά από τις πλευρές του κώνου, είναι μικρότερη (εξαρτάται από το μήκος της γραμμής απορρόφησης ή το ύψος του τοιχώματος) σε σχέση με αυτή του κώνου. Μια αρκετά υψηλή συγκέντρωση μπορεί να επιτευχθεί με μια οξεία κατασκευή (σχ. 2.47γ), που περιλαμβάνει δύο παραβολικά τμήματα που το καθένα από αυτά εστιάζει στο σημείο της διασταύρωσης ανάμεσα στο απέναντι παραβολικό τμήμα και τον απορροφητή. Το σχ. 2.47δ παρουσιάζει μια συσκευή «παγίδα», η οποία αποτελείται από έναν κύλινδρο (ή σφαίρα) με ένα άνοιγμα και ο απορροφητής βρίσκεται στο εσωτερικό. Οι διαστάσεις του απορροφητή είναι τέτοιες έτσι ώστε ένα μεγάλο ποσοστό της ακτινοβολίας που περνά από το άνοιγμα να απορροφηθεί μετά από πολλαπλές ανακλάσεις στα εσωτερικά τοιχώματα του κυλίνδρου. Επίσης για την ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος που εκπέμπεται από τον απορροφητή, τα ανακλαστικά τοιχώματα θα οδηγήσουν ένα σημαντικό ποσοστό πίσω σε αυτόν, έτσι ώστε ο λόγος απωλειών προς ενεργειακά οφέλη να βελτιωθεί, αν και δεν υπάρχει πραγματική συγκέντρωση (εφόσον το μέγεθος του απορροφητή είναι ανάλογο με αυτό του ανοίγματος). Στον πίν 2.8 παρουσιάζονται συγκριτικά οι επίπεδοι και οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες.

Πίνακας 2.8: Σύγκριση επίπεδων και συγκεντρωτικών ηλιακών συστημάτων.

Επίπεδα Ηλιακά Συστήματα	Συγκεντρωτικά Ηλιακά Συστήματα
Επιφάνεια συλλογής των ακτινών ίση με την επιφάνεια απορρόφησης	Επιφάνεια συλλογής των ακτινών πολύ μεγαλύτερη από την επιφάνεια απορρόφησης
Λειτουργία σε χαμηλές θερμοκρασίες (<150 °C)	Λειτουργία σε υψηλότερες θερμοκρασίες (>200 °C)
Υψηλές απώλειες, μειωμένη θερμική απόδοση	Μικρότερες απώλειες, υψηλότερη θερμική απόδοση
Αξιοποίηση άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας	Αξιοποίηση μόνο της άμεσης ακτινοβολίας
Όχι ιδιαίτερες απαιτήσεις για την αντοχή και την ποιότητα των υλικών	Απαιτούνται ανθεκτικά υλικά σε υψηλές θερμοκρασίες
Απλουστευμένη τεχνολογία και κατασκευή	Υψηλή τεχνολογία και πολύπλοκη κατασκευή
Μη κινούμενα μέρη, παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου	Υπαρξη πολύπλοκων μηχανισμών παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου
Χαμηλό κόστος κατασκευής	Υψηλό κόστος κατασκευής
Μικρό κόστος συντήρησης	Μεγάλο κόστος συντήρησης
Όχι μεγάλη ευπάθεια σε καιρικές συνθήκες	Ευπάθεια των εγκαταστάσεων σε δύσκολες καιρικές συνθήκες (ανέμους, χαλάζι, κλπ)

2.4.3.2 Εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας

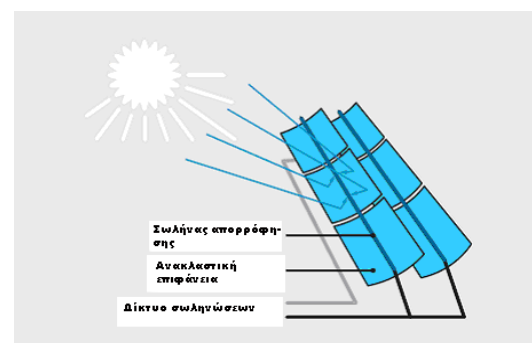
Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας γίνεται κατά διάφορους τρόπους, που διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα συστήματα που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε εσωτερική ενέργεια δομικών κατασκευών (Παθητικά ηλιακά συστήματα) και στη δεύτερη, αυτά που προκαλούν μετατροπή της, σε άλλης μορφής ενέργεια ή χρησιμοποιείται θερμικό ρευστό σε κίνηση (Ενεργά ηλιακά συστήματα). Στα ενεργά ηλιακά συστήματα συγκαταλέγονται αυτά που μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε εσωτερική ενέργεια θερμικού ρευστού (θερμοσιφωνικά συστήματα) και αυτά που μετατρέπουν το ηλιακό φως απ' ευθείας σε ηλεκτρισμό (Φωτοβολταϊκά συστήματα). Η εφαρμογή της παθητικής ηλιακής θέρμανσης στα κτίρια, σε συνδυασμό με την κατάλληλη θερμομόνωση τους, αποτελεί σήμερα πολύ σημαντικό στοιχείο της δομικής και θερμικής συμπεριφοράς του κτιρίου και λαμβάνεται υπόψη σε ενεργειακούς υπολογισμούς που αποβλέπουν σε εξοικονόμηση και αποδοτική διαχείριση της ενέργειας.

Στα θερμοσιφωνικά συστήματα περιλαμβάνονται τα κοινής χρήσεως θερμοσιφωνικά συστήματα, δηλαδή, οι ευρέως χρησιμοποιούμενοι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες και οι ελάχιστα διαδεδομένοι (τουλάχιστον στην χώρα μας) παραβολικοί ηλιακοί συλλέκτες. Μεγάλες εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, που χρησιμοποιούν την ηλιακή ακτινοβολία προκειμένου να θερμάνουν το θερμικό ρευστό μιας θερμικής μηχανής, είναι τα ηλιακά θερμικά εργοστάσια.

Τα **επίπεδα ηλιακά θερμοσιφωνικά συστήματα** αποτελούν μια πολύ διαδεδομένη διάταξη σε οικιακή χρήση, για τη θέρμανση νερού. Η συλλεκτική επιφάνεια των επιπέδων συλλεκτών κατασκευάζεται από μεταλλικό φύλλο, το οποίο είτε εκ του τρόπου κατασκευής αποκτά όψη μαύρη ματ, με σπογγώδη υφή, είτε βάφεται μαύρο με επίχρισμα χαμηλής ανακλαστικότητας. Τοποθετείται σε κλειστή μεταλλική κατασκευή (συνήθως από αλουμίνιο), η εμπρός επιφάνεια του οποίου κλείνεται με υαλοπίνακα, όχι μόνο για λόγους προφύλαξης από τις καιρικές συνθήκες, αλλά κυρίως για την αύξηση της θερμοκρασίας, που προκαλεί στο εσωτερικό του, λειτουργώντας ως θερμοκηπιακό κάλυμμα. Σε κάθε περίπτωση επιδιώκεται υλικό επιφάνειας συλλογής της ηλιακής ακτινοβολίας, με μεγάλη απορροφητικότητα στην

περιοχή μικρών μηκών κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας αλλά μικρό συντελεστή εκπομπής θερμικής ακτινοβολίας της επίπεδης επιφάνειας (περιοχή μεγάλων μηκών κύματος). Η επιφάνεια του συλλέκτη βρίσκεται σε καλή θερμική επαφή με σωλήνες που περιέχουν το νερό χρήσης ή άλλο θερμικό υγρό. Στην πρώτη περίπτωση το θερμό νερό αποθηκεύεται σε θερμομονωμένο δοχείο και απ' εκεί διοχετεύεται για χρήση (άμεση θέρμανση). Στη δεύτερη, χρησιμοποιείται ειδικό θερμικό υγρό, που κυκλοφορεί σε χωριστό κύκλωμα, θερμαίνοντας το νερό χρήσης, που βρίσκεται στο θερμομονωμένο δοχείο (έμμεση θέρμανση). Ο έμμεσος τρόπος θέρμανσης του νερού παρουσιάζει πλεονεκτήματα σε σχέση με την άμεση θέρμανση. Το δοχείο αποθήκευσης ζεστού νερού μπορεί να τεθεί σε χαμηλότερο επίπεδο σε σχέση με το άνω μέρος του συλλέκτη (εξαναγκασμένη κυκλοφορία υγρού στο κύκλωμα θέρμανσης), δεν αποτίθενται άλατα στα εσωτερικά τοιχώματα των σωλήνων του κυκλώματος θέρμανσης του αποθηκευμένου νερού (αλκοολούχο διάλυμα) και το σημαντικότερο, δεν κινδυνεύει να καταστραφεί από πάγωμα του νερού, ιδιαίτερα σε περιοχές με ψυχρό κλίμα. Σήμερα, ορισμένες οικιακές ηλεκτρικές συσκευές, που χρησιμοποιούν ζεστό νερό, όπως λ.χ. το πλυντήριο ρούχων ή πιάτων, μπορούν να τροφοδοτούνται με ζεστό νερό από θερμοσιφωνικά συστήματα, συμβάλλοντας έτσι στην εξοικονόμηση ενέργειας λειτουργίας της κατοικίας.

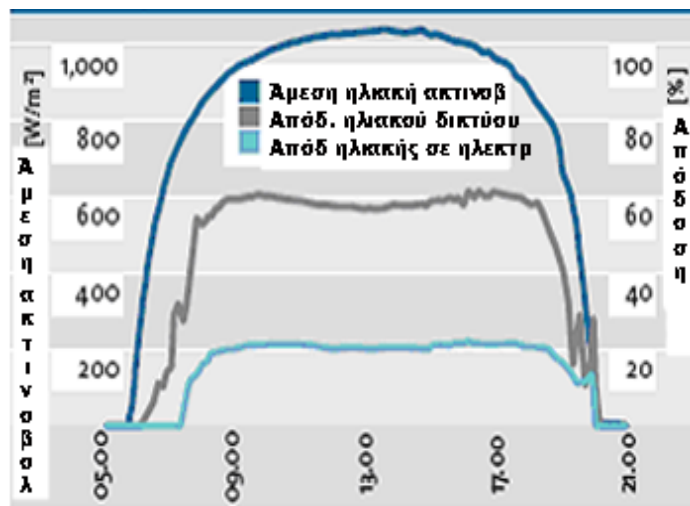
Οι **παραβολικοί συλλέκτες (σχήμα 2,48 α,β)** αποτελούνται από ημικυλινδρική ανακλαστική επιφάνεια, παραβολικής τομής. Η εστία αυτού του κατόπτρου είναι ευθύγραμμη, κατά μήκος του συλλέκτη. Το νερό χρήσης είτε άλλο θερμικό υγρό (με αντιψυκτικά πρόσθετα), κυκλοφορεί μέσα σε σωλήνα, που τοποθετείται στη θέση της ευθύγραμμης εστίας του κατόπτρου. Το θερμικό ρευστό, μπορεί να είναι κάποιο συνθετικό λάδι, και να ανακυκλοφορεί σε αυτούς τους σωλήνες. Αυτό το ειδικό λάδι θερμαίνεται περίπου στους $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ από τις συγκεντρωμένες ακτίνες του ήλιου, αντλείται σε μια σειρά από εναλλάκτες θερμότητας για να παραχθεί υπέρθερμος ατμός. Ο ατμός μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια σε μια συμβατική γεννήτρια μέσω ενός ατμοστροβίλου, η οποία μπορεί να λειτουργεί με ένα συμβατικό κύκλο ατμού ή να γίνεται συμπαραγωγή μέσω ενός συνδυασμένου κύκλου ατμοστροβίλου και στροβίλου που έχει σαν καύσιμο το φυσικό αέριο. Έτσι διαμορφώνεται μια μεγάλη σε μήκος παραβολική επιφάνεια περίπου 150m. Οι συλλέκτες εγκαθίστανται συνήθως σε παράλληλες σειρές και συνδέονται με μια ενιαία μηχανή, η οποία έχει ένα σύστημα ελέγχου, το οποίο εξασφαλίζει το μέγιστο ποσό ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται συγκεντρωμένη στο σύστημα καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Ο ηλιακός δέκτης στην εστία του κατόπτρου είναι κατασκευασμένος από ειδικό γυαλί, μαύρος εξωτερικά, εν κενώ. Το πρόγραμμα DISS (Direct Solar Steam Project), μια πειραματική εγκατάσταση στην Ισπανία στην Plataforma de Almeria (PSA), έχει ένα ηλιακό δίκτυο που αποτελείται από 11 παραβολικούς συλλέκτες με έναν περιστρεφόμενο άξονα με προσανατολισμό Βορρά-Νότου και συνολική ανακλαστική επιφάνεια 2.750 m^2 . Ο κάθε ένας από τους 11 συλλέκτες έχει μήκος 12 m, με πλάτος παραβολικών ανακλαστήρων 5.7 m οι οποίοι συνδέονται στη σειρά σε μήκος 550m.



Σχήμα 2,48 -Παραβολικοί συλλέκτες (παραβολικά κάτοπτρα)

http://www.astro.columbia.edu/~herrnstein/Astro_Figs/

Στο σχήμα 2,49 δίνεται ενδεικτικά η μετρούμενη ημερήσια εξερχόμενη ηλεκτρική ενέργεια και ο βαθμός απόδοσης του συστήματος παραβολικών κατόπτρων στο Kramer που βρίσκεται στην Καλιφόρνια. Στο σχήμα 2,50 φαίνεται ένας τύπος κατασκευής με παραβολικούς συλλέκτες συνολικού μήκους 150 m.



Σχήμα 2,49 - Μετρούμενη ημερήσια εξερχόμενη ηλεκτρική ενέργεια την 1^η Ιουλίου 1997 στην εγκατάσταση SEGS VI στο “Kramer” της Καλιφόρνια [http://www.astro.columbia.edu/~herrnstein/Astro_Figs/].

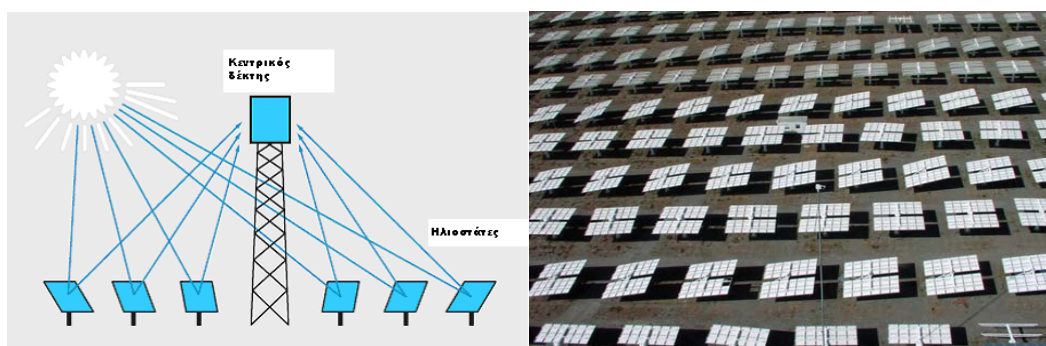


Σχήμα 2,50 - Συλλέκτης «EuroTrough ET 150» [http://www.astro.columbia.edu/~herrnstein/Astro_Figs/]

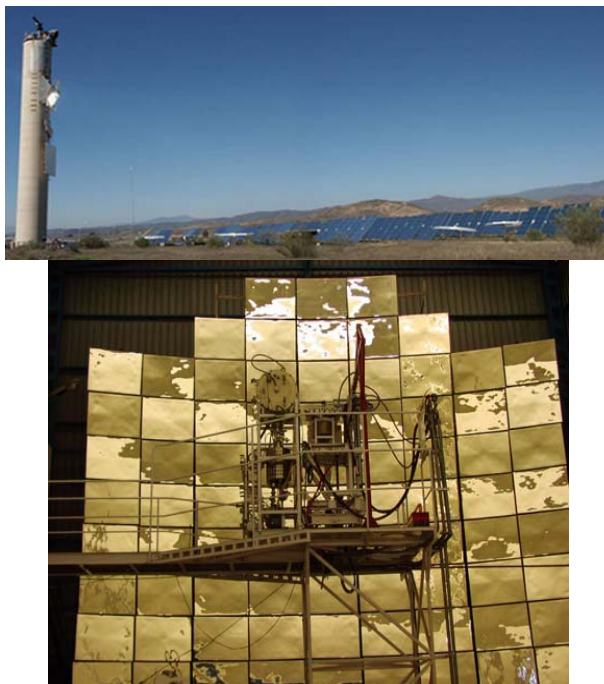
2.4.3.2.1. Ηλιακό θερμικό εργοστάσιο (αλλιώς ηλιακός πύργος ή κεντρικός δέκτης, σχήμα 2,51 α, β, γ, δ).

Σε μεγάλη κλίμακα, έχουμε την εγκατάσταση πολλών ανακλαστικών επιφανειών, που κινούνται με μηχανισμούς συνεχούς κίνησης (ηλιοστάτες), έτσι ώστε σε κάθε στιγμή της μέρας, όλοι οι καθρέπτες να συγκεντρώνουν τις ακτίνες του ήλιου σε ένα σημείο στην κορυφή του πύργου, όπου βρίσκεται το θερμικό ρευστό, του θερμικού εργοστασίου. Ένα μέσο μεταφοράς θερμότητας σε αυτόν τον κεντρικό δέκτη απορροφά την υψηλά συγκεντρωμένη ακτινοβολία που ανακλάται από τους ηλιοστάτες και την μετατρέπει σε θερμική ενέργεια για να χρησιμοποιηθεί για την επόμενη παραγωγή υπέρθερμου ατμού που προορίζεται για τη λειτουργία των ατμοστροβίλων. Μέχρι σήμερα, τα μέσα μεταφοράς θερμότητας που χρησιμοποιήθηκαν περιλάμβαναν το συνδυασμό νερό / ατμός, τα λειωμένα άλατα, το υγρό νάτριο και τον αέρα. Η θερμοκρασία του ρευστού συνήθως είναι περίπου 550

$^{\circ}\text{C}$. Αν το συμπιεσμένο υγρό ή αέριο που χρησιμοποιείται ως μέσο μεταφοράς της θερμότητας, βρίσκεται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες περίπου 1.000°C ή περισσότερο, μπορεί ακόμη και να αντικαταστήσει το φυσικό αέριο σε έναν αεριοστρόβιλο, χρησιμοποιώντας τον συνδυασμένο κύκλο καλής απόδοσης (60% και περισσότερο) που αποτελείται από τον συνδυασμό των κύκλων του ατμού και του θερμού αερίου. Τέτοια ηλιακά εργοστάσια μπορούν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια με ενδεικτική ισχύ 5-10 MW. Ο ηλιακός δέκτης που είναι τοποθετημένος στην κορυφή του πύργου σε ύψος 50-100 m μπορεί να είναι μια επιφάνεια μερικών τετραγωνικών μέτρων ως προς το επίπεδο όπου γίνεται η συγκέντρωση της ακτινοβολίας. Η πειραματική εγκατάσταση CESA-1 είναι η μόνη στην Ευρώπη αυτού του τύπου τεχνολογίας και βρίσκεται στην Αλμέρια της Ισπανίας. Αποτελείται από ένα πεδίο ηλιακών συλλεκτών αποτελούμενο από 300 ηλιοστάτες που διανέμονται σε 16 σειρές σε έναν βόρειο τομέα σε σχέση με τον πύργο, καλύπτοντας μια περιοχή επιφάνειας 11.880 m^2 . Ο ηλιακός πύργος βρίσκεται σε ύψος 80 m και είναι κατασκευασμένος από τσιμέντο. Κάθε ηλιοστάτης αποτελείται από 12 κυρτούς καθρέφτες.



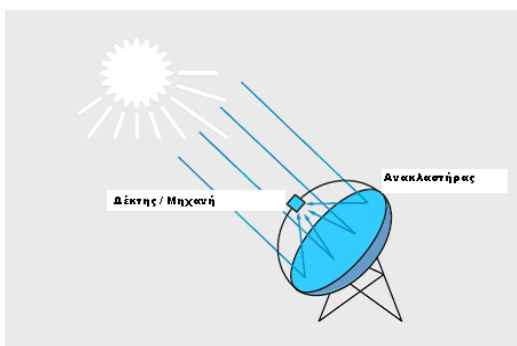
Σχήμα 2,51 (α, β) - Αρχή λειτουργίας του ηλιακού πύργου, Ηλιοστάτες



Σχήμα 2,51 (γ, δ) - Ηλιακός πύργος και ηλιοστάτες, Δέκτης Ηλιακού Πύργου [http://www.astro.columbia.edu/~herrnstein/Astro_Figs/].

2.4.3.2. Παραβολικά πιάτα (σχήμα 2,52 α,β).

Ένας παραβολικός ανακλαστήρας σε σχήμα πιάτου χρησιμοποιείται για να συγκεντρωθεί το φως του ήλιου σε έναν δέκτη που βρίσκεται στο σημείο εστίασης του πιάτου. Η συγκεντρωμένη ακτινοβολία απορροφάται στο δέκτη για να θερμανθεί ένα ρευστό ή ένα αέριο (αέρας) σε θερμοκρασία περίπου 750°C . Αυτό το υγρό ή το αέριο χρησιμοποιείται στη συνέχεια για να γίνει η μετατροπή σε ηλεκτρική ενέργεια σε ένα μικρό έμβολο ή μια μηχανή «Stirling» ή σε έναν μικροστρόβιλο, που είναι προσαρμοσμένος στο δέκτη. Κατά μέσο όρο, τα πιάτα έχουν διάμετρο μεταξύ 8 και 10m, αλλά σε κάποιες περιπτώσεις μπορούν να είναι πολύ μεγαλύτερα. Για παράδειγμα, το μεγαλύτερο παραβολικό πιάτο στον κόσμο βρίσκεται στην Αυστραλία που έχει επιφάνεια 400 m^2 . Αυτό το «μεγάλο ηλιακό πιάτο» αποτελείται από 54 τριγωνικά κατοπτρικά στοιχεία που είναι εγκατεστημένα πάνω στο σκελετό-πλαίσιο της κατασκευής. Σε αυτή την εγκατάσταση παράγεται ατμός σε θερμοκρασία 500°C , ο οποίος τροφοδοτεί μια ατμομηχανή που κινεί μια γεννήτρια, που συνδέεται στη συνέχεια με το δίκτυο ηλεκτρικού ρεύματος. Τα ηλιακά πιάτα κατασκευάζονται κυρίως για ηλεκτροπαραγωγή, οπότε συνδυάζονται με μια θερμική μηχανή όπως η μηχανή «Stirling» ή μια μηχανή που βασίζεται στον κύκλο Brayton. Τα συστήματα με παραβολικά πιάτα είναι η αποδοτικότερη τεχνολογία από όλες τις άλλες ηλιακές τεχνολογίες, με υψηλότερες τιμές απόδοσης να φτάνουν το 29%, σε σύγκριση με το 20% για τις άλλες ηλιακές θερμικές τεχνολογίες.



Σχήμα 2,52 (α) - Αρχή λειτουργίας ενός παραβολικού πιάτου [http://www.astro.columbia.edu/~herrnstein/Astro_Figs/].



Σχήμα 2,52 (β, γ) - Παραβολικό πιάτο

Ένας διαφορετικός τρόπος εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας, ο οποίος αναπτύχθηκε μέσα στο δεύτερο μισό του 20ου αιώνα, είναι η μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια με χρήση των **φωτοβολταϊκών στοιχείων**. Οι πίνακες 2.9, 2.10, 2.11 δείχνουν συγκεντρωμένα όλα τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των τριών τύπων τεχνολογίας εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας.

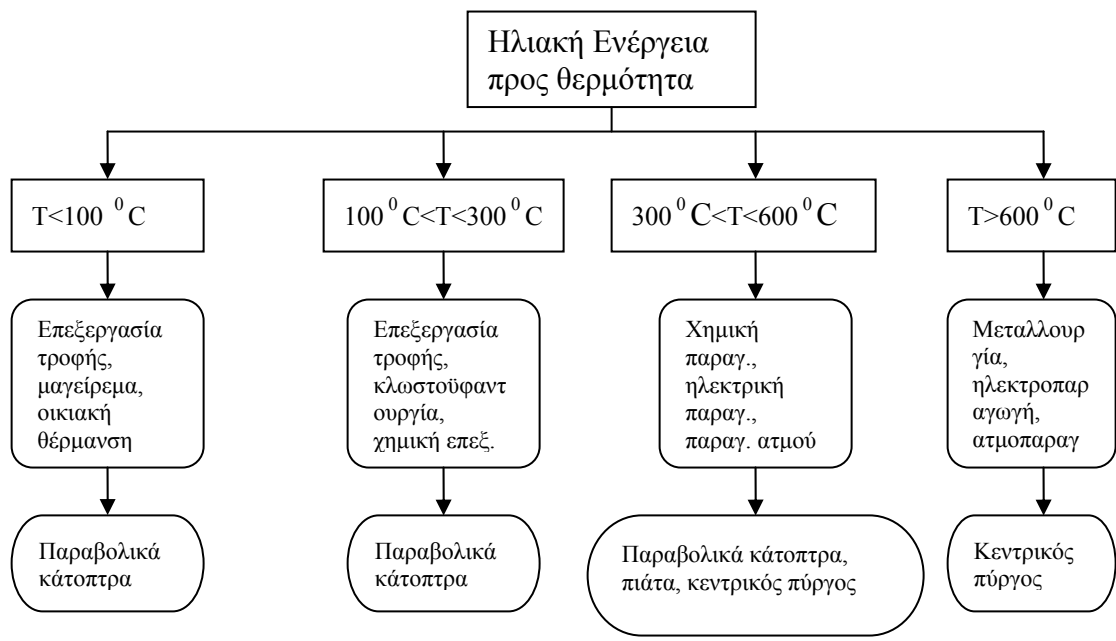
Πίνακες 2,9, 2,10, 2,11 - Διαφορές μεταξύ των παραβολικών κατόπτρων, του ηλιακού πύργου και των παραβολικών πιάτων [http://www.astro.columbia.edu/~hernstein/Astro_Figs/].

2,9	Παραβολικά Κάτοπτρα
Εφαρμογές	<p>Εγκαταστάσεις διασυνδεδεμένες στο δίκτυο, μέτριες ως υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας.</p> <p>Υψηλότερη δυναμικότητα ανεξάρτητης μονάδας ως σήμερα : 80 MWe</p> <p>Συνολική εγκατεστημένη ισχύς: 354 MW</p>
Πλεονεκτήματα	<ul style="list-style-type: none"> • Διαθέσιμα στο εμπόριο, πάνω από 12 δεκατομμύρια kWh λειτουργικής εμπειρίας • δυνατότητα λειτουργίας σε θερμοκρασία πάνω από 500 °C (400 °C αποδεδειγμένο στην εμπορική λειτουργία) • Αποδεδειγμένη ετήσια καθαρή απόδοση εγκαταστάσεων 14% (μετατροπή ηλιακής ακτινοβολίας σε καθαρή ηλεκτρική ενέργεια) • Αποδοτική επένδυση και γνωστά λειτουργικά κόστη • Είναι εύκολα εφικτή η διαμόρφωση στους κατασκευές • Καλύτερη εκμετάλλευση στους επιφάνειας του εδάφους σε σχέση με στους ηλιακές τεχνολογίες • Χαμηλότερες απαιτήσεις σε υλικά • Υβριδικές εφαρμογές και συμπεράσματα από αυτές • Δυνατότητα αποθήκευσης
Μειονεκτήματα	<ul style="list-style-type: none"> • Η χρησιμοποίηση του λαδιού σαν μέσο μεταφοράς θερμότητας περιορίζει τη θερμοκρασία λειτουργίας σήμερα στους 400 °C, με συνέπεια ο ατμός να είναι περιορίζεται σε μέση ποιότητα

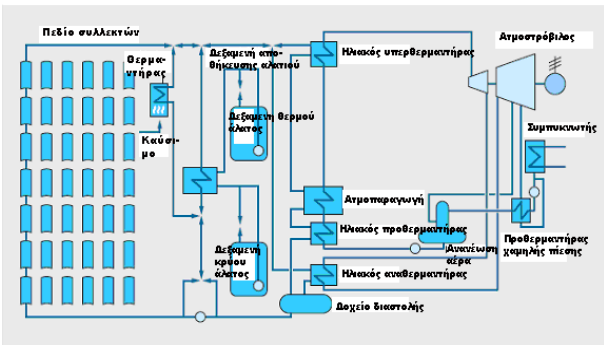
2,10	Ηλιακός Πύργος
Εφαρμογές	<p>Εγκαταστάσεις διασυνδεδεμένες στο δίκτυο, υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας.</p>

	Υψηλότερη δυναμικότητα ανεξάρτητης μονάδας ως σήμερα : 10 MWe, (αυτήν την περίοδο βρίσκεται υπό κατασκευή μια μονάδα 10 MW)
Πλεονεκτήματα	<ul style="list-style-type: none"> • Καλές προοπτικές για υψηλές αποδόσεις μετατροπής, δυνατότητα θερμοκρασίας λειτουργίας πέρα από τους 1.000 °C (θερμοκρασία 565 °C σε υπάρχουσα μονάδα ισχύος 10 MW) • Αποθήκευση σε υψηλές θερμοκρασίες • Υβριδική λειτουργία είναι εφικτή
Μειονεκτήματα	<ul style="list-style-type: none"> • Οι ετήσιες τιμές απόδοσης, τα κόστη επένδυσης και οι λειτουργικές δαπάνες απαιτείται να δοκιμασθούν σε εμπορική λειτουργία
2,11	Παραβολικά πιάτα
Εφαρμογές	Αυτόνομα, μικρά συστήματα εκτός δικτύου ή μεγάλα πάρκα από συγκροτήματα πιάτων διασυνδεδεμένων με το δίκτυο. (Υψηλότερη δυναμικότητα μονάδας παραβολικού πιάτου ως σήμερα: 25 kWe πρόσφατα σχέδια έχουν ισχύ περίπου 10 kW)
Πλεονεκτήματα	<ul style="list-style-type: none"> • Πολύ υψηλές αποδόσεις μετατροπής, απόδοση μετατροπής από την ανώτερη τιμή ηλιακής ενέργειας σε καθαρή ηλεκτρική ενέργεια πάνω από 30%. • Είναι εύκολα εφικτή η διαμόρφωση της κατασκευής • Υβριδική λειτουργία είναι εφικτή • Εμπειρία από τη λειτουργία των πρώτων προγραμμάτων που εφαρμόστηκαν
Μειονεκτήματα	<ul style="list-style-type: none"> • Η αξιοπιστία πρέπει να βελτιωθεί • Είναι αναγκαίο να τεθούν ως στόχοι κόστη μαζικής παραγωγής στα μελλοντικά προγράμματα

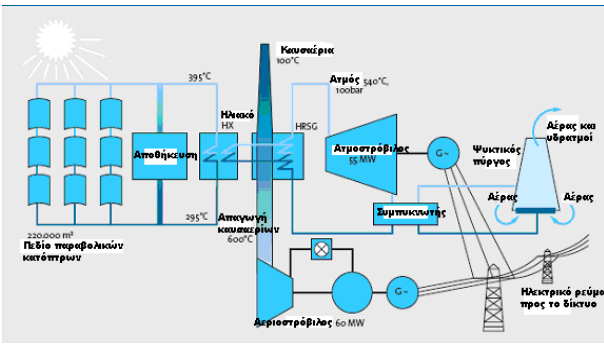
Στο σχήμα 2,53 δίνεται ένα διάγραμμα όπου φαίνονται οι θερμοκρασίες εφαρμογής της κάθε τεχνολογίας και οι περιοχές όπου εφαρμόζονται. Επίσης στα σχήματα 2,54, 2,55 δίνονται δύο διαφορετικοί τύποι ηλιακών θερμικών εγκαταστάσεων όπου φαίνονται πολλές τεχνικές λεπτομέρειες.



Σχήμα 2,53 - Διάγραμμα κατηγοριοποίησης των διαφόρων τύπων εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας και εφαρμογές των τριών διαφορετικών τύπων τεχνολογίας [http://www.astro.columbia.edu/~herrnstein/Astro_Figs/].



Σχήμα 2,54 - Εγκατάσταση παραβολικών κατόπτρων με σύστημα με δεξαμενή αποθήκευσης θερμού και κρύου νερού και ατμοστροβιλογεννήτρια [http://www.astro.columbia.edu/~herrnstein/Astro_Figs/].



Σχήμα 2,55 - Συμπαράγωγή με ηλιακή ενέργεια ατμοστρόβιλο και αεριοστόβιλο (συνδυασμένος κύκλος) [http://www.astro.columbia.edu/~herrnstein/Astro_Figs/].

2.4.3.3 Ενέργεια από τους συγκεντρωτικούς συλλέκτες

2.4.3.3.1. Γενικά

Οι αρχές της μετατροπής της ηλιακής σε θερμική ενέργεια είναι γνωστές εδώ και περισσότερο από έναν αιώνα. Η εμπορική εξέλιξη και η εκμετάλλευσή της όμως, έχει πραγματοποιηθεί μόνο από τα μέσα της δεκαετίας του '80. Με την πρώτη μονάδα παραβολικών κατόπτρων μεγάλης κλίμακας δυναμικότητας 30-80 MW, που χτίστηκε στην έρημο της Καλιφόρνιας Mojave, η τεχνολογία έχει δείξει εντυπωσιακά την τεχνολογική και οικονομική υπόσχεσή της. Με ελάχιστες δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον και μια ογκώδη πηγή ενέργειας όπως ο ήλιος, δίνεται μια ευκαιρία στις χώρες που βρίσκονται στη ζώνη της γης όπου υπάρχει μεγάλη ηλιοφάνεια, να βελτιώσουν την ενεργειακή τους οικονομία κατά έναν σημαντικό βαθμό.

Η ηλιακή θερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιήσει μόνο την άμεση ηλιακή ακτινοβολία, δηλαδή αυτό το τμήμα από την ακτινοβολία του ήλιου που δεν διαχέεται από τα σύννεφα, τους καπνούς ή τη σκόνη στην ατμόσφαιρα και φθάνει στη γήινη επιφάνεια με τη μορφή παράλληλων ακτίνων που στη συνέχεια γίνεται η συγκέντρωσή τους. Ως εκ τούτου, οι μονάδες πρέπει να εγκατασταθούν σε περιοχές με υψηλή άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Οι κατάλληλες τοποθεσίες πρέπει να λαμβάνουν τουλάχιστον 2.000 κιλοβατώρες (kWh) ηλιακής ακτινοβολίας ανά τετραγωνικό μέτρο (m^2) ετησίως, ενώ οι καταλληλότερες περιοχές λαμβάνουν περισσότερο από 2.800 kWh / m^2 / έτος. Τυπικές περιοχές για εγκαταστάσεις είναι αυτές, όπου το κλίμα και η βλάστηση δεν επιτρέπουν υψηλά επίπεδα ατμοσφαιρικής υγρασίας, σκόνης και οι καπνοί, όπως οι στέπες, οι θαμνώδεις περιοχές, οι σαβάνες, οι σχεδόν έρημοι και οι αληθινές έρημοι, που βρίσκονται ιδανικά σε γεωγραφικό πλάτος μικρότερο από 40 μοίρες είτε βόρεια είτε νότια. Επομένως, οι καλύτερα υποσχόμενες περιοχές του κόσμου περιλαμβάνουν τις νοτιοδυτικές Ηνωμένες Πολιτείες, την Κεντρική και Νότια Αμερική, την βόρεια και νότια Αφρική, τις Μεσογειακές χώρες της Ευρώπης, τις χώρες της Μέσης Ανατολής και περιοχές με ερήμους της Ινδίας, το Πακιστάν, την πρώην Σοβιετική Ένωση, την Κίνα και την Αυστραλία.

Σε πολλές περιοχές του κόσμου, ένα τετραγωνικό χιλιόμετρο ξηράς είναι αρκετό για να γίνει μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε τουλάχιστον 100-130 GWh ηλεκτρικής ενέργειας ανά έτος

χρησιμοποιώντας την ηλιακή θερμική τεχνολογία. Αυτό είναι ισοδύναμο με την ετήσια παραγωγή ενός συμβατικού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δυναμικότητας 50 MW, που λειτουργεί με άνθρακα ή με φυσικό αέριο. Κατά τη διάρκεια του συνολικού κύκλου ζωής ενός ηλιακού θερμικού σταθμού, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από αυτόν είναι ισοδύναμη με την ενέργεια που περιλαμβάνεται σε περισσότερα από 5 εκατομμύρια βαρέλια πετρελαίου.

Εντούτοις, αυτή η μεγάλη δυνατότητα παραγωγής ενέργειας από τον ήλιο θα χρησιμοποιηθεί μόνο σε περιορισμένο βαθμό, εάν περιορίζεται μόνο στις απαιτήσεις της κάθε περιοχής και βασίζεται σε τοπικές τεχνολογικές και οικονομικές πηγές. Εάν η ηλιακή ηλεκτρική ενέργεια εξάγεται σε περιοχές με υψηλή ζήτηση για ενέργεια αλλά λίγες δυνατότητες για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο λόγω χαμηλής ηλιοφάνειας και έντασης της ακτινοβολίας, τότε είναι δυνατό περισσότερες χώρες που βρίσκονται στη ζώνη της γης, όπου υπάρχει μεγάλη ηλιοφάνεια, να συμπεριληφθούν ώστε να προστατευθεί το παγκόσμιο κλίμα. Χώρες όπως η Γερμανία λαμβάνουν ήδη σοβαρά υπόψη την εισαγωγή ηλιακής ηλεκτρικής ενέργειας από τη βόρεια Αφρική και τη Νότια Ευρώπη ώστε να συμβάλει μακροπρόθεσμα στην επίτευξη βιώσιμης ανάπτυξης στον τομέα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τις ακτίνες του ήλιου είναι μια απλή διαδικασία: η άμεση ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να συγκεντρωθεί και να συλλεχθεί από μια ποικιλία τεχνολογιών συγκέντρωσης ηλιακής ακτινοβολίας για να επιτευχθεί θερμότητα μέσης ή υψηλής θερμοκρασίας. Αυτή η θερμότητα χρησιμοποιείται στη συνέχεια για να λειτουργήσει ένας συμβατικός κύκλος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, παραδείγματος χάριν μέσω ενός αμμοστρόβιλου. Η ηλιακή θερμότητα που συλλέγεται κατά τη διάρκεια της ημέρας μπορεί να αποθηκευτεί σε υγρά ή στερεά μέσα όπως τα λειωμένα άλατα και τα κεραμικά για

παράδειγμα. Τη νύχτα μπορεί να εξαχθεί από το μέσο αποθήκευσης η θερμότητα ώστε να συνεχίζεται η λειτουργία των αμμοστροβίλων.

Ηλιακοί θερμικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας που σχεδιάζονται για μετατροπή σε ηλεκτρική ενέργεια αποκλειστικά και μόνο της ηλιακής ενέργειας, σχεδιάζονται ιδανικά για να ικανοποιήσουν τα μεσημεριανά μέγιστα φορτία το καλοκαίρι σε πλούσιες χώρες με σημαντικές απαιτήσεις ψύξης, όπως η Ισπανία και η Καλιφόρνια. Τα συστήματα αποθήκευσης της θερμικής ενέργειας είναι ικανά να επεκτείνουν το χρόνο λειτουργίας ενός ηλιακού θερμικού σταθμού ακόμη και μέχρι τη λειτουργία σε φορτίο βάσης. Παραδείγματος χάριν, στην Ισπανία οι εγκαταστάσεις AndaSol δυναμικότητας 50 MWe είναι σχεδιασμένες για 6 έως 12 ώρες θερμική αποθήκευση, αυξάνοντας την ετήσια διαθεσιμότητα κατά περίπου 1.000 ως 2.500 ώρες.

Κατά τη διάρκεια της φάσης εισαγωγής στην αγορά της νέας αυτής τεχνολογίας, είναι πιθανότερο να επιλεχθούν υβριδικές εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος από ηλιακή ενέργεια, οι οποίες υποβοηθούνται από κάποιο ορυκτό καύσιμο. Στις εγκαταστάσεις των παραβολικών κατόπτρων στην Καλιφόρνια, χρησιμοποιείται κάποια ποσότητα ορυκτού καυσίμου σε περίπτωση χαμηλής έντασης ηλιακής ακτινοβολίας, για να εξασφαλιστεί η αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικού ρεύματος όταν υπάρχει φορτίο αιχμής. Η συμπαραγωγή θερμότητας και ενέργειας σε εγκαταστάσεις με συγκεντρωτικούς συλλέκτες έχει καλά υποσχόμενες δυνατότητες, δεδομένου ότι η εισερχόμενη ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιείται κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο, με απόδοση που υπερβαίνει το 85%. Η θερμότητα από συμπαραγωγή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για βιομηχανικές εφαρμογές, ψύξη περιοχών ή αφαλάτωση θαλασσινού νερού. Οι πρόσφατες τεχνολογίες που χρησιμοποιούν συγκεντρωτικούς συλλέκτες περιλαμβάνουν τις εγκαταστάσεις με παραβολικά κάτοπτρα, τους ηλιακούς πύργους και τα παραβολικά «πιάτα» για παραγωγή ενέργειας. Εγκατάσταση με παραβολικά κάτοπτρα με εγκατεστημένη ισχύ 354 MW βρίσκεται σε εμπορική λειτουργία εδώ και πολλά έτη στην έρημο Mojave στην Καλιφόρνια, ενώ οι ηλιακοί πύργοι και τα παραβολικά πιάτα έχουν εξεταστεί επιτυχώς σε μία σειρά από προγράμματα που έχουν εφαρμοστεί.

2.4.3.3.2. Ηλιακή Ενέργεια Περιβάλλον και Οικονομία

Η συγκέντρωση της ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι μια από τις καταλληλότερες τεχνολογίες, που μπορούν να συνεισφέρουν για να μετριαστούν οι αλλαγές που συμβαίνουν στο κλίμα, καθώς επίσης και για να μειωθεί η κατανάλωση ορυκτών καυσίμων.

Η ανάλυση του κύκλου ζωής των συστημάτων συγκέντρωσης της ηλιακής ακτινοβολίας δηλαδή των εκπομπών που παράγονται και των επιδράσεων στην επιφάνεια του εδάφους, δείχνουν ότι είναι ιδανικά για τη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου και άλλων ρύπων, χωρίς να δημιουργούνται άλλοι περιβαλλοντικοί κίνδυνοι. Για παράδειγμα κάθε τετραγωνικό μέτρο της επιφάνειας ενός συγκεντρωτικού συλλέκτη, είναι αρκετό για να αποφευχθούν ετήσιες εκπομπές 200 -300 χιλιόγραμμων (kg) διοξειδίου του άνθρακα, ανάλογα με την διαμόρφωση της εκάστοτε εγκατάστασης. Η διάρκεια ζωής τέτοιων εγκαταστάσεων είναι περίπου 25 έως 30 έτη. Τα περισσότερα από τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των διαφόρων τύπων των συγκεντρωτικών συλλεκτών μπορούν να ανακυκλωθούν και να χρησιμοποιηθούν ξανά για τις μελλοντικές εγκαταστάσεις.

Το κόστος της ηλιακής θερμικής ενέργειας θα μειωθεί με την αύξηση του μεγέθους των εγκαταστάσεων. Η εμπειρία από τα ηλιακά ηλεκτρικά παραγωγικά συστήματα στην Καλιφόρνια δείχνει ότι το σημερινό κόστος παραγωγής στις περιοχές με πολύ καλές τιμές ηλιακής ακτινοβολίας, είναι περίπου 15 US cents / kWh. Σήμερα το ελάχιστο μέγεθος των εγκαταστάσεων ηλιακής θερμικής παραγωγής ενέργειας είναι 1MWe για τα παραβολικά πιάτα, 10MWe για συστήματα κεντρικών πύργων και 50MWe για τα παραβολικά κάτοπτρα. Είναι πιθανό ότι το κόστος των μεμονωμένων παραβολικών πιάτων θα μειωθεί, γεγονός το

οποίο θα ανοίξει την αγορά για τις μικρότερες ανεξάρτητες μονάδες με ένα εκτιμώμενο κόστος 5.000 Euro/kWe. Για τα συστήματα κεντρικών πύργων και τα παραβολικά κάτοπτρα, τα σημερινά κόστη είναι ήδη κάτω από τα 3.000 Euro/kWe, αλλά η πιθανότερη τάση είναι προς τις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις μεταξύ 100 MWe και 200 MWe που θα οδηγούσε στη μείωση αυτού του κόστους. Ωστόσο οι εξελίξεις στην τεχνολογία θα εξασφαλίσουν ότι το κόστος των συστημάτων θα μειωθεί και αναμένεται μείωση ως και 50%, σαν αποτέλεσμα των διαφόρων παραγόντων. Οι δαπάνες των συστημάτων αυτών χωρίζονται στις ηλιακές και στις μη-ηλιακές. Μείωση στις ηλιακές δαπάνες επιτυγχάνονται με τη μαζική παραγωγή, που οδηγεί στις οικονομίες κλίμακας και στην ανάπτυξη καινοτόμων συστημάτων κατόπτρων, αφού οι συγκεντρωτές ηλιακής ακτινοβολίας αποτελούν αυτήν την περίοδο το 30-40% του κόστους επένδυσης των εγκαταστάσεων. Απαιτείται η ανάπτυξη νέων οπτικών συστημάτων. Οι μη-ηλιακές δαπάνες θα μειωθούν με την ανάπτυξη απλούστερων και αποδοτικότερων συστημάτων μεταφοράς θερμότητας, αποδοτικότερους θερμικούς κύκλους, άμεση παραγωγή ατμού, με συμπαραγωγή και αυξήσεις στη θερμοκρασία του ατμού για να βελτιωθεί η απόδοση του κύκλου του υπέρθερμου ατμού για την μεγαλύτερη δυνατή μετατροπή σε ηλεκτρική ενέργεια.

Έτσι θα γίνει εφικτή μια μείωση στο κόστος της ηλιακής ηλεκτρικής ενέργειας μέσα στην επόμενη δεκαετία, σε ένα ανταγωνιστικό επίπεδο σε σχέση με τις συμβατικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα για την κάλυψη μέσου φορτίου και φορτίου αιχμής. Αυτό θα μειώσει την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και επομένως, θα αποφευχθεί ο κίνδυνος μιας δραματικής αύξησης του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας στο μέλλον. Υβριδικές ηλιακές μονάδες που υποβοηθούνται με ορυκτά καύσιμα, χρησιμοποιώντας ειδικά σχέδια χρηματοδότησης στις ευνοϊκές περιοχές, μπορούν ήδη να παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια σε ανταγωνιστικές τιμές.

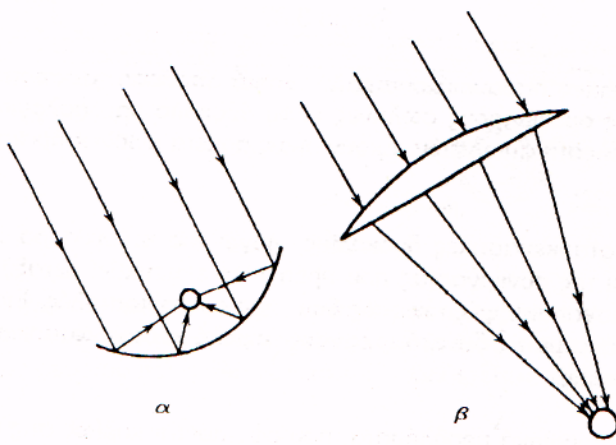
Οι ηλιακές θερμικές εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανταγωνίζονται τους συμβατικούς σταθμούς ορυκτών καυσίμων και τις εγκαταστάσεις συνδυασμένου κύκλου που έχουν ως καύσιμο το φυσικό αέριο και λειτουργούν σε μέσο φορτίο και φορτίο βάσης. Για μικρής κλίμακας, εκτός δικτύου παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο, όπως σε νησιά ή σε απομονωμένες αγροτικές περιοχές σε ανεπτυγμένες χώρες, ο ανταγωνισμός προκύπτει βασικά από το πετρέλαιο ή από το μαζούτ, δηλαδή κακής ποιότητας καύσιμο, σε εγκαταστάσεις με γεννήτριες που λειτουργούν μέσω μηχανών Diesel.

2.4.3.4 Συγκεντρωτικοί συλλέκτες

2.4.3.4.1 Γενικά

Οι συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες είναι συσκευές που συγκεντρώνουν με οπτικά μέσα την ηλιακή ενέργεια και στη συνέχεια την απορροφούν και τη μετατρέπουν σε χρήσιμη θερμική. Στους συγκεντρωτικούς συλλέκτες, αντί της απορροφητικής επιφάνειας που διαθέτει ο επίπεδος συλλέκτης έχουμε:

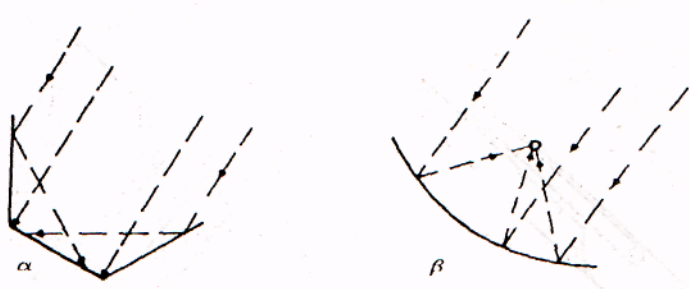
- Το οπτικό σύστημα ή συγκεντρωτήρα, που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία, τη συγκεντρώνει και την οδηγεί στον δέκτη.
- Τον δέκτη που δέχεται και απορροφά την συγκεντρωμένη ηλιακή ακτινοβολία και αποτελείται από την καλύπτουσα τον δέκτη διαφανή πλάκα, την απορροφητική επιφάνεια και τη μόνωση.



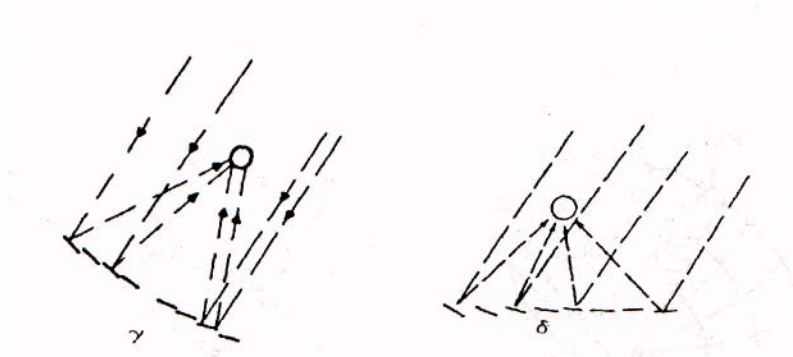
Σχήμα 2.56 (α),(β) - [<http://www.spaceweather.com/>].

Σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό, μπορεί να έχουμε πληθώρα από διαφορετικούς τύπους συγκεντρωτικών συλλεκτών, ο κάθε ένας από τους οποίους απαιτεί τη δική του μαθηματική ανάλυση. Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες διακρίνονται σε πολλές κατηγορίες, ανάλογα με τη διαμόρφωση του συγκεντρωτήρα και του δέκτη.

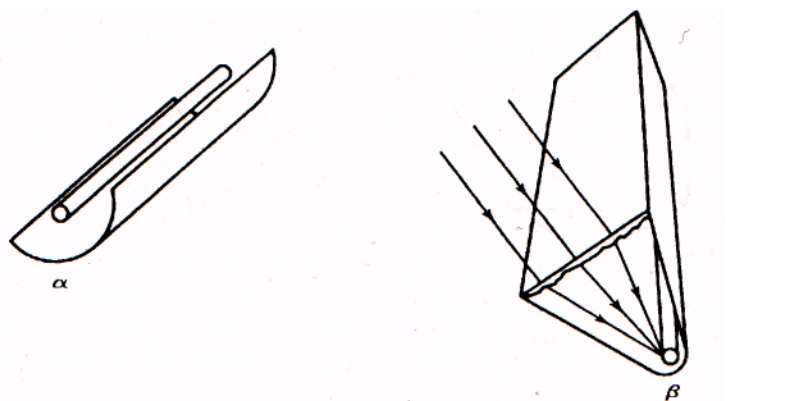
Έτσι ο συγκεντρωτήρας μπορεί να είναι καθρέπτης και να ανακλά την ηλιακή ακτινοβολία ή να είναι φακός και να την διαθλά [σχήμα 2.56(α),(β)]. Ακόμα ο συγκεντρωτήρας μπορεί να είναι επίπεδος, παραβολικός ή να αποτελείται από μια σειρά κινούμενων, ανάλογα με τη πορεία του ηλίου επιπέδων, που να συγκεντρώνουν σε ορισμένο σημείο την ηλιακή ακτινοβολία, ή από σειρές ακίνητων επιπέδων που μπορούν να συγκεντρώσουν την μεσημβρινή ηλιακή ακτινοβολία του θερινού ή χειμερινού ηλιοστασίου ενός τόπου σε ένα σημείο [σχήμα 2.57 (α),(β),(γ),(δ)]. Μια άλλη διάκριση στηρίζεται στο είδος της επιφάνειας του συγκεντρωτήρα που μπορεί να είναι ευθυγενής καμπύλη επιφάνεια όπως στο σχήμα 2.58, οπότε και ο δέκτης είναι γραμμή, δηλαδή επιφάνεια δύο, μικρών σχετικά, διαστάσεων ή καμπυλογενής όπως στο σχήμα 2.59, οπότε και ο δέκτης είναι σημείο, δηλαδή στη πράξη μικρή σχετικά επιφάνεια τριών διαστάσεων.



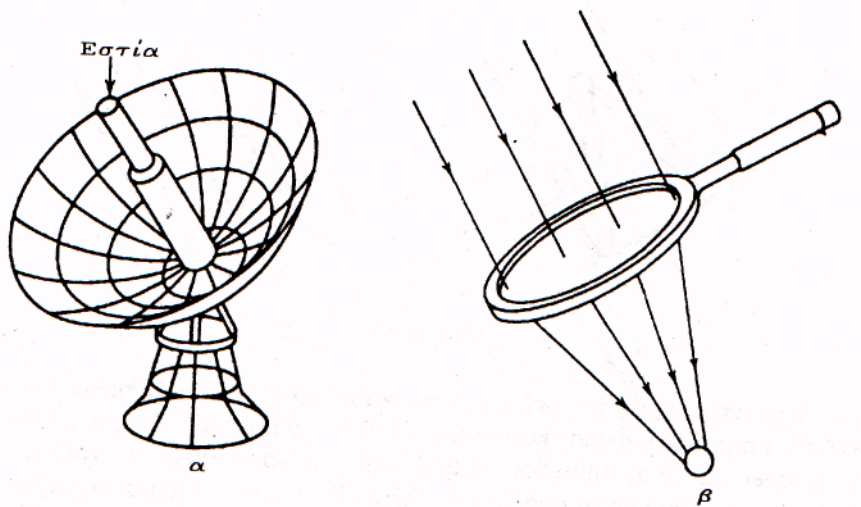
Σχήμα 2.57 (α),(β) - [<http://www.spaceweather.com/>].



Σχήμα 2.57 (γ),(δ) - [<http://www.spaceweather.com/>].



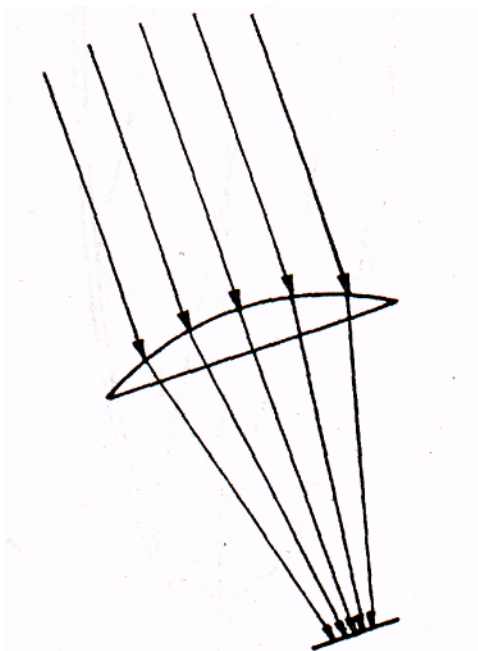
Σχήμα 2.58 - Ευθυγενής καμπύλη επιφάνεια [<http://www.spaceweather.com/>].



Σχήμα 2.59 - Καμπυλογενής καμπύλη επιφάνεια [<http://www.spaceweather.com/>].

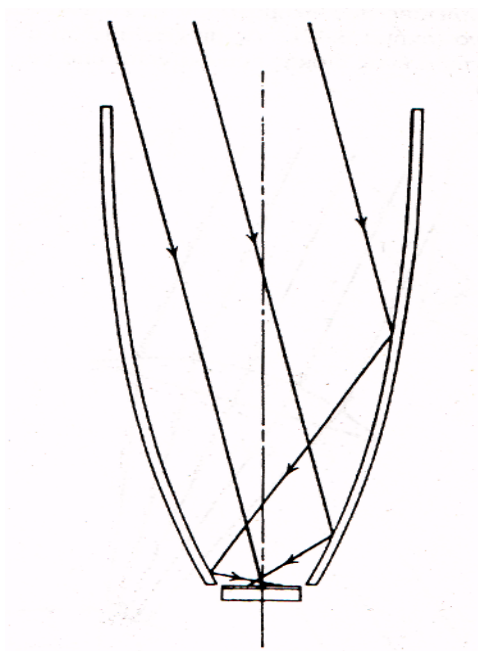
Ο δέκτης τώρα μπορεί να είναι σημείο, γραμμή ή επιφάνεια επίπεδη κυρτή ή κοίλη. Τέλος οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες είναι εικονικοί ή ανεικονικοί. Εικονικοί λέγονται οι συλλέκτες

που σχηματίζουν το είδωλο του ηλίου στο δέκτη, έστω και παραμορφωμένο (σχήμα 2.60). Ας μη ξεχνάμε ότι ο ήλιος δεν είναι μια σημειακή φωτεινή πηγή αλλά ένας δίσκος που φαίνεται υπό γωνία $0,54^\circ$ από τη γη πάνω στον ουράνιο θόλο.



Σχήμα 2.60 - Εικονικός συλλέκτης [<http://www.spaceweather.com/>].

Ανεικονικοί λέγονται οι συλλέκτες, στους οποίους η άμεση ηλιακή ακτινοβολία διαχέεται και απορροφάται τυχαία από το δέκτη, έτσι ώστε κανένα είδωλο του ηλίου δεν μπορεί να σχηματισθεί έστω και παραμορφωμένο (σχήμα 2.61).



Σχήμα 2.61 - Ανεικονικός συλλέκτης [<http://www.spaceweather.com/>].

Η μεγάλη αυτή ποικιλία ιδεών και κατασκευών έχει έναν κεντρικό στόχο. Τη συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας και την κατά συνέπεια επίτευξη θερμοκρασιών υψηλότερων από αυτές που επιτυγχάνονται στην απορροφητική επιφάνεια των επίπεδων ηλιακών συλλεκτών. Με τον τρόπο αυτό έχουμε δύο πλεονεκτήματα:

- Συλλογή θερμότητας σε υψηλότερες θερμοκρασίες που είναι χρήσιμη σε ορισμένες, κυρίως βιομηχανικές χρήσεις.
- Μείωση, κατά κανόνα, των θερμικών απωλειών της απορροφητικής επιφάνειας, λόγω της δραστηρικής μείωσης της σε έκταση.

Το πόσο ακριβώς μειώνεται η απορροφητική επιφάνεια μας το δίνει ο δείκτης συγκέντρωσης, που είναι ο λόγος της επιφάνειας του συγκεντρωτήρα προς την επιφάνεια του δέκτη δηλαδή,

$$C = \frac{A_a}{A_r} \quad (\Sigma 2.28)$$

όπου είναι:

A_a η επιφάνεια του συγκεντρωτήρα και

A_r η επιφάνεια του δέκτη

Αποδεικνύεται θεωρητικά ότι για τους συλλέκτες, που έχουν συγκεντρωτήρα ευθυογενή καμπύλη επιφάνεια είναι,

$$C_{\max} = \frac{1}{\sin(\theta_s / 2)} = 212 \quad (\Sigma 2.29)$$

και για καμπυλογενείς επιφάνειες συγκεντρωτήρα,

$$C_{\max} = \frac{1}{\sin^2(\theta_s / 2)} = 45.000 \quad (\Sigma 2.30)$$

όπου $\theta_s = 0,54^\circ$ είναι η γωνία υπό την οποία φαίνεται ο ήλιος από τη γη.

Ο λόγος αυτός κυμαίνεται στην πράξη από 1,5 μέχρι 10.000. Είναι προφανές ότι όσο μεγαλώνει ο δείκτης συγκέντρωσης τόσο η θερμοκρασία του δέκτη μεγαλώνει. Μαζί της όμως μεγαλώνουν και οι θερμικές απώλειες του δέκτη, αλλά και οι απαιτήσεις τόσο σε ποιότητα οπτικών χαρακτηριστικών του συγκεντρωτήρα όσο και σε θερμική αντοχή των υλικών του δέκτη, που σε τελευταία ανάλυση μεταφράζεται σε άνοδο του κόστους του συγκεντρωτικού συλλέκτη ανά μονάδα χρήσιμης ενέργειας που απολαμβάνουμε.

Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες, πέρα από τα πλεονεκτήματα που προαναφέραμε έχουν πολλά μειονεκτήματα.

- Είναι κατά κανόνα ακριβότεροι από τους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες της ίδιας θερμικής απόδοσης.

- Παρουσιάζουν προβλήματα κατασκευής, εγκατάστασης και συντήρησης και ειδικότερα:

Η ποιότητα του οπτικού συστήματος δηλαδή του συγκεντρωτήρα πρέπει να είναι υψηλή και να αντέχει για μεγάλες περιόδους στην οξειδωση, στη διάβρωση, στις καιρικές συνθήκες και αλλαγές και στη σκόνη. Ο δέκτης πρέπει να έχει κατάλληλη προστασία και να αντέχει στις θερμοκρασιακές μεταβολές και στις υψηλές θερμοκρασίες.

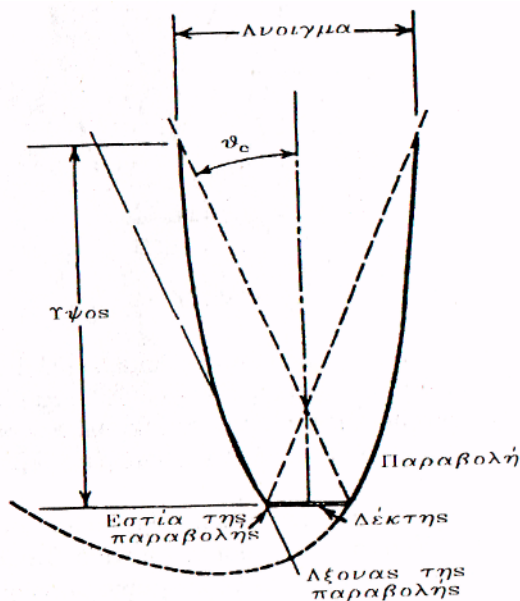
Τα συστήματα κίνησης και προσανατολισμού, εφόσον ο συγκεντρωτικός συλλέκτης διαθέτει παρόμοια, πρέπει να είναι υψηλής ποιότητας και πιστότητας, να επιθεωρούνται και να συντηρούνται τακτικά, γιατί σε περίπτωση βλάβης τους χάνεται χρήσιμη ενέργεια.

Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητό ότι δεν είναι εύκολο να εξετασθούν όλα τα είδη και οι συνδυασμοί συγκεντρωτικών συλλεκτών που μπορεί να υπάρχουν. Για το λόγο αυτό θα εξετασθούν ορισμένοι τύποι, που έχουν βρει βιομηχανική εφαρμογή, καθώς και η θερμική διαδικασία συλλογής και απόδοσης της θερμικής ενέργειας αυτού του τύπου των συλλεκτών.

2.4.3.4.2 Ανεικονικοί συγκεντρωτήρες

Υπάρχουν πολλά ήδη ανεικονικών συγκεντρωτήρων, που βρίσκονται σήμερα είτε στο στάδιο του σχεδιασμού είτε στο επίπεδο των πειραματικών εφαρμογών. Εδώ θα εξετασθεί μόνο ο σύνθετος παραβολικός συγκεντρωτήρας ή CPC όπως ονομάζεται διεθνώς που παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα και έχει βρει πρακτική εφαρμογή σε πολλές περιπτώσεις.

Εργασίες σχετικές με τον CPC έχουν γίνει στις Ηνωμένες Πολιτείες από τους Hinterberger και Winston και παράλληλα στην Πρώην Σοβιετική Ένωση από τους Baronov και Melnikov, ενώ οι πιο πρόσφατες ανακοινώσεις έγιναν από τους Welford και Winston, Rabi και άλλους.



Σχήμα 2.62 - [<http://www.spaceweather.com/>].

Ο CPC συγκεντρωτήρας δύο διαστάσεων αποτελείται από δύο παραβολικές επιφάνειες, ενώ ο δέκτης αποτελεί ένα επίπεδο όπως φαίνεται στο σχήμα 2.62. Οι εστίες των παραβολών βρίσκονται πάνω στο δέκτη, ενώ στο ίδιο σχήμα φαίνονται τόσο το ύψος ή αν προτιμάτε το βάθος του συγκεντρωτήρα h , το άνοιγμα α , και η γωνία θ_c που αποτελεί το ήμισυ της γωνίας

εισοχής της ηλιακής ακτινοβολίας συλλέκτη. Αποδεικνύεται ότι για δύο διαστάσεων ιδανικό συγκεντρωτήρα ο δείκτης συγκέντρωσης είναι,

$$C=1/\sin \theta_c$$

(Σ 2.31)

Ένα άλλο ενδιαφέρον σημείο είναι το γεγονός ότι το ύψος h μπορεί να μειωθεί, πράγμα το οποίο δεν αλλάζει την γωνία θ_c και δεν μειώνει αισθητά την προσπίπτουσα στο δέκτη ακτινοβολία. Αν δηλαδή μειωθεί το βάθος h σε $h/2$, τότε η προσπίπτουσα στο δέκτη ακτινοβολία μειώνεται κατά 10% (σχήμα 2.63). Έτσι στην πράξη, οι σύνθετοι παραβολικοί συγκεντρωτήρες είναι μικρού βάθους.

Ο δέκτης μπορεί να είναι μια επίπεδη απορροφητική επιφάνεια ή να είναι σύστημα ομοκέντρων σωλήνων, από τους οποίους ο εξωτερικός να είναι σωλήνας κενού για τη μείωση των θερμικών απωλειών με αγωγή και μεταφορά και ο εσωτερικός να είναι ο σωλήνας, που να διατρέχεται από το ρευστό μεταφοράς της θερμότητας.

Στο σχήμα 2.64 φαίνεται ο ηλιακός συλλέκτης του Winston που αποτελείται από 3 σύνθετους παραβολικούς συγκεντρωτήρες με πολύ μεγάλη θ_c . Ο δείκτης συγκέντρωσης σε αυτόν το συλλέκτη είναι 1,5 η δε επιφάνεια συλλογής περίπου $1,50 \text{ m}^2$.

Η βασική εξίσωση που ισχύει για ένα σύνθετο παραβολικό συλλέκτη είναι η (2.63), όπου η προσπίπτουσα στο δέκτη ηλιακή ακτινοβολία υπολογίζεται από τη σχέση σύμφωνα με τους Duffy και Beckman,

$$S = (I_{b,CPC} \tau_{cb} \alpha_b + I_{d,CPC} \tau_{cd} \alpha_d) \tau_{cpc}$$

(Σ 2.32)

$I_{b,CPC}$ η άμεση ηλιακή ακτινοβολία που πέφτει στον CPC ηλιακό συλλέκτη,

$I_{d,CPC}$ η αντίστοιχη διάχυτη ακτινοβολία,

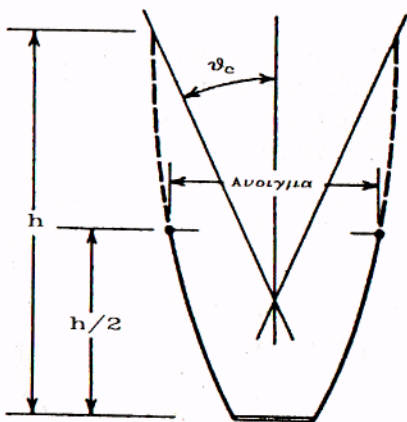
τ_{cb} το ποσοστό της άμεσης ακτινοβολίας που διέρχεται από οποιοδήποτε διαφανές μέσο καλύπτει το συλλέκτη,

τ_{cd} το αντίστοιχο ποσοστό για τη διάχυτη ακτινοβολία,

α_b η απορροφητικότητα του δέκτη για την άμεση ακτινοβολία,

α_d η αντίστοιχη απορροφητικότητα για τη διάχυτη ακτινοβολία και τέλος

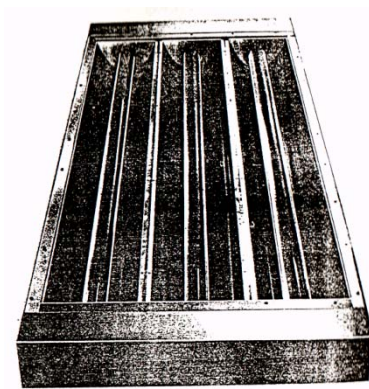
τ_{cpc} ο συντελεστής του συγκεντρωτήρα, ο οποίος υπολογίζει τις απώλειες λόγω ανάκλασης.



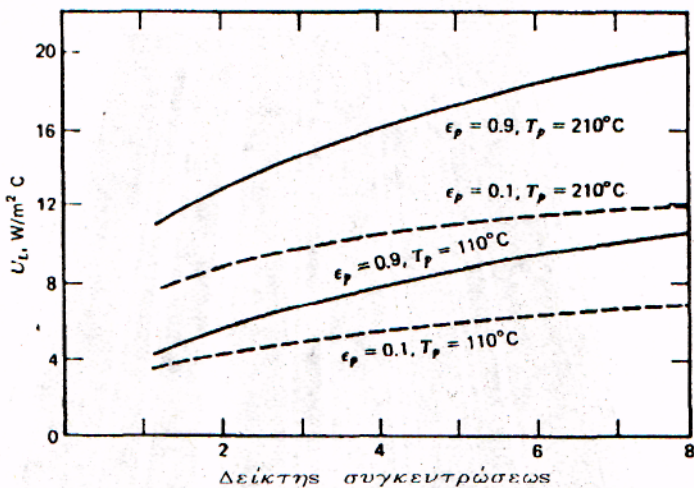
Σχήμα 2.63 - [<http://www.spaceweather.com/>].

Οι θερμικές απώλειες του δέκτη U_L , πρέπει ή να υπολογισθούν ή να δοθούν πειραματικά. Οι υπολογισμοί θα πρέπει να περιλαμβάνουν απώλειες, λόγω ακτινοβολίας, μεταφοράς και αγωγής. Στο σχήμα 2.65 ο $Rabl$ μας δίνει το συντελεστή U_L συναρτήσει του δείκτη συγκέντρωσης C , του δείκτη εκπομπής ϵ_p , της επιφάνειας του δέκτη A_r και της θερμοκρασίας του T_p . Ο δέκτης θεωρείται επίπεδη πλάκα και οι θερμικές απώλειες δίνονται ανά μονάδα επιφάνειας του δέκτη.

Έτσι, γνωρίζοντας επίσης πειραματικά ή αναλυτικά το συντελεστή F_i του συστήματος μπορούμε να υπολογίσουμε την χρήσιμη ενέργεια που μας δίνει ο συγκεντρωτικός συλλέκτης σε ένα χρόνο Δt .



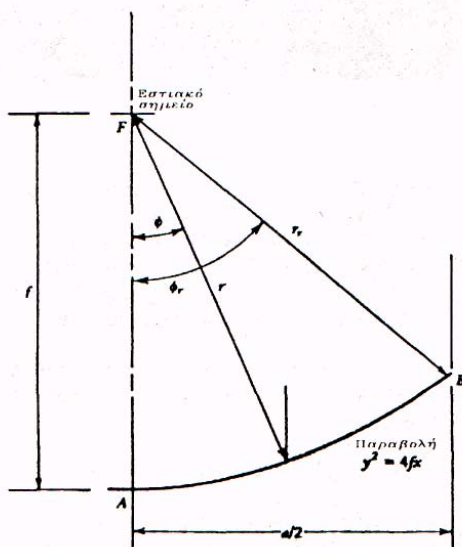
Σχήμα 2.64 - [<http://www.spaceweather.com/>].



Σχήμα 2.65 - [<http://www.spaceweather.com/>].

2.4.3.4.3 Συλλέκτες με γραμμικούς εικονικούς συγκεντρωτήρες

Όπως και στους ανεικονικούς συγκεντρωτήρες έτσι και στους εικονικούς, προτάθηκαν και εξετάστηκαν πειραματικά και αναλυτικά πολλά είδη συλλεκτών. Εδώ θα εξετάσουμε ένα συλλέκτη με γραμμικό παραβολικό συγκεντρωτήρα, που σε τομή κάθετη προς τον άξονα της εστίας φαίνεται στο σχήμα 2.66



Σχήμα 2.66 - [<http://www.spaceweather.com/>].

Ο συγκεντρωτήρας έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Εστιακή απόσταση f

- Απόσταση ενός σημείου του συγκεντρωτήρα $r = \frac{2f}{1 + \cos \phi}$

(Σ 2.33)

όπου η γωνία ϕ είναι αυτή που σχηματίζεται μεταξύ της εστιακής απόστασης f και της ακτίνας r όπως φαίνεται στο σχήμα. 2,66

- Μεγίστη απόσταση του χείλους από την εστία $r_r = \frac{2f}{1 + \cos \phi_r}$

(Σ 2.34)

- Εξίσωση παραβολής $y^2 = 4fx$

(Σ 2.35)

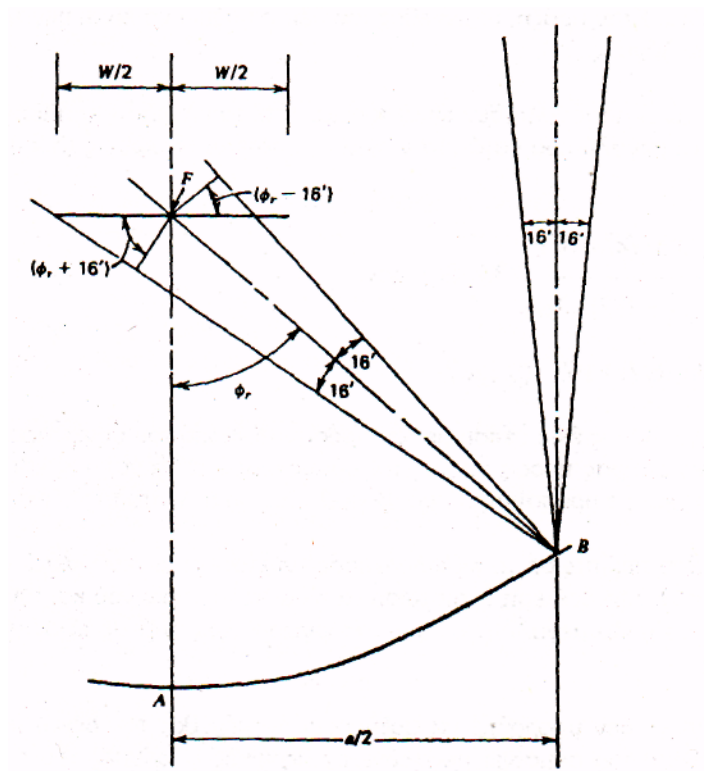
- Άνοιγμα α

Αυτά είναι τα χαρακτηριστικά του συγκεντρωτήρα.

Ο δέκτης μπορεί να είναι κυλινδρικός ή επίπεδος. Και στις δύο περιπτώσεις πρέπει να έχει ανάλογο μέγεθος για να “συλλαμβάνει” ολόκληρο το είδωλο του ηλίου, που όπως προαναφέραμε δεν είναι σημείο αλλά δίσκος που φαίνεται από τη γη υπό γωνία $0,54^\circ$.

Το σχήμα 2.67, μας δίνει το μέγεθος του δέκτη. Εκεί φαίνεται ότι όταν αυτός είναι επίπεδος τότε το πλάτος του πρέπει να είναι,

$$W = \frac{2r_r \sin 16'}{\cos(\phi_r + 16')} \quad (\Sigma 2.36)$$



Σχήμα 2.67 - [<http://www.spaceweather.com/>].

Όταν είναι κυλινδρικός τότε η διάμετρος του κυλίνδρου πρέπει να είναι,

$$D = 2r_r \sin 16' \quad (\Sigma 2.37)$$

Τα μεγέθη αυτά είναι τα θεωρητικά απαιτούμενα του δέκτη, για να “συλλαμβάνει” ολόκληρο το είδωλο του ηλίου και κατά συνέπεια ολόκληρη την άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Στην πράξη, το μέγεθος του δέκτη πρέπει να είναι μεγαλύτερο, για τους παρακάτω λόγους:

Πρώτον, αν η παραβολή δεν είναι τέλεια, τότε το είδωλο του ηλίου διασκορπίζεται και γίνεται μεγαλύτερο κατά μία γωνία δ , οπότε οι εξισώσεις (2.36) και (2.37) γίνονται:

$$W = \frac{2r_r \sin[(\delta/2) + 16']}{\cos[\phi_r + (\delta/2) + 16']} \quad (\Sigma 2.38)$$

$$D = 2r_r \sin [(\delta/2) + 16'] \quad (\Sigma 2.39)$$

Ο δεύτερος λόγος έχει σχέση με τον προσανατολισμό του συγκεντρωτήρα. Συνήθως ο συγκεντρωτήρας προσανατολίζεται ούτως ώστε, ο άξονας της εστίας του να είναι οριζόντιος και με προσανατολισμό Βορρά - Νότου ή Ανατολής - Δύσης.

Στην πρώτη περίπτωση το είδωλο αποδεικνύεται ότι μεγενθύνεται ανάλογα με τον λόγο $1/\cos\theta$. Στη δεύτερη περίπτωση τα είδωλα του πρωινού και του απογευματινού ηλίου είναι πολύ μεγαλύτερα των υπολογιζόμενων από τις εξισώσεις (2.38) και (2.39).

Οπωσδήποτε δεν μπορούμε να αυξήσουμε το μέγεθος του δέκτη πάρα πολύ, γιατί κάθε αύξηση του σημαίνει μεγαλύτερες θερμικές απώλειες του συλλέκτη για την ίδια μόνωση. Τις πιο πολλές φορές στην πράξη προτιμούμε να μειώσουμε το μέγεθος του δέκτη και να “συλλάβουμε” το 90 μέχρι 95% της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας, πράγμα που σημαίνει οπτικές απώλειες του συστήματος κατά 5-10%, για να έχουμε μικρότερο μέγεθος του δέκτη και μικρότερες θερμικές απώλειες. Αυτή η μείωση εκφράζεται με το γνωστό μας συντελεστή γ , που μας δίνει το ποσοστό της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας που “συλλαμβάνεται” από το δέκτη.

Γενικά, η απορροφούμενη ακτινοβολία από ένα παραβολικό ηλιακό συλλέκτη με άνοιγμα α και επίπεδη επιφάνεια συλλογής A εκφράζεται μια χρονική στιγμή t με τη σχέση,

$$S = G_{ba} \rho \gamma \alpha \quad (2.40)$$

όπου είναι:

G_{ba} η άμεση ακτινοβολία που διέρχεται από την επιφάνεια A

ρ η θεωρητική ανακλαστικότητα του ανακλαστήρα που δίνεται στον παρακάτω πίνακα 2.12

τ η οπτική διαπερατότητα οποιουδήποτε διαφανούς υλικού που σκεπάζει το σύστημα ανακλαστήρα - δέκτη (αν δεν υπάρχει διαφανές υλικό που να καλύπτει τον συλλέκτη $\tau = 1$)

α η απορροφητικότητα του δέκτη

Ο πίνακας που ακολουθεί μας δίνει τη μέση θεωρητική ανακλαστικότητα διαφόρων υλικών.

Πίνακας 2.12 - Μέση θεωρητική ανακλαστικότητα διαφόρων υλικών [<http://www.spaceweather.com/>].

Επιφάνεια	ρ
Πρόσφατη επιμετάλλωση με άργυρο	0,96
Υψηλής καθαρότητας αλουμίνιο (πρόσφατη καθαρή επιφάνεια)	0,91
Οπτικός ανακλαστήρας από ψεκασμένο αλουμίνιο	0,89
Υψηλής καθαρότητας αλουμίνιο παραγόμενο με τη μέθοδο Brytal	0,89
Άσπρο γυαλί επαργυρωμένο (επιφάνεια νέα καθαρή)	0,88
Αλουμίνιο βαμμένο με οξείδιο του πυριτίου (επιφάνεια καθαρή)	0,87
Αλουμίνιο σε φόντ 99,5 καθαρό	0,86
Επαργιλωμένο 3M ακρυλικό (επιφάνεια νέα)	0,86
Επαργιλωμένο 3M ακρυλικό (μετά από έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία 1 έτος)	0,85
Αλουμίνιο παραγόμενο με τη μέθοδο Alzac	0,85
Τύπος αλουμινίου C Mylar (από την πλευρά Mylar)	0,75

Έχοντας υπολογίσει την ολική άμεση ακτινοβολία σε ένα χρόνο Δt υπολείπεται να εκτιμηθούν οι δύο συντελεστές F_i και U_L .

Ο συντελεστής F_i υπολογίζεται με μεθόδους όπως για τούς επίπεδους συλλέκτες, ο συντελεστής όμως απωλειών U_L , είναι δύσκολο να υπολογισθεί. Σε ορισμένες περιπτώσεις έχουν γίνει τέτοιοι υπολογισμοί του U_L , από ορισμένους μελετητές, στην πράξη όμως οι παραπάνω συντελεστές προσδιορίζονται πειραματικά.

2.4.3.4.4 Άλλα είδη συγκεντρωτικών συλλεκτών

Υπάρχει μια πληθώρα ιδεών στη βιβλιογραφία, που σκοπεύουν στην ανάπτυξη μέσω και υψηλών θερμοκρασιών κυρίως.

Ο συγκεντρωτικός συλλέκτης με παραβολοειδή συγκεντρωτήρα τριών διαστάσεων, που προκύπτει δηλαδή από περιστροφή μιας παραβολής περί τον άξονα της, είναι μια από τις προταθείσες λύσεις. Και στην περίπτωση αυτή όπως και στους γραμμικούς παραβολικούς συλλέκτες ο δείκτης συγκέντρωσης δίνεται από τις σχέσεις,

$$C_m = \frac{\sin^2 \phi_r}{4 \sin^2 [(\delta/2) + 0,267]} \quad (2.41)$$

που ισχύει για σφαιρικό δέκτη και

$$C_m = \frac{\sin^2 \phi_r \cos^2 [\phi_r + (\delta/2) + 0,267]}{\sin^2 [(\delta/2) + 0,267]} - 1 \quad (2.42)$$

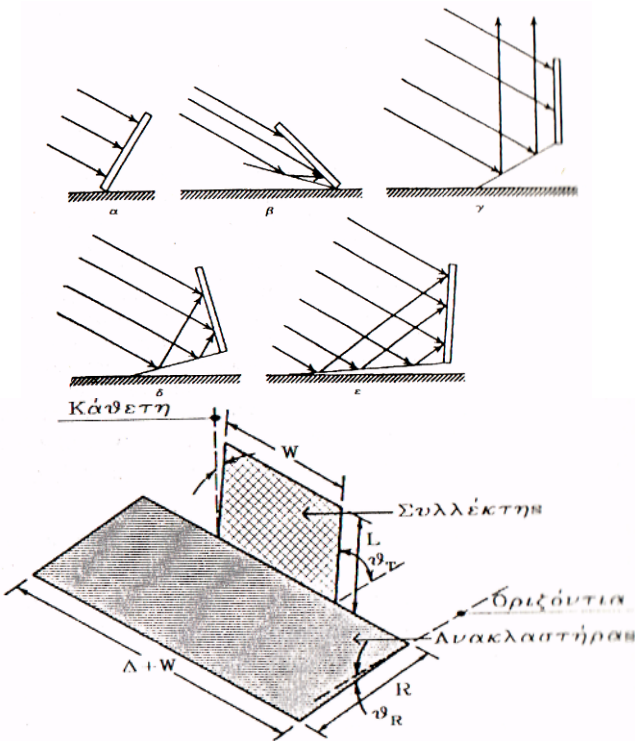
που ισχύει για επίπεδους.

Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στους δέκτες αυτών των ηλιακών συλλεκτών είναι υψηλές. Έτσι προέκυψε η ανάγκη για ειδικού τύπου και κατασκευής δέκτες, που αφ' ενός απορροφούν όσο το δυνατόν μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας, που φτάνει από τον ανακλαστήρα, αφ' ετέρου έχουν τις μικρότερες θερμικές απώλειες. Οι σπηλαιώδεις επιφάνειες που απορροφούν την ακτινοβολία με συνεχείς ανακλάσεις φαίνεται ότι αποτελούν μια καλή λύση για τους δέκτες τέτοιων συλλεκτών.

Τέλος ο υπολογισμός της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφάται δίνεται όπως και στους γραμμικούς συλλέκτες από τη σχέση,

$$S = G_a A_a \rho_{γα} \quad (2.43)$$

Για την επίτευξη υψηλών θερμοκρασιών που απαιτούνται σε ατμοηλεκτρικούς σταθμούς για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έχει προταθεί η λύση του κεντρικού δέκτη, όπως λέγεται ο συλλέκτης που θα περιγραφεί παρακάτω. Σύμφωνα με την ιδέα αυτή υπάρχει ένας κεντρικός πύργος, ο οποίος στην κορυφή του έχει ένα κατάλληλο σφαιρικό ή επίπεδο δέκτη. Σε μια εκτεταμένη περιοχή γύρω από αυτόν τοποθετούνται κάτοπτρα που ακολουθούν με μηχανισμό την πορεία του ήλιου και ανακλούν το ηλιακό φως στον δέκτη. Οι επιτυγχανόμενες έτσι θερμοκρασίες είναι πολύ υψηλές.



Σχήμα 2.68 - [<http://www.spaceweather.com/>]

2.4.3.5 Ανακλαστήρες

2.4.3.5.1 Γενικά

Είναι δυνατόν να αυξήσουμε την προσπίπτουσα ακτινοβολία σε ένα επίπεδο συλλέκτη, αν στη βάση του προσθέσουμε ένα ανακλαστήρα υπό κατάλληλη γωνία ως προς το συλλέκτη, ούτως ώστε ένα μεγάλο μέρος της ανακλώμενης από τον ανακλαστήρα ακτινοβολίας να φτάνει στον συλλέκτη. Έτσι η ενέργεια που φτάνει τελικά στον συλλέκτη μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι η προσπίπτουσα, πολλαπλασιασμένη επί έναν αυξητικό παράγοντα Φ_r , που εξαρτάται από την επιφάνεια και τη γεωμετρία συλλέκτη και ανακλαστήρα. Η εύρεση του αυξητικού αυτού παράγοντα είτε ως στιγμιαίου είτε ως μέσου ημερήσιου όρου, έγινε από τον McDaniel και από άλλους στις σχετικές μελέτες τους.

2.4.3.5.2 Προσανατολισμός του ανακλαστήρα

Ενώ για έναν απλό συλλέκτη η κάθετη πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι η βέλτιστη για το σύστημα ανακλαστήρα - συλλέκτη, θα πρέπει το μέγιστο της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στο σύστημα να οδηγείται τελικά στην απορροφητική επιφάνεια. Στο σχήμα 2.68, φαίνεται ότι, όταν το σύστημα ανακλαστήρα - συλλέκτη σχηματίζει οξεία γωνία [2.68(β)], παγιδεύει ολόκληρη την προσπίπτουσα ακτινοβολία. Εν τούτοις η τελική συλλεγόμενη ενέργεια είναι μικρή, λόγω της μικρής προσφερόμενης επιφάνειας για συλλογή. Αντίθετα, στο σχήμα γ, όπου η γωνία α είναι αμβλεία, η προσπίπτουσα είναι μεγάλη αλλά ένα μέρος της προσπίπτουσας στον ανακλαστήρα διαφεύγει. Ο άριστος συνδυασμός επιτυγχάνεται όταν η γωνία ανακλαστήρα - συλλέκτη είναι ορθή, η δε ακτινοβολία κάθετη στην υποτεινόμενη του ορθογωνίου ισοσκελούς τριγώνου ανακλαστήρα - συλλέκτη [σχήμα 2.68(δ)]. Η τελευταία παρατήρηση ισχύει, αν οι διαστάσεις ανακλαστήρα και συλλέκτη είναι ίδιες. Τελικά τόσο η μεταξύ τους γωνία όσο και η κλίση τους ως προς το οριζόντιο επίπεδο εξαρτώνται από το μέγεθος του ανακλαστήρα, την περίοδο συλλογής της

ηλιακής ακτινοβολίας και από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου. Το σχήμα 2.68(ε) δίνει τη γενική εικόνα ανακλαστήρα - συλλέκτη.

Πειραματικά δεδομένα για το μέγεθος του ανακλαστήρα υπάρχουν για γεωγραφικά πλάτη 45° , όπου για γωνίες $\theta_R = 0-10^\circ$ και $\theta_T = 80^\circ$ το πλάτος του ανακλαστήρα πρέπει να είναι διπλάσιο από το πλάτος του συλλέκτη δηλαδή $R/L \cong 2$ (σχήμα 2.69). Ακόμα, το μήκος του ανακλαστήρα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το μήκος του συλλέκτη, για να εξακολουθεί να υπάρχει αυξητικός παράγων και πέραν της μεσημβρίας τις πρωινές και απογευματινές ώρες. Επίσης, πειραματικά δεδομένα υπάρχουν για γεωμετρικά πλάτη 45° τόσο για τη γωνία θ_T όσο και για τη γωνία θ_R (σχήματα 2.70 και 2.71).

Στο σχήμα 2.70 φαίνεται ότι υπό τις προϋποθέσεις των πειραμάτων που αναγράφονται, η γωνία θ_T πρέπει να είναι γύρω στις 88° . Στο σχήμα 2.71 φαίνεται ότι, υπό τις προϋποθέσεις των πειραμάτων και για γωνία $\theta_T = 90^\circ$, η γωνία θ_R πρέπει να είναι γύρω στις 5° για τους μήνες Νοέμβριο, Δεκέμβριο και Ιανουάριο ενώ για το Φεβρουάριο -5° .

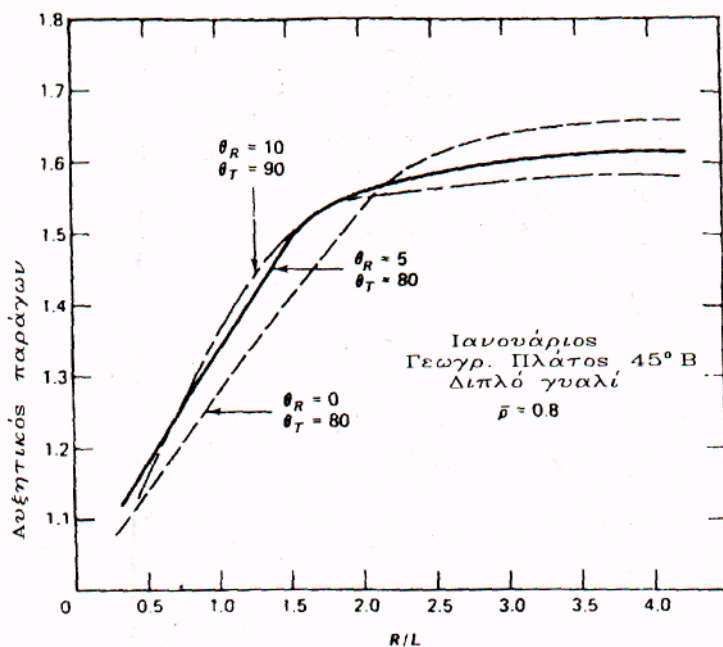
2.4.3.5.3 Το θερμικό ισοζύγιο ανακλαστήρα – συλλέκτη

Είναι προφανές ότι οι σχέσεις που αναπτύχθηκαν για τους επίπεδους συλλέκτες ισχύουν και για το σύστημα ανακλαστήρα - συλλέκτη, με διόρθωση μόνον όσον αφορά στην ολική προσπίπτουσα ακτινοβολία στον συλλέκτη. Αυτή εκφράζεται από τη σχέση,

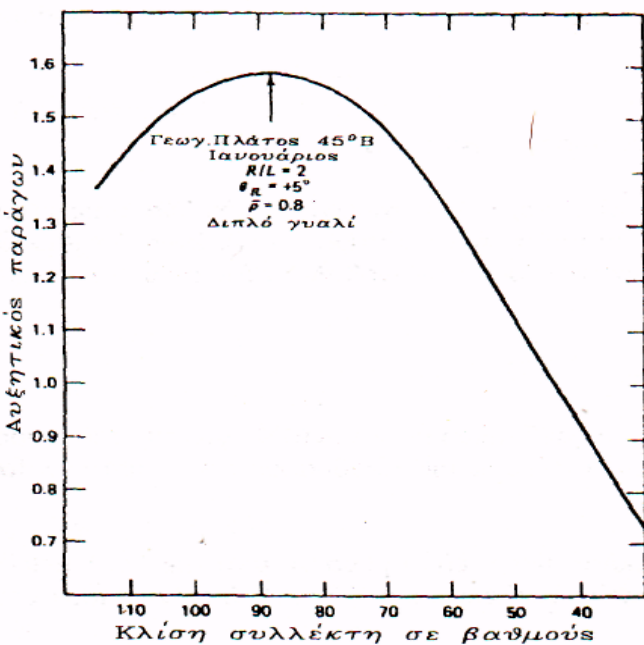
$$I_T = \Phi_r I_{Tb} + I_{Td} + I_{Tr} \quad (2.44)$$

όπου ο υπολογισμός του αυξητικού παράγοντα Φ_r γίνεται από πειραματικά δεδομένα ή για πλάτη γύρω στις 45° , με λογικό συνδυασμό των καμπυλών των σχημάτων 2.69, 2.70 και 2.71.

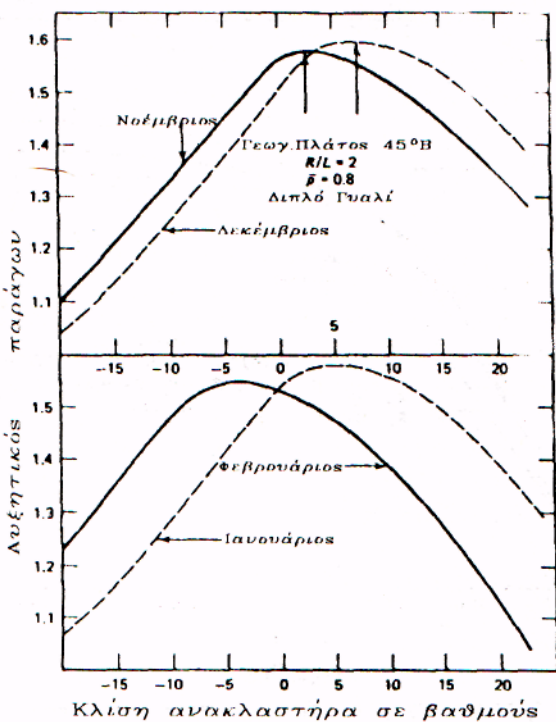
Η σημασία των ανακλαστήρων είναι μεγάλη, γιατί με πολύ μικρό κόστος σε σχέση με το κόστος του ηλιακού συλλέκτη, η απόδοση του τελευταίου αυξάνεται σημαντικά.



Σχήμα 2.69 - [<http://www.spaceweather.com/>].



Σχήμα 2.70 - [<http://www.spaceweather.com/>].



