



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΡΕΥΣΤΩΝ

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ 301 ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟ ΒΑΣΗΣ



Διπλωματική Εργασία

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΛΙΑΠΗΣ

ΑΘΗΝΑ

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2010

Πρόλογος

Μία υπέροχη περίοδος της ζωής μου φτάνει στο τέλος της. Η φοίτησή μου στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο ολοκληρώνεται με την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Οφείλω και θα ήθελα λοιπόν να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου στους ανθρώπους που τα τρία τελευταία χρόνια σημάδεψαν αυτό το καταπληκτικό ταξίδι στη γνώση.

Ευχαριστώ καταρχήν όλους τους καθηγητές μου στη Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, οι οποίοι με περισσό ζήλο και παρά τις αντίξοες πολλές φορές συνθήκες πέτυχαν να μας μεταλαμπαδεύσουν τις γνώσεις και τη νοοτροπία αυτής της συναρπαστικής επιστήμης.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον καθηγητή μου κ. Αρθούρο Ζερβό, ο οποίος με χαρά δέχθηκε να επιβλέψει την παρούσα διπλωματική εργασία, καθώς και στους συνεργάτες του κ. Γιώργο Κάραλη και κ. Αντώνη Σαλιάγκα, των οποίων η καθοδήγηση υπήρξε πολύτιμη.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη διοίκηση και το προσωπικό του 301 Εργοστασίου Βάσης για την σημαντική βοήθεια τους στη συλλογή των απαραίτητων στοιχείων.

Δεν θα ξεχάσω φυσικά τους συνοδοιπόρους μου σε αυτό το ταξίδι, τους συμφοιτητές μου στη Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, με τους οποίους η συνεργασία ήταν επικοινωνιακή και η παρέα απολαυστική!

Τέλος, θα ήθελα να αφιερώσω την διπλωματική μου εργασία στους γονείς μου Γιάννη και Άννα, καθώς και στα αδέρφια μου Δημήτρη και Μαρία. Η συμπαράσταση τους σε κάθε μου βήμα δεν παύει να είναι ανεκτίμητη και ανεξάντλητη...

Π.Λ.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

1.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
1.2.	ΟΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	7
1.2.1.	Ιστορικά στοιχεία.....	7
1.2.2.	Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην Ελλάδα.....	10
1.2.3.	Πλεονεκτήματα χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.....	11
1.3.	ΤΟ 301 ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟ ΒΑΣΗΣ.....	13
1.3.1.	Παρουσίαση του Εργοστασίου.....	13
1.3.2.	Ενεργειακές ανάγκες του Εργοστασίου.....	16

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟ 301 ΕΒ

2.1.	ΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	17
2.1.1.	Φωτοβολταϊκό στοιχείο.....	17
2.1.2.	Τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων.....	18
2.1.3.	Φωτοβολταϊκό σύστημα.....	22
2.1.4.	Διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα.....	25
2.2.	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΟ 301 ΕΒ.....	27
2.2.1.	Τοποθέτηση φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	27
2.2.2.	Ηλιακή ακτινοβολία και παραγόμενη ενέργεια.....	29
2.3.	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ.....	35
2.3.1.	Κόστος και χρηματοδότηση της επένδυσης.....	35
2.3.2.	Χρηματική ροή.....	36
2.3.3.	Υπολογισμός οικονομικών δεικτών.....	40
2.3.4.	Διερεύνηση παραμέτρων.....	45

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟ 301 ΕΒ

3.1.	ΤΑ ΘΕΡΜΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	47
3.1.1.	Ηλιακοί συλλέκτες.....	47
3.1.2.	Ηλιακά συστήματα θέρμανσης νερού.....	51
3.1.3.	Ηλιακά συστήματα θέρμανσης χώρων.....	53
3.1.4.	Συστήματα ηλιακού κλιματισμού.....	55
3.2.	ΚΑΛΥΨΗ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΤΟΥ 301 ΕΒ ΑΠΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ COMBI.....	61
3.2.1.	Τοποθέτηση ηλιακών συλλεκτών.....	62
3.2.2.	Υπολογισμός θερμικού φορτίου.....	63
3.2.3.	Ετήσια κάλυψη θερμικών αναγκών.....	66
3.3.	ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟ 301 ΕΒ....	69
3.3.1.	Παραγωγή ζεστού νερού χρήσης από ηλιακά συστήματα.....	69
3.3.2.	Ηλιακός κλιματισμός.....	70

3.4.	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	72
3.4.1.	Κόστος και εξοικονόμηση συστημάτων COMBI.....	72
3.4.2.	Κόστος και εξοικονόμηση θερμοσιφωνικών συστημάτων.....	73
3.4.3.	Κόστος και εξοικονόμηση συστημάτων ηλιακού κλιματισμού.....	73
3.4.4.	Επίδραση της συλλεκτικής επιφάνειας.....	74

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟ 301 ΕΒ

4.1.	ΤΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	77
4.1.1.	Γεωθερμία και γεωθερμικό σύστημα.....	77
4.1.2.	Τύποι γεωθερμικών συστημάτων.....	79
4.1.3.	Λειτουργία της γεωθερμικής αντλίας.....	81
4.2.	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ ΣΤΟ 301 ΕΒ.....	84
4.2.1.	Επιλογή γεωθερμικού συστήματος.....	84
4.2.2.	Τοποθέτηση γεωεναλλακτών.....	84
4.2.3.	Επιλογή γεωθερμικών αντλιών και αποδιδόμενη ισχύς.....	87
4.2.4.	Τοποθέτηση κυκλοφορητή στην είσοδο της γεωθερμικής αντλίας.....	89
4.2.5.	Κύκλωμα εσωτερικής διανομής θερμότητας.....	96
4.3.	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	98
4.3.1.	Κόστος γεωθερμικών συστημάτων.....	98
4.3.2.	Εξοικονόμηση.....	101

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΤΕΛΙΚΕΣ ΔΙΑΠΙΣΤΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1.	ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΤΑΣΕΩΝ.....	103
5.2.	ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	105

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	107
ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΕΣ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ.....	107
ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ.....	108

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα σοβαρά περιβαλλοντολογικά προβλήματα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και του φαινομένου του θερμοκηπίου, σε συνδυασμό με τις συνεχώς αυξανόμενες ενεργειακές ανάγκες του παγκόσμιου πληθυσμού και τους φόβους για ραγδαία μείωση και εξάντληση των αποθεμάτων των συμβατικών καυσίμων, οδηγούν τα τελευταία χρόνια τις κυβερνήσεις των αναπτυγμένων και αναπτυσσόμενων κρατών του πλανήτη να εντάξουν αποφασιστικά στην ενεργειακή τους στρατηγική τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ).



Εικόνα 1.1: Εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στη Ρωσία ^[46]

Στα πλαίσια αυτής της πολιτικής, καθώς και των υποχρεώσεων που πηγάζουν από σχετικές Ευρωπαϊκές Οδηγίες, αλλά και από την υπογραφή του Πρωτοκόλλου του Κιότο, το ελληνικό κράτος έχει δύο δεσμευτικούς στόχους για το έτος 2020 ^[1]:

α) Μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου τουλάχιστον κατά 20% σε σχέση με τα επίπεδα του έτους 1990.

β) Το 20% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας να προέρχεται από ΑΠΕ.

Καθίσταται προφανές λοιπόν ότι η εντατικοποίηση της χρήσης ΑΠΕ είναι ένας από τους σημαντικότερους μηχανισμούς επίτευξης των παραπάνω στόχων, αλλά και υλοποίησης μιας ευαίσθητης περιβαλλοντολογικά πολιτικής, που αποτελεί στις μέρες μας καθολική απαίτηση.

Οι Ένοπλες Δυνάμεις (ΕΔ) αποτελούν ένα κλάδο της ελληνικής κοινωνίας, που δραστηριοποιείται καθημερινά σε πολλούς τομείς. Η κύρια αποστολή τους, που είναι η υπεράσπιση της εθνικής ανεξαρτησίας και της ακεραιότητας της χώρας, απαιτεί την συνεχή εκπαίδευση των μονάδων και τη διεξαγωγή μικρότερης ή μεγαλύτερης κλίμακας ασκήσεων.



Εικόνα 1.2: Βολή από ελικόπτερο APACHE κατά τη διεξαγωγή άσκησης ^[40]

Παράλληλα, το έργο τους επεκτείνεται και σε κοινωνικό επίπεδο, τόσο με την αρωγή στην πολιτεία σε περιπτώσεις αντιμετώπισης εκτάκτων αναγκών, όσο και με την προσφορά τους για την επίλυση προβλημάτων και την ανάπτυξη σε τοπικό επίπεδο, μέσα από τη στενή συνεργασία που έχουν οι διάφορες μονάδες και υπηρεσίες των ΕΔ με την περιφερειακή αυτοδιοίκηση και τους αρμόδιους φορείς.



Εικόνα 1.3: Όχημα του Μηχανικού σε εργασίες διαμόρφωσης αγροτικού δρόμου ^[40]

Για την διεξαγωγή των δραστηριοτήτων αυτών, το προσωπικό των ΕΔ χρησιμοποιεί ένα ευρύ σύνολο εγκαταστάσεων, ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού και μηχανοκίνητων μέσων. Γίνεται επομένως εύκολα αντιληπτό από όλα τα παραπάνω ότι, οι ΕΔ συγκροτούν ένα δραστήριο, ζωντανό οργανισμό, με ποικίλες ενεργειακές ανάγκες και η ιδέα να χρησιμοποιηθούν ΑΠΕ για να καλυφθεί έστω ένα μέρος των αναγκών αυτών φαίνεται εκ πρώτης όψews ιδιαίτερα ελκυστική.

Επιπλέον, πρόσφατα υπογράφηκε μνημόνιο συνεργασίας μεταξύ του Υπουργείου Εθνικής Άμυνας (ΥΠΕΘΑ) και του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ) με στόχο τη συνεργασία και την προώθηση πρωτοβουλιών για την υλοποίηση περιβαλλοντικών δράσεων στους τομείς ευθύνης του ΥΠΕΘΑ. «Πράσινα» στρατόπεδα και νοσοκομεία, περιβαλλοντικές επιθεωρήσεις, προώθηση της χρήσης φυσικού αερίου και ενεργειακή αναβάθμιση εγκαταστάσεων θα αποτελέσουν μερικούς από τους τομείς συνεργασίας ανάμεσα στα δύο Υπουργεία.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιείται η μελέτη εφαρμογής ΑΠΕ στο 301 Εργοστάσιο Βάσης (301 ΕΒ), ένα στρατιωτικό χώρο με αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις. Αρχικά, παρουσιάζονται συνοπτικά οι ΑΠΕ και παρατίθενται κάποια στοιχεία για το 301 ΕΒ. Κατόπιν, αναπτύσσονται οι αντίστοιχες τεχνολογίες που δύναται να χρησιμοποιηθούν στο χώρο του Εργοστασίου, μελετάται η εφαρμογή τους και αξιολογούνται από οικονομοτεχνικής πλευράς, σύμφωνα με τα διαθέσιμα στοιχεία. Ουσιαστικός σκοπός της μελέτης αυτής είναι η διαστασιολόγηση συστημάτων ΑΠΕ στο 301 ΕΒ και η οικονομική τους αποτίμηση.

1.2. ΟΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.2.1. Ιστορικά στοιχεία

Η δημιουργία και η εξελικτική πορεία του ανθρώπινου πολιτισμού είναι άμεσα συνυφασμένη με την χρήση των ενεργειακών πηγών. Από την αρχή της ιστορίας του, ο άνθρωπος προσπάθησε να επινοήσει τρόπους για να εκμεταλλευτεί τις φυσικές πηγές ενέργειας προς όφελός του.

Η προσπάθεια αυτή ξεκινά περίπου 500.000 χρόνια πριν, με την ανακάλυψη της φωτιάς ^[1]. Ο άνθρωπος κατάφερε να θέσει τη φωτιά υπό τον έλεγχό του, ώστε να χρησιμοποιήσει τη θερμότητα και το φως της για να ζεσταθεί από το κρύο και να βλέπει στο σκοτάδι. Στη συνέχεια, ανακαλύπτοντας κι άλλες χρήσεις της φωτιάς, όπως η επεξεργασία των μετάλλων, κατάφερε να κατασκευάσει αντικείμενα, που διευκόλυναν τη ζωή του κι έδωσαν ώθηση στην ανάπτυξη των κοινωνιών του.

Αργότερα και περίπου 6000 χρόνια πριν, με την δύναμη του ανέμου ταξίδεψαν στη Μεσόγειο τα πρώτα πλοία ^[2]. Η σκέψη της χρήσης του ανέμου ως κινητήρια δύναμη οδήγησε στην ανάπτυξη της ναυσιπλοΐας, η οποία άνοιξε νέους ορίζοντες στο εμπόριο και τις μετακινήσεις.

Επιπλέον, οι λαοί της Μεσοποταμίας και της Κίνας, περί το 700 π.Χ., καθώς και ο Ήρων ο Αλεξανδρεύς τον 1^ο μ.Χ. αιώνα, εκμεταλλεύτηκαν τον άνεμο για την κατασκευή των πρώτων ανεμόμυλων, που χρησιμοποιήθηκαν κυρίως στην άντληση νερού και στην άλεση γεωργικών προϊόντων. Η χρήση των ανεμόμυλων στην Ελλάδα καθιερώθηκε τη Βυζαντινή περίοδο και υπήρξε αρκετά εκτεταμένη μέχρι και τις αρχές του 20^{ου} αιώνα, ιδίως στα νησιά του Αιγαίου ^[19].



Εικόνα 1.4: Ανεμόμυλοι στη Μύκονο ^[49]

Παράλληλα, την ίδια εποχή, τον 1^ο μ.Χ. αιώνα, οι Ρωμαίοι ήταν οι πρώτοι, που χρησιμοποίησαν τη δύναμη του νερού για την παραγωγή μηχανικής ενέργειας ^[5]. Κατασκεύασαν υδροστρόβιλους με τη μορφή υδραυλικών τροχών, οι οποίοι βρήκαν εφαρμογή τόσο σε αρδευτικά έργα της εποχής, όσο και στους γνωστούς μας νερόμυλους.



Εικόνα 1.5: Νερόμυλος ελαιοτριβείου στο Αίγιο Αχαΐας (Μουσείο Εφταπίτας) ^[21]

Ο άνθρωπος λοιπόν για πολλές χιλιάδες χρόνια έκανε χρήση των άμεσα διαθέσιμων φυσικών πηγών (το ξύλο ως καύσιμο για φωτιά, τον άνεμο, το νερό), προκειμένου να καλύψει τις ενεργειακές του ανάγκες. Η βιομηχανική επανάσταση που ξεκίνησε στις αρχές του 19^{ου} αιώνα άλλαξε ριζικά αυτή την κατάσταση. Πραγματοποιήθηκαν σπουδαίες ανακαλύψεις όπως η ατμομηχανή, ο ηλεκτρισμός, οι μηχανές εσωτερικής καύσης, η ατομική ενέργεια κ.α., οι οποίες σηματοδότησαν το πέρασμα από τις πατροπαράδοτες φυσικές πηγές ενέργειας στην εντατική χρήση του πετρελαίου, του άνθρακα και των υπόλοιπων ορυκτών καυσίμων ως κύριες ενεργειακές πηγές.

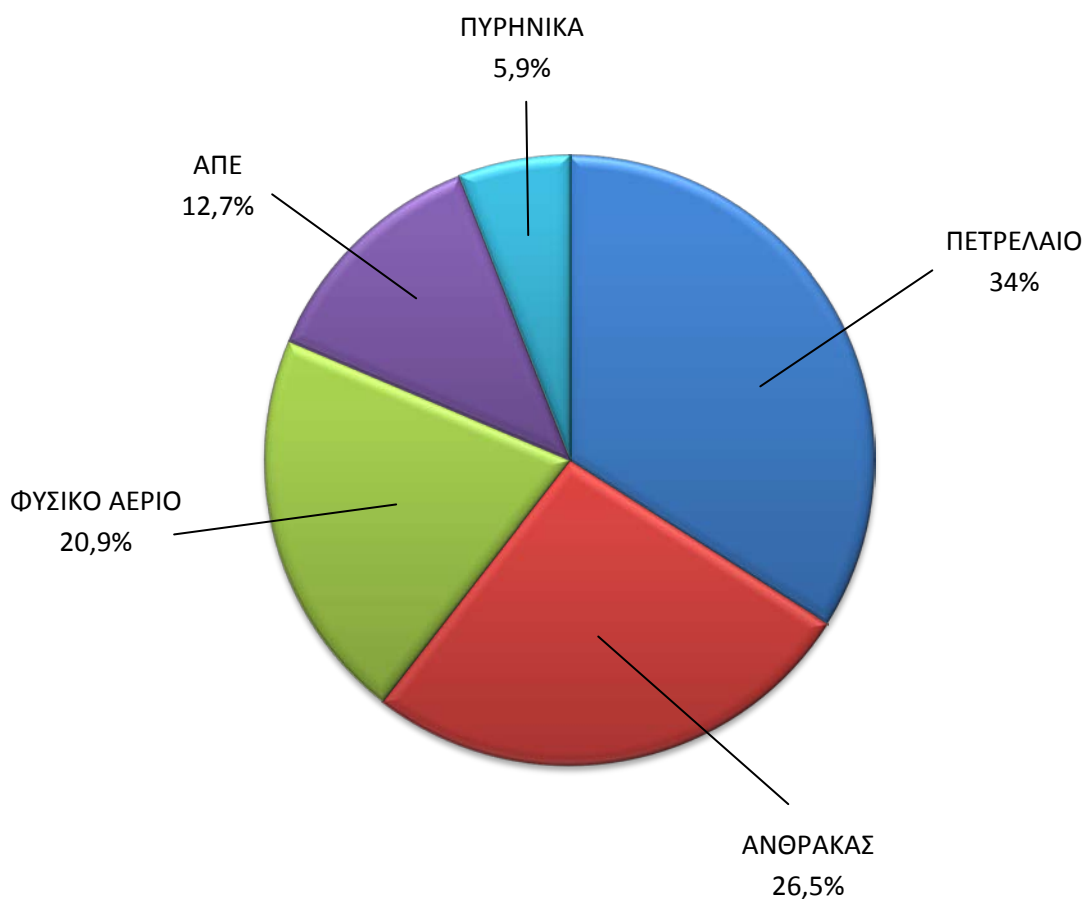
Η ραγδαία τεχνολογική και βιομηχανική ανάπτυξη του 19^{ου} και του 20^{ου} αιώνα πολλαπλασίασε την παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση, γεγονός που ενέπνευσε ανησυχία για τη μελλοντική επάρκεια κοιτασμάτων των ορυκτών καυσίμων. Παράλληλα, άρχισαν να εμφανίζονται πολύ σημαντικά οικολογικά προβλήματα εξαιτίας της αλόγιστης χρήσης των συμβατικών καυσίμων, καθώς και σοβαρά ατυχήματα που έθεσαν υπό αμφισβήτηση την εκτεταμένη χρήση της πυρηνικής ενέργειας.

Έτσι, από τα τέλη του 20^{ου} αιώνα, η σκέψη της επαναχρησιμοποίησης φυσικών πηγών ενέργειας φιλικών προς το περιβάλλον βρέθηκε ξανά στο προσκήνιο. Η ηλιακή, η αιολική, η θαλάσσια και η υδροδυναμική ενέργεια, η βιομάζα και η γεωθερμία απόκτησαν ιδιαίτερο ενδιαφέρον και καθιερώθηκαν στην παγκόσμια ενεργειακή σκηνή με τον όρο “Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας” (ΑΠΕ) ^[1].

Ήδη από τη δεκαετία του '70 ξεκίνησαν να εμφανίζονται διάφορες νέες τεχνικές εφαρμογής τους και να βελτιώνονται οι ήδη υπάρχουσες. Οι ανεμογεννήτριες, τα φωτοβολταϊκά, οι ηλιακοί συλλέκτες, η ηλιακή ψύξη, τα μικρά και μεγάλα υδροηλεκτρικά, οι σταθμοί καύσης βιομάζας και βιοκαυσίμων, οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, αποτελούν χαρακτηριστικά παραδείγματα

τεχνολογιών ΑΠΕ, που τα τελευταία χρόνια μελετήθηκαν συστηματικά και αναπτύχθηκαν, ώστε να προσφέρουν λύσεις στο ενεργειακό ζήτημα.

Σήμερα, τον 21^ο αιώνα, τα ορυκτά καύσιμα παραμένουν η κύρια ενεργειακή πηγή παγκοσμίως, όμως και οι ΑΠΕ κατέχουν ένα σημαντικό ποσοστό στη συνεισφορά των ενεργειακών πηγών στην παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας. Σε αυτό έχει συμβάλει σημαντικά και η σύγχρονη τεχνολογία, που επιτρέπει τη συνεχή βελτίωση των τεχνικών, ώστε η εφαρμογή ΑΠΕ να καθίσταται πλέον, πέραν από περιβαλλοντολογικά φιλική, και οικονομικά αποδοτική.



Σχήμα 1.6: Συνεισφορά των ενεργειακών πηγών στην παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας το 2007 ^[14]

1.2.2. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα, η ιστορία της ανάπτυξης των ΑΠΕ ξεκινά το 1985 με την πρώτη προσπάθεια νομοθετικής ρύθμισης θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από εναλλακτικές μορφές ενέργειας. Ουσιαστικό βήμα για την ένταξη των ΑΠΕ στο ελληνικό ενεργειακό σύστημα πραγματοποιήθηκε το 1994 με την ψήφιση του νόμου 2244/94, που περιείχε εξαιρετικά ευνοϊκούς όρους για τους επενδυτές. Έκτοτε, το ενδιαφέρον του ιδιωτικού τομέα για επενδύσεις στις ΑΠΕ έχει υπάρξει έντονο, με το σύνολο των αιτήσεων να φτάνει το 2004 τα 16.000 MW. Παρόλα αυτά, η υλοποίηση των αντιστοίχων έργων καθυστερεί σημαντικά λόγω της δαιδαλώδους αδειοδοτικής διαδικασίας, της ανάγκης εκσυγχρονισμού κι επέκτασης του δικτύου, καθώς και των έντονων αντιδράσεων των κατοίκων σε ορισμένες περιοχές. Γι' αυτό και το ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ στην πρωτογενή ενεργειακή ζήτηση της χώρας μας ανέρχεται σήμερα μόλις στο 5,5% περίπου ^[1].

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	2000	2004	2006	ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ 2010
ΑΙΟΛΙΚΑ	214 MW	465 MW	745 MW	1500-2100 MW
ΜΕΓΑΛΑ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ	2988 MW	3060 MW	3060 MW	3686 MW
ΜΙΚΡΑ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ	39 MW	70 MW	108 MW	200-250 MW
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ	0,8 MWp	4,5 MWp	6,7 MWp	300-350 MWp
ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ	2.700.000 m ²	3.000.000 m ²	3.300.000 m ²	4.500.000-5.000.000 m ²
ΒΙΟΜΑΖΑ-ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ	846 χΤΙΠ	900 χΤΙΠ	940 χΤΙΠ	1300-1500 χΤΙΠ
ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ	58 MWth	80 MWth	100MWth	200-250 MWth 100 MWe

Πίνακας 1.7: Κατάσταση και προοπτικές ΑΠΕ στην Ελλάδα ^[1]

Στη συνέχεια παραθέτονται οι σημαντικότερες ελληνικές νομοθετικές διατάξεις, οι οποίες σχετίζονται με τις ΑΠΕ ^[1]:

- **N.3734/09 (ΦΕΚ Α' 8/28-1-09):** «Προώθηση της συμπαραγωγής δύο ή περισσότερων χρήσιμων μορφών ενέργειας, ρύθμιση ζητημάτων σχετικών με το Υδροηλεκτρικό Έργο Μεσοχώρας και άλλες διατάξεις»
- **N.3468/06 (ΦΕΚ Α' 129/27-6-06):** «Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις».

- **N. 2941/01 (Τεύχος ΦΕΚ Α' 201/12-09-01):** «Απλοποίηση διαδικασιών ίδρυσης εταιρειών, αδειοδότησης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, ρύθμιση θεμάτων της Α.Ε. «ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΝΑΥΠΗΓΕΙΑ» και άλλες διατάξεις»
- **N. 2244/94 (Τεύχος ΦΕΚ Α' 168/07-10-94):** «Ρύθμιση θεμάτων Ηλεκτροπαραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις»
- **N. 2773/99 (Τεύχος ΦΕΚ Α' 286/22-12-99):** «Απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας - Ρύθμιση θεμάτων ενεργειακής πολιτικής και λοιπές διατάξεις»
- **N. 2647/98 (Τεύχος ΦΕΚ Α' 237/22-10-98):** «Μεταβίβαση αρμοδιοτήτων στις περιφέρειες και την αυτοδιοίκηση και άλλες διατάξεις»
- **Υ.Α. Δ6/Φ1/ΟΙΚ.13129/2.8.96 ΥΠ.ΑΝ (Τεύχος ΦΕΚ Β 766/28.8.1996):** «Προσδιορισμός παραβάσεων και καθορισμός διαδικασίας επιβολής σχετικών κυρώσεων σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής»
- **Υ.Α. ΣΕ 2708/17-12-87 ΥΒΕΤ (Τεύχος ΦΕΚ Β' 761):** «Δικαιολογητικά που απαιτούνται για την έκδοση αδειών ίδρυσης, εγκατάστασης και λειτουργίας των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής»

Πρόσφατα, στις 27 Μαΐου 2010, υπερψηφίστηκε από την Ολομέλεια του Ελληνικού Κοινοβουλίου, νέο σημαντικό νομοσχέδιο για τις ΑΠΕ:

Νόμος 3851/2010 – Α 85/04.06.2010: Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής.

1.2.3. Πλεονεκτήματα χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

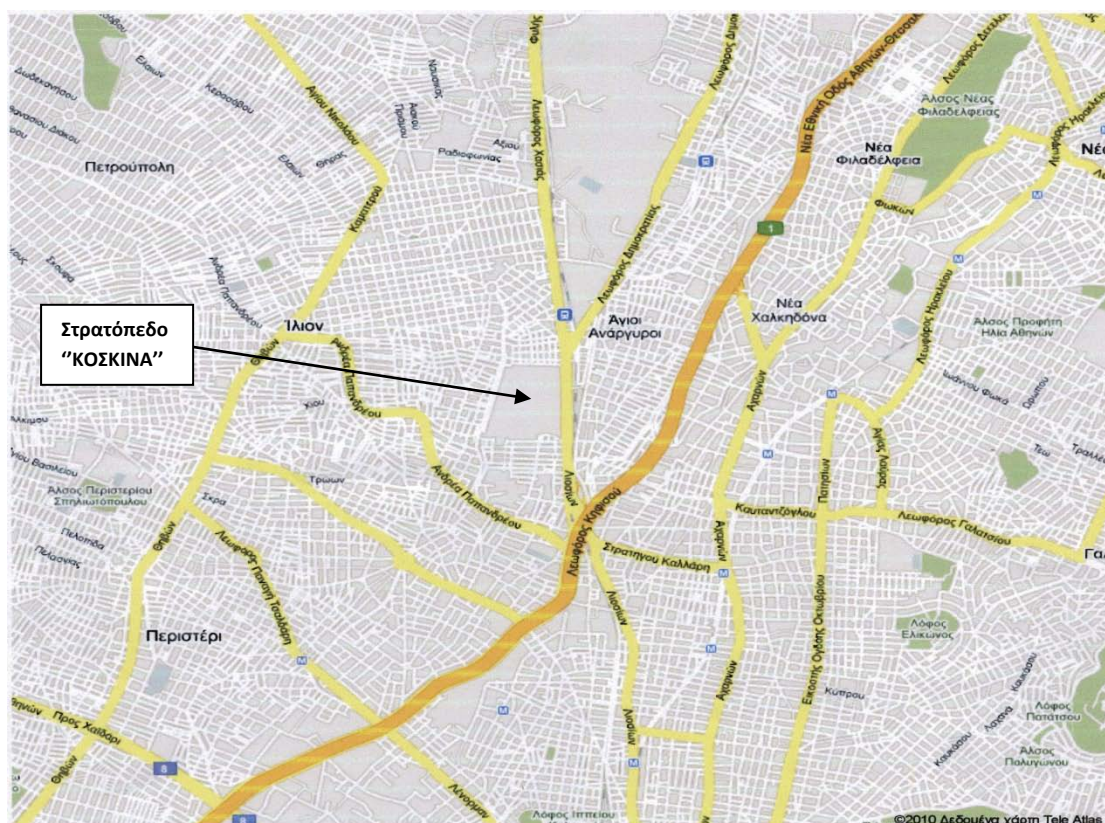
Η χρήση ΑΠΕ παρουσιάζει κάποια πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι της χρήσης συμβατικών καυσίμων, τα οποία δεν είναι μόνο περιβαλλοντολογικής φύσεως. Αν και η εφαρμογή τεχνολογιών ΑΠΕ εξακολουθεί να έχει υψηλό αρχικό κόστος εγκατάστασης, προκαλεί αρκετά θετικά αποτελέσματα σε οικονομικό και κοινωνικό επίπεδο. Συνοπτικά, τα σπουδαιότερα πλεονεκτήματα των ΑΠΕ μπορούν να αναφερθούν ως εξής ^[1]:

- Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας, άρα συμβάλλουν στην αποδέσμευση από τα ορυκτά καύσιμα, που αποτελούν εξαντλήσιμους πόρους.
- Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας, οπότε συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής αυτάρκειας και της ασφάλειας του ενεργειακού ανεφοδιασμού σε τοπικό, περιφερειακό και εθνικό επίπεδο.
- Είναι διάσπαρτες γεωγραφικά, με αποτέλεσμα να οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, παρέχοντας τη δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο. Έτσι, ανακουφίζονται τα συστήματα υποδομής και μειώνονται οι απώλειες από τη μεταφορά ενέργειας.
- Καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα των ενεργειακών αναγκών των χρηστών, προσφέροντας έτσι τη δυνατότητα ορθολογικής αξιοποίησης των ενεργειακών πόρων.
- Οι εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης ΑΠΕ έχουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος, που δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων.
- Η κατασκευή των εγκαταστάσεων έχει μικρή χρονική διάρκεια, επιτρέποντας έτσι τη γρήγορη ανταπόκριση της προσφοράς προς τη ζήτηση ενέργειας.
- Οι επενδύσεις στις ΑΠΕ συμβάλλουν στη δημιουργία θέσεων εργασίας, ιδιαίτερα σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο.
- Μπορούν να αποτελέσουν πυρήνα για την αναζωογόνηση υποβαθμισμένων περιοχών, με την προώθηση κατάλληλων επενδύσεων.
- Είναι φιλικές προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο και η αξιοποίησή τους είναι γενικά αποδεκτή από την κοινή γνώμη.

1.3. ΤΟ 301 ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟ ΒΑΣΗΣ

1.3.1. Παρουσίαση του Εργοστασίου

Το 301 ΕΒ στρατώνιζεται στο Στρατόπεδο “ΚΟΣΚΙΝΑ”, το οποίο βρίσκεται στη Λεωφόρο Δημοκρατίας στο Δήμο των Αγ. Αναργύρων, εγγύς των κυρίων οδικών και σιδηροδρομικών αξόνων Αθηνών - Θεσσαλονίκης και Αθηνών - Κορίνθου.



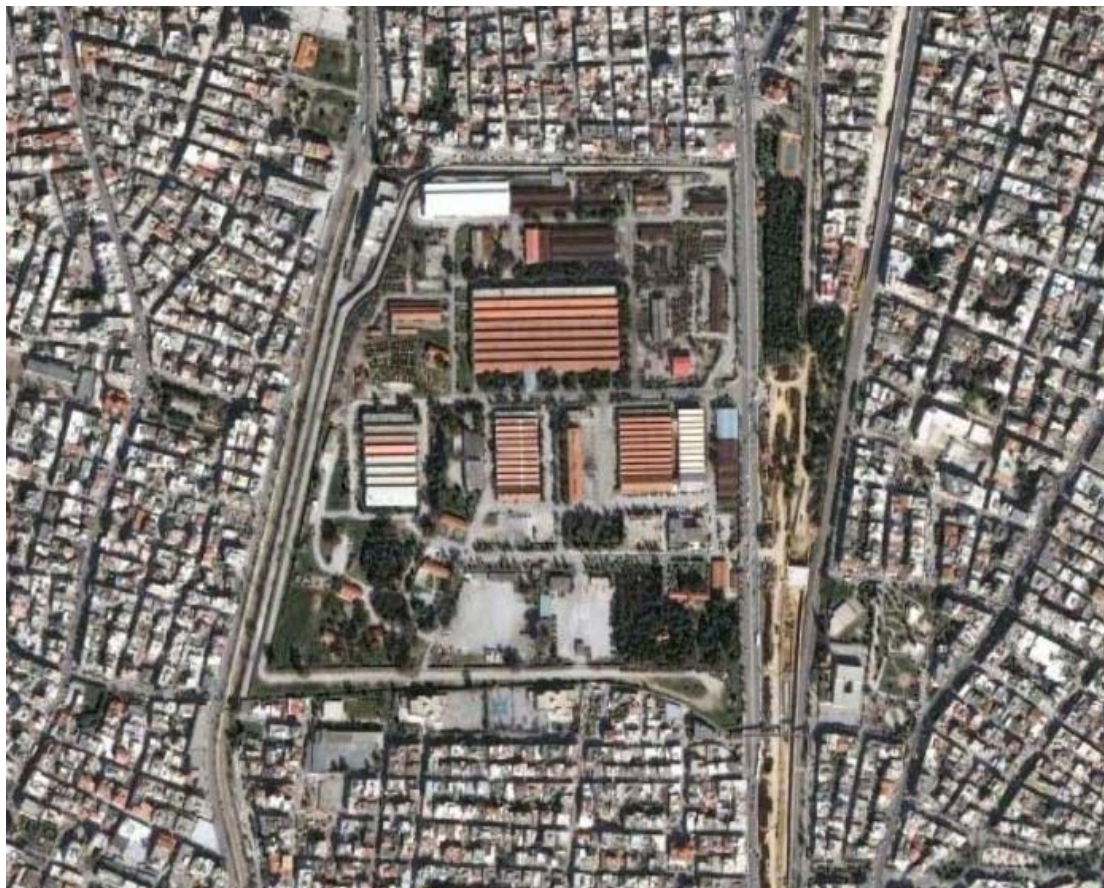
Χάρτης 1.8: Θέση Στρατοπέδου “ΚΟΣΚΙΝΑ” [48]

Το στρατόπεδο φέρει την ονομασία του Λοχαγού (ΠΒ) Κοσκινά Θεόδωρου, ήρωα των Βαλκανικών Πολέμων και εκεί συγκροτήθηκε το πρώτο εργοστάσιο του Ελληνικού Στρατού, την 1 Δεκεμβρίου 1945, αμέσως μετά τη λήξη του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου, με την επωνυμία “Συnergείο Βάσεως Αθηνών”. Στις 13 Ιανουαρίου 1947, η Μονάδα μετονομάστηκε σε “301 Συnergείο Βάσεως” και στις 13 Ιανουαρίου 1948 μετονομάστηκε σε “301 Εργοστάσιο Βάσεως”, ονομασία που φέρει και μέχρι σήμερα [41].



Εικόνα 1.9: Μνημείο του Λοχαγού (ΠΒ) Κοσκινά Θεόδωρου στο Διοικητήριο του 301 ΕΒ [41]

Η συνολική έκταση του στρατοπέδου φτάνει σχεδόν τα 240 στρέμματα, ενώ οι κτιριακές εγκαταστάσεις καλύπτουν επιφάνεια περίπου 40 στρεμμάτων. Κατασκευάσθηκαν κυρίως τις δεκαετίες 40-60, ενώ μετέπειτα προστέθηκαν και νέες σύγχρονες εγκαταστάσεις (νέο κτήριο κινητήρων, συνεργείο πυροβόλων, βαφείο, κ.α.) για τις παραγωγικές ανάγκες του εργοστασίου, στις οποίες έχει επενδυθεί μέχρι σήμερα ένα ποσό της τάξης των 40.000.000 € ^[41].

