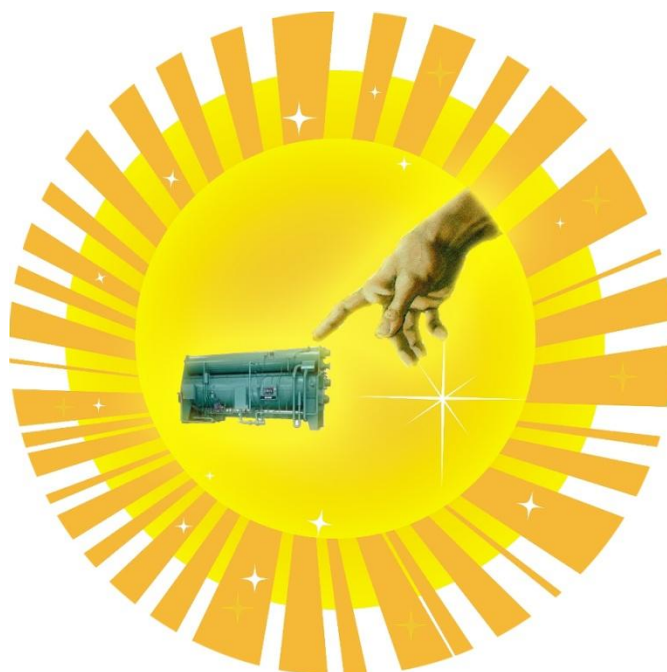




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΨΥΞΗΣ
ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ ΤΡΙΤΟΓΕΝΟΥΣ ΤΟΜΕΑ



ΔΡΙΒΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΕΙΡΗΝΗ ΚΟΡΩΝΑΚΗ
ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2010

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	5
1 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	6
1.1 Περί των Α.Π.Ε.....	6
1.2 Ηλιακή Ενέργεια και Ψύξη.....	7
1.2.1 Ηλιακή Ενέργεια στη Χώρα μας.....	8
1.2.2 Ηλιακή Ψύξη.....	9
1.2.3 Κατανάλωση Ενέργειας.....	11
1.2.4 Επιβεβλημένες Αλλαγές Κατανάλωσης Ενέργειας.....	12
1.2.5 Στόχοι σε Ευρωπαϊκό Επίπεδο.....	14
1.2.6 Στόχοι και Υποχρεώσεις της Ελλάδα.....	16
1.2.7 Περιβαλλοντικά οφέλη.....	17
1.2.8 Οικονομικά και αναπτυξιακά οφέλη.....	17
1.2.9 Η Αγορά Ηλιακών Συλλεκτών.....	18
2 Ηλιακή Ενέργεια.....	21
2.1 Ο χορηγός Ήλιος.....	21
2.2 Βασικές γωνίες της Ηλιακής Ακτινοβολίας στη Γη.....	24
2.2.1 Γεωγραφικό πλάτος φ	24
2.2.2 Απόκλιση του ήλιου δ	25
2.2.3 Ωριαία γωνία του ήλιου ω	25
2.2.4 Αζιμούθιο επιφάνειας γ	26
2.2.5 Κλίση επιπέδου β	26
2.2.6 Η μαθηματική συσχέτιση των προαναφερθέντων γωνιών.....	27
2.3 Άμεσος και διάχυτη ακτινοβολία.....	28
2.4 Πρακτικοί Κανόνες για την Συλλογή της Μέγιστης Ηλιακής Ακτινοβολίας.....	29
2.4.1 Άμεση Ακτινοβολία.....	29
2.4.2 Ολική Ακτινοβολία.....	31
2.4.3 Βάσει μεταβολή της έντασης κατά τη διάρκεια της ημέρας.....	32

2.5	Ηλιακοί συλλέκτες.....	33
2.5.1	Επίπεδοι συλλέκτες.....	33
2.5.2	Συλλέκτες με σωλήνες κενού	34
2.5.3	Σύγκριση Ηλιακών Συλλεκτών και Εφαρμογές τους.....	35
3	Ηλιακή Ψύξη	40
3.1	Συστήματα Κλειστού τύπου για ψύξη με χρήση της ηλιακής ενέργειας	
3.1.1	Τύπου Rankine με συμπιεσμένο ατμό	40
3.1.2	Σύστημα Ψύξης με Ψεκασμό.....	42
3.2	Ιστορικά Στοιχεία για τη Ψύξη με Απορρόφηση.....	43
3.3	Ψύκτες με Απορρόφηση.....	44
3.4	Εργαζόμενα Μέσα στους Ψύκτες Απορρόφησης.....	46
3.5	Ψυκτικός Κύκλος με NH ₃ -H ₂ O	47
3.6	Ψυκτικός Κύκλος με H ₂ O-LiBr.....	48
4	Ψύκτης Απορρόφησης Βρωμιούχου-Λιθίου (LiBr).....	49
4.1	Θερμοδυναμική Ανάλυση.....	49
4.2	Τα κύρια μέρη ενός ψύκτη απορρόφησης.....	51
4.3	Αλλαγές Παραμέτρων και Μεταβολές που Προκαλούνται	54
4.3.1	Θερμοκρασία εισόδου στον αναγεννητή	54
4.3.2	Θερμοκρασία εισόδου ψυχρού ρεύματος.....	55
4.3.3	Παροχή μάζας του διαλύματος	55
4.3.4	Παροχή μάζας θερμού ρεύματος.....	56
4.3.5	Θερμοκρασία εισόδου ψυχόμενου ρεύματος	56
4.3.6	Πτώση πίεσης μεταξύ ατμοποιητή και απορροφητήρα	56
4.3.7	Αλλαγή των συντελεστών μεταφοράς θερμότητας των διαφόρων εναλλακτών της μηχανής	57
4.4	Το Φαινόμενο της Κρυσταλλοποίησης Αίτια και Επιπτώσεις.....	57
4.5	Απορροφητής.....	60
4.6	Ψύκτες με απορρόφηση διφόρων τύπων	64
4.7	Σύγκριση των Υφισταμένων Τεχνολογιών Ψύξης με Απορρόφηση	65
5	Προσομοίωση μέσω του TRNSYS	67

5.1	Περί του TRNSYS.....	67
5.2	Η προσομοίωση μας	69
5.2.1	Η δομή της προσομοίωσης	69
5.2.2	Ρυθμίσεις της προσομοίωσης.....	73
5.2.3	Τα μοντέλα της προσομοίωσης.....	74
6	Αποτελέσματα	113
7	Αποτελέσματα Συγκρίσεων	125
7.1	Ηλιακοί Συλλέκτες.....	126
7.2	Όγκος του Αποταμιευτήρα.....	129
7.3	Θερμοκρασία Εντός του Αποταμιευτήρα στη μη Λειτουργία.....	131
7.4	Συστημάτων Ελέγχου.....	132
8	Συμπεράσματα	133
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....	134
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ.....	136
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ	138
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	140

Πρόλογος

Το παρόν πόνημα που αποτελεί διπλωματική εργασία έχει ως σκοπό να γίνει μέσω του υπολογιστικού προγράμματος TRNSYS προσομοίωση του κλιματισμού ενός κτιρίου μανιάτικης αρχιτεκτονικής το οποίο πρόκειται να φιλοξενήσει εστιατόριο. Για τον κλιματισμό του χώρου επιλέχθηκε ηλιακή ψύξη με απορρόφηση με εργαζόμενο μέσω διάλυμα βρωμιούχου-λιθίου.

Στο πρώτο κεφάλαιο θα μιλήσουμε γενικά για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας τόσο στο επίπεδο της ηλεκτροπαραγωγής και στο επίπεδο που σε αυτό υπόκεινται και το παρόν σύστημα ηλιακής ψύξης, εκμετάλλευσης τους άμεσα σε διάφορες συσκευές δίχως να χρησιμοποιούμε είτε συμβατικά καύσιμα είτε απορρόφηση από το δίκτυο.

Στο δεύτερο κεφάλαιο θα αναφερθούμε ενδελεχώς στο τρόπο με τον οποίο η ηλιακή ενέργεια μέσω της ακτινοβολίας από τον Ήλιο συλλέγεται και ο τρόπος με τον οποίο αυτή δύναται να μεγιστοποιηθεί από μία επιφάνεια.

Στο τρίτο θα περιγράψουμε την φιλοσοφία της ηλιακής ψύξης και θα αναφερθούμε και σε κύκλους κλειστού τύπου αυτής ώστε να έχουμε ένα βαθμό σύγκρισης με της απορρόφησης που θα αναλυθεί παρακάτω.

Στο τέταρτο θα γίνει πλήρης περιγραφή των υποσυσκευών που συγκροτούν ένα ψύκτη απορρόφησης με βρωμιούχο-λίθιο και ανάλυση του τρόπου λειτουργίας του.

Στο πέμπτο θα περιγράψουμε τη προσομοίωση σε επίπεδο συνδέσεις μεταξύ των μοντέλων της προσομοίωσης αλλά και οι ρυθμίσεις στο κάθε ένα.

Στο έκτο θα παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης με ρυθμίσεις οι οποίες θα είναι συμβατικές προκειμένου να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα σε ένα πρώτο επίπεδο και να δούμε τη λειτουργία του όλου συστήματος.

Στο έβδομο θα γίνει και η βελτιστοποίηση του συστήματος μας στο επίπεδο των βασικών συσκευών τους ώστε να έχουμε την ελάχιστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, επιτυγχάνοντας θερμική άνεση στο χώρο του κτιρίου, καθώς αυτό να συμβιβάζεται με κατά το δυνατόν χαμηλότερο κόστος στην αρχική επένδυση. Στο όγδοο θα κλείσουμε τη παρούσα εργασία με τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τα άνωθεν.

Κλείνοντας θα ήθελα θερμά να ευχαριστήσω τη καθηγήτρια που επιμελήθηκε της εργασίας τη κυρία Ειρήνη Κορωνάκη τόσο για τις επιστημονικές γνώσεις που μου προσέφερε όσο και για την άψογη συνεργασία που είχαμε.

Δημήτριος Ι. Δρίβας

1 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Οι ΑΠΕ αποτελούν τις μοναδικές εκείνες πηγές ενέργειας που δεν επιβαρύνουν το περιβάλλον με CO₂ αυτό τις καθιστά εν δυνάμει να έχουν σημαντική συμβολή στη προσπάθεια μείωσης των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Η προσφορά τους όμως δεν περιορίζεται μόνο σε αυτό το πολύ σημαντικό βέβαια επίπεδο. Τα αποθέματα είναι ανεξάντλητα, η διαχείριση της ενέργειας που παράγουν είναι εύκολη ενώ σε ένα άλλο επίπεδο έχει θετικές κοινωνικό-οικονομικές επιπτώσεις στην περιφερειακή και τοπική ανάπτυξη. Το κόστος όλων αυτών τεχνολογιών βαίνει μειούμενο στο χρόνο.

Ενώ κάποιες από αυτές τις τεχνολογίες είναι ήδη ανταγωνιστικές. Στον αντίποδα οι επιπτώσεις από τη χρήση των συμβατικών καυσίμων όπως λιγνίτης(υψηλότερο) – άνθρακας – μαζούτ – πετρέλαιο – φυσικό αέριο(έλασσον) συνιστούν ένα μεγάλο περιβαλλοντικό κόστος.

1.1 Περί των Α.Π.Ε.

Οι χρήσεις των ΑΠΕ μπορούν να χωριστούν στους εξής τρεις τομείς:

- Άμεση χρήση ΑΠΕ
 - Θέρμανση και ψύξη στην χρήση αυτή αναφερόμαστε κυρίως στην ηλιακή ενέργεια , γεωθερμικής καθώς και σε βιοκαύσιμα
 - Βιοκαύσιμα στις Μεταφορές
- Έμμεση χρήση ΑΠΕ μέσω Ηλεκτρικής Ενέργειας

Συνολικά όπως διαπιστώνεται και από το παρακάτω πίνακα η κύρια μορφή ενέργεια που χρησιμοποιείται σήμερα έχει προέλευση της το λιγνίτη. Αυτό από την ανάλυση που έγινε παραπάνω θα είναι πολύ επιζήμιο έπειτα από την αύξηση των τιμών στην αγορά ρύπων που προβλέπεται στα επόμενα χρόνια .

	2004		2005		2006		2007		2008		2009	
ΠΑΡΑΓΩΓΗ	ΕΝΕΡΓΕΙΑ		ΕΝΕΡΓΕΙΑ		ΕΝΕΡΓΕΙΑ		ΕΝΕΡΓΕΙΑ		ΕΝΕΡΓΕΙΑ		ΕΝΕΡΓΕΙΑ	
	(MWH)	(%)	(MWH)	(%)	(MWH)	(%)	(MWH)	(%)	(MWH)	(%)	(MWH)	(%)
ΛΙΓΝΙΤΙΚΗ	32.491.449	58,01	32.056.619	55,39	29.165.171	49,20	31.092.884	50,78	29.870.292	48,20	30.541.596	51,71
Φ.Α	8.037.615	14,35	7.944.623	13,73	10.169.096	17,16	13.211.449	21,58	13.331.748	21,51	9.377.185	15,88
ΠΕΤΡΕΛΑΪΚΗ	7.134.965	12,74	7.915.036	13,68	8.104.041	13,67	8.266.934	13,50	8.598.394	13,87	6.629.516	11,22
ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ	4.158.925	7,43	4.573.747	7,90	5.619.663	9,48	2.020.771	3,30	1.777.256	2,87	4.568.730	7,74
ΣΗΘ/ΣΗΘΥΑ	10.317	0,02	14.395	0,02	9.114	0,02	34.028	0,06	34.792	0,06	144.122	0,24
ΕΙΣΑΓΩΓΕΣ-ΕΞΑΓΩΓΕΣ	2.820.579	5,04	3.780.910	6,53	4.202.388	7,09	4.354.191	7,11	5.613.967	9,06	4.367.697	7,40
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΠΕ	1.355.913	2,42	1.586.758	2,74	2.003.573	3,38	2.251.488	3,68	2.749.563	4,44	3.433.510	5,81
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΠΕ-ΥΗΕ	5.514.838	9,85	6.160.505	10,65	7.623.236	12,86	4.272.259	6,98	4.526.819	7,30	8.002.240	13,55
ΣΥΝΟΛΟ	56.009.763		57.872.088		59.273.046		61.231.745		61.976.012		59.062.356	

Πίνακας 1.1 Παραγωγή Ενέργειας από Κάθε Πηγή τα έτη 2004-2009 (Πηγή:www.rae.gr)

Στη χώρα μας βλέπουμε την αύξηση χρήσης των ΑΠΕ τα τελευταία χρόνια στο επίπεδο παραγωγής ενέργειας:

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΠΕ	ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW)			
	2005	2006	2007	2008
ΑΙΟΛΙΚΑ	576,09	749,27	853,62	1015,56
ΒΙΟΜΑΖΑ	20,54	37,58	37,57	39,4
ΜΥΗΣ	48,16	73,68	95,5	158,42
Φ/Β	0,51	0,68	0,74	10,98
ΣΥΝΟΛΟ	645,3	861,21	987,43	1224,36

Πηγή: ΔΕΣΜΗΕ, ΔΕΗ ΑΕ-Δ/νση Διαχείρισης Νησιών

Πίνακας 1.2 Εγκαταστημένη Ισχύς ΑΠΕ κατά τα έτη 2005-2009

Η Εξοικονόμηση ενέργειας, αποτελεί θα μπορούσαμε να πούμε μία περιοχή η οποία θα μας βοηθούσε ώστε να ήμασταν ενεργειακά πλουσιότεροι αποτελεί δηλαδή ένα πλούσιο κοιτάσμα ενέργειας οικονομικά και τεχνικά αξιοποιήσιμο. Μέσω των ΑΠΕ δύναται να επιτευχθεί δίχως μείωση των ενεργειών μας σε κατανάλωση ενέργειας. Αυτό γίνεται με την άμεση σύνδεση των συσκευών μας με μία ΑΠΕ χωρίς δηλαδή να γίνεται απομάστευση από το δίκτυο αλλά εκμετάλευση απευθείας από αυτήν.

1.2 Ηλιακή Ενέργεια και Ψύξη

Η χρήση της ηλιακής ενέργειας και οι λόγοι που την καθιστούν θα λέγαμε ως ένα βαθμό ακόμα και επιτακτική δεν είναι ούτε μονοσήμαντοι ούτε ελάχιστος σημασίας. Με τη συνεχή πρόοδο της επιστήμης η ενέργεια του ήλιου που εισέρχεται στην γήινη ατμόσφαιρα γίνεται εκμεταλλεύσιμη όχι μονάχα σε βαθμό μεγαλύτερο αλλά και σε ευρύτερο πλαίσιο εφαρμογών. Η μέχρι πρότινος χρησιμοποίηση της σε ηλιακούς συλλέκτες για θέρμανση του νερού σε οικιακό επίπεδο και μόνο επίπεδο έχει προ πολλού ξεπεραστεί.



Εικόνα 1.1α-Ηλιοθερμικός και 1.1β-Φωτοβολταϊκό Πάρκο

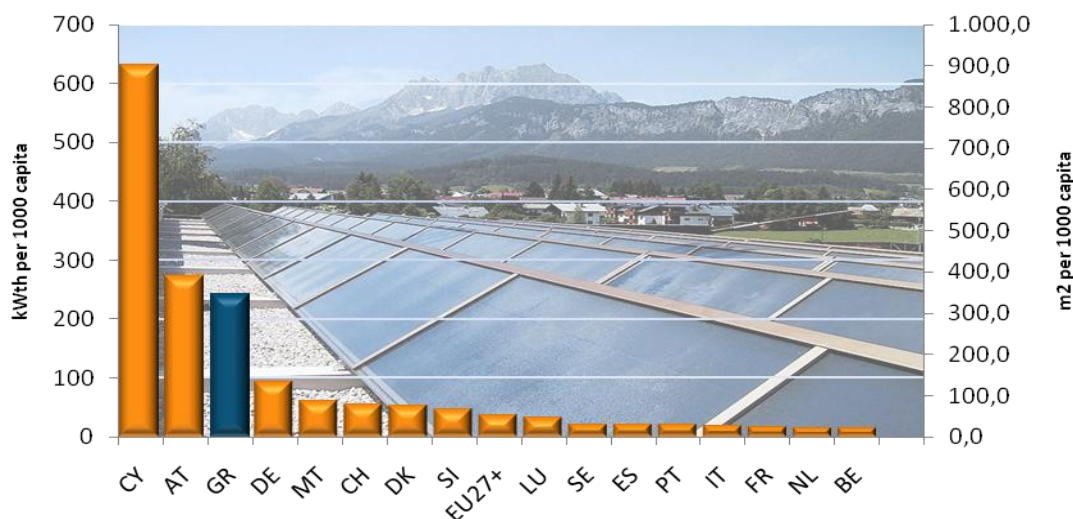
Σήμερα και βασιζόμενοι εν πολλοίς στις ίδιες αρχές υπάρχουν μεγάλοι ηλιοθερμικοί σταθμοί που παράγεται μέσω και της ηλιακής ενέργειας ηλεκτρική καθώς και χάρη στις ιδιότητες των ημιαγωγών η αξιοποίηση του

φωτοβολταϊκού φαινομένου η απευθείας δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος. Σε αυτά τα παραπάνω άλλος ένας τρόπος έρχεται να μπει στη λίστα με τις ευεργετικές σε ενεργειακό επίπεδο επιπτώσεις της ηλιακής ενέργειας και όσο παράδοξο και ακόμα και αντιφατικό να ακούγεται είναι η ηλιακή ψύξη με την οποία θ' ασχοληθούμε εμπειρισιακά στη συνέχεια της διπλωματικής εργασίας. . Θα γίνει μια παρουσίαση στη συνέχεια του μέρους αυτού της εισαγωγής να παρουσιαστούν σε ξεχωριστές κατηγορίες χωρίς αυτό να σημαίνει πως η κάθε τέτοια κατηγορία δεν βρίσκεται σε άμεση συσχέτιση με τις υπόλοιπες.

1.2.1 Ηλιακή Ενέργεια στη Χώρα μας

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι διαθέσιμη και μάλιστα σε επαρκή ποσότητα στη χώρα μας. Συγκεκριμένα, αναφορικά με την ηλιακή ενέργεια, η χώρα μας θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει ηλιακή ενέργεια για την κάλυψη μέχρι και του 1/3 των αναγκών της, αφού παράγει συνολικά 150.000 T.I.Π. (τόνους ισοδύναμου πετρελαίου) .Σε γενικό επίπεδο η χώρα μας βρίσκεται μέσα τις πρώτες χώρες στην αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας .

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται καθαρά ότι η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας δεν είναι στενά συνδεδεμένη με τις κλιματολογικές συνθήκες της κάθε χώρας. Νότιες χώρες όπως η Ελλάδα και η Κύπρος έρχονται στη 1η και 3η θέση, αλλά χώρες με το ίδιο γεωγραφικό πλάτος όπως η Ισπανία, Πορτογαλία ή Ιταλία υστερούν κατά πολύ του Ευρωπαϊκού μέσου όρου των 38 kWth/1 000 κατοίκους (54 τετραγωνικά μέτρα/1000 κατοίκους).



Ηλιακοί συλλέκτες σε kW_{th} και m² ανά 1000 κατοίκους

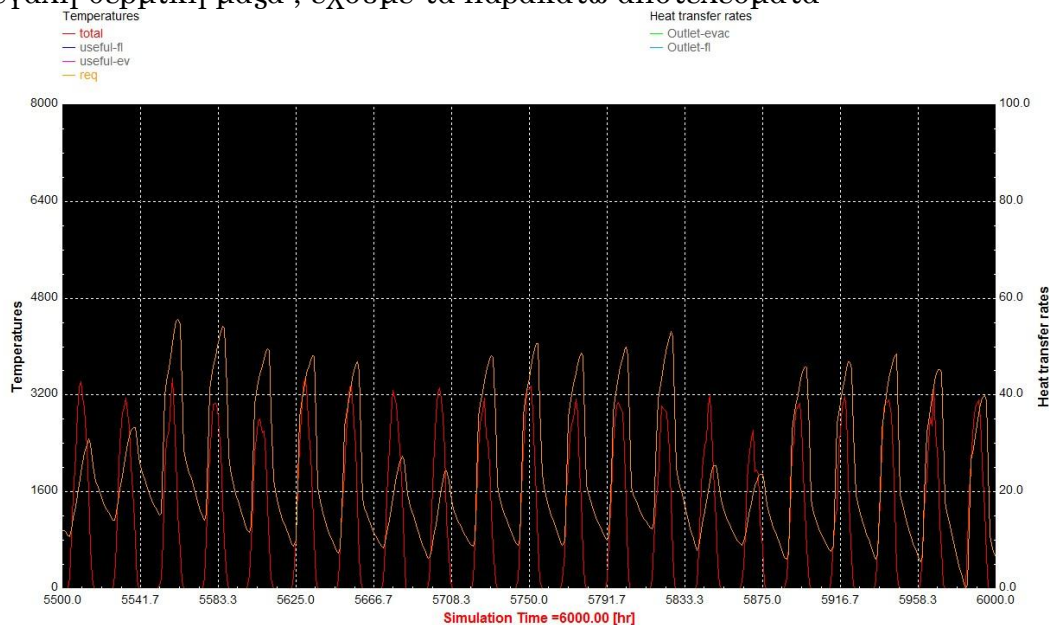
Διάγραμμα 1.1-Ισχύς Ηλιακών Συλλεκτών ανά 1000 Κατοίκους [39]

1.2.2 Ηλιακή Ψύξη

Οι ηλιακές τεχνολογίες ψύξης που παρουσιάζονται στην παρούσα έκδοση έχουν αποδείξει, κάποιες για διάρκεια μεγαλύτερη των δέκα ετών, την αποδοτικότητα και αξιοπιστία τους. Συνοπτικά η χρήση της ηλιακής ενέργειας για τη λειτουργία συστημάτων κλιματισμού χώρων είναι ελκυστική, δεδομένου ότι το ψυκτικό φορτίο συμπίπτει γενικά με τη διαθεσιμότητα της ηλιακής ενέργειας και επομένως οι απαιτήσεις σε ψύξη ενός κτιρίου συμπίπτει με την υψηλή ηλιακή ακτινοβολία. Τα συστήματα ηλιακής ψύξης έχουν το πλεονέκτημα ότι χρησιμοποιούν απολύτως αβλαβή ρευστά όπως το νερό, ή διαλύματα αλάτων για την λειτουργία τους. Είναι ενεργειακά αποδοτικά και περιβαλλοντικά φιλικά. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε ως αυτόνομα συστήματα, είτε σε συνδυασμό με συμβατικό κλιματισμό, για να βελτιώσουν την ποιότητα της ατμόσφαιρας του εσωτερικού όλων των τύπων κτιρίων. Ο κύριος στόχος είναι να χρησιμοποιηθούν τεχνολογίες "μηδενικών εκπομπών" με σκοπό τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών CO₂.

Μέσω του υπολογιστικού προγράμματος TRNSYS θα δώσουμε μια εικόνα για τη παραπάνω φράση του ότι η ψυκτικές ανάγκες βρίσκονται σε φάση με την ηλιακή ακτινοβολία.

Χρησιμοποιώντας το μοντέλο καιρού για την Αθήνα και τις ανάγκες για αφαίρεση θερμότητας από τα δεδομένα του σπιτιού ,που σημειωτέον έχει μεγάλη θερμική μάζα , έχουμε τα παρακάτω αποτελέσματα:

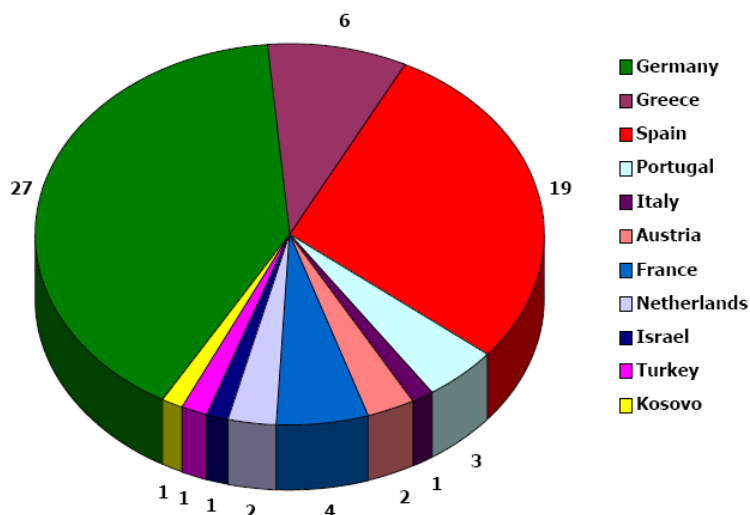


Διάγραμμα TRNSYS 1.1 Ηλιακών Κερδών Συλλέκτη και Απαιτούμενο Ψυκτικό Φορτίο

Με το πορτοκαλί χρώμα έχουμε τις ψυκτικές ανάγκες και με κόκκινο την ανά τετραγωνικό μέτρο ισχύς της ακτινοβολίας σε επίπεδο κλίσης 20° που είναι και η κλίση τοποθέτησης του συλλέκτη. Ο χρόνος που επιλέγει είναι τριών εβδομάδων και πρόκειται για τη περίοδο της τρίτης εβδομάδας του Ιουλίου μέχρι την δεύτερη του Αυγούστου.

Το 2004 στην Ευρώπη υπήρχαν εγκατεστημένα συνολικά 67 συστήματα ηλιακής ψύξης τα οποία:

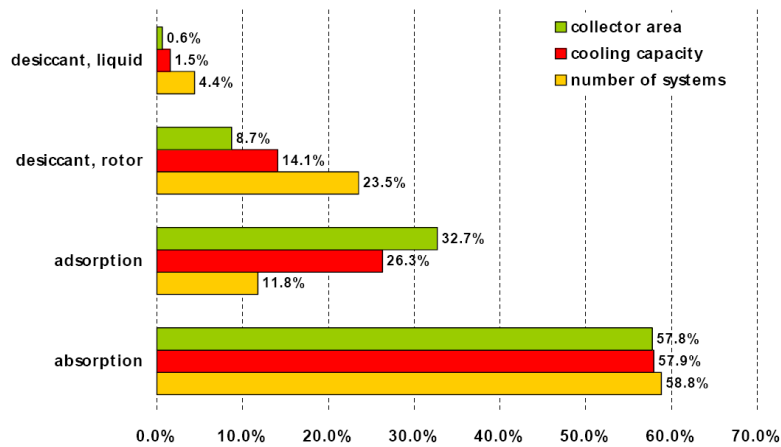
- Προσέφεραν 67 MW ισχύος
- Με χρήση 16700m² επιφάνειας ηλιακών συλλεκτών



Διάγραμμα 1.2- Κατανομής Συστημάτων Ηλιακής Ψύξης στην Ευρώπη [40]





Όπως βλέπουμε στο παραπάνω σχήμα στη χώρα μας μέχρι το 2004 είχαν εγκατασταθεί μόλις 6 τέτοια συστήματα. Ενώ λαμβάνοντας υπόψη τα εγκατεστημένα στη Γερμανία και την αντιστοιχη ηλιοφάνεια της θα μπορούσαμε εύκολα να συμπεράνουμε πως θα έπρεπε ο δικός μας αριθμός να είναι σαφώς μεγαλύτερος.

Στο παρακάτω διάγραμμα βλέπουμε το ποσοστό του κάθε είδους ηλιακής ψύξης σε επίπεδο χρήσης ηλιακών συλλεκτών, ψυκτικής ισχύος και αριθμού συστημάτων.



Διάγραμμα 1.3-ποσοστού επιφάνειας συλλέκτη, ψυκτικής ισχύος και αριθμού συστημάτων για Ηλιακή Ψύξη [24]

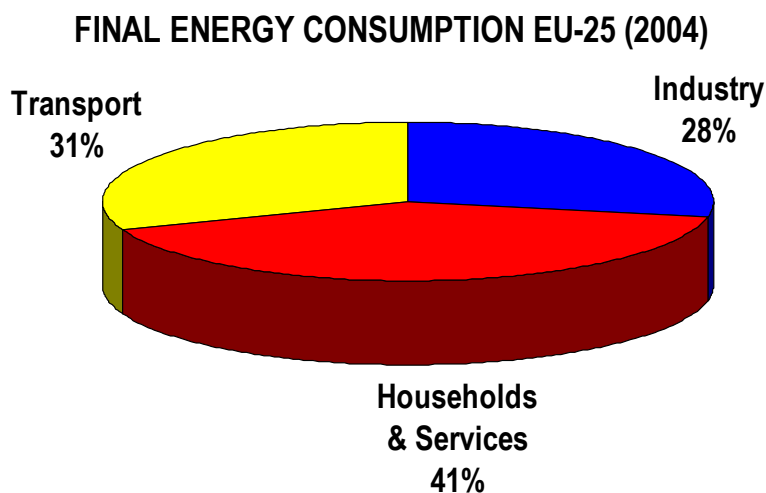
Ο παρακάτω πίνακας μας δίνει μια εποπτικά τη κατάσταση:

Method	Closed cycle		Open cycle	
Refrigerant cycle	Closed refrigerant cycle		Refrigerant (water) is in contact with the atmosphere	
Principle	Chilled water		Dehumidification of air and evaporative cooling	
Phase of sorbent	solid	liquid	solid	liquid
				
Typical material pairs	water - silica gel	water - lithium bromide ammonia - water	water - silica gel, water - lithium chloride	water - calcium chloride, water - lithium chloride
Market available technology	Adsorption chiller	Absorption chiller	Desiccant cooling	Close to market introduction
Typical cooling capacity (kW cold)	50 – 430 kW	15 kW – 5 MW	20 kW – 350 kW (per module)	
Typical COP	0.5 – 0.7	0.6 – 0.75 (single effect)	0.5 – >1	> 1
Driving temperature	60 – 90 °C	80 – 110 °C	45 – 95 °C	45 – 70 °C
Solar collectors	Vacuum tubes, flat plate collectors	Vacuum tubes	Flat plate collectors, solar air collectors	Flat plate collectors, solar air collectors

Πίνακας 1.3 Ηλιακών Συστημάτων Ψύξεως με Βασικά Χαρακτηριστικά αυτών [17]

1.2.3 Κατανάλωση Ενέργειας

Η οικονομική και τεχνολογική ανάπτυξη που παράλληλα συνοδεύεται με τη διαρκή βελτίωση του βιοτικού επιπέδου έχει ως αναγκαίο επακόλουθο τον πολλαπλασιασμό των ενεργειακών αναγκών. Η κύρια αύξηση προέρχεται από τον οικιακό και τον τριτογενή τομέα. Η αύξηση είναι τόσο ποσοτική όσο και ποιοτική.



Διάγραμμα 1.4-Ποσοστιαίο Μερίδιο Κατανάλωσης Ενέργεια ανά Τομέα στην Ευρώπη των 25 το έτος 2004(Πηγή:www.rae.gr)[17]

Η ανάγκη του σύγχρονου ανθρώπου για ένα περιβάλλον που θα του προσφέρει θερμική άνεση δημιουργεί όλο και περισσότερες απαιτήσεις για την ψύξη των κτιρίων μας. Για να δώσουμε μια τάξη μεγέθους αυτού να αναφέρουμε ότι ο οικιακός τομέας ήταν το 2006 ο μεγαλύτερος καταναλωτής ηλεκτρικής ενέργειας με 177 TWh ετήσια κατανάλωση σημειώνοντας ποσοστιαία αύξηση της τάξης του 94% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990, όταν η κατανάλωση του οικιακού τομέα ήταν 91 TWh. Τα νοικοκυριά αυτά συνήθως χρησιμοποιούν κοινά κλιματιστικά που λειτουργούν με ηλεκτρική ενέργεια. Για την παραγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος, ο λιγνίτης παραμένει το κατεξοχήν καύσιμο συμμετέχοντας κατά 69%, ενώ με την κατανάλωση πετρελαίου παράγεται περίπου το 20% του απαιτούμενου ηλεκτρικού φορτίου. Το υπόλοιπο 11% του ηλεκτρικού φορτίου καλύπτεται με τις υδατοπτώσεις και παράγεται από υδροηλεκτρικά εργοστάσια.

Η αιχμή ζήτησης παρουσίασε σημαντική αύξηση κατά τη έτη 2004-2007, όπως αποτυπώνεται στον ακόλουθο Πίνακα που ακολουθεί. Το ποσοστό συμμετοχής του τομέα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στη ζήτηση αιχμής είναι της τάξεως του 70% με ελαφρώς φθίνουσα τάση.

Έτος	Αιχμή (Nm ³ x 10 ⁶) / ημέρα	Ποσοστό συμμετοχή της ηλεκτροπαραγωγής στην ημερήσια αιχμή
2004	9,9	73%
2005	12,2	70%
2006	13,5	71%
2007	16,1	67%

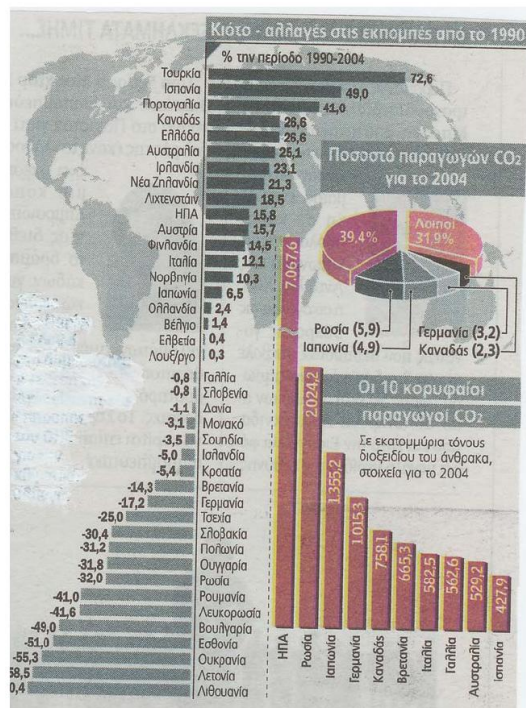
Πίνακας 1.4-Ποσοστιαίας Συμμετοχής του Λιγνίτη στη Παραγωγή Ενέργειας τα έτη 2004-2007(Πηγή:www.rae.gr)

Τα ευρωπαϊκά κτίρια:

- Καταναλώνουν το 40% της συνολικής ενέργειας
- Ευθύνονται για το 35% των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου
- 50% των εκπομπών SO₂, 35% των εκπομπών CO₂,
- 25% των εκπομπών NO_x και 10% των εκπεμπόμενων σωματιδίων
- Καταναλώνουν το 35% των πρώτων υλών
- Ευθύνονται για το 10-35% των δομικών αποβλήτων
- Είναι ένας από τους μεγαλύτερους τελικούς καταναλωτές ενέργειας.