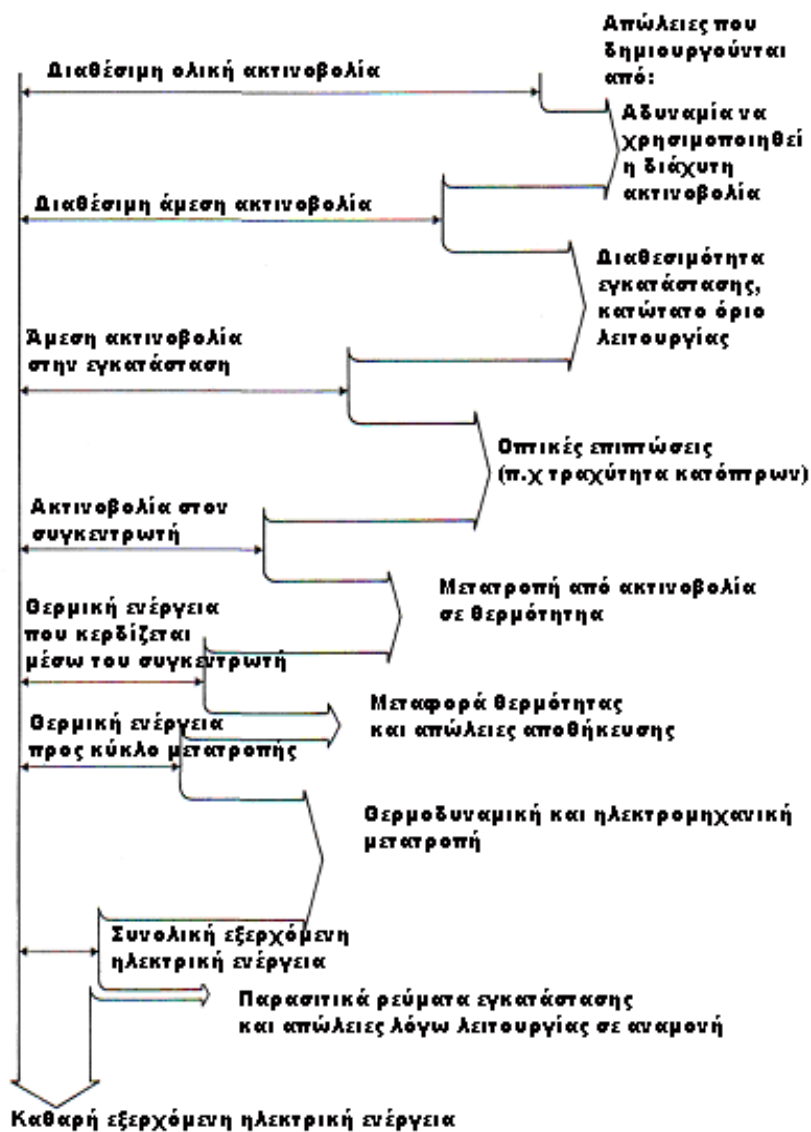
Σχήμα 2.71 - [<http://www.spaceweather.com/>].

2.4.3.5 Στοιχεία για την απόδοση των συγκεντρωτικών συλλεκτών

2.4.3.5.1 Χαρακτηριστικά απόδοσης εγκαταστάσεων με παραβολικά κάτοπτρα

Στο σχήμα 2,72 οι ενεργειακές απώλειες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρία είδη. Πρώτα οι απώλειες της ηλιακής ακτινοβολίας αν η εγκατάσταση είναι ανενεργή κατά τη διάρκεια των ωρών ηλιοφάνειας ή αν μπορεί να μετατρέψει μόνο την άμεση ηλιακή

ακτινοβολία. Δεύτερον οι απώλειες που είναι αναπόφευκτες για φυσικούς ή τεχνικούς λόγους κατά την συλλογή, μετατροπή και γενικά κατά τη διαδικασία λειτουργίας. Τρίτον απώλειες λόγω λειτουργίας στην αναμονή λόγω υποχρεωτικής λειτουργίας και κατά τις νυχτερινές ώρες όπως επίσης και κατά τη διάρκεια άσχημων καιρικών συνθηκών.



Σχήμα 2,72 - Απλοποιημένο διάγραμμα «Sankey» ή δενδροδιάγραμμα απωλειών μιας ηλιακής θερμικής εγκατάστασης με συγκεντρωτικούς συλλέκτες [<http://www.brighton73.freemove.co.uk/gw/causes.htm>].

Στον πίνακα 2,13 φαίνονται οι επιδόσεις των εγκαταστάσεων SEGS I-V κατά το πρώτο μισό του έτους 1988 (τεχνολογία που χρησιμοποιείται είναι τα παραβολικά κάτοπτρα). Είναι προφανής η βελτίωση στα τελευταία έτη.

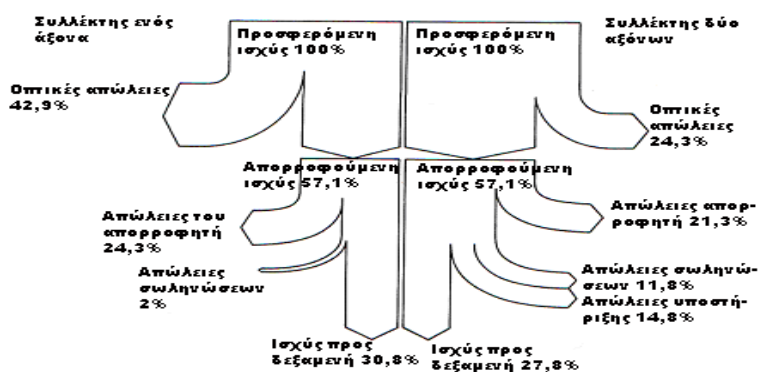
Πίνακας 2,13 - Επιδόσεις των ηλιακών εγκαταστάσεων παραβολικών κατόπτρων SEGS I-V (Ιανουάριο-Ιούνιο 1988) [<http://www.brighton73.freemove.co.uk/gw/causes.htm>].

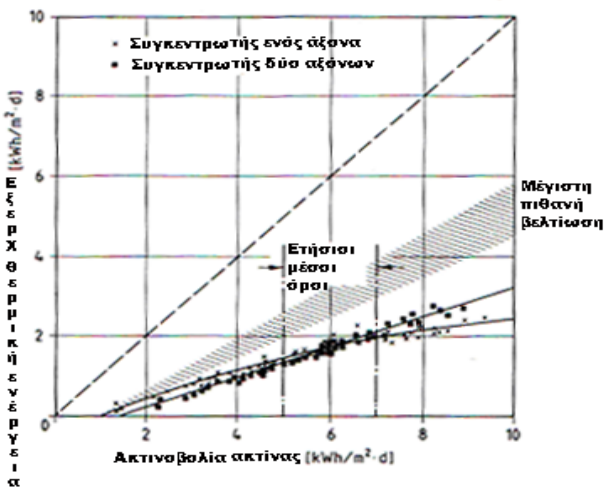
SEGS	I	II	III	IV	V
Καθαρή μετατροπή					
Συνολικές GWh	6,11	23,50	35,74	36,0	36,91

Από αέριο GWhe	2,86	12,07	10,77	10,71	10,63
Από ήλιο GWhe	3,25	11,43	24,97	25,29	26,28
Συλλεκτική επιφάνεια (10^3 m^2)	82,96	165,38	203,98	203,98	233,12
Εισερχόμενη ηλιακή ενέργεια (GWh)	103,7	206,7	255,0	255,0	291,4
Καθαρή απόδοση (%)	3,1	5,5	9,8	9,9	9,0

Μετά από πειράματα και έρευνες που έγιναν σχετικά με τη λειτουργία και τις επιδόσεις των διαφόρων ειδών παραβολικών κατόπτρων προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα:

- Μια μονάδα με ένα μονό συλλέκτη δύο αξόνων, ο οποίος έχει προσανατολισμένο άνοιγμα προς την προσπίπτουσα ακτινοβολία κάθε στιγμή, απορροφά ως και 30% περισσότερη θερμική ενέργεια από έναν συλλέκτη ενός άξονα, με προσανατολισμό ανατολής-δύσης των συγκεντρωτικών συλλεκτών (σχήμα 2,73).
- Όταν συνδέονται σε ένα δίκτυο οι συλλέκτες των δύο αξόνων, η υψηλότερη συλλογή ενέργειας που επιτυγχάνεται, συμβαίνει μόνο σε υψηλά επίπεδα ακτινοβολίας. Κύρια αίτια είναι οι υψηλές θερμικές απώλειες εξαιτίας του πιο πολύπλοκου δικτύου σωληνώσεων και του μεγάλου αριθμού τους (σχήμα 2,74).
- Από την άποψη της απόδοσης των οπτικών και της φυσικής τραχύτητας, οι ανακλαστικές επιφάνειες με λεπτό γυαλί πάνω στο μέταλλο αποδεικνύονται τόσο αποτελεσματικές και γερές όσο και οι κοίλοι καθρέφτες μεγάλου πάχους.
- Η περιοδική αφαίρεση της σκόνης που μεταφέρεται με τον αέρα και εναποτίθεται στις επιφάνειες των κατόπτρων είναι απαραίτητη για τη διατήρηση της ανακλαστικότητας και της καλής απόδοσης του δικτύου των συλλεκτών. Οι περίοδοι καθαρισμού εξαρτώνται από την τοπική ποιότητα αέρα και από πιθανά συμβάντα με αμμοθύελλες.



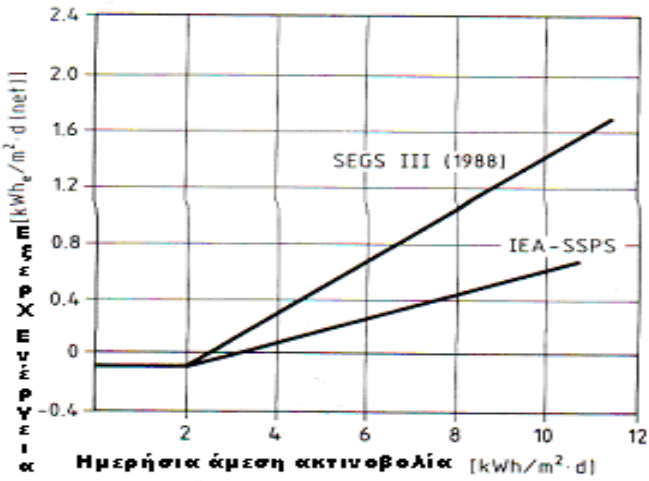


Σχήμα 2,74 - Καθημερινή απόδοση των συλλεκτών παραβολικών κατόπτρων ενός άξονα (Acurex 3001) και δύο αξόνων (Helioman 3/32) για τα διαφορετικά επίπεδα συνολικής άμεσης ακτινοβολίας στην «Almeria» της Ισπανίας [<http://www.brighton73.freeseerve.co.uk/gw/causes.htm>].

Μια σύγκριση της σχέσης μεταξύ εισόδου και εξόδου της εγκατάστασης IEA-SSPS και της εγκατάστασης SEGS III φαίνεται στο σχήμα 2.75, όπου παρατηρούμε ότι τα τελευταία χρόνια υπάρχει σημαντική πρόοδος στην τεχνολογία των παραβολικών κατόπτρων. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι τα εξής:

- η καθαρή ενεργειακή απόδοση καθημερινά στο σύστημα βελτιώθηκε από 4% ως 6% σε περίπου 12%, κυρίως με την ελαχιστοποίηση του μη ενεργού μήκους των σωλήνων, τον υψηλότερο συντελεστή ανάκλασης, τις μειωμένες θερμικές απώλειες των δεκτών (μόνωση κενού στον απορροφητή) και με την υψηλή διαθεσιμότητα όλου του πεδίου των συλλεκτών (σε επίπεδο 97-99% για τις εγκαταστάσεις SEGS III-V)
- η καθημερινά ελάχιστη εισερχόμενη ενέργεια που απαιτείται κάθε φορά δεν άλλαξε σημαντικά. Υποστηρίζεται ότι ένα κατώτατο όριο της καθημερινά άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας ($SM = 1,0$) βρίσκεται στην τιμή των 2,5-3,5 kWh/m² d και είναι ένας τεχνολογικός περιορισμός για τα παραβολικά κάτοπτρα ανεξάρτητα από τη δυναμικότητα κάθε μονάδας. Φυσικά υπάρχει εξάρτηση και από την εποχή που γίνονται οι μετρήσεις. Στο σχήμα 2,75 οι μετρήσεις έγιναν στο πρώτο μισό του έτους 1988.

Η απόδοση για την καθαρά εξερχόμενη ενέργεια βελτιώνεται από την ακόμη υψηλότερη απόδοση του θερμοδυναμικού κύκλου (αυτό είναι φανερό και από το σχήμα 2.75 όπου η κλίση της επάνω καμπύλης είναι μεγαλύτερη). Τέτοια μέτρα βελτίωσης της απόδοσης ελήφθησαν για τις εγκαταστάσεις SEGS.



Σχήμα 2,75 - Σύγκριση της απόδοσης της καθημερινά εισερχόμενης ενέργειας προς την καθαρά εξερχόμενη ενέργεια της εγκατάστασης IEA-SSPS στην Αλμέρια στην Ισπανία και της εγκατάστασης SEGS III των 30 MWe στο «Kramer» στις Η.Π.Α. [<http://www.brighton73.freemove.co.uk/gw/causes.htm>].

Πίνακας 2,14 - Βελτίωση της απόδοσης των παραβολικών κατόπτρων για κάθε τμήμα χωριστά (για τη λειτουργία μόνο σε ηλιοφάνεια ποσοστιαία σε σχέση με την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία) [<http://www.brighton73.freemove.co.uk/gw/causes.htm>].

Εγκατάσταση		IEA-SSPS		SEGS III	SEGS VIII	SEGS XI
Τοποθεσία-Δυναμικότητα		Αλμέρια N. Ισπανίας (500 kWe)		N. Καλιφόρνια 30 MWe	N. Καλιφόρνια 80 MWe	N. Καλιφόρνια 80 MWe
Τύπος συλλέκτη	Τιμές	Acurex/M.A.N. Πραγματικά	Βελτιω-	LS-2 Πραγματικά	LS-3 Τιμές	LS-4 Τιμές

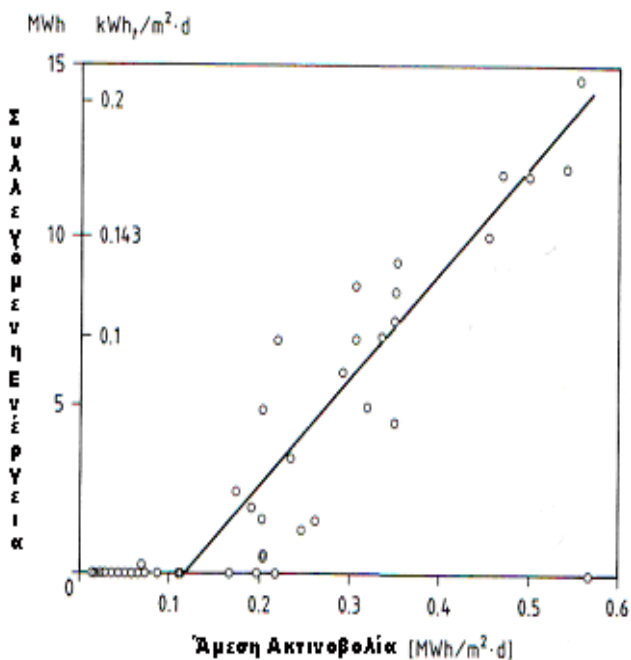
	σχεδια- σμού	δεδομένα	μένες επιδό- σεις	δεδομένα	σχεδιασμού	Σχεδια- σμού
Χρονική περίοδος	Μεση- μέρι (ιση- μερία)	1981-84	-	1988	1989	1994
Εισερχόμε- νη ακτινοβολία	100	100	100	100	100	100
Απορρόφη- ση από το πεδίο	100	81,2	83,4	87,3	87,3	92,2
Θερμική από το πεδίο συλλεκτών	52	22,7	41,9	49,4	-	-
Θερμική προς αποθήκευση	51,5	21,2	41,1	-	-	-
Θερμική προς τον στρόβιλο	51,5	20,1	39	42,5	43,7	52,7
Συνολική ηλεκτρική ενέργεια	10,3	3,4	9,8	11,5	16,4	19,5
Καθαρή ηλεκτρική ενέργεια	10,2	2,5	8,8	10,1	14,3	18

2.4.3.5.2 Χαρακτηριστικά απόδοσης εγκαταστάσεων με παραβολικά συγκεντρωτικά πιάτα

Από τα ηλιακά θερμικά συστήματα με συγκεντρωτικά πιάτα έχουν δημοσιευτεί πληροφορίες μόνο για το σύστημα STEP. Δεδομένου ότι το STEP αντιπροσωπεύει ένα πολύ αρχικό στάδιο ανάπτυξης αυτού του τύπου συστημάτων, η απόδοση είναι μόνο επεξηγηματική και με κανένα τρόπο αποφασιστική, για τη δυνατότητα ενός ώριμου συστήματος παρόμοιου τύπου σε περιοχές που ευνοούνται περισσότερο από την άμεση ακτινοβολία.

Το STEP λειτούργησε για περιόδους των δέκα και τριάντα διαδοχικών ημερών κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού του 1985 για να καθοριστεί η συμβολή του ήλιου στον συντελεστή που έχει σχέση με την ικανότητα του συστήματος, τα κόστη λειτουργίας και συντήρησης και τις απώλειες της λειτουργίας εν αναμονή όταν το σύστημα λειτουργεί για αρκετές ημέρες. Κατά τη διάρκεια αυτών των δοκιμαστικών περιόδων, οι εγκαταστάσεις κάλυπταν ολόκληρες τις καθημερινές ηλεκτρικές και θερμικές ενεργειακές ανάγκες της βιομηχανίας όπου ήταν η εγκατάσταση. Αυτό γινόταν εφικτό είτε από την εισερχόμενη ηλιακή ενέργεια (εκμετάλλευση ακτινοβολίας) είτε από έναν καυστήρα φυσικού αερίου ή άλλου καυσίμου που υπήρχε διασυνδεδεμένος. Παρά την επίτευξη απόδοσης μετατροπής της ακτινοβολίας σε θερμική ενέργεια στο 50 % και την λειτουργική διαθεσιμότητα σε ποσοστό μεγαλύτερο του 95 % από όλο το πεδίο των συλλεκτών, η ηλιακή ενέργεια που συλλέχθηκε ήταν πολύ λιγότερη από το αναμενόμενο. Αυτό αποδίδεται, κυρίως, στη χαμηλότερη από το μέσο όρο και την ιδιαίτερα παροδική ακτινοβολία κατά τη διάρκεια των δοκιμαστικών περιόδων. Η ανάλυση της καθημερινά εισερχόμενης ακτινοβολίας στο πεδίο των συλλεκτών σε σχέση με τη θερμική

ενέργεια εξόδου (σχήμα 2.76), δείχνει ότι πρέπει να συγκεντρωθούν περίπου 2,5 kWh/m² d άμεσης ακτινοβολίας, για να υπάρχει καθαρή παραγωγή μέσω των παραβολικών πιάτων. Η θερμική ενέργεια που απαιτείται αυξάνεται ακόμη περισσότερο όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι χαμηλή. Πάντως είναι σημαντικό να πούμε ότι το ποσό του φυσικού αερίου που καταναλώθηκε ήταν σημαντικά υψηλότερο από την ενέργεια που θα απαιτείτο εάν οι βιομηχανικές ανάγκες σε ενέργεια καλύπτονταν συμβατικά. Η διατήρηση του ηλιακού συστήματος σε υψηλή θερμοκρασία μέσω του βοηθητικού καυστήρα, ανεξάρτητα από τη δυνατότητα συμβολής των ηλιακών συλλεκτών, ήταν μη αποδοτική.



Σχήμα 2,76 - Απόδοση εισερχόμενης-εξερχόμενης ενέργειας των συλλεκτών τύπου παραβολικών πιάτων 400 kWe/483 kWt (C= 235) Ηλιακό Συνολικό Ενεργειακό Πρόγραμμα (STEP: Solar Total Energy Project), Shenandoah/GA, U.S.A. [<http://www.brighton73.freemove.co.uk/gw/causes.htm>].

Η εμπειρία από τη λειτουργία των εγκαταστάσεων με τα παραβολικά συγκεντρωτικά πιάτα παρέχει λίγη βάση για την τεχνική και λειτουργική δυνατότητα των μελλοντικών ώριμων συστημάτων.

Το πλεονέκτημα των συλλεκτών πιάτων (δηλαδή η υψηλή συγκέντρωση και θερμοκρασία) δεν γίνεται πραγματικά εκμεταλλεύσιμο, κυρίως επειδή η δυνατότητα για υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί λόγω των χαμηλών ανώτερων ορίων θερμοκρασίας των ειδικών θερμικών λαδιών. Αυτή η κατάσταση μπορεί να βελτιωθεί αν γίνουν προσπάθειες ανάπτυξης ώστε να χρησιμοποιείται ο συνδυασμός νερού / ατμού σαν μέσο μεταφοράς της θερμότητας, που όπως αποδεικνύεται είναι επιτυχής. Ο ίδιος συνδυασμός εξάλλου θα εφαρμοστεί μελλοντικά και στα παραβολικά κάτοπτρα όπως είναι φανερό.

Οι εκτιμήσεις της απόδοσης, της ανταπόκρισης και του κόστους των συλλεκτών είναι πιθανότατα τα βασικά ζητήματα για μια συγκριτική αξιολόγηση μεταξύ των δύο τύπων παραβολικών συγκεντρωτικών πιάτων και παραβολικών κατόπτρων.

Τα αποτελέσματα από τις επιδόσεις των συστημάτων παραβολικών πιάτων με μηχανές Stirling «Vanguard 1» και «MDAC 25» αν και δε μας δίνουν αντιπροσωπευτικές πληροφορίες για το κόστος των εγκαταστάσεων και για τη βέλτιστη κατασκευή έχουν καθορίσει όμως κάποια πρότυπα όσον αφορά τις ενεργειακές αποδόσεις και τα κατώτατα

όρια λειτουργίας. Από τα ως τώρα συμπεράσματα προκύπτει ότι τα παραβολικά συγκεντρωτικά πιάτα με μηχανές Stirling μπορούν ακόμη να βελτιωθούν περισσότερο. Η ετήσια ενεργειακή απόδοση, αν υπολογιζόταν με βάση την εισερχόμενη και εξερχόμενη ενέργεια και την ακτινοβολία σύμφωνα με τον Barstow, θα μπορούσε να φθάσει στην τιμή 23-27 %. (Πίνακας 2,15)

Πίνακας 2,15 - Μετρημένες αποδοτικότητες και υπολογισμένα όρια των επιδόσεων για μοντέλα παραβολικών πιάτων και μηχανών Stirling [<http://www.brighton73.freemove.co.uk/gw/causes.htm>].

	Μετρημένες	Αποδόσεις			Σχεδιασμένη απόδοση (%)
	Μέγιστη Ενέργεια	Καθαρή Ημερήσια Ενέργεια	Καθαρή Μηνιαία Ενέργεια	Καθαρή Ετήσια Ενέργεια	Καθαρή Ετήσια Ενέργεια
Vanguard 1	28-32	28-29	20-23	9-10	23-24
MDAC 25	30	28	12-20	-	25
SBP 50	17-18	9-11	-	-	14-15

2.4.3.5.3 Χαρακτηριστικά απόδοσης εγκαταστάσεων με ηλιακό πύργο

Σχεδόν με όλα τα συστήματα ηλιακών πύργων ήταν εφικτή τουλάχιστον μια λειτουργία με διάρκεια δύο ετών, με αποτέλεσμα να αποκτηθεί πολύτιμη εμπειρία από αυτές τις δραστηριότητες. Από όλους τους ηλιακούς πύργους, μόνο η εγκατάσταση «Solar One» των 10 MWe λειτούργησε για μια μακροχρόνια περίοδο (μεγαλύτερη από 6 έτη, 3 έτη από τα οποία ήταν σε φάση παραγωγής ενέργειας), ώστε να προκύψει ένας πλούτος από εμπειρία, από στοιχεία απόδοσης και από λάθη και συμπεράσματα.

Στην εγκατάσταση «Solar One» έγινε εφικτή μία διαθεσιμότητα σε ένα ποσοστό του 82 %, στο σύνολο όλων των χρονικών περιόδων λειτουργίας ή λειτουργίας σε φάση αναμονής σε φάση παραγωγής ενέργειας. Αυτό είναι ισοδύναμο με 86 % αν αφαιρεθούν οι χαμένες ώρες κατά τη διάρκεια των οποίων η παραγωγή δεν ήταν εφικτή λόγω άσχημων καιρικών συνθηκών (η τιμή σχεδιασμού ήταν 90 %).

Οι δραστηριότητες συντήρησης έγιναν με αυτοματοποιημένα συστήματα διαχείρισης μέσω ηλεκτρονικών υπολογιστών οπότε υπάρχουν διαθέσιμα πολλά δεδομένα. Αυτά δείχνουν ότι το 60% των προσπαθειών συντήρησης ξοδεύτηκε στην προληπτική συντήρηση και το 40% των δαπανών συντήρησης καταναλώθηκε σε αντικατάσταση η επιδιόρθωση συγκεκριμένων στοιχείων των ηλιακών εγκαταστάσεων. Με τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών λειτουργίας, το αρχικό προσωπικό των εγκαταστάσεων που ήταν 40 άτομα μειώθηκε περίπου στα 20 στο τέλος της φάσης παραγωγής ενέργειας.

Η εγκατάσταση σχεδιάστηκε με συντελεστή $SM=1$ χρησιμοποιώντας τα δεδομένα ακτινοβολίας από τον Barstow για το 1976 ($8 \text{ kWh/m}^2 \text{ d}$ κατά μέσο όρο). Υποθέτοντας ότι η διαθεσιμότητα της εγκατάστασης είναι 100 %, η σχεδιασμένη παραγωγή ήταν 26 GWh/έτος. Η πραγματική ακτινοβολία στα τρία έτη παραγωγής ενέργειας όχι μόνο ήταν χαμηλότερη από το 1976 (κατά 16, 10 και 14% αντίστοιχα), αλλά και παρέμεινε χαμηλότερη από τον μέσο όρο ακτινοβολίας των τελευταίων 25 ετών. Με την πραγματική τιμή της διαθέσιμης ακτινοβολίας για τις εγκαταστάσεις, τέθηκε σαν στόχος η απόδοση στις 15 GWh/έτος

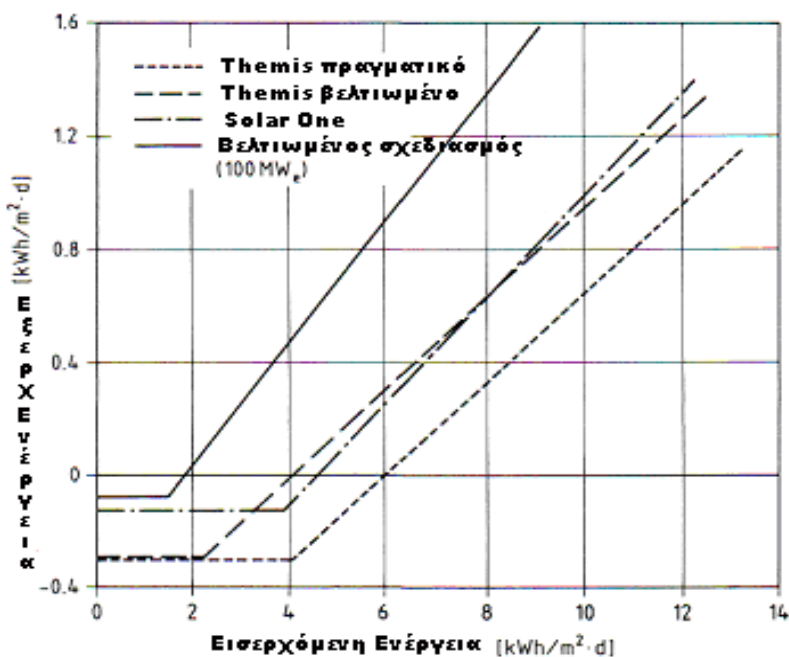
περίπου. Ελήφθησαν 10 GWh/έτος με καθαρή μετατροπή (έτη 1985/1986) με λειτουργία επτά ημέρες την εβδομάδα, όλο το εικοσιτετράωρο, επιτυγχάνοντας ενεργειακή απόδοση κατά μέσο όρο περίπου 6 % ετησίως (Πίνακας 2,16). Το υψηλότερο μηνιαίο ποσοστό της εξερχόμενης ενεργειακής παραγωγής ως προς την εισερχόμενη ενέργεια ήταν 9,8 % (τον Αύγουστο του 1985).

Η υψηλότερη διαθεσιμότητα της εγκατάστασης «Solar One» που επιτεύχθηκε ήταν 24% ανά μήνα (τον Αύγουστο του 1985) και περίπου 12% ετησίως (Πίνακας 2,16), με ελάχιστη ή καθόλου χρησιμοποίηση του συστήματος θερμικής αποθήκευσης. Οι χαμηλοί συντελεστές διαθεσιμότητας παρατηρήθηκαν τους μήνες με χαμηλή ακτινοβολία δηλαδή το Δεκέμβριο και τον Ιανουάριο. Στο σχήμα 2,77 βλέπουμε τη σχέση μεταξύ της εισερχόμενης και της εξερχόμενης ενέργειας ημερησίως για τρεις διαφορετικές εγκαταστάσεις ηλιακών πύργων, επομένως από την κλίση βγάζουμε συμπεράσματα για τη απόδοση. Πρόκειται για την «Themis» (2,4 MWe), την «Solar One» (10 MWe) και την «IEA-SSPS» (500 kWe). Γίνεται και μία σύγκριση με μία υποθετική μελλοντική μονάδα των 100 MWe με δεδομένα ακτινοβολίας της Καλιφόρνια.

Στο σχήμα 2,78 απεικονίζεται η ετήσια ενεργειακή απόδοση της πιλοτικής μονάδας Solar One των 10 MWe και μιας μελλοντικής μονάδας 100 MWe με συντελεστή SM=1,6 κάτω από τις ίδιες συνθήκες έκθεσης σε ηλιακή ακτινοβολία (Solar 100)

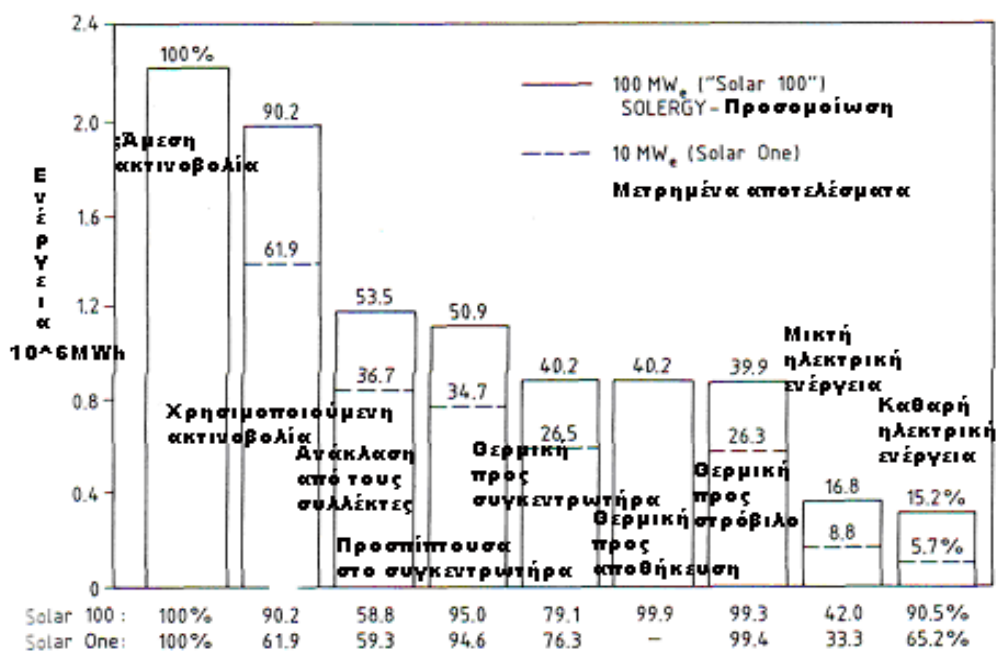
Πίνακας 2,16 - Επιδόσεις της εγκατάστασης «Solar One» στην παραγωγή ενέργειας, 1984-1987 (10 MWe, 71,140 m² συνολικής ανακλαστικής επιφάνειας) [<http://www.brighton73.freemove.co.uk/gw/causes.htm>].

		1984-85	1985-86	1986-87
Μέση ακτινοβολία	kWh/m ² d	6,55	6,96	6,70
	MWh/m ² a	2,39	2,54	2,45
Μικτή μετατροπή	MWhe	11,754	15,345	15,305
Παρασιτικά	MWhe	4,731	4,880	5,323
Καθαρή μετατροπή	MWhe	7,024	10,465	9,982
	kWhe/m ²	98,74	147,10	140,32
Καθαρή ετήσια απόδοση	%	4,13	5,79	5,73
Συντελεστής διαθεσιμότητας		8,02	11,95	11,39

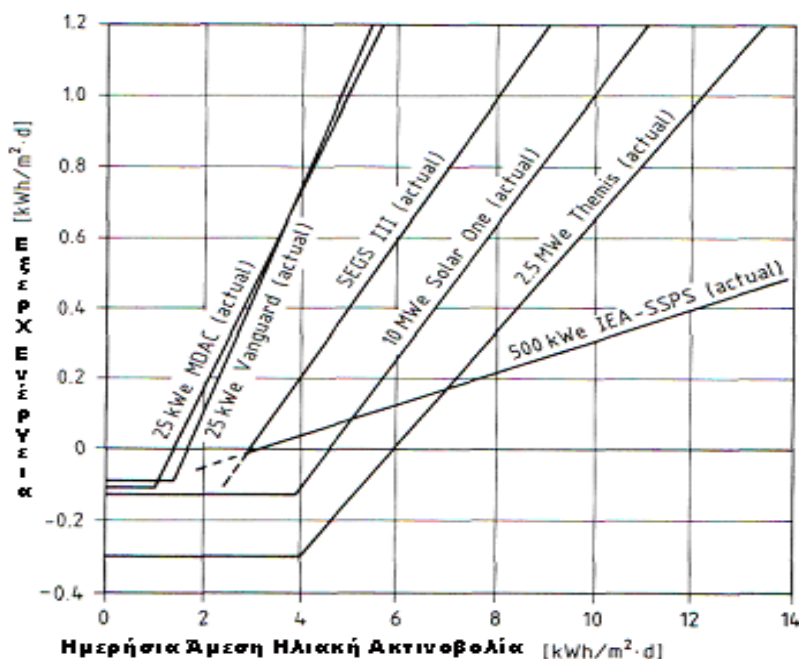


Σχήμα 2,77 - Σύγκριση της ημερήσιας εισερχόμενης και εξερχόμενης ενέργειας για ηλιακά θερμικά συστήματα τύπου συγκεντρωτικού πύργου 2,4 MWe Themis (πραγματικό και βελτιωμένο), 10 MWe Solar One (πραγματικό), 100 MWe βελτιωμένος σχεδιασμός ηλιακού πύργου (SM=1,6, 6 h αποθήκευση

[<http://www.brighton73.freemove.co.uk/gw/causes.htm>].



Σχήμα 2,78 - Ετήσια ενεργειακή απόδοση της πιλοτικής μονάδας Solar One των 10 MWe και μιας μελλοντικής μονάδας 100 MWe με συντελεστή SM=1,6 κάτω από τις ίδιες συνθήκες έκθεσης σε ηλιακή ακτινοβολία (Solar 100) [<http://www.brighton73.freemove.co.uk/gw/causes.htm>].



Σχήμα 2,79 - Ημερήσια ενεργειακή μετατροπή (εισερχόμενη-εξερχόμενη ενέργεια) για διάφορα συστήματα συγκέντρωσης ηλιακής ακτινοβολίας (με βάση πραγματικά και πειραματικά δεδομένα) [<http://www.brighton73.freemove.co.uk/gw/causes.htm>].

Από τη σύγκριση των παραβολικών κατόπτρων, του ηλιακού πύργου και των παραβολικών συγκεντρωτικών πιάτων στη σημερινή εποχή και από ότι αναμένεται και στα μελλοντικά σχέδια προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- η ενέργεια που αποδίδεται από τα συστήματα βρίσκεται κάτω από κάποια τεχνολογικά συγκεκριμένα όρια που εξαρτώνται από την άμεση ακτινοβολία που συγκεντρώνεται, επομένως δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ενέργειας, αλλά μπορούν να συμβάλουν στην κάλυψη των θερμικών απωλειών
- ο ηλιακός πύργος και οι μεγάλες εγκαταστάσεις με παραβολικά κάτοπτρα ξεκινούν από υψηλότερες τιμές στην παραγωγή καθαρής ενέργειας από ότι τα συγκεντρωτικά πιάτα και τα συστήματα Stirling
- η κλίση της ενεργειακής μετατροπής είναι επάνω από το κατώτατο όριο και είναι καλύτερη για τα συγκεντρωτικά πιάτα / συστήματα Stirling, η κλίση είναι ενδεικτική της ποιότητας της θερμικής ενεργειακής μεταφοράς, απόδοσης μετατροπής και των θερμικών απωλειών
- από πλευράς του μεγέθους, της πυκνότητας και του χαρακτήρα του κύκλου μετατροπής, των μοντέλων συγκεντρωτικών πιάτων / συστημάτων Stirling αυτά δίδουν την καλύτερη απόδοση σε σύγκριση με τις άλλες εναλλακτικές λύσεις, αλλά είναι σχετικά μικρής δυναμικότητας και περιορίζονται σε χρησιμοποίηση σαν ξεχωριστές μονάδες.

2.4.3.6 Συλλογή ενέργειας και συγκεντρωτικά συστήματα

Απουσία καλύμματος, η εκπομπή μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας από ένα συγκεντρωτικό σύστημα μπορεί να γραφεί ως [2]:

$$E_c^{hw} = A_a \epsilon^{hw} \sigma (T_e^4 - T_c^4) \quad (\Sigma \quad 2.45)$$

όπου A_a , η επιφάνεια απορρόφησης.

Αναλογικά, η εναλλαγή αισθητής θερμότητας με το περιβάλλον, περιβάλλουσα θερμοκρασίας T_a μπορεί να γραφεί ως:

$$\overset{sens}{E}_c = -A_a U (T_c - T_a) \quad (\Sigma 2.46)$$

Το ενεργειακό κέρδος του συλλέκτη δίνεται από τη σχέση Σ 2.47:

$$E_c^{gain} = E_c^{sw} + E_c^{hw} + E_c^{sens} \quad (\Sigma 2.47)$$

Ο πρώτος όρος είναι ανάλογος του A , ενώ οι άλλοι δύο είναι ανάλογοι του A_a .

Θεωρώντας τώρα μια ροή μάζας J_m^c στο εσωτερικό του απορροφητή, η έκφραση για τον καθορισμό του ποσού της ενέργειας που εξάγεται παίρνει τη μορφή:

$$J_m^c C_p^c (T_{c,out} - T_{c,in}) = E_c^{gain}(\bar{T}_c) - A_a C \frac{dT_c}{dt} = E_c^{sw} + E_c^{hw}(\bar{T}_c) + E_c^{sens}(\bar{T}_c) - A_a C \frac{dT_c}{dt} \quad (\Sigma 2.48)$$

Όπου $A_a C$ είναι η θερμοχωρητικότητα του απορροφητή και η σχέση της \bar{T}_c με την $T_{c,out}$ είναι της μορφής:

$$\bar{T}_c = (T_{c,out} + T_{c,in}) / 2 \quad (\Sigma 2.49)$$

Είναι προφανές πως οι κυριότεροι παράγοντες που καθορίζουν ένα συγκεντρωτικό σύστημα είναι:

Ο λόγος συγκέντρωσης:

$$X = A / A_a \quad (\Sigma 2.50)$$

και ο λόγος συγκέντρωσης της ενεργειακής ροής:

$$C^{flux} = A I^{sw}(\Omega) / A_i \quad (\Sigma 2.51)$$

όπου η I^{sw} ορίστηκε στη Σ 2.27 και A_i είναι η περιοχή του πραγματικού ειδώλου (που μπορεί να είναι διαφορετικό του A_a). Η πραγματική γνώση του A_i είναι σημαντική για τον καθορισμό του ιδανικού μεγέθους του απορροφητή.

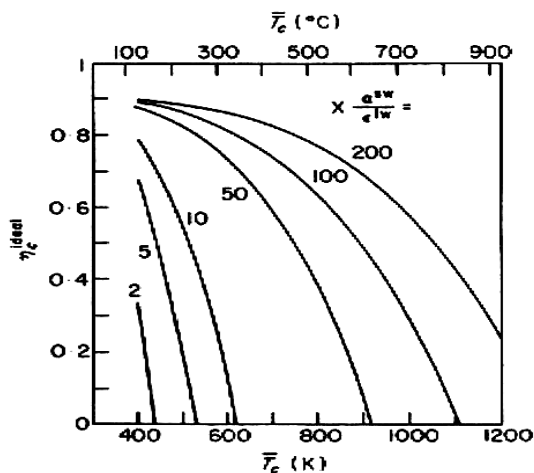
Αν η μέγιστη θερμοκρασία του συλλέκτη είναι μεγάλη και η ταχύτητα του ανέμου μικρή, οι απώλειες θερμότητας λόγω συναγωγής Σ 2.29, είναι αμελητέες σε σχέση με τη Σ 2.28 και έτσι:

$$\sigma((T_{c,max}^4 - T_c^4) = X \alpha^{sw} / \varepsilon^{hw} D \quad (\Sigma 2.52)$$

όπου D η προσπίπτουσα ροή μικρού μήκους κύματος κατά τη διεύθυνση του ήλιου, υποθέτοντας ότι η συσκευή δέχεται ροή μόνο αυτής της διεύθυνσης και ότι η διαπερατότητα του απορροφητή είναι τέλεια ($I^{sw}=I$). Σύμφωνα με τα παραπάνω η απόδοση του συλλέκτη κάτω από ιδανικές συνθήκες θα ήταν:

$$n_c^{ideal} = E^{extr} / AD = \alpha^{sw} (1 - \frac{\varepsilon^{hw} \sigma}{X \alpha^{sw} D} (T_c^4 - T_e^4)) \quad (\Sigma 2.53)$$

Η παραπάνω εξίσωση παριστάνεται στο σχ. 2.80 [2], όπου $D = 800\text{W/m}^2$, $T_e = 300\text{K}$ και $\alpha^{sw}=0,9$ ανεξαρτήτως της θερμοκρασίας του απορροφητή. Είναι προφανές πως η χρήση μιας επιλεκτικής επιφάνειας απορροφητή (υψηλός λόγος $\alpha^{sw}/\epsilon^{lw}$) επιτρέπει μια υψηλότερη απόδοση για την ίδια θερμοκρασία, ενώ η απόδοση μειώνεται ριζικά με τη μείωση της έντασης του φωτός. Σε περίπτωση που η ολική ροή μικρού μήκους κύματος στο συλλέκτη διαφέρει σημαντικά από το άμεσο τμήμα, η πραγματική απόδοση ελαττώνεται ουσιαστικά σε σχέση με την «ιδανική».



Σχήμα 2.80: Ιδανική απόδοση συγκεντρωτικού συλλέκτη ($D=800\text{W/m}^2$, $T_e=300\text{K}$, $\alpha^{sw}=0,9$)

Έτσι:
$$n_c = E^{extr} / E_{s,\gamma}^{sw} \quad (\Sigma 2.54)$$

2.4.4 Φωτοηλεκτρικές μέθοδοι μετατροπής

Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια με τη βοήθεια τριών κυρίως διαδικασιών: της θερμοηλεκτρικής, της θερμοιονικής και της φωτοβολταϊκής μετατροπής. Οι διαδικασίες αυτές χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα της άμεσης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς τη μεσολάβηση ενδιάμεσων σταδίων και θερμοδυναμικών κύκλων ή κινούμενων μερών.

i. Η πρώτη βασίζεται στο *θερμοηλεκτρικό φαινόμενο* και συγκεκριμένα στη θέρμανση από την ηλιακή ακτινοβολία μιας μεταλλικής πλάκας που είναι συγκολλημένη σε δύο ηλεκτρόδια από διαφορετικά θερμοηλεκτρικά υλικά. Στα ψυχρά άκρα των ηλεκτροδίων αναπτύσσεται τάση, συνήθως λίγων δεκάτων του Volt, που εξαρτάται από το υλικό των ηλεκτροδίων και από τη διαφορά της θερμοκρασίας του, ως προς τη μεταλλική πλάκα.

Η πιο χαμηλή θερμοκρασία που μπορεί να λειτουργήσει στην πράξη ένα τέτοιο σύστημα, είναι η θερμοκρασία που επιτυγχάνεται με έναν απλό ηλιακό συλλέκτη χωρίς πολλαπλασιασμό, όπου σαν υποπροϊόν μπορεί να παραχθεί από το συλλέκτη, ζεστό νερό θερμοκρασίας 50 - 60 °C. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται απόδοση περίπου 1 %. Για τη λειτουργία αυτού του τελευταίου θερμοηλεκτρικού ζεύγους, το πιο κατάλληλο ζεύγος είναι το κράμα βισμούθιου - αντιμονίου και ο αντιμονιούχος ψευδάργυρος.

ii. Η δεύτερη διαδικασία φωτοηλεκτρικής μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας βασίζεται στο *θερμοιονικό φαινόμενο*, στη θέρμανση δηλαδή μιας μεταλλικής πλάκας υπό κενό, ώστε να εκπέμπονται ηλεκτρόνια από την επιφάνειά της. Έτσι μια μεταλλική πλάκα ή ηλεκτρόδιο που θερμαίνεται κοντά σε ένα άλλο ηλεκτρόδιο που ψύχεται, είναι δυνατό να αποτελέσουν μια θερμοιονική γεννήτρια. Από το θερμαινόμενο ηλεκτρόδιο εκπέμπονται ηλεκτρόνια τα οποία οδηγούνται στο ψυχόμενο ηλεκτρόδιο. Έτσι το πρώτο γίνεται κάθοδος ενώ το δεύτερο άνοδος. Είναι δυνατό όταν συνδεθούν με εξωτερικό φορτίο να αποδοθεί ηλεκτρικό ρεύμα.

Για την υπερνίκηση του έργου εξόδου των ηλεκτρονίων απαιτείται η θέρμανση του μετάλλου σε πολύ μεγάλη θερμοκρασία. Σε πλάκες από καθαρά μέταλλα η θερμοκρασία χρειάζεται να φτάσει τους 2.000 - 2.700 °C και για την πραγματοποίησή

της πρέπει να γίνει ισχυρή ενίσχυση της ηλιακής ακτινοβολίας, π.χ. με συγκεντρωτικούς φακούς περίπου χίλιες φορές. Αν στο κενό της διάταξης γίνει εισαγωγή ενός ευκολοιονιζόμενου στοιχείου, π.χ. καισίου, η θερμοκρασία λειτουργίας της μπορεί να μειωθεί στους 1.200 °C. Η θεωρητική απόδοση των θερμοϊονικών γεννητριών βρίσκεται γύρω στο 30 %. Στην πράξη έχουν επιτευχθεί αποδόσεις 6 έως 8 %.

Οι δύο προηγούμενες διατάξεις λόγω του μικρού βαθμού απόδοσης κατά τη μετατροπή και του μεγάλου κόστους, καθώς και διάφορων άλλων τεχνικών δυσκολιών δε βρήκαν αξιόλογες εφαρμογές.

iii. Η τρίτη διαδικασία φωτοηλεκτρικής μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μια καθαρά *φωτονική μέθοδος*, αφού η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται κατευθείαν από τα φωτόνια της ηλιακής ακτινοβολίας.

Τα ηλιακά στοιχεία (ηλιακές κυψέλες, ηλιακά κύτταρα) αποτελούνται από έναν ημιαγωγό, με προσαρμοσμένα ηλεκτρόδια στην εμπρός και πίσω όψη και προκύπτουν αν σε ορισμένους ημιαγωγούς προστεθεί πολύ μικρή ποσότητα (περίπου ένα μέρος στο εκατομμύριο) από άλλα όμοια στοιχεία, που έχουν όμως ένα περισσότερο ή ένα λιγότερο ηλεκτρόνιο από τον ημιαγωγό. Κατασκευάζονται έτσι δύο τύποι ημιαγωγών. Ο τύπος N και ο τύπος P. Π.χ. τύπος N: πυρίτιο + αρσενικό – ένα επιπλέον ηλεκτρόνιο. Τύπος P: πυρίτιο + βόριο – ένα λιγότερο ηλεκτρόνιο.

Αν δύο λεπτά στρώματα από τους δύο τύπους τοποθετηθούν το ένα πάνω στο άλλο και εκτεθούν σε ακτινοβολία (π.χ. ηλιακή), τότε παρατηρείται ότι στη διαχωριστική επιφάνεια των δύο στρωμάτων εμφανίζεται ροή ηλεκτρονίων. Φωτόνια που έχουν ενέργεια πάνω από ένα όριο είναι ικανά να δημιουργήσουν το φαινόμενο αυτό. Για το πυρίτιο το όριο αυτό είναι 1,1 ηλεκτρονιοβόλτ (eV) που αντιστοιχεί σε μήκος κύματος 1.100 nm. Μεγαλύτερα μήκη κύματος προκαλούν απλά αύξηση της θερμοκρασίας. Η ένταση του ρεύματος που αναπτύσσεται εξαρτάται από το εμβαδόν της επιφάνειας του στοιχείου και την περιεκτικότητα της ηλιακής ακτινοβολίας σε ενεργά φωτόνια.

Η ισχύς που παράγεται από ένα Φ/Β στοιχείο πυριτίου είναι περίπου 16 % της ισχύος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Θεωρητικά η μέγιστη ενεργειακή απόδοση ανέρχεται περίπου σε 24 %. Η υπερθέρμανση προκαλεί σημαντική μείωση της απόδοσης, για αυτό και είναι απαραίτητο να υπάρχει ένα είδος ψύξης του συστήματος, το οποίο θα μπορούσε να είναι παραπροϊόν ενέργειας, για τη θέρμανση νερού π.χ. Η ενεργειακή απόδοση που αναφέρθηκε, αφορά στα μονοκρυσταλλικά στοιχεία, που όμως δυστυχώς κατασκευάζονται πάρα πολύ δύσκολα και είναι ιδιαίτερα ακριβά. Τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία έχουν μειωμένη ενεργειακή απόδοση, αλλά έχουν χαμηλότερο κόστος κατασκευής.

Τα μόνα είδη ηλιακών κυττάρων που κατασκευάζονται σήμερα βιομηχανικά και χρησιμοποιούνται στις πρακτικές εφαρμογές είναι από πυρίτιο (μονοκρυσταλλικό ή πολυκρυσταλλικό, καθώς και από άμορφο). Η απόδοσή τους είναι περίπου 10-14 %. Η απόδοση των ηλιακών στοιχείων του πυριτίου δεν μπορεί να υπερβεί θεωρητικά το 20 % περίπου. Με διάφορα πλεονεκτικότερα υλικά, όπως ημιαγωγοί με βάση το κάδμιο, το γερμάνιο ή άλλα μέταλλα, καθώς και διάφορα συστήματα διάταξής τους μπορούν να επιτευχθούν μεγαλύτεροι βαθμοί απόδοσης (35 % ή 65 % σε ακραίες περιπτώσεις), όμως ακόμη βρίσκονται στο στάδιο της έρευνας. Η έρευνα που είναι προανατολισμένη και στη μείωση του κόστους των στοιχείων, συνεχίζεται και υπόσχεται πολλά.

Πίνακας 2.17: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της Φ/Β μετατροπής, της ηλιακής ακτινοβολίας.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Ανεξάντλητη πηγή ενέργειας και ελεύθερα διαθέσιμη
- Αφθονία πρώτης ύλης για κατασκευή φωτοβολταϊκών στοιχείων
- Τα Φ/Β στοιχεία έχουν σχεδόν απεριόριστη διάρκεια ζωής
- Δεν υπάρχουν κινούμενα μέρη και επομένως δεν υφίσταται ανάγκη επίβλεψης και συντήρησης
- Ανεξαρτησία από καύσιμα και μεγάλα δίκτυα διανομής
- Απλότητα και ασφάλεια λειτουργίας
- Δεν ρυπαίνεται το περιβάλλον, δεν προκαλείται θόρυβος και δε δημιουργούνται άχρηστα παραπροϊόντα
- Κατάλληλη για κάλυψη μικρών φορτίων για απομακρυσμένες περιοχές
- Μεγάλη αναλογία ισχύος προς βάρος (~100 W/kg), που είναι σημαντική ιδιότητα για τις διαστημικές εφαρμογές

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Μεγάλο κόστος παρασκευής των φωτοβολταϊκών στοιχείων (απαγορευτικό για εφαρμογές μεγάλης ισχύος)
- Ετεροχρονισμός μεταξύ παραγωγής και ζήτησης ενέργειας (απαιτήση για ενδιάμεση αποθήκευση μέρους της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας – πρόσθετη δαπάνη)
- Κάλυψη μεγάλης επιφάνειας εδάφους για τοποθέτηση του Φ/Β συστήματος λόγω της χαμηλής έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας

Συγκρινόμενο με τις καθιερωμένες πηγές και μεθόδους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας το κόστος παρασκευής των ηλιακών στοιχείων είναι σαφώς απαγορευτικό, τουλάχιστον για μεγάλες ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες. Για ειδικότερες όμως εφαρμογές μικρής ισχύος, η εκλογή της μετατροπής ενδείκνυται σε ορισμένες περιπτώσεις (π.χ. τροφοδότηση απομακρυσμένων σημείων που δεν είναι συνδεδεμένα με το δίκτυο, όπως σταθμοί τηλεπικοινωνιακών μεταδόσεων στις κορυφές βουνών, μετεωρολογικοί σταθμοί, κλπ). Υπάρχουν πάντως υπό ανάπτυξη αξιόλογα προγράμματα κατασκευής φωτοβολταϊκών μονάδων. Σε σχέση με τα ηλιακά θερμοηλεκτρικά συστήματα η χρήση τέτοιων συστημάτων έχει αρκετά πλεονεκτήματα, όπως:

- Δε χρειάζονται μεγάλες εκτάσεις γης για την ίδια ισχύ.
- Αξιοποιούν και τη διάχυτη ακτινοβολία (συνεπώς κάνουν και για συνήθως συννεφιασμένες περιοχές).
- Δεν έχουν κινούμενα τμήματα.
- Μετά την αρχική επένδυση δε χρειάζονται παραπέρα χρήματα παρά μόνο για μια ελάχιστη συντήρηση.
- Έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από τους εμπορικούς ηλεκτρικούς σταθμούς (π.χ. πυρηνικούς).

Ένα πρόβλημα των Φ/Β συστημάτων είναι ο ετεροχρονισμός μεταξύ παραγωγής και ζήτησης της ενέργειας. Απαιτείται επομένως η ενδιάμεση αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Έχουν προταθεί πολλές μέθοδοι αποθήκευσης, όπως ηλεκτρόλυση νερού για την παραγωγή καυσίμου υδρογόνου, ανύψωση νερού σε ταμειυτήρες κλπ. Πρακτικά όμως περισσότερο εφαρμόσιμη εξακολουθεί να είναι η φόρτιση ηλεκτροχημικών συσσωρευτών, το κόστος τους όμως είναι συνήθως μεγάλο. Τέλος, η ανάγκη μιας μεγάλης επιφάνειας εδάφους για την τοποθέτηση του Φ/Β συστήματος, συνθέτει άλλο ένα πρόβλημα. Στον πίν 2.17 παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της Φ/Β μετατροπής.

2.4.4.1 Η ενέργεια από ηλιακές κυψέλες

Το ενδιαφέρον για την ηλιακή ενέργεια εντάθηκε, όταν χάρη στο Φ/Β φαινόμενο διαπιστώθηκε η πρακτική δυνατότητα της εύκολης, άμεσης και αποδοτικής μετατροπής της σε ηλεκτρική ενέργεια, με την κατασκευή Φ/Β γεννητριών. Πράγματι, όπως παρουσιάζεται συνοπτικά στον πίν 2.17, η Φ/Β μέθοδος μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια έχει πολλά πλεονεκτήματα. Εξαίρεση αποτελούν το κόστος κατασκευής τους, που είναι ακόμα αρκετά υψηλό για πολλές εφαρμογές και η αδυναμία της Φ/Β γεννήτριας να παράγει συνεχώς ηλεκτρική ενέργεια λόγω των διακυμάνσεων της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια του 24ώρου.

Ανάλογα με το βαθμό πολυπλοκότητας στην κατασκευή και τη λειτουργία, οι Φ/Β γεννήτριες μπορούν να καταταχθούν σε 3 κυρίως κατηγορίες:

- i. Τις απλές διατάξεις, όπου τα ηλιακά στοιχεία (κύτταρα ή κυψέλες) είναι τοποθετημένα σε σταθερά επίπεδα πλαίσια και δέχονται την ηλιακή ακτινοβολία με τη φυσική της πυκνότητα και διακύμανση στη διάρκεια της μέρας.
- ii. Τις διατάξεις με κινητά πλαίσια που περιστρέφονται αυτόματα και παρακολουθούν συνεχώς την πορεία του ήλιου στον ουρανό, ώστε τα ηλιακά στοιχεία να δέχονται κάθετα την ηλιακή ακτινοβολία σε όλη τη διάρκεια της μέρας. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η ηλιακή ενέργεια που παράγει ένα ηλιακό στοιχείο μέχρι 50 % περίπου, αφού δέχεται πυκνότερη ακτινοβολία ανά μονάδα εμβαδού της επιφάνειάς του.

- iii. Τις διατάξεις που με τη χρησιμοποίηση φακών ή κατόπτρων συγκεντρώνουν την ηλιακή ακτινοβολία και τη στέλνουν πολύ συμπυκνωμένη πάνω στα ηλιακά στοιχεία. Για την αποφυγή υπερθέρμανσης στις συγκεντρωτικές Φ/Β διατάξεις απαιτείται συνήθως η τεχνητή ψύξη των ηλιακών στοιχείων με κυκλοφορία ψυχρού αέρα ή ψυκτικών υγρών.

2.4.4.2 Οι πρώτες φωτοβολταϊκές εφαρμογές

Τα κύρια συστήματα των Φ/Β γεννητριών και η καρδιά κάθε Φ/Β συστήματος, μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια, είναι τα Φ/Β ηλιακά στοιχεία, δηλαδή διάοδοι ημιαγωγών σε μορφή δίσκου ή παραλληλογράμμου, που καθώς δέχονται στην επιφάνειά τους την ηλιακή ακτινοβολία, εκδηλώνουν μια διαφορά δυναμικού ανάμεσα στην εμπρός και πίσω όψη τους. Ανάλογα με το υλικό κατασκευής του και την ένταση της ακτινοβολίας που δέχεται, ένα ηλιακό στοιχείο μπορεί να δώσει τάση 0,5 - 1,0 V και πυκνότητα ρεύματος 20 - 40 mA ανά cm² της επιφανείας του.

Η Φ/Β μετατροπή είναι μια πολύ πρόσφατη τεχνολογική ανακάλυψη που βρίσκεται ακόμη στο στάδιο της ανάπτυξης της. Όπως όμως φαίνεται στον πίν 2.18 [5], το Φ/Β φαινόμενο είναι γνωστό από τον προηγούμενο αιώνα.

Η μεγάλη ώθηση της Φ/Β μετατροπής προς τις πρακτικές εφαρμογές δόθηκε με την πραγματοποίηση ορισμένων κρίσιμων τεχνολογικών προόδων, όπως η παρασκευή καθαρού πυριτίου με τη μέθοδο της τηγμένης ζώνης (1952) και ο σχηματισμός διόδων πυριτίου με διάχυση προσμίξεων (1954), που οδήγησαν τελικά στην κατασκευή ηλιακών στοιχείων σημαντικής απόδοσης (6 %) το 1954 και ακόμη μεγαλύτερης (14 %) το 1972. Πάντως, η αξιοπιστία τους είχε αποδειχθεί πολύ νωρίτερα, όταν τα πρώτα ηλιακά στοιχεία πυριτίου που τοποθετήθηκαν στον τεχνητό δορυφόρο Vanguard 1, το Μάρτιο του 1958, όχι μόνο πέτυχαν να τροφοδοτούν με ηλεκτρική ενέργεια τον πομπό του στην προβλεπόμενη ολιγόμηνη διάρκεια του προγράμματος, αλλά εξακολούθησαν να λειτουργούν χωρίς προβλήματα επί 6 συνολικά χρόνια και μάλιστα στο πολύ εχθρικό διαστημικό περιβάλλον, με την έντονη κοσμική ακτινοβολία. Έτσι από το 1969 και μετά όλοι οι τεχνητοί δορυφόροι και τα διαστημικά οχήματα είναι εξοπλισμένα με ηλιακά Φ/Β στοιχεία.

Πίνακας 2.18: Τα κυριότερα βήματα στην εξέλιξη της Φ/Β μετατροπής.

1839	Παρατήρηση του Φ/Β φαινομένου σε μεταλλικά ηλεκτρόδια (Pt, Ag) βυθισμένα σε ηλεκτρολύτες (Becquerel).
1937	Κατασκευή ηλιακού Φ/Β στοιχείου από PbS (Fischer & Godden).
1939	Κατασκευή ηλιακού στοιχείου από Se, με απόδοση 1 % (Ohl).
1940	Κατασκευή του πρώτου ηλιακού στοιχείου από πυρίτιο (Ohl).
1952	Ανακάλυψη της μεθόδου τηγμένης ζώνης για την κατασκευή στερεών πολύ μεγάλης καθαρότητας (Pfann).
1953	Ανακάλυψη της μεθόδου σχηματισμού ενώσεων p-n με διάχυση προσμίξεων (Fuller).
1956	Εμπορική παραγωγή ηλιακών στοιχείων (εταιρεία Hoffmann).
1957	Εκτόξευση τεχνητών δορυφόρων εξοπλισμένων με ηλιακά στοιχεία.
1957	Κατασκευή ηλιακού στοιχείου από CdS, με απόδοση 5 %.
1958	Κατασκευή του «ιώδους» ηλιακού στοιχείου Si, με απόδοση 14 %.
1972	Κατασκευή ηλιακού στοιχείου από άμορφο Si, με απόδοση 0,01 %.
1976	Κατασκευή ηλιακού στοιχείου από GaAs, με απόδοση 16 %.
1977	Έναρξη βιομηχανικής παραγωγής ηλιακών στοιχείων από a-Si στην Ιαπωνία με
1984	απόδοση 5 %.
1987	Κατασκευή ηλιακών στοιχείων από CdTe, με απόδοση 16 %. Τα Φ/Β πλαίσια αυτής της κατηγορίας έχουν πολύ χαμηλότερη απόδοση (~ 6 – 8 %).
1988	Κατασκευή ηλιακών στοιχείων από CIS (Copper Indium Diselenide), απόδοσης 11 %.
1988	Κατασκευή Φ/Β στοιχείων πολυκρυσταλλικού πυριτίου απόδοσης 14 %.
1994	Κατασκευή Φ/Β στοιχείων CIS με απόδοση 17,7 % (NREL).
1997	Πτώση του κόστους κατασκευής των ηλιακών στοιχείων σε 1\$/Wp.
2000	

2.4.4.3 Η εξέλιξη της απόδοσης και του κόστους των ηλιακών στοιχείων

Αφού, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, διαπιστώθηκε ότι τα ηλιακά στοιχεία διαθέτουν, καταρχήν, υψηλή αξιοπιστία λειτουργίας και μεγάλη διάρκεια ζωής (15 - 25 έτη), ως κύριοι στόχοι βελτίωσης (αλλά και ως κριτήρια αξιολόγησης) παραμένουν συνήθως η απόδοση και το κόστος τους.

Ως συντελεστής της απόδοσης (η) ή απλούστερα ως απόδοση ενός Φ/Β στοιχείου ορίζεται ο λόγος της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το στοιχείο προς την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται στην επιφάνειά του. Η απόδοση των ηλιακών στοιχείων δεν είναι σταθερή, αλλά όπως θα φανεί παρακάτω μεταβάλλεται σημαντικά με το φορτίο του κυκλώματος, καθώς και από άλλους παράγοντες, όπως η θερμοκρασία του στοιχείου και η μορφή της ακτινοβολίας.

Για την εκτίμηση του κόστους των ηλιακών στοιχείων χρησιμοποιείται συμβατικά ο όρος Watt αιχμής (W_p , peak Watt) που είναι η ελάχιστη απαιτούμενη επιφάνεια του στοιχείου για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος 1W όταν δέχεται ηλιακή ακτινοβολία με πυκνότητα $1kW/m^2$. Για παράδειγμα κόστος ηλιακού στοιχείου 1\$/ W_p , σημαίνει ότι το κόστος ενός ή περισσότερων ηλιακών στοιχείων με τόση συνολική επιφάνεια ώστε να παράγουν ηλεκτρική

ισχύ 1W, όταν εκτεθούν σε ακτινοβολία πυκνότητας 1kW/m^2 , είναι 1\$. Δηλαδή το W_p εκφράζει το κόστος κατασκευής σε σχέση με την απόδοση του ηλιακού στοιχείου.

Με τη συνεχή πρόοδο που παρατηρείται στην περιοχή της Φ/Β μετατροπής, η απόδοση των ηλιακών στοιχείων παρουσιάζει μια σταθερή αύξηση και πλησιάζει προς τη μέγιστη θεωρητική τιμή, η οποία ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο αγωγό και τη μορφή της ακτινοβολίας υπολογίζεται στο 25 % περίπου. Το υπόλοιπο της ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας δε μπορεί να αξιοποιηθεί όπως θα φανεί στη συνέχεια, κυρίως λόγω της πλατιάς ενεργειακής κατανομής των φωτονίων του ηλιακού φάσματος.

Το κόστος των Φ/Β συστημάτων που χρησιμοποιήθηκαν στις πρώτες διαστημικές εφαρμογές ήταν πολύ υψηλό περίπου $1.000 \text{ \$/W}_p$. Στη συνέχεια όμως, με την αύξηση της παραγωγής και τη βελτίωση της τεχνολογίας, πραγματοποιήθηκε η ραγδαία μείωση του κόστους που παρουσιάζεται στον πίν 2.19 [5].

Πίνακας 2.19: Διαμόρφωση κόστους φωτοβολταϊκών, ανά παραγόμενο W_p .

Έτος	Κόστος ανά W_p (\$)
1956	1.000
1960	400
1970	100
1975	40
1980	10
1985	7
1990	5
2000	1

Έτσι έγινε δυνατό, εκτός από τις διαστημικές, να αρχίσουν σταδιακά και επίγειες εφαρμογές της Φ/Β μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας, όπως η ηλεκτρική τροφοδότηση μικροσυσκευών (ρολόγια, υπολογιστές τσέπης, ραδιόφωνα) και απομονωμένων εγκαταστάσεων (τηλεπικοινωνιακοί αναμεταδότες, σηματοδότες, φάροι, αγροτικές αντλίες νερού, συστήματα καθοδικής προστασίας χαλύβδινων σωληνώσεων, εξαιρεστήρες αποθηκευτικών χώρων, εγκαταστάσεις αφαλάτωσης νερού κλπ). Επίσης η φόρτιση των συσσωρευτών μικρών σκαφών και η κατασκευή αυτόνομων Φ/Β συστημάτων για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε εξοχικά σπίτια ή ακόμα και σε ολόκληρους οικισμούς, κυρίως σε νησιά και γενικά σε περιοχές που δεν εξυπηρετούνται από ηλεκτρικό δίκτυο.

2.4.4.4 Συνοπτική παρουσίαση και λειτουργία των μερών ενός Φ/Β στοιχείου

2.4.4.4.1 Τα ηλιακά στοιχεία

Τα ηλιακά στοιχεία που ονομάζονται επίσης κυψέλες ή κύτταρα, είναι σίγουρα οι πιο σημαντικοί συντελεστές ενός Φ/Β συστήματος. Συγκεκριμένα στα στρώματα ημιαγωγών των ηλιακών στοιχείων παράγεται το ηλεκτρικό ρεύμα. Υπάρχει ένας αριθμός από διαφορετικά υλικά, τα οποία είναι κατάλληλα για την παραγωγή των ημιαγωγών και το καθένα από αυτά έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Δυστυχώς δεν υπάρχει το ιδανικό υλικό για όλους τους τύπους των κυψελών και για όλες τις εφαρμογές.

Εκτός των στρωμάτων των ημιαγωγών, τα ηλιακά στοιχεία περιλαμβάνουν μια ηλιακή σχάρα ή άλλη ηλεκτρική επαφή για τη συλλογή των ηλεκτρονίων από τον ημιαγωγό και τη μεταφορά τους σε εξωτερικό φορτίο. Επιπλέον, περιέχουν ένα στρώμα οπίσθιας επαφής ώστε

να κλείνει το ηλεκτρικό κύκλωμα. Εκτός αυτών, στην κορυφή του ολοκληρωμένου στοιχείου εφαρμόζει συνήθως ένα γυάλινο κάλυμμα (πλάκα γυαλιού) ή σπανιότερα μια διαφανή πλαστική πλάκα, ώστε να στεγανοποιηθεί η κυψέλη και να μην προκύπτουν προβλήματα από τις καιρικές συνθήκες κατά τη λειτουργία της. Τέλος, εφαρμόζεται ένα αντανακλαστικό επίχρισμα, το οποίο συμβάλλει στο να μην αντανακλάται το φως έξω από την κυψέλη.

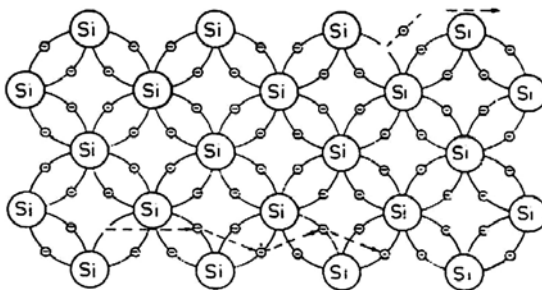
2.4.4.4.2 Μετατρέποντας το ηλιακό φως σε ηλεκτρισμό

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο είναι η βασική φυσική διεργασία μέσω της οποίας ένα ηλιακό στοιχείο μετατρέπει το ηλιακό φως σε ηλεκτρισμό. Το ηλιακό φως αποτελείται από φωτόνια ή σωματίδια ηλιακής ενέργειας. Τα φωτόνια περιέχουν διάφορες ποσότητες ενέργειας που αντιστοιχούν στα διάφορα μήκη κύματος του ηλιακού φάσματος. Όταν φωτόνια προσκρούσουν σε ένα ηλιακό στοιχείο, μπορεί να ανακλαστούν, να απορροφηθούν από ένα στοιχείο ή απλώς να το διαπεράσουν. Μόνο τα απορριφθέντα ηλεκτρόνια μπορούν να παράγουν ηλεκτρισμό. Όταν λοιπόν συμβεί αυτό, η ενέργεια του φωτονίου μεταφέρεται σε ένα ηλεκτρόνιο, που ανήκει σε ένα άτομο του ηλιακού στοιχείου (που είναι στην ουσία ένας ημιαγωγός). Το ηλεκτρόνιο, με τη νεοαποκτηθείσα ενέργειά του, έχει τη δυνατότητα να διαφύγει από τη φυσιολογική του κατάσταση, που σχετίζεται με αυτό το άτομο και να γίνει μέρος του ηλεκτρικού ρεύματος σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα. Αφήνοντας την κανονική του θέση στο άτομο που ανήκει, το ηλεκτρόνιο προκαλεί τη δημιουργία μιας «οπής».

Για να γίνουν τα πράγματα σαφέστερα, ας πάρουμε για παράδειγμα το πυρίτιο, που είναι άλλωστε ο ημιαγωγός με την πιο ευρεία χρήση. Κάθε άτομο πυριτίου είναι ενωμένο με 4 γειτονικά άτομα και ο κάθε χημικός δεσμός αποτελείται από 2 ηλεκτρόνια. Επομένως όλα τα ηλεκτρόνια των ατόμων είναι απασχολημένα στους δεσμούς, με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν ελεύθεροι φορείς του ηλεκτρικού ρεύματος και το σώμα να μη διαθέτει ηλεκτρική αγωγιμότητα. Η εικόνα όμως αυτή ισχύει μόνο στην υποθετική περίπτωση που ο ημιαγωγός βρίσκεται στη θεμελιώδη ενεργειακή κατάσταση, δηλαδή είναι εντελώς υποβαθμισμένος ενεργειακά. Π.χ. σε πολύ μεγάλες θερμοκρασίες ή κοντά στο απόλυτο μηδέν, πράγματι οι ημιαγωγοί μετατρέπονται σε μονωτές.

Όταν όμως οι ημιαγωγοί απορροφήσουν κάποια αξιόλογη ενέργεια, π.χ. με τη μορφή θερμότητας ή ακτινοβολίας, πραγματοποιείται μια ριζική μεταβολή. Έτσι, στη συνηθισμένη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, η θερμική ενέργεια που παρέχεται στο σώμα και κατανέμεται στα άτομά του, προκαλεί την ελευθέρωση πολλών ηλεκτρονίων από τους δεσμούς. Δηλαδή, καθώς η θερμική ενέργεια ανακατανέμεται συνεχώς από το ένα άτομο στο άλλο, μπορεί να επαρκέσει στιγμιαία σε μερικές τυχαίες θέσεις για να διεγείρει και να ελευθερώσει από ένα ηλεκτρόνιο σθένους σε μερικούς από τους δεσμούς του σώματος. Τα ελευθερωμένα αυτά ηλεκτρόνια απομακρύνονται από την περιοχή του δεσμού τους, χάρη στην κινητική ενέργεια που απέκτησαν από τη θερμότητα και γίνονται ευκίνητοι φορείς του ηλεκτρισμού, δίνοντας στον ημιαγωγό μια αξιόλογη ηλεκτρική αγωγιμότητα.

Η απομάκρυνση ηλεκτρονίων από μερικούς δεσμούς του σώματος και η αποδυνάμωση ενός σχετικά μικρού πλήθους δεσμών στα σώματα που μελετάμε, δε συνεπάγεται την απώλεια συνοχής των ατόμων τους και την κατάρρευση του κρυσταλλικού τους πλέγματος. Όπως δείχνει το σχ. 2.81 [5], τα άτομα που συνδέει ένας από τους δεσμούς από τους οποίους ελευθερώθηκαν τα ηλεκτρόνια, εξακολουθούν να συνδέονται με τα γειτονικά τους άτομα με τρεις άθικτους δεσμούς καθώς και με έναν ατελή δεσμό ενός ηλεκτρονίου.



Σχήμα 2.81: Επίδραση της θερμικής διέγερσης στο πυρίτιο. Πάνω δεξιά φαίνεται η ελευθέρωση ενός e^- από ένα δεσμό. Κάτω παρουσιάζεται η διαδοχική μετατόπιση μιας οπής, ως αποτέλεσμα μιας σειράς αντίθετων μετακινήσεων e^- σθένους προς την εκάστοτε κενή θέση σε ένα γειτονικό δεσμό.

Οι δεσμοί αυτοί επαρκούν για τη συγκράτηση των ατόμων στη θέση τους. Άλλωστε το πλήθος των ελευθέρων ηλεκτρονίων και επομένως και των διασπασμένων δεσμών των σωμάτων που μελετάμε, είναι ένα μικρό ποσοστό του συνόλου των δεσμών των ατόμων τους. Π.χ. για το πυρίτιο στη συνηθισμένη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, η αναλογία είναι της τάξης του $1:10^{13}$.

2.4.4.4.3 Ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές

Τα ελευθερωμένα ηλεκτρόνια μεταφέρονται άτακτα στο σώμα, ανάμεσα στα άτομα και τους δεσμούς, για όσο βέβαια χρονικό διάστημα διατηρούν την αυξημένη τους ενέργεια. Αν μειωθεί σημαντικά η ενέργειά τους, επιστρέφουν στην κενή θέση κάποιου ατελούς δεσμού, που μπορεί να συναντήσουν στο δρόμο τους και παύουν να είναι ελεύθερα. Πάντως, όσο χρονικό διάστημα τα ηλεκτρόνια αυτά είναι ελεύθερα, συμβάλλουν στην ηλεκτρική αγωγιμότητα του σώματος και για αυτό ονομάζονται ηλεκτρόνια αγωγιμότητας.

Οι κενές ηλεκτρονικές θέσεις των χημικών δεσμών δρουν ως παγίδες δέσμευσης για όσα ηλεκτρόνια έχουν σχετικά μειωμένη ενέργεια κι έτσι ένα ηλεκτρόνιο μπορεί να έρθει από ένα γειτονικό πλήρη δεσμό και να καλύψει την κενή θέση, με την ταυτόχρονη δημιουργία μιας κενής θέσης στο δεσμό που κατείχε προηγουμένως. Στη συνέχεια ένα ηλεκτρόνιο σθένους από άλλο πλήρη δεσμό μπορεί να πάει σε αυτή τη νέα κενή θέση, με αντίστοιχη νέα μετατόπισή της. Ο μηχανισμός αυτός μετακίνησης της κενής θέσης μπορεί να συνεχίζεται απεριόριστα, εκτός αν κάποια στιγμή παγιδευτεί ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο και η κενή θέση πάψει να υπάρχει πια, αφού τώρα ο δεσμός θα γίνει πλήρης με 2 ηλεκτρόνια.

Στη μελέτη του φαινομένου, είναι προτιμότερο, να γίνεται αναφορά σε ένα γεγονός, στην κίνηση δηλαδή της κενής θέσης προς το ηλεκτρόνιο και όχι το αντίθετο, κάτι που θα μας υποχρέωνε να περιγράψουμε τις κινήσεις και του ηλεκτρονίου και της κενής θέσης. Είναι λοιπόν χρήσιμο, να δοθεί έμφαση στις κενές θέσεις ηλεκτρονίων, οι οποίες παρομοιάστηκαν παραπάνω με τρύπες (“holes”) που δημιουργούνται από την απουσία ηλεκτρονίων στους δεσμούς.

Οι οπές διαγράφουν μια άτακτη κίνηση στο σώμα, από τον ένα δεσμό στον άλλο, αφού είναι τυχαίο από ποια μεριά θα έρθει το γειτονικό ηλεκτρόνιο σθένους, που συμπληρώνει τον ατελή δεσμό. Όταν όμως επιβληθεί ένα εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο, είναι πιθανότερο ότι το ηλεκτρόνιο θα προέλθει από την πλευρά που ευνοείται από το πεδίο. Για παράδειγμα, αν το πεδίο έχει τέτοια κατεύθυνση ώστε να προκαλεί την κίνηση των αρνητικά φορτισμένων ηλεκτρονίων από αριστερά προς τα δεξιά, η συνεπαγόμενη αντίθετη κίνηση της οπής, από δεξιά προς τα αριστερά, δημιουργεί ηλεκτρικό ρεύμα και αντιστοιχεί στη συμπεριφορά ενός σωματιδίου όμοιας μάζας με του ηλεκτρονίου, αλλά με θετικό στοιχειώδες φορτίο. Έτσι, η υλοποίηση της οπής συμπληρώνεται, αφού εκτός από όνομα και σύμβολο αποκτά επίσης μάζα και φορτίο με πρόσημο (h^+). Ας μην παραβλέπεται όμως το γεγονός, ότι αποτελεί μια υποθετική οντότητα.

Στους ημιαγωγούς εκδηλώνονται δύο ανταγωνιστικοί μηχανισμοί, που επηρεάζουν τον πληθυσμό των φορέων. Ο ένας είναι η ελευθέρωση ηλεκτρονίων από τους δεσμούς με ταυτόχρονη δημιουργία οπών και ο άλλος είναι η παγίδευση ελευθέρων ηλεκτρονίων στις οπές, που συνεπάγεται ταυτόχρονη εξαφάνιση και των δύο. Σε συνθήκες σταθερής ενεργειακής κατάστασης από θερμική, φωτονική ή άλλη ενέργεια, γίνεται τελικά αποκατάσταση ισορροπίας και το πλήθος των ηλεκτρονίων που ελευθερώνονται ανά μονάδα όγκου και χρόνου ισούται με το πλήθος των ελευθέρων ηλεκτρονίων που παγιδεύονται στις οπές. Έτσι, σε σταθερή θερμοκρασία ή ακτινοβολία, η συγκέντρωση των ελευθέρων ηλεκτρονίων ή των οπών ενός ημιαγωγού, παραμένει αμετάβλητη και είναι χαρακτηριστική για το υλικό και τη θερμοκρασία. Όσο ασθενέστεροι είναι οι δεσμοί στο υλικό και όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία του ή εντονότερη η ακτινοβολία, τόσο μεγαλύτερη θα είναι η συγκέντρωση των φορέων του, δηλαδή των ελευθέρων ηλεκτρονίων και των οπών.

2.4.4.4 Οι ενεργειακές ζώνες στους ημιαγωγούς

Από την άποψη της ηλεκτρικής συμπεριφοράς, μπορεί να θεωρηθεί, ότι τα ηλεκτρόνια των σωμάτων ανήκουν σε τρεις διαφορετικές κατηγορίες. Η μία είναι τα ελεύθερα ηλεκτρόνια, που διαθέτουν αρκετή ενέργεια ώστε να αποσπασθούν από τους δεσμούς του σώματος. Η δεύτερη κατηγορία είναι τα ηλεκτρόνια σθένους των ατόμων που σχηματίζουν τους δεσμούς και τα οποία μπορούν να κινηθούν μόνο προς τις οπές γειτονικών δεσμών. Τέλος, υπάρχουν και τα ηλεκτρόνια των εσωτερικών στοιβάδων των ατόμων, που είναι λιγότερο ενεργά, δε συμμετέχουν σε μηχανισμούς αγωγιμότητας και δεν θα τύχουν αναφοράς στη συνέχεια.

Σε ένα διάγραμμα τιμών ενέργειας, οι ενεργειακές στάθμες των ηλεκτρονίων σθένους των ατόμων του σώματος, καθώς διαφέρουν πολύ λίγο μεταξύ τους, σχηματίζουν μια ενεργειακή ζώνη, που λέγεται ζώνη σθένους. Αντίστοιχα οι ενέργειες των ελευθέρων ηλεκτρονίων, που είναι υπεύθυνα για την εκδήλωση ηλεκτρικής αγωγιμότητας, σχηματίζουν τη ζώνη αγωγιμότητας. Η απόσταση ανάμεσα στις δύο ζώνες, δηλαδή η διαφορά μεταξύ της ενέργειας του λιγότερου ενεργού από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια, στον πυθμένα της αγωγιμότητας και του περισσότερο ενεργού από τα δεσμευμένα ηλεκτρόνια, στην κορυφή της ζώνης σθένους, ονομάζεται ενεργειακό διάκενο ή ενεργειακό χάσμα.

Είναι φανερό ότι το ενεργειακό διάκενο ανάμεσα στη ζώνη σθένους και στη ζώνη αγωγιμότητας εκφράζει την ελάχιστη απαιτούμενη ενέργεια για τη διέγερση ενός ηλεκτρονίου σθένους, ώστε να μετατραπεί σε ελεύθερο ηλεκτρόνιο με ταυτόχρονη δημιουργία μιας οπής. Η ενέργεια αυτή είναι επομένως ισότιμη με την ισχύ των χημικών δεσμών μεταξύ των ατόμων του σώματος.

Συνήθως συμβολίζεται η ενέργεια της κορυφής της ζώνης σθένους με E_v (από το αρχικό της λέξης valence που σημαίνει σθένος), η ενέργεια του πυθμένα της ζώνης αγωγιμότητας με E_c (από τη λέξη conduction που σημαίνει αγωγιμότητα) και το ενεργειακό διάκενο με E_g (από τη λέξη gap που σημαίνει διάκενο ή χάσμα). Οι τιμές της ενέργειας των ηλεκτρονίων σε κάθε σώμα είναι περιορισμένες μέσα στις ενεργειακές ζώνες. Δηλαδή, σε ένα απολύτως καθαρό σώμα, χωρίς καθόλου προσμίξεις και με τέλειο κρυσταλλικό πλέγμα, δεν υπάρχουν ηλεκτρονικές στάθμες στο διάκενο ανάμεσα στις δύο ζώνες, κι έτσι η περιοχή μεταξύ E_v και E_c αποτελεί μία απαγορευμένη ενεργειακή ζώνη για τα ηλεκτρόνια. Αν στα ηλεκτρόνια των δεσμών προσφερθεί μια ποσότητα ενέργειας, π.χ. αν δεχθούν μια δέσμη ακτινοβολίας που αποτελείται από ηλεκτρόνια με ενεργειακό κβάντο $h\nu$ (h : σταθερά δράσης Planck), μικρότερο από το ενεργειακό διάκενο ($E_g > h\nu$), δεν μπορούν να την απορροφήσουν και μένουν στη ζώνη σθένους. Αν όμως τα ενεργειακά κβάντα που προσφέρονται είναι ίσα ή μεγαλύτερα από το ενεργειακό διάκενο του σώματος ($E_g \leq h\nu$), τότε κάθε κβάντο μπορεί να απορροφηθεί από ένα ηλεκτρόνιο σθένους και να το διεγείρει προς τη ζώνη αγωγιμότητας, αφήνοντας στη ζώνη σθένους μια οπή. Η περίσσεια της ενέργειας: $E_k = h\nu - E_g$ μεταφέρεται στα ελεύθερα ηλεκτρόνια ως κινητική ενέργεια E_k και γίνεται αντιληπτή με την αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος.

2.4.4.4.5 Επανασύνδεση και διέγερση των φορέων

Η παγίδευση ενός ηλεκτρονίου σε μια οπή απεικονίζεται στο ενεργειακό διάγραμμα με την πτώση ενός ηλεκτρονίου από τη ζώνη αγωγιμότητας στη ζώνη σθένους. Ο μηχανισμός αυτός, της ταυτόχρονης εξαφάνισης ενός ελεύθερου ηλεκτρονίου και μιας οπής, ονομάζεται επανασύνδεση των φορέων και συνοδεύεται από έκλυση ενέργειας ίσης περίπου με το ενεργειακό διάκενο του σώματος ($e^- + h^+ \rightarrow E_g$). Η έννοια του περίπου είναι ότι η εκλυόμενη ενέργεια μπορεί να διαφέρει κάπως από την τιμή του ενεργειακού διακενίου, αν γίνονται συγχρόνως και άλλες ενεργειακές ανταλλαγές, όπως π.χ. με την κινητική ενέργεια του ελεύθερου ηλεκτρονίου, με τις ταλαντώσεις του κρυσταλλικού πλέγματος κλπ.

Στην ειδική περίπτωση της φωτονικής διέγερσης των ηλεκτρονίων με την επίδραση ακτινοβολίας, εκτός από την τιμή, αποκτά επίσης μεγάλη σημασία και το είδος του ενεργειακού διακενίου του ημιαγωγού. Έτσι, είναι πολύ πιθανό να απορροφηθεί ένα φωτόνιο σε ένα δεσμό και να ελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο, όταν ο ημιαγωγός έχει άμεσο και όχι έμμεσο ενεργειακό διάκενο. Στην πρώτη περίπτωση, το ελεύθερο ηλεκτρόνιο και η οπή που δημιουργούνται ταυτοχρόνως, έχουν την ίδια ορμή και επομένως η διέγερση γίνεται χωρίς δυσκολία, όταν ένα κατάλληλο φωτόνιο συναντήσει ένα ηλεκτρόνιο σθένους. Στην περίπτωση όμως του έμμεσου ενεργειακού διακενίου, το ελεύθερο ηλεκτρόνιο και η οπή έχουν διαφορετικές ορμές, οπότε για την πραγματοποίηση της διέγερσης πρέπει να συμμετάσχει και κάποιο άλλο σωματίδιο εκτός από το φωτόνιο και το ηλεκτρόνιο, ώστε να διατηρηθεί η ορμή του συστήματος. Το σωματίδιο αυτό μπορεί να είναι π.χ. ένα φωτόνιο, δηλαδή το ενεργειακό κβάντο της θερμικής ταλάντωσης του κρυσταλλικού πλέγματος του ημιαγωγού. Απαιτείται λοιπόν η συνάντηση 3 σωματιδίων, κάτι που είναι λιγότερο πιθανό να συμβεί από τη συνάντηση φωτονίου - ηλεκτρονίου (2 σωματίδια). Είναι χρήσιμο να σημειωθεί, ότι το άμεσο ενεργειακό διάκενο δε διευκολύνει μόνο τη διέγερση των φορέων, αλλά και την αντίθετη διαδικασία της επανασύνδεσης.

2.4.4.4.6 Οι ημιαγωγοί πρόσμιξεων

Ας υποθεθεί ότι ένας τετρασθενής στοιχειακός ημιαγωγός, π.χ. το πυρίτιο, βρίσκεται σε κατάσταση τήγματος και ότι στο τήγμα έχει γίνει πρόσμιξη (νόθευση) μιας μικρής ποσότητας από ένα πεντασθενές στοιχείο, π.χ. το αρσενικό (As) ή ο φώσφορος, που ο όγκος των ατόμων του δεν είναι πολύ διαφορετικός από του πυριτίου. Με την ψύξη και στερεοποίηση του σώματος, σχηματίζεται στερεό διάλυμα και τα λίγα αυτά άτομα As ενσωματώνονται στην κρυσταλλική δομή του πυριτίου και τοποθετούνται σε πλεγματικές θέσεις, που αλλιώς θα κατείχαν άτομα Si.

Τέσσερα από τα πέντε ηλεκτρόνια σθένους κάθε ατόμου As θα ενωθούν με ηλεκτρόνια σθένους των γειτονικών ατόμων Si και θα σχηματίσουν ομοιοπολικούς δεσμούς, όμοιους με τους άλλους δεσμούς του σώματος. Το πέμπτο όμως ηλεκτρόνιο που περισσεύει, θα συγκρατείται πολύ χαλαρά από το θετικό πυρηνικό φορτίο του As και με λίγη ενέργεια μπορεί να αποσπασθεί και να κινείται σαν ελεύθερο ηλεκτρόνιο, όμοιο με τα ελεύθερα ηλεκτρόνια που προέρχονται από τη διέγερση των ηλεκτρονίων των κανονικών δεσμών του πυριτίου. Ύστερα από την απομάκρυνση του πέμπτου ηλεκτρονίου του, στο άτομο του As περισσεύουν κατά ένα από τα θετικά πυρηνικά φορτία και μετατρέπεται σε θετικά φορτισμένο ιόν (As^+) που μένει ακίνητο στο κρυσταλλικό πλέγμα. Δηλαδή το πεντασθενές άτομο συμπεριφέρεται ως δότης ηλεκτρονίων. Τα άτομα αυτά συμβολίζονται συνήθως με το γράμμα D, από το αρχικό της αγγλικής λέξης donor, που σημαίνει δότης.

Αντίστοιχα, με την πρόσμιξη τρισθενών ατόμων, όπως το βόριο (B), σε πλεγματικές θέσεις του πυριτίου, δημιουργούνται κενές θέσεις ηλεκτρονίου στους δεσμούς, αφού τα 3 ηλεκτρόνια σθένους κάθε ατόμου B επαρκούν για τους δεσμούς με τρία μόνο από τα τέσσερα άτομα πυριτίου που το περιβάλλουν. Έτσι το άτομο B φορτίζεται αρνητικά και

συμπεριφέρεται ως αποδέκτης ηλεκτρονίων. Τα άτομα αυτά συμβολίζονται με το γράμμα A, από το αρχικό της αγγλικής λέξης acceptor, που σημαίνει αποδέκτης.

Οι ημιαγωγοί που οφείλουν την αγωγιμότητά τους σε φορείς που προέρχονται κυρίως από προσμίξεις, ονομάζονται ημιαγωγοί προσμίξεων, σε διάκριση με τους καθαρούς ημιαγωγούς, που η αγωγιμότητά τους δεν οφείλεται σε ξένους παράγοντες, αλλά προέρχονται από την ενδογενή διέγερση ηλεκτρονίων σθένους προς τη ζώνη αγωγιμότητας και ονομάζονται ενδογενείς ημιαγωγοί.

Ειδικότερα, οι ημιαγωγοί προσμίξεων στους οποίους επικρατούν δότες και επομένως οι κύριοι φορείς του ηλεκτρικού ρεύματος είναι τα αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια, ονομάζονται τύπου n, από την αγγλική λέξη negative. Αντίστοιχα, όταν επικρατούν οι αποδέκτες, οι ημιαγωγοί προσμίξεων ονομάζονται τύπου p, από το αγγλικό positive, αφού η αγωγιμότητά τους οφείλεται κυρίως στις οπές, οι οποίες θεωρούνται θετικά φορτισμένοι φορείς.

2.4.4.4.7 Η ένωση p - n και η δίοδος των ημιαγωγών

Οι σημαντικότερες ιδιότητες και εφαρμογές των διατάξεων ημιαγωγών δεν οφείλονται κυρίως στη δημιουργία των φορέων, αλλά οφείλονται περισσότερο στη διάχυση των φορέων τους. Βασική διάταξη για την εκδήλωση των ιδιοτήτων αυτών είναι η ένωση p - n (ονομάζεται επίσης σύνδεση ή επαφή), η οποία σχηματίζεται όταν έλθουν σε στενή επαφή ένα τεμάχιο τύπου p με ένα τεμάχιο τύπου n. Αμέσως τότε, ένα μέρος από τις οπές του τεμαχίου τύπου p διαχέεται προς το τεμάχιο τύπου n, όπου οι οπές είναι λιγότερες και συγχρόνως ένα μέρος από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του τεμαχίου τύπου n διαχέεται προς το τεμάχιο τύπου p, όπου τα ελεύθερα ηλεκτρόνια είναι πολύ λιγότερα.

Η ανάμιξη αυτών των φορέων και η αύξηση της συγκέντρωσης των φορέων μειονότητας στις περιοχές κοντά στη διαχωριστική επιφάνεια των τεμαχίων τύπου p και n, ανατρέπουν την κατάσταση ισορροπίας που υπήρχε πριν. Η αποκατάσταση των συνθηκών ισορροπίας γίνεται με επανασυνδέσεις των φορέων, μέχρι οι συγκεντρώσεις τους να πάρουν τιμές που να ικανοποιούν το νόμο δράσης των μαζών. Για αυτό η περιοχή γύρω από μια ένωση p-n ονομάζεται ζώνη εξάντλησης των φορέων (ή περιοχή αραίωσης). Η διάταξη ημιαγωγών που αποτελείται από μια ένωση p - n και από μια ηλεκτρική σύνδεση στο κάθε τμήμα της, ονομάζεται δίοδος ημιαγωγού ή απλά δίοδος. Ο όρος δίοδος δηλώνει ότι στη διάταξη είναι προσαρτημένα δύο ηλεκτρόδια.

Σε αντίθεση με τους ευκίνητους φορείς των ημιαγωγών (ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές), που τείνουν να διαχέονται προς τις περιοχές με τη μικρότερη συγκέντρωσή τους, η συγκέντρωση των αρνητικών ιόντων, στα οποία μετατράπηκαν οι αποδέκτες στο τμήμα τύπου p και η συγκέντρωση των θετικών ιόντων, στα οποία μετατράπηκαν οι δότες στο τμήμα τύπου n, παραμένουν αμετάβλητες, αφού τα ιόντα, όπως συνήθως όλα τα άτομα στα στερεά, μένουν ακίνητα στο σώμα. Έτσι, το υλικό χάνει τοπικά την ηλεκτρική του ουδετερότητα και οι δυο πλευρές της ένωσης p - n φορτίζονται με αντίθετα ηλεκτρικά φορτία. Δημιουργείται λοιπόν μια διαφορά δυναμικού, με σχετικά μικρή τιμή (συνήθως 0,3 - 0,5V, ανάλογα με τις συγκεντρώσεις των προσμίξεων), αλλά το ενσωματωμένο αυτό ηλεκτροστατικό πεδίο εμποδίζει την παραπέρα διάχυση των φορέων πλειονότητας προς το απέναντι τμήμα της ένωσης. Το αποτέλεσμα είναι ότι η δίοδος που περιέχει την ένωση p - n παρουσιάζει εντελώς διαφορετική συμπεριφορά στη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος, ανάλογα με τη φορά του.

2.4.4.5 Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των Φ/Β στοιχείων

2.4.4.5.1 Πρώτη προσέγγιση

Μια πρώτη εκτίμηση των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών και της λειτουργίας ενός Φ/Β στοιχείου, προκύπτει με τη θεώρηση ότι αυτό αποτελεί μια πηγή ρεύματος που ελέγχεται από μια δίοδο και ότι περιγράφεται από το πολύ απλοποιημένο διάγραμμα του σχ. 2.82 [5].