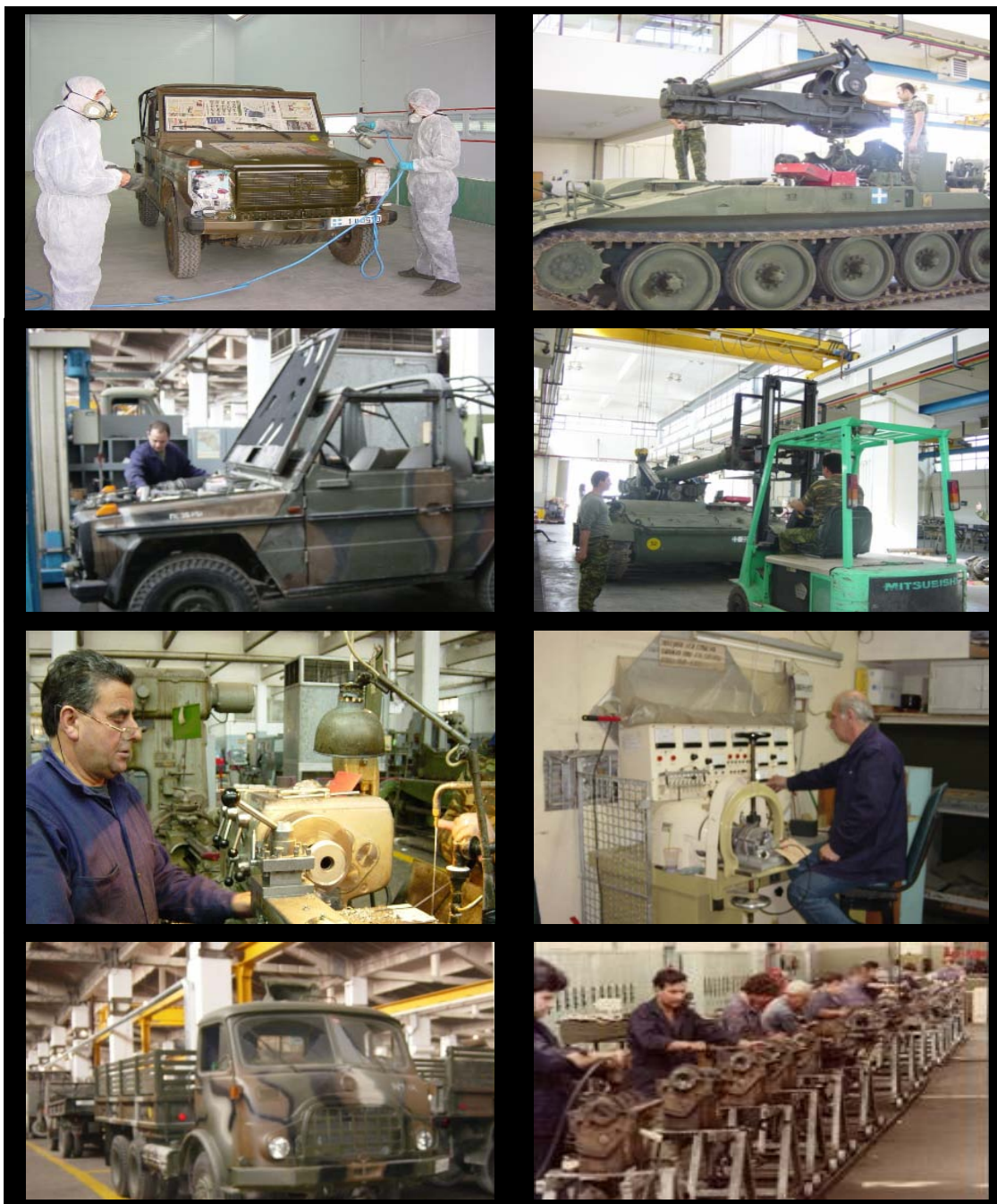


Εικόνα 1.10: Φωτογραφία του Στρατοπέδου “ΚΟΣΚΙΝΑ” από δορυφόρο ^[48]

Στο Εργοστάσιο απασχολούνται περίπου 430 άτομα. Αυτοί αποτελούνται από το πολιτικό και στρατιωτικό προσωπικό (εκπαιδευμένο και καταρτισμένο σε διάφορες τεχνικές ειδικότητες) που εργάζεται στα συνεργεία, τους οπλίτες που υπηρετούν τη θητεία τους και το λοιπό διοικητικό και βοηθητικό προσωπικό.

Το 301 ΕΒ συμβάλλει σημαντικά στην επίτευξη της υψηλής επιχειρησιακής ετοιμότητας των μονάδων του Ελληνικού Στρατού, καθόσον κύριο έργο του αποτελεί η συντήρηση και ανακατασκευή πλήθους τεχνικών υλικών (πάσης φύσεως τροχοφόρων οχημάτων, αυτοκινούμενων πυροβόλων, ατομικού και ομαδικού οπλισμού, κ.α.). Επιπλέον, έχει τη δυνατότητα κατασκευής μέρους ανταλλακτικών και μικροεξαρτημάτων, καθώς και τη δυνατότητα μετατροπής (διασκευής) διαφόρων τεχνικών υλικών με στόχο τη βελτίωση της λειτουργικότητας και της

απόδοσής τους. Τέλος, το εξειδικευμένο προσωπικό του 301 ΕΒ εκπονεί μελέτες, συντάσσει προδιαγραφές και τεχνικές οδηγίες, που αφορούν στα τεχνικά υλικά, τα οποία υποστηρίζει.



Εικόνα 1.11: Δραστηριότητες 301 ΕΒ ^[41]

1.3.2. Ενεργειακές ανάγκες του Εργοστασίου

Οι εγκαταστάσεις του 301 ΕΒ περιλαμβάνουν συνολικά 32 κτίρια. Τα 19 από αυτά χρησιμοποιούνται ως συνεργεία και χώροι εργασίας (συνεργεία οχημάτων, πυροβόλων, αρμάτων, κινητήρων, οπλουργείο, σιδηρουργείο, ξυλουργείο, ταπητουργείο, κ.α.). Τα υπόλοιπα 13 χρησιμοποιούνται για τη διαμονή και την μέριμνα των οπλιτών (θάλαμοι, μαγειρεία, ιατρείο), καθώς και για διάφορες άλλες ανάγκες (διοικητήριο, όρχος οχημάτων, ιερός ναός, κ.α.)

Οι ενεργειακές απαιτήσεις των παραπάνω χώρων και της εν γένει λειτουργίας του Εργοστασίου θα μπορούσαν να συνοψιστούν ως εξής:

α) Ηλεκτρικό ρεύμα για:

- εξωτερικό κι εσωτερικό φωτισμό
- την λειτουργία μηχανημάτων, εργαλείων και ηλεκτρικών συσκευών
- κλιματισμό των χώρων
- ζεστό νερό χρήσης

β) Πετρέλαιο για:

- την κίνηση των οχημάτων
- τη θέρμανση των χώρων

Προκειμένου να καλυφθούν οι απαιτήσεις σε θέρμανση και κλιματισμό έχουν εγκατασταθεί στα κτίρια του Εργοστασίου:

α) 57 καυστήρες πετρελαίου, συνολικής θερμικής ισχύος 10.230.000 Kcal/h.

β) 84 κλιματιστικές συσκευές, συνολικής ψυκτικής ισχύος 921.000 Btu/h.

Το ηλεκτρικό ρεύμα για τις ανάγκες του Εργοστασίου παρέχεται από το τοπικό δίκτυο της ΔΕΗ, ενώ το πετρέλαιο από μονάδα του Σώματος Εφοδιασμού Μεταφορών του Ελληνικού Στρατού. Κατά το έτος 2009 καταναλώθηκαν συνολικά 957.200 KWh ηλεκτρικής ενέργειας και 220.000 lt πετρελαίου θέρμανσης.

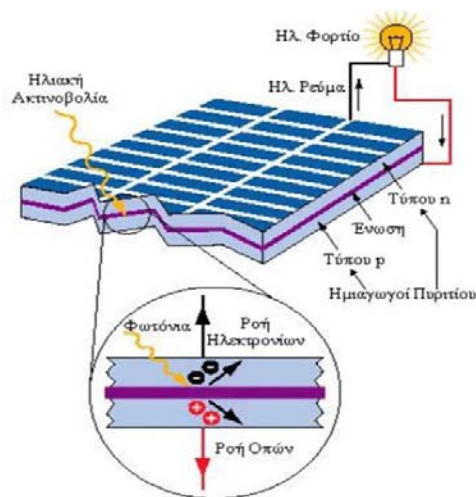
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟ 301 ΕΒ

2.1. ΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

2.1.1. Φωτοβολταϊκό στοιχείο

Το φωτοβολταϊκό (Φ/Β) στοιχείο είναι ένα επίτευγμα της σύγχρονης τεχνολογίας, που μετατρέπει το ηλιακό φως σε ηλεκτρική ενέργεια. Αποτελείται από μία διεπιφάνεια δύο λεπτών στρωμάτων ημιαγωγών. Οι ημιαγωγοί αυτοί είναι διαφορετικοί μεταξύ τους και κατασκευάζονται κυρίως από κρυσταλλικό πυρίτιο με ελάχιστες ποσότητες προσμίξεων. Ο πρώτος ημιαγωγός περιλαμβάνει κατάλληλες προσμίξεις (συνήθως φωσφόρου), έτσι ώστε να υπάρχει περίσσεια ελεύθερων ηλεκτρονίων (αρνητικό φορτίο) στο υλικό και ονομάζεται n-type. Ο δεύτερος περιλαμβάνει προσμίξεις (συνήθως βορίου) που δημιουργούν έλλειμμα ελεύθερων ηλεκτρονίων (οπές - θετικό φορτίο) στο υλικό και ονομάζεται p-type. Κατά την κατασκευή του Φ/Β στοιχείου, οι δύο ημιαγωγοί έρχονται σε επαφή, οπότε ελεύθερα ηλεκτρόνια κινούνται από τον n-type προς τον p-type για να καλύψουν τις αντίστοιχες οπές, μέχρις ότου δημιουργηθεί ένα ηλεκτρικό πεδίο (διαφορά δυναμικού) στην περιοχή επαφής των δύο ημιαγωγών, το οποίο εμποδίζει την περαιτέρω διάχυση ελεύθερων ηλεκτρονίων.

Υπεύθυνο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στα Φ/Β στοιχεία είναι το φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Τα φωτόνια που προσπίπτουν στο Φ/Β στοιχείο ionίζουν τα άτομα πυριτίου και δημιουργούνται νέα ελεύθερα ηλεκτρόνια στον n-type και νέες οπές στον p-type. Λόγω της ύπαρξης του φράγματος δυναμικού στην περιοχή επαφής p-n, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια αδυνατούν να διέλθουν μέσω της επαφής για να καλύψουν τις οπές κι έτσι δημιουργείται ρεύμα σε εξωτερικό κύκλωμα μεταξύ των δύο ημιαγωγών.



Σχήμα 2.1: Αρχή λειτουργίας Φ/Β στοιχείου ^[11]

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελείται από ένα φάσμα συχνοτήτων, που καθορίζει και την ενέργεια των αντίστοιχων φωτονίων. Φωτόνια με μικρό μήκος κύματος (μεγάλη συχνότητα) έχουν περισσότερη ενέργεια από αυτά με μεγάλο

μήκος κύματος (μικρή συχνότητα). Γι' αυτό και δεν μπορούν όλα τα προσπίπτοντα φωτόνια να ionίσουν τα άτομα πυριτίου ενός Φ/Β στοιχείου. Για να πραγματοποιηθεί ionισμός θα πρέπει το φωτόνιο να έχει την απαραίτητη ενέργεια, ώστε να εκτοπίσει ένα ηλεκτρόνιο από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας του ατόμου πυριτίου. Αν τα φωτόνια έχουν μεγαλύτερη ενέργεια από την ενεργειακή διαφορά των δύο ζωνών προκαλούν ionισμό και η περίσσεια ενέργειας μετατρέπεται σε θερμότητα. Φωτόνια με ενέργεια μικρότερη από την ενεργειακή διαφορά των δύο ζωνών περνούν από το στοιχείο χωρίς να προκαλέσουν ionισμό. Μερικά φωτόνια ανακλώνται από την μπροστινή επιφάνεια και άλλα χάνονται καθώς δεν προσεγγίζουν καν το κρυσταλλικό πλέγμα του πυριτίου.

Επομένως, ένα ποσοστό της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας μετατρέπεται τελικά σε ηλεκτρική ενέργεια και αυτό ορίζεται ως απόδοση ενός Φ/Β στοιχείου. Οι καλύτερες Φ/Β μονάδες που κυκλοφορούν σήμερα στο εμπόριο έχουν απόδοση της τάξης του 18% ^[11].

2.1.2. Τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων

Το υλικό που χρησιμοποιείται περισσότερο για να κατασκευαστούν Φ/Β στοιχεία στην βιομηχανία είναι το πυρίτιο. Το πυρίτιο σήμερα αποτελεί την πρώτη ύλη για το 90% της αγοράς των Φ/Β. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του πυριτίου είναι ^[20]:

- Μπορεί να βρεθεί πάρα πολύ εύκολα στην φύση. Είναι το δεύτερο σε αφθονία υλικό που υπάρχει στον πλανήτη μετά το οξυγόνο. Το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) (ή κοινώς η άμμος) και ο χαλαζίτης αποτελούν το 28% του φλοιού της γης.
- Μπορεί εύκολα να λιώσει και να μορφοποιηθεί. Επίσης είναι σχετικά εύκολο να μετατραπεί στην μονοκρυσταλλική του μορφή.
- Οι ηλεκτρικές του ιδιότητες μπορούν να διατηρηθούν μέχρι και στους 125°C , γεγονός που επιτρέπει την χρήση του πυριτίου σε ιδιαίτερα δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτός είναι και ο λόγος που τα Φ/Β στοιχεία πυριτίου ανταπεξέρχονται σε ένα ιδιαίτερα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών.
- Σημαντικό στοιχείο, που συνέβαλε στην ταχεία ανάπτυξη των Φ/Β στοιχείων, ήταν η ήδη αναπτυγμένη τεχνολογία στην βιομηχανία επεξεργασίας του πυριτίου στον τομέα της ηλεκτρονικής (τηλεοράσεις, υπολογιστές).

Τα πιο διαδεδομένα Φ/Β στοιχεία είναι τα μονοκρυσταλλικά και τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου. Η επόμενη γενιά Φ/Β στοιχείων θα βασίζεται στη τεχνολογία των λεπτών μεμβρανών, δηλαδή θα χρησιμοποιηθούν πολύ λεπτά (πάχους λίγων μικρών) στρώματα ημιαγωγών, ώστε να μειωθεί σημαντικά το συνολικό κόστος. Σε αυτήν την τεχνολογία χρησιμοποιείται προς το παρόν κυρίως το άμορφο πυρίτιο, δηλαδή πυρίτιο του οποίου η κρυσταλλική συμμετρία ως επί το πλείστον δεν υπάρχει και τα άτομα του πυριτίου βρίσκονται τυχαία διατεταγμένα στο χώρο. Υπάρχουν όμως και άλλα υλικά που χρησιμοποιούνται, όχι τόσο διαδεδομένα στο εμπόριο. Στη συνέχεια παραθέτονται μερικά στοιχεία για τους διάφορους τύπους Φ/Β στοιχείων ^{[1],[11]}.

Μονοκρυσταλλικού πυριτίου (SingleCrystalline Silicon, sc-Si)

Το στοιχείο αυτό αποτελείται από ένα στρώμα καθαρού κρυσταλλικού πυριτίου, πάχους από 200 ως 400 μm. Πάνω του τοποθετείται μεταλλικό πλέγμα το οποίο λειτουργεί ως ηλεκτρική επαφή κι επιτυγχάνεται η λειτουργία του ως ηλιακό στοιχείο. Τα μονοκρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου, που κατασκευάζονται από καθαρούς κρυστάλλους, είναι κυλινδρικής μορφής και συχνά κόβονται σε τετραγωνικό σχήμα, έτσι ώστε να είναι εύκολη η τοποθέτησή τους στις Φ/Β μονάδες.

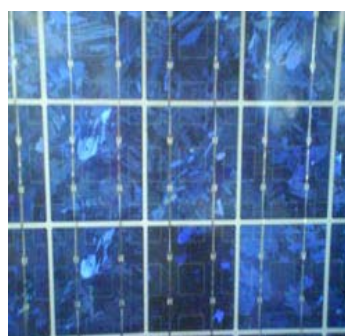
Τα μονοκρυσταλλικά ηλιακά στοιχεία παρουσιάζουν την καλύτερη απόδοση (κυμαίνεται από 15 - 18%), αλλά και το υψηλότερο κόστος από όλα τα στοιχεία πυριτίου.



Εικόνα 2.2: Φ/Β από μονοκρυσταλλικό πυρίτιο ^[22]

Πολυκρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου (MultiCrystalline Silicon, mc-Si)

Κατασκευάζονται από μεγάλες ορθογώνιες ράβδους καθαρού πυριτίου, οι οποίες προέρχονται από αργή ψύξη τήγματος πυριτίου σε ειδικούς κλίβανους, ώστε να δημιουργηθούν μεγάλοι κρύσταλλοι. Είναι τετράγωνης μορφής και μεγαλύτερου μεγέθους από το μονοκρυσταλλικά. Έχουν χαμηλότερη απόδοση (από 13 έως και 15%), αλλά και χαμηλότερο κόστος από τα μονοκρυσταλλικά στοιχεία.



Εικόνα 2.3: Φ/Β από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο ^[22]

Ταινίας πυριτίου (Ribbon Silicon)

Πρόκειται για μια σχετικά νέα τεχνολογία Φ/Β στοιχείων. Προσφέρει έως και 50% μείωση στην χρήση του πυριτίου σε σχέση με τις "παραδοσιακές τεχνικές" κατασκευής μονοκρυσταλλικών και πολυκρυσταλλικών Φ/Β κυψελών πυριτίου. Η απόδοση για τα Φ/Β στοιχεία του έχει φτάσει πλέον γύρω στο 12-13%, ενώ το πάχος του είναι περίπου 0,3 χιλιοστά.

Άμορφου πυριτίου (Amorphous ή Thin film Silicon, a-Si)

Πρόκειται για ταινίες λεπτών επιστρώσεων, οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση πυριτίου πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης χαμηλού κόστους όπως γυαλί ή αλουμίνιο. Έτσι και λόγω της μικρότερης ποσότητας πυριτίου που χρησιμοποιείται, η τιμή τους είναι γενικότερα αρκετά χαμηλότερη. Έχουν όμως αισθητά χαμηλότερες αποδόσεις (από 6 έως 8%) σε σχέση με τις προηγούμενες κατηγορίες. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα τους είναι ότι δεν επηρεάζεται πολύ από τις υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, πλεονεκτεί στην αξιοποίηση της απόδοσης του σε σχέση με τα κρυσταλλικά Φ/Β, όταν υπάρχει διάχυτη ακτινοβολία (συννεφιά). Το μειονέκτημα των άμορφων πλαισίων είναι η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα κάτι που σημαίνει ότι για να παράγουμε την ίδια ενέργεια χρειαζόμαστε σχεδόν διπλάσια επιφάνεια σε σχέση με τα κρυσταλλικά Φ/Β στοιχεία. Επίσης υπάρχουν αμφιβολίες όσον αφορά στην διάρκεια ζωής των άμορφων πλαισίων, μιας και δεν υπάρχουν στοιχεία από παλιές εγκαταστάσεις, αφού η τεχνολογία είναι σχετικά καινούρια. Παρόλα αυτά, οι κατασκευαστές πλέον δίνουν εγγυήσεις απόδοσης 20 ετών. Το πάχος του πυριτίου είναι περίπου 0,0001 χιλιοστά ενώ το υπόστρωμα μπορεί να είναι από 1 έως 3 χιλιοστά.

Δισεληνοϊνδιούχου χαλκού (CuInSe₂ ή CIS, με προσθήκη γάλλιου CIGS)

Ανήκει στα Φ/Β στοιχεία λεπτής μεμβράνης. Ο δισεληνοϊνδιούχος χαλκός έχει εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτον φως, αλλά παρόλα αυτά η απόδοση του με τις σύγχρονες τεχνικές κυμαίνεται στο 11%. Με την πρόσμιξη γάλλιου, η απόδοσή του μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο. Πρόβλημα αποτελεί το γεγονός, ότι το ίνδιο υπάρχει σε περιορισμένες ποσότητες στην φύση. Στα επόμενα χρόνια πάντως αναμένεται το κόστος του να είναι αρκετά χαμηλότερο.

Τελουριούχου καδμίου (CdTe)

Ανήκει επίσης στα Φ/Β στοιχεία λεπτής μεμβράνης. Το τελουριούχο κάδμιο έχει ενεργειακό διάκενο γύρω στο 1 eV, το οποίο είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα, κάτι που του δίνει σοβαρά πλεονεκτήματα όπως την δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Οι σύγχρονες τεχνικές όμως

μας προσφέρουν αποδόσεις πλαισίου γύρω στο 6-8%. Μελλοντικά αναμένεται το κόστος του να πέσει αρκετά. Τροχοπέδη για την χρήση του αποτελεί το γεγονός ότι το κάδμιο σύμφωνα με κάποιες έρευνες είναι καρκινογόνο με αποτέλεσμα να προβληματίζει το ενδεχόμενο της εκτεταμένης χρήσης του. Ήδη η Greenpeace έχει εναντιωθεί στην χρήση του. Επίσης προβληματίζει ή έλλειψη του τελλουρίου. Σημαντικότερη χρήση του είναι η ενθυλάκωση του στο γυαλί ως δομικό υλικό (BIPV Building Integrated Photovoltaic).

Αρσενικούχου γάλλιου (GaAs)

Ένα ακόμη Φ/Β στοιχείο λεπτής μεμβράνης. Το γάλλιο είναι ένα παραπροϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι πιο σπάνιο ακόμα και από τον χρυσό. Το αρσένιο δεν είναι σπάνιο αλλά έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες. Το αρσενικούχο γάλλιο έχει ενεργειακό διάκενο 1,43 eV, που είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η απόδοση του στην μορφή πολλαπλών συνενώσεων (multijunction) είναι η υψηλότερη που έχει επιτευχθεί και αγγίζει το 29%. Επίσης τα Φ/Β GaAs είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες γεγονός που επιβάλλει σχεδόν την χρήση τους σε εφαρμογές ηλιακών συγκεντρωτικών συστημάτων (solar concentrators). Τα Φ/Β στοιχεία GaAs έχουν το πλεονέκτημα ότι αντέχουν σε πολύ υψηλές ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας, για αυτό αλλά και λόγω της πολύ υψηλής απόδοσης του ενδείκνυται για διαστημικές εφαρμογές. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι το υπερβολικό κόστος του μονοκρυσταλλικού GaAs υποστρώματος.

Υβριδικά

Ένα υβριδικό Φ/Β στοιχείο αποτελείται από στρώσεις υλικών διαφόρων τεχνολογιών. Τα πιο γνωστά εμπορικά υβριδικά Φ/Β αποτελούνται από δύο στρώσεις άμορφου πυριτίου (πάνω και κάτω) ενώ ενδιάμεσα υπάρχει μια στρώση μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ο υψηλός βαθμός απόδοσης που φτάνει σε εμπορικές εφαρμογές στο 17,2%. Άλλο πλεονέκτημα είναι η υψηλή τους απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες και στην διαχεόμενη ακτινοβολία. Είναι ακριβότερο σε σχέση με τα συμβατικά Φ/Β στοιχεία.

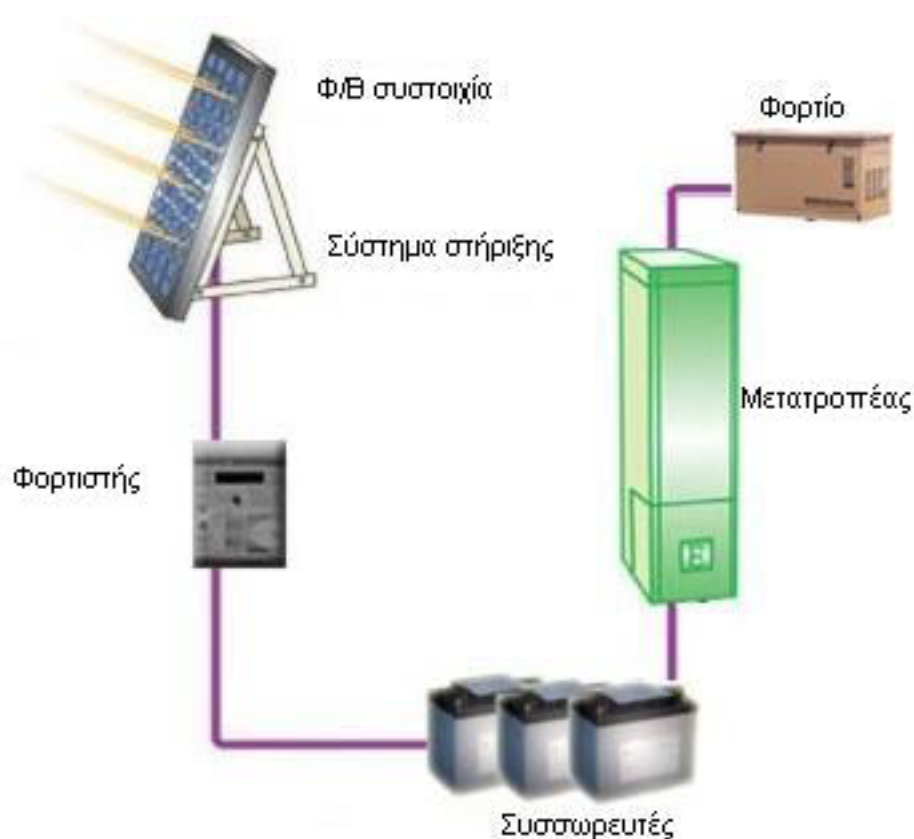
Άλλες τεχνολογίες

Η εξέλιξη των Φ/Β πραγματοποιείται με ραγδαίους ρυθμούς και διάφορα εργαστήρια στον κόσμο παρουσιάζουν νέες τεχνολογίες. Κάποιες από αυτές, που μελλοντικά πιθανώς να γίνει ευρεία η χρήση τους, είναι τα νανοκρυσταλλικά Φ/Β στοιχεία πυριτίου (nc-Si) και τα οργανικά - πολυμερή στοιχεία.

2.1.3. Φωτοβολταϊκό σύστημα

Ουσιαστική εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας και μετατροπή της σε ηλεκτρική επιτυγχάνουμε με τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Ένα τυπικό Φ/Β σύστημα περιλαμβάνει ^[1]:

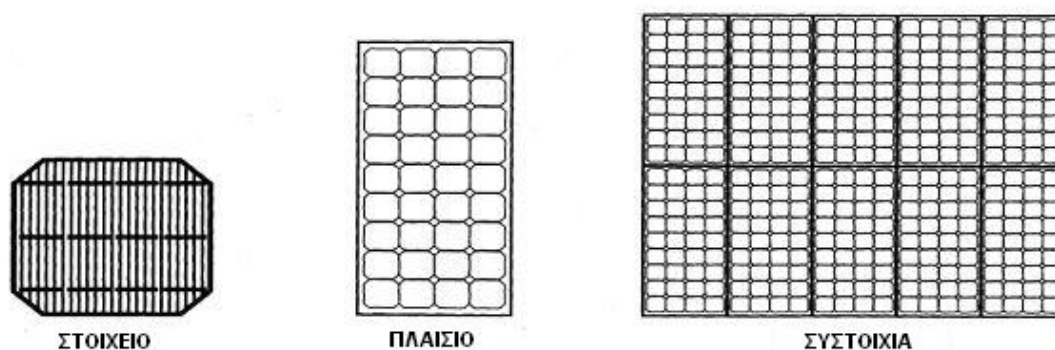
- Φ/Β συστοιχία
- Σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας
- Μετατροπέα DC - AC
- Διόδους φραγής και παράκαμψης
- Σύστημα στήριξης



Σχήμα 2.4: Κύρια μέρη Φ/Β συστήματος ^[23]

Η καρδιά του συστήματος είναι η Φ/Β συστοιχία. Ο σχηματισμός της πραγματοποιείται ως εξής. Ένας αριθμός Φ/Β στοιχείων συνδέονται σε σειρά και τοποθετούνται σε κατάλληλο κέλυφος (μεταξύ φύλλων γυαλιού ή μεταξύ φύλλου γυαλιού και φύλλου πλαστικού), για να συγκρατούνται, να προστατεύονται και να μονώνονται ηλεκτρικά. Αυτή η διάταξη ονομάζεται Φ/Β πλαίσιο και συνήθως

αποτελείται από 36 στοιχεία (παραγόμενη τάση 12-13V). Στη συνέχεια, ομάδες πλαισίων συνδέονται σε σειρά ή παράλληλα, ανάλογα με τις ανάγκες της εφαρμογής σε τάση και ρεύμα, οπότε προκύπτει η Φ/Β συστοιχία. Για μικρές εφαρμογές ηλεκτροδότησης, η Φ/Β συστοιχία λειτουργεί στα 12 ή 24V, ενώ για εφαρμογές σε σύνδεση με το δίκτυο, στα 240V ή και περισσότερο.



Σχήμα 2.5: Σχηματισμός Φ/Β συστοιχίας ^[21]

Το σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας αποτελείται από έναν ή περισσότερους συσσωρευτές (μπαταρίες) και ένα ρυθμιστή συνεχούς τάσης (φορτιστής). Ο συσσωρευτής αποθηκεύει την ηλεκτρική ενέργεια που παράγει η Φ/Β συστοιχία και την παρέχει στον καταναλωτή, όποτε εκείνος τη χρειάζεται. Λειτουργεί με τάση 12V τροφοδοτούμενος από τα Φ/Β πλαίσια. Γενικά χρησιμοποιούνται μπαταρίες ίδιες με αυτές των αυτοκινήτων (μολύβδου σε διάλυμα θεικού οξέος ή νικελίου-καδμίου). Ο φορτιστής ρυθμίζει τη ροή του ρεύματος από τη Φ/Β συστοιχία προς τους συσσωρευτές. Αν η μπαταρία πλησιάζει την πλήρη φόρτισή της, ελαττώνει το ρεύμα, ώστε να εμποδίσει την υπερφόρτισή της. Όταν η μπαταρία φορτιστεί πλήρως, την αποσυνδέει από την Φ/Β συστοιχία. Αν η μπαταρία εκφορτιστεί εντελώς, την αποσυνδέει από το φορτίο.

Ο μετατροπέας (inverter), είναι μια συσκευή μετατροπής του συνεχούς ρεύματος, που παράγει η Φ/Β συστοιχία, σε εναλλασσόμενο, το οποίο χρειάζονται οι σύγχρονες συσκευές για να λειτουργήσουν ή που απαιτείται για την τροφοδότηση του δικτύου.

Η δίοδος φραγής (ή αντεπιστροφής) συνήθως συνδέεται σε σειρά μεταξύ της συστοιχίας και του συσσωρευτή για να εμποδίσει την αντεπιστροφή του ρεύματος προς τα πλαίσια, που μπορεί να τα καταστρέψει και να προκαλέσει ενεργειακές απώλειες. Αν υπάρχει στο σύστημα ρυθμιστής τάσης, η δίοδος φραγής δεν είναι απαραίτητη. Οι διόδους παράκαμψης (ή διέλευσης) βρίσκονται ενσωματωμένες στα πλαίσια και συνδέονται παράλληλα με αυτά. Αν σκιαστεί ή υποστεί βλάβη ένα

πλαίσιο, η δίοδος διέλευσης εκτρέπει το ρεύμα μέσω αυτής και γύρω από το πλαίσιο. Χωρίς τη δίοδο παράκαμψης, το πλαίσιο που έχει υποστεί βλάβη ή σκιάζεται, διαχέει το ρεύμα υπό μορφή θερμότητας και τελικά καταστρέφεται.

Το σύστημα στήριξης των Φ/Β πλαισίων μπορεί να είναι είτε σταθερό είτε περιστρεφόμενο. Στην περίπτωση των σταθερού συστήματος, τα πλαίσια έχουν προσανατολισμό ίδιο με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής, για μεγιστοποίηση της συνολικά ετήσιας παραγόμενης ενέργειας. Στην περίπτωση των περιστρεφόμενων συστημάτων (trackers), τα πλαίσια μπορούν να περιστρέφονται σε έναν ή σε δύο άξονες κι έχουν τη δυνατότητα παρακολούθησης της τροχιάς του ηλίου. Οι trackers μονού άξονα παρακολουθούν την μεταβολή της ανύψωσης του ήλιου στον ουρανό, ενώ οι trackers διπλού άξονα παρακολουθούν επιπλέον και την κίνηση του ήλιου από την ανατολή στη δύση. Έτσι, κάθε στιγμή λαμβάνουν τον κατάλληλο προσανατολισμό, ώστε να δέχονται κάθετα την ηλιακή ακτινοβολία και να μεγιστοποιείται η απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας κατά τη διάρκεια της ημέρας. Προφανώς, τα περιστρεφόμενα συστήματα αποδίδουν περισσότερη ενέργεια από τα σταθερά, αλλά έχουν υψηλότερο κόστος, είναι ευαίσθητα σε ισχυρούς ανέμους, χρειάζονται ειδική θεμελίωση (την οποία πρέπει να αντέχει το έδαφος της περιοχής) και απαιτούν μεγαλύτερο χώρο εγκατάστασης από τα σταθερά. Όλοι αυτοί οι παράγοντες πρέπει να συνυπολογιστούν για την εκλογή σταθερού ή περιστρεφόμενου συστήματος στήριξης.



Εικόνα 2.6: Φ/Β με περιστρεφόμενο σύστημα στήριξης διπλού άξονα ^[24]

Τα Φ/Β συστήματα κατασκευάζονται σε διάφορα μεγέθη για να καλύψουν τις ολόενα και αυξανόμενες ανάγκες εφαρμογής τους. Μια ενδεικτική τιμή παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος για τα συνήθη Φ/Β είναι 100W ανά m² εγκατεστημένου Φ/Β. Σήμερα, οι κυριότερες εφαρμογές των Φ/Β συστημάτων αφορούν στην επικάλυψη στεγών και τοίχων σε κτίρια, στην ηλεκτροδότηση απομονωμένων κατοικιών (αυτόνομα συστήματα) και στην παραγωγή ηλεκτρισμού σε σύνδεση με το δίκτυο. Επιπλέον, βρίσκουν και άλλες εφαρμογές, όπως στο δημόσιο φωτισμό, σε φάρους, σε γεωργικές ανάγκες (διατήρηση τροφίμων, άντληση νερού), στη διαστημική τεχνολογία (παροχή ενέργειας σε δορυφόρους), στις τηλεπικοινωνίες (αναμεταδότες), σε καταναλωτικά προϊόντα χαμηλής ισχύος (μικροϋπολογιστές, ρολόγια), κ.α.



Εικόνα 2.7: Εφαρμογή Φ/Β συστήματος σε πρόσοψη κτιρίου τράπεζας στην Αθήνα ^[25]

2.1.4. Διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα

Αρχικά, τα Φ/Β συστήματα χρησιμοποιήθηκαν κυρίως ως αυτόνομα. Παρείχαν δηλαδή ηλεκτρική ενέργεια σε απομονωμένες περιοχές, όπου δεν υπήρχε ανεπτυγμένο ηλεκτρικό δίκτυο. Τα τελευταία χρόνια όμως χρησιμοποιούνται και σε συνδυασμό με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο. Η διασύνδεση ενός Φ/Β συστήματος με το δίκτυο δύναται να εφαρμοστεί με δύο τρόπους:

α) Με αυτοπαραγωγή, όπου ο επενδυτής χρησιμοποιεί την παραγόμενη ενέργεια για να καλύψει καταρχήν τις ανάγκες των δικών του ηλεκτρικών

εγκαταστάσεων. Το πλεόνασμα της παραγόμενης ενέργειας διοχετεύεται στο δίκτυο και πωλείται στη ΔΕΗ, ενώ σε περίπτωση έλλειψης, οι ηλεκτρικές εγκαταστάσεις τροφοδοτούνται από το δίκτυο.

β) Με πώληση όλης της παραγόμενης ενέργειας στη ΔΕΗ και κάλυψη των ιδίων ενεργειακών αναγκών του επενδυτή από το κεντρικό δίκτυο. Η τιμή πώλησης του παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος στη ΔΕΗ είναι υψηλότερη από την τιμή αγοράς του ρεύματος του δικτύου, άρα γενικά συμφέρει η εξολοκλήρου πώληση της παραγόμενης ενέργειας, σε σχέση με την περίπτωση αυτοπαραγωγής.

Τέλος, ένα βασικό πλεονέκτημα των διασυνδεδεμένων Φ/Β συστημάτων έναντι των αυτόνομων είναι το γεγονός ότι η σύνδεση με το δίκτυο ουσιαστικά δίνει την δυνατότητα απεριόριστης αποθήκευσης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Στα αυτόνομα συστήματα, αν οι συσσωρευτές (που έχουν μια πεπερασμένη ικανότητα αποθήκευσης) φορτιστούν πλήρως, η περίσσεια ενέργειας που παράγεται θα πρέπει να αποβληθεί κι επομένως να χαθεί ανεκμετάλλευτη. Το δίκτυο όμως αποτελεί πρακτικά έναν τεράστιο συσσωρευτή, όπου ολόκληρη η παραγόμενη ενέργεια αποθηκεύεται και διανέμεται στη συνέχεια από το Διαχειριστή του συστήματος (ΔΕΣΜΗΕ) σύμφωνα με τις εκάστοτε ανάγκες.