1.2.4 Επιβεβλημένες Αλλαγές Κατανάλωσης Ενέργειας

Φυσικά, η αναμενόμενη μείωση της ζήτησης είναι μακροπρόθεσμα πεπερασμένη, λόγω επιστημονικών (αδυναμία υπέρβασης των νόμων της φύσης) ή οικονομικών περιορισμών (εκθετική αύξηση του οριακού κόστους). Έχουμε όμως να διανύσουμε τεράστια απόσταση στη χώρα μας, μέχρι να φτάσουμε στο σημείο αυτό.



Σχ.1.1-Διάγραμμα με τις Απαιτήσεις του Κιότο (Πηγή:www.naftemporiki.gr)

Την ανάγκη ύπαρξης ενός ανασταλτικού παράγοντα για τη χρήση αυτών των μορφών ενέργειας αποτελεί ο ενεργειακός φόρος. Αυτό εκτός από ένα τροχοπέδι έρχεται να διορθώσει τις μη εύκολα αντιληπτές σε οικονομικό κόστος της περιβαλλοντικής καταστροφής. Έτσι, η αυξημένη τιμή θα αποτελούσε αντικίνητρο στην ενεργειακή σπατάλη και θα βοηθούσε στη μείωση των εκπομπών του CO₂.

Με αυτές τις αρχές έχει διαμορφωθεί ένα νέο πολιτικό και νομοθετικό πλαίσιο σε διεθνές, ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο με βάση το οποίο προτείνεται η εξοικονόμηση ενέργειας και η χρήση ήπιων τεχνολογιών και μορφών ενέργειας προκειμένου να μειωθούν συνολικά οι επιπτώσεις στο περιβάλλον. Αυτός είναι και ο λόγος που σε πολλές χώρες του κόσμου υιοθετούνται μέτρα προκειμένου να μειωθούν οι ρύποι στην ατμόσφαιρα. Ο κύριος στόχος είναι να χρησιμοποιηθούν τεχνολογίες "μηδενικών εκπομπών" με σκοπό τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών CO₂.

Λαμβάνοντας υπόψη την οικονομική κρίση και τα προγράμματα των χωρών μελών μέχρι την άνοιξη 2009, το μοντέλο PRIMES προβλέπει ότι οι τιμές του ETS θα είναι:

- ▶ 20 EUR'2008 / ton CO₂ το 2015
- ▶ 25 EUR'2008 / ton CO₂ το 2020
- ▶ 38 EUR'2008 / ton CO₂ το 2030

Αν η ηλεκτροπαραγωγή της Ελλάδας διατηρήσει τη σημερινή της δομή, οι καταναλωτές θα πληρώσουν 1 δισ. € το 2015, 1.25 δισ. € το 2020 και 1.5 δισ. € το 2030 για την αγορά των δικαιωμάτων κάτι που θα οδηγήσει σε 20% έως 45% αύξηση της μέσης τιμής αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας.

Επιπτώσεις στις Τιμές και το Κόστος

- ▶ Οι τιμές ηλεκτρικής ενέργειας θα αυξάνονται σημαντικά λόγω της μετακύλισης του κόστους αγοράς δικαιωμάτων εκπομπής ETS (μέσες τιμές 40% ακριβότερες το 2020 από σήμερα)
- ▶ Η μείωση των εκπομπών CO₂ από την ηλεκτροπαραγωγή στο πλαίσιο του σεναρίου 20-20-20 οδηγεί σε σημαντική μείωση των πληρωμών για αγορά δικαιωμάτων εκπομπής, περίπου 200-300 εκατ. € το 2020-2025 και 770 εκατ. € το 2030.
- ▶ Στο πλαίσιο του 20-20-20, οι πληρωμές ETS είναι μειωμένες, όπως και το κόστος καυσίμων λόγω ΑΠΕ, όμως το κόστος εξυπηρέτησης κεφαλαίων είναι αυξημένο (μεγαλύτερες επενδύσεις), καθώς και το κόστος για τα δίκτυα
- ▶ Ισόποσα μειώνονται τα έσοδα του κράτους από την πώληση των δικαιωμάτων ETS
- ▶ Οι ετήσιες πληρωμές για δίκτυα και Επικουρικές υπηρεσίες αυξάνονται κατά τουλάχιστον 50% από τα σημερινά επίπεδα

Η μείωση των εκπομπών CO₂ από την ηλεκτροπαραγωγή στο πλαίσιο του σεναρίου 20-20-20 οδηγεί σε σημαντική μείωση των πληρωμών για αγορά δικαιωμάτων εκπομπής, περίπου 200-300 εκατ. € το 2020-2025 και 770 εκατ. € το 2030 . Ισόποσα μειώνονται τα έσοδα του κράτους από την πώληση των δικαιωμάτων ETS

1.2.5 Στόχοι σε Ευρωπαϊκό Επίπεδο

Η ευρωπαϊκή ένωση έχει αναλάβει τη δέσμευση να μειώσει το ενεργειακό πρόβλημα παράλληλα με τη προστασία του περιβάλλοντος θέτοντας τους παρακάτω στόχους μέχρι το έτος 2020 ως τελικό έτος για την επίτευξη των παρακάτω:

- ✓ Η παραγωγή του 20% της ενέργειας να είναι μέσω ανανεώσιμων πηγών
- ✓ Μείωση των εκλυόμενων ρύπων κατά 20%
- ✓ Εξοικονόμηση ενέργειας κατά 20%

Ενώ σύμφωνα με την ΟΔΗΓΙΑ 2009/28/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 23ης Απριλίου 2009 σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και την

τροποποίηση και τη συνακόλουθη κατάργηση των οδηγιών 2001/77/ΕΚ και 2003/30/ΕΚ απαιτείται ο έλεγχος της ευρωπαϊκής ενεργειακής κατανάλωσης καθώς και η αυξημένη χρήση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, σε συνδυασμό με την εξοικονόμηση ενέργειας και την αυξημένη ενεργειακή απόδοση, αποτελούν σημαντικές συνιστώσες της δέσμης μέτρων που απαιτήθηκαν για τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και για τη συμμόρφωση προς το πρωτόκολλο του Κιότο στη σύμβαση-πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος και προς τις περαιτέρω κοινοτικές και διεθνείς δεσμεύσεις για τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου μετά το 2012.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Εθνικοί συνολικοί στόχοι για το μερίδιο ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στην τελική κατανάλωση ενέργειας το 2020 ⁽¹⁾

Α. Εθνικοί συνολικοί στόχοι

	Μερίδιο ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας το 2005 (S ₂₀₀₅)	Στόχος για το μερίδιο ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας το 2020 (S ₂₀₂₀)
Βέλγιο	2,2 %	13 %
Βουλγαρία	9,4 %	16 %
Τσεχική Δημοκρατία	6,1 %	13 %
Δανία	17,0 %	30 %
Γερμανία	5,8 %	18 %
Εσθονία	18,0 %	25 %
Ιρλανδία	3,1 %	16 %
Ελλάδα	6,9 %	18 %
Ισπανία	8,7 %	20 %
Γαλλία	10,3 %	23 %
Ιταλία	5,2 %	17 %
Κύπρος	2,9 %	13 %
Λεττονία	32,6 %	40 %
Λιθουανία	15,0 %	23 %
Λουξεμβούργο	0,9 %	11 %
Ουγγαρία	4,3 %	13 %
Μάλτα	0,0 %	10 %
Κάτω Χώρες	2,4 %	14 %
Αυστρία	23,3 %	34 %
Πολωνία	7,2 %	15 %
Πορτογαλία	20,5 %	31 %
Ρουμανία	17,8 %	24 %
Σλοβενία	16,0 %	25 %
Σλοβακική Δημοκρατία	6,7 %	14 %
Φινλανδία	28,5 %	38 %
Σουηδία	39,8 %	49 %
Ηνωμένο Βασίλειο	1,3 %	15 %

Πίνακας 1.5-Δεσμεύσεις και Υποχρεώσεις των Χωρών της Ε.Ε. (Πηγή:www.rae.gr)

1.2.6 Στόχοι και Υποχρεώσεις της Ελλάδας

Η Ελλάδα έχει δεσμευτεί μέχρι το έτος 2020 να εκπληρώσει τους κάτωθι στόχους:

Οδηγίες για το πακέτο πολιτικής 20-20 για το 2020

α) υποχρεωτική αγορά αδειών εκπομπής από το ETS (Emissions Trading Scheme) στο επίπεδο ολόκληρης της ΕΕ με δημοπράτηση όλων των αδειών εκπομπών μετά το 2013 (αφορά την ηλεκτροπαραγωγή και τη μεγάλη βιομηχανία)

β) στόχος για κάθε χώρα (-4% για την Ελλάδα) σχετικά με τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στους τομείς που δεν υπάγονται στο ETS (κτίρια, οικίες, μικρή βιομηχανία, γεωργία, μεταφορές)

γ) στόχος για κάθε χώρα (18% για την Ελλάδα, τον οποίο η νέα Κυβέρνηση όρισε στο 20%) σχετικά με τη συνεισφορά των ΑΠΕ στην ακαθάριστη εγχώρια κατανάλωση

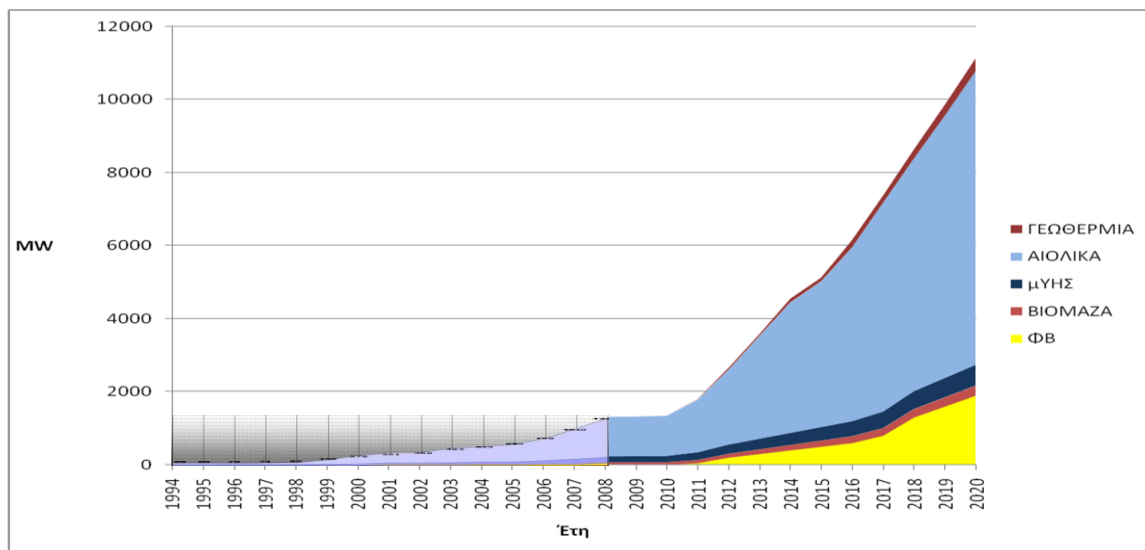
Ο στόχος 20% για ΑΠΕ το 2020 εκφράζεται ως λόγος:

Η παρούσα εργασία ουσιαστικά αφορά τον παρονομαστή ,δηλαδή τη μέσω χρήσης ηλιακή ενέργεια για ψύξη, την εξοικονόμηση ποσού ενέργειας.

Προσομοίωση της Ευρωπαϊκής αγοράς ETS- Emissions Trading Scheme

Τα δικαιώματα εκπομπής έχουν προσδιορισθεί για το σύνολο της ΕΕ έτσι ώστε το 2020 οι εκπομπές στους τομείς ηλεκτρισμού και βαριάς βιομηχανίας να γίνουν 21.5% μικρότερες από αυτές του 2005. Οι εταιρείες ανταγωνίζονται για την αγορά των δικαιωμάτων, πληρώνουν στο κράτος, και βέβαια μετακυλύουν το κόστος αγοράς στις τιμές καταναλωτού.

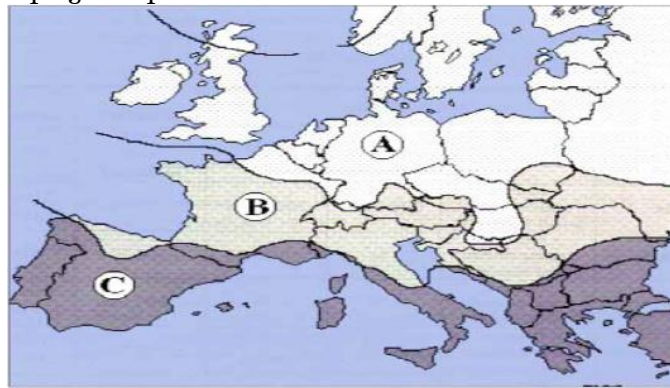
Εθνικός Στόχος ΑΠΕ για το 2020



Διάγραμμα 1.5-Πορεία Παραγωγής Ενέργεια [MW] από ΑΠΕ μέχρι το 2008 και Στόχοι μέχρι το έτος 2020 (Πηγή:www.rae.gr)

1.2.7 Περιβαλλοντικά οφέλη

Τα συστήματα ηλιακής ψύξης έχουν το πλεονέκτημα ότι χρησιμοποιούν απολύτως αβλαβή ρευστά μας το νερό, ή διαλύματα αλάτων για την λειτουργία μας. Είναι ενεργειακά αποδοτικά και περιβαλλοντικά φιλικά. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε ως αυτόνομα συστήματα, είτε σε συνδυασμό με συμβατικό κλιματισμό, για να βελτιώσουν την ποιότητα μας ατμόσφαιρας του εσωτερικού όλων των τύπων κτιρίων. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Α.Π.Ε.) ανανεώνονται μέσω του κύκλου μας φύσης και θεωρούνται πρακτικά ανεξάντλητες. Ο άνεμος, η βιομάζα, η γεωθερμία, ο ήλιος, το υδρογόνο και οι υδατοπτώσεις είναι πηγές ενέργειας των οποίων η προσφορά δεν εξαντλείται ποτέ. Η Ελλάδα διαθέτει αξιόλογο δυναμικό ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που μπορούν να προσφέρουν μια πραγματική εναλλακτική λύση για την κάλυψη των ενεργειακών μας αναγκών.



Ζώνη	Μέσος όρος ακτινοβολίας στην επιφάνεια συλλεκτών [kWh/τ.μ. ημερησίως]	Απόδοση θερμότητας ηλιακού συστήματος [kWh/τ.μ. ετησίως]
A	2.4 έως 3.4	300 έως 450
B	3.4 έως 4.4	400 έως 550
C	4.4 έως 5.4	500 έως 650

Πίνακας: Τυπικές αξίες ακτινοβολίας και αποδόσεις ηλιακού συστήματος με νότια κατεύθυνση.

Πίνακας 1.6-Τυπικές αξίες ακτινοβολίας και αποδόσεις ηλιακού συστήματος με νότιο προσανατολισμό [17]

Είναι λοιπόν στοιχείο για τη κοινωνία μας καταφέρει να ελαχιστοποιήσει τη χρήση των ορυκτών καυσίμων σε όλα τα επίπεδα και ιδίως στην ψύξη, όπου λόγω του κλίματος της υπάρχουν μεγάλες ανάγκες, με την εκμετάλλευση των ανεξάντλητων πηγών ενέργειας- τον ήλιο και τον αέρα-.

1.2.8 Οικονομικά και αναπτυξιακά οφέλη

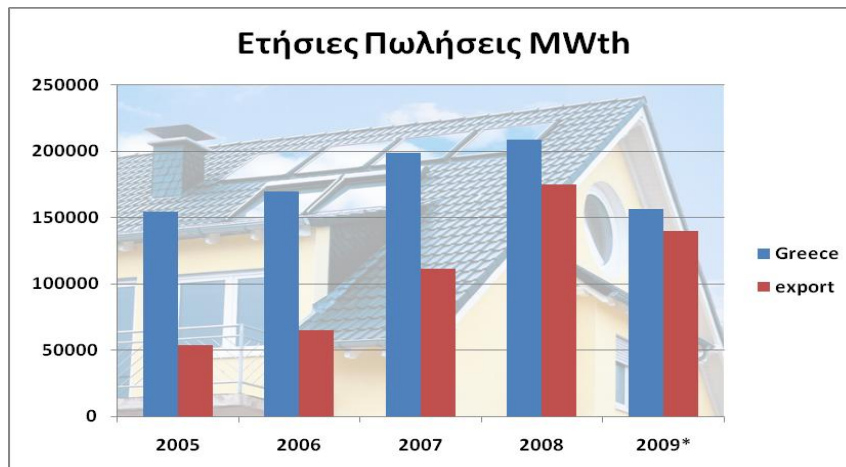
Εκτός από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις έχει και οικονομικές που διότι ναί μεν ο λιγνίτης είναι παραγωγή της χώρας μας όμως για τη χρήση του η χώρα πρέπει να αγοράζει δικαιώματα χρήσης ρύπων. Αυτή η αγορά είναι δικαιολογημένη καθώς οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα, που

αναπόφευκτα συνοδεύουν την κατανάλωση των ορυκτών καυσίμων, θεωρούνται υπεύθυνες για τη ρύπανση του περιβάλλοντος και για το «φαινόμενο του θερμοκηπίου», που τον αιώνα που διανύουμε ενδέχεται να επηρεάσει δυσμενώς τις κλιματολογικές συνθήκες οι οποίες είναι εξαιρετικά δύσκολο να αντιμετωπιστούν. Η αγορά ψύξης των κτιρίων εξακολουθεί να έχει μεγάλες δυνατότητες για ανάπτυξη, υπολογίζεται ότι αυτή τη στιγμή έχει φτάσει στο 20% της μέγιστης αξιοποίησή της βάσει της μελέτης των M.Sc. Thesis και Mateus T. “Study of solar cooling systems using absorption heat pump technology”, University of Porto 2008. Πέραν των υψηλών Ψυκτικών αναγκών στις χώρες της Νότιας Ευρώπης (Ισπανία, Ιταλία, Ελλάδα και Πορτογαλία), ακριβώς όπου η ψύξη αγορά έχει ακόμη πολλά περιθώρια προς επέκταση, υπάρχει και μια αυξανόμενη ανάγκη για ψύξη σε άλλες χώρες βορειότερα (συμπεριλαμβανομένης της Βόρειας Ευρώπης), που οφείλεται στην υπερθέρμανση του πλανήτη και με την αυξανόμενη χρήση του εξοπλισμού σε εσωτερικούς χώρους εργασίας, ιδιαίτερα στα γραφεία και εμπορικά κτίρια. Η χρήση της ηλιακής ενέργειας σε κτίρια είναι μια αποτελεσματική μέθοδος για τη μείωση της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων και των επιβλαβών εκπομπών το περιβάλλον. Επίσης, αυτοί οι παράγοντες θα διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην προώθηση της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού, στην προώθηση της τεχνολογικής ανάπτυξης και της καινοτομίας και στη δημιουργία ευκαιριών απασχόλησης και Περιφερειακής ανάπτυξης, ιδίως στις αγροτικές και τις απομονωμένες περιοχές. Επιπροσθέτως να σημειώσουμε πως η αλόγιστη χρήση του πετρελαίου που συμβαίνει σήμερα το πλανήτη σύντομα σε δραματική μείωση των αποθεμάτων του. Αποτέλεσμα αυτού θα είναι η κατακόρυφη αύξηση στη τιμή πώλησης του τόσο λόγω των ελάχιστων σε σύγκριση με τη ζήτηση αποθεμάτων όσο και από το γεγονός των αυξημένων εξόδων που θα προκύψουν λόγω των μεγάλων βαθών για την άντληση τους. Έτσι θα έχουμε αύξηση της ανταγωνιστικότητας, που σημαίνει επενδύσεις και νέες θέσεις εργασίας και διατήρηση των καθαρών αποδοχών των εργαζομένων. Άλλωστε, δεν πρέπει να διαφεύγει της προσοχής ότι ο συνδυασμός φθηνή ενέργεια – ακριβή εργασία, αποτελεί ισχυρό κίνητρο για την υποκατάσταση των ανθρώπων από μηχανές, με άμεσα αποτελέσματα την αύξηση της ανεργίας, τη σπάταλη χρήση της ενέργειας και την αύξηση της ρύπανσης.

1.2.9 Η Αγορά Ηλιακών Συλλεκτών

Η διάδοση των ηλιακών συστημάτων στην Ελλάδα ξεκίνησε το 1974. Η χώρα μας είναι μέσα στη ομάδα που προηγείται τόσο σε Ευρωπαϊκό όσο και σε Παγκόσμιο επίπεδο. Ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί σημαντική εξαγωγική δραστηριότητα. Στα Ελληνικά προϊόντα πιστοποιείται η αξιοπιστία τους τόσο από τα αποτελέσματα δοκιμών κατά EN όσο και από τα πιστοποιητικά κατά SolarKeymark που διαθέτουν. Σήμερα στην Ελλάδα υπάρχουν 2,8 GWth εγκατεστημένης ισχύος. Τα περισσότερα συστήματα είναι

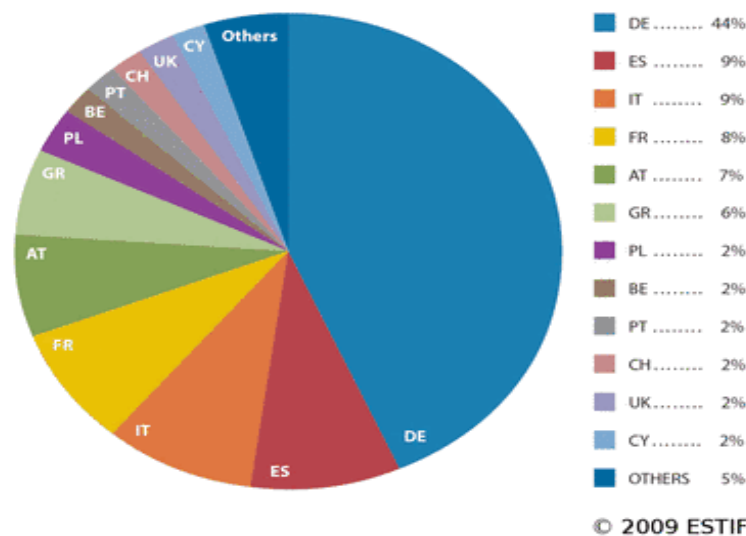
ηλιακοί θερμοσίφωνες που αποτρέπουν την εκπομπή 2 εκατομμυρίων τόνων διοξειδίου του άνθρακα κάθε χρόνο. Η βιομηχανία του κλάδου έχει ετήσιο κύκλο εργασιών της τάξης των 300 εκατομμυρίων ΕΥΡΩ και εξασφαλίζει 3500 θέσεις εργασίας πλήρους απασχόλησης.



Διάγραμμα 1.6-Ετήσιες Πωλήσεις Ηλιακών Συλλεκτών βάσει της Ονομαστικής Ισχύς τους τα έτη 2005-2009[39]

Την ίδια περίοδο, χώρες όπως η Γερμανία και η Αυστρία αποδεικνύουν ότι το να βρίσκονται στη Κεντρική Ευρώπη δεν τους στερεί τη δυνατότητα να προηγούνται.

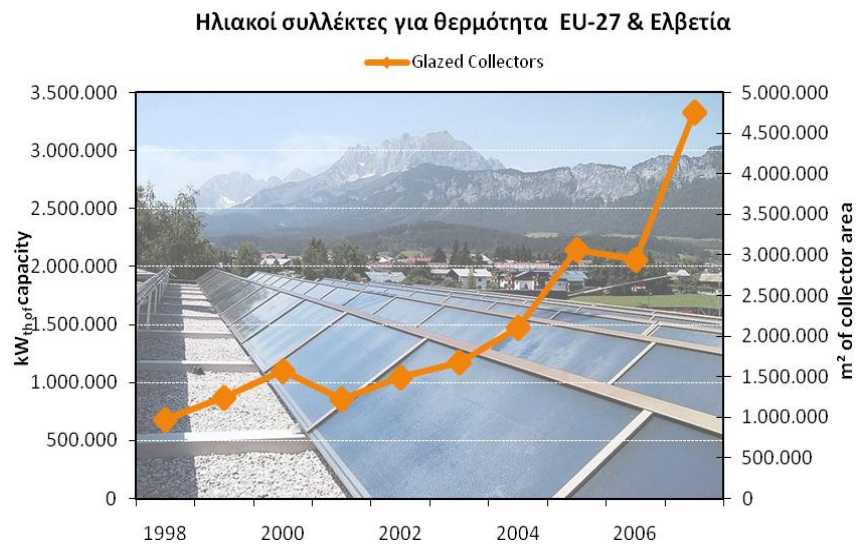
Share of the European solar thermal market



Διάγραμμα 1.6-Μερίδιο Ηλιακών Συλλεκτών στην Αγορά των Ευρωπαϊκών Χωρών [39]

Σήμερα, τα θερμικά ηλιακά εξασφαλίζουν ήδη 40.000 θέσεις εργασίας πλήρους απασχόλησης στην Ευρώπη (περίπου 1 θέση εργασίας ανά 80 kWth νέας εγκατεστημένης ισχύος). Οι Ευρωπαίοι κατασκευαστές προηγούνται καθαρά

στο τομέα της τεχνολογίας των θερμικών ηλιακών. Οι βιομηχανίες των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας προηγούνται ήδη στον τομέα ανάπτυξης νέων θέσεων εργασίας. Οι συνολικές πωλήσεις της Ευρωπαϊκής Βιομηχανίας ηλιακών ξεπέρασε πρόσφατα τα 3 δισεκατομμύρια Ευρώ.



Διάγραμμα 1.7-Ηλιακοί Συλλέκτες σε Ονομαστική Ισχύ και Επιφάνεια στην Ευρώπη των 27 και την Ελβετία [39]

2 Ηλιακή Ενέργεια

Στο κεφάλαιο αυτό θ' ασχοληθούμε ενδελεχώς με τον τρόπο με τον οποίο η ηλιακή ενέργεια παράγεται, διαδίδεται, εισέρχεται και απορροφάται από τη Γη και τα σώματά της.

2.1 Ο χορηγός Ήλιος

Στη παράγραφο αυτή θα μιλήσουμε για τον τροφοδότη της ενέργειας Ήλιο και θα περιγράψουμε τη δομή του και θα εξετάσουμε τον τρόπο παραγωγής της ενέργειας που εκπέμπεται από αυτόν.

Ο Ήλιος είναι ένας εκ των 10^{11} ή και περισσότερων απλανών αστέρων του Γαλαξία μας , βρίσκεται σε απόσταση $3 \cdot 10^4$ έτη φωτός από το κέντρο περιστροφής του και εντός μίας εκ των κύριων σπειρών του.

Το εσωτερικό του Ήλιου ,ο πυρήν, αποτελεί το 0.9 της μάζας του, και βρίσκεται κάτω από μια ιδιάζουσα κατάσταση. Από θεωρητικές έρευνες που έχουν γίνει πιστεύεται ότι η θερμοκρασία του αυξάνεται όσο πλησιάζουμε στο κέντρο του και εκεί επικρατεί θερμοκρασία περίπου 20000000°C υπό πίεση μερικών δισεκατομμυρίων ατμοσφαιρών και πυκνότητας 100 — .Ακολουθεί η ορατή σε εμάς φωτόσφαιρα με πάχος περί των 400km η χρωμόσφαιρα και το στέμμα.

Κάποια στοιχεία για τον Ήλιο:

- Ακτίνα: $(6.9598 \cdot 10^8) \text{ cm}$
- Όγκος: $1.4122 \cdot 10^{33} \text{ cm}^3$
- Επιφάνεια: $6.087 \cdot 10^{22} \text{ cm}^2$
- Μέση πυκνότητα: 1.409 —
- Μάζα: $1.989 \cdot 10^{33} \text{ gr}$

Δια της φασματοσκοπικής ανάλυσεως ανακαλύφθησαν επί του Ήλιου πλείστα χημικά στοιχεία συγκεκριμένα 67 εκ των γνωστών μας.

- Κατ' όγκον έχουμε 81.76 % H , 18.17 % He και 0.07% υπόλοιπα στοιχεία.
- Κατά μάζα έχουμε: 52.26% H , 46.46% He και 1.28% υπόλοιπα στοιχεία.

Η ενεργός θερμοκρασία του Ήλιου T_e η οποία είναι η θερμοκρασία την οποία θα είχε τέλειον ακτινοβόλον σώμα στις διαστάσεις του Ήλιου και σε απόσταση ίση με αυτή της Γης ακτινοβολεί ίσο ποσό ενέργειας υπολογίζεται:

- $T_e = 5800 \text{ — } 15^\circ\text{K}$

Το αποτέλεσμα της ενέργειας αυτής που εκπέμπει ο ήλιος κατακόρυφα πάνω σε μια επιφάνεια έξω από την ατμόσφαιρα της γης που απέχει 1 AU από τον ήλιο είναι γνωστή σαν ηλιακή σταθερά

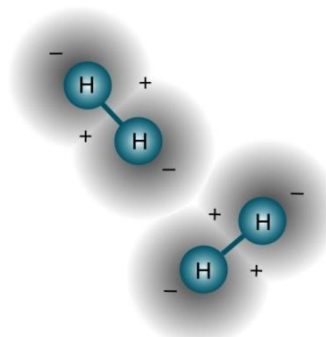
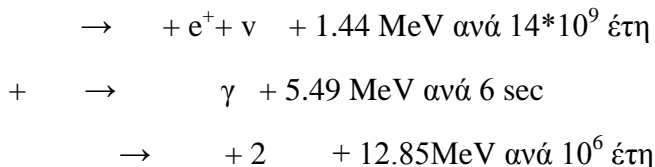
- $GSC = 1367 \text{ W/m}^2$

Η παραπάνω τιμή υπολογίστηκε από το νόμο Stefan-Boltzmann:

- $E = \sigma \cdot T e^4$

Όπου: $\sigma = 5.673 \cdot 10^{-5} \text{ ergs/cm}^2/\text{grad}^4/\text{sec}$ η ομώνυμη σταθερά
με $1 \text{ erg} = 10^{-7} \text{ Joule} = 6.2415 \cdot 10^{11} \text{ eV}$

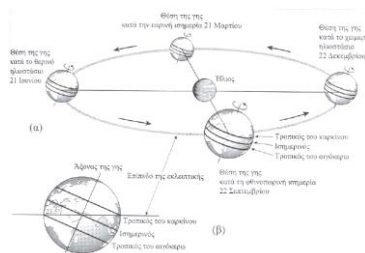
Η υπό του Ήλιου εκπεμπόμενη στο διάστημα ενέργεια δεν οφείλεται σε συνήθη καύση αλλά σε θερμοπυρηνική αντίδραση. Η αντίδραση αυτή εξελίσσεται ως ακολούθως:



Από το ισοζύγιο της μάζας που προκύπτει ελλειμματικό κατά μία ποσότητα Δm και με βάσει την ειδική θεωρία της σχετικότητας αυτή η ελλείπουσα μάζα έχει γίνει εκλυόμενη ενέργεια $E = \Delta m \cdot c^2$. Όπως βλέπουμε κατά την αντίδραση αυτή παράγονται από 4 πρωτόνια ένας πυρήνας ηλίου και δύο ποζιτρόνια. Η σειρά αυτή διαρκεί $3 \cdot 10^9$ έτη και ελευθερώνει $4 \cdot 10^{-5} \text{ ergs}$. Υπολογίζεται ότι 1 γραμμάριο υδρογόνου κατά τη μετατροπή του σε ήλιο παράγει 4170000KWh. Η Γη δέχεται ανά παν πρώτον λεπτό ενέργεια μέσω της ακτινοβολίας ίση με αυτή που θα λαμβάναμε μετά από καύση 300 εκατομμυρίων τόνων λιθανθράκων καλής ποιότητας. Η ολική ακτινοβολούσα ενέργεια του Ήλιου είναι κατά 2.2 δισεκατομμύρια μεγαλύτερη.

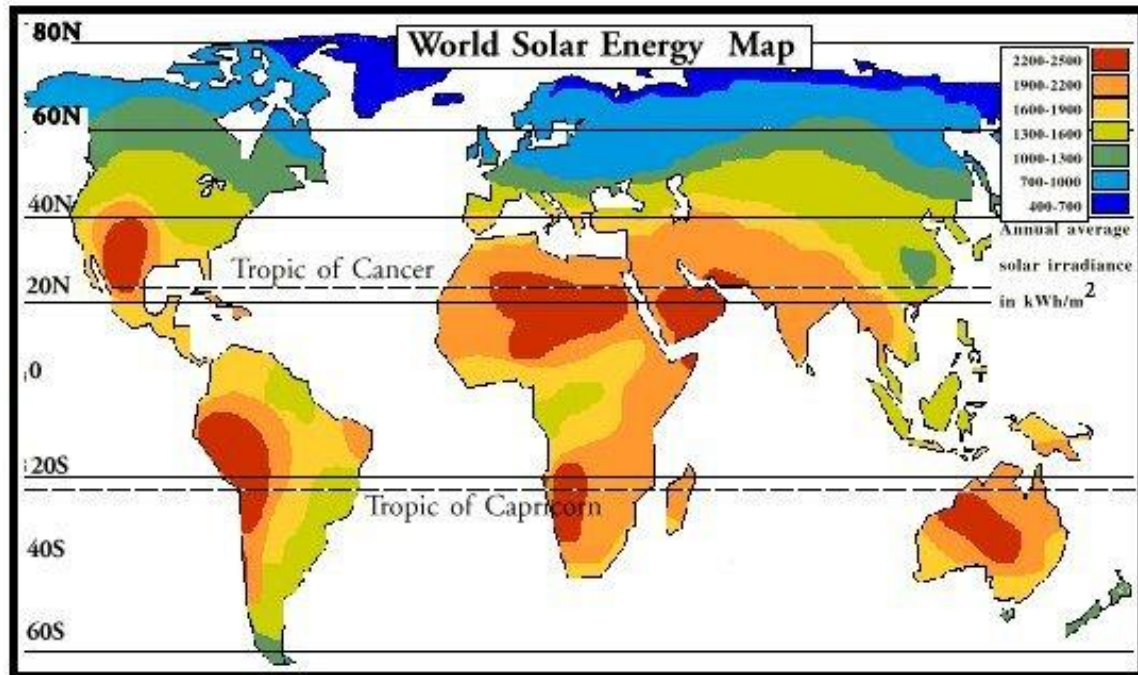
Γη και Ήλιος

Η Γη ολοκληρώνει μία πλήρη περιστροφή γύρω από τον Ήλιο σε περίπου 365 ημέρες ενώ σε 24 ώρες μία γύρω από τον εαυτό της. Το πρώτο επίπεδο περιστροφής λόγω της τροχιάς της Γης καλείται ελλειπτικό επίπεδο και ο άξονας περιστροφής της Γης γύρω από τον εαυτό της σχηματίζει γωνία περίπου 23.5° με αυτό.



Σχ.2.1-Αναπαράσταση της Σχετικής Θέσης της Γης ως προς τον Ήλιο κατά τη Περιφορά της[2]

Η ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διέλευσή της στην ατμόσφαιρα, υπόκειται σε εξασθένιση αφενός λόγω διασκορπισμού από τα μόρια του αέρα, τους υδρατμούς και τη σκόνη αλλά και αφετέρου λόγω της απορρόφησης από τα στοιχεία O_3 (όζον) , H_2O και CO_2 .Η απορρόφηση δεν είναι για όλα τα μήκη κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας η ίδια αλλά αποτελεί εξάρτηση της συχνότητας τους.



Σχ.2.2-Παγκόσμιος Χάρτης Ηλιακής Ενέργειας [21]

2.2 Βασικές γωνίες της Ηλιακής Ακτινοβολίας στη Γη

Η πρόσληψη όμως της ηλιακής ενέργειας από ένα οποιοδήποτε σώμα είναι σε άμεση εξάρτηση της θέσης, του προσανατολισμού, και της κλίσης που έχει.

Εδώ θα εξετάσουμε τη κάθε γωνία που μέσω αυτής δύναται να καθοριστεί η ακριβής θέση, ο προσανατολισμός και η κλίση της συλλεκτικής επιφάνειας επηρεάζει το μέγεθος της ακτινοβολίας που αυτή προσλαμβάνει.

