

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

**ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΝΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΙΑΚΗΣ
ΨΥΞΗΣ ΣΥΝΟΔΕΥΟΜΕΝΟΥ ΑΠΟ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ**

υπό

ΙΩΑΝΝΗ Κ. ΚΟΥΚΟΥΤΣΗ

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των
απαιτήσεων για την απόκτηση του
Διπλώματος Μηχανολόγου Μηχανικού

2014



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»

Αριθ. Εισ.: 13176/1
Ημερ. Εισ.: 12-11-2014
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΜΜ
2014
ΚΟΥ

© 2014 Ιωάννης Κ. Κουκούτσας

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων) Δρ. Αναστάσιος Σταμάτης
Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής Δρ. Νικόλαος Πελεκάσης
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής Δρ. Παναγιώτης Τσιακάρας
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΝΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΙΑΚΗΣ

ΨΥΞΗΣ ΣΥΝΟΔΕΥΟΜΕΝΟΥ ΑΠΟ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

ΙΩΑΝΝΗΣ Κ. ΚΟΥΚΟΥΤΣΗΣ

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, 2014

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Αναστάσιος Σταμάτης, Αναπληρωτής Καθηγητής
Εφαρμοσμένης Θερμοδυναμικής – Θερμικών Σταθμών

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη και ο σχεδιασμός ενός μικρού ηλιοθερμικού συστήματος μέσω των θερμοκρασιών (εύρος 200 °C – 400 °C), χαμηλού κόστους με ενδιάμεση (περ. 8 h) αποθήκευση με σκοπό την υποστήριξη εφαρμογών ηλιοθερμίας, όπως της ψύξης απορρόφησης. Περιλαμβάνει ένα υποσύστημα συγκέντρωσης της ηλιακής θερμικής ενέργειας με τη χρήση παραβολικών κατόπτρων και ένα υποσύστημα αποθήκευσης της θερμικής ενέργειας σε στερεό μέσο (μπετόν). Επίσης περιλαμβάνεται και διάταξη ελέγχου/αυτοματισμού για το tracking και την κυκλοφορία. Ως εργαζόμενο μέσο επιλέγεται θερμικό λάδι και η μέγιστη θερμοκρασία σχεδιασμού είναι 250 °C. Παρατίθεται πλήρες σχέδιο κατασκευής των υποσυστημάτων καθώς και λεπτομερείς υπολογισμοί διαστασιολόγησης με σκοπό τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας τους. Το όλο σύστημα υπολογίζεται να κατασκευάζεται με κόστος € 125 - € 150 / kWt για το υποσύστημα συλλογής και 3 € / kWh για το σύστημα αποθήκευσης. Τα κόστη αυτά είναι κλάσματα του κόστους μεγάλων συστημάτων που έχουν υλοποιηθεί – κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας – ενώ είναι πρωτότυπο ως συνδυασμός συλλογής και αποθήκευσης μέσω θερμοκρασιών και προσφέρει προφανές οικονομικό όφελος όταν υποστηρίζει συστήματα ψύξης απορρόφησης.

DESIGN OF AN EFFICIENT SOLAR COOLING SYSTEM COUPLED WITH INTERMEDIATE THERMAL STORAGE

Master's Thesis

University of Thessaly – Department of Mechanical Engineering

Ioannis K. Koukoutsis, 2014

ABSTRACT

The Msc thesis at hand is about the Study and Design of a small sized, medium temperature (200 ° C – 400 ° C), low cost solar thermal system with medium term (ca 8 h) storage capacity, intended to support solar thermal end applications, like absorption cooling. It is comprised of a solar radiation parabolic through collection subsystem, and a solid media (concrete) storage subsystem. Also, a control and automation setup is included for sun tracking and fluid circulation. Thermal oil is chosen as the working fluid at the design temperature of 250 ° C. Complete construction plans are given for the subsystems, as well detailed calculations for their optimal dimensioning. Overall system cost will be in the range of € 125 – € 150 / kWh_t for the collection subsystem and € 3 / kWh_t for the storage subsystem. Both of these costs are fractions of larger systems already implemented – mainly for electricity production – while it is an original and unique combination rendering profound economic efficiency when used to support absorption cooling.

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Η πρόσφατη διάδοση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας, έφερε στην επιφάνεια τεχνικές αξιοποίησης της ηλιακής ακτινοβολίας που είχαν μελετηθεί στο παρελθόν αλλά το υψηλό τους κόστος σε συνδυασμό με τα φτηνά και επαρκή ορυκτά καύσιμα, περιόρισαν τις εφαρμογές τους στο ερευνητικό στάδιο.

Τα τελευταία χρόνια οι αυξανόμενες τιμές αυτών των καυσίμων, μαζί με τον πολλαπλασιασμό των κτιριακών υποδομών παγκοσμίως, την άνοδο του βιοτικού επιπέδου και την συνεπακόλουθη αυξημένη ζήτηση για κλιματισμό και ψύξη, έφεραν στο επίκεντρο της έρευνας τη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την υποστήριξη συστημάτων ψύξης και κλιματισμού.

Μια επισκόπηση του ηλιακού κλιματισμού στην Ευρώπη, δίνεται στο [1], ενώ στο [2] επισκοπούνται σε παγκόσμια κλίμακα υπάρχουσες τέτοιες εγκαταστάσεις. Στο [3] παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και οι συστάσεις της ευρωπαϊκής ερευνητικής πρωτοβουλίας SOLCO για την ηλιακή ψύξη. Στο [4] παρουσιάζονται οι εξελίξεις σε παγκόσμια κλίμακα στον τομέα της θερμικής αποθήκευσης, θέμα που είναι στενά συνδεδεμένο με την ηλιακή ψύξη, ενώ στο [5] έχουμε ένα κλασσικό εγχειρίδιο για το σχεδιασμό ηλιακών συλλεκτών. Οι ιστοσελίδα στο [6] προσφέρει στατιστικά στοιχεία ηλιοφάνειας, ενώ παρόμοια μετεωρολογικά στοιχεία μαζί με πίνακες και διαγράμματα βρίσκονται στο [7]. Εδώ επίσης έχουμε και στοιχεία για την υπεραπόδοση των trackers σε σχέση με τα σταθερά συστήματα συλλογής ηλιακής ακτινοβολίας. Το θέμα αναλύεται και στο [5] με ανάλογα συμπεράσματα. Στο [8] έχουμε αρθρογραφία για παραβολικούς συγκεντρωτικούς συλλέκτες, ενώ το [9] είναι τα τεχνικά φυλλάδια τέτοιων συλλεκτών που παράγονται και διατίθενται εμπορικά.

Η θερμική αποθήκευση είναι ένα από τα θέματα του εγχειριδίου συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας του [10], ενώ στο [11] παρουσιάζεται ένα πειραματικό προϊόν θερμικής αποθήκευσης σε μπετόν. Ένα τέτοιο έτοιμο εμπορικό προϊόν έχουμε στο [12], ενώ στο [13] έχουμε τα τεχνικά φυλλάδια προϊόντων αποθήκευσης ψύχους. Στο [14] υπολογίζονται τεχνικές παράμετροι και θερμοδυναμικές ιδιότητες του μπετόν σε

σχέση με τη θερμική αποθήκευση. Οι ιδιότητες αυτές χρειάζονται για την προσομοίωση της διαδικασίας θέρμανσης και αποθέρμανσης τα αποτελέσματα της οποίας παρουσιάζουμε στο σχετικό κεφάλαιο. Τέλος στο [15] η ιστοσελίδα PVSYST δίνει μια μεγάλη ποικιλία πληροφοριών και στατιστικών για την ηλιακή ακτινοβολία και την παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά στην Ευρώπη.

Τα σχέδια και οι μελέτες στατικών του προτεινόμενου συστήματος συλλογής έγιναν σε Autodesk Inventor. Με τη βοήθεια αυτού του προγράμματος υπολογίστηκαν οι διαστάσεις και προσδιορίστηκαν τα υλικά με βάση τις φυσικές τους ιδιότητες.

Περιεχόμενα	Σελίδα
Περίληψη	3
Abstract	4
Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	5
1. Ηλιοθερμία - Ηλιακό δυναμικό	8
2. Εφαρμογές ηλιοθερμίας, απαιτήσεις, πλεονεκτήματα	10
2.1 Θερμό Νερό Οικιακής Χρήσης (ΘΝΟΧ)	10
2.2 Υποβοήθηση Θέρμανσης Χώρων	11
2.3 Αφαλάτωση νερού	12
2.4 Ηλιακή Ψύξη απορρόφησης χώρων – τροφίμων	12
2.5 Θερμότητα διεργασιών	19
2.6 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας	20
3. Σκοπιμότητα του προτεινόμενου συστήματος, κίνητρα και στόχοι	20
3.1 Σκοπιμότητα, κίνητρα, στόχοι του υποσυστήματος συλλογής	20
3.2 Σκοπιμότητα, κίνητρα, στόχοι του υποσυστήματος αποθήκευσης	25
4. Υπολογισμοί & Σχεδιασμός του προτεινόμενου συστήματος	31
4.1 Υποσύστημα συλλογής	31
4.2 Υποσύστημα αποθήκευσης	44
4.3 Διάταξη ελέγχου/αυτοματισμού tracking και κυκλοφορίας.	51
5. Σύνοψη, Συμπεράσματα	60
Βιβλιογραφία	62

Ηλιακό Δυναμικό

Ηλιοθερμικές ονομάζονται οι εφαρμογές, στις οποίες η ηλιακή θερμική ενέργεια (ηλιακή ακτινοβολία) συλλέγεται από μια διάταξη συλλεκτών και θερμαίνει κάποιο θερμαγωγό ρευστό (εργαζόμενο μέσο – working fluid). Το εργαζόμενο μέσο κυκλοφορεί στο δικό του (πρωτεύον) δίκτυο που περιλαμβάνει εναλλάκτη μέσω του οποίου αποδίδει τη θερμότητά του σε κάποιο άλλο ρευστό (ή στερεό) προς χρήση ή αποθήκευση. Η κυκλοφορία γίνεται είτε με φυσικό τρόπο (θερμοσιφωνικό φαινόμενο), είτε με αντλία (κυκλοφορητή).

Συστήματα συλλογής υπάρχουν δύο ειδών, τα επίπεδα και τα συγκεντρωτικά. Τα επίπεδα χρησιμοποιούνται για χαμηλές θερμοκρασίες σε απλές εφαρμογές με εργαζόμενο μέσο συνήθως νερό ή αντιψυκτικό, ενώ τα συγκεντρωτικά χρησιμοποιούνται για μεσαίες και υψηλές θερμοκρασίες και ως εργαζόμενο μέσο χρησιμοποιούν θερμικά λάδια.

Προκειμένου να σχεδιαστεί οποιαδήποτε ηλιοθερμική εφαρμογή πρώτα πρέπει να υπολογιστεί το διαθέσιμο ηλιακό δυναμικό, δηλαδή η ηλιακή θερμική ενέργεια που είναι διαθέσιμη στην περιοχή.

Σύμφωνα με στοιχεία της TOTEE 20701-3/2010 "ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ" [7] η μέση ετήσια ολική ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε μια οριζόντια επιφάνεια στην περιοχή της Θεσσαλίας, είναι $1554,2 \text{ kWh/m}^2$, ή αλλιώς $4,26 \text{ kWh/m}^2$ για κάθε μέρα (Πίνακας 4.1 του [7]). Στα συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα, που είναι και το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, μπορεί να αξιοποιηθεί μόνο η Άμεση Ηλιακή Ακτινοβολία (DNI - Direct Normal Irradiation) και ένα ασήμαντο μέρος της διάχυτης. Για όλες τις πρακτικές εφαρμογές, λαμβάνουμε υπόψη μόνο την άμεση ακτινοβολία προκειμένου για συγκεντρωτικά συστήματα.

Στην περίπτωση του tracking ενός άξονα η προσπίπτουσα ακτινοβολία αυξάνεται κατά περίπου 24 %. [7]. Επομένως για το υπό σχεδιασμό σύστημα θα βρούμε την DNI αφού αυξήσουμε την συνολική ακτινοβολία κατά 24 % και αφαιρέσουμε την διάχυτη.

Απ' τους Πίνακες 4.1 και 4.2 του [7] εργαζόμενοι σύμφωνα με τα παραπάνω και για την περιοχή της Θεσσαλίας, προκύπτει ο παρακάτω πίνακας:

Μέση Μηνιαία προσπίπτουσα Ενέργεια στην περιοχή Θεσσαλίας (kWh/m ²)				
Μήνας	Συνολική	IX Tracking	Δάχτυτη	Άμεση
Ιανουάριος	55,1	68,3	22,9	45,4
Φεβρουάριος	71,4	88,5	30,3	58,2
Μάρτιος	112,1	139	48,8	90,2
Απρίλιος	151,1	187,4	65,1	122,3
Μάιος	190,9	236,7	82,2	154,5
Ιούνιος	210,8	261,4	86,3	175,1
Ιούλιος	215,8	267,6	85,8	181,8
Αύγουστος	194,3	240,9	73,4	167,5
Σεπτέμβριος	145,9	180,9	54,4	126,5
Οκτώβριος	97,8	121,3	38,1	83,2
Νοέμβριος	61,2	75,9	24,3	51,6
Δεκέμβριος	47,8	59,3	19,7	39,6
Σύνολο	1554,2	1927,2	631,3	1295,9
Μ.Ο.	129,5	160,6	52,61	108

Πίνακας 1. Διαθέσιμη Ενέργεια

Παρατηρούμε ότι σε κάθε περίπτωση η συλλεγόμενη ακτινοβολία είναι κατά 16 % περίπου μικρότερη της συνολικής. Δηλαδή ένας επίπεδος συλλέκτης θα συγκεντρώνει περισσότερη ακτινοβολία απ' ότι ένας συγκεντρωτικός. Ο συγκεντρωτικός θα προτιμηθεί μόνο στην περίπτωση που χρειάζονται θερμοκρασίες υψηλότερες των 100 ° C. Άρα στην υποβοήθηση θέρμανσης χώρων ο επίπεδος συλλέκτης είναι προτιμότερος. Ιδίως αν τοποθετηθεί υπό κάποια κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο, τότε η υπεροχή του έναντι του συγκεντρωτικού είναι μεγαλύτερη.

Από τις σημαντικότερες εφαρμογές, η θέρμανση και η αφαλάτωση μπορούν να λειτουργήσουν με επίπεδους συλλέκτες και θερμοκρασίες < 100 ° C. Οι υπόλοιπες εφαρμογές (ψύξη, θερμότητα διεργασιών, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας) που είναι και μεγαλύτερης προστιθέμενης αξίας απαιτούν υψηλότερες θερμοκρασίες, άρα και συγκεντρωτικούς συλλέκτες.

1. Εφαρμογές Ηλιοθερμίας, Απαιτήσεις & Πλεονεκτήματα

Οι κυριότερες ανεπτυγμένες και εμπορικά διαθέσιμες εφαρμογές ηλιοθερμίας είναι:

1.1 Θερμό Νερό Οικιακής Χρήσης (ΘΝΟΧ)

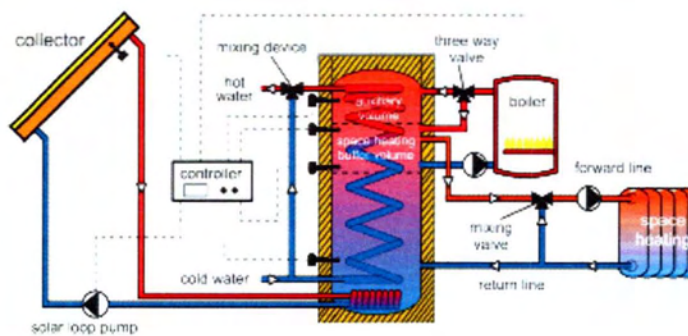
Κατά κοινή διαπίστωση μακράν η συνηθέστερη χρήση της ηλιακής θερμικής ενέργειας είναι η παραγωγή ΘΝΟΧ από επίπεδους συλλέκτες μαζί με μια δεξαμενή αποθήκευσης.

Στις απλές εφαρμογές ΘΝΟΧ το εργαζόμενο μέσο είναι κάποιο είδος αντιψυκτικού υγρού, ενώ στο δευτερεύον δίκτυο κυκλοφορεί νερό. Η κυκλοφορία του γίνεται χωρίς αντλία λόγω της πίεσης του δικτύου και της βαρύτητας. Τα μεγαλύτερα συστήματα περιλαμβάνουν αντλίες (κυκλοφορητές). Η θερμοκρασία του εργαζόμενου μέσου φτάνει συνήθως κοντά στους 100 ° C. Το νερό ζεσταίνεται στη δεξαμενή αποθήκευσης με τη χρήση σερπαντίνας (εναλλάκτη) σε θερμοκρασία κοντά στους 50°

C. Το νερό μπορεί να διατηρήσει αυτή τη θερμοκρασία για κάποιες ώρες τους καλοκαιρινούς μήνες. Οι ώρες αυτές γίνονται ελάχιστες κατά τους χειμερινούς. Η δυνατότητα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας κατά αυτό τον τρόπο, είναι ιδιαίτερα περιορισμένη.