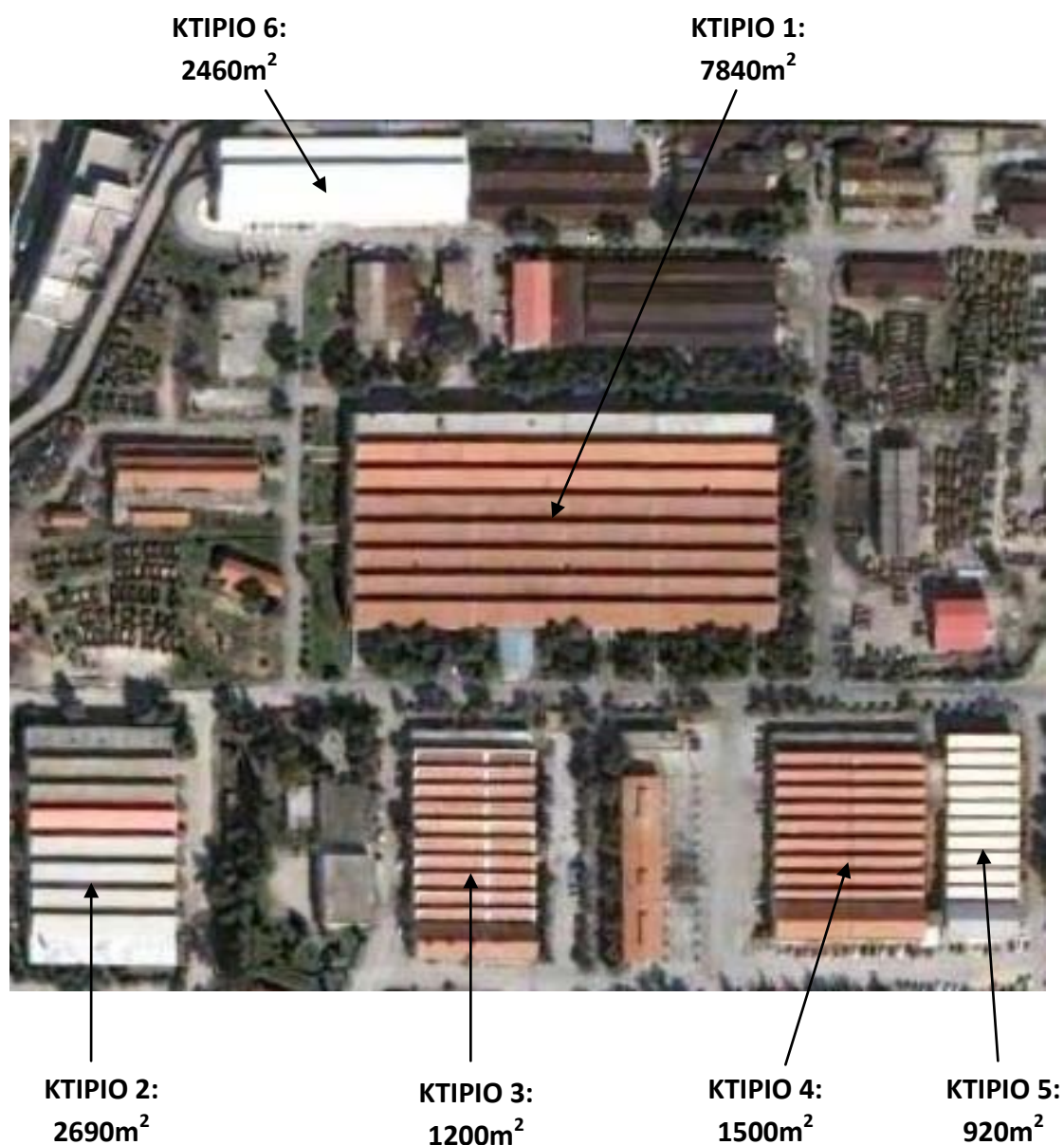


Σχήμα 2.8: Διασυνδεδεμένο Φ/Β σύστημα ^[23]

2.2. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΟ 301 ΕΒ

2.2.1. Τοποθέτηση φωτοβολταϊκών πλαισίων

Στο 301 ΕΒ υπάρχει αρκετός διαθέσιμος χώρος, που ενδείκνυται για την εγκατάσταση μεγάλου αριθμού Φ/Β πλαισίων. Μελετάμε την περίπτωση εγκατάστασης Φ/Β συστημάτων σταθερής στήριξης, στις στέγες των έξι μεγαλύτερων κτιρίων του Εργοστασίου με νότιο προσανατολισμό. Η διαθέσιμη επιφάνεια στα κτίρια αυτά είναι περίπου 16,5 στρέμματα.



Εικόνα 2.9: Διαθέσιμη επιφάνεια για εγκατάσταση Φ/Β πλαισίων

Στη μελέτη θα χρησιμοποιηθούν τυπικά πλαίσια από την εταιρία CANADIAN SOLAR με τα εξής χαρακτηριστικά:

ΤΥΠΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	Πολυκρυσταλλικού πυριτίου
ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ	230W
ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ	13,5%
NOCT	45 ⁰ C
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ	0,4%/ ⁰ C
ΜΗΚΟΣ ΠΛΑΙΣΙΟΥ	1,602m
ΠΛΑΤΟΣ ΠΛΑΙΣΙΟΥ	1,061m
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΛΑΙΣΙΟΥ	1,7m ²

Πίνακας 2.10: Χαρακτηριστικά πλαισίου CANADIAN SOLAR CS5P-230P ^[26]

Για την βέλτιστη αξιοποίηση του διαθέσιμου χώρου, τα πλαίσια προφανώς θα πρέπει να τοποθετηθούν σε παράλληλες σειρές κατά μήκος των “λωρίδων” που σχηματίζουν οι στέγες των έξι κτιρίων. Ταυτόχρονα, πρέπει να υπάρχει η κατάλληλη απόσταση μεταξύ των σειρών αυτών (περίπου 1m), ώστε να αποφευχθούν φαινόμενα σκίασης. Με αυτή τη διάταξη εκτιμάται ότι είναι δυνατή η τοποθέτηση τουλάχιστον 4730 πλαισίων, που σημαίνει εγκατεστημένη ισχύς 1,0879 MWp.

Σύμφωνα με επιστημονικές πηγές ^[11], η βέλτιστη κλίση των πλαισίων Φ/Β συστήματος σταθερής στήριξης, προκειμένου να επιτευχθεί μέγιστη απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια του έτους, κυμαίνεται σε ένα εύρος 15⁰ του γεωγραφικού πλάτους της περιοχής. Από ήδη υπάρχουσες εφαρμογές αποδεικνύεται ότι στην Αθήνα (γεωγραφικό πλάτος 38⁰), η βέλτιστη κλίση των πλαισίων ως προς το οριζόντιο επίπεδο είναι 28⁰. Το γεγονός αυτό επαληθεύτηκε και με δοκιμές στο πρόγραμμα RETSCREEN.

Η εγκατάσταση θα περιλαμβάνει και τους ανάλογους μετατροπείς δικτύου. Η εταιρία προτείνει το μετατροπέα Fronius IG PLUS 120, με τα βασικά του χαρακτηριστικά να φαίνονται στον πίνακα 2.11. Για 4730 πλαίσια απαιτούνται 110 τέτοιοι μετατροπείς.

ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΣΥΝΔΕΣΗ	Τριφασική
ΜΕΓΙΣΤΗ ΙΣΧΥΣ DC	10,5 KW
ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ AC	10 KW
ΜΕΓΙΣΤΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ	96%

Πίνακας 2.11: Χαρακτηριστικά μετατροπέα Fronius IG PLUS 120 ^[27]

Στην περίπτωση μας συσσωρευτές δεν απαιτούνται, εφόσον η παραγόμενη ενέργεια δεν θα χρησιμοποιηθεί για ιδιοκατανάλωση, αλλά το σύνολό της θα διοχετεύεται, μέσω ενός μετρητή της ΔΕΗ, απευθείας στο κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο.

2.2.2. Ηλιακή ακτινοβολία και παραγόμενη ενέργεια

Η ενέργεια που παράγουν τα Φ/Β πλαίσια σχετίζεται άμεσα με την προσπίπτουσα σε αυτά ηλιακή ακτινοβολία. Λόγω της μεταβολής της θέσης του ήλιου κατά τη διάρκεια του έτους, η προσπίπτουσα ακτινοβολία στην επιφάνεια των Φ/Β πλαισίων μεταβάλλεται. Γι' αυτό υπολογίζουμε την ημερήσια παραγόμενη ενέργεια για κάθε μήνα ξεχωριστά, λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά της μέσης ημέρας κάθε μήνα (πίνακας 2.12). Αν θέλουμε την μηνιαία παραγόμενη ενέργεια, αθροίζουμε την ημερήσια παραγόμενη ενέργεια για όλες τις ημέρες του μήνα. Τέλος, η ετήσια παραγόμενη ενέργεια προκύπτει ως το άθροισμα των τιμών της μηνιαίας παραγόμενης ενέργειας όλων των μηνών.

Η ημερήσια παραγόμενη ενέργεια δίνεται από τη σχέση:

$$E_p = S * \eta_p * \overline{H_T}$$

όπου S : η συνολική επιφάνεια των πλαισίων, η οποία είναι:

$$S = 4730 * 1,7m^2 = 8041m^2$$

η_p : η μέση απόδοση ενός Φ/Β στοιχείου.

$\overline{H_T}$: η μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία μηνός σε κεκλιμένη επιφάνεια.

Με δεδομένο ότι οι διάφορες απώλειες λ_p του Φ/Β συστήματος είναι της τάξης του 10%, η ενέργεια που τελικά λαμβάνουμε, είναι:

$$E_D = E_p * (1 - \lambda_p) = S * \eta_p * \overline{H_T} * (1 - \lambda_p)$$

Αρκεί λοιπόν να υπολογίσουμε τη μέση απόδοση του επιλεγμένου Φ/Β στοιχείου και την μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία κάθε μηνός.

Υπολογισμός μέσης απόδοσης στοιχείου η_p

Η μέση απόδοση ενός Φ/Β στοιχείου δίνεται από τη σχέση:

$$\eta_p = \eta_r * [1 - \beta_p * (T_c - T_r)]$$

όπου

- η_r : ο βαθμός απόδοσης του στοιχείου στην θερμοκρασία αναφοράς $T_r=25^{\circ}C$. Δίνεται από τον κατασκευαστή και ισούται με 13,5%.
- β_p : ο συντελεστής θερμοκρασίας για την απόδοση του στοιχείου. Δίνεται από τον κατασκευαστή 0,4%/ $^{\circ}C$.
- T_c : θερμοκρασία, η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$T_c = T_r + C_f * (219 + 832 * \overline{k_T}) * \frac{NOCT - 20}{800}$$

όπου

- NOCT: η θερμοκρασία κανονικής λειτουργίας του στοιχείου. Δίνεται από τον κατασκευαστή και ισούται με 45⁰C.
- C_f: διορθωτικός συντελεστής, που δίνεται από τη σχέση:

$$C_f = 1 - 1,17 * 10^{-4} * (\beta_m - \beta)^2$$

όπου

- β: η κλίση του συλλέκτη ως προς το έδαφος, η οποία είναι 28⁰
- β_m: η βέλτιστη κλίση συλλέκτη, που ισούται με:

$$\beta_m = |\varphi - \delta|$$

όπου

φ: το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής, που είναι 38⁰

δ: η ηλιακή απόκλιση για τη μέση μέρα του μήνα. Δίνεται στον πίνακα 2.12 για κάθε μήνα.

ΜΗΝΑΣ	ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΑ ΤΟΥ ΜΗΝΑ		
	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΜΕΡΑ ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ n	ΗΛΙΑΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ δ
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	17	17	-20,9
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	16	47	-13
ΜΑΡΤΙΟΣ	16	75	-2,4
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	15	105	9,4
ΜΑΪΟΣ	15	135	18,8
ΙΟΥΝΙΟΣ	11	162	23,1
ΙΟΥΛΙΟΣ	17	198	21,2
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	16	228	13,5
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	15	258	2,2
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	15	288	-9,6
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	14	318	-18,9
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	10	344	-23

Πίνακας 2.12: Χαρακτηριστικά μέσης ημέρας κάθε μήνα ^[4]

- $\overline{k_T}$: ο μέσος μηνιαίος συντελεστής αιθριότητας, που δίνεται από τη σχέση:

$$\overline{k_T} = \frac{\overline{H}}{H_0}$$

όπου

- \bar{H} : η μέση ημερήσια ολική ακτινοβολία μηνός οριζοντίου επιπέδου. Λαμβάνεται από μετρήσεις μετεωρολογικών σταθμών. Σύμφωνα με το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, έχουμε:

ΜΗΝΑΣ	\bar{H} (KWh/m ²)	\bar{H} (J/m ²)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	1,75	6.300.000
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	2,62	9.432.000
ΜΑΡΤΙΟΣ	3,82	13.752.000
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	5,15	18.540.000
ΜΑΪΟΣ	6,41	23.076.000
ΙΟΥΝΙΟΣ	6,84	24.624.000
ΙΟΥΛΙΟΣ	6,88	24.768.000
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	6,18	22.248.000
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	4,86	17.496.000
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	3,38	12.168.000
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	2,33	8.388.000
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	1,69	6.084.000

Πίνακας 2.13: Μέση ημερήσια ολική ακτινοβολία μηνός σε οριζόντιο επίπεδο ^[18]

- \bar{H}_0 : η μέση ημερήσια ολική ακτινοβολία μηνός εκτός ατμοσφαιράς. Δίνεται από τη σχέση:

$$\bar{H}_0 = \frac{24 * 3600}{\pi} * G_{sc} * \left(1 + 0,33 * \cos \frac{360 * n}{365} \right) * \left(\cos \varphi * \cos \delta * \sin \omega_s + \frac{2 * \pi * \omega_s}{360} * \sin \varphi * \sin \delta \right)$$

όπου

G_{sc} : η ηλιακή σταθερά με τιμή 1353W/m².

ω_s : η ωριαία γωνία δύσης του ηλίου. Δίνεται από τη σχέση:

$$\cos \omega_s = -\tan \varphi * \tan \delta$$

Εφαρμόζοντας τις παραπάνω σχέσεις ^[1], προκύπτουν τα ενδιάμεσα αποτελέσματα του επόμενου πίνακα και τελικά ο μέσος βαθμός απόδοσης του Φ/Β στοιχείου για κάθε μήνα:

ΜΗΝΑΣ	ω_s (°)	\bar{H}_0 (J/m ²)	\bar{k}_T	β_m (°)	C_f	T_c (°C)	η_p
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	72,64	20.781.647	0,303	58,9	0,888	38,08	0,128
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	79,61	25.724.281	0,367	51	0,938	40,36	0,127
ΜΑΡΤΙΟΣ	88,12	30.353.867	0,453	40,4	0,982	43,29	0,125
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	97,43	32.352.225	0,573	28,6	1	46,74	0,123
ΜΑΪΟΣ	105,4	31.253.046	0,738	19,2	0,991	50,81	0,121
ΙΟΥΝΙΟΣ	109,5	29.424.099	0,837	14,9	0,98	53,03	0,12
ΙΟΥΛΙΟΣ	107,6	28.382.985	0,873	16,8	0,985	54,1	0,119
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	100,8	28.680.515	0,776	24,5	0,999	51,97	0,12
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	91,72	27.996.401	0,625	35,8	0,993	47,93	0,123
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	82,41	25.031.968	0,486	47,6	0,955	43,61	0,125
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	74,48	20.984.950	0,4	56,9	0,902	40,55	0,126
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	70,63	18.892.240	0,322	61	0,873	38,28	0,128

Πίνακας 2.14: Ενδιάμεσα αποτελέσματα και μέση απόδοση Φ/Β στοιχείου

Υπολογισμός μέσης ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας μηνός σε κεκλιμένη επιφάνεια \bar{H}_T

Η μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία μηνός σε κεκλιμένη επιφάνεια δίνεται από τη σχέση:

$$\bar{H}_T = \bar{R} * \bar{H}$$

με

$$\bar{R} = \left(1 - \frac{\bar{H}_D}{\bar{H}}\right) * \bar{R}_b + \frac{\bar{H}_D}{\bar{H}} * \frac{1 + \cos\beta}{2} + \rho * \frac{1 - \cos\beta}{2}$$

όπου

- ρ : ο συντελεστής ανακλαστικότητας της περιοχής. Για την Ελλάδα χρησιμοποιείται η τιμή 0,2.
- \bar{H}_D/\bar{H} : ο λόγος της διάχυτης προς την ολική μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία μηνός σε κεκλιμένη επιφάνεια. Δίνεται από τη σχέση:

$$\frac{\bar{H}_D}{\bar{H}} \begin{cases} = 0,99 \text{ για } \bar{k}_T \leq 0,17 \\ = 1,188 - 2,272 * \bar{k}_T + 9,473 * \bar{k}_T^2 - 21,865 * \bar{k}_T^3 + 14,648 * \bar{k}_T^4 \\ \text{για } 0,17 \leq \bar{k}_T \leq 0,75 \\ = 0,54 * \bar{k}_T + 0,632 \text{ για } 0,75 \leq \bar{k}_T \leq 0,8 \\ = 0,2 \text{ για } \bar{k}_T \geq 0,8 \end{cases}$$

- \bar{R}_b : ο λόγος της μέσης ημερήσιας άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας μηνός σε κεκλιμένο επίπεδο προς την ίδια σε οριζόντιο επίπεδο. Δίνεται από τη σχέση:

$$\bar{R}_b = \frac{\cos(\varphi - \beta) * \cos\delta * \sin\omega_{st} + \left(\frac{\pi}{180}\right) * \omega_{st} * \sin(\varphi - \beta) * \sin\delta}{\cos\varphi * \cos\delta * \sin\omega_s + \left(\frac{\pi}{180}\right) * \omega_s * \sin\varphi * \sin\delta}$$

όπου

$$\omega_{st} = \min \left\{ \begin{array}{l} \cos^{-1}(-\tan\varphi * \tan\delta) \\ \cos^{-1}[-\tan(\varphi - \beta) * \tan\delta] \end{array} \right.$$

Εφαρμόζοντας τις παραπάνω σχέσεις ^{[1],[4]}, προκύπτουν τα αποτελέσματα του επόμενου πίνακα και τελικά η μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία μηνός σε κεκλιμένη επιφάνεια:

ΜΗΝΑΣ	ω_{st} (°)	\bar{R}_b	\bar{H}_D/\bar{H}	\bar{R}	\bar{H}_T (J/m ²)	\bar{H}_T (KWh/m ²)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	72,64	1,9332	0,8844	1,0354	6.522.800	1,812
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	79,61	1,6091	0,8154	1,0472	9.876.931	2,744
ΜΑΡΤΙΟΣ	88,12	1,3114	0,6869	1,0459	14.382.859	3,995
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	91,33	1,0754	0,4618	1,0128	18.778.181	5,216
ΜΑΪΟΣ	92,74	0,9306	0,2271	0,9435	21.772.487	6,048
ΙΟΥΝΙΟΣ	93,44	0,8719	0,2	0,8976	22.101.450	6,139
ΙΟΥΛΙΟΣ	93,12	0,8974	0,2	0,9179	22.735.498	6,315
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	91,93	1,0089	1,0509	0,9094	20.231.361	5,62
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	90,31	1,2098	0,3655	1,1156	19.517.867	5,422
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	82,41	1,5012	0,6284	1,1408	13.881.575	3,856
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	74,48	1,8386	0,7709	1,1316	9.491.886	2,637
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	70,63	2,0448	0,8661	1,0693	6.505.924	1,807

Πίνακας 2.15: Ενδιάμεσα αποτελέσματα και μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία μηνός σε κεκλιμένη επιφάνεια

Υπολογισμός ετήσιας παραγόμενης ενέργειας

Πλέον, μπορούμε να υπολογίσουμε την ημερήσια παραγόμενη ενέργεια από τη σχέση:

$$E_D = S * \eta_p * \bar{H}_T * (1 - \lambda_p)$$

Εφαρμόζοντας αυτή τη σχέση ^[1] προκύπτει η ημερήσια παραγόμενη ενέργεια E_D για τη μέση ημέρα κάθε μηνός. Κατόπιν, πολλαπλασιάζοντας με τον αριθμό ημερών

που έχει κάθε μήνας υπολογίζεται εύκολα η συνολικά παραγόμενη ενέργεια E_M κάθε μηνός και τελικά η ετήσια παραγόμενη ενέργεια E :

ΜΗΝΑΣ	η_p	\bar{H}_T (KWh/m ²)	E_D (KWh)	E_M (KWh)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	0,128	1,812	1678	52.004
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	0,127	2,744	2516	70.440
ΜΑΡΤΙΟΣ	0,125	3,995	3618	112.150
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	0,123	5,216	4653	139.587
ΜΑΪΟΣ	0,121	6,048	5299	164.263
ΙΟΥΝΙΟΣ	0,12	6,139	5326	159.766
ΙΟΥΛΙΟΣ	0,119	6,315	5452	169.008
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	0,12	5,62	4898	151.840
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	0,123	5,422	4811	144.332
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	0,125	3,856	3487	108.092
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	0,126	2,637	2416	72.471
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	0,128	1,807	1672	51.827
ΕΤΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ E (MWh)				1395,78

Πίνακας 2.16: Ημερήσια, μηνιαία και ετήσια παραγόμενη ενέργεια

Η τιμή της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας υπολογίστηκε επίσης και με τη χρήση του λογισμικού εργαλείου RETSCREEN (θέτοντας τα ίδια δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας και Φ/Β συστήματος) και βρέθηκε ίση με 1503,03MWh, δηλαδή κατά 7,5% μεγαλύτερη από την τιμή 1395,78MWh. Στη συνέχεια, χρησιμοποιείται η τιμή που βρέθηκε με την αναλυτική μέθοδο, η οποία είναι πιο συντηρητική, ώστε οι υπολογισμοί να βρίσκονται από την ασφαλή πλευρά προσέγγισης της πραγματικότητας και να μην υπάρχει περίπτωση υπερεκτίμησης αυτού του καθοριστικού μεγέθους.

2.3. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Η παραγωγή ενέργειας από Φ/Β συστήματα αποτελεί μια σοβαρή επένδυση, η οποία πρέπει να εξεταστεί με οικονομοτεχνικά κριτήρια. Η οικονομική ανάλυση περιλαμβάνει:

- Τον προσδιορισμό του αρχικού κόστους της επένδυσης.
- Τον καθορισμό του πλαισίου χρηματοδότησης.
- Τον υπολογισμό των ετήσιων εσόδων και εξόδων.
- Τον υπολογισμό των οικονομικών δεικτών, μέσω των οποίων αξιολογείται η αποδοτικότητα της επένδυσης.

2.3.1. Κόστος και χρηματοδότηση της επένδυσης

Το αρχικό κόστος για την εγκατάσταση των Φ/Β συστημάτων περιλαμβάνει κυρίως τις δαπάνες για την εκπόνηση μελετών, την έκδοση αδειών, την αγορά του εξοπλισμού (πλασίων, μετατροπέων, βάσεων στήριξης, καλωδιώσεων κ.α.), τις εργασίες τοποθέτησης των συστημάτων, την ασφάλιση και τη διασύνδεση τους με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο. Σύμφωνα με τις τιμές στη σημερινή αγορά, το κόστος αυτό κυμαίνεται περίπου στις 3500€/KWp. Με καλή έρευνα αγοράς και με δεδομένο το γεγονός ότι τα Φ/Β συστήματα στο 301 ΕΒ δεν απαιτούν επιπλέον περίφραξη, το κόστος αυτό θα μπορούσε να μειωθεί ακόμα και στις 3000€/KWp. Στη συνέχεια, η μελέτη πραγματοποιείται θεωρώντας το χειρότερο σενάριο, δηλαδή την τιμή 3500€/KWp, που σημαίνει ότι το συνολικό αρχικό κόστος για την εγκατάσταση των 4730 πλασίων (1087,9KWp) ανέρχεται στα 3.807.650€.

Για την εξασφάλιση αυτού του απαιτούμενου αρχικού κεφαλαίου, υπάρχει και η δυνατότητα χορήγησης τραπεζικού δανείου. Το ύψος αυτού του δανείου ποικίλει ανάλογα με την πολιτική κάθε τράπεζας. Στη μελέτη μας θεωρούμε την λογική υπόθεση ότι το χορηγούμενο δάνειο καθορίζεται ίσο με το 70% του αρχικού κόστους επένδυσης. Με βάση τα πιο πρόσφατα τραπεζικά δεδομένα, το επιτόκιο του δανείου αυτού κυμαίνεται από 5,5 έως 7%, με μέγιστη περίοδο αποπληρωμής τα 10 έτη^[41].

Το υπόλοιπο 30% του αρχικού κόστους επένδυσης θα πρέπει να προέλθει από ίδια κεφάλαια, καθόσον δεν προβλέπεται από το νόμο κάποιου είδους επιδότηση στην περίπτωση εγκατάστασης Φ/Β πάρκου. Επομένως, η χρηματοδότηση του συνολικού αρχικού κόστους της επένδυσης θα πραγματοποιηθεί ως εξής:

- Κόστος επένδυσης (ΚΕ): 3.807.650€
- Δάνειο (70% ΚΕ): 2.665.355€
- Ίδια κεφάλαια (30% ΚΕ): 1.142.295€

2.3.2. Χρηματική ροή

Έσοδα

Τα έσοδα της επένδυσης προέρχονται από την πώληση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στη ΔΕΗ. Ο παραγωγός υπογράφει 20ετή σύμβαση με τη ΔΕΗ, η οποία εγγυάται την τιμή της πωλούμενης ενέργειας. Στον πρόσφατα ψηφισθέντα νόμο για τις ΑΠΕ (Νόμος 3851/2010 – Α 85/04.06.2010), η τιμολόγηση της παραγόμενης ενέργειας από Φ/Β συστήματα καθορίζεται σύμφωνα με τα στοιχεία του πίνακα 2.17 (Οι τιμές είναι σε €/MWh και ο όρος ΜΟΤΣ αντιστοιχεί στη Μέση Οριακή Τιμή Συστήματος, που καθορίζεται από τη ΔΕΗ):

Έτος - μήνας	Διασυνδεδεμένο		Μη διασυνδεδεμένο
	A	B	Γ
	> 100 KW	≤ 100KW	ανεξαρτήτως ισχύος
2009 Φεβρουάριος	400	450	450
2009 Αύγουστος	400	450	450
2010 Φεβρουάριος	400	450	450
2010 Αύγουστος	392,04	441,05	441,05
2011 Φεβρουάριος	372,83	419,43	419,43
2011 Αύγουστος	351,01	394,89	394,89
2012 Φεβρουάριος	333,81	375,54	375,54
2012 Αύγουστος	314,27	353,55	353,55
2013 Φεβρουάριος	298,87	336,23	336,23
2013 Αύγουστος	281,38	316,55	316,55
2014 Φεβρουάριος	268,94	302,56	302,56
2014 Αύγουστος	260,97	293,59	293,59
Για κάθε έτος ν από το 2015 και μετά	$1,3 * \text{ΜΟΤΣ}_{\nu-1}$	$1,4 * \text{ΜΟΤΣ}_{\nu-1}$	$1,4 * \text{ΜΟΤΣ}_{\nu-1}$

Πίνακας 2.17: Τιμολόγηση παραγόμενης ενέργειας από Φ/Β συστήματα

Στους υπολογισμούς μας θα λάβουμε ως εγγυημένη τιμή πώλησης της ενέργειας στη ΔΕΗ αυτή του Αυγούστου του 2011, δηλαδή 351,01€/MWh.

Επιπλέον, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η απόδοση των Φ/Β πλαισίων δεν παραμένει σταθερή με το πέρασμα των χρόνων, αλλά μειώνεται κατά ένα μικρό ποσοστό. Οι περισσότερες εταιρίες κατασκευής Φ/Β πλαισίων εγγυώνται για 25 έτη το 80% της αρχικής τους απόδοσης. Είναι λογικό επομένως να θεωρήσουμε ότι κάθε χρόνο η απόδοση των πλαισίων μειώνεται κατά ένα ποσοστό 0,8% επί της αρχικής τους απόδοσης.

Επομένως, τα ετήσια έσοδα κατά την 20ετή σύμβαση με τη ΔΕΗ αναμένονται ως εξής:

ΕΤΟΣ	ΑΠΟΔΟΣΗ ΠΛΑΙΣΙΩΝ (% της αρχικής)	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (MWh)	ΤΙΜΗ ΠΩΛΗΣΗΣ (€/MWh)	ΕΣΟΔΑ (€)
1	100	1395,78	351,01	489.934
2	99,2	1384,62	351,01	486.015
3	98,4	1373,45	351,01	482.095
4	97,6	1362,29	351,01	478.176
5	96,8	1351,12	351,01	474.256
6	96	1339,95	351,01	470.337
7	95,2	1328,79	351,01	466.417
8	94,4	1317,62	351,01	462.498
9	93,6	1306,45	351,01	458.578
10	92,8	1295,29	351,01	454.659
11	92	1284,12	351,01	450.739
12	91,2	1272,96	351,01	446.820
13	90,4	1261,79	351,01	442.900
14	89,6	1250,62	351,01	438.981
15	88,8	1239,46	351,01	435.062
16	88	1228,29	351,01	431.142
17	87,2	1217,12	351,01	427.223
18	86,4	1205,96	351,01	423.303
19	85,6	1194,79	351,01	419.384
20	84,8	1183,62	351,01	415.464

Πίνακας 2.18: Αναμενόμενα ετήσια έσοδα από την πώληση της παραγόμενης ενέργειας

Λειτουργικό κόστος

Το ετήσιο λειτουργικό κόστος (συντήρηση, τυχόν βλάβες, αναλώσιμα, ασφάλιστρα) για εγκαταστάσεις Φ/Β συστημάτων εκτιμάται στο 0,5% του αρχικού κόστους επένδυσης, δηλαδή στο ποσό των 19.038€.

Αποπληρωμή δανείου

Οι όροι του χορηγούμενου δανείου έχουν ως εξής:

- Ποσό δανεισμού $L=2.665.355\text{€}$
- Επιτόκιο δανεισμού $i_L=7\%$ (σταθερό)
- Περίοδος αποπληρωμής $N_L=10$ έτη

Τότε, η σταθερή ετήσια δόση (τοκοχρεωλύσιο) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$X = \frac{L * i_L}{1 - (1 + i_L)^{-N_L}} = \frac{2.665.355€ * 0,07}{1 - (1 + 0,07)^{-10}} = 379.487€$$

Στον επόμενο πίνακα φαίνεται αναλυτικά η αποπληρωμή του δανείου:

ΕΤΟΣ	ΧΡΕΩΛΥΣΙΟ (€)	ΤΟΚΟΣ (€)	ΤΟΚΟΧΡΕΩΛΥΣΙΟ (€)
1	192.912	186.575	379.487
2	206.416	173.071	379.487
3	220.865	158.622	379.487
4	236.325	143.162	379.487
5	252.868	126.619	379.487
6	270.569	108.918	379.487
7	289.509	89.978	379.487
8	309.774	69.713	379.487
9	331.459	48.028	379.487
10	354.661	24.826	379.487

Πίνακας 2.19: Αποπληρωμή του δανείου

Απόσβεση και φορολογία

Στον υπολογισμό των ετήσιων εξόδων πρέπει να συμπεριλάβουμε και τη νόμιμη απόσβεση του αρχικού κόστους επένδυσης. Η απόσβεση δεν αποτελεί πραγματικό χρηματικό κόστος, χρησιμοποιείται όμως “εικονικά” για την φοροελάφρυνση του επενδυτή. Ένας λογικός χρόνος απόσβεσης είναι τα 15 έτη, δηλαδή ο συντελεστής απόσβεσης θα είναι $1/15=0,0667$ (εντός των προβλεπόμενων από το νόμο ορίων του συντελεστή απόσβεσης, που είναι από 5 έως 7%) και το ετήσιο ποσό απόσβεσης $3.807.650€/15=253.843€$.

Τώρα μπορούμε να υπολογίσουμε την ετήσια φορολογική επιβάρυνση του επενδυτή, η οποία προκύπτει ως ποσοστό 20% επί του κέρδους προ φόρων. Το κέρδος προ φόρων δίνεται από τη σχέση:

$$\text{Κέρδος προ φόρων} = \text{Έσοδα} - \text{Λειτουργικά έξοδα} - \text{Αποσβέσεις} - \text{Τόκος}$$

Σύμφωνα με τα παραπάνω, σχηματίζουμε τον επόμενο πίνακα υπολογισμού του κέρδους προ φόρων, του φόρου και του κέρδους μετά φόρων:

ΕΤΟΣ	ΕΞΟΔΑ (€)	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΕΞΟΔΑ (€)	ΑΠΟΣΒΕΣΗ (€)	ΤΟΚΟΣ (€)	ΚΕΡΔΟΣ ΠΡΟ ΦΟΡΟΥ (€)	ΦΟΡΟΣ (€)	ΚΕΡΔΟΣ ΜΕΤΑ ΦΟΡΟΥ (€)
1	489.934	19.038	253.843	186.575	30.478	6096	24.382
2	486.015	19.038	253.843	173.071	40.062	8012	32.050
3	482.095	19.038	253.843	158.622	50.592	10.118	40.473
4	478.176	19.038	253.843	143.162	62.133	12.427	49.706
5	474.256	19.038	253.843	126.619	74.756	14.951	59.805
6	470.337	19.038	253.843	108.918	88.537	17.707	70.830
7	466.417	19.038	253.843	89.978	103.558	20.712	82.846
8	462.498	19.038	253.843	69.713	119.904	23.981	95.923
9	458.578	19.038	253.843	48.028	137.668	27.534	110.135
10	454.659	19.038	253.843	24.826	156.951	31.390	125.561
11	450.739	19.038	253.843	-	177.858	35.572	142.286
12	446.820	19.038	253.843	-	173.938	34.788	139.151
13	442.900	19.038	253.843	-	170.019	34.004	136.015
14	438.981	19.038	253.843	-	166.099	33.220	132.880
15	435.062	19.038	253.843	-	162.180	32.436	129.744
16	431.142	19.038	-	-	412.104	82.421	329.683
17	427.223	19.038	-	-	408.184	81.637	326.547
18	423.303	19.038	-	-	404.265	80.853	323.412
19	419.384	19.038	-	-	400.345	80.069	320.276
20	415.464	19.038	-	-	396.426	79.285	317.141

Πίνακας 2.20: Υπολογισμός φόρου και κέρδους προ και μετά φόρου

Συνολικά ετήσια έξοδα

Τα ετήσια έξοδα συνίστανται στο λειτουργικό κόστος της εγκατάστασης, στην αποπληρωμή των τοκοχρεωλυσιών (δόσεων) του δανείου και στη νόμιμη φορολογική επιβάρυνση. Δίνονται από τη σχέση:

$$\text{Έξοδα} = \text{Λειτουργικά έξοδα} + \text{Τοκοχρεωλύσια} + \text{Φόρος}$$

και συνοψίζονται στον επόμενο πίνακα:

ΕΤΟΣ	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΕΞΟΔΑ (€)	ΤΟΚΟΧΡΕΩΛΥΣΙΟ (€)	ΦΟΡΟΣ (€)	ΕΞΟΔΑ (€)
1	19.038	379.487	6096	404.620
2	19.038	379.487	8012	406.537
3	19.038	379.487	10.118	408.643
4	19.038	379.487	12.427	410.951
5	19.038	379.487	14.951	413.476

6	19.038	379.487	17.707	416.232
7	19.038	379.487	20.712	419.236
8	19.038	379.487	23.981	422.506
9	19.038	379.487	27.534	426.059
10	19.038	379.487	31.390	429.915
11	19.038	-	35.572	54.610
12	19.038	-	34.788	53.826
13	19.038	-	34.004	53.042
14	19.038	-	33.220	52.258
15	19.038	-	32.436	51.474
16	19.038	-	82.421	101.459
17	19.038	-	81.637	100.675
18	19.038	-	80.853	99.891
19	19.038	-	80.069	99.107
20	19.038	-	79.285	98.323

Πίνακας 2.21: Ετήσια έξοδα

2.3.3. Υπολογισμός οικονομικών δεικτών

Οι οικονομικοί δείκτες που χρησιμοποιούνται συνήθως για την αξιολόγηση επενδύσεων είναι η περίοδος ανάκτησης του κεφαλαίου, η καθαρή παρούσα αξία (Net Present Value) και ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης (Internal Rate of Return) ^[1].