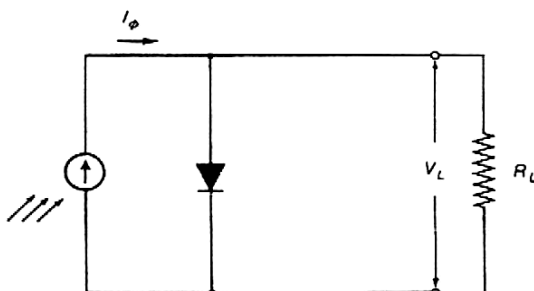
Σε συνθήκες ανοικτού κυκλώματος, θα αποκατασταθεί μια ισορροπία όταν η τάση, που θα αναπτυχθεί ανάμεσα στις δύο όψεις του στοιχείου, θα προκαλεί ένα αντίθετο ρεύμα που θα αντισταθμίζει το φωτόρευμα (το φωτόρευμα I_ϕ είναι το ηλεκτρικό ρεύμα που δημιουργείται όταν ένα Φ/Β στοιχείο δέχεται κατάλληλη ακτινοβολία). Στην περίπτωση αυτή ισχύει η σχέση [5]:

$$I_\phi = I_o \left[\exp\left(\frac{eV}{\gamma \cdot k \cdot T}\right) - 1 \right] \quad (\Sigma \quad 2.55)$$

από την οποία υπολογίζεται ότι η τιμή της τάσης ανοικτού κυκλώματος του στοιχείου V_{oc} (open circuit voltage) θα είναι [5]:

$$V_{oc} = \frac{\gamma \cdot k \cdot T}{e} \ln\left(\frac{I_\phi}{I_o} - 1\right) \quad (\Sigma \quad 2.56)$$

που δείχνει τη λογαριθμική μεταβολή της τάσης ανοικτού κυκλώματος σε συνάρτηση με το φωτόρευμα, δηλαδή με την ένταση της ακτινοβολίας που δέχεται το Φ/Β στοιχείο. Από τις σχέσεις για το I_o , που αναφέρθηκαν νωρίτερα, μπορούμε να βρεθεί η εξάρτηση της V_{oc} από τις διάφορες ιδιότητες του ημιαγωγού, όπως το ενεργειακό διάκενο E_g , η ενδογενής συγκέντρωση των φορέων n_i , οι συγκεντρώσεις των προσμίξεων N_A και N_D , κλπ.



Σχήμα 2.82: Απλοποιημένο ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου.

Στην άλλη ακραία περίπτωση, δηλαδή σε συνθήκες βραχυκύκλωσης ανάμεσα στις 2 όψεις του στοιχείου, το ρεύμα I_{sc} (short circuit current) θα ισούται με το παραγόμενο φωτόρευμα [5]:

$$I_{sc} = I_\phi \quad (\Sigma \quad 2.57)$$

Όταν όμως το κύκλωμα του Φ/Β στοιχείου κλείσει διαμέσου μιας εξωτερικής αντίστασης R_L (load resistance), το ρεύμα θα πάρει μια μικρότερη τιμή I_L , που βρίσκεται με τη λύση της εξίσωσης [5]:

$$I_L = I_\phi - I_o \left[\exp\left(\frac{e \cdot I_L \cdot R_L}{\gamma \cdot k \cdot T}\right) - 1 \right] \quad (\Sigma \quad 2.58)$$

Προφανώς θα υπάρχει κάποια τιμή της αντίστασης (δηλαδή του φορτίου του κυκλώματος), για την οποία η ισχύς που παράγει το Φ/Β στοιχείο θα γίνεται μέγιστη. Στις συνθήκες αυτές, θα αντιστοιχεί μια βέλτιστη τάση V_m , που δίνεται από τη λύση της εξίσωσης [5]:

$$\frac{I\phi}{I_o} + 1 = \left(1 + \frac{e \cdot V_m}{\gamma \cdot k \cdot T} \right) \exp\left(\frac{e \cdot V_m}{\gamma \cdot k \cdot T} \right) \quad (\Sigma) \quad 2.59)$$

2.4.4.5.2 Ο συντελεστής πλήρωσης

Ο λόγος της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος $P_m = I_m \cdot V_m$ προς το γινόμενο της βραχυκυκλωμένης έντασης και της τάσης ανοικτού κυκλώματος $I_{sc} \cdot V_{oc}$ ενός Φ/Β στοιχείου, ονομάζεται συντελεστής πλήρωσης FF (*fill factor*). Δηλαδή [5]:

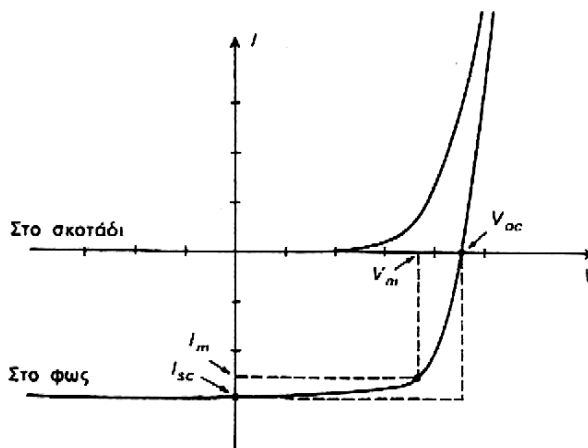
$$FF = \frac{I_m \cdot V_m}{I_{sc} \cdot V_{oc}} \quad (\Sigma) \quad 2.60)$$

Στο διάγραμμα του σχ. 2.83[5], ο FF δίνεται από το λόγο του εμβαδού του μέγιστου ορθογωνίου, που μπορεί να εγγραφεί στη χαρακτηριστική καμπύλη $I - V$ του στοιχείου, σε συνθήκες ακτινοβολίας, προς το εμβαδόν που ορίζεται από τις τιμές I_{sc} και V_{oc} .

Οι τρεις παραπάνω παράμετροι, δηλαδή ο FF, η I_{sc} και η V_{oc} είναι τα κυριότερα μεγέθη για την αξιολόγηση της συμπεριφοράς και της λειτουργίας των Φ/Β στοιχείων και καθορίζουν την απόδοσή τους. Επιστρέφοντας στο συντελεστή απόδοσης των στοιχείων η , ο οποίος αναφέρθηκε στην αρχή, μπορεί να οριστεί ως [5]:

$$\eta = \frac{P_m}{H \cdot A} = \frac{I_m \cdot V_m}{H \cdot A} = \frac{FF \cdot I_{sc} \cdot V_{oc}}{H \cdot A} \quad (\Sigma) \quad 2.61)$$

όπου H είναι η ένταση (πυκνότητα ροής) της ακτινοβολίας που δέχεται η επιφάνεια του Φ/Β στοιχείου, εμβαδού A . Όπως γίνεται αντιληπτό, για την πραγματοποίηση αυξημένων αποδόσεων, επιδιώκεται οι τιμές FF, I_{sc} και V_{oc} να είναι όσο το δυνατό μεγαλύτερες.

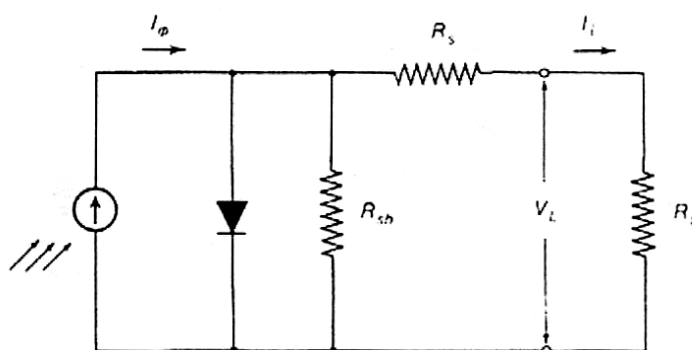


Εικόνα 2.83: Χαρακτηριστική καμπύλη τάσης V - έντασης ρεύματος I , ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου. Ο λόγος των εμβαδών των δύο ορθογωνίων καθορίζει το συντελεστή πλήρωσης.

2.4.4.5.3 Δεύτερη προσέγγιση

Το ισοδύναμο κύκλωμα του 2.82, περιγράφει ιδανικές συνθήκες που δεν υπάρχουν στα πραγματικά Φ/Β στοιχεία. Μια ακριβέστερη προσέγγιση αποτελεί το ισοδύναμο κύκλωμα της

εικ 2.84 [5], διότι περιέχει και τις αναπόφευκτες αντιστάσεις R_s (*series resistance*) που παρεμβάλλονται στην κίνηση των φορέων μέσα στον ημιαγωγό (κυρίως στο εμπρός επιφανειακό στρώμα του) και στις επαφές με τα ηλεκτρόδια.



Εικόνα 2.84: Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου σύνθετης αντίστασης.

Το ίδιο σύμβολο R_s χρησιμοποιείται και για την αντίσταση φύλλου (*sheet resistance*), που εκφράζει σε μονάδες $\Omega\text{m}/\text{επιφάνεια}$, την αντίσταση ενός τετραγωνικού στρώματος ημιαγωγού, καθορισμένου πάχους. Επιπλέον, επειδή η αντίσταση διαμέσου της διόδου δεν έχει άπειρη τιμή, αφού εξαιτίας αναπόφευκτων κατασκευαστικών σφαλμάτων γίνονται διαρροές ρεύματος, το ισοδύναμο κύκλωμα περιέχει και την παράλληλη αντίσταση R_{sh} (*shunt resistance*). Συνήθως στα Φ/Β στοιχεία του εμπορίου η R_s είναι μικρότερη από 5Ω και η R_{sh} είναι μεγαλύτερη από 500Ω . Πάντως επηρεάζουν αισθητά την τιμή της τάσης V_L και του ρεύματος I_L που διαρρέει το φορτίο του κυκλώματος R_L , με αποτέλεσμα την αντίστοιχη μείωση της απόδοσης του στοιχείου. Στην περίπτωση αυτή ισχύει η σχέση [5]:

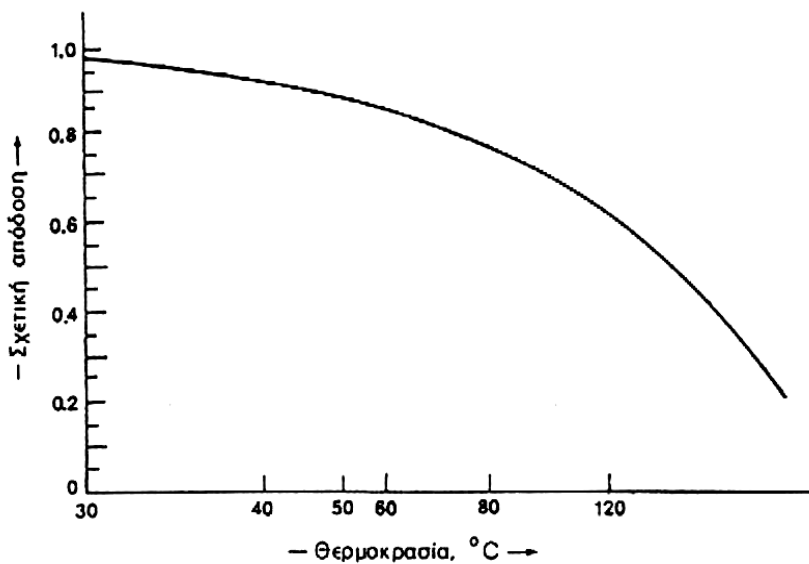
$$I_L \left(1 + \frac{R_s}{R_{sh}} \right) = I_\phi - I_d \left(\exp \left(\frac{e(V_L - I_L \cdot R_s)}{\gamma \cdot k \cdot T} \right) - 1 \right) - \frac{V_L}{R_{sh}} \quad (\Sigma 2.62)$$

Εκτός από τις αντιστάσεις R_s και R_{sh} , ένας άλλος παράγοντας που επιδρά αρνητικά στην απόδοση των Φ/Β στοιχείων, είναι η θερμοκρασία τους. Συγκεκριμένα, με την αύξηση της θερμοκρασίας προκαλείται αντίστοιχη αύξηση της ενδογενούς συγκέντρωσης των φορέων του ημιαγωγού, με αποτέλεσμα να πραγματοποιούνται περισσότερες επανασυνδέσεις φορέων. Έτσι, εκδηλώνεται ισχυρότερο ρεύμα διαρροής διαμέσου της διόδου, που συνεπάγεται μείωση της V_{oc} και του FF. Παράλληλα, μειώνεται και η απόδοση του Φ/Β στοιχείου (σχ. 2.62 [5]).

Αν ο συντελεστής απόδοσης ενός Φ/Β στοιχείου με μια συμβατική θερμοκρασία (π.χ. 30°C) είναι η , η τιμή του σε μια διαφορετική θερμοκρασία θ , θα είναι [5]:

$$\eta_\theta = \eta \cdot \sigma_\theta \quad (\Sigma 2.63)$$

όπου σ_θ είναι ένας αδιάστατος συντελεστής της θερμοκρασιακής διόρθωσης της απόδοσης. Στη συμβατική θερμοκρασία, ο σ_θ είναι ίσος με τη μονάδα και μειώνεται κατά περίπου 0,005 ανά βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας, για τα συνηθισμένα Φ/Β ηλιακά στοιχεία πυριτίου του εμπορίου.



Σχήμα 2.85: Μεταβολή της απόδοσης ενός Φ/Β στοιχείου Si, ως συνάρτηση της θερμοκρασίας (Συμβατική θερμοκρασία 30 °C).

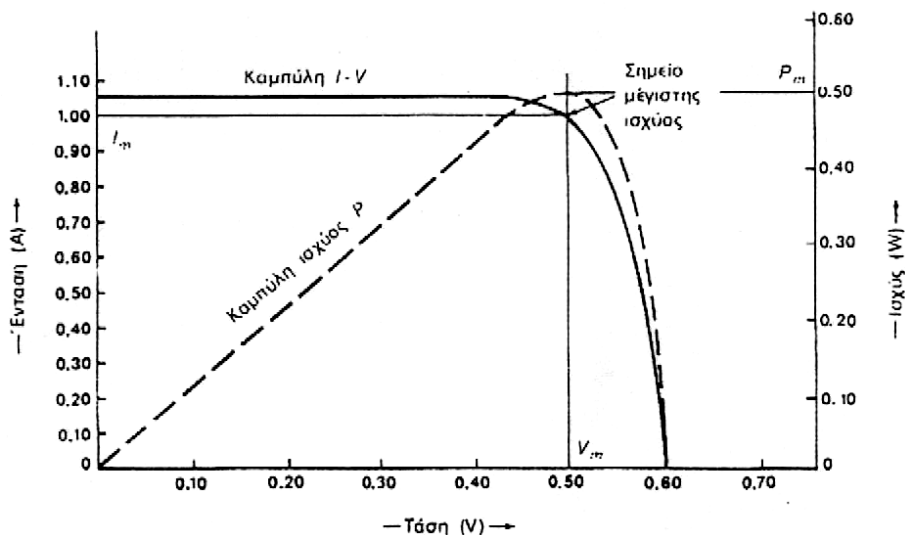
2.4.4.5.4 Η αποδοτική λειτουργία των Φ/Β στοιχείων – σταθερές συνθήκες

Ως πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, το Φ/Β στοιχείο έχει μια αρκετά ασυνήθιστη συμπεριφορά. Δηλαδή, σε αντίθεση με τις περισσότερες κοινές ηλεκτρικές πηγές (συσσωρευτές, ξηρά στοιχεία, ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη, μεγάλα δίκτυα διανομής), οι οποίες διατηρούν περίπου σταθερή τάση στην περιοχή της κανονικής τους λειτουργίας, η τάση των Φ/Β στοιχείων μεταβάλλεται ριζικά (και μη γραμμικά) σε συνάρτηση με την ένταση του ρεύματος που δίνουν στο κύκλωμα, έστω και αν η ακτινοβολία που δέχονται παραμένει σταθερή.

Για την καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας του Φ/Β στοιχείου, ας εξεταστεί η συμπεριφορά του όταν οι πόλοι του συνδεθούν με ένα κύκλωμα που περιέχει μια μεταβλητή αντίσταση.

Είδαμε παραπάνω ότι όταν η τιμή της αντίστασης είναι μηδέν, δηλαδή στη βραχυκυκλωμένη κατάσταση, η ένταση του ρεύματος παίρνει τη μέγιστη τιμή I_{sc} , ενώ η τάση μηδενίζεται. Αντίθετα, όταν η τιμή της αντίστασης τείνει στο άπειρο, δηλαδή στην κατάσταση ανοικτού κυκλώματος, μηδενίζεται η ένταση του ρεύματος και η τάση παίρνει τη μέγιστη τιμή V_{oc} . Επομένως, στη βραχυκυκλωμένη και στην κατάσταση ανοικτού κυκλώματος, η ηλεκτρική ισχύς που παράγει το στοιχείο ($P = I \cdot V$) είναι μηδέν, αφού αντίστοιχα, η τάση και η ένταση του ρεύματος είναι μηδέν.

Για σταθερές συνθήκες ακτινοβολίας αλλά μεταβαλλόμενες τιμές της αντίστασης του κυκλώματος, ανάμεσα στις παραπάνω ακραίες καταστάσεις, η τάση και η ένταση του ρεύματος παίρνουν ενδιάμεσες τιμές, όπως φαίνεται στο σχ. 2.86 [5] που ακολουθεί. Παράλληλα, μεταβάλλεται ομαλά και η ισχύς που παράγει το στοιχείο, με μέγιστη P_m σε ένα ορισμένο ζεύγος τιμών τάσης V_m και έντασης I_m . Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το ζεύγος αυτό καθορίζει, σε σχέση με το ζεύγος τιμών V_{oc} και I_{sc} , το συντελεστή απόδοσης του στοιχείου η . Επομένως από πρακτική άποψη, είναι πολύ σημαντικό, η αντίσταση του κυκλώματος που τροφοδοτείται από ένα Φ/Β στοιχείο να έχει κατάλληλη τιμή, ώστε στις συγκεκριμένες συνθήκες ακτινοβολίας, να παράγεται από το στοιχείο η μεγαλύτερη δυνατή ηλεκτρική ισχύς.



Σχήμα 2.86: Καμπύλες έντασης I – τάσης V και ισχύος P , ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου.

2.4.4.5.5 Η απόδοση του Φ/Β πλαισίου

Το κάθε Φ/Β πλαίσιο παρουσιάζει τα δικά του ηλεκτρικά χαρακτηριστικά (απόδοση, τάση, ισχύ κλπ.) που προφανώς διαμορφώνονται από τα αντίστοιχα μεγέθη των χωριστών ηλιακών στοιχείων που περιέχει. Επομένως, ο συντελεστής απόδοσης του Φ/Β πλαισίου (η_{π}), εκφράζει το λόγο της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το Φ/Β πλαίσιο (P_{π}), προς την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται στην επιφάνειά του S . Προφανώς, την ίδια τιμή θα έχει και ο λόγος της μέγιστης ηλεκτρικής ενέργειας E που παράγει το Φ/Β πλαίσιο επί ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, προς την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται επί το ίδιο χρονικό διάστημα. Δηλαδή:

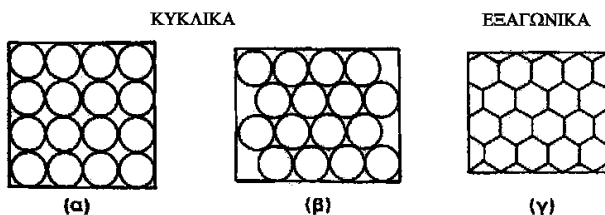
$$\eta_{\pi} = \frac{P_{\pi}(\text{W})}{H(\text{W}/\text{m}^2) \cdot S(\text{m}^2)} = \frac{E(\text{kWh})}{\Pi(\text{kWh}/\text{m}^2) \cdot S(\text{m}^2)} \quad (\Sigma) \quad 2.64$$

όπου Π είναι η πυκνότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια του Φ/Β πλαισίου.

Η τιμή του η_{π} , είναι φανερό ότι εξαρτάται όχι μόνο από τη μέση απόδοση των ηλιακών στοιχείων (η), αλλά και από το συντελεστή κάλυψης του πλαισίου (σ_{κ}), που ορίζεται ως ο λόγος της συνολικής ενεργού επιφάνειας των ηλιακών στοιχείων, δηλαδή της επιφάνειας του ημιαγωγού όπου γίνεται η απορρόφηση και μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας, προς τη συνολική επιφάνεια του Φ/Β πλαισίου. Υπολογίζεται ότι θα ισχύει η σχέση:

$$\eta_{\pi} = \eta \cdot \sigma_{\kappa} \quad (\Sigma) \quad 2.65$$

Η τιμή του σ_{κ} εξαρτάται κυρίως από το σχήμα και την πυκνότητα της τοποθέτησης των ηλιακών στοιχείων πάνω στο Φ/Β πλαίσιο. Συνήθως κυμαίνεται από περίπου 0,78 για κυκλικά στοιχεία σε παράλληλες συστοιχίες και φτάνει μέχρι σχεδόν 1,00 (πρακτικά μέχρι 0,98), για τα μεγαλύτερου κόστους τετραγωνικά ή εξαγωνικά ηλιακά στοιχεία σ_{κ} . 2.87 [5].



Σχήμα 2.87: Τρόποι παράθεσης ηλιακών στοιχείων στα φωτοβολταϊκά πλαίσια.

2.4.4.5.6 Η επίδραση της θερμοκρασίας και της ρύπανσης

Όπως φάνηκε προηγουμένως, η απόδοση των Φ/Β στοιχείων επηρεάζεται έντονα από τη θερμοκρασία. Όμως, ο συντελεστής απόδοσης που δίνεται για τα ηλιακά στοιχεία ή για τα Φ/Β πλαίσια αντιστοιχεί σε μια συμβατική θερμοκρασία, συνήθως 20 °C, που συχνά, ιδίως στους θερινούς μήνες, διαφέρει σημαντικά από την πραγματική θερμοκρασία του στοιχείου. Έχει μετρηθεί ότι, λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται κυρίως, αλλά και λόγω των ηλεκτρικών απωλειών που εμφανίζονται, στις αντιστάσεις σειράς, τα ηλιακά στοιχεία αποκτούν κατά τη λειτουργία τους θερμοκρασία μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του αέρα του περιβάλλοντος κατά 25 έως 30 °C, ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου.

Είδαμε επίσης, ότι για τη διόρθωση του παραπάνω σφάλματος χρησιμοποιείται ένας αδιάστατος συντελεστής σ_θ , με τον οποίο πολλαπλασιάζεται ο συντελεστής απόδοσης των ηλιακών στοιχείων. Το ίδιο συμβαίνει και στα Φ/Β πλαίσια. Δηλαδή, για θερμοκρασίες διαφορετικές από τη συμβατική, ως συντελεστής απόδοσης των Φ/Β πλαισίων λαμβάνεται το γινόμενο $\eta_\pi \cdot \sigma_\theta$.

Στην ίδια παράγραφο αναφέρθηκε, ότι ο σ_θ στη συμβατική θερμοκρασία (θερμοκρασία αναφοράς), είναι ίσος με τη μονάδα και για τα συνηθισμένα ηλιακά στοιχεία πυριτίου του εμπορίου, μειώνεται κατά περίπου 0,005 ανά βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας πάνω από αυτή. Για παράδειγμα, αν θεωρηθεί θερινή περίοδος αναφοράς (μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος 30 °C), η μέση θερμοκρασία των ηλιακών στοιχείων του Φ/Β πλαισίου θα είναι περίπου 60 °C και επομένως η τιμή του συντελεστή θερμοκρασιακής διόρθωσης της απόδοσης του Φ/Β πλαισίου θα είναι περίπου:

$$\sigma_\theta = 1,00 - (60 - 30) \cdot 0,005 = 0,85 \quad (\Sigma \quad 2.66)$$

Ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να μειώσει την ηλεκτροπαραγωγική ικανότητα των Φ/Β πλαισίων, ιδίως όταν έχουν μικρή κλίση, είναι η ρύπανση της επιφάνειάς τους από την επικάλυψη σκόνης, φύλλων, χιονιού, αλατιού από τη θάλασσα, εντόμων και άλλων ακαθαρσιών. Η μείωση είναι εντονότερη σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές, λόγω της αιθάλης που αιωρείται στην ατμόσφαιρα και προσκολλάται ισχυρά στη γυάλινη ή πλαστική επιφάνεια των Φ/Β πλαισίων, χωρίς να μπορεί η βροχή να την ξεπλύνει επαρκώς. Στις περιπτώσεις αυτές επιβάλλεται περιοδικός καθαρισμός της επιφάνειας των Φ/Β πλαισίων με απορρυπαντικό. Πάντως, σε περιοχές με συχνές χιονοπτώσεις ή ανεμοθύελλες, τα πλαίσια τοποθετούνται συνήθως με κλίση 90 ° (κατακόρυφα) για την αποφυγή συσσώρευσης χιονιού ή τουλάχιστον 45 ° για να μη συγκρατείται η σκόνη.

Όταν η Φ/Β γεννήτρια βρίσκεται σε μια περιοχή όπου εκτιμάται ότι ο βαθμός ρύπανσης είναι σημαντικός, είναι σκόπιμο να προβλέπεται στους υπολογισμούς, η αντίστοιχη μείωση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα Φ/Β πλαίσια, με τη χρησιμοποίηση ενός αδιάστατου συντελεστή καθαρότητας (σ_p), ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος της ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το ρυπασμένο Φ/Β πλαίσιο προς την ηλεκτρική ισχύ που παράγει όταν η επιφάνειά του είναι εντελώς καθαρή. Η τιμή του σ_p είναι τόσο μικρότερη από τη μονάδα, όσο εντονότερη είναι η ρύπανση του περιβάλλοντος, όσο μικρότερη είναι η κλίση του Φ/Β πλαισίου, όσο σπανιότερες είναι οι βροχές στην περιοχή κλπ. Έτσι, όποτε είναι απαραίτητο,

ως συντελεστής απόδοσης των Φ/Β πλαισίων λαμβάνεται το γινόμενο του ενδεικτικού συντελεστή απόδοσης η_{π} , που δίνεται για συμβατική θερμοκρασία και καθαρή επιφάνεια, επί τους συντελεστές διόρθωσης για τη θερμοκρασία σ_{θ} και για τη ρύπανση σ_{ρ} .

Δηλαδή, η Σ 2.67 παίρνει τη γενικότερη μορφή:

$$E = \Pi \cdot S \cdot \eta_{\pi} \cdot \sigma_{\theta} \cdot \sigma_{\rho} \quad (\Sigma \quad 2.67)$$

2.4.4.5.7 Η ισχύς αιχμής του Φ/Β πλαισίου

Συχνά δεν είναι διαθέσιμα όλα τα λεπτομερειακά κατασκευαστικά δεδομένα και ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των Φ/Β πλαισίων (διαστάσεις, συντελεστής κάλυψης, συντελεστής απόδοσης των ηλιακών στοιχείων, κλπ.), αλλά δίνεται μόνο μια ενδεικτική ισχύς αιχμής (P_{α}), που αντιστοιχεί στην παραγόμενη μέγιστη ηλεκτρική ισχύ όταν το Φ/Β πλαίσιο δεχτεί ηλιακή ακτινοβολία με πυκνότητα 1 kW/m^2 .

Οι μονάδες ισχύος, που εκφράζουν την ισχύ αιχμής ενός Φ/Β πλαισίου, μιας ολόκληρης Φ/Β εγκατάστασης ή και ενός ηλιακού στοιχείου, ονομάζονται συχνά Watt αιχμής (W_p) και kW_p (κιλοβάτ αιχμής). Δηλαδή, χρησιμοποιείται ο ίδιος όρος και συμβολισμός (ουσιαστικά είναι το ίδιο πράγμα), όπως για το μέτρο της επιφάνειας των Φ/Β στοιχείων που γνωρίσαμε προηγουμένως.

Από τη Σ 2.67, είναι φανερό ότι:

$$P_{\alpha}(\text{kW}_p) = 1(\text{kW/m}^2) \cdot S(\text{m}^2) \cdot \eta_{\pi} \quad (\Sigma \quad 2.68)$$

Στην περίπτωση λοιπόν που είναι γνωστή μόνο η ισχύς αιχμής, για τον υπολογισμό της μέσης ημερήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του Φ/Β πλαισίου, αντί για την παραπάνω σχέση γίνεται χρήση της ισοδύναμης σχέσης:

$$E(\text{kWh/d}) = \Pi(\text{kWh/m}^2 \cdot \text{d}) \cdot \frac{P_{\alpha}(\text{kW}_p)}{1(\text{kW/m}^2)} \cdot \sigma_{\theta} \cdot \sigma_{\rho} \quad (\Sigma \quad 2.69)$$

Πάντως, ανακεφαλαιώνοντας, μπορούμε να πούμε ότι για να έχουμε την πλήρη εικόνα της συμπεριφοράς ενός Φ/Β πλαισίου, χρειάζονται οι τιμές των παρακάτω τεχνικών χαρακτηριστικών του:

- i. Ισχύς αιχμής (P_{α}), σε συμβατική θερμοκρασία και ακτινοβολία.
- ii. Τάση ανοικτού κυκλώματος (V_{oc}), σε συμβατική θερμοκρασία και ακτινοβολία.
- iii. Βραχυκυκλωμένη ένταση (I_{sc}), σε συμβατική θερμοκρασία και ακτινοβολία.
- iv. Τάση (V_m), στις συνθήκες μέγιστης απόδοσης, σε συμβατική θερμοκρασία και ακτινοβολία.
- v. Ένταση ρεύματος (I_m), σε συμβατική θερμοκρασία και ακτινοβολία.
- vi. Συντελεστής πλήρωσης, που ορίζεται ως λόγος του γινομένου $V_m \cdot I_m$.
- vii. Συντελεστής απόδοσης (η_{π}), σε συμβατική θερμοκρασία και συντελεστής θερμοκρασιακής διόρθωσης της απόδοσης σ_{θ} .
- viii. Συντελεστής κάλυψης (σ_{κ}).
- ix. Διηλεκτρική αντοχή, δηλαδή η ελάχιστη τάση που προκαλεί ηλεκτρική διάσπαση ανάμεσα στα ηλιακά στοιχεία και στο μεταλλικό περίβλημα του Φ/Β πλαισίου.

2.4.4.5.8 Φωτοβολταϊκά πάνελ και συστοιχίες

Συνώνυμο σχεδόν με το Φ/Β πλαίσιο είναι το Φ/Β πάνελ (*panel*). Όπως και το πλαίσιο, έχει επίσης συναρμολογηθεί και προκατασκευασθεί στο εργοστάσιο και είναι έτοιμο για τοποθέτηση στη Φ/Β εγκατάσταση, αλλά με τη διαφορά ότι ένα πάνελ μπορεί να αποτελείται από περισσότερα χωριστά πλαίσια (το ένα δίπλα στο άλλο), που είναι σε κοινή συσκευασία και κοινή ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ τους. Ο αριθμός των πλαισίων ενός πανέλου είναι τέτοιος, ώστε οι διαστάσεις και το βάρος του να μην είναι εμπόδιο για τη μεταφορά και την τοποθέτησή του στη Φ/Β εγκατάσταση.

Για την αύξηση της αξιοπιστίας ενός Φ/Β συστήματος, είναι σκόπιμο οι συνδέσεις των Φ/Β στοιχείων μέσα στα πλαίσια, αλλά και στα πάνελ ή ανάμεσα στα γειτονικά πλαίσια και πάνελ, να μην είναι μόνο σε σειρά, αλλά και παράλληλες. Έτσι, αν ένα Φ/Β στοιχείο σκιαστεί για οποιοδήποτε λόγο ή αν πάθει βλάβη (π.χ. μια διακοπή στους ηλεκτρικούς αγωγούς) δε θα μηδενιστεί η ισχύς που παράγει το σύστημα, όπως θα συνέβαινε αν όλα τα Φ/Β στοιχεία ήταν συνδεδεμένα σε σειρά.

Η Φ/Β γεννήτρια μιας μικρής εγκατάστασης μπορεί να αποτελείται από ένα μόνο Φ/Β πλαίσιο ή πάνελ. Σε μεγαλύτερες όμως εγκαταστάσεις, ομάδες περισσότερων Φ/Β πλαισίων (ή πανέλων), τοποθετούνται σε κοινή κατασκευή στήριξης, π.χ. μεταλλικά (ατσάλινα) ικριώματα και ονομάζονται Φ/Β συστοιχίες (*arrays*). Η σύνδεση των πλαισίων σε σειρά ή παράλληλα, γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε η τάση εξόδου της συστοιχίας να αποκτά την επιθυμητή τιμή. Είναι φανερό ότι η διαφορετική συνδεσμολογία των πλαισίων μιας Φ/Β γεννήτριας δε μεταβάλλει την ισχύ της, αφού η όποια αύξηση της τάσης εξόδου της γεννήτριας συνεπάγεται ανάλογη μείωση της έντασης του ρεύματος που παράγει.

Στις μεγάλες Φ/Β εγκαταστάσεις, πολλές συστοιχίες σχηματίζουν ένα υποσυγκρότημα συστοιχιών (*array subfield*) και το σύνολο των υποσυγκροτημάτων αποτελεί το συγκρότημα συστοιχιών (*array field*) ή το Φ/Β πάρκο του Φ/Β σταθμού. Εμείς θα ασχοληθούμε με τις συνηθισμένες εγκαταστάσεις που αποτελούνται από σταθερά επίπεδα πλαίσια και δέχονται φυσικό ηλιακό φως, δηλαδή χωρίς τη χρησιμοποίηση φακών ή κατόπτρων για τη συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας.

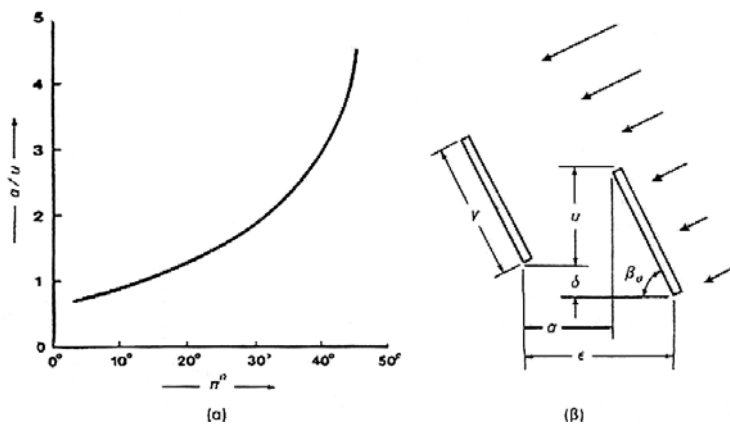
Κάθε Φ/Β εγκατάσταση έχει σπονδυλωτή συγκρότηση από Φ/Β πλαίσια, πάνελ ή συστοιχίες, που το πλήθος τους (και η συνολική τους επιφάνεια) καθορίζεται από την ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που επιδιώκεται να παραχθεί. Η δομή αυτή επιτρέπει την εύκολη επέκταση των Φ/Β εγκαταστάσεων, με την προσθήκη νέων πλαισίων, για την αντιμετώπιση των αναγκών που θα προέλθουν από ενδεχόμενη μελλοντική αύξηση της ηλεκτρικής κατανάλωσης.

Η τοποθέτηση των Φ/Β πλαισίων και πανέλων, μόνων τους ή σε συστοιχίες, γίνεται σε στέγες κτιρίων, σε στύλους και ικριώματα, σε γήπεδα και πλαγιές λόφων ή σε άλλους ελεύθερους χώρους, με τρόπο που να μη σκιάζονται από τα γύρω δέντρα, κτίρια, βουνά κτλ. Κάθε Φ/Β πλαίσιο πρέπει να έχει ανοικτό ορίζοντα. Σε μια τοποθεσία με γεωγραφικό πλάτος π^0 , η προϋπόθεση του ανοικτού ορίζοντα θεωρείται ότι εξασφαλίζεται όταν η γωνία του ύψους (β_e) των γειτονικών συστοιχιών, δέντρων, κτιρίων ή άλλων εμποδίων, ικανοποιεί μέσα σε μια γωνία αζιμουθίου από -60^0 μέχρι $+60^0$ προς το Νότο, τη σχέση:

$$\beta_e \leq 48^0 - \pi^0$$

(Σ 2.70)

Ειδικότερα, το διάγραμμα του σχ. 2.89 [5], βοηθά στον προσδιορισμό της απόστασης ανάμεσα στις παράλληλες σειρές των πανέλων στις συστοιχίες, ώστε η μια σειρά να μη σκιάζει αισθητά την επόμενη.



Σχήμα 2.88: (α) Η καμπύλη του λόγου της ελεύθερης απόστασης a , ανάμεσα στις γειτονικές σειρές των Φ/Β πλαισίων ή πανέλων μιας Φ/Β συστοιχίας, προς την επικάλυψη του ύψους u , ως συνάρτηση του γεωγραφικού πλάτους του τόπου π^0 , ώστε να μη δημιουργούνται αισθητά προβλήματα σκίασης.

(β) Η έννοια των μηκών α , γ , δ και ϵ και της κλίσης β_σ των πλαισίων, κατά την πραγματοποίηση των Φ/Β συστοιχιών.

Συγκεκριμένα, το διάγραμμα δίνει, ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, την ελάχιστη απαιτούμενη τιμή του λόγου της ελεύθερης απόστασης ανάμεσα στις δυο σειρές (a) προς την επικάλυψη του ύψους της κατασκευής στήριξης του πανέλου (u). Αν γ είναι το πλάτος του στηρίγματος (που συμπίπτει με το πλάτος του πλαισίου ή πανέλου), β_σ είναι η κλίση του και δ είναι η υψομετρική διαφορά ανάμεσα στα στηρίγματα των δύο σειρών, τότε το u δίνεται από τη σχέση:

$$u = \gamma \cdot \sin\beta_\sigma - \delta \quad (\Sigma 2.71)$$

Στη συνέχεια, υπολογίζεται με τη βοήθεια του διαγράμματος, η αντίστοιχη τιμή του a και από τη σχέση:

$$\epsilon = a + \gamma \cdot \cos\beta_\sigma \quad (\Sigma 2.72)$$

προκύπτει η ελάχιστη απαιτούμενη απόσταση των σειρών (ϵ).

2.4.4.5.9 Οι απώλειες στα Φ/Β συστήματα

Πέρα από τις διάφορες διορθώσεις, που αναφέρθηκαν παραπάνω, κατά τον υπολογισμό της επιφάνειας των Φ/Β πλαισίων (θερμοκρασίας, ρύπανσης), πρέπει επίσης να ληφθούν υπόψη οι μικρές ηλεκτρικές απώλειες στους αγωγούς που συνδέουν τα Φ/Β πλαίσια στις Φ/Β συστοιχίες, καθώς και στις συνδέσεις τους με τα άλλα μέρη του Φ/Β συστήματος (διατάξεις ρύθμισης, προστασίας και ελέγχου, συσσωρευτές κτλ.). Πρόσθετες και μάλιστα σημαντικότερες απώλειες, μπορεί να οφείλονται στη λειτουργία αυτών των μερών του συστήματος και κυρίως στη φόρτιση και εκφόρτιση των συσσωρευτών.

Εξάλλου, όπως είδαμε, η τιμή του συντελεστή απόδοσης των Φ/Β πλαισίων που χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς, αφορά στις συνθήκες τάσης – έντασης που αντιστοιχούν στη μέγιστη δυνατή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επομένως, κατά τον υπολογισμό της απαιτούμενης επιφάνειας των Φ/Β πλαισίων ενός συστήματος, πρέπει να γίνεται πρόβλεψη, ανάλογα με την περίπτωση και για την κάλυψη όλων αυτών των απωλειών, που μπορεί να είναι της τάξης π.χ. περίπου του 20 % της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ή και περισσότερο. Τέλος, λόγω της φθοράς στα Φ/Β πλαίσια και στα άλλα μέρη του συστήματος, αναμένεται ότι με την πάροδο του χρόνου θα παρουσιάζεται μια μικρή

βαθμιαία πτώση στην ποσότητα της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, που συνήθως υπολογίζεται στο 1 – 2 % για κάθε έτος.

2.4.4.6 Αυτόνομα συστήματα

2.4.4.6.1 Η συγκρότηση του συστήματος

Η συνηθέστερη, αλλά και ίσως η πληρέστερη εφαρμογή της Φ/Β τεχνολογίας είναι η κατασκευή αυτόνομων Φ/Β συστημάτων. Δηλαδή πρόκειται για εγκαταστάσεις που λειτουργούν αυτοδύναμα για την τροφοδότηση καταναλώσεων, χωρίς να συνδέονται με μεγάλα κεντρικά ηλεκτρικά δίκτυα διανομής, από τα οποία θα μπορούσαν να αντλούν συμπληρωματική ηλεκτρική ενέργεια ή να στέλνουν την ενδεχόμενη περίσσεια της παραγόμενης Φ/Β ηλεκτρικής ενέργειας.

Το βασικό συστατικό ενός αυτόνομου Φ/Β συστήματος, όπως άλλωστε κάθε Φ/Β εγκατάστασης, είναι η γεννήτρια, στα πάνελ της οποίας γίνεται η μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια. Συνήθως, όπως δείχνει το σχ. 2.89, το σύστημα περιλαμβάνει επίσης, ανάλογα με το είδος της κατανάλωσης και το βαθμό της απαιτούμενης αξιοπιστίας, συσσωρευτές για την αποθήκευση της περίσσειας της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, ώστε να χρησιμοποιηθεί όταν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι ανεπαρκής ή ανύπαρκτη.



Σχήμα 2.89: Τυπική διάταξη μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.

Επίσης, χρησιμοποιούνται διατάξεις για τη ρύθμιση και τη μετατροπή της τάσης και τη ρύθμιση της ισχύος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, ώστε να αυξηθεί η απόδοση του συστήματος. Τέλος συναντά κανείς διατάξεις προστασίας και ελέγχου και συχνά μια βοηθητική γεννήτρια, συνήθως ένα ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος που να λειτουργεί με καύση βενζίνης ή πετρελαίου diesel, για την αντιμετώπιση έκτακτων περιστάσεων (συντήρηση ή βλάβη του συστήματος, τροφοδότηση πρόσθετων φορτίων, κλπ.).

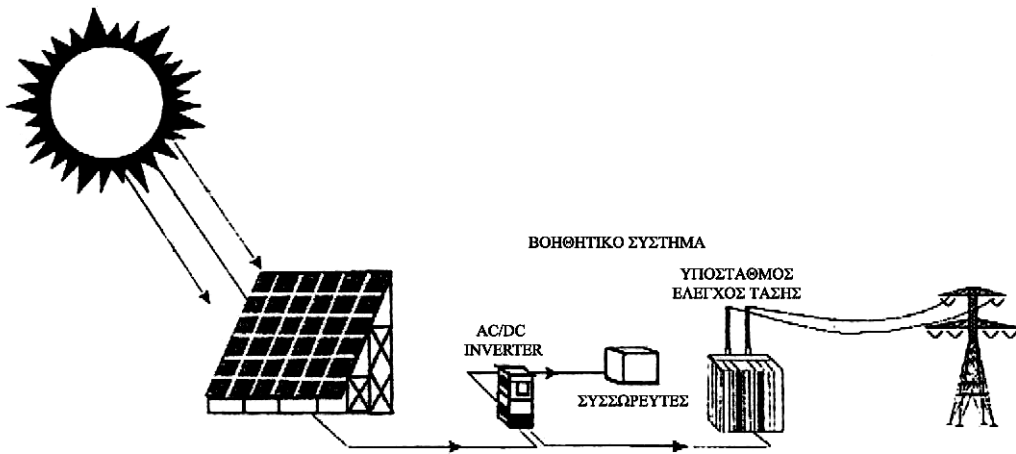
Ο συμπληρωματικός εξοπλισμός των συστημάτων αυτών, πέρα από τη γεννήτρια, ονομάζεται συνήθως BOS (*Balance Of the System*) ή υπόλοιπα του συστήματος. Στον πίν 2.20 [5] φαίνεται πώς περίπου συμβάλλουν τα διάφορα μέρη που συγκροτούν ένα αυτόνομο Φ/Β σύστημα, στη συνολική διαμόρφωση του κόστους του. Δεν αναγράφονται οι δαπάνες για την αγορά και τη διαμόρφωση της απαιτούμενης εδαφικής έκτασης και για την οικοδόμηση του κτιρίου τοποθέτησης των συσσωρευτών, καθώς και άλλα εργατικά και χρηματοοικονομικά έξοδα ή έξοδα μελετών.

Πίνακας 2.20: Ενδεικτική κατανομή κόστους ενός αυτόνομου Φ/Β συστήματος.

Παράγοντας κόστους	Συμβολή στο συνολικό κόστος (%)
Φ/Β πλαίσια ή πάνελ για τη Φ/Β γεννήτρια	65
Στηρίγματα των Φ/Β πλαισίων και ηλεκτρικές καλωδιώσεις των Φ/Β στοιχείων	5
Συσσωρευτές αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας	15

Διατάξεις ρύθμισης τάσης και ισχύος, μετατροπής τάσης, προστασίας, ελέγχου κτλ.	12
Βοηθητική γεννήτρια	3

Στο σχ. 2.90 παρουσιάζεται η διάταξη μιας Φ/Β εγκατάστασης, μεγάλης κλίμακας, συνδεδεμένης στο ηλεκτρικό δίκτυο και με δυνατότητα αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 2.90: Σχηματική παράσταση μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης, μεγάλης κλίμακας, συνδεδεμένης στο ηλεκτρικό δίκτυο, με σχετική αυτοδυναμία, μέσω συσσωρευτών.

2.4.4.6.2 Ο σχεδιασμός του συστήματος

Η μελέτη και ο σχεδιασμός ενός αυτόνομου συστήματος στοχεύει στο βέλτιστο συσχετισμό των προβλέψεων για τα μεγέθη της ηλεκτρικής ζήτησης από το σύστημα και της ηλιακής ακτινοβολίας που θα δέχονται τα Φ/Β πλαίσια. Δηλαδή, επιδιώκεται η αποφυγή των υπερβολικών δαπανών που θα συνεπαγόταν υπερσχεδιασμό του συστήματος, π.χ. με πλαίσια και συσσωρευτές μεγαλύτερου μεγέθους από το απολύτως απαραίτητο.

Για τον προκαταρκτικό σχεδιασμό ενός αυτόνομου Φ/Β συστήματος απαιτείται και συνήθως επαρκεί η ύπαρξη μιας καλής εκτίμησης της ζήτησης που πρέπει να ικανοποιήσει (π.χ. η μέση ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση τους διάφορους μήνες του έτους, οι πιθανές αιχμές ισχύος, κλπ.) και μιας αξιόπιστης πληροφόρησης σχετικά με την ένταση και τη διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας ανά μονάδα επιφάνειας, τα διαστήματα συνεχούς συννεφιάς, κλπ.). Ο πίν 2.21 αποτελεί έναν οδηγό για τον προκαταρκτικό σχεδιασμό ενός αυτόνομου Φ/Β συστήματος.

Πίνακας 2.21: Βασικά στάδια υπολογισμού, για τον προσδιορισμό ενός αυτόνομου Φ/Β συστήματος.

1. Επιλογή της κρίσιμης χρονικής περιόδου για την αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος.
2. Εκτίμηση της μέσης ηλεκτρικής κατανάλωσης που ζητείται να ικανοποιεί το σύστημα.
3. Υπολογισμός της μέσης διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας στην υπόψη τοποθεσία, στην επιλεγμένη χρονική περίοδο και για τη βέλτιστη κλίση των πλαισίων.

4. Υπολογισμός της απαιτούμενης συνολικής επιφάνειας ή της συνολικής ισχύος αιχμής των Φ/Β πλαισίων ή πανέλων.
5. Καθορισμός των επιθυμητών ημερών αυτοδυναμίας του συστήματος και εύρεση της αντίστοιχης χωρητικότητας των συσσωρευτών αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας για την αντιμετώπιση της ζήτησης στο διάστημα των πιθανών ημερών συνεχούς συννεφιάς.
6. Υπόδειξη των διαφόρων αναγκαίων διατάξεων ρύθμισης και ελέγχου και της ισχύος της βοηθητικής ενεργειακής πηγής.

Για την πλήρη οικονομικοτεχνική μελέτη, με λεπτομερειακό σχεδιασμό του συστήματος και συγκριτική αξιολόγηση με άλλες εναλλακτικές ενεργειακές πηγές (π.χ. ανεμογεννήτριες), χρειάζονται πολλά άλλα τεχνικά και οικονομικά δεδομένα.

Εμείς, εδώ, θα ασχοληθούμε κυρίως με τον προκαταρκτικό σχεδιασμό των αυτόνομων Φ/Β συστημάτων, που μας εισάγει στον προβληματισμό και τη μελέτη Φ/Β εγκαταστάσεων και θα μας βοηθήσει να εκτιμήσουμε το λειτουργικό μέρος του κύκλου ζωής τέτοιων συστημάτων.

2.4.4.6.3 Βασικές επιλογές και προϋποθέσεις

Κατά το σχεδιασμό ενός αυτόνομου Φ/Β συστήματος, θα πρέπει να έχουν επιλεγθεί εξαρχής κάποια βασικά χαρακτηριστικά, όπως αν η Φ/Β γεννήτρια και οι συσσωρευτές θα πρέπει να καλύπτουν πλήρως τις αιχμές της ζήτησης ισχύος, αν θα υπάρχει ιεράρχηση στην ικανοποίηση των καταναλώσεων, αν το ρεύμα που θα παρέχει το σύστημα θα είναι συνεχές ή εναλλασσόμενο και σε ποια τάση κτλ. Κυρίως, θα πρέπει να έχει καθοριστεί η εποχή του έτους, στη ζήτηση της οποίας να ανταποκρίνεται αξιόπιστα το σύστημα. Δηλαδή, στο εμβαδόν της επιφάνειας των πλαισίων και στα μεγέθη των άλλων συστατικών και διατάξεων του συστήματος (κυρίως στη χωρητικότητα των συσσωρευτών) δίνονται τέτοιες τιμές, ώστε σε συνδυασμό με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στη συγκεκριμένη εποχή, να καλύπτονται ικανοποιητικά οι αντίστοιχες ηλεκτρικές καταναλώσεις. Οι αιτίες για αναξιόπιστη συμπεριφορά του συστήματος μπορούν να έχουν φυσική προέλευση, όπως π.χ. το υπερβολικό πλήθος διαδοχικών συννεφιασμένων ημερών και η προσβολή της γεννήτριας από κεραυνό ή να οφείλονται σε κακό σχεδιασμό.

Στην περίπτωση που το σύστημα σχεδιάζεται για να λειτουργεί ολόκληρη τη διάρκεια του έτους, τα μεγέθη των πλαισίων και των άλλων διατάξεων προσαρμόζονται στις συνθήκες του μήνα με τη μικρότερη ηλιακή ακτινοβολία (Δεκέμβριος, Ιανουάριος) και ακολουθεί διερεύνηση για τον έλεγχο της επάρκειάς τους στους υπόλοιπους μήνες του έτους.

Η εγκατάσταση των αυτόνομων Φ/Β συστημάτων γίνεται συνήθως σε απομονωμένες περιοχές, που δεν υπάρχει ιδιαίτερα ειδικευμένο τεχνικό προσωπικό για να τα λειτουργήσει και να τα συντηρήσει, ούτε εύκολη πρόσβαση σε οργανωμένα επισκευαστικά κέντρα με αποθέματα ανταλλακτικών κτλ. για την αντιμετώπιση βλαβών. Επομένως, στο σχεδιασμό πρέπει να έχει ληφθεί μέριμνα ώστε η λειτουργία των συστημάτων να είναι απλή ή εντελώς αυτοματοποιημένη και επίσης να έχουν εξασφαλιστεί τουλάχιστον οι παρακάτω προϋποθέσεις για την ελαχιστοποίηση του χρόνου μέχρι την επισκευή μιας βλάβης και την αποκατάσταση της καλής λειτουργίας του συστήματος. Οι προϋποθέσεις αυτές είναι:

- i. Εύκολος εντοπισμός της αιτίας της ελαττωματικής λειτουργίας και του σημείου όπου έχει εκδηλωθεί η βλάβη.
- ii. Εύκολη και ασφαλής πρόσβαση στις θέσεις όπου πρέπει να γίνει επέμβαση για την επισκευή.

- iii. Τα ανταλλακτικά να είναι σε σχετικά μικρές διαστάσεις και βάρη, ώστε να μπορούν να μεταφερθούν και να τοποθετηθούν από έναν άνθρωπο, χωρία άλλα τεχνικά μέσα.
- iv. Τα διάφορα εξαρτήματα να είναι τυποποιημένων μεγεθών, ώστε να βρίσκονται εύκολα στην αγορά.

2.4.4.7 Η αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας

2.4.4.7.1 Η ανάγκη για αποθήκευση

Όπως φάνηκε παραπάνω, ο καθορισμός του εμβαδού της επιφάνειας των Φ/Β πλαισίων στηρίζεται στη μέση ηλεκτρική κατανάλωση του συστήματος και στη μέση ηλιακή ακτινοβολία που δέχονται τα πλαίσια στην επιλεγμένη κρίσιμη περίοδο λειτουργίας του (π.χ. ένα θερινό ή χειμερινό μήνα, μια εποχή του έτους ή και ολόκληρο το έτος). Όμως οι μέσες τιμές είναι στατιστικά μεγέθη που μπορεί να αποκλίνουν σημαντικά, εξαιτίας ενδεχόμενων πραγματικών συνθηκών. Επίσης, ένα αξιόπιστο σύστημα πρέπει να παρέχει επαρκή ηλεκτρική ενέργεια για την ικανοποίηση της ζήτησης και στα χρονικά διαστήματα που δεν υπάρχει αντίστοιχη ηλιακή ακτινοβολία. Προφανώς, εδώ γίνεται αναφορά σε περιπτώσεις όπως, νυχτερινές ώρες, συννεφιασμένες ημέρες και στις χρονικές αιχμές της κατανάλωσης.

Τα Φ/Β συστήματα που είναι συνδεδεμένα με κεντρικά ηλεκτρικά δίκτυα διανομής, αντλούν από αυτά την απαιτούμενη συμπληρωματική ηλεκτρική ενέργεια. Επίσης διοχετεύουν προς τα δίκτυα την ενδεχόμενη περίσσεια της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, όταν υπερβαίνει την κατανάλωση του συστήματος. Όμως, τα απομονωμένα αυτόνομα Φ/Β συστήματα δεν έχουν αυτή τη δυνατότητα ενεργειακής ανταλλαγής. Επομένως, χρειάζεται να αποθηκεύουν μια ποσότητα από την περίσσεια της ηλεκτρικής τους παραγωγής, ώστε να χρησιμοποιηθεί όταν η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την παραγωγή της Φ/Β γεννήτριας. Ως προς την άλλη απαίτηση, δηλαδή την απαλλαγή του συστήματος από την περίσσεια της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, πέρα από τη ζήτηση της κατανάλωσης και τη δυνατότητα της αποθήκευσης, αυτή αναγκαστικά αντιμετωπίζεται με τη διοχέτευσή της στη γη ή σε ηλεκτρικές αντιστάσεις.

Η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που πρέπει να προνοείται να αποθηκεύεται, εξαρτάται από τις τοπικές συνθήκες και απαιτήσεις και κυρίως, από το μέγιστο πλήθος των πιθανών συνεχόμενων ημερών συννεφιάς, τις αιχμές της κατανάλωσης και το βαθμό αξιοπιστίας που θα πρέπει να παρουσιάζει το σύστημα, σε συνδυασμό με την ύπαρξη ή όχι βοηθητικών ενεργειακών πηγών. Συνήθως, από τα αυτόνομα Φ/Β συστήματα ζητείται να εξασφαλίζουν μια αυτοδυναμία τουλάχιστον 3 έως 11 ημερών περίπου.

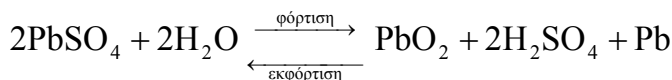
Σε ειδικές περιπτώσεις, η Φ/Β ενέργεια μπορεί, με νέα μετατροπή, να αποθηκευθεί σε μια μη ηλεκτρική μορφή. Π.χ. να κινήσει ηλεκτρικές αντλίες που μεταφέρουν νερό σε υπερυψωμένες δεξαμενές, από όπου στη συνέχεια, με την πτώση του νερού, παράγεται πάλι ηλεκτρική ενέργεια με τη βοήθεια μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών. Επίσης, μπορεί να ηλεκτρολύσει νερό και να παράγει υδρογόνο, το οποίο αποθηκεύεται σε αεριοφυλάκια και χρησιμοποιείται στη συνέχεια ως καύσιμο σε μικρούς θερμοηλεκτρικούς σταθμούς. Συνήθως όμως, η αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στα αυτόνομα Φ/Β συστήματα γίνεται σε ηλεκτρικούς συσσωρευτές.

2.4.4.7.2 Οι συσσωρευτές μολύβδου

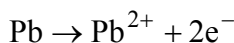
Υπάρχουν ηλεκτρικοί συσσωρευτές διαφόρων τύπων (μπαταρίες), ανάλογα με το υλικό των ηλεκτροδίων τους. Π.χ. συσσωρευτές νικελίου – καδμίου ή αργύρου – ψευδαργύρου. Έχει όμως διαπιστωθεί ότι οικονομικότεροι για χρησιμοποίηση σε Φ/Β συστήματα είναι οι συσσωρευτές μολύβδου. Τα ηλεκτρόδιά τους είναι πλάκες από κράματα μολύβδου, π.χ. Pb-Sb ή Pb-Ca βυθισμένες σε διάλυμα θεικού οξέος (H_2SO_4). Είναι δηλαδή όμοιο με τους

συνηθισμένους συσσωρευτές των αυτοκινήτων, αν και εκείνοι κατασκευάζονται από φθηνότερο κράμα μολύβδου και αυτοεκφορτίζονται με σχετικά γρήγορο ρυθμό.

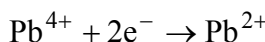
Η λειτουργία των συσσωρευτών μολύβδου στηρίζεται σε μια αντιστρεπτή ηλεκτροχημική διαδικασία, που περιγράφεται από την αμφίδρομη αντίδραση:



Συγκεκριμένα, οι συσσωρευτές αποτελούνται από κυψελίδες, δηλαδή ζεύγη μονομένων μεταξύ τους πλακών βυθισμένων στο ίδιο διάλυμα θεικού οξέος. Οι πλάκες του αφόρτιστου συσσωρευτή καλύπτονται από θεικό μόλυβδο (PbSO_4 ή ακριβέστερα $\text{Pb}^{4+}\text{SO}_4^{2-}$). Κατά το στάδιο της φόρτισης, διασπάται ο θεικός μόλυβδος και σχηματίζεται οξείδιο του μολύβδου (PbO_2 ή ακριβέστερα $\text{Pb}^{4+}\text{O}_2^{2-}$) στις πλάκες των θετικών ηλεκτροδίων και μεταλλικός Pb στις πλάκες των αρνητικών. Αντίστροφα, κατά την εκφόρτιση του συσσωρευτή και την τροφοδότηση των ηλεκτρικών καταναλώσεων, ο Pb οξειδώνεται στις πλάκες των αρνητικών ηλεκτροδίων προς ιόντα Pb^{2+} και δίνει ηλεκτρόνια στο εξωτερικό κύκλωμα:



ενώ στις πλάκες των θετικών ηλεκτροδίων ο Pb^{2+} , παίρνοντας ηλεκτρόνια από το εξωτερικό κύκλωμα:



Τα προϊόντα των δύο αντιδράσεων, δηλαδή τα ιόντα Pb^{2+} , ενώνονται με θειικά ιόντα (SO_4^{2-}) από το διάλυμα και ανασχηματίζουν το θεικό μόλυβδο πάνω στις πλάκες των κυψελίδων. Έτσι, καταναλώνεται θεικό οξύ και αραιώνεται το διάλυμα στις κυψελίδες. Με τη φόρτιση όμως που επακολουθεί, τα θεικά ιόντα επιστρέφουν στο διάλυμα, όπως δείχνει η αμφίδρομη αντίδραση και η περιεκτικότητά του αποκαθίσταται στην κανονική της τιμή.

Κάθε φορτισμένη κυψελίδα των συσσωρευτών μολύβδου, δηλαδή κάθε ζεύγος ηλεκτροδίων, δίνει τάση περίπου 2 V. Για την πλήρη όμως φόρτιση κάθε κυψελίδας χρειάζεται να γίνει τροφοδότηση με τάση περίπου 2,4 V. Στη συνέχεια, η τροφοδότηση του συσσωρευτή πρέπει να διακοπεί, διότι η υπερφόρτιση των κυψελίδων προκαλεί τη θέρμανση του διαλύματος του θεικού οξέος, την εξάτμιση του νερού του και τελικά την επιτάχυνση της φθοράς του συσσωρευτή. Επίσης προκαλεί την ηλεκτρόλυση του διαλύματος με έκλυση υδρογόνου και οξυγόνου. Αυτό, εκτός από την απώλεια του υγρού, δημιουργεί κινδύνους και για την ασφάλεια της εγκατάστασης. Αν ο χώρος όπου βρίσκεται ο συσσωρευτής δεν έχει καλό αερισμό, το υδρογόνο μπορεί να σχηματίσει εκρηκτικό μίγμα στον αέρα, που με έναν τυχαίο σπινθήρα θα προξενήσει ατύχημα.

Συνήθως, οι συσσωρευτές περιέχουν πολλές κυψελίδες στη σειρά και δίνουν ανάλογα αυξανόμενη τάση. Π.χ. ένας συσσωρευτής μολύβδου με 6 κυψελίδες δίνει τάση 12 V και για τη φόρτισή του χρειάζεται τάση 6·2,4 V και επιπλέον 0,75 V για την πτώση τάσης στην προστατευτική δίοδο που υπάρχει συνήθως μεταξύ συσσωρευτή και Φ/Β γεννήτριας, ώστε να μη διοχετεύεται ρεύμα από τον συσσωρευτή προς τα ηλιακά στοιχεία. Δηλαδή απαιτείται συνολική τάση φόρτισης 15,15 V. Πάντως, συχνά στα Φ/Β συστήματα χρησιμοποιούνται συσσωρευτές με πολλές δεκάδες κυψέλες στη σειρά, ώστε να δίνουν αρκετά υψηλή τάση. Π.χ. συνηθισμένοι είναι οι συσσωρευτές με 100 έως 150 κυψελίδες, που δίνουν τάση ρεύματος 200 έως 300 V.

2.4.4.7.3 Η χωρητικότητα των συσσωρευτών

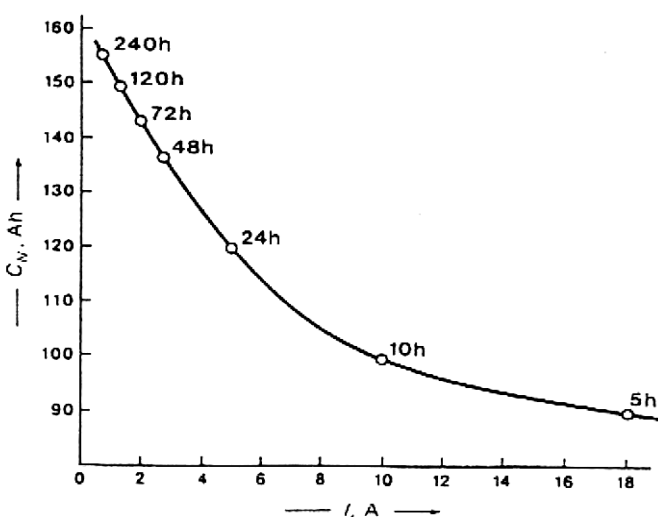
Το φορτίο που αποθηκεύει, δηλαδή η χωρητικότητα ενός συσσωρευτή, μετράται συνήθως σε αμπερώρια (Ah), που είναι, σε ιδανικές συνθήκες, το γινόμενο της μέσης έντασης του ρεύματος I , που δίνει ο συσσωρευτής ανεξάρτητα από την τάση του, επί το πλήθος των ωρών μέχρι να εκφορτισθεί ξεκινώντας από πλήρη φόρτιση. Προφανώς πιο χρήσιμο μέγεθος είναι η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να αποθηκευθεί σε ένα συσσωρευτή, η οποία όμως εξαρτάται από την τάση που δίνει ο συσσωρευτής. Έτσι, ένας συσσωρευτής χωρητικότητας π.χ. $C = 100 \text{ Ah}$, που δίνει μέση τάση π.χ. $V = 12 \text{ V}$, έχει ονομαστική ικανότητα αποθήκευσης ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας ίση με:

$$100 \text{ Ah} \cdot 12 \text{ V} = 1.200 \text{ Wh} = 1,2 \text{ kWh}$$

Με τη χρήση, η χωρητικότητα των συσσωρευτών μειώνεται λόγω διάβρωσης των πλακών, σχηματισμού επικαθίσεων κλπ. Συνήθως, ένας συσσωρευτής θεωρείται άχρηστος όταν η χωρητικότητά του πέσει κάτω από το 80 % περίπου της αρχικής τιμής. Επίσης δεν πρέπει να παραβλέπεται ότι οι φορτισμένοι συσσωρευτές αυτοεκφορτίζονται με ρυθμό 2 έως 5 % της χωρητικότητάς τους το μήνα. Ο ρυθμός της εκφόρτωσης αυξάνει με την ηλικία του συσσωρευτή.

Η χωρητικότητα των συσσωρευτών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ισχύ $P = I \cdot V$ με την οποία γίνεται η εκφόρτισή τους, δηλαδή με την ένταση του ρεύματος που δίνουν προς την κατανάλωση.

Όπως φαίνεται στο παράδειγμα, ένας συσσωρευτής ονομαστικής χωρητικότητας 100 Ah θα εξαντληθεί σε 10 ώρες, αν η ένταση του ρεύματος εκφόρτισης είναι 10 A, ενώ αν η ένταση είναι π.χ. 18 A, ο ίδιος συσσωρευτής θα εξαντληθεί σε 5 ώρες και η χωρητικότητά του θα πέσει στα 90 Ah. Αντίθετα, με μικρότερους ρυθμούς εκφόρτισης, είναι φανερό ότι η χωρητικότητα του συσσωρευτή αυξάνει σημαντικά. Επίσης, η χωρητικότητα αυξάνει με τη θερμοκρασία του συσσωρευτή. Συγχρόνως όμως, επιταχύνονται οι μηχανισμοί διάβρωσης και μειώνεται η διάρκεια ζωής του.



Σχήμα 2.91: Η εξάρτηση της χωρητικότητας C_N , ενός συσσωρευτή μολύβδου εμπορίου, από την ένταση του ρεύματος εκφόρτισης I .

Εκτός από τη θερμοκρασία, η διάρκεια της χρήσιμης ζωής των συσσωρευτών εξαρτάται κυρίως από το πλήθος των διαδοχικών κύκλων φόρτισης – εκφόρτισης και από το βάθος κάθε εκφόρτισης. Ανάλογα με τον τύπο τους, οι συσσωρευτές μολύβδου αντέχουν συνήθως μέχρι 500 έως 1.000 κύκλους φορτίσεων – εκφορτίσεων. Στους φτηνότερους τύπους, το βάθος εκφόρτισης δεν επιτρέπεται να ξεπερνά το 10 %. Δηλαδή με την εκφόρτιση προσφέρεται μόνο το 10 % της αποθηκευμένης ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ για το υπόλοιπο 90 % δεν επιδιώκεται η ανάκτηση, ώστε να αποφευχθεί η πρόωγη καταστροφή του συσσωρευτή. Σε ειδικούς στεγανούς τύπους με ηλεκτρόδια από κράματα Pb-Ca, το βάθος εκφόρτισης μπορεί να φτάσει μέχρι 80 %.

Επομένως, σε ένα συσσωρευτή ονομαστικής χωρητικότητας C_N και ενεργού αξιοποιήσιμης χωρητικότητας C , η επιθυμητή ηλεκτρική ενέργεια που θα παρέχει ο συσσωρευτής θα είναι [5]:

$$E = C \cdot V = \beta \cdot C_N \cdot V \quad (\Sigma 2.73)$$

όπου β , είναι το βάθος εκφόρτισης του συσσωρευτή σε δεκαδική μορφή.

Ο συντελεστής απόδοσης των συσσωρευτών μολύβδου α , δηλαδή ο λόγος της μέγιστης ποσότητας της ενέργειας που ανακτάται προς την ενέργεια που είχε απορροφηθεί από τη Φ/Β γεννήτρια σε κάθε κύκλο φόρτισης – εκφόρτισης, είναι περίπου 80 %. Επομένως, αν η ηλεκτρική ενέργεια που ζητάμε να δίνει ο συσσωρευτής είναι E , η ενεργός χωρητικότητα του C θα πρέπει να αντιστοιχεί σε ενέργεια εκφόρτισης E_ϕ , ίση με:

$$E_\phi = \frac{E}{\alpha} \quad (\Sigma 2.74)$$

και σύμφωνα με τη $\Sigma 2.75$ η ονομαστική του χωρητικότητα να είναι:

$$C_N = \frac{E}{\alpha \cdot \beta \cdot V} \quad (\Sigma 2.75)$$

2.4.4.7.4 Δομή, διάρκεια ζωής και κόστος

Στις σχετικά μεγάλες Φ/Β εγκαταστάσεις, οι διατάξεις αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας χρειάζεται να έχουν αρκετά μεγάλη χωρητικότητα και συνίσταται να σχηματίζονται από ομάδες μεγάλου πλήθους συσσωρευτών. Δηλαδή η δομή τους είναι σπονδυλωτή, αφού οι ομάδες αυτές αποτελούνται συνήθως από ανεξάρτητους συσσωρευτές. Έτσι, η συνολική χωρητικότητα της διάταξης μπορεί αργότερα να προσαρμοστεί εύκολα στις μεταβαλλόμενες συνθήκες, με την πάροδο του χρόνου και την ενδεχόμενη εξέλιξη της κατανάλωσης, αυξάνοντας ή μειώνοντας το πλήθος των συσσωρευτών.

Όπως είδαμε, από σπονδυλωτή επίσης συγκρότηση χαρακτηρίζονται και οι Φ/Β γεννήτριες, με αντίστοιχη ελαστικότητα προσαρμογής στις μεταβαλλόμενες ανάγκες, αυξάνοντας ή μειώνοντας το πλήθος των Φ/Β πλαισίων. Με τον τρόπο αυτό, μπορεί επίσης να γίνει σχετικά εύκολα η διόρθωση σφαλμάτων σχεδιασμού, που θα οφείλονταν σε λαθεμένες εκτιμήσεις της ηλεκτρικής κατανάλωσης ή της ηλιακής ακτινοβολίας.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι συσσωρευτές μολύβδου δεν ξεπερνούν συνήθως τους 500 με 1.500 κύκλους φόρτισης – εκφόρτισης. Είναι φανερό λοιπόν ότι αν υποθεθεί ότι καθημερινά γίνεται ένας τουλάχιστον κύκλος φόρτισης – εκφόρτισης για την αντιμετώπιση των νυχτερινών καταναλώσεων ενός Φ/Β συστήματος, θα πρέπει να γίνεται αντικατάσταση των συσσωρευτών σχετικά συχνά, περίπου κάθε 2 - 5 χρόνια. Αντίθετα, η διάρκεια ζωής των Φ/Β πλαισίων και των άλλων μερών του συστήματος είναι πολύ μεγαλύτερη, πάνω από 20-30 χρόνια.

2.4.4.7.5 Ρυθμιστές, μετατροπείς και αντιστροφείς (Inverter)

Η καλή λειτουργία και η αυξημένη απόδοση των Φ/Β συστημάτων υποβοηθείται συχνά με τη χρησιμοποίηση ειδικών διατάξεων, συνήθως ηλεκτρονικών ισχύος, που επεξεργάζονται την ηλεκτρική ενέργεια που παράγει η Φ/Β γεννήτρια.

Έτσι λοιπόν, για τη φόρτιση συσσωρευτών στην επιλεγμένη κατάλληλη τάση φόρτισης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί παράλληλα ή σε σειρά με το Φ/Β πλαίσιο, ένας ρυθμιστής τάσης, που να διατηρεί την τάση εξόδου του πλαισίου στην επιθυμητή τιμή.

Επίσης, η τάση φόρτισης των συσσωρευτών μπορεί να ανεξαρτητοποιηθεί εντελώς από την τάση εξόδου της γεννήτριας, με την παρεμβολή ενός μετατροπέα συνεχούς ρεύματος. Ο μετατροπέας αυτός παραλαμβάνει την τάση που δίνει η γεννήτρια, που είναι αναγκαστικά ασταθής λόγω των διακυμάνσεων της ηλιακής ακτινοβολίας, τη μετατρέπει στην ευνοϊκή τάση για τη φόρτιση των συσσωρευτών και τη σταθεροποιεί, ώστε να εξασφαλίζονται οι βέλτιστες συνθήκες φόρτισης.

Εκτός από το ρυθμιστή τάσης, τα Φ/Β συστήματα μπορούν να περιέχουν και άλλες ηλεκτρονικές διατάξεις, όπως οι ρυθμιστές ισχύος, γνωστοί με τη συντομογραφία MPPT (*Maximum Power Point Trackers*, διατάξεις παρακολούθησης του σημείου της μέγιστης ισχύος). Ο προορισμός τους είναι να επιδιώκουν τη λειτουργία της γεννήτριας στο σημείο της καμπύλης τάσης – έντασης που αντιστοιχεί στη μέγιστη απόδοση, όσο επιτρέπει ο συντελεστής πλήρωσης FF. Στη συνέχεια, με το μετατροπέα της τάσης, η τάση εξόδου της Φ/Β γεννήτριας μετατρέπεται στην απαιτούμενη για τη φόρτιση των συσσωρευτών του συστήματος.

Τέλος, στην έξοδο των Φ/Β συστημάτων παρεμβάλλεται συχνά ένας αντιστροφέας (*Inverter*), που μετατρέπει το συνεχές ρεύμα της γεννήτριας και των συσσωρευτών σε εναλλασσόμενο. Κύρια κίνητρα για την προτίμηση της εναλλασσόμενης τάσης και την τοποθέτηση αντιστροφέν και μετασχηματιστών, είναι ότι οι ηλεκτρικές συσκευές του εμπορίου είναι συνήθως κατασκευασμένες για εναλλασσόμενο ρεύμα κι έχουν μικρότερο κόστος από τις αντίστοιχες του συνεχούς ρεύματος. Επίσης, η ανύψωση της τάσης, που γίνεται συγχρόνως με τη μετατροπή της από συνεχή σε εναλλασσόμενη, συνεπάγεται μείωση των απωλειών στους αγωγούς του δικτύου, λόγω αντίστοιχης μείωσης της έντασης του ρεύματος που τους διαρρέει. Σημειώνεται πάντως, ότι και η λειτουργία των παραπάνω διατάξεων συνοδεύεται από αξιόλογες απώλειες. Για παράδειγμα, ο συντελεστής απόδοσης των διαφόρων ηλεκτρονικών ισχύος που αναφέρθηκαν, είναι συνήθως 90 – 95 %, εφόσον λειτουργούν κοντά στην ονομαστική τους ισχύ, αλλά γίνεται πολύ μικρότερος όταν η ισχύς είναι μειωμένη.

2.4.5 Αγροτικές και βιοτεχνικές εφαρμογές

Στην παράγραφο αυτή, θα γίνει αναφορά κυρίως στα αγροτικά θερμοκήπια και στις εκτεταμένες εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας σε αυτά, καθώς και στην ξήρανση των διάφορων γεωργικών προϊόντων.

2.4.5.1 Αγροτικά θερμοκήπια

Τα θερμοκήπια έχουν ως σκοπό να εξασφαλίσουν ένα ελεγχόμενο περιβάλλον με ευνοϊκές τιμές για τις παραμέτρους ανάπτυξης των φυτών, κυριότερες από τις οποίες είναι η θερμοκρασία, η υγρασία και η ένταση του φωτός. Οι δυο βασικές ιδιότητες των θερμοκηπίων που συντελούν στην επίτευξη αυτού του σκοπού είναι:

- Η αρχή του θερμοκηπίου σύμφωνα με την οποία το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στο θερμοκήπιο απορροφάται κυρίως από τα φυτά και το έδαφος.
- Η αρχή του κλειστού χώρου σύμφωνα με την οποία μέσα στο θερμοκήπιο ελαττώνεται σημαντικά η μεταφορά θερμότητας με στροβίλους.

Με το θερμοκήπιο αποφεύγονται γενικά ζημιές από αέρα και βροχή, ενώ μειώνονται, χωρίς να εξαλείφονται, οι ζημιές από ασθένειες και έντομα. Οποσδήποτε, ο προορισμός του θερμοκηπίου συνίσταται στη δυνατότητα δημιουργίας και διατήρησης ευνοϊκού

περιβάλλοντος, όσον αφορά το φωτισμό, τη θερμοκρασία, την υγρασία και τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα, για την καλλιέργεια και ανάπτυξη των φυτών.

Οι απώλειες θερμότητας στα θερμοκήπια είναι δυνατόν να μειωθούν σημαντικά με την επιλογή της κατάλληλης γεωγραφικής θέσης εγκατάστασης, του προσανατολισμού και των γεωμετρικών χαρακτηριστικών τους. Οι κατάλληλες κλιματικές συνθήκες που ευνοούν την εγκατάσταση θερμοκηπίων σε μια περιοχή είναι η μεγάλη διάρκεια και ένταση φωτός και οι σχετικά υψηλές τιμές υγρασίας. Στη χώρα μας που ευνοείται χαρακτηριστικά από τη μεγάλη ηλιοφάνεια, το κυριότερο πρόβλημα παραμένει η εξασφάλιση ικανοποιητικών θερμοκρασιών κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου, ενώ η καλλιέργεια κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου είναι περισσότερο προβληματική εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν.

Η μεγάλη εξάρτηση του θερμοκηπίου από τα συμβατικά καύσιμα έχει δημιουργήσει αρκετές συζητήσεις γύρω από τη σκοπιμότητα της λειτουργίας των θερμαινόμενων θερμοκηπίων, ιδιαίτερα σήμερα που οι τιμές των καυσίμων είναι αρκετά υψηλές. Οι μέχρι τώρα προσπάθειες τόσο στον ερευνητικό χώρο, όσο και στο χώρο της εφαρμογής απέδειξαν ότι η χρησιμοποίηση συστημάτων θέρμανσης που καταναλώνουν πετρέλαιο είναι αντιοικονομική και για το λόγο αυτό στο 88 % της υπό κάλυψη θερμαινόμενης έκτασης χρησιμοποιούνται απλά αντιπαγετικά συστήματα που καλύπτουν το 3 % των συνολικών ενεργειακών απαιτήσεων. Ωστόσο, δεν υπάρχει αμφιβολία πως για τη χώρα μας η μη χρησιμοποίηση ενέργειας για την αύξηση της θερμοκρασίας στο χώρο του θερμοκηπίου, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της νύχτας, έχει σαν συνέπεια την πολύ μικρή παραγωγικότητα, την κακή ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων και συχνά τον κίνδυνο ολοσχερούς καταστροφής τους. Επομένως, η αύξηση της θερμοκρασίας στο χώρο του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της νύχτας είναι απαραίτητη στις περισσότερες περιπτώσεις.

Η επιτακτική ανάγκη για μείωση της κατανάλωσης των συμβατικών καυσίμων έχει σήμερα άμεση επίδραση στην έρευνα, η οποία κατευθύνεται σε τρεις τομείς:

- i. Τη βελτίωση της κατασκευής του θερμοκηπίου, με σκοπό να μειωθούν οι ενεργειακές απώλειες όσο το δυνατόν περισσότερο (χωρίς να υποβιβασθεί σοβαρά το επιθυμητό περιβάλλον για την ανάπτυξη και καλλιέργεια των φυτών).
- ii. Την προσαρμογή των συστημάτων καλλιέργειας στο πνεύμα της εξοικονόμησης ενέργειας.
- iii. Τη χρησιμοποίηση άλλων πηγών ενέργειας, όπως η ηλιακή, η αιολική, η γεωθερμική και η βιομάζα, για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του θερμοκηπίου.

Η στροφή επομένως των προσπαθειών προς την αξιοποίηση της άφθονης ηλιακής ενέργειας στη χώρα μας για την κάλυψη ενός μέρους ή και ολόκληρης της απαιτούμενης ενέργειας στα θερμοκήπια για την ανάπτυξη των καλλιεργειών είναι φυσική και έχει στόχο να βοηθήσει στην επίλυση του βασικού προβλήματος της θέρμανσης και του δροσισμού των θερμοκηπίων με την χρησιμοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Η προσπάθεια αυτή άρχισε με την πετρελαϊκή κρίση του 1973 και στο ενδιάμεσο διάστημα αναπτύχθηκαν πολυάριθμα ηλιακά συστήματα τόσο στην Ευρώπη όσο και στις Η.Π.Α.

Κάθε θερμοκήπιο δέχεται στο εσωτερικό του την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια, που είναι σημαντικά μεγαλύτερη κατά την περίοδο του καλοκαιριού και οι απώλειες του είναι πολύ μεγαλύτερες από τις απώλειες ενός τοίχου. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του θερμοκηπίου έχουν τα ακόλουθα αποτελέσματα:

- Κατά τις ηλιόλουστες μέρες, την άνοδο της θερμοκρασίας του αέρα που είναι εγκλωβισμένος στο θερμοκήπιο σε πολύ υψηλά επίπεδα.
- Τις νύχτες, την πτώση της θερμοκρασίας του αέρα, που φθάνει σε πολύ χαμηλά επίπεδα λόγω του υψηλού ρυθμού απωλειών της ενέργειας από το κάλυμμα, με δυσμενή ή καταστροφικά αποτελέσματα για τα φυτά.

Τα θερμοκήπια αν και παλαιότερη εφεύρεση, παρουσίασαν μεγάλη ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια, κυρίως με την ανακάλυψη των διαφανών πλαστικών φύλλων (1925) και την ανάπτυξη οικονομικών συστημάτων θερμάνσεως κατά τις παγερές μέρες και νύχτες.

Σε παγκόσμιο επίπεδο λειτουργούν σήμερα περίπου 1.500.000 στρ. με θερμοκήπια και από αυτά το 87 % είναι με κάλυψη από πλαστικά υλικά, ενώ το 13 % από υαλοπίνακες [16].

Η Ιαπωνία προηγείται με περίπου 700.000 στρ. και ακολουθούν η Ιταλία με 260.000 στρ., οι ΗΠΑ με 250.000 στρ., η Ισπανία με 130.000 στρ., η Ολλανδία με 70.000 στρ., η Ρωσία με 50.000 στρ., το Βέλγιο με 45.000 στρ., η Γαλλία με 40.000 στρ., η Ουγγαρία με 30.000 στρ., η Γερμανία με 22.000 στρ., η Τουρκία με 20.000 στρ., η Ρουμανία, η Πολωνία, η Βουλγαρία και η Μ. Βρετανία με 15.000 στρ. και το Ισραήλ με περίπου 4.000 στρ. Η Ολλανδία, το Βέλγιο, η Γερμανία, η Μ. Βρετανία και η Ουγγαρία χρησιμοποιούν κυρίως γυάλινα θερμοκήπια σε ποσοστό 85 %, σε αντίθεση με τις άλλες χώρες, όπου το ποσοστό των γυάλινων θερμοκηπίων κυμαίνεται μεταξύ 10 και 20 %.

Στη χώρα μας λειτουργούν περίπου 40.000 στρ. με θερμοκήπια διαφόρων τύπων. Στα θερμοκήπια καλλιεργούνται κυρίως κηπευτικά και ανθοκομικά φυτά, αλλά και δένδρα για την παραγωγή φρούτων, ενώ ειδικά θερμοκήπια χρησιμοποιούνται για την παραγωγή πολλαπλασιαστικού υλικού και για έρευνα.

2.4.5.1.1 Αγροτικά ηλιακά θερμοκήπια

Στα ηλιακά θερμοκήπια γίνεται μια γενικότερη σχεδιασμένη προσπάθεια εξοικονόμησης ενέργειας. Η οικονομία της ενέργειας στα θερμοκήπια έχει σχέση με την εγκατάσταση, την κατασκευή και τις μονώσεις, τη διανομή της θερμότητας, τους νέους μηχανισμούς θέρμανσης, τις νέες πηγές θερμότητας, τους τρόπους μείωσης της δαπάνης δροσισμού, την καλλιεργητική τεχνική και τις ρυθμίσεις λειτουργίας τους.

Η βασική φιλοσοφία αυτού του τύπου θερμοκηπίου είναι η εισχώρηση της ηλιακής ακτινοβολίας στο θερμοκήπιο, η αποθήκευσή της και τέλος η παγίδευση της, στο μέτρο του δυνατού, στο εσωτερικό. Τα παραδοσιακά θερμοκήπια δεν είναι κατασκευασμένα κατάλληλα, έτσι ώστε να εξοικονομείται ενέργεια.

Τα ηλιακά θερμοκήπια, από την κατασκευή τους, διακρίνονται από τα παραδοσιακά θερμοκήπια για τους παρακάτω λόγους:

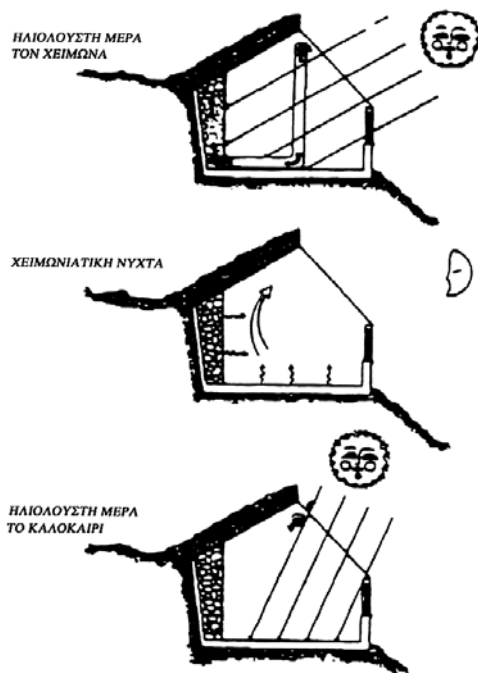
- Στο ηλιακό θερμοκήπιο υπάρχει συνδυασμός διαφανών και μη διαφανών επιφανειών, ενώ στο παραδοσιακό υπάρχουν κυρίως διαφανείς επιφάνειες.
- Στο ηλιακό θερμοκήπιο συναντά κανείς τις «θερμικές μάζες».
- Στο ηλιακό θερμοκήπιο υπάρχει η δυνατότητα νυχτερινής μόνωσης.

Στο σχ. 2.93 φαίνεται η λειτουργία ενός ηλιακού θερμοκηπίου το χειμώνα και το καλοκαίρι.

Ότι είναι γνωστό μέχρι τώρα για την αδιαφανή επιφάνεια των συλλεκτών ισχύει και για τη διαφανή επιφάνεια των θερμοκηπίων (επιτρέπουν να περάσει η ηλιακή ακτινοβολία και εμποδίζουν την υπέρυθρη). Έχει όμως και η διαφανής επιφάνεια δύο βασικά μειονεκτήματα:

- Όταν δεν υπάρχει ήλιος, η επιφάνεια αυτή χάνει θερμότητα πιο γρήγορα από ότι χάνουν οι μη διαφανείς επιφάνειες όπως οι τοίχοι.
- Όταν εκτίθεται στον ήλιο αφήνει να περάσει ένα ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας λόγω των απωλειών ανάκλασης και απορρόφησης. Συγκεκριμένα, περνάει περίπου το 86 % της ηλιακής ακτινοβολίας με μονό τζάμι και το 75 % με διπλό.

Τα παραδοσιακά θερμοκήπια κατασκευάζονται με εξολοκλήρου διαφανείς επιφάνειες, ενώ τα ηλιακά θερμοκήπια συνδυάζουν διαφανείς με αδιαφανείς επιφάνειες.



Σχήμα 2.92: Ένα αγροτικό, ηλιακό θερμοκήπιο.

Εγκατάσταση

Τοποθεσία

Η εγκατάσταση των θερμοκηπίων πρέπει να γίνεται σε ζώνες όπου επικρατεί νηνεμία. Ζώνες που προσβάλλονται από ισχυρούς ανέμους πρέπει να αποφεύγονται. Ακόμα, τοποθεσίες υγρές, όπως αυτές στο βάθος κοιλωμάτων, απαιτούν μεγαλύτερες δαπάνες θέρμανσης.

Προσανατολισμός

Ο άξονας του μήκους του θερμοκηπίου θα πρέπει να είναι παράλληλος προς τον άξονα ανατολή - δύση. Αυτός ο προσανατολισμός ευνοεί τη φυσική θέρμανση του θερμοκηπίου, ιδιαίτερα τις πρωινές ώρες της ψυχρής περιόδου του έτους.

Προστασία από τον άνεμο

Για την προστασία από τον άνεμο χρησιμοποιούνται φυσικοί ή τεχνητοί ανεμοθραύστες. Οι σωστά κατασκευασμένοι ανεμοθραύστες μειώνουν τις δαπάνες θέρμανσης μέχρι 5 %.

Σχήμα και ομαδοποίηση των θερμοκηπίων

Το τετράγωνο σχήμα και η ομαδοποίηση των θερμοκηπίων μειώνει τις απώλειες θερμότητας. Έτσι ένα σύνολο από τέσσερα θερμοκήπια επιτρέπει οικονομία περίπου 25 % σε σχέση με τέσσερα θερμοκήπια του ίδιου τύπου, που όμως είναι σε απόσταση μεταξύ τους.

Υλικά σκελετού και κάλυψης

Ο σκελετός των θερμοκηπίων πρέπει να είναι στιβαρός, αλλά και να μην εμποδίζει την ηλιακή ακτινοβολία να φθάνει στα φυτά και στο έδαφος.

Υαλόφρακτα θερμοκήπια, με δικτυώματα και δοκούς αλουμινίου, μειώνουν σημαντικά τη σκίαση από το σκελετό και επιτρέπουν τον εφοδιασμό τους με μεγαλύτερα ποσά ηλιακής ενέργειας.

Τα θερμοκήπια με κάλυψη από πλαστικά υλικά έχουν λιγότερες δοκούς στήριξης και μικρότερο πρόβλημα σκίασης από το σκελετό.

Τα διπλά γυάλινα και πλαστικά καλύμματα περιορίζουν τις απώλειες αγωγής και συναγωγής, ενώ η διπλή κάλυψη με πολυαιθυλένιο εφαρμόζεται με δυο τρόπους. Σύμφωνα με τον πρώτο τρόπο τα δυο φύλλα είναι συνεχή σε όλο το μήκος της στέγης και συγκρατούνται με συνδετήρες στις υδροροές και στα μέτωπα.

Μεταξύ των δυο φύλλων δημιουργείται στρώμα αέρα με τη βοήθεια μικρών ανεμιστήρων, που λειτουργούν αυτόματα ανάλογα με τις απώλειες και την πίεση του στρώματος του αέρα. Κατά το δεύτερο τρόπο το πολυαιθυλένιο είναι σε σακούλες με πλάτος όσο περίπου η απόσταση δύο αψίδων (2 m). Η στήριξη κάθε σακούλας, γίνεται με συνδετήρες στις υδροροές και συρματόσχοινα στις αψίδες, με τέτοιο τρόπο ώστε η μια σακούλα να υπερκαλύπτει την άλλη. Το κενό μεταξύ των δύο φύλλων διατηρείται με πλαστικά σχοινιά.

Ο πρώτος τρόπος είναι ευκολότερος στην κατασκευή, ενώ ο δεύτερος ευκολότερος στην συντήρηση επειδή οποιαδήποτε ζημιά σε ένα σημείο δε χρειάζεται αντικατάσταση μεγάλου τμήματος του πλαστικού. Η διπλή κάλυψη με πολυαιθυλένιο μειώνει τη δαπάνη θέρμανσης μέχρι 35 %.

Τα σκληρά πλαστικά με διπλά ή τριπλά τοιχώματα παρουσιάζουν καλές μονωτικές ιδιότητες και μειώνουν τη δαπάνη θέρμανσης 20 – 40 %.

Οι κυριότερες ιδιότητες που πρέπει να πληρούν τα υλικά κάλυψης των θερμοκηπίων είναι οι ακόλουθες:

- Πρέπει να επιτρέπουν όσο το δυνατόν περισσότερο να περάσουν οι ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες, οι ευεργετικές για τα φυτά (0,3 - 3,5 μm)
- Να μη μεταβάλλουν το ηλιακό φάσμα, επειδή η υπεριώδης ακτινοβολία (0,3 - 0,4 μm) χρησιμοποιείται στη φωτοσύνθεση, ενώ η υπέρυθρη (> 0,7μm) εφοδιάζει το θερμοκήπιο με θερμική ενέργεια
- Να έχουν χαμηλό συντελεστή επιφανειακής θερμοπερατότητας
- Να έχουν προσιτή τιμή

Τέλος στον πίν 2.22 [17] δίνονται τα χαρακτηριστικά των υλικών κάλυψης των θερμοκηπίων.

Πίνακας 2.22: Οπτικά χαρακτηριστικά των υλικών κάλυψης των θερμοκηπίων.

Υλικό	Συντ. Εκπ.	Συντ. Ανάκλ. στην υπέρυθρη ακτινοβολία α	Συντ. Απορρόφ. Φ.	Συντ. Διαπερ. στην ηλιακή ακτινοβολία α	Συντ. Διαπερ. στη θερμική ακτινοβολία α	Εκ.δρχ./στ ρ. (ενδεικτικά)
Γυαλί	0,8	0,12	0,09	0,9	0,04	6
Πολυαιθυλένιο	0,3	0,1	0,1	0,7	0,6	3
PVC	0,7	0,2	0,1	0,8	0,1	-
Fiberglass	0,8	0,1	0,1	0,78	0,08	5

Χρησιμοποίηση ηλιακών συστημάτων θέρμανσης και δροσισμού

Τα ηλιακά συστήματα θέρμανσης παρέχουν τη δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας κατά τα 2/3 και πάνω. Οπωσδήποτε, ο συνδυασμός των κατασκευαστικών και των καλλιεργητικών βελτιώσεων με τη χρήση της ηλιακής ενέργειας επιτρέπει τη χρησιμοποίηση μικρότερου ηλιακού συστήματος θέρμανσης.

Τα ηλιακά συστήματα θέρμανσης όταν εφαρμόζονται στα θερμοκήπια μπορούν να καλύψουν ένα μεγάλο μέρος των αναγκών για θέρμανση. Ωστόσο, αρκετά προβλήματα σχετικά με το αρχικό τους κόστος και το κόστος συντήρησής τους σε συνδυασμό με το κόστος της χρησιμοποιούμενης εκτάσεως περιορίζουν την οικονομική επάρκεια και αποτελεσματικότητα του συστήματος.

Τα ηλιακά συστήματα, που χρησιμοποιούνται σε αγροτικά θερμοκήπια συνεισφέρουν επιπροσθέτως με το κάλυμμα του θερμοκηπίου στη συλλογή της ηλιακής ενέργειας, η οποία κατάλληλα αποθηκευμένη μπορεί να καλύψει τις ανάγκες του θερμοκηπίου για θέρμανση. Οι εφαρμογές των ενεργητικών συστημάτων στα θερμοκήπια για θέρμανση χαρακτηρίζονται από:

- Τον τύπο των ηλιακών συλλεκτών
- Το χρησιμοποιούμενο ρευστό για τη μεταφορά θερμότητας το οποίο κυκλοφορεί μέσα στους συλλέκτες
- Το υλικό αποθήκευσης και την αποθηκευτική του ικανότητα
- Τη θέση των συλλεκτών

Οι σημαντικότερες τεχνολογίες ηλιακών συστημάτων είναι οι ακόλουθες:

Ηλιακοί συλλέκτες

Μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε χρήσιμη θερμότητα με ενδιάμεσο μέσο, είτε υγρό με μεγάλη θερμοχωρητικότητα, είτε νερό στο οποίο οι θερμίδες αποθηκεύονται και διανέμονται ανάλογα με τις ανάγκες. Στα θερμοκήπια χρησιμοποιούνται συλλέκτες χαμηλού κόστους, που κατασκευάζονται από εύκαμπτους σωλήνες πολυαιθυλενίου ή φουσκωτοί συλλέκτες από μαύρα φύλλα πολυαιθυλενίου που έχουν μεγαλύτερη απόδοση και χαμηλό κόστος.

Το θερμό νερό από τους συλλέκτες αποθηκεύεται σε δεξαμενή και διανέμεται με σωληνώσεις στο θερμοκήπιο, όπου αποδίδει τα επιθυμητά ποσά θερμότητας. Επειδή οι ηλιακοί συλλέκτες καταλαμβάνουν μεγάλο χώρο, γίνονται προσπάθειες για την εύρεση τρόπων ώστε να τοποθετούνται στη μια πλευρά του θερμοκηπίου ή στο εσωτερικό αυτού. Έχουν λοιπόν κατασκευαστεί συλλέκτες που τοποθετούνται στο εσωτερικό των πλευρών της στέγης και στρέφονται με ηλεκτροκινητήρες, ώστε τις ώρες μεγάλης ηλιοφάνειας να σκιάζουν τα φυτά, ενώ τις ώρες μικρής ηλιοφάνειας να επιτρέπουν στην ηλιακή ακτινοβολία να περάσει. Οι ηλιακοί συλλέκτες, οι οποίοι την ημέρα αποθηκεύουν ενέργεια σε δεξαμενή νερού, τη νύχτα στρέφονται προς τα φυτά. Το θερμό νερό από τη δεξαμενή κυκλοφορεί στους συλλέκτες αποδίδοντας τη θερμότητα στο χώρο του θερμοκηπίου. Συνήθως χρησιμοποιούνται κοίλα κάτοπτρα από αλουμίνιο, που φέρνουν στο κέντρο σωλήνα για την κυκλοφορία του θερμού νερού. Με το σύστημα των ηλιακών συλλεκτών επιτυγχάνεται η θέρμανση αλλά και ο δροσισμός του θερμοκηπίου.