1.2 Υποβοήθηση θέρμανσης χώρων

Στην περίπτωση αυτή το θερμό νερό κυκλοφορεί μεταξύ των συλλεκτών ή της δεξαμενής και ενός buffer που περιέχει θερμό νερό απ' την κύρια πηγή θέρμανσης, πχ αντλία θερμότητας, καυστήρα πετρελαίου, αερίου ή βιομάζας. Χρειάζεται οπωσδήποτε διαφορικός θερμοστάτης για να αποφευχθεί η εισαγωγή στο buffer ψυχρότερου νερού. Η κυκλοφορία γίνεται με αντλία (κυκλοφορητή).



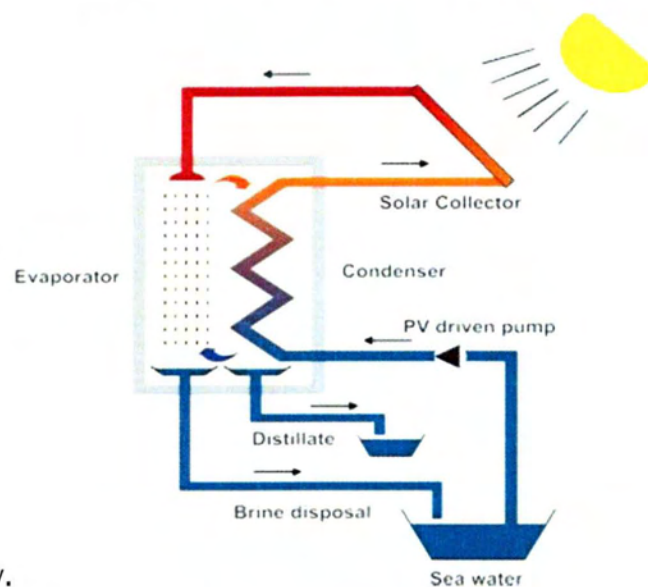
Εικόνα 1: Αρχή λειτουργίας ηλιακού υποβοηθούμενου συστήματος θέρμανσης

Η μέθοδος αυτή παρέχει ουσιαστική υποβοήθηση θέρμανσης τις ηλιόλουστες μέρες του χειμώνα, η οποία μπορεί να φτάσει και το 95 % [7] (όσο διαρκεί η ηλιοφάνεια). Για την Ελλάδα που έχει πολύ μεγάλη εγκατεστημένη ισχύ ηλιακών θερμοσιφώνων, θα μπορούσε να αποτελέσει σοβαρή πρόταση για βοηθητική θέρμανση με την προϋπόθεση ότι οι υποτυπώδεις υπάρχουσες εγκαταστάσεις

αναβαθμίζονταν με την προσθήκη διαφορικών θερμοστατών, κυκλοφορητών και buffers (όπου δεν υπάρχουν).

1.3 Αφαλάτωση νερού.

Το θαλασσινό νερό θερμαίνεται και εξατμίζεται αφήνοντας ως κατάλοιπα άλατα και άλλα στερεά. Οι υδρατμοί συλλέγονται σε κατάλληλα ψυχόμενες διατάξεις (με τη βοήθεια του νερού) και συμπυκνώνονται σε δεξαμενές. Η τεχνολογία είναι απλή, χρειάζεται εξωτερική ενέργεια μόνο για τη λειτουργία ενός κυκλοφορητή, και για τα ελληνικά νησιά θα αποτελούσε ιδανική λύση στο οξύ πρόβλημα λειψυδρίας που



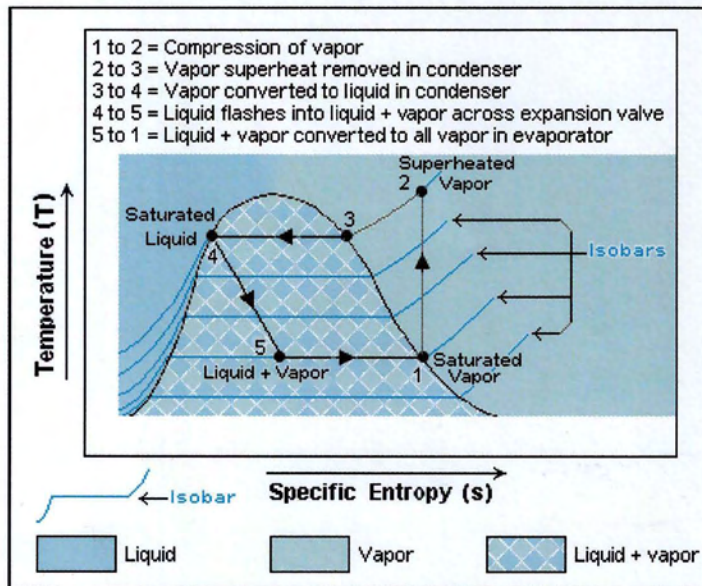
αντιμετωπίζουν.

Εικόνα 2: Αρχή λειτουργίας ηλιοθερμικής αφαλάτωσης

1.4 Ψύξη χώρων - τροφίμων

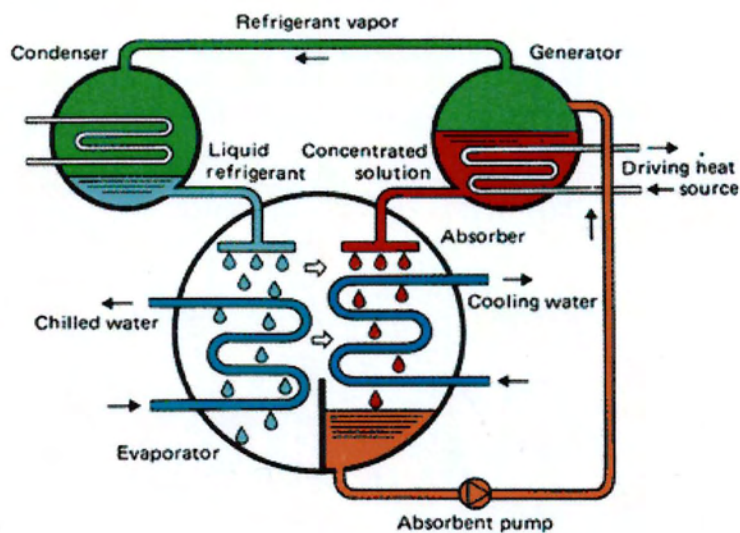
Η εφαρμογή αυτή είναι ίσως η σοβαρότερη και πιο αποτελεσματική για τα ελληνικά αλλά και για τα μεσογειακά κλιματικά δεδομένα, καθώς προσφέρει συγχρονισμό ζήτησης και προσφοράς ψύξης. Οι κλειστοί χώροι μπορούν να ψυχθούν με τη βοήθεια ψυκτών απορρόφησης ή προσρόφησης (absorption or adsorption

chillers and coolers). Οι ψύκτες αυτοί είναι παρόμοιοι με τους κλασσικούς ψύκτες συμπίεσης ατμών. Το διάγραμμα T-s συμπίεσης ατμών φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα.



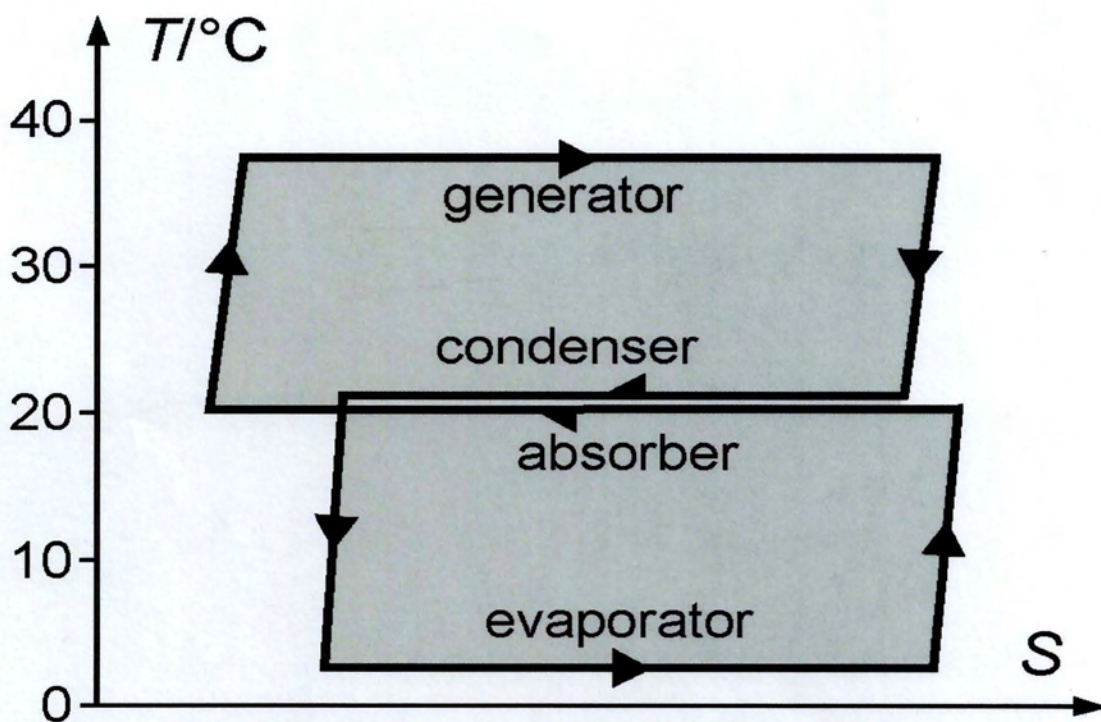
Εικόνα 3: Ψυκτικός Κύκλος Συμπίεσης Ατμών

Στα συμβατικά μηχανήματα ψύξης η συμπίεση (διαδρομή 1 → 2) γίνεται με τη βοήθεια μηχανικών συμπιεστών που αυξάνουν την πίεση των ατμών (αέρια φάση) του ψυκτικού μέσου. Στους ψύκτες απορρόφησης συμπιέζεται το υγρό διάλυμα ψυκτικού μέσου – απορροφητή και στη συνέχεια του προσδίδουμε εξωτερική θερμότητα ώστε να εξατμιστεί και να διαχωριστεί απ’ τον απορροφητή. Αυτή είναι η θερμότητα που μπορεί να προέλθει από ένα ηλιοθερμικό σύστημα. Στη συνέχεια οι ατμοί ψύχονται και στραγγαλίζονται ώστε να μπορέσουν να προσλάβουν θερμότητα απ’ το ψυχόμενο σώμα. Έτσι ξαναδιαλύονται στον απορροφητή που πρέπει να ψυχθεί για να επαναληφθεί ο κύκλος. Σχηματική περιγραφή του κύκλου φαίνεται στην Εικόνα 4.



Εικόνα 4: Κύκλος Ψύξης Απορρόφησης

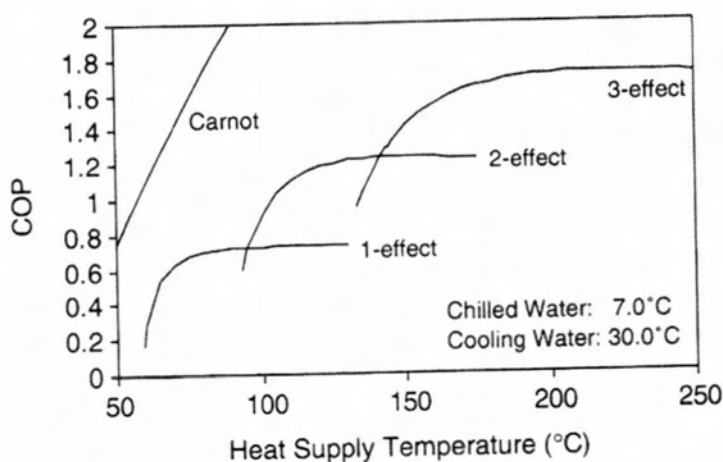
Το διπλό T- s διάγραμμα ενός ψύκτη απορρόφησης φαίνεται στο επόμενο διάγραμμα.



Εικόνα 5: Διάγραμμα T-s ψύκτη απορρόφησης

Η μόνη ενέργεια πέραν της θερμικής που καταναλώνεται είναι μικρή ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας για τη συμπίεση του υγρού διαλύματος. Η ενέργεια αυτή είναι μικρό κλάσμα της ενέργειας που θα χρειαζόταν για να πετύχουμε το ίδιο αποτέλεσμα με ψύκτες συμπίεσης. Το πλεονέκτημα της μεθόδου φαίνεται ακόμα καλύτερα σε εφαρμογές αγροτικών προϊόντων. Σ' αυτή την περίπτωση η ψύξη, έστω και για λίγες μέρες, μπορεί να δημιουργήσει σοβαρό εμπορικό πλεονέκτημα.

Η ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ συμπυκνωτή – απορροφητή (κοινή γραμμή των δύο βρόγχων στο παραπάνω διάγραμμα T-s), μπορεί να γίνει σε ένα, δύο ή περισσότερα στάδια, οπότε μιλάμε για ψύξη ενός, δύο κλπ σταδίων (single, double or triple effect absorption cooling). Το COP κάθε σταδίου είναι γύρω στο 0,5 με 0,8, οπότε προτιμούμε διατάξεις περισσότερων σταδίων. Τα περισσότερα στάδια, όμως, απαιτούν και μεγαλύτερη θερμοκρασία της προσφερόμενης ενέργειας. Ενώ οι ψύκτες ενός σταδίου μπορούν να λειτουργήσουν με θερμοκρασίες έως 70° C, αυτοί περισσότερων σταδίων απαιτούν θερμοκρασίες της τάξεως των 150 – 200 ° C.



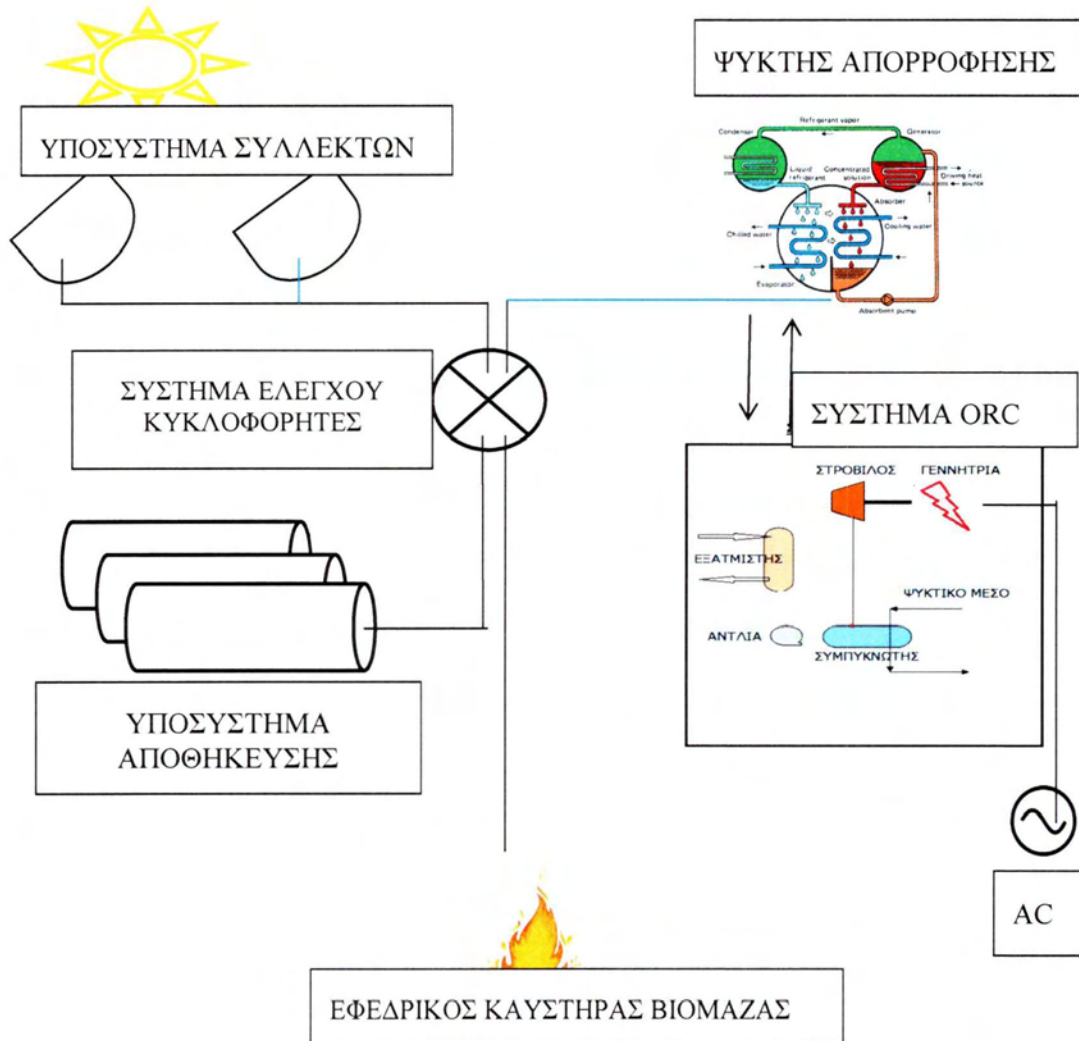
Εικόνα 6: Σχέση Θερμοκρασίας - COP

Στην Εικόνα 6 φαίνεται η σχέση της θερμοκρασίας του εργαζόμενου μέσου με το COP της διάταξης. Αν μπορούμε να επιτύχουμε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 100 ° C, το COP αυξάνεται γρήγορα και για 150 ° C είναι διπλάσιο απ' ό τι για 100 ° C. Λόγω των απωλειών είναι επιθυμητό να επιτυγχάνουμε θερμοκρασίες πάνω από 200 ° C, ώστε να μπορούμε με ασφάλεια να χρησιμοποιούμε ψύκτες 2 σταδίων και να έχουμε COP κοντά στο 1.5.