Περίοδος ανάκτησης κεφαλαίου

Η περίοδος ανάκτησης του κεφαλαίου μας δείχνει το χρονικό σημείο, στο οποίο η επένδυση θα έχει αποφέρει στον παραγωγό κέρδος ίσο με το ιδιοκεφάλαιο που κατέβαλε αρχικά. Από εκείνη τη στιγμή κι έπειτα, ο παραγωγός αποκτά ουσιαστικά καθαρό κέρδος από την επένδυσή του. Για να προσδιορίσουμε την περίοδο ανάκτησης κεφαλαίου, θα πρέπει να υπολογίσουμε την καθαρή χρηματοροή, η οποία για κάθε έτος δίνεται από τη σχέση:

$$\text{Καθαρή χρηματοροή} = \text{Ετήσια έσοδα} - \text{Ετήσια έξοδα}$$

και στη συνέχεια την αθροιστική χρηματοροή, η οποία για κάθε έτος n της επένδυσης δίνεται από τη σχέση:

$$\text{Αθροιστική χρηματοροή}_n = \text{Αθροιστική χρηματοροή}_{n-1} + \text{Καθαρή χρηματοροή}_n$$

Στον επόμενο πίνακα υπολογίζονται, σύμφωνα με τις προηγούμενες σχέσεις, η καθαρή και η αθροιστική χρηματοροή για κάθε έτος της επένδυσης:

ΕΤΟΣ	ΕΣΟΔΑ (€)	ΕΞΟΔΑ (€)	ΚΑΘΑΡΗ ΧΡΗΜΑΤΟΡΟΗ (€)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΧΡΗΜΑΤΟΡΟΗ (€)
0	0	1.142.295	-1.142.295	-1.142.295
1	489.934	404.620	85.314	-1.056.981
2	486.015	406.537	79.477	-977.504
3	482.095	408.643	73.452	-904.052
4	478.176	410.951	67.224	-836.828
5	474.256	413.476	60.780	-776.047
6	470.337	416.232	54.104	-721.943
7	466.417	419.236	47.181	-674.762
8	462.498	422.506	39.992	-634.770
9	458.578	426.059	32.520	-602.250
10	454.659	429.915	24.744	-577.506
11	450.739	54.610	396.130	-181.376
12	446.820	53.826	392.994	211.618
13	442.900	53.042	389.858	601.476
14	438.981	52.258	386.723	988.199
15	435.062	51.474	383.587	1.371.786
16	431.142	101.459	329.683	1.701.469
17	427.223	100.675	326.547	2.028.017
18	423.303	99.891	323.412	2.351.429
19	419.384	99.107	320.276	2.671.705
20	415.464	98.323	317.141	2.988.846

Πίνακας 2.22: Καθαρή και αθροιστική χρηματοροή

Το χρονικό διάστημα από την αρχή της επένδυσης μέχρι το σημείο όπου η αθροιστική χρηματοροή γίνεται θετική, αποτελεί την περίοδο ανάκτησης του κεφαλαίου. Όσο μικρότερη είναι η περίοδος αυτή, τόσο πιο αποδοτική είναι η επένδυση. Από τα δεδομένα του πίνακα 2.22 προκύπτει πως η περίοδος ανάκτησης κεφαλαίου στην περίπτωση μας είναι περίπου 12 έτη, η οποία αποτελεί μια ανεκτή τιμή.

Καθαρή παρούσα αξία

Δεύτερο κριτήριο για την αξιολόγηση επένδυσης είναι η καθαρή παρούσα αξία (NPV). Εκφράζει την σημερινή αξία σε χρηματικές μονάδες, που προκύπτει από την προεξόφληση στο παρόν, όλων των μελλοντικών καθαρών χρηματοροών κάθε έτους για το χρονικό ορίζοντα της επένδυσης. Δίνεται από τη σχέση:

$$NPV = -IK + \sum_{v=1}^N KX_v * (1 + i)^{-v}$$

όπου

- $IK=1.142.295\text{€}$: τα ίδια κεφάλαια που δαπανώνται στην αρχή της επένδυσης
- KX_v : η Καθαρή Χρηματοροή κάθε έτους v
- $N=20$ έτη: ο χρονικός ορίζοντας της επένδυσης
- i : το επιτόκιο αναγωγής. Αυτό προκύπτει από τα τρέχοντα τραπεζικά επιτόκια με πρόσθεση ενός επιπλέον ποσοστού, που εκφράζει το βαθμό αβεβαιότητας του επενδυτικού σχεδίου και έχει σκοπό να αντισταθμίσει το ρίσκο της επένδυσης. Θα επιλέξουμε $i=8\%$.

Οπότε σχηματίζουμε τον επόμενο πίνακα, για τον υπολογισμό της NPV:

ΕΤΟΣ	ΚΑΘΑΡΗ ΧΡΗΜΑΤΟΡΟΗ (€)	ΠΡΟΕΞΟΦΛΗΣΗ (€)
0	-1.142.295	-1.142.295
1	85.314	78.994
2	79.477	68.139
3	73.452	58.309
4	67.224	49.412
5	60.780	41.366
6	54.104	34.095
7	47.181	27.530
8	39.992	21.607
9	32.520	16.268
10	24.744	11.461
11	396.130	169.893
12	392.994	156.063
13	389.858	143.350
14	386.723	131.664
15	383.587	120.923
16	329.683	96.231
17	326.547	88.256
18	323.412	80.934
19	320.276	74.212
20	317.141	68.042
	NPV	394.453 €

Πίνακας 2.23: Υπολογισμός NPV

Η τιμή της NPV δεν έχει καμία σημασία, αυτό που ενδιαφέρει είναι αν προκύπτει θετική ή αρνητική. Θετική τιμή, όπως στην περίπτωση μας, σημαίνει ότι η αποδοτικότητα του επενδυτικού σχεδίου είναι μεγαλύτερη από το επιτόκιο αναγωγής και η επένδυση κρίνεται συμφέρουσα. Αν η τιμή προέκυπτε αρνητική το σχέδιο θα απορριπτόταν, ενώ αν προέκυπτε NPV=0, η επένδυση θα κρινόταν οριακά συμφέρουσα.

Εσωτερικός συντελεστής απόδοσης

Τέλος, ένα ακόμα κριτήριο που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση επενδύσεων είναι ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης (IRR). Σχετίζεται άμεσα με την NPV, καθόσον ουσιαστικά αποτελεί εκείνο το επιτόκιο αναγωγής για το οποίο NPV=0. Σύμφωνα με το κριτήριο αυτό, για να είναι αποδοτική η επένδυση θα πρέπει ο IRR να είναι μεγαλύτερος από το τρέχον τραπεζικό επιτόκιο. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του IRR, τόσο αποδοτικότερη είναι η επένδυση. Υπολογίζεται με δοκιμές από τη σχέση:

$$NPV = 0 \Leftrightarrow -IK + \sum_{v=1}^N KX_v * (1 + IRR)^{-v} = 0$$

και στην περίπτωση μας προκύπτει IRR=10,84%, το οποίο είναι ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα.

Στον επόμενο πίνακα, παρουσιάζεται εποπτικά το επενδυτικό σχέδιο εγκατάστασης Φ/Β πλαισίων στο 301 ΕΒ.

2.3.4. Διερεύνηση παραμέτρων

Σημαντικό ρόλο στην αποδοτικότητα της επένδυσης παίζουν τόσο το κόστος της επένδυσης όσο και οι όροι του δανεισμού, δηλαδή το επιτόκιο και το ποσό του χορηγούμενου δανείου.

Το αρχικό κόστος εγκατάστασης των Φ/Β πλαισίων μειώνεται συνεχώς στην αγορά και, όπως ήδη έχει αναφερθεί, βρίσκεται πλέον κάτω από τις 3500€/KWp. Επειδή στο 301 ΕΒ ο αριθμός των Φ/Β πλαισίων που θα τοποθετηθούν είναι πολύ μεγάλος, μπορεί να επιτευχθεί ακόμα και ένα κόστος της τάξης των 3000€/KWp.

Προφανώς, η απόδοση της επένδυσης αυξάνεται, αν επιτευχθεί μικρότερο επιτόκιο δανεισμού από το 7%, η οποία θεωρείται άνω οριακή τιμή για δανειοδότηση επενδύσεων στις ΑΠΕ, σύμφωνα με τα πρόσφατα τραπεζικά δεδομένα. Το αντίστοιχο ελάχιστο όριο αυτού του επιτοκίου διαμορφώνεται στο 5,5%.

Μετά από διερεύνηση αυτών των παραμέτρων και υπολογισμό των αντίστοιχων οικονομικών δεικτών, προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα:

ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ	ΕΠΙΤΟΚΙΟ ΔΑΝΕΙΟΥ	ΠΟΣΟ ΔΑΝΕΙΟΥ	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ	
			ΠΑΚ	IRR
3500€/KWp	5,5%	30% ΚΕ	10 έτη	9,34%
		50% ΚΕ	11 έτη	10,32%
		70% ΚΕ	11 έτη	11,92%
	7%	30% ΚΕ	11 έτη	9,07%
		50% ΚΕ	11 έτη	9,75%
		70% ΚΕ	12 έτη	10,84%
3000€/KWp	5,5%	30% ΚΕ	8 έτη	12,06%
		50% ΚΕ	8 έτη	13,67%
		70% ΚΕ	8 έτη	16,51%
	7%	30% ΚΕ	9 έτη	11,78%
		50% ΚΕ	9 έτη	13,08%
		70% ΚΕ	10 έτη	15,32%

Πίνακας 2.25: Επίδραση του κόστους και της δανειοδότησης στην αποδοτικότητα της επένδυσης

Από τον πίνακα 2.25 παρατηρούμε ότι με μεγαλύτερο ύψος χορηγούμενου δανείου επιτυγχάνεται μεγαλύτερη απόδοση της επένδυσης, αλλά αυξάνεται ο χρόνος ανάκτησης κεφαλαίου.

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι παρόλο που στους υπολογισμούς θεωρήσαμε σταθερή την τιμή πώλησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στη ΔΕΗ, στην πραγματικότητα και σύμφωνα με τον ισχύοντα νόμο, η τιμή αυτή

αναπροσαρμόζεται κάθε έτος κατά ένα μικρό ποσοστό. Η προσαύξηση αυτή δεν είναι εύκολο να υπολογιστεί, καθόσον σχετίζεται με διαρκώς μεταβαλλόμενα μεγέθη, όπως ο δείκτης τιμών καταναλωτή και η μέση τιμή οριακού συστήματος, κι επομένως μια εκτίμησή της για το χρονικό ορίζοντα των 20 ετών θα ήταν μάλλον ριψοκίνδυνη. Πάντως, αποτελεί ένα δεδομένο που καθιστά την επένδυση ακόμα πιο συμφέρουσα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟ 301 ΕΒ

3.1. ΤΑ ΘΕΡΜΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

3.1.1. Ηλιακοί συλλέκτες

Τα θερμικά ηλιακά συστήματα μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα. Η αρχή λειτουργίας τους είναι πολύ απλή. Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία δεσμεύεται σε ηλιακούς συλλέκτες και θερμαίνει το ρευστό (συνήθως νερό), που διέρχεται μέσα από αυτούς. Στη συνέχεια, το θερμό ρευστό χρησιμοποιείται άμεσα ή έμμεσα στις διάφορες εφαρμογές, εκ των οποίων οι κυριότερες είναι η θέρμανση νερού χρήσης, η θέρμανση χώρων, η ηλιακή ψύξη και η παραγωγή θερμότητας για βιομηχανική χρήση.

Ο συλλέκτης αποτελεί το σημαντικότερο κομμάτι ενός ηλιακού συστήματος. Ουσιαστικά είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας, όπου εκεί επιτυγχάνεται η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε θερμότητα. Οι ηλιακοί συλλέκτες που χρησιμοποιούνται, διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες ^[1]:

- α) Επίπεδοι συλλέκτες
- β) Συλλέκτες κενού
- γ) Συγκεντρωτικοί συλλέκτες

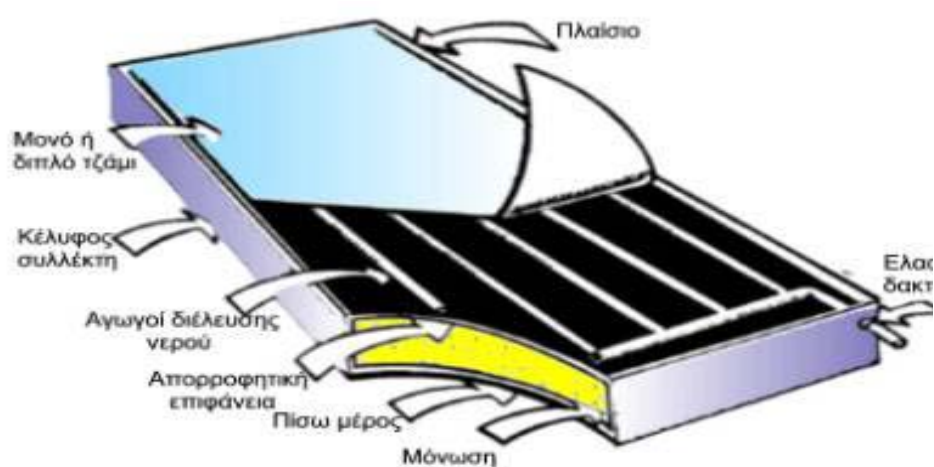
Επίπεδοι συλλέκτες

Ο επίπεδος συλλέκτης νερού είναι η πλέον διαδεδομένη μορφή συλλέκτη. Εκμεταλλεύεται την άμεση και τη διάχυτη ακτινοβολία. Δεν απαιτεί ιδιαίτερη συντήρηση, αφού δεν έχει μηχανικά μέρη. Τα βασικά του στοιχεία είναι ^[4]:

- Το διαφανές κάλυμμα, το οποίο κατασκευάζεται συνήθως από γυαλί. Δεν αποκλείεται και η ύπαρξη δεύτερου καλύμματος, που μπορεί να είναι πλαστικό αντί για τζάμι. Σημαντικό ρόλο παίζει η καλή επεξεργασία του καλύμματος, ώστε να αποδίδει μεγάλη θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα στον αέρα και την απορροφητική επιφάνεια.

- Η απορροφητική επιφάνεια, η οποία έχει συνήθως μαύρο χρώμα για υψηλότερη απορροφητικότητα. Σε κάποιες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται και επιφάνειες με επιλεκτικά απορροφητικές ουσίες, που επιτυγχάνουν μειωμένες θερμικές απώλειες. Γενικά, η απορροφητική πλάκα πρέπει να έχει υψηλή αγωγιμότητα, ώστε να μεταφέρει την ενέργεια στο ρευστό με λίγες απώλειες.

- Το δίκτυο μεταφοράς του νερού, το οποίο συνήθως βρίσκεται ενσωματωμένο στην απορροφητική πλάκα. Αποτελείται από σωλήνες σε παράλληλη διάταξη ή σε μορφή σερπαντίνας. Η διάταξη σερπαντίνας αποκλείει την πιθανότητα διαρροών και επιβάλλει ομοιόμορφη ροή. Δεν προσφέρει όμως απόλυτη προστασία από τον παγετό, επειδή τα καμπύλα περάσματα δεν μπορούν να στραγγιστούν πλήρως.
- Η θερμομόνωση στην πίσω και στις παράπλευρες επιφάνειες για τον περιορισμό των θερμικών απωλειών.
- Το πλαίσιο, το οποίο περιβάλλει το συλλέκτη, συγκρατεί την κατασκευή και προσφέρει προστασία από βροχή, υγρασία και σκόνη.



(α)



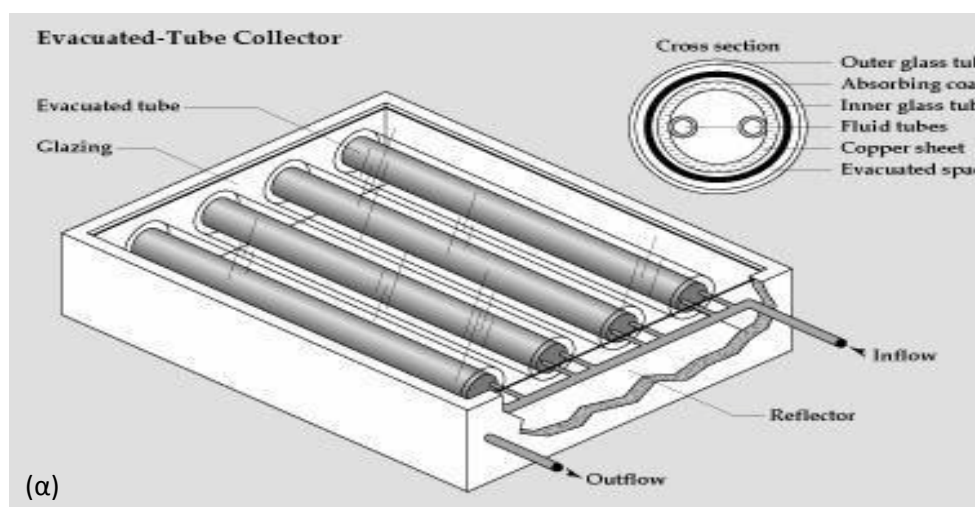
(β)

Εικόνα 3.1: (α) Κύρια μέρη επίπεδου συλλέκτη νερού ^[31]
(β) Επίπεδοι συλλέκτες νερού ^[30]

Εκτός από τους συλλέκτες νερού που περιγράφηκαν προηγουμένως, υπάρχουν και άλλο δύο τύποι επίπεδων συλλεκτών, οι οποίοι όμως δεν έχουν ιδιαίτερα εκτεταμένη χρήση. Οι πρώτοι είναι οι συλλέκτες χωρίς τζάμι, οι οποίοι είναι κατάλληλοι για τη θέρμανση κολυμβητικών δεξαμενών, όπου απαιτείται μικρή αύξηση της θερμοκρασίας του νερού σε σχέση με την θερμοκρασία περιβάλλοντος. Οι δεύτεροι είναι οι συλλέκτες αέρα, όπου δεν υπάρχουν σωλήνες ροής, αλλά αεραγωγός, όπου αέρας κινείται με φυσική ή βεβιασμένη κυκλοφορία. Λόγω της χρήσης αέρα ως θερμαινόμενο μέσο δεν υπάρχει κίνδυνος παγετού ή βρασμού, όμως η μεταφορά θερμότητας είναι μικρότερη σε σχέση με τους συλλέκτες νερού, αφού η θερμοχωρητικότητα του αέρα είναι μικρότερη από αυτή του νερού ^[1].

Συλλέκτες κενού

Αποτελούνται από ένα σύστημα δύο γυάλινων κυλινδρικών σωλήνων. Μεταξύ των δύο σωλήνων υπάρχει κενό αέρος και ένα στρώμα απορροφητικής επιφάνειας. Στο κοίλο του εσωτερικού γυάλινου σωλήνα τοποθετείται μεταλλικός αγωγός που φέρει ειδικό υγρό υπό πίεση, τέτοια ώστε να βράζει ακόμα και σε χαμηλές θερμοκρασίες. Ο ατμός ανεβαίνει στο υψηλότερο σημείο του μεταλλικού αγωγού, έρχεται σε επαφή με το ψυχρό νερό του δικτύου συγκέντρωσης, αποδίδει την ενέργειά του, ψύχεται, υγροποιείται, επιστρέφει στο κάτω μέρος του μεταλλικού αγωγού κι η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Η θερμική αγωγιμότητα ενός τέτοιου σωλήνα είναι πολύ μεγαλύτερη από την αντίστοιχη ενός συμπαγή μεταλλικού σωλήνα, έχει επομένως τη δυνατότητα μεταφοράς μεγάλων ποσών θερμότητας (για μικρή όμως θερμοκρασιακή διαφορά). Επιπλέον, οι απώλειες θερμότητας λόγω συναγωγής μειώνονται εξαιτίας των συνθηκών κενού μέσα στους σωλήνες. Οι συλλέκτες κενού έχουν μεγαλύτερη απόδοση από τους επίπεδους, αλλά και υψηλότερο κόστος ^[1].





Εικόνα 3.2: (α) Κύρια μέρη συλλέκτη κενού ^[1]
(β) Συλλέκτες κενού ^[13]

Συγκεντρωτικοί συλλέκτες

Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες χρησιμοποιούνται κυρίως στην παραγωγή ατμού για ηλεκτροπαραγωγή ^[1]. Διακρίνονται στους συλλέκτες γραμμικής εστίασης και στους συλλέκτες σημειακής εστίασης. Οι πρώτοι εστιάζουν τις ακτίνες του ήλιου σε σωλήνα κατά μήκος παραβολικής επιφάνειας, η οποία μπορεί να περιστρέφεται πάνω - κάτω ή ανατολικά - δυτικά, ακολουθώντας την τροχιά του ήλιου. Οι δεύτεροι έχουν σύστημα παρακολούθησης του ήλιου δύο διαστάσεων.



Εικόνα 3.3: Συλλέκτες γραμμικής εστίασης (αριστερά) και συλλέκτης σημειακής εστίασης (δεξιά) ^[13]

3.1.2. Ηλιακά συστήματα θέρμανσης νερού

Σε αυτά τα συστήματα, η ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιείται για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Ένα τυπικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης νερού αποτελείται από ^[13]:

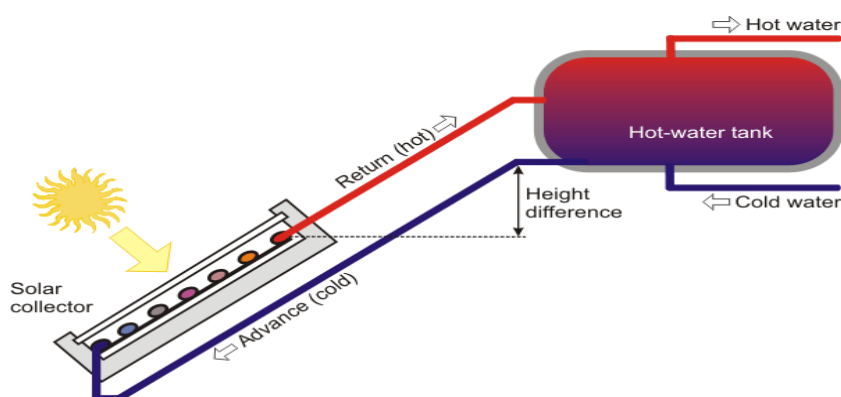
- Τους ηλιακούς συλλέκτες
- Τη δεξαμενή αποθήκευσης του ζεστού νερού
- Τις απαραίτητες σωληνώσεις
- Το σύστημα ελέγχου

Η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από τους συλλέκτες και το παραγόμενο ζεστό νερό οδηγείται στη δεξαμενή αποθήκευσης, προκειμένου να καταναλωθεί στη συνέχεια σε διάφορα σημεία του κτιρίου, όπου βρίσκεται η εγκατάσταση. Η ποσότητα του παραγόμενου νερού εξαρτάται από το μέγεθος του συστήματος, την διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία και τη σωστή εγκατάσταση (προσανατολισμός, κλίση συλλέκτη κ.α.).

Συστήματα φυσικής - εξαναγκασμένης κυκλοφορίας

Ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο πραγματοποιείται η κυκλοφορία του ζεστού νερού, τα ηλιακά συστήματα θέρμανσης νερού διακρίνονται σε φυσικής κυκλοφορίας και εξαναγκασμένης κυκλοφορίας.

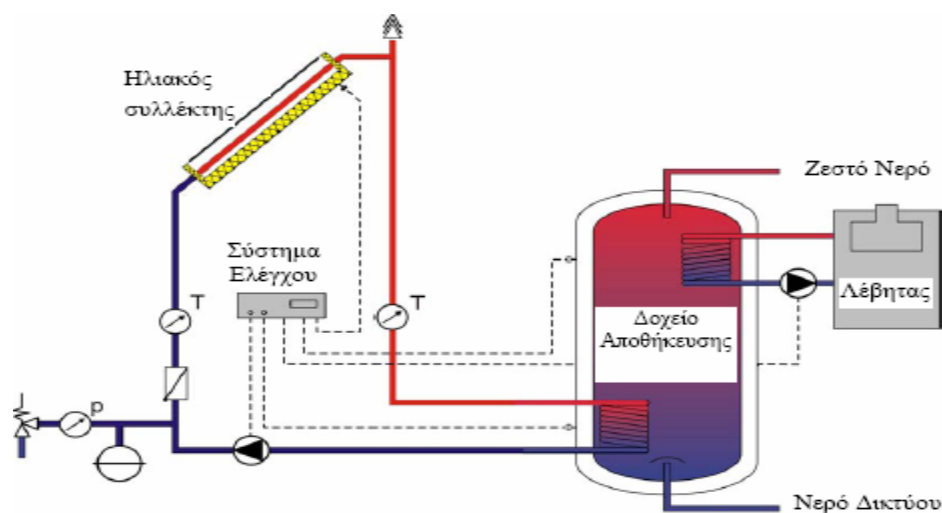
Στα φυσικής κυκλοφορίας συστήματα, η δεξαμενή αποθήκευσης βρίσκεται ψηλότερα από τους συλλέκτες. Όταν το νερό θερμαίνεται στους συλλέκτες, γίνεται ελαφρύτερο και ανέρχεται με φυσικό τρόπο προς τη δεξαμενή αποθήκευσης. Ταυτόχρονα, το ψυχρότερο νερό της δεξαμενής ρέει μέσω των σωληνώσεων προς το κατώτερο μέρος του συλλέκτη κι έτσι επιτυγχάνεται φυσική κυκλοφορία σε όλο το σύστημα ^[8].



Σχήμα 3.4: Σύστημα φυσικής κυκλοφορίας ^[8]

Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου συστήματος είναι ο γνωστός ηλιακός θερμοσίφωνας. Τα συστήματα φυσικής κυκλοφορίας, επειδή δεν περιέχουν αντλίες ή άλλα μηχανικά μέρη, δεν απαιτούν κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, είναι πιο αξιόπιστα, ευκολότερα στη συντήρηση, φθηνότερα και παρουσιάζουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από τα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας.

Τα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας συστήματα χρησιμοποιούν ηλεκτρική αντλία για την κυκλοφορία του νερού. Επομένως, δεν είναι απαραίτητο η δεξαμενή αποθήκευσης να βρίσκεται ψηλότερα από τους συλλέκτες και γι' αυτό μπορούν να ενταχθούν εύκολα σε υφιστάμενα κτίρια. Π.χ. οι συλλέκτες να ενσωματωθούν στη στέγη και η δεξαμενή αποθήκευσης να εγκατασταθεί οπουδήποτε μέσα στο κτίριο (π.χ. υπόγειο), διάταξη που προσδίδει και ένα ευχάριστο αισθητικό αποτέλεσμα. Είναι πιο ακριβά από τα φυσικής κυκλοφορίας, αλλά παρουσιάζουν μεγαλύτερη απόδοση και ομαλότερη κατανομή του ζεστού νερού μέσα στο εικοσιτετράωρο.



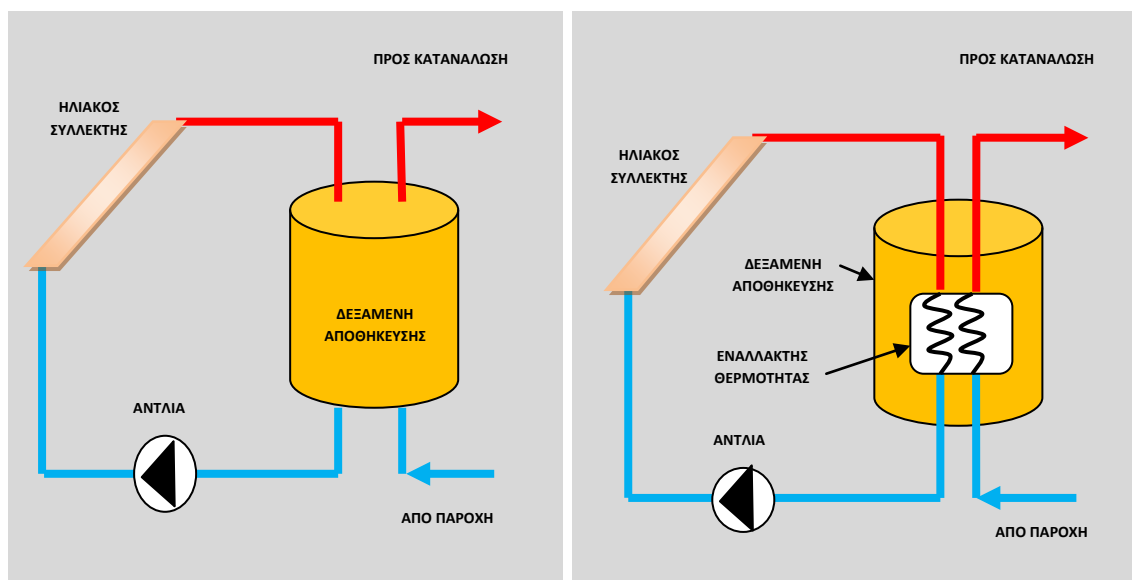
Σχήμα 3.5: Σύστημα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας ^[17]

Συστήματα ανοικτού - κλειστού κυκλώματος

Μία άλλη διάκριση των ηλιακών συστημάτων θέρμανσης νερού είναι αυτή σε ανοικτού και κλειστού κυκλώματος.

Στα συστήματα ανοικτού κυκλώματος, το νερό που θερμαίνεται στους συλλέκτες είναι το νερό χρήσης, αυτό δηλαδή που οδηγείται στη συνέχεια προς τις διάφορες καταναλώσεις. Σε αυτά τα συστήματα αποφεύγεται η χρήση νερού υψηλής σκληρότητας (λόγω δημιουργίας επικαθίσεων αλάτων και διάβρωσης) και είναι ακατάλληλα για περιοχές όπου επικρατούν παρατεταμένες περίοδοι παγετού. Έχουν υψηλή απόδοση και μικρό λειτουργικό κόστος.

Στα συστήματα κλειστού κυκλώματος το νερό χρήσης κυκλοφορεί σε διαφορετικό κύκλωμα από το ρευστό που κυκλοφορεί στους συλλέκτες. Το ρευστό που κυκλοφορεί στους συλλέκτες είναι συνήθως ένα μίγμα γλυκόλης και νερού, με αντιψυκτικές ιδιότητες. Οι συλλέκτες θερμαίνουν το ρευστό αυτό και στη συνέχεια, μέσω ενός εναλλάκτη, η θερμότητα μεταφέρεται στο κύκλωμα του νερού χρήσης. Τα συστήματα αυτά είναι κατάλληλα για περιοχές με ψυχρό κλίμα ^[17].



Σχήμα 3.6: Σύστημα ανοιχτού (αριστερά) και κλειστού (δεξιά) κυκλώματος

3.1.3. Ηλιακά συστήματα θέρμανσης χώρων

Τα συστήματα αυτά (γνωστά και ως solar combi systems ή απλά combi) υποβοηθούν τη θέρμανση χώρων και παράγουν ζεστό νερό χρήσης. Στην χώρα μας, η οποία ευνοείται από τις καιρικές συνθήκες, μόλις πριν από λίγα χρόνια ξεκίνησε η αξιοποίηση αυτής της τεχνολογίας, αν και σε αρκετές ευρωπαϊκές χώρες (Γερμανία, Αυστρία, Ιταλία, Γαλλία) χρησιμοποιείται ευρύτατα τουλάχιστον τα τελευταία δέκα χρόνια και αναπτύσσεται ραγδαία. Πάντως, από πρόσφατες μελέτες του ΚΑΠΕ έχει αποδειχθεί ότι με τη χρήση combi συστημάτων σε κατοικία στην Ελλάδα, η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών για θέρμανση χώρων ξεπερνά το 35% και για παραγωγή ζεστού νερού το 90%, που σημαίνει ότι η περαιτέρω αξιοποίησή τους κρίνεται απαραίτητη και αξιόλογη ^[17].

Γενικά, τα combi συστήματα αποτελούνται από:

- Τους ηλιακούς συλλέκτες, οι οποίοι τοποθετούνται με νότιο προσανατολισμό για μέγιστη παραγωγή ενέργειας.

- Ένα διπλό δοχείο αποθήκευσης νερού. Το δοχείο ζεστού νερού χρήσης βρίσκεται εμβαπτισμένο μέσα σε μεγαλύτερο δοχείο, στο οποίο αποθηκεύεται ενέργεια στο νερό που θα χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση των χώρων. Το θερμοδοχείο θα πρέπει να είναι καλά μονωμένο και κυρίως να βοηθά στην διαστρωμάτωση της θερμοκρασίας του νερού στο εσωτερικό του. Η διαστρωμάτωση του δοχείου έχει ως αποτέλεσμα την μέγιστη απόδοση του συστήματος, τον περιορισμό των θερμικών απωλειών και την μέγιστη συλλογή ενέργειας από τους ηλιακούς συλλέκτες

- Τη βοηθητική πηγή θέρμανσης, η οποία μπορεί να είτε είναι ένας ηλεκτρικός λέβητας, είτε ένας λέβητας πετρελαίου ή αερίου ή βιομάζας, είτε αντλίες θερμότητας. Συνήθως, συνιστώνται και χρησιμοποιούνται οι αντλίες θερμότητας, για τους εξής λόγους:

- α) Δεν επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα με καύση ορυκτών πόρων.

- β) Απαιτούν ελάχιστο εξωτερικό χώρο και όχι λεβητοστάσιο, δεξαμενή καυσίμου και καμινάδα.

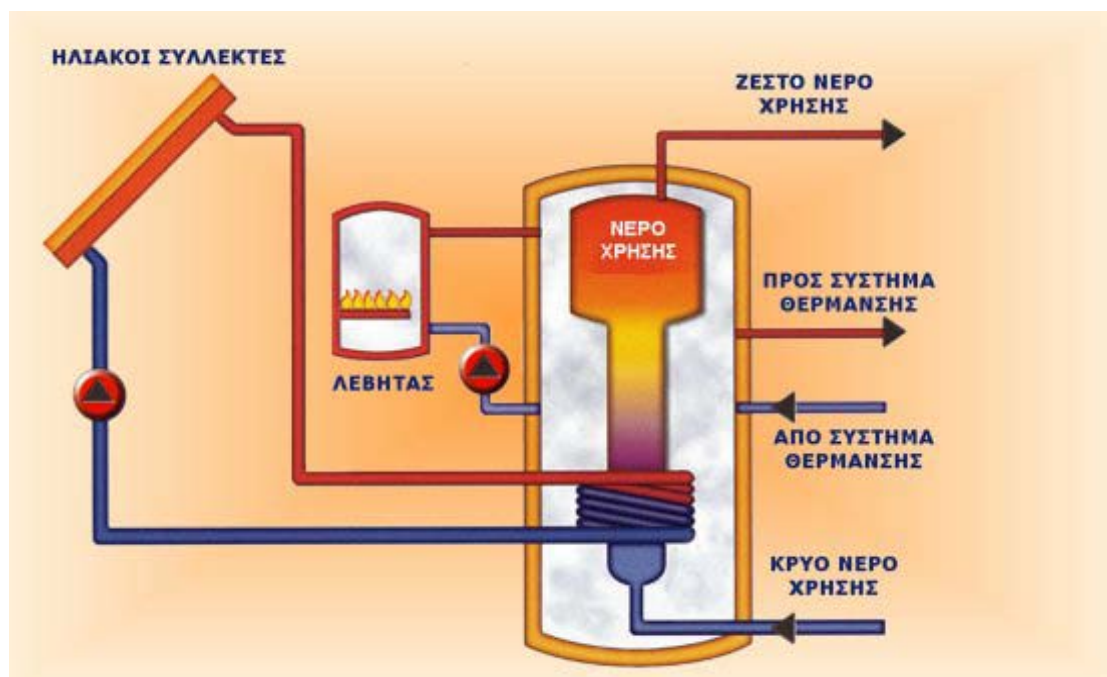
- γ) Προσφέρουν μεγαλύτερη ασφάλεια, αφού δεν υπάρχει τροφοδοσία καυσίμου.

- δ) Με την ίδια εγκατάσταση μπορεί να επιτευχθεί ψύξη το καλοκαίρι.

- ε) Είναι ιδιαίτερα οικονομική η λειτουργία τους, καθώς η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται, δεν μετατρέπεται σε θερμική, αλλά χρησιμοποιείται για την κίνηση του συμπιεστή, που αντλεί θερμότητα από το περιβάλλον και την μεταφέρει στο νερό.

- Τα θερμαντικά σώματα (καλοριφέρ, fan coil, ενδοδαπέδιες σωληνώσεις).

- Το σύστημα ελέγχου, το οποίο ελέγχει συνέχεια την θερμοκρασία στο δοχείο θέρμανσης και ανάλογα με τις συνθήκες επιλέγει αν θα λειτουργήσει ο κυκλοφορητής των ηλιακών, ή η βοηθητική θέρμανση. Όταν υπάρχει ηλιοφάνεια δίνει εντολή στον κυκλοφορητή του συστήματος να μεταφέρει την θερμότητα από τους συλλέκτες στο δοχείο. Όταν δεν υπάρχει ήλιος, ενεργοποιεί την βοηθητική πηγή θέρμανσης. Επίσης, ελέγχει την θερμοκρασία στο νερό χρήσης και δεν επιτρέπει να πέσει κάτω από μια ορισμένη τιμή. Διαθέτει εξελιγμένη αντιψυκτική προστασία και προστασία υπερθέρμανσης συλλεκτών, σωληνώσεων και θερμοδοχείου.



Σχήμα 3.7: Ηλιακό σύστημα θέρμανσης χώρου (combi) ^[17]

Η αρχή λειτουργίας του συστήματος είναι ίδια με αυτή ενός κεντρικού συστήματος ηλιακών για θέρμανση ζεστού νερού χρήσης. Η ενέργεια των ηλιακών συλλεκτών μεταφέρεται στο καλά μονωμένο θερμοδοχείο και θερμαίνει αρχικά το νερό της κεντρικής θέρμανσης και στη συνέχεια το ζεστό νερό χρήσης. Εάν η ηλιακή ενέργεια δεν επαρκεί, τότε τίθεται σε λειτουργία η βοηθητική πηγή θερμότητας και συμπληρώνει την απαιτούμενη ενέργεια. Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται μεγάλη εξοικονόμηση καυσίμων και η θέρμανση των χώρων και του νερού χρήσης επιτυγχάνεται με τρόπο φιλικό προς το περιβάλλον ^[17].