Χρήση μεταλλικών απορροφητικών συλλεκτών

Η χρησιμοποίηση μεταλλικών συλλεκτών ύδατος καλυμμένων με γυαλί και συνδεδεμένων με δεξαμενές αποθήκευσης νερού, για τη θέρμανση των θερμοκηπίων είναι γνωστή και διαδεδομένη εδώ και πολλές δεκαετίες. Τα συστήματα αυτά περιλαμβάνονται μεταξύ των πρώτων ενεργητικών εγκαταστάσεων για τη θέρμανση των θερμοκηπίων. Στα συστήματα αυτά, το νερό θερμαίνεται από τους συλλέκτες και ή κυκλοφορεί θερμαίνοντας άμεσα το θερμοκήπιο ή αποθηκεύεται για να χρησιμοποιηθεί αργότερα κατά τη διάρκεια της νύχτας ή στη διάρκεια των ψυχρών περιόδων του έτους.

Χρήση πλαστικών συλλεκτών ζεστού αέρα

Πλαστικοί, απορροφητικοί, μη καλυμμένοι συλλέκτες εγκαθίστανται έξω από το θερμοκήπιο. Ο αέρας κυκλοφορεί και θερμαίνεται μέσα στους σωλήνες και μετά θερμαίνει μια δεξαμενή με αποθηκευτικό υλικό που είναι συνήθως νερό ή χαλίκια που βρίσκονται κάτω από τα τραπέζια καλλιέργειας ή κάτω από το έδαφος του θερμοκηπίου. Στη διάρκεια της θερμής περιόδου του χρόνου, ο αέρας κυκλοφορεί τη νύχτα μέσα στους συλλέκτες και ψύχεται λόγω ακτινοβολίας. Ο ψυχρός αέρας τότε διοχετεύεται στη θερμική δεξαμενή για να μειώσει τη θερμοκρασία του νερού.

Χρήση διαλυμάτων οξειδίων

Διάλυμα διαφόρων οξειδίων ρέει σε όλη την επιφάνεια της οροφής του θερμοκηπίου, έτσι ώστε το διάλυμα αυτό να απορροφά την υπέρυθη ακτινοβολία και να αφήνει να περνάει μέσα στο θερμοκήπιο η φωτεινή ακτινοβολία. Το νερό που θερμαίνεται με αυτόν τον τρόπο αποθηκεύεται σε δεξαμενή που βρίσκεται μέσα στο έδαφος. Με το σύστημα αυτό έχουν παρουσιαστεί αρκετά προβλήματα στεγανότητας και έλλειψη ενέργειας μέσα στο θερμοκήπιο κατά τους ψυχρούς μήνες του χειμώνα.

Χρήση υλικών αλλαγής φάσης

Η πλεονάζουσα θερμότητα αποθηκεύεται σε υλικά αλλαγής φάσης (π.χ. κρυσταλλικό χλωριούχο ασβέστιο, κ.α.). Ο τρόπος αυτός θεωρείται ακόμα πολύ δαπανηρός.

Βόρειος αποθηκευτικός τοίχος (βλέπε «Παθητικά Συστήματα»)

Εναλλάκτες νερού - αέρα (νεροσακούλες)

Σακούλες, από διαφανές πλαστικό (πολυαιθυλένιο πάχους 250 mm και διαμέτρου 20 - 40 cm), γεμάτες με νερό τοποθετούνται στο έδαφος του θερμοκηπίου κατά μήκος των διαδρόμων. Η θερμότητα που μεταφέρεται από την ηλιακή ενέργεια, που εισέρχεται στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, απορροφάται από το νερό και αποθηκεύεται. Όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία του νερού, η αποθηκευμένη θερμότητα αποδίδεται από το νερό στον αέρα του θερμοκηπίου με μεταφορά και ακτινοβολία. Η κατασκευή του συστήματος μπορεί να γίνει εύκολα και από τους ίδιους τους παραγωγούς. Η διάρκεια ζωής του εξαρτάται από την ποιότητα του υλικού των εναλλακτών (συνήθως οι σακούλες αντικαθίστανται κάθε δύο με τρία χρόνια). Το σημαντικότερο μειονέκτημα του συστήματος είναι το γεγονός ότι περιορίζει την καλλιεργούμενη επιφάνεια. Το σύστημα αυτό βελτιώνει σημαντικά τις αποδόσεις όλων των καλλιεργειών.

Χρήση εναλλακτών θερμότητας εδάφους - αέρα

Η τεχνική αυτή εκμεταλλεύεται τη μεγάλη θερμοχωρητικότητα του εδάφους. Η θερμοκρασία του εδάφους παραμένει σταθερή κατά τη διάρκεια της ημέρας και παρουσιάζει μικρές

μηνιαίες μεταβολές. Το χειμώνα η θερμοκρασία του εδάφους είναι 2 - 3 °C υψηλότερη από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, μόλις μερικά μέτρα κάτω από την επιφάνεια.

Την ημέρα, ο εσωτερικός αέρας του θερμοκηπίου κυκλοφορεί μέσα σε οριζόντιους, πλαστικούς σωλήνες θαμμένους στο έδαφος όπου αποβάλλει ποσά θερμότητας τα οποία αποθηκεύονται, με τη μορφή αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας. Η περίοδος αποθήκευσης είναι 10 - 12 ώρες. Όταν οι εσωτερικές συνθήκες το απαιτήσουν ο ψυχρός αέρας κυκλοφορεί μέσα από τους υπόγειους σωλήνες όπου θερμαίνεται και επιστρέφει στο θερμοκήπιο. Η μετάδοση θερμότητας μέσα στο έδαφος γίνεται με αγωγή από το βάθος ταφής των σωλήνων προς την επιφάνεια και με συναγωγή και ακτινοβολία στον εσωτερικό χώρο του θερμοκηπίου. Οι εναλλάκτες θερμότητας συνήθως τοποθετούνται οριζόντια κατά μήκος του θερμοκηπίου, με σημεία εισόδου και εξόδου του αέρα, στις αντίθετες πλευρές του θερμοκηπίου. Η εγκατάσταση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση το χειμώνα και για δροσισμό το καλοκαίρι. Στη διάρκεια της θερινής περιόδου, η θερμοκρασία του εδάφους παραμένει αρκετούς βαθμούς κάτω από τη θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα. Έτσι, ο θερμός αέρας που κυκλοφορεί μέσα στους οριζόντιους σωλήνες στο έδαφος αποβάλλει την θερμότητά του και επιστρέφει στο θερμοκήπιο κατά πολύ δροσερότερος.

Μειονεκτήματα εφαρμογής ηλιακών συστημάτων στα θερμοκήπια

- i. Τα ηλιακά συστήματα έχουν τη δυνατότητα να καλύψουν ένα σημαντικό ποσοστό των ενεργειακών αναγκών ενός θερμοκηπίου. Από την άλλη μεριά όμως, δεν είναι λίγα τα προβλήματα που σχετίζονται με την εγκατάσταση και τη λειτουργία τέτοιων συστημάτων. Τα σημαντικότερα από αυτά είναι τα εξής:
- ii. Τα ηλιακά συστήματα και ιδιαίτερα οι μεταλλικοί, καλυμμένοι με γυαλί συλλέκτες, παρουσιάζουν μεγάλο επενδυτικό κόστος. Για να μειωθεί το αρχικό αυτό κόστος χρησιμοποιούνται φθηνοί πλαστικοί συλλέκτες. Ωστόσο, οι πλαστικοί συλλέκτες φθείρονται ευκολότερα και έτσι αυξάνεται το κόστος συντήρησης του συστήματος.
- iii. Παρουσιάζουν επιπλέον κόστος λόγω του χρησιμοποιούμενου εδάφους για το σύστημα. Για να αντιμετωπισθεί αυτό, οι συλλέκτες τοποθετούνται μέσα στο θερμοκήπιο ή αναρτώνται από την οροφή. Ωστόσο, η λύση αυτή οδηγεί σε μείωση των επιπέδων φωτισμού μέσα στο θερμοκήπιο. Μια πιθανή λύση θα ήταν η χρήση διαφανών στην ηλιακή ακτινοβολία συλλεκτών.
- iv. Εμφανίζονται συχνά τεχνικά προβλήματα που σχετίζονται με τη σύνδεση των ηλιακών συστημάτων με άλλα βοηθητικά συστήματα. Η χρήση ενός μη κατάλληλου συμβατικού συστήματος θέρμανσης μπορεί να μειώσει σημαντικά την αποτελεσματικότητα του ηλιακού συστήματος. Για την παράκαμψη αυτού του προβλήματος, το ηλιακό σύστημα μπορεί να συνδεθεί με μια θερμική αντλία με σκοπό να χρησιμοποιηθεί ως η ψυχρή πηγή της αντλίας. Έτσι, η αποτελεσματικότητα της αντλίας αυξάνει, ενώ όταν το ηλιακό σύστημα αποδίδει ικανοποιητική ενέργεια για την κάλυψη των αναγκών του θερμοκηπίου, η ηλιακή ενέργεια προσφέρεται απευθείας στον θερμαινόμενο χώρο.
- v. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην επιλογή του υλικού αποθήκευσης, του όγκου του και της αποθηκευτικής του ικανότητας.
- vi. Τέλος, ο έλεγχος των συλλεκτικών και αποθηκευτικών υποσυστημάτων, καθώς επίσης και των βοηθητικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας πρέπει να βελτιωθεί έτσι ώστε να αυξηθεί όσο το δυνατόν περισσότερο η λειτουργικότητα και η αποτελεσματικότητα του όλου ηλιακού συστήματος.

Όσον αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας στα ηλιακά θερμοκήπια, επιτυγχάνεται με τους παρακάτω τρόπους:

- Βελτίωση της καλλιεργητικής τεχνικής (μέχρι και 10 %)
- Χρήση μονωτικών υλικών με χαμηλό κόστος π.χ. φύλλα με φυσαλίδες αέρα (μέχρι και 15 %)
- Εγκατάσταση ψευδοροφής (μέχρι και 30 – 40 %)
- Εγκατάσταση και χρήση ηλιακών συστημάτων θέρμανσης και δροσισμού (μέχρι και 60 %)

2.4.5.2 Ηλιακή Ξήρανση

Η αποξήρανση είναι μια από τις μεθόδους συντήρησης των γεωργικών προϊόντων. Αυτό επιτυγχάνεται με τη διοχέτευση σχετικά θερμού αέρα μέσα από τη μάζα των προϊόντων. Σε πολλές εφαρμογές, η θέρμανση του αέρα επιτυγχάνεται με καυστήρες πετρελαίου (τεχνητή ξήρανση). Στην τεχνητή ξήρανση χρειάζονται ειδικές εγκαταστάσεις τεχνητού κλίματος, δηλαδή κλειστός θάλαμος μέσα στον οποίο τοποθετούνται κατάλληλα τα γεωργικά προϊόντα και ελέγχονται η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία και η κυκλοφορία του αέρα. Συνεπώς η τεχνητή ξήρανση απαιτεί ιδιαίτερες εγκαταστάσεις για την τοποθέτηση των γεωργικών προϊόντων, καθώς και εγκαταστάσεις συστημάτων θέρμανσης και ελέγχου θερμοκρασίας, υγρασίας και κυκλοφορίας του αέρα. Τα συστήματα αυτά καταναλώνουν σημαντικά ποσά ενέργειας και επομένως η τεχνητή ξήρανση κρίνεται ως σχετικά δαπανηρή.

Επειδή όμως η περίοδος συγκομιδής των περισσότερων γεωργικών προϊόντων συμπίπτει με τη μεγάλη ηλιοφάνεια, είναι δυνατή η αντικατάσταση του πετρελαίου από την ηλιακή ενέργεια (φυσική ξήρανση). Η φυσική ξήρανση, δηλαδή η έκθεση των γεωργικών προϊόντων απευθείας στην ηλιακή ακτινοβολία, αποτελεί έναν παραδοσιακό τρόπο ξήρανσης στην Ελλάδα. Η φυσική ξήρανση δεν είναι δαπανηρή, όμως αρκετές φορές δεν είναι δυνατός ο έλεγχος των παραμέτρων της, με αποτέλεσμα να μεγαλώνουν οι απώλειες και να χειροτερεύει έτσι η ποιότητα του προϊόντος.

Τα ηλιακά ξηραντήρια αποτελούν μια παραλλαγή της φυσικής ξήρανσης, όπου η ηλιακή ενέργεια δεσμεύεται και χρησιμοποιείται για την ξήρανση γεωργικών προϊόντων που είναι συγκεντρωμένα σε κλειστούς χώρους κατασκευασμένους από ένα διαφανές υλικό που αφήνει την ηλιακή ακτινοβολία να διεισδύσει μέσα από αυτό.

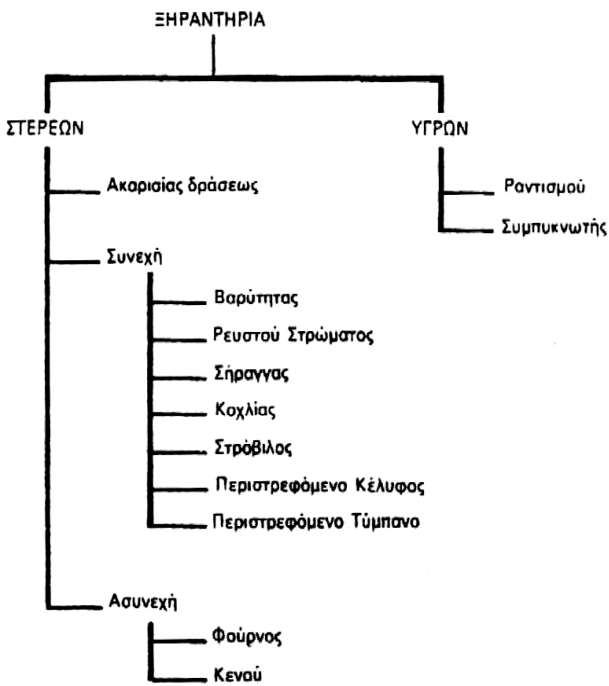
Οι κυριότεροι τύποι συμβατικών ξηραντηρίων είναι οι ακόλουθοι [18]:

α. Ασυνεχή ξηραντήρια: Το κύριο χαρακτηριστικό τους είναι η κατεργασία όλου του υλικού συγχρόνως. Είναι κατάλληλα για μεγάλο αριθμό προϊόντων, τα οποία υφίστανται κατεργασία σε διαδοχικούς κύκλους ξήρανσης. Ο φούρνος είναι το κυριότερο είδος της κατηγορίας αυτής.

β. Συνεχή ξηραντήρια: Το κυριότερο χαρακτηριστικό της συνεχούς θερμικής ξήρανσης είναι η δυνατότητα μεταβολής των παραμέτρων της κατεργασίας, με αποτέλεσμα να διαφοροποιείται το προϊόν που έχει υποστεί επεξεργασία στην αρχή από αυτό που το επεξεργάστηκαν στο τέλος. Τα συνεχή ξηραντήρια είναι κατάλληλα για τη διεκπεραίωση μεγάλων ποσοτήτων υλικού.

γ. Ξηραντήρια ακαριαίας δράσης: Έχουν συνεχή μορφή λειτουργίας και διαφέρουν μόνο στο χρόνο της κατεργασίας. Είναι κατάλληλα για την επεξεργασία πολτών ή ρευστών.

Στη σχηματική παράσταση του σχ. 2.94 παρουσιάζονται οι κυριότεροι τύποι συμβατικών ξηραντηρίων ταξινομημένοι ως προς τον τρόπο λειτουργίας τους και τη μορφή του υλικού που αφυδατώνεται.



Σχήμα 2.93: Τύποι ηλιακών ξηραντηρίων.

2.4.5.2.1 Μέθοδοι ηλιακής ξήρανσης

Η ηλιακή ξήρανση επιτυγχάνεται με τρεις κυρίως τρόπους:

α. Ηλιακή ξήρανση σε ελεύθερο αέρα: Με τον τρόπο αυτό γεωργικά προϊόντα εκτίθενται στον ήλιο προς ξήρανση. Η ηλιακή ακτινοβολία συμβάλλει στην αύξηση της θερμοκρασίας των προϊόντων. Ο άνεμος και η κίνηση του αέρα αφυδατώνουν επιφανειακά τα προϊόντα. Η ξήρανση με αυτόν τον τρόπο ονομάζεται και ξήρανση στον ήλιο.

β. Άμεση ηλιακή ξήρανση: Το γεωργικό προϊόν εκτίθεται κάτω από ένα διαφανές κάλυμμα (γυαλί ή πλαστικό). Η διάταξη αυτή αποτελεί βελτιστοποίηση της ξήρανσης στον ήλιο, όμως το προϊόν θερμαίνεται περισσότερο λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου και της μικρής ταχύτητας του αέρα στο χώρο των γεωργικών προϊόντων. Αν η κίνηση του αέρα είναι πολύ εξασθενημένη, τα προϊόντα δεν αφυδατώνονται και δε γίνεται ξήρανση. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται σε ξηραντήρια λανθασμένης κατασκευής, όπου δίνεται απόλυτη προτεραιότητα στην επίτευξη υψηλών θερμοκρασιών, χωρίς να διευκολύνεται παράλληλα η κίνηση του αέρα.

γ. Έμμεση ηλιακή ξήρανση: Ο αέρας που κυκλοφορεί στο χώρο της ξήρανσης προθερμαίνεται σε ένα συλλέκτη, ο οποίος μπορεί να μη συμπεριλαμβάνεται στο χώρο ξήρανσης. Το προϊόν μένει στη σκιά μονωμένο από την ηλιακή ακτινοβολία, ενώ δεν αναθερμαίνεται από τον ήλιο. Στην περίπτωση αυτή η ξήρανση επιτυγχάνεται με εναλλαγή νερού με το ζεστό αέρα.

2.4.5.2.2 Τύποι ηλιακών ξηραντηρίων

Αντίστοιχα με τα τρία είδη ηλιακής ξήρανσης, τα ηλιακά ξηραντήρια διακρίνονται στους εξής τύπους ανάλογα με τον τρόπο που χρησιμοποιούν την ηλιακή ακτινοβολία:

α. Φυσικά ηλιακά ξηραντήρια: Στα ξηραντήρια αυτά χρησιμοποιείται η ηλιακή ακτινοβολία απευθείας. Τα γεωργικά προϊόντα τοποθετούνται πάνω σε δίσκους ή ψάθες ή σε αβαθείς άβακες που τοποθετούνται ακόμη και πάνω στο έδαφος. Τα προϊόντα τοποθετούνται

προσανατολισμένα στους επικρατούντες ανέμους. Τα φυσικά ηλιακά ξηραντήρια είναι απλές και πολύ οικονομικές κατασκευές, προϋποθέτουν όμως ανθρώπινη επίβλεψη έτσι ώστε να προστατεύονται σε περίπτωση βροχής, καθώς επίσης και συχνή μάλαξη για την αποφυγή υπερθέρμανσης των απευθείας εκτεθειμένων στον ήλιο επιφανειών.

Τα κυριότερα μειονεκτήματα των φυσικών ηλιακών ξηραντηρίων είναι τα ακόλουθα:

- Σημαντικές απώλειες των προϊόντων που δεν ξηραίνονται ικανοποιητικά ή καταστρέφονται κατά τις μετακινήσεις. Για παράδειγμα, κατά την ξήρανση των ψαριών στην άμμο, οι απώλειες μπορεί να φτάσουν μέχρι και 50 %.
- Καταστροφή των βιταμινών (κυρίως Α και C) εξαιτίας της απευθείας έκθεσης των προϊόντων στον ήλιο.
- Ποιοτική υποβάθμιση των υπό ξήρανση γεωργικών προϊόντων λόγω διαφόρων επιδράσεων όπως της κακοκαιρίας, των εντόμων, της σκόνης, κλπ.

β. Άμεσα ηλιακά ξηραντήρια: Στην περίπτωση αυτή τα γεωργικά προϊόντα εκτίθενται απευθείας στον ήλιο αφού τοποθετηθούν πρώτα μέσα στα ξηραντήρια. Τα ξηραντήρια είναι απλές γεωργικές κατασκευές, που αποτελούνται από ένα τζαμωτό πλαίσιο, κάτω από το οποίο τοποθετούνται, επάνω σε δίσκους, τα υπό ξήρανση προϊόντα. Η κυκλοφορία του αέρα γίνεται κατά μήκος του ξηραντηρίου με φυσικό αερισμό (φαινόμενο της καμινάδας) ή πολύ σπάνια με τη βοήθεια ενός ανεμιστήρα.

Ο τύπος αυτός ξηραντηρίου έχει τα εξής πλεονεκτήματα:

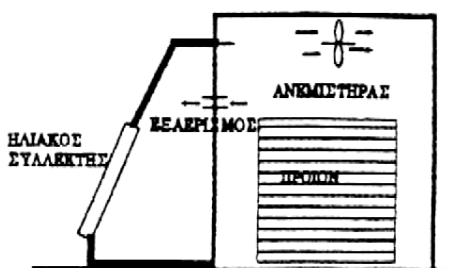
- Τα προς ξήρανση προϊόντα προστατεύονται καλύτερα από τις διάφορες εξωτερικές επιδράσεις όπως η κακοκαιρία, τα έντομα κλπ.
- Η θερμοκρασία μέσα σε αυτό το ξηραντήριο είναι αρκετά υψηλότερη λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου κι έτσι ελαττώνεται σημαντικά ο χρόνος ξήρανσης των προϊόντων.

Παράλληλα τα σημαντικότερα μειονεκτήματά του είναι:

- Η καταστροφή ορισμένων βιταμινών λόγω της υπερβολικά υψηλής θερμοκρασίας.
- Ο κίνδυνος φωτοξείδωσης των προϊόντων εξαιτίας της μετάδοσης της υπεριώδους ακτινοβολίας από το σκέπασμα του ξηραντηρίου.
- Ο κίνδυνος να ξεπεράσει η θερμοκρασία τη μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή, για τη σωστή ξήρανση των προϊόντων.

Ένα άμεσο ηλιακό ξηραντήριο είναι και το ονομαζόμενο κιβώτιο ξήρανσης. Τα κιβώτια ξήρανσης είναι μικρές μονάδες που μεταφέρονται συχνά σαν οικιακές μονάδες για τη διατήρηση των προϊόντων αγροτικών οικογενειών. Στα ξηραντήρια αυτά παρατηρούνται πολύ συχνά υπερθερμάνσεις λόγω του μικρού τους όγκου. Ένας άλλος τύπος άμεσου ηλιακού ξηραντηρίου, μεγαλύτερης όμως κλίμακας, είναι τα ξηραντήρια θερμοκηπίου. Τα ξηραντήρια αυτά χρησιμοποιούνται ευρέως για την ξήρανση μεγάλων ποσοτήτων νωπών προϊόντων.

γ. Μικτά ηλιακά ξηραντήρια: Στα ξηραντήρια αυτά η ενέργεια που είναι απαραίτητη για την ξήρανση αποδίδεται με έναν τρόπο που συνδυάζει την έκθεση των προϊόντων απευθείας στην ηλιακή ακτινοβολία και την προθέρμανση του αέρα που εισέρχεται στο ξηραντήριο από τους συλλέκτες (σχ. 2.94).



Σχήμα 2.94: Ηλιακό ξηραντήριο με ηλιακό συλλέκτη.

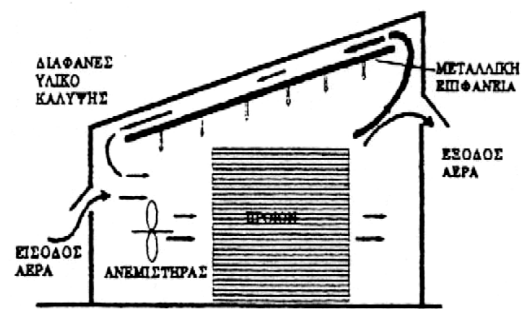
δ. Έμμεσα ηλιακά ξηραντήρια: Στα ξηραντήρια αυτά, τα προς ξήρανση προϊόντα δεν εκτίθενται απευθείας στην ηλιακή ακτινοβολία, αλλά τοποθετούνται σε δίσκους στο εσωτερικό ενός κατάλληλου χώρου. Ο αέρας εισέρχεται στο χώρο με τα προς ξήρανση προϊόντα, αφού προηγουμένως περάσει από συλλέκτες αέρα ή άλλους προθερμαντήρες που το θερμαίνουν σε σχέση με το χρησιμοποιούμενο χώρο. Η μεταφορά του αέρα γίνεται με φυσικό ελκυσμό χρησιμοποιώντας μια ηλιακή καπνοδόχο ή με μηχανικά μέσα.

Ο τύπος αυτός ηλιακών ξηραντηρίων είναι περισσότερο δαπανηρός και συχνά περισσότερο περίπλοκος στην κατασκευή από τα άμεσα ξηραντήρια. Τα ξηραντήρια αυτά χρησιμοποιούνται κυρίως για προϊόντα περισσότερο ευαίσθητα στην ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία των οποίων θα πρέπει να ελέγχεται (θέρμανση για ξήρανση προϊόντων που προορίζονται για σπόρους αναπαραγωγής καθώς και για την ξήρανση προϊόντων με χαμηλή μέγιστη θερμοκρασία). Επίσης, τα έμμεσα ηλιακά ξηραντήρια χρησιμοποιούνται και για την ξήρανση τροφίμων. Η διάρκεια της ξήρανσης είναι μεταβλητή και στις περισσότερες των περιπτώσεων είναι μεγαλύτερη από εκείνη της άμεσης ξήρανσης.

ε. Υβριδικά ξηραντήρια: Η επαρκής θέρμανση του αέρα στα ξηραντήρια αυτά επιτυγχάνεται με τη χρήση εκτός της ηλιακής ενέργειας και μιας συμπληρωματικής ενέργειας (πετρέλαιο, ηλεκτρισμός, ξύλα, κλπ). Τις περισσότερες φορές η ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιείται για την προθέρμανση του αέρα που εισέρχεται στο ξηραντήριο. Τα υβριδικά ξηραντήρια είναι περισσότερο δαπανηρά και χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας ή σε εμπορικές εφαρμογές.

Ένας άλλος διαχωρισμός των ξηραντηρίων που βασίζεται αφενός στη χρησιμοποιούμενη τεχνική ξήρανσης και αφετέρου στον τρόπο θέρμανσης του αέρα που εισέρχεται, είναι ο ακόλουθος:

α. Ξηραντήρια τύπου θερμοκηπίου: Στα ξηραντήρια αυτά η δέσμευση της ηλιακής ενέργειας επιτυγχάνεται μέσα στο χώρο του ξηραντηρίου και ο αέρας αποτελεί το μοναδικό μέσο μετάδοσης της θερμότητας (σχ. 2.95). Τα ξηραντήρια αυτά είναι απλές κατασκευές με οριζόντια ή κεκλιμένη οροφή και προσανατολισμό από ανατολή προς δύση. Η είσοδος τοποθετείται συνήθως στο βορρά και μονώνεται θερμικά. Οι νότιες επιφάνειες καλύπτονται από ένα διαφανές υλικό (γυαλί ή πλαστικό). Το εσωτερικό της κατασκευής βάφεται μαύρο, ενώ η κυκλοφορία στο εσωτερικό του ξηραντηρίου επιτυγχάνεται με ηλεκτρικούς ανεμιστήρες μικρής ισχύος, κατάλληλα τοποθετημένους στις ανατολικές και δυτικές πλευρές της κατασκευής.



Σχήμα 2.95: Ηλιακό ξηραντήριο τύπου θερμοκηπίου.

β. Ξηραντήρια με ηλιακό συλλέκτη: Ο ηλιακός συλλέκτης χρησιμοποιείται για τη θέρμανση του αέρα του ξηραντηρίου και είναι τοποθετημένος έξω από το χώρο ξήρανσης. Το υλικό που χρησιμοποιείται για τη συλλογή και τη μετάδοση της ηλιακής ενέργειας είναι ένα ρευστό

(νερό ή αέρας). Η θερμότητα που δεσμεύεται από το συλλέκτη μεταδίδεται στο χώρο του ξηραντηρίου με κυκλοφορητή νερού ή αέρα. Σε ορισμένα ξηραντήρια η θερμότητα αποθηκεύεται σε δεξαμενές με νερό. Τα ξηραντήρια αυτά είναι περισσότερο δαπανηρά και περίπλοκα.

2.4.5.2.3 Αποξηραμένα προϊόντα

Λαχανικά

Τα αποξηραμένα λαχανικά χωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τη μορφή διάθεσής τους, η οποία αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στη γενίκευση της χρήσης τους:

α. Λαχανικά των οποίων το αρχικό σχήμα δεν έχει ιδιαίτερη σημασία. Διατίθενται υπό μορφή πολτού, σκόνης ροδέλας, κλπ, τόσο στις βιομηχανίες τροφίμων όσο και για ευρεία κατανάλωση. Τα λαχανικά αυτά είναι το κρεμμύδι, η πατάτα, η τομάτα, κλπ.

β. Λαχανικά τα οποία αν και προτιμώνται στο σχήμα που είχαν όταν ήταν νωπά, τεμαχίζονται για οικονομικότερη ξήρανση. Διατίθενται κυρίως στις βιομηχανίες τροφίμων και σε μεγάλα εστιατόρια. Αυτά είναι τα καρότα, τα παντζάρια, κλπ.

Φρούτα

Τα αποξηραμένα φρούτα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

α. Στους ξηρούς καρπούς (σταφίδα, σύκα, δαμάσκηνα)

β. Στα φρούτα που χρησιμοποιούνται στη ζαχαροπλαστική (μήλα, αχλάδια, κλπ.)

Ιχθυρά

Η κατανάλωση αποξηραμένων ψαριών παρουσιάζει σημαντική μείωση τα τελευταία χρόνια και οφείλεται αφενός στην υψηλή τους τιμή και αφετέρου στη στροφή της προτίμησης του κόσμου από τα αποξηραμένα ψάρια στα κατεψυγμένα. Ο μπακαλιάρος, η ρέγκα και ο σολομός είναι τα είδη που προτιμούνται και εισάγονται κυρίως από τις ευρωπαϊκές χώρες με ατλαντική αλιεία. Η εγχώρια παραγωγή περιορίζεται σε ορισμένα είδη (τσίροι, κλπ.).

Στην Ελλάδα, οι περισσότερες μονάδες επεξεργασίας έχουν βιοτεχνικό χαρακτήρα και ο εξοπλισμός τους δεν είναι εκσυγχρονισμένος. Η ανάπτυξη του κλάδου είναι περιορισμένη, καθώς ο κόσμος προτιμά τα είδη που προέρχονται από τον Ατλαντικό, ενώ η εισαγωγή στην Ελλάδα νωπών ψαριών προς ξήρανση είναι αντικοινωνική.

Αλλαντικά

Τα αλλαντικά παρασκευάζονται από μεγάλο αριθμό βιομηχανιών και βιοτεχνιών, οι οποίες βρίσκονται κυρίως στα μεγάλα αστικά κέντρα της Ελλάδας, Αθήνα 50 %, Θεσσαλονίκη 20 % και στους χώρους παραγωγής, όπως η Ήπειρος και η Θράκη 25 %.

Τα αλλαντικά αέρος αποτελούν το 20 – 25 % της συνολικής παραγωγής, τα βραστά το 60 % και τα καπνιστά το 15 – 20 % της ολικής παραγωγής.

Η δυνατότητα ανάπτυξης είναι περιορισμένη και συνδέεται άμεσα με τη βιομηχανοποίηση της ελληνικής κτηνοτροφίας, καθώς και με τη δημιουργία έργων υποδομής (σφαγεία, ψυγεία) κατά το πρότυπο της Δανίας και της Ιρλανδίας.

Γαλακτοκομικά

Τα κυριότερα αποξηραμένα γαλακτοκομικά προϊόντα είναι το γάλα, το οποίο διατίθεται συμπυκνωμένο ή σε μορφή σκόνης, το τριμμένο τυρί και τα παγωτά ή οι κρέμες σε μορφή σκόνης.

Στην Ελλάδα, η ζήτηση καλύπτεται στο μεγαλύτερο μέρος της από εισαγωγές και το υπόλοιπο από την εγχώρια παραγωγή. Σημαντικές εξαγωγές αποξηραμένων προϊόντων δεν γίνονται.

Αυγά

Η ξήρανση θεωρείται ο αποτελεσματικότερος τρόπος συντήρησης των αυγών. Τα αποξηραμένα αυγά χρησιμοποιούνται στη ζαχαροπλαστική, στις βιομηχανίες τροφίμων, ζωοτροφών, φαρμάκων και καλλυντικών.

Στην Ελλάδα, ο μεγαλύτερος καταναλωτής σκόνης αυγών και κόκκων είναι η ζαχαροπλαστική. Η ζήτηση καλύπτεται κυρίως από εισαγωγές. Γενικά, στον Ελλαδικό χώρο δεν υπάρχει σε λειτουργία παραγωγική μονάδα αποξήρανσης αυγών εκτός από ορισμένα εργαστήρια ζαχαροπλαστικής.

Δημητριακά

Τα περισσότερα δημητριακά δεν αποξηραίνονται εκτός από το ρύζι και το καλαμπόκι, για τα οποία απαιτείται μείωση της υγρασίας τους πριν αποθηκευτούν, συνήθως από 24 σε 14 %. Τα περισσότερα συγκροτήματα ξήρανσης των δημητριακών βρίσκονται κοντά στους τόπους παραγωγής, κυρίως στην κεντρική και βόρεια Ελλάδα.

Αρωματικά φυτά

Στα αρωματικά φυτά περιλαμβάνονται προϊόντα της κατηγορίας των μπαχαρικών όπως ρίγανη, δυόσμος, προϊόντα της κατηγορίας των ροφημάτων όπως χαμομήλι, φασκόμηλο, τσάι του βουνού και βιομηχανικά αρωματικά όπως γλυκάνισο, μαραθόσπορος, κορίανθος τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιομηχανία ποτών.

Στην Ελλάδα υπάρχουν περίπου 15 μονάδες ξήρανσης και συσκευασίας αυτών των προϊόντων, εγκατεστημένες κοντά στους τόπους παραγωγής (Αγρίνιο, Ηράκλειο, Καλαμάτα, κλπ.). Τα αρωματικά φυτά είναι γεωργικά προϊόντα τα οποία δεν έχουν αξιοποιηθεί ακόμα επαρκώς στη χώρα μας. Η καλλιέργειά τους είναι περιορισμένη, ενώ ένα μεγάλο μέρος φυτών που συλλέγεται είναι αυτοφυή. Οι δυνατότητες και προοπτικές ανάπτυξης και εκμετάλλευσης των αρωματικών φυτών θεωρούνται άριστες, καθώς το κλίμα και η μορφολογία της χώρας μας καθιστούν τα προϊόντα αυτά σχεδόν μοναδικά παγκοσμίως.

2.4.5.2.4 Υπολογισμός θερμικού φορτίου συμβατικού ξηραντηρίου

Στην παράγραφο αυτή αναλύεται ο τρόπος υπολογισμού του θερμικού φορτίου σε συμβατικά ξηραντήρια.

α. Υπολογισμός θερμικού φορτίου για τη θέρμανση των προϊόντων ξήρανσης

Το φορτίο θέρμανσης (Q_1) για ένα συμβατικό ξηραντήριο υπολογίζεται ως εξής [19]:

$$Q_1 = C \cdot H \cdot (T_1 - T_0) \quad (\Sigma \quad 2.76)$$

όπου: C (kJ/kg·deg) η ειδική θερμότητα του προς ξήρανση προϊόντος (βλέπε και πίν 2.23), H η ποσότητα του προϊόντος (kg), T_1 ($^{\circ}\text{C}$) η θερμοκρασία ξήρανσης και T_0 η αρχική θερμοκρασία του προϊόντος που συμπίπτει με τη μέση θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Συνεπώς, το θερμικό φορτίο εξαρτάται άμεσα από τη θερμοκρασία ξήρανσης του προϊόντος, η οποία είναι διαφορετική για κάθε προϊόν.

Πίνακας 2.23: Ειδική θερμότητα των κυριότερων γεωργικών και κτηνοτροφικών προϊόντων.

Προϊόντα	Ειδική θερμότητα (kJ / kg · ⁰ C)
Σιτάρι	2
Πατάτες	3,5
Φρέσκα Δαμάσκηνα	3,5
Αγγούρια	4,1
Καλαμπόκι	1,7
Φρέσκα Μήλα	3,8
Κρεμμύδια	3,8
Σταφίδες	1,9
Φρέσκα Λάχανα	3,9
Αγκινάρες	3,9
Ρύζι	1,8
Ζάχαρη	1,26
Αλάτι	1,26
Φρέσκα Ψάρια	3,6
Αποξηραμένα Ψάρια	1,8
Γάλα	3,8
Άσπρο Τυρί	3,3
Βούτυρο	2,1
Αυγά	3,4
Αλλαντικά	3,4

β. Υπολογισμός φορτίου για τη θέρμανση του νερού στη θερμοκρασία ξήρανσης

Το φορτίο θέρμανσης του νερού στη θερμοκρασία ξήρανσης (Q_2) υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$Q_2 = C_W \cdot H_W \cdot (T_f - T_a) \quad (\Sigma \quad 2.77)$$

όπου: C_W η ειδική θερμότητα του νερού, H_W η ποσότητα του νερού, T_f η τελική θερμοκρασία του νερού και T_a η αρχική του θερμοκρασία.

2.4.6 Βιομηχανικές εφαρμογές

Σε αυτή την παράγραφο θα γίνει εκτεταμένη αναφορά στην παραγωγή ηλεκτρισμού, με χρήση μονάδων ατμού, μια και η απευθείας μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική παρουσιάστηκε αναλυτικά σε προηγούμενη παράγραφο (βλέπε «φωτοβολταϊκά»). Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν διάφορες εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας στη βιομηχανία, όπως η ψύξη, η άντληση, ενώ τέλος θα αναφερθούν τα κύρια χαρακτηριστικά της αφαλάτωσης με χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας.

2.4.6.1 Παραγωγή ηλεκτρισμού

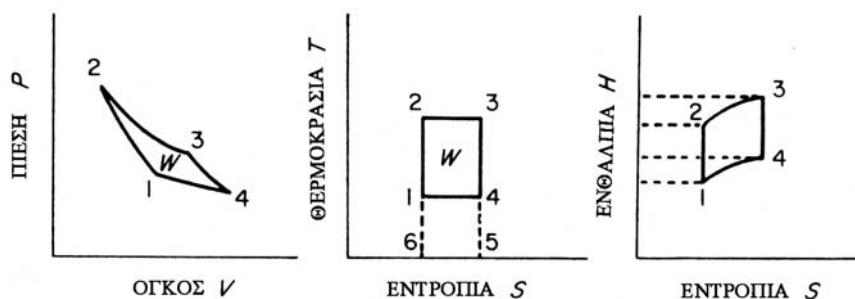
Η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί μια ενδεδειγμένη εναλλακτική λύση στις προσπάθειες προστασίας του περιβάλλοντος. Πέρα από τα περιβαλλοντικά οφέλη που η χρήση ΑΠΕ συνεπάγεται, η λύση αυτή καθίσταται πιο ελκυστική για τόπους όπου οι κλιματολογικές συνθήκες (ηλιακό και αιολικό δυναμικό) είναι ευνοϊκές.

Η μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική μπορεί να επιτευχθεί είτε σε δύο στάδια, για παράδειγμα, αρχικά μετατροπή της ακτινοβολίας σε θερμότητα (π.χ. παθητικά συστήματα, ηλιακοί συλλέκτες) και μετά τη θερμότητα αυτή σε ηλεκτρισμό (μονάδες ατμού), ή εναλλακτικά με απευθείας μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρισμό, χρησιμοποιώντας τη Φ/Β μετατροπή. Μετατροπή δύο σταδίων χρησιμοποιώντας χημική ενέργεια σαν ενδιάμεση μορφή ενέργειας έναντι θερμότητας είναι πιθανή, για παράδειγμα, με χρήση της φωτογαλβανικής μετατροπής. Στην παράγραφο αυτή θα παρουσιαστεί η πρώτη εναλλακτική λύση δηλαδή, η φωτο-θερμοηλεκτρική μετατροπή, ενώ αρχικά θα γίνει μια σύντομη αναφορά στους βασικούς θερμοδυναμικούς μηχανικούς κύκλους (με τους οποίους παράγεται μηχανικό έργο), η χρήση των οποίων είναι απαραίτητη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με αυτή τη μέθοδο.

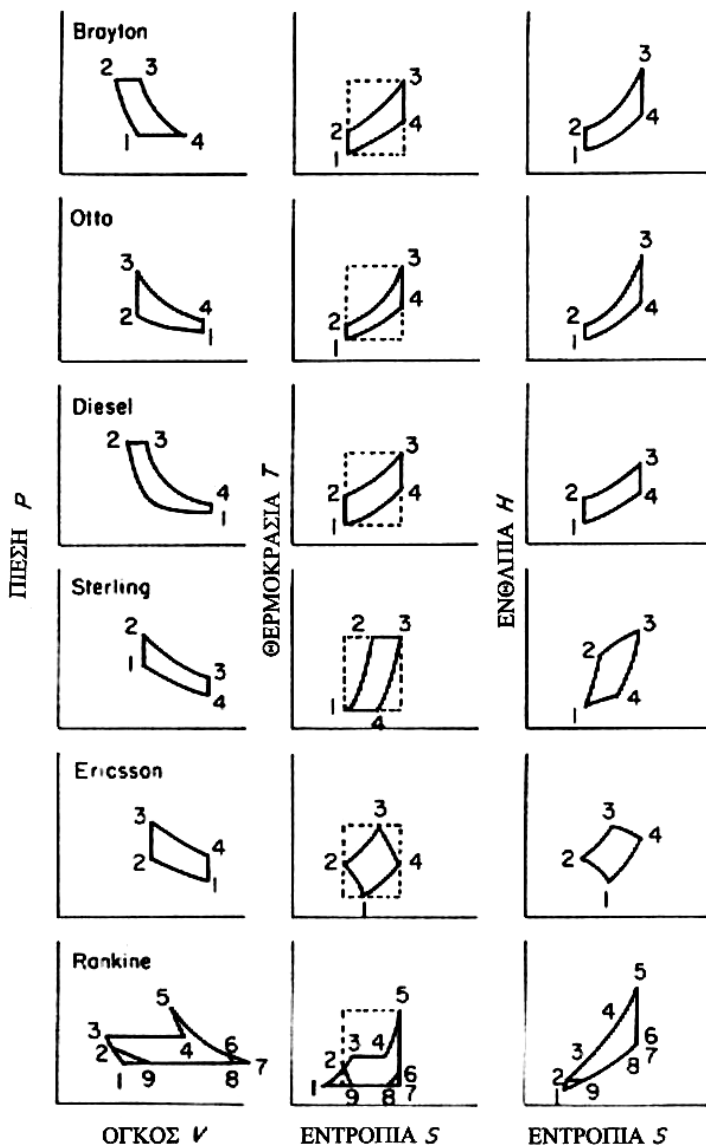
2.4.6.1.1 Θερμοδυναμικοί μηχανικοί κύκλοι

Πλήθος θερμοδυναμικών κύκλων έχουν παρουσιαστεί στην πράξη, προσφέροντας έτσι παραδείγματα τροποποίησης του «πρωτότυπου» κύκλου Carnot σε ένα κύκλο που μπορεί να πραγματοποιηθεί εύκολα σε πεπερασμένο χρονικό διάστημα. Κάθε κύκλος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μετατροπή της θερμότητας σε μηχανικό έργο, αλλά παραδοσιακά η πηγή θερμότητας ήταν η καύση των καυσίμων, ενεργειακή διεργασία κατά την οποία υψηλής ποιότητας χημική ενέργεια υποβαθμίζεται σε θερμότητα ορισμένης θερμοκρασίας με ταυτόχρονη παραγωγή εντροπίας.

Στα σχ. 2.96 και 2.97, παρουσιάζονται διάφοροι μηχανικοί κύκλοι σε διαγράμματα P - V (Πίεσης-Όγκου), T - S (Θερμοκρασίας-Εντροπίας), H - S (Ενθαλπίας-Εντροπίας).



Σχήμα 2.96: Κύκλος Carnot.



Σχήμα 2.97: Διάφοροι μηχανικοί, θερμοδυναμικοί κύκλοι.

Το εργαζόμενο μέσο του κύκλου *Brayton*, είναι ένα αέριο, το οποίο συμπιέζεται αδιαβατικά κατά το στάδιο 1-2 και εκτονώνεται κατά το στάδιο 3-4. Τα άλλα δύο στάδια λαμβάνουν χώρα υπό σταθερή πίεση (ισοβαρείς), ενώ θερμότητα προσφέρεται κατά το στάδιο 2-3. Το ωφέλιμο έργο προσφέρεται από το σύστημα κατά την αδιαβατική εκτόνωση 3-4 και η απόδοση του κύκλου επομένως, είναι το πηλίκο της διαφοράς ενθαλπιών $H_3 - H_4$ προς την αντίστοιχη $H_3 - H_1$. Παραδείγματα συσκευών που λειτουργούν με τον κύκλο *Brayton*, είναι οι αεροστρόβιλοι και οι μηχανές αεριωθούμενων. Σε αυτές τις περιπτώσεις, συνήθως ο κύκλος δεν είναι κλειστός, μια και το αέριο εξέρχεται στο σημείο 4 και επομένως το στάδιο 4-1 απουσιάζει. Το κάπως αντιφατικό όνομα που δίνεται σε τέτοιες διεργασίες είναι «ανοικτού κύκλου».

Ο κύκλος *Otto*, που χρησιμοποιείται ευρέως σε μηχανές αυτοκινήτων, διαφέρει από τον κύκλο *Brayton* στο ότι τα στάδια 2-3 και 4-1 (εάν ο κύκλος είναι κλειστός) πραγματοποιούνται υπό σταθερό όγκο (ισόχωρες) και όχι υπό σταθερή πίεση.

Ο κύκλος *Diesel*, ευρέα διαδεδομένος σε μηχανές πλοίων, έχει τη μεταβολή 2-3 σαν ισοβαρή και την 4-1 σαν ισόχωρη, ενώ τα υπόλοιπα δύο στάδια είναι περίπου αδιαβατικά.

Κοντά στον ιδανικό κύκλο *Carnot* (σχ. 2.96), είναι ο κύκλος *Stirling*, που περιλαμβάνει δύο ισόχωρες (1-2 και 3-4) και δύο ισόθερμες (υπό σταθερή θερμοκρασία).

Ο κύκλος *Ericsson* έχει αναπτυχθεί με σκοπό τη χρήση ζεστού αέρα ως εργαζόμενο μέσο. Αποτελείται από δύο ισόχωρες (2-3 και 4-1) και δυο καμπύλες μεταξύ ισόθερμων και αδιαβατικών.

Ο τελευταίος κύκλος που εμφανίζεται στο σχ. 2.97 είναι ο κύκλος *Rankine*, η μορφή του οποίου είναι πιο πολύπλοκη εξαιτίας της παρουσίας δύο φάσεων του εργαζόμενου μέσου. Η μεταβολή 1-2-3 περιγράφει τη θέρμανση του ρευστού μέχρι το σημείο βρασμού. Το στάδιο 3-4 (ισόθερμη) αντιστοιχεί στην εξάτμιση του ρευστού, όπου συνυπάρχουν και οι δύο φάσεις υγρού - αερίου. Η μεταβολή 4-5 αντιπροσωπεύει την υπερθέρμανση του αερίου, η οποία ακολουθείται από μια αδιαβατική εκτόνωση 5-7. Αυτά τα στάδια συχνά επαναλαμβάνονται μία ή περισσότερες φορές, με την υπερθέρμανση να λαμβάνει χώρα σε σταδιακά χαμηλότερη πίεση μετά από κάθε εκτόνωση μέχρι το σημείο κορεσμού. Τελικά στο στάδιο 7-1 υπάρχουν ανάμικτα και οι δύο φάσεις με συμπύκνωση υπό σταθερή πίεση και θερμοκρασία. Η συμπύκνωση συχνά δεν αρχίζει μέχρι να πέσει η θερμοκρασία κάτω από το σημείο κορεσμού. Ωφέλιμο έργο εξάγεται κατά την εκτόνωση 5-7 και έτσι η απόδοση του κύκλου ορίζεται σαν ο λόγος της διαφοράς ενθαλπιών $H_5 - H_7$ προς την αντίστοιχη $H_5 - H_1$. Ο βαθμός απόδοσης σύμφωνα με τον δεύτερο θερμοδυναμικό νόμο προκύπτει με διαίρεση της παραπάνω απόδοσης με την αντίστοιχη απόδοση του κύκλου *Carnot*.

$$n = \frac{-W}{\Delta Q_{23}} = \frac{T - T_{ref}}{T} \quad (\Sigma 2.78)$$

αντικαθιστώντας όπου $T = T_5$ και όπου $T_{ref} = T_7$.

Θερμοδυναμικοί κύκλοι όπως αυτοί που παρουσιάζονται στα σχ. 2.96 και 2.97 μπορούν να εκτελεστούν με αντίθετη κατεύθυνση, χρησιμοποιώντας έργο προς δημιουργία χαμηλότερων θερμοκρασιών T_{ref} (δροσισμός, ψύξη, όπου T θα είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος) ή προς δημιουργία μιας θερμοκρασίας T υψηλότερης από αυτή του περιβάλλοντος T_{ref} (αντλίες θερμότητας). Σε αυτή την περίπτωση το βήμα 7-5 του κύκλου Rankine είναι μια συμπίεση (8-6-5 αν το αέριο υπερθερμαίνεται). Μετά από ψύξη (5-4), το αέριο συμπυκνώνεται σε σταθερή θερμοκρασία T (4-3) και το ρευστό εκτονώνεται, αφού συνήθως περάσει μέσα από ακροφύσιο. Το πέρασμα αυτό θεωρείται ότι γίνεται ισηνθαλπικά (2-9), αλλά αυτό το στάδιο μπορεί να ακολουθεί υπόψυξη (3-2). Τελικά η μεταβολή 9-8 (ή 9-7) αντιστοιχεί σε εξάτμιση υπό σταθερή θερμοκρασία T_{ref} .

Για μια συσκευή ψύξης, ο βαθμός απόδοσης είναι ο λόγος της θερμότητας που αφαιρείται από το περιβάλλον, $H_7 - H_9$ προς το έργο εισόδου $H_5 - H_7$, ενώ για μια αντλία θερμότητας, είναι ο λόγος της θερμότητας που προσφέρεται $H_5 - H_2$, προς το έργο εισόδου. Τέτοιοι βαθμοί απόδοσης συχνά χαρακτηρίζονται ως «συντελεστές απόδοσης» (COP) και ο βαθμός απόδοσης του δεύτερου θερμοδυναμικού νόμου μπορεί να βρεθεί διαιρώντας τον COP με την αντίστοιχη απόδοση \mathcal{E}_{Carnot} για τον ιδανικό κύκλο Carnot:

$$\mathcal{E}_{Carnot}^{ψύξης} = \frac{\Delta Q_{14}}{W} = \frac{T_{ref}}{T - T_{ref}} \quad \text{και} \quad \mathcal{E}_{Carnot}^{\text{αντλίας θέρμανσης}} = \frac{\Delta Q_{32}}{W} = \frac{T}{T - T_{ref}} \quad (\Sigma 2.79)$$

Στην πράξη, το έργο συμπίεσης $H_5 - H_7$ (για τον κύκλο Rankine) μπορεί να είναι μικρότερο από την ενέργεια που εισάγεται στο συμπιεστή, μειώνοντας έτσι περισσότερο τον COP και την αποδοτικότητα του δεύτερου θερμοδυναμικού νόμου, σε σχέση με την κύρια πηγή υψηλής ποιότητας ενέργειας.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο κύκλος *Stirling* και η εφαρμογή του για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

2.4.6.1.2 Χρήση θερμοδυναμικού κύκλου Stirling στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

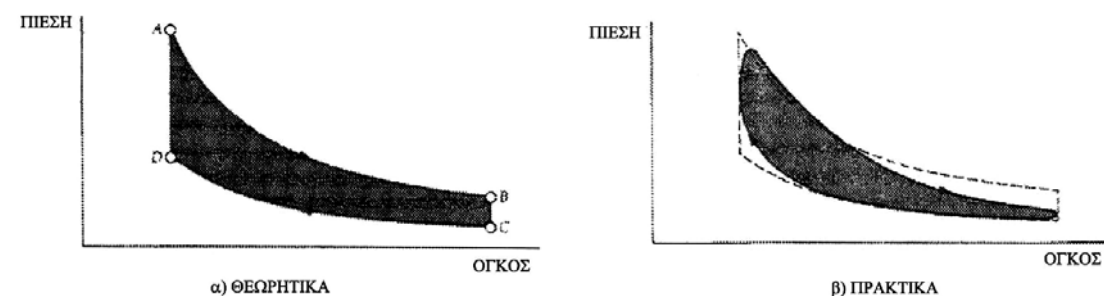
Στις μέρες μας το ενεργειακό πρόβλημα αποτελεί και ένα μείζον περιβαλλοντικό πρόβλημα, λόγω των γνωστών επιπτώσεων που προέρχονται από τις εκπομπές αερίων ρύπων, ενώ οι μακροχρόνιες απειλές από την ταφή πυρηνικών αποβλήτων, όταν η λύση του προβλήματος είναι η χρήση της πυρηνικής ενέργειας, είναι δεδομένη.

Ένας κατεξοχήν περιβαλλοντικά φιλικός θερμοδυναμικός κύκλος μπορεί να συνδυαστεί με ένα σύστημα κάτοπτρου-συλλέκτη ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Πολλές τέτοιες μονάδες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και να δώσουν ένα ηλιακό πάρκο για την κάλυψη περιοχών με μεγάλη ηλιοφάνεια.

Στόχος αυτής της παρουσίασης είναι η εξέταση μιας νέας μεθόδου, η οποία βασίζεται στον μηδενικής ρύπανσης κύκλο του *Stirling*. Έχουν ήδη αναπτυχθεί και στην πράξη εφαρμοστεί μονάδες των 25 kW για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ηλιακά πάρκα πολλών τέτοιων μονάδων (π.χ. 1.000 μονάδων και πλέον) λειτουργούν στην Καλιφόρνια των Η.Π.Α και στην Αλμέρια της Ισπανίας, με κόστος παραπλήσιο των συμβατικών μονάδων.

• Περιγραφή κύκλου Stirling

Ο κύκλος αυτός είναι εξωτερικής καύσεως, περιλαμβάνει δύο ισόθερμες και δύο ισόχωρες μεταβολές (σχ. 2.98α), ενώ πρακτικά εκτελείται σύμφωνα με το σχ. 2.98β.

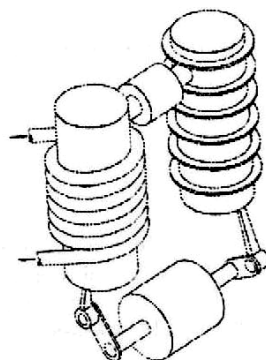


Σχήμα 2.98: Κύκλος Stirling.

Οι ισόχωρες μεταβολές επιτυγχάνονται με ένα «έξυπνο» σύστημα μετάδοσης κίνησης εμβόλων (σχ. 2.99) [20].

Ως γνωστό, μια θερμική μηχανή μετατρέπει τη θερμική ενέργεια σε μηχανικό έργο και για να λειτουργήσει χρειάζεται τα εξής:

- Ένα εργαζόμενο μέσο (ρευστό) που σε κάθε κυκλική μεταβολή που εκτελεί, αποδίδει μηχανικό έργο στο περιβάλλον.
- Μια θερμική πηγή (σε υψηλή θερμοκρασία T_1) που δίνει ένα ποσό θερμότητας στο εργαζόμενο μέσο σε κάθε κύκλο.
- Μια ψυχρή πηγή (σε χαμηλή θερμοκρασία T_4) που δέχεται ένα ποσό θερμότητας από το εργαζόμενο μέσο σε κάθε κύκλο.



Σχήμα 2.99 Εμβολοειδής μετάδοση κίνησης.

Επιπλέον ο κύκλος *Stirling* έχει το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό να χρησιμοποιεί μια διάταξη προσωρινής αποθήκευσης της θερμότητας σε κάθε κύκλο, τον αναγεννητή (*Regenerator* ή *Economizer*). Η λειτουργία του αναγεννητή θα φανεί από την περιγραφή του κύκλου που ακολουθεί. Οι τέσσερις μεταβολές του κύκλου σε ένα ιδανικό αντιστρεπτό κλειστό σύστημα είναι:

1-2 (AB) Ισόθερμη εκτόνωση

Κατά τη μεταβολή αυτή, θερμότητα προσφέρεται από τη θερμή πηγή στο εργαζόμενο μέσο υπό σταθερή θερμοκρασία T_1 . Η προσφερόμενη θερμότητα μεταφέρεται μέσω μηχανικού έργου στο περιβάλλον.

2-3 (BC) Ισόχωρη ψύξη

Θερμότητα απορρίπτεται από το εργαζόμενο μέσο υπό σταθερό όγκο και αποθηκεύεται στον αναγεννητή. Δηλαδή η απόρριψη θερμότητας από το εργαζόμενο μέσο οδηγεί σε μείωση της εσωτερικής ενέργειάς του.

3-4 (CD) Ισόθερμη συμπίεση

Θερμότητα απορρίπτεται από το εργαζόμενο μέσο στη ψυχρή πηγή υπό σταθερή θερμοκρασία T_3 . Δηλαδή η ενέργεια που μεταφέρεται από το περιβάλλον στο εργαζόμενο μέσο, μέσω του μηχανικού έργου, ισούται με τη θερμότητα που αποβάλλεται από το εργαζόμενο μέσο στο περιβάλλον.

4-1 (DA) Ισόχωρη θέρμανση

Η θερμότητα που είχε αποθηκευτεί στον αναγεννητή κατά τη μεταβολή 2-3 αποδίδεται τώρα στο εργαζόμενο μέσο υπό σταθερό όγκο. Δηλαδή η προσφερόμενη θερμότητα στο εργαζόμενο μέσο οδηγεί σε αύξηση της εσωτερικής του ενέργειας.

Απόδοση κύκλου

Σύμφωνα με τον 1^ο θερμοδυναμικό νόμο για τον κύκλο ισχύει:

$$\Delta q = w, \quad \text{όπου } \Delta u = 0 \quad (\Sigma 2.80)$$

Άρα το καθαρό μηχανικό έργο που αποδίδεται από το αέριο στο περιβάλλον σε κάθε κύκλο, ισούται με την καθαρή εισροή θερμότητας από το περιβάλλον στο αέριο κατά τη διάρκεια αυτού του κύκλου. Ενώ η ενέργεια που δαπανάται προκειμένου να παραχθεί το έργο w σε κάθε κύκλο είναι q_{12} . Η απόδοση μιας μηχανής ορίζεται από τη σχέση:

$$\alpha = \frac{\text{Ωφέλιμο Μηχανικό Έργο}}{\text{Δαπανώμενη Ενέργεια}} \quad (\Sigma 2.81)$$

Η αντίστοιχη απόδοση για τον κύκλο *Stirling* παίρνει τη μορφή:

$$\alpha = \frac{w}{q_{12}} = \frac{q_{12} - q_{34}}{q_{12}} = 1 - \frac{q_{34}}{q_{12}} \quad (\Sigma 2.82)$$

Επειδή τα ποσά θερμότητας είναι ανάλογα των θερμοκρασιών η $\Sigma 2.82$ μπορεί να γραφτεί με την ισοδύναμη μορφή:

$$\alpha = 1 - \frac{T_3}{T_1} < 1 \quad (\Sigma 2.83)$$

Έτσι ικανοποιείται και ο 2^{ος} θερμοδυναμικός νόμος, όπου σύμφωνα με τη διατύπωση του *Kelvin - Planck* είναι αδύνατο να κατασκευαστεί μηχανή που μετασχηματίζει τη θερμική ενέργεια σε έργο κατά 100 %. Η σχέση $\Sigma 2.83$ μπορεί να γραφτεί στη γενική μορφή:

$$\alpha = 1 - \frac{\text{Θερμοκρασία}_{\text{ψυχρή}}}{\text{Θερμοκρασία}_{\text{θερμή}}} \quad (\Sigma 2.84)$$

Παρατηρώντας την παραπάνω σχέση, βγαίνει το συμπέρασμα πως όσο πιο υψηλή είναι η θερμοκρασία της θερμής πηγής και όσο πιο χαμηλή η θερμοκρασία στην οποία βρίσκεται η ψυχρή πηγή, τόσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός απόδοσης της μηχανής *Stirling*.

Ο βαθμός απόδοσης δίνεται από τη Σ 2.83 όταν ο αναγεννητής είναι ιδανικός. Δηλαδή όταν η ποσότητα θερμότητας που αποθηκεύεται σε αυτόν κατά τη μεταβολή 2-3 (ισόχωρη ψύξη) είναι ίση με την ποσότητα που απελευθερώνεται κατά τη μεταβολή 4-1 (ισόχωρη θέρμανση) και επομένως ισχύει: $q_{23} = q_{41}$. Στην πραγματικότητα όμως η θερμότητα που απελευθερώνεται (q_{23}') από τον αναγεννητή είναι μικρότερη από αυτή που λαμβάνεται (q_{23}), δηλαδή ισχύει:

$$q_{23}' < q_{23}.$$

Επομένως κατά την ισόχωρη θέρμανση, το ποσό της θερμότητας που προσφέρεται από τον αναγεννητή στο εργαζόμενο μέσο, δεν είναι επαρκές για να επιτευχθεί αύξηση της θερμοκρασίας σε T_1 και κατά συνέπεια είναι αναγκαία η πρόσδοση θερμότητας q από το περιβάλλον. Άρα για την ποσότητα q_{41} ισχύει:

$$\begin{aligned} q_{41} &= q_{23}' + q \Rightarrow \\ q &= q_{41} - q_{23}' \Rightarrow \\ q &= q_{41} - e q_{23} \end{aligned} \quad (\Sigma 2.85)$$

όπου e η απόδοση του αναγεννητή, που ορίζεται ως:

$$e = \frac{q_{23}'}{q_{23}} \quad (\Sigma 2.86)$$

Επομένως η απόδοση του κύκλου είναι:

$$n = \frac{w}{q_{12} + q} = \frac{w_{12} - w_{34}}{q_{12} + q_{41} - e q_{23}} \quad (\Sigma 2.87)$$

Με εφαρμογή των δύο θερμοδυναμικών νόμων η τελευταία γίνεται [20]:

$$\begin{aligned} n &= \frac{R(T_1 - T_3) \ln \frac{v_1}{v_2}}{RT_1 \ln \frac{v_1}{v_2} + (1 - e)c_v(T_1 - T_3)} \Rightarrow \\ n &= \frac{\left(\frac{T_1}{T_3} - 1\right) \ln \frac{v_1}{v_2}}{(1 - e)\left[\frac{1}{\gamma - 1}\right] \left(\frac{T_1}{T_3} - 1\right) + \frac{T_1}{T_3} \ln \frac{v_1}{v_2}} \end{aligned} \quad (\Sigma 2.88)$$

Από την τελευταία σχέση φαίνεται πως ο βαθμός απόδοσης του κύκλου *Stirling* εξαρτάται από τις θερμοκρασίες T_1 , T_3 , τους ειδικούς όγκους v_1 , v_2 , την απόδοση του αναγεννητή και το συντελεστή γ . Ο συντελεστής γ που ονομάζεται πολυτροπικός εκθέτης ορίζεται ως:

$$\gamma = c_p / c_v \quad \text{και ισχύει:} \quad C_v / R = 1 / (\gamma - 1)$$

Άρα ο συντελεστής απόδοσης εξαρτάται και από το εργαζόμενο μέσο. Όταν $e = 1$, από τη Σ 2.88 προκύπτει ο μέγιστος βαθμός απόδοσης.

Αναγεννητής

Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της μηχανής *Stirling* είναι ο αναγεννητής εξαιτίας του διπλού ρόλου του. Αφενός αποτελεί ένα είδος «μονωτή» επειδή βρίσκεται μεταξύ ψυχρών και θερμών περιοχών της μηχανής και διατηρεί τη διαφορά θερμοκρασίας. Αφετέρου αποτελεί ένα δοχείο προσωρινής αποθήκευσης και εναλλαγής θερμότητας με το αέριο, με στόχο τη θέρμανση του τελευταίου όταν είναι ψυχρό και την ψύξη του όταν είναι θερμό. Με άλλα λόγια ο αναγεννητής έχει μικρή πυκνότητα ροής θερμότητας και ταυτόχρονα παρουσιάζει μεγάλη αγωγιμότητα. Τα δύο αυτά χαρακτηριστικά του οφείλονται στην κατασκευή του. Ουσιαστικά πρόκειται για ένα πλέγμα συρμάτων από ανοξείδωτο χάλυβα. Κάθε σύρμα έχει διάμετρο ίση με τη μισή διάμετρο της ανθρώπινης τρίχας και συνολικό μήκος 16 km περίπου. Για μια υδραυλική ακτίνα 0,02 mm το εμβαδόν της επιφάνειας ανά m^3 είναι $1.000 m \cdot 50 m$ που είναι ισοδύναμο ανά m^3 με το εμβαδόν της επιφάνειας ενός αεροδρομίου. Ο αναγεννητής διατηρεί μια διαφορά θερμοκρασίας 600 K σε μια απόσταση 20 mm περίπου, που αντιστοιχεί σε μια βαθμίδα $\partial T / \partial x$ 30.000 K/m

Σύγκριση κύκλων Carnot-Stirling

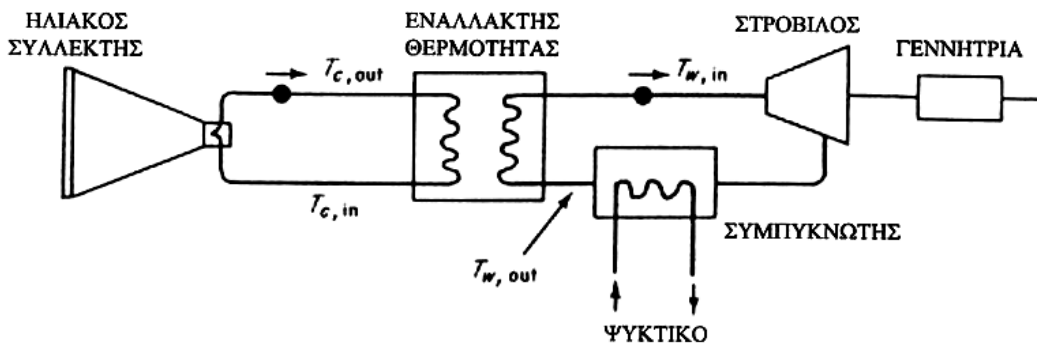
Ο μέγιστος θεωρητικός βαθμός απόδοσης της μηχανής Stirling (Σ 2.63) ταυτίζεται με τον αντίστοιχο της μηχανής Carnot, που είναι και ο μέγιστος που μπορεί να επιτευχθεί σε μια θερμική μηχανή που λειτουργεί στις ίδιες θερμοκρασίες. Ουσιαστικά με τη χρήση αναγεννητή οι ισόχωρες μεταβολές του κύκλου Stirling αποκτούν το «πλεονέκτημα» των αδιαβατικών δηλαδή τη μηδενική ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ περιβάλλοντος-εργαζόμενου μέσου. Έτσι για την ίδια απόδοση, το έργο που παράγεται είναι μεγαλύτερο ανά κύκλο από ότι στη μηχανή Carnot.

2.4.6.1.3 Φώτο-θερμοηλεκτρική μετατροπή

Η χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα της ηλιακής ακτινοβολίας (μέγιστη ένταση στην επιφάνεια της γης $\approx 1kW/m^2$) καθιστά απαραίτητη τη συγκέντρωση της, προκειμένου να επιτευχθούν οι μεγάλες σχετικά θερμοκρασίες που απαιτούνται ώστε να χρησιμοποιηθούν συμβατικοί θερμοδυναμικοί κύκλοι.

Από το σύνολο της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας μόνο το άμεσο τμήμα της μπορεί να συγκεντρωθεί (ανακλαστικές επιφάνειες, συστήματα φακών). Για το λόγο αυτό εγκαθίστανται μηχανισμοί με τους οποίους οι συλλέκτες παρακολουθούν την τροχιά του ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας. Η παρακολούθηση της τροχιάς του ήλιου γίνεται με κίνηση των συλλεκτών σε έναν ή δύο άξονες.

Μια συσκευή μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική (δύο στάδια) παρουσιάζεται στο σχ. 2.100.



Σχήμα 2.100: Φώτο – Θερμοηλεκτρική γεννήτρια

Οι κυριότερες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για ηλεκτροπαραγωγή (φωτοθερμική μετατροπή) είναι οι εξής:

Παραβολικός κοίλος συλλέκτης (Parabolic Trough Collector)

Παράλληλες σειρές παραβολικών κατόπτρων παρακολουθούν τον ήλιο στον άξονα Α-Δ και συγκεντρώνουν την άμεση ακτινοβολία 10 έως 100 φορές (γραμμική εστίαση). Στο στοιχείο συλλογής θερμότητας, το υγρό μεταφοράς θερμότητας (ΥΜΘ), συνήθως συνθετικό λάδι, θερμαίνεται ως τους 400 °C και στη συνέχεια παράγει ατμό για τον αμοστρόβιλο. Στην απλούστερη περίπτωση το ΥΜΘ είναι νερό. Οι θερμοδυναμικές ιδιότητες του νερού θέτουν περιορισμούς στη μέγιστη θερμοκρασία μεταφοράς της θερμότητας εξαιτίας της μεγάλης αύξησης της απαιτούμενης πίεσης λειτουργίας, όσο περισσότερο υπερβαίνονται οι 100 °C. Οι προσπάθειες για την ανάπτυξη τεχνολογίας απευθείας ατμοποίησης του νερού στους ηλιακούς συλλέκτες βρίσκονται σε εξέλιξη χρηματοδοτούμενες από τα ευρωπαϊκά προγράμματα.

Ηλιακός πύργος (Solar Central Receiver or Power Tower)

Σε έναν ηλιακό πύργο, μεγάλος αριθμός ανακλαστήρων που κινούνται αυτόνομα ο καθένας συγκεντρώνουν από 300 έως 1.500 φορές την ηλιακή ακτινοβολία στην κορυφή ενός πύργου. Η θερμοκρασία του θερμαινόμενου μέσου μπορεί να φθάσει τους 1.500 °C, ενώ στη συνέχεια παράγεται ατμός για τροφοδοσία αμοστρόβιλου.

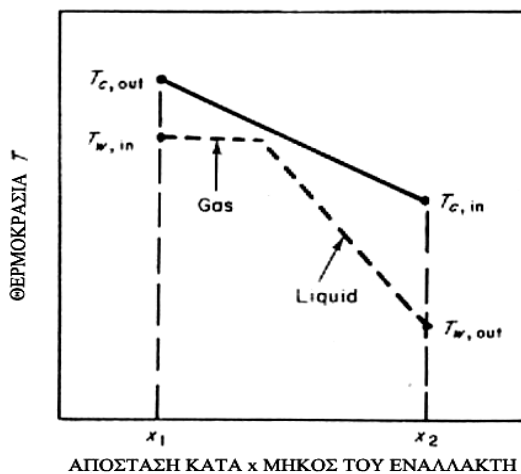
Ηλιακός δίσκος (Parabolic Dish)

Με τη βοήθεια των παραβολικών ανακλαστικών δίσκων, η ηλιακή ακτινοβολία συγκεντρώνεται στο εστιακό σημείο 600 έως 2.000 φορές επιτυγχάνοντας θερμοκρασίες άνω των 1.500 °C. Η απορροφούμενη θερμότητα είτε τροφοδοτεί κινητήρα Stirling τοποθετημένο στο εστιακό σημείο του παραβολικού δίσκου, είτε μεταφέρεται κεντρικά σε αμοστρόβιλο. Συστήματα αυτού του τύπου μπορούν να παράγουν από 5 έως 25 kW ηλεκτρικής ενέργειας και έχουν την καλύτερη απόδοση από όλα τα άλλα θερμικά συστήματα ηλεκτροπαραγωγής.

Το δεύτερο στάδιο πραγματοποιείται από ένα θερμοδυναμικό μηχανικό κύκλο, για παράδειγμα, ένα κύκλο Rankine με εκτόνωση μέσω στροβίλου όπως φαίνεται στο σχ. 2.65. Λόγω της εξάτμισης του εργαζόμενου υγρού στον εναλλάκτη θερμότητας που συνδέει τα δύο στάδια μετατροπής, η εναλλαγή θερμότητας δεν ακολουθεί την απλή περιγραφή που οδηγεί στη σχέση Σ 2.89:

$$(T_1 - T_2) = (T_1 - T_3) \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{h}{J_m \cdot C_p^{υγρ\acute{o}}}\right) \right] \quad (\Sigma 2,89)$$

Η θερμοκρασιακή συμπεριφορά στον εναλλάκτη θερμότητας μοιάζει περισσότερο με αυτή που παρουσιάζεται στο σχ. 2.101. Το υγρό που βρίσκεται μέσα στο κύκλωμα του συλλέκτη μειώνει τη θερμοκρασία του με σταθερό ρυθμό, σε συνάρτηση με την απόσταση που διανύει μέσα στον εναλλάκτη, από το σημείο x_1 στο σημείο x_2 . Το εργαζόμενο υγρό εισέρχεται στον εναλλάκτη στο σημείο x_2 , θερμαίνεται μέχρι το σημείο βρασμού, μετά το οποίο η περαιτέρω εναλλαγή θερμότητας χρησιμοποιείται για την εξάτμισή του (και ίσως υπερθέρμανση του αερίου), έτσι ώστε η καμπύλη της θερμοκρασίας μετά από κάποιο σημείο γίνεται σχεδόν οριζόντια.



Σχήμα 2.101: Μεταβολή της θερμοκρασίας των ρευστών σε εναλλάκτη δύο φάσεων.

Ο θερμοδυναμικός μηχανικός κύκλος (στη δεξιά μεριά του σχ. 2.101) μπορεί να περιγραφεί με τη μέθοδο που παρουσιάστηκε, με την απόδοση της μετατροπής θερμότητας σε ηλεκτρισμό να δίνεται από τη σχέση Σ 2.72:

$$n_w = \frac{E^{\text{ηλεκτρική}}}{J_{Q,in}^w} \leq \frac{T_{w,in} - T_{w,out}}{T_{w,in}} \quad (\Sigma 2.90)$$

(με ανώτατο όριο την απόδοση του ιδανικού κύκλου Carnot)

όπου: $E^{\text{ηλεκτρική}} = -Jq \cdot Fq$ (Σ 2.91)

είναι η ηλεκτρική ισχύς στην έξοδο με [2]:

$$Jq = dq/dt \text{ (ηλεκτρικό ρεύμα) και } Fq = R_{int} Jq - \alpha(T - T_{ref}) \text{ (ηλεκτρική δύναμη)} \quad (\Sigma 2.92)$$

R_{int} [Ω], είναι η εσωτερική αντίσταση του αγωγού και α ο συντελεστής Seebeck διαφορετικός για κάθε υλικό και ανεξάρτητος της θερμοκρασίας (Angrist 1976).

και $J_{Q,in}^w = J_m^c \cdot C_p^c \cdot (T_{c,out} - T_{c,in})$ (Σ 2.93)

ο ρυθμός μεταφοράς της θερμότητας από το κύκλωμα του συλλέκτη στο κύκλωμα του εργαζόμενου υγρού, μέσα στον εναλλάκτη. Το δεξιό μέρος της εξίσωσης δίνεται από τη Σ 2.88 για συγκεντρωτικό ηλιακό συλλέκτη και από τη Σ 2.89 για επίπεδο συλλέκτη. Η συνολική απόδοση της μετατροπής είναι το γινόμενο του βαθμού απόδοσης η_c του συστήματος των συλλεκτών και του η_w ,

$$\eta = \eta_c \cdot \eta_w$$

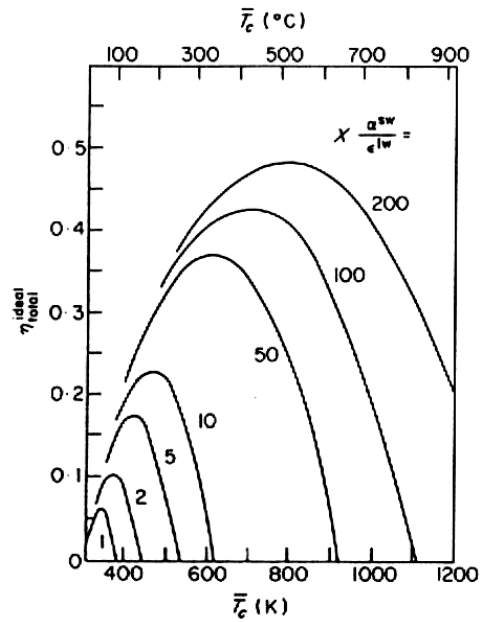
(Σ 2.94)

Ο καθορισμός των τεσσάρων θερμοκρασιών $T_{c,in}$, $T_{c,out}$, $T_{w,in}$ και $T_{w,out}$ απαιτεί μια εξίσωση για την απόδοση του συλλέκτη, μία για τη μεταφορά θερμότητας στο υγρό του συλλέκτη, μία για τη μεταφορά θερμότητας στον εναλλάκτη και μία για τις διαδικασίες που σχετίζονται με το εργαζόμενο υγρό του θερμοδυναμικού κύκλου. Αν η απόδοση του συλλέκτη θεωρηθεί ότι εξαρτάται μόνο από τη μέση θερμοκρασία του \bar{T}_c ,

$$\bar{T}_c = T_{c,in} + T_{c,out} \tag{Σ 2.95}$$

και αν θεωρήσουμε τις $T_{w,in}$ και \bar{T}_c περίπου ίσες (η εικ 2.54 δείχνει ότι αυτή είναι μια ορθή παραδοχή), τότε το άνω όριο του η_w είναι περίπου $\eta_w \leq \frac{\bar{T}_c - T_{w,out}}{\bar{T}_c}$.

Θέτοντας $T_{w,out}$ ίση με 300 K (τιμή που καθορίζεται από τη ροή του ψυκτικού μέσα από το συμπυκνωτή) και αντικαθιστώντας το η_c με την ιδεατή τιμή του (Σ 2.36), ο συνολικός βαθμός απόδοσης μπορεί να υπολογιστεί όπως φαίνεται στο σχ. 2.102 [2], ως συνάρτηση του \bar{T}_c . Οι παραδοχές για το $\eta_c^{\text{ιδανικό}}$ φαίνονται στο σχ. 2.102: δεν υπάρχουν απώλειες θερμότητας λόγω συναγωγής (αυτό μπορεί να είναι σημαντικό για επίπεδους συλλέκτες ή συλλέκτες με μέτριο βαθμό συγκέντρωσης) και προσπίπτουσα ροή ακτινοβολίας 800 W/m^2 στον απορροφητή (για ισχυρά συγκεντρωτικούς συλλέκτες αυτή θα πρέπει επίσης να είναι άμεση ακτινοβολία). Αυτό πολλαπλασιάζεται με $\eta_w^{\text{ιδανικό}}$ (το όριο του Carnot) για να αποδώσει το $\eta_{\text{ολικό}}^{\text{ιδανικό}}$ που φαίνεται στο σχ. 2.104, με περαιτέρω παραδοχές για τη μέση θερμοκρασία και την πτώση της θερμοκρασίας στον εναλλάκτη, οι οποίες επέτρεψαν την εισαγωγή του \bar{T}_c ως βασική μεταβλητή και στο $\eta_c^{\text{ιδανικό}}$, αλλά και στο $\eta_w^{\text{ιδανικό}}$.



Σχήμα 2.102: Ιδανική απόδοση φωτο – θερμοηλεκτρικής μετατροπής.

Σε πραγματικές καταστάσεις, η ακτινοβολία που φτάνει στον απορροφητή ενός συστήματος συγκεντρωτικών συλλεκτών είναι ίσως η μισή από τη συνολική προσπίπτουσα ροή $E_{s,\gamma}^{sw}$ και ο η_w είναι περίπου το 70 % του βαθμού απόδοσης του κύκλου Carnot, π.χ. $\eta_{\text{ολικό}} = 0,3 \cdot \eta_{\text{ολικό}}^{\text{ιδανικό}}$.

Αυτή η εκτίμηση μπορεί επίσης να θεωρηθεί βάσιμη και για συγκέντρωση μικρού βαθμού, αφού το αυξημένο κλάσμα του $E_{s,\gamma}^{sw}$ που απορροφάται, αντισταθμίζεται από τις υψηλές απώλειες λόγω συναγωγής. Συνεπώς οι τιμές του $\eta_{ολικό}^{ιδανικό}$ μεταξύ 6 και 48 %, που φαίνονται στο σχ. 2.104 για κατάλληλες τιμές του $\overline{T_c}$ (αυτό μπορεί να ρυθμιστεί αλλάζοντας το ρυθμό ροής του υγρού J_m^c), μπορούν να αντιστοιχούν σε πραγματικούς βαθμούς απόδοσης από 2 μέχρι 15 %, για τιμές του $X_{\alpha,sw} / \varepsilon^{1w}$ που αυξάνουν από 1 μέχρι 200.

Η μορφή των καμπύλων του σχ. 2.104 είναι αποτέλεσμα της αύξησης του $\eta_w^{ιδανικό}$ σαν συνάρτηση της $\overline{T_c}$, η οποία αντισταθμίζεται από την αντίστοιχη δραματική μείωση του $\eta_c^{ιδανικό}$

2.4.6.1.4 Οικονομοτεχνικά στοιχεία σύγκρισης

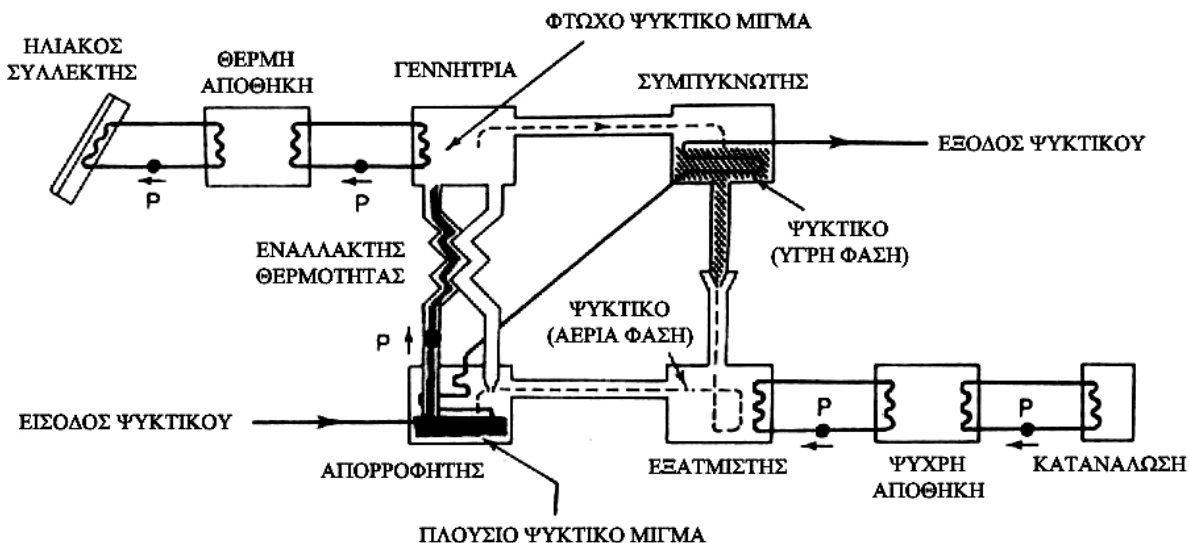
Το κόστος κεφαλαίου των ηλιοθερμικών σταθμών είναι υψηλότερο από το κόστος κεφαλαίου των συμβατικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι στους ηλιοθερμικούς σταθμούς δεν υπάρχει κόστος καυσίμων, λειτουργούν τυπικά μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας και επιπλέον δεν επιβαρύνουν το περιβάλλον.

Σύμφωνα με πρόσφατα οικονομικά στοιχεία ηλιοθερμικού σταθμού που λειτουργεί στις ΗΠΑ το συνολικό κόστος της εγκατάστασης ανέρχεται σε \$ 300 εκατομμύρια, ενώ το κόστος ανά εγκατεστημένο kW είναι \$ 2.000 [20]. Έτσι για τα πρώτα δέκα χρόνια λόγω αποσβέσεων το κόστος παραγωγής ενέργειας είναι \$ 0,155 ανά kW, ενώ μετά μειώνεται σε \$ 0,1 ανά kW. Αν για παράδειγμα, αυξηθεί η χρήση των μηχανών Stirling, με όλα τα πλεονεκτήματα που συνεπάγεται το γεγονός αυτό, με αποτέλεσμα αύξηση της παραγωγής τους σε 10.000 με 20.000 μονάδες το χρόνο, τότε θα μειωθεί το κόστος κεφαλαίου του συστήματος σε \$ 1.000 ανά εγκατεστημένο kW [20]. Επιπρόσθετα αν η μηχανή Stirling λειτουργεί σε υβριδική μορφή, δηλαδή χρησιμοποιώντας φυσικό αέριο (το οποίο έχει λιγότερες εκπομπές καυσαερίων σε σύγκριση με τα συμβατικά καύσιμα) όταν δεν είναι διαθέσιμη η ηλιακή ενέργεια, το κόστος ηλεκτρισμού μειώνεται σε \$ 0,04 ανά kWh. Έτσι οι εγκαταστάσεις αυτές γίνονται ανταγωνιστικές σε σχέση με άλλες μεθόδους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Αρκετά συστήματα ηλεκτροπαραγωγής βρίσκονται εγκατεστημένα σε ερευνητικά κέντρα σε όλο τον κόσμο. Εννέα ηλιακοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρισμού με παραβολικούς συλλέκτες, συνολικής εγκατεστημένης ισχύς 354 MWe, λειτουργούν εμπορικά στην Καλιφόρνια [20].

2.4.6.2 Εφαρμογές για ψύξη και άντληση

Το ηλιακό ψυκτικό σύστημα μπορεί να αποτελείται από επίπεδους συλλέκτες, οι οποίοι διανέμουν την απορροφούμενη ενέργεια σε μια «θερμή αποθήκη» που χρησιμοποιείται για να προωθήσει έναν απορροφητικό ψυκτικό κύκλο (σχ. 2.103 [2]), αντλώντας θερμότητα από την «ψυχρή αποθήκη», στην οποία είναι συνδεδεμένες οι επιφορτισμένες περιοχές. Στην πράξη μόνο μια αποθήκη χρειάζεται, αλλά και με τις δύο το σύστημα μπορεί ταυτόχρονα να καλύψει τις ανάγκες για θέρμανση αλλά και για ψύξη.



Σχήμα 2.103: Απορροφητικός ψυκτικός κύκλος.

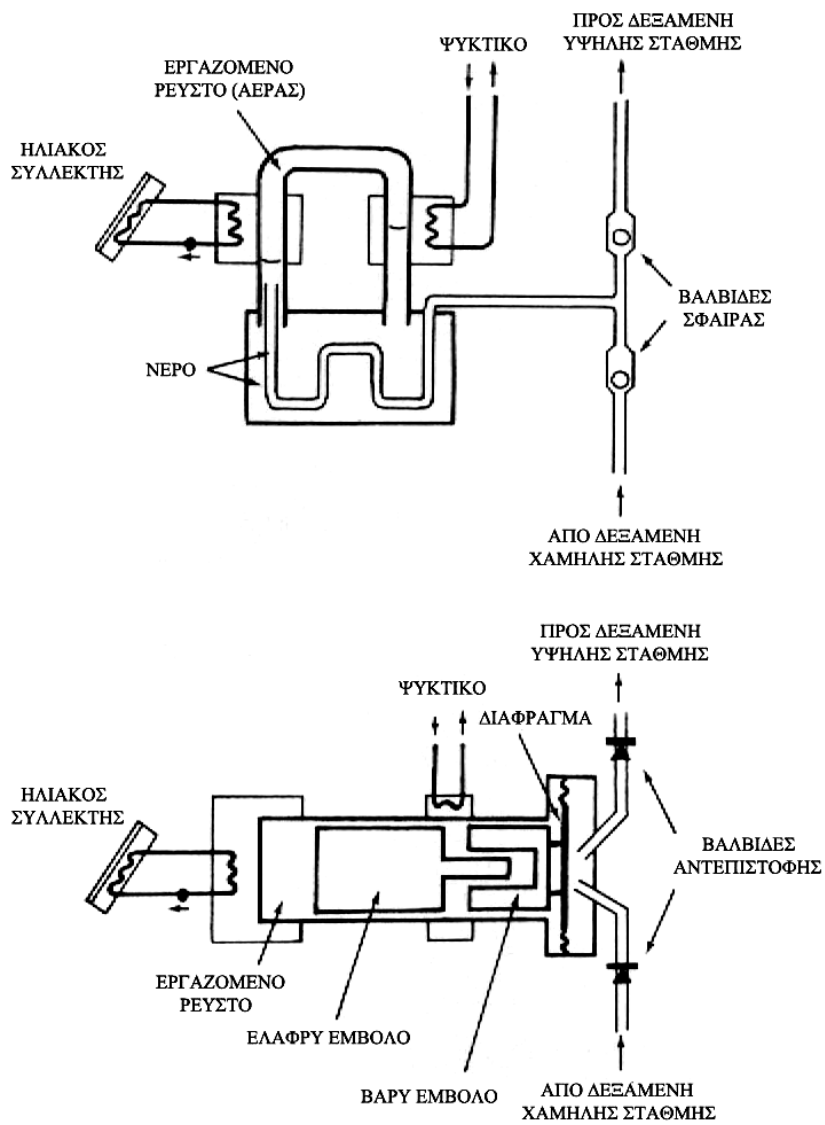
Ο απορροφητικός ψυκτικός κύκλος που παρουσιάζεται στο σχ. 2.103 επιτυγχάνεται μέσω ενός απορροφητικού – ψυκτικού μίγματος, όπως $\text{LiBr} - \text{H}_2\text{O}$ ή $\text{H}_2\text{O} - \text{NH}_3$. Το υδάτινο μίγμα λιθίου – βρόμιου είναι καταλληλότερο για συστήματα με επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες, προσφέροντας μεγαλύτερη αποδοτικότητα από ότι το υδάτινο μίγμα αμμωνίας σε θερμοκρασίες χαρακτηριστικές για τους επίπεδους συλλέκτες. Το LiBr είναι υγροσκοπικό, δηλαδή μπορεί να αναμιχθεί με το νερό σε οποιαδήποτε αναλογία. Η θερμότητα που παράγεται εξαιτίας της ηλιακής ακτινοβολίας, χρησιμοποιείται σε μια γεννήτρια για να εξατμίσει ορισμένο νερό από το μίγμα. Αυτός ο ατμός συμπυκνώνεται σε μια μονάδα συμπίκνωσης με τη χρήση ψυκτικού υγρού, εκτονώνεται για να ξαναποκτήσει αέρια φάση απορροφώντας ενέργεια από την περιοχή υπό ψύξη και επιστρέφει στον συμπυκνωτή. Εδώ απορροφάται από το μίγμα $\text{LiBr} - \text{H}_2\text{O}$ με τη βοήθεια της ροής του ψυκτικού υγρού. Η θερμοκρασία εισόδου του ψυκτικού υγρού είναι συνήθως αυτή του περιβάλλοντος και το ίδιο ψυκτικό υγρό περνάει μέσα από τον απορροφητή και το συμπυκνωτή. Έτσι η θερμοκρασία εξόδου του ψυκτικού υγρού είναι μεγαλύτερη από αυτή του περιβάλλοντος και ο ψυκτικός κύκλος μπορεί να γίνει κλειστός με την ανταλλαγή της περίσσειας θερμότητας με το περιβάλλον (π.χ. σε ένα πύργο ψύξης). Το πλούσιο ψυκτικό μίγμα στον απορροφητή αντλείται πίσω στη γεννήτρια και αντικαθίσταται με την ανακύκλωση του φτωχού ψυκτικού μίγματος, από τη γεννήτρια στον απορροφητή (π.χ. μέσα από ένα σύστημα ψεκασμού). Για την αποφυγή απώλειας ηλιακής θερμότητας ή ψυκτικής ροής, τα δύο ρεύματα του απορροφητικού – ψυκτικού μίγματος εναλλάσσουν θερμότητα σε έναν εναλλάκτη. Η χρησιμότητα ενός απορροφητικού – ψυκτικού ζεύγους καθορίζεται από την εξάρτηση της θερμοκρασίας από τις διαδικασίες εξάτμισης και απορρόφησης.

Σε ξηρά κλίματα, μια πολύ απλή μέθοδος ψύξης είναι ο ψεκασμός νερού σε ένα ρεύμα αέρα. Σε περίπτωση που η υγρασία του αέρα παραμένει η ίδια, ο αέρας θα πρέπει πρώτα να ξηραθεί και μετά να ψυχθεί, με την εξάτμιση νερού μέσα του, μέχρι την επαναφορά της αρχικής τιμής της υγρασίας.

Θεωρητικά, ψύξη μέσω της ηλιακής ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί μετατρέποντας την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρικό ρεύμα, και στη συνέχεια χρήση του ηλεκτρικού ρεύματος για την πραγματοποίηση ενός ψυκτικού θερμοδυναμικού κύκλου, όπως ο κύκλος του Rankine.

Το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση που η επιθυμητή ενέργεια είναι σε μορφή έργου, όπως κατά την άντληση νερού από μια δεξαμενή σε μία άλλη που βρίσκεται ψηλότερα. Παρόλα αυτά, στην πράξη, οι θερμοδυναμικοί κύκλοι που αναφέρθηκαν χρησιμοποιούνται απευθείας

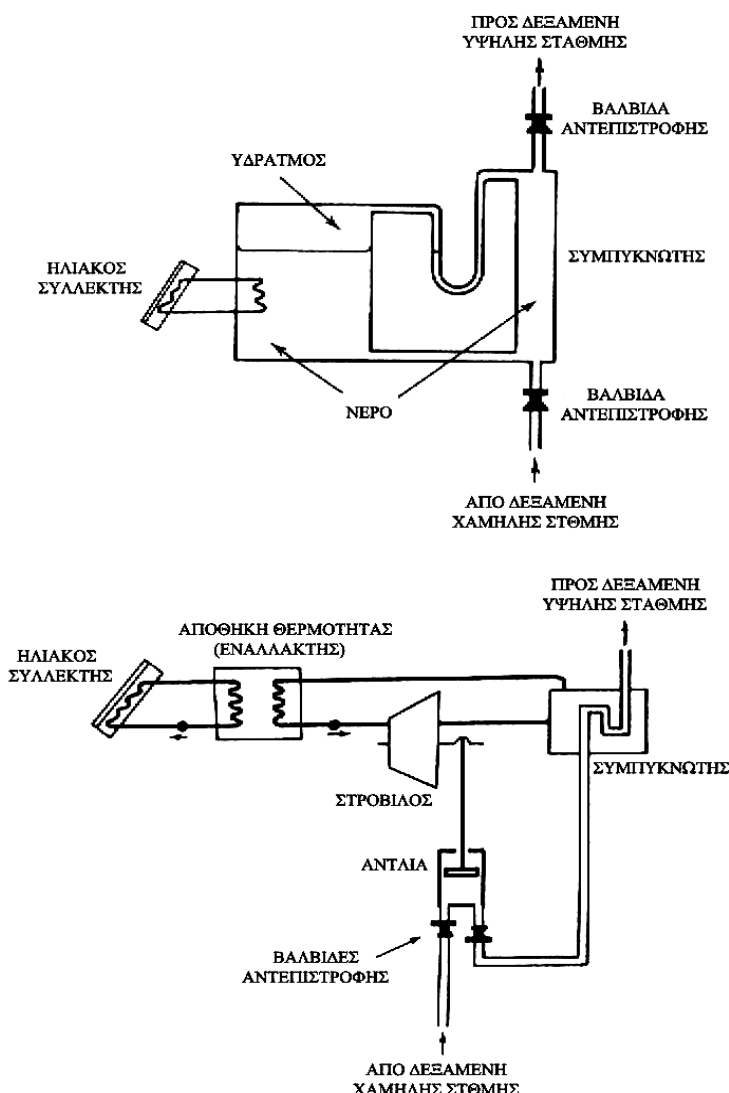
για την παραγωγή μηχανικού έργου μέσω μιας αντλίας, με βάση τη θερμότητα που εξασφαλίζεται από έναν ηλιακό συλλέκτη. Το σχ. 2.104 [2] δείχνει δύο ειδών διατάξεις βασισμένες στον κύκλο του Stirling, που χρησιμοποιούν αέρα ή κάποιο άλλο αέριο ως εργαζόμενο ρευστό.