Τέτοιες θερμοκρασίες είναι εφικτές μόνο με συγκεντρωτικούς συλλέκτες, ενώ οι επίπεδοι μπορούν να εξηγηρητήσουν ψύκτες ενός σταδίου. Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι οι ψύκτες 2 σταδίων (ή και 3 που ακόμα είναι σε ερευνητικό στάδιο) αυξάνουν την αποτελεσματικότητα και την οικονομικότητα της διάταξης. Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι περισσότεροι ψύκτες συμπίεσης έχουν πρακτικά ένα COP της τάξης του 2.5 και για μια τιμή ηλεκτρικής kWh κοντά στα € 0.12 [βιομηχανικά τιμολόγια ΔΕΗ 2014], η εν λόγω διάταξη ηλιακής ψύξης 'πληρώνει' τη θερμική ενέργεια προς $0.12 \cdot 1.5 / 2.5 = € 0.072 / \text{kWh}$. Με λίγα και πρακτικά λόγια ένα τέτοιο σύστημα συγκεντρωτικού συλλέκτη – διάταξης αποθήκευσης – ψύκτη απορρόφησης 2 σταδίων, μπορεί να απαλλάξει επιχειρήσεις και νοικοκυριά από το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας για ψύξη / κλιματισμό. Στον κλιματισμό (επιθυμητή θερμοκρασία εξόδου 7 ° C) μπορεί να χρησιμοποιηθεί υδατικό διάλυμα βρωμιούχου λιθίου LiBr/H₂O, ενώ στην ψύξη (επιθυμητή θερμοκρασία εξόδου 0 ° C) θα χρησιμοποιηθεί υδατικό διάλυμα αμμωνίας NH₃/H₂O.

Το σύστημα πρέπει οπωσδήποτε να συνοδεύετε από διάταξη αποθήκευσης θερμικής ενέργειας ενδιάμεσης διάρκειας (8-10 ώρες) έτσι ώστε να εξασφαλίζεται 24ωρη λειτουργία. Οι εφαρμογές ψύξης λειτουργούν κατ' εξοχήν τους καλοκαιρινούς

μήνες, όταν μεγιστοποιείται και η παρεχόμενη ηλιακή ακτινοβολία. Η θερμική ενέργεια που θα συλλέγει το υποσύστημα συλλογής κατά ένα μέρος θα καταναλώνεται άμεσα και το υπόλοιπο θα αποθηκεύεται στο υποσύστημα ενδιάμεσης αποθήκευσης. Η εικόνα 7 παρουσιάζει το όλο σύστημα με τα υποσυστήματά του.



Εικόνα 7: Ολοκληρωμένο Σύστημα Παραγωγής και Αποθήκευσης Θερμικής Ενέργειας για εφαρμογές Ψύξης.

Τα μεγέθη των δύο υποσυστημάτων μπορούν να βρεθούν με μια διαδικασία βελτιστοποίησης. Αν το υποσύστημα συλλογής διαστασιοδοτηθεί έτσι ώστε να είναι αρκετό για να καλύπτει τις ημερήσιες ανάγκες με άμεση κατανάλωση και τις νυχτερινές ανάγκες με ενδιάμεση αποθήκευση, τότε συνολικά το σύστημα θα έχει τις μικρότερες δυνατές διαστάσεις όπως και το μικρότερο κόστος.

Από έρευνα κατά τα τελευταία 4 χρόνια στην περιοχή της Θεσσαλίας για το διάστημα Μαΐου - Σεπτεμβρίου, η κάλυψη των αναγκών σε σχέση με το μέγεθος της αποθηκευόμενης ενέργειας, φαίνεται στον παρακάτω πίνακα :

<u>Μέγεθος Αποθήκευσης</u>	<u>% Κάλυψης Αναγκών</u>
1 νύχτα	85
1 νύχτα + 1 24ωρο	93
1 νύχτα + 2 24ωρα	98

Πίνακας 2: Ποσοστό Κάλυψης Αναγκών

Εφόσον ενδιαφερόμαστε για τις ψυκτικές ανάγκες της περιόδου Μαΐου – Σεπτεμβρίου, ο πίνακας δείχνει ότι εφόσον διαθέτουμε αποθηκευτική θερμική ικανότητα αρκετή να συντηρήσει τα φορτία για 1 νύχτα, τότε το σύστημα θα λειτουργεί στον 24ωρο κύκλο και θα καλύπτει το 85 % των αναγκών. Για το υπόλοιπο 15 % πρέπει να υπάρχει δευτερεύουσα πηγή θερμικής ενέργειας, όπως ένας

καυστήρας βιομάζας (ή ακόμα και LPG). Η ίδια δευτερεύουσα πηγή ενέργειας θα λειτουργεί και ως εφεδρεία.

Παρατηρούμε ότι υπάρχουν αυξημένες ανάγκες απόρριψης θερμότητας: Πρέπει να απορριφθεί τόσο η θερμότητα του ψυχόμενου σώματος, όσο και η θερμότητα που εμείς δώσαμε. Αυτός είναι ο λόγος που τα συστήματα αυτά έχουν μεγάλες απαιτήσεις σε πύργους ψύξης με συνέπεια μεγάλο κοστολόγιο. Σε περιπτώσεις που υπάρχει άφθονη διαθέσιμη θερμική ενέργεια, και η απόρριψη μπορεί να γίνει σε μεγάλα υδάτινα σώματα (θάλασσα, λίμνες, ποτάμια), τότε το κόστος αυτό μειώνεται σημαντικά. Η μεγάλη ποσότητα απορριπτόμενης θερμότητας, καθιστά αυτές τις εγκαταστάσεις ιδανικές για να συνδυαστούν με εφαρμογές ORC (Organic Rankine Cycle), δηλαδή για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω κύκλου αλλαγής φάσης με εκμετάλλευση των σχετικά χαμηλών διαθέσιμων θερμοκρασιών (60-80°C) της ενέργειας που πρόκειται να απορριφθεί. Μ' αυτό τον τρόπο μπορεί να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια για τα συστήματα κυκλοφορίας και ελέγχου των ψυκτικών εγκαταστάσεων, αλλά και για φωτισμό, εξαερισμό κλπ γραφείων και άλλων χώρων, αλλά και για πολλές ακόμα εφαρμογές.

1.5 Παραγωγή θερμότητας διεργασιών

Στις περιπτώσεις αυτές θερμαίνεται το εργαζόμενο μέσο (συνήθως νερό) ώστε μέσω εναλλακτών να μεταδώσει τη συλλεγόμενη θερμική ενέργεια προς κάποιο άλλο ρευστό που μετέχει σε κάποια φυσική διεργασία. Παραδείγματα αποτελούν η αφύγρανση (ξήρανση) αγροτικών προϊόντων και βιομάζας, η απολύμανση σκευών, η παστερίωση τροφίμων, απορρύπανση, απόσταξη, αποστείρωση, βάψιμο, επεξεργασία επιφανειών, κλπ.

1.6 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Και εδώ ένα εργαζόμενο μέσο (συνήθως λάδι) θερμαίνεται απ' τη συλλεγόμενη θερμική ενέργεια και προκαλεί αλλαγή φάσης σε ένα δεύτερο εργαζόμενο μέσο (συνήθως νερό). Αυτό κινεί στρόβιλο που παράγει ηλεκτρική ενέργεια με τον ίδιο τρόπο που συμβαίνει στις περισσότερες εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι θερμοκρασίες που απαιτούνται για την λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος είναι υψηλές ($>500^{\circ}\text{C}$), και για να γίνει αυτό αποδοτικά συχνά χρειάζονται ακόμα υψηλότερες (750°C). Το κόστος κατασκευής ενός τέτοιου συστήματος είναι αρκετά μεγάλο, της τάξης των $\$ 6000 / \text{kW}$. Πρόσφατες εξελίξεις στο χώρο των φωτοβολταϊκών με κόστος $\$ 1000 / \text{kW}$, καθιστούν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μ' αυτό τον τρόπο όχι ιδιαίτερα ελκυστική.

2. Σκοπιμότητα του προτεινόμενου συστήματος, Κίνητρα και Στόχοι

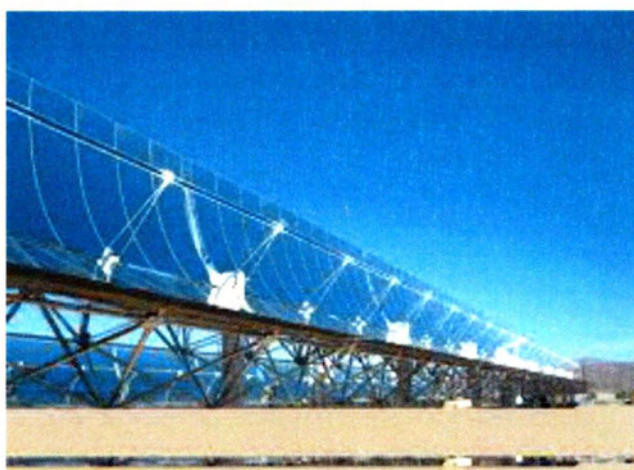
3.1 Σκοπιμότητα, κίνητρα και στόχοι υποσυστήματος συλλογής.

Από τα παραπάνω έγινε φανερό πως η χρήση ενδιάμεσων θερμοκρασιών για υποστήριξη συστημάτων ψύξης απορρόφησης, είναι μια λύση τεχνολογικά εφικτή, ώριμη και διαθέσιμη. Το κυριότερο, παρέχει σαφή οικονομικά οφέλη έναντι της ψύξης με συμπίεση ατμών. Ιδίως αν η λειτουργία αυτή προορίζεται για τους καλοκαιρινούς μήνες (Μάιο – Σεπτέμβριο) μπορεί να λειτουργήσει ως το κύριο σύστημα ψύξης απαιτώντας την ύπαρξη εφεδρικού συστήματος παραγωγής θερμικής ενέργειας, μόνο κατά ένα 15 %.

Τα δύο κρίσιμα στοιχεία για την εφικτότητα και οικονομικότητα του συστήματος, είναι η επίτευξη ενδιάμεσων θερμοκρασιών και η δυνατότητα θερμικής αποθήκευσης. Λύση και στα δύο αυτά θέματα φιλοδοξεί να παρουσιάσει η παρούσα εργασία.

Οι διαθέσιμες λύσεις για την επίτευξη ενδιάμεσων θερμοκρασιών, πέρα απ' την παραδοσιακή καύση καυσίμων υλικών, που αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια είναι τεχνικές συγκέντρωσης της ηλιακής ακτινοβολίας (CSP – Concentrated Solar Power). Οι χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες είναι:

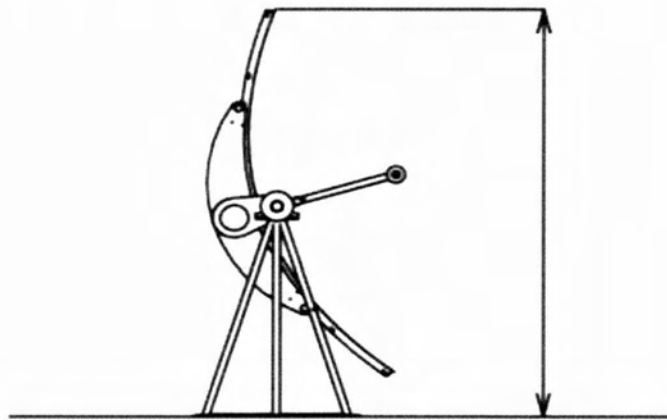
1. Παραβολικοί συγκεντρωτικοί συλλέκτες



Εικόνα 8: Παραβολικοί Συλλέκτες

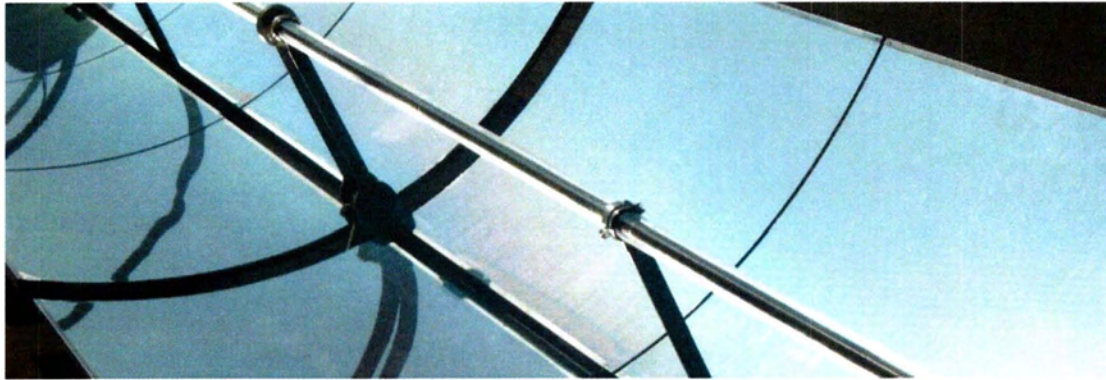
Μέχρι το τέλος του 2011 είχαν εγκατασταθεί περίπου 1,4 GWe παγκοσμίως. Ο παραβολικός καθρέπτης παρακολουθεί τον ήλιο στην κατεύθυνση ανατολής – δύσης και συγκεντρώνει την ακτινοβολία στον σωλήνα που βρίσκεται πάνω στον εστιακό άξονα. Είναι αρκετά ώριμη τεχνολογία και πολλά απ' τα υφιστάμενα έργα λειτουργούν ήδη πέραν της 25-ετίας. Υπάρχουν ελάχιστες εταιρίες που κατασκευάζουν τέτοια

συστήματα, με κόσθη γύρω στα € 1.000 / τμ, ή περίπου € 2.000 / kW_ε καθιστώντας τα ιδιαίτερα ακριβά, γεγονός που δεν βοηθά την οικονομική τους επιτυχία. Τα συστήματα που έχουν εμφανιστεί μέχρι τώρα, περιλαμβάνουν μηχανισμό tracking ενός άξονα, ενώ δεν περιλαμβάνουν διατάξεις αποθήκευσης. Η παραγόμενη θερμική ενέργεια πρέπει να καταναλώνεται άμεσα. Οι εφαρμογές αποθήκευσης με λιωμένη άμμο (molten sands) που έχουν εφαρμοστεί στα project της ερήμου Mojave στην California, δεν λειτουργούν σε ενδιάμεσες θερμοκρασίες, παρά μόνο σε υψηλές (> 500 ° C, θερμοκρασία τήξης των αλάτων) και προορίζονται για παραγωγή ενέργειας μέσω στροβίλων. Το δε κόστος τους είναι ιδιαίτερα υψηλό.



Εικόνα 9: Μέγιστο ύψος > 2,5 μ.

Ένας ακόμα λόγος για την αυξημένη τιμή τέτοιων συστημάτων του είναι και το ύψος τους, με μέγιστο πάνω από 2,5 μέτρα. Το γεγονός αυτό κάνει αναγκαία μια στιβαρή κατασκευή ικανή να παρουσιάζει στατική αντοχή στις ανεμοπιέσεις.



Εικόνα 10: Επιφάνεια Συλλέκτη.

Επίσης η επιφάνεια του συλλέκτη συνήθως είναι από θερμικά κατεργασμένο γυαλί με μεταλλικές ίνες. Τα κατασκευαστικά αυτά στοιχεία δικαιολογούν την ακριβή τιμή τους, αλλά τα καθιστούν απρόσιτα για τις περισσότερες εφαρμογές.

2. Γραμμικοί Συλλέκτες Fresnel



Εικόνα 11: Συλλέκτες Fresnel

Στην περίπτωση αυτή επίπεδοι καθρέπτες κινούνται αντανακλώντας την ακτινοβολία που πέφτει πάνω τους στον εστιακό άξονα, μέσα στον οποίο ρέει το

εργαζόμενο μέσο. Υπάρχουν ελάχιστες εγκαταστάσεις με κάποια προβλήματα υπό επίλυση, ιδίως όσον αφορά την ακρίβεια της κίνησης. Και εδώ το κόστος είναι ιδιαίτερα ακριβό, ιδίως λόγω της πειραματικής τους φύσης.