2.2.1 Γεωγραφικό πλάτος φ

Το γεωγραφικό πλάτος της κάθε περιοχής του πλανήτη εκφράζει τη γωνία που σχηματίζει ο τόπος με τον ισημερινό δηλαδή θεωρώντας πως εκεί έχουμε $\varphi=0$ και είναι:

$$-90^{\circ} \leq \varphi \leq 90^{\circ}$$

Για τις διάφορες περιοχές και πόλεις της Ελλάδος έχουμε τα εξής γεωγραφικά πλάτη:

Πόλη ή περιοχή	Γεωγραφικό πλάτος
Σιδηρόκαστρο, Διδυμότειχο, Ορεσιτιάδα, Φλώρινα, Έδεσσα, Γιαννιτσά, Κιλκίς, Σέρρες, Δράμα, Καβάλα	41°30'
Ξάνθη, Κομοτηνή, Αλεξανδρούπολη	41°
Καστοριά, Πτολεμαίδα, Κοζάνη, Νάουσα, Βέροια, Κατερίνη, Θεσσαλονίκη, Πολύγυρος, Σαμοθράκη	40°30'
Κόνιτσα, Γρεβενά, Λιτοχώρο, Κασσάνδρα, Λήμνος	40°
Κέρκυρα, Ηγουμενίτσα, Ιωάννινα, Μέτσοβο, Τρίκαλα, Καρδίτσα, Λάρισα, Βόλος	39°30'
Λευκάδα, Πρέβεζα, Άρτα, Καρπενήσι, Λαμία, Σκύρος, Μυτιλήνη	39°
Κεφαλληνία, Ιθάκη, Αγρίνιο, Μεσολόγγι, Πάτρα, Αμφιλοχία, Λιβαδειά, Θήβα, Χαλκίδα, Χίος	38° 30'
Ζάκυνθος, Αμαλιάδα, Καλάβρυτα, Κόρινθος, Μέγαρα, Ελευσίνα, Αθήνα, Ραφήνα, Κάρυστος, Άνδρος, Ικαρία, Σάμος	38°
Πύργος, Μεγαλόπολη, Τριπολη, Άργος, Ναύπλιο, Πόρος, Σύρος, Πάτμος	37° 30'
Πύλος, Καλαμάτα, Σπάρτη, Πάρος, Νάξος, Κάλυμνος, Κως	37°
Γύθειο, Μήλος, Σαντορίνη, Ρόδος	36° 30'
Κύθηρα, Καστελόριζο	36°
Χανιά, Ρέθυμνο, Ηράκλειο, Κάσσο, Κάρπαθος	35° 30'
Χώρα Σφακίων, Ιεράπετρα, Αγ.Νικόλαος Κρήτης, Κύπρος	35°

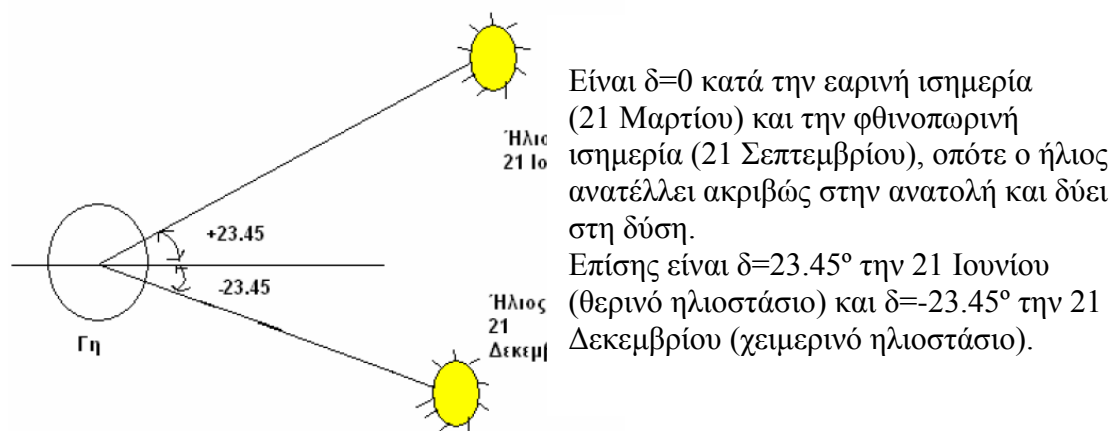
Πίνακας 2.1 Γεωγραφικού Πλάτους Πόλεων της Ελλάδος[2]

2.2.2 Απόκλιση του ήλιου δ

Η γωνία δ μεταξύ της ευθείας που ενώνει τα κέντρα του ήλιου και της γης και του επιπέδου του ισημερινού, ονομάζεται ηλιακή απόκλιση (declination) και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\delta = 23.45 \sin \frac{360(284 + n)}{365}$$

όπου $n = 1 \div 365$ είναι η μέρα του έτους ξεκινώντας με τον αριθμό 1 με αύξον αριθμό από τη 1^η Ιανουαρίου.

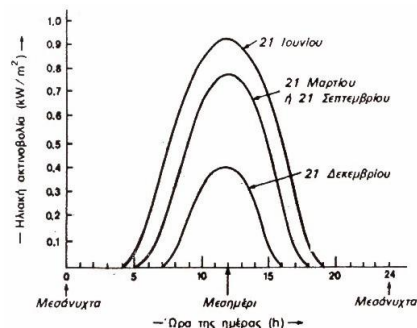


Σχ.2.3- Αναπαράσταση Γωνιών Απόκλισης του Ήλιου δ [2]

2.2.3 Ωριαία γωνία του ήλιου ω

Είναι η ωριαία γωνία (ω) του ήλιου η γωνιακή απόσταση του ηλίου από την ηλιακή μεσημβρία λόγω περιστροφής της γης περι τον άξονά της. Στην ηλιακή μεσημβρία $\omega=0^\circ$ ενώ κάθε ώρα η ω μεταβάλλεται κατά 15° . Τις πρωινές ώρες η ω είναι θετική (+) και κατά τις απογευματινές γίνεται αρνητική (-).

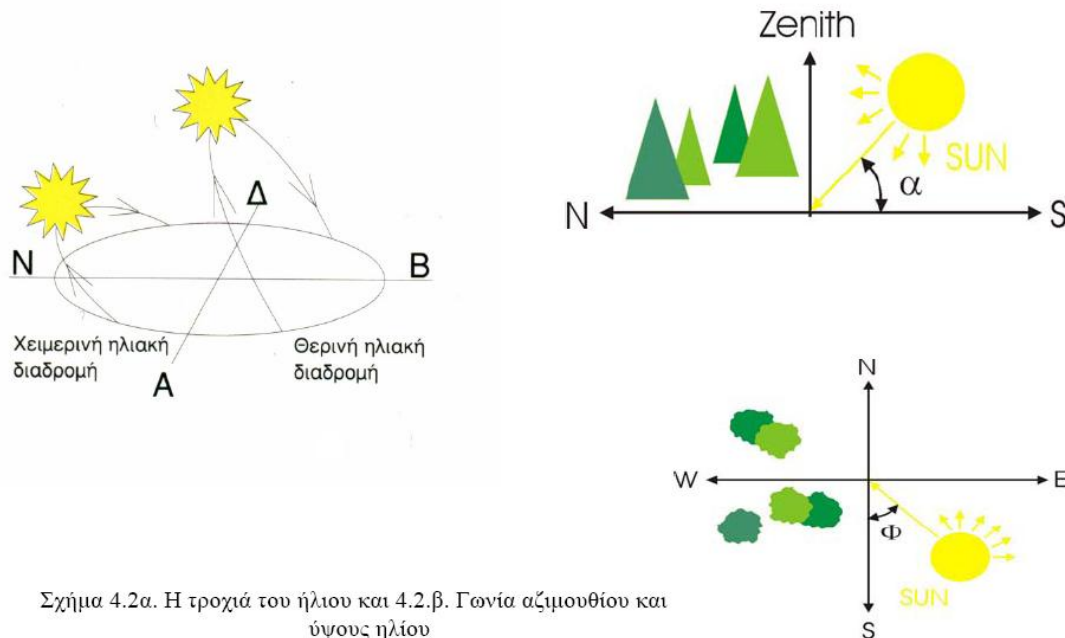
$\omega = \pm 0.25$ (min απόκλισης από το ηλιακό μεσημέρι)



Διάγραμμα 2.1-Ηλιακή Ακτινοβολία [KW/m^2] ανά ώρα για τις παραπάνω ημέρες [2]

2.2.4 Αζιμούθιο επιφάνειας γ

Είναι η γωνία που σχηματίζεται από την προβολή της καθέτου στην επιφάνεια πάνω στο οριζόντιο επίπεδο και τη νότια διεύθυνση. Παίρνει τιμές: $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$ όπου για το νότο είναι $\gamma = 0^\circ$, για τη δύση $\gamma = 90^\circ$, για το βορρά $\gamma = 180^\circ$ και για την ανατολή $\gamma = -90^\circ$. Προκειμένου να επιτευχθεί μεγιστοποίηση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε επιφάνειες που βρίσκονται στο βόρειο ημισφαίριο η βέλτιστη γωνία είναι $\gamma = 0^\circ$.



Σχήμα 4.2α. Η τροχιά του ήλιου και 4.2.β. Γωνία αζιμουθίου και ύψους ηλίου

Σχ.2.4α-Η τροχιά του ήλιου και Σχ.2.4β-Γωνία αζιμουθίου και ύψους ηλίου [2]

2.2.5 Κλίση επιπέδου β

Είναι η γωνία που σχηματίζει μια επίπεδος επιφάνεια με το οριζόντιο επίπεδο. Παίρνει τιμές $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$ για το οριζόντιο επίπεδο είναι $\beta = 0^\circ$ και για το κατακόρυφο

$\beta = 90^\circ$. Για $\beta > 90^\circ$ το επίπεδο βλέπει προς τα κάτω.

Προκειμένου να επιτευχθεί μεγιστοποίηση της ετήσιας προσπίπτουσας ακτινοβολίας θα πρέπει $\beta = \phi$ διότι η πυκνότερη ισχύς μιας δέσμης ηλιακής ακτινοβολίας, πάνω σε ένα επίπεδο συλλέκτη θα πραγματοποιείται όταν η επιφάνεια του είναι κάθετη προς τη κατεύθυνση της ακτινοβολίας, δηλαδή όταν η γωνία πρόσπτωσης (θ) είναι 0° . Η συνθήκη όμως αυτή δεν είναι εύκολο να εξασφαλιστεί καθώς ο ήλιος συνεχώς μετακινείται στον ουρανό κατά τη διάρκεια της ημέρας. Έχουν κατασκευαστεί μηχανικές διατάξεις που αναπροσανατολίζουν συνεχώς τον συλλέκτη (π.χ. με τη βοήθεια υπολογιστή ή φωτοκύτταρων) ώστε η επιφάνεια του να αντικρίζει πάντα κάθετα τον ήλιο. Οι διατάξεις όμως αυτές είναι πολύπλοκες και δαπανηρές. Έτσι, η χρήση τους

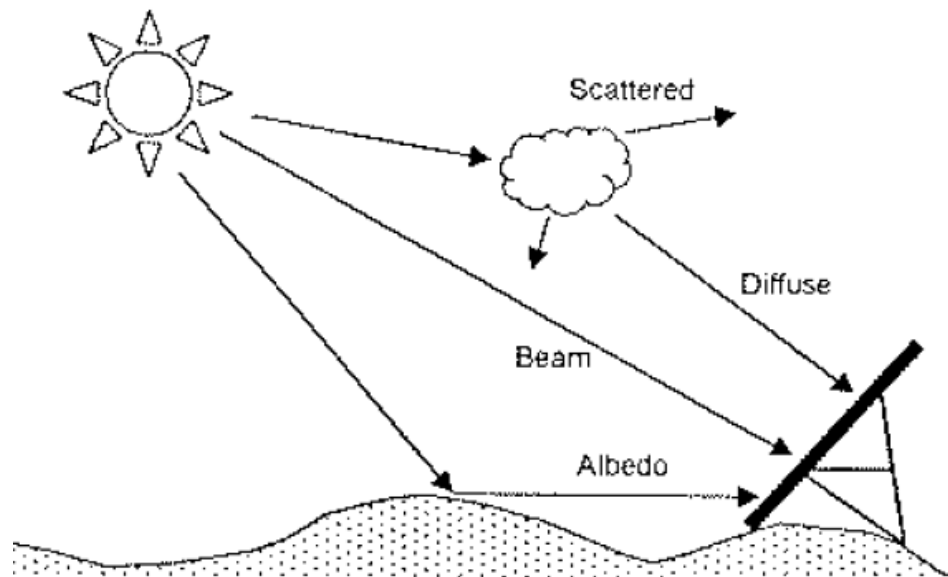
2.3 Άμεσος και διάχυτη ακτινοβολία

Άμεσος ακτινοβολία είναι η ηλιακή ακτινοβολία η οποία και φθάνει στη γη από τον ήλιο χωρίς να μεσολαβήσει διασκορπισμός μέσα στην ατμόσφαιρα της γης. Η στιγμιαία τιμή (σε W/m^2) της άμεσου ακτινοβολίας που δέχεται το οριζόντιο επίπεδο συμβολίζεται με G_b ενώ η στιγμιαία τιμή (σε W/m^2) της άμεσου ακτινοβολίας που δέχεται το κεκλιμένο επίπεδο με G_{bT} . Για χρονική περίοδο μιας ώρας ή μιας ημέρας αντί του συμβόλου G χρησιμοποιείται το I και H αντιστοίχως (π.χ. $b bT b bT I, I, H, H$ σε J/m^2).

Διάχυτος ακτινοβολία είναι το μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στη γη ύστερα από διασκορπισμό και αλλαγή κατεύθυνσης κατά τη διαδρομή μέσα στην ατμόσφαιρα. Ο συμβολισμός είναι ίδιος όπως και στην άμεσο ακτινοβολία αλλά με δείκτη d αντί για b .

Ολική ακτινοβολία είναι το άθροισμα της άμεσης και της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας συμπεριλαμβανομένου και της ανακλώμενης ακτινοβολίας από παρακείμενες επιφάνειες.

Όταν η ηλιακή ακτινοβολία εισέρχεται στην ατμόσφαιρα της γης επιδέχεται κάποιες μετατροπές αλληλεπιδρώντας με διάφορα συστατικά της. Κάποια από αυτά, όπως τα σύννεφα και το έδαφος, την αντανακλούν. Άλλα, όπως το όζον, το οξυγόνο και το διοξείδιο του άνθρακα την απορροφούν. Οι σταγόνες του νερού και τα αιωρούμενα σωματίδια σκόνης προκαλούν σκέδαση. Το αποτέλεσμα όλων αυτών των διαδικασιών είναι η αποσύνθεση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε ένα δέκτη στην επιφάνεια της γης σε καθαρά διαφοροποιούμενα συστατικά.



Σχ.2.6-Αναπαράσταση Κατηγοριών Ακτινοβολίας [21]

2.4 Πρακτικοί Κανόνες για την Συλλογή της Μέγιστης Ηλιακής Ακτινοβολίας

2.4.1 Άμεση Ακτινοβολία

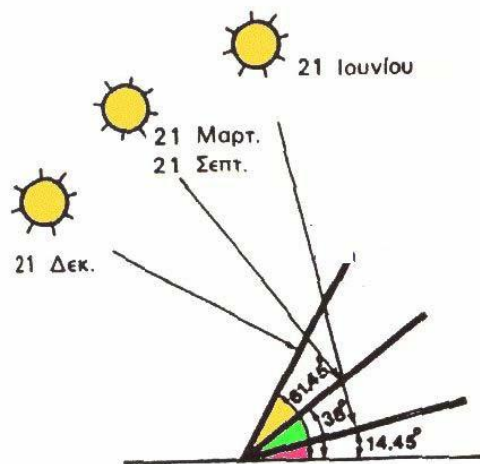
☀ Κλίση της επιφάνειας του συλλέκτη

Θα μιλήσουμε για τη σωστή κλίση του συλλέκτη ώστε να αυξήσουμε στο μέγιστο την απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας

- ετησίως αναρροφούμενη ακτινοβολία είναι μέγιστη για μια περιοχή του βόρειου ημισφαιρίου είναι ίση με τον γεωγραφικό παράλληλο του τόπου, και η αζιμούθια γωνία είναι 0° με ευθυγράμμιση του συλλέκτη προς το νότο.

Όμως η παραπάνω διαπίστωση αφορά την ετήσια περίοδο όμως κατά τη διάρκεια του έτους η βέλτιστη κλίση αλλάζει έτσι έχουμε:

- κατά την διάρκεια της θερινής περιόδου: Η βέλτιστη γωνία κλίσης (β) πρέπει να είναι περίπου 10° - 15° μικρότερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου (φ).
- κατά την διάρκεια της χειμερινής περιόδου: Η βέλτιστη γωνία κλίσης (β) πρέπει να είναι περίπου 10° - 15° μεγαλύτερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου (φ).



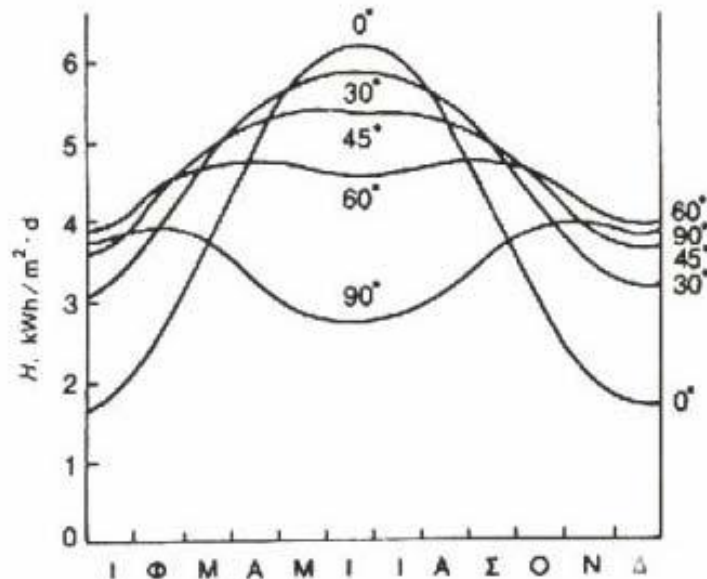
Σχ.2.7- Βέλτιστες Γωνίες Συλλέκτη για Ισημερία,Εαρινό και Χειμερινό Ηλιοστάσιο [2]

Στη διάρκεια του έτους, στο βόρειο ημισφαίριο, ο αριθμός των φωτεινών ωρών της ημέρας, η μέγιστη ισχύς καθώς και συνολική ημερήσια ενέργεια που δέχεται μια οριζόντια επιφάνεια, φτάνουν στις μέγιστες τιμές τους στις 21 Ιουνίου (θερινό ηλιοστάσιο) και πέφτουν στις αντίστοιχες ελάχιστες τιμές τους

στις 21 Δεκεμβρίου (χειμερινό ηλιοστάσιο). Στις επιφάνειες, όμως π.χ. που βρίσκονται σε κλίση ίση με τον γεωγραφικό παράλληλο του τόπου, η μέγιστη τιμή της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας είναι στα ηλιακά μεσημέρια των ισημεριών (21 Μαρτίου και 21 Σεπτεμβρίου), διότι τότε δέχονται κάθετα τις ακτίνες του ήλιου.

☀ Αζιμούθια γωνία του συλλέκτη

Σε βόρεια περιοχή είναι ο ακριβώς νότιος $\gamma=0$, πλην όμως μια απόκλιση κατά 20° - 30° από νότο έχει μικρή επίδραση στην ετήσια συλλεγόμενη ενέργεια.



Διάγραμμα 2.2-Απορροφημένη Ενέργεια από Συλλέκτη ως προς την Αζιμούθια Γωνιών[2]

2.4.2 Ολική Ακτινοβολία

Τα παραπάνω ισχύουν για τη συλλογή της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας που έρχεται σαν δέσμη από τον ήλιο. Για τις άλλες, από ενεργειακή άποψη λιγότερο σημαντικές, μορφές της ηλιακής ακτινοβολίας, ο κυριότερος παράγοντας είναι η απόλυτη τιμή της κλίσης του συλλέκτη, ανεξάρτητα από τη θέση του ήλιου. Αυξανόμενης της κλίσης α τόσο μεγαλύτερο ποσό ανακλώμενης ακτινοβολίας από το έδαφος δέχεται ο συλλέκτης, αλλά και τόσο μικρότερο ποσό διάχυτης ακτινοβολίας από τον ουρανό.

Βάσει του παραπάνω σκεπτικού είναι φρόνιμο να λειτουργήσουμε ως εξής στις κάτωθι περιπτώσεις

Περιοχές με υγρό κλίμα

Για παράδειγμα, σε περιοχές με υγρό κλίμα, όπου λόγω των σταγονιδίων του νερού στην ατμόσφαιρα, ένα μεγάλο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας διαχέεται στον ουρανό, η βέλτιστη κλίση του ηλιακού συλλέκτη για τη διάρκεια ολόκληρου του έτους είναι περίπου 10 - 15% μικρότερη από τη γωνία του τοπικού γεωγραφικού πλάτους. Έτσι, ο συλλέκτης αντικρίζει περισσότερο τον ουρανό και δέχεται αφθονότερα τη διάχυτη ακτινοβολία.

Η ανακλώμενη ακτινοβολία βάση του υλικού που την απορροφά

Η ποσότητα της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το υλικό που καλύπτει την επιφάνεια που δέχεται την ακτινοβολία. Η ικανότητα της ανάκλασης εκφράζεται από ένα συντελεστή που κυμαίνεται από 0, για πλήρη απορρόφηση της ακτινοβολίας, μέχρι 1, για πλήρη ανάκλαση. Για τα συνήθη υλικά τον μεγαλύτερο βαθμό απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας την έχει η θάλασσα άρα και τον μικρότερο συντελεστή ανάκλασης ενώ το μεγαλύτερο το χιόνι. Αν στο έδαφος υπάρχει επιφάνεια με μεγάλο συντελεστή ανάκλασης (π.χ. χιόνι) απαιτείται μεγαλύτερη κλίση.

Ενδεικτικές τιμές του συντελεστή ανάκλασης για ορισμένα από τα είδη επιφανειών που συμβαίνει να έχει το περιβάλλον στις περιοχές, όπου τοποθετούνται οι ηλιακοί συλλέκτες.

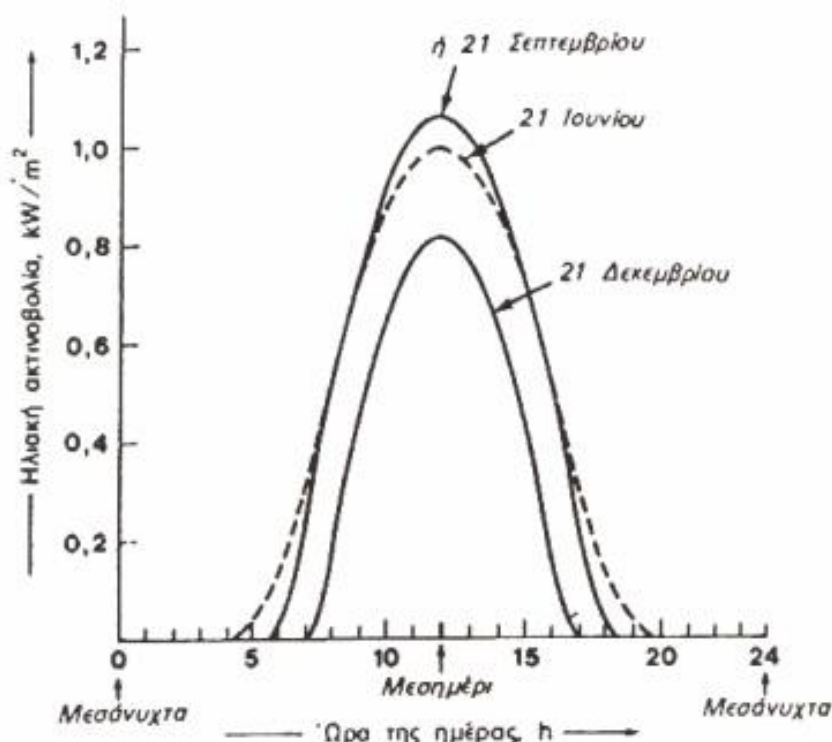
Είδος επιφάνειας	Συντελεστής ανάκλασης
Επιφάνεια νερού, Θάλασσα	0.05
Ασφαλτόστρωμα	0.07
Αγρός με σκοτεινόχρωμα χώμα	0.08
Πράσινος αγρός	0.15
Βραχώδη επιφάνεια	0.20
Επιφάνεια παλαιού τοιμέντου	0.24
Επιφάνεια νέου τοιμέντου	0.30
Χιόνι	0.60

Πίνακας2.2-Συντελεστή Ανάκλασης ως προς το Είδος της Επιφάνειας[2]

2.4.3 Βάσει μεταβολή της έντασης κατά τη διάρκεια της ημέρας

Η τιμή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας και συγκεκριμένα της έντασης αιχμής, που μετράται στο ηλιακό μεσημέρι, δηλαδή όταν δηλαδή ο ήλιος βρίσκεται στο μεγαλύτερο ύψος του ορίζοντα, το οποίο δεν είναι αναγκαστικό να συμπίπτει με το ωρολογιακό μεσημέρι.

Ακολουθεί διάγραμμα που δίνει τη διακύμανση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται μία οριζόντια επιφάνεια στη διάρκεια τριών χαρακτηριστικών ημερών του έτους .



Διάγραμμα 2.3-Ένταση της Ηλιακής Ακτινοβολίας για μια Οριζόντια Επιφάνεια τις παραπάνω ημέρες[2]

2.5 Ηλιακοί συλλέκτες

Οι συλλέκτες που θα χρησιμοποιηθούν στη προσομοίωση είναι οι επίπεδοι και οι συλλέκτες με σωλήνες κενού. Υπάρχουν και άλλοι είδους συλλέκτες όπως οι παραβολικοί που θα μπορούσαν επίσης να χρησιμοποιηθούν όμως το έξοδο αυτό θα ανέβαζε υπέρμετρα το αρχικό κόστος δίχως να γίνονται πλήρως εκμεταλλεύσιμα τα οφέλη που θα μας προσέφεραν.

2.5.1 Επίπεδοι συλλέκτες

Οι επίπεδοι συλλέκτες είναι οι πλέον απλούστεροι και ευρύτερα διαδεδομένοι εκ των ηλιακών συλλεκτών. Η ενέργεια που απορροφούν μέσω μιας επίπεδης μαύρης πλάκας μεταφέρεται στους σωλήνες του δικτύου το οποίο συνδέονται.

Γενικά ισχύει:

$$q_u = A_c [F_t \tau \alpha - U_L (T_p - T_a)] - mc_p [T_o - T_i]$$

Όπου:

q_u : ωφέλιμη αποδιδόμενη ισχύς (W)

A_c : επιφάνεια συλλέκτη (m^2)

S : απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία, δηλαδή η διαφορά μεταξύ της προσπίπτουσας και των οπτικών απωλειών (W/m^2)

U_L : συντελεστής μεταφοράς θερμότητας ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

T_p : μέση θερμοκρασία απορροφητήρα ($^\circ C$)

T_a : θερμοκρασία περιβάλλοντος ($^\circ C$)

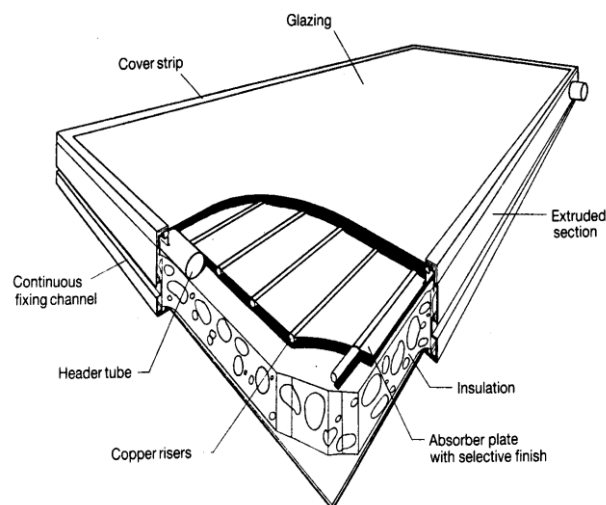
$\tau \alpha$: το μέσο και συγχρόνως το προσαυξημένο γινόμενο διαπερατότητας-απορροφητικότητας.

m : μάζα του υγρού που θερμαίνεται

c_p : θερμοχωρητικότητα του υγρού

T_o : θερμοκρασία του υγρού στην έξοδο του συλλέκτη ($^\circ C$)

T_i : θερμοκρασία του υγρού στην είσοδο του συλλέκτη ($^\circ C$)



Σχ.2.8-Αναπαράσταση Επίπεδου Ηλιακού Συλλέκτη [15]

2.5.2 Συλλέκτες με σωλήνες κενού

Οι σωλήνες κενού αποτελούνται από παράλληλους γυάλινους σωλήνες, οι οποίοι είναι συγκολλημένοι πάνω σε έναν κεντρικό σωλήνα. Κάθε σωλήνας βρίσκεται σε κατάσταση κενού, έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι θερμικές απώλειες. Η απάντηση στο γιατί συμβαίνει αυτό δίνεται αν σκεφτούμε το μικρόκοσμο, πράγμα ασύνηθες βέβαια για την επιστήμη της μηχανολογίας, και είναι η εξής: Η μεταφορά της θερμότητας είναι η μέσω κρούσης μεταφορά της κινητικής ενέργειας ατόμων με μεγαλύτερη στα γειτονικά που έχουν μικρότερη. Έτσι με τη δημιουργία κενού επιτυγχάνουμε μικρότερη πλήρωση του χώρου από άτομα και ως εκ τούτου μείωση των κρούσεων μεταξύ τόσο της απορροφητικής επιφάνειας της ηλιακής ενέργειας προς τον αέρα του σωλήνα όσο και από τον αέρα στο γυαλί που το περιβάλλει και βρίσκεται στο περιβάλλον.

Αυτό το είδος συλλέκτη λειτουργεί σε εύρος θερμοκρασιών 77 – 177 °C και χρησιμοποιείται για θέρμανση – ψύξη βιομηχανικών χώρων ή ακόμα και κατοικιών σε περιοχές που επικρατούν νεφοσκεπείς συνθήκες.

Σχηματική απεικόνιση:

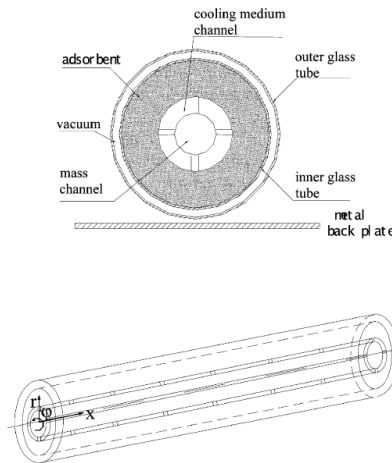


Fig. 1. Evacuated tube adsorber.

Σχ.2.9- Αναπαράσταση Σωλήνα Κενού [28]

Ακολουθεί παράσταση της λειτουργίας ενός τέτοιου συλλέκτη:

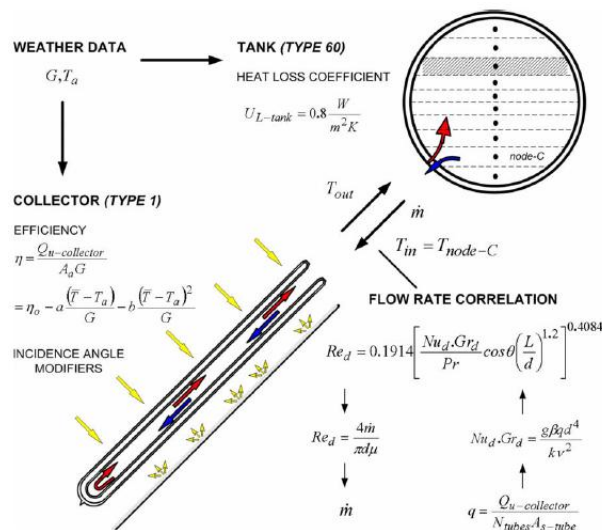


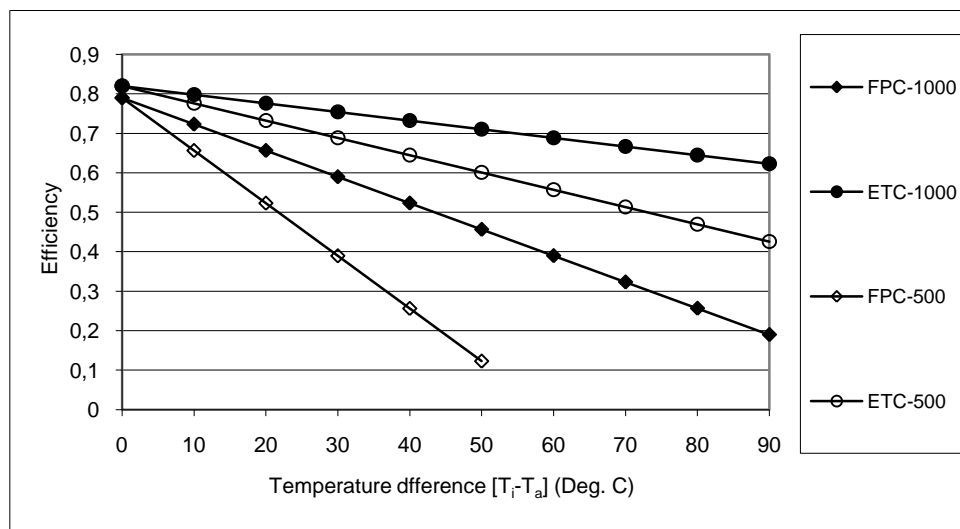
Fig. 2. Water-in-glass evacuated tube system simulation model.

Σχ.2.10-Αναπαράσταση Λειτουργίας Ηλιακού Συλλέκτη με Σωλήνες Κενού[23]

2.5.3 Σύγκριση Ηλιακών Συλλεκτών και Εφαρμογές τους

Εδώ θα γίνει σύγκριση των προαναφερθέντων μορφών ηλιακών συλλεκτών και κατόπιν θα αναφέρουμε τις εφαρμογές και σε ποιες από αυτές τις μορφές συλλεκτών θεωρούνται κατάλληλες στη κάθε μία.

- ✓ Οι επίπεδοι συλλέκτες έχουν υψηλότερο βαθμό απόδοσης όταν η είσοδος του υγρού που θερμαίνεται είναι σε ίση ή ακόμα και μικρότερη από αυτή του περιβάλλοντος. Όταν η θερμοκρασία αυτή είναι μεγαλύτερη εμφανίζονται απώλειες από το υγρό στον ατμοσφαιρικό αέρα.
- ✓ Οι επίπεδοι συλλέκτες έχουν καλύτερη απόδοση όταν η θερμοκρασία εισόδου του υγρού στο συλλέκτη είναι κοντά σε αυτή του περιβάλλοντος. Με την αύξηση αυτής όμως η απόδοσή τους πέφτει περισσότερο απότομα από αυτή στους ηλιακούς συλλέκτες με σωλήνες κενού οι οποίοι και αποδίδουν καλύτερα με την αύξησή τους.



Διάγραμμα 2.4-Βαθμού Απόδοσης Συλλεκτών Επίπεδων και με Σωλήνες Κενού συναρτήσει της θερμοκρασιακής τους Διαφοράς [15]

- ✓ Οι συλλέκτες με σωλήνες κενού μπορούν να επιτυγχάνουν υψηλότερες θερμοκρασίες εξόδου του υγρού .Λειτουργούν καλύτερα σε χαμηλές θερμοκρασίες για το λόγο που αναφέρθηκε καθώς και σε συννεφιά και δυνατούς ανέμους χάρη στο ότι έχει χαμηλότερες απώλειες θερμότητας. Όμως αυτή η μόνωση έχει τα αντίθετα αποτελέσματα σε περιοχές με χιόνι και παγετό.
- ✓ Οι συλλέκτες με σωλήνες κενού είναι λιγότερο ευαίσθητοι στη θέση και τη γωνία τοποθέτησης τους καθώς και στη μεταβολή της απόδοσής τους κατά τη διάρκεια της ημέρας από τους επίπεδους συλλέκτες
- ✓ Το κόστος των ηλιακών συλλεκτών με σωλήνες κενού κοστίζουν 1.2-2 φορές περισσότερο από τους επίπεδους.