Εικόνα 2.104: Ηλιακές αντλίες βασισμένες στον κύκλο Stirling.

Στο πάνω μέρος του 2.104, δύο σφαιρικές βαλβίδες εξασφαλίζουν μια ταλαντωτική, αντλητική κίνηση του νερού, που διατηρείται από την τάση των θερμοκρασιακών διαφορών στο εργαζόμενο ρευστό να μετακινούν αέρα από τα κρύα στα θερμά στρώματα. Στο κάτω μέρος του σχ. 2.104 φαίνεται μια μηχανή Stirling ελεύθερου εμβόλου, στην οποία η ταλαντωτική συμπεριφορά επιτυγχάνεται μέσω δύο εμβόλων διαφορετικής μάζας, με το βαρύτερο να καθυστερεί κατά μισή περίοδο ταλάντωσης σε σχέση με το ελαφρύτερο. Η πραγματική άντληση του νερού γίνεται από τις κινήσεις της μεμβράνης ενός διαφράγματος, αλλά αν η ισχύς είναι αρκετή, το διάφραγμα μπορεί να αντικατασταθεί με μια εμβολοειδή αντλία. Για διεργασίες κύκλων Stirling το εργαζόμενο μέσο θεωρείται αέριο. Αυτός είναι ένας αποτελεσματικός κύκλος σε υψηλότερες θερμοκρασίες (π.χ. με τη χρήση συγκεντρωτικών ηλιακών συλλεκτών), αλλά αν η θερμότητα που παρέχεται από τους (επίπεδους) ηλιακούς συλλέκτες είναι κάτω από τους 100 °C, μεγαλύτερη αποδοτικότητα μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας ένα διφασικό υγρό.

Στο σχ. 2.105 [2] παρουσιάζονται δύο «ηλιακές» αντλίες τύπου Rankine, βασισμένες σε ένα κύκλο υγρού – αερίου και σε έναν κύκλο αερίου – υγρού.



Σχήμα 2.105: Ηλιακές αντλίες βασισμένες στον κύκλο Rankine.

Αυτή που απεικονίζεται στο πάνω μέρος του σχ. 2.105 βασίζεται σε μια κυκλική διεργασία. Η αύξηση της θερμοκρασίας εξατμίζει νερό στη δεξαμενή στα αριστερά, προκαλώντας την άντληση του νερού μέσω της ανώτερης βαλβίδας μιας κατεύθυνσης (αντεπιστροφής). Όταν ο ατμός φτάσει στο κατώτερο σημείο του σωλήνα μορφής U, μετακινείται όλος στη δεξαμενή στα δεξιά και συμπυκνώνεται. Τότε νέα ποσότητα νερού αντλείται από την κάτω δεξαμενή και ο κύκλος άντλησης ξεκινάει από την αρχή. Τέτοιου είδους αντλίες προορίζονται για πηγάδια μικρού βάθους, κάτω των 10 m.

Στο κάτω μέρος του σχ. η 2.105 παρουσιάζεται μια αντλία που λειτουργεί με μια συμβατική μηχανή Rankine, εκτονώνοντας το εργαζόμενο υγρό σε αέρια μορφή με τη βοήθεια ενός στροβίλου και συμπυκνώνοντας το αέριο χρησιμοποιώντας ως ψυκτικό μέσο, νερό που αντλήθηκε, πριν την επιστροφή του εργαζόμενου υγρού στον εναλλάκτη θερμότητας, ο οποίος δέχεται θερμότητα απορροφημένη από τον ήλιο. Για όλες τις αντλίες που είναι βασισμένες σε έναν θερμοδυναμικό κύκλο, η μέγιστη απόδοση (η οποία δεν μπορεί να επιτευχθεί σε πεπερασμένο χρόνο) δίνεται από τη Σ 2.96:

$$\eta = \frac{-W}{\Delta Q_{23}} = \frac{T - T_{\text{ref}}}{T}$$

(Σ 2,96)

και η πραγματική απόδοση από μια έκφραση της μορφής:

$$\eta^{2nd\ law} = \frac{E}{\max(E)}$$

(Σ 2.97)

2.4.6.3 Αφαλάτωση

Το καλής ποιότητας νερό τείνει να γίνει όλο και περισσότερο σπάνιο, ιδιαίτερα σε μεγάλα αστικά κέντρα, όπου τα αποχετευτικά ύδατα αυξάνουν ραγδαία, μολύνοντας έτσι το περιβάλλον. Τα τελευταία χρόνια οργανώσεις και βιομηχανίες προσπαθούν σκληρά να «καθαρίσουν» όλα τα εκρέοντα λύματα πριν την διοχέτευση τους στη θάλασσα ή σε οποιοδήποτε άλλο υδάτινο σύστημα. Παρόλα αυτά, τα μεγάλα ποσά μολυσμένων λυμάτων παραμένουν ένα οξύ πρόβλημα για πολλές περιοχές παγκοσμίως. Επιπλέον, οι καλής ποιότητας υδάτινες πηγές και τα αποθέματα μειώνονται με γοργούς ρυθμούς, μια και τα ποτάμια, τα υδάτινα ρεύματα, οι λίμνες, τα πηγάδια, ακόμα και τα θαλάσσια νερά, μολύνονται συνεχώς. Τα θαλάσσια και τα υπόγεια νερά είναι διαθέσιμα σε μεγάλα ποσά, αλλά όχι για άμεση χρήση. Από την άλλη μεριά, η αφαλάτωση των θαλάσσιων ή των υπογείων νερών περιορίζει το περιεχόμενό τους σε αλάτι, μετατρέποντας τα σε νερά κατάλληλα για κάθε χρήση. Η αφαλάτωση εφαρμόζεται σήμερα, ως βιομηχανική μέθοδος, σε υψηλής δυναμικότητας εργοστάσια, σε μέρη όπου τα υδάτινα αποθέματα λιγοστεύουν. Έτσι λοιπόν τα μέρη αυτά, εξαρτώνται σχεδόν αποκλειστικά από το αφαλατωμένο νερό για την επιβίωσή τους.

Η έλλειψη νερού είναι ένα πρόβλημα που εμφανίζεται οξύ στην περιοχή της Μεσογείου, ιδιαίτερα τις τελευταίες δεκαετίες, λόγω της αύξησης της οικονομικής δραστηριότητας και κατά συνέπεια της αυξημένης ζήτησης. Στον ελλαδικό χώρο, για παράδειγμα, το πρόβλημα είναι ιδιαίτερα έντονο στα νησιά του Αιγαίου, γεγονός που αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα στην κοινωνική και οικονομική τους ανάπτυξη.

Η χρήση της αφαλάτωσης θαλασσινού νερού για την παραγωγή πόσιμου ή νερού κατάλληλου για αγροτική και βιομηχανική χρήση, έχει προταθεί και εφαρμοσθεί με διάφορες μεθόδους. Μειονέκτημα όλων αυτών των μεθόδων είναι η μεγάλη ενεργειακή απαίτηση και το πολύπλοκο της όλης εγκατάστασης, πράγμα που κάνει δύσκολη ή ασύμφορη την εφαρμογή τους σε περιοχές όπως αυτές που αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της έλλειψης νερού.

Η αφαλάτωση, αναφέρεται ως μια διεργασία η οποία απομακρύνει τα άλατα από το νερό. Μπορεί να πραγματοποιηθεί με πολλούς τρόπους, όμως το αποτέλεσμα είναι πάντα το ίδιο: παραγωγή φρέσκου νερού από σχετικά αλμυρό (έως 10 g/l) ή θαλασσινό νερό (έως 50 g/l). Οι τεχνολογίες της αφαλάτωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διάφορους σκοπούς, εμείς όμως θα ασχοληθούμε με την παραγωγή πόσιμου νερού.

Μέχρι σήμερα έχουν εφαρμοστεί και δοκιμαστεί πολλές διαδικασίες αφαλάτωσης. Αυτές που σχετίζονται με θερμικές διεργασίες παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον και είναι αυτές που θα παρουσιαστούν αναλυτικά στην επόμενη παράγραφο. Μία άλλη κατηγορία διεργασιών είναι αυτές που εκμεταλλεύονται κάποια βασικά χαρακτηριστικά των μεμβρανών και θα αναφερθούν συνοπτικά, μια και δεν ανήκουν στα πλαίσια αυτής της παρουσίασης. Τέλος υπάρχουν κάποιες μεμονωμένες τεχνολογίες αφαλάτωσης όπως ο συνδυασμός των δύο παραπάνω μεθόδων, καθώς και η απευθείας χρήση της ηλιακής ενέργειας για απόσταξη (ηλιακοί αποστακτήρες).

2.4.6.3.1 Θερμικές διεργασίες

Οι θερμικές διεργασίες χρησιμοποιούνται για παραγωγή πόσιμου νερού σε μεγάλης κλίμακας εργοστάσια. Η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρόσθετη, συμπληρωματική μορφή ενέργειας και όχι αυτόνομα, μια και οι ενεργειακές απαιτήσεις είναι μεγάλες.

Πάνω από το 60 % του αφαλατωμένου νερού παράγεται με απόσταξη μέσω θέρμανσης του αλμυρού νερού. Η διαδικασία της αφαλάτωσης μιμείται το φυσικό κύκλο του νερού όπου το νερό θερμαίνεται και οι υδρατμοί που παράγονται συμπυκνώνονται και σχηματίζουν γλυκό νερό. Σε ένα εργοστάσιο ή σε μια βιομηχανική εγκατάσταση, το νερό θερμαίνεται μέχρι το σημείο βρασμού ώστε να παραχθεί η μεγαλύτερη δυνατή ποσότητα υδρατμών.

Για να είναι αυτή η διεργασία οικονομικά συμφέρουσα, το σημείο βρασμού ελέγχεται με τη ρύθμιση της ατμοσφαιρικής πίεσης του νερού που βράζει. Η θερμοκρασία που απαιτεί το νερό για να βράσει μειώνεται όσο προχωράμε από το επίπεδο της θάλασσας σε μεγαλύτερα ύψη, λόγω της μειωμένης ατμοσφαιρικής πίεσης στο νερό. Για αυτό για παράδειγμα, το νερό μπορεί να βράσει στην κορυφή του όρους McKinley στην Αλάσκα σε μια θερμοκρασία περίπου 16 °C χαμηλότερη από αυτήν που απαιτείται στο επίπεδο της θάλασσας. Η πτώση του σημείου βρασμού είναι σημαντική στη διεργασία της αφαλάτωσης για δύο κυρίως λόγους: τον πολλαπλό βρασμό και τον έλεγχο του σχηματισμού στρωμάτων επικάλυψης.

Το νερό, χρειάζεται για να βράσει δύο αναγκαίες συνθήκες: την κατάλληλη θερμοκρασία, ανάλογη της τοπικής πίεσης και αρκετή ενέργεια για να εξάτμιστεί. Όταν το νερό θερμαίνεται στο σημείο βρασμού του και στη συνέχεια η θέρμανση διακοπεί, το νερό θα συνεχίσει να βράζει μόνο για ένα μικρό χρονικό διάστημα, επειδή χρειάζεται πρόσθετη ενέργεια (τη θερμότητα εξάτμισης) για να συνεχίσει ο βρασμός του. Όταν το νερό σταματήσει να βράζει, ο βρασμός μπορεί να συνεχιστεί είτε με την πρόσδοση θερμότητας, είτε με τη μείωση της πίεσης πάνω από το νερό. Αν η πίεση μειωθεί, τότε το νερό θα είναι σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από αυτή του σημείου βρασμού του και θα συνεχίσει να βράζει, αφού η εξάτμιση θα τροφοδοτείται με την επιπλέον θερμότητα λόγω της υψηλότερης θερμοκρασίας. Με τη χρησιμοποίηση της επιπλέον θερμότητας για την εξάτμιση, η θερμοκρασία του νερού θα πέσει σταδιακά στο νέο σημείο βρασμού.

Για τη σημαντική μείωση του ποσού της ενέργειας που απαιτείται για την εξάτμιση, στη διεργασία της απόσταξης – αφαλάτωσης χρησιμοποιείται πολλαπλός βρασμός σε διαδοχικά στάδια, με το καθένα να λειτουργεί σε χαμηλότερη θερμοκρασία και πίεση. Αυτή η διαδικασία μείωσης της εξωτερικής πίεσης με σκοπό την εξακολούθηση του βρασμού, μπορεί να συνεχιστεί καθοδικά και μπορεί να φτάσει στο ακραίο σημείο, όπου το νερό βράζει και παγώνει ταυτόχρονα.

Εκτός του πολλαπλού βρασμού, ο άλλος σημαντικός παράγοντας είναι ο έλεγχος σχηματισμού στρωμάτων επικάλυψης. Παρόλο που οι περισσότερες ουσίες διαλύονται πιο εύκολα σε θερμό νερό, ορισμένες διαλύονται ευκολότερα σε ψυχρό νερό. Δυστυχώς, ορισμένες από αυτές, όπως εστέρες ή άλατα του ανθρακικού ή θειικού οξέως, βρίσκονται στο θαλασσινό νερό. Ένα από τα πιο σημαντικά είναι ο γύψος (CaSO₄), ο οποίος αρχίζει να αφήνει το διάλυμα όταν το νερό φτάσει μια θερμοκρασία περίπου 95 °C. Το υλικό αυτό σχηματίζει μια σκληρή επικάλυψη, η οποία καλύπτει όλους τους σωλήνες και τις δεξαμενές που υπάρχουν. Η επικάλυψη αυτή προκαλεί θερμικά και μηχανικά προβλήματα και είναι δύσκολο να αφαιρεθεί. Ένας τρόπος αποφυγής της είναι η διατήρηση της θερμοκρασίας και του σημείου βρασμού του νερού κάτω από την κρίσιμη θερμοκρασία των 95 °C.

Αυτές οι δύο αρχές έκαναν πολλές τεχνικές απόσταξης ευρέως εφαρμόσιμες ανά τον κόσμο. Η διαδικασία που έχει τη μεγαλύτερη δυναμικότητα αφαλάτωσης είναι η ακαριαία απόσταξη πολλαπλών βαθμίδων (*Multi-Stage Flash Distillation*), κοινώς γνωστή ως (MSF). Γνωστές είναι επίσης και άλλες δύο διεργασίες: η απόσταξη πολλαπλής επίδρασης (MED) και η απόσταξη με συμπίεση ατμών (VCD).

2.4.6.3.1.1 Ακαριαία απόσταξη πολλαπλών βαθμίδων (*Multi-Stage Flash Distillation*)

Σε αυτή τη διεργασία το θαλασσινό νερό θερμαίνεται σε ένα δοχείο, τον αποκαλούμενο θερμαντή άλμης (*brine heater*). Αυτό γενικά γίνεται με τη συμπύκνωση του ατμού σε μια σειρά σωλήνων που περνάνε μέσα από το δοχείο, το οποίο με τη σειρά του θερμαίνει το θαλασσινό νερό. Το θερμό θαλασσινό νερό ρέει στη συνέχεια σε ένα άλλο δοχείο (βαθμίδα), στο οποίο η πίεση είναι τέτοια ώστε το νερό βράζει αμέσως. Η ξαφνική εισαγωγή του θερμού νερού στο θάλαμο προκαλεί το γρήγορο βρασμό του, με αποτέλεσμα το νερό να ατμοποιείται ακαριαία. Γενικά, μόνο ένα μικρό ποσοστό του νερού αυτού μετατρέπεται σε ατμό, ανάλογα με την πίεση που επικρατεί στη βαθμίδα, αφού ο βρασμός θα συνεχίζεται μόνο μέχρι την ψύξη του νερού στο σημείο βρασμού.

Η ιδέα της απόσταξης νερού με ένα δοχείο που λειτουργεί υπό μειωμένη πίεση, δεν είναι καινούρια και χρησιμοποιείται για περισσότερο από έναν αιώνα. Στη δεκαετία του '50, αναπτύχθηκε μια μονάδα που χρησιμοποιούσε μια σειρά βαθμίδων με όλο και χαμηλότερη πίεση. Σε αυτή τη μονάδα, το τροφοδοτούμενο νερό μπορούσε να ρέει από βαθμίδα σε βαθμίδα και να εξακολουθεί να βράζει, χωρίς την προσθήκη επιπλέον θερμότητας. Τυπικά, μια εγκατάσταση MSF μπορεί να περιέχει από 4 έως 40 βαθμίδες.

Ο ατμός που παράγεται μετατρέπεται σε γλυκό νερό με τη συμπύκνωσή του σε σωλήνες εναλλακτών θερμότητας, που διατρέχουν κάθε βαθμίδα. Οι σωλήνες ψύχονται με την είσοδο του τροφοδοτούμενου νερού που πηγαίνει στο θερμαντή άλμης. Αυτό στη συνέχεια, θερμαίνει το τροφοδοτούμενο νερό έτσι ώστε να μειώνεται το ποσό της θερμικής ενέργειας που απαιτείται στο θερμαντή άλμης για την ανύψωση της θερμοκρασίας.

Οι εγκαταστάσεις MSF χτίζονται εμπορικά από τη δεκαετία του '50. Χτίζονται γενικά σε μονάδες παραγωγής από 1 έως 8 εκατομμύρια γαλιόνια (1 g ~ 3,785 lt) ανά ημέρα (mgd). Συνήθως λειτουργούν στις μέγιστες θερμοκρασίες τροφοδοσίας (μετά το θερμαντή άλμης) των 90 – 120 °C. Ένας από τους παράγοντες που επηρεάζει τη θερμική απόδοση της εγκατάστασης είναι η διαφορά θερμοκρασίας από το θερμαντή άλμης στο συμπυκνωτή, στο ψυχρό άκρο της εγκατάστασης. Η λειτουργία της εγκατάστασης σε θερμοκρασίες υψηλότερες του ορίου των 120 °C τείνει να ανεβάσει την απόδοση, όμως αυξάνει ταυτόχρονα και την πιθανότητα σχηματισμού των επιβλαβών στρωμάτων επικάλυψης, ενώ επιταχύνεται η διάβρωση των μεταλλικών επιφανειών.

2.4.6.3.1.2 Απόσταξη πολλαπλής επίδρασης (*Multiple Effect Distillation*)

Η διεργασία της απόσταξης πολλαπλής επίδρασης (MED) χρησιμοποιήθηκε για βιομηχανική απόσταξη για αρκετό καιρό. Μια προσφιλή χρήση της διαδικασίας αυτής είναι η εξάτμιση του χυμού του ζαχαροκάλαμου στην παραγωγή ζάχαρης ή άλατος με εξάτμιση. Ορισμένες από τις πρώτες εγκαταστάσεις απόσταξης νερού χρησιμοποιούσαν τη διεργασία MED, όμως η διαδικασία αυτή αντικαταστάθηκε από την MSF, λόγω οικονομικών παραγόντων και της υψηλότερης αποδοτικότητάς της. Παρόλα αυτά, στην περασμένη δεκαετία, ανανεώθηκε το ενδιαφέρον για την MED και χτίστηκε ένας αριθμός καινούριων εγκαταστάσεων γύρω από την αρχή της λειτουργίας υπό χαμηλότερες θερμοκρασίες.

Η MED, όπως και η MSF, λαμβάνει χώρα σε μια σειρά από βαθμίδες και χρησιμοποιεί την αρχή της μείωσης της πίεσης. Αυτό επιτρέπει στην τροφοδοσία του θαλασσινού νερού να υπόκειται σε πολλαπλό βρασμό χωρίς την παροχή πρόσθετης θερμότητας μετά την πρώτη βαθμίδα. Σε μια εγκατάσταση MED, το θαλασσινό νερό εισέρχεται στην πρώτη βαθμίδα και φτάνει το σημείο βρασμού του, αφού έχει πρώτα προθερμανθεί στους σωλήνες. Το θαλασσινό νερό είτε ψεκάζεται είτε κατανέμεται με κάποιο τρόπο στην επιφάνεια των

σωλήνων εξάτμισης, ώστε να σχηματίζει ένα λεπτό στρώμα γύρω από αυτούς με αποτέλεσμα το γρήγορο βρασμό και την εξάτμισή του. Οι σωλήνες θερμαίνονται μέσω ατμού που προέρχεται από ένα λέβητα ή άλλη πηγή, ο οποίος συμπυκνώνεται στις αντίθετες πλευρές των σωλήνων. Το συμπύκνωμα του ατμού ανακυκλώνεται στο λέβητα για να ξαναχρησιμοποιηθεί.

Μόνο ένα μέρος του θαλασσινού νερού, που εφαρμόζεται στους σωλήνες στην πρώτη βαθμίδα, εξατμίζεται. Το υπόλοιπο τροφοδοτείται στη δεύτερη βαθμίδα, όπου και πάλι κατανέμεται στη δέσμη των σωλήνων. Οι σωλήνες αυτοί θερμαίνονται με τη σειρά από τους ατμούς που παράγονται στην πρώτη βαθμίδα. Ο ατμός αυτός συμπυκνώνεται σε γλυκό νερό, ενώ παράλληλα προσφέρει θερμότητα για την εξάτμιση μέρους του εναπομείναντος θαλασσινού νερού στην επόμενη βαθμίδα. Αυτό επαναλαμβάνεται συνέχεια, με την ύπαρξη 8 ή 16 βαθμίδων σε μια τυπική εγκατάσταση μεγάλης δυναμικότητας.

Συνήθως το θαλασσινό νερό που περισσεύει σε κάθε βαθμίδα πρέπει να αντληθεί στην επόμενη, ώστε να κατανεμηθεί στην επόμενη δέσμη σωλήνων. Πρόσθετη συμπύκνωση λαμβάνει χώρα σε κάθε πράξη στους σωλήνες, οι οποίοι τροφοδοτούν το νερό από την πηγή του, μέσω της εγκατάστασης, στην πρώτη βαθμίδα. Το γεγονός αυτό θερμαίνει το τροφοδοτούμενο νερό πριν αυτό εξατμιστεί στην πρώτη βαθμίδα.

Οι εγκαταστάσεις MED χτίζονται τυπικά σε μονάδες των 0,5 έως 2,5 mgd. Ορισμένες από τις πιο πρόσφατες εγκαταστάσεις λειτουργούν με μέγιστη θερμοκρασία 70 °C (στην πρώτη βαθμίδα), μειώνοντας έτσι την πιθανότητα σχηματισμού στρώματος επικάλυψης, αυξάνοντας όμως την ανάγκη για επιπλέον επιφάνεια μετάδοσης θερμότητας, δηλαδή σωλήνων. Οι περισσότερες από τις πρόσφατες εγκαταστάσεις MED βρίσκονται στην Καραϊβική. Παρόλο που ο αριθμός τους είναι σχετικά μικρός σε σύγκριση με τις εγκαταστάσεις MSF, η μέθοδος ακολουθεί ανοδική πορεία.

2.4.6.3.1.3 Απόσταξη με συμπίεση ατμών (*Vapor Compression Distillation*)

Η διεργασία απόσταξης με συμπίεση ατμού (VC) χρησιμοποιείται γενικά για μονάδες αφαλάτωσης θαλασσινού νερού μικρομεσαίας κλίμακας. Η θερμότητα για την εξάτμιση του νερού προέρχεται από τη συμπίεση του ατμού, παρά από την άμεση ανταλλαγή θερμότητας από την παραγωγή ατμού σε ένα λέβητα.

Οι εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν αυτή τη διαδικασία σχεδιάζονται γενικά για να εκμεταλλεύονται την αρχή της μείωσης του σημείου βρασμού μέσω μείωσης της πίεσης. Χρησιμοποιούνται δύο βασικές μέθοδοι για τη συμπίεση του ατμού, έτσι ώστε να παραχθεί αρκετή θερμότητα για την εξάτμιση του εισερχόμενου θαλασσινού νερού: ένας μηχανικός συμπιεστής ή ένα ακροφύσιο ατμού. Ο μηχανικός συμπιεστής λειτουργεί συνήθως με ηλεκτρικό ρεύμα, αποτελώντας ταυτόχρονα και τη μοναδική χρήση ηλεκτρικής ενέργειας για την παραγωγή νερού με απόσταξη.

Οι μονάδες VC χτίστηκαν με μια ποικιλία διαμορφώσεων, με σκοπό την προώθηση της ανταλλαγής θερμότητας για την εξάτμιση του θαλασσινού νερού. Ο συμπιεστής δημιουργεί κενό στο δοχείο και στη συνέχεια συμπιέζει τον ατμό που απομακρύνθηκε και τον συμπυκνώνει μέσα σε μια δέσμη σωλήνων, που βρίσκεται επίσης στο ίδιο δοχείο. Το θαλασσινό νερό ψεκάζεται στο εξωτερικό των θερμών σωλήνων όπου βράζει και εν μέρει εξατμίζεται, παράγοντας περισσότερο νερό.

Σε μια μονάδα VC με ακροφύσιο ατμού (ονομάζεται επίσης και θερμοσυμπιεστής), ένα στόμιο venturi στο ακροφύσιο ατμού δημιουργεί και εξάγει υδρατμό από το κύριο δοχείο, προκαλώντας έτσι μια χαμηλότερη πίεση σε αυτό. Ο εξαγόμενος υδρατμός συμπιέζεται από το ακροφύσιο ατμού. Το μίγμα αυτό συμπυκνώνεται στις παρειές των σωλήνων και παρέχει τη θερμική ενέργεια (θερμότητα από τη συμπύκνωση) για την εξάτμιση του θαλασσινού νερού που παρέχεται στην απέναντι πλευρά των παρειών των σωλήνων στο δοχείο.

Οι μονάδες VC κατασκευάζονται συνήθως σε μια κλίμακα από 0,005 έως 0,5 mgd. Χρησιμοποιούνται συχνά για θέρετρα, βιομηχανίες και τοποθεσίες γεώτρησης, όπου το γλυκό νερό δεν είναι εύκολα διαθέσιμο.

2.4.6.3.2 Διεργασίες μεμβρανών

Στη φύση, οι μεμβράνες παίζουν σημαντικό ρόλο στο διαχωρισμό των αλάτων. Αυτός περιλαμβάνει και τις δύο διεργασίες, τη διάλυση και την όσμωση που συμβαίνουν στο ανθρώπινο σώμα. Οι μεμβράνες χρησιμοποιούνται σε δύο εμπορικά διαδεδομένες διαδικασίες: στην ηλεκτροδιάλυση και στην αντίστροφη όσμωση (RO). Κάθε διεργασία κάνει χρήση της ιδιότητας των μεμβρανών να διαφοροποιούν και να διαχωρίζουν επιλεκτικά τα άλατα και το νερό. Παρόλα αυτά, οι μεμβράνες χρησιμοποιούνται διαφορετικά σε κάθε διεργασία.

Η ηλεκτροδιάλυση χρησιμοποιεί ένα ηλεκτρικό δυναμικό για να μετακινεί τα άλατα επιλεκτικά διαμέσου της μεμβράνης, αφήνοντας πίσω γλυκό νερό ως παράγωγο. Στη διαδικασία της αντίστροφης όσμωσης, η πίεση χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό, επιτρέποντας το γλυκό νερό να κινηθεί διαμέσου της μεμβράνης, αφήνοντας πίσω τα άλατα.

Και οι δύο αυτές ιδέες εξετάζονται από τους επιστήμονες από τις αρχές του αιώνα, όμως η εμπορευματοποίησή τους για την αφαλάτωση νερού για δημοτικούς σκοπούς, συμβαίνει μόνο κατά τη διάρκεια των τελευταίων 30 ετών.

2.4.6.3.2.1 Ηλεκτροδιάλυση

Η ηλεκτροδιάλυση εισήλθε στο εμπόριο στις αρχές της δεκαετίας του 1960, περίπου δέκα χρόνια πριν την αντίστροφη όσμωση. Η ανάπτυξη της ηλεκτροδιάλυσης παρείχε έναν οικονομικά αποδοτικό τρόπο για την αφαλάτωση υφάλμυρου νερού και κίνησε το ενδιαφέρον σε αυτήν την περιοχή. Η ηλεκτροδιάλυση βασίζεται στις παρακάτω γενικές αρχές:

- Τα περισσότερα άλατα που είναι διαλυμένα στο νερό είναι αρνητικά ή θετικά φορτισμένα.
- Τα ιόντα αυτά έλκονται από ηλεκτρόδια αντίθετου ηλεκτρικού φορτίου.
- Μπορούν να κατασκευαστούν μεμβράνες που επιτρέπουν επιλεκτική διόδο είτε των ανιόντων είτε των κατιόντων.

Τα διαλυμένα ιοντικά συστατικά σε ένα αλατούχο διάλυμα, όπως το νάτριο (+), το ασβέστιο (++) και άλατα ανθρακικού οξέως (--), διασκορπίζονται στο νερό, ουδετεροποιώντας αποτελεσματικά τα επιμέρους φορτία τους. Όταν ηλεκτρόδια συνδεδεμένα σε μια εξωτερική πηγή συνεχούς ρεύματος, όπως είναι μια μπαταρία, τοποθετηθούν σε μια δεξαμενή αλμυρού νερού, ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει το διάλυμα, με τα ιόντα να τείνουν να μετακινηθούν στο ηλεκτρόδιο με αντίθετο ηλεκτρικό φορτίο.

Για την αφαλάτωση του νερού, τοποθετούνται ανάμεσα στο ζευγάρι των ηλεκτροδίων, μεμβράνες, οι οποίες επιτρέπουν μόνο τη διόδο των ανιόντων ή των κατιόντων. Αυτές οι μεμβράνες τοποθετούνται εναλλάξ, με μια επιλεκτική μεμβράνη ανιόντων να ακολουθείται από μια επιλεκτική μεμβράνη κατιόντων. Ανάμεσα σε κάθε ζευγάρι μεμβρανών τοποθετείται ένα διαχωριστικό φύλλο που δημιουργεί χώρο και επιτρέπει τη ροή του νερού κατά μήκος της μεμβράνης.

Το ένα τμήμα του διαχωριστικού φύλλου παρέχει ένα κανάλι που προσάγει το νερό τροφοδοσίας, ενώ το επόμενο προσάγει την άλμη. Καθώς τα ηλεκτρόδια είναι φορτισμένα και το αλμυρό νερό τροφοδοσίας ρέει κατά μήκος του διαχωριστικού φύλλου του παραγόμενου νερού, σε ορθές γωνίες με τα ηλεκτρόδια, τα ανιόντα του νερού έλκονται και

αποκλίνουν προς το θετικό ηλεκτρόδιο. Με αυτόν τον τρόπο διαλύεται το περιεχόμενο του νερού σε αλάτι στο κανάλι του παραγόμενου νερού. Τα ανιόντα περνούν μέσα από την επιλεκτική μεμβράνη ανιόντων, όμως δε μπορούν να προχωρήσουν πέρα από την επιλεκτική μεμβράνη κατιόντων, η οποία κλείνει το δρόμο τους και παγιδεύει τα ανιόντα στην άλμη. Ομοίως, τα κατιόντα κάτω από την επίδραση του αρνητικά φορτισμένου ηλεκτροδίου κινούνται στην αντίθετη κατεύθυνση μέσα από την επιλεκτική μεμβράνη κατιόντων στο συγκεντρωτικό κανάλι. Εδώ, τα κατιόντα παγιδεύονται, επειδή ακολουθεί η επιλεκτική μεμβράνη ανιόντων, που αποτρέπει την περαιτέρω κίνησή τους προς το ηλεκτρόδιο.

Με αυτή τη διάταξη, δημιουργούνται πυκνά και αραιά διαλύματα στα διαστήματα μεταξύ των εναλλασσόμενων μεμβρανών. Τα διαστήματα αυτά, οριοθετούνται από δύο μεμβράνες (μία ανιόντων και μία κατιόντων) και ονομάζονται «κυψέλες». Η μία κυψέλη επιτρέπει την απομάκρυνση των ιόντων (η κυψέλη διάλυσης του παραγόμενου νερού) και η άλλη τα συγκεντρώνει (η συγκεντρωτική κυψέλη για το ρεύμα της άλμης). Οι δύο μαζί αποτελούν το «ζεύγος κυψελών».

Η βασική μονάδα ηλεκτροδιάλυσης αποτελείται από διάφορα ζεύγη κυψελών που οριοθετούνται από ηλεκτρόδια στην εξωτερική πλευρά και αναφέρονται ως «σειρά μεμβρανών». Το νερό τροφοδοσίας διαρρέει ταυτόχρονα όλες τις κυψέλες, σε παράλληλα μονοπάτια και παρέχει μια συνεχή ροή αφαλατωμένου νερού και η άλμη αναδύεται από τη σειρά των μεμβρανών. Ανάλογα με το σχεδιασμό του συστήματος, μπορεί να προστεθούν χημικά στη σειρά των μεμβρανών, για να μειώσουν πιθανή στρωμάτωση. Μια μονάδα ηλεκτροδιάλυσης αποτελείται από τα παρακάτω βασικά στάδια:

- Προ-επεξεργασία
- Δέσμη μεμβρανών
- Αντλία χαμηλής πίεσης
- Παροχή συνεχούς ρεύματος (ανορθωτής τάσης)
- Μετά-επεξεργασία

Το ακατέργαστο νερό τροφοδοσίας πρέπει να προ-επεξεργαστεί, για να αποφευχθεί η είσοδος υλικών που θα μπορούσαν να προκαλέσουν βλάβη στις μεμβράνες ή να φράξουν τα στενά κανάλια των κυψελών. Το νερό τροφοδοσίας κυκλοφορεί μέσα στη σειρά κυψελών μέσω μιας αντλίας χαμηλής πίεσης, η οποία έχει αρκετή ισχύ για να υπερνικήσει την αντίσταση του νερού, καθώς αυτό περνάει μέσα από τα στενά κανάλια. Ένας ανορθωτής τάσης χρησιμοποιείται γενικά για τη μετατροπή του εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές, το οποίο τροφοδοτεί τα ηλεκτρόδια στην εξωτερική πλευρά των σειρών μεμβράνης. Η μετά-επεξεργασία αποτελείται από τη σταθεροποίηση του νερού και την προετοιμασία του για διανομή. Αυτή η επεξεργασία μπορεί να περιλαμβάνει την αφαίρεση αερίων, όπως τα σουλφίδια υδρογόνου και τη ρύθμιση του pH.

Αντίστροφη Διεργασία Ηλεκτροδιάλυσης

Στην αρχή της δεκαετίας του '70 μια αμερικάνικη εταιρεία εισήγαγε στο εμπόριο την αντίστροφη διεργασία ηλεκτροδιάλυσης (ΑΔΗ). Η μονάδα ΑΔΗ λειτουργεί με βάση τις γενικές αρχές της τυπικής ηλεκτροδιάλυσης, με τη διαφορά ότι τα κανάλια του αφαλατωμένου νερού και της άλμης έχουν πανομοιότυπη κατασκευή. Σε τακτά χρονικά διαστήματα ανά ώρα, αντιστρέφεται η πολικότητα των ηλεκτροδίων και ταυτόχρονα οι ροές αλλάζουν, ώστε το κανάλι της άλμης να γίνει το κανάλι του παραγόμενου νερού και αντίστροφα.

Το αποτέλεσμα είναι ότι τα ιόντα έλκονται προς την αντίθετη κατεύθυνση κατά μήκος της σειράς μεμβρανών. Αμέσως, ακολουθώντας την αντιστροφή της πολικότητας και της ροής, αρκετό από το παραγόμενο νερό απορρίπτεται έως ότου η σειρά των μεμβρανών και τα

κανάλια καθαρίσουν και αποκαθίσταται η επιθυμητή ποιότητα νερού. Ο καθαρισμός αυτός διαρκεί 1 με 2 λεπτά και κατόπιν η μονάδα μπορεί να συνεχίσει να παράγει νερό. Η αντίστροφη διεργασία καταστρέφει και αφαιρεί λέπια, γλίτσα και άλλα κατάλοιπα που υπάρχουν στις κυψέλες, πριν αυτά προλάβουν να συσσωρευτούν και να δημιουργήσουν πρόβλημα. Ο καθαρισμός επιτρέπει στη μονάδα να λειτουργεί με λιγότερα χημικά και ελαχιστοποιεί την αστοχία των μεμβρανών.

Εφαρμογή

Η ηλεκτροδιάλυση έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά, που την καθιστούν προσιτή σε πληθώρα εφαρμογών:

- Δυνατότητα για υψηλό βαθμό ανάκτησης (περισσότερο παραγόμενο νερό και λιγότερη άλμη).
- Κατανάλωση ενέργειας που είναι ανάλογη των αλάτων που αφαιρούνται.
- Ικανότητα για επεξεργασία με υψηλότερο βαθμό κατακράτησης στερεών από την αντίστροφη όσμωση.
- Μικρότερες επιπτώσεις από μη ιονικές ουσίες, όπως η σιλικόνη.
- Μικρή χρήση χημικών κατά την προ-επεξεργασία.

Οι μονάδες ηλεκτροδιάλυσης χρησιμοποιούνται συνήθως για την αφαλάτωση υφάλμυρου νερού. Η κύρια απαίτηση ενέργειας είναι το συνεχές ρεύμα που χρησιμοποιείται στο διαχωρισμό των ιονικών ουσιών στη σειρά μεμβρανών.

2.4.6.3.2 Αντίστροφη Όσμωση

Συγκριτικά με την απόσταξη και την ηλεκτροδιάλυση, η αντίστροφη όσμωση είναι σχετικά νέα, με εμπορική επιτυχία στις αρχές τις δεκαετίας του '70.

Η αντίστροφη όσμωση είναι μια διαδικασία διαχωρισμού μεμβράνης, στην οποία το νερό από ένα αλατούχο διάλυμα υπό πίεση, διαχωρίζεται από τη διαλυμένη ύλη ρέοντας μέσα από μία μεμβράνη. Κατά τη διαδικασία αυτή δε λαμβάνουν χώρα ούτε θέρμανση, αλλά ούτε κάποια αλλαγή φάσης. Η κύρια ποσότητα ενέργειας απαιτείται για την ανύψωση της πίεσης του νερού τροφοδοσίας.

Στην πράξη, το αλμυρό νερό τροφοδοσίας αντλείται σε ένα κλειστό δοχείο, όπου συμπιέζεται στη μεμβράνη. Καθώς μια ποσότητα του νερού περνάει μέσα από τη μεμβράνη, αυξάνει η συγκέντρωση του άλατος στο υπολειπόμενο αλατούχο διάλυμα. Την ίδια στιγμή μια ποσότητα του νερού τροφοδοσίας απορρίπτεται χωρίς να περάσει μέσα από τη μεμβράνη.

Χωρίς αυτήν την ελεγχόμενη απόρριψη, το υπό πίεση νερό τροφοδοσίας θα συνέχιζε να αυξάνει τη συγκέντρωσή του σε άλατα, δημιουργώντας προβλήματα, όπως καθίζηση των υπέρκορων αλάτων και αύξηση της πίεσης κατά μήκος των μεμβρανών. Το ποσό του νερού τροφοδοσίας που απορρίπτεται στο ρεύμα της άλμης, ποικίλει από 20 έως 70 % της ροής τροφοδοσίας, ανάλογα με το περιεχόμενο σε αλάτι στη ροή τροφοδοσίας.

Ένα σύστημα αντίστροφης όσμωσης αποτελείται από τα ακόλουθα βασικά στάδια:

- Προ-επεξεργασία
- Αντλία υψηλής πίεσης
- Συναρμολόγηση μεμβράνης
- Μετά-επεξεργασία

Η προ-επεξεργασία είναι σημαντική στην αντίστροφη όσμωση, γιατί το νερό τροφοδοσίας πρέπει να περάσει μέσα από πολύ στενά περάσματα κατά τη διάρκεια της διεργασίας. Για αυτό το λόγο, πρέπει να αφαιρούνται τα κατακρατούμενα στερεά και το νερό να προ-επεξεργάζεται, ώστε να αποφεύγεται η καθίζηση άλατος ή η ανάπτυξη μικροοργανισμών στις μεμβράνες. Συνήθως η προ-επεξεργασία αποτελείται από το πολύ καλό φίλτράρισμα και την προσθήκη οξέως ή άλλων χημικών προς αποφυγή της καθίζησης.

Η αντλία υψηλής πίεσης παρέχει την πίεση που χρειάζεται για να δώσει στο νερό τη δυνατότητα να περάσει μέσα από τη μεμβράνη και να απορριφθούν τα άλατα. Η πίεση αυτή κυμαίνεται από 17 έως 27 bar (250 έως 400 psi) για υφάλμυρο νερό και μεταξύ 54 και 80 bar (800 και 1.180 psi) για θαλασσινό νερό.

Η συναρμολότητα της μεμβράνης αποτελείται από το δοχείο πίεσης και μία μεμβράνη που επιτρέπει στο νερό τροφοδοσίας να συμπιέζεται επάνω της. Η μεμβράνη πρέπει επίσης να αντέχει στην πτώση πίεσης κατά μήκος της. Οι ημιπερατές μεμβράνες είναι εύθραυστες και ποικίλουν στην ικανότητά τους να διαπερνούνται από νερό και να απορρίπτουν τη ροή άλατος. Καμία μεμβράνη δεν είναι τέλεια στην κατακράτηση των αλάτων, επομένως μια μικρή ποσότητα άλατος διαπερνά τη μεμβράνη και εμφανίζεται στο παραγόμενο νερό.

Οι μεμβράνες της αντίστροφης όσμωσης κατασκευάζονται με διάφορες μορφές. Δύο από τις πιο εμπορικά επιτυχημένες είναι η σπειροειδής και η κοίλη λεπτή ίνα. Και οι δυο αυτές διαμορφώσεις χρησιμοποιούνται για την αφαλάτωση υφάλμυρου, αλλά και θαλασσινού νερού, παρόλο που η κατασκευή της μεμβράνης και του δοχείου πίεσης διαφοροποιείται ανάλογα με τον κατασκευαστή και το αναμενόμενο περιεχόμενο άλατος του νερού τροφοδοσίας.

Η μετά-επεξεργασία συνίσταται στη σταθεροποίηση του νερού και στην προετοιμασία του για διανομή. Η επεξεργασία αυτή μπορεί να περιλαμβάνει και την αφαίρεση αερίων, όπως τα σουλφίδια του υδρογόνου και τη ρύθμιση του pH.

Δύο εξελίξεις βοήθησαν στη μείωση του κόστους λειτουργίας των μονάδων αντίστροφης όσμωσης κατά τη διάρκεια της περασμένης δεκαετίας:

Η κατασκευή μεμβρανών που λειτουργούν αποδοτικά με χαμηλότερες πιέσεις και η χρήση συσκευών ανάκτησης ενέργειας. Οι μεμβράνες χαμηλής πίεσης χρησιμοποιούνται ευρέως στην αφαλάτωση υφάλμυρου νερού. Οι συσκευές ανάκτησης ενέργειας συνδέονται στο ρεύμα καθώς αυτό φεύγει από το δοχείο πίεσης. Το νερό στο ρεύμα αυτό χάνει μόνο 1 με 4 bar (15 με 60 psi) περίπου, σχετικά με την πίεση που ασκείται από την αντλία υψηλής πίεσης. Οι συσκευές αυτές είναι μηχανικές και αποτελούνται γενικά από στροβίλους ή αντλίες κάποιου τύπου και μπορούν να μετατρέψουν την πτώση πίεσης σε περιστρεφόμενη κίνηση.

2.4.6.3 Άλλες διεργασίες

Πλήθος άλλων τεχνολογιών έχουν εφαρμοστεί για την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού. Αυτές οι τεχνολογίες δεν έχουν φτάσει το επίπεδο της εμπορικής επιτυχίας που έχουν η απόσταξη, η ηλεκτροδιάλυση και η αντίστροφη όσμωση, αλλά μπορούν να αποδειχθούν χρήσιμες κάτω από ειδικές περιστάσεις ή μετά από περαιτέρω έρευνα.

Ψύξη

Κατά τη διάρκεια της ψύξης, διαλυμένα άλατα απομακρύνονται με φυσικό τρόπο, κατά το σχηματισμό κρυστάλλων πάγου. Το θαλασσινό νερό μπορεί να αφαλατωθεί με ψύξη του και σχηματισμό κρυστάλλων κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες.

Θεωρητικά, η ψύξη έχει κάποια πλεονεκτήματα έναντι της απόσταξης, επικρατούσα μέθοδο αφαλάτωσης, τη στιγμή που η ψύξη τώρα αναπτύσσεται. Αυτά τα πλεονεκτήματα περιλαμβάνουν μια χαμηλότερη θεωρητικά, ενεργειακή απαίτηση, μικρή πιθανότητα

διάβρωσης, καθώς και ελάχιστη καθίζηση. Το μειονέκτημα της μεθόδου είναι πως περιλαμβάνει διαδικασίες που σχετίζονται με πάγο και μίγματα νερού, τα οποία μετακινούνται δύσκολα μηχανικά.

Ένας μικρός αριθμός εργοστασίων έχουν δημιουργηθεί εδώ και 40 χρόνια, αλλά η τεχνολογία αυτή δεν είναι ευρύτατα διαδεδομένη για την παραγωγή πόσιμου νερού για δημοτικούς σκοπούς. Το πιο πρόσφατο παράδειγμα εφαρμογής αυτής της μεθόδου, ήταν ένα πειραματικό εργοστάσιο, το οποίο κάλυπτε τις ανάγκες του με ηλιακή ενέργεια και κατασκευάστηκε στην Σαουδική Αραβία στα τέλη της δεκαετίας του '80. Το πειραματικό έργο ολοκληρώθηκε και το εργοστάσιο έκλεισε. Στο στάδιο αυτό, η τεχνολογία αφαλάτωσης με ψύξη, έχει πιθανώς καλύτερη εφαρμογή στην επεξεργασία βιομηχανικών λυμάτων, παρά στην παραγωγή πόσιμου νερού.

Απόσταξη μεμβράνης

Η απόσταξη μεμβράνης εισήχθηκε εμπορικά, σε μικρή κλίμακα, στη δεκαετία του 1980. Όπως υπονοεί και το όνομα, η διεργασία συνδυάζει τόσο την καθεαυτού απόσταξη, όσο και τις ιδιότητες των μεμβρανών. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, θερμαίνεται θαλασσινό νερό μέχρι να παραχθεί ατμός, ο οποίος εκτίθεται σε μια μεμβράνη, η οποία επιτρέπει τη διόδου του ατμού, όχι όμως και του νερού (ημιπερατή μεμβράνη). Στη συνέχεια, ο ατμός που εξάγεται από τη μεμβράνη συμπυκνώνεται σε μια ψυχρότερη επιφάνεια παράγοντας έτσι φρέσκο νερό. Σε μορφή υγρή πλέον, το νερό αυτό δεν μπορεί να διαπεράσει την μεμβράνη, παγιδεύεται και συλλέγεται σαν παράγωγο προϊόν.

Μέχρι τώρα, η μέθοδος αυτή έχει χρησιμοποιηθεί μόνο σε λίγες περιοχές. Συγκρινόμενη με τις πιο εμπορικές μεθόδους, η απόσταξη μεμβράνης απαιτεί περισσότερο χώρο, ενώ η ενέργεια άντλησης ανά μονάδα παραγωγής είναι ιδιαίτερα μεγάλη.

Τα κύρια πλεονεκτήματα της μεθόδου, είναι η απλοϊκότητα της και η ανάγκη για μικρές θερμοκρασιακές διαφορές κατά τη λειτουργία. Η απόσταξη μεμβράνης έχει πιθανώς την καλύτερη εφαρμογή εκεί όπου η φθινή, χαμηλής βαθμίδας θερμική ενέργεια είναι διαθέσιμη, όπως σε βιομηχανίες ή ηλιακούς συλλέκτες.

Ηλιακή απόσταξη

Η απευθείας χρήση της ηλιακής ενέργειας για αφαλάτωση θαλασσινού νερού, έχει ερευνηθεί και εφαρμοστεί για αρκετό καιρό. Κατά τη διάρκεια του δεύτερου παγκόσμιου πόλεμου, σημαντικό έργο καταναλώθηκε στην εφαρμογή μικρών ηλιακών αποστακτήρων για χρήση σε σωστικές λέμβους. Οι ενέργειες αυτές συνεχίστηκαν και μετά τον πόλεμο, με πλήθος τέτοιων συσκευών να παράγονται και να εξετάζονται.

Οι συσκευές αυτές γενικά μιμούνται τμήμα του φυσικού υδρολογικού κύκλου, κατά τον οποίο, θαλασσινό νερό θερμαίνεται από τις ακτίνες του ήλιου, με αποτέλεσμα αύξηση της παραγωγής υγρού ατμού. Στη συνέχεια, ο υγρός ατμός συμπυκνώνεται σε μια ψυχρότερη επιφάνεια και το συμπύκνωμα αυτό συλλέγεται σαν τελικό προϊόν. Ένα παράδειγμα τέτοιας διεργασίας είναι ο αποστακτήρας ενός ηλιακού σπιτιού, όπου θαλασσινό νερό θερμαίνεται σε μια κοιλότητα στο πάτωμα και ο ατμός συμπυκνώνεται στην κεκλιμένη γυάλινη στέγη που καλύπτει την κοιλότητα αυτή.

Μεγάλη ποικιλία τέτοιων αποστακτήρων έχουν επινοηθεί με σκοπό την αύξηση της απόδοσης, αλλά όλοι παρουσιάζουν τις ίδιες δυσκολίες, οι οποίες περιορίζουν την εφαρμογή της τεχνικής για παραγωγή μεγάλης κλίμακας. Οι δυσκολίες αυτές είναι:

- Απαιτήσεις για μεγάλη επιφάνεια συλλογής της ηλιακής ενέργειας
- Υψηλό κόστος κεφαλαίου

- Εξάρτηση από τις καιρικές συνθήκες

Ένας γενικός κανόνας για ηλιακούς αποστακτήρες είναι πως για την παραγωγή 4 lt καθαρού νερού ανά μέρα, χρειάζεται περίπου 1 m² επιφάνεια συλλογής ηλιακής ενέργειας. Το γεγονός αυτό θα δημιουργούσε μια απωθητική στην όψη περιοχή, με αρκετά συνεπακόλουθα προβλήματα, ιδιαίτερα εφόσον η γη ήταν σπάνια και ακριβή, στην περιοχή αυτή.

Οι ηλιακοί αποστακτήρες είναι ακριβοί στην κατασκευή τους, και παρόλο που η θερμική ενέργεια μπορεί να είναι άφθονη, επιπρόσθετη ενέργεια απαιτείται για την άντληση του νερού από και προς την εγκατάσταση. Επιπρόσθετα, η προσεκτική λειτουργία είναι απαραίτητη ώστε να αποφευχθούν οι επικαθίσεις, ενώ οι επισκευές των γυάλινων επιφανειών, έναντι της διαρροής του ατμού επιβάλλονται. Ένα απλό παράδειγμα ηλιακού αποστακτήρα παρουσιάζεται στο σχ. 2.108.

Η πλευρά του καλύμματος που αντικρίζει τον ήλιο είναι διαπερατή, ενώ το απέναντι κεκλιμένο τμήμα είναι ιδιαίτερα ανακλαστικό και επομένως παραμένει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Έτσι παρέχει μια ψυχρή επιφάνεια για συμπύκνωση του ατμού ο οποίος παράγεται από την εξάτμιση του θαλασσινού νερού το οποίο βρίσκεται σε υψηλότερη θερμοκρασία λόγω του συστήματος συλλογής της ηλιακής ενέργειας. Σε πιο προχωρημένα συστήματα, κάποιο τμήμα της θερμότητας που αποβάλλεται με την συμπύκνωση (περίπου $2,3 \cdot 10^6$ J/kg), το οποίο είναι επίσης το ποσό ενέργειας που απαιτείται για εξάτμιση, ανακτάται και ξαναχρησιμοποιείται για την αφαλάτωση άλλης ποσότητας θαλασσινού νερού.

Μια εφαρμογή τέτοιων συσκευών για αφαλάτωση θαλασσινού νερού, συναντάται σε μικρή κλίμακα, σε αυτόνομες κατοικίες ή μικρά χωριά, όπου η ηλιακή ακτινοβολία είναι άφθονη, όχι όμως και η ηλεκτρική. Στη συνέχεια προτείνεται η λύση της ηλιακής απόσταξης με χρήση μιας ιδιαίτερης μορφής ηλιακού αποστακτήρα (Αντίστροφης Απορρόφησης) για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού, στο νησί της Πάτμου.



Σχήμα 2.106: Συμβατικός ηλιακός αποστακτήρας

3 ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η ιδέα για την εκμετάλλευση του πνέοντος ανέμου είναι πολύ παλιά. Τέθηκε σε εφαρμογή από τους αρχαίους χρόνους, στην προώθηση των πλοίων με πανιά, αλλά και στη μετατροπή της ενέργειας του ανέμου σε μηχανική, για την άντληση νερού, κοκκοποίηση υλικών, κόψιμο ξύλων.

Ο Αίολος ήταν σύμφωνα με την ελληνική μυθολογία ο θεός διαχειριστής των ανέμων, μαζί με τους οκτώ βοηθούς του (Βορέας, Καικίας, Απηνιώτης, Εύρος, Νότος, Λιψ, Ζέφυρος, Σκίρων) που απεικονίζονται στον πύργο των Αέρηδων (κτίσμα του 2ου π.Χ. αιώνα) στην Πλάκα. Οι αρχαιότεροι ανεμόμυλοι (κατακόρυφου άξονα) κατασκευάστηκαν στην Περσία τον 6ο έως τον 9ο αιώνα μ.Χ., ενώ η πρώτη γραπτή αναφορά γίνεται στην Κίνα το 13^ο αιώνα μ.Χ. Στην Ευρώπη αναπτύχθηκαν διάφορα είδη ανεμόμυλου (οριζόντιου άξονα) από τον 13ο αιώνα και πιθανόν οι νερόμυλοι να αποτέλεσαν πρότυπο για την κατασκευή τους.

Το 17ο αιώνα η τεχνολογία «μεταφέρεται» στην Αμερική όπου οι ανεμόμυλοι χρησιμοποιήθηκαν κυρίως για άντληση νερού. Η ελληνική εμπειρία στην εκμετάλλευση της ενέργειας του ανέμου είναι αρκετά σημαντική. Στην Ελλάδα, η χρήση ανεμόμυλων χρονολογείται από το 13^ο αιώνα. Επίσης, στην ανατολική Κρήτη γινόταν εκτεταμένη χρήση ανεμόμυλων για άντληση νερού από πηγάδια και άρδευση.

Οι ανεμόμυλοι χρησιμοποιήθηκαν εκτεταμένα μέχρι και την εμφάνιση της ατμομηχανής. Από τότε, η χρήση τους σταδιακά ελαττώθηκε, δίνοντας τόπο στην ατμομηχανή και στις μηχανές εσωτερικής καύσης. Σε αυτό συντέλεσε και η επάρκεια σε κάρβουνο και πετρέλαιο. Κατά τη διάρκεια του Β' παγκοσμίου πολέμου, υπήρξε κάποια ανανέωση του ενδιαφέροντος για αιολική ενέργεια, κυρίως για παραγωγή ηλεκτρισμού και ενσωμάτωση στο δίκτυο.

Η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς έχει αυξηθεί από 2 GW σε παραπάνω από 30 GW ενώ και η ικανότητα ηλεκτροπαραγωγής τους έχει αυξηθεί. Η τάση στη μείωση του κόστους είναι επίσης εντυπωσιακή.

Κατά το έτος 2002, εγκαταστάθηκαν παγκοσμίως νέα αιολικά πάρκα συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 6.700MW, μέγεθος το οποίο αποτελεί δείκτη της εξέλιξης του κλάδου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος κατά 28% παγκοσμίως, σύμφωνα με στοιχεία του AWEA (American Wind Energy Association, 1974) και του αντίστοιχού του στην Ευρώπη EWEA (European Wind Energy Association, 1982). Η αξία της τεχνολογίας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τη χρησιμοποίηση ανεμογεννητριών ανήλθε στο ποσό των 6,8 δις € (8,2 δις \$) παγκοσμίως, έχοντας ως αποτέλεσμα την αύξηση της παγκόσμιας εγκατεστημένης ισχύος στα 31.000MW, ικανών για την κάλυψη των αναγκών 7,5 x 10⁶ τυπικών μέσων αμερικανικών σπιτιών (για την Ευρώπη, το αντίστοιχο νόυμερο είναι 16 x 10⁶).

Η παγκόσμια εγκατεστημένη αιολική ισχύς τετραπλασιάστηκε μέσα στα προηγούμενα πέντε έτη, από 7.600 MW το 1998 σε 31.000 MW το 2002, καθιστώντας την αιολική ενέργεια ως την ταχύτερα αναπτυσσόμενη μορφή ηλεκτροπαραγωγής παγκοσμίως, με μέσο ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης το 32% ενώ το 90% της εγκατεστημένης ισχύος βρίσκεται στην Ευρώπη και στις Η.Π.Α.

Πάνω από τα ¾ της συνολικής παγκόσμιας εγκατεστημένης ισχύος αιολικών πάρκων λειτουργεί στην περιοχή της Ευρώπης, αποτελώντας την περιοχή στην οποία οφείλεται η ραγδαία ανάπτυξη των τελευταίων ετών – ένα επίτευγμα που απορρέει από τη σταθερή δέσμευση για ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας από τα κράτη-μέλη της Ε.Ε.

Κατά το έτος 2002, στα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, εγκαταστάθηκαν νέα αιολικά πάρκα συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 5.871 MW και συνολικής αξίας 5,8 δις €. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στην Ευρώπη αυξήθηκε κατά 33%, φτάνοντας τα 23.100 MW. Ενώ στις Η.Π.Α., το έτος 2002 η αντίστοιχη αύξηση εγκατεστημένης ισχύος ήταν 410 MW (αύξηση περίπου κατά 10%) και για τον Καναδά περίπου 40 MW. Χαρακτηριστικό είναι ότι η Ισπανία παράγει περισσότερο ηλεκτρισμό από αιολική ενέργεια απ' ότι οι Η.Π.Α.

Και αυτό το ενδιαφέρον έγινε υποτονικό από τη διαπίστωση ότι η αιολική ενέργεια είναι σχετικά ακριβή και από κατασκευαστικά προβλήματα που προέκυψαν, κυρίως λόγω κόπωσης των υλικών. Η ευφορία για ενεργειακή επάρκεια έσβησε με την ενεργειακή κρίση του '73 - '74, τον ταχύτατο ρυθμό βιομηχανικής ανάπτυξης και την αποδοχή του γεγονότος ότι τα στερεά, υγρά ή αέρια καύσιμα υπάρχουν αλλά σε πεπερασμένες ποσότητες. Έτσι ανανεώθηκε το ενδιαφέρον για εναλλακτικές μορφές ενέργειας.

3.1 Η πηγή του ανέμου

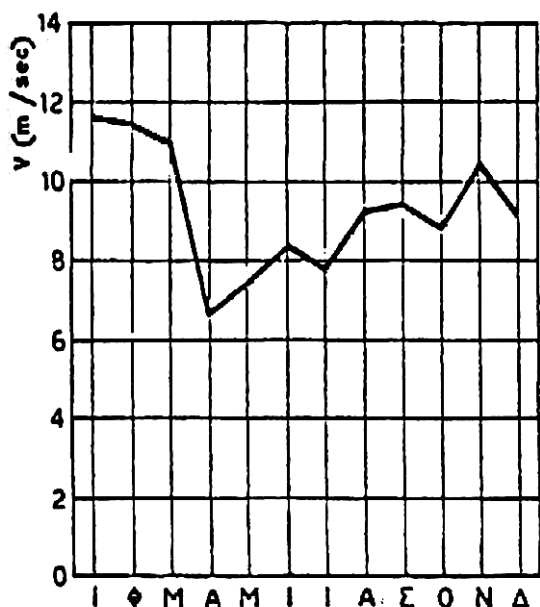
Οι εναέριες μάζες της ατμόσφαιρας, κάτω από την επίδραση των συνεχών μεταβολών της ατμοσφαιρικής πίεσης, κινούνται και αποτέλεσμα αυτής της κίνησης είναι ο άνεμος. Στοιχεία που προσδιορίζουν τον άνεμο είναι η διεύθυνση και η ταχύτητά του. Δυο βασικά φαινόμενα συντελούν στη δημιουργία των ανέμων, η ηλιακή ακτινοβολία και η περιστροφή της γης. Λόγω της θέσης της ως προς τον ήλιο, η γη είναι πιο ζεστή γύρω από τον ισημερινό παρά κοντά στους πόλους.

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να πνέουν ψυχροί επιφανειακοί άνεμοι από τους πόλους προς τον ισημερινό για να αντικαταστήσουν τον θερμό αέρα μικρότερης πυκνότητας των τροπικών ζωνών που ανεβαίνει σε ανώτερα ατμοσφαιρικά στρώματα και από εκεί κινείται προς τους πόλους. Επίσης η περιστροφή της γης επιδρά στις κινήσεις της ατμόσφαιρας. Η αδράνεια τείνει να στρέψει τον ψυχρό αέρα που βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια της γης προς τα δυτικά και τον θερμό των ανωτέρω στρωμάτων προς τα ανατολικά. Ενώ θεωρητικά ο άνεμος πνέει από τις ζώνες υψηλής πίεσης προς τις ζώνες χαμηλής πίεσης, στα μεσαία και μεγάλα γεωγραφικά μήκη η διεύθυνση του ανέμου, επηρεαζόμενη από την περιστροφή της γης, γίνεται παράλληλη με τις ισοβαρείς αντί να είναι κάθετη προς αυτές. Έτσι στο βόρειο ημισφαίριο ο άνεμος περιστρέφεται γύρω από τις περιοχές χαμηλής πίεσης με φορά αντίθετη αυτής των δεικτών του ρολογιού και γύρω από τις περιοχές υψηλής πίεσης με φορά αυτή των δεικτών του ρολογιού. Στο νότιο ημισφαίριο οι διευθύνσεις περιστροφής είναι αντίθετες. Στο 3.1 [1] δίνεται μια γενική εικόνα της κυκλοφορίας των ανέμων στη γη, ενώ πρέπει να σημειωθεί ότι η πραγματική κίνηση των αερίων μαζών είναι πολύ πιο σύνθετη.



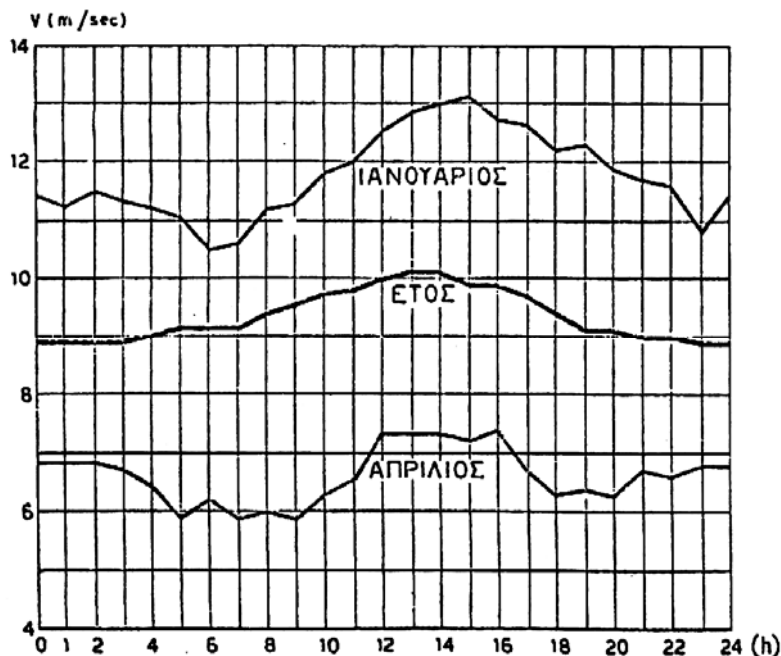
Σχήμα 3.1: Γενική εικόνα κυκλοφορίας των ανέμων στη γη.

Αποτέλεσμα της κίνησης του αέρα στη επιφάνεια της γης, λόγω των περιοχών υψηλής και χαμηλής πίεσης είναι η μεταβολή της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου κατά τη διάρκεια του έτους. Γενικά η ταχύτητα του ανέμου είναι μεγαλύτερη το χειμώνα παρά τις άλλες εποχές (σχ. 3.2 [1]).



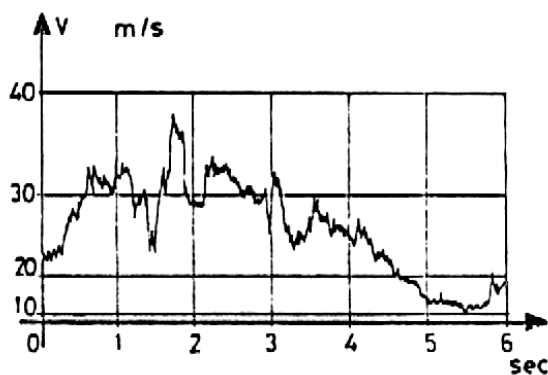
Σχήμα 3.2: Διακύμανση μέσης μηνιαίας ταχύτητας ανέμου, Καλυβάρι Άνδρου 1983

Μεταβολές των χαρακτηριστικών του ανέμου λαμβάνουν χώρα και κατά τη διάρκεια του 24ώρου (σχ. 3.3 [1]).



Σχήμα 3.3: Ημερήσια διακύμανση μέσης ωριαίας ταχύτητας ανέμου, Καλυβάρι Άνδρου 1983

Στις παραθαλάσσιες περιοχές, λόγω της διαφορετικής ειδικής θερμότητας της ξηράς από αυτή της θάλασσας, την ημέρα ο άνεμος κινείται από τη θάλασσα προς τη ξηρά (θαλάσσια αύρα), ενώ το βράδυ ο άνεμος κινείται από την ξηρά προς τη θάλασσα (απόγειος αύρα). Ανάλογα φαινόμενα συμβαίνουν και στις ορεινές περιοχές. Η ταχύτητα του ανέμου μπορεί να αλλάξει και κατά τη διάρκεια πολύ μικρών χρονικών διαστημάτων, της τάξης των sec, όπως φαίνεται και στο σχ. 3.4 [1].

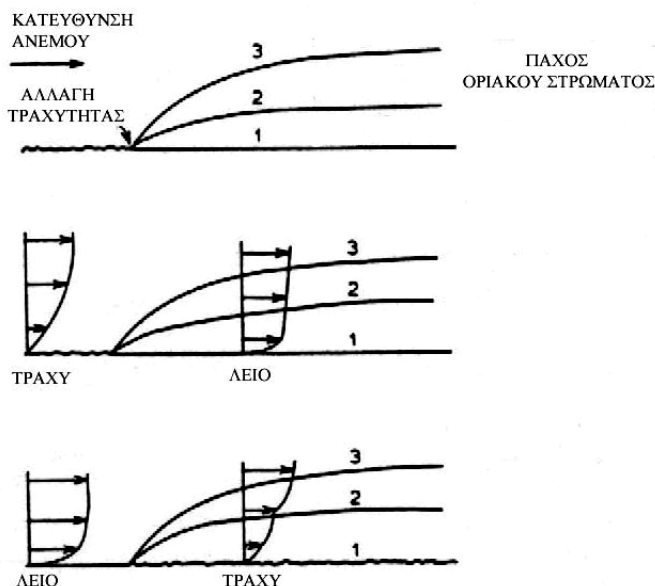


Σχήμα 3.4: Διακύμανση στιγμιαίας ταχύτητας ανέμου, νησιά Orkney U.K.

Η ταχύτητα του ανέμου μετριέται με μια μεγάλη ποικιλία καταγραφικών οργάνων, των ανεμόμετρων, τα οποία διακρίνονται σε περιστρεφόμενα, πίεσης, θερμαινόμενου σύρματος, κλπ. Μπορεί να μετρηθεί και με άλλες μεθόδους, όπως οπτικές (καπνογόνες βολίδες) ή ηχητικές (μετεωρολογικά μπαλόνια).

3.2 Η επίδραση του ύψους και της τραχύτητας του εδάφους

Στο κατώτερο μέρος της ατμόσφαιρας και ιδιαίτερα στα πρώτα 500 έως 1.000 m από το έδαφος, εμφανίζονται έντονες αλλαγές στα χαρακτηριστικά του ανέμου. Το τμήμα αυτό λέγεται οριακό στρώμα και το πάχος του εξαρτάται κυρίως από την τραχύτητα του εδάφους (ύπαρξη εμποδίων, όπως είδη βλάστησης, κατασκευών, κτιρίων) και τις καιρικές συνθήκες. Μέσα στο οριακό στρώμα η ταχύτητα του ανέμου μεταβάλλεται σημαντικά συναρτήσει του ύψους H από το έδαφος, καθώς και της τραχύτητας του εδάφους πάνω από το οποίο πνέει, (σχ. 3.5 [1]).



Σχήμα 3.5: Μεταβολή του προφίλ της ταχύτητας του ανέμου, λόγω αλλαγής της τραχύτητας του εδάφους

Οι σχέσεις Σ 3.1 και Σ 3.2, που προτείνουν πολλοί ερευνητές λαμβάνουν υπόψη αυτούς τους παράγοντες και εκφράζουν την οριζόντια συνιστώσα της ταχύτητας του ανέμου σε τυχαίο ύψος.

$$\frac{V}{V_o} = \frac{\ln \frac{H}{z_o}}{\ln \frac{H_o}{z_o}} \quad (\Sigma \quad 3.1)$$

$$\frac{V}{V_o} = \left(\frac{H}{H_o} \right)^n \quad (\Sigma \quad 3.2)$$

όπου : V , η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος H

V_o , η ταχύτητα στο ύψος H_o

z_o , το ύψος τραχύτητας του εδάφους

n , η παράμετρος που εξαρτάται από την τραχύτητα του εδάφους

Κατά τον Gouirieres, η σχέση Σ 3.1 είναι πιο κατάλληλη για ύψη 30 - 50 m, ενώ η σχέση Σ 3.2 είναι πιο ακριβής για μεγαλύτερα ύψη. Για ύψη κάτω των 30 m και οι δυο σχέσεις προσεγγίζουν με την ίδια αξιοπιστία την πραγματική μεταβολή της ταχύτητας, με την προϋπόθεση ότι το έδαφος είναι σχετικά ομαλό.

Κατά τους D.F.Wame και P.C.Calman, οι παράγοντες z_0 και n , συνδέονται με τη σχέση:

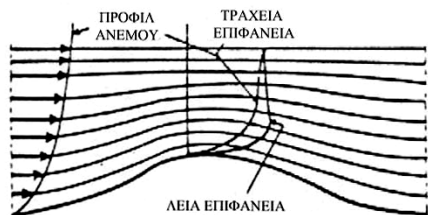
$$n = 0,04 \cdot \ln(z_0) + 0,003 \cdot [\ln(z_0)]^2 + 0,24 \quad (\Sigma 3.3) [1]$$

Να σημειωθεί πως τα ύψη H και H_0 μετρούνται όχι από την επιφάνεια του εδάφους, αλλά πάνω από το επίπεδο ταχύτητας ανέμου μηδέν, π.χ. σε ένα χωράφι πάνω από το μέσο ύψος των σπαρτών. Στον πίν 3.1 [1] παρουσιάζονται τιμές των z_0 , n για διάφορες κατηγορίες τραχύτητας εδάφους.

Πίνακας 3.1: Τιμές των n , z_0 για διάφορες κατηγορίες τραχύτητας εδάφους.

Είδος εδάφους	Τραχύτητα επιφάνειας (mm)	n (mm)	z_0 (mm)
1. Λείο			
Πάγος	0,01	0,1	0,001
Βάλτοι	0,4		
Χιόνι	1		
Θάλασσα	2	0,13	0,02
2. Μέτρια Τραχύ			
Χαμηλά χόρτα	1	0,13	0,01
Σπαρτά	30 – 70		0,05
Αγρ. εκτάσεις	200	0,2	0,3
3. Τραχύ			
Αγρ. εκτάσεις με δένδρα	1.000	0,2	0,3
Δάση, προάστια	1.500	0,27	2
4. Πολύ τραχύ			
Αστικές περιοχές	1.000 – 4.000	0,27 – 0,4	2 - 10

Η τοπογραφία του εδάφους παίζει σημαντικό ρόλο στην επιβράδυνση, στην επιτάχυνση καθώς και στις παρεκκλίσεις του ανέμου. Οι ευνοϊκότερες περιοχές για αιολική εκμετάλλευση είναι κορυφογραμμές χαμηλών επιμηκών λόφων, παράλληλων προς την ακτή, με μέτριες και προοδευτικές κλίσεις και χωρίς επίπεδο μέρος στην κορυφή (σχ. 3.6 [1]). Στις περιοχές αυτές, η αύξηση της ταχύτητας μπορεί να φθάσει και το 60 - 80 %.



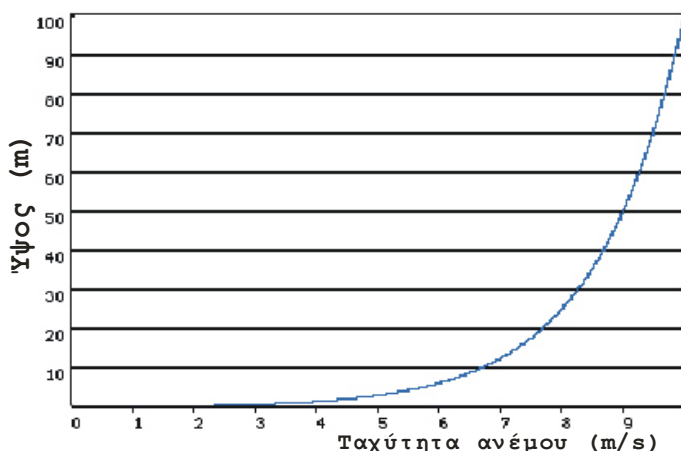
α) ΜΕ ΟΜΑΛΗ ΚΛΙΣΗ



β) ΜΕ ΑΠΟΤΟΜΗ ΚΛΙΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΠΕΔΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

Σχήμα 3.6: Ροή ανέμου πάνω από λόφους

Το σχήμα 3.7 εμφανίζει πώς οι ταχύτητες αέρα ποικίλλουν στην κλάση τραχύτητας 2 (γεωργικό έδαφος με μερικά σπία και διαχωριστικοί φράχτες προστασίας με διαστήματα περίπου 500 m), εάν υποθέτουμε ότι ο αέρας φυσά σε 10 m/s σε ένα ύψος 100 m. Το γεγονός ότι το σχεδιάγραμμα αέρα είναι στραμμένο προς μια χαμηλότερη ταχύτητα καθώς κινούμαστε πιο κοντά προς το επίγειο επίπεδο, καλείται συνήθως οριακό στρώμα του αέρα. Το οριακό στρώμα του αέρα μπορεί επίσης να είναι σημαντικό κατά τη σχεδιασμό των ανεμογεννητριών. Εάν σε μια υποθετική ανεμογεννήτρια με ένα ύψος πυλώνα 40 m και μιας διαμέτρου δρομέα 40 m, θα παρατηρήσετε ότι ο αέρας φυσά σε 9,3 m/s όταν είναι η άκρη της πτέρυγας στην ανώτατη θέση της, και μόνο 7,7 m/s όταν είναι η άκρη στην κατώτατη θέση. Αυτό σημαίνει ότι οι δυνάμεις που ενεργούν στα πτερύγια του δρομέα όταν είναι στην κορυφαία θέση του είναι πολύ μεγαλύτερες από όταν είναι στην κατώτατη θέση.



Σχήμα 3.7: Μεταβολή της ταχύτητα του ανέμου σε σχέση με την τραχύτητα του εδάφους

3.3 Επεξεργασία και Αξιολόγηση του Αιολικού Δυναμικού:

Για τις ανάγκες υπολογισμού του διαθέσιμου αιολικού δυναμικού μιας περιοχής δεν επαρκεί η γνώση της μέσης ταχύτητας του ανέμου της περιοχής αλλά μας απαιτούνται αναλυτικές πληροφορίες και για την κατανομή της πιθανότητας εμφάνισης των διαφόρων τιμών ταχύτητας του ανέμου μέσα στον χρόνο, με έμφαση στην καταγραφή των διαστημάτων νηνεμίας καθώς και των διαστημάτων εμφάνισης πολύ ισχυρών ανέμων.

Για τον σκοπό αυτό, και πριν ληφθεί η τελική απόφαση για την εγκατάσταση μιας ανεμογεννήτριας σε μια περιοχή, είναι απαραίτητη η συγκέντρωση των διαθέσιμων ανεμολογικών στοιχείων της περιοχής, η στατιστική επεξεργασία και η δημιουργία των αντίστοιχων διαγραμμάτων πυκνότητας πιθανότητας και διάρκειας των ανέμων. Επιπλέον είναι απαραίτητος ο εντοπισμός της συχνότητας και της διάρκειας των περιόδων χαμηλών ταχυτήτων και άπνοιας (δηλ. $V < V_c$) οπότε και η ανεμογεννήτρια βρίσκεται εκτός λειτουργίας. Στις χρονικές αυτές περιόδους αναζητούνται άλλες πηγές ενέργειας.

Όπως γίνεται αντιληπτό, η κατάληξη σε ασφαλή συμπεράσματα απαιτούνται μακροχρόνιες και αναλυτικές μετρήσεις. Όμως το σημαντικό κόστος μετρήσεων αλλά και η αναπόφευκτη καθυστέρηση σε συνδυασμό με την έλλειψη κατά κανόνα μακροχρόνιων μετρήσεων στις συγκεκριμένες "ενδιαφέρουσες" περιοχές, απαιτεί να καταφύγουμε εμπειρικά σε αναλυτικά μοντέλα, που περιγράφουν το τοπικό αιολικό δυναμικό μιας περιοχής βάσει μικρού αριθμού

παραμέτρων. Οι ευρύτερα χρησιμοποιούμενες αναλυτικές διανομές πιθανότητας είναι η διανομή "Weibull" και η διανομή "Rayleigh". Η διανομή που προτάθηκε από τον Weibull περιγράφει ικανοποιητικά τα ανεμολογικά χαρακτηριστικά στις περιοχές της εύκρατης ζώνης και για ύψος μέχρι 100 μέτρα από το έδαφος. Η εν λόγω διανομή προσδιορίζει την πιθανότητα η ταχύτητα του ανέμου να βρίσκεται σε μια περιοχή της ταχύτητας "V" βάσει δύο μόνο παραμέτρων. Η αναλυτική έκφραση της διανομής "Weibull" δίνεται σαν¹:

$$f(V) = \frac{k}{C} \left[\frac{V}{C} \right]^{k-1} \exp \left[-\left(\frac{V}{C} \right)^k \right]$$

(Σ.3.4)

Η παράμετρος "C" της ανωτέρω εξίσωσης συνδέεται με την μέση ταχύτητα του ανέμου με βάση την σχέση:

$$\bar{V} = C \Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right)$$

(Σ 3.5)

όπου με Γ συμβολίζουμε την αριθμητική συνάρτηση "Γάμμα".

Αντίστοιχα η δεύτερη παράμετρος της διανομής "Weibull" δηλαδή η παράμετρος k είναι αντιστρόφως ανάλογη της διασποράς "σ²" των ταχυτήτων του ανέμου ως προς την μέση ταχύτητα, δηλαδή:

$$\sigma^2 = C^2 \left[\Gamma \left(1 + \frac{2}{k} \right) - \left(\Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right) \right)^2 \right]$$

(Σ 3.6)

Πιο συγκεκριμένα μεγαλύτερες τιμές του k εκφράζουν μικρότερη διασπορά των ταχυτήτων του ανέμου και συνεπώς μεγαλύτερη συγκέντρωση τους γύρω από την μέση τιμή της ταχύτητας.

Για την εύρεση της καμπύλης διάρκειας των ταχυτήτων του ανέμου πρέπει να προσδιορισθεί το χρονικό διάστημα για το οποίο η μετρημένη ταχύτητα είναι μεγαλύτερη από κάποια προκαθορισμένη τιμή. Στην περίπτωση της κατανομής "Weibull" η καμπύλη διάρκειας μπορεί να ευρεθεί βάσει της συνάρτησης ολικής πιθανότητας, δηλαδή:

$$F(V \leq V_o) = 1 - \exp \left[-\left(\frac{V_o}{C} \right)^k \right]$$

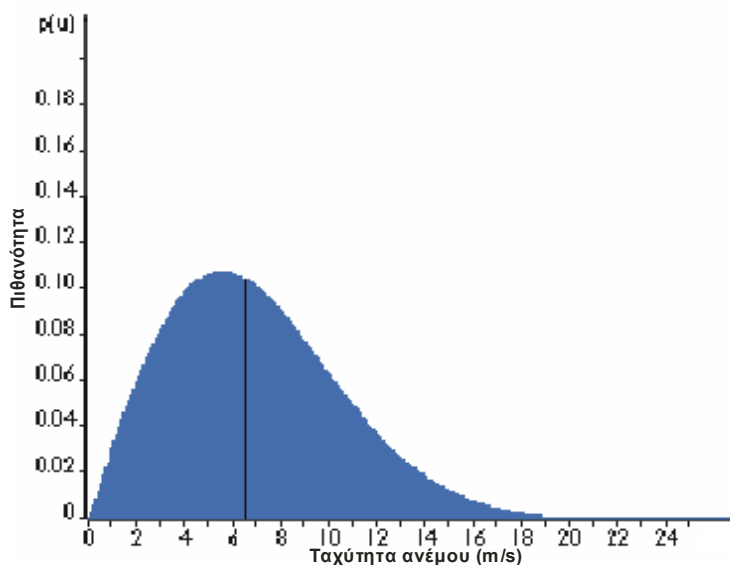
(Σ 3.7)

η οποία είναι συμπληρωματική (έχουν άθροισμα μονάδα) της καμπύλης διάρκειας και δίνει την πιθανότητα "F" η ταχύτητα "V" να είναι μικρότερη μιας τιμής "V_ο". Η διανομή Rayleigh είναι μια ειδική μορφή της διανομής Weibull και προκύπτει από αυτήν όταν η παράμετρος k ληφθεί ίση με 2.0.

Η κατανομή Weibull είναι το γενικό πρότυπο των μεταβολών ταχύτητας αέρα. Αυτό είναι πολύ σημαντικό για τη μελέτη του αέρα για να είναι σε θέση να περιγράψει την μεταβολή των ταχυτήτων του αέρα. Οι σχεδιαστές στροβίλων χρειάζονται τις πληροφορίες για να βελτιστοποιήσουν το σχέδιο των στροβίλων τους, ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι παραγωγικές

δαπάνες. Οι επενδυτές στροβίλων χρειάζονται τις πληροφορίες για να υπολογίσουν το εισόδημά τους από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Εάν μετρηθεί η ταχύτητα αέρα καθ' όλη τη διάρκεια ενός έτους, θα παρατηρηθεί ότι στις περισσότερες περιοχές οι ισχυροί άνεμοι, θυελλώδης είναι σπάνιοι, ενώ οι μέτριοι και φρέσκοι άνεμοι είναι αρκετά κοινοί.

Η μεταβολή του αέρα για μια χαρακτηριστική περιοχή περιγράφεται συνήθως χρησιμοποιώντας την αποκαλούμενη κατανομή Weibull, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.8. Αυτή η ιδιαίτερη περιοχή έχει μια μέση ταχύτητα αέρα 7 m/s, και η μορφή της καμπύλης καθορίζεται από μια αποκαλούμενη παράμετρο μορφής της στατιστικής περιγραφής.



Σχήμα 2.10: Κατανομή Weibull

3.3.1 Στατιστική Περιγραφή

Η γραφική παράσταση εμφανίζει διανομή πυκνότητας πιθανότητας. Η περιοχή κάτω από την καμπύλη είναι πάντα ακριβώς 1, δεδομένου ότι η πιθανότητα που ο αέρας θα φυσά με κάποια ταχύτητα αέρα συμπεριλαμβανομένου μηδενός πρέπει να είναι 100%. Η μισή από την μπλε περιοχή είναι αριστερά της κάθετης μαύρης γραμμής σε 6,6 m/s. Το 6,6 m/s καλείται μεσαία τιμή της κατανομής.

Ο λόγος για τον οποίο είναι σημαντικές οι ταχύτητες του αέρα είναι το ενεργειακό περιεχόμενό τους. Η ενέργεια του αέρα μεταβάλλεται με τον κύβο της ταχύτητας του αέρα. Όσο περισσότερη κινητική ενέργεια μία ανεμογεννήτρια παίρνει από τον αέρα, τόσο περισσότερο ο αέρας επιβραδύνεται δεδομένου ότι αφήνει την πίσω πλευρά του στροβίλου. Εάν η ανεμογεννήτρια έπαιρνε όλη την ενέργεια από τον αέρα, ο αέρας θα απομακρυνόταν με ταχύτητα μηδέν, δηλ. ο αέρας δεν θα μπορούσε να αφήσει το στρόβιλο. Σε εκείνη την περίπτωση δεν θα εξάγαμε οποιαδήποτε ενέργεια καθόλου, δεδομένου ότι όλος ο αέρας προφανώς επίσης θα αποτρεπόταν από την είσοδο του στροφέα του στροβίλου.

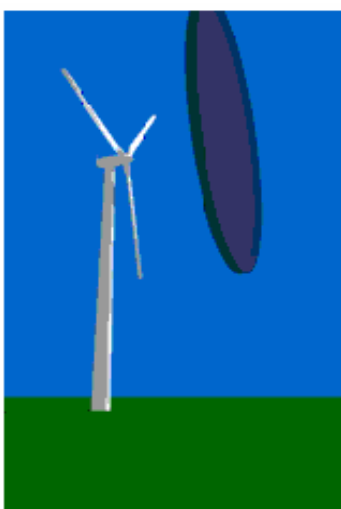
Στην άλλη ακραία περίπτωση, ο αέρας θα μπορούσε να περάσει αν και ο σωλήνας μας ανωτέρω χωρίς να εμποδιστεί καθόλου. Σε αυτήν την περίπτωση επιπλέον δεν θα είχαμε εξάγαγε οποιαδήποτε ενέργεια από τον αέρα. Μπορούμε επομένως να υποθέσουμε ότι πρέπει να υπάρξει κάποιος τρόπος τον αέρα που είναι μεταξύ αυτών των δύο άκρων, και είναι αποδοτικότερος στη μετατροπή της ενέργειας στον αέρα στη χρήσιμη μηχανική ενέργεια. Μία ιδανική ανεμογεννήτρια επιβραδύνει τον αέρα ως το 2/3 της αρχικής ταχύτητάς του. Ο νόμος του "Betz" λει ότι είναι δυνατό μόνο να μετατραπεί το λιγότερο από 16/27 (ή 59%) της κινητικής ενέργειας του αέρα σε μηχανική ενέργεια χρησιμοποιώντας μία

ανεμογεννήτρια. Ο Νόμος Betz διατυπώθηκε αρχικά από το γερμανό φυσικό Albert Betz το 1919.

3.3.2 Η ισχύς του Ανέμου

Η ανεμογεννήτρια αποκτά τη δύναμη της μετατρέποντας την ενέργεια του αέρα που λαμβάνει στην είσοδο σε περιστροφική ενεργώντας στα περύγια του στροφέα. Το ποσό ενέργειας που ο αέρας μεταφέρει στο στροφέα εξαρτάται από την πυκνότητα του αέρα, το άνοιγμα των περυγίων και την ταχύτητα του αέρα. Η κινητική ενέργεια ενός κινούμενου σώματος είναι ανάλογη προς τη μάζα της. Η κινητική ενέργεια του αέρα εξαρτάται έτσι από την πυκνότητα του αέρα, δηλ. τη μάζα της ανά μονάδα όγκου.

Με άλλα λόγια, όσο "βαρύτερος" ο αέρας, τόση περισσότερη ενέργεια παραλαμβάνεται από την ανεμογεννήτρια. Στην κανονική ατμοσφαιρική πίεση και σε 15°C ο αέρας ζυγίζει περίπου 1.225 χιλιόγραμμα ανά κυβικό μέτρο, αλλά η πυκνότητα μειώνεται ελαφρώς με την αυξανόμενη υγρασία. Επίσης, ο αέρας είναι πυκνότερος όταν είναι κρύος από όταν είναι θερμός. Σε μεγάλα ύψη, (στα βουνά) η πίεση αέρα είναι χαμηλότερη, και ο αέρας είναι λιγότερο πυκνός.



Σχήμα 3.9: Σχεδιάγραμμα Ανεμογεννήτριας, και επιφάνειας σάρωσης

Μία χαρακτηριστική ανεμογεννήτρια 600kW έχει μια διάμετρο δρομέα 43-44 μέτρων, δηλ. ένας τομέας δρομέα περίπου 1.500 τετραγωνικών μέτρων. Η διάμετρος του δρομέα καθορίζει πόση ενέργεια μια ανεμογεννήτρια είναι σε θέση να δεχθεί από τον αέρα. Δεδομένου ότι η περιοχή του δρομέα αυξάνεται με το τετράγωνο της διαμέτρου του δρομέα, ένας στρόβιλος που είναι δύο φορές μεγαλύτερος θα λάβει τετραπλάσια ενέργεια η διπλανή εικόνα παρουσιάζει τα πράγματα αρκετά απλοποιημένα.

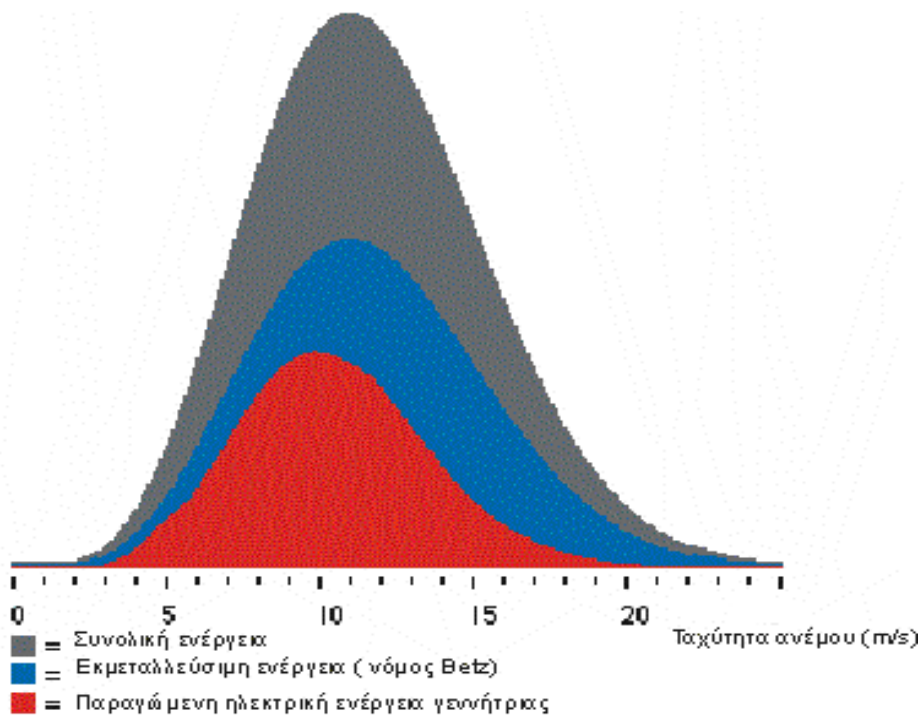
Στην πραγματικότητα, μία ανεμογεννήτρια θα εκτρέψει τον αέρα, ακόμη και προτού να φθάσει ο αέρας στον δρομέα. Αυτό σημαίνει ότι δεν είναι δυνατόν να εκμεταλλευτεί ολόκληρη η ενέργεια του αέρα χρησιμοποιώντας μία ανεμογεννήτρια. Στο Σχήμα 3.9 φαίνεται ο αέρας που προέρχεται από τα δεξιά, και χρησιμοποιείται μια συσκευή για να εκμεταλλευτεί μέρος της κινητικής ενέργειας του αέρα, (σε αυτήν την περίπτωση χρησιμοποιείται έναν λογοχειδή στροφέα 3 περυγίων, αλλά μπόρεσε να είναι κάποια άλλη μηχανική συσκευή). Ο δρομέας των ανεμογεννητριών πρέπει προφανώς να επιβραδύνει τον αέρα δεδομένου ότι συλλαμβάνει την κινητική ενέργειά του και την μετατρέπει σε περιστροφική ενέργεια. Αυτό σημαίνει ότι ο αέρας θα κινείται πιο αργά αριστερά του στροφέα από ότι δεξιά του στροφέα.

Δεδομένου ότι το ποσό αέρα που εισάγεται μέσω της περιοχής σάρωσης του δρομέα από τα δεξιά (κάθε δευτερόλεπτο) πρέπει να είναι το ίδιο με το ποσό αέρα που αφήνει την περιοχή του δρομέα στο αριστερό, ο αέρας θα πρέπει να καταλάβει ένα μεγαλύτερο διαγώνιο τμήμα (διάμετρος) πίσω από το δρομέα. Ο αέρας δεν θα επιβραδυνθεί στην τελική ταχύτητά του αμέσως πίσω από το δρομέα. Η επιβράδυνση θα συμβεί βαθμιαία πίσω από το στροφέα, έως ότου η ταχύτητα γίνεται σχεδόν σταθερή.

Είναι γνωστό ότι η ενεργειακή δυνατότητα ανά δευτερόλεπτο μεταβάλλεται αναλογικά προς τον κύβο της ταχύτητας του αέρα, και αναλογικά προς την πυκνότητα του αέρα.

Εάν πολλαπλασιάσουμε την ενέργεια κάθε ταχύτητας του αέρα με την πιθανότητα κάθε ταχύτητας αέρα από τη γραφική παράσταση Weibull, έχουμε υπολογίσει ότι η διανομή της ενέργειας του αέρα σε διαφορετικές ταχύτητες αέρα δηλαδή την πυκνότητα ισχύος. Το Σχήμα 3.10 δίνει το ποσό ενέργειας του αέρα ανά τετραγωνική ροή αέρα που είναι δυνατό να συμβεί στην συγκεκριμένη περιοχή. Σε αυτήν την περίπτωση υπάρχει μια μέση ταχύτητα αέρα 7 m/s και Weibull με $k=2$, έτσι λαμβάνονται 402 W/m^2 . Πρέπει να σημειωθεί ότι αυτό είναι σχεδόν δύο φορές η ενέργεια που έχει ο αέρας όταν φυσά συνεχώς με τη μέση ταχύτητα αέρα. Η γραφική παράσταση αποτελείται από διάφορες στενές κάθετες στήλες, μια για κάθε 0,1 m/s διάστημα ταχύτητας αέρα. Το ύψος κάθε στήλης είναι η ενέργεια την οποία εκείνη η συγκεκριμένη ταχύτητα αέρα συμβάλλει στο συνολικό ποσό ενέργειας που είναι διαθέσιμο ανά τετραγωνικό μέτρο. Η περιοχή κάτω από την μπλε καμπύλη δείχνει το πόσο της ενέργειας του αέρα που μπορεί θεωρητικά να μετατραπεί σε μηχανική ενέργεια, σύμφωνα με το νόμο του Betz. Η συνολική περιοχή κάτω από την κόκκινη καμπύλη δείχνει πόση ηλεκτρική ενέργεια μία συγκεκριμένη ανεμογεννήτρια παράγει.

Το σημαντικότερο πράγμα που παρατηρείται είναι ότι η συνολική ποσότητα της ενέργειας αέρα θα βρεθεί με τις ταχύτητες αέρα επάνω από τη μέση ταχύτητα του αέρα. Αυτό συμβαίνει, επειδή είναι γνωστό ότι οι ταχύτητες υψηλού αέρα έχουν το πολύ υψηλότερο ενεργειακό περιεχόμενο από τις χαμηλές ταχύτητες αέρα. Συνήθως, ανεμογεννήτριες σχεδιάζονται για να αρχίσει με τις ταχύτητες αέρα κάπου περίπου 3 έως 5 m/s. Αυτό καλείται αποκοπή στην ταχύτητα του αέρα. Η μπλε περιοχή στο αριστερό εμφανίζει μικρό ποσό ενέργειας που χάνουμε εξαιτίας του γεγονότος ότι ο στρόβιλος ξεκινά μόνο με ταχύτητα πάνω από 5m/sec. Η ανεμογεννήτρια προγραμματίζεται για να σταματήσει με τις ταχύτητες υψηλού αέρα ανωτέρω, των 25m/s, προκειμένου να αποφευχθεί καταστροφή του στροβίλου.



Σχήμα 3.10: Ποσό ενέργειας συναρτήσει της ταχύτητας του αέρα

Η ταχύτητα αέρα αυτή καλείται αποκομμένη ταχύτητα αέρα. Η μικροσκοπική μπλε περιοχή στα δεξιά αντιπροσωπεύει εκείνη της απώλειας ενέργειας.