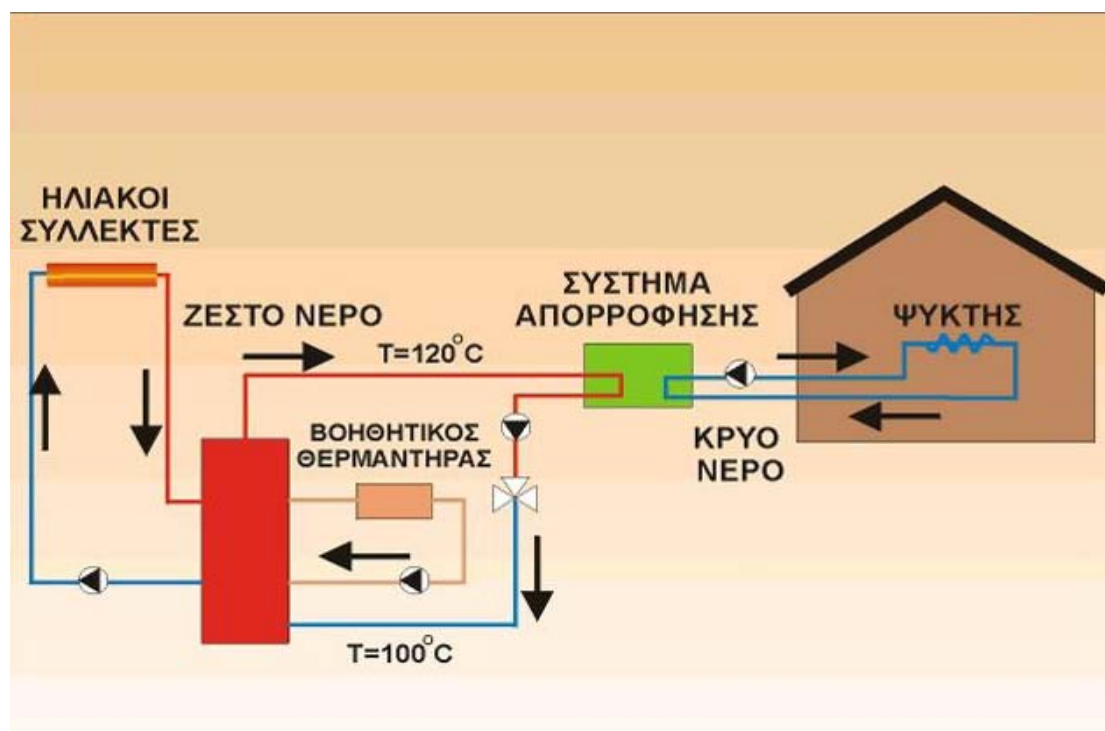
3.1.4. Συστήματα ηλιακού κλιματισμού

Ο κλιματισμός ενός χώρου με χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μια πρόσφατα αναπτυσσόμενη τεχνολογία. Εκμεταλλεύεται το γεγονός ότι η περίοδος που οι απαιτήσεις ενός κτιρίου σε ψύξη είναι υψηλές (καλοκαίρι) συμπίπτει με την περίοδο που η ηλιακή ακτινοβολία είναι περισσότερο διαθέσιμη. Η εφαρμογή των συστημάτων ηλιακού κλιματισμού ενδείκνυται σε περιπτώσεις κτιρίων με υψηλές και συνεχείς ανάγκες σε κλιματισμό κατά την καλοκαιρινή περίοδο και μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε ως αυτόνομα συστήματα, είτε σε συνδυασμό με συμβατικές διατάξεις κλιματισμού. Σαφές πλεονέκτημα σε σχέση με τα συμβατικά κλιματιστικά αποτελεί το γεγονός της απουσίας κινουμένων μερών (πλην μερικών αντλιών), το

οποίο έχει σαν αποτέλεσμα την απουσία θορύβου. Η οικονομικότητα ενός συστήματος ηλιακού κλιματισμού ευνοείται, αν επεκταθεί η χρήση του στην χειμερινή περίοδο (για θέρμανση) και στην παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Τέλος, σημαντικό χαρακτηριστικό των συστημάτων ηλιακού κλιματισμού αποτελεί η δυνατότητα ενσωμάτωσης τους σε υπάρχοντα συστήματα ^[13].

Ένα τυπικό σύστημα ηλιακού κλιματισμού αποτελείται από:

- Τους ηλιακούς συλλέκτες
- Τον ηλιακό ψύκτη νερού (σύστημα κύκλου απορρόφησης ή προσρόφησης)
- Τις δεξαμενές αποθήκευσης
- Το υδραυλικό κύκλωμα (πύργοι ψύξης, αντλίες, εναλλάκτες θερμότητας, βάνες, σωληνώσεις)
- Το σύστημα ελέγχου







Σχήμα 3.8: Σύστημα ηλιακού κλιματισμού ^[13]

Τα συστήματα ηλιακού κλιματισμού διακρίνονται στις εξής κατηγορίες ^[13]:

α) Κλειστά συστήματα: αυτά είναι θερμοκίνητοι ψύκτες που παρέχουν ψυχρό νερό, το οποίο είτε χρησιμοποιείται στις κεντρικές κλιματιστικές μονάδες για να παρέχει πλήρως κλιματισμένο αέρα (ψυχρό, ξηρό), είτε διανέμεται μέσω ενός δικτύου ψυχρού νερού σε καθορισμένους χώρους για να ενεργοποιήσει τις τοπικές μονάδες των δωματίων (π.χ. fan coils). Στην αγορά σήμερα, υπάρχουν διαθέσιμοι ψύκτες απορρόφησης (πιο κοινοί) και ψύκτες προσρόφησης.

β) Ανοικτά συστήματα: επιτρέπουν πλήρη κλιματισμό παρέχοντας ψυχρό και ξηρό αέρα σύμφωνα με τις απαιτούμενες συνθήκες άνεσης. Το ψυκτικό μέσο είναι πάντα νερό, δεδομένου ότι είναι σε άμεση επαφή με τον αέρα. Τα πιο κοινά συστήματα είναι συστήματα ψύξης ανοικτού κύκλου (desiccant), που χρησιμοποιούν έναν περιστρεφόμενο τροχό αφύγρανσης με στερεό πορώδες απορροφητικό υλικό.

Συγκεντρωτικά, παρουσιάζονται οι τεχνολογίες ηλιακού κλιματισμού στον πίνακα 3.9:

Μέθοδος	Κλειστού Κύκλου		Ανοικτού Κύκλου	
	Ψυκτικός κύκλος	Κλειστός ψυκτικός κύκλος		Ψυκτικό μέσο (νερό) είναι σε επαφή με τον αέρα
Αρχή	Ψυχρό νερό υπό εξάτμιση		Αφύγρανση του αέρα και ψύξη με εξάτμιση	
Φάση υλικού ρόφησης	Στερεό	Υγρό	Στερεό	Υγρό
				
Τυπικά ζεύγη υλικών	νερό - silica gel	νερό -βρωμιούχο λίθιο αμμωνία - νερό	νερό - silica gel νερό - χλωριούχο ασβέστιο	νερό - χλωριούχο ασβέστιο, νερό - χλωριούχο λίθιο
Τεχνολογία διαθέσιμη στην αγορά	Ψύκτης προσρόφησης	Ψύκτης απορρόφησης	DEC	Κοντά στην εισαγωγή στην αγορά
Τυπική ψυκτική ικανότητα(kW)	50 - 430 kW	15 kW - 5 MW	20 kW - 350 kW (ανά μονάδα)	
Τυπικό COP	0,5 - 0,7	0,6 - 0,75 (απλής βαθμίδας)	0,5 - > 1	> 1
Θερμοκρασία αναγέννησης	60 - 90 °C	80 - 110 °C	45 - 95 °C	45 - 70 °C
Ηλιακοί συλλέκτες	Συλλέκτες κενού, επίπεδοι συλλέκτες	Συλλέκτες κενού, επίπεδοι συλλέκτες	Επίπεδοι συλλέκτες, συλλέκτες αέρος	Επίπεδοι συλλέκτες, συλλέκτες αέρος

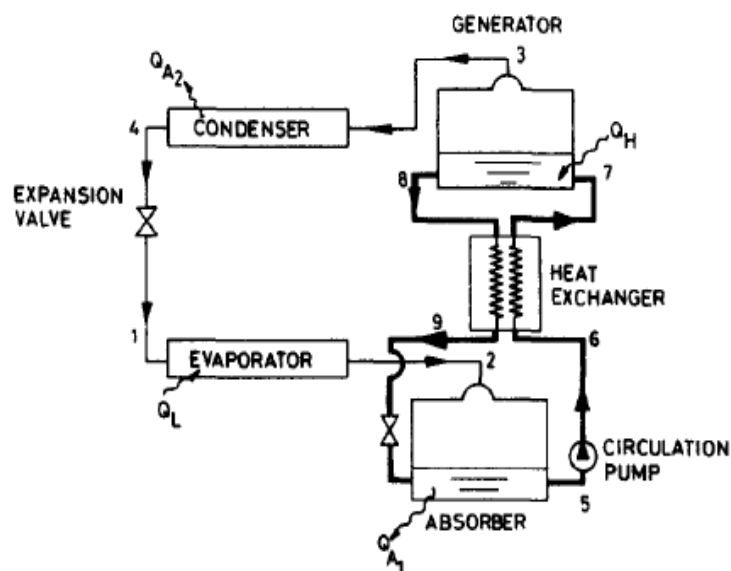
Πίνακας 3.9: Τεχνολογίες συστημάτων ηλιακού κλιματισμού ^[13]

Σύστημα ψύξης με απορρόφηση

Η πλέον διαδεδομένη τεχνολογία στα κλειστά συστήματα ηλιακού κλιματισμού είναι το σύστημα ψύξης με απορρόφηση. Αποτελεί ένα περίπλοκο σύστημα που χρησιμοποιεί δυο εργαζόμενα μέσα, το ψυκτικό μέσο και τον απορροφητή, αντί του ενός εργαζόμενου μέσου που χρησιμοποιείται στον κύκλο συμπύεσης ατμού. Στην περίπτωση του κύκλου απορρόφησης, εκτός από τον ατμοποιητή και τον συμπυκνωτή συμπεριλαμβάνεται ένας απορροφητής-αναγεννητής (absorber-generator) ικανός να χρησιμοποιήσει θερμότητα από μια

πηγή σε υψηλή θερμοκρασία για να παράγει το ίδιο αποτέλεσμα με έναν συμπιεστή [1].

Στο σχήμα 3.10 παρουσιάζεται ένα τυπικό σύστημα ψύξης με απορρόφηση. Η ροή του απορροφητή αποτυπώνεται με πιο έντονη γραμμή για να διακρίνεται από την ροή του ψυκτικού μέσου.

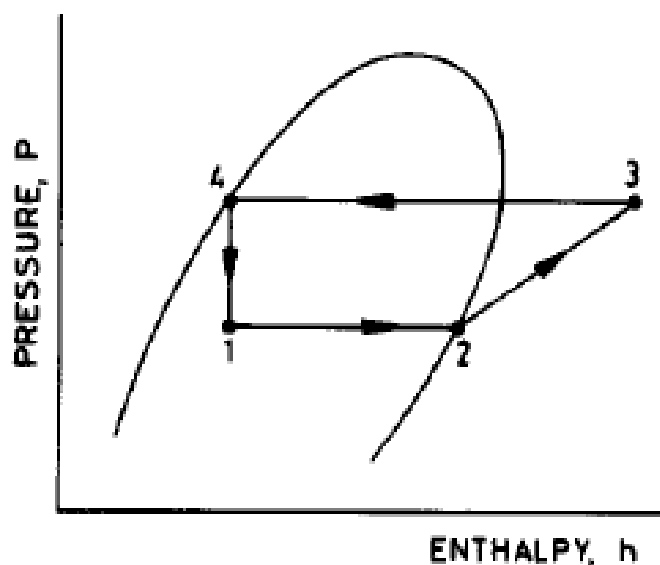


Σχήμα 3.10: Σύστημα ψύξης με απορρόφηση [1]

Το υγρό ψυκτικό μέσο εισέρχεται στον ατμοποιητή (κατάσταση 1), όπου εξατμίζεται, απορροφώντας θερμότητα (ψύχοντας δηλαδή) τον χώρο. Ο ατμός (κατάσταση 2) κατευθύνεται στον απορροφητή, όπου απορροφάται από ένα πλούσιο απορροφητικό διάλυμα. Το πτωχό πλέον απορροφητικό διάλυμα εξέρχεται από τον απορροφητή (κατάσταση 5) και μέσω μιας αντλίας περνά μέσω του εναλλάκτη θερμότητας (κατάσταση 6) στον αναγεννητή (κατάσταση 7). Εκεί, θερμαίνεται μέχρι την υψηλή θερμοκρασία που παρέχεται από την πηγή ηλιακής ενέργειας, με αποτέλεσμα η πίεση ατμών του να αυξάνεται σε τέτοιο σημείο, ώστε το διάλυμα να μην μπορεί να διατηρήσει την ποσότητα του ψυκτικού μέσου που είχε απορροφήσει. Έτσι, η ποσότητα αυτή απελευθερώνεται σε υψηλή πίεση και οδηγείται στον συμπυκνωτή (κατάσταση 3). Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι όμοιο με την έξοδο του συμπιεστή στο συμβατικό σύστημα συμπίεσης ατμού. Το ψυκτικό μέσο αφού εισέλθει υπέρθερμο στον συμπυκνωτή, συμπυκνώνεται (κατάσταση 4) και εκτονώνεται μέσω της βαλβίδας εκτόνωσης στον ατμοποιητή. Το πλούσιο απορροφητικό διάλυμα έχοντας απελευθερώσει το ψυκτικό μέσο εξέρχεται από τον αναγεννητή (κατάσταση 8) και επιστρέφει στον απορροφητή (κατάσταση 9). Λόγω του ότι το διάλυμα του απορροφητή πρέπει να είναι θερμό στον αναγεννητή και ψυχρό στον απορροφητή, τα δύο ρεύματα, το πλούσιο και το πτωχό, αλληλεπιδρούν σε έναν εναλλάκτη θερμότητας. Εκεί αφαιρείται θερμότητα από το πλούσιο διάλυμα και προθερμαίνεται το πτωχό. Απαιτείται επίσης η χρήση

ενός κυκλοφορητή για τη μεταφορά του διαλύματος από τον χαμηλής πίεσης απορροφητή στον υψηλής πίεσης αναγεννητή. Σε ορισμένα συστήματα αυτός ο κυκλοφορητής μπορεί να αντικατασταθεί από θερμοσιφωνικό σύστημα ^[10].

Στο διάγραμμα 3.11 αποτυπώνεται ποιοτικά η παραπάνω διαδικασία για το ψυκτικό μέσο.



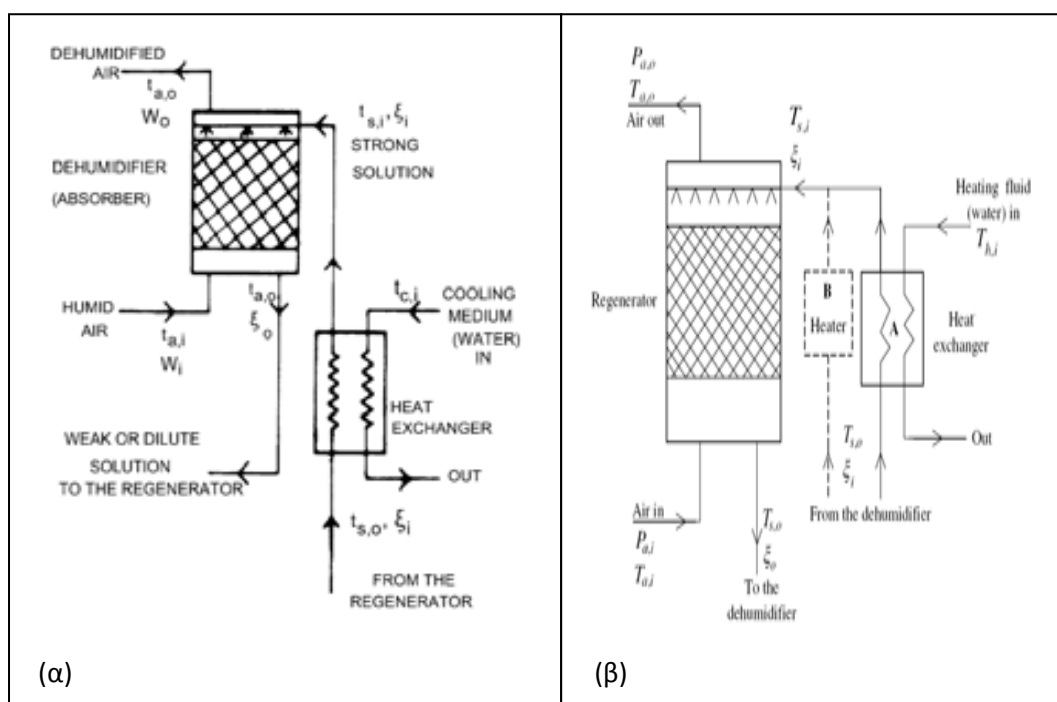
Διάγραμμα 3.11: Ο κύκλος του ψυκτικού μέσου σε ένα σύστημα απορρόφησης ^[1]

Σαν ψυκτικό μέσο στην εγκατάσταση κυκλοφορεί το νερό. Για την περίπτωση του απορροφητή οι επιλογές χωρίζονται αρχικά σε στερεό ή υγρό απορροφητή. Επικρατέστερη επιλογή είναι ο υγρός απορροφητής βρωμιούχου λιθίου (LiBr).

Για την μέτρηση της απόδοσης του κύκλου απορρόφησης χρησιμοποιείται ο συντελεστής απόδοσης. Ο συντελεστής απόδοσης (COP) της συμβατικής απορροφητικής λειτουργίας ορίζεται ως ο λόγος της ψυκτικής ικανότητας προς την θερμότητα που απαιτείται για την παραγωγή της και έχει ως άνω όριο την μονάδα. Στην πραγματικότητα για τα απλά συστήματα ενός σταδίου απορρόφησης (single-effect) ο συντελεστής είναι μικρότερος από τη μονάδα. Συγκεκριμένα για της εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν βρωμιούχο λίθιο ο COP είναι συνήθως 0,7. Σημαντική παράμετρος είναι η θερμοκρασία εισόδου του ζεστού νερού στον απορροφητή. Στην περίπτωση των συστημάτων ενός σταδίου απορρόφησης η καλύτερη απόδοση επιτυγχάνεται για θερμοκρασίες νερού στην περιοχή 80⁰C-100⁰C ^[10].

Κύκλος αφύγρανσης

Στα ανοιχτά συστήματα ηλιακού κλιματισμού, η ψύξη επιτυγχάνεται μέσω ενός κύκλου αφύγρανσης. Στο πρώτο στάδιο του κύκλου πραγματοποιείται η αφύγρανση και η ψύξη του αέρα. Το καθαρό ψυχρό αφυγραντικό διάλυμα προψύχεται σε έναν εναλλάκτη και ψεκάζεται στο πάνω μέρος του αφυγραντή. Ο υγρός ατμοσφαιρικός αέρας εισάγεται στον αφυγραντή. Το διάλυμα τραβάει την υγρασία της ατμόσφαιρας και ένα ποσό θερμότητας. Ο κλιματιζόμενος αέρας εξέρχεται από το πάνω μέρος και το ζεστό αραιό διάλυμα φεύγει από το κάτω μέρος του αφυγραντή. Στο δεύτερο στάδιο πραγματοποιείται η αναγέννηση του διαλύματος. Το ζεστό αραιό διάλυμα θερμαίνεται σε έναν εναλλάκτη. Το καυτό αραιό διάλυμα ψεκάζεται στο πάνω μέρος του αναγεννητή και ο αέρας του δωματίου εισέρχεται στο κάτω μέρος. Το διάλυμα μεταφέρει την υγρασία του και ένα μέρος της θερμότητάς του στον αέρα. Ο θερμός, υγρός αέρας εξέρχεται από το πάνω μέρος και το ψυχρό πυκνό διάλυμα εξέρχεται από κάτω και επιστρέφει στον αφυγραντή^[17].

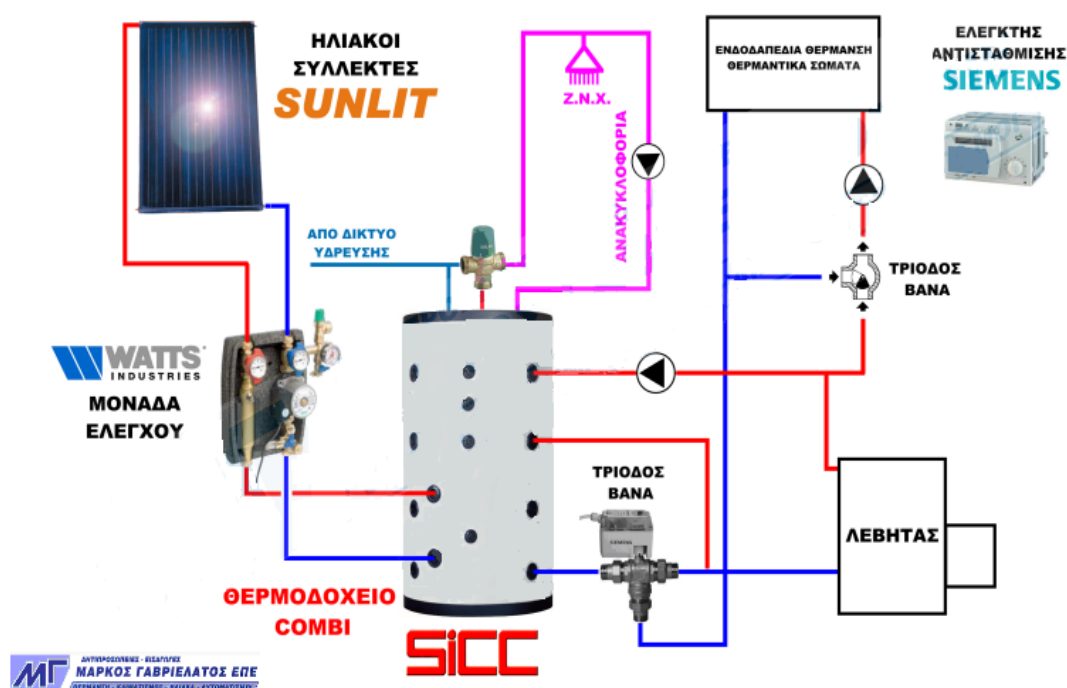


Διάγραμμα 3.12: Τα δύο στάδια του κύκλου αφύγρανσης^[17]

3.2. ΚΑΛΥΨΗ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΤΟΥ 301 ΕΒ ΑΠΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ COMBI

Στη συνέχεια, μελετάται η δυνατότητα κάλυψης των αναγκών του 301 ΕΒ σε θέρμανση και ζεστό νερό, με τη χρήση θερμικών ηλιακών συστημάτων combi. Στη μελέτη αυτή χρησιμοποιείται το τυπικό σύστημα combi της εταιρίας Μ.ΓΑΒΡΙΕΛΑΤΟΣ, το οποίο αποτελείται από:

- 8 επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες SUNLIT B1639
- 1 θερμοδοχείο SICC COMBI 1000/170
- 1 μονάδα ελέγχου WATTS INDUSTRIES
- 1 θερμοστατική βαλβίδα ανάμειξης ζεστού νερού χρήσης MMV-SOLAR
- 1 ψηφιακό ελεγκτή αντιστάθμισης RVP-540
- 1 ΚΙΤ υδραυλικής σύνδεσης TROLLI



Σχήμα 3.13: Σύστημα combi της εταιρίας Μ.ΓΑΒΡΙΕΛΑΤΟΣ [28]

Τα βασικά χαρακτηριστικά του συστήματος θα αναφερθούν κατά τη διεξαγωγή της μελέτης.

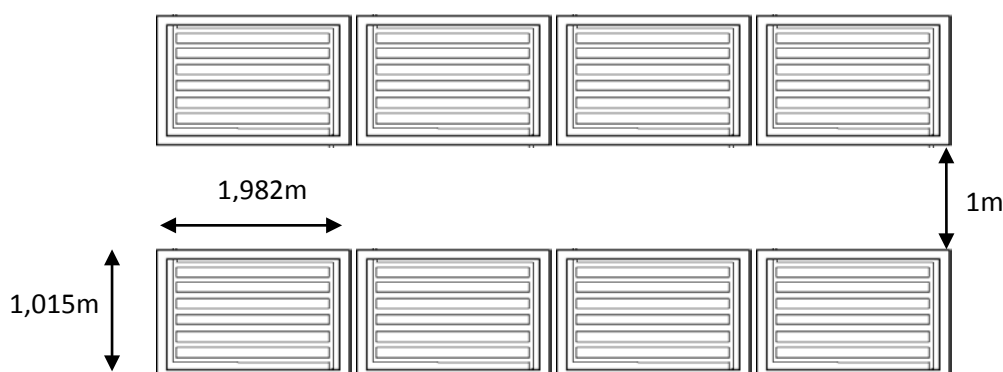
3.2.1. Τοποθέτηση ηλιακών συλλεκτών

Το σύστημα που επιλέξαμε αποτελείται από 8 ηλιακούς συλλέκτες. Ο κάθε συλλέκτης έχει διαστάσεις 1,982mX1,05m, δηλαδή συνολική επιφάνεια (συλλεκτική και πλαίσιο) 2,01m².

Οι συλλέκτες θα τοποθετηθούν πάνω στις στέγες των κτιρίων του Εργοστασίου, οπότε η προτεινόμενη διάταξη των 8 συλλεκτών του κάθε συστήματος, ώστε να επιτευχθεί η όσο το δυνατόν καλύτερη εκμετάλλευση του διαθέσιμου χώρου και η αποφυγή φαινομένων σκίασης, είναι αυτή του σχήματος 3.15.



Εικόνα 3.14: Ηλιακός συλλέκτης SUNLIT B1639 [28]



Σχήμα 3.15: Διάταξη συλλεκτών συστήματος combi

Όπως και στην περίπτωση των Φ/Β πλαισίων, ο προσανατολισμός των συλλεκτών θα είναι νότιος και με κλίση 28⁰ ως προς το οριζόντιο επίπεδο, για την μέγιστη απορρόφηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

Επομένως, η συνολική επιφάνεια που απαιτείται για την εγκατάσταση των συλλεκτών ενός συστήματος combi είναι 24,02m². Με βάση τις ανάγκες του 301 ΕΒ και σύμφωνα με τη μέθοδο καμπυλών f (η οποία αναλύεται στη συνέχεια) απαιτούνται 140 τέτοια συστήματα, συνολικής συλλεκτικής επιφάνειας 3362,8m². Ο διαθέσιμος χώρος που υπάρχει στις στέγες των κτιρίων του Εργοστασίου είναι υπεραρκετός. Η κατανομή των 140 συστημάτων στα 32 κτίρια θα πραγματοποιηθεί αναλόγως της χρήσης και του μεγέθους κάθε κτιρίου, με προτεραιότητα φυσικά στα συνεργεία, τους θαλάμους, τις εκπαιδευτικές αίθουσες και το διοικητήριο.

3.2.2. Υπολογισμός θερμικού φορτίου

Βασική παράμετρο για την επιλογή του κατάλληλου συστήματος combi αποτελεί το μηνιαίο θερμικό φορτίο, που απαιτείται για την κάλυψη των αναγκών του Εργοστασίου. Το φορτίο αυτό διαιρείται σε δύο μέρη: στο φορτίο θέρμανσης χώρων και στο φορτίο θέρμανσης νερού χρήσης.

Φορτίο θέρμανσης χώρων

Το 301 ΕΒ χρησιμοποιεί καυστήρες πετρελαίου για τη θέρμανση των χώρων του. Επομένως, για την εκτίμηση αυτού του φορτίου μπορούμε να βασιστούμε στην κατανάλωση πετρελαίου θέρμανσης κατά το προηγούμενο έτος 2009, η οποία ήταν 220.000lt. Ουσιαστικά, θεωρούμε πως η θερμική ενέργεια που τελικά αποδόθηκε ως ωφέλιμη από την καύση των 220.000lt πετρελαίου ισοδυναμεί με το απαιτούμενο ετήσιο φορτίο θέρμανσης χώρων.

Σε ένα σύστημα θέρμανσης με καυστήρα, ισχύει η σχέση:

$$n = \frac{Q}{m * H_u}$$

όπου

- n: ο βαθμός απόδοσης ολόκληρου του συστήματος. Τυπική τιμή 0,6.
- Q: η ωφέλιμη θερμική ενέργεια που τελικά αποδίδει το σύστημα σε kcal.
- m: η κατανάλωση πετρελαίου σε kg. Η πυκνότητα του πετρελαίου είναι 0,82kg/lt, άρα η ετήσια κατανάλωση πετρελαίου σε kg είναι:

$$m = \rho * V = 0,82 \frac{\text{kg}}{\text{lt}} * 220.000\text{lt} = 180.400\text{kg}$$

- H_u : η θερμογόνοος ικανότητα του πετρελαίου. Ισούται με 10.200kcal/kg.

Επιλύοντας την προηγούμενη σχέση ως προς την ενέργεια Q και θέτοντας τις παραπάνω τιμές, προκύπτει το ετήσιο θερμικό φορτίο που μας ενδιαφέρει:

$$Q = 1.104.048.000\text{kcal} = 4.622.648.976\text{KJ}$$

Συνήθως στην Αθήνα θέρμανση απαιτείται από τον Οκτώβριο ως τον Μάιο. Για να έχουμε μια πιο ρεαλιστική αποτύπωση της μηνιαίας κατανομής του ετήσιου θερμικού φορτίου, θα χρησιμοποιήσουμε την ποσόστωση που προκύπτει από τις

αντίστοιχες βαθμομέρες θέρμανσης (σε θερμοκρασία βάσης 20⁰C), ένα μέγεθος που ουσιαστικά εκφράζει την μηνιαία ανάγκη μιας περιοχής για θέρμανση. Σχηματίζουμε λοιπόν τον επόμενο πίνακα:

ΜΗΝΑΣ	ΒΑΘΜΟΗΜΕΡΕΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ (°C*days)	ΠΟΣΟΣΤΩΣΗ (%)	ΦΟΡΤΙΟ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΧΩΡΩΝ (KJ)
ΙΑΝ	328	19,79	915.044.577
ΦΕΒ	299	18,04	834.141.246
ΜΑΡ	265	15,99	739.289.069
ΑΠΡ	137	8,27	382.198.497
ΜΑΪ	53	3,2	147.857.813
ΙΟΥΝ	0	0	0
ΙΟΥΛ	0	0	0
ΑΥΓ	0	0	0
ΣΕΠ	0	0	0
ΟΚΤ	83	5,01	231.550.914
ΝΟΕ	186	11,23	518.897.230
ΔΕΚ	306	18,47	853.669.636
ΣΥΝΟΛΟ	1657	100	4.622.648.976

Πίνακας 3.16: Μηνιαίο φορτίο θέρμανσης χώρων

Φορτίο θέρμανσης νερού χρήσης

Στο Εργοστάσιο απασχολούνται συνολικά 430 άνθρωποι. Από αυτούς, οι 60 περίπου διανυκτερεύουν καθημερινά, επομένως έχουν αυξημένες απαιτήσεις σε ζεστό νερό χρήσης (λουτρό, μαγείρεμα, καθαριότητα), που προσεγγιστικά θεωρούμε ότι φτάνει τα 100lt/άτομο*ημέρα. Για τους υπόλοιπους 370, οι οποίοι εργάζονται κατά μέσο όρο 24 ημέρες το μήνα, θεωρούμε ότι οι ανάγκες σε ζεστό νερό χρήσης είναι χαμηλές και φτάνουν μόλις τα 10lt/άτομο*ημέρα. Άρα, η μηνιαία κατανάλωση ζεστού νερού (σε lt) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\begin{aligned}
 M &= M_1 + M_2 = N_{p1} * N_{d1} * v_1 + N_{p2} * N_{d2} * v_2 = \\
 &= 60\text{άτομα} * N_{d1} * 100 \frac{\text{lt}}{\text{άτομο} * \text{μέρα}} + 370\text{άτομα} * 24\text{μέρες} \\
 &\quad * 10 \frac{\text{lt}}{\text{άτομο} * \text{μέρα}} = \\
 &= 6000 * N_{d1} + 88800
 \end{aligned}$$

όπου N_{d1} : οι ημέρες κάθε μήνα που χρησιμοποιούν ζεστό νερό τα 60 άτομα.

Η μέση μηνιαία ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, υπολογίζεται από τη σχέση:

$$L_W = M * \rho * C_p * (T_w - T_m)$$

όπου

- ρ : η πυκνότητα του νερού. Ισούται με 1kg/lt.
- C_p : η θερμοχωρητικότητα του νερού. Ισούται με 4190J/kg⁰C.
- T_w : η επιθυμητή θερμοκρασία του ζεστού νερού. Την θεωρούμε στους 50⁰C.
- T_m : η μέση μηνιαία θερμοκρασία νερού στο δίκτυο ύδρευσης, όπως φαίνεται στον πίνακα 3.17.

Χρησιμοποιώντας τις προηγούμενες σχέσεις και τα αντίστοιχα δεδομένα, κατασκευάζουμε τον επόμενο πίνακα υπολογισμού του μηνιαίου φορτίου θέρμανσης νερού.

ΜΗΝΑΣ	ΗΜΕΡΕΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΝΕΡΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ (°C)	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΝΕΡΟΥ (lt)	ΦΟΡΤΙΟ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΝΕΡΟΥ (KJ)
ΙΑΝ	31	9,3	274.800	46.862.468
ΦΕΒ	28	9,4	256.800	43.685.275
ΜΑΡ	31	10	274.800	46.056.480
ΑΠΡ	30	12,2	268.800	42.573.082
ΜΑΪ	31	15,3	274.800	39.953.996
ΙΟΥΝ	30	18,7	268.800	35.252.314
ΙΟΥΛ	31	20,8	274.800	33.621.230
ΑΥΓ	31	22,7	274.800	31.433.548
ΣΕΠ	30	21,5	268.800	32.098.752
ΟΚΤ	31	18,5	274.800	36.269.478
ΝΟΕ	30	14,7	268.800	39.757.402
ΔΕΚ	31	18,47	274.800	43.638.515
			ΣΥΝΟΛΟ	445.479.962

Πίνακας 3.17: Μηνιαίο φορτίο θέρμανσης νερού

3.2.3. Ετήσια κάλυψη θερμικών αναγκών

Η ετήσια κάλυψη των θερμικών αναγκών του Εργοστασίου θα πραγματοποιηθεί με χρήση της μεθόδου καμπυλών f . Με τη μέθοδο αυτή δύναται να εκτιμηθεί το ποσοστό κάλυψης, από ηλιακή ενέργεια, των θερμικών αναγκών ενός χώρου που χρησιμοποιεί σύστημα combi ^[4]. Το μηνιαίο αυτό ποσοστό f υπολογίζεται από τη σχέση:

$$f = 1,029 * Y - 0,065 * X - 0,245 * Y^2 + 0,0018 * X^2 + 0,0215 * Y^3$$

Οι αδιάστατες μεταβλητές X και Y , υπολογίζονται αντίστοιχα από τις σχέσεις:

$$X = F_R * U_L * \frac{F'_R}{F_R} * (T_{ref} - \bar{T}_a) * \Delta t * \frac{A_c}{L} * K$$

$$Y = F_R * (\tau\alpha)_n * \frac{F'_R}{F_R} * \frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} * \bar{H}_T * N * \frac{A_c}{L}$$

όπου

- A_c : η συνολική συλλεκτική επιφάνεια. Κάθε συλλέκτης έχει συλλεκτική επιφάνεια $1,88\text{m}^2$. Επιλέγοντας να εγκαταστήσουμε 140 συστήματα των 8 συλλεκτών το καθένα, συνολικά η συλλεκτική επιφάνεια θα είναι $2105,6\text{m}^2$.

- T_{ref} : η θερμοκρασία αναφοράς (100°C).

- \bar{T}_a : η μέση μηνιαία θερμοκρασία περιβάλλοντος.

- Δt : η διάρκεια του μηνός σε sec.

- N : το πλήθος ημερών του μήνα.

- \bar{H}_T : η μέση ημερήσια ακτινοβολία μηνός στην κεκλιμένη επιφάνεια του συλλέκτη (σε J/m^2). Υπολογίστηκε στην ενότητα 2.2.2. για κλίση συλλέκτη 30° .

- $F_R * U_L$: χαρακτηριστικό μέγεθος του συλλέκτη. Δίνεται από τον κατασκευαστή και ισούται με $4,84\text{W}/\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$.

- $F_R * (\tau\alpha)_n$: χαρακτηριστικό μέγεθος του συλλέκτη. Δίνεται από τον κατασκευαστή και ισούται με 0,78.

- F'_R/F_R : διορθωτικός συντελεστής συλλέκτη - εναλλάκτη. Τυπική τιμή 0,6.

- $(\tau_a)/(\tau_a)_n$: διορθωτικός συντελεστής θέσης συλλέκτη με συγκεκριμένη κλίση. Για συλλέκτη στην Ελλάδα με βέλτιστη κλίση και ένα τζάμι, ο λόγος λαμβάνεται 0,94 το χειμώνα και 0,9 το καλοκαίρι.

- L: το μηνιαίο ολικό θερμικό φορτίο (σε J). Αποτελείται από το φορτίο θέρμανσης νερού L_w και από το φορτίο θέρμανσης χώρων L_s , που υπολογίστηκαν στην ενότητα 3.2.1.