Ακολουθεί πίνακας με στοιχεία με το εύρος των θερμοκρασιών επίτευξης:

Motion	Collector type	Absorber type	Concentration ratio	Indicative temperature range (°C)
Stationary	Flat plate collector (FPC)	Flat	1	30-80
	Evacuated tube collector (ETC)	Flat	1	50-200
	Compound parabolic collector (CPC)	Tubular	1·Μαϊ	60-240
Μαϊ-15			60-300	
Single-axis tracking	Linear Fresnel reflector (LFR)	Tubular	Οκτ-40	60-250
	Parabolic trough collector (PTC)	Tubular	15-45	60-300
	Cylindrical trough collector (CTC)	Tubular	Οκτ-50	60-300
Two-axes tracking	Parabolic dish reflector (PDR)	Point	100-1000	100-500
	Heliostat field collector (HFC)	Point	100-1500	150-2000

Πίνακας 2.3-Επίτευξης Θερμοκρασιών για κάθε τύπο Ηλιακού Συλλέκτη [15]

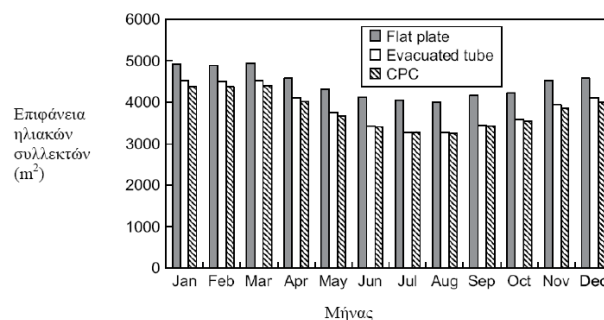
Προς διευκρίνιση αναφέρουμε ότι ως concentration ratio θεωρείται η επιφάνεια στην οποία προσπίπτει ακτινοβολία προς την επιφάνεια της συλλεκτικής επιφάνειας

Ακολουθεί πίνακας με το ενδεικνυται να χρησιμοποιείται ο κάθε τύπος συλλέκτη για τις εφαρμογές που αναφερόμαστε:

Application	System	Collector
Solar water heating		
Thermosyphon systems	Passive	FPC
Integrated collector storage	Passive	CPC
Direct circulation	Active	FPC, CPC ETC
Indirect water heating systems	Active	FPC, CPC ETC
Air systems	Active	FPC
Space heating and cooling		
Space heating and service hot water	Active	FPC, CPC ETC
Air systems	Active	FPC
Water systems	Active	FPC, CPC ETC
Heat pump systems	Active	FPC, CPC ETC
Absorption systems	Active	FPC, CPC ETC
Adsorption (desiccant) cooling	Active	FPC, CPC ETC
Mechanical systems	Active	PDR
Solar refrigeration		
Adsorption units	Active	FPC, CPC ETC
Absorption units	Active	FPC, CPC ETC

Πίνακας 2.4- Επιλογής Ηλιακών Συλλεκτών ως προς το Είδος της Εφαρμογής [15]

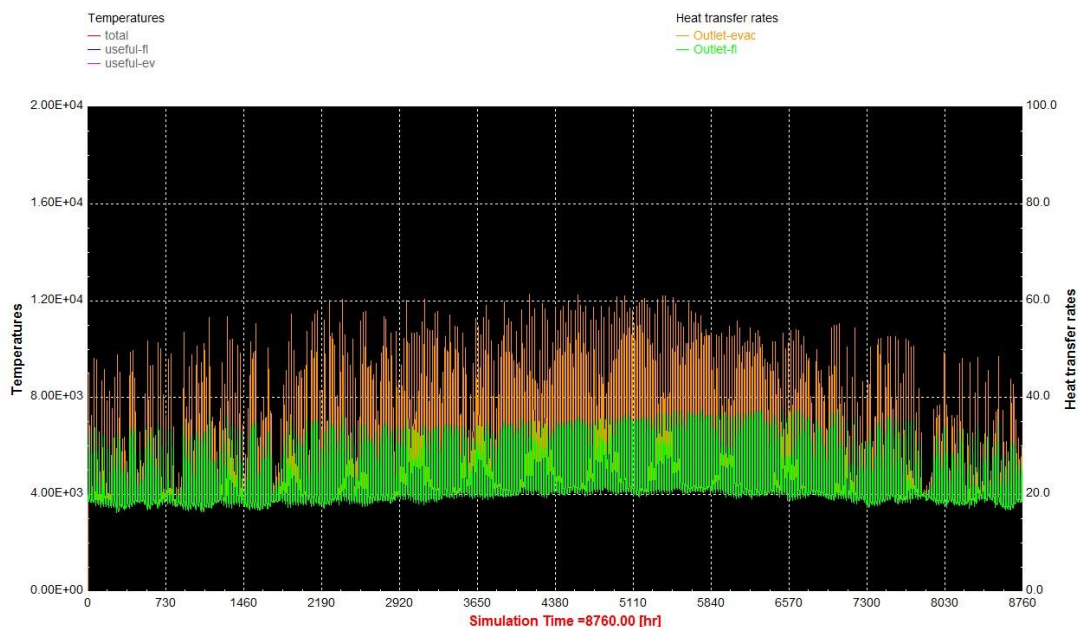
Για χρήση των συλλεκτών σε εφαρμογές ψύξης με απορρόφηση και συγκεκριμένα για αύξηση της θερμοκρασίας του νερού 20°C για μηχανή ισχύος 100KW έχουμε τη παρακάτω απαιτούμενη επιφάνεια:



Διάγραμμα 2.5- Απαιτούμενη Επιφάνεια Ηλιακών Συλλεκτών για Αύξηση της Θερμοκρασίας Νερού

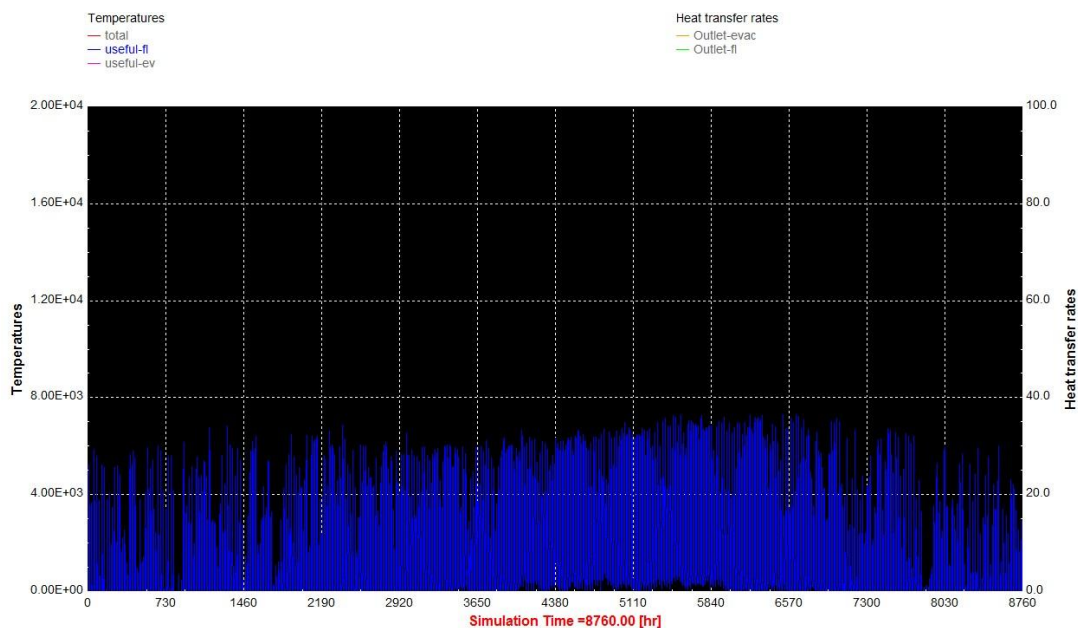
Ενώ χρησιμοποιώντας το υπολογιστικό πρόγραμμα TRNSYS και το παρακάτω απλό project θα κάνουμε σύγκριση της συμπεριφοράς ενός επιπέδου και ενός με σωλήνες κενού ηλιακού συλλέκτη εμβαδού 4m^2 κάθε ένας με παροχή νερού 100kg/hr και θερμοκρασία εισόδου 20°C με βάση τα μετεωρολογικά δεδομένα που έχουμε για τη περιοχή της Αθήνας. Έχουμε τα παρακάτω αποτελέσματα:

Θερμοκρασία εξόδου από το συλλέκτη του νερού:



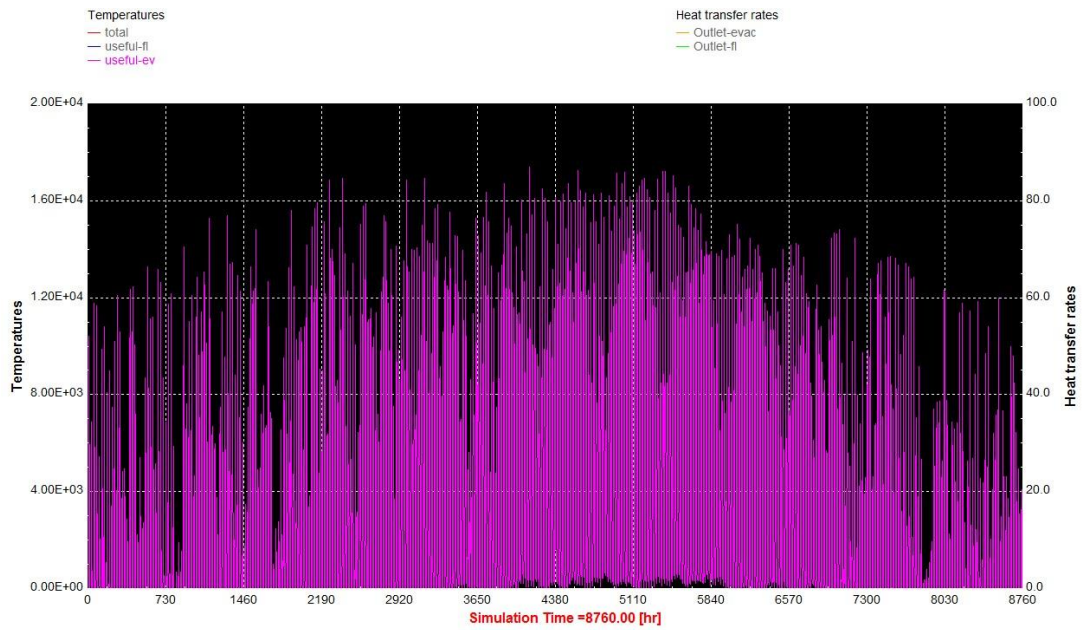
Διάγραμμα TRNSYS 2.1- θερμοκρασίας Επίτευξης Νερού για Θερμοκρασία εισόδου 20°C και εμβαδόν Συλλέκτη 4m^2

- Ενεργειακό κέρδος του επιπέδου συλλέκτη σε KJ/hr



Διάγραμμα TRNSYS 2.2- Ενεργειακού Κέρδους για τον Επίπεδο Συλλέκτη

- Ενεργειακό κέρδος του συλλέκτη με σωλήνες κενού σε KJ/hr



Διάγραμμα TRNSYS 2.3- Ενεργειακού Κέρδους για τον Συλλέκτη με Σωλήνες Κενού

3 Ηλιακή Ψύξη

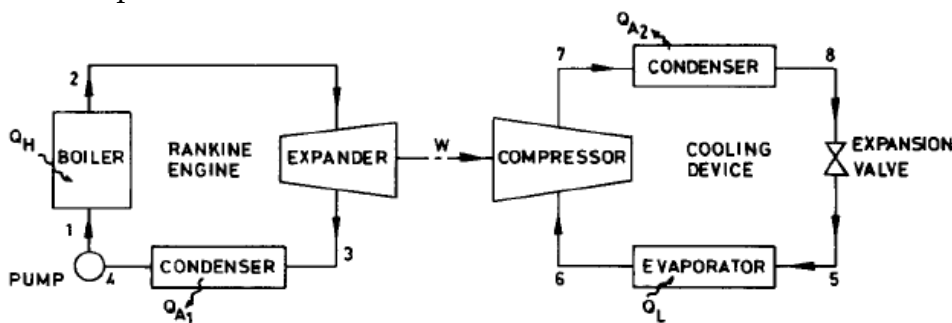
Οι τρόποι με τους οποίους εκμεταλλευόμαστε την ηλιακή ενέργεια προκειμένου να επιτύχουμε ψύξη. Τα συστήματα αυτά μπορούν να χωριστούν σε κλειστού και ανοιχτού τύπου. Εδώ θ' ασχοληθούμε με τα πρώτα προκειμένου να δούμε πως αυτά λειτουργούν ώστε να υπάρξει και ένα είδος σύγκρισης μεταξύ των τεχνολογιών ηλιακής ψύξης με αυτή της απορρόφησης που θα χρησιμοποιήσουμε παρακάτω.

3.1 Συστήματα Κλειστού τύπου για ψύξη με χρήση της ηλιακής ενέργειας

Θα γίνει μία αναφορά και ανάλυση της λειτουργίας για ακόμα δύο συστήματα κλειστού τύπου που αξιοποιούν την θερμότητα που συλλέγεται από τον ήλιο. Η παράγραφος αυτή έχει σκοπό να υπάρξει μία άμεση σύγκριση του συστήματος ψύξης με απορρόφηση σε αντιπαράθεση με αντίστοιχες διατάξεις.

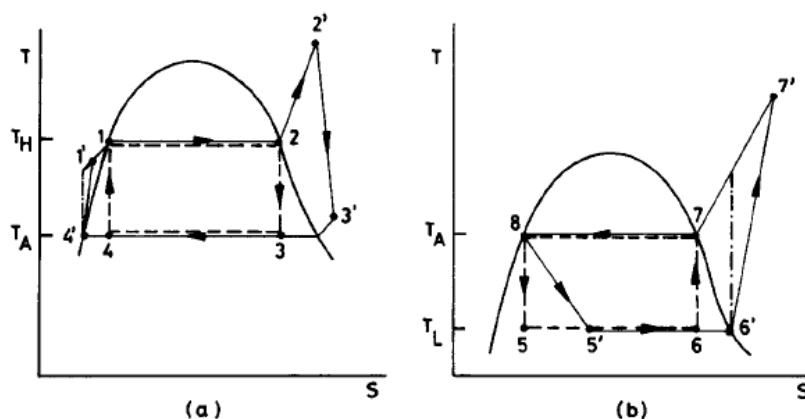
3.1.1 Τύπου Rankine με συμπιεσμένο ατμό

Τα συστήματα αυτά είναι τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα στα συμβατικά ψύξης και κλιματισμού. Η ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιείται για τις ανάγκες του Boiler. Είναι τα πιο απλά από το θερμοδυναμική άποψη, καθώς περιλαμβάνει μόνο το φέρον ρευστό, που χρησιμοποιείται ως ψυκτικό μέσο.



Σχ. 3.1-Αναπαράσταση Συστήματος Ηλιακής Ψύξης με Συμπιεσμένο Ατμό [6]

Των δύο υποσυστημάτων τα διαγράμματα ακολουθούν στις αντίστοιχες θέσεις ενώ με διακεκομμένη έχουμε τον κύκλο του Carnot για τα ίδια θερμοκρασιακά όρια όπου ο τελευταίος είναι και ο κύκλος με τη μέγιστη απόδοση:



Διάγραμμα 3.1-Θερμοκρασίας-Ενθαλπίας για το Κάθε Υποσύστημα [6]

Ακολουθεί πίνακας με τα χρησιμοποιούμενα στο κύκλο αυτό ψυκτικά μέσα και οι βασικές τους ιδιότητες:

TABLE 1. Working fluids for solar Rankine driven vapor compression cooling device

Substance	Molecular weight	Boiling point (°C)	Substance	Molecular weight	Boiling point (°C)
R-22	86	-41	R-114	171	+4
R-500	105	-33	R-133a	118	+6
R-12	121	-28	R-11	137	+24
R-152a	66	-25	R-113	187	+47
Iso-Butane	58	-12	Carbontetrachloride	154	+76
R-124a	136	-10	Toluene	92	+110
R-142b	100	-9	Monochlorobenzene	112	+131
1-Butene	56	-6	Monobromobenzene	157	+156

Πίνακας 3.1-Μοριακών Βαρών και Σημείου Βρασμού για Συνήθη Ψυκτικά Μέσα [6]

Στην αριστερή στήλη παρατίθενται οι ιδιότητες των ψυκτικών μέσων που χρησιμοποιούνται στον ψυκτικό κύκλο ενώ δεξιά τα στοιχεία για τη λειτουργία του κύκλου που προσφέρει την απαραίτητη ισχύ για τη λειτουργία του συμπιεστή στο ψυκτικό κομμάτι του κύκλου. Έρευνες έχουν δείξει πως υψηλότερη απόδοση έχουμε με χρήση στοιχείων μεγαλύτερου μοριακού βάρους.

Εκτός από τις παραπάνω βασικές ιδιότητες των εργαζομένων μέσων πρέπει να προσέξουμε και την καμπύλη κορεσμού του κάθε μέσου.

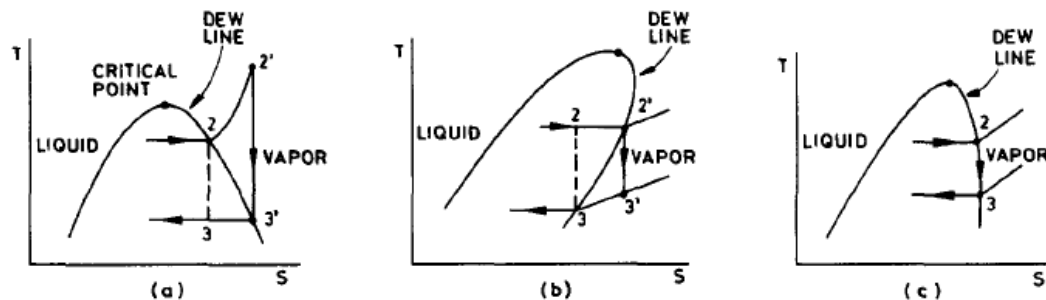


FIG. 5. Temperature – entropy characteristics of working fluids for Rankine cycle engine: (a) Positive slope dew line. (b) Negative slope dew line. (c) Isentropic dew line.

Διάγραμμα 3.2α-Θετικής κλίσης, 3.2β- Αρνητικής κλίσης, 3.2γ-Ισηντροπική [6]

Σχολιασμός του ανωτέρω σχήματος:

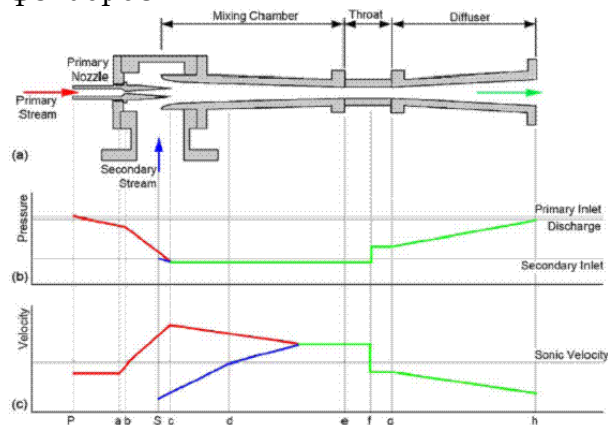
A. Εδώ η καμπύλη έχει αρνητική κλίση προκειμένου λοιπόν κατά την αποτόνωση που γίνεται στον expander να μην εμφανιστούν σταγονίδια πρέπει να έχουμε είσοδο σε αυτόν υπέρθερμο ατμό. Αυτό αποτελεί και την απόκλιση από τον βέλτιστο κύκλο του Carnot

B. Σε αυτή τη περίπτωση η κλίση είναι θετική. Εδώ και μετά την αποτόνωση έχουμε υπέρθερμο ατμόαυτό μειώνει την θερμοκρασιακή διαφορά που θα είχαμε στην αυτή διαφορά πίεσης απ' ότι στον κύκλο του Carnot.

Γ. Στην σχεδόν αυτή ισοθερμική καμπύλη έχουμε τη βέλτιστη απόδοση προφανώς διότι αυτή στον επίπεδο της αποτόνωσης προσομοιάζει με αυτή του Carnot.

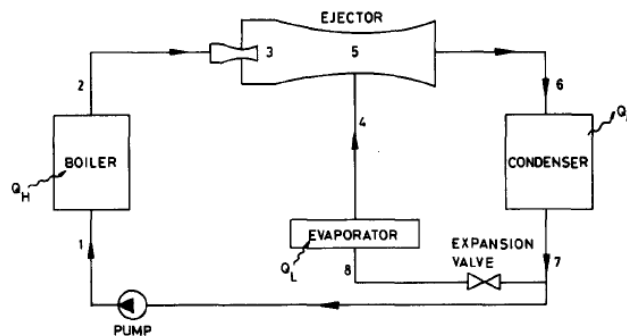
3.1.2 Σύστημα Ψύξης με Ψεκασμό

Στο σύστημα αυτό αντικαθίσταται η τουρμπίνα και ο συμπιεστής με το παρακάτω σύστημα ψεκασμού:



Διαγράμματα 3.3-Πίεσης και Ταχύτητας ανά Σημείο του Ψεκαστήρα [27]

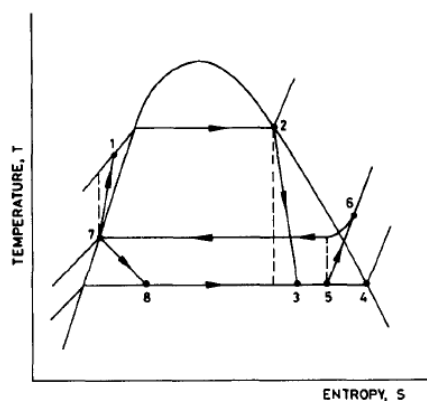
Προκύπτει λοιπόν το παρακάτω σύστημα:



Σχ.3.2-Αναπρόσταση Ψύκτη με Ψεκασμό [6]

Στο σύστημα του ejector έχουμε δύο εισόδους ατμού που συμφωνία και με το πρώτο σχήμα της παραγράφου θα τα ονομάσουμε πρωτεύον και δευτερεύον. Αυτά τα δύο αναμιγνύονται εντός του ejector και έχουμε τη διαδικασία που περιγράφεται μέσω των διαγραμμάτων ώστε να καταλήξει στη κατάσταση 6 το ψυκτικό μέσο έχει μεγαλύτερη πίεση από αυτή του ατμού μετά τον ατμοποιητή αλλά μικρότερη από αυτή του boiler. Το ψυκτικό μέσο σε αυτής της κατασκευής είναι το νερό.

Ακολουθεί το θερμοδυναμικό διάγραμμα του παραπάνω συστήματος:



Διάγραμμα 3.3-Θερμοκρασίας-Εντροπίας για Ψύξη με Ψεκασμό [6]

3.2 Ιστορικά Στοιχεία για τη Ψύξη με Απορρόφηση

Η ιστορική εξέλιξη του κύκλου με απορρόφηση συνοψίζοντας την στα σημαντικότερα στάδια της είναι η ακόλουθη:

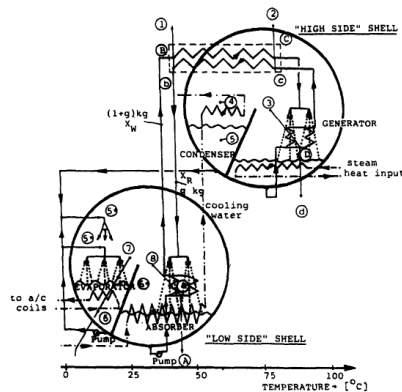
- ✚ Το 1777 ανακαλύπτεται ο κύκλος απορρόφησης
- ✚ Το 1850 κατασκευάζεται από τον Ferdinand Carre η πρώτη μηχανή με χρήση $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ λαμβάνοντας το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας της Γαλλίας
- ✚ Το 1920 έχουμε την ανακάλυψη του κύκλου με διάλυμα $\text{LiBr-H}_2\text{O}$
- ✚ Το 1945 ο Willy Carrier κατασκευάζει το πρώτο ψύκτη που χρησιμοποιεί το παραπάνω διάλυμα
- ✚ Το 1960 εισέρχονται στοιχεία για τη βελτιστοποίηση του
- ✚ Στη δεκαετία του '60 με την ανάπτυξη της βιομηχανίας φυσικού αερίου παρατηρείτε χάρη σε αυτή μια προώθηση της ψύξης με απορρόφηση. Αυξάνοντας την ζήτηση στην αγορά με λόγο των χαμηλών δαπανών στη λειτουργία και στη καλύτερη απόδοση τους. Όμως οι καινοτομίες σε συμπιεστές και ηλεκτρικούς κινητήρες αυξάνουν την απόδοσή τους έτσι οι αγοραστές να παραμένουν με τα συμβατικά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας.
- ✚ Το 1987 με το πρωτόκολλο του Μόντρεαλ για πρώτη φορά τίθενται ζητήματα που αφορούν την ηλεκτρική ψύξη τη χρήση των CFC ως ψυκτικών μέσων. Η αύξηση στη τιμή αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας σε αντιπαράθεση με τις σταθερές τιμές του φυσικού αερίου και την βελτίωση στη τεχνολογία ψύξης με απορρόφηση δημιουργούν θετικές προϋποθέσεις στην ευρύτερη χρησιμοποίηση της.
- ✚ Από το 1995 πολλοί παράγοντες βοήθησαν την απορρόφηση ψύξη αγοράς όπως: το άνοιγμα των μεγάλων φυσικών εργοστάσια παραγωγής φυσικού αερίου ανά την υφήλιο καθώς φυσικά και η καλύτερη εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας με την βελτιστοποίηση των συλλεκτών απορρόφησης της όλα αυτά και σε συνδυασμό με την αύξηση της τιμής του πετρελαίου αναγκάζουν τις προηγμένες χώρες σημαντικές εξελίξεις στη χρηματοδότηση εξοπλισμού και συμβάσεις ενεργειακών επιδόσεων.



Εικόνα 3.1-Τυπική Μορφή Ψύκτη Απορρόφησης

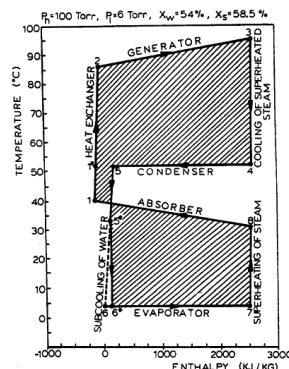
3.3 Ψύκτες με Απορρόφηση

Το μεγαλύτερο μειονέκτημα των κύκλων με μηχανική συμπίεση είναι ότι για να λειτουργήσουν απαιτείται μηχανική ενέργεια για τη κίνηση του συμπιεστή. Στη ψύξη με απορρόφηση εκμεταλλευόμαστε το ομώνυμο φαινόμενο. Η αρχή της λειτουργίας του είναι ότι πολλές ουσίες απορροφούν μεγάλες ποσότητες ατμού άλλων ουσιών σε χαμηλές θερμοκρασίες. Έτσι όταν ο ατμός μιας ουσίας απορροφάται από μίαν άλλη ουσία η διεργασία ονομάζεται απορρόφηση, η θερμότητα που μεταφέρεται είναι η λανθάνουσα θερμότητα του της συμπυκνώσεως του ατμού που απορροφάται από την υγρά ουσία.



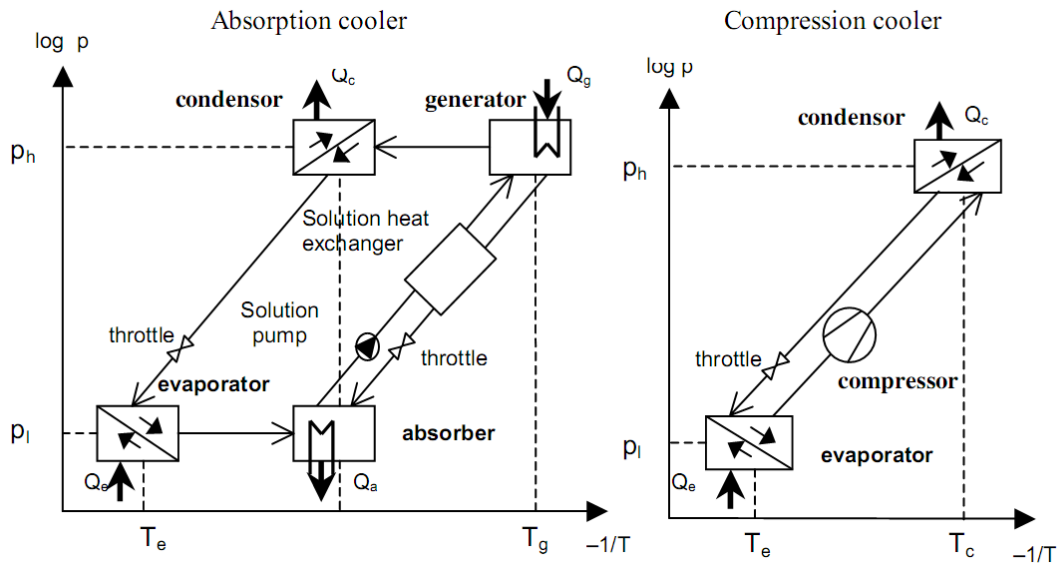
Σχ.3.3-Αναπαράσταση Λειτουργίας Βάση Θερμοκρασίας και Συγκέντρωσης Ψύκτη Απορρόφησης [10]

Λόγω της απορρόφησης αυτής του ατμοποιηθέντος ψυκτικού μέσου από το μέσο απορρόφησης έχουμε στην χαμηλή πίεση υγρό διάλυμα και όχι ατμό, το οποίο πρέπει να μεταφερθεί στην υψηλή πίεση. Η μεταφορά αυτή γίνεται είτε με την βοήθεια μηχανικής αντλίας είτε με χρήση κατάλληλης θερμοσιφωνικής αντλίας αντικαθιστώντας έτσι το συμπιεστή ατμών που έχει μεγάλη ανάγκη ισχύος στη λειτουργία του. Όπως προκύπτει το χαρακτηριστικό γνώρισμα των ψυκτικών διατάξεων με απορρόφηση είναι ότι απαιτούν ελάχιστη, αν χρησιμοποιήσουμε κοινή αντλία ή καθόλου αν χρησιμοποιήσουμε θερμοσιφωνική, μηχανική ενέργεια και ότι παράγουν την ψυκτική ισχύ μόνο με χρήση θερμικής ενέργειας προκειμένου να γίνει ο διαχωρισμός του ψυκτικού μέσου από το διάλυμα στην υψηλή πίεση όπου και βρίσκονται. Οι θερμοκρασίες που απαιτούνται στη πρόσδοση της θερμικής ενέργειας είναι τέτοιες ώστε να εξασφαλίζεται, συνεπικουρούμενη ενίοτε από μια μικρή παροχή άλλης μορφής ενέργειας, από ηλιακούς συλλέκτες.



Διάγραμμα 3.4-Θερμοκρασίας Ενθαλπίας για Ψύκτη Απορρόφησης [10]

Με τη διεργασία που περιγράψαμε επιτυγχάνεται στο κύκλο μεταφορά θερμότητας από χαμηλές σε υψηλές θερμοκρασίες, χωρίς να υπάρχει ανάγκη να δώσουμε στο σύστημα μηχανική ενέργεια για τη λειτουργία του συμπιεστή. Σε αυτό καταλυτικό ρόλο παίζει το γεγονός της ύπαρξης ηλιακής ακτινοβολίας με την ταυτόχρονη ανάγκη για ψύξη των χώρων. Ο διαχωρισμός που αναφέρθηκε επιτυγχάνεται με βρασμό και κλασματική απόσταξη. Όπως βλέπουμε σύμφωνα, και με τα ειπωθέντα ανωτέρω, από το παρακάτω διάγραμμα ουσιαστικά αντικαθίστανται ο συμπιεστής του κύκλου Rankine με το διάλυμα μιας και σκοπός μας είναι να έχουμε συμπύκνωση του ψυκτικού μέσου σε υψηλή θερμοκρασία.



Διαγράμματα 3.5-Ψύκτη Απορρόφησης και Συμπιεσμένου Ατμού [13]

3.4 Εργαζόμενα Μέσα στους Ψύκτες Απορρόφησης

Στους ψύκτες που χρησιμοποιούν τη χημική διεργασία της απορρόφησης θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε διάφορα μέσα.

Απαραίτητες ιδιότητες στην επιλογή στοιχείων του διαλύματος (απορροφητικού υλικού-ψυκτικού μέσου) είναι:

Η επιλογή του συνδυασμού ψυκτικού μέσου-απορροφητικό είναι πάντοτε το σημείο εκκίνησης κατά το σχεδιασμό ενός σύστημα απορρόφησης.

Τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά που θα πρέπει να έχει το διάλυμα είναι:

- Η διαλυτότητα του ψυκτικού μέσου στο απορροφητικό πρέπει να είναι όσο το δυνατόν υψηλότερη στο απορροφητήρα βάσει θερμοκρασίας και πίεσης, και το αντίθετο να συμβαίνει αντίστοιχα στον αναγεννητή. Εάν η απαίτηση αυτή δεν πληρούται, μεγάλο ποσά των απορροφητικών λύση πρέπει να διανεμηθεί μεταξύ του απορροφητήρα και γεννήτρια για να μεταβίβαση της ποσότητας της ψύξης που απαιτείται για την παράγουν αποτέλεσμα την ψύξη. Αυτό με τη σειρά του προκαλεί υπερβολική εσωτερική απώλειες θερμότητας που οδηγεί σε κακή εκτέλεση
- Η θερμότητα που απαιτείται για την αποδέσμευση ψυκτικού μέσου στον αναγεννητή πρέπει να κοντά στην θερμότητα ατμοποίησης του ψυκτικού στον ατμοποιητή. Ο λόγος της πρώην του τελευταίο είναι συνήθως μεγαλύτερο από την μονάδα, λόγω της πεπερασμένος θερμότητα της αραίωση, η οποία πρέπει να απορριφθεί στο απορροφητήρα. Η θερμότητα που πρέπει να δαπανώνται στο γεννήτρια προκειμένου να αποδεσμεύσει από το ψυκτικό λύση πέραν εκείνου που απαιτείται για εξατμίζονται αυτό, μπορεί να πάει χαμένη.
- Οι ιδιότητες του απορροφητικό-ψυκτικό λύση που επηρεάζουν τη θερμότητα και μαζικής μεταφοράς, όπως το ιξώδες, συντελεστή διάχυσης, θερμική αγωγιμότητα κλπ. πρέπει να είναι ευνοϊκή.
- Το απορροφητικά θα πρέπει να είναι ή πολύ λίγο ή και εντελώς μη πτητικές ουσίες ώστε μετά τον αναγεννητή να μην υπάρχει ποσοστό απορροφητικού υλικού το οποίο θα οδηγηθεί στον ατμοποιητή, όπου γίνεται και η ψύξη.
- Η θερμοκρασία στερεοποίησης του απορροφητικού και ψυκτικό μέσου είτε με κρυστάλλωση είτε με στερεοποίηση πρέπει να είναι χαμηλότερη στο φάσμα των συνθηκών λειτουργίας της συσκευής.
- Τα μέρη του διαλύματος θα πρέπει να είναι χημικώς σταθερά, άφλεκτος, μη τοξικά και μη διαβρωτικά για τα κοινά υλικά κατασκευής.

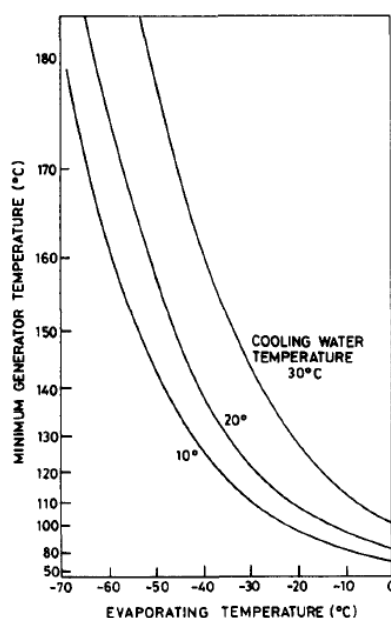
Παρότι αρκετά είναι τα διαλύματα τα οποία έχουν κάποιες από τις παραπάνω ιδιότητες μόνον δύο έχουν επικρατήσει σε ευρεία χρήση:

- Αμμωνία (ψυκτικό) – Νερό (απορροφητικό)
- Νερό (ψυκτικό) - Βρομιούχο λίθιο (απορροφητικό)

3.5 Ψυκτικός Κύκλος με NH₃-H₂O

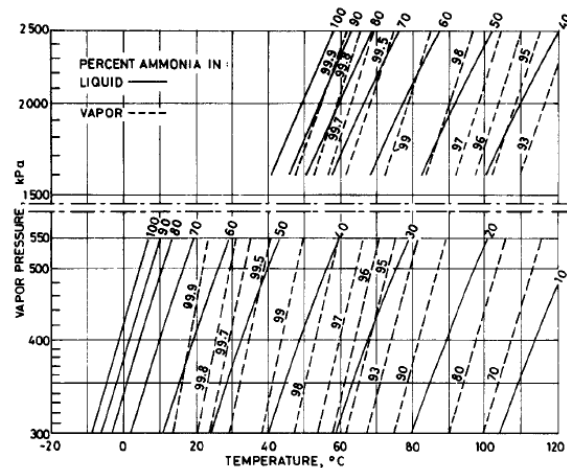
Εγκαταστάσεις απορροφήσεως του είδους αυτού κατασκευάζονται σε μεγέθη διαφόρων ψυκτικών ισχύων που καλύπτουν όλη την κλίμακα από λίγες εκατοντάδες Watt μέχρι 2 και 3 MW. Οι μεγάλες εγκαταστάσεις ευρίσκουν εφαρμογή κυρίως σε χημικές βιομηχανίες και ιδιαίτερα σε δυλιστήρια υγρών καυσίμων. Το διάλυμα νερού-αμμωνίας δεν ενδείκνυται για ψύξη με ηλιακή ενέργεια και αυτό διότι στον αναγεννητή (generator) απαιτείται υψηλή θερμοκρασία του εισερχομένου θερμού ρεύματος της τάξεως των (125-170 °C). Αυτή η θερμοκρασία δύναται να επιτευχθεί μόνο με παραβολικούς συλλέκτες μέσου λόγου συγκέντρωσης οι οποίοι όμως λόγω του υψηλού κόστους συντήρησης καθώς και των μεγάλων απωλειών στον αποταμιευτήρα (storage tank) κρίνονται ακατάλληλοι .