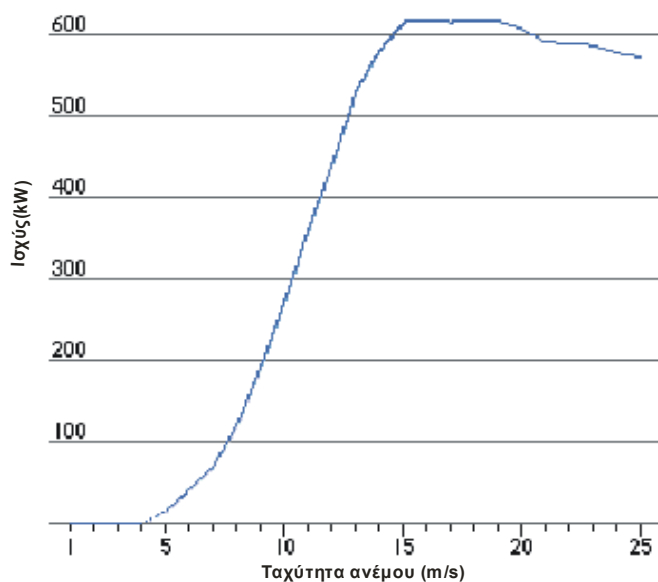
Η καμπύλη ενέργειας μιας ανεμογεννήτριας, Σχήμα 3.11, είναι μια γραφική παράσταση που δείχνει πόσο μεγάλη είναι η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στην ανεμογεννήτρια με τις διαφορετικές ταχύτητες αέρα. Η γραφική παράσταση εμφανίζει την καμπύλη ενέργειας για μία χαρακτηριστική ανεμογεννήτρια 600kW. Οι καμπύλες ενέργειας βρίσκονται από τις μετρήσεις όπου ένα ανεμόμετρο τοποθετείται σε έναν ιστό εύλογα κοντά στον ανεμογεννήτρια (όχι ο ίδιος στο στρόβιλο ή επίσης κοντά σε αυτό, δεδομένου ότι ο στροφέας στροβίλων μπορεί να δημιουργήσει τύρβη, και να καταστήσει τη μέτρηση ταχύτητας αέρα αναξιόπιστη). Εάν η ταχύτητα αέρα δεν κυμαίνεται πάρα πολύ γρήγορα, τότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι μετρήσεις της ταχύτητας του αέρα από το ανεμόμετρο και να διαβαστεί στην έξοδο η ηλεκτρική ενέργεια από την ανεμογεννήτρια και να σχεδιαστεί τις δύο τιμές μαζί σε μια γραφική παράσταση.

Η αβεβαιότητα στη μέτρηση των καμπυλών ενέργειας στην πραγματικότητα, μια και θα υπάρχει ένα σμήνος σημείων που διαδίδονται γύρω από την μπλε γραμμή, και όχι την τακτοποιημένη καμπύλη στη γραφική παράσταση. Ο λόγος είναι ότι στην πράξη η ταχύτητα του αέρα κυμαίνεται πάντα, και δεν μπορεί να μετρηθεί ακριβώς η στήλη του αέρα που περνά μέσω του στροφέα της ανεμογεννήτριας. Στην πράξη, επομένως, κάποιος πρέπει να πάρει έναν μέσο όρο των διαφορετικών μετρήσεων για κάθε ταχύτητα αέρα, και να σχεδιάσει τη γραφική παράσταση μέσω αυτών των μέσων όρων. Επιπλέον, είναι δύσκολο να γίνουν οι ακριβείς μετρήσεις της ίδια της ταχύτητας του αέρα. Εάν κάποιος έχει ένα σφάλμα 3 % στη μέτρηση ταχύτητας αέρα, κατόπιν η ενέργεια στον αέρα μπορεί να είναι 9 % υψηλότερη ή χαμηλότερη. Συνεπώς, μπορούν να υπάρξουν σφάλματα μέχρι συν ή μείον 10 % ακόμη και στις επικυρωμένες καμπύλες ενέργειας.

Οι καμπύλες ενέργειας είναι βασισμένες στις μετρήσεις στις περιοχές με χαμηλή ένταση τύρβης, και με τον αέρα που έρχεται άμεσα προς το μέτωπο του δρομέα. Η τοπική τύρβη και η σύνθετη έκταση (π.χ. στρόβιλοι που τοποθετούνται σε μια τραχιά κλίση) μπορούν να σημάνουν ότι τα μπουρίνια αέρα χτυπούν το στροφέα από ποικίλες κατευθύνσεις. Μπορεί

επομένως να είναι δύσκολο να αναπαραχθεί η καμπύλη ενέργειας ακριβώς σε οποιαδήποτε δεδομένη θέση.

Η καμπύλη ενέργειας δεν θα λει πόση ενέργεια μία ανεμογεννήτρια παράγει με μια ορισμένη μέση ταχύτητα αέρα. Το ενεργειακό περιεχόμενο του αέρα ποικίλλει πολύ έντονα με την ταχύτητα του αέρα. Έτσι, επηρεάζει πολύ πώς υπολογίστηκε εκείνος ο μέσος όρος, δηλ. εάν οι άνεμοι ποικίλλουν πολύ, ή εάν ο αέρας φυσά με μια σχετικά σταθερή ταχύτητα. Επίσης, το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας του αέρα είναι διαθέσιμο στις ταχύτητες αέρα που είναι δύο φορές η πιο συνήθη ταχύτητα αέρα. Τέλος, πρέπει να μην αγνοηθεί το γεγονός ότι ο στρόβιλος μπορεί να μην λειτουργεί συνέχεια σε σταθερές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας και έτσι απαιτείται να γίνονται συνεχείς διορθώσεις για τις αλλαγές στην πυκνότητα του αέρα.



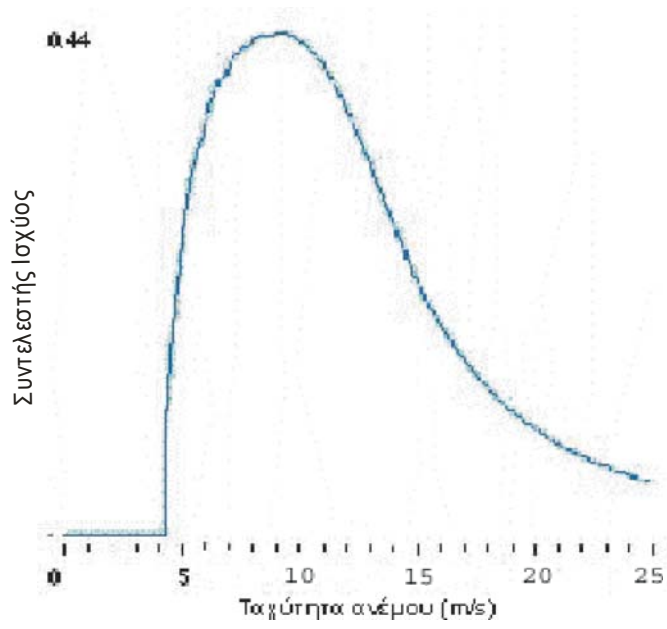
Σχήμα 3.11 : Καμπύλη ενέργειας ανεμογεννήτριας ισχύος 600kW

3.3.3 Συντελεστές Ισχύος

Ο Συντελεστής ισχύος λει πόσο αποτελεσματικά μια ανεμογεννήτρια μετατρέπει την ενέργεια του αέρα σε ηλεκτρική ενέργεια. Πολύ απλά, διαιρούμε την ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας στην έξοδο με την ενεργειακή είσοδο αέρα για να μετρήσουμε πόσο τεχνικά αποδοτική είναι μία ανεμογεννήτρια. Με άλλα λόγια, η καμπύλη ενέργειας, και διαιρείται με την περιοχή του στροφέα για να πάρουμε την έξοδο την ενέργεια ανά τετραγωνικό μέτρο της περιοχής του στροφέα. Για κάθε ταχύτητα αέρα, έπειτα το αποτέλεσμα διαιρείται με το ποσό ενέργειας του αέρα ανά m^2 .

Το Σχήμα 3.12 εμφανίζει την καμπύλη του συντελεστή ενέργειας για μία χαρακτηριστική ιδανική ανεμογεννήτρια. Αν και η μέση αποδοτικότητα για αυτές τις ανεμογεννήτριες είναι λίγο πάνω από 20%, η αποδοτικότητα ποικίλλει πάρα πολύ με την ταχύτητα του αέρα. (Εάν υπάρχουν μικρές συστροφές στην καμπύλη, οφείλονται συνήθως στα σφάλματα μέτρησης). Όπως φαίνεται, η μηχανική αποδοτικότητα του στροβίλου είναι μεγαλύτερη (σε αυτήν την περίπτωση 44%) με μια ταχύτητα αέρα γύρω από περίπου 9 m/s. Αυτό είναι μια σκόπιμη επιλογή από τους μηχανικούς που σχεδίασαν το στρόβιλο.

Με τις χαμηλές ταχύτητες αέρα η αποδοτικότητα δεν είναι τόσο σημαντική, επειδή δεν υπάρχει πολύ διαθέσιμη ενέργεια. Με τις υψηλές ταχύτητες αέρα ο στρόβιλος πρέπει να σπαταλήσει οποιαδήποτε υπερβολική ενέργεια επάνω από αυτό που η γεννήτρια σχεδιάστηκε. Η αποδοτικότητα επομένως επηρεάζεται πιο πολύ στην περιοχή των ταχυτήτων αέρα όπου το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας πρόκειται να βρεθεί. Δεν είναι ένας στόχος το να υπάρχει μια υψηλή τεχνική αποδοτικότητα ενός ανεμοστρόβιλου.



Σχήμα 3.12: Συντελεστής ενέργειας ιδανικής ανεμογεννήτριας ισχύος 600kW

Ο βέλτιστος στρόβιλος δεν είναι επομένως απαραίτητος ο στρόβιλος με την υψηλότερη ενεργειακή έξοδο ετησίως. Αφ' ετέρου, κάθε τετραγωνικό μέτρο της περιοχής του στροφέα, κοστίζει γι' αυτό είναι στόχος είναι να αποδοθεί όσο το δυνατό περισσότερη ενέργεια γίνεται - εφ' όσον κρατηθεί το κόστος ανά κιλοβατώρα χαμηλά. Αυτό που πραγματικά είναι σημαντικό, είναι το κόστος για τις κιλοβατώρες από τους ανέμους κατά τη διάρκεια των επόμενων 20 ετών. Δεδομένου ότι το καύσιμο είναι δωρεάν, δεν υπάρχει καμία ανάγκη να γίνει οικονομία στο καύσιμο.

3.4 Χαρακτηριστικά των ανεμογεννητριών (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1)

Θεωρώντας σταθερή, αξονική ροή ασυμπιέστου και χωρίς τριβές αέρα δια μέσου ενός υποθετικού σωλήνα διατομής S , κινούμενου με σταθερή ταχύτητα V , η ισχύς του ανέμου P_w , παρέχεται από τη σχέση Σ 3.8:

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V^3 \tag{Σ 3.8}$$

Όπου: ρ , η πυκνότητα του αέρα ($1,2 \text{ kg/m}^3$)

Αν στη ροή τοποθετηθεί μια ανεμογεννήτρια (a/γ) με επιφάνεια σάρωσης της πτερωτής S , το ποσοστό της ισχύος του ανέμου, που η a/γ μετατρέπει σε μηχανική ενέργεια δίνεται από τη σχέση Σ 3.9:

$$P_m = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot S \cdot V^3 \tag{Σ 3.9}$$

Όπου: C_p , ο συντελεστής ισχύος.

Ο συντελεστής ισχύος C_p είναι βασικό χαρακτηριστικό των a/γ . Είναι ο λόγος της μηχανικής ισχύος P_m , που παράγει η a/γ προς την ισχύ P_w του ανέμου που διαπερνά την επιφάνεια σάρωσης της πτερωτής και δίνεται από τη σχέση Σ 3.10:

$$C_p = P_m / P_w = 2 P_m / \rho \cdot S \cdot V^3 \quad (\Sigma 3.10)$$

Η μέγιστη θεωρητικά παραγόμενη ισχύς δίνεται όταν:

$$C_{p, \max} = 16 / 27 = 0,593 \quad (\Sigma 3.11)$$

Πρωτοϋπολογίστηκε από τον Betz και για αυτό ονομάζεται όριο του Betz.

Οι διάφορες απώλειες και άλλες αποκλίσεις που υπάρχουν στην πραγματική ροή, όπως μηχανικές τριβές ή στροβιλισμοί στον αέρα, μειώνουν το μέγιστο συντελεστή ισχύος στο 0,46 με 0,47.

Από τη σχέση Σ 3.9 φαίνεται πως η παραγόμενη ισχύς είναι ανάλογη του κύβου της ταχύτητας του ανέμου. Επειδή η ταχύτητα του ανέμου μπορεί να μεταβληθεί ουσιαστικά ακόμη και σε πολύ κοντινές αποστάσεις, η παραγόμενη ισχύς και ενέργεια από μια a/γ εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη θέση εγκατάστασής της. Για το λόγο αυτό η επιλογή της θέσης αυτής είναι τουλάχιστον εξίσου σημαντικό ζήτημα με το σχεδιασμό ή την επιλογή a/γ με μεγάλο C_p .

Ο συντελεστής ισχύος C_p σε κάθε a/γ εξαρτάται από το λόγο λ (*tip-speed ratio*) της ταχύτητας, λόγω περιστροφής του ακροπτερυγίου, προς την ταχύτητα V του ανέμου.

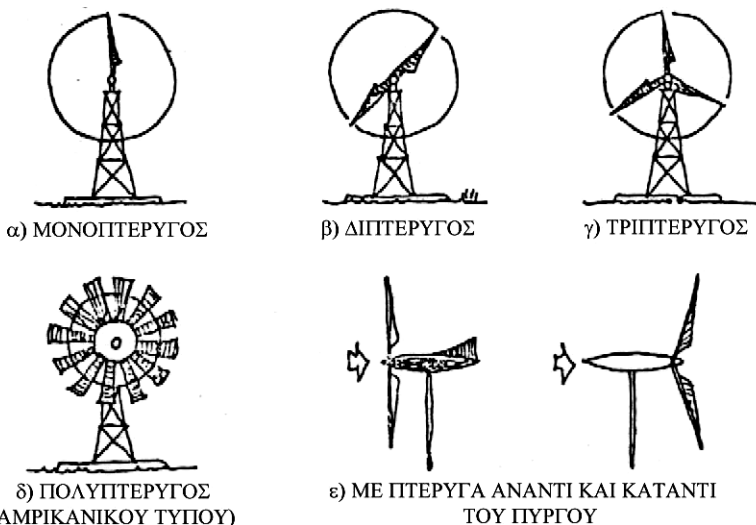
$$\lambda = \omega \cdot r / V \quad (\Sigma 3.12)$$

όπου: ω , η γωνιακή ταχύτητα της πτερωτής

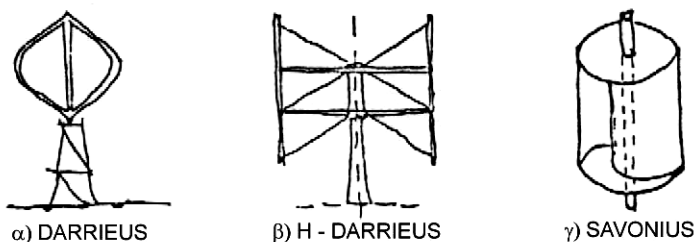
r , η ακτίνα του ακροπτερυγίου

Μέχρι σήμερα έχει επινοηθεί και κατασκευαστεί μια μεγάλη ποικιλία αιολικών μηχανών, που για την παρουσίαση κάθε μιας χρειάζεται ιδιαίτερη προσέγγιση. Μια καταρχήν ταξινόμηση των αιολικών μηχανών ως προς τα βασικά τεχνικά τους χαρακτηριστικά είναι ο χωρισμός σε δύο μεγάλες κατηγορίες, η μία περιλαμβάνει τις a/γ οριζόντιου άξονα και η άλλη τις a/γ κατακόρυφου άξονα (σχ. 3.13 [1]).

1. ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΑΞΟΝΑ



2. ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΥ ΑΞΟΝΑ



Σχήμα 3.13: Τύποι ανεμογεννητριών (α/γ).

Και στις δύο κατηγορίες ξεχωρίζουν α/γ με μικρή και μεγάλη «στιβαρότητα». Ο όρος «στιβαρότητα» δίνει το λόγο της συνολικής επιφάνειας των πτερυγίων προς τη μετωπική επιφάνεια σάρωσης της πτερωτής.

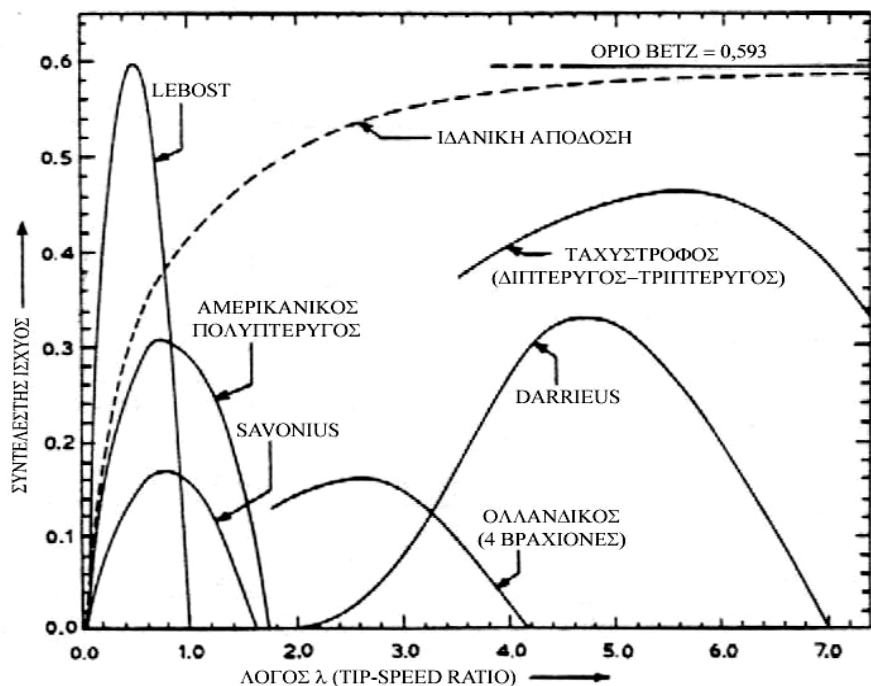
Οι α/γ οριζόντιου άξονα με μεγάλη στιβαρότητα έχουν μεγάλο αριθμό πλατιών μεταλλικών πτερυγίων, όπως η πολυπτέρυγος αμερικάνικου τύπου. Λειτουργούν με βάση την αεροδυναμική άνοση και είναι συνήθως βαριές κατασκευές. Έτσι έχουν σχετικά χαμηλό ανώτατο όριο μεγέθους κατασκευής. Η αεροδυναμική αλληλεπίδραση των πτερυγίων είναι σχετικά μεγάλη και επιβάλλει ένα εσωτερικό περιορισμό για τις ροπές και τις ταχύτητες που μπορούν να αναπτυχθούν σε υψηλές ταχύτητες ανέμου. Αυτές οι α/γ λειτουργούν σε σχετικά μικρές τιμές του λόγου λ , είναι δηλαδή αργόστροφες και χρησιμοποιούνται κυρίως για άντληση.

Αν τα πτερύγια κατασκευαστούν με διατομή κανονικής αεροτομής, γεγονός που θα αυξήσει την άνοση και θα μειώσει την αντίσταση, και αν χρησιμοποιηθεί σχετικά μικρός αριθμός πτερυγίων, έτσι ώστε να αποκαθίστανται οι κανονικές συνθήκες ροής του ανέμου, που διαταράσσονται από το πτερύγιο που προηγείται κατά την περιστροφή, θα έχουμε σαν αποτέλεσμα α/γ με υψηλότερες τιμές του λόγου λ , πολύστροφες, καθώς και με υψηλότερες τιμές του συντελεστή ισχύος C_p . Οι α/γ αυτές είναι κατάλληλες για ηλεκτροπαραγωγή.

Στις α/γ κατακόρυφου άξονα η κίνηση είναι αποτέλεσμα της ροπής που δημιουργείται από τη διαφορά αντίστασης των πτερυγίων. Στις α/γ μεγάλης στιβαρότητας τα πτερύγια συνήθως περιστρέφονται πιο αργά από τον αέρα που τα διαπερνά, με αποτέλεσμα ο λόγος λ να είναι μικρότερος της μονάδας. Μεγάλη προσπάθεια καταβλήθηκε από τους αρχαίους χρόνους για να μειωθεί η αντίσταση που δημιουργείται από την περιστροφή των πτερυγίων μέσα στον άνεμο. Η πρόοδος της θεωρίας της αεροδυναμικής μετά τον πρώτο παγκόσμιο πόλεμο, είχε

σαν αποτέλεσμα την κατασκευή πολύστροφων a/γ κατακόρυφου άξονα και μικρής στιβαρότητας. Η βασική θεωρία για αυτές αναπτύχθηκε από τον Darrieus (1931), αλλά στη συνέχεια παρέμεινε ουσιαστικά στάσιμη.

Τέλος στο σχ. 3.14 [1], παρουσιάζεται η εξάρτηση του συντελεστή ισχύος C_p από το λόγο λ για διάφορες a/γ .



Σχήμα 3.14: Συντελεστής ισχύος συναρτήσει του λόγου λ , για διάφορες a/γ .

Οι a/γ μικρής στιβαρότητας έχουν γενικά υψηλότερες τιμές του C_p από τις a/γ μεγάλης στιβαρότητας. Επίσης, γενικά οι a/γ οριζόντιου άξονα έχουν μεγαλύτερο C_p από τις αντίστοιχες κατακόρυφου άξονα.

Μια αιολική μηχανή χαρακτηρίζεται από τρεις τιμές της ταχύτητας: (σχ. 3.15 [1])

- Την ταχύτητα έναρξης V_{\min} (*cut-in speed*): Είναι η ελάχιστη ταχύτητα ανέμου για την οποία η μηχανή λειτουργεί.
- Την ονομαστική ταχύτητα V_R (*rated speed*): Είναι η ταχύτητα για την οποία η ισχύς που παράγεται γίνεται ίση με την ονομαστική ισχύ.
- Την ταχύτητα αποσύνδεσης V_{\max} (*cut-out speed*): Είναι η μέγιστη ταχύτητα ανέμου για την οποία η μηχανή λειτουργεί χωρίς σοβαρό κίνδυνο βλάβης. Για $V > V_{\max}$ η μηχανή ακινητοποιείται για ασφάλεια.

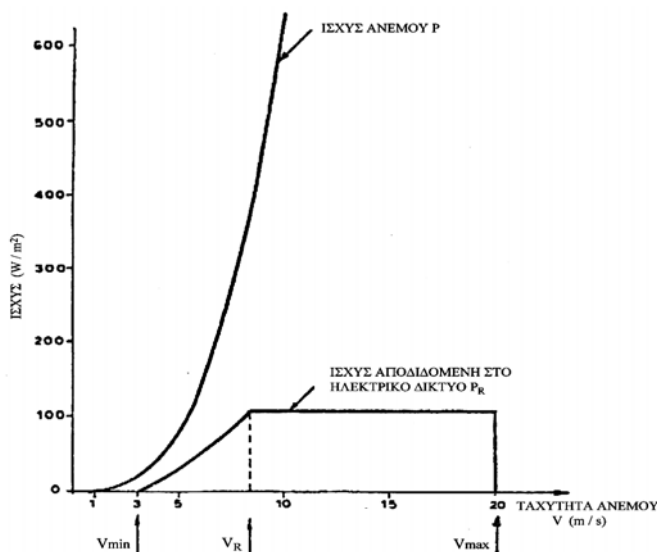
Αν τα V_R και P_R είναι πολύ μικρά, η μηχανή αξιοποιεί μόνο ένα μικρό μέρος της ισχύος του ανέμου (καμπύλες σχ. 3.15). Αν πάλι τα V_R και P_R παραείναι μεγάλα, η μηχανή αποδίδει την ονομαστική της ισχύ P_R μόνο για πολύ μεγάλες ταχύτητες ανέμου, που είναι σπάνιες, ενώ το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου αποδίδει μόνο ένα μέρος της, με αποτέλεσμα να λειτουργεί με μειωμένο βαθμό απόδοσης. Στην περίπτωση αυτή η δαπάνη για όλη την εγκατάσταση έχει μεγάλο χρόνο απόσβεσης.

Γενικά ο προσδιορισμός των V_{\min} , V_R , V_{\max} και P_R μιας αιολικής μηχανής που προορίζεται να εγκατασταθεί σε ορισμένη θέση, είναι αντικείμενο βελτιστοποίησης που λαμβάνει υπόψη:

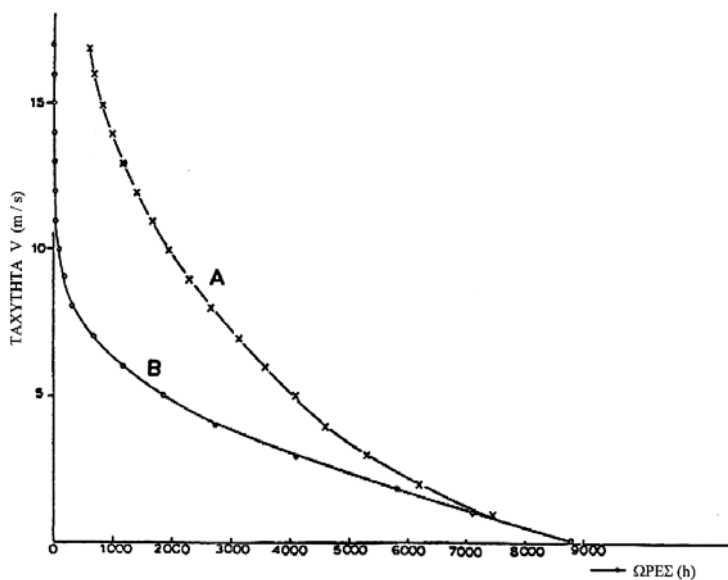
- Τις ενεργειακές ανάγκες που πρέπει να καλύψει η μηχανή

- Στοιχεία κόστους κατασκευής – εγκατάστασης
- Τις «καμπύλες ταχύτητας – διάρκειας ανέμου» στη θέση αναφοράς, σε συνδυασμό με τη μορφολογία του εδάφους στην ευρύτερη περιοχή

Η αξιολόγηση μιας υποψήφιας θέσης για την εγκατάσταση αιολικής μηχανής, βασίζεται στην «καμπύλη ταχύτητας – διάρκειας ανέμου» στη θέση αυτή. Η τεταγμένη ενός σημείου μιας τέτοιας καμπύλης δίνει μια τιμή της ταχύτητας του ανέμου και η τεταγμένη το ποσοστό ή τον αριθμό των ωρών του χρόνου κατά τις οποίες η ταχύτητα του ανέμου είναι μεγαλύτερη από την τιμή αυτή, στη θέση αναφοράς. Στο σχ. 3.16 [1] έχουν σχεδιαστεί οι καμπύλες ταχύτητας – διάρκειας για δυο θέσεις A και B.



Σχήμα 3.15: Τυπική καμπύλη ισχύος μιας α/γ.



Σχήμα 3.16: Καμπύλες διάρκειας ταχύτητας ανέμου για δύο θέσεις A και B.

Είναι φανερό ότι η θέση A (Κύθηρα) είναι πολύ προσφορότερη για αιολικές εγκαταστάσεις από τη θέση B (πρώην αεροδρόμιο Ελληνικού).

Ο πίν 3.2 [1] παρέχει τις ίδιες πληροφορίες για το Καλυβάρι Άνδρου κατά το έτος 1981, ενώ στο σχ. 3.17 [1] παρουσιάζεται ο χάρτης με το αιολικό δυναμικό της Ελλάδας.

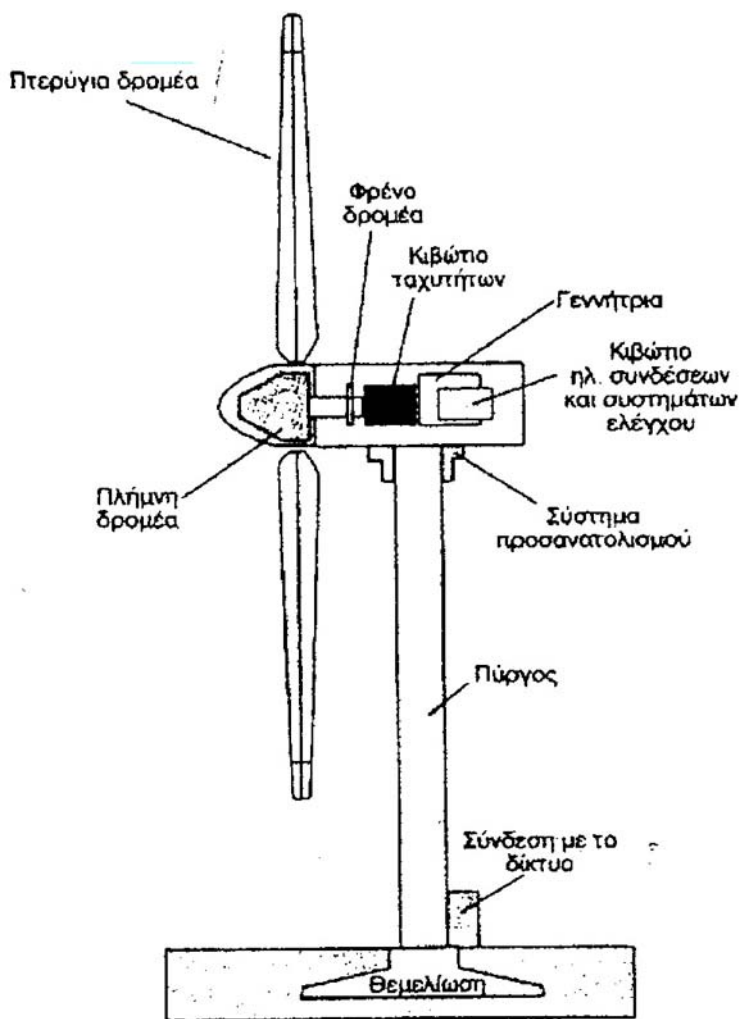
Πίνακας 3.2: Στοιχεία καμπύλης διάρκειας - ταχύτητας ανέμου, Καλυβάρι Άνδρου 1981.

Δ.Ε.Η	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΑΝΕΜΟΥ											ΑΡΙΘ. ΠΙΝΑΚΑ 37	
	ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ												
	ΣΤΑΘΜΟΣ...ΚΑΛΥΒΑΡΙΟΥ ΑΝΔΡΟΥ.. ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΥ.. 2020014..... ΕΤΟΣ ..1981.....												

ΤΑΧΥΤΗΤΑ m/sec	ΠΟΣΟΣΤΑ ΧΡΟΝΟΥ												
	ΙΑΝ.	ΦΕΒΡ.	ΜΑΡΤ.	ΑΠΡΙΛ.	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠΤ.	ΟΚΤ.	ΝΟΕΜ.	ΔΕΚΕΜ.	ΕΤΗΣΙΟ
0	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
0.5	10000	9911	9798	9778	9583	9200	9933	9919	9936	9852	9972	9987	9856
1	9948	9665	9735	9556	9382	9444	9892	9892	9944	9624	9847	9960	9762
2	9866	9375	9368	9083	8723	8542	9462	9745	9625	9207	9522	9825	9367
3	9691	9107	8750	8486	8185	7569	8938	9610	9306	8696	9317	9637	8941
4	9503	8526	7863	7764	7634	6639	8226	9220	8625	8226	8717	9328	8361
5	9167	8110	7043	6722	7030	5694	7621	8696	7958	7433	7880	9073	7702
6	8723	7292	6035	5583	6532	4375	6895	7917	7153	6478	7001	8441	6869
7	8293	6042	5349	4361	5914	3542	6425	6976	6347	5565	6151	7758	6060
8	7890	5074	4234	3667	5242	2764	5672	6317	5611	4718	5356	7124	5306
9	7110	4182	3266	2736	4570	2250	4906	5659	4681	3898	4551	6384	4257
10	6411	3527	2648	1972	3884	1736	4153	5134	3875	3253	3794	5803	3849
11	5618	2991	2124	1486	2732	1389	3414	4489	3181	2769	3110	5149	3206
12	4933	2426	1707	1059	1949	1000	2487	3602	2764	1949	2413	4516	2668
13	4261	2068	1196	639	1183	792	1774	2755	2278	981	1397	4073	1991
14	3710	1563	901	458	618	569	1263	1989	1733	484	1381	3414	1507
15	3212	1071	565	278	430	361	860	1237	1153	215	1130	2903	1118
16	2648	759	417	194	336	111	470	699	681	094	823	2415	804
17	2083	372	336	125	296	056	134	323	264	013	669	1900	548
18	1492	164	228	111	242	042	040	161	056	013	446	1465	372
19	1210	045	148	069	161	014	0	081	0	0	265	1237	269
20	847	0	121	014	134	0		040			098	780	170
21	699		121	0	067			013			084	632	135
22	524		081		040			0			042	457	095
23	296		040		013						0	226	048
24	242		040		0							148	035
25	175		0									067	020
26	121											027	012
27	081												007
28	027												002
29	027												002
30	0												0
31													
32													
33													
ΣΥΝΟΛΟΝ	744	672	711	720	744	720	744	744	720	744	720	744	8760
ΔΡΕΣ ΔΕΠ.	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	717	744	8757
ΛΕΙΠΟΝΕΣ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3

3.5 Τμήματα και Λειτουργία Ανεμογεννητριών

Η μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια γίνεται μέσω αιολικών μηχανών, των ανεμογεννητριών. Τα βασικά τους μέρη είναι η περωτή ή δρομέας ή ρότορας, ο χώρος των μηχανισμών και ο πύργος ή πυλώνας στήριξης. Αυτά διακρίνονται και στο σχήμα 3.18.



Εικόνα 3.18: Τυπική ανεμογεννήτρια

Οι αιολικές μηχανές διακρίνονται ανάλογα με τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά τους. Έτσι, διακρίνονται ανεμοκινητήρες οριζοντίου και κατακόρυφου άξονα περιστροφής των πτερυγίων. Διάκριση γίνεται και ανάμεσα σε αργόστροφους και πολύστροφους. Τέλος,

υπάρχουν ανεμοκινητήρες μικρής και μεγάλης στιβαρότητας. Ο όρος στιβαρότητα εκφράζει το λόγο της συνολικής επιφάνειας των πτερυγίων προς τη μετωπική επιφάνεια σάρωσης της πτερωτής.

Σκοπός της γεννήτριας είναι η μετατροπή της μηχανικής σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι γεννήτριες των ανεμογεννητριών είναι ασυνήθιστες, σε σχέση με άλλες μονάδες γεννητριών που βρίσκονται σε ηλεκτρικά πλέγματα. Ένας λόγος γι' αυτό είναι ότι οι γεννήτριες των ανεμογεννητριών πρέπει να λειτουργούν με πηγή ισχύος, το ρότορα της ανεμογεννήτριας, που παρέχει μηχανικό έργο που κυμαίνεται σε ένα εύρος.

Οι περισσότερες σύγχρονες ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούν μια αποκαλούμενη τριφασική ασύγχρονη γεννήτρια, που ονομάζεται επίσης και επαγωγική γεννήτρια, για να παράγουν εναλλασσόμενο ρεύμα. Αυτός ο τύπος γεννήτριας δε χρησιμοποιείται ευρέως. Εμφανίζεται μόνο στη βιομηχανία των ανεμογεννητριών και σε μικρές μονάδες υδροπαραγωγής.

Στις μεγάλες ανεμογεννήτριες, ισχύος τουλάχιστον 100-150 kW, η τάση που παράγεται είναι συνήθως 690V τριφασικό εναλλασσόμενο ρεύμα (AC). Στη συνέχεια το ρεύμα στέλνεται μέσα από ένα μετασχηματιστή δίπλα στην ανεμογεννήτρια, ή μέσα στον πύργο για να αυξηθεί η τάση μεταξύ 10.000 και 30.000 Volts, ανάλογα με το τοπικό ηλεκτρικό κύκλωμα. Οι μεγάλες κατασκευαστικές εταιρίες κατασκευάζουν ανεμογεννήτριες των 50Hz για τα ηλεκτρικά δίκτυα στα περισσότερα μέρη του κόσμου και των 60Hz για το ηλεκτρικό δίκτυο στην Αμερική.

Οι γεννήτριες χρειάζονται ψύξη καθώς δουλεύουν. Στις περισσότερες ανεμογεννήτριες, αυτό επιτυγχάνεται μέσω της ενσωμάτωσης της γεννήτριας σε έναν αγωγό, με χρήση ενός μεγάλου ανεμιστήρα για την ψύξη, αλλά μερικοί κατασκευαστές χρησιμοποιούν γεννήτριες που ψύχονται με νερό. Αυτές οι γεννήτριες μπορούν να κατασκευαστούν συμπαγώς, κάτι που επίσης δίνει κάποια πλεονεκτήματα ηλεκτρικής απόδοσης, αλλά απαιτούν ένα σώμα στο κέλυφος για να απαλλαγούν από τη θερμότητα στο σύστημα ψύξης του υγρού.

Αν συνδεθεί ή αποσυνδεθεί μια μεγάλη γεννήτρια ανεμογεννήτριας στο ηλεκτρικό κύκλωμα με έναν απλό διακόπτη, υπάρχει κίνδυνος για την ασφαλή λειτουργία της γεννήτριας και του κιβωτίου ταχυτήτων, καθώς και πρόβλημα κατά τη διανομή του ηλεκτρικού ρεύματος στη γύρω περιοχή που ηλεκτροδοτείται από την ανεμογεννήτρια.

Οι περισσότεροι ελεγκτές των ανεμογεννητριών είναι προγραμματισμένοι να αφήνουν την ανεμογεννήτρια αδρανή χωρίς σύνδεση στο ηλεκτρικό κύκλωμα σε χαμηλές ταχύτητες ανέμου. Αφού η ταχύτητα του ανέμου αυξηθεί αρκετά, ώστε να μπορεί να λειτουργεί ο ρότορας και η γεννήτρια, είναι σημαντικό η γεννήτρια να συνδεθεί στο ηλεκτρικό κύκλωμα τη σωστή στιγμή, διαφορετικά μόνο η μηχανική αντίσταση στο κιβώτιο ταχυτήτων και τη γεννήτρια θα μπορούν να σταματήσουν την επιτάχυνση του ρότορα και τελικά την υπερβολική ταχύτητα του.

Για να αποφευχθούν οι δυσάρεστες συνέπειες από την απότομη έναρξη λειτουργίας της ανεμογεννήτριας, οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες κάνουν μια ομαλή εκκίνηση, δηλαδή συνδέονται και αποσυνδέονται σταδιακά στο ηλεκτρικό κύκλωμα με τη χρήση ενός θυροστάτη, έναν τύπο ημιαγωγού συνεχών ανοιγμάτων-κλεισίματος που μπορεί να ελέγχεται ηλεκτρονικά. Οι θυροστάτες σπαταλούν περίπου 1 έως 2% της ενέργειας που τους διαπερνά.

Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες μπορούν να έχουν σχεδιαστεί με σύγχρονες ή ασύγχρονες γεννήτριες και με διάφορους τρόπους άμεσης ή έμμεσης σύνδεσης της γεννήτριας. Η άμεση σύνδεση σημαίνει ότι η γεννήτρια είναι κατευθείαν συνδεδεμένη στο, συνήθως τριφασικό, εναλλασσόμενο ρεύμα (AC). Η έμμεση σύνδεση σημαίνει ότι το ρεύμα από την ανεμογεννήτρια περνάει μέσα από μια σειρά ηλεκτρικών κυκλωμάτων που ρυθμίζουν το ρεύμα, ώστε να ταιριάζει στο ηλεκτρικό δίκτυο. Με τις ασύγχρονες γεννήτριες κάτι τέτοιο γίνεται αυτόματα.

Πιο κατάλληλοι για ηλεκτροπαραγωγή είναι οι πολύστροφοι ανεμοκινητήρες, μικρής στιβαρότητας και οριζοντίου άξονα, καθώς έχουν μεγαλύτερο συντελεστή ισχύος από τους αντίστοιχους κατακόρυφου άξονα.

Στις ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα, ο ρότορας αποτελείται συνήθως από δύο ή τρία πτερύγια. Στις μηχανές μεγάλου μεγέθους επικρατούν οι δίπτερες, με κόστος κατασκευής και

συντήρησης σαφώς μικρότερο από αυτό των τριπτερύγων αντιστοίχου μεγέθους. Στις μηχανές μεσαίου μεγέθους, όμως, η κατάσταση είναι διαφορετική. Οι τρίπτερες ανεμογεννήτριες με ρότορα μήκους μικρότερου των 10 μέτρων έχουν τη δυνατότητα εκμετάλλευσης ασθενούς αιολικού ανέμου, συνεπώς λειτουργούν σε ευρύ φάσμα ταχυτήτων ανέμου και έχουν κόστος κατασκευής και συντήρησης μικρό, καθώς τα προβλήματα αντοχής και δυναμικής καταπόνησης μηχανικών μερών είναι περιορισμένα στις μηχανές αυτής της κατηγορίας. Αυτές οι μηχανές χρησιμοποιούνται και κατά τη σύνδεση με ηλεκτρικό δίκτυο, ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη διαθεσιμότητα της αιολικής ενέργειας, καθώς είναι ευνοϊκότερη η επίτευξη παραγωγής για μεγάλα χρονικά διαστήματα σε μέση ισχύ παρά η παραγωγή για μικρά διαστήματα σε μεγαλύτερη ισχύ, παραγωγή που θα απαιτούσε και παράλληλη αποθήκευση της ενέργειας, διαδικασία που αποφεύγεται με τη χρήση μεσαίου μεγέθους μηχανών.

Η αιολική ενέργεια είναι ιδιαίτερα αραϊή μορφή ενέργειας και επίσης η παραγόμενη ισχύς από τις ανεμογεννήτριες εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου, η οποία μεταβάλλεται συνεχώς. Συνεπώς η διαθεσιμότητα της αιολικής ενέργειας δεν είναι σταθερή. Αυτό αποτελεί και το βασικό πρόβλημα κατά τη λειτουργία σε σύνδεση με δίκτυο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, γιατί οι μηχανές ντίζελ καλούνται να μεταβάλουν την παραγωγή τους ανάλογα με τις διακυμάνσεις της διαθεσιμότητας της αιολικής ενέργειας. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε περιορισμό της παραγωγής των ανεμογεννητριών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το αιολικό πάρκο της Κύθνου, όπου οι ανεμογεννήτριες δε λειτουργούν όταν η ισχύς που παράγουν είναι μικρότερη από 4 kW και κατά συνέπεια σε αυτήν την περίπτωση η ζήτηση καλύπτεται αποκλειστικά από τη χρήση των συμβατικών μηχανών.

3.5.1 Περιγραφή των πτερυγίων

Τα πτερύγια είναι πάντα στρεβλωμένα, έχουν δηλαδή κάποια κλίση. Ο λόγος για τον οποίο τα πτερύγια έχουν κλίση προς τον άνεμο είναι επειδή ο άνεμος θα έρχεται από μια πιο απότομη γωνία πλησιάζοντας προς την ανεμογεννήτρια και προς το κέντρο του ρότορα. Αν τα πτερύγια δεν είχαν κάποια κλίση, τότε θα σταματούσαν να περιστρέφονται αν τα χτυπούσε άνεμος με μια γωνία που είναι πολύ απότομη. Γι' αυτό τα πτερύγια πρέπει να είναι στρεβλωμένα, έτσι ώστε το πίσω άκρο του πτερυγίου να σπρώχνεται πιο πέρα στην ίδια κατεύθυνση που φυσάει ο άνεμος. Η γωνία πρόσπτωσης των πτερυγίων μεταβάλλεται περισσότερο στη βάση από ότι στην κορυφή του πτερυγίου.

Οι πτέρυγες του δρομέα των ανεμογεννητριών φαίνεται ότι μοιάζει πολύ με τα φτερά ενός αεροσκάφους. Στην πραγματικότητα, οι σχεδιαστές πτερυγίων του δρομέα χρησιμοποιούν συχνά τα κλασσικά σχεδιαγράμματα φτερών αεροσκαφών ως διαγώνια τμήματα στο πιο ακραίο μέρος της πτέρυγας. Τα παχιά σχεδιαγράμματα στο ενδότερο μέρος της πτέρυγας, εντούτοις, σχεδιάζονται συνήθως συγκεκριμένα για τις ανεμογεννήτριες. Η επιλογή των σχεδιαγραμμάτων για τις πτέρυγες του δρομέα περιλαμβάνει διάφορους συμβιβασμούς συμπεριλαμβανομένων των αξιόπιστων χαρακτηριστικών άνωσης και συνθηκών απώλειας στήριξης, και τη δυνατότητα του σχεδιαγράμματος να αποδώσει καλά ακόμα κι αν υπάρχει κάποιος ρύπος στην επιφάνεια (που μπορεί να είναι ένα πρόβλημα στις περιοχές όπου υπάρχει λίγη βροχή).

Οι περισσότερες σύγχρονες πτέρυγες του δρομέα στις μεγάλες ανεμογεννήτριες αποτελούνται από ενισχυμένη ίνα πλαστικά γυαλιού, (GRP), δηλ. ενισχυμένος ίνα πολυεστέρας γυαλιού ή epoxy. Η χρησιμοποίηση της ίνας άνθρακα (Kevlar) ως ενίσχυση του υλικού είναι μια άλλη δυνατότητα, αλλά συνήθως τέτοιες πτέρυγες είναι αντισυμβατικές για μεγάλες ανεμογεννήτριες. Τα ξύλινα, ξύλινο-epoxy ή ξύλινο-epoxy με ίνες δεν έχουν διαπεράσει την αγορά για τις πτέρυγες του δρομέα, αν και συνεχίζεται η παραγωγή. Τα κράματα χάλυβα και αλουμινίου έχουν τα προβλήματα του βάρους και της κόπωσης των μετάλλων αντίστοιχα. Αυτήν την περίοδο μόνο χρησιμοποιούνται για τις πολύ μικρές ανεμογεννήτριες.

3.5.2 Ο μηχανισμός κίνησης της ανεμογεννήτριας δεξιά και αριστερά

Για να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση του ανέμου, πρέπει ο ρότορας να είναι κάθετος στη διεύθυνση της ταχύτητας του ανέμου. Αυτός ο μηχανισμός των ανεμογεννητριών χρησιμοποιείται για να στρέφει τις ανεμογεννήτριες προς τον άνεμο, αφού οι ανεμογεννήτριες εμφανίζουν κάποιο σφάλμα παρέκκλισης εάν ο ρότορας δεν είναι κάθετος στον άνεμο.

Ο μηχανισμός αυτός είναι το πιο κοντινό μέρος του ρότορα στον άνεμο και υπόκειται σε μεγαλύτερη καταπόνηση από το υπόλοιπο μέρος του ρότορα. Από τη μία αυτό σημαίνει ότι ο ρότορας παρουσιάζει την τάση να εκτρέπεται προς τον άνεμο αμέσως, ασχέτως αν πρόκειται για ανεμογεννήτρια προς τον άνεμο ή από τον πνέοντα άνεμο. Από την άλλη, αυτό σημαίνει ότι τα περύγια θα γέρνουν σε μια κυματιστή κατεύθυνση για κάθε περιστροφή του ρότορα. Οι ανεμογεννήτριες που περιστρέφονται με σφάλμα παρέκκλισης θα υπόκεινται επομένως σε μεγαλύτερα φορτία κόπωσης απ' ό,τι οι ανεμογεννήτριες που παρεκκλίνουν σε μια κάθετη κατεύθυνση προς τον άνεμο.

Σχεδόν όλες οι οριζόντιες ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούν ένα μηχανισμό παρέκκλισης, δηλαδή ένα μηχανισμό που χρησιμοποιεί ηλεκτρικούς κινητήρες και κιβώτια ταχυτήτων για να κρατήσουν την ανεμογεννήτρια με παρέκκλιση προς τον άνεμο. Σχεδόν όλοι οι κατασκευαστές προτιμούν να σταματούν το μηχανισμό παρέκκλισης όταν αυτός δε χρησιμοποιείται. Ο μηχανισμός εκτροπής ενεργοποιείται από τους ηλεκτρονικούς ελεγκτές που ελέγχουν πολλές φορές ανά δευτερόλεπτο τη θέση του ανεμοδείκτη στην ανεμογεννήτρια.

Τα καλώδια μεταφέρουν το ρεύμα από τη γεννήτρια της ανεμογεννήτριας κάτω προς το έδαφος, έτσι ώστε το ρεύμα να διατεθεί στην επιχείρηση ηλεκτρισμού, διαμέσου του πύργου. Ωστόσο, τα καλώδια θα γίνονται όλο και πιο στρεβλωμένα, αν κατά λάθος η ανεμογεννήτρια συνεχίζει να εκτρέπεται κατά την ίδια διεύθυνση για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα. Γι' αυτό το λόγο, οι ανεμογεννήτριες είναι εξοπλισμένες με ένα μετρητή στρέβλωσης καλωδίου, ο οποίος δείχνει στον ελεγκτή ότι πρέπει να επαναφέρει τα καλώδια στην αρχική τους θέση. Όπως, όμως, σε όλα τα συστήματα ασφαλείας έτσι και στις ανεμογεννήτριες, μέσω της ενεργοποίησης ενός διακόπτη, όταν τα καλώδια στρεβλωθούν αρκετά, παρέχεται αυξημένη ασφάλεια στο σύστημα.

3.6 Επιλογή Ανεμογεννητριών

3.6.1 Λόγοι για επιλογή μεγάλου Στροβίλου

1. Υπάρχουν λόγοι οικονομικής κλίμακας στις ανεμογεννήτριες, δηλ. οι μεγαλύτερες μηχανές είναι συνήθως ικανές να παραδώσουν την ηλεκτρική ενέργεια με χαμηλότερο κόστος από τις μικρότερες μηχανές. Ο λόγος είναι ότι το κόστος των θεμελίων, ηλεκτρική σύνδεση με το δίκτυο, συν διάφορα συστατικά στο στρόβιλο (το ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου κ.λπ.), είναι κάπως ανεξάρτητο από το μέγεθος της μηχανής.

2. Οι μεγαλύτερες μηχανές είναι ιδιαίτερα καλά ταιριαγμένες για παράκτιες περιοχές. Το κόστος των θεμελίων δεν αυξάνεται αναλογικά προς το μέγεθος της μηχανής, και οι δαπάνες συντήρησης είναι κατά ένα μεγάλο μέρος ανεξάρτητες από το μέγεθος της μηχανής.

3. Στις περιοχές όπου είναι δύσκολο να βρεθούν οι περιοχές για περισσότερο από έναν ενιαίο στρόβιλο, ένας μεγάλος στρόβιλος με έναν ψηλό πύργο χρησιμοποιεί καλύτερα τις τοπικές συνθήκες του αέρα.

3.6.2. Λόγοι για τους μικρότερους στροβίλους

1. Το τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο μπορεί να είναι πάρα πολύ αδύνατο για να χειριστεί την έξοδο της ηλεκτρικής ενέργειας από μια μεγάλη μηχανή. Αυτό μπορεί να συμβεί στα απομακρυσμένα μέρη του ηλεκτρικού δικτύου με τη χαμηλή πυκνότητα πληθυσμού και λίγη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στην περιοχή.

2. Είναι λιγότερη η διακύμανση στην έξοδο της ηλεκτρικής ενέργειας από ένα πάρκο αέρα που αποτελείται από διάφορες μικρότερες μηχανές, δεδομένου ότι οι διακυμάνσεις αέρα εμφανίζονται τυχαία. Πάλι, οι μικρότερες μηχανές μπορούν να είναι ένα πλεονέκτημα σε ένα αδύνατο ηλεκτρικό δίκτυο.

3. Το κόστος χρήσης μεγάλων γερανών και η οικοδόμηση ενός δρόμου αρκετά ισχυρού να φέρει τα τμήματα στροβίλων μπορεί να καταστήσει τις μικρότερες μηχανές οικονομικότερες σε μερικές περιοχές.

4. Οι μικρότερες μηχανές μοιράζουν τον κίνδυνο σε περίπτωση προσωρινής αποτυχίας των μηχανών, π.χ. λόγω των κεραυνών.

5. Αισθητικά οι εκτιμήσεις για το τοπίο μπορεί μερικές φορές να υπαγορεύσουν τη χρήση των μικρότερων μηχανών. Οι μεγάλες μηχανές, εντούτοις, θα έχουν συνήθως μια πολύ χαμηλότερη περιστροφική ταχύτητα, το οποίο σημαίνει ότι μια μεγάλη μηχανή πραγματικά δεν προσελκύει τόση προσοχή όση πολλές μικρές, γρήγορα κινούμενες μηχανές.

3.6.3 Οριζόντιος ή κατακόρυφος άξονας

Οι οριζόντιες ανεμογεννήτριες είναι πιο διαδεδομένες από αυτές του κάθετου άξονα. Ο μόνος κάθετου άξονα ανεμοκινητήρας που έχει κατασκευαστεί σε μαζική παραγωγή είναι η μηχανή Darrieus, που ονομάζεται έτσι μετά από το γάλλο μηχανικό George Darrieus που κατοχύρωσε το σχέδιο το 1931 με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας. Η μηχανή Darrieus χαρακτηρίζεται από τις c-διαμορφωμένες πτέρυγες του δρομέα της. Κατασκευάζεται κανονικά με δύο ή τρεις πτέρυγες.

Τα βασικά θεωρητικά πλεονεκτήματα μιας κάθετης μηχανής άξονα είναι ότι

1) Μπορεί να τοποθετηθεί η γεννήτρια, το κιβώτιο ταχυτήτων κ.λπ. στο έδαφος, και δεν χρειάζεται έναν πύργο για τη μηχανή.

2) Δεν χρειάζεται έναν μηχανισμό προσανατολισμού για να γυρίσει το στροφέα ενάντια στον αέρα.

Τα βασικά μειονεκτήματα είναι

1) Οι ταχύτητες αέρα είναι πολύ χαμηλά κοντά στο επίγειο επίπεδο, έτσι αν και αποφεύγεται ο πύργος, οι ταχύτητες αέρα είναι πολύ χαμηλές στο χαμηλότερο μέρος του στροφέα.

2) Η γενική αποδοτικότητα των μηχανών κάθετου άξονα δεν είναι εντυπωσιακή.

3) Η μηχανή δεν αρχίζει μόνη της, θα χρειαστεί μια "ώθηση" για να αρχίσει.

4) Η μηχανή μπορεί να χρειαστεί τα συρματόσχοινα για να είναι σταθερή στο επάνω μέρος της, αλλά τα συρματόσχοινα είναι μη πρακτικά σε καλλιεργήσιμες περιοχές.

5) Η αντικατάσταση του βασικού ρουλεμάν για το στροφέα απαιτεί την αφαίρεση του στροφέα και σε μια μηχανή οριζόντιου και κάθετου άξονα. Στην περίπτωση του τελευταίου, σημαίνει αποσυναρμολόγηση όλης της κατασκευής.



Σχήμα 3.19: Ανεμογεννήτρια τύπου Darrieus

3.6.4. Τοποθέτηση του δρομέα ανάντη ή κατάντη του ανέμου

Οι μηχανές που έχουν τις πτέρυγες ανάντη στον άνεμο έχουν το στροφέα να αντιμετωπίζει τον αέρα. Το βασικό πλεονέκτημα αυτών είναι ότι το ένα αποφεύγει το απόρους του αέρα πίσω από τον πύργο. Κατά πολύ η μεγάλη πλειοψηφία των ανεμογεννητριών έχει αυτό το σχέδιο. Αφ' ετέρου, υπάρχει επίσης κάποια δημιουργία τύρβης μπροστά από τον πύργο, δηλ. ο αέρας αρχίζει να δημιουργεί δίνες από τον πύργο προτού να φθάσει ο ίδιος στον πύργο, ακόμα κι αν ο πύργος είναι στρογγυλός και ομαλός. Επομένως, κάθε φορά που περνά ο στροφέας τον πύργο, η δύναμη από τον ανεμογεννήτρια μειώνεται ελαφρώς.

Το βασικό μειονέκτημα των αντίθετων στον άνεμο σχεδίων είναι ότι ο στροφέας πρέπει να γίνει μάλλον άκαμπτος, και τοποθετημένος σε κάποια απόσταση από τον πύργο. Επιπλέον μια τέτοια μηχανή χρειάζεται έναν μηχανισμό προσανατολισμού για να κρατήσει το στροφέα στην σωστή θέση απέναντι στον αέρα. Οι κατάντη μηχανές τοποθετούν το στροφέα από την απάνεμη πλευρά του πύργου. Έχουν το θεωρητικό πλεονέκτημα ότι μπορούν να κατασκευαστούν χωρίς έναν μηχανισμό προσανατολισμού, εάν ο στροφέας και ο χώρος του μηχανισμού έχουν ένα κατάλληλο σχέδιο που το κάνει να ακολουθήσει τον αέρα παθητικά. Για τους μεγάλους ανεμοκινητήρες αυτό είναι ένα κάπως αμφισβητήσιμο πλεονέκτημα, εντούτοις, δεδομένου ότι χρειάζονται καλώδια για να οδηγήσουν το ρεύμα μακριά από τη γεννήτρια. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα είναι ότι ο στροφέας μπορεί να γίνει πιο εύκαμπτος.



Σχήμα 3.20: Ανεμογεννήτρια κατάντη του ανέμου

Αυτό είναι ένα πλεονέκτημα και όσον αφορά το βάρος, και τη δυναμική της μηχανής, δηλ. οι πτέρυγες κάμπτονται με τις υψηλές ταχύτητες του αέρα.. Το βασικό πλεονέκτημα της μηχανής αυτής είναι ότι μπορεί να είναι κατασκευασμένη κάπως ελαφρύτερη από μια ανάντη στον άνεμο μηχανή. Το βασικό μειονέκτημα είναι η διακύμανση στη δύναμη αέρα λόγω του στροφέα που περνά μέσω του απόρους του πύργου. Αυτό μπορεί να δώσει περισσότερα φορτία κόπωσης στο στρόβιλο απ' ό,τι με ένα ανάντη στον άνεμο σχεδιασμό.

3.6.5. Αριθμός πτερυγίων

Οι σύγχρονοι μηχανικοί ανεμογεννητριών αποφεύγουν τις μεγάλες μηχανές με ζυγό αριθμό πτερυγίων του δρομέα. Ο σημαντικότερος λόγος είναι η σταθερότητα του στροβίλου. Ένας στροφέας με μονό αριθμό πτερυγίων του δρομέα (και τουλάχιστον τρία πτερυγίων) μπορεί να θεωρηθεί παρόμοιος με έναν δίσκο κατά την υπολογισμό των δυναμικών ιδιοτήτων της μηχανής. Ένας στροφέας με ζυγό αριθμό πτερυγίων θα δώσει προβλήματα σταθερότητας σε μια μηχανή με μια δύσκαμπτη δομή. Ο λόγος είναι ότι την ίδια στιγμή που κάμπτεται προς τα πίσω η ανώτατη πτέρυγα, επειδή παίρνει τη μέγιστη δύναμη από τον αέρα, τα χαμηλότερα περάσματα πτερυγίων είναι σε περιοχή απόρους μπροστά από τον πύργο.

Οι περισσότεροι σύγχρονοι ανεμοκινητήρες είναι με 3-πτερύγια με τη θέση του δρομέα ανάντη στον άνεμο και χρησιμοποιεί ηλεκτρικό μηχανισμό προσανατολισμού. Η μεγάλη πλειοψηφία των στροβίλων που πωλούνται στις παγκόσμιες αγορές έχει αυτό το σχέδιο. Το βασικό σχέδιο εισήχθη αρχικά με την ονομασία ανεμογεννήτρια Gedser. Ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι η χρήση μιας ασύγχρονης γεννήτριας. Τα 2-πτερύγια σχέδια ανεμοκινητήρων έχουν το πλεονέκτημα του κόστους μιας πτέρυγας του δρομέα και του βάρους του, φυσικά. Εντούτοις, τείνουν να έχουν τη δυσκολία στη διείσδυση της αγοράς, εν μέρει επειδή απαιτούν την υψηλότερη περιστροφική ταχύτητα για να παραγάγουν την ίδια ενέργεια στην έξοδο. Αυτό είναι ένα μειονέκτημα και όσον αφορά το θόρυβο και την αισθητική. Πρόσφατα, διάφοροι παραδοσιακοί κατασκευαστές των 2-πτερυγίων μηχανών έχουν μεταπηδήσει στα 3-πτερύγια. Οι δύο- και οι μίας-πτέρυγας μηχανές απαιτούν ένα πιο σύνθετο σχέδιο με έναν αρθρωμένο στροφέα δηλ. ο στροφέας πρέπει να είναι σε θέση να γείρει προκειμένου να αποφευχθούν οι πάρα πολύ βαριοί κλονισμοί στο στρόβιλο όταν περνούν οι πτέρυγες του δρομέα τον πύργο. Ο στροφέας επομένως εγκαθίσταται επάνω σε έναν άξονα που είναι κάθετος στο βασικό άξονα, και που περιστρέφεται μαζί με το βασικό άξονα. Αυτή η ρύθμιση μπορεί να απαιτήσει τους πρόσθετους απορροφητές κλονισμού για να αποτρέψει τη πτερύγια του δρομέα από το χτύπημα του πύργου.

3.7 Χωροθέτηση Ανεμογεννητριών - Επιλογή Θέσης

3.7.1 Συνθήκες Αέρα

Εξετάζοντας τη φύση είναι συνήθως ένας άριστος οδηγός στην εύρεση μιας κατάλληλης περιοχής ανεμογεννητριών. Εάν υπάρχουν δέντρα και θάμνοι στην περιοχή, μπορείτε να πάρετε μια καλή ένδειξη για την κατεύθυνση επικρατούντος αέρα. Εάν κινείστε κατά μήκος μιας τραχιάς ακτής, μπορείτε επίσης να παρατηρήσετε ότι οι αιώνες έχουν λειτουργήσει σε μια ιδιαίτερη κατεύθυνση διάβρωσης. Το στοιχείο μετεωρολογίας, ιδανικά από την άποψη ενός ανεμολογίου που υπολογίζεται πάνω από 30 έτη είναι πιθανώς ο καλύτερος οδηγός σας, αλλά αυτά τα στοιχεία συλλέγονται σπάνια άμεσα επί του τόπου σας, και είναι εδώ πολλοί λόγοι να είναι προσεκτικά για τη χρήση των στοιχείων μετεωρολογίας, Εάν υπάρχουν ήδη ανεμογεννήτριες στην περιοχή, τα αποτελέσματα παραγωγής τους είναι ένας άριστος οδηγός στις τοπικές συνθήκες αέρα. Στις χώρες όπως τη Δανία και τη Γερμανία όπου βρίσκετε συχνά έναν μεγάλο αριθμό στροβίλων διεσπαρμένο γύρω από την επαρχία, οι κατασκευαστές μπορούν να προσφέρουν τα εγγυημένα αποτελέσματα παραγωγής βάσει των υπολογισμών για τον αέρα που γίνονται στην περιοχή.

3.7.2 Επιλογή Θέσης

Επιθυμητό είναι να έχουμε όσο το δυνατό ευρύτερη και ανοιχτή όψη στην κατεύθυνση επικρατούντος αέρα, και ακόμα είναι επιθυμητό να έχουμε ως όσο το δυνατόν λιγότερες εμπόδια και όσο το δυνατόν χαμηλότερη τραχύτητα σε εκείνη την κατεύθυνση. Είναι καλό να τοποθετηθεί κοντά σε έναν στρογγυλεμένο λόφο για να τοποθετηθούν οι γεννήτριες, είναι δυνατό ακόμη και να αναζητηθούν περιπτώσεις φυσικής επιτάχυνσης της ροής του αέρα.

Η χωροθέτηση μιας ανεμογεννήτριας ή και μιας συστοιχίας από αυτές έχει ιδιαίτερη σημασία. Δεν πρέπει να υπάρχουν φυσικά ή τεχνητά εμπόδια. Όταν η ροή του ανέμου είναι κάθετη σε κάποιο εμπόδιο, όπως ένα βουνό, τότε σύμφωνα με τους νόμους της ρευστομηχανικής επιταχύνεται και αντίστοιχα επιβραδύνεται μετά την προσπέλαση του εμποδίου. Συνεπώς πάνω στις κορυφογραμμές φυσικών εμποδίων και ιδιαίτερα μικρών λόφων δημιουργούνται ιδιαίτερα ευνοϊκές συνθήκες για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών.



Σχήμα 3.21 Χερσαίο αιολικό πάρκο

Όπως προαναφέρθηκε ένα εξίσου ευνοϊκό μέρος για την χωροθέτηση ανεμογεννητριών είναι σε παραθαλάσσια μέρη (offshore) όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί η θαλάσσια αύρα.

Οι επιφάνειες των θαλασσών και των λιμνών είναι προφανές ότι είναι πολύ ομαλές, κατά συνέπεια η τραχύτητα είναι πολύ χαμηλή (με τις σταθερές ταχύτητες αέρα). Με τις αυξανόμενες ταχύτητες αέρα μερικές από την ενέργεια στον αέρα χρησιμοποιούνται για να δημιουργήσουν τα κύματα, δηλ. αύξηση τραχύτητας. Μόλις ενισχυθούν τα κύματα, η τραχύτητα μειώνεται πάλι. Έχουμε έτσι μια επιφάνεια με την ποικίλη τραχύτητα, (ακριβώς όπως την έχετε στις περιοχές που καλύπτονται με λίγο ή πολύ χιόνι). Γενικά, εντούτοις, η τραχύτητα της επιφάνειας ύδατος είναι πολύ χαμηλή, και τα εμπόδια στον αέρα είναι λίγα. Όταν γίνονται οι υπολογισμοί για τον αέρα πρέπει να συμπεριληφθούν και τα νησιά, οι φάροι κ.λπ. Η μικρό οριακό στρώμα αέρα σημαίνει και χαμηλότερο ύψος πυλώνων. Με χαμηλή τραχύτητα, το οριακό στρώμα του αέρα είναι πολύ χαμηλό, δηλ. η ταχύτητα αέρα δεν αλλάζει πάρα πολύ με τις αλλαγές στο ύψος πυλώνων των ανεμογεννητριών. Μπορεί

επομένως να είναι το οικονομικότερο για να χρησιμοποιήσει τους αρκετά χαμηλούς πύργους ίσως με ύψος περίπου το 0.75 της διαμέτρου του δρομέα για τις ανεμογεννήτριες που βρίσκονται στην ανοιχτή θάλασσα, ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες, χαρακτηριστικά οι πύργοι στις περιοχές εδάφους είναι στο μέγεθος της διαμέτρου του δρομέα, ή και πιο ψηλοί. Η χαμηλή ένταση τύρβης σημαίνει περισσότερη διάρκεια ζωής για τις ανεμογεννήτριες. Ο αέρας στη θάλασσα γενικά είναι λιγότερο τυρβώδης απ' ό,τι στο έδαφος. Οι ανεμογεννήτριες τοποθετημένες στην ανοιχτή θάλασσα μπορούν επομένως να αναμένονται να έχουν μια πιο μακροχρόνια διάρκεια ζωής από αυτές στην στεριά. Η χαμηλή τύρβη οφείλεται ότι στην ανοιχτή θάλασσα οι μεταβολές θερμοκρασίας μεταξύ των διαφορετικών υψών στην ατμόσφαιρα επάνω από τη θάλασσα είναι μικρότερες από ότι επάνω από το έδαφος. Το φως του ήλιου διαπερνά διάφορα μέτρα κάτω από την επιφάνεια θάλασσας, ενώ στο έδαφος η ακτινοβολία από τον ήλιο θερμαίνει μόνο το ανώτατο στρώμα του χώματος, το οποίο γίνεται έτσι πολύ θερμότερο. Συνεπώς η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της επιφάνειας και του αέρα είναι μικρότερη επάνω από τη θάλασσα απ' ό,τι επάνω από το έδαφος. Αυτό είναι ο λόγος για τη χαμηλότερη τύρβη.



Σχήμα 3.22: Παράκτιο αιολικό πάρκο

Εάν η μέση ταχύτητα αέρα σε συγκεκριμένο σημείο που έχει τοποθετηθεί ανεμογεννήτρια αυξηθεί από 6 μέτρα ανά δευτερόλεπτο (m/s) σε 10 m/s το ποσό ενέργειας που θα παραχθεί από ένα αιολικό πάρκο θα αυξηθεί πάνω από 130%. Λεπτομερείς και αξιόπιστες πληροφορίες για την ένταση, τη κατεύθυνση και πόσο τακτικά είναι τα χτυπήματα αέρα, είναι επομένως ζωτικής σημασίας για οποιαδήποτε ενδεχόμενη εγκατάσταση. Σε εθνικό και περιφερειακό επίπεδο, ευρωπαϊκοί άτλαντες αέρα έχουν παραχθεί και καταγράφουν την ταχύτητα αέρα που αναμένεται στις ιδιαίτερες περιοχές.

3.7.3 Παραγωγή ηλεκτρισμού

Η παραγωγή ηλεκτρισμού από ανεμογεννήτριες είναι περιβαλλοντικά «ήπια» και κυρίως ανανεώσιμη. Όμως η ονομαστική ισχύς των ανεμογεννητριών φτάνει συνήθως μέχρι 2MW. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μια ανεμογεννήτρια να μπορεί να καλύψει ιδιαίτερα μικρές ανάγκες σε ηλεκτρισμό. Το πρόβλημα αυτό λύνεται μέσω εγκατάστασης αιολικών πάρκων ή ακόμη και μέσω δημιουργίας υβριδικών συστημάτων παράλληλης χρήσης αιολικής και κάποιας άλλης πηγής ενέργειας (καύση πετρελαίου, χρησιμοποίηση ηλιακής ενέργειας μέσω συλλεκτών κ.α.).

Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να λειτουργήσουν συνεχώς, χωρίς ιδιαίτερη φύλαξη και με χαμηλή συντήρηση περίπου 120.000 ώρες ενεργού λειτουργίας για διάρκεια ζωής περίπου 20

ετών. Συγκριτικά αναφέρεται ότι μια τυπική μηχανή αυτοκινήτου έχει διάρκεια ζωής περίπου 6.000 ωρών. Ένα αιολικό πάρκο 10 MW μπορεί εύκολα να κατασκευαστεί μέσα σε δύο μήνες, παράγοντας αρκετή ενέργεια να ικανοποιηθούν οι ενεργειακές ανάγκες πάνω από 5.000 μέσων ευρωπαϊκών οικογενειών. Μόλις τεθεί σε λειτουργία, ένα αιολικό πάρκο μπορεί να επιτηρηθεί και να ελεγχθεί από μακριά. Μια κινητή ομάδα εκτελεί την εργασία συντήρησης, με κατά προσέγγιση δύο άτομα προσωπικό για κάθε 20 έως 30 ανεμογεννήτριες. Ο χαρακτηριστικός χρόνος συντήρησης για μια σύγχρονη ανεμογεννήτρια είναι περίπου 40 ώρες ετησίως.

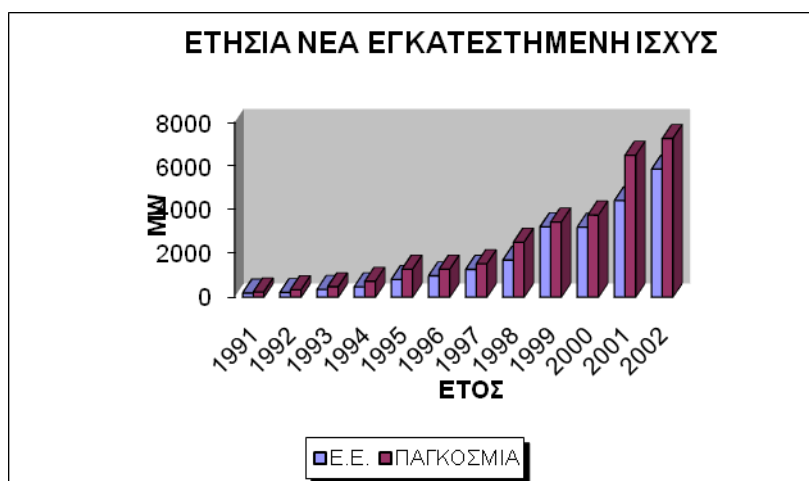
3.8 Η κατάσταση στην Ευρώπη και στην Ελλάδα

3.8.1 Η κατάσταση στην Ευρώπη

Η εμπορική κατασκευή ανεμογεννητριών άρχισε κανονικά στη δεκαετία του '80, με τη Δανική τεχνολογία να ανοίγει τον δρόμο. Από τις μονάδες 20-60 κιλοβάτ (kW) με τις διαμέτρους στροφών περίπου 20 μέτρων (μ), η ανεμογεννήτρια έχει αυξηθεί στην ικανότητα σε 2 μεγαβάτ (MW) και ανωτέρω, με τις διαμέτρους στροφών 60-90 μ. Η μεγαλύτερη μηχανή που κατασκευάζεται τώρα έχει μια ικανότητα 4.500 kW και μια διάμετρο πτερυγίων 112 μ

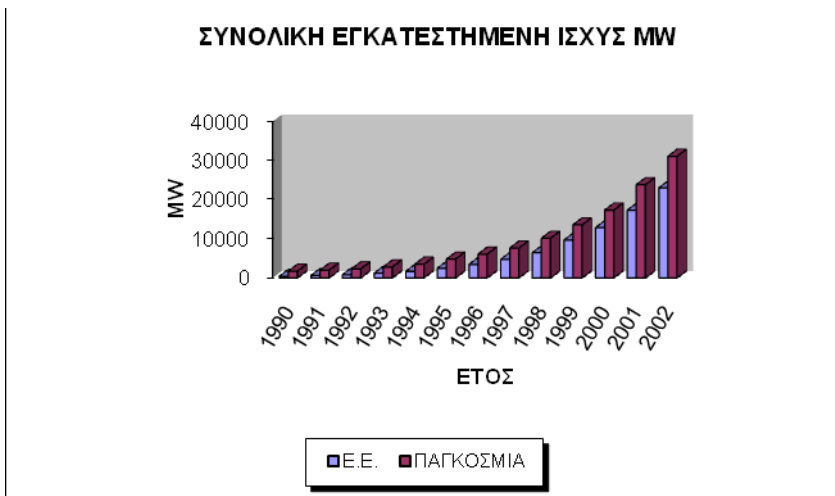
Πέντε έτη πριν, ένα αιολικό πάρκο 20 MW θα θεωρούταν μεγάλο. Σήμερα το μεγαλύτερο ενιαίο αιολικό πάρκο είναι 278,2 MW. Ο αυξανόμενος ρυθμός ανάπτυξης προγραμμάτων αιολικής ενέργειας έχει φέρει νέους φορείς στη αγορά, συμπεριλαμβανομένων βιομηχανικών συγκροτημάτων όπως η Shell καθώς επίσης η Siemens και η ABB.

Η αύξηση τα εγκατεστημένης ισχύος σε όλο τον κόσμο τα τελευταία χρόνια είναι εντυπωσιακή, με την Ευρώπη να οδηγεί την παγκόσμια αγορά. Μέχρι το τέλος του 2003 περίπου 40.000 MW ισχύος ανεμογεννητριών λειτουργούσε σε 50 χώρες σε όλο τον κόσμο. Από αυτά, περισσότερα από 28.000 MW (70%) εγκαταστάθηκε στη ΕΕ. Η μέση ετήσια ανάπτυξη αγοράς της Ευρώπης κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας ήταν στη περιοχή του 30%.



Σχήμα 3.22: Ετήσια νέα εγκατεστημένη ισχύς σε Ε.Ε. και παγκόσμια

Σύμφωνα με δεδομένα του 2002 η κατάσταση τόσο στην Ευρώπη όσο και σε ολόκληρο τον κόσμο φαίνεται στον πίνακα 3.3

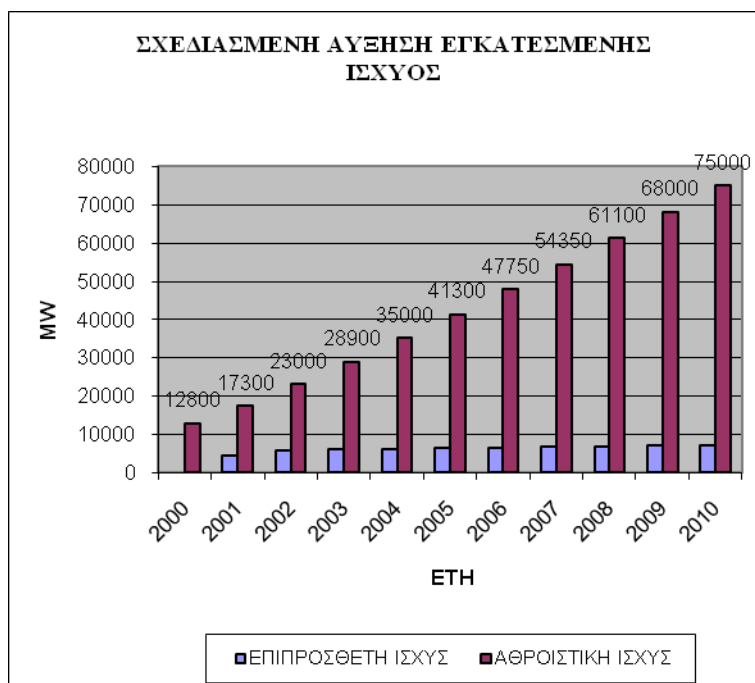


Σχήμα 3.23: Συνολική εγκατεστημένη ισχύς σε Ε.Ε. και παγκόσμια



Σχήμα 3.24: Σχεδιασμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Ο στόχος της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα έτη 2010 και 2020 είναι αντίστοιχα 75000MW και 180000MW. Να σημειωθεί ότι η αντίστοιχη για το 1991 ήταν 25000MW και για το 1997 40000MW.



Σχήμα 3.25 Σχεδιασμένη αύξηση εγκατεστημένης ισχύος

Πίνακας 3.3 Σχεδιασμένη αύξηση και συνολική εγκατεστημένη ισχύς

ΕΤΟΣ	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
ΑΥΞΗΣΗ ΕΓΚΑΤΕ- ΣΤΗΜΕΝΗΣ ΙΣΧΥΟΣ	0	4500	5700	5900	6100	6300	6450	6600	6750	6900	7000
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΓΚΑ- ΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ	12800	17300	23000	28900	35000	41300	47750	54350	61100	68000	75000

Πίνακας 3.4 Στόχοι της Ε.Ε. για τα έτη 2010 και 2020

Στόχοι της Ε.Ε. για 2010-2020			
	ΧΕΡΣΑΙΑ	ΠΑΡΑΚΤΙΑ	ΣΥΝΟΛΟ
2010	65000 MW	10000 MW	75000 MW
2020	110000 MW	70000 MW	180000 MW

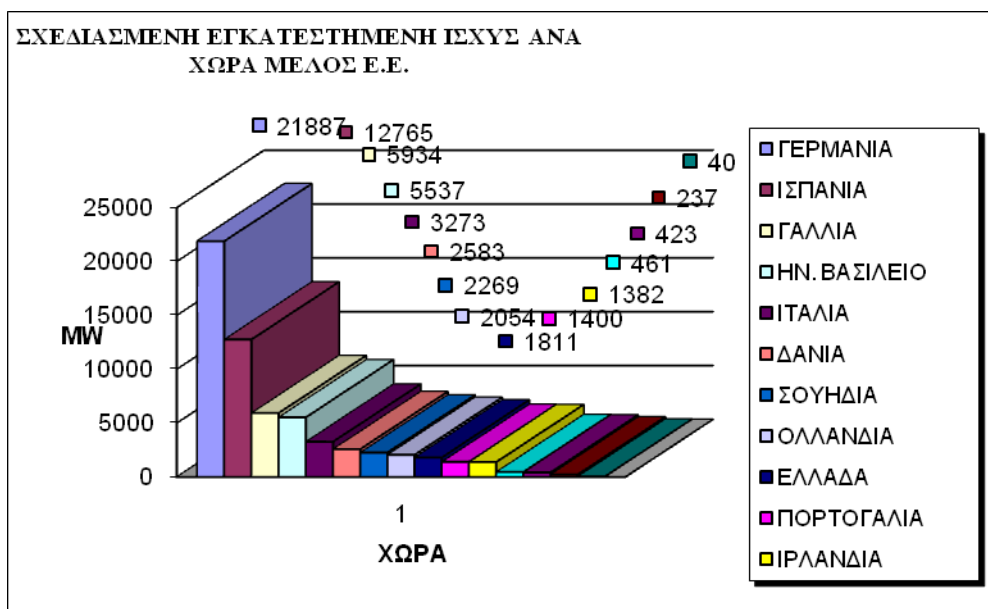
Αν μελετηθεί η πορεία της εγκατεστημένης ισχύος της Ευρωπαϊκής Ένωσης των 15 ανά κράτος προκύπτουν στον πίνακα 3.5 τα εξής:

Πίνακας 3.5 Εγκατεστημένη ισχύς στις χώρες μέλη της Ε.Ε.

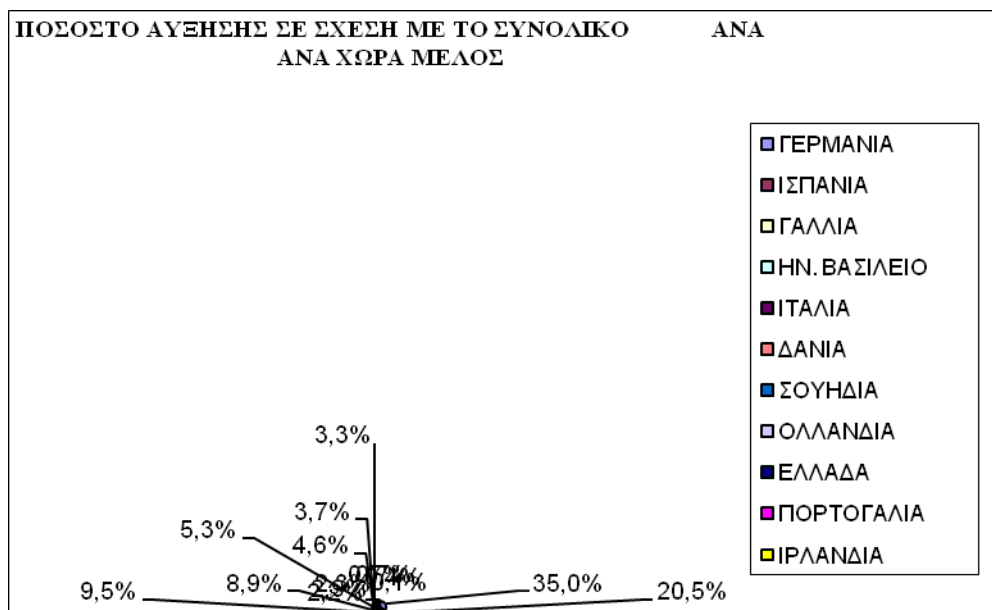
ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΣΤΙΣ ΧΩΡΕΣ ΜΕΛΗ ΤΗΣ Ε.Ε. (MW)

ΕΤΟΣ	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2010
ΑΥΣΤΡΙΑ	10	20	30	34	77	94	139	500
ΒΕΛΓΙΟ	4	4	6	6	13	31	44	250
ΔΑΝΙΑ	842	1129	1443	1771	2417	2489	2880	5000
ΦΙΝΛΑΝΔΙΑ	7	12	17	39	39	39	41	500
ΓΑΛΛΙΑ	6	10	19	25	66	78	145	6000
ΓΕΡΜΑΝΙΑ	1552	2081	2875	4442	6113	8754	12001	28000
ΕΛΛΑΔΑ	29	29	39	112	189	272	276	2000
ΙΡΛΑΝΔΙΑ	11	53	73	74	118	125	137	1500
ΙΤΑΛΙΑ	70	103	180	277	427	697	785	3700
ΛΟΥΞ/ΡΓΟ	2	2	9	10	10	15	16	50
ΟΛΛΑΝΔΙΑ	299	319	361	433	446	493	688	2500
ΠΟΡΤΟΓΑΛΙΑ	19	38	60	61	100	125	194	1500
ΙΣΠΑΝΙΑ	249	512	834	1812	2235	3337	4830	15000
ΣΟΥΗΔΙΑ	103	122	174	220	231	290	328	2500
ΗΝ. ΒΑΣΙΛΕΙΟ	273	319	333	362	406	474	552	6000
Ε.Ε. (Σύνολο)	3476	4753	6453	9688	12886	17313	23056	75000

Το σχ.3.36 δείχνει αναλογικά την συμμετοχή κάθε χώρας στην συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

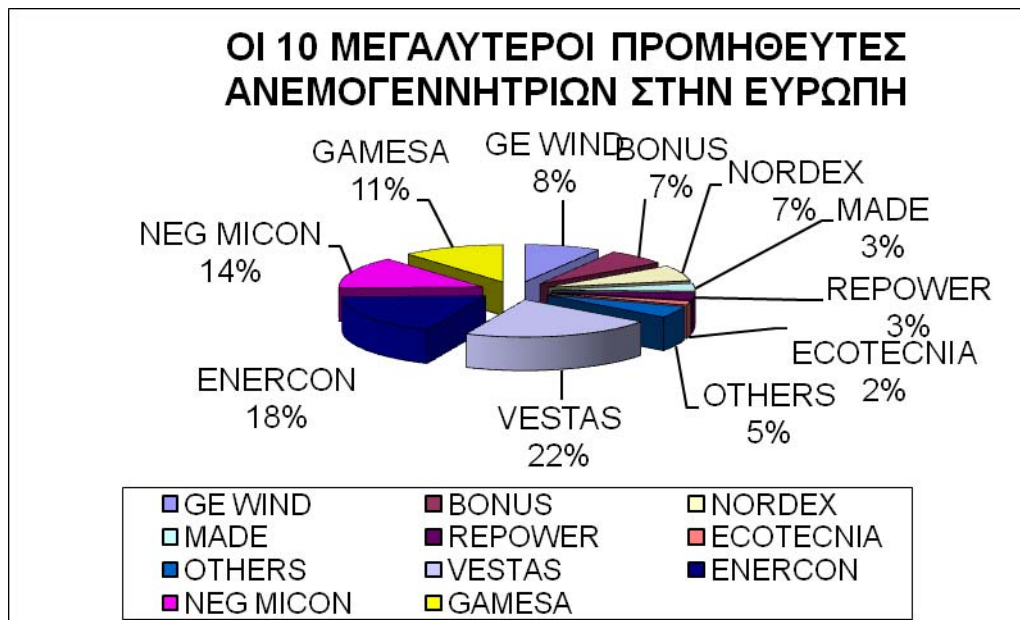


Σχήμα 3.36: Σχεδιασμένη εγκατεστημένη ισχύς ανά χώρα μέλος της Ε.Ε.



Σχήμα 3.37: Σχεδιασμένη εγκατεστημένη ισχύς ανά χώρα μέλος της Ε.Ε.

Εννέα από τους δέκα μεγαλύτερους κατασκευαστές ανεμογεννητριών παγκοσμίως βρίσκονται στην Ευρώπη. Οι ευρωπαϊκές επιχειρήσεις παρείχαν περίπου 90% της εγκατεστημένης ισχύος που πωλήθηκε παγκοσμίως το 2002.

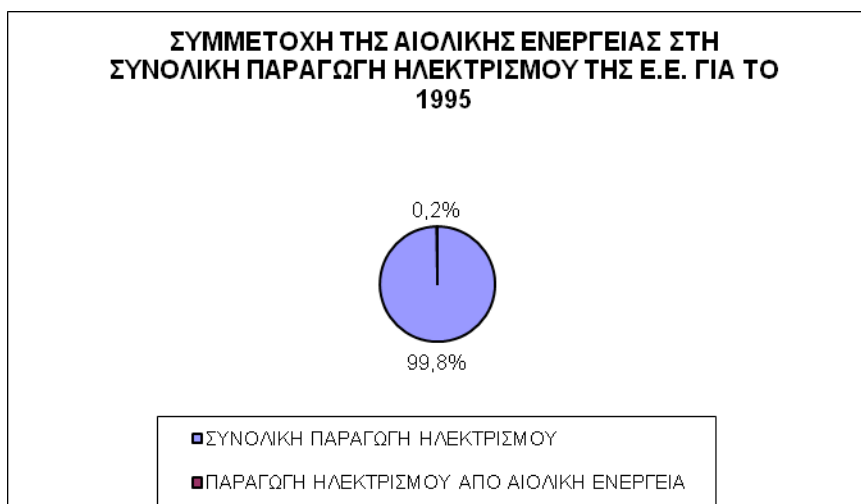


Σχήμα 3.38 Οι 10 μεγαλύτεροι προμηθευτές ανεμογεννητριών στην Ευρώπη

Η ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας στην Ευρώπη έχει βοηθηθεί από τα κίνητρα αγοράς που υποστηρίζονται από τους στόχους που τίθενται για να προωθηθεί η παραγωγή της αιολικής ενέργειας ως μια από τις καθαρότερες πηγές, και για να αναπτυχθεί η τεχνολογία που θα εξασφαλίσει μια εναλλακτική λύση καθαρής ενέργειας στο μέλλον σε μεγάλη κλίμακα και

για να καταπολεμήσει τα αποτελέσματα της αλλαγής κλίματος λόγω των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Η συμμετοχή της αιολικής ενέργειας στη συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το 1995 μέχρι και το 2020 (μελλοντικός σχεδιασμός) μπορεί να φανεί στα γραφήματα 3.39 3.40 3.41 3.42 .



Σχήμα 3.39 Συμμετοχή της αιολικής ενέργειας στη συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για το έτος 1995



Σχήμα 3.40 Συμμετοχή της αιολικής ενέργειας στη συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για το έτος 2000

ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΤΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗ ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ Ε.Ε. ΓΙΑ ΤΟ 2010



Σχήμα 3.41 Συμμετοχή της αιολικής ενέργειας στη συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για το έτος 2010

ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΤΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗ ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ Ε.Ε. ΓΙΑ ΤΟ 2020



Σχήμα 3.42 Συμμετοχή της αιολικής ενέργειας στη συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για το έτος 2020

Τέλος στον πίνακα 3.6 εμφανίζονται η εγκατεστημένη ισχύς από ανεμογεννήτριες στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης σε σχέση με άλλες εκτός αυτής.

Πίνακας 3.6 Εγκατεστημένη ισχύς σε χώρες της Ε.Ε. και σε χώρες εκτός Ε.Ε.

ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW) ΣΕ ΧΩΡΕΣ ΤΗΣ Ε.Ε.				ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW) ΣΕ ΑΛΛΕΣ ΧΩΡΕΣ			
ΕΤΟΣ	2002	2003	ΣΥΝΟΛΟ	ΕΤΟΣ	2002	2003	ΣΥΝΟΛΟ
ΓΕΡΜΑΝΙΑ	12001	835	12836	ΝΟΡΒΗΓΙΑ	97	3	100
ΙΣΠΑΝΙΑ	4830	230	5060	ΠΟΛΩΝΙΑ	27	30	57

ΔΑΝΙΑ	2881	36	2916	ΟΥΚΡΑΝΙΑ	46	5	51
ΟΛΛΑΝΔΙΑ	678	125	803	ΛΕΤΟΝΙΑ	24	0	24
ΙΤΑΛΙΑ	788	12	800	ΤΟΥΡΚΙΑ	19	0	19
ΗΝ. ΒΑΣΙΛΕΙΟ	552	34	586	ΤΣΕΧΙΑ	7	3	10
ΣΟΥΗΔΙΑ	328	36	364	ΡΩΣΙΑ	7	0	7
ΕΛΛΑΔΑ	297	57	351	ΕΛΒΕΤΙΑ	5	0	5
ΓΑΛΛΙΑ	148	72	220	ΟΥΓΓΑΡΙΑ	2	0	2
ΑΥΣΤΡΙΑ	139	80	219	ΕΣΘΟΝΙΑ	2	0	2
ΠΟΡΤΟΓΑΛΙΑ	196	21	217	ΡΟΥΜΑΝΙΑ	1	0	1
ΙΡΛΑΝΔΙΑ	137	0	137				
ΒΕΛΓΙΟ	44	12	56				
ΦΙΝΛΑΝΔΙΑ	41	0	41				
ΛΟΥΞΕΜΒΟΥΡΓΟ	16	0	16				
ΣΥΝΟΛΟ	23076	1550	24626	ΣΥΝΟΛΟ	237	41	278

3.8.2 Η κατάσταση στην Ελλάδα

Ο ετήσιος ρυθμός αύξησης της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας αναμένεται να κινηθεί μέχρι το 2006 γύρω στο 3-4% για το διασυνδεδεμένο σύστημα και στο 5-6% για τα αυτόνομα νησιωτικά συστήματα και αργότερα συνέχεια να κινηθεί σε επίπεδο ενιαίο 3,6% για όλη τη χώρα. Με βάση αυτό το σενάριο εκτιμάται ότι κατά το έτος 2010 οι ανάγκες της χώρας θα βρίσκονται σε επίπεδα τάξης 72 TWh.

Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε την εξέλιξη της ηλεκτροπαραγωγής ΑΠΕ στην Ελλάδα κατά την δεκαετία του 1990 (χρονικό διάστημα διαθεσιμότητας στοιχείων).

Πίνακας 3.7: Ηλεκτροπαραγωγή από ΑΠΕ στην Ελλάδα

Παραγωγή από ΑΠΕ (GWh) στην Ελλάδα

Τεχνολογία	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
ΥΗΕ < 1 MW	6,1	5,4	5,4	5,4	4,6	6,5	7	11,3	8,2	18,3	25,8
ΥΗΕ 1-10 MW	54	71	43	77	97	89	119	138	137	164	140
ΥΗΕ >10 MW	1.733	3.034	2.174	2.297	2.589	3.460	4236	3.756	3.585	4.446	3.527
Αιολική	1,6	1,8	8,2	47,5	37,4	33,8	36	36,9	73,1	162,3	451,0
Φ/Β	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Βιομάζα	0	0	1,5	1,5	1,4	0,9	0	0	0	0	0
Γαϊαέριο	0	0	0	0	0	0	0	0	1,10	1,56	0
Βιοαέριο	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,72	0,66
Σύνολο	1.795	3.112	2.232	2.429	2.729	3.590	4398	3.942	3.805	4.793	4.145

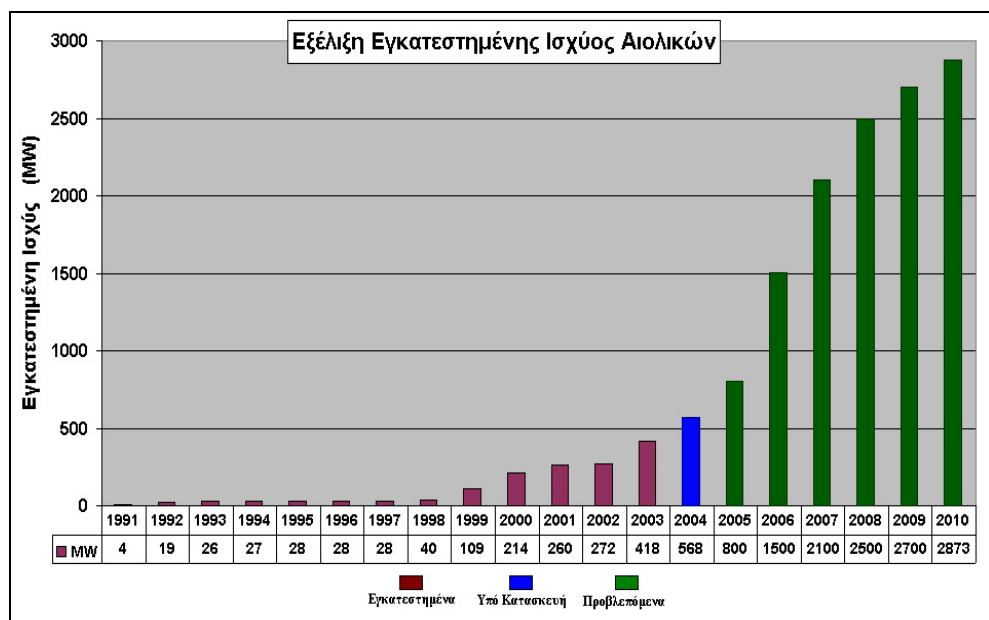
Όπως παρατηρούμε, την μεγαλύτερη άνθηση γνώρισαν η αιολική ενέργεια και τα μίνι υδροηλεκτρικά. Για το έτος 2001 (ΚΑΠΕ), η παραχθείς ενέργεια από ΑΠΕ ανήλθε σε 1,02 GWh, προερχόμενη κατά 74,12% από αιολικά πάρκα, κατά 18,14% από μικρά ΥΗ και κατά

7,75% από βιοαέριο. Το έτος 2002 δεν προέκυψε αισθητή διαφοροποίηση λόγω της μικρής αύξησης της εγκατεστημένης ισχύος

Μέχρι την 31-1-2004, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς (MW) ΑΠΕ στη χώρα μας ήταν:

- Αιολικά πάρκα: 417 MW
- Μικρά ΥΗ: 51 MW
- Βιομάζα: 21 MW
- Φ/Β: 1 MW

Στο παρακάτω διάγραμμα βλέπουμε την εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύος αιολικής ηλεκτροπαραγωγής στον ελληνικό χώρο.