Οι λόγοι για τους οποίους τα ηλιοθερμικά συστήματα ενδιάμεσων θερμοκρασιών δεν έχουν επαρκώς αναπτυχθεί είναι:

- i) Το μεγάλο αρχικό κόστος εγκατάστασης
- ii) Η έλλειψη τυποποίησης
- iii) Μικρός αριθμός συστημάτων επίδειξης
- iv) Το γεγονός πως τα συγκεντρωτικά συστήματα ξεκίνησαν προοριζόμενα για την υποστήριξη της παραγωγής ενέργειας, και εξ αυτού του λόγου στόχευαν σε υψηλές θερμοκρασίες. Αντίθετα, η παραγωγή ενδιάμεσων θερμοκρασιών δεν έχει ποτέ αποτελέσει στόχο. Επίσης, στις εφαρμογές παραγωγής ενέργειας (υψηλών θερμοκρασιών) το αρχικό κόστος καλύπτεται ευκολότερα επειδή πρόκειται συνήθως για έργα που ανήκουν σε κράτη ή σε κρατικές οντότητες. Έτσι εξηγείται ο μικρός αριθμός κατασκευαστών, η έλλειψη τυποποίησης όπως και ο μικρός αριθμός συστημάτων επίδειξης.
- v) Η ανάγκη ύπαρξης τεχνολογίας tracking (παρακολούθησης του ήλιου) η οποία ούτε φτηνή ούτε διαδεδομένη ήταν μέχρι πρότινος. Η πρόσφατη ανάπτυξη των

φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων που διαθέτουν παρόμοια συστήματα ήταν αυτή που άνοιξε το δρόμο και πρόσφερε λύσεις για τη δημιουργία νέων συστημάτων χαμηλού κόστους για την παρακολούθηση του ήλιου.

Στην περίπτωση των μεσαίων θερμοκρασιών που προορίζονται για ψύξη – κλιματισμό, το αρχικό κόστος είναι ο σημαντικότερος παράγοντας, ιδίως για μια τεχνολογία σχετικά άγνωστη.

Η αξία της κατασκευής ενός συγκεντρωτικού συλλέκτη χαμηλού κόστους, απ' την αρχή σχεδιασμένου για ενδιάμεσες θερμοκρασίες είναι προφανής. Ο συλλέκτης αυτός θα αναιρεί τις παραπάνω δυσκολίες και θα αποτελέσει το πρώτο και βασικό τμήμα σε ένα εμπορικά αξιοποιήσιμο σύστημα ηλιακής ψύξης – κλιματισμού.

3.2 Σκοπιμότητα, κίνητρα και στόχοι υποσυστήματος αποθήκευσης

Το θέμα της θερμικής αποθήκευσης (Thermal Energy Storage – TES) αποτελεί από μόνο του ένα τεράστιο πεδίο εφαρμογών που πρόσφατα απέκτησε μεγάλο ενδιαφέρον λόγω των αυξημένων τιμών της ενέργειας και του μειούμενου κόστους παραγωγής αυτής της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Το γεγονός της ασυνεχούς (intermittent) ανανεώσιμης ενεργειακής παραγωγής καθιστά απαραίτητη τη δυνατότητα αποθήκευσης της ενέργειας. Παρ' όλο που έγιναν μεγάλα βήματα στη μείωση του κόστους των μπαταριών, η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας παραμένει ακριβή. Με βάση τις τρέχουσες προδιαγραφές (χρόνος ζωής = 2500 κύκλοι, βάθος εκφόρτισης = 50 %) και τιμές της αγοράς, το κόστος αποθήκευσης σε μπαταρίες

οξέως – μολύβδου βρίσκεται στην περιοχή των € 270 / Kwhe. Παρ' όλα αυτά σε αρκετές περιπτώσεις, δεν χρειάζεται να αποθηκεύσουμε την ηλεκτρική ενέργεια, αλλά κάποια άλλη μορφή ενέργειας, όπως θερμική. Για παράδειγμα, το 40 % περίπου των ενεργειακών αναγκών της EE-25 προέρχεται από κτίρια κατοικιών και γραφείων [1]. Σ' αυτά το μεγαλύτερο ποσοστό προορίζεται για ψύξη και θέρμανση. Και οι δύο αυτές λειτουργίες δεν χρειάζονται ηλεκτρική ενέργεια αυτή καθ' εαυτή αλλά μπορούν να λειτουργήσουν με θερμική ενέργεια. Η διαπίστωση είναι προφανής στην περίπτωση της θέρμανσης χώρων, ενώ η περίπτωση της ψύξης απορρόφησης έχει επαρκώς αναλυθεί στα προηγούμενα. Επομένως μπορούμε να παρακάμψουμε την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας με την κατάλληλα σχεδιασμένη αποθήκευση θερμικής. Με τον όρο 'θερμική' εννοούμε τόσο την αποθήκευση θερμότητας, όσο και την αποθήκευση ψύχους. Υπάρχουν αρκετά προϊόντα στην αγορά τόσο για τη μία όσο και για την άλλη εφαρμογή [11], [12] και [13]. Επίσης πολλές είναι και οι παραλλαγές στο σχεδιασμό τέτοιων συστημάτων, όσον αφορά την παραγωγή και την αποθήκευση θερμικής ενέργειας. Συγκεκριμένα, θερμότητα μπορεί να παράγεται είτε με ηλιακούς συλλέκτες (επίπεδους ή συγκεντρωτικούς) ή με φωτοβολταϊκό ηλεκτρισμό σε αντιστάσεις ή αντλίες θερμότητας. Ψύχος μπορεί να παράγεται είτε με ψύκτες απορρόφησης κινούμενους από θερμότητα είτε με ηλεκτρικούς ψύκτες κινούμενους από φωτοβολταϊκό ηλεκτρισμό. Το ποιός συνδυασμός θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται απ' τις ιδιαιτερότητες κάθε εφαρμογής και τους σκοπούς του σχεδιασμού. Ο βασικότερος παράγοντας για την επιλογή, είναι η διαθεσιμότητα εφεδρικής πηγής ενέργειας. Αν η θερμότητα ή το ψύχος παράγονται από φωτοβολταϊκό ηλεκτρισμό, τότε χρειαζόμαστε εφεδρική ηλεκτρική γεννήτρια (Δίκτυο, Diesel, LPG, κλπ). Αν παράγονται από πηγή

θερμότητας, χρειαζόμαστε εφεδρική πηγή θερμότητας (καυστήρα Diesel, LPG, βιομάζας, κλπ). Και στις δύο πάντως περιπτώσεις χρειάζεται μικρή ηλεκτρική παραγωγή και αποθήκευση (πχ. Φ/Β και μπαταρίες) για τα συστήματα κυκλοφορίας και ελέγχου. Συνοπτικά, οι επιλογές αυτές ανακεφαλαιώνονται στον παρακάτω πίνακα:

Σκοπός Διάταξης	Κύρια Πηγή Ενέργειας	Εφεδρική Πηγή Ενέργειας	Μηχανισμός Παραγωγής	Αποθήκευση
Θέρμανση	Φ/Β - ηλεκτρισμός	Γεννήτρια	Αντλία Θερμότητας	Θερμότητα
Θέρμανση	Θερμικοί συλλέκτες (Flat or CSP)	Καυστήρας		Θερμότητα
Ψύξη	Φ/Β - ηλεκτρισμός	Γεννήτρια	Ηλεκτρικός Ψύκτης (Chiller)	Ψύχος
Ψύξη	Θερμικοί συλλέκτες (CSP)	Καυστήρας	Ψύκτης Απορρόφησης (Absorption Chiller)	Ψύχος

Πίνακας 3: Συνδυασμοί Παραγωγής - Αποθήκευσης Θερμικής Ενέργειας

Αν θέλαμε να αντιστρέψουμε τη σειρά Παραγωγής – Αποθήκευσης, τότε ο παραπάνω πίνακας θα γίνει:

Σκοπός Διάταξης	Κύρια Πηγή Ενέργειας	Εφεδρική Πηγή Ενέργειας	Αποθήκευση	Μηχανισμός Παραγωγής (COP)
Θέρμανση	Φ/Β - ηλεκτρισμός	Γεννήτρια	Ηλεκτρισμός	Αντλία Θερμότητας (4)
Θέρμανση	Θερμικοί συλλέκτες (Flat or CSP)	Καυστήρας	Θερμότητα	(1)
Ψύξη	Φ/Β - ηλεκτρισμός	Γεννήτρια	Ηλεκτρισμός	Ηλεκτρικός Ψύκτης (Chiller) (2.5)
Ψύξη	Θερμικοί συλλέκτες (CSP)	Καυστήρας	Θερμότητα	Ψύκτης Απορρόφησης (Absorption Chiller) (1.25)

Πίνακας 4: Εναλλακτικές λύσεις Αποθήκευσης - Παραγωγής Θερμικής Ενέργειας

Από τη σύγκριση των δύο πινάκων, καταλαβαίνουμε ότι η αποθήκευση θερμότητας είναι κατάλληλη και για τις δύο διατάξεις. Συγκεκριμένα, από τις γραμμές 2 και 4 του Πίνακα 4 συμπεραίνουμε ότι η προτιμητέα διάταξη διαθέτει **συγκεντρωτικούς συλλέκτες, αποθήκευση θερμότητας και ψύκτη**

απορρόφησης. Αυτή η διάταξη προσφέρει τόσο θέρμανση όσο και ψύξη. Αν μάλιστα οι δύο διαδικασίες συμβαίνουν ταυτόχρονα, τότε το έργο της διαδικασίας θέρμανσης μπορεί να ενισχυθεί μέσω ανάκτησης της απορριπτόμενης θερμότητας της διαδικασίας ψύξης.

Η επιλογή για την αποθήκευση ηλεκτρισμού ή θερμότητας, εξαρτάται απ' τα δύο κόστη αποθήκευσης (€/kWh, €/kWh_t) και απ' τους COP των ψυκτών και των αντλιών θερμότητας. Στον Πίνακα 4 έχουν προστεθεί οι COP των μηχανισμών παραγωγής για να διευκολυνθεί η σύγκριση. Είναι φανερό ότι, σε διατάξεις θέρμανσης, για να προτιμηθεί η θερμική αποθήκευση έναντι της ηλεκτρικής θα πρέπει να έχει κόστος (€/kWh) μικρότερο απ' το 1/4 αυτής. Αντίστοιχα, σε διατάξεις ψύξης, η σχέση των κοστών πρέπει να είναι 1/2. Άρα σε μια ενιαία διάταξη, που περιέχει αποθήκευση θερμότητας για θέρμανση και ψύξη το κόστος της θερμικής αποθήκευσης θα πρέπει να είναι το πολύ 1/4 της ηλεκτρικής. Εφόσον το τελευταίο βρίσκεται στα επίπεδα των € 270 / kWh, η θερμική αποθήκευση δικαιολογείται μόνο αν στοιχίζει € 67.5 / kWh (ή αλλιώς περίπου \$ 88 / kWh).

Περιοριζόμενοι σε αισθητή θερμότητα, μια ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, δείχνει ότι υπάρχουν πολλά υλικά που προσφέρονται για αποθήκευση, με μεγάλη διασπορά κόστους, θερμοκρασιακού εύρους, πυκνότητας και θερμοχωρητικότητας βάρους και όγκου. Τα χαρακτηριστικά των υλικών αυτών ανακεφαλαιώνονται στον πίνακα της Εικόνας 12 [10]:

Παρατηρώντας την τελευταία στήλη του πίνακα, βλέπουμε πως υπάρχουν αρκετά υλικά με κόστος < \$ 88/kWh. Εξετάζοντας το απόλυτο κόστος των υλικών (ανά Kg) και λαμβάνοντας υπόψη την διαθεσιμότητα και την ευχρηστία του καθενός,

διακρίνουμε το τσιμέντο (reinforced concrete) και τα πυρότουβλα (Silica fire bricks) ως αρκετά κατάλληλα για τους σκοπούς μας.

TABLE 7.1

Physical Properties of Sensible Storage Materials

Storage Medium	Temperature (°C)		Average Density (kg/m ³)	Average Heat Conductivity (W/mK)	Average Heat Capacity (kJ/kgK)	Volume-Specific Heat Capacity (kWh/m ³)	Media Cost (\$/kg)	Media Cost (\$/kWh)
	Cold	Hot						
<i>Solid media</i>								
Sand-rock-mineral oil	200	300	1,700	1.0	1.30	60	0.15	4.2
Reinforced concrete	200	400	2,200	1.5	0.85	100	0.05	1.0
Solid NaCl	200	500	2,160	7.0	0.85	150	0.15	1.5
Cast iron	200	400	7,200	37.0	0.56	160	1.00	32.0
Cast steel	200	700	7,800	40.0	0.60	450	5.00	60.0
Silica fire bricks	200	700	1,820	1.5	1.00	150	1.00	7.0
Magnesia fire bricks	200	1,200	3,000	5.0	1.15	600	2.00	6.0
<i>Liquid media</i>								
Mineral oil	200	300	770	0.12	2.6	55	0.30	4.2
Synthetic oil	250	350	900	0.11	2.3	57	3.00	43.0
Silicone oil	300	400	900	0.10	2.1	52	5.00	80.0
Nitrite salts	250	450	1,825	0.57	1.5	152	1.00	12.0
Nitrate Salts	265	565	1,870	0.52	1.6	250	0.70	5.2
Carbonate salts	450	850	2,100	2.0	1.8	430	2.40	11.0
Liquid sodium	270	530	850	71.0	1.3	80	2.00	21.0

Source: Hermann, U., Geyer, M., and Kearney, D. 2002. *Overview of Thermal Storage Systems*. With permission.

Εικόνα 12: Ιδιότητες Υλικών Αποθήκευσης Θερμικής Ενέργειας

Τα υλικά αυτά είναι φτηνά, διαθέσιμα, εύχρηστα, με καλές θερμικές αγωγιμότητες της τάξης του 1.5 W/mK. Στο κεφάλαιο του σχεδιασμού θα προσομοιώσουμε τη συμπεριφορά τους για να υπολογίσουμε τις κατάλληλες διαστάσεις του συστήματος.

4. Υπολογισμοί & Σχεδιασμός του προτεινόμενου συστήματος

4.1 Υποσύστημα συλλογής

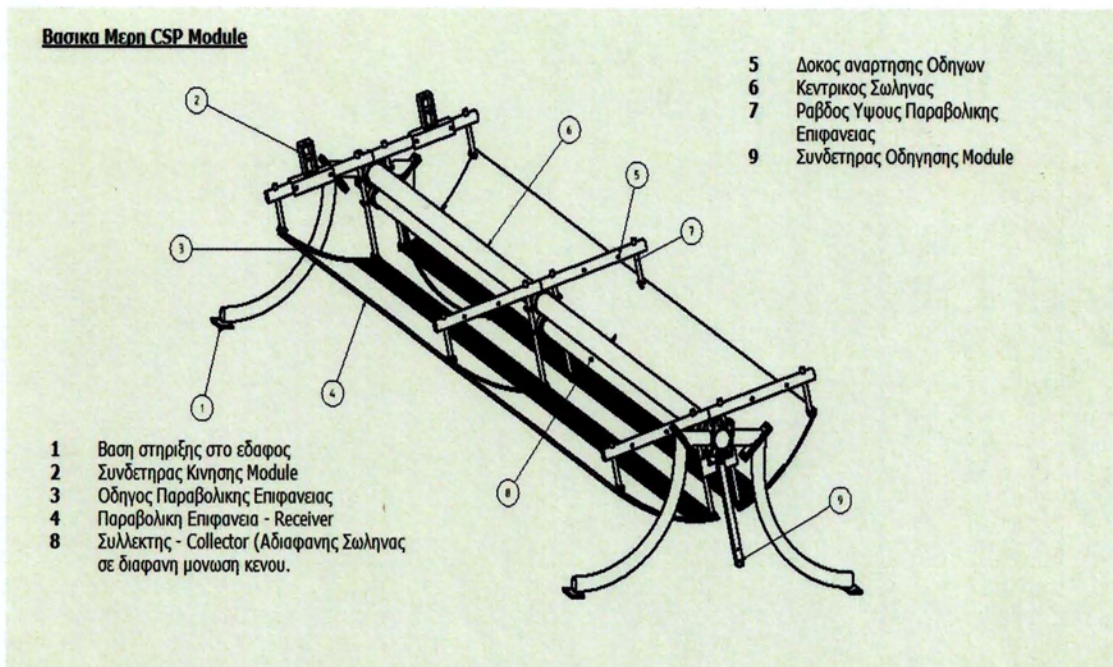
Σύμφωνα με όσα έχουμε αναλύσει στο κεφάλαιο 3.1 'Σκοπιμότητα, Κίνητρα και Στόχοι του υποσυστήματος Συλλογής', αυτό θα πρέπει να πληροί τις παρακάτω προδιαγραφές:

- a. Να είναι συγκεντρωτικό, ικανό να αποδώσει θερμοκρασίες άνω των 150 °C, ώστε να μπορεί να συνεργαστεί με ψύκτη απορρόφησης 2 σταδίων.
- b. Να κάνει tracking ενός άξονα, ώστε να έχει την απόδοση που υπολογίσαμε. Επίσης, θα πρέπει να διαθέτει αυτοματισμό που θα το μετακινεί σε 'θέση ασφαλείας (stow position)' όταν πνέουν άνεμοι πέραν της καθοριζόμενης μέγιστης έντασης κατά Ευρωκώδικα 1 (30m/s).
- c. Να είναι όσο πιο χαμηλό γίνεται για να είναι εύκολη η συναρμολόγηση και η συντήρησή του.
- d. Η κατασκευή του να είναι τμηματική και επεκτάσιμη (modular), ώστε να μπορεί να επιτευχθεί οποιοδήποτε μέγεθος. Το μικρότερο μέγεθος πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να είναι εύκολη η μεταφορά και συναρμολόγησή του με τα συνήθη μέσα.
- e. Τα υλικά να είναι όσο πιο φτηνά γίνεται στα πλαίσια, βέβαια, της επιδιωκόμενης απόδοσης.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω, το προτεινόμενο σύστημα συλλογής έχει τη μορφή που φαίνεται στις παρακάτω εικόνες και σχέδια:



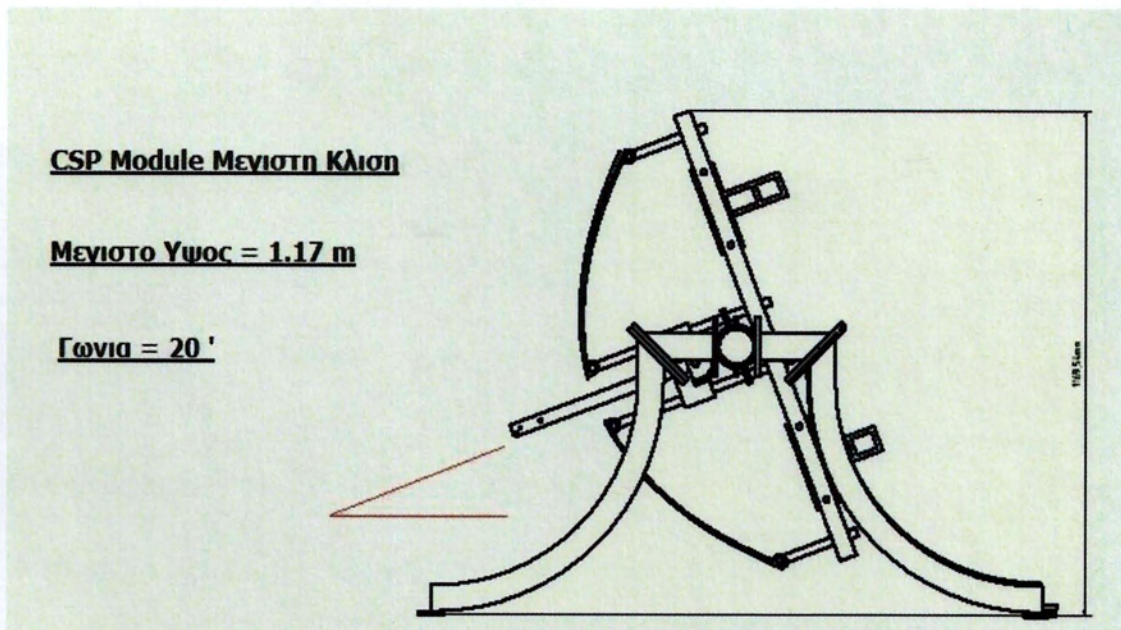
Εικόνα 13: Γενική Όψη Συλλέκτη



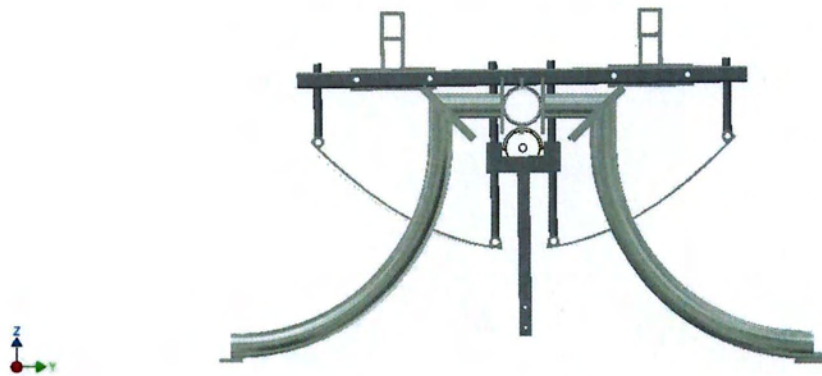
Εικόνα 14: Βασικά Μέρη Συλλέκτη



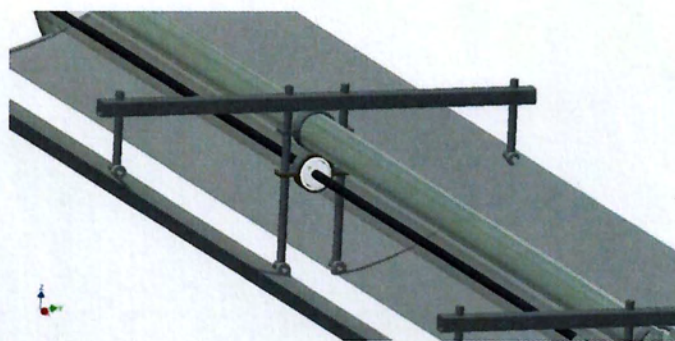
Εικόνα 15 : Συλλέκτης στη Μέγιστη Κλίση



Εικόνα 16: Μέγιστο Ύψος Συλλέκτη



Εικόνα 17: CSP Module Οριζοντια Θεση



Εικόνα 18: Λεπτομερεια Σολλεκτη

Το προτεινόμενο σύστημα είναι τμηματικό (modular), με την έννοια ότι το κάθε τμήμα - module μπορεί να συνδεθεί με άλλα κατά μήκος και με τη βοήθεια των συνδετήρων κίνησης, και να σχηματίσει μια συστοιχία. Κάθε συστοιχία συνδέεται στο πρώτο τμήμα με τις διπλανές της, ώστε να κινούνται συγχρονισμένα. Το πρώτο τμήμα της πρώτης συστοιχίας συνδέεται σε διάταξη μοτέρ – μειωτήρα. Το μοτέρ θα συνδέεται σε ηλεκτρική παροχή μέσω PLC που θα ελέγχει την κίνηση. Το κάθε τμήμα έχει μήκος 5μ, ώστε εύκολα να προκύπτει από 6 - μετρες σωλήνες που είναι διαθέσιμες στην αγορά. Ο κεντρικός σωλήνας είναι διατομής 90mm, ο αδιαφανής συλλέκτης 33mm (1”), το γυάλινο διαφανές περίβλημα 80 mm. Γύρω απ’ τον κεντρικό σωλήνα περιστρέφονται 3 δοκοί ανάρτησης οδηγών στερεωμένοι σε ημικύκλια 100mm. Αυτοί είναι τετράγωνοι πλευράς 40 mm, και μέσω αυτών αναρτώνται οι 6 ράβδοι ύψους (3 μεγάλες – εσωτερικές και 3 μικρές – εξωτερικές) της παραβολικής επιφάνειας. Οι εσωτερικές συγκρατούν συγχρόνως τον οδηγό της παραβολικής επιφάνειας, τη δοκό και τους σφικτήρες, όπως και το ερταλόν που συγκρατεί την εσωτερική αδιαφανή και την περιβάλλουσά του διαφανή γυάλινη σωλήνα. Τα τμήματα αυτά της κατασκευής φαίνονται στα ακόλουθα σχέδια:



Εικόνα 19: Δοκός Ανάρτησης Οδηγών



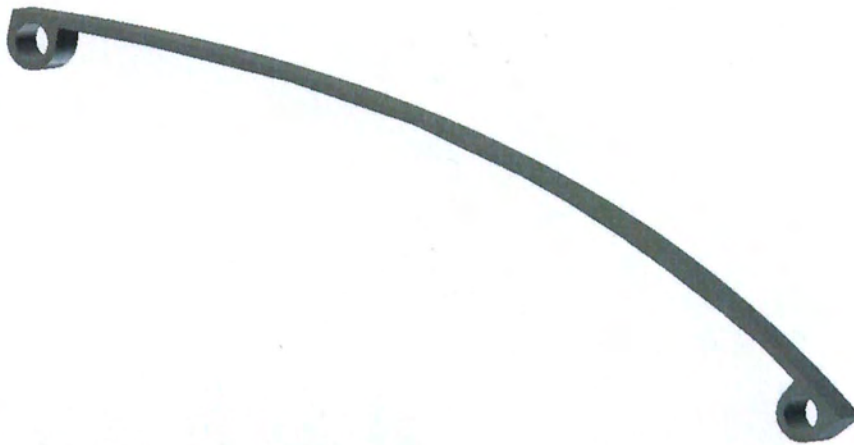
Εικόνα 20: Σφικτήρας



Εικόνα 21: Μικρή Ράβδος – Εσωτερική



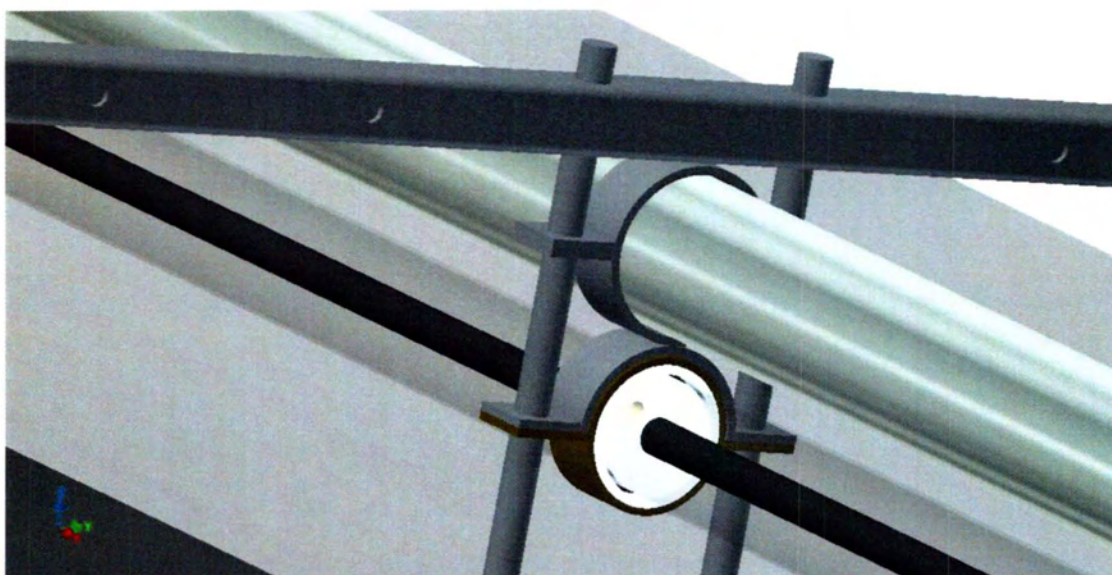
Εικόνα 22: Μεγάλη Ράβδος – Εξωτερική



Εικόνα 23: Οδηγός Παραβολικής Επιφάνειας



Εικόνα 24: Ερταλον συγκράτησης σωλήνων



Εικόνα 25: Λεπτομέρεια Προσαρμογής

Μερικά σχόλια πάνω σε κατασκευαστικές λεπτομέρειες ακολουθούν:

- i. Οι ράβδοι έχουν σπείρωμα στο άνω άκρο και συγκρατούνται στη δοκό με περικόχλια. Ο λόγος είναι ότι η κατασκευή μπορεί να λειτουργήσει όχι μόνο ως ηλιοθερμικό σύστημα αλλά και ως ξηραντήριο προϊόντων. Στην περίπτωση αυτή δεν υπάρχουν η μαύρη και η γυάλινη σωλήνα και οι ράβδοι ανεβαίνουν παραπάνω, ώστε να μετακινήσουν τον εστιακό άξονα της παραβολικής επιφάνειας στο κέντρο της διατομής του κεντρικού σωλήνα. Μέσα απ' αυτόν διέρχεται αέρας κινούμενος από φυσητήρες ώστε να ζεσταθεί στους $50^{\circ} - 60^{\circ} \text{ C}$ και να χρησιμοποιηθεί στην αφύγρανση στερεών υλικών (όπως πχ βιομάζα).
- ii. Τα ερταλόν έχουν οπές μέσα απ' τις οποίες θα αφαιρεθεί ο αέρας ώστε να επιτευχτεί μόνωση κενού. Το κεντρικό ερταλόν διαθέτει και κατακόρυφη οπή ευθυγραμμισμένη με όμοια του κάτω σφικτήρα για την

προσαρμογή της αντλίας κενού και στη συνέχεια πλαστικού βύσματος ίσης διατομής (το υλικό θα είναι τεφλόν).

- iii. Ο οδηγός της παραβολικής επιφάνειας πρέπει να κατασκευαστεί με μεγάλη ακρίβεια, ιδίως η εξωτερική επιφάνεια (η οποία χρειάζεται στην ουσία για την οδήγηση της ανακλαστικής επιφάνειας). Γι' αυτό το λόγο η εξωτερική επιφάνεια αποτελείται από 70 επίπεδα τμήματα (μήκους περίπου 9,3 mm το καθένα) που όλα μαζί προσομοιώνουν την επιθυμητή παραβολική επιφάνεια. Μια λεπτομέρεια φαίνεται στην εικόνα:



Εικόνα 26: Λεπτομέρεια Οδηγού Επιφάνειας

Ο λόγος είναι ότι δεν υπάρχει μηχανική κατεργασία που να παράγει παραβολική επιφάνεια. Στην ουσία υπολογίζονται οι συντεταγμένες των επιμέρους ευθυγράμμων τμημάτων και το μέταλλο κόβεται σε Laser CNC. Το πλάτος είναι 10 mm, όσο χρειάζεται για να διαθέτει ο οδηγός ακαμψία.

- iv. Η παραβολική επιφάνεια είναι λαμαρίνα INOX πάχους 0,4mm με επεξεργασία καθρέπτη. Η ανακλαστικότητα της επιφάνειας φτάνει το 95

%. Η πίσω επιφάνεια θα βαφεί μαύρη, ώστε να μειωθούν οι θερμικές της απώλειες. Η λαμαρίνα έρχεται σε διαστάσεις 1,25*2,5m και ταιριάζει απόλυτα στις διαστάσεις μας. Η εξωτερική περίμετρος της παραβολικής επιφάνειας είναι 2,5 m, οπότε κάθε module καλύπτεται από 2 φύλλα κομμένα στα δύο.

- v. Ο διαφανής σωλήνας είναι από Plexiglas, ο εσωτερικός αδιαφανής από ανοπτημένο νικελιούχο χάλυβα.
- vi. Το άκρο του συνδετήρα οδήγησης κινείται από μηχανισμό μοτέρ – μειωτήρα και κοχλία τραπεζοειδούς σπειρώματος. Η ακρίβεια της κίνησης είναι 1°, το μισό από όσο χρειάζεται για να επιτυγχάνεται ακρίβεια στην συγκέντρωση της ακτινοβολίας πάνω στον εσωτερικό σωλήνα [5]. Η ακραίες θέσεις είναι στις 20°, θέση που αντιστοιχεί οριακά σε εκμεταλλεύσιμη ακτινοβολία.
- vii. Η παραβολική επιφάνεια δεν είναι συνεχής αλλά διακόπτεται στο μέσο της κατά 100 mm, όσο είναι και η προβολή του κεντρικού σωλήνα πάνω της, μιας και αν ακόμα υπήρχε θα ήταν συνεχώς στη σκιά. Πέρα απ' αυτό σε περιπτώσεις συννεφιάς ή βροχής, το module θα βρεθεί στην οριζόντια θέση (θα εξηγηθεί στο κεφάλαιο περί ελέγχου & αυτοματισμού) και έτσι θα διευκολύνεται η απορροή του νερού.
- viii. Το εργαζόμενο μέσο που θα ρέει στον εσωτερικό σωλήνα θα είναι θερμικό λάδι (heat transfer fluid) κατάλληλο για την περίπτωση μας.