- K: διορθωτικός συντελεστής χωρητικότητας δεξαμενής. Η μέθοδος των καμπυλών f αναπτύχθηκε για χωρητικότητα δεξαμενής $75\text{lt}/\text{m}^2$ συλλέκτη. Μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί και για χωρητικότητες από $37,5$ έως $300\text{lt}/\text{m}^2$, με υπολογισμό του συντελεστή K, ο οποίος δίνεται από τη σχέση:

$$K = \left(\frac{V}{75}\right)^{-0,25}$$

όπου V: η ειδική χωρητικότητα της δεξαμενής σε lt/m^2 . Στην περίπτωση μας και για το σύστημα που εξετάζουμε, το θερμοδοχείο έχει χωρητικότητα 1000lt και οι 8 συλλέκτες έχουν συνολική επιφάνεια $8 \cdot 1,88\text{m}^2 = 15,04\text{m}^2$, άρα

$$V = \frac{1000\text{lt}}{15,04\text{m}^2} = 66,49 \frac{\text{lt}}{\text{m}^2}$$

Εφαρμόζοντας τις παραπάνω σχέσεις, προκύπτει ο πίνακας υπολογισμού της μηνιαίας κάλυψης του θερμικού φορτίου από την παραγόμενη ενέργεια των ηλιακών συστημάτων που επιλέξαμε.

ΜΗΝΑΣ	\bar{T}_a ($^{\circ}\text{C}$)	\bar{H}_T (J/m^2)	L (J)	X	Y	f (%)
ΙΑΝ	10	6.522.800	657.081.552.673	1,5792	0,1947	9,31
ΦΕΒ	10,5	9.876.931	59.995.206.2388	1,5543	0,2918	18,33
ΜΑΡ	13,2	14.382.859	539.068.849.916	1,8654	0,5035	34,38
ΑΠΡ	16,3	18.778.181	297.451.174.726	3,2185	1,1762	71,58
ΜΑΪ	21,2	21.772.487	138.556.470.383	7,0815	3,1872	100
ΙΟΥΝ	26,5	22.101.450	35.252.313.600	34,055	16,681	100
ΙΟΥΛ	28,8	22.735.498	33.621.230.400	35,743	18,592	100
ΑΥΓ	28,5	20.231.361	31.433.547.600	38,392	17,695	100
ΣΕΠ	23	19.517.868	32.098.752.000	39,182	16,897	100
ΟΚΤ	18,5	13.881.575	190.684.673.106	5,1362	1,4884	77,33
ΝΟΕ	14	9.491.886	385.796.272.560	2,5144	0,4721	28,14
ΔΕΚ	12,5	6.505.924	612.928.270.250	1,6459	0,2082	10,17

Πίνακας 3.18: Υπολογισμός μηνιαίας κάλυψης θερμικού φορτίου από ηλιακά συστήματα

Η ετήσια κάλυψη υπολογίζεται από την σχέση:

$$F = \frac{\sum f_i L_i}{\sum L_i}$$

και από τα δεδομένα του πίνακα 3.16 προκύπτει $F = 31,42\%$.

Με λίγα λόγια, αποδεικνύεται από την προηγούμενη ανάλυση, ότι με την τοποθέτηση 140 θερμικών ηλιακών συστημάτων (συνολικής συλλεκτικής επιφάνειας $2105,6\text{m}^2$) καλύπτεται το 31,42% των ετήσιων θερμικών αναγκών του 301 ΕΒ.

3.3. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟ 301 ΕΒ

Τα συστήματα combi παρουσιάζουν δύο μειονεκτήματα που στην περίπτωση του 301 ΕΒ γίνονται αρκετά εμφανή. Πρώτο μειονέκτημα αποτελεί το υψηλό τους κόστος. Για να έχουμε μια αξιοπρεπή κάλυψη των θερμικών αναγκών του Εργοστασίου, απαιτείται μεγάλος αριθμός συστημάτων, που ανεβάζει το συνολικό κόστος σε σχετικά υψηλά επίπεδα. Δεύτερο μειονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι το καλοκαίρι, όπου έχουμε περισσότερη ηλιοφάνεια άρα και μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας από τους συλλέκτες, οι θερμικές ανάγκες είναι ελάχιστες με αποτέλεσμα να χάνονται αναξιοποίητα μεγάλα ποσά παραγόμενης ενέργειας. Για το λόγο αυτό, θα εξεταστούν στη συνέχεια δύο εναλλακτικές προτάσεις, με γνώμονα τον περιορισμό των μειονεκτημάτων αυτών.

3.3.1. Παραγωγή ζεστού νερού χρήσης από ηλιακά συστήματα

Οι ανάγκες του Εργοστασίου αποκλειστικά σε ζεστό νερό χρήσης δύναται να καλυφθούν από απλά ηλιακά συστήματα φυσικής κυκλοφορίας, των οποίων το κόστος είναι σαφώς μικρότερο από το κόστος των συστημάτων combi.

Στη μελέτη μας, χρησιμοποιείται το ηλιακό θερμοσιφωνικό σύστημα ELCO 200 SOL-TECH 3 RF/3,6. Το σύστημα αυτό είναι κλειστού κυκλώματος και αποτελείται από δύο συλλέκτες (με συλλεκτική επιφάνεια $1,82\text{m}^2$ ο καθένας) και ένα θερμοδοχείο 200lt. Η συνολική επιφάνεια που καταλαμβάνει το σύστημα είναι $2,57\text{m} \times 1,86\text{m} = 4,78\text{m}^2$.



Εικόνα 3.19: Ηλιακό θερμοσιφωνικό σύστημα ELCO 200 SOL-TECH 3 RF/3,6 ^[29]

Το φορτίο που απαιτείται για τη θέρμανση νερού χρήσης στο 301 ΕΒ υπολογίστηκε στην παράγραφο 3.2.2. Εφαρμόζοντας την μέθοδο των καμπυλών f , όπως στην περίπτωση των συστημάτων combi, αλλά με:

- συνολική συλλεκτική επιφάνεια $A_c = 364\text{m}^2$ (εγκατάσταση 100 συστημάτων)
- ειδική χωρητικότητα δεξαμενής $V = 200\text{lt} / 2 \times 1,82\text{m}^2 = 54,95\text{lt}/\text{m}^2$
- και πολλαπλασιασμό της μεταβλητής X με τον παράγοντα K_2 (επειδή έχουμε μόνο θέρμανση νερού χρήσης):

$$K_2 = \frac{11,6 + 1,18 * T_w + 3,86 * T_m - 2,32 * \bar{T}_a}{100 - \bar{T}_a}$$

προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα κάλυψης του φορτίου θέρμανσης νερού χρήσης:

ΜΗΝΑΣ	ΦΟΡΤΙΟ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΝΕΡΟΥ L_w (kWh)	ΚΑΛΥΨΗ f (%)
ΙΑΝ	12.316	31,5
ΦΕΒ	11.435	54,53
ΜΑΡ	12.104	79,04
ΑΠΡ	11.175	97,27
ΜΑΪ	10.501	100
ΙΟΥΝ	9253	100
ΙΟΥΛ	8836	100
ΑΥΓ	8261	100
ΣΕΠ	8425	100
ΟΚΤ	9532	81,86
ΝΟΕ	10.436	54,1
ΔΕΚ	11.469	31,7
ΕΤΗΣΙΩΣ	123.744	75,09

Πίνακας 3.20: Κάλυψη θερμικών αναγκών με τη χρήση 100 θερμοσιφωνικών συστημάτων

Βλέπουμε ότι με συλλεκτική επιφάνεια μόλις 364m² η ετήσια κάλυψη των αναγκών σε ζεστό νερό χρήσης φτάνει το 75,09%, που είναι ένα αρκετά ικανοποιητικό ποσοστό.

3.3.2. Ηλιακός κλιματισμός

Έπειτα από τη μελέτη εφαρμογής συστημάτων combi στο 301 ΕΒ διαπιστώθηκε ότι, κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών, μεγάλα ποσά παραγόμενης ενέργειας από τους ηλιακούς συλλέκτες χάνονται ανεκμετάλλευτα, αφού εκείνη την περίοδο δεν υπάρχουν μεγάλες ανάγκες θέρμανσης. Τα συστήματα ηλιακού κλιματισμού αναπτύχθηκαν ακριβώς για να εκμεταλλευτούν το γεγονός ότι

την περίοδο του καλοκαιριού, όπου είναι υψηλές οι απαιτήσεις κλιματισμού, η απόδοση των ηλιακών συλλεκτών είναι μεγαλύτερη, λόγω φυσικά της εντονότερης ηλιακής ακτινοβολίας. Στη συνέχεια λοιπόν, εξετάζεται μια ενδεικτική περίπτωση εφαρμογής συστημάτων ηλιακού κλιματισμού, σύμφωνα με τα δεδομένα του 301 EB.

Στο Εργοστάσιο έχουν εγκατασταθεί 84 κλιματιστικά, συνολικής ψυκτικής ισχύος 921.000Btu/h. Τα κλιματιστικά, για να καλύψουν επαρκώς τις ανάγκες ψύξης ενός χώρου, λειτουργούν (κατά μέσο όρο) στο 80% της μέγιστης ισχύος τους. Επομένως, θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε ότι το συνολικό απαιτούμενο ψυκτικό φορτίο είναι:

$$Q_{\psi} = 0,8 * 921.000 \frac{\text{Btu}}{\text{h}} * 0,0002932 \frac{\text{KW}}{\frac{\text{Btu}}{\text{h}}} = 216\text{KW}$$

Τα συνήθη συστήματα ηλιακού κλιματισμού κλειστού κύκλου με απορρόφηση έχουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Βαθμός απόδοσης: COP=0,7
- Απαιτούμενη συλλεκτική επιφάνεια: 3m²/KW ψυκτικής ισχύος

Άρα, η απαιτούμενη εγκατεστημένη ισχύς ενός τέτοιου συστήματος για να καλυφθούν στο 100% οι ανάγκες ψύξης του Εργοστασίου, θα είναι:

$$P = \frac{Q_{\psi}}{\text{COP}} = \frac{216\text{KW}}{0,7} = 308,6\text{KW}$$

Η απαιτούμενη συλλεκτική επιφάνεια:

$$A_c = 3 \frac{\text{m}^2}{\text{KW}} * 308,6\text{KW} = 925,8\text{m}^2$$

3.4. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

3.4.1. Κόστος και εξοικονόμηση συστημάτων combi

Το κόστος του επιλεγμένου συστήματος combi δίνεται από τον κατασκευαστή και ανέρχεται σε 7000€, δηλαδή 465,43€/m² συλλεκτικής επιφάνειας. Επομένως, για την περίπτωση που μελετάμε, το συνολικό κόστος εγκατάστασης 140 θερμικών συστημάτων είναι 980.000€, το οποίο κρίνεται αρκετά υψηλό.

Βέβαια, θα πρέπει να συνυπολογιστεί η εξοικονόμηση σε ηλεκτρικό ρεύμα και πετρέλαιο, που επιτυγχάνεται εξαιτίας της κάλυψης ποσοστού 31,42% των θερμικών αναγκών από τους ηλιακούς συλλέκτες. Με τη χρήση των 140 ηλιακών συστημάτων καλύπτονται πλήρως οι ανάγκες σε ζεστό νερό χρήσης και η υπόλοιπη ενέργεια που παράγεται υποβοηθά το υπάρχον σύστημα θέρμανσης. Δεδομένου ότι η τιμή αγοράς του ηλεκτρικού ρεύματος είναι 0,128€/KWh και του πετρελαίου 0,7€/lt, δύναται να υπολογιστεί η μηνιαία και η ετήσια εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται με τη χρήση των ηλιακών συστημάτων.

ΜΗΝΑΣ	ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΝΕΡΟΥ ΧΡΗΣΗΣ		ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΧΩΡΩΝ			ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ (€)
	ΦΟΡΤΙΟ ΠΟΥ ΚΑΛΥΠΤΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ (KWh)	ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ (€)	ΦΟΡΤΙΟ ΠΟΥ ΚΑΛΥΠΤΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ (KWh)	ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ (lt)	ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ (€)	
ΙΑΝ	13.017	1666	11.853	2031	1422	3088
ΦΕΒ	12.135	1554	32.556	5578	3904	5458
ΜΑΡ	12.794	1638	62.197	10.656	7459	9097
ΑΠΡ	11.826	1514	72.633	12.444	8711	10.225
ΜΑΪ	11.098	1421	41.072	7037	4925	6346
ΙΟΥΝ	9792	1253	0	0	0	1253
ΙΟΥΛ	9339	1195	0	0	0	1195
ΑΥΓ	8732	1118	0	0	0	1118
ΣΕΠ	8916	1141	0	0	0	1141
ΟΚΤ	10.075	1290	47.455	8131	5691	6981
ΝΟΕ	11.044	1417	32.629	5590	3910	5327
ΔΕΚ	12.122	1552	13.229	2266	1586	3138
ΕΤΗΣΙΩΣ	130.890	16.754	313.623	53.733	37.613	54.367

Πίνακας 3.21: Εξοικονόμηση από τη χρήση ηλιακών συστημάτων

Σύμφωνα λοιπόν με τα αποτελέσματα του πίνακα 3.21, η ετήσια εξοικονόμηση ανέρχεται στο ποσό των 54.367€, που σημαίνει ότι το αρχικό κόστος εγκατάστασης των συστημάτων αποσβένεται σε 18 χρόνια.

Η προοπτική αυτή δεν είναι ιδιαίτερα ελκυστική από οικονομικής πλευράς, όμως δεν κρίνεται και απαγορευτική, κυρίως αν ενταχθεί μέσα στα πλαίσια ενός μακρόχρονου ενεργειακού σχεδιασμού.

3.4.2. Κόστος και εξοικονόμηση θερμοσιφωνικών συστημάτων

Το κόστος του συστήματος αυτού δίνεται από τον κατασκευαστή και είναι 1238€, δηλαδή 340,11€/m² συλλεκτικής επιφάνειας. Άρα, το συνολικό κόστος εγκατάστασης 100 τέτοιων συστημάτων ανέρχεται στα 123.800€.

Στην περίπτωση των θερμοσιφωνικών συστημάτων επιτυγχάνεται εξοικονόμηση από το ηλεκτρικό ρεύμα που θα απαιτούνταν για να καλυφθούν οι ανάγκες σε ζεστό νερό χρήσης:

ΜΗΝΑΣ	ΚΑΛΥΨΗ f (%)	ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ (€)
ΙΑΝ	31,5	497
ΦΕΒ	54,53	798
ΜΑΡ	79,04	1225
ΑΠΡ	97,27	1391
ΜΑΪ	100	1344
ΙΟΥΝ	100	1184
ΙΟΥΛ	100	1131
ΑΥΓ	100	1057
ΣΕΠ	100	1079
ΟΚΤ	81,86	999
ΝΟΕ	54,1	723
ΔΕΚ	31,7	465
ΕΤΗΣΙΩΣ	75,09	11.893

Πίνακας 3.22: Εξοικονόμηση με τη χρήση 100 θερμοσιφωνικών συστημάτων

Σύμφωνα με την εκτιμώμενη ετήσια εξοικονόμηση, το αρχικό κόστος εγκατάστασης προβλέπεται ότι θα αποσβεστεί σε 11 χρόνια. Αποτελεί μια αρκετά οικονομική λύση λόγω του χαμηλού κόστους εγκατάστασης.

3.4.3. Κόστος και εξοικονόμηση συστημάτων ηλιακού κλιματισμού

Τα συνήθη συστήματα ηλιακού κλιματισμού κλειστού κύκλου με απορρόφηση έχουν κόστος εγκατάστασης 550€/m² συλλεκτικής επιφάνειας. Επομένως, το κόστος εγκατάστασης για το σύστημα ηλιακού κλιματισμού που εξετάστηκε θα είναι:

$$C = 550 \frac{\text{€}}{\text{m}^2} * 925,8\text{m}^2 = 509.190\text{€}$$

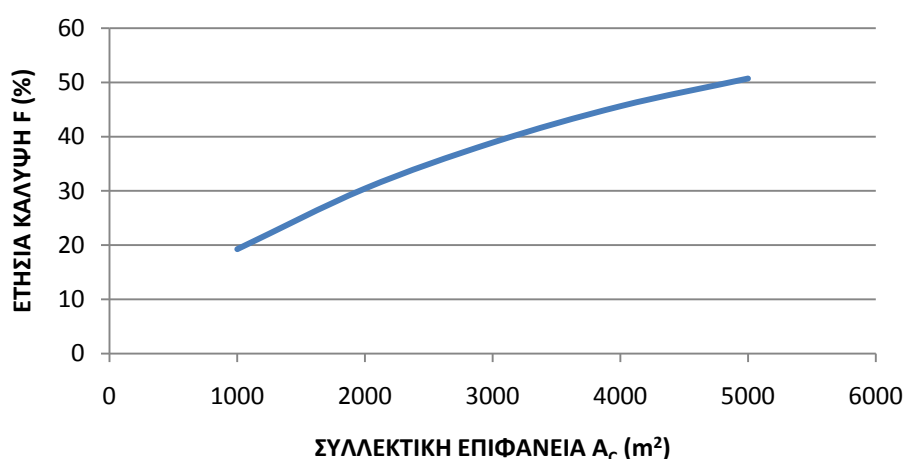
Η εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται σε αυτή την περίπτωση, προέρχεται από το κόστος του ηλεκτρικού ρεύματος που καταναλώνουν τα υπάρχοντα κλιματιστικά. Ένα κλιματιστικό 9000Btu/h καταναλώνει 1,1KW. Άρα συνολικά, τα κλιματιστικά του Εργοστασίου 921.000Btu/h καταναλώνουν περίπου 113KW. Αν θεωρήσουμε την ρεαλιστική παραδοχή ότι τα κλιματιστικά λειτουργούν για τους μήνες Ιούνιο έως Σεπτέμβριο για 10 ώρες καθημερινά, τότε η συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για αυτό το διάστημα είναι 162.720KWh. Δεδομένου ότι η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι 0,128€/KWh, η εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται είναι 20.828€.

Αν η χρήση του συστήματος επεκταθεί και για τις ανάγκες θέρμανσης του χειμώνα, επιτυγχάνεται επιπλέον εξοικονόμηση 31.955€. Αυτό σημαίνει ότι η ετήσια συνολική εξοικονόμηση ανέρχεται στα 52.783€ και το κόστος αποσβένεται σε 10 έτη, γεγονός που καθιστά την εγκατάσταση συστήματος ηλιακού κλιματισμού οικονομικά αποδεκτή, παρά το υψηλό αρχικό κόστος.

3.4.4. Επίδραση της συλλεκτικής επιφάνειας

Η πλέον καθοριστική παράμετρος στην διαμόρφωση της τιμής της ετήσιας κάλυψης είναι η συλλεκτική επιφάνεια. Προφανώς, αν αυξάνεται ο αριθμός των συλλεκτών αυξάνεται και το ποσοστό κάλυψης των θερμικών αναγκών. Όμως, η τελική επιλογή του αριθμού των συλλεκτών που θα εγκατασταθούν εξαρτάται και από άλλα κριτήρια, όπως ο διαθέσιμος χώρος και το κόστος εγκατάστασής τους.

Στο διάγραμμα 3.23 φαίνεται η μεταβολή της ετήσιας κάλυψης συναρτήσει της συλλεκτικής επιφάνειας, για τα συστήματα combi που μελετήθηκαν:



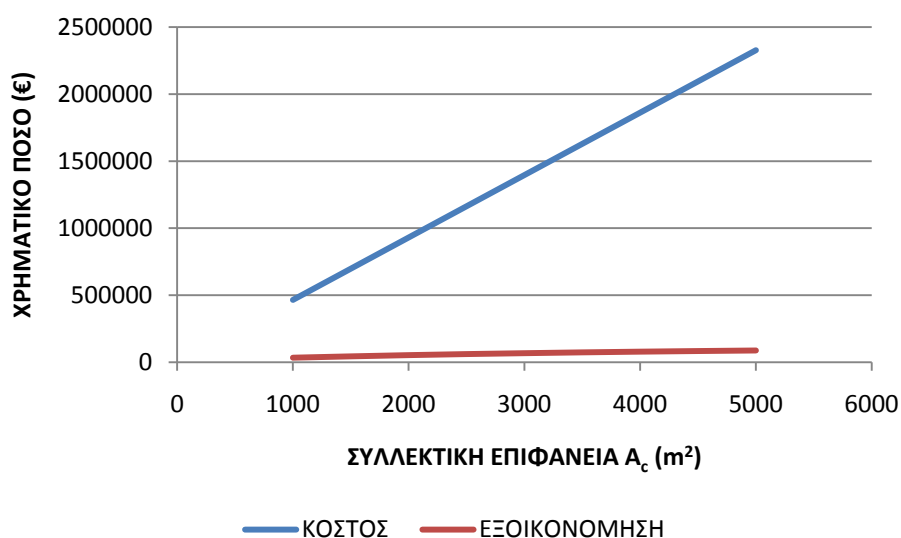
Διάγραμμα 3.23: Ετήσια κάλυψη συναρτήσει της συνολικής συλλεκτικής επιφάνειας στα συστήματα combi.

Υπολογίζοντας αντίστοιχα το κόστος και την ετήσια εξοικονόμηση για τις διάφορες τιμές της συνολικής συλλεκτικής επιφάνειας, καταλήγουμε στον πίνακα 3.24:

ΣΥΛΛΕΚΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ A_c (m^2)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΛΥΨΗΣ F (%)	ΚΟΣΤΟΣ (€)	ΕΤΗΣΙΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ (€)	ΕΤΗ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ
1000	19,24	465.430	33.711	14
2000	30,42	930.860	52.683	18
3000	38,9	1.396.290	67.063	21
4000	45,61	1.861.720	78.463	24
5000	50,72	2.327.150	87.132	27

Πίνακας 3.24: Ετήσια κάλυψη και οικονομικά μεγέθη για διάφορες τιμές συλλεκτικής επιφάνειας στα συστήματα combi.

Παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται η συλλεκτική επιφάνεια, το κόστος εγκατάστασης αυξάνεται πολύ περισσότερο σε σχέση με την ετήσια εξοικονόμηση. Επομένως, στην περίπτωση των συστημάτων combi που εξετάζουμε δεν συνίσταται επιλογή συλλεκτικής επιφάνειας μεγαλύτερης των $3000m^2$. Σχηματικά παρουσιάζονται τα παραπάνω στο διάγραμμα 3.25:

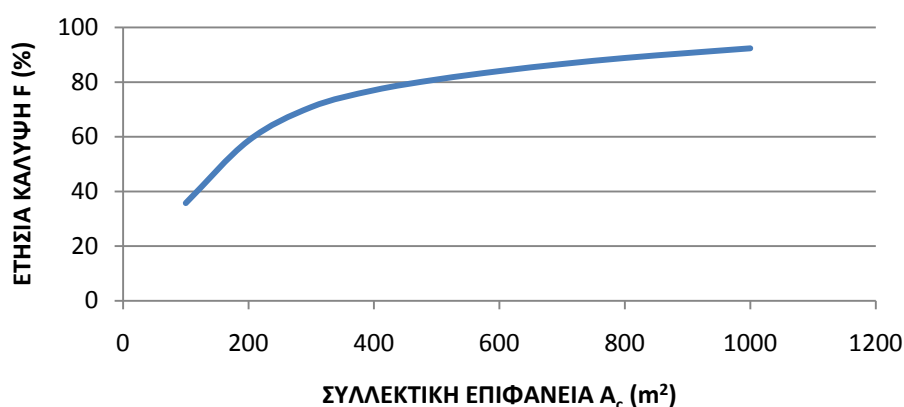


Πίνακας 3.25: Κόστος και ετήσια εξοικονόμηση συναρτήσει της συλλεκτικής επιφάνειας στα συστήματα combi.

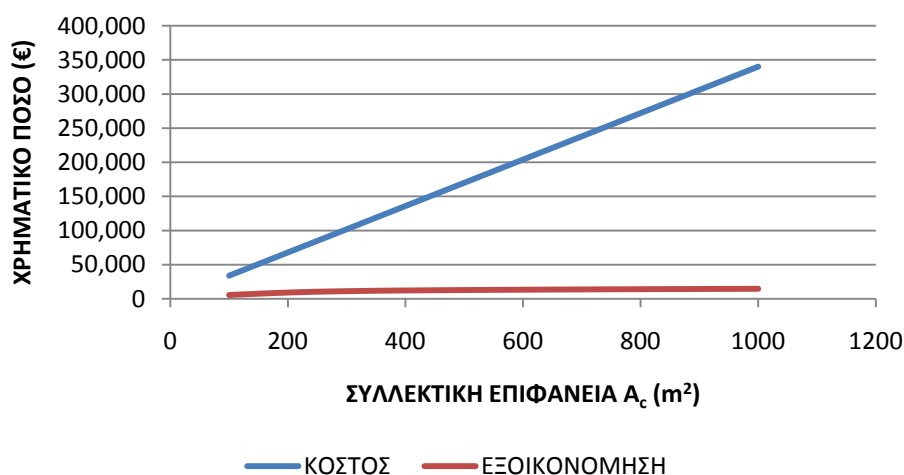
Τέλος, παραθέτονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα, στον πίνακα 3.26 και στα διαγράμματα 3.27 και 3.28 για διαφορετικές τιμές συλλεκτικής επιφάνειας των θερμοσιφωνικών συστημάτων που εξετάστηκαν.

ΣΥΛΛΕΚΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ A_c (m^2)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΛΥΨΗΣ F (%)	ΚΟΣΤΟΣ (€)	ΕΤΗΣΙΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ (€)	ΕΤΗ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ
100	35,74	34.011	5661	7
200	58,6	68.022	9282	8
300	70,85	102.033	11.222	10
400	77,02	136.044	12.200	12
500	80,95	170.055	12.822	14
600	84,03	204.066	13.310	16
700	86,62	238.077	13.720	18
800	88,83	272.088	14.070	20
900	90,64	306.099	14.356	22
1000	92,36	340.110	14.629	24

Πίνακας 3.26: Βασικά μεγέθη για διαφορετικές τιμές συλλεκτικής επιφάνειας θερμοσιφωνικών συστημάτων.



Διάγραμμα 3.27: Ετήσια κάλυψη συναρτήσει της συλλεκτικής επιφάνειας θερμοσιφωνικών συστημάτων



Διάγραμμα 3.28: Κόστος και εξοικονόμηση συναρτήσει της συλλεκτικής επιφάνειας θερμοσιφωνικών συστημάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟ 301 ΕΒ

4.1. ΤΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

4.1.1. Γεωθερμία και γεωθερμικό σύστημα

Γεωθερμική ενέργεια αποκαλούμε την αποθηκευμένη ενέργεια, υπό μορφή θερμότητας, που βρίσκεται σε γεωλογικούς και υδρολογικούς (ατμό, υπόγεια ύδατα) σχηματισμούς κάτω από την επιφάνεια της γης. Η ύπαρξή της σε μικρά βάθη (μέχρι 150m) οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι το έδαφος απορροφά περίπου το 50% της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ σε μεγαλύτερα βάθη οφείλεται σε μεταφορά ενέργειας από το μάγμα του πυρήνα προς τα ανώτερα στρώματα. Στην πρώτη περίπτωση, το ενεργειακό αυτό δυναμικό καλείται αβαθής γεωθερμία και είναι τεχνικά εκμεταλλεύσιμη.

Με την αλλαγή των εποχών μεταβάλλεται η εξωτερική θερμοκρασία του αέρα, όχι όμως και η θερμοκρασία του υπεδάφους. Η θερμοκρασία του υπεδάφους σε βάθη από 1 έως 100m είναι σχεδόν σταθερή όλο το χρόνο και κυμαίνεται από 14 έως 18⁰C για την χώρα μας. Η θερμοκρασία αυτή, είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος το χειμώνα, χαμηλότερη από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος το καλοκαίρι και κοντά στην ιδανική θερμοκρασία για εσωτερικούς χώρους.

Η εκμετάλλευση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ υπεδάφους και επιφάνειας (δηλαδή του ενεργειακού δυναμικού που ονομάζεται αβαθής γεωθερμία) μπορεί να γίνει με τη χρήση γεωθερμικών συστημάτων. Έτσι, καλύπτονται ανάγκες για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, αλλά και για κλιματισμό χώρων (θέρμανση - ψύξη) καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Το χειμώνα, τα γεωθερμικά συστήματα αντλούν θερμότητα από την πιο ζεστή γη και τη μεταφέρουν στο χώρο που θέλουμε να θερμάνουμε. Το καλοκαίρι, η λειτουργία των συστημάτων αντιστρέφεται, απορροφούν θερμότητα από τον κλιματιζόμενο χώρο (δηλαδή τον ψύχουν) και την αποθέτουν στην πιο δροσερή γη.

Τα γεωθερμικά συστήματα γενικά αποτελούνται από ^[32]:

α) Το γεωθερμικό εναλλάκτη. Είναι ένα σύστημα σωλήνων που μεταφέρει τη θερμότητα από ή προς το έδαφος.

β) Την αντλία θερμότητας, η οποία χρησιμεύει για να αντλεί τη μεταφερόμενη θερμότητα από τον γεωθερμικό εναλλάκτη προς το σύστημα εσωτερικής διανομής το χειμώνα. Η λειτουργία της αντιστρέφεται το καλοκαίρι.

γ) Το εσωτερικό σύστημα διανομής της θερμότητας στο κτίριο, το οποίο μπορεί να είναι είτε αεραγωγοί, είτε ενδοδαπέδιο – επιτοίχιο σύστημα, είτε σύστημα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας αέρα (fan coil). Η ενδοδαπέδια θέρμανση είναι η πιο ενδεδειγμένη, καθώς εξασφαλίζει τις βέλτιστες συνθήκες θερμικής άνεσης και επιτρέπει την εκμετάλλευση άλλων ήπιων συστημάτων όπως οι ηλιακοί συλλέκτες. Επιπλέον, είναι ιδανική για χώρους με μεγάλο ύψος, καθώς αποτρέπει την θερμική διαστρωμάτωση του αέρα.

δ) Ο αυτοματισμός της εγκατάστασης.

ε) Η δεξαμενή αποθήκευσης ζεστού νερού χρήσης.



Σχήμα 4.1: Γεωθερμικό σύστημα ^[36]

4.1.2. Τύποι γεωθερμικών συστημάτων

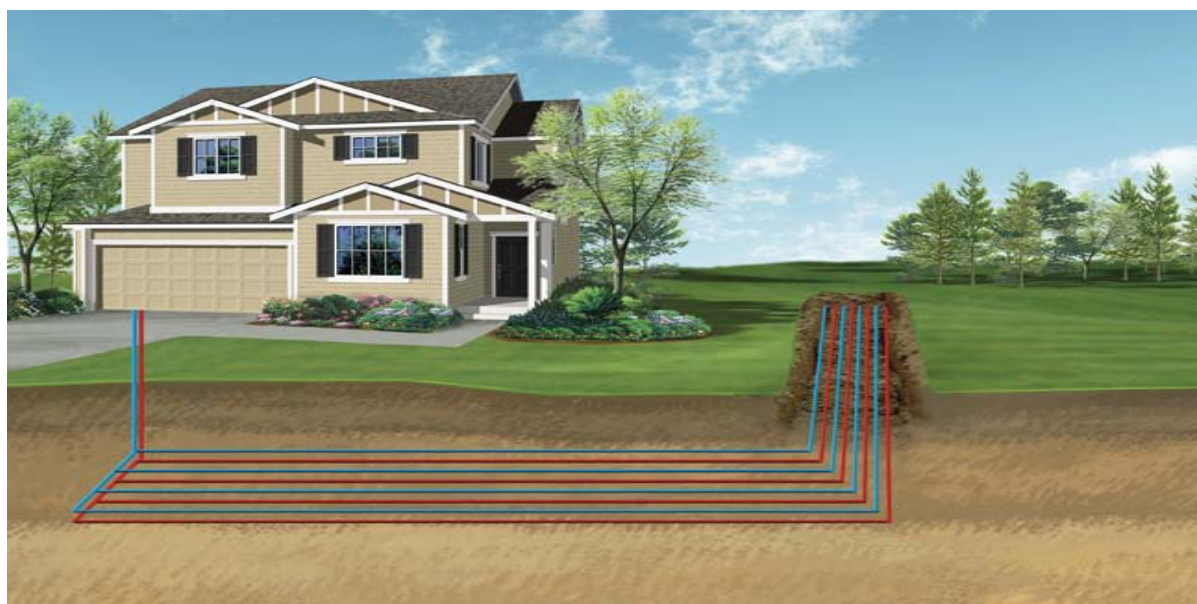
Τα γεωθερμικά συστήματα που εκμεταλλεύονται την αβαθή γεωθερμική ενέργεια διακρίνονται, ανάλογα με το είδος του γεωθερμικού εναλλάκτη, σε δύο κατηγορίες^{[32],[33]}:

- α) Κλειστού κυκλώματος.
- β) Ανοικτού κυκλώματος.

Γεωθερμικά συστήματα κλειστού κυκλώματος

Στα γεωθερμικά συστήματα κλειστού κυκλώματος, ο εναλλάκτης αποτελείται από ένα δίκτυο σωλήνων, που τοποθετούνται μέσα στη γη. Κατασκευάζονται από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE), γι' αυτό και αντέχουν για πολλές δεκαετίες. Παραμένουν άθικτοι από τα συστατικά του εδάφους και έχουν καλές ιδιότητες θερμικής αγωγιμότητας. Στους σωλήνες αυτούς κυκλοφορεί διάλυμα νερού με αντιψυκτικό (γλυκόλη), το οποίο μεταφέρει τη θερμότητα από ή προς το έδαφος. Επειδή το δίκτυο είναι κλειστό, δεν παρουσιάζονται επικαθήσεις αλάτων στις σωληνώσεις, με αποτέλεσμα η συντήρησή τους να είναι σχεδόν μηδαμινή. Ανάλογα με τη διάταξη του δικτύου σωληνώσεων στο έδαφος, υπάρχουν τρεις τύποι γεωθερμικών κλειστών συστημάτων:

α) Οριζόντιας διάταξης: Ο πιο συνηθισμένος και απλός τύπος, επιλέγεται σε όσες εφαρμογές υπάρχει αρκετή διαθέσιμη επιφάνεια περιβάλλοντος χώρου. Οι σωλήνες τοποθετούνται σε σειρά ή σε παράλληλους βρόγχους και σε βάθος περίπου 2m.



Σχήμα 4.2: Κλειστό γεωθερμικό σύστημα οριζόντιας διάταξης^[33]

β) Κάθετης διάταξης: Προτιμάται σε περιπτώσεις, όπου ο ελεύθερος χώρος είναι περιορισμένος. Οι σωλήνες τοποθετούνται κατακόρυφα, σε οπή παρόμοια με αυτή της γεώτρησης και σε βάθος 45-100m.



Σχήμα 4.3: Κλειστό γεωθερμικό σύστημα κάθετης διάταξης ^[33]

γ) Σπειροειδούς διάταξης: Αποτελείται από σωλήνες που τυλίγονται σε σπείρες (σπιδράλ) και τοποθετούνται σε χαντάκια μέσα στο έδαφος. Χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις, που υπάρχουν διαθέσιμα υπόγεια ύδατα.



Σχήμα 4.4: Κλειστό γεωθερμικό σύστημα σπειροειδούς διάταξης ^[33]

Γεωθερμικά συστήματα ανοικτού κυκλώματος

Τα ανοιχτά κυκλώματα χρησιμοποιούν επιφανειακά ή υπόγεια ύδατα ως πηγή θερμότητας. Αυτές οι εγκαταστάσεις αντλούν συνεχώς το νερό, από το οποίο εξάγουν τη θερμότητα. Στη συνέχεια, το νερό επανεισάγεται στον υδροφόρα υποβαθμισμένο, κατά τρόπο περιβαλλοντικά ασφαλή. Το σύστημα αυτό ενδείκνυται σε περιοχές με ρηχό βάθος υδροφόρου ορίζοντα.