Σχήμα 3.43: Εξέλιξη εγκατεστημένης αιολικής ισχύος στην Ελλάδα

Απαιτούμενες διαδικασίες αδειοδότησης

Όσον αφορά στη λήψη της άδειας παραγωγής, στη ΡΑΕ απευθύνονται οι ενδιαφερόμενοι επενδυτές, όπου και καταθέτουν μια αίτηση και ένα φάκελο μελέτης. Η ΡΑΕ με τη σειρά της, με τη συνεργασία του ΚΑΠΕ, εξετάζει κάθε αίτηση ξεχωριστά και η γνωμοδότησή της κοινοποιείται στο Υπ.Ανάπτυξης, το οποίο και λαμβάνει την τελική απόφαση για την έκδοση άδειας παραγωγής ή όχι.

Η αδειοδοτική διαδικασία για έργα ΑΠΕ στα νησιά διαφέρει. Κάθε δύο χρόνια γίνεται από τη ΡΑΕ ειδική μελέτη και πρόσκληση εκδήλωσης ενδιαφέροντος και υποβάλλονται οι αιτήσεις από τους ενδιαφερόμενους. Η ΡΑΕ κατόπιν αξιολογεί συγκριτικά τις αιτήσεις για κάθε νησί και γνωμοδοτεί προς το Υπ.Αν για τη χορήγηση ή όχι της άδειας παραγωγής. Επίσης, συμβαίνει συχνά να μην εγκρίνεται όλο το αιτούμενο από τον επενδυτή ποσό ισχύος ηλεκτροπαραγωγής, αλλά ένα μέρος αυτού.

Μετά τη λήψη της άδειας παραγωγής, οι εγκεκριμένες προτάσεις μεταβιβάζονται στην αντίστοιχη περιφέρεια, για να εγκριθεί η αίτηση για χορήγηση άδειας εγκατάστασης. Από τους συναρμόδιους φορείς (π.χ. Δασαρχείο, Υπ. Γεωργίας, Δ/ση Χωροταξίας και Περιβάλλοντος, Νομαρχία, Πυροσβεστική, Πολεοδομία, ΕΡΤ-ΟΤΕ, Εφορείες Αρχαιοτήτων, Υπ.Εθ.Α, ΔΕΣΜΗΕ, κ.α.) συλλέγονται οι γνωμοδοτήσεις και ακολούθως χορηγείται ή όχι η άδεια εγκατάστασης. Η λήψη της άδειας εγκατάστασης διαρκεί συνήθως 1-1,5 έτος, ενώ η

άδεια λειτουργίας εκδίδεται μετά την εγκατάσταση του πάρκου και συνήθως είναι τυπική η απόδοσή της.

Μέχρι το Σεπτέμβριο του 2004, είχαν εγκριθεί από τη ΡΑΕ οι άδειες παραγωγής για τα παρακάτω έργα ΑΠΕ σε όλη την ελληνική επικράτεια.

3.9 Κόστος ίδρυσης της Αιολικής Εγκατάστασης:

Η διαχρονική αξία του κόστους μιας ενεργειακής εγκατάστασης είναι ένας συνδυασμός του αρχικού κόστους επένδυσης και του αντίστοιχου κόστους συντήρησης και λειτουργίας της εγκατάστασης. Το αρχικό κόστος μιας ενεργειακής εγκατάστασης περιλαμβάνει την αγορά, μεταφορά και εγκατάσταση του απαραίτητου εξοπλισμού (π.χ. για αιολική εγκατάσταση, αγορά και εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας) καθώς και του απαραίτητου ηλεκτρονικού-ηλεκτρικού εξοπλισμού, είτε για την αυτόνομη διαχείριση και αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας, είτε για την σύνδεση με το τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο.

Πιο συγκεκριμένα το αρχικό κόστος ίδρυσης μιας αιολικής μονάδας συνίσταται από:

- A) Το κόστος αγοράς των ανεμογεννητριών
- B) Το κόστος εγκατάστασης.
- Γ) Το κόστος λειτουργίας

Στο κόστος εγκατάστασης συμπεριλαμβάνονται

1. Το κόστος μεταφοράς και εκτελωνισμού,
2. Το κόστος θεμελίωσης και ανέγερσης των μηχανών,
3. Το κόστος διασύνδεσης με το τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο
4. Τα κόστη μελέτης, επίβλεψης, διαμόρφωσης περιβάλλοντος χώρου,
5. Το κόστος των πιθανών έργων οδοποιίας,
6. Το κόστος αντικεραυνικής προστασίας,
7. Το κόστος των απαραίτητων αδειών και εγκρίσεων,
8. Τα πιθανά χρηματοοικονομικά έξοδα καθώς και
9. Το κόστος του οικοπέδου του αιολικού σταθμού.

Τα αποτελέσματα από την επεξεργασία των στοιχείων κόστους των παραπάνω στοιχείων για την εκτίμηση του συνολικού κόστους εγκατάστασης ενός αιολικού σταθμού και σύνδεσης με το δίκτυο, οδήγησαν στις ακόλουθες προσεγγίσεις :

- Κόστος αιολικών σταθμών με ανεμογεννήτριες ονομαστικής ισχύος 300kW= 400.000€ /ανεμογεννήτρια
- Κόστος αιολικών σταθμών με ανεμογεννήτριες ονομαστικής ισχύος 600kW= 670.000€/ανεμογεννήτρια
- Κόστος αιολικών σταθμών με ανεμογεννήτριες ονομαστικής ισχύος 1500kW=1.560.000€/ανεμογεννήτρια

3.9.1. Σταθερό Κόστος Συντήρησης και Λειτουργίας

Το σταθερό ετήσιο κόστος συντήρησης και λειτουργίας της εγκατάστασης εκφράζεται συνήθως σαν ένα ποσοστό "m%" του αρχικού επενδυμένου κεφαλαίου, αναπροσαρμοζόμενο κάθε χρόνο με ρυθμό του ετήσιου πληθωρισμού "g_j" οπότε και προκύπτει ότι η διαχρονική του εξέλιξη είναι:

$$FC_n = mIC_o \left[\prod_{l=1}^{l=m} (1+i_l) + \prod_{l=2}^{l=n} (1+i_l) * (1+g_1) + \prod_{l=3}^{l=n-1} (1+i_l) \prod_{j=1}^{j=2} (1+g_j) + \dots + \prod_{j=1}^{j=n-1} (1+g_j)(1+i_n) \right]$$

(Σ 3.12)

Πιο αναλυτικά το σταθερό κόστος συντήρησης και λειτουργίας "FC" περιλαμβάνει το άμεσο κόστος συντήρησης, το έμμεσο κόστος συντήρησης και λειτουργίας καθώς και το κόστος ασφάλισης της επένδυσης. Όπως είναι προφανές το "FC" (ή το m%) εμφανίζει σημαντικές διακυμάνσεις, οι οποίες εξαρτώνται από το πλήθος και το μέγεθος των χρησιμοποιούμενων μηχανών της αιολικής εγκατάστασης από το έτος παραγωγής τους καθώς και από τον κατασκευαστή, τον εγκαταστάτη αλλά και τις τοπικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή εγκατάστασης.

Στον Πίνακα 3.7. παρουσιάζονται οι τιμές του συντελεστή "m₀" και του συντελεστή ασφάλισης "δ" για διάφορες τυπικές περιπτώσεις μηχανών που ανήκουν σε μεγάλα (>10 μηχανές) αιολικά πάρκα.

Πίνακας 3.7 Χαρακτηριστικές Τιμές Μεγεθών Σταθερού Κόστους Συντήρησης – Λειτουργίας

Συντελεστής	m ₀ '	m ₀ "	m ₀	δ	m
Μέγιστη Τιμή	1,3 %	1,0 %	2,3 %	1,8 %	4,1 %
Ελάχιστη Τιμή	0,3 %	1,0 %	1,3 %	1,0 %	2,3 %
Μέση Τιμή	0,8 %	1,0 %	1,8 %	1,4 %	3,2 %

Στην τιμή "m₀" του συντελεστή σταθερού κόστους συντήρησης και λειτουργίας δεν περιλαμβάνεται το κόστος "δ" πιθανής ασφάλισης της εγκατάστασης. Στην περίπτωση που συναφθεί συμφωνία ασφάλισης του προσωπικού, της εγκατάστασης αλλά και μιας ελάχιστης τιμής της ετήσιας ενεργειακής παραγωγής, ο συντελεστής ασφάλισης παίρνει τιμές της τάξης του 1,4%.

3.9.2. Μεταβλητό Κόστος Συντήρησης και Λειτουργίας:

Αντίστοιχα το μεταβλητό κόστος συντήρησης και λειτουργίας της μονάδας οφείλεται κυρίως στην αντικατάσταση βασικών τμημάτων της εγκατάστασης, τα οποία έχουν μικρότερο χρόνο ζωής από την συνολική εγκατάσταση, όπως για παράδειγμα τα πτερύγια της πτερωτής, το κιβώτιο μετάδοσης και η ηλεκτρική γεννήτρια μιας αιολικής εγκατάστασης. Εάν με "r_i" συμβολιστεί το κόστος αντικατάστασης των "k₀" σημαντικών αυτών τμημάτων της εγκατάστασης εκφραζόμενο σαν ποσοστό του αρχικού κόστους αγοράς και εγκατάστασης της ενεργειακής μονάδας "IC₀", το μεταβλητό κόστος συντήρησης και λειτουργίας δίνεται σαν ²:

$$VC_n = IC_o \sum_{k=1}^{k=k_0} r_k \sum_{l=1}^{l=l_k} (1+g)^{l-k_{max}} (1+i)^{n-lk_{max}}$$

(Σ 3.13)

Όπου με την χρήση της παραμέτρου "I_k" συμβολίζεται το ακέραιο μέρος του πηλίκου (n-1)/k_{max} και με k_{max} συμβολίζεται ο χρόνος ζωής του καθενός από τα k (όπου k = 1÷k_o) τμήματα της εγκατάστασης που έχουν συντομότερο χρόνο ζωής από τον αντίστοιχο χρόνο ζωής της κεντρικής μονάδας. Για πρακτικούς καθαρά λόγους στην ανωτέρω εξίσωση έχει χρησιμοποιηθεί ένα μέσο διαχρονικό επιτόκιο "i" και ένας μέσος διαχρονικά πληθωρισμός "g". Στον Πίνακα 3.8. , παρουσιάζεται η ποσοστιαία συμμετοχή "r_i" των κύριων μερών μιας αιολικής εγκατάστασης στο συνολικό κόστος μιας μηχανής, σαν συνάρτηση της διαμέτρου της πτερωτής της ανεμογεννήτριας.

Πίνακας 3.8.: Ποσοστό αξίας κύριων μερών αιολικής μηχανής

Διάμετρος Μηχανής	15m	18m	24m	30m
Πτερύγια	12,9%	13,3%	14,4%	15,3%
Υπερκατασκευή	34,7%	36%	39,1%	41,8%
Γεννήτρια	3,2%	3,2%	2,9%	2,6%
Κέλυφος	11,9%	12,5%	13,3%	13,8%
Ηλεκτρικά-Έλεγχος	29,5%	27,4%	23,4%	20,1%
Πύργος	7,8%	7,6%	6,9%	6,4%
ΣΥΝΟΛΟ	100%	100%	100%	100%

Συνδυάζοντας της ανωτέρω συναρτήσεις, προκύπτει ότι το συνολικό διαχρονικό κόστος της ενεργειακής εγκατάστασης μπορεί να εκφραστεί ως το άθροισμα του σταθερού, του μεταβλητού κόστους συντήρησης και λειτουργίας, καθώς και του κόστους αγοράς και εγκατάστασης.

3.9.3 Έσοδα Λειτουργίας Αιολικού Σταθμού:

Η μέση ετησίως παραγόμενη ενέργεια από μια εγκατάσταση αξιοποίησης αιολικής ενέργειας ονομαστικής ισχύος "N_o" δίνεται σαν:

$$E = 8760 \omega \Delta N_o \quad (\Sigma 3.14)$$

Όπου με "ω" συμβολίζεται ο μέσος συντελεστής ισχύος της εγκατάστασης και με "Δ" η τεχνική διαθεσιμότητα της εγκατάστασης. Στην περίπτωση της αιολικής ενέργειας, ο μέσος συντελεστής ισχύος μιας αιολικής εγκατάστασης δίνεται σαν

$$\omega = \int_{V_c}^{V_F} \frac{N(V)}{N_o} f(V) dV \quad (\Sigma 3.15)$$

Τα συνολικά έσοδα (σε μια περίοδο n-ετών) από την χρήση μιας αιολικής εγκατάστασης περιγράφονται ικανοποιητικά βάση της εξίσωσης²:

$$R_n = \sum_{j=1}^n \left[(E_j c_j - \Phi_j) \prod_{m=j}^{m=n} (1 + i_m) \right] \quad (\Sigma 3.16)$$

όπου με c_j συμβολίζεται η ισοδύναμη τιμή διάθεσης της παραγόμενης ενέργειας την χρονική περίοδο "j" και με "Φ_j" τα ποσά που καταβάλλονται ως φόρος επί των κερδών της επένδυσης.

Η τιμή διάθεσης της παραγόμενης ενέργειας προκύπτει στην γενικότερη περίπτωση σαν ένας συνδυασμός του κόστους "c_s" της ενέργειας, η οποία χρησιμοποιείται (εξοικονομείται) από τον παραγωγό σε αντικατάσταση συμβατικής ενέργειας, και της τιμής πώλησης της τυχόν περίσσειας ενέργειας στο τοπικό δίκτυο "c_a" που θα καθορισθεί από την Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου. Αν οριστεί ο συντελεστή ιδιόχρησης "s_j" της παραγόμενης ενέργειας την χρονική περίοδο "j" σαν ο λόγος της ενέργειας που χρησιμοποιεί ο παραγωγός προς την συνολικά παραγόμενη ενέργεια, τότε η τιμή διάθεσής της αιολικής ενέργειας, προκύπτει σαν

$$c_j = s_j c_{sj} + (1-s_j)c_{aj} \quad (\Sigma 3.17)$$

Για την ολοκλήρωση της ανάλυσης προσδιορισμού του κόστους διάθεσης της παραγόμενης ενέργειας, είναι σημαντικό να συμπεριληφθεί και ο ετήσιος ρυθμός αναπροσαρμογής της τιμής αντικατάστασης και της τιμής πώλησης της διαθέσιμης περίσσειας της ανανεώσιμης ενέργειας "e_s" και "e_a" αντίστοιχα. Στην περίπτωση αυτή η τιμή αντικατάστασης της συμβατικής ενέργειας από την παραγόμενη αιολική ενέργεια για την χρονική περίοδο "j" αναφέρεται στα χρήματα που εξοικονομούνται από την μη αγορά συμβατική ενέργειας και μπορεί να εκφραστεί σαν :

$$c_{sj} = c_{so} \prod_{k=1}^{k=j} (1 + e_{sk}) \quad (\Sigma 3.18)$$

όπου με "c_{so}" συμβολίζεται η τιμή αντικατάστασης της συμβατικής ενέργειας την χρονική στιγμή πραγματοποίησης της επένδυσης.

3.9.4 Κόστος Αγοράς Ανεμογεννήτριας:

Για τον προσδιορισμό του κόστους αγοράς και εγκατάστασης, θα πρέπει να γίνει συστηματική έρευνα αγοράς, να συζητηθούν οι όροι εγγύησης και υποστήριξης από τον πωλητή.

Συγκεκριμένα στον καθορισμό του κόστους αγοράς μιας ανεμογεννήτριας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί αναλυτική σχέση που συνδέει την ανοιγμένη τιμή μιας ανεμογεννήτριας P_r (σε Ecu/kW) με την ονομαστική της ισχύ "N_o", δηλαδή:

$$P_r = \frac{a}{b + N_o^x} + c \quad (0 \leq N_o \leq 500\text{kW}) \quad (\Sigma 3.19)$$

όπου a = 8,7*10⁵, b=621, x=2,05 και c η χρονική συνάρτηση που περιγράφει την διαχρονική μεταβολή της ασυμπτωτικής τιμής ενός αιολικού kW. Πιο συγκεκριμένα ισχύει

$$c(t) = c_o * (1 + 0,7 e^{-0,125t}) \quad (\Sigma 3.20)$$

όπου c_o = 700 Ecu/kW, η αναμενόμενη τιμή του αιολικού kW μετά από 20-30 έτη και "t" ο αριθμός των ετών μετά το 1990.

Εφαρμόζοντας των ανωτέρω αλγόριθμο, και με δεδομένο ότι η ενεργειακή απαίτηση ενός νέου σταθμού θα πρέπει να ανέρχεται στα 12 MW, εκτιμούμε μια πρώτη τιμή για κόστος αγοράς της τάξης των 9,3 περίπου εκατομμυρίων ευρώ. Συγκεκριμένα:

$$P_r = \frac{8,7 * 10^5}{621 + 500_0^{2,05}} + (1 + 0,7 * e^{-0,125*12}) \rightarrow P_r = 811 \text{ Ecu/kW}$$

Για την ζητούμενη των 12 MW η τιμή αυτή ανάγεται σε

$$P_r = 811 \text{ Ecu/kW} * 12000 \text{ kW} = 9732000 \text{ Ecu}$$

3.10 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

3.10.1 Εισαγωγικά

Παρόλο που η αιολική ενέργεια είναι ήπια μορφή ενέργειας δεν είναι απαλλαγμένη από περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η αιολική ενέργεια έχει μια σειρά χαρακτηριστικών τα οποία είναι τα εξής:

- Περισσότερες της μιας ανεμογεννήτριες απαιτούνται για μεγάλη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Οι ανεμογεννήτριες είναι τοποθετημένες κυρίως σε απομακρυσμένες και αγροτικές περιοχές λόγω της εκεί ύπαρξης αέρα
- Οι ανεμογεννήτριες είναι ορατές από μεγάλες αποστάσεις
- Η κίνηση των πτερυγίων αποσπά την προσοχή καθώς δημιουργεί αντανάκλασεις

Εκτός από τις οπτικές επιπτώσεις η αιολική ενέργεια σχετίζεται και με άλλα περιβαλλοντικά θέματα όπως ο θόρυβος, η χρήση γης και οι επιπτώσεις κατά τη διάρκεια κατασκευής. Μερικές επιπτώσεις όπως αυτές πάνω στα πουλιά και η απόσπαση της προσοχής μπορούν να ποσοτικοποιηθούν. Άλλες όπως η οπτική παρείσφρηση και ο θόρυβος απαιτούν πιο υποκειμενικά και ποιοτικά κριτήρια.

3.10.2 Οπτικές επιπτώσεις

Η τοποθέτηση ανεμογεννητριών επηρεάζει την οπτική αισθητική των περιχώρων, ειδικά σε μέρη όπου η γη έχει μεγάλη αξία. Η ομορφιά του τοπίου εξαρτάται από την αντίληψη του καθένα, μιας και αισθητικά πρότυπα όπως η ομορφιά είναι υποκειμενικά καθώς η αξία τους επηρεάζεται από τη χρήση (εθνικό πάρκο, αγροτική γη, τόπος άγριας ζωής). Προστατευμένες περιοχές εθνικής ή τοπικής σημασίας είναι πιο ευαίσθητες στις οπτικές επιπτώσεις της αιολικής ενέργειας.

Γενικά δεν είναι εύκολο, γενικά, να καθοριστεί τι είναι οπτικά αποδεκτό, λόγω της υποκειμενικότητας των κριτηρίων, καθώς κάθε άνθρωπος αντιλαμβάνεται διαφορετικά το τι προκαλεί αισθητική ενόχληση. Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία παραγόντων που συμβάλλουν στην κατάληξη των οπτικών επιπτώσεων που σχετίζονται με τα αιολικά πάρκα, τα χαρακτηριστικά της γύρω περιοχής και την αντίληψη του επηρεαζόμενου πληθυσμού.

Οι ανεμογεννήτριες νέας τεχνολογίας γίνονται όλο και μεγαλύτερες τόσο σε μέγεθος όσο και σε ισχύ και συνεπώς αποτελούν κυρίαρχο στοιχείο μέσα σε ένα τοπίο. Ταυτόχρονα η απόσταση μεταξύ ανεμογεννητριών μεγαλώνει και άρα μειώνεται η πυκνότητα τους σε μια δεδομένη περιοχή. Συνεπώς η ανάπτυξη της τεχνολογίας επηρεάζει τις οπτικές επιπτώσεις των αιολικών πάρκων, από σχηματισμούς μεγάλης πυκνότητας με μεγάλες περιστροφικές ταχύτητες, σε σχηματισμούς μικρότερης πυκνότητας με μεγαλύτερες μηχανές αλλά με μικρότερες περιστροφικές ταχύτητες.

Για να διατηρηθεί η αποδοχή του κόσμου, τα αιολικά πάρκα πρέπει να σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιούνται οι διάφορες αισθητικές επιπτώσεις. Η χρήση εξομοιωτή μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή μπορεί να αποδώσει μια εικονική απεικόνιση ενός μελλοντικού αιολικού πάρκου και μπορεί να βοηθήσει τους σχεδιαστές να αποτιμήσουν τις οπτικές επιπτώσεις.

Οι οπτικές επιπτώσεις της αιολικής ενέργειας έχουν μεγάλη επιρροή στην αντίληψη και την αποδοχή της τεχνολογίας από τους ανθρώπους. Οι προσπάθειες για αισθητική αφομοίωση

των ανεμογεννητριών στο τοπίο και ο καταμερισμός των οικονομικών ωφελειών με τις τοπικές κοινωνίες μπορούν να μετριάσουν τις αρνητικές διαθέσεις ενάντια στην αιολική ενέργεια.

3.10.3 Θόρυβος

Ο θόρυβος αναγνωρίζεται ως μία από τις κύριες περιβαλλοντικές επιπτώσεις της αιολικής ενέργειας. Εξάλλου, αποτελεί και τη βασικότερη αιτία περιορισμού της εγκατάστασης αιολικών πάρκων κοντά σε πυκνοκατοικημένες περιοχές. Οι αεροστρόβιλοι λειτουργούν σε σχετικά χαμηλές περιστροφικές ταχύτητες και παράγουν θόρυβο χαμηλής συχνότητας που ποικίλει από υποηχητικός μέχρι το κανονικό ηχητικό επίπεδο. Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι θορύβου αεροστροβίλων:

Μηχανικός θόρυβος: Αυτός ο τύπος θορύβου οφείλεται στην κίνηση των συστατικών του καλύμματος και το πιο σημαντικό ποσό της ηχητικής ενέργειας προέρχεται από το κιβώτιο ταχυτήτων. Η αποτροπή του μηχανικού θορύβου θεωρείται ότι είναι σε μεγάλο βαθμό εφικτή, σε αντίθεση με τον αεροδυναμικό θόρυβο, αφού μπορεί να αποφευχθεί με προσεκτικό σχεδιασμό, απομόνωση και καλή διατήρηση. Ωστόσο, υπάρχει ένας αριθμός παραδειγμάτων, όπου κοινωνικά παράπονα αφορούσαν κυρίως αυτό το είδος θορύβου.

Αεροδυναμικός θόρυβος: Αυτός ο τύπος θορύβου οφείλεται σε διαταραχές του αέρα στα άκρα των πτερυγίων. Περιοδικοί ακουστικοί χτύποι προκύπτουν από τα ραγδαία μεταβαλλόμενα αεροδυναμικά φορτία στα πτερύγια και παράγουν ένα χαρακτηριστικό αρμονικό ήχο. Η διέγερση επιπλοκών των πτερυγίων πύργου δημιουργεί τον πιο σημαντικό αεροδυναμικό παράγοντα του θορύβου για σχηματισμούς στροβίλων προς τον πνέοντα άνεμο. Στην περίπτωση των μηχανών προς τον άνεμο, ο αεροδυναμικός θόρυβος οφείλεται κυρίως σε κεκλιμένες εισροές που προκαλούνται από ανωμαλίες του εδάφους. Οι διακυμάνσεις φορτίων και οι ακτινοβολούμενοι θόρυβοι είναι πιο έντονοι για μηχανές προς τον πνέοντα άνεμο παρά από τον πνέοντα άνεμο. Αν και μια κατάλληλη σχεδίαση θα μπορούσε να ελαττώσει σημαντικά τον αεροδυναμικό θόρυβο, είναι ευρέως αποδεκτό ότι είναι πιο δύσκολο να ελεγχθεί, σε σχέση με το μηχανικό θόρυβο. Ο συνολικός θόρυβος που εκπέμπεται από τους αεροστρόβιλους είναι το άθροισμα του μηχανικού και του αεροδυναμικού θορύβου. Το άθροισμα αυτό είναι, όμως, δύσκολο να καθοριστεί με ακρίβεια, αφού οι μετρήσεις πρέπει να γίνουν σε περιοχή με αέρα που θα κυριαρχείται από θόρυβο χαμηλής συχνότητας. Γι' αυτό η συλλογή των δεδομένων εκπομπής βασίζεται κυρίως σε νέες τεχνικές μέτρησης. Για εμπορικούς αεροστρόβιλους μεσαίου μεγέθους, δηλαδή ισχύος από 180 μέχρι 300 kW, οι εκπομπές ήχου, όπως αναφέρονται στη βιβλιογραφία και σε αντίστοιχα τεχνικά φυλλάδια, ποικίλουν μεταξύ 95 και 103 dBA.

Το πλαίσιο για την αξιολόγηση των επιπτώσεων του θορύβου στον άνθρωπο έχει αναπτυχθεί κατά τη διάρκεια του ερευνητικού έργου ExternE και εφαρμόστηκε πρώτα στο Ηνωμένο Βασίλειο. Για την εκτίμηση της φθοράς που προκαλεί ο θόρυβος στα ακίνητα έχει υιοθετηθεί μια αποτιμητική μέθοδος, γνωστή ως μέθοδος κόστους dBA, βασισμένη σε μία Ένδειξη Ευαισθησίας Υποβάθμισης Θορύβου (NDSI) ορισμένη να εκτιμήσει την υποβάθμιση της αξίας των σπιτιών, ως αποτέλεσμα του επιπέδου του θορύβου του περιβάλλοντος. Ειδικότερα, η μέθοδος κόστους dBA βασίζεται στην ακόλουθη εξίσωση:

$$AVN = \sum(L_{obs} - L_{back}) \cdot N \cdot A(P) \cdot NDSI$$

(Σ 3.21)

όπου AVN είναι η ετήσια τιμή της επίπτωσης του θορύβου, L_{obs} είναι το επίπεδο μετά τη λειτουργία του αιολικού πάρκου, L_{back} είναι το επίπεδο θορύβου του υποβάθρου, N είναι ο αριθμός των σπιτιών που επηρεάζονται, A(P) είναι το μέσο ετήσιο ποσό τιμής των σπιτιών και το NDSI αντιπροσωπεύει μία ένδειξη ευαισθησίας υποβάθμισης θορύβου και που ισοδυναμεί με 0,9 % ανά dBA.

Η επίδραση του θορύβου από την αιολική ενέργεια κατατάσσεται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Υποκειμενικές επιδράσεις που σχετίζονται με ενόχληση και δυσαρέσκεια
- Επιδράσεις που σχετίζονται με δραστηριότητες όπως η συζήτηση

Επίσης ο ήχος των ανεμογεννητριών εξαρτάται και από διάφορα τοπικά χαρακτηριστικά (αγροτική ή αστική περιοχή, τοπογραφία), τον αριθμό και την απόσταση των κατοίκων από τις ανεμογεννήτριες και τον τύπο της κοινωνικής επίδρασης (τουριστική επίδραση). Η αλληλεπίδραση μεταξύ τέτοιων παραγόντων μειώνει ή αυξάνει την αντίληψη των κατοίκων για τους ήχους από τις ανεμογεννήτριες.

Ο θόρυβος μετριέται σε decibel (dB). Οι πιο σημαντικοί παράγοντες που επιδρούν στη διασπορά του θορύβου είναι:

- Ο τύπος της πηγής του θορύβου
- Η απόσταση από την πηγή
- Η ταχύτητα του ανέμου
- Η θερμοκρασία
- Η υγρασία
- Η ύπαρξη κτιρίων ή εμποδίων

Οι παράγοντες με τη μεγαλύτερη επίδραση στη διασπορά του θορύβου είναι η απόσταση της πηγής από τον παρατηρητή και ο τύπος της πηγής.

Πίνακας 3.9 Επίπεδα ήχου για διάφορες πηγές σε διαφορετικές αποστάσεις

ΠΗΓΗ	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΠΗΓΗ	ΕΠΙΠΕΔΟ ΗΧΟΥ (dBA)
ΣΕΙΡΗΝΑ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ	140-130	120
ΑΠΟΓΕΙΩΣΗ ΑΕΡ/ΝΟΥ	61	120
ΣΕΙΡΗΝΑ ΑΣΘΕΝΟΦΟΡΟΥ	31	90
ΦΟΡΤΗΓΟ ΤΡΑΙΝΟ	15	80
ΤΡΥΠΑΝΙ	15	80
ΚΙΝΗΣΗ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΥ	31	70
ΟΙΚΙΑΚΗ ΣΚΟΥΠΑ	31	60
ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ > 1MW	31	49
ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ > 1MW	31	45

Από τον πίνακα παρατηρείται ότι η απόσταση παίζει σημαντικό ρόλο στα επίπεδα θορύβου. Ο θόρυβος από μια ανεμογεννήτρια είναι λίγο μικρότερος από 50 dBA όταν η απόσταση από αυτήν είναι μεταξύ 200 και 300 μέτρων. Τυπικά αναφέρεται ότι ο ήχος από μια ανεμογεννήτρια νέας τεχνολογίας είναι μεταξύ 100 και 106 dBA. Εξαρτάται βέβαια και από τον τύπο της ανεμογεννήτριας και την ταχύτητα του ανέμου. Τα επίπεδα θορύβου πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη κατά τον σχεδιασμό τοποθέτησης ενός αριθμού ανεμογεννητριών σε κάποιο μέρος. Μια ανεμογεννήτρια με ισχύ μεγαλύτερη του 1MW παράγει ήχους της τάξεως των 104 dBA. Η εγκατάσταση μιας δεύτερης ανεμογεννήτριας ίδιας ισχύος προκαλεί αύξηση θορύβου της τάξεως των 3 μόνο dBA. Αυξάνοντας την ενέργεια του ήχου κατά 26% αυξάνονται τα επίπεδα θορύβου κατά 1 dBA. Τριπλασιάζοντας την ενέργεια του ήχου

προκαλείται αντίστοιχη αύξηση της τάξεως των 5 dBA. Η κλίμακα των dBA είναι λογαριθμική. Με άλλα λόγια όσο η δύναμη του ήχου διπλασιάζεται ο δείκτης αυξάνει περίπου 3 dBA. Δηλαδή επίπεδα ήχου της τάξεως των 100 dBA περιέχουν διπλάσια ενέργεια από τα επίπεδα ήχου της τάξεως των 97 dBA. Τα επίπεδα ήχου μειώνονται κατά περίπου 6 dBA κάθε φορά που η απόσταση από την ανεμογεννήτρια διπλασιάζεται.

Επιπροσθέτως ο συνολικός θόρυβος σχετίζεται τόσο με τον θόρυβο του περιβάλλοντος τοπίου όσο και από τον θόρυβο των ανεμογεννητριών. Ο περιβάλλον θόρυβος μπορεί να καλύψει το θόρυβο των ανεμογεννητριών εντελώς αν αυτές τοποθετηθούν σε αστική ή βιομηχανική περιοχή. Τα δέντρα μπορούν επίσης να καλύψουν μακρινούς ήχους από ανεμογεννήτριες.

Ένας εξίσου σημαντικός παράγοντας είναι και ο χρόνος λειτουργίας. Μπορεί να υπάρξει θόρυβος από ανεμογεννήτρια για ώρες, μέρες ή και μεγαλύτερες περιόδους ανάλογα με την ύπαρξη ή μη ανέμου.

Πίνακας 3.10: Περιορισμοί στα επίπεδα ήχου σε Γερμανία και Ολλανδία

ΤΥΠΟΣ		
ΠΕΡΙΟΧΗΣ	ΟΙΚΙΣΤΙΚΟΣ	ΑΓΡΟΤΙΚΟΣ
ΓΕΡΜΑΝΙΑ		
ΜΕΡΑ	55	50
ΝΥΧΤΑ	40	35
ΟΛΛΑΝΔΙΑ		
ΜΕΡΑ	45	40
ΝΥΧΤΑ	35	30

3.10.4 Χρήση γης

Η εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου απαιτεί την ύπαρξη διαθέσιμου τμήματος γης αρκετά μεγάλου, ώστε να είναι ικανό να υποστηρίξει τη λειτουργία των ανεμογεννητριών και την εγκατάσταση της απαραίτητης υποδομής. Δεδομένων των χαρακτηριστικών της αιολικής ενέργειας είναι απαραίτητο να εγκατασταθούν αρκετές ανεμογεννήτριες μαζί ώστε να επιτευχθεί η ίδια συνολική ισχύς σε σχέση με ένα συμβατικό εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Επομένως απαιτείται μεγαλύτερη έκταση για να εγκατασταθούν τα αιολικά πάρκα. Εκτιμάται ότι 40 m² εδάφους απαιτούνται για κάθε μεσαίου μεγέθους ανεμογεννήτρια. Ο παράγοντας αυτός, δηλαδή της εύρεσης και αγοράς ή ενοικίασης ενός μεγάλου τμήματος γης, έχει σημαντική συμβολή στο ζήτημα του κόστους μιας τέτοιας εγκατάστασης.

Εξάλλου, πρόβλημα δημιουργείται και με τις κοντινές στο αιολικό πάρκο περιοχές, καθώς κατά την περίοδο της λειτουργίας του πάρκου καθίστανται απαγορευτικές διαφόρων ειδών ανθρώπινες δραστηριότητες. Συνεπώς, είναι αναγκαία η επίτευξη κάποιας μορφής συμφωνίας μεταξύ της εταιρείας που έχει αναλάβει την αιολική εκμετάλλευση της περιοχής και των ιδιοκτητών τμημάτων γης πλησίον της εγκατάστασης. Η λειτουργία ενός αιολικού πάρκου, συνεπώς, περιορίζει τις δυνατότητες εκμετάλλευσης της γης εντός μιας συγκεκριμένης περιοχής. Όπως και στην περίπτωση της φθοράς των ακινήτων λόγω του θορύβου που παράγουν οι ανεμογεννήτριες, έτσι και η ετήσια τιμή του αντίκτυπου στη χρήση της γης (AVL) δίνεται από την αντίστοιχη σχέση:

$$AVL = \sum S_i \cdot A(P) \cdot DI_i$$

(Σ 3.22)

όπου i είναι η δραστηριότητα που επηρεάζεται, S_i η επιφανειακή περιοχή εντός της οποίας επηρεάζεται η δραστηριότητα, $A(P)$ είναι η μέση ετήσια τιμή γης, DI_i είναι μια ένδειξη που αντιπροσωπεύει την υποβάθμιση της τιμής της γης εξαιτίας της εμπλοκής του αιολικού πάρκου με τη δραστηριότητα.

Ωστόσο μόλις το 1 % με 3 % της συνολικής έκτασης καταλαμβάνονται από τις ανεμογεννήτριες. Έτσι μέχρι και το 99 % της έκτασης είναι διαθέσιμο για άλλες χρήσεις. Στην Ευρώπη τα περισσότερα αιολικά πάρκα είναι εγκατεστημένα σε απομακρυσμένες ή και αγροτικές περιοχές όπου είναι δυνατή ακόμη και η παράλληλη βοσκή των ζώων.

3.10.5 Επιπτώσεις στα πουλιά

Οι κύριες επιπτώσεις των ανεμογεννητριών στα πουλιά είναι οι θάνατοι αυτών εξαιτίας της σύγκρουσής τους με τα πτερύγια και τα καλώδια. Οι κύριες συνέπειες κατατάσσονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Θάνατος ή τραυματισμός από τα περιστρεφόμενα πτερύγια
- Ηλεκτροπληξία από τα καλώδια
- Αλλαγή μεταναστευτικών συνηθειών
- Μείωση των διαθέσιμων χώρων κατοικίας για τα πουλιά
- Διαταραχή στη γονιμοποίηση και στη διατροφή

Μια έρευνα στις Ηνωμένες Πολιτείες το 2001 υπολόγισε ότι για κάθε ανεμογεννήτρια υπολογίζονται περίπου 2,2 θάνατοι πουλιών ανά έτος. Για να υπάρχει ένα μέτρο σύγκρισης, υπολογίστηκε ότι περίπου 100 με 1000 εκατομμύρια πουλιών πεθαίνουν κάθε χρόνο από συγκρούσεις με αυτοκίνητα, κτίρια, από ηλεκτροπληξία ή και από άλλες κατασκευές. Συνεπώς οι θάνατοι των πουλιών εξαιτίας των ανεμογεννητριών αντιπροσωπεύουν το 0,01-0,02 % των συνολικών θανάτων. Στην Ισπανία, στη Navarre, μια αντίστοιχη έρευνα υπολόγισε 0,13 θανάτους πουλιών ανά ανεμογεννήτρια ανά χρόνο.

3.10.6 Ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές

Οι ανεμογεννήτριες ή και ο υπόλοιπος εξοπλισμός μπορούν να παρεμβάλουν στα συστήματα επικοινωνίας που χρησιμοποιούν ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Αυτό προκαλείται κυρίως από τα πτερύγια τα οποία διασκορπίζουν το σήμα καθώς περιστρέφονται. Επίσης επηρεάζεται η λήψη τηλεοπτικού σήματος καθώς και τα συστήματα επικοινωνίας αεροσκαφών.

Οι παρεμβολές στο σήμα της τηλεόρασης είναι η πιο συνηθισμένη επίδραση αλλά μπορεί να διορθωθεί εύκολα και φτηνά. Παρεμβολές στους δέκτες ραδιοφώνου, στα κινητά τηλέφωνα και στις δορυφορικές υπηρεσίες σπανίως αναφέρονται.

3.10.7 Αντανάκλασεις

Τα περιστρεφόμενα πτερύγια μπορεί να δημιουργήσουν κινούμενες σκιές που επιδρούν στους γύρω κατοίκους. Επιπρόσθετα, μπορεί να προκαλέσουν στιγμιαίες λάμψεις(λόγω ήλιου) καθώς περιστρέφονται. Οι επιπτώσεις ποικίλουν από χώρα σε χώρα αναλόγως των καιρικών συνθηκών(ηλιοφάνεια ή όχι) αλλά και λόγω διαφορετικού γεωγραφικού πλάτους.

3.10.8 Κατανάλωση ενέργειας – Ενεργειακό ισοζύγιο

Στους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ο κύκλος του καυσίμου περιλαμβάνει την αναζήτηση, εκσκαφή, επεξεργασία και μεταφορά κάρβουνου ή λιγνίτη. Επίσης περιλαμβάνει την κατασκευή και εγκατάσταση του εξοπλισμού, τη λειτουργία του εργοστασίου και τη διάθεση των απορριμμάτων. Στην περίπτωση ανανεώσιμης πηγής

ενέργειας όπως ο άνεμος, ο κύκλος του καυσίμου περιλαμβάνει μόνο τις εργασίες για την παραγωγή, εγκατάσταση, διατήρηση και αποσυναρμολόγηση της ανεμογεννήτριας και των βοηθητικών συστημάτων.

Σύμφωνα με μια έρευνα που έκανε η «Δανική ένωση αιολικής ενέργειας» το 1997 οι ανεμογεννήτριες νέας τεχνολογίας ανακτούν όλη την εισερχόμενη ενέργεια μέσα σε 3 ή 4 μήνες. Εξοικονομούν, μέσα σε 20 χρόνια, 63 με 78 φορές την απαιτούμενη εισερχόμενη ενέργεια για την λειτουργία ενός εργοστασίου άνθρακα.

3.10.9 Επαγγελματικά ατυχήματα

Οι κίνδυνοι που συνδέονται με τη λειτουργία των ανεμογεννητριών αναφέρονται συνήθως στην απόσπαση πτερυγίων ή τμημάτων αυτών και οφείλονται σε αποτυχία κατασκευής. Το τμήμα που αποσπάται είναι δυνατόν να εκτοξευθεί σε μεγάλη απόσταση και να προκαλέσει τραυματισμό ανθρώπου ή ζώου, αλλά και φθορά περιουσίας. Η συνεχής τεχνολογική ανάπτυξη στο σχεδιασμό, η καλή συντήρηση και τα αξιόπιστα συστήματα ελέγχου περιορίζουν τον κίνδυνο ατυχημάτων σε εξαιρετικά χαμηλά επίπεδα. Η συνολική πιθανότητα έχει εκτιμηθεί σε 10^{-5} ανά έτος και μηχανή. Ο κίνδυνος είναι μεγαλύτερος πολύ κοντά στη μηχανή. Στην ευρύτερη περιοχή, σε αποστάσεις μικρότερες από 370 m, σύγκρουσης με θραύσμα πτερυγίου είναι 10^{-7} ανά έτος για καθορισμένους στόχους, ενώ για κινούμενα σώματα είναι δύο τάξεων μεγέθους μικρότερος, συγκρίσιμος με την πιθανότητα να χτυπηθεί άνθρωπος από αστραπή.

Στην Ελλάδα, μόνο ένα ασήμαντο ατύχημα κατά τη διαδικασία συντήρησης έχει αναφερθεί στη Στατιστική Υπηρεσία Ασφάλειας, από την αρχή της εμπορικής λειτουργίας όλων των αιολικών πάρκων, σε χρονικό διάστημα δηλαδή μεγαλύτερο των πέντε ετών. Κατά συνέπεια, μπορεί να ειπωθεί ότι οι ρυθμοί των ατυχημάτων κατά τη λειτουργία ανεμογεννητριών είναι πρακτικά ασήμαντοι.

Πρόσθετες Αναφορές

- [1]. Boyle Godfrey (1996): *Renewable Energy-Power for a Sustainable Future* Oxford University Press, New York.
- [2]. Enercon GmbH (1999) *Dialogue*. Ενημερωτικά φυλλάδια της εταιρείας.
- [3]. European Wind Energy Association – EWEA (1999): *Wind energy: The facts*.

- [4]. European Wind Energy Association – EWEA (2005): *Wind energy*. Ενημερωτικά φυλλάδια.
- [5]. Kaldelis J.K. (2002): "An integrated time-depending feasibility analysis model of wind energy applications in Greece", *Energy Policy* 30 (2002) 267-280
- [6]. Mukund R. Patel (1999): *Wind and Solar Power Systems* CRC Press, Florida
- [7]. Patel, Mukund (1999): *Wind and solar power systems*.
- [8]. Sørensen Bent (2000): *Renewable Energy* (2nd Edition). London: Academic Press
- [9]. WaSP: Wind Energy Department at Risø National Laboratory, DENMARK
<http://www.wasp.dk>
- [10]. Walker, John (1997): *Wind energy technology*
- [11]. Wall, Goran (1997): *Exergy – A useful concept*. University of Goëtborg.
- [12]. Αλεξιάκης, Αλέξανδρος (1993): *Αιολική ενέργεια*.
- [13]. Βουτσινάς Σπ. και Κάραλης Γ (2001): *Αιολική Ενέργεια* Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Δ.Π.Μ.Σ. – Ε.Μ.Π. «Παραγωγή & Διαχείριση Ενέργειας».
- [14]. Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (2004): *Τεχνικό τεύχος έτους 2003*. Διεύθυνση Διανομής Κρήτης.
- [15]. Ζερβός Αρθούρος (1998): *Πρακτικά 1^ο Εθνικού Συνεδρίου για τις Α.Π.Ε.* Εκδόσεις Ε.Μ.Π. Αθήνα
- [16]. Ζερβός Αρθούρος (2001): *Πρακτικά 2^ο Εθνικού Συνεδρίου για τις Α.Π.Ε.* Εκδόσεις Ε.Μ.Π. Αθήνα.
- [17]. Καλδέλλης, Ιωάννης (1999): *Διαχείριση της αιολικής ενέργειας*. Εκδόσεις Συμεών.
- [18]. Μπεργελές Γεώργιος (1995): *Ανεμοκινητήρες* Εκδόσεις Συμεών Αθήνα.
- [19]. Νικολάου Τριανταφυλλιά (2003): *Χρήση αντλησιοταμίευσης σε αιολικό πάρκο στην Κρήτη*. Διπλωματική εργασία για το Δ.Π.Μ.Σ. «Παραγωγή&Διαχείριση Ενέργειας».
- [20]. Stelios Pashardes, Constantinos Christofides: *Statistical Analysis of Wind Speed and Direction in Cyprus*. *Solar Energy*, Vol. 55 (1995) 405-414
- [21]. Παπαδάκης Εμμανουήλ (2001): *Διείσδυση Ανεμογεννήτριας στο Ηλεκτρικό Δίκτυο*, Πτυχιακή Εργασία, Τ.Ε.Ι. Ηλεκτρολογίας Ηρακλείου, Σητεία.
- [22]. Παπαθανασίου Σταύρος (2004): *Ενεργειακή απόδοση Αιολικών Πάρκων & Προοπτικές στον Ελληνικό χώρο*. Πανεπιστημιακές σημειώσεις του Δ.Π.Μ.Σ. «Παραγωγή&Διαχείριση Ενέργειας».
- [23]. Περιφέρεια Κρήτης (2000): *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στην Κρήτη*. Κοινοτικό Πρόγραμμα Altener II.
- [24]. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας: *Ενημερωτικό Δελτίο*
- [25]. Χατζηαργυρίου Νίκος (2004): *Εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης Αιολικών Πάρκων*. Πανεπιστημιακές σημειώσεις του Δ.Π.Μ.Σ. «Παραγωγή&Διαχείριση Ενέργειας».

Στυλιανού Πασιαρδή: Στατιστική Ανάλυση της Ταχύτητας του Ανέμου στην Κύπρο. Υπουργείο Γεωργίας και Φυσικών Πόρων, Τμήμα Μετεωρολογίας, Λευκωσία 1995

Ηλεκτρονικές Αναφορές

www.bonus.dk: Ιστοσελίδα κατασκευαστή Α/Γ.

www.cres.gr: Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.

www.enercon.de: Ιστοσελίδα κατασκευαστή Α/Γ.

www.ewea.org: Ευρωπαϊκή Ένωση Αιολικής Ενέργειας.

www.hellasres.gr: Ελληνικός Σύνδεσμος Ηλεκτροπαραγωγών Α.Π.Ε.

www.neg-micon.com: Ιστοσελίδα κατασκευαστή Α/Γ.

www.patris.gr: Ιστοσελίδα εφημερίδας του Ηρακλείου.

www.rae.gr: Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας.

www.teiher.gr: Τ.Ε.Ι. Ηρακλείου – Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας.

www.energie-server.de: Γερμανική ιστοσελίδα για τις Α.Π.Ε.

<http://www.cres.gr/kape/index.htm>

<http://europa.eu.int/comm/energy/res/>

<http://retscreen.net>

http://www.kpe-kastor.kas.sch.gr/energy/human_activities/contents.htm

5 ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Υδροίσχυς, ονομάζεται η ισχύς που παράγεται κατά την πτώση νερού ορισμένης παροχής από ένα ύψος. Το φαινόμενο αυτό λέγεται υδατόπτωση και η ισχύς της δίνεται από τη σχέση:

$$N = n \cdot Q \cdot \rho \cdot g \cdot h \quad (\text{kW}) \quad (\Sigma 4.1)$$

Όπου:

- n: ο βαθμός απόδοσης μηχανικής εκμετάλλευσης της υδατόπτωσης
- Q: η παροχή του νερού σε m^3/s
- ρ : η πυκνότητα του νερού σε kg/m^3
- g: η επιτάχυνση της βαρύτητας ($9,81 \text{ m}/\text{s}^2$)
- h: το ύψος πτώσης σε m

Μικρές υδατοπτώσεις λέγονται εκείνες που έχουν υδροίσχυ μέχρι 10 MW και εμφανίζονται όταν το ύψος της υδατόπτωσης είναι μικρό και η παροχή μεγάλη, π.χ. ρεύματα ποταμών ή όταν υπάρχει μεγάλο ύψος πτώσης με μικρή παροχή ή όταν τόσο το ύψος όσο και η παροχή είναι σχετικά μικρά.

5.1 Οι υδροηλεκτρικές μονάδες

Οι υδροηλεκτρικές μονάδες ως μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζουν γενικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα σε σχέση με άλλου είδους ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες.

Πλεονεκτήματα

- 1) Μεγάλη αξιοπιστία λειτουργίας. Οι εγκαταστάσεις είναι απλές, ρωμαλέες, εύκολες και φθηνές στη συντήρηση.
- 2) Ευκολία και απλότητα στη λειτουργία. Μπορούν να ξεκινήσουν και να συγχρονιστούν σε λίγα λεπτά. Μπορούν εύκολα να αυξήσουν και να μειώσουν το φορτίο και έτσι μπορούν να ανταποκριθούν πολύ γρήγορα και χωρίς δυσκολία σε απότομη ανάληψη φορτίου του διασυνδεδεμένου δικτύου.
- 3) Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και η απόδοση δεν μεταβάλλεται με την ηλικία τους, όταν υπάρχει βέβαια κάποια λογική συντήρηση.
- 4) Δεν απαιτούν πολύ ειδικευμένο τεχνικό προσωπικό για τη λειτουργία και συντήρηση.
- 5) Το κόστος παραγωγής είναι πολύ μικρό και μεταβάλλεται ελάχιστα με την πάροδο του χρόνου.
- 6) Δεν χρησιμοποιούν καύσιμα και έτσι είναι απαλλαγμένες από τους περιορισμούς και τα μειονεκτήματα που δημιουργεί η χρήση συμβατικών καυσίμων π.χ. ρύπανση, αστάθμητες συνθήκες διεθνούς αγοράς.
- 7) Είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και δεν υπόκειται στον κίνδυνο εξάντλησης.
- 8) Είναι δυνατόν να εξυπηρετούνται και άλλοι σκοποί πλην του ενεργειακού, π.χ. άρδευση, αντιπλημμυρική προστασία, δημιουργία τόπων αναψυχής, άθλησης κλπ.

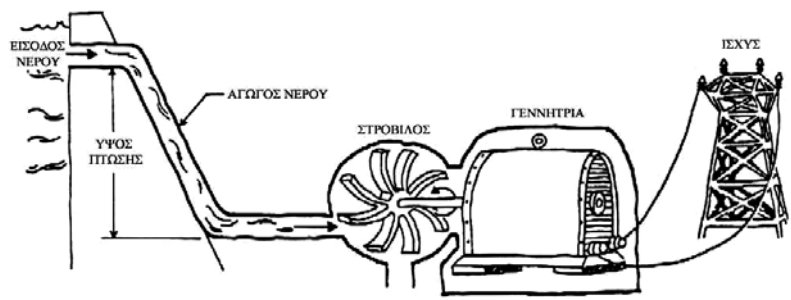
Μειονεκτήματα

- 1) Διακύμανση της υδραυλικότητας μεταξύ υγρής και ξηρής περιόδου και κατ' επέκταση διακύμανση και της παραγόμενης ισχύος εποχιακά.

- 2) Περιορισμένη ειδική ενεργειακή πυκνότητα του νερού (kW/kg) πράγμα που επιβάλλει μεγάλες εγκαταστάσεις επεξεργασίας και αποθήκευσης νερού (π.χ. φράγματα, υδαταγωγοί κλπ.) και απαιτεί μεγάλο αρχικό κεφάλαιο επένδυσης.
- 3) Πολλαπλά τεχνικά προβλήματα κατασκευής, αρμοδιότητας Πολιτικού Μηχανικού και Μηχανολόγου Μηχανικού από την προμελέτη έως την κατασκευή.
- 4) Το κυριότερο είναι η σπανιότητα των υδατοπτώσεων.

Τα βασικά μέρη μιας υδροηλεκτρικής μονάδας (σχ. 4.1 [1]) είναι:

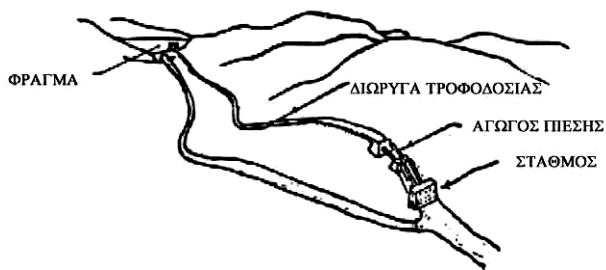
- Το φράγμα ή υδατοφράκτης, ο οποίος αυξάνει το ύψος πτώσης και δημιουργεί τον ταμειυτήρα νερού.
- Το σύστημα προσαγωγής του νερού που περιλαμβάνει τη σήραγγα ή τη σωλήνωση ή και τα δύο.
- Το εργοστάσιο με τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό π.χ. στρόβιλοι, εναλλακτήρες, κτίρια, βοηθητικός εξοπλισμός.
- Η διώρυγα φυγής του νερού από το εργοστάσιο στον ποταμό.
- Οι γραμμές μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 4.1: Σχηματική παράσταση ενός υδροηλεκτρικού σταθμού.

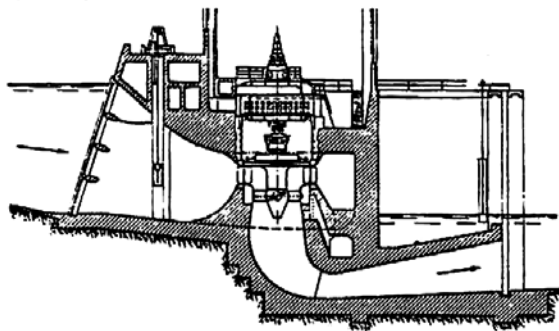
5.2 Κατάταξη των υδροηλεκτρικών σταθμών

- i. Ανάλογα με τον τύπο του φράγματος
- Σταθμοί φράγματος (σχ. 4.2 [1]), που περιλαμβάνουν το ανάντη φράγμα, τη διώρυγα τροφοδοσίας και τον αγωγό πίεσης.



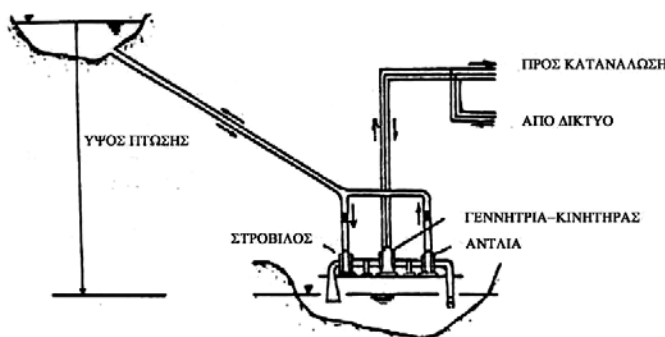
Σχήμα 4.2: Σταθμός φράγματος.

- Σταθμοί ποτάμιας στάθμης (σχ. 4.3 [1]), που χαρακτηρίζονται από μικρά ύψη και μεγάλες παροχές, ενώ το φράγμα που απαιτείται δεν είναι σημαντικό.



Σχήμα 4.3: Σταθμός ποτάμιας στάθμης.

- Σταθμοί αντλιών (σχ. 4.4 [1]), που λειτουργούν ως εξής: Στην περίοδο που η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας είναι μικρή, η γεννήτρια λειτουργεί σαν κινητήρας και οι αντλίες ανεβάζουν το νερό στην ανάντη λίμνη. Στις εγκαταστάσεις αυτές είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν αντιστρεπτές μηχανές που λειτουργούν σαν αντλίες ή στρόβιλοι ανάλογα με τη ρύθμιση των πτερυγίων τους.



Σχήμα 4.4: Σταθμός αντλιών.

ii. Ανάλογα με το δυναμικό

- Μικροσταθμοί με ισχύ μέχρι 100 kW
- Μικρού δυναμικού, με ισχύ 100 – 1.000 kW
- Μέσου δυναμικού με ισχύ 1.000 – 10.000 kW
- Μεγάλου δυναμικού με ισχύ > 10.000 kW

iii. Ανάλογα με το ύψος πτώσης

- Μικρής πτώσης, $H < 15$ m
- Μέσης πτώσης, $15 \text{ m} < H < 50$ m
- Μεγάλης πτώσης, $H > 50$ m

Ο βαθμός απόδοσης του εργοστασίου παραγωγής είναι 90 % (με 95 % β.α. των υδροστρόβιλων και 95 % των ηλεκτρογεννητριών). Ο συνολικός βαθμός απόδοσης όλης της

εγκατάστασης, λαμβάνοντας υπόψη και τις απώλειες στον αγωγό τροφοδοσίας, είναι 75 – 85 %.

Τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια μπορούν να δουλεύουν 365 μέρες το χρόνο επί 24 ώρες τη μέρα, στην πράξη όμως δουλεύουν λίγο περισσότερο από το μισό χρόνο, λόγω της διακύμανσης της ηλεκτρικής ζήτησης και των περιοδικών συντηρήσεων.

Οι απαιτούμενες επενδύσεις κεφαλαίων για την κατασκευή ενός νέου υδροηλεκτρικού έργου ποικίλουν ανάλογα με το μέγεθος και την τοποθεσία του έργου καθώς και το κόστος μετακίνησης κτιρίων ή άλλων αντικειμένων στο πεδίο του έργου. Ειδικότερα, η διαμόρφωση του εδάφους στη θέση του υδροηλεκτρικού έργου αποτελεί προσωπικό χαρακτηριστικό του έργου, που εμποδίζει να βρεθεί μια συνάρτηση π.χ. μεταξύ της ισχύος του υδροηλεκτρικού σταθμού και του κόστους του φράγματος ή του ταμιευτήρα γενικότερα, που μπορεί να είναι από αμελητέο έως 70 % του συνολικού κόστους του υδροηλεκτρικού σταθμού. Το πρόβλημα μπορεί να μοντελοποιηθεί από τη θέση εισόδου στο στρόβιλο και κάτω.

5.3 Το Υδροδυναμικό της Ελλάδας

Οι παράγοντες που επηρεάζουν το υδροδυναμικό μιας χώρας, είναι η υδραυλικότητα (εκφράζει τη συχνότητα των βροχοπτώσεων και χιονοπτώσεων σε ένα χρόνο) και η εδαφική διαμόρφωσή της (είναι ο παράγοντας που αξιοποιεί την υδραυλικότητα).

Η υδραυλικότητα της Ελλάδας δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελεί αξιόλογο παράγοντα σε σύγκριση με άλλες χώρες (Αγγλία, Γαλλία, Γερμανία), αντίθετα ο παράγοντας της μορφολογίας είναι πολύ ευνοϊκός.

Οι υδατοπτώσεις στην Ελλάδα έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- Σχετικά μεγάλα ή μεσαία ύψη πτώσεων.
- Σχετικά μικρή συνεχή παροχή νερού.
- Μεγάλοι φυσικοί ταμιευτήρες ή ευκολία δημιουργίας μεγάλων ταμιευτήρων.
- Μεγάλη ετοιμότητα για εκμετάλλευση του υδροδυναμικού χωρίς σοβαρές απαιτήσεις για έργα Πολιτικού Μηχανικού.

Η ύπαρξη μεγάλων φυσικών ταμιευτήρων προσδίδει στο υδροδυναμικό της Ελλάδας μεγάλη φυσική ρυθμιστική ικανότητα και το κάνει κατάλληλο για την αντιμετώπιση του φορτίου αιχμής. Σε ποσά, το υδροδυναμικό της Ελλάδας έχει ως εξής [1]:

- i. Συνολικό ετήσιο θεωρητικό επιφανειακό υδροδυναμικό περίπου 84,5 TWh / yr.
- ii. Ειδικό ετήσιο θεωρητικό επιφανειακό υδροδυναμικό 0,75 GWh / km².
- iii. Τεχνικά και οικονομικά εκμεταλλεύσιμο υδροδυναμικό 21 TWh / yr.
- iv. Υδροδυναμικό στα στάδια μελέτης εκμετάλλευσης από Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού 2,2 TWh / yr.
- v. Συνολική εγκατεστημένη ισχύς υδροηλεκτρικών σταθμών (ΥΗΣ) το 1992, περίπου 5,5 TWh / yr.

Το υδροδυναμικό της χώρας μας συγκρινόμενο με το υδροδυναμικό των χωρών της Ευρώπης έχει το μικρότερο βαθμό εκμετάλλευσης μετά την Ουγγαρία και Ισλανδία (αν και η χώρα μας είναι έκτη από πλευράς πυκνότητας υδροδυναμικού). Επίσης η Ελλάδα έχει έναν από τους μικρότερους ετήσιους συντελεστές εκμετάλλευσης της υδροηλεκτρικής παραγωγής σε όλο τον κόσμο (0,162) και το μικρότερο ποσοστό αξιοποίησης εκμεταλλεύσιμου υδροδυναμικού σε όλη την Ευρώπη. Το συμπέρασμα από όλα αυτά είναι ότι το μέτρο εκμετάλλευσης του

υδροδυναμικού στην Ελλάδα είναι μέχρι τώρα απαράδεκτο σε διεθνές επίπεδο και ότι πρέπει να αυξηθεί ο ρυθμός ανάπτυξης των υδροηλεκτρικών έργων.

Επιπλέον και λόγω της βαθμιαίας εξάντλησης των αποθεμάτων των υγρών και στερεών καυσίμων, πρέπει να πραγματοποιηθεί ένας προγραμματισμός της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού, βάσει του οποίου θα προβλέπεται μεγαλύτερη συμμετοχή της υδροηλεκτρικής ενέργειας στη συνολική παραγωγή, για τα αμέσως προσεχή χρόνια. Αν ληφθεί υπόψη ότι αφότου αποφασισθεί ένα υδροηλεκτρικό έργο, μέχρις ότου κατασκευαστεί απαιτείται ένα χρονικό διάστημα περίπου πέντε ετών, φαίνεται ότι πρέπει να αρχίσει να υλοποιείται ο προγραμματισμός σύντομα και σε μεγάλη κλίμακα.

5.4 Η Ενέργεια της Θάλασσας

Η θάλασσα, η οποία αποτελεί ανεξάντλητη αλλά ταυτόχρονα ανεκμετάλλευτη πηγή ενέργειας, παρέχει τρεις τομείς ενεργειακής εκμετάλλευσης:

- Τη θερμική ενέργεια των ωκεανών
- Την ενέργεια των κυμάτων
- Την ενέργεια των παλιρροιών

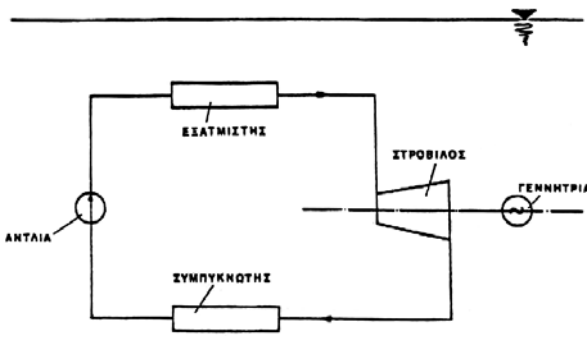
5.4.1 Η Θερμική ενέργεια των ωκεανών

Από το 1900 υποστηρίχθηκε η δυνατότητα εκμετάλλευσης της θερμοκρασιακής διαφοράς του νερού μεταξύ της επιφάνειας και των βαθύτερων στρωμάτων των ωκεανών. Από το 1940 άρχισαν οι πρώτες προσπάθειες από τη Γαλλική κυβέρνηση στην Ακτή του Ελεφαντόδοντος.

Μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του '90 είχαν κατασκευαστεί 4 εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρισμού από τη θερμική ενέργεια των ωκεανών:

- Στην Κούβα, ισχύος 20 kW
- Στη Χαβάη, ισχύος 50 kW
- Στο Βέλγιο, ισχύος 60 kW
- Στο Πόρτο Ρίκο, ισχύος 250 kW

Το σύστημα μετατροπής της θερμικής ενέργειας των ωκεανών σε ηλεκτρισμό (σύστημα *Otec*), είναι μια θερμική μηχανή που αποτελείται από έναν εξαμιστή και ένα συμπυκνωτή (σχ. 4.5 [1]).



Σχήμα 4.5: Εκμετάλλευση θερμικής ενέργειας των ωκεανών (σύστημα *Otec*).

Ο εξατμιστής βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας, χρησιμοποιεί θερμό θαλάσσιο νερό (περίπου 26°C) για να εξατμίσει ένα υγρό (π.χ. προπάνιο, αμμωνία ή φρέον) με σημείο βρασμού πολύ χαμηλότερο του νερού και ο ατμός που παράγεται στον εξατμιστή κινεί το στρόβιλο, που με τη σειρά του θέτει σε λειτουργία μια γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Στη συνέχεια, ο ατμός διοχετεύεται στο συμπυκνωτή, που βρίσκεται βαθύτερα, όπου με τη βοήθεια του ψυχρού θαλάσσιου νερού ($4,4^{\circ}\text{C}$ σε 1.000 m βάθος) ξαναγίνεται υγρό και αντλείται στην επιφάνεια για να επαναληφθεί ο προηγούμενος κύκλος.

Προς το παρόν εκτιμάται ότι η διαφορά θερμοκρασίας των 20°C μεταξύ της επιφάνειας και των 1.000 m δεν είναι ικανοποιητική για την απόδοση ενός συστήματος *Otec*. Μελλοντικές τεχνολογικές εξελίξεις είναι δυνατόν να επιτρέψουν την εφαρμογή της μεθόδου σε μικρότερες διαφορές βάθους και θερμοκρασίας.

Άλλα προβλήματα είναι τα μεγάλα έξοδα εγκατάστασης και λειτουργίας, καθώς και διάφορα τεχνικά προβλήματα, όπως εύρεση κατάλληλων υλικών για την αντιμετώπιση της υψηλής διάβρωσης και ανάγκη για εσωτερικό καθαρισμό των σωληνώσεων λόγω συσσώρευσης λάσπης, κάτι που έχει ως αποτέλεσμα μειωμένη απόδοση της εγκατάστασης.

Οι καλύτερες περιοχές για εκμετάλλευση της θερμικής ενέργειας των κυμάτων είναι οι τροπικές θάλασσες στη ζώνη μεταξύ 20° βόρειου και 20° νότιου πλάτους.

5.4.2 Η ενέργεια των κυμάτων

Η παραγωγή ενέργειας από τα κύματα που δημιουργούνται από την επίδραση του ανέμου στην επιφάνεια της θάλασσας, έχει ως κύριο πρόβλημα την εύρεση κατάλληλου μηχανισμού για να γίνει δυνατή η εκμετάλλευση της ενέργειας αυτής. Οι μηχανισμοί που χρησιμοποιήθηκαν μέχρι σήμερα είχαν μικρή παραγόμενη ισχύ.

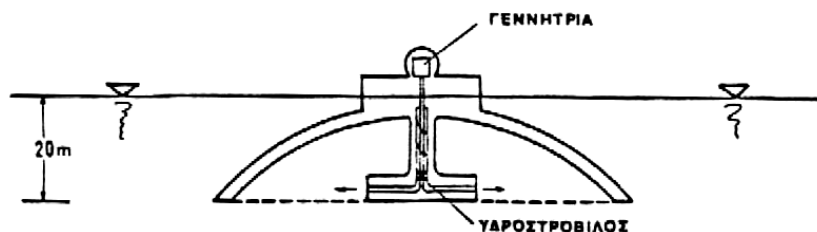
Οι μηχανισμοί που χρησιμοποιήθηκαν ή προτάθηκαν μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες. Στους μηχανισμούς που λειτουργούν κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας και σε αυτούς που λειτουργούν στην επιφάνεια της θάλασσας.

Οι σπουδαιότεροι από τους μηχανισμούς που λειτουργούν κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας, είναι:

Ο μηχανισμός *Dam-Atoll* (σχ. 4.6 [1])

Οι Πολυνήσιοι είχαν παρατηρήσει ότι όταν τα κύματα χτυπούν πάνω σε ένα *atoll* (δακτυλιοειδές κοραλλιογενές νησί με μια μικρή λίμνη στο κέντρο του), η κίνησή τους μεταβάλλεται σε σπειροειδή.

Βασιζόμενοι σε αυτό το φαινόμενο, ερευνητές της Lockheed κατασκεύασαν ένα τεχνητό *atoll*, ένα θολοειδές κέλυφος από μετόν, διαμέτρου 75 m, που βρίσκεται ακριβώς κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας, εκτός από το ανώτατο τμήμα του. Όταν τα κύματα πλησιάζουν στο κέλυφος αποκτούν σπειροειδή κίνηση και θραύονται στην κορυφή του. Το νερό εισέρχεται τότε στο εσωτερικό του θόλου και σχηματίζει μια περιδινούμενη στήλη ύψους 20 m. Στο κάτω μέρος του θόλου υπάρχει ένας υδροστρόβιλος που μπαίνει σε κίνηση και κινεί μια γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Ο μηχανισμός αυτός δέχεται $92\text{ m}^3/\text{s}$ νερό και παράγει ισχύ 1 - 2 MW.



Σχήμα 4.6: Μηχανισμός Dam-Attol για την εκμετάλλευση της ενέργειας των ωκεανών.

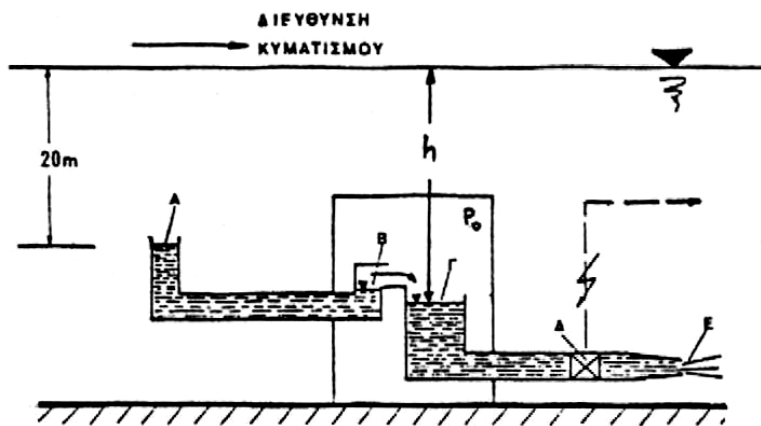
Ο Αγγλικός μηχανισμός (σχ. 4.7 [1])

Η αγγλική εταιρεία Vickers κατασκεύασε ένα πλήρως βυθισμένο μηχανισμό που τοποθετείται 20 m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας για την εκμετάλλευση της ενέργειας των κυμάτων μήκους περίπου 125 m (αυτού του μήκους τα κύματα περιέχουν τα μεγαλύτερα ποσά ενέργειας).

Η λειτουργία του μηχανισμού αυτού βασίζεται στη δημιουργία της μέγιστης ταλάντωσης υδάτινης μάζας που βρίσκεται μέσα σε έναν αγωγό σχήματος U, κάτω από την επίδραση περιοδικά μεταβαλλόμενης πίεσης στο ένα σκέλος του.

Το πέρασμα του κύματος προκαλεί υπερπίεση στη θέση Α και κατά συνέπεια υπερχειλίση του σημείου Β στη δεξαμενή Γ. Στο άκρο της δεξαμενής υπάρχει ένας υδροστρόβιλος Δ που συνδέεται με μια ηλεκτρική γεννήτρια. Στο σημείο Ε απελευθερώνεται δέσμη νερού.

Ο μηχανισμός αυτός μπορεί, μέχρι στιγμής, να αποδώσει ισχύ περίπου 80 kW/m^2 διατομής αγωγού, για εύρος κύματος 4 m. Η τιμή αυτή είναι μικρή για να επιτρέψει την παραγωγή ενέργειας σε βιομηχανική κλίμακα.



Σχήμα 4.7: Αγγλικός μηχανισμός για την εκμετάλλευση της ενέργειας των κυμάτων.

Οι μηχανισμοί που λειτουργούν στην επιφάνεια της θάλασσας παρουσιάζουν ένα σοβαρό μειονέκτημα. Είναι μόνιμα εκτεθειμένοι στις καιρικές συνθήκες, που όταν είναι άσχημες μπορούν να προξενήσουν μεγάλες υλικές καταστροφές.

Κατά καιρούς παρουσιάστηκαν και παρουσιάζονται διάφοροι σχετικοί μηχανισμοί.

5.4.3 Η ενέργεια των παλιρροιών

Η παλίρροια, το φαινόμενο της περιοδικής διακύμανσης της στάθμης της θάλασσας, περιλαμβάνει δύο εναλλασσόμενες φάσεις:

- την πλημμυρίδα (άνοδος της στάθμης)

- την άμπωτη (κάθοδος της στάθμης)

Δημιουργείται από την έλξη της σελήνης και του ηλίου πάνω στη μάζα της θάλασσας. Ο ήλιος ασκεί τρεις φορές μικρότερη έλξη από τη σελήνη, επειδή η απόστασή του από τη γη είναι πάρα πολύ μεγάλη. Οι μεγαλύτερες παλίρροιες παρουσιάζονται όταν η σελήνη και ο ήλιος βρίσκονται στην ίδια ευθεία (κατά προσέγγιση) με τη γη, ενώ οι μικρότερες παλίρροιες εμφανίζονται όταν ο ήλιος και η σελήνη σχηματίζουν γωνία 90° με τη γη.

Πρέπει να σημειωθεί ότι και τα μετεωρολογικά φαινόμενα επιδρούν στις παλίρροιες.

Οι τιμές του εύρους των παλιρροιών σε ανοικτή θάλασσα κυμαίνονται γύρω στο 1 m. Στη Μεσόγειο φτάνουν μόλις τα 60 cm κατά μέσο όρο. Στις ακτές των ωκεανών και ιδιαίτερα στο βάθος των επιμηκών κόλπων φθάνει πολλές φορές και τα 20 m.

Η χρησιμοποίηση της ενέργειας των παλιρροιών είναι εύκολη, από θεωρητική τουλάχιστον σκοπιά. Υπάρχουν δύο τρόποι για την αξιοποίηση αυτής της ενεργειακής πηγής.

Μονή Δεξαμενή

Δημιουργείται μια δεξαμενή, με την κατασκευή ενός φράγματος και τοποθετούνται υδραυλικές μηχανές που λειτουργούν κατά τις δύο διευθύνσεις, χρησιμοποιώντας ως υδατόπτωση τις μεταβολές της στάθμης της παλίρροιας.

Διπλή Δεξαμενή

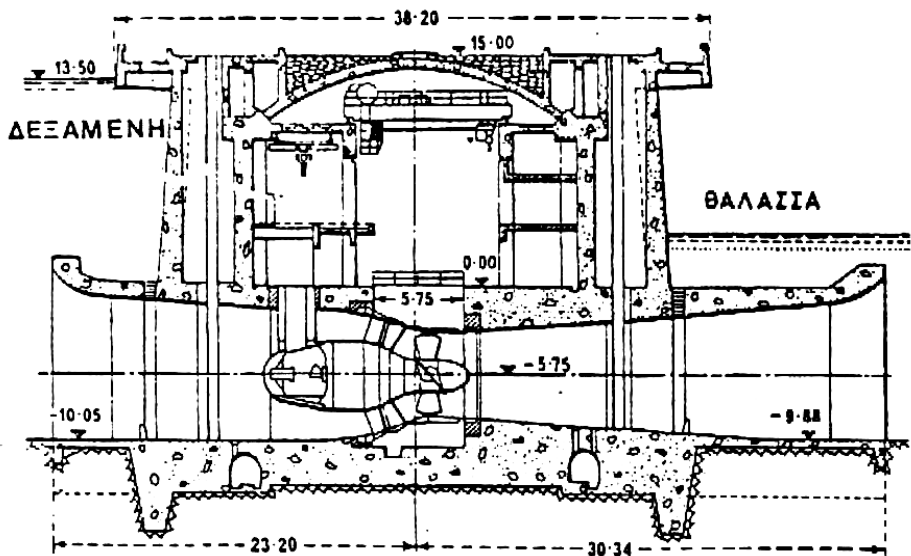
Δημιουργούνται δύο δεξαμενές. Στη μία η στάθμη του νερού διατηρείται υψηλότερη από την άλλη, έτσι ώστε να γίνεται εκμετάλλευση της ροής μεταξύ των δύο δεξαμενών. Η μέθοδος αυτή αποδίδει τη μεγαλύτερη και σταθερότερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η λαμβανόμενη ισχύς από την παλίρροια δεν είναι δυνατό να προσδιοριστεί ακριβώς. Μπορούμε να πούμε ότι εξαρτάται κυρίως από τη θέση του παλιρροιοκινητήρα.

Για να παρουσιάζει ενδιαφέρον η εκμετάλλευση της ενέργειας των παλιρροιών, πρέπει να τηρούνται οι ακόλουθες συνθήκες:

- το εύρος των παλιρροιών να είναι μεγάλο.
- ο όγκος του νερού που χρησιμοποιείται να είναι σημαντικός.
- να χρησιμοποιούνται ειδικά μέταλλα για την κατασκευή των υδραυλικών μηχανών, λόγω διάβρωσης από το θαλασσινό νερό.

Η πρώτη κατασκευή ξεκίνησε το 1960 στη Rance της Γαλλίας με ένα κινητήρα 400 MW (σχ. 4.8 [1]). Το έργο ήταν δαπανηρό. Το 1968 στην πρώην Σοβιετική Ένωση εγκαταστάθηκε ένας δοκιμαστικός σταθμός 1 MW στον κόλπο Κισλάια, που λειτουργεί μέχρι σήμερα υποδειγματικά. Ήδη μελετάται η δημιουργία ενός νέου μεγάλου σταθμού με παραγωγή 32 TWh/yr, στον κόλπο Μεζέν στην Αρκτική θάλασσα και στη συνέχεια ένα πιο μεγάλο έργο, παραγωγής 300 TWh/yr, στη θάλασσα Οκότσκ κοντά στη Χερσόνησο της Καμτσιάκα.



Σχήμα 4.8: Παλιρροιοκινητήρας της Rance.

Στις αρχές της δεκαετίας του '80 ένας δοκιμαστικός σταθμός 20 MW βρισκόταν στο τελευταίο στάδιο της κατασκευής του στην περιοχή Ανάπολις Ρούαλ του Καναδά.

Στην Κίνα από το 1975 στον κόλπο του Παϊσά Κου λειτουργούν δύο μικροί σταθμοί.

Μελέτες για την αξιοποίηση των παλιρροιών γίνονται στην Αγγλία, Αυστραλία, Ινδία και Κορέα. Για την Ελλάδα ενδιαφέρον έχει η περίπτωση του ρεύματος του Ευρίπου.

11 ΒΙΟΜΑΖΑ

Ο όρος βιομάζα δεν είναι ακριβής χημικός όρος και χρησιμοποιείται συνήθως για να υποδηλώσει τις εξής κατηγορίες υλικών:

- i. Υποπροϊόντα και κατάλοιπα φυτικής, ζωικής, δασικής και αλιευτικής παραγωγής, (άχυρα, φύλλα, στελέχη, κοπριά, θάμνοι, καρποί).
- ii. Παραπροϊόντα της βιομηχανικής επεξεργασίας των προϊόντων αυτών (φλούδες, πυρήνες, πίττες, απόβλητα σφαγείων, τυρόγαλα, απόβλητα χαρτοποιίας, απόβλητα βιομηχανίας επεξεργασίας ξύλου).
- iii. Αστικά απόβλητα, στερεά (σκουπίδια) και υγρά (λύματα).
- iv. Προϊόντα φυσικών δασών και ειδικών φυτειών δασικού ή γεωργικού τύπου με στόχο την παραγωγή ενέργειας (ενεργειακές φυτείες).

Πρόκειται δηλαδή για υλικά φυτικής ή ζωικής προέλευσης που αντιμετωπίζονται ως ενεργειακοί πόροι.

Η βιομάζα σχηματίζεται από τη φωτοσυνθετική μετατροπή της ηλιακής ενέργειας και αφθονεί στον πλανήτη μας. Η βιομάζα που παράγεται κάθε χρόνο εκτιμάται σε $1,72 \cdot 10^{11}$ tn ξηρής ύλης με ενεργειακό περιεχόμενο $1,4 \cdot 10^{11}$ TΠΠ. Η ενέργεια αυτή είναι δεκαπλάσια από την ενέργεια που καταναλώνεται σε ολόκληρο τον κόσμο και είναι ίση με τα γνωστά αποθέματα ορυκτών καυσίμων. Το τεράστιο αυτό ενεργειακό δυναμικό παραμένει κατά το μεγαλύτερο μέρος ανεκμετάλλευτο.

Μια άλλη σημαντική ιδιομορφία της βιομάζας είναι ότι οι περισσότερες μορφές της είναι κατάλοιπα – παραπροϊόντα, απόβλητα, της εν γένει δραστηριότητας του ανθρώπου και η αντιμετώπισή τους σαν ενεργειακός πόρος εντάσσεται σε ένα ευρύτερο και από πολλές πλευρές σημαντικότερο πεδίο, αυτό της προστασίας του περιβάλλοντος.

Η βιομάζα είναι δευτερογενής ηλιακή ενέργεια. Η ηλιακή ενέργεια μετασχηματίζεται από τα φυτά μέσω φωτοσύνθεσης. Οι βασικές πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται είναι το νερό και ο άνθρακας που είναι άφθονα στη φύση.

Βασικό πλεονέκτημα της βιομάζας είναι ότι είναι ανεξάντλητη πηγή ενέργειας και ότι παρέχει αποθηκευμένη χημική ενέργεια. Η αξιοποίησή της μπορεί να γίνει με μετατροπή της σε μια μεγάλη ποικιλία προϊόντων, με διάφορες μεθόδους και τη χρήση σχετικά απλής τεχνολογίας. Επίσης στο ενεργητικό της καταλογίζεται και ότι κατά την παραγωγή και την μετατροπή της δεν δημιουργούνται οικολογικά και περιβαλλοντικά προβλήματα.

Από την άλλη, ως μορφή ενέργειας, η βιομάζα χαρακτηρίζεται από πολυμορφία, χαμηλό ενεργειακό περιεχόμενο (σε σύγκριση με πετρέλαιο, κάρβουνο) λόγω χαμηλής πυκνότητας και υψηλής περιεκτικότητας σε νερό, εποχικότητα, μεγάλη διασπορά, κλπ., ιδιότητες που συνεπάγονται δυσκολίες στη συλλογή, μεταφορά και αποθήκευσή της. Σαν συνέπεια το κόστος μετατροπής της σε μορφές ενέργειας κατάλληλες για πιο εύκολη και ευρεία χρησιμοποίηση παραμένει αρκετά υψηλό.

11.1 Αξιοποίηση

Η βιομάζα για να αξιοποιηθεί ως πηγή ενέργειας πρέπει συνήθως να μετατραπεί σε μορφή κατάλληλη για τελική χρήση. Οι μέθοδοι μετατροπής διακρίνονται σε θερμοχημικές (ξηρές) και βιοχημικές (υγρές). Η επιλογή της μεθόδου μετατροπής προσδιορίζεται από τα βασικά στοιχεία, που είναι η σχέση άνθρακα/αζώτου (C/N) και η περιεχόμενη υγρασία των υπολειμμάτων την ώρα της συλλογής.

Οι θερμοχημικές διεργασίες χρησιμοποιούνται για τα είδη της βιομάζας με σχέση C/N > 30 και υγρασία < 50 %, δηλαδή για τα προϊόντα και τα υπολείμματα της κντταρίνης. Στις διεργασίες αυτές περιλαμβάνονται:

- α) η πυρόλυση (θέρμανση απουσία οξυγόνου)
- β) η απευθείας καύση
- γ) η αεριοποίηση (θέρμανση παρουσία περιορισμένων ποσοτήτων οξυγόνου ή αέρα με σκοπό τη μέγιστη απελευθέρωση CO και H₂O)
- δ) η υδρογονοδιάσπαση (αντίδραση H₂ με τη βιομάζα προς παραγωγή μεθανίου και αιθανίου)

Οι βιοχημικές διεργασίες ονομάζονται έτσι επειδή είναι αποτέλεσμα μικροβιακής δράσης. Χρησιμοποιούνται για τα είδη της βιομάζας με σχέση C/N < 30 και υγρασία > 50 %, δηλαδή για προϊόντα και υπολείμματα κυρίως λαχανικών, κτηνοτροφικά απόβλητα, κλπ. Στις βιοχημικές διεργασίες περιλαμβάνονται:

- α) Η αερόβια ζύμωση (βιοχημική διεργασία, κατά την οποία αερόβιοι μικροοργανισμοί παρουσία αέρα, μετασχηματίζουν το οργανικό φορτίο των αποβλήτων κυρίως σε νέους μικροοργανισμούς).
- β) Η αναερόβια ζύμωση (βιοχημική διεργασία, κατά την οποία αναερόβιοι μικροοργανισμοί σε περιβάλλον ελλειμματικό σε οξυγόνο μετασχηματίζουν το οργανικό φορτίο των αποβλήτων σε αέρια προϊόντα, κυρίως μεθάνιο, και διοξείδιο του άνθρακα).
- γ) Η αλκοολική ζύμωση (διάσπαση της γλυκόζης παρουσία ζαχαρομυκήτων και σχηματισμός αιθυλικής αλκοόλης).

Η πολυμορφία της βιομάζας επιβάλλει να γίνει κάποιου είδους ταξινόμηση των διαφόρων μορφών της που να βοηθά στην καλύτερη εξέτασή της. Με βάση την πηγή προέλευσης οι βασικότερες κατηγορίες βιομάζας είναι οι παρακάτω:

- α) κτηνοτροφικά απόβλητα
- β) γεωργικά παραπροϊόντα
- γ) δασική βιομάζα
- δ) αστικά απορρίμματα

11.2 Κτηνοτροφικά Απόβλητα

Ως κτηνοτροφικά απόβλητα θεωρούνται τα λύματα των ζώων (κόπρος και ούρα), το τυρόγαλο και τα κατάλοιπα σφαγείων.

Η οργανική ύλη των ζωικών λυμάτων περιέχει ενέργεια δεσμευμένη στα μόριά της, που κατά το μεγαλύτερο μέρος μπορεί να χρησιμοποιηθεί από διάφορους μικροοργανισμούς για τις ανάγκες του μεταβολισμού τους. Αν οι συνθήκες δράσης είναι αναερόβιες, παράγεται βιοαέριο, αέριο μίγμα πλούσιο σε μεθάνιο και συνεπώς με υψηλό ενεργειακό ενδιαφέρον. Ελεγχόμενες αναερόβιες συνθήκες επιτυγχάνονται σε κατάλληλους αντιδραστήρες.

Το βιοαέριο είναι μίγμα αερίων με σύσταση: CH₄ 60 - 70 %, CO₂ 30 - 40 %, H₂ 1 - 3 %, O₂ 0,5 - 1 % και ίχνη άλλων αερίων 1 - 5 %. Είναι άχρωμο αέριο με χαρακτηριστική οσμή στάβλου, λόγω των διάφορων προσμίξεων.

Ως τυπική του σύσταση θεωρείται η: CH₄ 65 % και CO₂ 35 %.

Η θερμογόνο δύναμή του κυμαίνεται από 4.500 έως 7.000 kcal/m³ για την τυπική του σύσταση. Το βιοαέριο χρησιμοποιείται είτε αυτούσιο είτε μετά από διαχωρισμό του υδρόθειου και των υδρατμών που περιέχει, για να αποφευχθούν περιπτώσεις διάβρωσης.

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή θερμότητας (θέρμανση χώρων, μαγείρεμα κ.α.) σε καυστήρες αερίου, για φωτισμό με λάμπες αερίου, για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με ηλεκτρογεννήτρια (η/γ) ή για συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας με η/γ και εκμετάλλευση της θερμότητας των καυσαερίων και του νερού ψύξης της μηχανής εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ).

Η παραγωγή βιοαερίου από τα κτηνοτροφικά απόβλητα συμβάλλει στη μείωση της ρύπανσης, παρέχει ένα φθινό και εύχρηστο καύσιμο και χρησιμοποιεί απλή τεχνολογία. Από την άλλη όμως, είναι κατάλληλο μόνο για τοπική χρήση και έχει μικρή ελαστικότητα στην κάλυψη της ζήτησης.

11.3 Δασική Βιομάζα

Η δασική βιομάζα (καυσόξυλα, ξυλοκάρβουνα) μέχρι τα μέσα του προηγούμενου αιώνα αποτελούσε την κύρια πηγή ενέργειας της ανθρωπότητας. Σήμερα εξακολουθεί να αποτελεί βασική πηγή ενέργειας σε μια πληθώρα χωρών.

Η αξία του ξύλου ως πηγή ενέργειας βρίσκεται στη χημική του σύσταση. Αποτελείται από άνθρακα (49 - 50 %), υδρογόνο (6 %) και οξυγόνο (44 - 45 %), καθώς και μικρές ποσότητες άλλων στοιχείων. Τα καύσιμα στοιχεία της βιομάζας είναι ο άνθρακας και το υδρογόνο.

Η θερμαντική αξία των διαφόρων ειδών δασικής βιομάζας κυμαίνεται από 3.960 έως 4.290 kcal/kg και σχετίζεται πολύ στενά με το ποσοστό του άνθρακα στη βιομάζα, ενώ συσχετίζεται αρνητικά με το ποσοστό υγρασίας της βιομάζας. Ξύλα πλατύφυλλων έχουν μικρότερη θερμαντική αξία από ξύλα κωνοφόρων (μέσες τιμές 4.350 και 4.700 kcal/kg αντίστοιχα). Οι παραπάνω τιμές αναφέρονται σε απόλυτα ξηρό ξύλο. Για ξηρό ξύλο στον αέρα, οι τιμές αυτές είναι μικρότερες κατά 15 % περίπου.

Σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα, το ξύλο έχει πολλά πλεονεκτήματα. Είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, με την προϋπόθεση επιστημονικής διαχείρισης των δασών. Παράγεται σε όλες σχεδόν τις χώρες του κόσμου και έτσι η διαθεσιμότητά του δεν εξαρτάται από διεθνείς πολιτικές, στρατιωτικές και οικονομικές συνθήκες. Η παραγωγή του δεν προκαλεί μόλυνση του περιβάλλοντος, τα δε προϊόντα της καύσης του είναι κυρίως το νερό και το διοξείδιο του άνθρακα. Βέβαια η καύση του ξύλου αποδίδει συχνά στον αέρα μεγάλες ποσότητες στάχτης και αιθάλης. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί με τη χρήση κατάλληλων συλλεκτών και συσκευών καθαρισμού των καυστήρων.

Το ξύλο ως προϊόν της φωτοσύνθεσης αποτελεί το πιο αποδοτικό σύστημα συνεχούς δέσμευσης και αποθήκευσης ηλιακής ενέργειας. Το δάσος αποτελεί τον απλούστερο τρόπο αποθήκευσης ενέργειας, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί όποτε χρειαστεί σε στερεά, αέρια και υγρή μορφή ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δομικό υλικό, χαρτί ή άλλα προϊόντα.

Το ξύλο όμως, εξεταζόμενο ως πηγή ενέργειας, έχει και βασικά μειονεκτήματα. Σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα έχει χαμηλή θερμογόνο δύναμη ανά μονάδα βάρους και ακόμα μικρότερη ανά μονάδα όγκου. Επίσης η περιεχόμενη υγρασία μειώνει ακόμη περισσότερο τη θερμογόνο του δύναμη. Λόγω της διασποράς του σε μεγάλες εκτάσεις και της μικρής πυκνότητάς του, η συλλογή και η μεταφορά του σε μεγάλες αποστάσεις είναι αντιοικονομική. Τα προηγούμενα προβλήματα ελαχιστοποιούνται με την επί τόπου μετατροπή του σε καύσιμα μεγαλύτερης θερμογόνου δύναμης (ξυλοκάρβουνο, τυρολυτικό λάδι, μεθανόλη, αιθανόλη) ή τη συμπίκνωσή του σε μπρικότες υψηλής πυκνότητας.

Το ξύλο ως πηγή ενέργειας χρησιμοποιείται είτε άμεσα με καύση για παραγωγή θερμότητας, μηχανικής ή ηλεκτρικής ενέργειας, είτε έμμεσα με την παραγωγή άλλων καυσίμων προϊόντων, κύρια ξυλάνθρακα. Αν και την τελευταία δεκαετία έχει ενταθεί η έρευνα για την ανάπτυξη μεθόδων μετατροπής της δασικής βιομάζας σε στερεά, υγρά ή αέρια καύσιμα με βελτιωμένες ιδιότητες, η απευθείας καύση εξακολουθεί να είναι η πιο αξιολογη δυνατότητα ενεργειακής αξιοποίησής της, ιδίως σε μεγάλη κλίμακα. Το ξύλο καίγεται στα παραδοσιακά

τζάκια με βαθμό απόδοσης (β.α.) 5 - 20 %, σε θερμάστρες με β.α. 10 - 70 % και σε σύγχρονες εγκαταστάσεις οικιακής θέρμανσης ή βιομηχανικών εφαρμογών με β.α. έως 80 %.

Τη δασική βιομάζα μπορούμε να την εκμεταλλευτούμε είτε από τα ήδη υπάρχοντα δάση είτε από (ανα)δασώσεις διαθέσιμων εκτάσεων. Η εκμετάλλευση των υπαρχόντων δασών πλεονεκτεί στο ότι δεν απαιτεί παραγωγή δενδρυλλίων, φύτευση και τις άλλες απαραίτητες εργασίες καλλιέργειας που απαιτούν τα δάση που προέρχονται από (ανα)δάσωση. Πάντως η ανομοιομορφία των χαρακτηριστικών τους και κυρίως η έλλειψη επαρκών στοιχείων και εμπειρίας, καθιστούν αδύνατη την εκτίμηση του εκμεταλλεύσιμου δυναμικού για τα περισσότερα από τα είδη αυτά.

11.4 Γεωργικά Παραπροϊόντα

Ως γεωργικά παραπροϊόντα μπορούν να χαρακτηριστούν όλες οι ποσότητες γεωργικών προϊόντων που δεν αξιοποιούνται εμπορικά. Διακρίνονται οι παρακάτω βασικές κατηγορίες:

- α) παραπροϊόντα συγκομιδής (άχυρα, κοτσάνια, κορυφές)
- β) παραπροϊόντα γεωργικών βιομηχανιών (φλοιοί, πυρήνες, πολτοί)

Τα γεωργικά παραπροϊόντα μέχρι σήμερα αξιοποιούνται ελάχιστα, αν και θεωρούνται σημαντικά όσον αφορά την ενεργειακή τους μετατροπή.

Για ενεργειακούς σκοπούς μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τα σιτηρά το άχυρο, από το καλαμπόκι τα κότσαλα και τα στελέχη, τα στελέχη και τα φύλλα του βαμβακιού και του ηλιάνθου, τα άχρηστα φύλλα, τα στελέχη και οι φούντες του καπνού, τα κλαδοδέματα διαφόρων δέντρων, οι κληματίδες και το ελαιοπυρηνόξυλο.

Στη χώρα μας, το άχυρο χρησιμοποιείται σε ποσοστό 70 %, το 25 % μένει αχρησιμοποίητο και το 5 % καίγεται επί τόπου. Η ενεργειακή χρησιμοποίηση του 30 % είναι θέμα εξέτασης, γιατί αφενός η καύση του άχυρου συμβάλλει στη διατήρηση της εδαφικής γονιμότητας και αφετέρου η παραμονή του στο έδαφος βελτιώνει τις μηχανικές του ιδιότητες και επιτρέπει έτσι την εύκολη διέλευση των βαριών γεωργικών οχημάτων.

Τα στελέχη του ηλιάνθου παραχώνονται στο έδαφος με όργωμα, γιατί περιέχουν χρήσιμα για την καλλιέργειά του συστατικά.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η καύση των γεωργικών παραπροϊόντων, ως πιο εύκολη διεργασία και πιο γνωστή. Η πυρόλυση και η αναερόβια χώνευση των γεωργικών παραπροϊόντων είναι σχετικά δύσκολες διεργασίες, με αδυναμία πρόβλεψης των τελικών προϊόντων, δεν έχουν εφαρμοστεί σε ευρεία κλίμακα και χρήζουν περαιτέρω ανάπτυξης.

11.5 Αστικά Απορρίμματα

Εξ ορισμού, «Απόρριμμα είναι ένα προϊόν με οικονομική αξία μηδενική ή αρνητική. Ο χειρισμός του έστω και με μόνο στόχο την μείωση του ρυπαντικού φορτίου για το περιβάλλον στοιχίζει ακριβά». Με τον όρο «αστικά απορρίμματα», που στη συνέχεια θα αναφέρονται απλά σαν απορρίμματα, εννοούνται τα στερεά απορρίμματα των πόλεων, που είναι κυρίως οικιακής προέλευσης, αλλά και τα αντίστοιχα των δρόμων, των πάρκων κλπ. Στην ίδια κατηγορία ανήκουν διάφορα εμπορικά ή βιοτεχνικά απορρίμματα καθώς και άλλα οικονομικών δραστηριοτήτων που λαμβάνουν χώρα σε ένα πολεοδομικό συγκρότημα.