Μετά από έρευνα έχει επιλεγεί το Syltherm XLT 800 της DOW, οι ιδιότητες του οποίου φαίνονται παρακάτω:

Typical Properties of SYLTHERM 800 Fluid¹

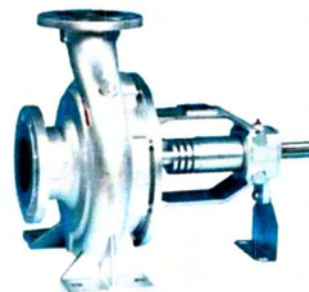
Composition: Dimethyl Polysiloxane

Property	As Supplied		After Extended Use	
	SI Units	English Units	SI Units	English Units
Color:	Clear Yellow		Darkened	
Viscosity @ 25°C (77°F)	9.1 mPa·s	9.1 cps	≥6.0 mPa·s	≥6.0 cp
Flash Point ³ , Closed Cup, Typical	160°C	320°F	≥35°	≥95°
Flash Point ⁴ , Open Cup, Typical	177°C	350°F	≥57°C	≥135°F
Fire Point ³	193°C	380°F	≥68°C	≥155°F
Autoignition Point, ASTM D 2155	385°C	725°F	385°C	725°F
Acid Number, Typical	0.03		0.03	
Freeze Point	-60°C	-76°F	≤-40°C	≤-40°F
Density @ 25°C (77°F)	936 kg/m ³	7.8 lb/gal	936kg/m ³	7.8lb/gal
Specific Gravity 25°C (77°F)	0.93		0.93	
Heat of Combustion	28.659 kJ/kg	12,300 Btu/lb	28,659 kJ/kg	12,300 Btu/lb
Estimated Critical Temperature	367°C	692°F	367°C	692°F
Estimated Critical Pressure	10.9 bar	10.8 atm	10.9 bar	10.8 atm
Estimated Critical Volume	3.22 l/kg	0.0515 ft ³ /lb	3.22 l/kg	0.0515 ft ³ /lb

Εικόνα 27: Ιδιότητες Θερμικού Λαδιού

- ix. Επιθυμούμε τυρβώδη ροή στο σωλήνα για να μεγιστοποιείται η συναγωγή, οπότε θέλουμε $Re > 4000$, οπότε με $d = 0.03\text{m}$ η παροχή του υγρού πρέπει να είναι $Q = 2.5 \text{ m}^3/\text{h}$. Εμείς θα επιδιώξουμε $Q = 5\text{m}^3/\text{h}$, οπότε αναζητούμε κατάλληλη αντλία. Μετά από έρευνα καταλήξαμε στην ZTND 32160, τα βασικά χαρακτηριστικά της οποίας είναι:

Συγκρότημα φυγοκεντρικής αντλίας Sterling SIHI τύπου **ZTND 32160 AA GBC 1B 2** συνδεδεμένης μέσω ελαστικού συνδέσμου με ηλ/τήρα **2,2 kW, 2900 1/min**, πάνω σε **κοινή μεταλλική βάση**,



ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΝΤΛΙΑΣ :

Διακινούμενο μέσο		Mobiltherm 603
Θερμοκρασία	°C	250
Ειδικό βάρος	kg/m ³	731,25
Κινούμενο ιξώδες	mm ² /s	0,4
Παροχή	m ³ /h	5
Μανομετρικό	m	30
Στροφές	rpm	2900
Απαιτούμενο NPSH	m	0,93 (NPSHA ≥ NPSHR + 0.5 m)
Ισχύς ηλ/τήρα	kW	2,2

Εικόνα 28: Αντλία Θερμικού Λαδιού

Όσον αφορά την ισχύ που αναμένουμε απ' το υποσύστημα συλλογής, θα χρησιμοποιήσουμε τα συμπεράσματα των μετρήσεων της εταιρίας Soltigua [9] που έχει υλοποιήσει σύστημα αντίστοιχης τεχνολογίας.

Η διαθέσιμη ισχύς ενός τέτοιου συστήματος με συγκεντρωτικούς συλλέκτες και με θερμικό λάδι ως εργαζόμενο μέσο, δίνεται από τη σχέση

$P = \eta * S * DNI$, [9] όπου

S : η συνολική επιφάνεια συλλογής σε τμ

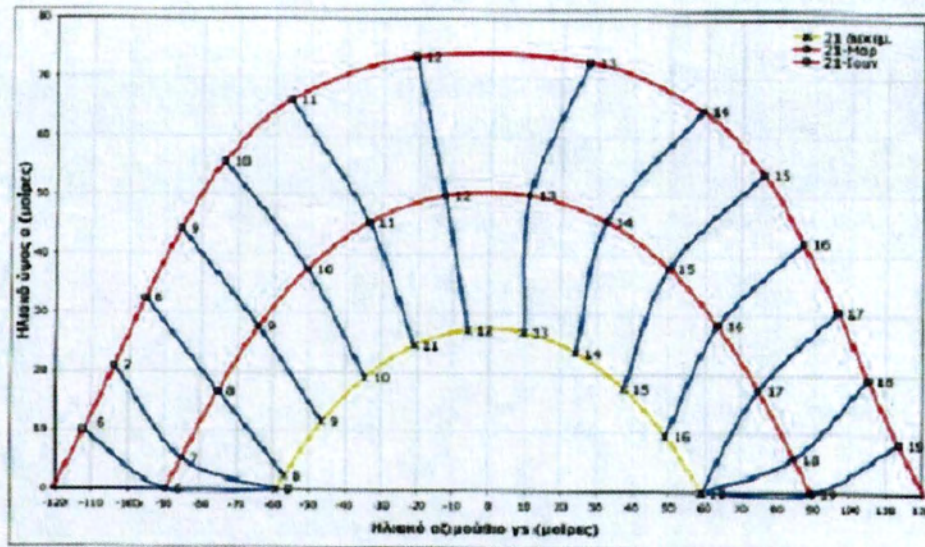
DNI: η άμεση ακτινοβολία, αλλά σε kW/m²

$\eta = KL * 0.747 - 0.64 * \Delta T / DNI$, όπου

η: ο συντελεστής απόδοσης του συστήματος

ΔT : η θερμοκρασιακή διαφορά εργαζόμενου μέσου – περιβάλλοντος

KL: διορθωτικός παράγοντας κλίσεως που εξαρτάται απ' τη γωνία (α) της επιφάνειας των συλλεκτών με τις ακτίνες του ηλίου. Η γωνία αυτή είναι το συμπλήρωμα του Ηλιακού Ύψους, και ο τρόπος με τον οποίο μεταβάλλεται εξαρτάται απ' το γεωγραφικό πλάτος. Για την περιοχή της Θεσσαλίας η ημερήσια πορεία του ήλιου απεικονίζεται στο διάγραμμα



Σχήμα Γ.5. Ηλιακή τροχιά για ελληνικές περιοχές με γεωγραφικό πλάτος 39°B.

Εικόνα 29: Ηλιακή Τροχιά περιοχής Θεσσαλίας

Ο συντελεστής KL δίνεται απ' τις τιμές του πίνακα:

Γωνία α (μοίρες)	KL
0	1
10	0.99
20	0.939
30	0.847
40	0.712
50	0.528
60	0.286

Πίνακας 5: Διορθωτικός Συντελεστής στη σχέση της Soltigua

Η ισχύς του συστήματος μεγιστοποιείται όταν η γωνία (α) ελαχιστοποιείται. Αυτό συμβαίνει όταν το ηλιακό ύψος μεγιστοποιείται, δηλαδή το μεσημέρι της 21^{ης} Ιουνίου, και η τιμή του τότε είναι 74 °. Τότε (α)=90-74=16°, και απ' τον Πίνακα 5 με παρεμβολή λαμβάνουμε KL=0.9594. Αν λάβουμε ως μέγιστη DNI τη συνήθη τιμή 900W/m² και για ΔT ≈ 230° C (με μέση θερμοκρασία εργαζόμενου μέσου 250 ° C και μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος 20 ° C), η μέγιστη διαθέσιμη θερμική ισχύς του συστήματος θα είναι :

$P_{\max} = (0.9594 \cdot 0.747 - 0.64 \cdot 230/900) \cdot 900 \approx 498 \text{ W/m}^2$. Επομένως αυτή θα είναι η ονομαστική ισχύς του συστήματος συλλογής, πρακτικά **0,5 kW / m²**, (ή αλλιώς **2,5 kW/module**) και αυτή έχει ληφθεί υπόψη για το σχεδιασμό και την επιλογή των υλικών τόσο του ίδιου όσο και του υποσυστήματος αποθήκευσης.

4.1 Υποσύστημα αποθήκευσης

Από τα υλικά του πίνακα της Εικόνας 12 του κεφαλαίου 3.2 θα επιλέξουμε το ενισχυμένο σκυρόδεμα, ως υλικό αποθήκευσης, για τους εξής λόγους:

- Είναι ευρέως γνωστό και διαδεδομένο
- Είναι εύχρηστο και ο χειρισμός του γίνεται με απλά μέσα
- Είναι φτηνό
- Έχει μεγάλη αντοχή στη θερμότητα και η συμπεριφορά του είναι σταθερή σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες
- Εύκολα σχηματοποιείται σε καλούπια για να πάρει επιθυμητά σχήματα

Το μπετόν έχει χρησιμοποιηθεί αρκετά σε σχετικές έρευνες και τα αποτελέσματα ήταν ιδιαίτερος ενθαρρυντικά. Στην Εικόνα 30 βλέπουμε ένα module που κατασκευάστηκε και μελετήθηκε στο Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt στη Στουτγκάρδη. Δεν διαθέτει μόνωση, θερμαίνεται μέχρι τους 400 ° C και η θερμοχωρητικότητά του είναι 400 kWh. Ως εργαζόμενο μέσο χρησιμοποιείται θερμικό λάδι που ρέει μέσα σε σωλήνες ενσωματωμένους στη μάζα του μπετόν.



Εικόνα 30: Module Θερμικής Αποθήκευσης

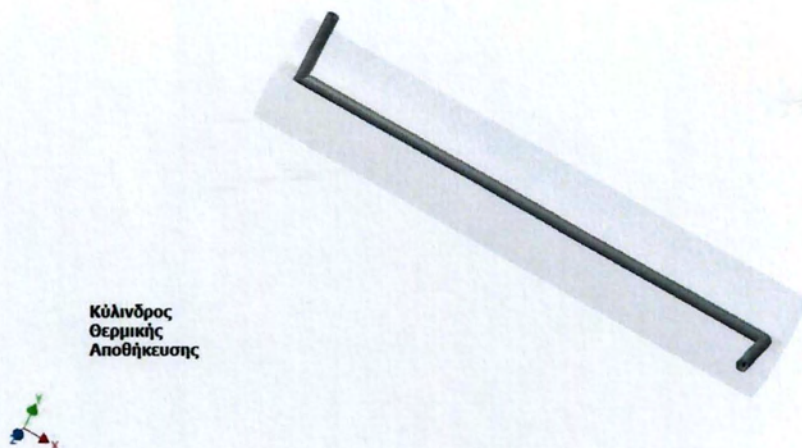
Χρησιμοποιώντας την εμπειρία των σχετικών ερευνών, θα χρησιμοποιήσουμε το ίδιο υλικό, αλλά σε διαφορετικό σχήμα. Συγκεκριμένα, θα χρησιμοποιήσουμε κυλίνδρους στο κέντρο των οποίων θα βρίσκεται χαλύβδινη σωλήνα 2" που θα διαρρέεται από το θερμικό λάδι. Οι κύλινδροι θα έχουν μήκος 1.5 m και διάμετρο 30 cm. Το βάρος τους θα είναι περίπου 250 Kgr και ο όγκος τους 110 lt. Η μέγιστη θερμοκρασία θα είναι 250° C και η ελάχιστη 60°C. Η μέγιστη θερμοκρασία επιβάλλεται από τα υπόλοιπα υλικά του συστήματος συλλογής, ενώ η ελάχιστη από το γεγονός ότι δεν στοχεύουμε σε εφαρμογές που χρειάζονται θερμοκρασίες κάτω των 60° C. Αν δεχθούμε ως θερμοχωρητικότητα του μπετόν το 1 kJ/Kgr.K, τότε η θερμοχωρητικότητα κάθε κυλίνδρου θα είναι 13.2 kWh. Ο λόγος που χρησιμοποιούμε αυτές τις διαστάσεις είναι:

- Θέλουμε ο κύλινδρος να μπορεί να κατασκευαστεί με συνήθη μέσα χωρίς την ανάγκη μεγάλων εγκαταστάσεων και βαριών μηχανημάτων. Στις

διαστάσεις αυτές κατασκευάζεται με απλά πλαστικά καλούπια στα οποία τοποθετείται οπλισμός, στερεώνεται η σωλήνα και χύνεται το σκυρόδεμα.

- Επιθυμούμε ο κύλινδρος να μπορεί εύκολα να μεταφερθεί. Στο μέγεθος αυτό εύκολα μετακινείται με τη βοήθεια απλών εργαλείων (πχ παλετοφόρος).
- Το κάθε module πρέπει να έχει τέτοιο μέγεθος, ώστε εύκολα τα συστήματά μας να είναι επεκτάσιμα. Με το προτεινόμενο μέγεθος προστίθεται και αφαιρείται θερμοχωρητικότητα εύκολα και διευκολύνονται και μικρές εγκαταστάσεις.

Ένας τέτοιος κύλινδρος φαίνεται στην Εικόνα 31:



Εικόνα 31: Κύλινδρος Θερμικής Αποθήκευσης

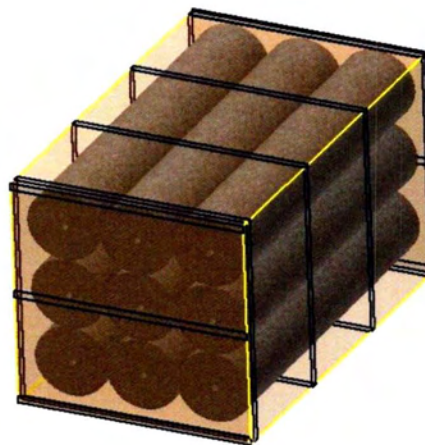
Το μπετόν έχει σχεδιαστεί διαφανές ώστε να διακρίνεται ο σωλήνας. Αυτός θα είναι προκατασκευασμένος και θα στερεώνεται στον οπλισμό πριν χυτευθεί το

σκυρόδεμα. Η χύτευση θα γίνεται σε πλαστικά ή μεταλλικά καλούπια που θα ανοίγουν στα δύο.

Οι κύλινδροι θα τοποθετούνται οριζόντιοι, ο ένας πάνω στον άλλο σε ορθογώνια, αν είναι δυνατόν, τετράγωνη (κυβική) διάταξη, ώστε να ελαχιστοποιείται η επιφάνεια. Οι κύλινδροι θα συνδέονται μεταξύ τους μέσω των τεθλασμένων σωλήνων. Αυτοί θα έχουν σπειρώματα στις άκρες τους. Η ένωση θα γίνεται με συνδέσμους που θα έχουν εσωτερικά αντίθετα σπειρώματα (και αριστερό και δεξιό) έτσι ώστε περιστρεφόμενοι να φέρνουν τους κυλίνδρους (σχεδόν) σε επαφή. Όλο το σύστημα θα τοποθετείται σε μεταλλική δεξαμενή απ' την οποία θα αφαιρείται ο αέρας για να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες συναγωγής. Αν τα στηρίγματα απέχουν ως ένα μέτρο, τότε ανοξειδωτή λαμαρίνα πάχους 1 mm είναι αρκετή ώστε να αντέξει υποπίεση 1 atm. Εμείς θα τοποθετήσουμε ως στηρίγματα τετραγωνικές δοκούς 30X30 mm εσωτερικά ανά 0.5 m. Ένα σύστημα αποθήκευσης σε κυβική διάταξη εννιά κυλίνδρων θα φαίνεται όπως στην Εικόνα 32:

**Thermal Storage Set -
Cube 9**

**Σύστημα Αποθήκευσης
Κυβικό 9 κυλίνδρων**



Εικόνα 32: Κύλινδρος Θερμικής Αποθήκευσης

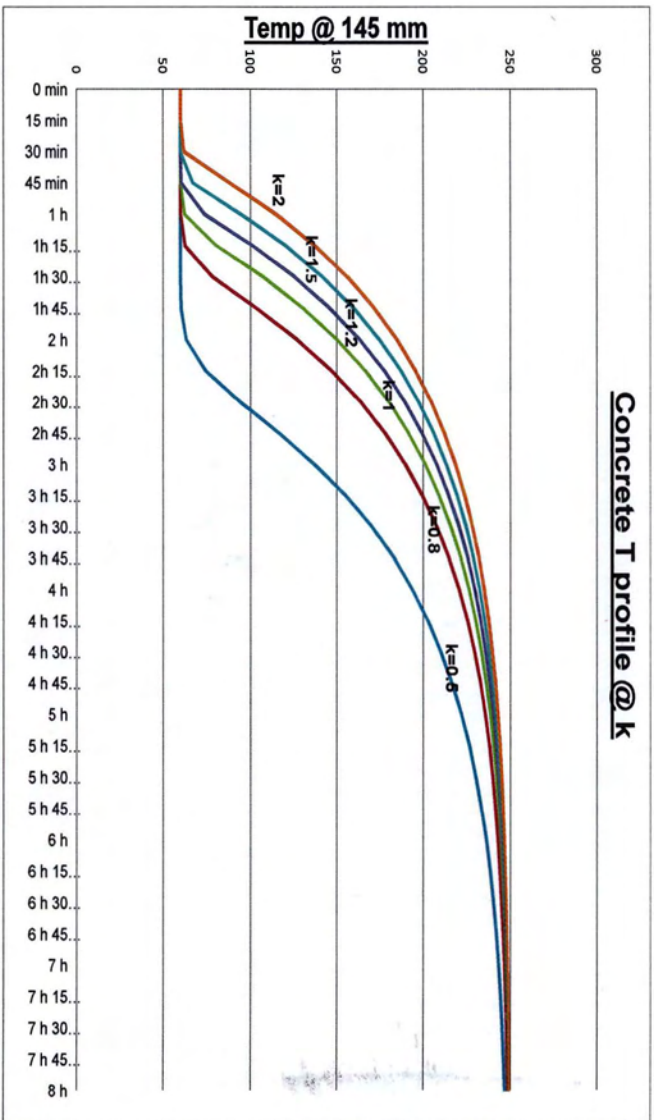
Το μεταλλικό περίβλημα δείχνεται διαφανές. Το εσωτερικό του θα είναι INOX με επεξεργασία καθρέπτη, όπως ακριβώς και η συλλεκτική επιφάνεια του συστήματος συλλογής. Μ' αυτό τον τρόπο θα μειώνονται οι απώλειες από ακτινοβολία στο ελάχιστο. Το περίβλημα θα διαθέτει δύο στόμια, ένα εισόδου και ένα εξόδου για τις σωλήνες. Επίσης θα προσαρμοστεί στόμιο για την αντλία κενού από όπου όταν ολοκληρωθεί η συναρμολόγησή του θα αφαιρεθεί ο αέρας. Η ύπαρξη του κενού αέρος θα μειώσει και τις απώλειες συναγωγής. Στη σωλήνα εξόδου θα τοποθετηθεί θερμόμετρο για να μετράται η θερμοκρασία του λαδιού.