Ακολουθεί διάγραμμα με την ελάχιστη θερμοκρασία θερμού ρεύματος στον αναγεννητή προκειμένου βάσει βέβαια της θερμοκρασίας ψυχρού ρεύματος και αυτής της ατμοποίησης να έχουμε διαχωρισμό του μείγματος.



Διάγραμμα 3.5-Ελάχιστη Θερμοκρασία στον Αναγεννητή Συναρτήσει της Ατμοποίησης και του Ψυκτικού Ρεύματος [6]

Σημαντικό μειονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι θερμοκρασιακή διαφορά των σημείων βρασμού αμμωνίας και νερού είναι 133K και κατά συνέπεια, μετά την διαδικασία της αναγέννησης στα συστήματα αμμωνίας-νερού, παράγεται μίγμα ατμών αμμωνίας και νερού το οποίο απαιτεί αναβελτίωση για την παραγωγή σχετικά αμιγούς ατμού ψυκτικού μέσου. Η θερμοκρασία ατμοποίησης στα ψυκτικά συστήματα αμμωνίας μπορεί να φτάσει τους -60°C γεγονός που τους καθιστά ιδανικούς για βιομηχανικές εφαρμογές και λιγότερο για κλιματισμό μονοβάθμιες μονάδες του είδους αυτού παράγεται ευχερώς ψυκτική ισχύς στους -45 °C ή ακόμα και στους -75 °C . Την θερμοκρασία αυτή ουδεμία μονοβάθμια διάταξη συμπίεσης ατμού μπορεί να πλησιάσει λόγω του εξαιρετικά μεγάλου λόγου συμπίεσης που απαιτείται.



Διάγραμμα 3.6-Πίεσης Ατμών-Θερμοκρασίας της Αμμωνίας [6]

3.6 Ψυκτικός Κύκλος με H₂O-LiBr

Η ατμοποίηση έχει σαν αποτέλεσμα τον πλήρη διαχωρισμό του διμερούς μίγματος και την παραγωγή υδρατμών που οδεύουν προς τον συμπυκνωτή.

Η σημαντική διαφορά μεταξύ των δυο διμερών μιγμάτων είναι η ακόλουθη: Στην περίπτωση του ζεύγους NH₃ · H₂O το μέσο απορρόφησης (H₂O) έχει ίδια τάση ατμών και στην ατμογεννήτρια παράγεται μίγμα ατμών αμμωνίας και νερού, το οποίο απαιτεί αναβελτίωση για την παροχή προς τον συμπυκνωτή σχετικά αμιγούς ατμού ψυκτικού μέσου. Αντίθετα το μίγμα νερό · δ/μα LiBr χρησιμοποιεί ως μέσο απορρόφησης άλας (LiBr), το οποίο στερείται ίδιας τάσης ατμών και έτσι στην ατμογεννήτρια παράγεται άμεσα μόνο ατμός ψυκτικού μέσου (υδρατμός) χωρίς να απαιτείται ουδεμία αναβελτίωση.

Αντίθετα το διάλυμα νερού·LiBr έχει σαν απαίτηση στη θερμοκρασία εισόδου του θερμού νερού μικρότερη, της τάξης των (90-120°C). Αυτές οι θερμοκρασίες μπορούν να επιτευχθούν με παραβολικούς συλλέκτες καθώς επίσης με σωληνοειδείς οι οποίοι τοποθετούνται εύκολα και έχουν καλή απόδοση σε σταθερή θέση. Σημαντικό πλεονέκτημα των ψυκτών νερού·LiBr είναι η μεγάλη θερμοκρασιακή διαφορά των σημείων βρασμού του ψυκτικού μέσου(καθαρό νερό) και του απορροφητικού διαλύματος νερού·LiBr. Αυτό, έχει ως συνέπεια, μετά την αναγέννηση να παράγεται καθαρός ατμός ψυκτικού μέσου. Στα αρνητικά του όμως έχουμε τον κίνδυνο κρυσταλλοποίησης.

4 Ψύκτης Απορρόφησης Βρωμιούχου-Λιθίου (LiBr)

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μια ανάλυση του ψυκτικού κύκλου του με εργαζόμενο μέσο διάλυμα νερού-βρωμιούχου λιθίου. Αρχικά θα γίνει θερμοδυναμική ανάλυση του κύκλου και των βασικών του υποσυσκευών κατόπιν θα αναφερθούμε πως αντιδράει σε θερμοδυναμικό επίπεδο ο ψύκτης σε αλλαγές των παραμέτρων λειτουργίας, και αφού μιλήσουμε για το φαινόμενο της κρυστάλλωσης και τους περιορισμούς που επιβάλλει τέλος θα μιλήσουμε χωριστά για τον απορροφητή και τη λειτουργία του. Σε ένα άλλο επίπεδο θα κλείσουμε το κεφάλαιο με αναφορές σε είδη τέτοιων ψυκτών και σε συγκρίσεις μεταξύ των στοιχείων τους.

4.1 Θερμοδυναμική Ανάλυση

Η ανάλυση που ακολουθεί βασίζεται στη [10]

Σχηματική παράσταση ενός ψύκτη απορρόφησης:

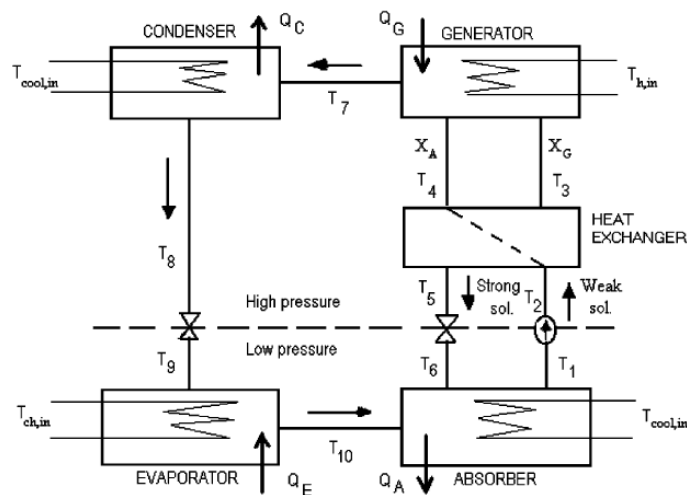


Fig. 1. Schematic diagram of the absorption cooling system.

Σχ.4.1-Αναπαράσταση ενός Συστήματος Απορρόφησης [13]

Θερμοδυναμική κατάσταση διαλύματος (LiBr-H₂O)-ψυκτικού μέσου(H₂O) βάσει του ανωτέρω σχήματος:

1. Κορεσμένο φτωχό-διάλυμα
2. Υπόψυκτο φτωχό-διάλυμα
3. Υπόψυκτο φτωχό-διάλυμα
4. Κορεσμένο πλούσιο-διάλυμα
5. Υπόψυκτο πλούσιο-διάλυμα
6. Διφασικό πλούσιο-διάλυμα
7. Υπέρθερμος ατμός
8. Κορεσμένο νερό
9. Διφασικό νερό
- 10.Κεκορεσμένος ατμός

Η παροχή και η σύσταση μάζας κάθε ξεχωριστής κατάστασης:

- $m_1=m_2= m_3$ ενώ έχουμε X_{LiBr-I}
- $m_4=m_5= m_6$ ισχύει $m_1 \cdot X_{LiBr-I}=m_4 \cdot X_{LiBr-II}$
- $m_7=m_8= m_9=m_{10}$ και $X_{LiBr-III}=0$

Θερμοδυναμικές ιδιότητες H_2O και διαλύματος $H_2O-LiBr$

Για θερμοκρασίες $T \leq 110^\circ C$ η ειδική ενθαλπία για το νερό $T_{υγρό}$ και για τον ατμό $T_{ατμός}$ είναι:

- $h_{υγρό} [— = 4.19 \cdot T [^\circ C]$
- $h_{ατμός} [— = 1.73 \cdot T [^\circ C] + 2501.6$

Η θερμοκρασία ισορροπίας T_e' του διαλύματος $H_2O-LiBr$ σε συγκεκριμένη πίεση εκφράζεται ως σχέση της θερμοκρασίας του καθαρού νερού T_e στην αντίστοιχη πίεση και της συγκέντρωσης X [————— του βρωμιούχου λιθίου.

- $T_e' = A(X) \cdot T_e + B(X)$
 - $A(X) = - 2.0075 + 0.16976 \cdot X - 3.133362 \cdot X^2 \cdot 10^{-3} - 1.97668 X^3 \cdot 10^{-5}$
 - $B(X) = 124.94 - 7.71649 \cdot X + 0.1522858 X^2 - 7.9509 X^3 \cdot 10^{-4}$

Η ισχύς της ανωτέρω είναι εντός των ορίων που εξετάζουμε:
 $- 17.8^\circ C \leq T_e \leq 110^\circ C$, $4.4^\circ C \leq T_e' \leq 176^\circ C$, $45\% \leq X \leq 70\%$

Η ενθαλπία των καταστάσεων του διαλύματος βάση θερμοκρασίας και συγκέντρωσης του είναι:

- $h = E_1 + E_2 \cdot T + E_3 \cdot T^2$
 - $E_1 = - 2024.18588321 + 163.2976010204 \cdot X - 4.88126853177 \cdot X^2 + 6.30250843 \cdot X^3 \cdot 10^{-2} - 2.91350364 \cdot X^4 \cdot 10^{-4}$
 - $E_2 = 18.2816227619 - 1.169094163968 \cdot X + 3.24785671 \cdot X^2 \cdot 10^{-2} - 4.03390218 \cdot X^3 \cdot 10^{-4} + 1.85192774 \cdot X^4 \cdot 10^{-6}$
 - $E_3 = -0.0370056321 + 2.88756514 \cdot X \cdot 10^{-3} - 8.13075689 \cdot X^2 \cdot 10^{-5} - 9.91097142 \cdot X^3 \cdot 10^{-7} - 4.44381071 \cdot X^4 \cdot 10^{-9}$

Πίεση

Η πίεση και θερμοκρασία στην οποία κατά την θέρμανση ή ψύξη του νερού εμφανίζεται η λανθάνουσα περιοχή θερμότητας και η μετάβαση από νερό σε ατμό και αντίστροφα με ενδιάμενη ύπαρξη διφασικής κατάστασης είναι:

- $\log_{10} p_e = 14.1 \cdot [322.6383 / (T_e + 273) + 2.4850432]^2$

Η ανωτέρω ισχύει για θερμοκρασίες από $0^\circ C$ ως $400^\circ C$ και για πιέσεις από 4 Torr ως 150 Torr.

Βάσει του σχήματος:

- $p_{υψηλή}=p_2=p_3=p_4=p_5=p_7=p_8$
- $p_{χαμηλή}=p_1=p_6=p_9=p_{10}$

4.2 Τα κύρια μέρη ενός ψύκτη απορρόφησης

- Απορροφητήρας (Absorber)

Εδώ έχουμε τη πλήρη ανάμειξη του πλούσιου μείγματος σε LiBr με τον ατμό που παράγεται στον ατμοποιητή με την παράλληλη απορρόφηση θερμότητας από το ψυχρό ρεύμα νερού που προέρχεται από το πύργο ψύξης. Το παραγόμενο μείγμα είναι φτωχότερο σε LiBr από το εισερχόμενο και οδηγείται στον αναγεννητή (generator) σε μορφή υπόψυκτου διαλύματος.

- * $Q_{abs,cw}=m_{ew}*(T_{abs,cw,out}-T_{abs,cw,in})$
- * $m_{10}+m_6=m_1$
- * $m_{10}*h_{10}+m_6*h_6-m_1*h_1=Q_{abs,cw}=Q_{abs}$

- Αντλία Φτωχού-Διαλύματος

Σκοπός της είναι να φέρει το διάλυμα σε κατάσταση υψηλής πίεσης

- * $W_{αντλιας}=m_2*h_2+m_1*h_1$

- Βαλβίδα Αποτόνωσης

- Εναλλάκτης Θερμότητας (Heat-Exchanger)

Για καθαρά λόγους αύξησης του βαθμού απόδοσης του ψύκτη χρησιμοποιείται ο εναλλάκτης. Η θερμότητα μεταφέρεται μεταξύ του πλούσιου μείγματος, το οποίο προέρχεται από τον αναγεννητή (generator) στο φτωχότερο μείγμα που προέρχεται από τον απορροφητήρα. Θα χρειαστεί να σκεφτούμε το εξής:

Για τη δημιουργία 1[kg] ατμού επιστρέφει πλούσιο μείγμα g [kg] συνεπώς από το ισοζύγιο τη μάζας στη μηχανή $(1+g)$ [kg] φτωχού μείγματος και από αυτό της προσροφητικής ουσίας έχουμε $(1 + g)*X_{φτωχού} = g*X_{πλούσιου}$ και

$$g = \frac{X_{πλούσιου}}{X_{φτωχού} - X_{πλούσιου}}$$

$$h(T) = (1 + g)*h(X_w, T) - g*h(X_s, T)$$

- * Η θερμότητα που απορροφάται από το φτωχό μείγμα ισούται:
 $Q_{HE1}=n_{HE}*c_p(fr1)*(T_3- T_1)$
- * Η θερμότητα που προσδίδεται από το πλούσιο μείγμα ισούται:
 $Q_{HE2}=c_p(fr2)*(T_4- T_5)$
- * Η ενεργειακή συμπεριφορά στη θερμή πλευρά του εναλλάκτη είναι:
 $Q_{shx-h}= m_4*h_4+m_5*h_5$
- * Αντίστοιχα στη ψυχρή πλευρά έχουμε:
 $Q_{shx-c}= m_3*h_3+m_2*h_2$

- Αναγεννητής (Generator)

Ένα θερμό ρεύμα νερού προσδίδει θερμότητα στο φτωχό μείγμα LiBr και ποσοστό του νερού το οποίο μετατρέπεται σε υπέρθερμο ατμό οδεύει στον συμπυκνωτή (condenser) ενώ λόγω της μη αεριοποίησης του LiBr το μείγμα

επιστρέφει στον απορροφητήρα πλουσιότερο και με λιγότερη μάζα έπειτα από την ατμοποίηση ποσοστού του νερού.

- * Η θερμότητα που προσδίδεται από το θερμό ρεύμα:

$$Q_{\text{gen,hw}} = c_p \cdot (T_{\text{gen,hw,in}} - T_{\text{gen,hw,out}})$$

- Συμπυκνωτής (Condenser)

Το ψυχρό ρεύμα νερού απορροφά θερμότητα από τον υπερθερμο ατμό και η εκροή από το συμπυκνωτή είναι κορεσμένο νερό στην αυτή πίεση.

Θεωρητικά η θερμοκρασία πριν και μετά τη συμπύκνωση είναι ουσιαστικά η ίδια. Πρακτικά υπάρχει μια μικρή διαφορά την οποία και θεωρούμε αμελητέα έτσι:

- * $T_7 = T_8 = T_e(p_{\text{υψηλή}}) \rightarrow$

- * $Q_c = m_7 \cdot h_7 - m_8 \cdot h_8$ επειδή $m_7 = m_8 \rightarrow$
 $Q_c = m_7 \cdot (h_7 - h_8)$

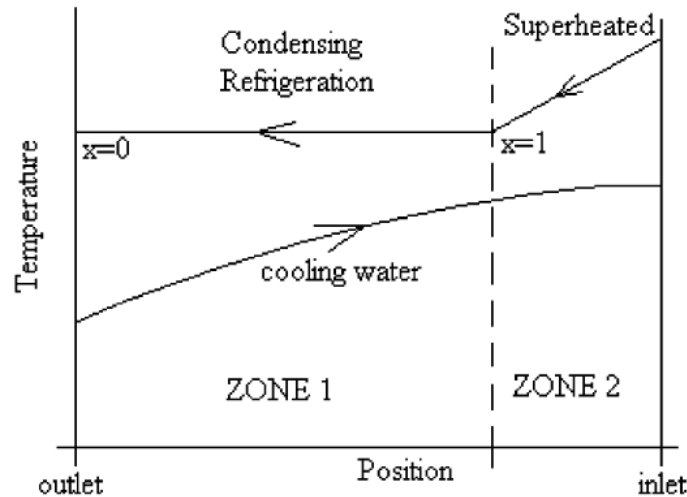


Fig. 3. Typical temperature profiles for a condenser.

Διάγραμμα 4.1-Τυπική Διακύμανση Θερμοκρασίας στον Συμπυκνωτή [13]

- Ισενθαλπική Βαλβίδα Αποτόνωσης (Isenthalpic Expansion Valve)
 Εδώ το κορεσμένο νερό αποτονώνεται με σταθερή τη τιμή ενθαλπίας με αποτέλεσμα την
- Ατμοποιητής (Evaporator)
- Θεωρητικά η θερμοκρασία πριν και μετά τη ατμοποίηση είναι ουσιαστικά η ίδια. Πρακτικά υπάρχει μια μικρή διαφορά την οποία και θεωρούμε αμελητέα έτσι:

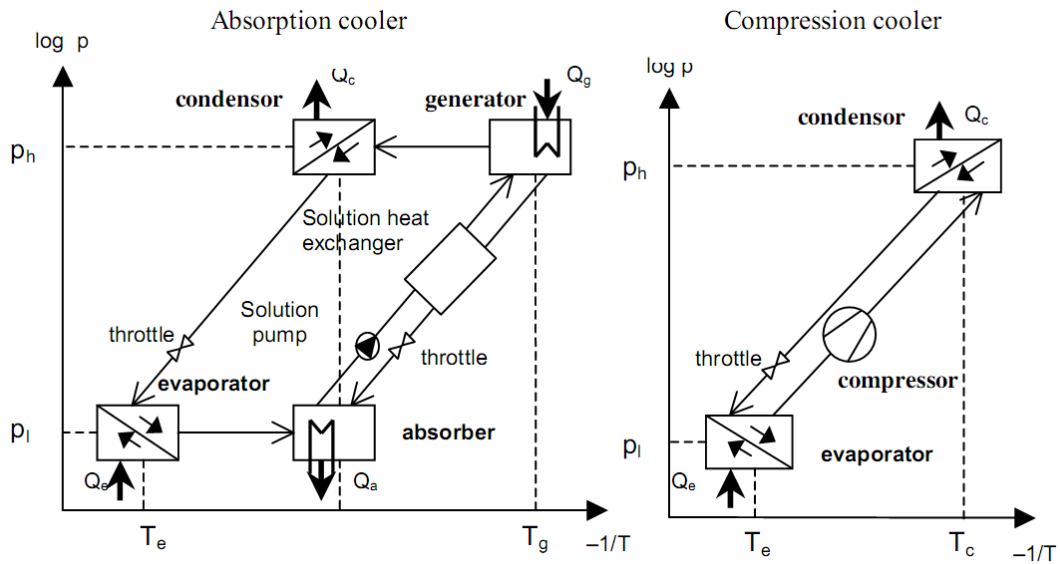
- * $T_9 = T_{10} = T_e(p_{\text{χαμηλή}})$

- * $Q_{\text{ev}} = m_9 \cdot h_9 - m_{10} \cdot h_{10}$ επειδή $m_9 = m_{10} \rightarrow$
 $Q_{\text{ev}} = m_9 \cdot (h_9 - h_{10})$

- Βαθμός απόδοσης

$$* \text{COP}_R = \frac{Q_e}{Q_g - Q_e}$$

Όπως βλέπουμε και από το παρακάτω διάγραμμα ουσιαστικά αντικαθίστανται ο συμπιεστής του κύκλου Rankine με το διάλυμα μιας και σκοπός μας είναι να έχουμε συμπύκνωση του ψυκτικού μέσου σε υψηλή θερμοκρασία.



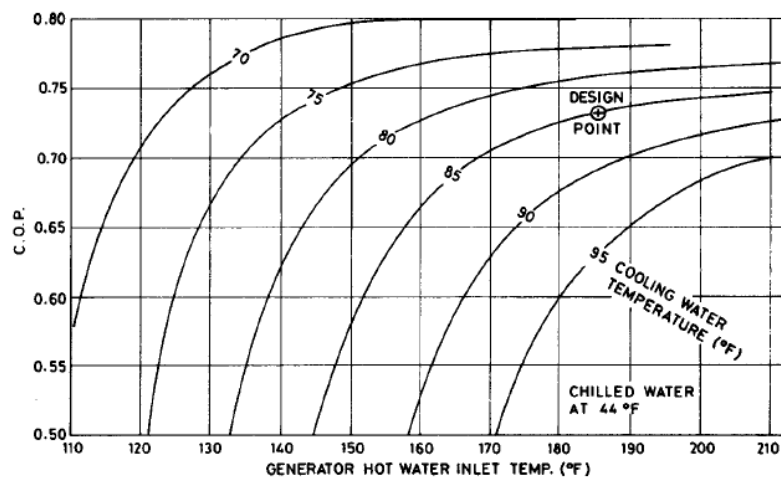
Διάγραμμα 4.2-Πίεσης-Θερμοκρασίας για Ψύκτη Απορρόφησης και Συμπιεσμένου Ατμού [13]

4.3 Αλλαγές Παραμέτρων και Μεταβολές που Προκαλούνται

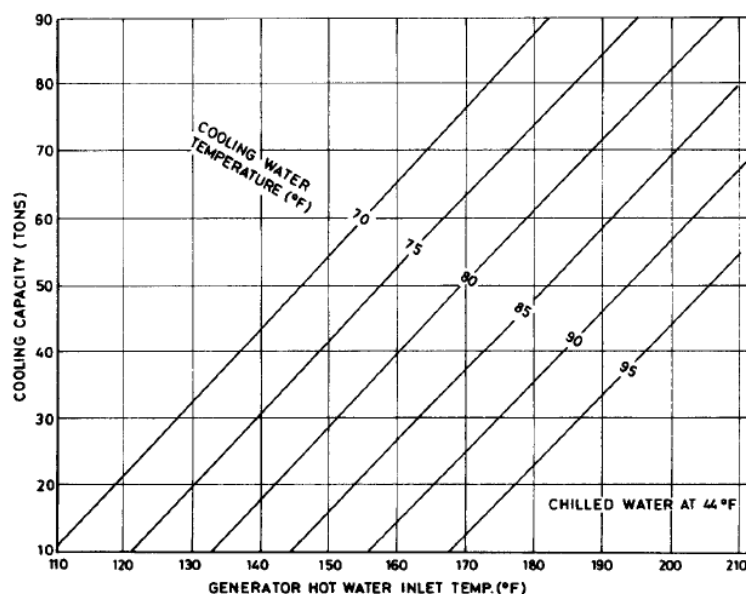
Στον κύκλο απορρόφησης μία αλλαγή σε μία μεταβλητή εισόδου του συστήματος προκαλεί μεταβολή σε όλες της εξαρτημένες μεταβλητές προκειμένου να υπάρξει ισορροπία στο σύστημα αλλάζει όλος ο κύκλος λειτουργίας.

4.3.1 Θερμοκρασία εισόδου στον αναγεννητή

Βλέπουμε ότι η αύξηση της θερμοκρασίας εισόδου του θερμού ρεύματος δεν προκαλεί ανάλογη αύξηση στο βαθμό απόδοσης και ακόμα του εναντίον προκαλεί μια ελαφρά μείωση του πέραν του μεγίστου ακρότατου. Αντιθέτως ακόμα και μία μικρή μείωση έχει σαν αντίκτυπο μία απότομη πτώση στην απόδοση του συστήματος. Αυτό έχει την εξής εξήγηση: η αύξηση αυτή προκαλεί ανάλογη αύξηση στη παραγόμενη ποσότητα ατμού στον ατμοποιητή αλλά και αύξηση στη μεταφορά θερμότητας σε όλες τις θερμικές διεργασίες. Επίσης έχουμε σημαντικές αυξήσεις σε στις πιέσεις και τη ροή μάζας λειτουργίας.



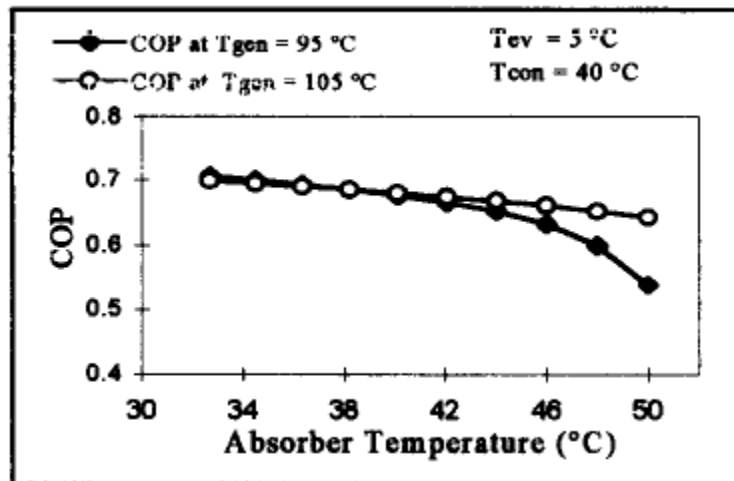
Διάγραμμα 4.3-Μεταβολή του Βαθμού Απόδοσης Συναρτήσει των Θερμοκρασιών Εισόδου Θερμού Ρεύματος και Ψυχρού Ρεύματος για Παραγωγή Νερού στα 44°F [6]



Διάγραμμα 4.4-Ψυκτική Παροχή Μάζας Νερού Θερμοκρασίας 44°F για Θερμοκρασίες Θερμού και Ψυχρού Ρεύματος [6]

4.3.2 Θερμοκρασία εισόδου ψυχρού ρεύματος

Από τα ανωτέρω διαγράμματα προκύπτει ότι η αύξηση της θερμοκρασίας εισόδου αυτού του ρεύματος προκαλεί μικρή μείωση στο βαθμό απόδοσης της συσκευής, μεγαλύτερη όμως από μια αντίστοιχη αλλαγή στη θερμοκρασία του ψυχόμενου νερού, ενώ παράλληλα σημαντική μείωση στην ποσότητα (ρυθμό) ατμοποίησης.



Διάγραμμα 4.5-Βαθμός Απόδοσης Συναρτήσει της Θερμοκρασίας στον Απορροφητήρα με Σταθερές τις Υπόλοιπες Παραμέτρους [29]

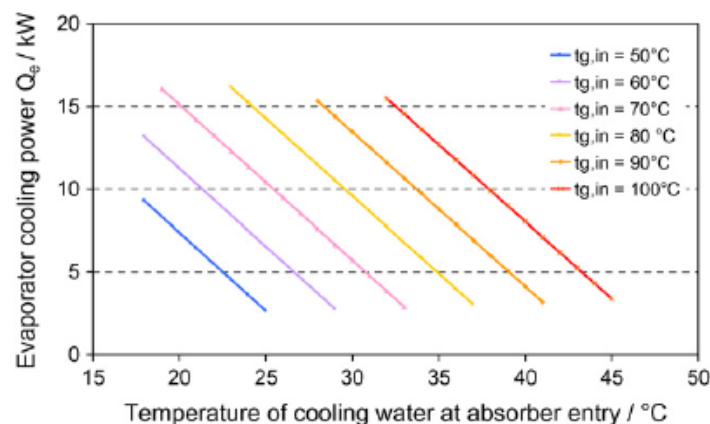


Fig. 3. Simulated cooling power as a function of cooling water temperature for a market available 15 kW absorption chiller.

Διάγραμμα 4.6-Συσχέτισης Θερμοκρασίας Ψυχρού, Θερμού Ρεύματος και Ισχύος Ψύξης σε Ψύκτη με Απορρόφηση Ονομαστικής Ισχύος 15KW [11]

4.3.3 Παροχή μάζας του διαλύματος

Καταρχάς πρέπει να ειπωθεί ότι η μεταβολή στη παροχή μάζας προκαλεί αλλαγές στα μεγέθη σε όλο το κύκλο λειτουργίας. Η αύξηση στη παροχή της μάζας του διαλύματος, δηλαδή η ταχύτητα που γυρίζει η αντλία και κατ'επέκταση η παροχή που δίνει στο σύστημα, αυξάνει την ενέργεια που μεταφέρεται από το πλούσιο διάλυμα που επιστρέφει από το αναγεννητή, και έχει υψηλότερη ενέργεια, στο φτωχό που λόγω ροής έχει μεγαλύτερη ανάγκη από αυτή μέσω του εναλλάκτη. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ν'

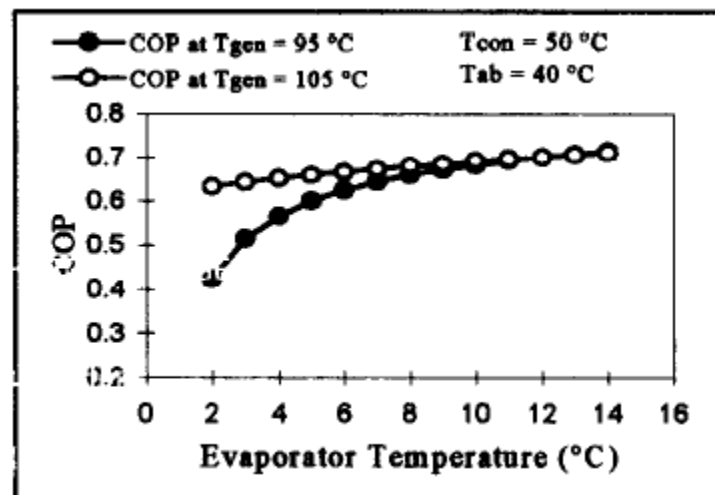
αυξάνονται και οι απώλειες λόγω της ύπαρξης μη ιδανικού εναλλάκτη. Αντιθέτως στη ποσότητα του ατμού που παράγεται εμφανίζεται ένα ακρότατο με την αύξηση της ροής.

4.3.4 Παροχή μάζας θερμού ρεύματος

Η αύξηση της παροχής του θερμού ρεύματος δεν προκαλεί ουσιαστική μεταβολή στο βαθμό απόδοσης της μηχανής ενώ πέρα ενός σημείου δεν αυξάνει ούτε τη ποσότητα του ατμοποιημένου νερού και κατ' επέκταση της ισχύς ατμοποίησης.

4.3.5 Θερμοκρασία εισόδου ψυχόμενου ρεύματος

Η αύξηση της θερμοκρασίας εισόδου του προς ψύξη νερού προκαλεί μικρή και ανάλογη αύξηση τόσο στο βαθμό απόδοσης του κύκλου όσο και στη ποσότητα παραγόμενου ατμού.



Διάγραμμα 4.7- Βαθμού Απόδοσης Ψύκτη Συνάρτησει της Θερμοκρασίας Ατμοποίησης [29]

Αυτό εξηγείτε ως εξής: με την αύξηση της θερμοκρασία έχουμε μια αύξηση στην πίεση του ατμοποιητή με τέτοιο τρόπο που οδηγεί σε παράλληλη μικρή αύξηση της μεταφοράς θερμότητας.

4.3.6 Πτώση πίεσης μεταξύ ατμοποιητή και απορροφητήρα

Στη θερμοδυναμική ανάλυση που προηγήθηκε θεωρήσαμε αυτή τη πτώση ως αμελητέα. Στη πραγματικότητα αυτή υπάρχει και η αύξησή της προκαλεί πτώση τόσο στο βαθμό απόδοσης όσο και κυρίως στην ατμοποιηθήσα ισχύ. Αυτή η πτώση θα πρέπει να ελαχιστοποιείται προκειμένου να αποφύγουμε την κρυσταλλοποίηση.

4.3.7 Αλλαγή των συντελεστών μεταφοράς θερμότητας των διαφόρων εναλλακτών της μηχανής

Γενικά η θερμότητα που μεταφέρεται μπορεί να γραφεί με τη σχέση:

$$* Q_i = U * A_i * \Delta T_{lm,i}$$

Όπου:

$$\triangleright \Delta T_{lm,i} = \frac{T_{in} - T_{out}}{\ln \left(\frac{T_{in} - T_{c}}{T_{h} - T_{c}} \right)}$$

- η θερμοκρασία εισόδου του εκάστοτε ρεύματος
- η αντιστοιχη εξόδου
- η θερμοκρασία εισόδου του διαλύματος ή του ψυκτικού μέσου
- η αντιστοιχη εξόδου

Η αύξηση του γινομένου $U * A_i$ που δεν είναι κάτι άλλο από την ισχύ που περνάει από το θερμό στο ψυχρό ανά διαφορά 1 βαθμού θερμοκρασίας και βελτιώνει τη λειτουργία του εναλλάκτη παρουσιάζει την ακόλουθη από τα διαγράμματα συμπεριφορά.

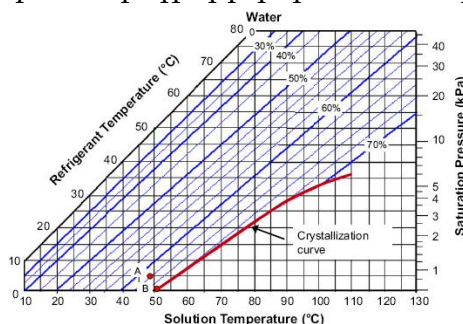
4.4 Το Φαινόμενο της Κρυσταλλοποίησης Αίτια και Επιπτώσεις

Φαινόμενο άλατα το οποίο παρουσιάζεται κρυσταλλοποίηση των αλάτων βρωμιούχου λιθίου στη γεννέτρια. Η επίπτωση αυτού του φαινομένου ,που ευτυχώς είναι αναστρέψιμο, οδηγούν στη μείωση της απόδοσης της μηχανής χωρίς όμως να της προκαλεί ζημιές ή φθορές.

Αίτια που το προκαλούν:

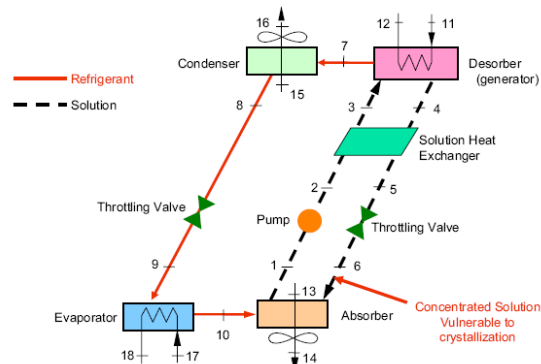
- Χαμηλή θερμοκρασία του ψυχρού ρεύματος κατά τη συμπύκνωση
- Απώλεια κενού
- Απότομη διακοπή λειτουργίας λόγω διακοπής ηλεκτρικού ρεύματος
- Υπερφόρτωση
- Εισροή μη υγροποιούμενων ρευστών στο κύκλωμα σε ποσότητες μεγαλύτερες από την ικανότητα εξαέρωσης
- Μεγαλύτερη από την επιτρεπόμενη συγκέντρωση LiBr στο διάλυμα

Στους ψύκτες με απορρόφηση με LiBr η γραμμή κρυστάλλωσης βρίσκεται πολύ κοντά στις συγκεντρώσεις του διαλύματος που λειτουργεί ο ψύκτης. Από το σχήμα βλέπουμε πως αν η συγκέντρωση είναι αρκετά υψηλή ή η θερμοκρασία του διαλύματος μειώνεται αρκετά τότε το σημείο A πλησιάζει το B που ανήκει στην γραμμή κρυστάλλωσης.



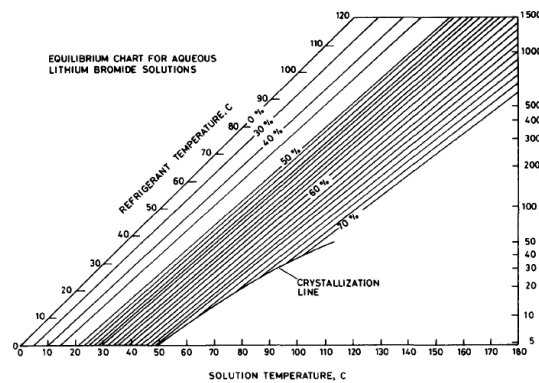
Διάγραμμα 4.8-Ψυχομετρικός Χάρτης για Αναπαράσταση της Γραμμής Κρυστάλλωσης [29]

Η θέση στην οποία είναι πιο πιθανή η κρυστάλλωση είναι στο σημείο από όπου εισέρχεται το πλούσιο διάλυμα στον απορροφητή.