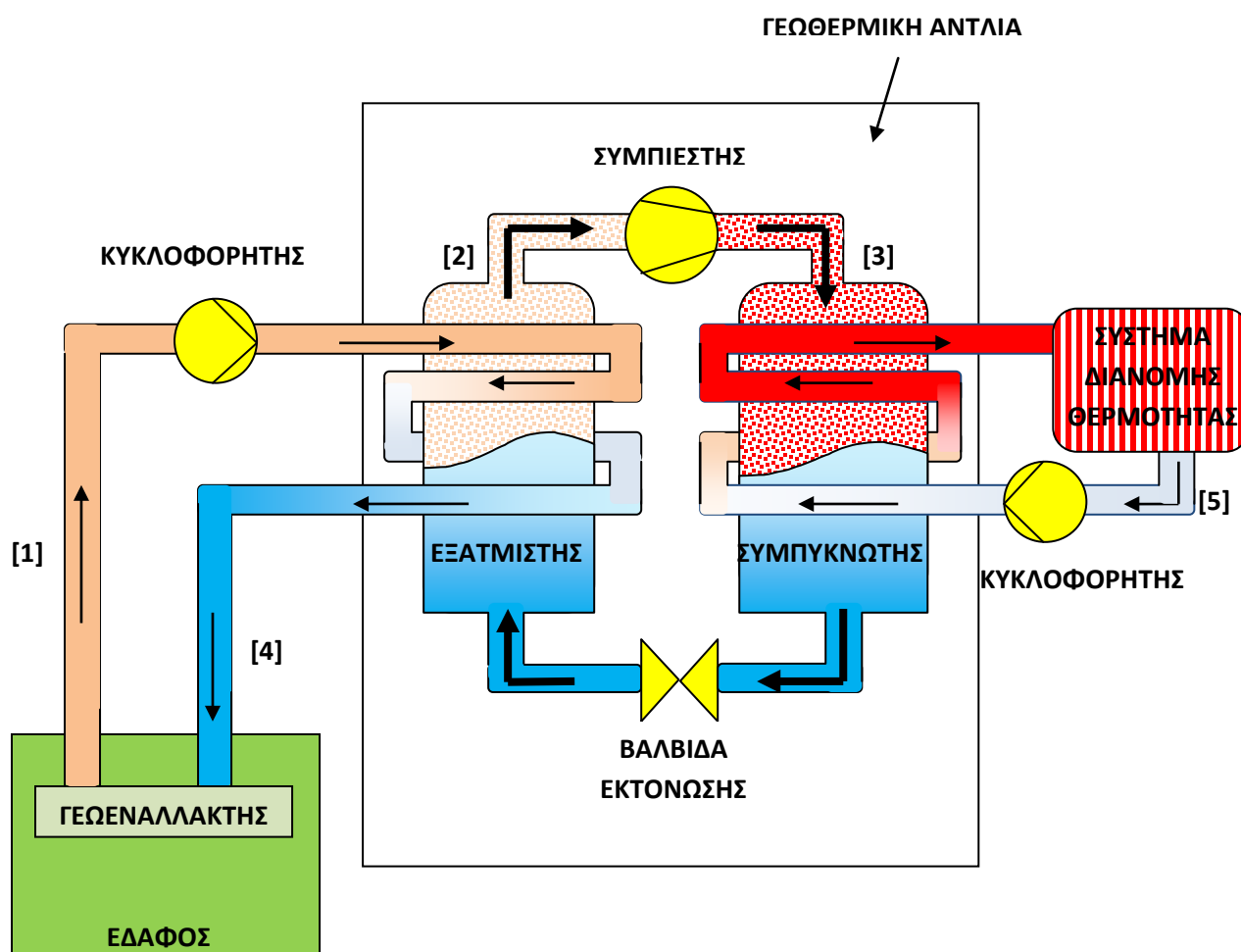
Σχήμα 4.5: Ανοικτό γεωθερμικό σύστημα ^[33]

4.1.3. Λειτουργία της γεωθερμικής αντλίας

Το βασικότερο στοιχείο ενός συστήματος γεωθερμίας αποτελεί η αντλία θερμότητας. Εκεί ουσιαστικά επιτυγχάνεται η εκμετάλλευση της ενέργειας του εδάφους που αντλούν οι γεωεναλλάκτες.

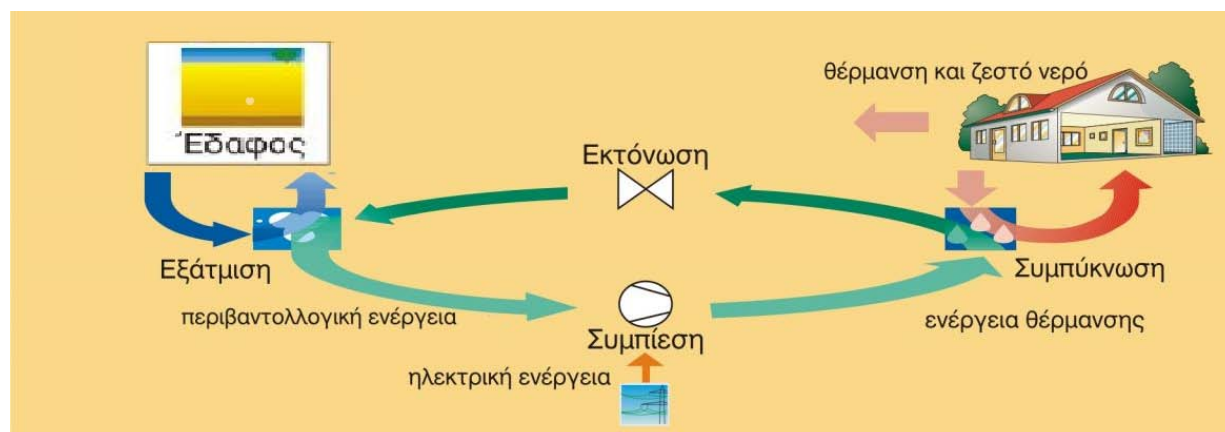
Στο σχήμα 4.6 παριστάνεται συνοπτικά η λειτουργία της γεωθερμικής αντλίας ενός κλειστού κυκλώματος για την κάλυψη αναγκών θέρμανσης. Με λεπτό βέλος απεικονίζεται η πορεία του διαλύματος που ρέει στο γεωεναλλάκτη, καθώς και η πορεία του νερού του κυκλώματος εσωτερικής διανομής θερμότητας, ενώ με παχύ βέλος απεικονίζεται η πορεία του ψυκτικού μέσου της αντλίας.

Η θερμότητα που αποδίδεται από το έδαφος στο γεωεναλλάκτη μεταφέρεται μέσω του κυκλώματος του διαλύματος νερού - γλυκόλης στη γεωθερμική αντλία (θέση 1). Εκεί, το ψυκτικό μέσο της αντλίας παραλαμβάνει από το θερμό διάλυμα αυτή τη θερμότητα μέσω ενός εξατμιστή και ζεσταίνεται (θέση 2). Το μέσο στη συνέχεια συμπιέζεται, οπότε αυξάνεται η θερμοκρασία του ακόμα περισσότερο και παραλαμβάνει ένα επιπλέον ποσό θερμότητας. Το θερμό πλέον μέσο (θέση 3) αποδίδει με συμπύκνωση τη θερμότητά του σε ένα ξεχωριστό κύκλωμα νερού, το οποίο οδηγείται στις συσκευές θέρμανσης. Το συμπύκνωμα μέσω μιας βαλβίδας εκτόνωσης επιστρέφει στον εξατμιστή κι έτσι κλείνει ο κύκλος του ψυκτικού μέσου. Το διάλυμα που έχασε τη θερμότητά του στον εξατμιστή επιστρέφει κρύο στο έδαφος (θέση 4). Τέλος, το νερό που χρησιμοποιήθηκε από το σύστημα διανομής θερμότητας επιστρέφει κρύο (θέση 5) για να ξαναθερμανθεί από το θερμό μέσο στο συμπυκνωτή. Η ύπαρξη των κυκλοφορητών είναι απαραίτητη για τη ρύθμιση της κατάλληλης παροχής.



Σχήμα 4.6: Αρχή λειτουργίας γεωθερμικής αντλίας

Με αυτόν τον τρόπο, επιτυγχάνεται η θέρμανση ενός χώρου με ελάχιστη ηλεκτρική κατανάλωση, αφού το μεγαλύτερο μέρος της απαιτούμενης θερμότητας προέρχεται από τους γεωεναλλάκτες και μόνο το ποσό θερμότητας που αποκτάται με τη λειτουργία του συμπιεστή προέρχεται με απορρόφηση ενέργειας από το ηλεκτρικό δίκτυο.



Σχήμα 4.7: Ο ενεργειακός κύκλος σε μια γεωθερμική αντλία ^[32]

Το καλοκαίρι η λειτουργία της αντλίας αντιστρέφεται με τη χρήση μιας βαλβίδας αντεπιστροφής, ώστε να απορρίπτεται θερμότητα στο ψυχρότερο έδαφος και να επιτυγχάνεται η ψύξη. Σε ανοικτά κυκλώματα, η λειτουργία της αντλίας παραμένει ίδια, με τη μόνη διαφορά ότι στο κύκλωμα που οδηγεί τη θερμότητα στην αντλία δεν υπάρχει διάλυμα νερού - γλυκόλης, αλλά τα αντλούμενα θερμά ύδατα ^{[7],[32],[36]}.

4.2. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ ΣΤΟ 301 ΕΒ

4.2.1. Επιλογή γεωθερμικού συστήματος

Μέρος των αναγκών θέρμανσης, κλιματισμού και ζεστού νερού χρήσης του Εργοστασίου θα μπορούσαν να καλυφθούν με τη χρήση γεωθερμικών συστημάτων. Ο τύπος που ενδείκνυται για την περίπτωση του 301 ΕΒ είναι τα οριζόντια γεωθερμικά συστήματα κλειστού κυκλώματος. Η επιλογή αυτή κρίνεται η κατάλληλη για τους εξής λόγους:

- Είναι η πλέον οικονομική και συνηθισμένη λύση.
- Υπάρχει αρκετός ελεύθερος χώρος για την τοποθέτηση τέτοιων συστημάτων.
- Δεν απαιτείται γεώτρηση.
- Ο χώρος πάνω από τους γεωεναλλάκτες δεν στερείται τη δυνατότητα κι άλλων χρήσεων, αφού αυτοί τοποθετούνται μέσα στη γη και καλύπτονται από τα υλικά του εδάφους.

4.2.2. Τοποθέτηση γεωεναλλακτών

Στο 301 ΕΒ εντοπίζονται τρεις χώροι κατάλληλοι για την τοποθέτηση των γεωεναλλακτών σε οριζόντια διάταξη, συνολικής επιφάνειας 6200m².



ΧΩΡΟΣ Α :
1500m²

ΧΩΡΟΣ Β:
2700m²

ΧΩΡΟΣ Γ:
2000m²

Χάρτης 4.8: Χώροι τοποθέτησης των γεωεναλλακτών

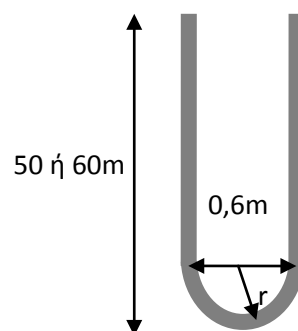
Κάτω από αυτές τις επιφάνειες και σε βάθος 1,5m θα τοποθετηθούν οι γεωεναλλάκτες σε παράλληλη διάταξη (εικόνα 4.9). Οι γεωεναλλάκτες, όπως έχει ήδη αναφερθεί, αποτελούνται από ένα σύστημα πολλών σωλήνων από πολυαιθυλένιο υψηλής αντοχής, μέσα στους οποίους κυκλοφορεί μίγμα νερού και γλυκόλης, που είναι αντιψυκτικό για την αποφυγή δημιουργίας πάγου. Οι σωλήνες τοποθετούνται σε βρόγχους σχήματος U. Η μία άκρη κάθε βρόγχου ενώνεται με το σωλήνα που οδηγεί το διάλυμα στην είσοδο της αντλίας και η άλλη άκρη κάθε βρόγχου με το σωλήνα, που από την είσοδο της αντλίας στέλνει το διάλυμα πίσω στους γεωεναλλάκτες. Κάθε κλάδος πρέπει να απέχει από τον άλλο παράλληλη απόσταση τουλάχιστον 60cm, για να αποφευχθούν φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας μεταξύ τους. Από την αγορά σωλήνων πολυαιθυλενίου επιλέγουμε σωλήνες PN10 (συνήθης επιλογή για εφαρμογές γεωθερμίας) με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Εξωτερική διάμετρος: 32mm.
- Πάχος τοιχώματος: 2mm.
- Βάρος: 0,195kg/m.



Εικόνα 4.9: Οριζόντια διάταξη γεωεναλλακτών ^[35]

Το μήκος των διαθέσιμων σωλήνων PN 10 στην αγορά ποικίλει, με μέγιστο τα 250m. Στην περίπτωση μας, το μήκος του αίθριου χώρου και του ελικοδρομίου είναι περίπου 50m, ενώ του χώρου στάθμευσης περίπου 60m. Επομένως, κάθε σωλήνας για να τοποθετηθεί σε βρόγχο σχήματος U κατά μήκος αυτών των χώρων πρέπει να έχει μήκος 100 ή 120m αντίστοιχα.



Σχήμα 4.10: Μήκος σωλήνα σε σχήμα U

Εγκαθιστώντας μια τέτοια διάταξη, η συναλλαγή θερμότητας μεταξύ υπεδάφους και γεωεναλλακτών εκτιμάται στα 25 - 35W/m² εδάφους ^{[7],[17],[32]}. Επομένως, σε συνολική επιφάνεια 6200m², οι γεωεναλλάκτες απορροφούν από το υπέδαφος κατά τη διάρκεια του χειμώνα θερμική ισχύ περίπου 186KW (30W/m²). Αντίστοιχα, το καλοκαίρι που η λειτουργία του συστήματος αντιστρέφεται, οι γεωεναλλάκτες απορρίπτουν στο υπέδαφος την ίδια θερμική ισχύ.

Πιο συγκεκριμένα, για κάθε έναν από τους τρεις διαθέσιμους χώρους θα έχουμε:

	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	ΜΗΚΟΣ ΚΑΘΕ ΒΡΟΓΧΟΥ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΒΡΟΓΧΩΝ	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ ΣΩΛΗΝΩΝ	ΑΠΟΔΙΔΟΜΕΝΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΙΣΧΥΣ
ΧΩΡΟΣ Α	30m X 50m = 1500m ²	100m	23	2300m	45KW
ΧΩΡΟΣ Β	45m X 60m = 2700m ²	120m	35	4200m	81KW
ΧΩΡΟΣ Γ	40m X 50m = 2000m ²	100m	32	3200m	60KW
ΣΥΝΟΛΟ	6200m ²	-	55+35	9700m	186KW

Πίνακας 4.11: Στοιχεία για την τοποθέτηση γεωεναλλακτών στους διαθέσιμους χώρους

Σημείωση: Ο πλέον ακριβής υπολογισμός της αποδιδόμενης ενέργειας από τους γεωεναλλάκτες θα περιελάμβανε τον τοπικό και χρονικό προσδιορισμό, με τη χρήση διαφορικών εξισώσεων από τη μεταφορά θερμότητας και μεθόδων υπολογιστικής ρευστομηχανικής (πεπερασμένες διαφορές), της θερμότητας αγωγής του υπεδάφους προς τους γεωεναλλάκτες, της θερμότητας συναγωγής του ρευστού μέσα στους γεωεναλλάκτες καθώς και της θερμότητας δια ακτινοβολίας που σε μικρά βάθη δεν είναι αμελητέα. Μια τέτοια διαδικασία θα ήταν εξαιρετικά επίπονη και ξεφεύγει από το σκοπό της παρούσας μελέτης. Γι' αυτό και η εκτίμηση της αποδιδόμενης ενέργειας βασίστηκε σε παρόμοια παραδείγματα εφαρμογών και πληροφορίες από επιστημονικές πηγές.

4.2.3. Επιλογή γεωθερμικών αντλιών και αποδιδόμενη ισχύς

Η τοποθέτηση των γεωεναλλακτών, όπως είδαμε, θα πραγματοποιηθεί σε τρεις διαφορετικούς χώρους, άρα τρεις θα είναι και οι αντίστοιχες αντλίες. Ουσιαστικά λοιπόν, εξετάζουμε τρία ξεχωριστά γεωθερμικά συστήματα. Η σωστή επιλογή του τύπου των γεωθερμικών αντλιών προϋποθέτει τον υπολογισμό της παροχής μίγματος νερού - γλυκόλης που εισέρχεται σε αυτές. Η παροχή αυτή ισούται με τη συνολική παροχή του μίγματος που ρέει στους γεωεναλλάκτες και δίνεται από τη σχέση:

$$\dot{m} = \frac{Q}{\rho * C_p * \Delta T}$$

όπου

- Q: το ποσό θερμότητας σε KW που μεταφέρεται από το ρευστό.
- ΔT: η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εισερχόμενου και εξερχόμενου ρευστού από την αντλία. Σύμφωνα με τον πίνακα 4.12, στην περίπτωση θέρμανσης είναι 12-8=4°C.
- ρ: η πυκνότητα του ρευστού. Στους 12°C ισούται με 999,4kg/m³.
- C_p: η ειδική θερμοχωρητικότητα του ρευστού. Στους 12°C ισούται με 4,194KJ/kg*K.

Αντικαθιστώντας τις τιμές αυτές στην παραπάνω σχέση, προκύπτει η παροχή από κάθε γεωεναλλάκτη στην αντίστοιχη αντλία:

α) Χώρος Α:

$$\dot{m}_1 = 0,002684 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}} = 9,66 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

β) Χώρος Β:

$$\dot{m}_2 = 0,004831 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}} = 17,39 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

γ) Χώρος Γ:

$$\dot{m}_3 = 0,003579 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}} = 12,88 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Στον πίνακα 4.12 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της σειράς αντλιών WW της εταιρίας AID ENGINEERING. Προφανώς, για κάθε σύστημα θα χρησιμοποιηθεί διαφορετική αντλία, με κριτήριο η ονομαστική της παροχή να είναι όσο το δυνατόν πλησιέστερα στην αντίστοιχη που προέκυψε από τους υπολογισμούς. Έτσι, επιλέγουμε:

α) Για τον χώρο Α, την αντλία WW210 με ονομαστική παροχή στην είσοδό της 9,1m³/h.

β) Για τον χώρο Β, την αντλία WW420 με ονομαστική παροχή στην είσοδό της 18,22m³/h.

γ) Για τον χώρο Γ, την αντλία WW240 με ονομαστική παροχή στην είσοδό της 12,74m³/h.

ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ - ΝΕΡΟΥ													
Προδιαγραφές	Μονάδες	WW024	WW036	WW048	WW060	WW072	WW120	WW180	WW210	WW240	WW360	WW420	
ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ													
Φάσεις	-	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
Πλήθος Συμπιεστών	-	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	
RLA / Συμπιεστή	A	5	4.5	7.1	9	9.6	17.9	18.6	23.7	17.9	18.6	23.7	
LRA / Συμπιεστή	A	27	32	48	64	74	118	118	198	118	118	198	
Μονάδα	MCA	A	6.3	5.6	8.9	11.3	12	22.4	23.2	29.6	40.3	53.3	
	MFS	A	15	15	15	20	20	40	40	50	50	60	77
ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ & ΒΑΡΗ													
Μήκος	cm	82.5	82.5	82.5	82.5	82.5	71	71	71	71	71	71	
Πλάτος	cm	61	61	61	61	61	117	117	117	117	117	117	
Ύψος	cm	61.5	61.5	61.5	61.5	81	81	81	162.5	162.5	162.5	162.5	
Βάρος	kg	113	113	136	141	195	227	336	349	440	676	703	
Σύνδεση	inch	3/4"	3/4"	1"	1"	1"	1 1/4"	1 1/2"	1 1/2"	2"	2"	2"	
ΠΑΡΟΧΗ & ΠΙΕΣΗ													
Παροχή Νερού	Πηγής	m ³ /h	1.4	1.51	2.3	2.99	3.1	6.37	7.74	9.1	12.74	15.48	18.22
	Κιπίου	m ³ /h	1.15	1.19	1.84	2.38	2.52	5	6.16	7.27	10	12.28	14.54
Πτώση Πίεσης	Πηγής	kPa	14.9	16.7	24	29.4	27.9	35.8	30.2	40.5	35.8	30.2	40.5
	Κιπίου	kPa	10	11.1	15.9	19.2	18.5	22.9	19.7	26.7	22.9	19.7	26.7
ΚΛΕΙΣΤΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ [ΘΕΡΜΑΝΣΗ: 12/8 C - ΨΥΞΗ: 23/28 C]													
Θερμική Ισχύς	Ενδοδαπέδια	kW	7.7	8.8	12.8	17	18	36.2	40.2	54	72.4	80.3	108
	FCU	kW	7.6	8.6	12.4	16.8	17.5	35	38.9	52.3	70	77.8	104.6
Κατανάλ. Ηλεκ. Εν.	Ενδοδαπέδια	kW	1.57	1.56	2.4	3.2	3.25	6.58	7.38	10	13.14	14.77	19.96
	FCU	kW	1.95	1.98	2.96	3.95	4.1	8.1	8.87	12.12	16.17	17.75	24.23
COP	Ενδοδαπέδια	-	4.9	5.6	5.3	5.3	5.5	5.5	5.4	5.4	5.5	5.4	5.4
	FCU	-	3.9	4.3	4.2	4.2	4.3	4.3	4.4	4.3	4.3	4.4	4.3
Ψυκτική Ισχύς	Ενδοδαπέδια	kW	8.1	9.6	14	18	19.7	39.6	44	59.3	79.2	88	118.6
	FCU	kW	7	8.2	11.9	15.5	16.5	33.7	37.4	50	67.4	74.8	100
Κατανάλ. Ηλεκ. Εν.	Ενδοδαπέδια	kW	1.27	1.22	1.96	2.68	2.65	5.67	6.31	8.98	11.33	12.62	17.96
	FCU	kW	1.27	1.24	1.95	2.57	2.72	5.5	5.9	8.6	11	12.6	17.22
COP	Ενδοδαπέδια	-	6.4	7.9	7.2	6.7	7.4	7	7	6.6	7	7	6.6
	FCU	-	5.5	6.6	6.1	6	6.1	6.1	5.9	5.8	6.1	5.9	5.8

Πίνακας 4.12: Χαρακτηριστικά της σειράς γεωθερμικών αντλιών WW ^[38]

Για τη διανομή της θερμότητας στο εσωτερικό των χώρων του 301 ΕΒ συνίσταται η τοποθέτηση συστημάτων εξαναγκασμένης κυκλοφορίας αέρα (FCU). Επομένως, από τα δεδομένα του πίνακα 4.12, η αποδιδόμενη θερμική και ψυκτική ισχύς από κάθε γεωθερμικό σύστημα αντίστοιχα, θα είναι:

	ΘΕΡΜΙΚΗ ΙΣΧΥΣ (KW)	ΨΥΚΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ (KW)
ΧΩΡΟΣ Α	52,3	50
ΧΩΡΟΣ Β	104,6	100
ΧΩΡΟΣ Γ	70	67,4
ΣΥΝΟΛΟ	226,9	217,4

Πίνακας 4.13: Αποδιδόμενη θερμική και ψυκτική ισχύς γεωθερμικών συστημάτων στο 301 ΕΒ

Οι ετήσιες ανάγκες του 301 ΕΒ, ανέρχονται σε 590KW θερμικής και 216KW ψυκτικής ισχύος. Μια τέτοια εγκατάσταση λοιπόν, καλύπτει το 38% των θερμικών και το 100% των ψυκτικών αναγκών του Εργοστασίου.

4.2.4. Τοποθέτηση κυκλοφορητή στην είσοδο της γεωθερμικής αντλίας

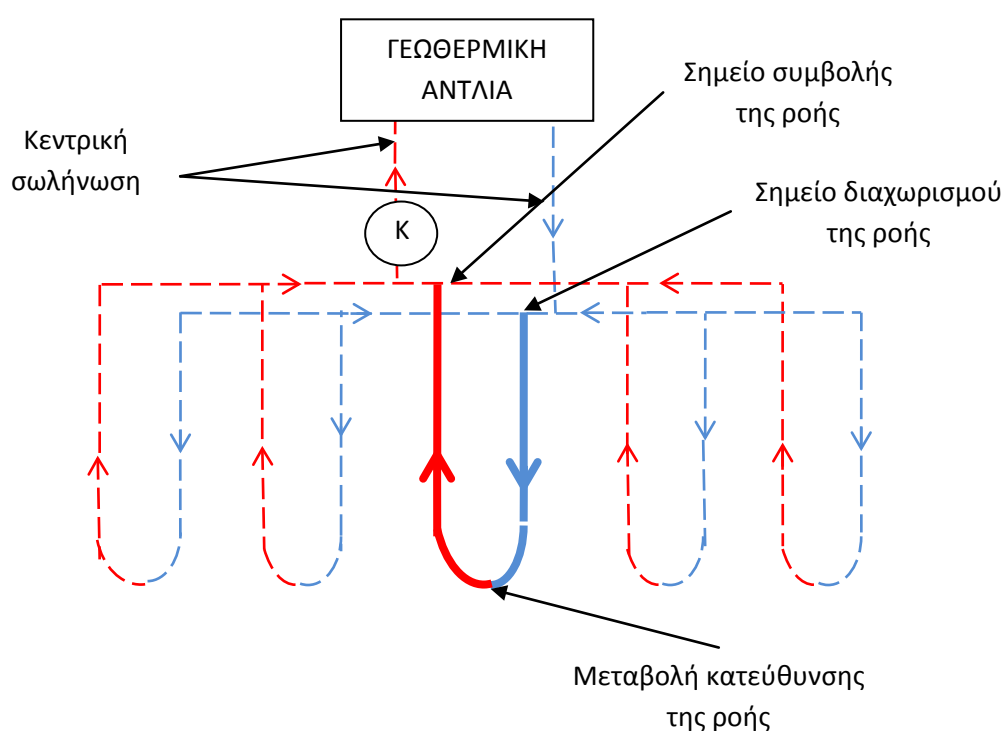
Για να εξασφαλιστεί η επιθυμητή παροχή του ρευστού στην αντλία, θα πρέπει η ροή του διαλύματος νερού – γλυκόλης από τους γεωεναλλάκτες να πραγματοποιηθεί με εξαναγκασμένη κυκλοφορία, δηλαδή με την τοποθέτηση κυκλοφορητή στην είσοδο κάθε αντλίας. Για την επιλογή των κατάλληλων κυκλοφορητών απαιτείται η γνώση της παροχής και της πίεσης λειτουργίας. Από την επιλογή της αντλίας σε κάθε γεωθερμικό σύστημα προέκυψε και η επιθυμητή παροχή στην είσοδό της, που προφανώς συμπίπτει με την παροχή λειτουργίας του αντίστοιχου κυκλοφορητή.



Εικόνα 4.14: Κυκλοφορητής^[39]

Το κύκλωμα του γεωεναλλάκτη αποτελείται από παράλληλους βρόγχους, άρα η πτώση πίεσης του δικτύου στο σημείο τοποθέτησης του κυκλοφορητή μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση διατήρησης της ενέργειας σε ένα βρόγχο και περιλαμβάνει τις εξής απώλειες πίεσης ^[3]:

- Τις γραμμικές απώλειες των σωληνώσεων.
- Τις γραμμικές απώλειες της κεντρικής σωλήνωσης.
- Τις εντοπισμένες απώλειες της σωλήνωσης λόγω μεταβολής κατεύθυνσης της ροής.
- Τις εντοπισμένες απώλειες των σωληνώσεων στα σημεία σύνδεσης.
- Τις εντοπισμένες απώλειες στην είσοδο της αντλίας (δίνονται στον πίνακα 4.12: πτώση πίεσης πηγής σε kPa. Υπενθυμίζεται ότι $1\text{kPa}=0,1\text{m}\Sigma\text{Y}$).



Σχήμα 4.15: Απεικόνιση του δικτύου μέχρι την είσοδο της αντλίας

Στη συνέχεια, υπολογίζονται οι απώλειες για το γεωθερμικό σύστημα του χώρου Α. Όμοια διαδικασία ακολουθείται και για τα υπόλοιπα συστήματα.

Γραμμικές απώλειες σωληνώσεων

Η παροχή στην είσοδο της αντλίας είναι $9,1\text{m}^3/\text{h}$, η οποία διαμοιράζεται σε 23 βρόγχους, άρα η παροχή κάθε βρόγχου είναι:

$$\dot{m}_{\text{BP}} = \frac{9,1}{23} = 0,4 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Η μέση ταχύτητα του ρευστού σε κάθε βρόγχο είναι:

$$u = \frac{\dot{m}_{\text{BP}}}{A} = \frac{\dot{m}_{\text{BP}}}{\pi * \frac{D^2}{4}} = \frac{0,4}{3,14 * \frac{0,03^2}{4}} = 566,17 \frac{\text{m}}{\text{h}} = 0,16 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

Αν $\nu = 1,306 * 10^{-6} \text{m}^2/\text{sec}$, η κινηματική συνεκτικότητα του νερού στους 10°C (μέση τιμή θερμοκρασίας ρευστού που κυκλοφορεί στο βρόγχο), ο αριθμός Re είναι:

$$\text{Re} = \frac{u * D}{\nu} = \frac{0,16 * 0,03}{1,306 * 10^{-6}} = 3675$$

Είναι $2300 < \text{Re} < 10000$, άρα βρισκόμαστε στη μεταβατική περιοχή από στρωτή ροή σε τυρβώδη. Αν $\varepsilon = 0,0015 \text{mm}$ είναι η απόλυτη τραχύτητα του σωλήνα πολυαιθυλενίου PN10 εσωτερικής διαμέτρου $D = 10 \text{mm}$, τότε ο συντελεστής αντίστασης γραμμικών απωλειών λ , δίνεται από τη σχέση Colebrook – White:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 * \log \left(\frac{2,51}{\text{Re} * \sqrt{\lambda}} + \frac{\varepsilon}{3,71 D} \right) \Rightarrow \lambda = 0,024$$

Οι γραμμικές απώλειες για το μήκος ενός βρόγχου δίνονται από τη σχέση:

$$\delta h_{\text{ΓΡ}} = \lambda * \frac{L}{D} * \frac{u^2}{2 * g} = 0,024 * \frac{100}{0,03} * \frac{0,16^2}{2 * 9,81} = 0,104 \text{m}\Sigma\Upsilon$$

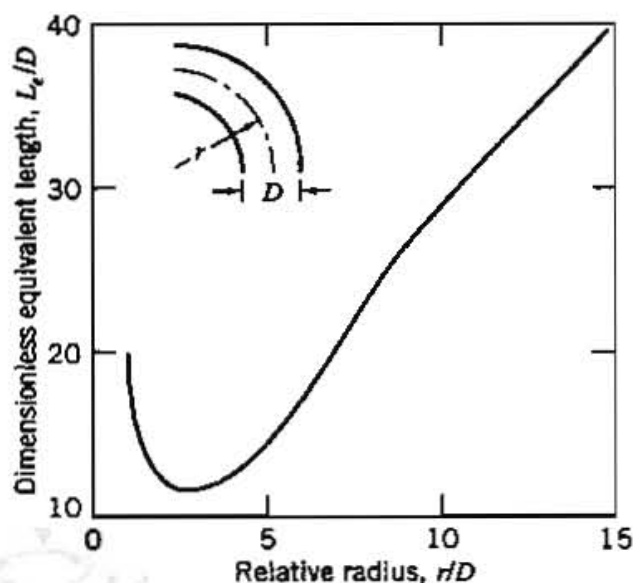
Γραμμικές απώλειες κεντρικής σωλήνωσης

Η παροχή κάθε βρόγχου καταλήγει σε ένα κεντρικό σωλήνα που οδηγεί τη συνολική παροχή στην γεωθερμική αντλία. Δεδομένου ότι η αντλία θα τοποθετηθεί κοντά στους βρόγχους, το μήκος του δεν θα ξεπερνά τα 10m. Ο τύπος του σωλήνα που χρησιμοποιείται είναι ο ίδιος με αυτόν των βρόγχων, δηλαδή PN10, άρα και η εσωτερική διατομή παραμένει ίδια, $D=30\text{mm}$. Η παροχή που τον διαρρέει είναι η συνολική παροχή, δηλαδή $9,1\text{m}^2/\text{sec}$, οπότε ακολουθώντας την προηγούμενη διαδικασία υπολογισμού γραμμικών απωλειών, θα έχουμε:

- Ταχύτητα ρευστού $u=3,58\text{m}/\text{sec}$
- Αριθμός $Re=8,2 \cdot 10^5$
- Συντελεστής γραμμικών απωλειών $\lambda=0,017$
- Γραμμικές απώλειες $\delta h_{\text{ΚΕΝΤΡ}}=3,7\text{m}\Sigma\text{Υ}$

Εντοπισμένες απώλειες της σωλήνωσης λόγω μεταβολής κατεύθυνσης της ροής

Οι εντοπισμένες απώλειες λόγω μεταβολής κατεύθυνσης της ροής μπορούν να εκφραστούν ως γραμμικές, με τη χρήση ενός ισοδύναμου μήκους L_e . Στη βιβλιογραφία συναντάμε σχήματα που μας δίνουν την τιμή της αδιάστατης ποσότητας L_e/D συναρτήσει της σχετικής ακτίνας r/D :



Σχήμα 4.16: Αδιάστατο μήκος σωλήνωσης για στρογγυλεμένη γωνία ^[3]

Σύμφωνα με το σχήμα 4.10 είναι $r=0,3\text{m}$, οπότε $r/D=0,3\text{m}/0,03\text{m}=10$ και από σχήμα 4.16 προκύπτει η τιμή $L_e/D=30\text{m}$. Επομένως, οι ζητούμενες απώλειες μεταβολής της ροής θα είναι:

$$\delta h_{\text{MET}} = \lambda * \frac{L_e}{D} * \frac{u^2}{2 * g} = 0,024 * 30 * \frac{0,16^2}{2 * 9,81} = 0,0001 \text{m}\Sigma\Upsilon$$

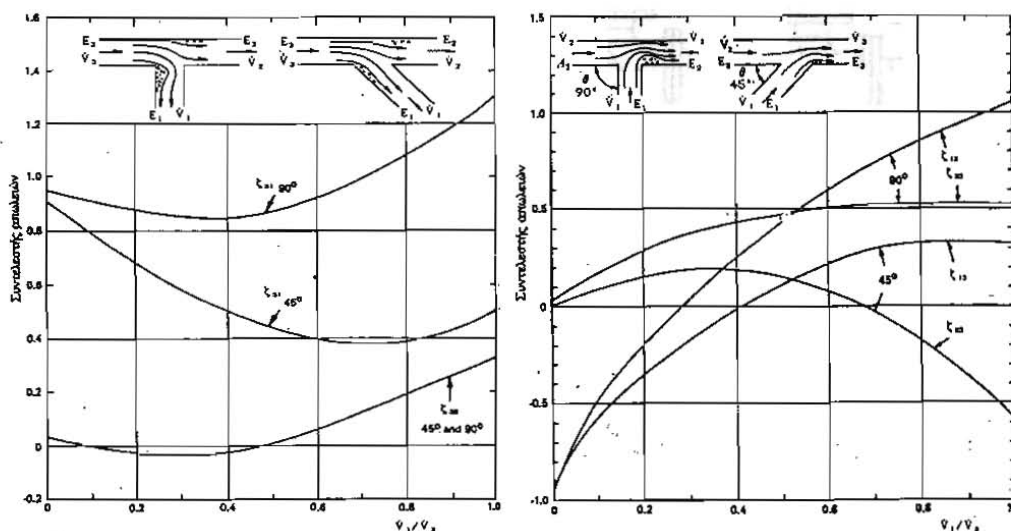
Παρατηρούμε ότι οι απώλειες αυτές είναι πολύ μικρές σε σχέση με τις γραμμικές, άρα μπορούν να θεωρηθούν αμελητέες.

Εντοπισμένες απώλειες των σωληνώσεων στα σημεία σύνδεσης

Κάθε βρόγχος περιλαμβάνει δύο σημεία σύνδεσης: ένα σημείο συμβολής και ένα σημείο διαχωρισμού της ροής (σχήμα 4.15). Οι εντοπισμένες απώλειες των σωληνώσεων στα σημεία σύνδεσης δίνονται από τη σχέση:

$$\delta h_{\Sigma\Upsilon\text{N}} = \zeta * \frac{u^2}{2 * g}$$

όπου ζ ο συντελεστής εντοπισμένων απωλειών, ο οποίος προσδιορίζεται από το σχήμα 4.17 συναρτήσει της γωνίας διακλάδωσης και του λόγου των παροχών των δύο κλάδων της ένωσης:



Σχήμα 4.17: Συντελεστές απωλειών σε στοιχεία διαχωρισμού και συμβολής της ροής ^[3]

Στην περίπτωση μας, θεωρώντας γωνία διακλάδωσης 90° και αφού ο λόγος των παροχών μεταξύ βρόγχου (ροή 1) και κύριας ροής (ροή 3) είναι $0,4/9,1=0,04$, θα έχουμε για το σημείο διαχωρισμού $\zeta_{31}=0,95$ περίπου, ενώ για το σημείο συμβολής $\zeta_{13}= -0,95$ περίπου (το μείον υποδηλώνει ότι η ροή 3 δρα ως αντλητικός μηχανισμός προσφέροντας ενέργεια στη ροή 1). Επομένως, οι απώλειες πίεσης στα δύο σημεία σύνδεσης σχεδόν αλληλοαναιρούνται ή αν υπάρχουν είναι αμελητέες.