Από πλευράς χρήσης μας ενδιαφέρει το σύστημα αποθήκευσης να μπορεί να 'φορτιστεί' και 'αποφορτιστεί' εντός του ημερήσιου κύκλου, καθώς έτσι θα ήταν χρήσιμο στη μεγάλη πλειοψηφία των εφαρμογών. Μιας και οι εφαρμογές αυτές θα χρησιμοποιούνται κυρίως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, λόγω των πλεονεκτημάτων που μέχρι τώρα έχουμε περιγράψει, έχει σημασία η αποφόρτιση του συστήματος να επιτυγχάνεται σε διάστημα 6-8 ωρών που κρατά η καλοκαιρινή νύχτα. Για να κατευθυνθούμε στη βέλτιστη σχεδίαση είναι απαραίτητο να μοντελοποιήσουμε τη διαδικασία φόρτισης και αποφόρτισης ενός κυλίνδρου, ή αλλιώς να περιγράψουμε το θερμοκρασιακό του προφίλ. Για να το πετύχουμε χρησιμοποιήσαμε την εξίσωση θερμότητας με τις εξής παραδοχές:

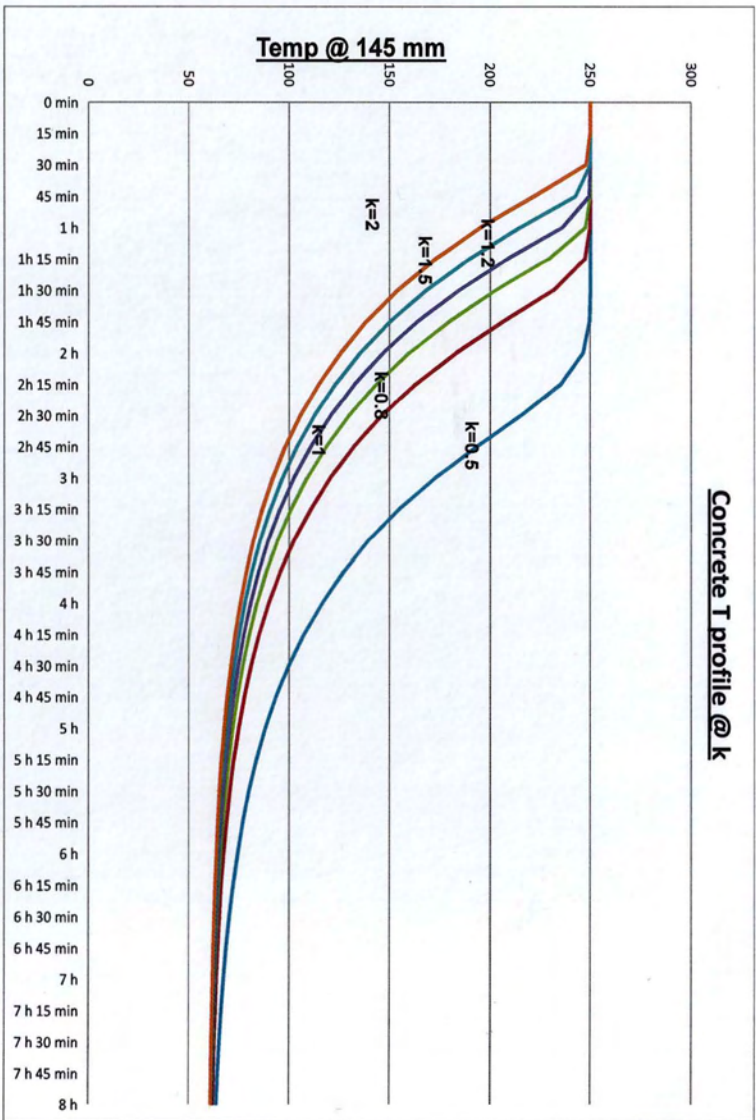
- Πρόκειται για κοίλο κύλινδρο εσωτερικής ακτίνας 0.015 m και εξωτερικής 0.15 m.
- Το εσωτερικό έρχεται σε επαφή με λάδι θερμοκρασίας 250 ° C.
- Ο συντελεστής συναγωγής λαδιού – κυλίνδρου είναι 30 W/m².K [14]

- Η εξωτερική επιφάνεια του κυλίνδρου είναι μονωμένη
- Η thermal conductivity του κυλίνδρου είναι k . Για το μπετόν το k κυμαίνεται από 0.5 έως 2.
- Οι αρχικές συνθήκες είναι: θερμοκρασία 60°C κατά τη θέρμανση και 250°C κατά την ψύξη. Η ελάχιστη θερμοκρασία λαμβάνεται ως 60°C επειδή, όπως αναλύσαμε παραπάνω, μας ενδιαφέρουν εφαρμογές με απαιτούμενη θερμοκρασία $\geq 60^{\circ}\text{C}$.

Αφού καταστρώσαμε την κατάλληλη διαφορική εξίσωση (θερμότητας) και ενσωματώσαμε αρχικές και οριακές συνθήκες όπως περιγράφονται παραπάνω, σχηματίσαμε τα θερμοκρασιακά προφίλ του κυλίνδρου σε απόσταση 5mm από την επιφάνειά του, για λόγους ευστάθειας των υπολογισμών. Εννοείται πως η θέρμανση αλλά και η ψύξη συμβαίνουν απ' το εσωτερικό προς το εξωτερικό. Τα δύο προφίλ που αποκτήσαμε σε απόσταση 145 mm από το κέντρο, για διάφορες τιμές του k , τόσο για τη θέρμανση όσο και για την ψύξη, φαίνονται στα ακόλουθα διαγράμματα των Εικόνων 33 και 34:



Εικόνα 33: Προφίλ θερμοκρασίας - ΘΕΡΜΑΝΣΗ



Εικόνα 34: Προφίλ θερμοκρασίας - ΨΥΞΗ

Όπως παρατηρούμε και στις δύο περιπτώσεις, η διαδικασία ψύξης - θέρμανσης ολοκληρώνεται σε 8 ώρες που είναι το ζητούμενο χρονικό διάστημα. Ο συντελεστής k παίζει ρόλο, αλλά για τιμές γύρω απ' τη μέση τιμή του 1 W/m.K που αναφέρεται στη βιβλιογραφία για το οπλισμένο σκυρόδεμα, δεν δίνει σημαντικά διαφορετικά αποτελέσματα.

Μπορούμε, λοιπόν, με σχετική ασφάλεια να περιμένουμε πως ο κάθε κύλινδρος θα θερμαίνεται και θα αποθερμαίνεται σε 8 ώρες. Μιας και η θερμοχωρητικότητα του είναι 13.2 kWh , η ισχύς του θα είναι $13.2/8 \approx 1.65 \text{ kW}$. Αφού η ισχύς κάθε module του συστήματος συλλογής είναι 2.5 kW , κατά τη διαστασιολόγηση του συστήματος κάθε module θα είναι καλό να συνοδεύεται από $1,5$ κύλινδρο αποθήκευσης. Στην πράξη η τιμή αυτή θα γίνεται 1 λόγω των απωλειών αλλά και ενός επιθυμητού περιθωρίου ασφαλείας.

4.3 Διάταξη ελέγχου/αυτοματισμού, tracking και κυκλοφορίας.

Το σύστημα που μέχρι τώρα έχουμε σχεδιάσει χρειάζεται να εξοπλιστεί με αυτοματισμούς όσον αφορά δύο λειτουργίες, το tracking του υποσυστήματος συλλογής και την κυκλοφορία του συστήματος αποθήκευσης. Παρακάτω αναλύουμε τους δύο μηχανισμούς:

- 1. Το tracking του συστήματος συλλογής.** Η λογική του tracking είναι να παρακολουθεί την πορεία του ηλίου στον ουρανό, ώστε το άνοιγμα (aperture) της παραβολικής συλλεκτικής επιφάνειας να είναι πάντα κάθετο στις ακτίνες του ηλίου. Το 'πάντα' φυσικά είναι προσεγγιστικό

μιας και πραγματικά συνεχές tracking δεν είναι εύκολο να κατασκευαστεί για μια σειρά τεχνικών λόγων. Ούτε, όμως και χρειάζεται. Σύμφωνα με γεωμετρικούς υπολογισμούς [5] αρκεί να γίνεται tracking με ακρίβεια 1°. Τότε οι ακτίνες του ηλίου συλλέγονται πάνω στη μαύρη σωλήνα απορρόφησης χωρίς σοβαρές απώλειες. Το τόξο που διαγράφει ο ήλιος στις 39° γεωγραφικό πλάτος (Θεσσαλία) και στις 3 χαρακτηριστικές ημερομηνίες του έτους είναι [15]:

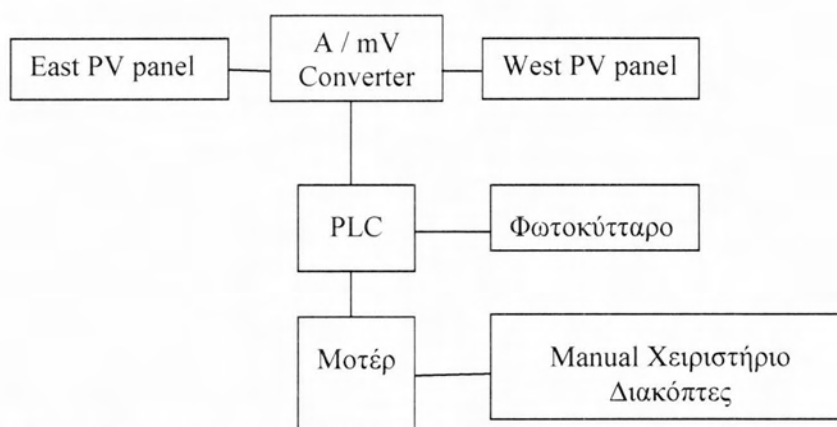
	Ακραία αζιμούθια	Τόξο σε °	Ωρες ηλιοφάνειας	Γωνιακή ταχύτητα σε ° / ώρα
Χειμ. Ηλιοστάσιο	-40° ... +40°	80°	9	9
Ισημερίες	-90° ... +90°	180°	12	15
Θερ. Ηλιοστάσιο	-120° ... +120°	240°	15	16

Πίνακας 6: Ηλιακό τόξο στη Θεσσαλία

Μιας και εμείς ενδιαφερόμαστε κυρίως για εφαρμογές ψύξης, μας αφορά η καλοκαιρινή εποχή μεταξύ των δύο ισημεριών και δια του θερινού ηλιοστασίου. Άρα το τόξο θα είναι από 180° έως 240 ° και η μέση διάρκεια της ημέρας $(12+15)/2=13,5$ ώρες. Η μέση γωνιακή ταχύτητα του συστήματος του ηλίου είναι 15,5°/h. Εφόσον κάνουμε tracking με βήμα 1° αυτό σημαίνει ότι το σύστημά μας θα κινείται περίπου κάθε 4 min. Κατά τη διάρκεια της ημέρας το μοτέρ κίνησης θα κάνει $13,5*60/4\approx 200$

εκκινήσεις με μέσο χρόνο λειτουργίας που θα εξαρτάται απ' τις κατασκευαστικές λεπτομέρειες, αλλά οπωσδήποτε < 4 min.

Ο τρόπος που προτείνουμε να χρησιμοποιηθεί για την οδήγηση του μοτέρ είναι ανάλογος με αυτόν που χρησιμοποιείται σε φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις, μιας και εδώ το ζητούμενο είναι η μέγιστη ηλιοφάνεια. Στο ακόλουθο διάγραμμα φαίνεται η διάταξη του αυτοματισμού με τα σημαντικότερα μέρη της:

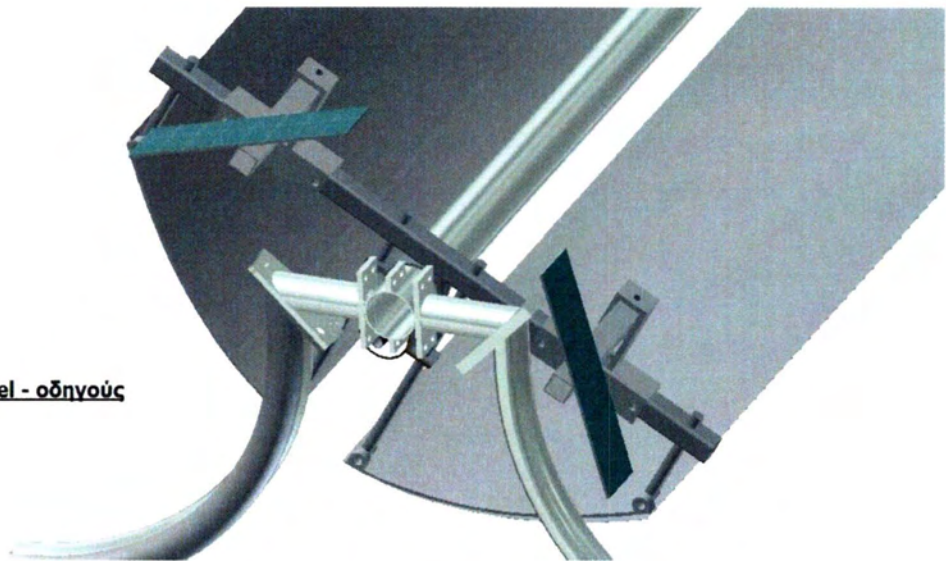


Εικόνα 35: Διάταξη αυτοματισμού tracking

Χρησιμοποιούνται 2 μικρά φωτοβολταϊκά panel στερεωμένα πάνω στον κεντρικό σωλήνα του πρώτου module. Μεταξύ τους σχηματίζουν γωνία 90° και η διχοτόμος αυτής της γωνίας από κατασκευή θα είναι κάθετη στο επίπεδο του ανοίγματος της συλλεκτικής επιφάνειας. Η διαδικασία tracking θα φροντίζει να είναι πάντα και στο επίπεδο της ηλιακής ακτίνας.

Ο τρόπος τοποθέτησης φαίνεται στην επόμενη Εικόνα 36:

Module με Panel - οδηγούς



Εικόνα 36: Panel - Οδηγοί

Τα panel παράγουν ρεύμα της τάξης των 2-3 A. Αν τα δύο panel έχουν τις ηλιακές ακτίνες στη διχοτόμο της γωνίας τους, αυτό σημαίνει ότι οι ακτίνες είναι κάθετες στο επίπεδο του ανοίγματος της παραβολικής συλλεκτικής επιφάνειας και επομένως δεν υπάρχει λόγος κίνησης του μοτέρ. Τα δύο ρεύματα μετατρέπονται σε μικροτάσεις (mV) στον μετατροπέα και οι μικροτάσεις αυτές τροφοδοτούνται στο PLC, το οποίο τις συγκρίνει. Αν η διαφορά τους ξεπεράσει ένα όριο, που εμείς θέτουμε, τότε κινεί το μοτέρ αριστερά ή δεξιά προς την κατεύθυνση της μεγαλύτερης τάσης, άρα και μεγαλύτερης ηλιοφάνειας, μέχρι η διαφορά να μηδενισθεί. Το όριο για τη διαφορά που εμείς θέτουμε αντιστοιχεί στην ευαισθησία του tracking (δηλαδή στη 1° που αναφέραμε παραπάνω). Το PLC δέχεται και είσοδο από ένα φωτοκύτταρο μεταβλητής ευαισθησίας που ανιχνεύει φωτεινότητα πάνω από ένα όριο, επίσης οριζόμενο απ' το χειριστή. Οι παραπάνω κινήσεις γίνονται μόνο αν η φωτεινότητα είναι πάνω απ' αυτό το όριο. Αυτό συμβαίνει για να μην γίνονται άσκοπες κινήσεις τη νύχτα ή σε μέρες με συννεφιά που το σύστημα δεν αποδίδει. Τέλος, θα υπάρχει και

χειροκίνητο χειριστήριο και επιλογέας – διακόπτης μεταξύ αυτόματου και χειροκίνητου ελέγχου.