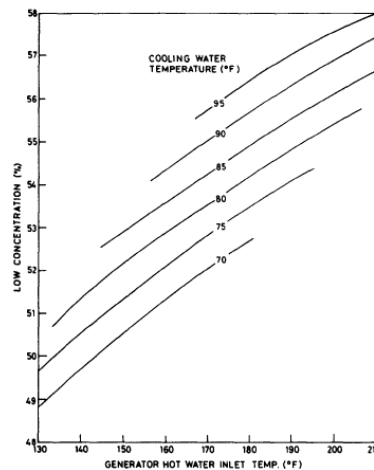
Σχ.4.2-Αναπαράσταση Ψύκτη Απορρόφησης [29]

Εάν αυτό συμβεί τότε θα πρέπει το πλούσιο διάλυμα να θερμανθεί σημαντικά για να ξεπεράσει η θερμοκρασία του αυτή του κορεσμού και οι κρύσταλλοι να διασπαστούν άμεσα. Για να επανέλθει ο ψύκτης στην κανονική του λειτουργία απαιτείται εκτεταμένη προσπάθεια και χρόνος. Το εύρος των θερμοκρασιών εισόδου λειτουργίας της συσκευής περιορίζεται από τον κίνδυνο δημιουργίας κρυστάλλωσης στο διάλυμα.



Διάγραμμα 4.9-Ισορροπίας για Διάλυμα Βρωμιούχου Λιθίου [6]

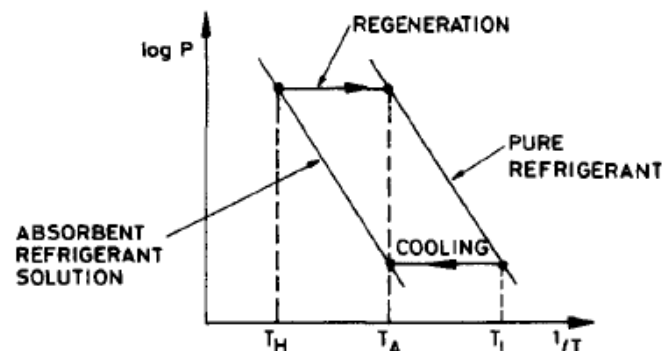
Στο διάγραμμα που ακολουθεί βλέπουμε τις αναγκαίες ελάχιστες συγκεντρώσεις βάσει των θερμοκρασιών εισόδου του θερμού και ψυχρού ρεύματος:



Διάγραμμα 4.10-Αναγκαίες Ελάχιστες Συγκεντρώσεις βάσει των Θερμοκρασιών Εισόδου του Θερμού και Ψυχρού Ρεύματος [6]

Συνήθως για χαμηλότερο κόστος κατασκευής το ψυχρό ρεύμα από το πύργο ψύξης είναι σε σειρά και αφού πρώτα περάσει από τον απορροφητήρα, όπου η χαμηλή θερμοκρασία εισόδου σε αυτό είναι πιο καθοριστική για την αποδοτική λειτουργία του κύκλου, εισέρχεται στον συμπυκνωτή. Θα μπορούσαμε όμως για επίτευξη καλύτερου βαθμού απόδοσης να έχουμε ένα σύστημα με παράλληλα κανάλια και έτσι και οι δύο προαναφερθείσες συσκευές να λειτουργούν με χαμηλότερες θερμοκρασίες.

Μπορούμε να χωρίσουμε το κύκλο σε δύο διαδικασίες, θα τις ονομάσουμε αναγέννηση και ψύξη. Στην αναγέννηση χρησιμοποιούμε τον αναγεννητή και το συμπυκνωτή. Σκοπός αυτής της διαδικασίας είναι ο διαχωρισμός του ψυκτικού μέσου από το διάλυμα, επί του προκειμένου του H_2O από το διάλυμα νερού βρωμιούχου λιθίου και η συμπύκνωσή του ώστε να επαναχρησιμοποιηθεί. Η λειτουργία της ψύξεως περιλαμβάνει την ατμοποίηση του ψυκτικού μέσου στον ατμοποιητή και την απορρόφησή του από το πλούσιο διάλυμα στον απορροφητήρα. Η κάθε διαδικασία λειτουργεί κάτω από ίδια πίεση όπως βλέπουμε και στο παρακάτω διάγραμμα.



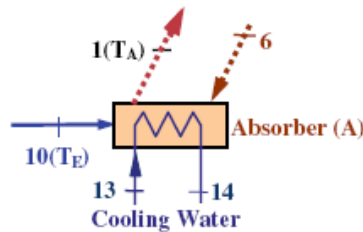
Διάγραμμα 4.11- Λειτουργία της Ψύξεως [6]

Η συνεχής λειτουργία απαιτεί μια μηχανή ψύξης με χαμηλότερη ονομαστική τιμή διότι θα λειτουργεί με απαίτηση στο μέσο ψυκτικό φορτίο και όχι σε ανώτερα φορτία.

Οι κύριες συσκευές της μηχανής απορρόφησης αναγεννητής, συμπυκνωτής, ατμοποιητής και απορροφητήρας αποτελούνται από οριζόντιους σωλήνες στο εσωτερικό τους που μεταφέρουν το θερμό, το ψυχρό και το ψυχόμενο ρεύμα σε επαφή με το εξωτερικό τους τοίχωμα με το διάλυμα και το ψυκτικό μέσο.

4.5 Απορροφητής

Η παρακάτω ανάλυση θα βασιστεί στο [11]. Ο απορροφητής της ψυκτικής μηχανής απορρόφησης λειτουργεί σαν εναλλάκτης θερμότητας ο οποίος συμπυκνώνει τους ατμούς του H₂O καθώς απορροφούνται από το πλούσιο διάλυμα του βρωμιούχου λιθίου ώστε να παραχθεί φτωχότερο διάλυμα του ίδιου.



Σχ.4.3-Αναπαράσταση Απορροφητή [9]

Η ποσότητα του ατμοποιημένου νερού στον ατμοποιητή καθορίζει την ψυκτική ικανότητα του ψύκτη αλλά αυτή εξαρτάται από την απορροφητική ικανότητα του απορροφητήρα. Η αυτή όμως ικανότητα που είναι εξάρτηση της μεταφοράς μάζας είναι εξάρτηση όχι μόνο της θερμοκρασίας και της συγκέντρωσης του διαλύματος αλλά επίσης επηρεάζεται από τη διαφορά πίεσης μεταξύ του κεκορεσμένου ατμού που πληρώνει τον απορροφητή με τη πίεση που δημιουργείται.

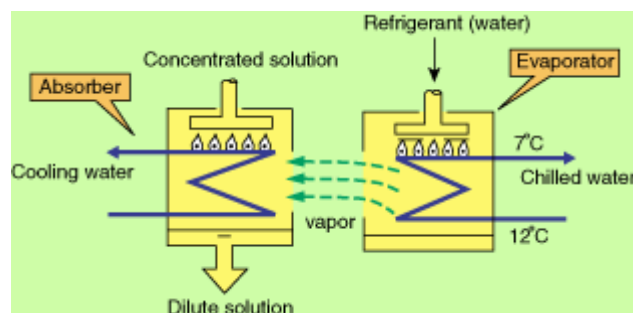
$$\Delta p = p_a - p_c$$

- p_c = η μερική πίεση του ατμού στην επιφάνεια με το διάλυμα του LiBr [MPa]
- p_a = η πίεση του κεκορεσμένου ατμού από τον ατμοποιητή [MPa]

Έτσι μπορούμε ν' αυξήσουμε την απορροφητική ικανότητα της συσκευής αυξάνοντας αυτή τη διαφορά πίεσης. Αυτό επιτυγχάνεται είτε με αύξηση της πρώτης είτε με μείωση της δεύτερης. Η πίεση στον ατμοποιητή ισούται με τη πίεση ατμοποίησης που είναι καθορισμένη από τη θερμοκρασία ενώ η μερική πίεση στη διεπιφάνεια είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας και της συγκέντρωσης του διαλύματος.

$$p_c = f(t, \xi)$$

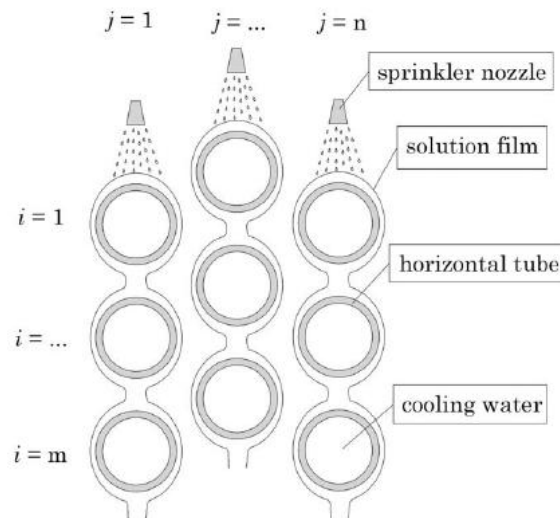
με t η θερμοκρασία του διαλύματος και ξ η συγκέντρωσή του



Σχ.4.4-Λειτουργίας Απορροφητή Ατμοποιητή [9]

Η τιμή αυτή μπορεί να μειωθεί είτε με μείωση της θερμοκρασίας του διαλύματος είτε με αύξηση της συγκέντρωσής του. Μια αρχική σκέψη για την αύξηση της απορροφητικότητας θα ήταν αυτό να επιτευχθεί αυξάνοντας

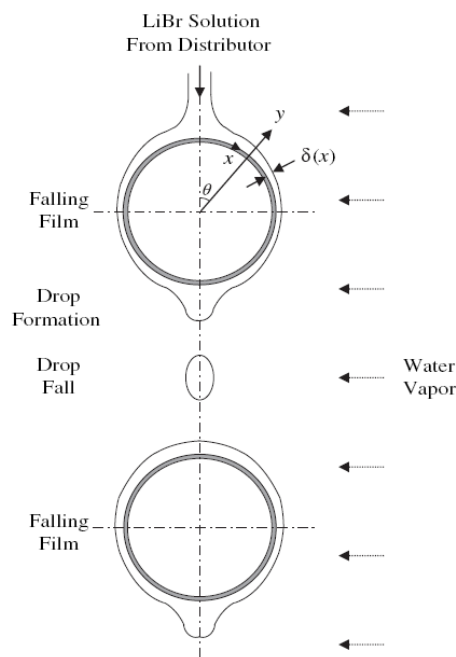
την συγκέντρωση του διαλύματος. Αυτό όμως δεν σημαίνει πάντοτε και την αύξηση στο βαθμό απόδοσης της μηχανής διότι αύξηση στη τιμή της συγκέντρωσης δημιουργεί απαίτηση για υψηλότερη θερμοκρασία εισόδου του θερμού ρεύματος ώστε ν' απελευθερωθεί το νερό. Είναι λοιπόν αναγκαίο να διερευνηθεί η σχέση μεταξύ του βαθμού απόδοσης του ψύκτη με την συγκέντρωση και την μεταφορά θερμότητας και μάζας στο στρώμα του διαλύματος στον απορροφητή.



Σχ.4.5-Αναπαράσταση Απορροφητή κατά το Ψεκάσμο του με Διάλυμα [11]

Ας δούμε όμως τι ακριβώς γίνεται:

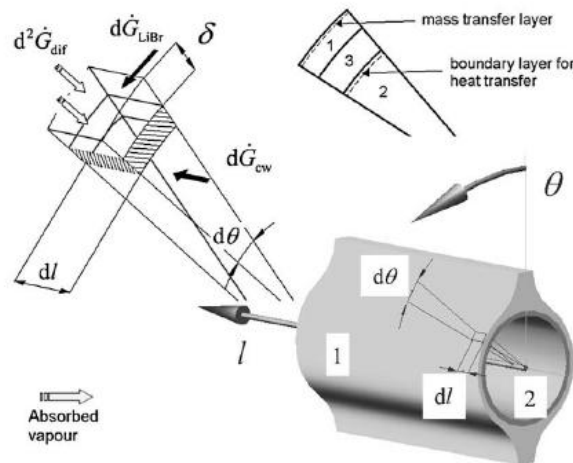
Ο κεκορεσμένος ατμός εισέρχεται στον απορροφητή και εκεί απορροφάται από το στρώμα του διαλύματος που περιβάλλει τους σωλήνες καθώς εγγέεται και με τη βοήθεια της βαρύτητας κινείται προς τα κάτω και περιβάλλει τους σωλήνες που φέρουν το ψυχρό ρεύμα και έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της συγκέντρωσης του και την αύξηση της θερμοκρασίας του.



Σχ.4.6-Αναπαράσταση Απορρόφησης στον Απορροφητή [11]

Το μαθηματικό μοντέλο χρησιμοποιεί τις παρακάτω παραδοχές:

- Το διάλυμα είναι ασυμπιέστο και οι θερμοδυναμικές του ιδιότητες αναλλοίωτες κατά την διεργασία της απορρόφησης
- Η πίεση των ατμών του νερού είναι ομογενής
- Οι ατμοί του νερού εξέρχονται σε κεκορεσμένη κατάσταση



Σχ.4.7-Γεωμετρική Αναπαράσταση του Σωλήνα του Απορροφητή [11]

Βάσει των ανωτέρω παραδοχών όπως δημοσιεύτηκε από την ¹ Αρχή της συνέχειας:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$$

Συνάρτηση της διατήρησης της ορμής:

$$\rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{dP}{dx} + \rho g(x) + \mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$$

Αρχή της διατήρησης της ενέργειας:

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = a \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}$$

Επίσης

$$u \frac{\partial \xi}{\partial x} + v \frac{\partial \xi}{\partial y} = D \frac{\partial^2 \xi}{\partial y^2}$$

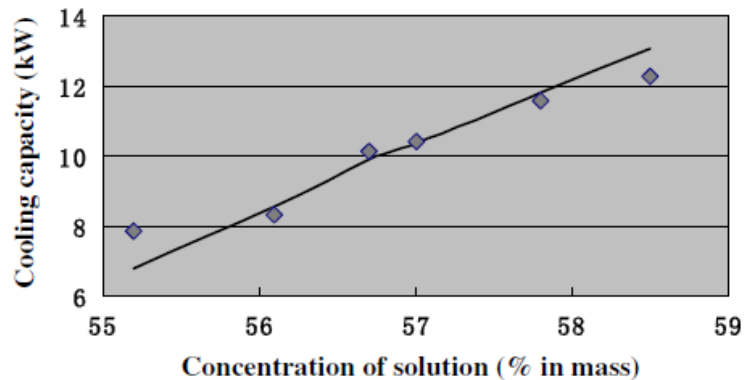
Και με βάση την εξίσωση του Fick για τη μεταφορά μάζας:

$$\dot{m} = -\frac{\rho D}{\xi \delta} \frac{d\xi}{dy}$$

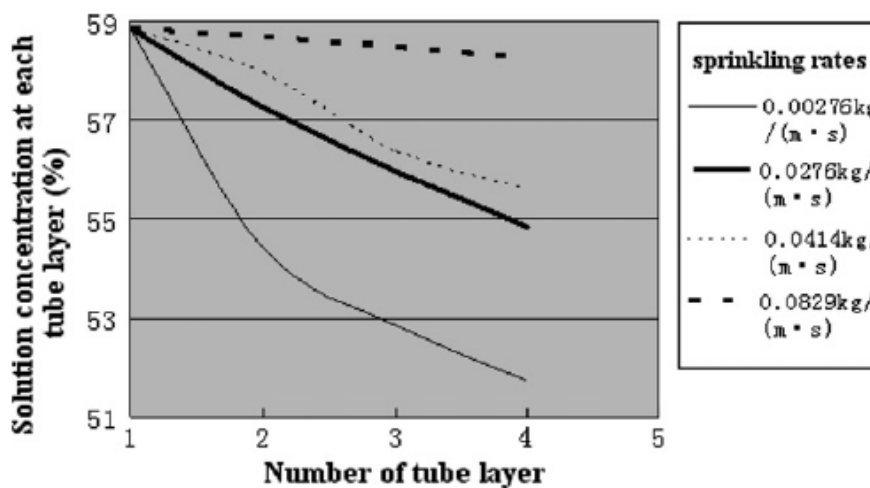
Ενώ η ροή της μεταφοράς της θερμότητας είναι:

$$\dot{q} = \lambda \frac{dT}{dy} = \dot{m}r$$

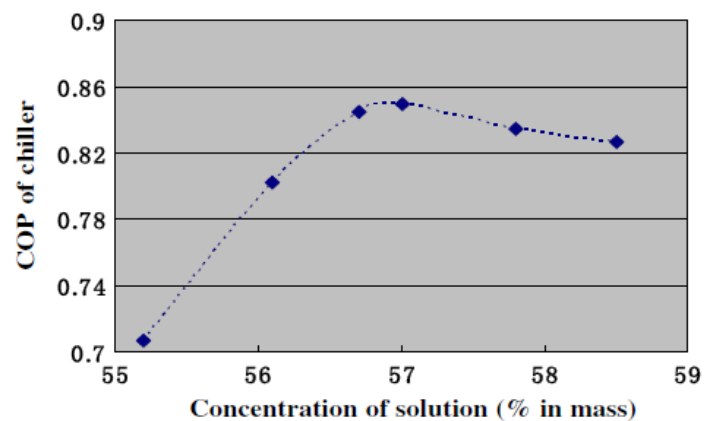
Λαμβάνοντας τις παραπάνω εξισώσεις τα αποτελέσματα που προκύπτουν από αυτές είναι τα κάτωθι:



Διάγραμμα 4.12-Συγκέντρωση Διαλύματος Ψυκτικής Ικανότητας [9]



Διάγραμμα 4.13-Συγκέντρωση Διαλύματος στα Τοιχώματα του κάθε Σωλήνα Συνάρτηση του Αριθμού αυτών [9]

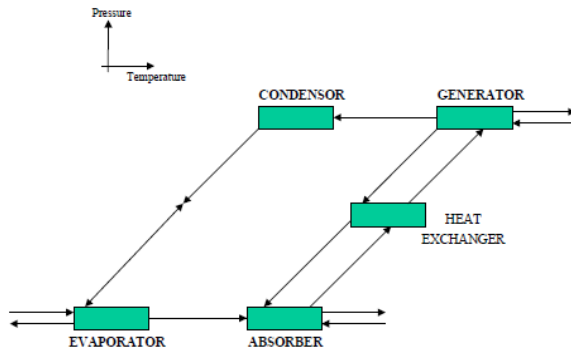


Διάγραμμα 4.14-Βαθμός Απόδοσης του Ψύκτη Συνάρτηση της Συγκέντρωσης του Διαλύματος [9]

4.6 Ψύκτες με απορρόφηση διφόρων τύπων

Θα γίνει μία τεχνικό-οικονομική σύγκριση των βασικότερων μηχανών ψύξης με απορρόφηση που χρησιμοποιούν διάλυμα Li-Br προκειμένου να έχουμε μια άμεση σύγκριση μεγεθών για τη κάθε συσκευή.

Απλής δράσης (single effect)

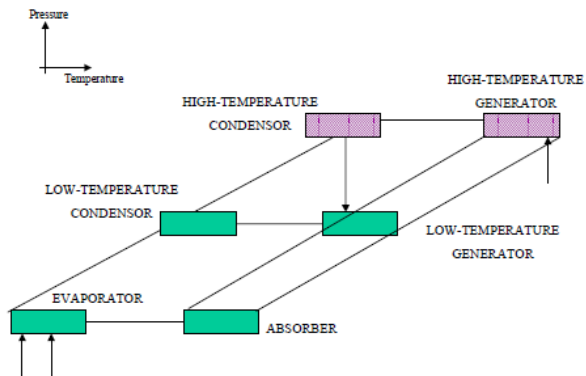


Σχ.4.2-Αναπαράσταση Απλής Δράσεως [26]

Είναι το απλούστερο σύστημα ψύκτη με απορρόφηση έχουμε έναν αναγεννητή. Είναι και ο τύπος που ενδείκνυται περισσότερο λόγω της κατασκευής του σε οικιακό επίπεδο και αυτός που θα εξετάσουμε στη προσομοίωση που ακολουθεί

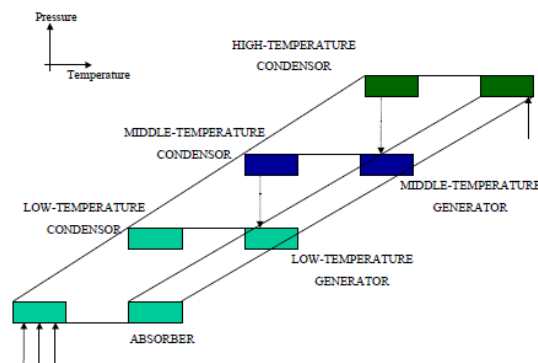
Διπλής δράσης (double effect)

Αποτελεί εξέλιξη του προηγούμενου. Το σύστημα του ψυκτικού μέσου μένει αμετάβλητο και η διαφορά έγκειται στην ύπαρξη δύο αναγεννητών για το διαχωρισμό του διαλύματος έτσι έχουμε επίτευξη υψηλότερο βαθμό απόδοσης.



Σχ.4.3-Αναπαράσταση Διπλής Δράσεως [26]

Τριπλής δράσης (triple effect)



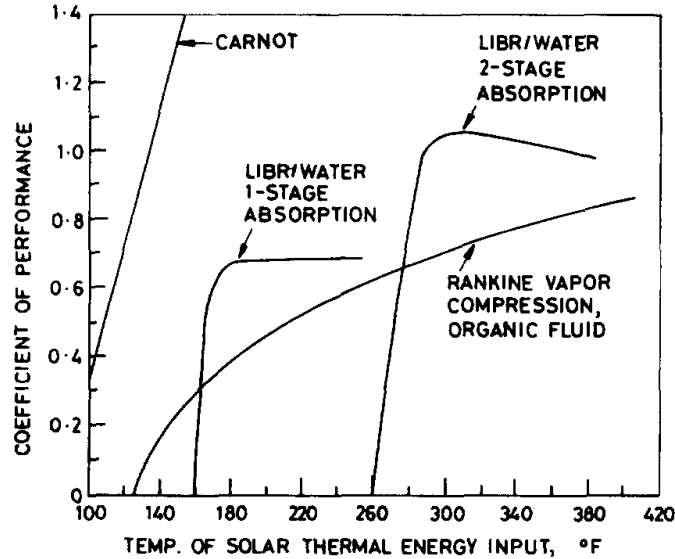
Σχ.4.4-Αναπαράσταση Τριπλής Δράσεως [26]

Πρόκειται για τον πλέον σύγχρονο ψύκτη που χρησιμοποιεί τη διεργασία της απορρόφησης. Η διαφορά έγκειται στην ύπαρξη ενός μέσου αναγεννητή ανάμεσα στον χαμηλό και υψηλό του ψύκτη διπλής δράσης

4.7 Σύγκριση των Υφισταμένων Τεχνολογιών Ψύξης με Απορρόφηση

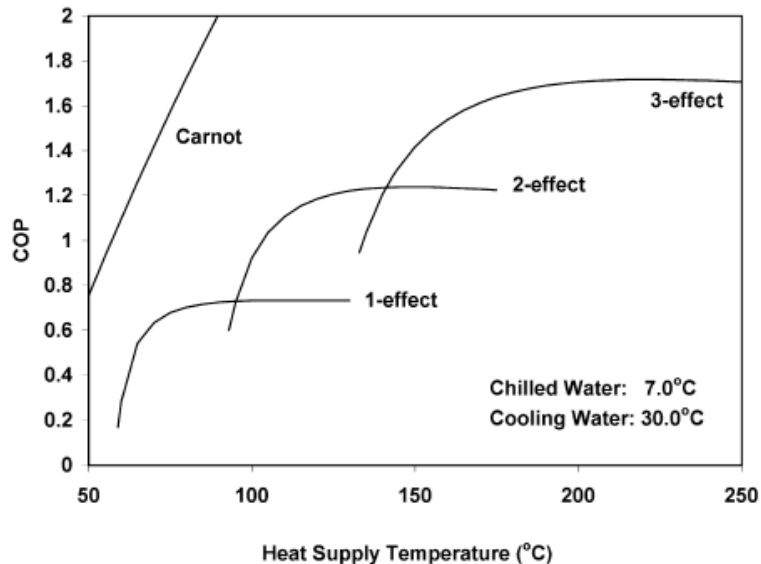
Ακολουθούν διαγράμματα και στοιχεία ώστε να αποκτήσουμε σε τάξη μεγέθους μια συνολική εικόνα τόσο της λειτουργίας όσο και των διαφορών των διαφόρων ψυκτών

Η σύγκριση βάση του βαθμού απόδοσης γίνεται για παραγωγή ψυχόμενου νερού σε θερμοκρασία 6,7°C (44 °F) για διάφορες θερμοκρασίες θερμού ρεύματος νερού.



Διάγραμμα 4.15-Βαθμού Απόδοσης Carnot, Rankine, Απλής και Διπλής Δράσεως Ψυκτών Απορρόφησης [6]

Η μεταβολή του βαθμού απόδοσης για παραγωγή ψυχόμενου νερού θερμοκρασίας 7°C



Διάγραμμα 4.16-Βαθμού Απόδοσης Carnot, Απλής, Διπλής και Τριπλής Δράσεως Ψυκτών Απορρόφησης ως προς τη Θερμοκρασία Θερμού Ρεύματος [14]

Όπως βλέπουμε και από το παραπάνω διάγραμμα στις θερμοκρασίες επίτευξης ,με σχετικά χαμηλό κόστος, των ηλιακών συλλεκτών καλύτερη απόδοση έχουμε σε κύκλο απορρόφησης.

Ακολουθεί πίνακας με διάφορες βασικές πληροφορίες απόδοσης και κόστους για τις διατάξεις που προαναφέραμε.

Table 1. Comparison of single-, double- and triple-effect absorption chillers for solar-powered air conditioning systems

	(1) Typical COP	(2) Heat source temp. [°C]	(3) Solar heat required [kW]*	(4) Type of collectors	(5) Typical collector cost [\$/m ²]	(6) Heat collected per day [kWh/m ²]	(7) Collector area required [m ²]*	(8) Solar system cost [\$]*	(9) Absorption chiller cost [\$]*	(10) Total system cost [\$]*
Single-effect	0.7	85	1.43	Flat-plate	110	1.53	7.48	1234	200	1434
Double-effect	1.2	130	0.83	Flat-plate/CPC	160	1.31	5.07	1216	175	1391
Triple-effect	1.7	220	0.59	Evac-tube/ concentrating	400	1.05	4.49	2694	165	2859

*Indicates figures per kW of cooling capacity.

Πίνακας 4.1-Σύγκρισης Απλής, Διπλής και Τριπλής Δράσεως Ψυκτών Απορρόφησης [26]

5 Προσομοίωση μέσω του TRNSYS

Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγράψουμε το υπολογιστικό πακέτο TRNSYS και κατόπιν θα αναφερθούμε σε όλα τα βήματα που εκτελέσαμε προκειμένου να γίνει εφικτή και ορθή η προσομοίωση ενός κτιρίου τριτογενούς τομέα.

5.1 Περί του TRNSYS

Το TRNSYS είναι ένα υπολογιστικό περιβάλλον για την προσομοίωση μεταβαλλόμενων συστημάτων στο χρόνο. Πρόκειται δηλαδή για ένα πρόγραμμα δυναμικής προσομοίωσης της συμπεριφοράς του εκάστοτε συστήματος στο χρόνο. Αφορά μηχανικούς και ερευνητές προκειμένου να αξιολογηθούν νέες εφαρμογές ενεργειακών συστημάτων για διάφορες χρήσεις και να επιτευχθεί η βελτιστοποίηση των ήδη γνωστών κάτω από τις εκάστοτε συνθήκες που αφορούν.

Το πακέτο προσομοίωσης TRNSYS είναι βασισμένο στα αρχεία DLL. Αυτό μας δίνει τη δυνατότητα όχι μόνο να μπορεί ο χρήστης να τροποποιήσει κατάλληλα τα μοντέλα σύμφωνα με τις δικές του ανάγκες αλλά επίσης δύναται να εισάγει και ο ίδιος δικά του μοντέλα κατασκευάζοντάς τα σε κοινή γλώσσα μηχανής όπως FORTRAN,PASCAL,C,C++,κ.α. .Επιπλέον μπορεί εύκολα να χρησιμοποιήσει και άλλες εφαρμογές όπως Matlab,Excel κ.α. προκειμένου να γίνει η προσομοίωση.

Το TRNSYS θα μπορούσε να «χωριστεί» στα κάτωθι προγράμματα:

- TRNSYS Simulation Studio του οποίου το εκτελέσιμο αρχείο του (TRNExe.exe) και αποτελεί το στούντιο προσομοίωσης
- TRNBuild με το εκτελέσιμο αρχείο (TRNBuild.exe) είναι το γραφικό περιβάλλον διεπαφής κτηρίου
- TRNSEdit εκτελείτε με το αρχείο (TRNEdit.exe) για την εισαγωγή των δεδομένων κτηρίων τον επεξεργαστή με τον οποίο μπορούν να δημιουργηθούν αυτόνομα προγράμματα

Για καθένα ξεχωριστά:

► TRNSYS Simulation Studio

Είναι το κεντρικό γραφικό περιβάλλον του TRNSYS. Εδώ γίνεται η προσομοίωση επιλέγοντας τα μοντέλα που θα χρησιμοποιηθούν από τη δεξιά λίστα της επιφάνειας εργασίας και μεταφέροντας τα στο παράθυρο εργασίας. Τα μοντέλα αναπαρίστανται με εικονίδια. Η σύνδεση μεταξύ τους γίνεται με τόξα στα οποία γίνεται ευθεία αντιστοιχία της εξερχόμενης τιμής του μοντέλου που το τόξο ξεκινά με την εισερχόμενη στο μοντέλο που εκείνο καταλήγει. Όταν αυτά καταλήγουν σε κατάλληλα μοντέλα «εξόδου» όπως printer,plotter γίνεται η εξαγωγή των αποτελεσμάτων είτε σε διαγράμματα αντιστοιχίας τιμής-χρόνου είτε σε λίστα με στήλες την ώρα και την αντιστοιχη τιμή της.

► TRNBuild

Το TRNBuild είναι το πρόγραμμα εισαγωγής των δεδομένων ενός πολυζωνικού κτηρίου. Εδώ είναι εφικτός ο λεπτομερής καθορισμός του προσανατολισμού του κτηρίου και όλων των αρχιτεκτονικών και κατασκευαστικών στοιχείων του. Καθώς επίσης και της λειτουργίας του όσο αναφορά ψύξη-θέρμανση, εισαγωγή αέρα μέσω του ανοίγματος των παραθύρων, των θερμικών κερδών μέσω όταν βρίσκονται διάφορες συσκευές εντός του κτηρίου καθώς και μέσω των ατόμων που βρίσκονται στο χώρο και του τρόπου που συμπεριφέρονται.

► TRNEdit

Το πρόγραμμα TRNEdit είναι ένας εξειδικευμένος επεξεργαστής (editor) ο δύνатаι χρησιμοποιηθεί ώστε να τροποποιηθούν τα αρχεία εισόδου του TRNSYS (decks) καθώς και για τη δημιουργία αυτόνομων εφαρμογών οι οποίες είναι γνωστές ως TRNSED εφαρμογές. Χάρη σε αυτό ο χρήστης μπορεί να τροποποιήσει το αρχείο εισόδου του TRNSYS εισάγοντας ειδικές εντολές ώστε να προστεθούν στο πρόγραμμα που κατασκευάζεται στοιχεία όπως πολλαπλά παράθυρα και ενεργές εικόνες. Το περιβάλλον του TRNEdit αποτελείται από δύο καρτέλες. Στην πρώτη φαίνεται ο κώδικας του αρχείου εισαγωγής, και στην άλλη το γραφικό αποτέλεσμα του κώδικα που αποτελεί την Trnsed εφαρμογή. Με το πρόγραμμα TRNEdit παρέχονται οι ακόλουθες δυνατότητες εισάγοντας τις κατάλληλες εντολές:

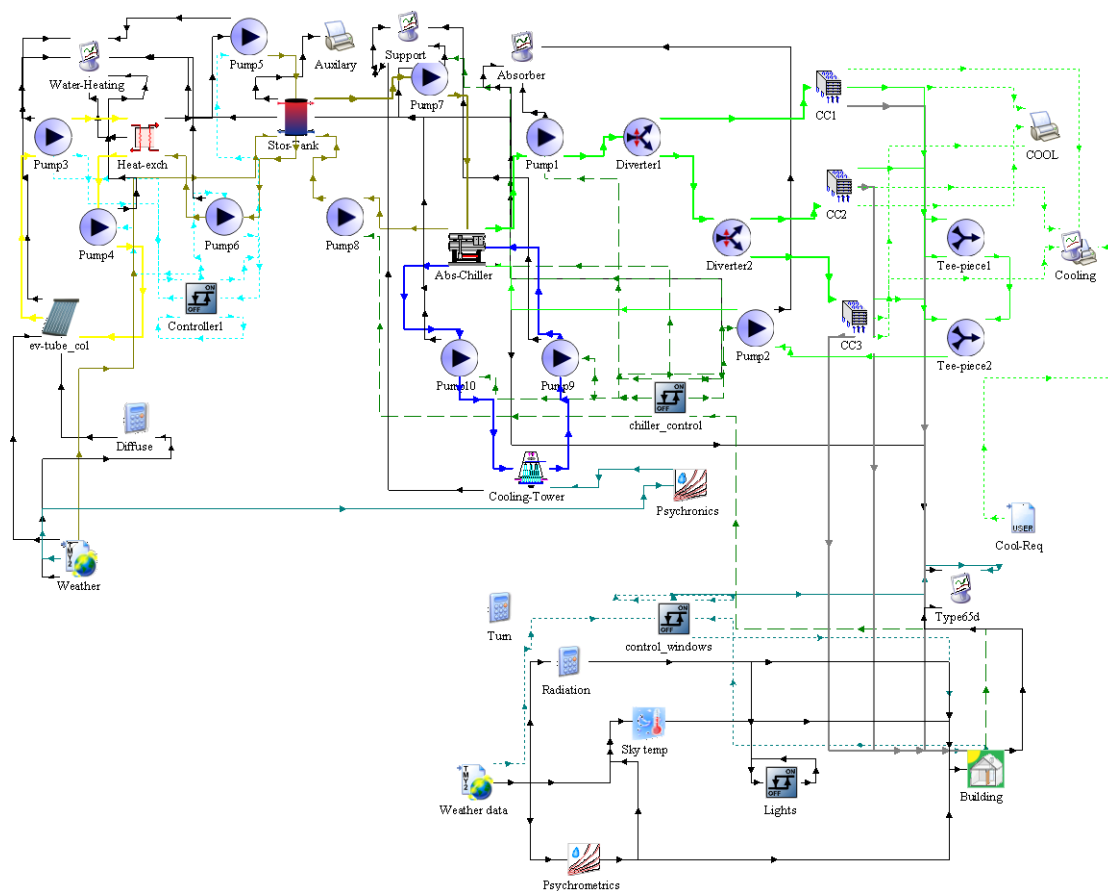
- Ορισμός σταθερών του προγράμματος ως μεταβλητές και αντίστροφα.
- Αλλαγή των τιμών σταθερών, μεταβλητών και παραμέτρων.
- Ορισμός των εξωτερικών αρχείων που χρησιμοποιούν τα μοντέλα του προγράμματος
- Καθορισμός γραφικών παραμέτρων όπως δημιουργία πολλαπλών παραθύρων, ενεργών εικόνων, εισαγωγή εικόνων.
- Ρύθμιση των Trnsed εφαρμογών έτσι ώστε να μπορούν να επιλεχθούν οι τιμές άμεσα ή από λίστα ή από καθοριζόμενο αρχείο και εισαγωγή αποκλειστικών και μη αποκλειστικών επιλογών.
- Παραμετρικές εκτελέσεις της προσομοίωσης.

5.2 Η προσομοίωση μας

Η προσομοίωση μας γίνεται ώστε να γίνει η βέλτιστη επιλογή όλων των συστημάτων που συγκροτούν ένα σύστημα ψύξης με ψύκτη απορρόφησης για ένα σπίτι μονιάτικης αρχιτεκτονικής.

5.2.1 Η δομή της προσομοίωσης

Το σύστημα αυτό στο σκηνικό προσομοίωσης είναι το ακόλουθο με επιπρόσθετα τα μοντέλα plotter και printer και οι όποιες τυχόν απορίες προκύψουν επί αυτού θα εξηγηθούν παρακάτω.