Συνολικές απώλειες πίεσης και επιλογή κυκλοφορητών

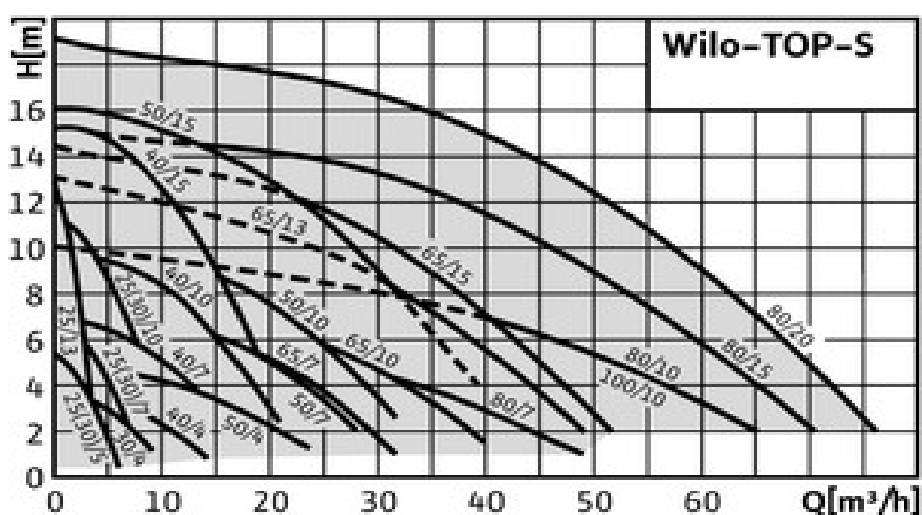
Οι συνολικές απώλειες πίεσης στο βρόγχο άρα και η πτώση πίεσης στο σημείο τοποθέτησης του κυκλοφορητή θα είναι:

$$H = \delta h_{ΓΡ} + \delta h_{ΚΕΝΤΡ} + \delta h_{ΑΝΤΛ} = 0,104 + 3,7 + 4,05 = 7,854 \text{m}\Sigma\Upsilon$$

Επομένως, για το γεωθερμικό σύστημα του αίθριου χώρου χρειαζόμαστε ένα κυκλοφορητή με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Παροχή λειτουργίας: $9,1 \text{m}^3/\text{sec}$
- Πίεση λειτουργίας: $7,854 \text{m}\Sigma\Upsilon$

Στο σχήμα 4.18 παρουσιάζονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες των κυκλοφορητών της σειράς TOP-S της εταιρίας WILLO:



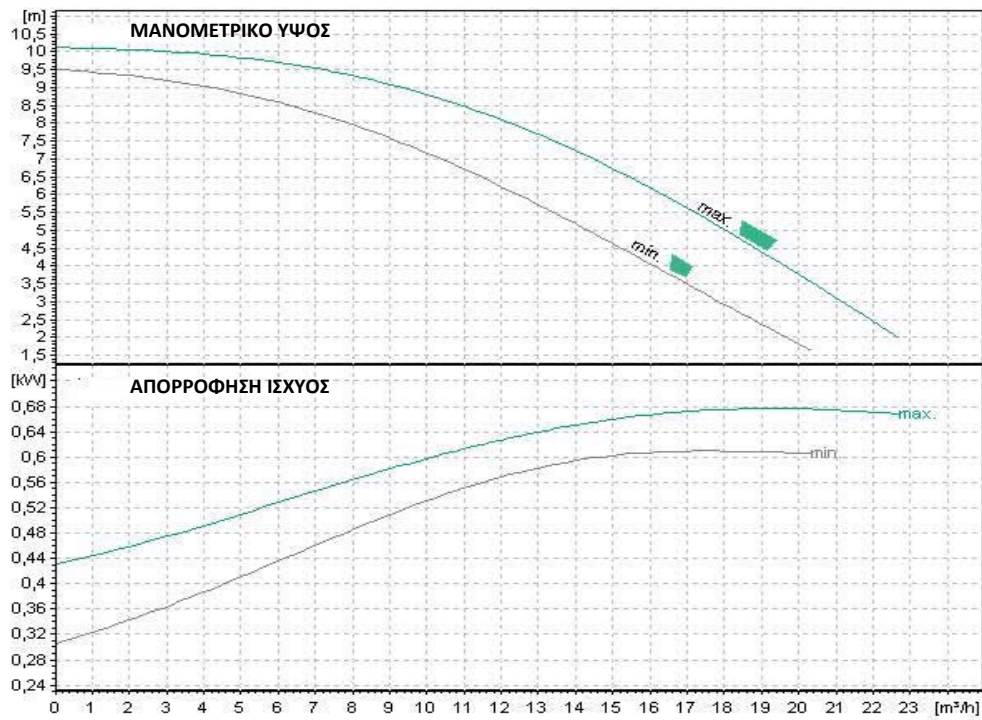
Σχήμα 4.18: Χαρακτηριστικές καμπύλες κυκλοφορητών WILLO TOP-S^[39]

Εφαρμόζοντας την ίδια διαδικασία και για τα υπόλοιπα δύο γεωθερμικά συστήματα, προκύπτουν τελικά τα αποτελέσματα του πίνακα 4.19 για την επιλογή των κατάλληλων κυκλοφορητών:

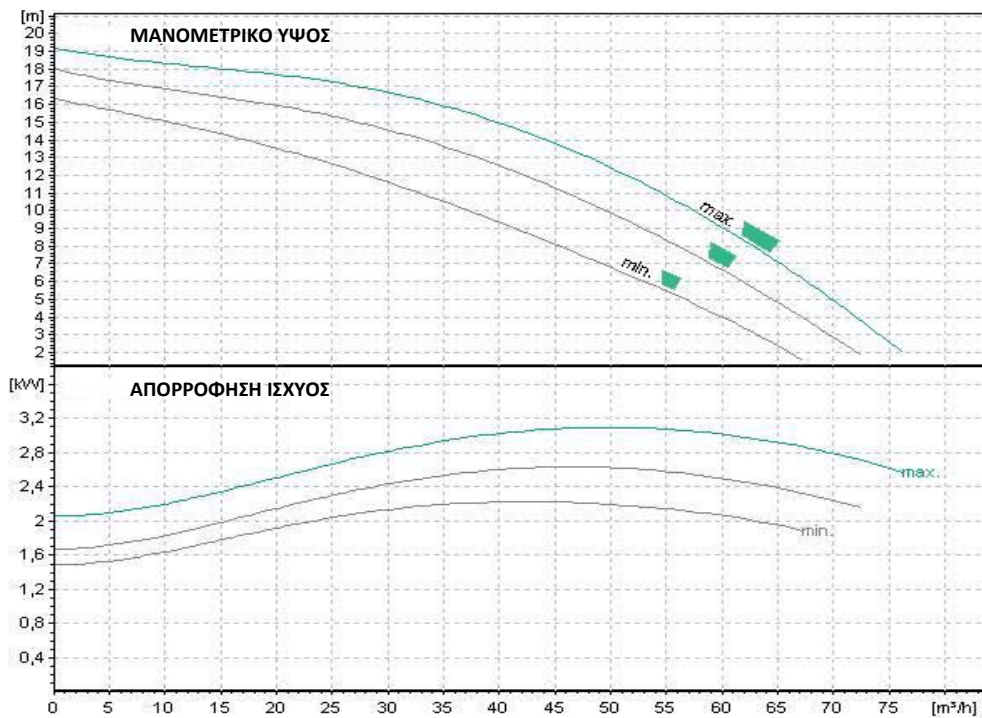
	ΠΑΡΟΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΗΤΗ (m^3/h)	ΠΙΕΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΗΤΗ ($\text{m}\Sigma\Upsilon$)	ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΣ ΤΥΠΟΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΗΤΗ
ΧΩΡΟΣ Α	9,1	7,853	40/10
ΧΩΡΟΣ Β	18,22	18,238	80/20
ΧΩΡΟΣ Γ	12,74	10,484	80/10

Πίνακας 4.19: Στοιχεία κυκλοφορητών στην είσοδο της αντλίας για κάθε γεωθερμικό σύστημα

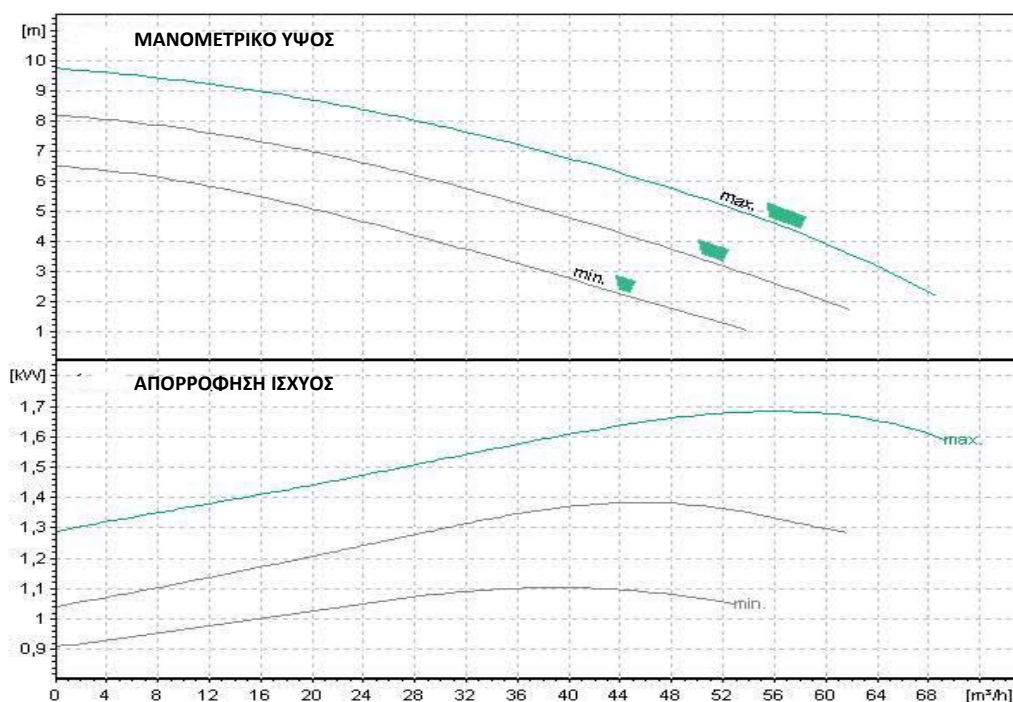
Οι χαρακτηριστικές καμπύλες των επιλεγμένων κυκλοφορητών δίνονται στα επόμενα σχήματα:



Σχήμα 4.20: Χαρακτηριστικές καμπύλες κυκλοφορητή WILO TOP-S 40/10 ^[39]



Σχήμα 4.21: Χαρακτηριστικές καμπύλες κυκλοφορητή WILO TOP-S 80/20 ^[39]



Σχήμα 4.22: Χαρακτηριστικές καμπύλες κυκλοφορητή WILLO TOP-S 80/10 ^[39]

4.2.5. Κύκλωμα εσωτερικής διανομής θερμότητας

Η αποδιδόμενη θερμική ή ψυκτική ισχύς από τις γεωθερμικές αντλίες φτάνει στα κτίρια του 301 ΕΒ μέσω του κυκλώματος εσωτερικής διανομής θερμότητας. Αυτό αποτελείται από:

- Το δίκτυο σωληνώσεων.
- Τους κυκλοφορητές. Η χρήση κυκλοφορητών είναι απαραίτητη και για την κυκλοφορία του νερού από την γεωθερμική αντλία στο δίκτυο εσωτερικής διανομής θερμότητας. Η διαδικασία υπολογισμού είναι η ίδια όπως και προηγουμένως. Η διαφορά στην περίπτωση αυτή είναι ότι οι γραμμικές απώλειες θα είναι μεγαλύτερες, λόγω του αυξημένου μήκους των σωληνώσεων (μέγιστη απόσταση κτιρίου από γεωθερμική αντλία περίπου 450m), όμως οι απώλειες πίεσης της αντλίας στην έξοδό της (όπως φαίνεται από τον πίνακα 4.12 στη στήλη πτώση πίεσης κτιρίου) είναι μικρότερες. Προσεγγιστικά προκύπτει (λόγω αδυναμίας καθορισμού του ακριβούς μήκους και της διάταξης των σωληνώσεων στο δίκτυο εσωτερικής διανομής), ότι απαιτούνται αντίστοιχα σε κάθε γεωθερμικό σύστημα οι ίδιοι κυκλοφορητές με αυτούς στην είσοδο της αντλίας.
- Τις δεξαμενές αποθήκευσης του ζεστού νερού χρήσης. Πιθανότατα να μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα ήδη υπάρχοντα boilers.

• Τα συστήματα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας αέρα (FCU). Τοποθετείται ένας ανεμιστήρας σε κάθε χώρο που απαιτείται η ψύξη ή η θέρμανση αντίστοιχα. Μια κεντρική σωλήνωση, που διαρρέεται από θερμό ή ψυχρό νερό, διακλαδώνεται και περνάει από όλους τους προς κλιματισμό χώρους. Ο κάθε ανεμιστήρας αναρροφά αέρα από το περιβάλλον, τον κατευθύνει πάνω στη σωλήνωση με το νερό, όπου γίνεται η μεταφορά θερμότητας και ο θερμός ή ψυχρός πλέον αέρας απορρίπτεται μέσα στον χώρο και τον κλιματίζει.



Εικόνα 4.23: Σύστημα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας αέρα (FCU) ^[29]

Για την κάλυψη θερμικών αναγκών σε όλους τους χώρους του 301 ΕΒ και με βάση τη χωροταξία του στρατοπέδου, θα πρέπει το κύκλωμα εσωτερικής διανομής θερμότητας κάθε γεωθερμικού συστήματος να εξυπηρετεί συγκεκριμένα κτίρια. Προτείνεται η κατανομή των κτιρίων στα αντίστοιχα γεωθερμικά συστήματα, σύμφωνα με τη διάταξη του χάρτη 4.24:



ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟ
ΣΥΣΤΗΜΑ ΧΩΡΟΥ Α

ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟ
ΣΥΣΤΗΜΑ ΧΩΡΟΥ Β

ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟ
ΣΥΣΤΗΜΑ ΧΩΡΟΥ Γ

Χάρτης 4.24: Κατανομή κτιρίων 301 ΕΒ στα τρία γεωθερμικά συστήματα

4.3. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

4.3.1. Κόστος γεωθερμικών συστημάτων

Το κόστος των γεωθερμικών συστημάτων περιλαμβάνει:

α) Αρχικό κόστος:

- Κόστος εξοπλισμού
- Κόστος εγκατάστασης

β) Ετήσιο κόστος:

- Κόστος λειτουργίας
- Κόστος συντήρησης

Κόστος εξοπλισμού

Το κόστος εξοπλισμού περιλαμβάνει τα δαπανώμενα ποσά για την αγορά του εξοπλισμού των τριών γεωθερμικών συστημάτων και παρουσιάζεται αναλυτικά στον πίνακα 4.25. Το κόστος του εσωτερικού κυκλώματος διανομής θερμότητας είναι δύσκολο να υπολογιστεί, καθόσον θα πρέπει να καθοριστεί ακριβώς η διάταξη του δικτύου σωληνώσεων καθώς και το μέγεθος και ο αριθμός των FCU που θα τοποθετηθούν σε κάθε κτίριο. Με βάση όμως, ήδη υπάρχουσες εφαρμογές, εκτιμάται ότι, κατά μέσο όρο σε κάθε κτίριο, το κόστος εξοπλισμού του εσωτερικού κυκλώματος διανομής θερμότητας (σωληνώσεις, FCU, boilers, λοιπά εξαρτήματα) δεν θα ξεπερνά τις 5000€.

ΠΡΟΪΟΝ	ΤΥΠΟΣ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ	ΚΟΣΤΟΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ
ΣΩΛΗΝΕΣ ΓΕΩΕΝΑΛΛΑΚΤΗ	PN10	0,9€/m	9700m	8730€
ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ	WW210 WW420 WW240	13.335€/τεμ 27.170€/τεμ 17.648€/τεμ	1τεμ 1τεμ 1τεμ	58.173€
ΚΥΚΛΟΦΟΡΗΤΕΣ	WILO TOP-S 40/10 WILO TOP-S 80/20 WILO TOP-S 80/10	715€/τεμ 1636€/τεμ 1170€/τεμ	2τεμ 2τεμ 2τεμ	7042€
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	-	5000€/τεμ	32τεμ	160.000€
ΚΟΣΤΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ				233.945€

Πίνακας 4.25: Κόστος εξοπλισμού γεωθερμικών συστημάτων

Κόστος εγκατάστασης

Το κόστος εγκατάστασης περιλαμβάνει τις εξής εργασίες:

- Εκσκαφή εδάφους για το άνοιγμα των απαραίτητων τάφρων βάθους 1,5m.
- Τοποθέτηση γεωεναλλακτών και πλήρωσή τους με αντιψυκτικό διάλυμα νερού - γλυκόλης.
- Εγκατάσταση γεωθερμικών αντλιών και κυκλωμάτων εσωτερικής διανομής θερμότητας.

Το συνολικό κόστος των παραπάνω εργασιών εκτιμάται ότι δεν ξεπερνά τις 10.000€.

Κόστος λειτουργίας

Το κόστος λειτουργίας περιλαμβάνει τα ποσά που καταβάλλονται στη ΔΕΗ για την κατανάλωση του απαιτούμενου, για τη λειτουργία των γεωθερμικών συστημάτων, ηλεκτρικού ρεύματος. Η τιμή αγοράς του ηλεκτρικού ρεύματος είναι 0,128€/KWh. Οι ηλεκτρικές καταναλώσεις στα γεωθερμικά συστήματα εντοπίζονται:

α) Στη λειτουργία των γεωθερμικών αντλιών. Θεωρώντας ότι οι αντλίες λειτουργούν 10 ώρες καθημερινά (8 μήνες για θέρμανση και 4 για ψύξη), τα δαπανώμενα ποσά παρουσιάζονται αναλυτικά στον πίνακα 4.26:

ΑΝΤΛΙΑ	ΚΑΤΑΝΑΛΙΣΚΟΜΕΝΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΙΣΧΥΣ (KW)		ΕΤΗΣΙΕΣ ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (h)		ΚΑΤΑΝΑΛΙΣΚΟΜΕΝΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (KWh)		ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (€)	
	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΨΥΞΗ	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΨΥΞΗ	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΨΥΞΗ	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΨΥΞΗ
WW210	12,12	8,6	2430	1220	29.452	10.492	3770	1343
WW420	24,23	17,22	2430	1220	58.879	21.008	7537	2689
WW240	16,17	11	2430	1220	39.293	13.420	5030	1718
ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ							22.087€	

Πίνακας 4.26: Κόστος λειτουργίας γεωθερμικών αντλιών

β) Στη λειτουργία των κυκλοφορητών. Αντίστοιχα, για τους κυκλοφορητές θα έχουμε:

ΚΥΚΛΟΦΟΡΗΤΗΣ	ΚΑΤΑΝΑΛΙΣΚΟΜΕΝΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΙΣΧΥΣ (KW)	ΕΤΗΣΙΕΣ ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (h)	ΚΑΤΑΝΑΛΙΣΚΟΜΕΝΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (KWh)	ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (€)
WILO TOP-S 40/10 (2τεμ)	0,35*2=0,7	3650	2555	327
WILO TOP-S 80/20 (2τεμ)	2,2*2=4,4	3650	16.060	2056
WILO TOP-S 80/10 (2τεμ)	1,1*2=2,2	3650	8030	1028
ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΗΤΩΝ				3411€

Πίνακας 4.27: Κόστος λειτουργίας κυκλοφορητών

γ) Στη λειτουργία των FCU. Η συνολική θερμική ισχύς που παράγεται από τα γεωθερμικά συστήματα για την κάλυψη μέρους των αναγκών του 301 ΕΒ προέκυψε ίση με 226,9KW. Οπότε, για χάρη των υπολογισμών, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι σε κάθε ένα από τα 32 κτίρια, θα τοποθετηθεί κατά μέσο όρο ένα FCU θερμικής ισχύος 7,1KW, το οποίο καταναλώνει ηλεκτρική ισχύ 0,4KW. Επομένως, το κόστος λειτουργίας των FCU εκτιμάται σε:

$$\text{ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ FCU} = 32 * 0,4\text{KW} * 3650\text{h} * 0,128 \frac{\text{€}}{\text{KWh}} = 5980\text{€}$$

Επομένως, το συνολικό ετήσιο κόστος λειτουργίας προκύπτει ως άθροισμα των επιμέρους και είναι ίσο με 31.478€.

Κόστος συντήρησης

Τα οριζόντια γεωθερμικά συστήματα δεν απαιτούν ιδιαίτερη συντήρηση, εφόσον οι γεωεναλλάκτες είναι από πολυαιθυλένιο υψηλής αντοχής, που παραμένει ανέπαφο πολλά χρόνια. Επομένως, η συντήρησή τους περιλαμβάνει κυρίως τον έλεγχο καλής λειτουργίας του υπόλοιπου εξοπλισμού (αντλιών, κυκλοφορητών, FCU) και εκτιμάται ότι δεν ξεπερνά τα 500€ ετησίως.

Συνολικό κόστος γεωθερμικών συστημάτων

Επομένως, το αρχικό κόστος εξοπλισμού και εγκατάστασης των γεωθερμικών συστημάτων, θα είναι:

$$\begin{aligned} \text{ΑΡΧΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ} &= \text{ΚΟΣΤΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ} + \text{ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ} = \\ &= 233.945 + 10.000 = \\ &= 243.945\text{€} \end{aligned}$$

Ενώ οι ετήσιες δαπάνες για τη λειτουργία και συντήρηση των συστημάτων θα είναι:

$$\begin{aligned} \text{ΕΤΗΣΙΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ} &= \text{ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ} + \text{ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ} = \\ &= 31.478 + 500 = \\ &= 31.978\text{€} \end{aligned}$$

4.3.2. Εξοικονόμηση

Με την εγκατάσταση των γεωθερμικών συστημάτων στο 301 ΕΒ, μέρος των θερμικών και ψυκτικών αναγκών του Εργοστασίου παύει να καλύπτεται από κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και πετρελαίου.

Είδαμε ότι η κάλυψη του ψυκτικού φορτίου με τη χρήση των προτεινόμενων γεωθερμικών συστημάτων φτάνει το 100%. Η εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται από την αντικατάσταση των κλιματιστικών του Εργοστασίου με άλλο σύστημα κλιματισμού υπολογίστηκε στην παράγραφο 3.4.3 και ισούται με 20.828€.

Αντίστοιχα, είδαμε ότι καλύπτεται το 38% των θερμικών αναγκών. Οι θερμικές ανάγκες περιλαμβάνουν τη θέρμανση νερού χρήσης και τη θέρμανση χώρων. Στην παράγραφο 3.2.2 υπολογίστηκαν οι ετήσιες τιμές τους:

$$\text{ΦΟΡΤΙΟ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΧΡΗΣΗΣ} = 445.479.962\text{KJ} = 123.744\text{KWh}$$

$$\text{ΦΟΡΤΙΟ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΧΩΡΩΝ} = 4.622.648.976\text{KJ} = 1.284.069\text{KWh}$$

Θεωρώντας ότι ικανοποιούνται πλήρως οι ανάγκες σε ζεστό νερό χρήσης από τη γεωθερμία και με δεδομένη την τιμή αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας (0,128€/KWh), επιτυγχάνεται μια εξοικονόμηση της τάξης των 15.839€.

Σε αυτήν την περίπτωση, το φορτίο θέρμανσης χώρων που θα καλύπτεται από τα γεωθερμικά συστήματα θα δίνεται από τη σχέση:

$$0,38 * (123.744 + 1.284.069) = 123.744 + Q \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow Q = 411.225\text{KWh} = 353.571.255\text{Kcal}$$

Το πετρέλαιο που απαιτείται για τη κάλυψη αυτού του φορτίου με το υπάρχον σύστημα θέρμανσης με λέβητα του Εργοστασίου, δίνεται από τη σχέση που αναλύθηκε στην παράγραφο 3.2.1:

$$m = \frac{Q}{\eta * H_u} = \frac{353.571.255\text{Kcal}}{0,6 * 10.200 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg}}} = 57.773\text{kg} = \frac{57.773\text{kg}}{0,82 \frac{\text{kg}}{\text{lt}}} = 70.455\text{lt}$$

Η τιμή του πετρελαίου ανέρχεται στα 0,7€/lt, άρα με την εγκατάσταση των γεωθερμικών συστημάτων επιτυγχάνεται εξοικονόμηση 49.319€.

Επομένως, η συνολική εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται με την εγκατάσταση των προτεινόμενων γεωθερμικών συστημάτων ανέρχεται στα 85.986€, γεγονός που σημαίνει ότι το αρχικό κεφάλαιο αποσβένεται σε 5 έτη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΤΕΛΙΚΕΣ ΔΙΑΠΙΣΤΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1. ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΤΑΣΕΩΝ

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε η μελέτη εφαρμογής τριών βασικών τεχνολογιών ΑΠΕ στο 301 ΕΒ: διασυνδεδεμένων Φ/Β συστημάτων σταθερής στήριξης, ηλιακών συστημάτων COMBI και οριζόντιων γεωθερμικών συστημάτων κλειστού κυκλώματος. Τα τρία αυτά σενάρια μελετήθηκαν εντελώς ανεξάρτητα, όμως η εφαρμογή τους δύναται να υλοποιηθεί είτε μεμονωμένα είτε συνδυαστικά. Εξετάστηκαν τόσο από πλευράς ενεργειακής απόδοσης, όσο και από οικονομοτεχνικής πλευράς και προέκυψαν πολύτιμα συμπεράσματα.

Διασυνδεδεμένα Φ/Β συστήματα σταθερής στήριξης

Μελετήθηκε η εγκατάσταση 4730 Φ/Β πλαισίων με σταθερή στήριξη, συνολικής ονομαστικής ισχύος που φτάνει σχεδόν τα 1,1MW. Η ετήσια παραγόμενη ενέργεια από μια τέτοια εγκατάσταση υπολογίστηκε στις 1396MWh, που αντιστοιχεί στο 146% των ετήσιων αναγκών του Εργοστασίου σε ηλεκτρική ενέργεια (957,2MWh). Έτσι, το 301 ΕΒ ουσιαστικά καθίσταται ενεργειακά αυτόνομο και επιπλέον συντελεί σημαντικά στην προώθηση των ΑΠΕ με μια διόλου ευκαταφρόνητη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Φ/Β συστήματα.

Από την αξιολόγηση των οικονομικών δεικτών που υπολογίστηκαν, συμπεραίνουμε ότι η εγκατάσταση Φ/Β συστημάτων στο 301 ΕΒ αποτελεί μια συμφέρουσα επένδυση, με περίοδο ανάκτησης κεφαλαίου (ΠΑΚ) 11 έτη και εσωτερικό συντελεστή απόδοσης (IRR) 10,84%. Η άποψη αυτή ενισχύεται και από το γεγονός ότι στο επενδυτικό σχέδιο που παρουσιάστηκε, επιλέχθηκαν υψηλές τιμές σε ορισμένες καθοριστικές παραμέτρους, όπως το κόστος επένδυσης και το επιτόκιο δανεισμού. Με δεδομένο όμως, ότι δύναται να επιτευχθούν ευνοϊκότεροι όροι δανειοδότησης και χαμηλότερο κόστος εγκατάστασης από τις αντίστοιχες τιμές που χρησιμοποιήθηκαν στην αναλυτική μελέτη, η ΠΑΚ μπορεί να μειωθεί στα 8 έτη και ο IRR να αυξηθεί ως και 16,5%, οπότε τελικά η επένδυση μπορεί να θεωρηθεί αρκετά αποδοτική από οικονομικής πλευράς.

Ηλιακά συστήματα COMBI

Μελετήθηκε η εγκατάσταση 140 ηλιακών συστημάτων COMBI, με την οποία επιτυγχάνεται πλήρης κάλυψη των ετήσιων αναγκών σε ζεστό νερό χρήσης και το 24,4% των αναγκών σε θέρμανση χώρων. Η ετήσια κάλυψη των συνολικών θερμικών αναγκών του Εργοστασίου (θέρμανση χώρων και νερού χρήσης) φτάνει

περίπου στο 31,5%. Το ποσοστό αυτό, αν και σημαντικό, δεν κρίνεται ιδιαίτερα ικανοποιητικό.

Μειονέκτημα αποτελεί το αρχικό υψηλό κόστος εγκατάστασης (980.000€). Η οικονομική αξιολόγηση του έργου έδειξε ότι η ετήσια εξοικονόμηση από τη χρήση των συστημάτων COMBI ανέρχεται σε 54.367€, που σημαίνει ότι το αρχικό κεφάλαιο ανακτάται σε 18 έτη.

Τα παραπάνω οδηγούν στο συμπέρασμα ότι από οικονομικής απόψεως δεν είναι ιδιαίτερα συμφέρουσα η εγκατάσταση συστημάτων COMBI για την κάλυψη των θερμικών αναγκών του Εργοστασίου. Για το λόγο αυτό, παρουσιάστηκαν επιπλέον δύο εναλλακτικά σενάρια.

Στο πρώτο προτείνεται η εγκατάσταση απλών θερμοσιφωνικών συστημάτων. Η χρήση τους περιορίζεται στη παραγωγή ζεστού νερού, έχουν όμως πολύ χαμηλό κόστος και μια μικρή συλλεκτική επιφάνεια είναι αρκετή για να καλύψει το 75% των αναγκών σε ζεστό νερό χρήσης, απ' όπου εξοικονομούνται περίπου 12.000€ ετησίως. Η ανάκτηση του αρχικού κεφαλαίου, σε αυτή την περίπτωση, πραγματοποιείται σε 11 έτη.

Στο δεύτερο προτείνεται η εγκατάσταση συστημάτων ηλιακού κλιματισμού, με τα οποία να καλύπτονται πλήρως οι ανάγκες του Εργοστασίου σε ψύξη και ζεστό νερό χρήσης, καθώς και ένα μικρό μέρος (18%) των αναγκών θέρμανσης. Τα συστήματα αυτά έχουν μεγαλύτερο κόστος, αλλά είναι περισσότερο αποδοτικά από τα COMBI, επιτυγχάνοντας έτσι εξοικονόμηση 52.783€ ετησίως και ανακτώντας το αρχικό κεφάλαιο σε 10 έτη.

Οριζόντια γεωθερμικά συστήματα κλειστού κυκλώματος

Μελετήθηκε η εγκατάσταση τριών οριζόντιων γεωθερμικών συστημάτων κλειστού κυκλώματος σε αντίστοιχους διαθέσιμους χώρους συνολικής επιφάνειας 6200m², με τα οποία καλύπτεται το 38% των θερμικών και το 100% των ψυκτικών αναγκών του Εργοστασίου.

Από οικονομικής πλευράς αποτελούν μια ιδιαίτερως ελκυστική λύση, διότι παρόλο το υψηλό αρχικό κόστος εγκατάστασής τους, επιτυγχάνεται πολύ σημαντική εξοικονόμηση ρεύματος και πετρελαίου, συνολικού ύψους 85.986€, που οδηγεί στην ανάκτηση του αρχικού κεφαλαίου σε 5 έτη.

5.2. ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Από τη συνολική μελέτη που προηγήθηκε, καθίσταται εμφανές ότι η αξιοποίηση των διαθέσιμων χώρων του 301 ΕΒ για την εφαρμογή τεχνολογιών ΑΠΕ, θα συντελέσει στην αναβάθμιση του στρατοπέδου, με άμεσο όφελος την ενεργειακή εξοικονόμηση του Εργοστασίου.

Υπάρχουν όμως και άλλα οφέλη λιγότερο εμφανή, αλλά ίσως περισσότερο σημαντικά, όπως είναι η εξοικείωση του προσωπικού του 301 ΕΒ με τις ΑΠΕ. Ερχόμενοι όλοι αυτοί οι άνθρωποι σε άμεση επαφή με τις ΑΠΕ, θα τους δοθεί η ευκαιρία να τις γνωρίσουν και να τις χρησιμοποιήσουν στην καθημερινότητά τους. Το γεγονός αυτό αποτελεί ένα σημαντικό ερέθισμα, ώστε να αποκτήσουν ενεργειακή συνείδηση και να τη μεταφέρουν στις οικογένειες και στους οικείους τους, συμβάλλοντας έτσι στην γενικότερη ιδέα προώθησης των ΑΠΕ και καλλιέργειας μιας νοοτροπίας εξοικονόμησης ενέργειας σε κάθε σπίτι.

Τέλος, η υλοποίηση έργων ΑΠΕ στο 301 ΕΒ θα αναδείξει το κοινωνικό πρόσωπο και την ευαισθησία των Ενόπλων Δυνάμεων σε θέματα περιβάλλοντος. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η εγκατάσταση Φ/Β πλαισίων, όπως περιγράφηκε στην παρούσα μελέτη, αποτρέπει την εκπομπή στην ατμόσφαιρα 1082 τόνων CO₂ ετησίως.

Όνειρο του μελετητή είναι η παρούσα διπλωματική εργασία να συντελέσει έστω και κατ' ελάχιστο στην προοπτική ανάπτυξης ενός προγράμματος εφαρμογής τεχνολογιών ΑΠΕ και σε άλλα στρατόπεδα ανά την Ελλάδα. Με τον τρόπο αυτό, οι Ένοπλες Δυνάμεις μπορούν να αποδειχθούν ένας υπερπολύτιμος αρωγός της Πολιτείας στην προσπάθεια για περαιτέρω διεύθυνση των ΑΠΕ στον ενεργειακό χάρτη, γεγονός που αποτελεί εθνικό στόχο.

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) ΑΡΘΟΥΡΟΣ ΖΕΡΒΟΣ , ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, ΑΘΗΝΑ 2008
- 2) ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΜΠΕΡΓΕΛΕΣ, ΑΝΕΜΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ, ΑΘΗΝΑ 2005
- 3) Δ.Σ. ΜΑΘΙΟΥΛΑΚΗΣ, Ι.Σ. ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ, Δ.Γ. ΤΟΥΖΟΠΟΥΛΟΣ, ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ (ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ), ΑΘΗΝΑ 2005
- 4) ΚΙΜΩΝΑΣ ΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΣ, ΘΕΡΜΙΚΑ - ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ, ΑΘΗΝΑ 2004
- 5) ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΠΑΠΑΝΤΩΝΗΣ, ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ: ΑΝΤΛΙΕΣ - ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ, ΑΘΗΝΑ 2002
- 6) Σ.Ε. ΣΙΜΟΠΟΥΛΟΣ, ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ, ΑΘΗΝΑ 1989

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΕΣ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ

- 7) ΜΑΧΑΙΡΑ ΣΟΥΛΤΑΝΑ ΜΑΡΘΑ, ΣΙΜΟΥΛΗ ΑΣΠΑΣΙΑ, ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ, ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2009
- 8) ΖΑΡΡΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΘΕΡΜΙΚΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΠΑΤΡΑΣ, ΠΑΤΡΑ ΜΑΡΤΙΟΣ 2009
- 9) Δρ. ΚΑΡΑΓΙΩΡΓΑΣ ΜΙΧΑΗΛ, ΣΕΜΙΝΑΡΙΟ ΕΒΗΕ: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΨΥΞΗΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ, ΑΘΗΝΑ ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2008
- 10) ΑΡΑΠΟΓΙΑΝΝΗ ΑΘΑΝΑΣΙΑ, ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΛΑΥΡΙΟΥ, ΑΘΗΝΑ ΙΟΥΛΙΟΣ 2008
- 11) ΠΕΛΕΚΑΝΟΣ ΣΩΤΗΡΗΣ - ΜΟΥΡΕΛΑΤΟΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ, ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΝΟΜΟ ΒΟΙΩΤΙΑΣ ΣΤΗ ΘΗΒΑ - ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ, ΑΘΗΝΑ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2008
- 12) ΑΗΔΟΝΗΣ ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΗΣ - ΔΡΟΣΟΥ ΒΑΣΙΛΙΚΗ - ΚΑΡΑΓΙΩΡΓΑΣ ΜΙΧΑΗΛ: ΘΕΡΜΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ «COMBI» ΓΙΑ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΧΩΡΩΝ ΚΑΙ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΧΡΗΣΗΣ: ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΑΓΟΡΑ, ΑΘΗΝΑ ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2006
- 13) ΑΗΔΟΝΗΣ ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΗΣ - ΔΡΟΣΟΥ ΒΑΣΙΛΙΚΗ, ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΤΩΝ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ

ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ

- 14) <http://www.iea.org/>
- 15) <http://www.rae.gr/>
- 16) <http://www.desmie.gr/>
- 17) <http://www.cres.gr/>
- 18) <http://www.noa.gr/>
- 19) <http://el.wikipedia.org/>

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

- 20) <http://www.selasenergy.gr/>
- 21) <http://www.aenaon.net/gr>
- 22) <http://www.lightage.gr/>
- 23) <http://www.helapco.gr/>
- 24) <http://www.heliotechniki.com/gr/>
- 25) <http://www.aleo-solar.gr/>
- 26) <http://www.canadiansolar.com/>
- 27) <http://www.fronius.com/>
- 28) <http://www.mgavrielatos.gr/>
- 29) <http://www.airconditioning.com.gr>
- 30) <http://buildinggreen.gr/>
- 31) <http://13tee-thess.thess.sch.gr/>

ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

- 32) <http://www.geoexchange.gr>
- 33) <http://www.heatcoolwater.gr/>
- 34) <http://www.energyhomes.gr/>
- 35) <http://www.deltatechniki.gr/>
- 36) <http://www.boudouri.gr/>
- 37) <http://www.aggelakopoulos.gr/>
- 38) <http://www.aidengineering.gr/>
- 39) <http://www.wilo.gr/>

ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ

- 40) <http://www.geetha.mil.gr/>
- 41) <http://www.army.gr/>

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

- 42) <http://www.power-tax.gr>
- 43) <http://www.naftemporiki.gr/>

44) <http://www.yen.gr/>

45) <http://www.statistics.gr/>

ΛΟΙΠΟ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΚΑΙ ΧΑΡΤΕΣ

46) <http://www.industcards.com/>

47) <http://www.econews.gr/>

48) <http://www.ploigos.gr/>

49) <http://www.disaki.gr/>