Ο Προγραμματισμός της αυτόματης λειτουργίας στο PLC, σε συμβολική γλώσσα, θα είναι:

` Συνεχείς ηλεκτρικές ενδείξεις

Irr = <Ενδειξη Φωτοκύτταρου>

West = <Ενδειξη mV δυτικού panel>

East = <Ενδειξη mV ανατολικού panel>

` Ορισμοί

Lower:= (Οριζόμενη απ' το χρήστη κατώτερη αποδεκτή ένδειξη Irr)

D1:=(Οριζόμενο απ' το χρήστη κατώφλι διαφοράς για δυτική κίνηση)

D2:=(Οριζόμενο απ' το χρήστη κατώφλι διαφοράς για ανατολική κίνηση)

WE:=West-East

EW:=East-West

` Κύριο μέρος Κωδικα

Do while Irr>Lower

 If WE>D1 then do

 [move west] (*τάση στο δυτικό ρελέ*)

 Until WE=0

 Else if EW>d2 then do

 [move east] (*τάση στο ανατολικό ρελέ*)

 Until EW=0

 Endif

 Endif

Enddo.

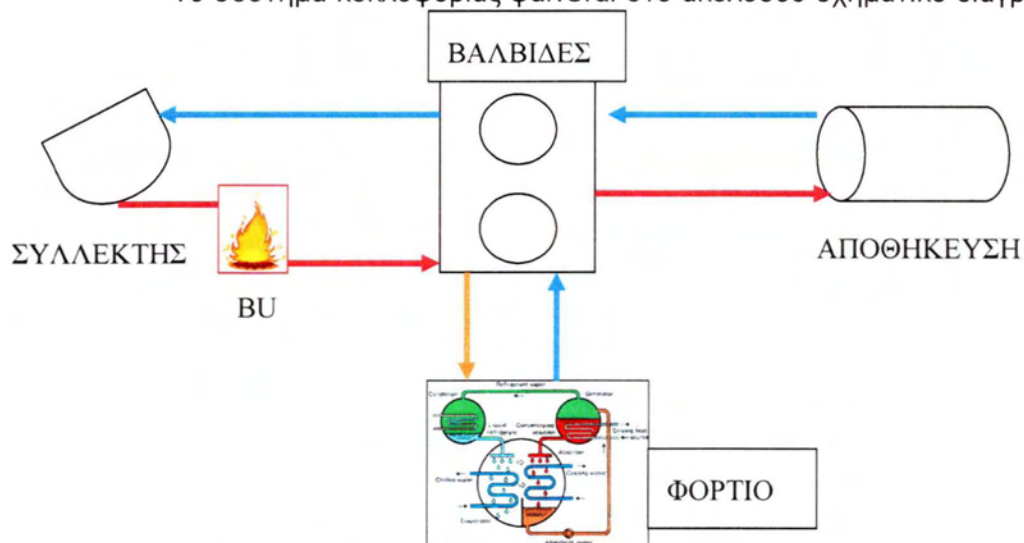
Η τάση στα ρελέ θα δίνεται με το μεταγωγικό διακόπτη AUTO – MANUAL στη θέση AUTO, αλλιώς από τους χειροκίνητους διακόπτες ANATOLH – ΔΥΣΗ. Ο χειριστής θα μπορεί ανά πάσα στιγμή να πάρει το έλεγχο απ' το PLC και να κινήσει το σύστημα.

Μόλις επαναφέρει τον μεταγωγικό διακόπτη στη θέση ΑΥΤΟ, το σύστημα μέσω της διαδικασίας που περιγράψαμε θα βρει τη θέση μέγιστης ηλιοφάνειας. Δεν χρειάζεται να τονίσουμε πως ανατολικά θα κινηθεί μόνο στο πρώτο φως της μέρας και για να αποκαταστήσει χειροκίνητο αποπροσανατολισμό, ενώ κανονικά θα κινείται μόνο δυτικά και μέχρι να νυχτώσει. Αν κατά τη διάρκεια της ημέρας προκύψει συννεφιά που θα κατεβάσει την ακτινοβολία κάτω απ' την ελάχιστη αποδεκτή, τότε η κίνηση θα σταματήσει. Αν ξαναβγει ο ήλιος τότε το σύστημα θα τον εντοπίσει, αλλιώς θα παραμένει ακίνητο.

Το προτεινόμενο σύστημα συλλογής έχει μελετηθεί στατικά και είναι επαρκές για ταχύτητες ανέμου μέχρι 30m/sec, σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα -1. Αυτό σημαίνει άνεμο μεγέθους 11 της κλίμακας Μποφόρ. Η επάρκειά του είναι αρκετή και δεν χρειάζεται άλλα μέσα προστασίας.

2. Ο αυτοματισμός του συστήματος κυκλοφορίας.

Το σύστημα κυκλοφορίας φαίνεται στο ακόλουθο σχηματικό διάγραμμα:



Εικόνα 37: Αυτοματισμός του συστήματος κυκλοφορίας

Με BU συμβολίζεται η εναλλακτική πηγή θερμότητας, πχ. Καυστήρας βιομάζας. Στο σύστημα υπάρχουν 3 θερμομέτρα, οι ενδείξεις των οποίων είναι:

- T_{Σ} : Η θερμοκρασία στην έξοδο του συστήματος συλλογής
- T_A : Η θερμοκρασία στην έξοδο του συστήματος αποθήκευσης
- T_{Φ} : Η θερμοκρασία στην είσοδο του φορτίου (όπου φορτίο μπορεί να είναι ο ψύκτης απορρόφησης).

Ο έλεγχος ροής του θερμικού υγρού γίνεται με τη βοήθεια 2 3-άδων βαλβίδων, μιας για το θερμό και μιας για το ψυχρό υγρό. Οι βαλβίδες είναι στην ουσία ηλεκτροβάνες που ανοιγοκλείνουν ενεργοποιούμενες από ρελέ. Τα ρελέ με τη σειρά τους παίρνουν τάση από το PLC του συστήματος κυκλοφορίας. Εδώ σημειώνουμε ότι αυτό είναι διαφορετικό από το PLC του συστήματος συλλογής. Το δεύτερο τροφοδοτείται από ένα από τα ρελέ που ελέγχει το πρώτο. Δηλαδή, το σύστημα κυκλοφορίας 'ανάβει' και 'σβήνει' το σύστημα συλλογής.

Για την υλοποίηση του συστήματος χρειάζονται 6 ρελέ, ως εξής:

- ΣΑ : Ανοίγει τις ηλεκτροβάνες για κυκλοφορία Συλλέκτες – Αποθήκευση
- ΣΦ : Ανοίγει τις ηλεκτροβάνες για κυκλοφορία Συλλέκτες – Φορτίο
- ΑΦ : Ανοίγει τις ηλεκτροβάνες για κυκλοφορία Αποθήκευση – Φορτίο
- ΣΥ : Ενεργοποιεί το υποσύστημα συλλογής
- ΑΝ : Ενεργοποιεί την αντλία
- ΒU : Ενεργοποιεί την εναλλακτική πηγή θερμότητας.

Η λειτουργία του συστήματος στηρίζεται στα παρακάτω:

Το φορτίο ενεργοποιείται με διακόπτη (ή ενδεχομένως άλλο αυτοματισμό σε πιο σύνθετες εφαρμογές). Εάν αυτό δεν συμβαίνει οι συλλέκτες θερμαίνουν τους κυλίνδρους και μετά σβήνει το PLC τους. Αυτό σημαίνει ότι σε 4 min χάνουν τη στόχευσή τους και η θέρμανση του υγρού σταματά.

Ενώ το φορτίο είναι σε λειτουργία, αυτό τροφοδοτείται κατά προτεραιότητα από

- Τους Συλλέκτες
- Την Αποθήκευση
- Το Back Up σύστημα

Οι παράμετροι που εισάγουμε στο σύστημα είναι:

$T_{\Sigma\max}$: Η μέγιστη επιτρεπτή θερμοκρασία των συλλεκτών

$T_{\Phi\max}$: Η μέγιστη επιτρεπτή θερμοκρασία του φορτίου

$T_{\Phi\min}$: Η ελάχιστη επιτρεπτή θερμοκρασία του φορτίου.

Ο κώδικας σε συμβολική γλώσσα που υλοποιεί τα παραπάνω, είναι ο ακόλουθος:

` Συνεχείς ηλεκτρικές ενδείξεις

T_{Σ} =< Η θερμοκρασία στην έξοδο του συστήματος συλλογής>

T_A =<Η θερμοκρασία στην έξοδο του συστήματος αποθήκευσης>

T_{Φ} =<Η θερμοκρασία στην είσοδο του φορτίου>

` Ορισμοί

ΦΟΡΤΙΟ = ON / OFF (Δικόπτης Φορτίου)

$T_{\Sigma\max}$: =Η μέγιστη επιτρεπτή θερμοκρασία των συλλεκτών

$T_{\Phi_{\max}}$: =Η μέγιστη επιτρεπτή θερμοκρασία του φορτίου
 $T_{\Phi_{\min}}$: =Η ελάχιστη επιτρεπτή θερμοκρασία του φορτίου.

Κύριο μέρος Κωδικα

Do while <ΦΟΡΤΙΟ OFF>

[Switch AN OFF] (κλείνει η αντλία)

DO while ($T_{\Sigma} < T_{\Sigma_{\max}}$ and $T_{\Sigma} > T_A$)

[Switch ΣΑ ON] (ανοίγουν οι βάνες ΣΑ)

[Switch ΣΦ OFF] (κλείνουν οι βάνες ΣΦ)

[Switch ΑΦ OFF] (κλείνουν οι βάνες ΑΦ)

[Switch AN ON] (ανοίγει η αντλία)

End Do

If $T_{\Sigma} = T_{\Sigma_{\max}}$ then

[Switch ΣΥ OFF] (διακόπτονται οι συλλέκτες)

[Switch AN OFF] (κλείνει η αντλία)

End if

End Do

Do while <ΦΟΡΤΙΟ ON>

[Switch AN OFF] (κλείνει η αντλία)

Do while $T_{\Phi} < T_{\Phi_{\max}}$

[Switch BU OFF] (διακόπτεται το Back Up)

Do while $T_{\Sigma} > T_{\Phi_{\min}}$

[Switch ΣΦ ON] (ανοίγουν οι βάνες ΣΦ)

[Switch ΣΑ OFF] (κλείνουν οι βάνες ΣΑ)

[Switch ΑΦ OFF] (κλείνουν οι βάνες ΑΦ)

[Switch AN ON] (ανοίγει η αντλία)

End Do

Do while $T_A > T_{\Phi_{\min}}$

[Switch ΑΦ ON] (ανοίγουν οι βάνες ΑΦ)

[Switch ΣΦ OFF] (κλείνουν οι βάνες ΣΦ)


```
[Switch ΣΑ OFF] (κλείνουν οι βάνες ΣΑ)
[Switch ΑΝ ON] (ανοίγει η αντλία)
End Do
[Switch ΒU ON] (ενεργοποιείται το Back Up)
[Switch ΣΦ ON] (ανοίγουν οι βάνες ΣΦ)
[Switch ΣΑ OFF] (κλείνουν οι βάνες ΣΑ)
[Switch ΑΦ OFF] (κλείνουν οι βάνες ΑΦ)
[Switch ΑΝ ON] (ανοίγει η αντλία)
End Do
End Do.
```

5. Σύνοψη, Συμπεράσματα

Το σύστημα που μελετήσαμε και περιγράψαμε στην παρούσα διπλωματική εργασία αξιοποιεί το υψηλό ηλιακό δυναμικό της περιοχής της Θεσσαλίας προς χρήση σε διάφορες εφαρμογές, με την μεγαλύτερη προστιθέμενη αξία να παράγεται όταν υποστηρίζει συστήματα ψύξης απορρόφησης. Το σύστημα περιλαμβάνει ένα υποσύστημα συλλογής από παραβολικά κάτοπτρα και ένα υποσύστημα αποθήκευσης θερμότητας σε κυλίνδρους από μπετόν. Τα δύο υποσυστήματα ελέγχονται από διατάξεις αυτοματισμού που παραμετροποιούνται απ' το χειριστή και ενεργοποιούνται απ' το εξυπηρετούμενο φορτίο (ψύκτη απορρόφησης). Το κάθε module συλλογής είναι ισχύος 2,5 kW και, στον προτεινόμενο ημερήσιο κύκλο, συνδυάζεται με 1 κύλινδρο αποθήκευσης χωρητικότητας 13,5 kWh. Το κόστος κατασκευής είναι € 125 - € 150 / kW για το σύστημα συλλογής, δηλαδή μέχρι € 375 για κάθε module. Το κόστος του συστήματος αποθήκευσης είναι € 3 / kWh, ή € 40 για κάθε κύλινδρο. Στο κόστος περιλαμβάνεται και το κόστος του μονωτικού περιβλήματος. Τέλος ένα overhead

κόστος για το υποσύστημα ελέγχου και κυκλοφορίας, υπολογίζεται σε περίπου € 3.000 ανά εγκατάσταση. Τα κόστη αυτά περιλαμβάνουν και όλα τα εργατικά, διαθέτουν περιθώριο σφάλματος 50 % και ανακεφαλαιώνονται στον παρακάτω Πίνακα 7 :

	Μονάδα Κόστους	Κόστος Μονάδος (€)
Υποσύστημα Συλλογής	kW (p)	150
Υποσύστημα Αποθήκευσης	kWh (s)	3
Υποσύστημα Ελέγχου	εγκατάσταση	3000
Συνολικό κόστος	(€) $3000 + 150 * p + 3 * s$, ανά εγκατάσταση	

Πίνακας 7: Σύνοψη Κόστους Συστήματος

Στα παραπάνω κόστη δεν περιλαμβάνεται το εφεδρικό σύστημα παραγωγής θερμότητας, γιατί αυτό συνήθως έχει και άλλες χρήσεις και δεν θα χρησιμοποιείται αποκλειστικά απ' το προτεινόμενο σύστημα. Ο παραπάνω πίνακας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την διαστασιολόγηση και την οικονομοτεχνική ανάλυση ενεργειακών συστημάτων για την παραγωγή θερμότητας ή ψύχους σε 24ωρη βάση όταν υψηλά επίπεδα ηλιοφάνειας είναι διαθέσιμα. Για εφαρμογές ψύξης στη Θεσσαλία την καλοκαιρινή περίοδο, ένα ποσοστό κάλυψης των αναγκών 85 % μπορεί να επιτευχθεί, ενώ αν ένα εφεδρικό σύστημα παραγωγής θερμότητας καλύψει το υπόλοιπο 15 %, το αποτέλεσμα είναι η πλήρης αυτονομία.

Βιβλιογραφία

- [1] Balaras A. Constantinos, e.a “Solar air conditioning in Europe—an overview”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier, 11-2-2005.
- [2] Spalber, W. e.a., “Overview On World Wide Installed Solar Cooling Systems”, 2nd International Conference Solar Air Conditioning, Tarragona – Spain, October 2007
- [3] Coroyannakis P. e.a “Solar Cooling – Overview and Reccomendations” *ISLENET – SOLCO Project*, www.solcoproject.org
- [4] SAIC (Science Applications International Corporation) – Canada, “COMPACT THERMAL ENERGY STORAGE TECHNOLOGY” Assessment Report, May 2013
- [5] Duffie A. John, Beckman A. William, “Solar Engineering of Thermal Processes”, 2nd ed. 1980, John Wiley & sons Inc.
- [6] www.weatheronline.gr
- [7] Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010, ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ
- [8] Σύγχρονη Τεχνική Επιθεώρηση, Τεύχος Σεπτ. 2008
- [9] Soltigua PTM Parabolic Through Collector, Brochure & Datasheet
- [10] Barnes S. Frank, Levine G. Jonah, “Large Energy Systems Storage Handbook”, 2011, Taylor & Francis Group, LLC.

- [11] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. in der Helmholtz – Gemeinschaft, Institute of Technical Thermodynamics, Brochure & Datasheet (www.dlr.de/tt)
- [12] KBA-CleanAir , KBA-MetalPrint GmbH, Stuttgart, Brochure & Datasheet (www.kba-metalprint.com)
- [13] Cristopia, CIAT Energy Storage, Brochure & Datasheet (www.ciat.com)
- [14] Markus Koschenz, Viktor Dorer, ‘Interaction of an air system with concrete core conditioning’, *EMPA, Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research, Section 175 Building Equipment, CH-8600 Dübendorf, Switzerland.*
- [15] PVSYST, www.pvsyst.com

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000124081