Η συνεχής αύξηση του πληθυσμού σε συνδυασμό με τη συγκέντρωση του στα μεγάλα αστικά κέντρα, είχαν σαν αποτέλεσμα την τεράστια αύξηση των απορριμμάτων της καθημερινής ανθρώπινης δραστηριότητας, που ρίπτονται σε αποδέκτες μικρής σχετικά έκτασης. Έτσι εκτός από την γενικότερη υποβάθμιση του περιβάλλοντος, εμφανίζεται όλο και πιο οξυμένο το πρόβλημα έλλειψης χώρου απόρριψής τους.

Το διογκωμένο πρόβλημα της διάθεσης των απορριμμάτων ώθησε και ωθεί στην εξερεύνηση πιο κατάλληλων τρόπων διάθεσης τους. Ήδη από τα τέλη του προηγούμενου αιώνα άρχισε να εφαρμόζεται η καύση των απορριμμάτων, ενώ από την δεκαετία του '50 σε πολλές χώρες τα απορρίμματα δεν ξεετάζονται μόνο ως άχρηστα περισσεύματα, αλλά και ως πηγή πρώτων υλών και ενέργειας.

Σήμερα οι γενικοί τρόποι διάθεσης των απορριμμάτων είναι η ταφή (απόθεση), η καύση και η λιπασματοποίηση, που σε αρκετές χώρες συμπληρώνονται και με μεθόδους ανάκτησης ορισμένων υλικών, όπως χαρτί, γυαλί ή μέταλλα. Σε πολλές χώρες (Ελβετία, Γερμανία, Σουηδία, κα.) αξιοποιούνται για τηλεθέρμανση ή και διανομή ζεστού νερού.

Παρόλα αυτά για πολλές χώρες, όπου είναι διαθέσιμες οι απαραίτητες εκτάσεις, το σύστημα της ταφής παραμένει από οικονομική άποψη το πιο συμφέρον και στο βαθμό που παίρνονται και οι απαραίτητες προφυλάξεις είναι και περιβαλλοντικά αποδεκτό.

Η απόθεση των απορριμμάτων στην Ελλάδα σήμερα γίνεται συνήθως σε ρεματιές ή, για τις μεγάλες πόλεις, σε χωματερές, με αποτέλεσμα τη δημιουργία εστιών ρύπανσης και γενικότερης υποβάθμισης του περιβάλλοντος.

Τα αστικά απορρίμματα είναι ένα «συννοθύλευμα» ποικίλων ετερογενών υλικών. Η σύνθεσή τους αλλάζει ανάλογα με την εποχή του χρόνου και την ημέρα της εβδομάδας, ανάλογα με το βιοτικό επίπεδο των κατοίκων της περιοχής από όπου προέρχονται ή την εν γένει οικονομική δραστηριότητα που λαμβάνει χώρα στην περιοχή. Μεγάλη επίδραση στη σύνθεση των απορριμμάτων έχει το επίπεδο της γενικότερης τεχνολογικής εξέλιξης της κοινωνίας από όπου προέρχονται.

Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των απορριμμάτων, είναι ότι δεν είναι στο σύνολό τους άχρηστα. Έτσι στη θέση της απόρριψης, που ακολουθεί την παραγωγή και την χρήση των προϊόντων, μπορούμε να έχουμε ανακύκλωση ή γενικότερη αξιοποίηση.

Πρωταρχικό ρόλο στην επιλογή μεθόδου διάθεσης παίζει η σύνθεση των απορριμμάτων. Κατά συνέπεια η μελέτη της σύνθεσης και των φυσικοχημικών ιδιοτήτων των απορριμμάτων αποτελεί τη βάση κάθε σχεδιασμού διαχείρισης και διάθεσής τους.

Ποιοτική - Ποσοτική ανάλυση απορριμμάτων

Με τον όρο ποιοτική ανάλυση απορριμμάτων γίνεται αναφορά στη φυσική και χημική τους σύσταση και στην εποχιακή μεταβολή της σύστασης αυτής.

α) Φυσική σύνθεση των αστικών απορριμμάτων

Εδώ ξεετάζονται οι ομογενείς κατηγορίες υλικών, από τις οποίες αυτά συνίστανται. Τα κυριότερα συστατικά των αστικών απορριμμάτων έχουν ταξινομηθεί στις παρακάτω κατηγορίες:

- χαρτί - χαρτόνι
- μέταλλα
- γυαλί
- πλαστικό
- υφάσματα - ξύλα - δέρμα - λάστιχα
- αδρανή (μπάζα)
- ζυμώσιμα (υπολείμματα τροφών)
- υπόλοιπα

Η φυσική σύνθεση των αστικών απορριμμάτων στη χώρα μας διερευνήθηκε μόλις τα τελευταία χρόνια. Διαθέσιμα στοιχεία υπάρχουν για τις ευρύτερες περιοχές της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης και τους δήμους Ηρακλείου και Ρόδου. Στον πίν 5.1 [1] παρουσιάζεται η φυσική σύσταση των απορριμμάτων για μια τυπική ημέρα του χρόνου, στις περιοχές που αναφέρθηκαν.

Η φυσική σύσταση των αστικών απορριμμάτων δεν είναι σταθερή, αλλά μεταβάλλεται ανάλογα με την εποχή του χρόνου, την προέλευση και διάφορων άλλων παραγόντων. Για πολεοδομικά συγκροτήματα η μεταβολή που μας ενδιαφέρει είναι η εποχιακή, γιατί αυτή καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την καταλληλότητα των μεθόδων διάθεσης των απορριμμάτων. Στον πίν 5.2 [1] δίνεται η εποχιακή μεταβολή της σύστασης των απορριμμάτων για τη Θεσσαλονίκη.

Φαίνεται πως τα ζυμώσιμα είναι περισσότερα την άνοιξη και το καλοκαίρι, ενώ τα καύσιμα υλικά (χαρτί, ξύλα κλπ) είναι περισσότερα το φθινόπωρο και το καλοκαίρι. Η φυσική σύνθεση των απορριμμάτων για διάφορες χώρες παρουσιάζεται στον πίν 5.3 [1].

Σε σύγκριση με το μέσο επίπεδο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, τα απορρίμματα των παραπάνω πόλεων της Ελλάδας (πίν 5.1), έχουν μεγαλύτερο ποσοστό ζυμώσιμων και πλαστικού και μικρότερο ποσοστό χαρτιού, γυαλιού και μετάλλων. Αυτό οφείλεται κύρια στη διαφορετική διατροφή (στην Ελλάδα καταναλώνονται περισσότερες νωπές τροφές φυτικής προέλευσης και για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα) και στα διαφορετικά υλικά συσκευασίας.

Πίνακας 5.1: Μέση ετήσια % κ.β. σύνθεση, βασική χημική σύσταση και Κ.Θ.Δ. των απορριμμάτων των ευρύτερων περιοχών Αθήνας και Θεσσαλονίκης και των δήμων Ηρακλείου και Ρόδου.

	Ε.Π.Αθήνας	Ε.Π.Θεσ/νίκης	Δ.Ηρακλείου	Δ.Ρόδου
Ζυμώσιμα	59,8	51,7	53,8	41,6
Χαρτί	19,5	17,7	17	13,6
Δ-Ξ-Λ-Υ	3,5	9,4	11	4,2
Πλαστικά	7	7,2	10	11,7
Αδρανή	0,7	4	0,7	2,6
Μέταλλα	3,8	5,9	3,1	10,5
Γυαλί	2	4,1	1,5	12,6
Υπόλοιπα	4	-	3,8	3,2
Υγρασία	-	45,5	-	30,2
Τέφρα	33,8	21,6	-	35,3
Καύσιμα	-	32,9	-	34,5
H _u (kcal/kg)	1.765	1.049	-	1.159

Πίνακας 5.2: Εποχιακή μεταβολή της % κ.β. σύστασης των απορριμμάτων της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης.

	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο	Χειμώνας
Ζυμώσιμα	54,7	57,3	49,2	45,9
Χαρτί	17,2	15	20,4	18,1

Δ-Ξ-Λ-Υ	7,7	7,3	10,2	12,5
Πλαστικά	6,9	6,5	6,4	9,5
Αδρανή	3,5	4,3	3,1	4,2
Μέταλλα	6,2	5,7	6	5
Γυαλί	3,8	3,7	4,7	4,8

Πίνακας 5.3: Μέση ετήσια % κ.β. σύνθεση και Κ.Θ.Δ. αστικών απορριμμάτων σε διάφορες χώρες.

	Ε.Ε	Η.Π.Α	Ιαπωνία
Ζυμώσιμα	29,7	15	13,8
Χαρτί	30,3	44	36
Γυαλί	8	8	12,5
Μέταλλα	6,1	9	6,5
Πλαστικά	3,8	4	11
Υφάσματα	3,1	4	4
Ελαστικά	0,9	2	9,6
Διάφορα	18,1	16	6,6
H _u (kcal/kg)	2.350	2.640	2.000

β) *Χημική σύσταση των αστικών απορριμμάτων*

Οι περιεκτικότητες σε υγρασία, τέφρα και άνθρακα είναι τα σημαντικότερα στοιχεία που πρέπει να είναι γνωστά, όταν στόχος είναι η ενεργειακή αξιοποίηση των απορριμμάτων. Η απόλυτη σύσταση σε C, H₂, O₂, N, S, Fe, κλπ είναι απαραίτητη στην εφαρμογή μεθόδων διάθεσης, όπως η λιπασματοποίηση. Στον πίν 1.8 δίνεται η βασική χημική σύσταση των απορριμμάτων για την Αθήνα, τη Θεσσαλονίκη και τη Ρόδο.

Λόγω του μεγάλου ποσοστού ζυμώσιμων το ποσοστό της υγρασίας είναι μεγάλο, γεγονός αρνητικό για την καύση των απορριμμάτων, αλλά θετικό για πιθανή αναερόβια χώνευση τους.

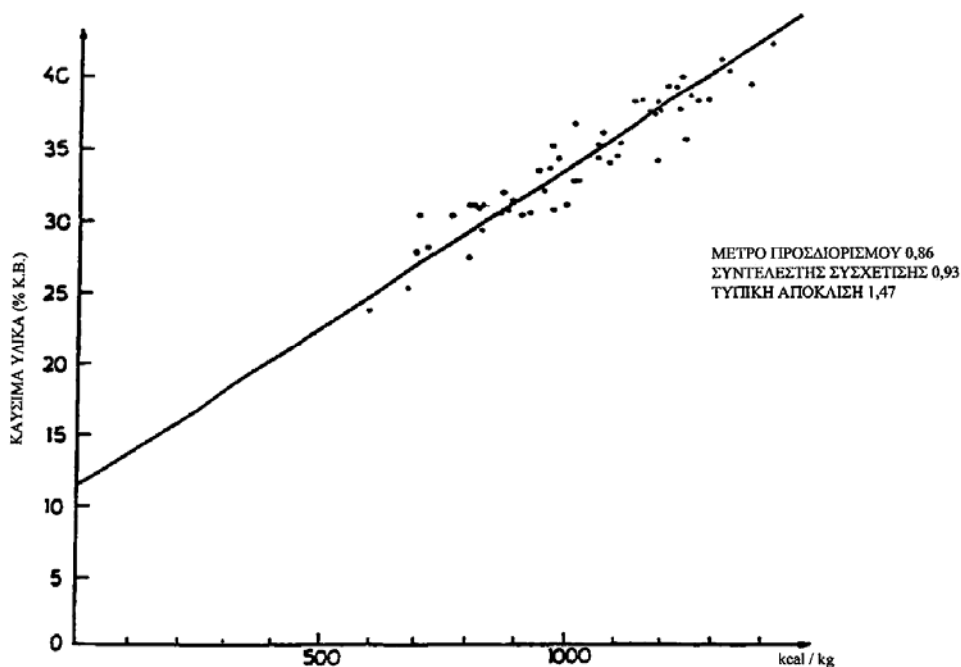
γ) *Θερμογόνος Δύναμη*

Για την ενεργειακή αξιοποίηση των αστικών απορριμμάτων είναι απαραίτητη η θερμογόνος δύναμη αυτών, που είναι συνάρτηση των καυσίμων υλικών που περιέχουν, (χαρτί, ξύλα, πλαστικά, κλπ), της υγρασίας και της τέφρας. Η μέση θερμογόνος δύναμη των απορριμμάτων της Ελλάδας σε πολλές μελέτες αναφέρεται ότι είναι 1.500 kcal/kg, αλλά η διαφοροποίηση της σύστασής τους από περιοχή σε περιοχή καθιστά αναγκαίο τον ξεχωριστό υπολογισμό για κάθε περιοχή. Στοιχεία για την θερμογόνο δύναμη των αστικών απορριμμάτων που να έχουν προκύψει από μετρήσεις και όχι από εκτιμήσεις, είναι διαθέσιμα μόνο για την Αθήνα, τη Θεσσαλονίκη και τη Ρόδο. Από την έρευνα που έχει γίνει φαίνεται ότι η θερμογόνος δύναμη είναι μεγαλύτερη το χειμώνα παρά το καλοκαίρι, γιατί το καλοκαίρι αυξάνει το ποσοστό των ζυμώσιμων, (λαχανικά, φρούτα, κλπ), με αποτέλεσμα να αυξάνει η υγρασία και να μειώνονται τα καύσιμα υλικά. Στον πίν 5.4 [1] που ακολουθεί, δίνεται η μεταβολή της κατώτερης θερμογόνου δύναμης (Κ.Θ.Δ) και της υγρασίας των απορριμμάτων για κάθε μήνα.

ενώ στο σχ. 5.1 [1] δίνεται η θερμογόνος δύναμη ως συνάρτηση των καύσιμων υλικών, για τα απορρίμματα της Θεσσαλονίκης.

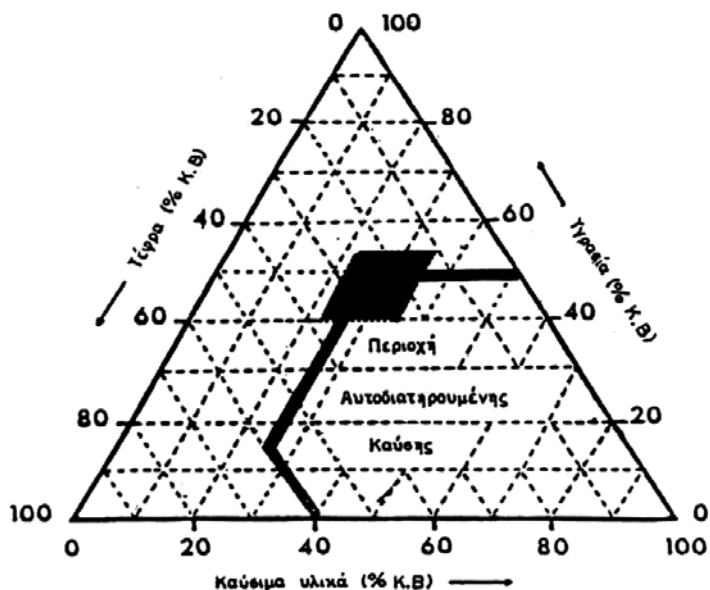
Πίνακας 5.4: Μηνιαία διακύμανση της μέσης υγρασίας και της μέσης Κ.Θ.Δ. των απορριμμάτων της Θεσσαλονίκης.

Μήνας	Μέση Υγρασία (% κ.β.)	Μέση Κ.Θ.Δ. απορρίμματος (kcal/kg)
Ιανουάριος	39,3	1.243
Φεβρουάριος	45,15	1.122
Μάρτιος	47	1.075
Απρίλιος	50,14	978
Μάιος	50,14	978
Ιούνιος	50,14	978
Ιούλιος	53,89	786
Αύγουστος	48,71	836
Σεπτέμβριος	44,23	1.008
Οκτώβριος	40,47	1.127
Νοέμβριος	40,35	1.283
Δεκέμβριος	43,18	1.164



Σχήμα 5.1: Εξάρτηση της θερμογόνου δύναμης των απορριμμάτων της μ.π. της Θεσσαλονίκης από τα καύσιμα υλικά τους.

Η μέση ετήσια Κ.Θ.Δ των απορριμμάτων της Αθήνας υπολογίστηκε σε 1.765 kcal/kg, ενώ η αντίστοιχη για τη Θεσσαλονίκη υπολογίστηκε σε 1.049 kcal/kg, τιμή που είναι στο όριο για να είναι η καύση αυτοδιατηρούμενη και η οποία θεωρείται ότι είναι τα 1.100 kcal/kg. Στο διάγραμμα Tanner του σχ. 5.2 [1] διακρίνεται η περιοχή που αντιστοιχεί στα στοιχεία των μετρήσεων για τη Θεσσαλονίκη και η οποία βρίσκεται στα όρια της περιοχής της αυτοδιατηρούμενης καύσης.



Σχήμα 5.2: Διάγραμμα Tanner (η γραμμοσκιασμένη επιφάνεια αντιστοιχεί σε μετρήσεις των απορριμμάτων της μ.π. της Θεσσαλονίκης).

Η μέση ετήσια Κ.Θ.Δ. των απορριμμάτων της Ρόδου υπολογίστηκε σε 1.159 kcal/kg. Στον πίν 5.3 δίνεται η μέση Θ.Δ. των απορριμμάτων σε διάφορες χώρες. Οι τιμές της Κ.Θ.Δ. που υπολογίστηκαν για τις πόλεις της Ελλάδας είναι αρκετά χαμηλότερες από την αντίστοιχη μέση τιμή της Ευρωπαϊκής Ένωσης, γεγονός που δικαιολογείται από τις μεγάλες διαφορές στην φυσική σύνθεση των απορριμμάτων.

Η ποσοτική ανάλυση αναφέρεται στην ποσότητα απορριμμάτων που παράγονται σε μια πόλη, ή μια χώρα, ανά έτος ή ανά τυπική ημέρα, καθώς και ανά κάτοικο της εξεταζόμενης περιοχής.

Για την περιοχή της Θεσσαλονίκης ο χώρος απόθεσης, περιοχή Ταγαράδων, δέχεται 800 ± 15 τόνους απορριμμάτων ανά τυπική ημέρα από τους 15 δήμους και κοινότητες της μείζονος περιοχής της Θεσσαλονίκης. Για την ευρύτερη περιοχή της Αθήνας, που αποτελείται από 94 δήμους και κοινότητες βρέθηκε ότι στις χωματερές Σχιστού και Ν. Λιοσίων η μέση ημερήσια απόθεση απορριμμάτων είναι 3.145 tn (οι 177 από αυτούς είναι εξωοικιακοί).

Στον πίν 5.5 [1] δίνεται η μέση ημερήσια, η ετήσια και η μέση κατά κεφαλή παραγόμενη ποσότητα απορριμμάτων για την ευρύτερη περιοχή της Αθήνας, της Θεσσαλονίκης, των Χανίων, του δήμου Ρόδου και του δήμου Μυτιλήνης.

Πίνακας 5.5: Ετήσια, μέση ημερήσια και μέση ημερήσια ανά κάτοικο, παραγωγή απορριμμάτων στις ευρύτερες περιοχές Αθήνας, Θεσσαλονίκης, Χανίων, του δήμου Ρόδου και του δήμου Μυτιλήνης.

Πόλη	Αθήνα (’84 – ’85)	Θεσ/νίκη (’86 - ’87)	Χανιά (’87)	Ρόδος (’88)	Μυτιλήνη (’87)

Tn/an	1.148.290	292.000	37.902	14.168	13.930
Tn/d	3.146	800	104	39	38
Πληθυσμός 1981 ($\cdot 10^3$)	3.027	706	62	40	24
Πληθυσμός ($\cdot 10^3$)	3.309 (1985)	786 (1987)	70 (1987)	46 (1988)	27 (1987)
Kg/άτ·d	0,951	1,018	1,486	0,848	1,407

Τεχνολογίες αξιοποίησης απορριμμάτων

Τα απορρίματα μπορούν να αξιοποιηθούν με τους παρακάτω τρόπους:

i. Ανακύκλωση

Ανακύκλωση λέγεται η επαναφορά των απορριμμάτων στον οικονομικό και φυσικό κύκλο, δηλαδή η ανακύκλωση έχει και οικονομική και οικολογική διάσταση. Ο διαχωρισμός ορισμένων υλικών και η χρησιμοποίησή τους σαν πρώτη ύλη συνεισφέρει στην εξοικονόμηση ενέργειας, γιατί απαιτείται λιγότερη ενέργεια για την παραγωγή των υλικών αυτών από ανακυκλούμενα υλικά παρά από ακατέργαστη πρώτη ύλη. Τα υλικά που επιδιώκεται να διαχωριστούν είναι το χαρτί, τα μέταλλα και το γυαλί. Στον πίν 5.6 [1] φαίνεται η ενέργεια που εξοικονομείται από την ανακύκλωση υλικών.

Πίνακας 5.6: Εξοικονόμηση ενέργειας κατά την ανακύκλωση διάφορων υλικών.

Υλικό	Εξοικονόμηση Ενέργειας		Συντελεστής ανάκτησης (%)
	(MJ/kg)	(kcal/kg)	
Γυαλί	3,2	764	95
Αλουμίνιο	273,8	66.346	95
Λευκοσίδηρος	19,5	4.654	90
PET	134,8	32.172	90

Σήμερα γίνεται κυρίως συλλογή χαρτιού, γυάλινων φιαλών και μετάλλων στον τόπο συλλογής των απορριμμάτων, αλλά γίνεται σε μικρή κλίμακα και δεν είναι σημαντική.

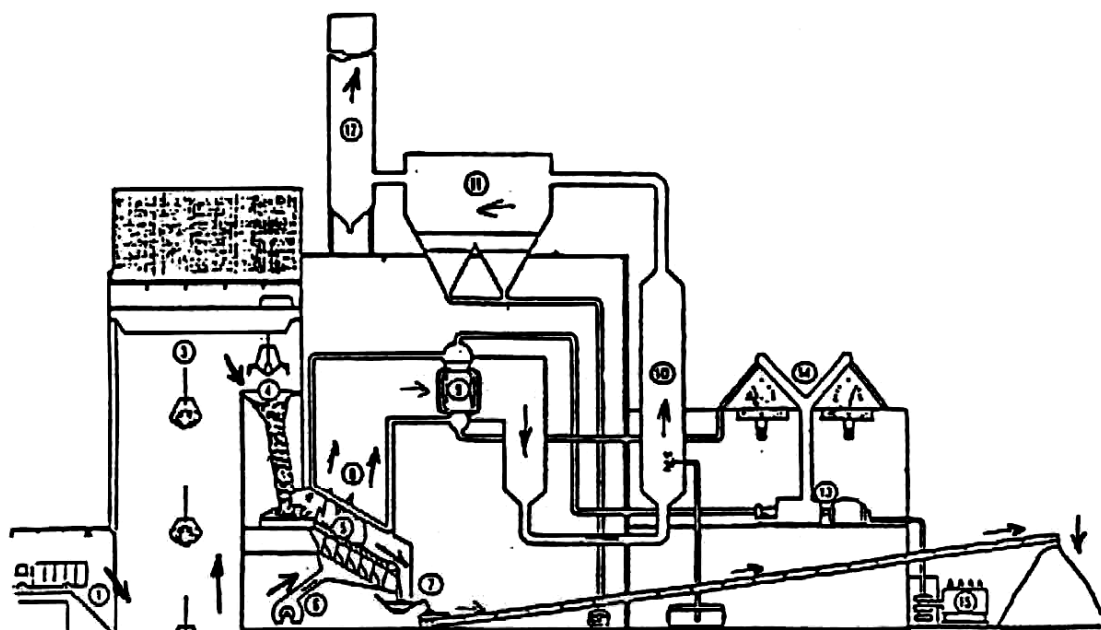
Η ανακύκλωση μπορεί και πρέπει να γίνεται συμπληρωματικά με τις άλλες μεθόδους. Απαιτεί καλή οργάνωση της συλλογής των διάφορων κατηγοριών υλικών και ενεργητική συμμετοχή των κατοίκων με την έννοια της ξεχωριστής συσκευασίας και απόρριψης των διάφορων κατηγοριών απορριμμάτων που ενδιαφέρουν, που ίσως είναι και το πιο δύσκολο σημείο υλοποίησης της ανακύκλωσης. Μια άλλη σοβαρή δυσκολία είναι ότι το κόστος της συλλογής ξεχωριστών κατηγοριών απορριμμάτων με στόχο την ανακύκλωση δεν είναι προσδιορισμένο.

ii. Καύση

Η καύση είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος διάθεσης των απορριμμάτων. Τα πλεονεκτήματα της καύσης είναι η μεγάλη μείωση του όγκου των απορριμμάτων, (επιτυγχάνεται ελάττωση του όγκου των απορριμμάτων κατά 75 – 90 %) η αξιοποίηση της ενέργειας που εκλύεται, η δυνατότητα ανάκτησης σιδηρούχων μετάλλων από την τέφρα, η απαίτηση σχετικά μικρού χώρου για την εγκατάσταση της μονάδας και η αποστείρωση των απορριμμάτων. Τα σημαντικότερα μειονεκτήματα της καύσης απορριμμάτων είναι η μεγάλη μεταβλητότητα της σύνθεσης του «καυσίμου», η έντονη ρύπανση της ατμόσφαιρας, παρά τη συγκράτηση της τέφρας και των αέριων ρύπων, το υψηλό κόστος επένδυσης και λειτουργίας και η ανάγκη χώρου για διάθεση της τέφρας.

Για να είναι αυτοδιατηρούμενη η καύση και να μην απαιτείται προσθήκη βοηθητικού καυσίμου, πρέπει η σύνθεση των απορριμμάτων να βρίσκεται μέσα στα όρια που καθορίζονται από το διάγραμμα Tanner (σχ. 5.2), να έχει δηλαδή καύσιμες ύλες πάνω από 40 %, υγρασία μικρότερη από 50 % και στάχτη κάτω από 25 %. Η παραγόμενη θερμότητα μπορεί να αξιοποιηθεί είτε με την παραγωγή ατμού, ζεστού νερού ή ηλεκτρικής ενέργειας για βιομηχανικές ή οικιακές χρήσεις. Σε πολλές περιπτώσεις δεν υπάρχουν κατάλληλες συνθήκες για οικονομική εκμετάλλευση της παραγόμενης ενέργειας και κατά συνέπεια γίνεται μόνο απλή καύση με σκοπό την μείωση του όγκου των απορριμμάτων.

Στο σχήμα 5.3 [1] δίνεται η σχηματική παράσταση μιας εγκατάστασης καύσης με σύστημα περιστρεφόμενης σχάρας.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΥΣΗΣ

- | | |
|-----------------------|-------------------------------|
| 1. Εκφόρτιση | 7. Απαγωγή (αποσύζευξη) |
| 2. Υποδοχίας | τέφρας (υπολειμμάτων) |
| 3. Γερανός | 8. Ύψια καύσης |
| 4. Σάβη παροχής | 9. Ατμολέβητας |
| 5. Σύστημα σφύρων | 10. Σύστημα καθαρισμού αερίων |
| 6. Τροφοδοτική αντλία | 11. Ηλεκτροφίλτρα |
| αέρα καύσης | 12. Καυνοδόχος |
| | 13. Γεννήτρια TURBO |
| | 14. Αεροσυμπιεστής |
| | 15. Μετασχηματιστής |

Σχήμα 5.3: Σχηματική παράσταση μιας εγκατάστασης καύσης απορριμμάτων.

Τα απορρίμματα διοχετεύονται με συνεχή ροή σε κινούμενες σχάρες, όπου λαμβάνει χώρα παροχή του αέρα και επιτυγχάνεται ξήρανση, ανάφλεξη και μερική καύση τους. Μετά την

τελευταία σχάρα υπάρχει ο θάλαμος καύσης. Τα υπολείμματα της καύσης ψύχονται και στη συνέχεια συνήθως θάβονται. Ο παραγόμενος στον λέβητα ατμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα ή να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Για παραγωγή θερμότητας ο βαθμός απόδοσης του λέβητα είναι 60 – 75 %, ενώ ο αντίστοιχος για ηλεκτροπαραγωγή είναι 27 – 30 %.

Κατά την δεκαετία του '70 η δυναμικότητα των μονάδων καύσης οικιακών απορριμμάτων στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης δίνεται στον πίν 5.7 [1].

Πίνακας 5.7: Μονάδες καύσης οικιακών απορριμμάτων στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Δυναμικότητα (tn/d)	Αριθμός μονάδων
0 – 100	1
100 – 200	3
200 – 500	22
500 – 1.000	15
> 1.000	6

iii. Πυρόλυση

Είναι μια ενδόθερμη διαδικασία κατά την οποία τα σώματα θερμαίνονται, απουσία οξυγόνου, σε υψηλές θερμοκρασίες, που κυμαίνονται από 500 - 1.100 °C, με αποτέλεσμα τη διάσπαση τους σε διάφορα συστατικά. Οι θερμοκρασίες αυτές επιτυγχάνονται με τη χρησιμοποίηση μεγάλων ποσοτήτων βοηθητικού καυσίμου. Με την πυρόλυση επιτυγχάνεται μεγάλη μείωση του αρχικού όγκου και του βάρους των απορριμμάτων, ενώ παράγεται αέριο καύσιμο χαμηλής θερμογόνου δύναμης, 3.000 – 4.000 kcal/m³. Για να αντισταθμιστεί το κόστος του καυσίμου συνήθως χρησιμοποιείται η απορριπτόμενη θερμότητα για την παραγωγή ατμού.

Οι βασικές φάσεις σε μια μονάδα πυρόλυσης απορριμμάτων είναι:

- α) Υποδοχή, τεμαχισμός, πυρόλυση
- β) Ψύξη και διαχωρισμός υπολείμματος
- γ) Παραγωγή ατμού
- δ) Καθαρισμός αερίων

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της πυρόλυσης σε σχέση με την καύση είναι:

- α) Δεν χρειάζεται παροχή αέρα.
- β) Οι εγκαταστάσεις καθαρισμού των αερίων είναι πολύ πιο απλές και δεν υπάρχουν αιωρούμενα αντικείμενα.
- γ) Ο αρχικός όγκος μειώνεται περισσότερο από ότι στην καύση.
- δ) Κατά την πυρόλυση παράγονται καύσιμα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

Η πυρόλυση ως μέθοδος διάθεσης των στερεών απορριμμάτων μέχρι στιγμής, έχει εφαρμοστεί μόνο σε πιλοτικές μονάδες. Ένας μεγάλος ανασταλτικός παράγοντας για την εφαρμογή της πυρόλυσης είναι η ανάγκη για συνεχή εξωτερική παροχή ενέργειας.

iv. Παραγωγή RDF (Refuse Derived Fuel)

Τα απορρίμματα για να πάρουν την μορφή RDF, καταρχήν αλέθονται με αποτέλεσμα να γίνουν μια μάζα σχετικά ομογενής και να μειωθεί ο συνολικός όγκος. Στη συνέχεια με μαγνητικό διαχωρισμό αφαιρείται περίπου το 6 % των απορριμμάτων, που περιέχουν περίπου 80 % σίδηρο. Ακολουθεί κοσκίνισμα για την αφαίρεση των μεγάλων αντικειμένων και το υλικό που μένει αντιστοιχεί στο 33 – 40 % του αρχικού όγκου και αποτελείται κατά 70 % από χαρτί και 10 – 15 % από πλαστικό. Μετά από ξήρανση και συμπίεση έχουμε ένα καύσιμο υλικό (RDF) με τη μορφή σφαιριδίων ή τούβλων.

Η θερμογόνος δύναμη του RDF κυμαίνεται από 3.900 έως 4.100 kcal/kg και εξαρτάται από τον τύπο του. Το RDF μπορεί να εμπλουτιστεί με κάρβουνο ή άλλο καύσιμο μεγαλύτερης θερμογόνου δύναμης.

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν κύριο καύσιμο σε μονάδες τηλεθέρμανσης και σαν συμπληρωματικό καύσιμο σε τσιμεντοβιομηχανίες, βιομηχανίες κατασκευής τούβλων, κλπ.

v. Ανάκτηση ενέργειας από τα αέρια χώρων ταφής απορριμμάτων

Η χρήση κλειστών χωματερών με στόχο την εκμετάλλευση του παραγόμενου βιοαερίου είναι μια μέθοδος διάθεσης που αξιοποιεί μια απλή φυσική διαδικασία που απαιτεί εφαρμογή απλής τεχνολογίας.

Κάτω από στεγανά κλεισμένες στρώσεις των χωματερών δημιουργούνται αναερόβιες συνθήκες που ευνοούν την μετατροπή των οργανικών συστατικών των αστικών απορριμμάτων σε βιοαέριο, που στη συγκεκριμένη περίπτωση λέγεται και «αέριο χωματερών». Το βιοαέριο αυτό αποτελείται από 45 – 55 % κ.ό. μεθάνιο, 30 – 35 % διοξείδιο του άνθρακα και 10 – 20 % από άζωτο. Η θερμογόνος του δύναμη κυμαίνεται μεταξύ 3.800 και 4.700 kcal/m³, τιμή που είναι της ίδιας τάξης με την κατώτερη θερμογόνου δύναμη του φωταερίου (περίπου 4.000 kcal/m³). Η παραγωγή του βιοαερίου αρχίζει μερικούς μήνες έως και μερικά χρόνια μετά. Παράγεται συνεχώς και μπορεί να αντλείται διαρκώς. Κάθε τόνος απορριμμάτων μπορεί να παράγει μέχρι 300 m³ βιοαέριο.

Σε νέες χωματερές τοποθετούνται κώδωνες κατά επίπεδα, που είναι συνδεδεμένοι με κεντρικό αγωγό. Το βιοαέριο αντλείται και οδηγείται σε συμπυκνωτή και στη συνέχεια διατίθεται στην κατανάλωση. Στις ήδη κλειστές χωματερές εφαρμόζονται γεωτρήσεις, χαράξεις ή άλλες μέθοδοι.

Το αέριο μετά από άντλησή του επιβάλλεται να καθαριστεί, γιατί περιέχει αυξημένο ποσοστό υδρατμών, υδρόθειου, κ.α. ουσιών που μπορούν να συντελέσουν στη διάβρωση του δικτύου. Επίσης μπορεί να αφαιρεθεί μέρος του CO₂ ή και να προστεθεί προπάνιο, έτσι ώστε να αυξηθεί η θερμογόνος δύναμη του αερίου.

Ο εγκλωβισμός ποσοτήτων του παραγόμενου βιοαερίου, όπως και η διαρροή ενός μέρους του στην ατμόσφαιρα, μειώνουν την ποσότητα του αερίου που τελικά είναι εκμεταλλεύσιμη και παράλληλα δημιουργούν κινδύνους ανάφλεξης και εκρήξεων. Η δυσκολία επιδιόρθωσης των βλαβών στο σύστημα συλλογής του αερίου παραμένει ένα σημαντικό μειονέκτημα της μεθόδου αυτής. Τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι η έλλειψη εκτάσεων και η ρύπανση των υπόγειων υδάτων από τα υγρά κατασταλάγματα είναι γενικά μειονεκτήματα της ταφής, είτε γίνεται αξιοποίηση των παραγόμενων αερίων, είτε όχι.

vi. Παραγωγή βελτιωτικών εδάφους (Compost) - Λιπασματοποίηση

Η παραγωγή βελτιωτικών εδάφους, που κατά μια έννοια μπορεί να θεωρηθεί λίπασμα, είναι μια σημαντική μέθοδος αξιοποίησης των αστικών απορριμμάτων. Στηρίζεται στην αερόβια ζύμωση (βιολογική αποικοδόμηση) του οργανικού μέρους των απορριμμάτων κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες με αποτέλεσμα την ανακύκλωση της οργανικής ύλης, με την επαναφορά της στο χώμα, και τη σημαντική βελτίωση των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του

εδάφους. Μειονέκτημα της παραγωγής βελτιωτικών εδάφους είναι η μεταφορά στο έδαφος ποσοτήτων βαρέων μετάλλων και κόκκων γυαλιού που περιέχονται στα απορρίμματα.

vii. Ολοκληρωμένα συστήματα

Από τα τέλη της δεκαετίας του '70, κυρίως στις ΗΠΑ και τη Σουηδία, άρχισαν να κατασκευάζονται σύνθετα συστήματα ολοκληρωμένης αξιοποίησης των απορριμμάτων που συνδυάζουν τις παραπάνω μεθόδους για να πετύχουν βέλτιστο αποτέλεσμα. Παράγουν RDF, που στη συνέχεια καίγεται προς παραγωγή ατμού για βιομηχανικές χρήσεις, τηλεθέρμανση ή παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Επίσης μπορούν να παράγουν εδαφοβελτιωτικό (*compost*) και πρώτη ύλη (*scrap iron*) για παραγωγή σιδήρου.

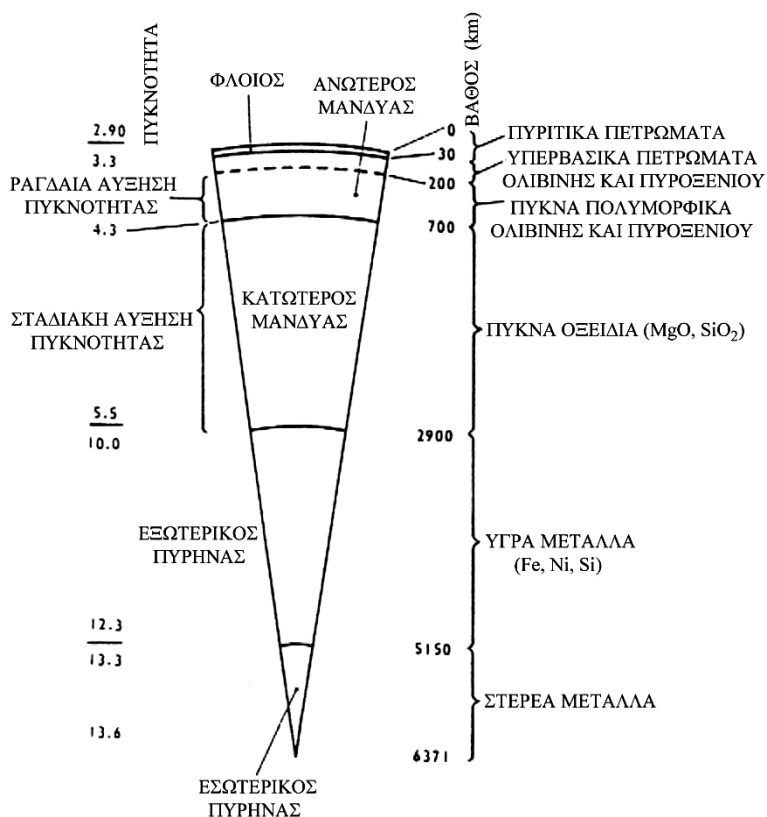
6 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η γη είναι ζεστή στο εσωτερικό της και η αύξηση της θερμοκρασίας της συναρτῆσει του βάθους σε κανονικές συνθήκες είναι περίπου σταθερή και ονομάζεται γεωθερμική βαθμίδα. Η φυσιολογική τιμή της γεωθερμικής βαθμίδας στα πρώτα χιλιόμετρα της λιθόσφαιρας κυμαίνεται από 20 έως 50 °C/km, ενώ η μέση τιμή της θεωρείται 33 °C/km.

Η φυσική θερμική ενέργεια της γης η οποία, σύμφωνα με το φυσικό νόμο μετάδοσης της θερμότητας, μεταφέρεται από το θερμό εσωτερικό του πλανήτη προς τη ψυχρότερη επιφάνεια, είτε με θερμική αγωγιμότητα των πετρωμάτων, είτε με κατακόρυφη κίνηση ρευστών, ονομάζεται γεωθερμία. Το μεγαλύτερο μέρος της γεωθερμίας μεταδίδεται με αγωγή και με ρυθμό 0,04 – 0,06 W/m².

Τα ηφαιστειακά και υδροθερμικά φαινόμενα από την ἄλλη μεριά, μεταδίδουν θερμότητα με ρεύματα μεταφοράς, αλλά προορίζονται στις ζώνες κοντά στα σύνορα των λιθοσφαιρικών πλακών. Στην περίπτωση αυτή λαμβάνει χώρα ροή θερμότητας με τιμές πολλαπλάσιες της μέσης γήινης. Το φαινόμενο αυτό αποτελεί «γεωθερμική ανωμαλία» και η περιοχή χαρακτηρίζεται ως «γεωθερμικό πεδίο».

Η θερμότητα του εσωτερικού της γης οφείλεται στην αστρική προέλευση της γης με τη συνδρομή της ραδιενεργού μεταστοιχείωσης μερικών υλικών της. Ο πυρήνας της υπολογίζεται ότι έχει θερμοκρασία περίπου 4.000 °C και ο μανδύας 1.200 – 1.500 °C (σχ. 6.1 [1]).



Σχήμα 6.1: Σχηματική τομή του εσωτερικού της γης.

Από το ανώτερο τμήμα του μανδύα προέρχεται το λιωμένο πέτρωμα (μάγμα) που φθάνει μερικές φορές στην επιφάνεια της γης, δημιουργώντας τις εντυπωσιακές ηφαιστειακές εκρήξεις. Το υλικό που φθάνει στην επιφάνεια (μίγμα λειωμένων υλικών του μανδύα και της υπερκείμενης λιθόσφαιρας, αερίων και μερικών στερεοποιημένων πετρωμάτων) έχει

θερμοκρασίες μεταξύ 600 και 1.100 °C (ανάλογα με τη χημική σύσταση). Έτσι μεταφέρονται μεγάλες ποσότητες θερμικής ενέργειας, που σπάνια διαχέονται στη ατμόσφαιρα και την επιφάνεια, με την έκρηξη. Συνήθως εγκλωβίζονται σε μικρό βάθος και κινητοποιούν μεγάλες ποσότητες υπεδαφικών ρευστών που θερμαίνονται ως τους 400 και πλέον °C.

Είναι σημαντικό να τονιστεί η διαφορά μεταξύ της γεωθερμικής βαθμίδας και της ροής θερμότητας, γιατί υψηλή θερμοκρασιακή (γεωθερμική) βαθμίδα δεν ταυτίζεται πάντα και με μεγάλη ροή θερμότητας. Αν η ροή θερμότητας θεωρηθεί μόνο στο κατακόρυφο επίπεδο, τότε συνδέεται με τη γεωθερμική βαθμίδα με τη σχέση Σ 6.1:

$$q = K \cdot \frac{dT}{dZ} \quad (\Sigma \quad 6.1)$$

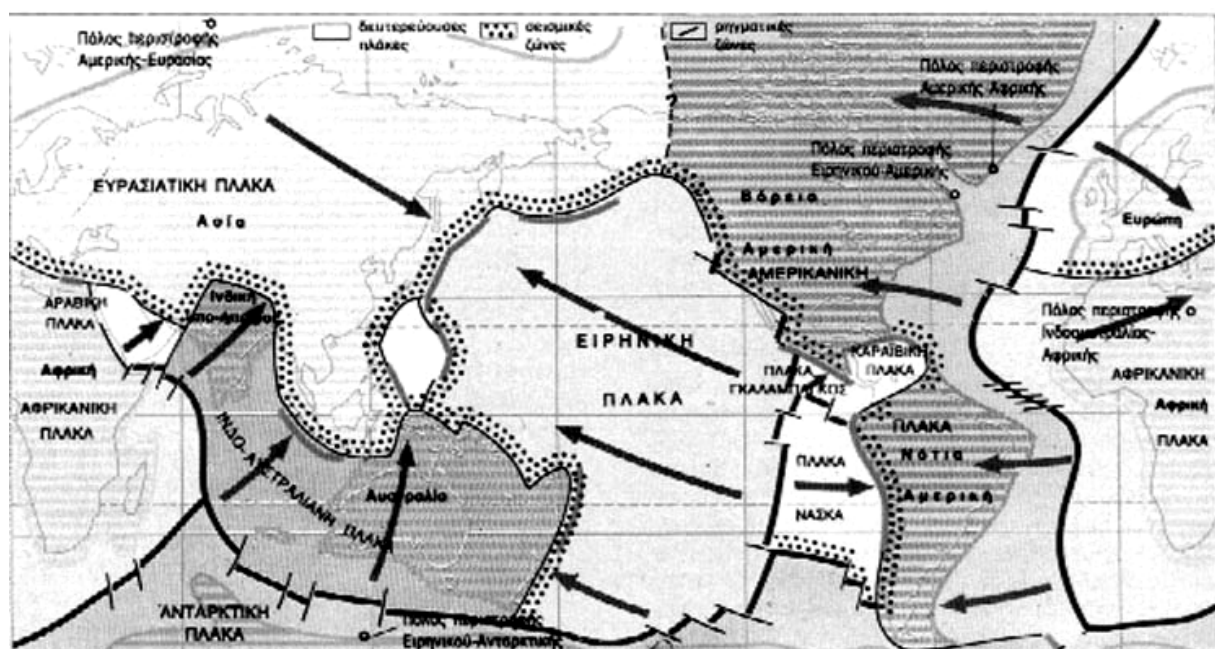
Όπου: q , είναι η ροή θερμότητας εκφρασμένη συνήθως σε W / m^2

K , είναι η θερμική αγωγιμότητα των πετρωμάτων.

$\frac{dT}{dZ}$, είναι η θερμοκρασιακή βαθμίδα που συνήθως εκφράζεται σε °C / km.

Υψηλές θερμοκρασιακές βαθμίδες μπορεί να συνδυαστούν με πετρώματα χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας, όπως και το αντίθετο, με αποτέλεσμα να μην εμφανίζεται μεγάλη ροή θερμότητας.

Οι ηφαιστειακές εκρήξεις είναι το εντυπωσιακότερο φυσικό φαινόμενο της γήινης θερμότητας και οι σεισμοί το καταστρεπτικότερο. Αυτοί αποδεικνύουν ότι ο πλανήτης μας είναι ακόμα ζωντανός, οι λιθοσφαιρικές του πλάκες κινούνται η μια σε σχέση με την άλλη (σχ. 6.2 [3]) και αιτία της κίνησής τους είναι τα ρεύματα μεταφοράς θερμότητας, που υπάρχουν σε πολλές περιοχές του μανδύα.



Σχήμα 6.2: Λιθοσφαιρικές πλάκες και σεισμικές ζώνες.

Οι σεισμοί λοιπόν, από τη μια δημιουργούν τα γνωστά προβλήματα στον άνθρωπο, από την άλλη διευκολύνουν την κυκλοφορία του μάγματος και κυρίως των γεωθερμικών ρευστών

κατά την άνοδό τους προς την επιφάνεια της γης, μεταφέροντας μεγάλες ποσότητες θερμικής ενέργειας και κάνοντας την προσιτή στους κατοίκους της («ουδέν κακόν αμιγές καλού»).

Τα γεωθερμικά ρευστά, με τη βοήθεια των τεκτονικών κινήσεων στις σεισμικά ενεργές περιοχές, φθάνουν πολλές φορές και στην επιφάνεια του εδάφους, δημιουργώντας και άλλα εντυπωσιακά φυσικά φαινόμενα, τα κυριότερα των οποίων είναι:

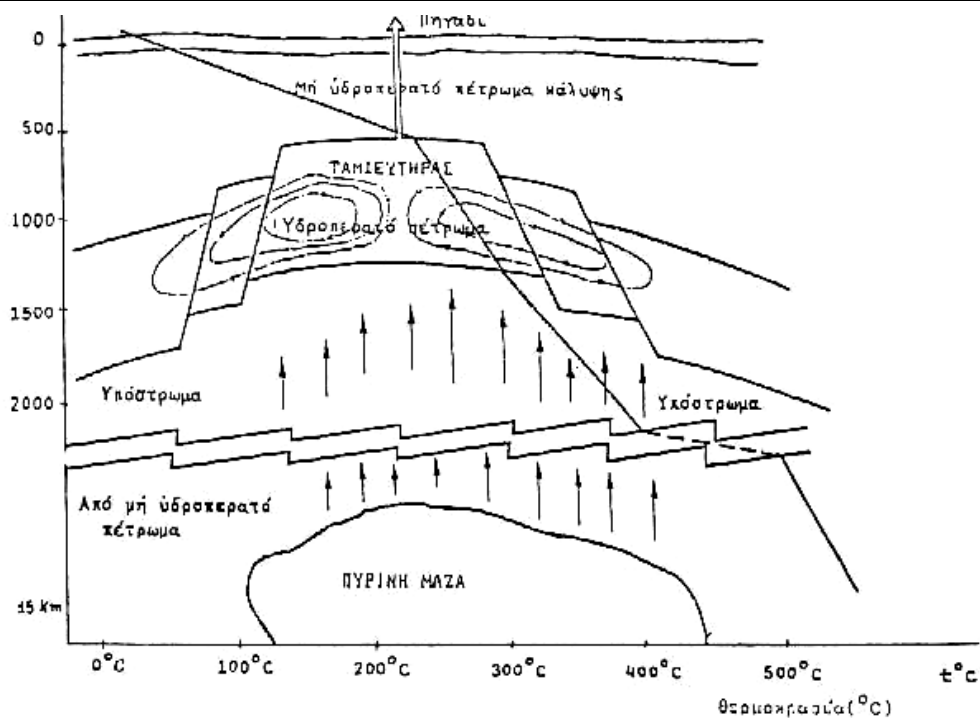
- i. Οι «υδροθερμικοί κρατήρες» ύστερα από έκρηξη εγκλωβισμένων σε μικρό βάθος υπέρθερμων γεωθερμικών ρευστών, τα οποία ανατινάζουν τα υπερκείμενα πετρώματα.
- ii. Οι «θερμοπίδακες» ή “geysers” είναι δημιουργήματα υπέρθερμων υπογείων νερών που κυκλοφορούν σε μικρό βάθος. Αυτά τα νερά κάθε τόσο αποκτούν πίεση ικανή να προκαλέσει «έκρηξη» νερού και ατμού, που εκτινάσσονται σε αρκετές δεκάδες μέτρα πάνω από την επιφάνεια του εδάφους.
- iii. Οι «ατμίδες» είναι έξοδοι υπέρθερμου ατμού που βγαίνει από ρωγμές του εδάφους χωρίς πίεση, αλλά με εντυπωσιακή σταθερότητα, μαζί με ηφαιστειακά αέρια. Γύρω από τις ατμίδες αποτίθενται άλατα και ορυκτά που περιέχονται στον ατμό. Σε εξαιρετικές περιπτώσεις ξεπερνούν τους 600 °C, αλλά συνήθως έχουν θερμοκρασία γύρω στους 100 °C.
- iv. Οι «θερμές πηγές» είναι έξοδοι ζεστού νερού, κάτω από ευνοϊκές γεωλογικές συνθήκες, με θερμοκρασία μέχρι 100 °C. Σε μερικές περιπτώσεις έχουν εντυπωσιακή παροχή, συνήθως όμως αναβλύζουν λίγο νερό, γιατί το περισσότερο είναι εγκλωβισμένο στο υπέδαφος και περιμένει τις γεωθερμικές γεωτρήσεις. Οι πηγές των Θερμοπυλών είναι εντυπωσιακές και ενεργές από την εποχή του Λεωνίδα, συνεχίζουν να ρέουν και σήμερα με σημαντική παροχή (1.000 m³/h) και αποδεικνύουν την ανανεωσιμότητα του ενεργειακού αυτού πόρου.

6.1 Σχηματισμός γεωθερμικών πεδίων

Τα γεωθερμικά ρευστά είναι μίγματα νερού, ατμού και φυσικών αερίων. Πρακτικά μόνο αυτά που βρίσκονται σε βάθος μέχρι 3.000 m μπορούν να αξιοποιηθούν με οικονομικό τρόπο. Τα ρευστά των οποίων η θερμοκρασία είναι μικρότερη από 100 °C (ρευστά χαμηλής ενθαλπίας) δεν περιέχουν ατμό, παρά μόνο νερό και λίγα ή καθόλου φυσικά αέρια. Τα περισσότερα γεωθερμικά ρευστά έχουν επιφανειακή προέλευση (μετεωρική, θαλάσσια, ποτάμια ή λιμναία) για αυτό και δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερα σύνθετη χημική σύσταση.

Οι περιοχές της γης όπου υπάρχουν γεωθερμικά ρευστά σε ικανοποιητική ποσότητα, θερμοκρασία και βάθος λέγονται *γεωθερμικά πεδία*. Αποφεύγεται ο όρος «κοίτασμα», ο οποίος χρησιμοποιείται για συγκεκριμένα και εξαντλήσιμα μεταλλευτικά ορυκτά και ρευστά, ενώ τα γεωθερμικά ρευστά είναι σε μεγάλο βαθμό ανανεώσιμα.

Ο φορέας μεταφοράς της γεωθερμικής ενέργειας από το υπέδαφος είναι τα νερά και οι ατμοί που βρίσκονται μέσα σε υδροπερατό γεωλογικό σχηματισμό (πορώδη πετρώματα) ή αλλιώς ταμειυτήρα (σχ. 6.3 [1]).



Σχήμα 6.3: Βασικό μοντέλο γεωθερμικού πεδίου ατμού.

Οι ταμειυτήρες των γεωθερμικών πεδίων τροφοδοτούνται κυρίως από επιφανειακά αρχικώς νερά, που κατεισδύουν και κυκλοφορούν υπογείως, θερμαίνονται, εμπλουτίζονται σε άλατα και αέρια και μπαίνουν στο διαρκή κύκλο της θερμικής μεταφοράς.

Τα ρευστά αυτά καθώς κατεβαίνουν προς τα βαθύτερα στρώματα, ζεσταίνονται στο καινούργιο θερμότερο πλέον περιβάλλον, γίνονται έτσι ελαφρύτερα και προσπαθούν να ανέβουν προς τα πάνω. Αν δεν τα καταφέρουν μόνα τους, επειδή συναντούν κάποιο στεγανό γεωλογικό κάλυμμα πάνω από τον ταμειυτήρα, εγκλωβίζονται εκεί. Μέσα στους ταμειυτήρες, όπου η κυκλοφορία είναι πιο γρήγορη και εύκολη, υπάρχει νερό κάτω από συνθήκες αυξημένης πίεσης και θερμοκρασίας.

Με τις γεωτρήσεις δίνεται η διέξοδος προς τα πάνω και μάλιστα με τρόπο ελεγχόμενο. Τα γεωθερμικά ρευστά ανεβαίνουν προς την επιφάνεια συνήθως με πίεση και η θερμική τους ενέργεια χρησιμοποιείται στις εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης στην επιφάνεια.

Από τη χημική σύσταση των γεωθερμικών ρευστών και τα φυσικά χαρακτηριστικά τους εξαρτάται η οικονομικότητα της αξιοποίησής τους, αλλά και ο καταλληλότερος τρόπος εκμετάλλευσης του κάθε πεδίου. Για τον εντοπισμό των γεωθερμικών ταμειυτήρων χρειάζονται να γίνουν ειδικές γεω-επιστημονικές έρευνες και μελέτες, έως ότου προσδιοριστούν οι καταλληλότερες θέσεις των πολυδάπανων γεωτρήσεων. Ο μεταλλευτικός κίνδυνος επιδιώκεται να ελαχιστοποιηθεί και πρέπει να βρεθεί, σε κάθε περίπτωση χωριστά, η χρυσή τομή κόστους ερευνών-ρίσκου γεωτρήσεων.

Τρεις κύριοι τύποι γεωθερμικών πεδίων είναι υπό εκμετάλλευση ευρύτατα σήμερα στον κόσμο. Πρόκειται για τα *υπέρθερμα πεδία υψηλής ενθαλπίας* ($180 - 400\text{ }^{\circ}\text{C}$), τα *πεδία μέσης ενθαλπίας* ($100 - 180\text{ }^{\circ}\text{C}$) και τα *πεδία χαμηλής ενθαλπίας* ($< 100\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Στα πεδία «θερμών - ξηρών» πετρωμάτων (όπου δεν κυκλοφορούν εύκολα τα ρευστά), η τεχνολογία εκμετάλλευσης είναι μέχρι σήμερα αντιοικονομική και βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο. Σε ό,τι αφορά την ενέργεια από το μάγμα (λιωμένο πέτρωμα), οι έρευνες βρίσκονται ακόμα μακριά από την τεχνικά και οικονομικά αποδεκτή λύση.

Η γεωθερμική ενέργεια είναι υπό ορισμένες συνθήκες εντελώς ανανεώσιμη, δημιουργεί λίγα έως μηδαμινά τεχνικά (διάβρωσης και επικαθίσεων) και περιβαλλοντικά προβλήματα και αποτελεί γενικά μια ήπια και ανεξάντλητη μορφή ενέργειας.

Με τον ατμό συνήθως παράγεται ηλεκτρική ενέργεια, ενώ το ζεστό νερό και το συμπύκνωμα του ατμού μετά το στρόβιλο μπορεί να τύχει πολλαπλών χρήσεων.

Στον πίν 6.1 [1] φαίνονται οι διάφορες βασικές χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας.

Πίνακας 6.1: Θερμοκρασιακό φάσμα χρήσης γεωθερμίας (διάγραμμα Lindal).

Θερμ. (°C)	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
250-	
200-	
180-	
170-	Εξάτμιση πυκνών διαλυμάτων. Ψύξη με απορρόφηση αμμωνίας. Χρήση στη βιομηχανία χάρτου.
160-	Παραγωγή βαρέος ύδατος με τη μέθοδο του H ₂ S
150-	Ξήρανση ξυλείας
140-	Παραγωγή αλουμίνιας με τη μέθοδο Bayer.
130-	Ξήρανση γεωργικών προϊόντων - κονσερβοποιία.
120-	Εξάτμιση στη βιομηχανία ζάχαρης. Απόληψη αλάτων με εξάτμιση. Νερό απεσταγμένο.
110-	Εξάτμιση-συμπύκνωση διαλυμάτων.
100-	Ξήρανση τιμεντένιων στοιχείων.
90-	Ξήρανση οργανικών υλικών, φυκιών, λαχανικών κ.α.
80-	Πλύσιμο και ξήρανση μαλλιού.
70-	Ξήρανση ψαριών. Διεργασίες απόψυξης.
60-	Θέρμανση χώρων.
50-	Ψύξη (χαμηλότερη όριο).
40-	Καθαρισμός κτηνοτροφικών μονάδων. Θέρμανση θερμοκηπίων.
30-	Λουτροθεραπεία. Καλλιέργεια μανιταριών.
20-	Θέρμανση χώματος (για καλλιέργειες). Βιοαποικοδόμηση. Ζυμώσεις. Κολυμβητήρια. Χρήση σε μεταλλεία. Ιχθυοκαλλιέργειες

Κορεσμένος ατμός

Θερμό νερό

Παραγωγή ηλεκτρισμού με συμβατικό τρόπο

Βασικά στοιχεία που καθορίζουν και τις χρήσεις της γεωθερμίας είναι το ενεργειακό περιεχόμενο του ρευστού (ενθαλπία), η σύστασή του, ο ευρύτερος χώρος που βρίσκεται το γεωθερμικό πεδίο, η ευκολία μεταφοράς της παραγόμενης ενέργειας ή διακίνησης των προϊόντων που παράγονται, καθώς και οικονομικοί παράγοντες.

Οι άμεσες χρήσεις της γεωθερμίας ποικίλλουν σε μεγάλο βαθμό, όπως φανερώνει και ο πίν 6.1 με το διάγραμμα Lindal, το οποίο καταγράφει ορισμένες υφιστάμενες ή δυνητικές χρήσεις της γεωθερμίας. Θα πρέπει να τονιστεί ότι το διάγραμμα Lindal, δεν περιορίζει το είδος των δυνατών χρήσεων, ούτε πρέπει να ληφθούν αυστηρά υπόψη τα όρια των θερμοκρασιών που θέτει.

6.2 Ενεργειακές βαθμίδες και τύποι γεωθερμικών πεδίων

Ανάλογα με το ενεργειακό περιεχόμενο του γεωθερμικού ρευστού (ενθαλπία - θερμοκρασία και πίεση) διακρίνονται τρεις βαθμίδες γεωθερμικής ενέργειας.

Γεωθερμία υψηλής ενθαλπίας: Σαν υψηλής ενθαλπίας χαρακτηρίζονται τα ρευστά με θερμοκρασία μεγαλύτερη των $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, που είναι είτε υπέρθερμοι (ξηροί) ατμοί, είτε υγροί ατμοί (μίγμα ατμών και νερού). Χρησιμοποιούνται συνήθως για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Γεωθερμία μέσης ενθαλπίας: Σαν μέσης ενθαλπίας χαρακτηρίζονται τα ρευστά θερμοκρασίας μεταξύ 80 και $150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Χρησιμοποιούνται μερικές φορές και για την παραγωγή ηλεκτρισμού με την χρησιμοποίηση ενδιάμεσου κλειστού κυκλώματος με εργαζόμενο μέσο, ουσία που σε κανονικές συνθήκες έχει χαμηλό σημείο ζέσης, π.χ. φρέον ή ισοβουτάνιο.

Γεωθερμία χαμηλής ενθαλπίας: Σαν χαμηλής ενθαλπίας χαρακτηρίζονται τα ρευστά με θερμοκρασία από 25 έως $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Είναι άφθονα σε πολλές περιοχές της γης και σε οικονομικά βάθη, αρκεί να υπάρχει ικανοποιητικός υπόγειος υδροφορέας σε κατάλληλο βάθος.

Τα γεωθερμικά πεδία παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία και πολλές ιδιαιτερότητες που οφείλονται στη θέση της πηγής θερμότητας, στα γεωλογικά χαρακτηριστικά του εδάφους, στους υδροφόρους ορίζοντες, κλπ. Με βάση την κατάσταση του γεωθερμικού ρευστού, διακρίνονται βασικά μοντέλα γεωθερμικών πεδίων.

- Μοντέλο πεδίου ατμού

Το μοντέλο αυτό αποτελείται από τα εξής μέρη:

- α) Πηγή θερμότητας, δηλαδή την πύρινη μάζα (μάγμα).
- β) Υπόστρωμα μη υδροπερατού πετρώματος για τη μετάδοση της θερμότητας.
- γ) Γεωθερμικός ταμιευτήρας με υδροπερατό και πορώδες πέτρωμα για εύκολη διακίνηση του νερού κατά τη θέρμανση και την παροχή νερού από το πηγάδι.
- δ) Μη υδροπερατό πέτρωμα κάλυψης του γεωθερμικού ταμιευτήρα.
- ε) Παροχή νερού για την αναπλήρωση του αποθέματος του ταμιευτήρα.

Στο μοντέλο αυτό ξεχωρίζουν ιδιαίτερα δύο κατηγορίες γεωθερμικών πεδίων:

- i. *Πεδία ξηρού ατμού:* Στην έξοδο του πηγαδιού τέτοιων πεδίων έχουμε ξηρό ατμό κεκορεσμένο ή υπέρθερμο με πίεση μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής και υπερθέρμανση $0 - 50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Τα πεδία αυτά είναι τα πιο πρόσφορα για εκμετάλλευση με στόχο την παραγωγή ισχύος, όμως είναι και τα πιο σπάνια.
- ii. *Πεδία υγρού ατμού:* Ο ταμιευτήρας του πεδίου περιέχει νερό θερμοκρασίας άνω των $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ και υπό πίεση μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής. Καθώς το νερό ανεβαίνει στο πηγάδι μειώνεται η πίεσή του, ένα μέρος του εξατμίζεται, με αποτέλεσμα να εμφανίζεται μίγμα νερού και υγρού κορεσμένου ατμού, με επικρατέστερο σε ποσότητα το νερό. Η αναλογία νερού - ατμού παρουσιάζει ποικιλία. Τα πεδία αυτά είναι τα πιο συνηθισμένα και παρουσιάζουν ενδιαφέρον έρευνας και εκμετάλλευσης για παραγωγή ισχύος.

- Μοντέλο πεδίου ζεστού νερού χαμηλής θερμοκρασίας

Η θερμοκρασία στο άνω μέρος του ταμιευτήρα δεν ξεπερνά το σημείο βρασμού υπό ατμοσφαιρική πίεση. Στον ταμιευτήρα του πεδίου περιέχεται νερό θερμοκρασίας 60 – 100 °C ενώ η γεωθερμική βαθμίδα κυμαίνεται συνήθως από την κανονική τιμή (33 °C/km) έως διπλάσια. Πολλές φορές τα νερά των πεδίων αυτών περιέχουν μεγάλο ποσοστό αλάτων, όπως και τα υψηλής ενθαλπίας. Ένα τέτοιο πεδίο παρουσιάζει ενδιαφέρον για εκμετάλλευση αν:

- Ο ταμιευτήρας βρίσκεται σε βάθος μικρότερο των 2.000 m και έχει θερμοκρασία μεγαλύτερη των 60 °C,
- Η πυκνότητα ροής θερμότητας είναι τουλάχιστον κατά 50 % μεγαλύτερη της κανονικής, δηλαδή τουλάχιστον 22 μcal/cm²/s,
- Η παροχή νερού είναι πολύ μεγάλη ανά πηγάδι

• Μοντέλο πεδίου θερμών ξηρών πετρωμάτων (*hot dry rocks*)

Τα προηγούμενα μοντέλα βασίζονται στην ύπαρξη πετρωμάτων πορώδους υφής, από όπου μπορούν να αντληθούν τα υπάρχοντα υπόγεια νερά των υδροφόρων οριζόντων. Όμως η επιφάνεια της γης σε πολλά μέρη καλύπτεται από μη πορώδη πετρώματα και σε βάθος μερικών χιλιομέτρων τα υπόγεια πετρώματα είναι μη πορώδη. Αν η θερμότητα αυτών των πετρωμάτων καταστεί δυνατόν να εκμεταλλευτεί, τα αποθέματα γεωθερμικής ενέργειας που θα είναι διαθέσιμα θα αυξηθούν σε μεγάλο βαθμό. Υπάρχουν μερικοί επιφανειακοί σχηματισμοί πετρωμάτων μαγματικής προέλευσης που παρουσιάζουν υψηλές τιμές της γεωθερμικής βαθμίδας και για τον λόγο αυτό ενδείκνυνται για εκμετάλλευση. Έχει αρχίσει να γίνεται σημαντική έρευνα στον τομέα αυτό και μακροπρόθεσμα είναι δυνατόν να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια από γεωτρήσεις μεγάλου βάθους.

6.3 Χρήσεις της γεωθερμίας

Τα πεδία υψηλής ενθαλπίας είναι ιδανικά για την εκμετάλλευση τόσο του ατμού, όσο και των διάφορων αερίων, είτε απευθείας, είτε αφού διαχωριστούν από την υγρή φάση, με την οποία συνυπάρχουν. Και στις δυο περιπτώσεις οδηγούνται σε ειδικούς στροβίλους χαμηλής πίεσης για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα ρευστά μέσης ενθαλπίας χρησιμοποιούνται είτε για την παραγωγή ηλεκτρισμού (σε κύκλο Rankine, με δευτερεύον οργανικό ρευστό), είτε σε άλλες χρήσεις. Τα γεωθερμικά ρευστά διέρχονται από εναλλάκτη θερμότητας, θερμαίνουν ένα δευτερεύον οργανικό ρευστό χαμηλού σημείου ζέσης (π.χ. φρέον, ισοβουτάνιο, πεντάνιο), οι ατμοί του οποίου κινούν ένα στρόβιλο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή θερμαίνουν κανονικό νερό, που χρησιμοποιείται σε βιομηχανικές εφαρμογές, τηλεθερμάνσεις οικισμών κλπ.

Στα πεδία χαμηλής ενθαλπίας το υπόγειο νερό θερμαίνεται από την κανονική γήινη θερμική ροή και τέτοια πεδία απαντώνται σε εκτεταμένες περιοχές της γης. Τα ρευστά θερμοκρασίας 20 – 100 °C χρησιμοποιούνται είτε απευθείας, είτε με τη μεσολάβηση εναλλακτών θερμότητας ή ακόμα και αντλιών θερμότητας, έτσι ώστε να αυξηθεί το φάσμα χρήσεων, οι οποίες συνήθως επιβάλλεται να είναι διαδοχικές ή ετεροχρονισμένες. Αυτό οδηγεί σε αυξημένο συντελεστή χρήσης και γρηγορότερη απόσβεση των εγκαταστάσεων. Η επαναδιοχέτευση των γεωθερμικών ρευστών στον ταμιευτήρα, μετατρέπει την εκμετάλλευση αυτή σε ένα κλειστό σχεδόν κύκλωμα, ενώ αποφεύγεται έτσι οποιαδήποτε αρνητική επίπτωση στο περιβάλλον.

Η θερμοκρασία του νερού στις ιχθυοκαλλιέργειες είναι ένας από τους πιο σημαντικούς περιβαλλοντικούς παράγοντες που παίζει καθοριστικό ρόλο στη ζωή ενός υδρόβιου οργανισμού. Στην πραγματικότητα, η θερμοκρασία ελέγχει το ρυθμό όλων των βιοχημικών διεργασιών που αποτελούν τη βάση της ζωής. Αυξάνοντας τη θερμοκρασία μέχρι τη βέλτιστη τιμή για κάθε εκτρεφόμενο οργανισμό, επιτυγχάνεται αύξηση των ρυθμών ανάπτυξης έως

ένα μέγιστο επιθυμητό επίπεδο. Τα κοινά νερά δεν έχουν συνήθως τις επιθυμητές θερμοκρασίες για μια εντατικοποίηση των υδατοκαλλιεργειών και δεν επιτρέπουν την συντομότερη εμπορική απόκριση μιας επένδυσης.

Η τεχνητή θέρμανση του νερού εκτροφής με χρήση συμβατικών καυσίμων (πετρέλαιο, φυσικό αέριο) είναι εφικτή, αλλά παράλληλα έχει ένα σημαντικό κόστος επί της παραγωγής. Η άμεση ή έμμεση χρήση γεωθερμικών ρευστών συνιστά ένα ελκυστικό εγχείρημα με σημαντικά οικονομικά οφέλη.

Η ξήρανση γεωργικών προϊόντων (καλαμπόκι, καπνός, μανιτάρια κλπ) είναι μια διεργασία όπου απαιτούνται συγκεντρωμένα ενεργειακά φορτία σε μια εποχή του χρόνου που δεν υπάρχει ζήτηση ενέργειας για θερμοκηπιακές χρήσεις. Η διαδικασία ξήρανσης εφαρμόζεται ευρέως, έτσι ώστε το τελικό επίπεδο της να φθάνει σε τιμές κατάλληλες για την άνευ προβλημάτων συντήρηση της πρώτης ύλης. Από στοιχεία έρευνας της αγοράς, ένα σύγχρονο ξηραντήριο καλαμποκιού, δυναμικότητας 30 tn/h, καταναλώνει θερμική ενέργεια που παράγεται από 390 lt πετρελαίου.

Η ποσότητα αυτή των καυσίμων, για μια περίοδο ξήρανσης 50 ημερών αντιπροσωπεύει περίπου 468.000 lt πετρελαίου, ποσότητα που αντιστοιχεί σε 100.000.000 δρχ. περίπου το χρόνο. Θα μπορούσαν να αντικατασταθούν όλα αυτά τα καύσιμα με χρήση γεωθερμικών ρευστών θερμοκρασίας 70 – 100 °C και ελαφρά τροποποίηση των υπαρχόντων ξηραντηρίων ή κατάλληλο σχεδιασμό νέων μονάδων.

Πολύ ενδιαφέρονσα φαίνεται καταρχήν και η αφυδάτωση οπωροκηπευτικών προϊόντων (κατά περίπτωση και περιοχή) με χρήση γεωθερμίας.

Είναι γνωστή και πολύ διαδεδομένη η ενεργειακή χρήση των ρευστών χαμηλής ενθαλπίας στη θέρμανση θερμοκηπίων. Το μέγεθος των θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων εξαρτάται από τη διαθέσιμη ενέργεια, τις κλιματικές συνθήκες, τα υλικά κατασκευής και το είδος της καλλιέργειας. Η ύπαρξη διαθέσιμων γεωθερμικών ρευστών με μέσες θερμοκρασίες 45 - 60 °C αποτελεί συγκριτικό πλεονέκτημα για ένα δυνητικό επενδυτή. Θεωρώντας μία μέση τιμή ενεργειακής κατανάλωσης τις 150.000 kcal/h και στρέμμα και για μέση διάρκεια θέρμανσης τις 400 ώρες το χρόνο για κηπευτικά, η εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται είναι της τάξης των 25 Τόνων Ισοδύναμου Πετρελαίου (ΤΙΠ) ανά στρέμμα ή περίπου 5.000.000 δρχ. ανά στρέμμα. Στην ανθοκομία, αυξάνονται οι ώρες αλλά και οι απαιτήσεις για θέρμανση αλλά και για κλιματισμό, οπότε αυξάνεται σημαντικά και το ενεργειακό όφελος. Μία μόνο γεώτρηση μπορεί να θερμαίνει 10 - 20 στρέμματα.

Η τηλεθέρμανση οργανωμένων οικισμών με χρήση της γεωθερμίας εφαρμόζεται συστηματικά σε αρκετές χώρες (Γαλλία, Ισλανδία, Ιταλία κλπ). Όταν σε ένα σύστημα τηλεθέρμανσης αξιοποιείται σε σημαντικό βαθμό η γεωθερμική ενέργεια (τα συμβατικά καύσιμα χρησιμοποιούνται για την κάλυψη των φορτίων αιχμής), τα συστήματα γεωθερμικής τηλεθέρμανσης, παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα.

- Εξοικονόμηση ενέργειας με υποκατάσταση συμβατικών καυσίμων που θα καταναλώνονταν για οικιακή θέρμανση.
- Προστασία του περιβάλλοντος με ουσιαστική εκμηδένιση των εκπομπών καυσαερίων.
- Χαμηλό κόστος ενέργειας που προκύπτει αφενός από το γενικότερο πλεονέκτημα της συμβατικής τηλεθέρμανσης και αφετέρου από τη φθηνότερη γεωθερμική ενέργεια και τη δυνατότητα επιδότησης του έργου (για εξοικονόμηση ενέργειας, προστασία περιβάλλοντος, ανάπτυξη κλπ).
- Συμβολή στην τοπική ανάπτυξη με περαιτέρω χρήσεις κατανεμημένες στο χρόνο.

Η γεωθερμική αφαλάτωση έχει το μεγαλύτερο συντελεστή εκμετάλλευσης σε σύγκριση με όλες τις άλλες εφαρμογές και είναι οικονομικότερη σε σχέση με την ηλιακή και αιολική αφαλάτωση. Η αφαλάτωση είναι πράγματι μια διεργασία με υψηλή ενεργειακή συμμετοχή,

που ξεπερνά το 50 % του κόστους παραγωγής του νερού. Έτσι, η εξασφάλιση φθηνής ενέργειας, όπως είναι συνήθως η γεωθερμική, έχει προφανώς πολύ ενδιαφέροντα αποτελέσματα. Η αφαλάτωση του θαλασσινού νερού μπορεί να γίνει εύκολα χωρίς ιδιαίτερα τεχνικά προβλήματα, με τη χρήση γεωθερμικού νερού θερμοκρασίας 60 - 100 °C.

Οι κυριότερες μέθοδοι θέρμανσης των γεωθερμικών θερμοκηπίων, είναι η χρήση αερόθερμων, η χρήση εναλλακτών θερμότητας (πλακών από ανοξείδωτο χάλυβα ή και από τιτάνιο) και η άμεση θέρμανση (με αγωγούς με πτερύγια ή πτυχώσεις). Σε ορισμένες περιπτώσεις το νερό οδηγείται αρχικά στα αερόθερμα και κατόπιν στους αγωγούς άμεσης θέρμανσης. Η επιλογή του τρόπου θέρμανσης εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία των ρευστών και τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά τους. Νερά με θερμοκρασία μικρότερη από 50 °C χρησιμοποιούνται συνήθως μόνο για άμεση θέρμανση.

6.4 Η γεωθερμία στον κόσμο

Το ποσό της γεωθερμικής ενέργειας που είναι αποθηκευμένο στα ανώτερα 5 km του φλοιού της γης ισοδυναμεί με περίπου 40 εκ. φορές τα παγκόσμια αποθέματα αργού πετρελαίου, αλλά λόγω της διασποράς και του γεγονότος ότι μεγάλο ποσοστό είναι σε χαμηλές θερμοκρασίες, μόνο ένα απειροελάχιστο μέρος είναι οικονομικά εκμεταλλεύσιμο. Οι πιο πυκνές και ρηχές συγκεντρώσεις γεωθερμικής ενέργειας βρίσκονται κατά μήκος της δυτικής ακτής της Αμερικάνικης Ηπείρου και της Καραϊβικής, στα νησιά του ρήγματος του Ατλαντικού, στη ζώνη Άλπεων - Ιμαλαΐων, στην ανατολική Αφρική και δυτική Αραβία, στην κεντρική Ασία και στη ζώνη του ανατολικού Ειρηνικού (σχ. 6.2).

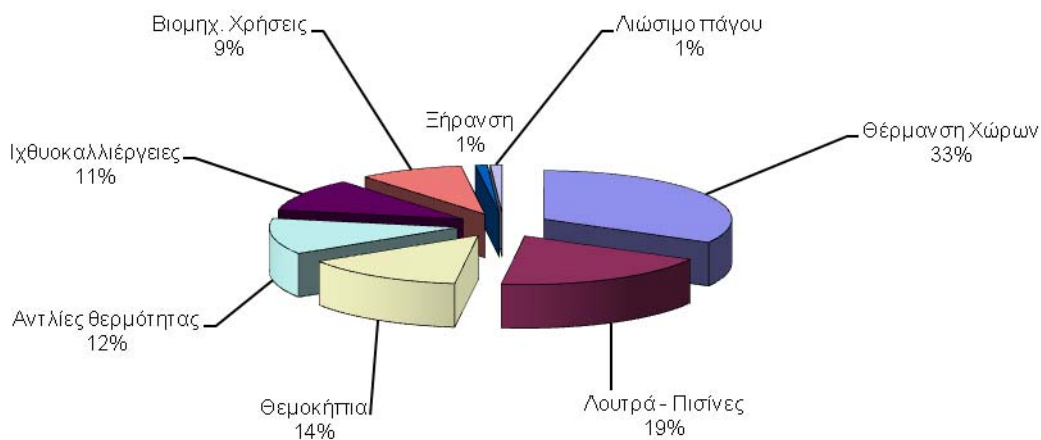
Η γεωθερμική ενέργεια αν και αποτελεί την τρίτη σημαντικότερη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας στον κόσμο, προβάλλεται λιγότερο από τα μέσα μαζικής ενημέρωσης σε σχέση με την αιολική ή την ηλιακή ενέργεια. Η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας έδωσε ώθηση στην εκμετάλλευση του σημαντικού αυτού ενεργειακού πόρου.

Η γεωθερμία υψηλής ενθαλπίας για την παραγωγή ηλεκτρισμού είναι ανταγωνιστική σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα. Εάν μια μονάδα συνδυαστεί και με άλλες χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας των ρευστών μετά το στρόβιλο, τότε η απόσβεση γίνεται ταχύτερα και η τιμή της παραγόμενης kWh μειώνεται αισθητά.

Τα γεωθερμικά ρευστά χαμηλής ενθαλπίας συναντώνται σε πολύ πιο εκτεταμένες περιοχές ανά τον κόσμο και ιδιαίτερα σε μεγάλες ιζηματογενείς λεκάνες και ζώνες ενεργού τεκτονικής. Υπάρχει εκτεταμένη χρήση αυτών, με αυξητικές τάσεις, που προσδιορίζονται κύρια από τα σημαντικά μικρότερα κόστη επένδυσης και χρήσης των συστημάτων λειτουργίας, σε σχέση με τη μέση και υψηλή ενθαλπία, καθώς και την πιο προσιτή τεχνολογία που απαιτείται.

Το γεωθερμικό δυναμικό τα τελευταία 15 χρόνια αυξάνεται με συντηρητικούς αλλά κανονικούς ρυθμούς, 5 % το έτος για την ηλεκτροπαραγωγή και 10 % για την παραγωγή θερμότητας. Επιπλέον οι δυνατότητες που υπάρχουν για αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού, αλλά και οι καινούργιες τεχνολογίες προοιωνίζουν ένα αισιόδοξο μέλλον.

Μέχρι σήμερα πάνω από 50 χώρες στον κόσμο έχουν εμπλακεί άμεσα ή έμμεσα στη γεωθερμική έρευνα και εκμετάλλευση (Ισλανδία, Ουγγαρία, χώρες πρώην ΕΣΣΔ, Ιταλία, ΗΠΑ, Γαλλία, Ιαπωνία, Ν. Ζηλανδία, κλπ). Μπορεί να θεωρηθεί πρωτοπόρος η Ισλανδία που καλύπτει πάνω από το 40 % των αναγκών της σε πρωτογενή ενέργεια με γεωθερμία. Η θέρμανση χώρων και νερού χρήσης αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο ποσοστό εφαρμογών, που μαζί με τις αντλίες θερμότητας, αντιστοιχούν περίπου στο 45 % των χρήσεων στον κόσμο (σχ. 6.4 [1]).



Σχήμα 6.4: Χρήσεις γεωθερμίας σε παγκόσμιο επίπεδο (1995).

Οι αγροτικές, αγροτοβιομηχανικές και υδατοκαλλιεργητικές εφαρμογές αντιπροσωπεύουν το 36 %, ενώ ένα σημαντικό ποσοστό (19 %) ανήκει στις ιαματικές και λουτρικές δραστηριότητες.

Στη γεωθερμία πρωτοπόρο ρόλο έχουν χώρες τεχνολογικά ανεπτυγμένες, όπως οι Η.Π.Α, Ιταλία, Ιαπωνία. Η Ιαπωνία κατέχει την κορυφαία θέση στη βιομηχανία γεωθερμικού εξοπλισμού στον κόσμο. Οι ιαπωνικές εταιρείες ελέγχουν περίπου το 70 % της παγκόσμιας αγοράς, όσον αφορά την γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή, ενώ όσον αφορά την παραγωγή θερμότητας είναι σχετικά δύσκολο να προσδιοριστεί το ποσοστό αυτό. Στους πίν 6.2, 6.3 [1] παρουσιάζεται η εγκατεστημένη ισχύς τόσο για ηλεκτροπαραγωγή, όσο και για παραγωγή θερμότητας ανά τον κόσμο.

Πίνακας 6.2: Εγκατεστημένη ισχύς γεωθερμικού δυναμικού ηλεκτροπαραγωγής (MW_{el}).

	1990	1995	1998
Ευρώπη	625	718	958
Αμερική	3.606	3.766	3.963
Ασία	1.270	1.980	3.000
Ωκεανία	283	286	365
Αφρική	49	49	53
Σύνολο	5.833	6.799	8.339

Πίνακας 6.3: Εγκατεστημένη ισχύς γεωθερμικού δυναμικού παραγωγής θερμότητας (MW_{th}).

	1995	1997
Ευρώπη	3.712	4.611

Αμερική	1.877	1.908
Ασία	2.233	3.117
Ωκεανία	264	264
Αφρική	114	71
Σύνολο	8.200	9.971

Τα οικονομικά και περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα της χρήσης γεωθερμίας ιδιαίτερα στην παραγωγή ηλεκτρισμού προοιωνίζουν μεγάλη ανάπτυξη στον τομέα αυτό βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα. Υπολογίζεται ότι το μελλοντικό γεωθερμικό δυναμικό για ηλεκτρισμό θα αποδώσει μέχρι το 2010 περίπου 18.800 MW_e. Στην Ευρώπη, όπου οι δυνατότητες εκμετάλλευσης της γεωθερμίας είναι ακόμα πολύ μεγάλες, εκτιμάται ότι το εγκατεστημένο γεωθερμικό δυναμικό για θέρμανση θα φτάσει μέχρι το 2010 τα 14.600 MW_{th}.

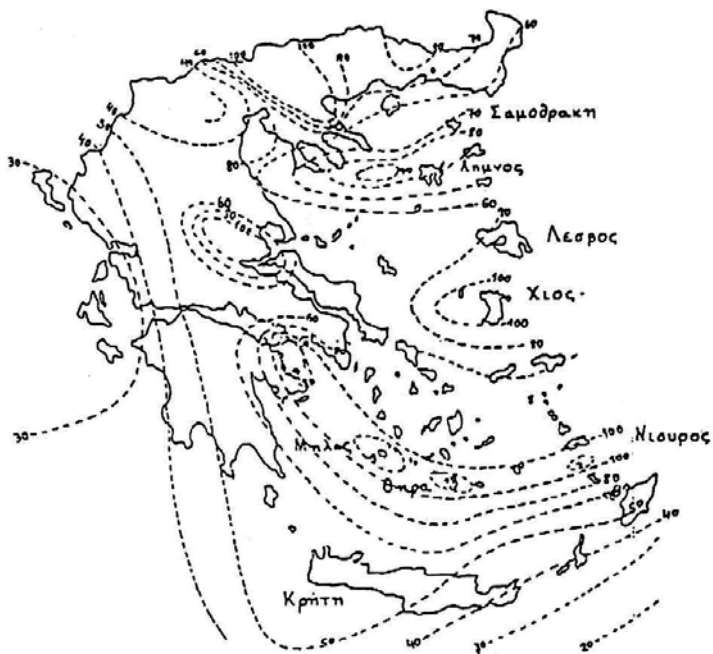
6.5 Η γεωθερμία στην Ελλάδα

Ο μέσος ρυθμός ροής της γεωθερμίας είναι 0,04 - 0,06 W/m² και για τη χώρα μας αντιστοιχεί σε 5 - 10 εκ. TΠΠ. Όμως η χώρα μας βρίσκεται σε περιοχή αυξημένης γεωθερμικής ροής και το διαθέσιμο γεωθερμικό δυναμικό είναι προφανώς πολύ μεγαλύτερο.

Λόγω κατάλληλων γεωλογικών συνθηκών, ο ελλαδικός χώρος διαθέτει σημαντικές γεωθερμικές πηγές και των τριών κατηγοριών (υψηλής, μέσης και χαμηλής ενθαλπίας) σε οικονομικά βάθη (100 – 1.500 m). Σε μερικές περιπτώσεις τα βάθη των γεωθερμικών ταμιευτήρων είναι πολύ μικρά, κάνοντας ιδιαίτερα ελκυστική, από οικονομική άποψη, τη γεωθερμική εκμετάλλευση.

Η έρευνα για την αναζήτηση γεωθερμικής ενέργειας άρχισε ουσιαστικά το 1971 και μέχρι το 1979 (πριν από τη δεύτερη ενεργειακή κρίση) αφορούσε μόνο τις περιοχές υψηλής ενθαλπίας. Κατά την εξέλιξη των εργασιών η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, ως άμεσα ενδιαφερόμενη για την ηλεκτροπαραγωγή, ανέλαβε τις παραγωγικές γεωτρήσεις υψηλής ενθαλπίας και την ανάπτυξη των πεδίων, χρηματοδοτώντας επιπλέον τις έρευνες στις πιθανές για τέτοια ρευστά γεωθερμικές περιοχές. Συντάχθηκε ο προκαταρκτικός χάρτης γεωθερμικής ροής του ελληνικού χώρου (σχ. 6.5 [1]), όπου φαίνεται ότι στην Ελλάδα η γεωθερμική ροή σε πολλές περιοχές είναι εντονότερη από τη μέση γήινη.

Στο σχ. 6.6 [1], διακρίνονται οι περιοχές αυξημένου γεωθερμικού ενδιαφέροντος.



Σχήμα 6.5: Χάρτης γεωθερμικής ροής ελλαδικού χώρου (τιμές σε W/m^2).



Σχήμα 6.6: Περιοχές της Ελλάδας με γεωθερμικό ενδιαφέρον.

Από το 1971 ερευνήθηκαν οι περιοχές: Μήλος, Νίσυρος, Λέσβος, Μέθανα, Σουσάκι Κορινθίας, Καμένα Βούρλα, Θερμοπόλες, Υπάτη, Αιδηψός, Κίμωλος, Πολύαιγος, Σαντορίνη, Κώς, Νότια Θεσσαλία, Αλμωπία, περιοχή Στρυμόνα, περιοχή Ξάνθης, Σαμοθράκη, κλπ (σχ. 6.7 [1]).



Σχήμα 6.7: Γεωθερμικά πεδία ελληνικού χώρου.

Η αυξημένη ροή θερμότητας, λόγω της έντονης τεκτονικής και μαγματικής δραστηριότητας, δημιούργησε εκτεταμένες θερμικές ανωμαλίες, με μέγιστες τιμές γεωθερμικής βαθμίδας, πολλές φορές πάνω από $100\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$. Σε κατάλληλες γεωλογικές συνθήκες, η ενέργεια αυτή θερμαίνει «ρηχούς», υπόγειους ταμιευτήρες ρευστών σε θερμοκρασίες μέχρι $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας είναι διάσπαρτα στη νησιωτική και ηπειρωτική Ελλάδα. Η συμβολή τους στο ενεργειακό ισοζύγιο μπορεί να γίνει σημαντική, αφού αποτελούν ενεργειακό πόρο φιλικό προς το περιβάλλον, κοινωνικά αποδεκτό και παρουσιάζουν σημαντικό οικονομικό και αναπτυξιακό ενδιαφέρον.

Στον πίν 6.4 [1], δίνονται οι περιοχές της Ελλάδας με αυξημένη γεωθερμική ενέργεια και το εκτιμώμενο διαθέσιμο και εκμεταλλεύσιμο ενεργειακό δυναμικό, σύμφωνα με το σημερινό επίπεδο διερεύνησής του.

Στο σχ. 6.7 και στον πίν 6.4, φαίνεται πως πεδία υψηλής ενθαλπίας βρίσκονται στη Μήλο και τη Νίσυρο, νησιά απομακρυσμένα από την ηπειρωτική χώρα, γεγονός που από μόνο του βάζει περιορισμούς στην εκμετάλλευση των πεδίων αυτών. Γίνεται αντιληπτό επίσης ότι οι πιο ενδιαφέρουσες περιοχές χαμηλής ενθαλπίας βρίσκονται στην Β. Ελλάδα. Στις περιοχές αυτές έχουν προσανατολιστεί και οι αντίστοιχες έρευνες εκμετάλλευσης του γεωδυναμικού της χώρας.

Στη Μήλο και Νίσυρο έχουν ανακαλυφθεί σπουδαία γεωθερμικά πεδία και έχουν γίνει γεωτρήσεις παραγωγής. Στη Μήλο μετρήθηκαν θερμοκρασίες μέχρι $325\text{ }^{\circ}\text{C}$ σε βάθος 1.000 m και στη Νίσυρο $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ σε βάθος 1.500 m . Οι γεωτρήσεις αυτές θα μπορούσαν να στηρίζουν μονάδες ηλεκτροπαραγωγής 20 και 5 MW_e , ενώ το πιθανό συνολικό δυναμικό υπολογίζεται να είναι της τάξης των 200 και 50 MW_e αντίστοιχα. Η Μήλος φάνηκε από την αρχή ότι είχε τις πιο ενθαρρυντικές προϋποθέσεις και σε αυτήν οι έρευνες προχώρησαν περισσότερο από τις άλλες περιοχές. Το γεωθερμικό πεδίο της Μήλου (υψηλής ενθαλπίας) έχει έκταση τουλάχιστον 50 km^2 και το παραγόμενο δυναμικό θα μπορούσε να φθάσει τα $100\text{-}120\text{ MW}$. Η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού προγραμματίισε σε πρώτη φάση την εγκατάσταση πειραματικής μονάδας $1,5\text{ - }2\text{ MW}$ για να καλύψει τις ανάγκες του νησιού σε ρεύμα. Εκτός από τα πεδία της Μήλου και της Νίσυρου, προέκυψαν ικανοποιητικά στοιχεία για πιθανά πεδία υψηλής ή μέσης ενθαλπίας στην Κίμωλο, Σαντορίνη, Κω, Λέσβο,

Σαμοθράκη και Σουσάκι Κορινθίας. Στη συνέχεια παρουσιάζονται κάποιες από τις εφαρμογές της γεωθερμίας στον ελλαδικό χώρο.

Ομαδικές θερμάνσεις

Περιοχές όπου θα μπορούσαν να εφαρμοστούν ομαδικές θερμάνσεις είναι η Μήλος, η περιοχή της Νιγρίτας και οι Σέρρες. Η συμμετοχή όμως στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας θεωρείται αμελητέα και για το λόγο αυτό δεν εξετάζονται οι εφαρμογές αυτές.

Εφαρμογές στην αγροτική οικονομία

Οι πιο ελπιδοφόρες εφαρμογές της γεωθερμίας στη χώρα μας είναι στην αγροτική οικονομία, σε θερμοκήπια και ιχθυοκαλλιέργειες. Και αυτό γιατί υπάρχει σημαντικός αριθμός πεδίων χαμηλής ενθαλπίας, από τα οποία τα περισσότερα βρίσκονται σε μικρά βάθη, έχουν περιορισμένη περιεκτικότητα σε αλάτι και είναι διεσπαρμένα στο μεγαλύτερο μέρος του ελληνικού χώρου. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην άντληση και εκμετάλλευση των ζεστών νερών η ήδη ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνολογία, στην άρδευση με κατάλληλη μόνωση των αγωγών μεταφοράς.

Βιομηχανικές χρήσεις

Επειδή η μεταφορά των γεωθερμικών ρευστών σε μεγάλες αποστάσεις είναι γενικά αντιοικονομική, είναι προφανές ότι ουσιαστική χρησιμοποίηση της γεωθερμίας στη βιομηχανία μπορεί να γίνει όπου συνυπάρχουν γεωθερμικά πεδία και βιομηχανίες που μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα γεωθερμικά ρευστά. Στη χώρα μας καταλληλότερες φαίνονται οι βιομηχανίες επεξεργασίας αγροτικών προϊόντων, (βλ και πίν 9.1), που βρίσκονται στην πλειοψηφία τους στην Β. Ελλάδα και το μεγαλύτερο μέρος των αναγκών τους σε θερμότητα είναι για θερμοκρασίες κάτω από 80 °C. Υπάρχουν όμως δύο βασικά προβλήματα που μας αναγκάζουν να αρκεστούμε σε αυτές τις γενικές διαπιστώσεις. Το πρώτο έχει να κάνει με την έλλειψη ολοκληρωμένων στοιχείων για το δυναμικό της γεωθερμίας, ενώ το δεύτερο έχει να κάνει με την έλλειψη στοιχείων για τα προφίλ κατανάλωσης θερμότητας στις εν λόγω βιομηχανίες. Η έρευνα και για τα δύο βρίσκεται σε εξέλιξη.

Πίνακας 6.4: Περιοχές της Ελλάδας αυξημένης γεωθερμικής ενέργειας.

α) υψηλής ενθαλπίας							
	Γεωτρήσεις				Δυναμικό		
Περιοχή	Πλήθος	Βάθος [m]	Θερμοκρασία [°C]	Παροχή [t/h]	Διαθ/μο [MW _e]	Εκμ/μο [MW _e]	
ν.Μήλος	5	1.000-1.400	ταμ: 300-325 καφ: 200-220	350	120	20-25	
ν.Νίσυρος	2	1.400-1.550	ταμ: 317-349	23	50	5	
β) χαμηλής ενθαλπίας							
	Πεδίο		Θερμοκρασία		Δυναμικό		
Περιοχή	Έκταση [km ²]	Βάθος [m]	Εύρος [°C]	Μέση [°C]	Διαθέσιμο [m ³ /h] - [ΤΠ/α]	Πιθανό [m ³ /h] - [ΤΠ/α]	
<i>ν. Λέσβος</i>							
Πολιχνίτος	10	50-150	70-95	85	300	13.245	1.000
Στίψη-Καλονή		70					
Αργενός		40-100	80-86	85	600	26.490	1.500
<i>Μακεδονία</i>							
Δέλτα Νέστου	40	700-1400	80-125	100	100	5.470	2.000
Νιγρίτα	15	120-450	40-60	50	400	785	1.000
Ηράκλεια	25	200-400	40-62	50	50	980	500
Σιδηρόκαστρο	6	50-350	40-57	50	150	2.940	1.000
Λαγκαδάς	6	100-250	35-40	37,5	400	4.345	1.000
Νυμφόπετρα	2	100-150	37-44	40	200	2.520	500
Ν. Απολλωνία	2	50-100	44-52	47,5	350	6.255	600
Ελατοχώρια		60-100	33-42	38	800	8.970	1.500
<i>Θράκη</i>							
Ν. Κεσσάνη	15	120-350	40-80	70	250	8.410	1.000
Μάγγανα		300-400	50-52				
<i>Λοιπές</i>							
ν. Σαντορίνη				70			
ν. Μήλος		20-200	40-100				
Θερμοπύλες				42	400	5.610	
Αιδηγός				78	250	9.810	
Σουσάκι		60-150	50-75				
Σύνολο	121	40-1.400	33-125	37,5-90	3.650	95.830	11.600
							329.435