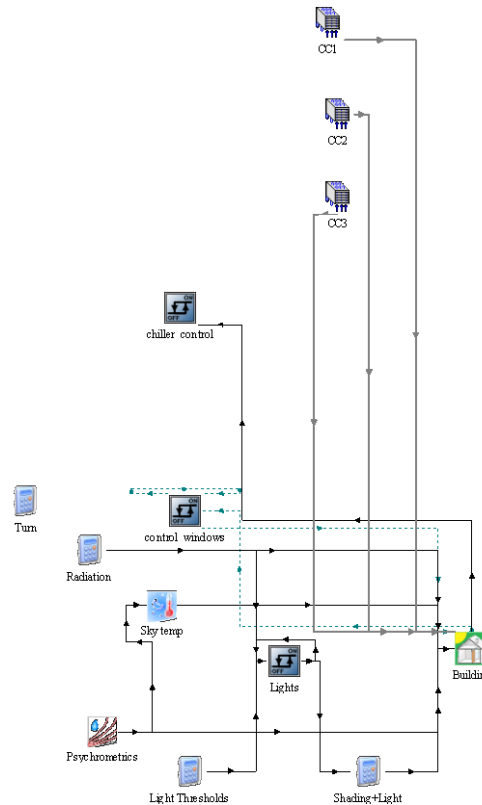
Σχ. 5.1-Η Προσομοίωση μας στο TRNSYS Simulation Studio

Όπως βλέπουμε η ροή πληροφορίας ξεκινά από το Weather και Weather data για το «υποσύστημα» του ψύκτη απορρόφησης και του σπιτιού αντίστοιχα. Αυτά τα αρχεία ανοίγουν το ίδιο αρχείο με καιρικά δεδομένα και αφορά τη περιοχή της Αθήνας. Θα μπορούσε να μην ήταν έτσι και το ένα από τα δύο να παραλείπονταν μιας και θα μπορούσαν τα «υποσυστήματα» του συστήματος που το περιέχει να συνδεθούν απλώς με το αρχείο καιρού του άλλου. Ο λόγος που κάτι τέτοιο δεν έγινε ήταν καθαρά λόγοι εποπτείας και καλύτερης διαχείρισης της προσομοίωσης.

Υποσύστημα Κτιρίου (μαύρες γραμμές)

Όσο αναφορά το υποσύστημα του σπιτιού οι πληροφορίες που αφορούν τα καιρικά δεδομένα διαχέονται στα μοντέλα ακτινοβολίας (Radiation) και

μέσω αυτού του τεχνητού φωτισμού (Lights), θερμοκρασίας ουρανού (Sky temp) και ψυχομετρικών (Psychrometrics) και παρέχουν όλες τις απαραίτητες πληροφορίες ώστε να καθοριστεί η θερμική συμπεριφορά του αυτού. Τέλος και μία πληροφορία που είναι η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και αφορά τη λειτουργία ενός συστήματος ελέγχου (control_windows).



Σχ.5.2-Υποσύστημα Κτιρίου

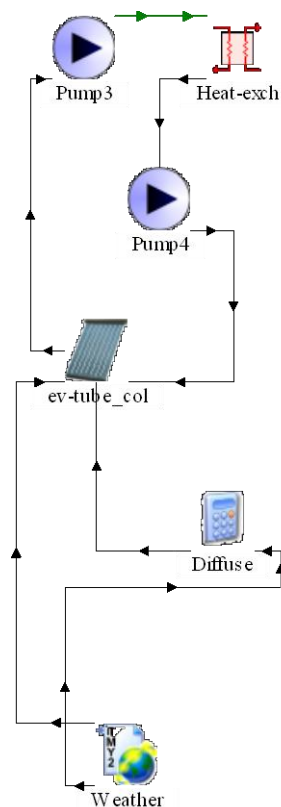
Υποσύστημα ψύκτη απορρόφησης

Το υποσύστημα του ψύκτη απορρόφησης μπορούμε να το χωρίσουμε περαιτέρω στα κάτωθι υπό-υποσυστήματα, το τετράγωνο στην αρχή υποδηλώνει το χρώμα στις γραμμές που τα μοντέλα τους συνδέονται.

- Ηλιακού συλλέκτη
- Αποταμιευτήρα
- Πύργου ψύξης
- Cooling Coils

Υποσύστημα Ηλιακού συλλέκτη

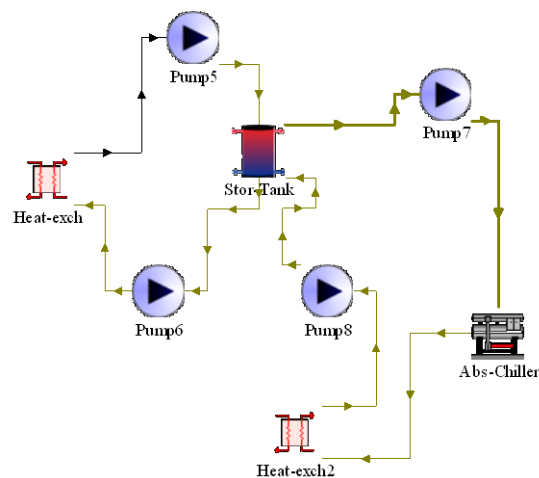
Το αρχείο Weather με τη βοήθεια του υπολογιστικού αρχείου Diffuse που κατασκευάσαμε δίνει τις απαραίτητες πληροφορίες στον ηλιακό συλλέκτη ο οποίος θερμαίνει το διάλυμα νερό-γλυκερίνης και μέσω των αντλιών περνά από τον εναλλάκτη θερμότητας ο οποίος μεταφέρει θερμότητα στο νερό που προέρχεται από τον αποταμιευτήρα. Όλα αυτά προφανώς σε τιμές του αντίστοιχου μεγέθους.



Σχ. 5.3-Υποσύστημα Ηλιακού Συλλέκτη

Υποσύστημα Αποταμιευτήρα

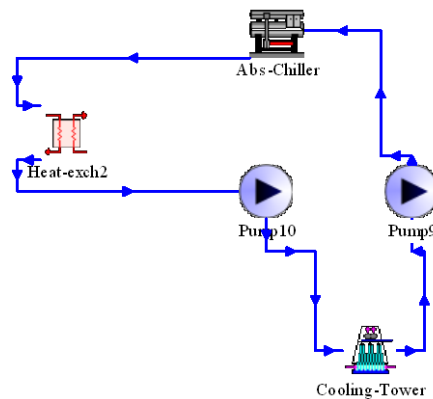
Το νερό του αποταμιευτήρα μέσω αντλιών εισέρχεται στο ψύκτη απορρόφησης και αποτελεί το θερμό ρεύμα αυτού που χρησιμοποιείται στον αναγεννητή προκειμένου να γίνει ο διαχωρισμός του νερού από το διάλυμα αμμωνίας-νερού. Κατόπιν το νερό επιστρέφει στον απορρόφητήρα. Ο αποταμιευτήρας συνδέεται επίσης και με το αρχείο καιρικών δεδομένων Weather καθώς και με τα μοντέλλα ελέγχου Controller1 και control_chiller που καθορίζουν τη λειτουργία των αντλιών pumpr5-6 και των pumpr7-8 αντίστοιχα .



Σχ. 5.4-Υποσύστημα Αποταμιευτήρα

Υποσύστημα Πύργου Ψύξης

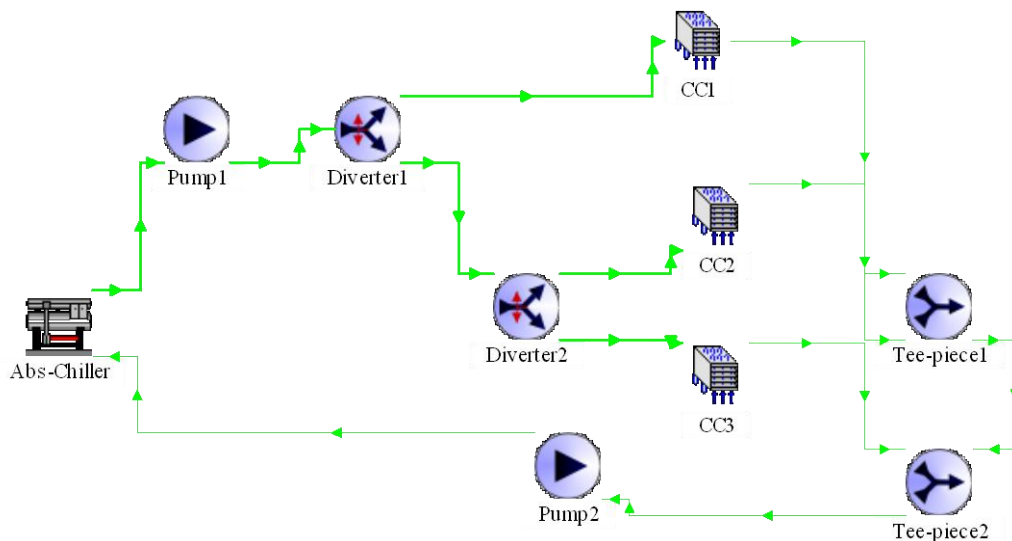
Το νερό μέσω της αντλίας pump9 εισέρχεται στο ψύκτη απορρόφησης όπου και χρησιμοποιείται στον συμπυκνωτή και στον απορροφητήρα ως το ψυχρό ρεύμα. Στη συνέχεια και έχοντας πια αυξησει τη θερμοκρασία του και διαμέσου της αντλίας pump10 επιστρέφει στον πύργο ψύξης προκειμένου να αναψυχτεί.



Σχ. 5.5-Υποσύστημα Πύργου Ψύξης

Υποσύστημα Cooling Coils

Πρόκειται για τις συσκευές που είναι υπεύθυνες για τη ψύξη του σπτιού συνδέονται με το ψύκτη μέσω του ψυχόμενου από το ψύκτη ρεύματος αυτό δηλαδή που περνάει από τον ατμοποιητή. Ο αέρας του εκάστοτε δωματίου έρχεται σε επαφή μέσω σωληνώσεων με το ψυχρό νερό από τον ψύκτη σε κάθε cooling coil που είναι ένα για κάθε δωμάτιο. Κατόπιν το νερό με αυξημένη τη θερμοκρασία του επιστρέφει στο ψύκτη. Τη κίνηση την επιβάλλουν οι αντλίες pump1-2 έπειτα από την εντολή που δίνει σε αυτές ο control_chiller. Προκειμένου να έχουμε σε κάθε cooling coil την αντιστοιχη παροχή χρησιμοποιούμε τους διαχωριστές ρευστού Diverter1-2 και για την επαναγωγή αυτών σε ένα ρεύμα τα ταφ T-piece1-2.



Σχ. 5.6-Υποσύστημα Cooling Coils

5.2.2 Ρυθμίσεις της προσομοίωσης

Η προσομοίωση μας θα γίνει βάσει των κάτωθι ρυθμίσεων του πίνακα που ακολουθεί. Από αυτές θα πρέπει να αναφερθούμε στη χρονική περίοδο της προσομοίωσης. Εφόσον πρόκειται για προσομοίωση που αφορά ηλιακή ψύξη, και συγκεκριμένα με απορρόφηση, θα επιλέξουμε το διάστημα ωρών του χρόνου από την ώρα 4000 έως την 6500. Το χρονικό αυτό διάστημα αφορά τη περίοδο από τα μέσα του Μάη μέχρι τα μέσα του Σεπτεμβρη. Η επιλογή έγινε από τις θερμοκρασίες που επικρατούν κατά την περίοδο εκείνη.

1		Simulation start time	4000	hr	More...
2		Simulation stop time	6500	hr	More...
3		Simulation time step	1	hr	More...
4		Solution method	<input checked="" type="radio"/> Successive <input type="radio"/> Powell's me	-	More...
5		The minimum relaxation factor	1	-	More...
6		The maximum relaxation factor	1	-	More...
7		Equation solver	0	-	More...
8		Equation trace	<input type="radio"/> True <input checked="" type="radio"/> False	-	More...
9		Debug mode	<input type="radio"/> True <input checked="" type="radio"/> False	-	More...
10		Tolerance integration	0.001	dimensionless	More...
11		Tolerance convergence	0.001	dimensionless	More...
12		Tolerance values	<input checked="" type="radio"/> Relatives <input type="radio"/> Absolutes	-	More...
13		Before 'WARNING'	30	-	More...
14		Before 'ERROR'	30	-	More...
15		Before 'TRACE'	30	-	More...
16		Diff. equation algorithm	1	-	More...
16		Diff. equation algorithm	1	-	More...
17		Number of characters	80	dimensionless	More...
18		List card	<input checked="" type="radio"/> LIST <input type="radio"/> NOLIST	-	More...
19		Map card	<input type="radio"/> MAP <input checked="" type="radio"/> No MAP	-	More...
20		Deck file name	Project43.d ck	-	More...
21		Write Trnsed commands	<input type="radio"/> True <input checked="" type="radio"/> False	-	More...
22		Write Studio commands to deck	<input checked="" type="radio"/> True <input type="radio"/> False	-	More...

Πίνακας 5.1- Ρυθμίσεων της Προσομοίωσης

5.2.3 Τα μοντέλα της προσομοίωσης

Σε αυτή τη παράγραφο θα γίνει η πλήρης περιγραφή του κάθε μοντέλου ξεχωριστά. Συγκεκριμένα θα παρουσιαστεί ο αλγόριθμος λειτουργίας του οι ανταλλαγή δεδομένων στα πλαίσια της προσομοίωσης καθώς και οι τιμές των παραμέτρων του. Για κάθε ένα μοντέλο θα αναγράφουμε τη θέση που έχει μέσα στη προσομοίωση και το τι λειτουργία επιτελεί. Κατόπιν μέσω των σχημάτων που θα παρατίθενται τις εισόδους που έχει και τις εξόδους οι οποίες λαμβάνονται από άλλο μοντέλο. Τέλος θα γίνεται αναφορά των στοιχείων που αποτελείτε σε φυσικό επίπεδο και ο αλγόριθμος επίλυσης του.

Θα αναλυθούν τα κάτωθι:

1. Κτίριο (TRNSYSBuild και TRNSYS Simulation Studio)
2. Μοντέλο Καιρού TMY2
3. Μοντέλο Εξισώσεων
4. Αντλίας Σταθερής Περιστροφής
5. Αντιπροσωπευτική Θερμοκρασία Ουρανού
6. Ψυχομετρικό Διάγραμμα
7. Διαφορικός Ελεγκτής
8. Περιοδικός Ολοκληρωτής
9. Πύργος Ψύξης
10. Ταφ
11. Διαχωριστής
12. Cooling-Coils
13. Εναλλάκτης Θερμότητας
14. Ηλιακός Συλλέκτης
15. Ψύκτης Απορρόφησης
16. Αποταμιευτήρας Νερού

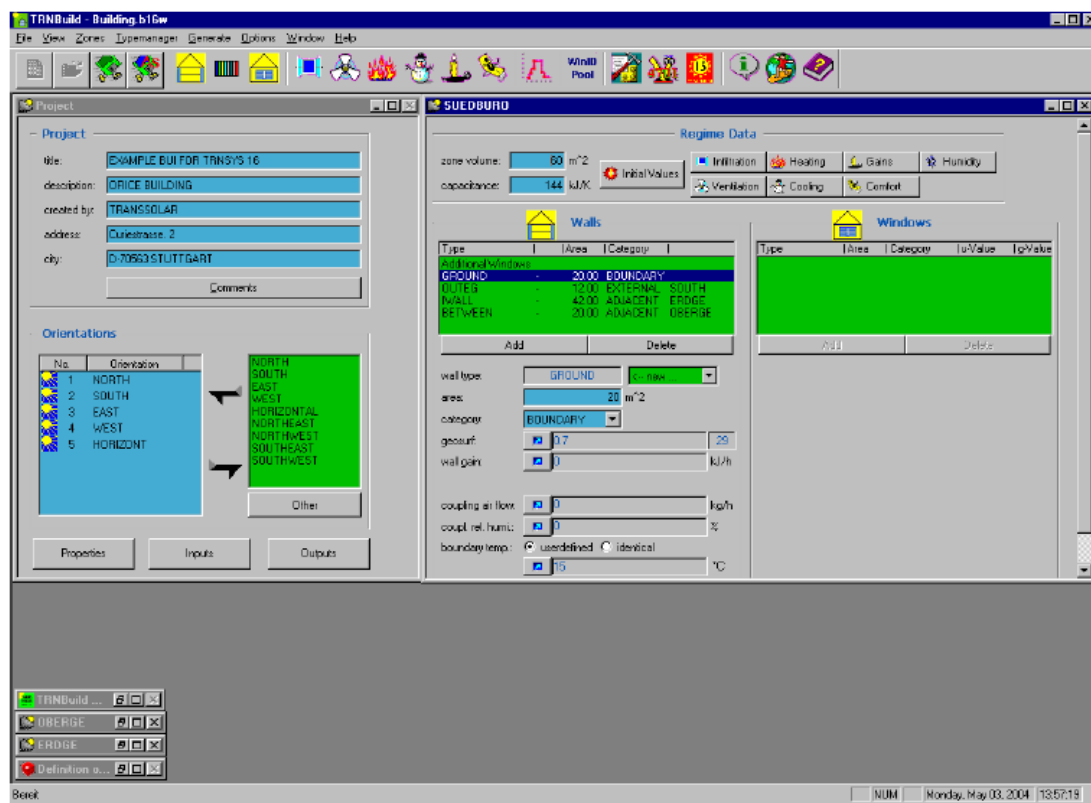


Κτίριο

Το Κτίριο στο TRNBuild

Στο κεφάλαιο αυτό σε αντίθεση με τα άλλα δε θα μιλήσουμε για τον τρόπο της αλγοριθμικής επίλυσης των εισερχόμενων δεδομένων ,καθώς κάτι τέτοιο ξεφεύγει από τη φιλοσοφία της παρούσης εργασίας, αλλά για τις ρυθμίσεις αυτές που αφορούν το μοντέλο του κτιρίου ώστε να προσαρμόζεται καλύτερα στις πραγματικές συνθήκες.

Στο παρακάτω παράθυρο έχουμε το περιβάλλον στο οποίο θα γίνουν όλες οι απαραίτητες ρυθμίσεις που αφορούν το μοντέλο του κτιρίου.



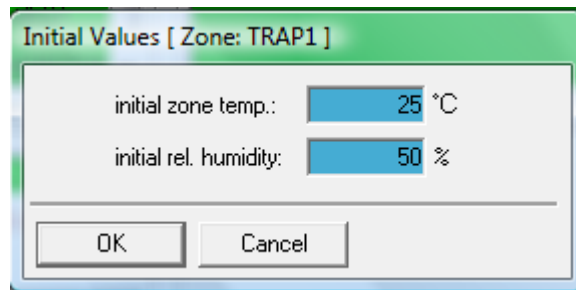
Σχ. 5.7-Κεντρικό Παράθυρο Εργασίας Παραμέτρων του Κτιρίου

Στην επάνω μπάρα ρυθμίσεων γίνονται οι ,θα λέγαμε, γενικές ρυθμίσεις που αφορούν όλους τους χώρους και ουσιαστικά πρόκειται για στρατηγικές και «βιβλιοθήκες» σε δομικά στοιχεία , ψύξη, θέρμανση, θερμικά κέρδη, εναλλαγές αέρα , λειτουργία του χώρου και συνθήκες άνεσης.

Αρχικές Συνθήκες-Initial Values



Εδώ θα θέσουμε τις αρχικές συνθήκες στους χώρους του κτιρίου. Αυτές είναι οι τιμές για το χώρο που θα χρησιμοποιηθούν κατά την πρώτη εκτέλεση. Επειδή η προσομοίωση μας θα ξεκινήσει στα μέσα του μήνα Μαΐου θα βάλουμε μια τυπική θερμοκρασία στο χώρο για τον μήνα αυτό.



Σχ.5.8-Παράθυρο Αρχικών Συνθηκών των Χώρων

Θερμοκρασία Ζώνης σε °C	Σχετική Υγρασία Ζώνης %
24	50%

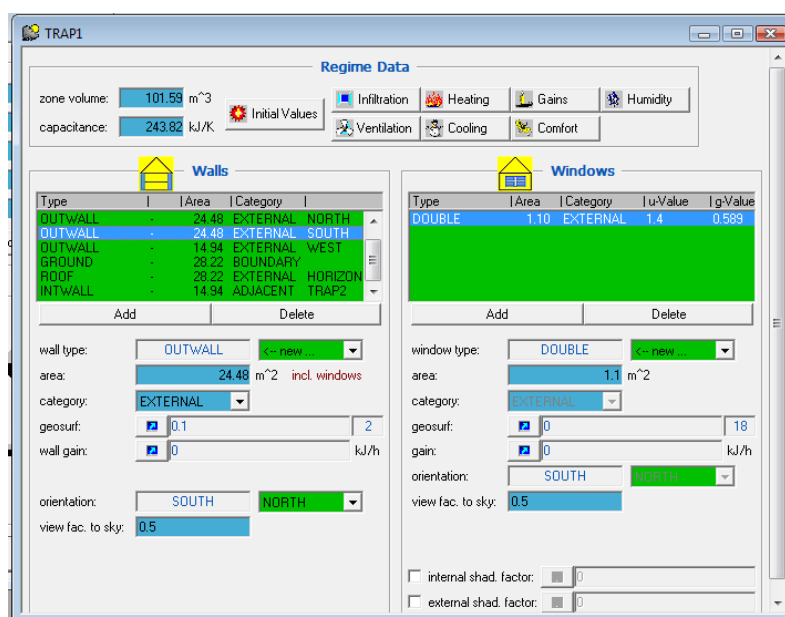
Πίνακας 5.1- Ρυθμίσεις Αρχικών Συνθηκών

Τοίχια-Walls



Όπως βλέπουμε πρόκειται για κατασκευή αποκλειστικά με πέτρα. Στο παράθυρο “Walls” θα θέσουμε τις απαραίτητες τιμές βάσει των αρχιτεκτονικών ιδιοτήτων του κτιρίου δηλαδή πάχος, γειτονικοί χώροι, οριακές συνθήκες. Στην οροφή θα βάλουμε πλάκα πάχους 0.4 μέτρων τυπικής μορφής ROOF. Ενώ για τα παράθυρα έχουμε επιλέξει τύπου DOUBLE.

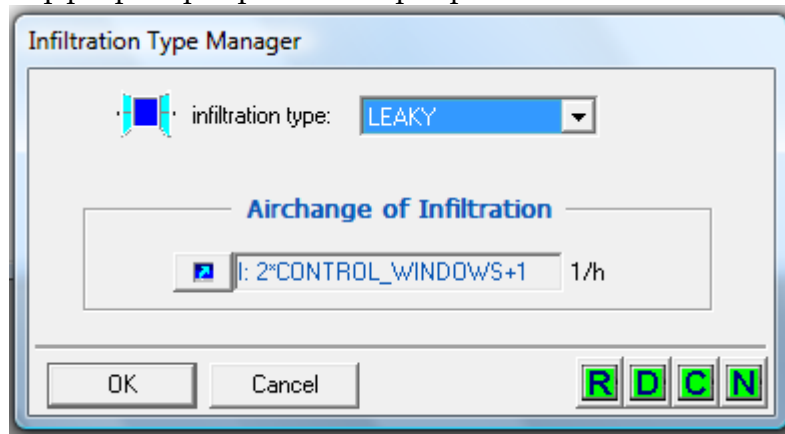
Για λόγους εποπτείας παραθέτουμε παράθυρο που περιέχει τα στοιχεία αυτά για τοίχο της Trap1.



Σχ. 5.9-Παράθυρο Τοίχου και Παραθύρων για τη Trap1

Άνοιγμα παραθύρων

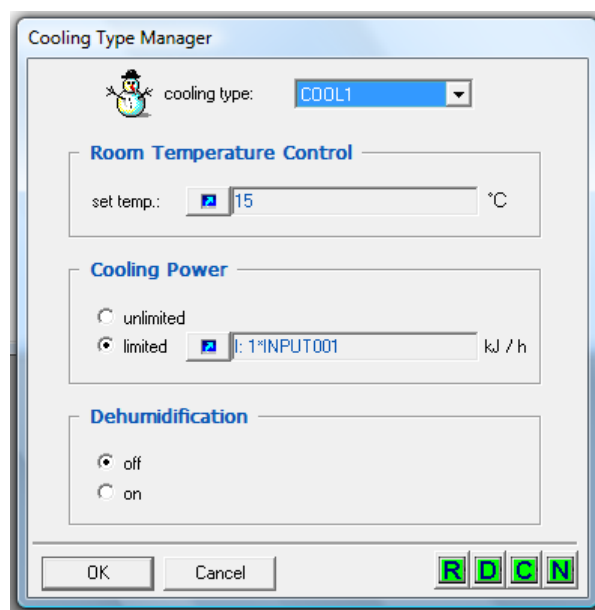
Για λόγους θερμικής άνεσης και υγιούς περιβάλλοντος κρίνεται επιτακτική η εναλλαγή του αέρα των χώρων. Εμείς επιπροσθέτως και για λόγους ψύξης του χώρου δεν θα έχουμε τις αριθμητικά τυπικές εναλλαγές για τα παραπάνω αλλά για τις ώρες που η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι χαμηλότερη αυτής του χώρου θα έχουμε περισσότερες ώστε να μειωθούν τα απαραίτητα φορτία ψύξης στο χώρο. Αυτό καθορίζεται με έναν controller ο οποίος λειτουργεί με τη παραπάνω λογική.



Σχ. 5.10-Παράθυρο Στρατηγικής για Εναλλαγές του Αέρα

Ψύξη του Χώρου

Ανοίγοντας το παράθυρο αυτό καθορίζουμε τον τρόπο με τον οποίο θα γίνει η ψύξη του κτιρίου. Η ψύξη που παίρνουμε μέσω των cooling coils είναι περιορισμένη και εξαρτάται από τα ίδια, από το ψυχόμενο νερό και την παροχή του καθώς και από την θερμοκρασία του αέρα που ήδη επικρατεί στο χώρο.



Σχ. 5.11-Παράθυρο για τη Ψύξη του Χώρου

Επί του προκειμένου η περιορισμένη αυτή ισχύ ψύξης καθορίζεται ή μάλλον συνδέεται με την ψυκτική ισχύ του αντίστοιχου cooling coil του κάθε δωματίου.

Θερμοκρασία Έναρξης της Ψύξης: 15oC
Ψυκτική Ισχύς=Ψυκτική Ισχύς αυτή του αντίστοιχου Cooling Coil
Αφύγραση:Ανενεργή

Πίνακας 5.2- Ρυθμίσεις για τη Ψύξη του Χώρου

Η επιλογή εκκίνησης της ψύξης στους 15°C έχει το εξής νόημα:
Η ψύξη ως τιμή λαμβάνεται μέσω των cooling coils από τα αντίστοιχα input ως εκ τούτου απλά διαλέγουμε μια τιμή ώστε η τιμή αυτή που ενδογενώς ορίζεται στο κτίριο να μην εμπλέκεται στην όλη στρατηγική της ψύξης του χώρου.

Θερμικά Κέρδη



Στο κάθε χώρο εκτός από τη θερμότητα που εισέρχεται από το περιβάλλον έχουμε και έκλυση αυτής εντός του χώρου από διάφορα άτομα που βρίσκονται εντός αυτού, συσκευές και φωτισμό.

Gains [Zone: ΚΟΥΖΙΝΑ]

Persons

off
 on

Computer

off
 on

Artificial Lighting

off
 on

Other Gains

Type	Scale	Geo Position
FREEZER	2	
PER_SP	S: 4*SCHED001	
KITCHEN	S: 1*SCHED001	
LIGHT_SP	S: 1*LIGHT	

Add Delete

gain type: FREEZER <-- new ...

scale: 2

OK
Cancel

Σχ. 5.12-Παράθυρο ΘερμικώνΚερδών Εντός του Χώρου Κουζ

Για την προσομοίωση αυτών των κερδών θα χρησιμοποιήσουμε έναν τρόπο εμφάνισης αυτών των κερδών.

Θα το ονομάσουμε SCL0001 και λειτουργεί ως ακολούθως:

00:00-03:00	1
03:00-14:00	0
14:00-17:00	1
17:00-21:00	0
21:00-24:00	1

Πίνακας 5.3- Ώρες με Ανθρώπινα Θερμικά Φορτία

Για την Trap1 και Trap2 έχουμε τις ίδιες επιλογές:

12 PRS	SCH001
1 LIGHT	12*BRIGHT

Πίνακας 5.4- Θερμικά Φορτία για Trap1 και Trap2

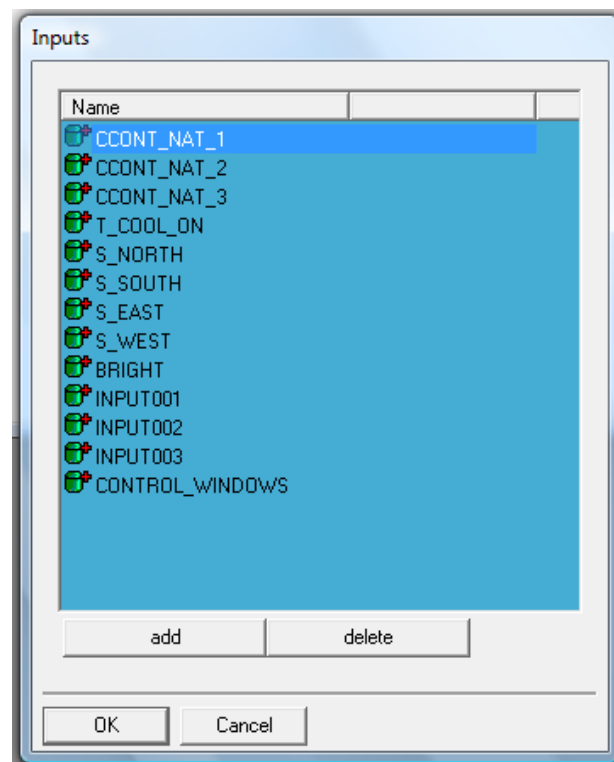
Για την Kouz έχουμε:

4 PRS	SCH001
1 LIGHT	12*BRIGHT
2	FREEZER
2	KITCHEN

Πίνακας 5.5- Θερμικά Φορτία για Kouz

Δεδομένα Εισόδου

Μπορούμε να θέσουμε σαν εισόδους οποιαδήποτε δική μας παράμετρο η οποία θα μας εξυπηρετεί στην ορθότερη προσομοίωση της όλης λειτουργίας του συστήματος.



Σχ. 5.13-Παράθυρο Δεδομένων Εισόδου του Κτιρίου

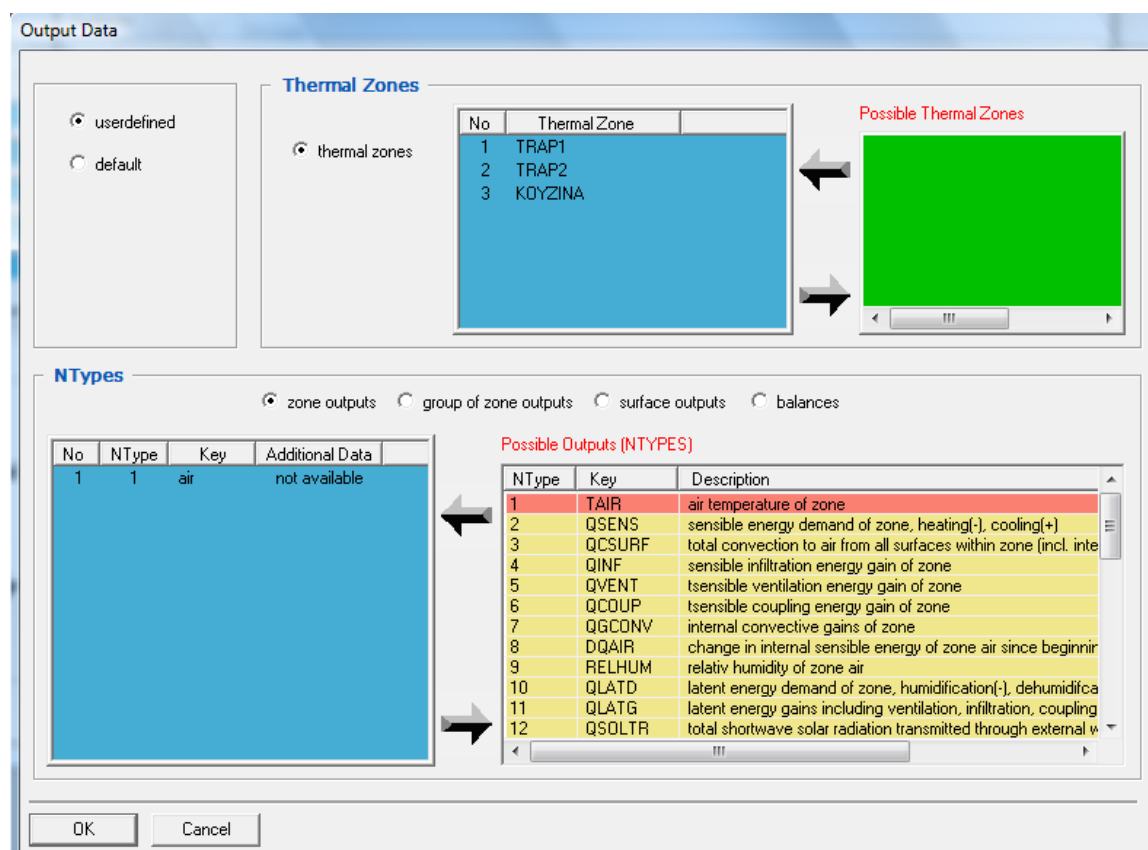
Εμείς στα απαραίτητα για την συμπεριφορά του κτιρίου τυπικά δεδομένα εισόδου θα προσθέσουμε τα κάτωθι.

Ψυκτική Ισχύς Cooling Coil 1	INPUT001
Ψυκτική Ισχύς Cooling Coil 2	INPUT002
Ψυκτική Ισχύς Cooling Coil 3	INPUT003
Άνοιγμα Παραθύρων	CONTROL_WINDOWS

Πίνακας 5.6-Επιπρόσθετα Δεδομένα Εισόδου

Εξοδοι-Αποτελέσματα

Από τα παράθυρα των «Πιθανών Θερμικών Ζωνών» και των «Πιθανών Εξόδων» όπου περιέχουν όλες τις ζώνες του κτιρίου και όλες τις εξόδους που μπορεί να δώσει το μοντέλο του πολυζωνικού κτιρίου επιλέγουμε τις κατάλληλες ζώνες και τα επιθυμητά αποτελέσματα για κάθε ζώνη που θα μας δώσει το μοντέλο αυτό.

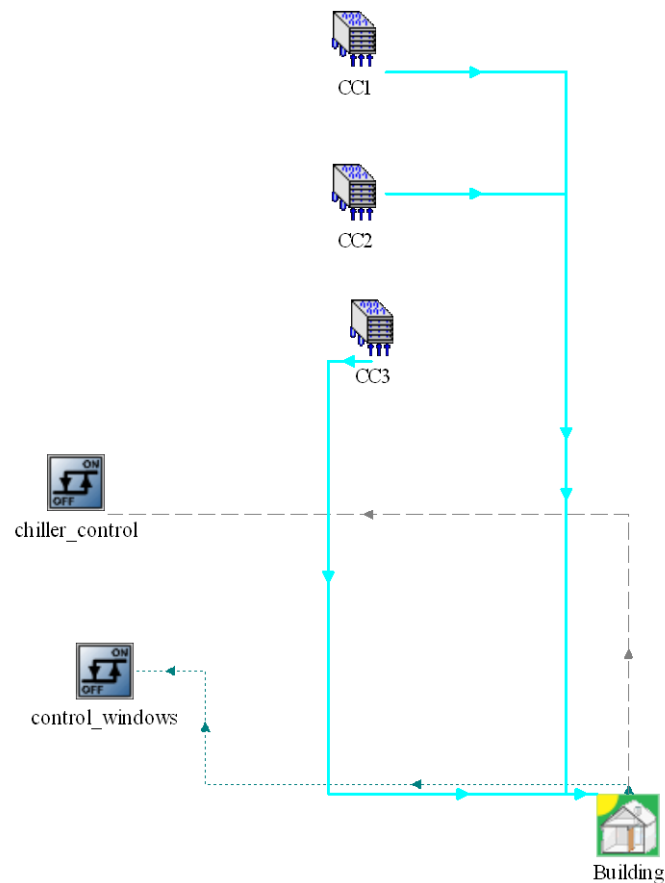


Σχ.5.14-Παράθυρο Εξόδων-Αποτελεσμάτων του Κτιρίου

Στη προσομοίωση μας όπως βλέπουμε θα χρειαστούμε μόνο τη θερμοκρασία που επικρατεί στη κάθε ζώνη.

Το Κτίριο στο TRNSYS Simulation Studio

Το κτίριο έχει σαν εισόδους του όλα τα απαραίτητα μετεωρολογικά στοιχεία τα οποία καθορίζουν τη συμπεριφορά του. Στο Παρακάτω σχήμα αυτές οι εισοδοι για λόγους εύκολης εποπτείας παραλείπονται.



Σχ. 5.15-Συνδέσεις του Μοντέλου του Πολυζωνικού Κτιρίου

Το μοντέλο του κτιρίου δίνει πληροφορίες για τη διακύμανση της θερμοκρασίας του κάθε χώρου στους ελεγκτές. Οι οποίοι με τη σειρά τους καθορίζουν τη λειτουργία του συστήματος.

Με τη πληροφορία της θερμοκρασίας του χώρου με την υψηλότερη, η οποία είναι αυτή της ζώνης Trap1, στον “chiller_control” έχουμε την εκκίνηση του συστήματος ψύξης του χώρου όταν η θερμοκρασία υπερβεί μία τιμή ενώ στον “control_windows” όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος γίνει μικρότερη της θερμοκρασίας του χώρου αυξάνονται οι εναλλαγές του αέρα.

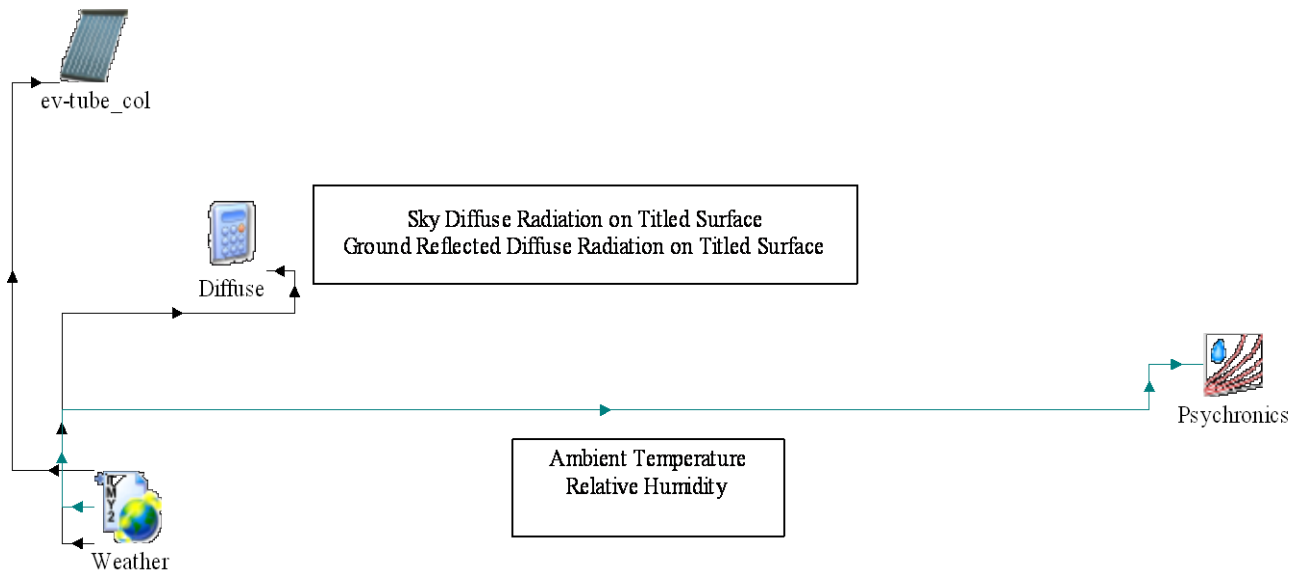
Από τα τρία cooling coils τα οποία αντιστοιχούν ένα σε κάθε ζώνη του κτιρίου δεχόμαστε τη ψύξη ως μία είσοδος στο μοντέλο.



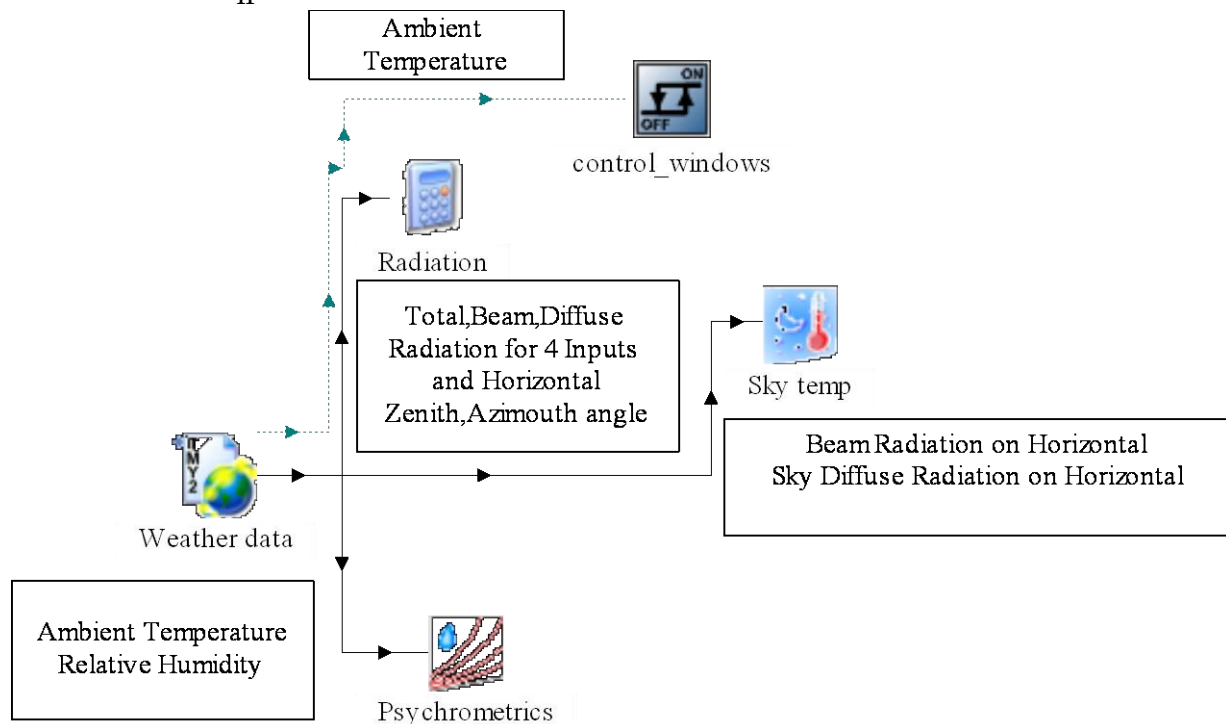
Μοντέλο Καιρού TMY2

Αυτό αποτελεί το σημείο εκκίνησης της προσομοίωσης. Οι πληροφορίες λαμβάνονται από το εξωτερικό αρχείο του καιρού και μέσω αυτού του μοντέλου διαρρέονται στα υπόλοιπα.

- Για το υποσύστημα του Ψύκτη Απορρόφησης



- Για το υποσύστημα του Σπιντιού

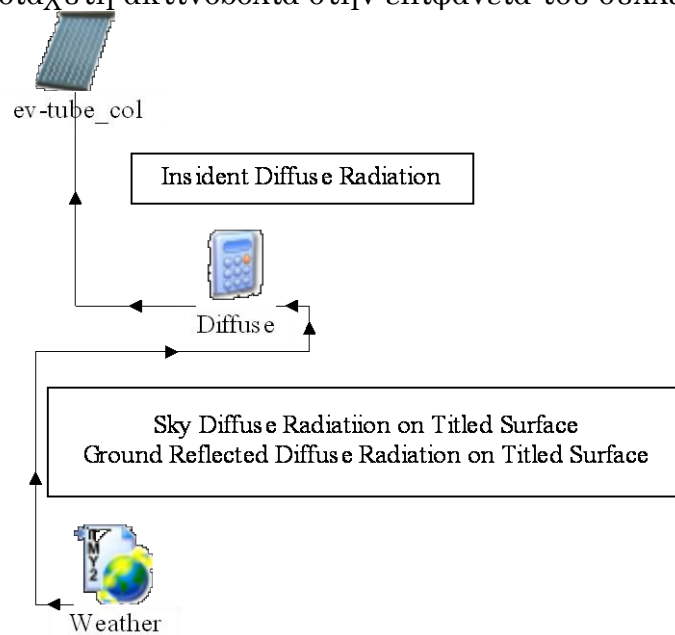


Σχ.5.16-Συνδέσεις Μοντέλου Καιρού TMY2

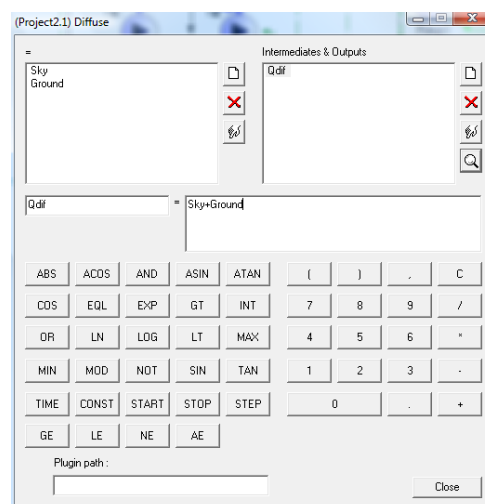


Μοντέλο Εξισώσεων

Χάρη σε αυτό το μοντέλο μπορούμε να φτιάξουμε δικές μας εξισώσεις οι οποίες να συνδέονται με τα διάφορα άλλα μοντέλα της προσομοίωσης και να λειτουργούν σαν κανονικό κομμάτι της όλης λειτουργίας του συστήματος. Τυχόν ελλείψεις σε μοντέλα εύκολα μπορούν να συμπληρωθούν από αυτό το μοντέλο. Εμείς θα το χρησιμοποιήσουμε προκειμένου να δώσουμε την προσπιπτούσα διάχυτη ακτινοβολία στην επιφάνεια του συλλέκτη.



Σχ.5.17-Συνδέσεις Μοντέλου Εξισώσεων



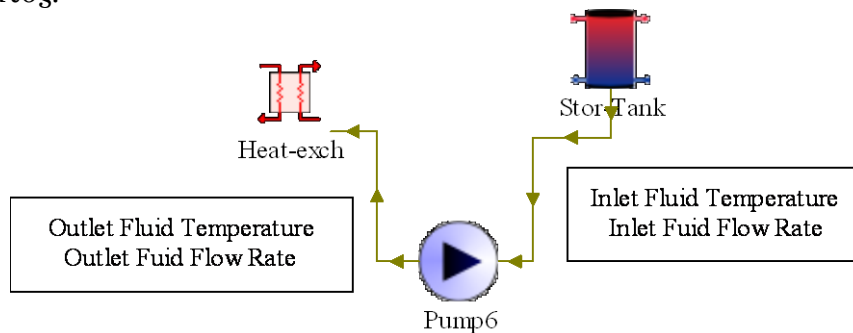
Σχ.5.18-Παράθυρο για το Μοντέλο των Εξισώσεων



Αντλία Σταθερής Ταχύτητας Περιστροφής

Στη προσομοίωση μας θα χρησιμοποιήσουμε για να υπάρξει η απαραίτητη ροή αντλίες σταθερής ταχύτητας μιας και δεν φαίνεται απαραίτητη η χρήση μεταβλητής ταχύτητας αντλιών.

Οι αντλίες των διαφόρων ρευμάτων δεν έχουν διαφορά στο τι εισάγουν και τι εξάγουν έτσι αρκεί η αναπαράσταση μιας και μόνης αντλίας του όλου συστήματος.



Σχ.5.18-Συνδέσεις Pump6

Στοιχεία του Μοντέλου

Q_{fluid}	KJ/hr	η ισχύς που μεταφέρεται από τη πτερύγωση της αντλίας στο διερχόμενο ρεύμα
n_{motor}	0...1	ο βαθμός απόδοσης της πτερύγωσης
n_{overall}	0...1	ο βαθμός απόδοσης της αντλίας
$f_{\text{motorloss}}$	0...1	η ποσοστιαία απώλεια ισχύος λόγω μη τέλειας λειτουργίας του μοτέρ
P_{rated}	KJ/hr	η ονομαστική ισχύς της αντλίας
P_{shaft}	KJ/hr	η απαιτούμενη ισχύς στον άξονα της αντλίας
$\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \dots$		οι πολυωνυμικοί συντελεστές της καμπύλης λειτουργίας της αντλίας
γ	0...1	το σήμα ελέγχου για τη λειτουργία της αντλίας
Q_{ambient}	KJ/hr	η ισχύς που μεταφέρεται από την αντλία στον περιβάλλον
$T_{\text{fluid,out}}$	K	η θερμοκρασία εξόδου του υγρού από την αντλία
$T_{\text{fluid,in}}$	K	η θερμοκρασία εισόδου του υγρού στην αντλία
m_{fluid}	kg/hr	η παροχή μάζας που διέρχεται την αντλία

Πίνακας 5.7- Στοιχεία του Μοντέλου

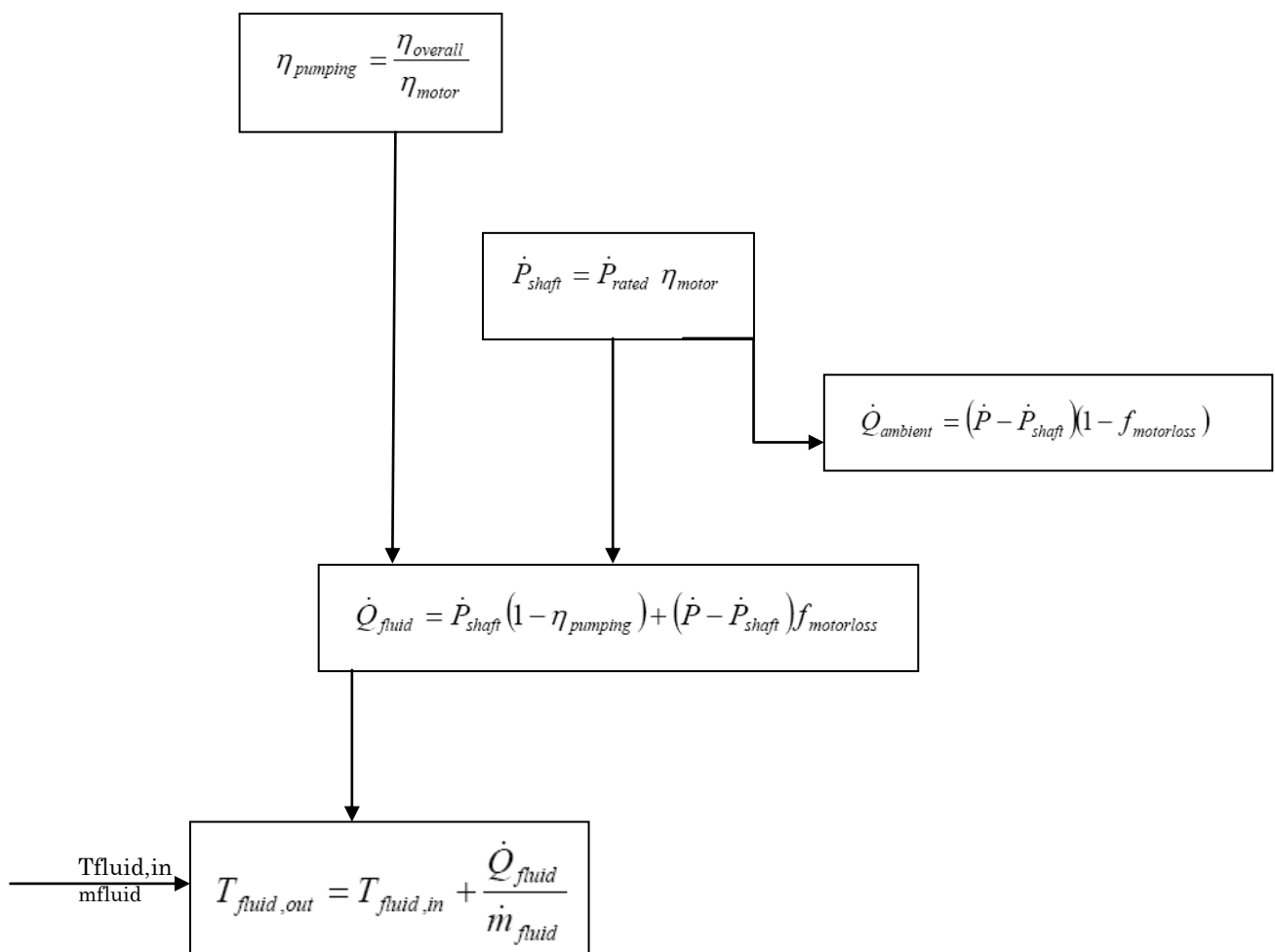
Το κύριο μέγεθος των αντλιών που θα χρησιμοποιήσουμε είναι η παροχή του νερού που διαρρέεται μέσω αυτών.

Στο παρακάτω πίνακα έχουμε τα μεγέθη αυτών.

ΑΝΤΛΙΕΣ	ΠΑΡΟΧΗ
Pump1	90kg/hr
Pump2	90kg/hr
Pump3	200kg/hr
Pump4	200kg/hr
Pump5	100kg/hr
Pump6	100kg/hr
Pump7	100kg/hr
Pump8	100kg/hr
Pump9	300kg/hr
Pump10	300kg/hr

Πίνακας 5.8-Ρυθμίσεις Παροχής Μάζας της Κάθε Αντλίας

Αλγόριθμος

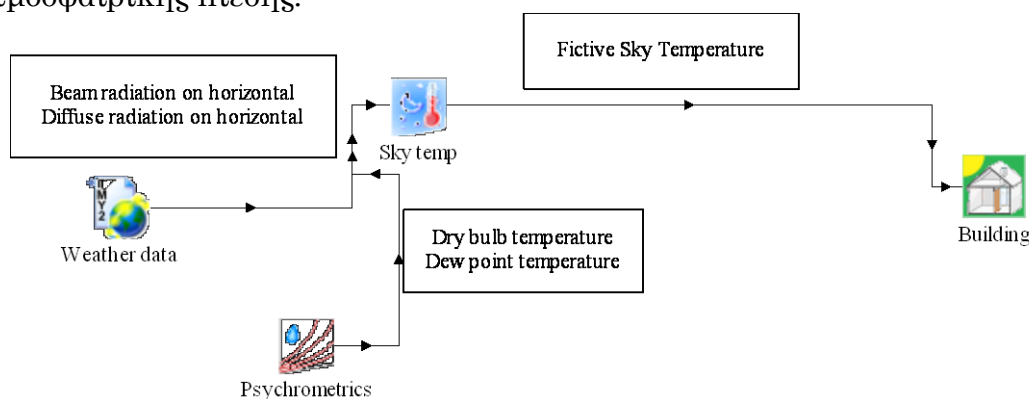


Διάγραμμα Ροής 1-Αλγόριθμος Επιλογής Αντλίας Σταθερής Ταχύτητας



Αντιπροσωπευτική Θερμοκρασία Ουρανού

Το μοντέλο αυτό υπολογίζει μια αντιπροσωπευτική θερμοκρασία για τον ουρανό. Με βάση αυτήν την θερμοκρασία υπολογίζεται η συναλλαγή ακτινοβολίας μεγάλου μήκους από τις εξωτερικές επιφάνειες ενός κτηρίου με το περιβάλλον. Η αντιπροσωπευτική θερμοκρασία ουρανού υπολογίζεται με σκοπό τον υπολογισμό της συναλλασσόμενης ακτινοβολίας μεγάλου μήκους από τις εξωτερικές επιφάνειες ενός κτηρίου με το περιβάλλον. Για τον υπολογισμό αυτόν ο ουρανός θεωρείται ότι είναι μία ιδανική μαύρη επιφάνεια. Το ζητούμενο είναι ο υπολογισμός της πραγματικής εκπομπής του καθαρού και του συννεφιασμένου ουρανού. Έτσι, η αντιπροσωπευτική θερμοκρασία ουρανού είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, της υγρασίας του αέρα, του βαθμού συννεφιάς του ουρανού και της τοπικής ατμοσφαιρικής πίεσης.



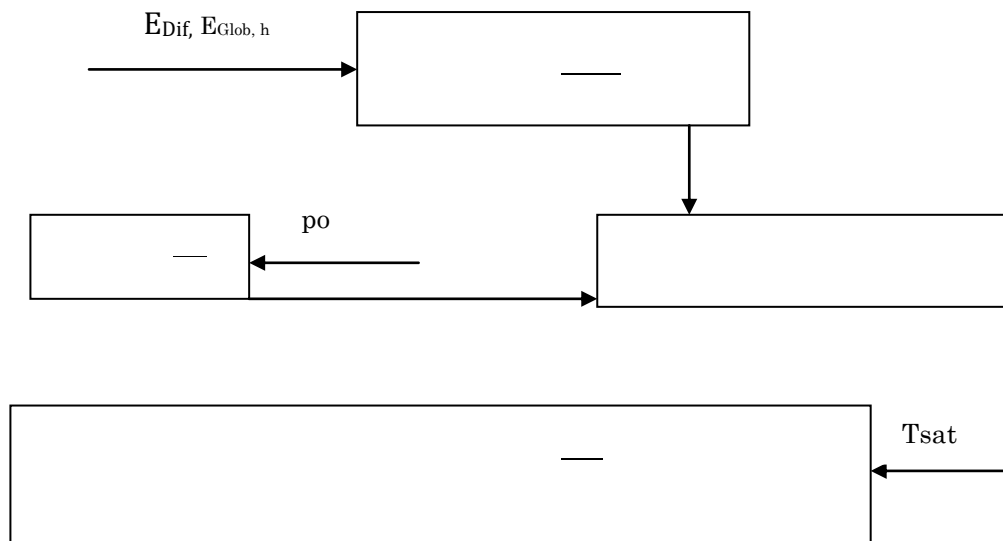
Σχ.5.19-Συνδέσεις του Μοντέλου της Αντιπροσωπευτικής Θερμοκρασίας του Ουρανού

Στοιχεία Μοντέλου

C_{Cover}	[0...1]Βαθμός συννεφιάς του ουρανού
E_{Dif}	[kJ/hm ²]Διάχυτη ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου
E_{Dir}	[kJ/hm ²]Άμεση ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου
$E_{Glob, h}$	[kJ/hm ²]Ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου
G	[m/sec ²]Επιτάχυνση της βαρύτητας
h	[m]υψόμετρο πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας
p_{atm}	[atm]ατμοσφαιρική πίεση
p_0	[atm]Ατμοσφαιρική πίεση στο ύψος h_0
ρ_0	[kg/m ³] πυκνότητα αέρα στο ύψος h_0
ϵ_0	[0...1]εκπομπή καθαρού ουρανού
T_{amb}	[°C]Θερμοκρασία περιβάλλοντος
T_{sat}	[°C]Θερμοκρασία σημείου δρόσου σε συνθήκες περιβάλλοντος
T_{sky}	[°C]Θερμοκρασία ουρανού

Πίνακας 5.9- Στοιχεία του Μοντέλου

Αλγόριθμος



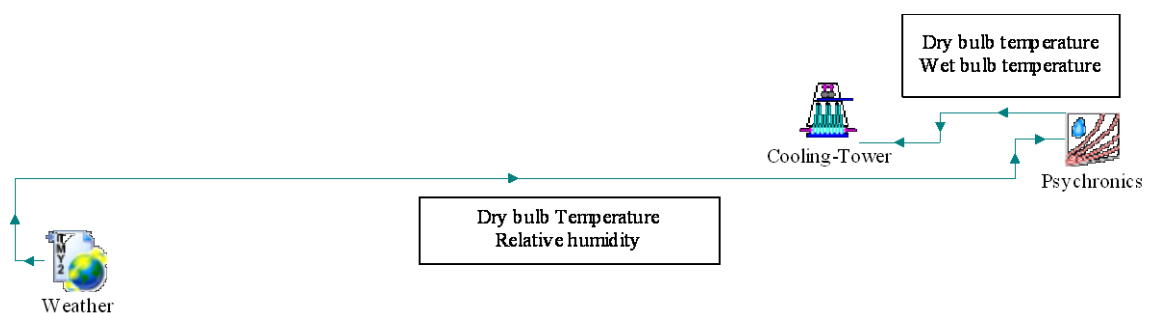
Διάγραμμα Ροής 2-Αλγόριθμος Επίλυσης Αντλίας Σταθερής Ταχύτητας



Ψυχομετρικό Διάγραμμα

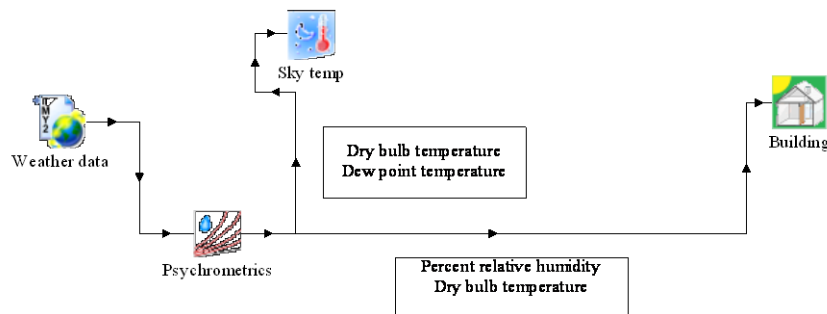
Μέσω αυτού του μοντέλου λαμβάνουμε μεγέθη που θα μπορούμε να βρούμε μέσω ενός ψυχομετρικού χάρτη και τα οποία είναι απαραίτητα για διάφορα μοντέλα της προσομοίωσης. Η αντιπροσωπευτική θερμοκρασία ουρανού υπολογίζεται με σκοπό τον υπολογισμό της συναλλασσόμενης ακτινοβολίας μεγάλου μήκους από τις εξωτερικές επιφάνειες ενός κτηρίου με το περιβάλλον. Για τον υπολογισμό αυτόν ο ουρανός θεωρείται ότι είναι μία ιδανική μαύρη επιφάνεια. Το ζητούμενο είναι ο υπολογισμός της πραγματικής εκπομπής του καθαρού και του συννεφιασμένου ουρανού. Έτσι, η αντιπροσωπευτική θερμοκρασία ουρανού είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, της υγρασίας του αέρα, του βαθμού συννεφιάς του ουρανού και της τοπικής ατμοσφαιρικής πίεσης

- ο Για τον ψυκτικό Πύργο



Σχ.5.20-Συνδέσεις του Ψυχομετρικού Χάρτη για το Πύργο Ψύξης

- Για την εύρεση μεγεθών του μοντέλου του κτιρίου



Σχ.5.21-Συνδέσεις του Ψυχομετρικού Χάρτη για το Κτίριο

Για τη λειτουργία του μοντέλου αυτού απαιτείται:

- θερμοκρασία ξηρού βολβού
- και ένα εκ των κάτωθι μεγεθών ανάλογα τη λειτουργία
 - θερμοκρασία υγρού βολβού
 - σχετική υγρασία
 - θερμοκρασία σημείου δρόσου
 - λόγος υγρασίας
 - ενθαλπία

ή

- λόγος υγρασίας
- ενθαλπία

και μας δίνει τα εξής αποτελέσματα:

- λόγος υγρασίας
- θερμοκρασία υγρού βολβού
- ενθαλπία
- πυκνότητα του μείγματος αέρα-νερού
- πυκνότητα ξηρού αέρα
- ποσοστό σχετικής υγρασίας
- θερμοκρασία ξηρού βολβού
- θερμοκρασία σημείου δρόσου



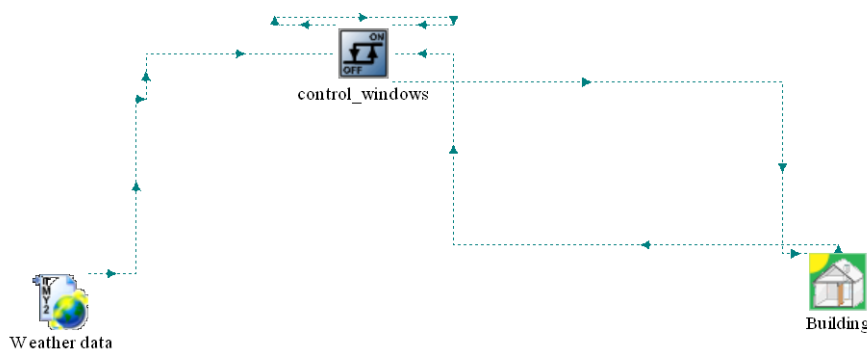
Διαφορικός Ελεγκτής

Η χρήση αυτού του ελεγκτή μας βοηθά στην εύρυθμη λειτουργία του συστήματος. Πρόκειται για μία συσκευή που συγκρίνει τις εισερχόμενες σε αυτή τιμές και δίνει αποτέλεσμα το οποίο μπορεί να είναι 0 ή 1 για παύση και έναρξη ή συνέχιση της λειτουργίας αντίστοιχα. Η τιμή αυτή εξάγεται έπειτα από μια σύγκριση στην οποία λαμβάνουν μέρος εκτός από τις εισερχόμενες όπως είπαμε τιμές η προηγούμενη τιμή της συνάρτησης του ελεγκτή και δύο όρια ΔT_H και ΔT_L τα οποία έχουμε θέσει.

Η μεγάλη χρησιμότητά τους όπως προαναφέραμε μας οδηγεί χρησιμοποιούμε στη προσομοίωση μας 4 διαφορικούς ελεγκτές

Ελεγκτής control windows

Μέσω αυτού του ελεγκτή γίνεται αύξηση στις εναλλαγές του αέρα στο κάθε δωμάτιο από 1 φορά την ώρα όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι ανώτερη από εκείνη του δωματίου ,για λόγους θερμικής άνεσης, σε 3 όταν συμβαίνει το αντίθετο κάτι που αυξάνει την ποιότητα του χώρου ενώ μειώνει τις ανάγκες σε ψυκτικό φορτίο.



Σχ.5.22-Συνδέσεις της Προσομοίωσης για το control_windows

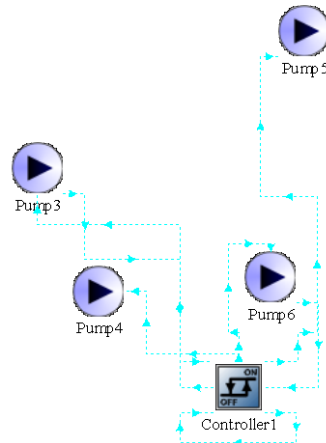
Ελεγκτής Controller1

Ο ελεγκτής αυτός ρυθμίζει τη λειτουργία των αντλιών που σχετίζονται με το εναλλάκτη θερμότητας Heat-Exch .Θέλουμε κατά τη λειτουργία το διάλυμα του ηλιακού συλλέκτη να δίνει ενέργεια στο ρεύμα που προέρχεται από τον ταμιευτήρα μέσω του εναλλάκτη που αναφέραμε.

Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
1	Upper input temperature Th	20.0	C			More...
2	Lower input temperature Tl	10.0	C			More...
3	Monitoring temperature Tin	20.0	C			More...
4	Input control function	0	-			More...
5	Upper dead band dT	10.0	Temp. Difference			More...
6	Lower dead band dT	0.5	Temp. Difference			More...

Πίνακας 5.10- Εισόδων του Controller1

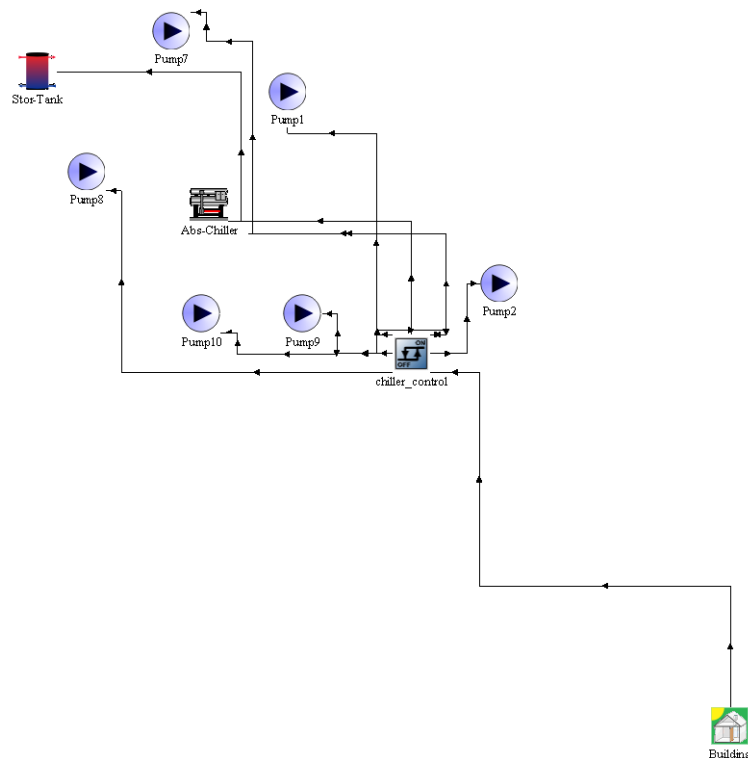
Για να το εξασφαλίσουμε αυτό χρησιμοποιούμε αυτόν τον ελεγκτή που επιβάλλει το προσδοκώμενο να γίνεται η μεταφορά θερμότητα προς τη μία μόνο κατεύθυνση



Σχ.5.23-Συνδέσεις του Controller1

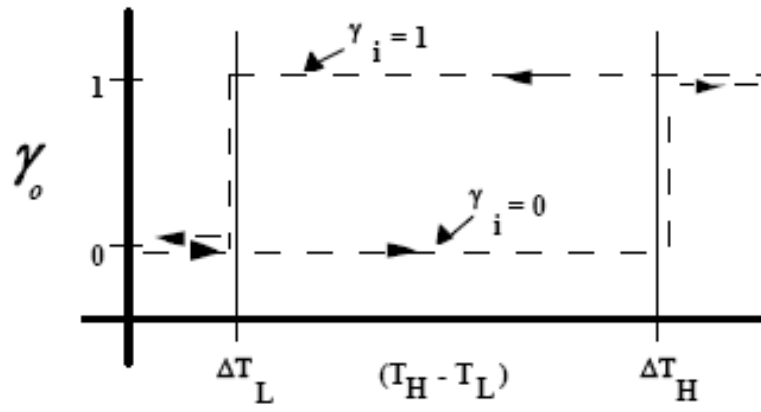
Ελεγκτής chiller control

Ο ελεγκτής αυτός έχει ως μία είσοδο του την θερμοκρασία του δωματίου 1 την οποία τη συγκρίνει με την επιθυμητή ώστε να υπάρξουν συνθήκες θερμικής άνεσης. Τα άνω και κάτω όρια θα υπάρξουν αντικείμενο μελέτης παρακάτω. Με το που η συνάρτηση του ελεγκτή γίνεται 1 δίνεται σήμα στο ψύκτη απορρόφησης να εκκινήσει τη λειτουργία του, στον αποταμιευτήρα να αυξήσει τη θερμοκρασία του νερού ώστε να είναι έτοιμο προς χρήση δηλαδή 95°C καθώς και στις αντλίες του συστήματος να δράσουν ομοίως.



Σχ.5.24-Συνδέσεις του chiller_control

Αλγόριθμος:



Σχ.5.25·Αναπαράσταση Αλγόριθμου Επίλυσης

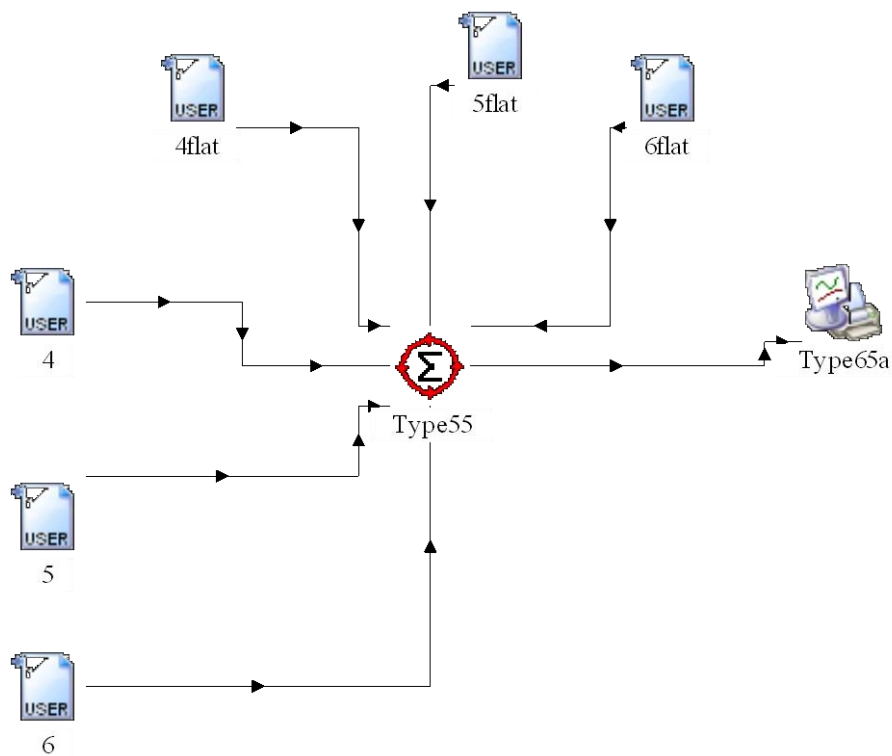


Περιοδικός Ολοκληρωτής

Το μοντέλο αυτό θα το χρησιμοποιήσουμε ευρέως στις προσομοιώσεις σύγκρισης. Θα ολοκληρώνουμε τη ποσότητα που θέλουμε προκειμένου να έχουμε σαφή αποτελέσματα για τη βέλτιστη επιλογή του υπό σύγκριση στοιχείου.

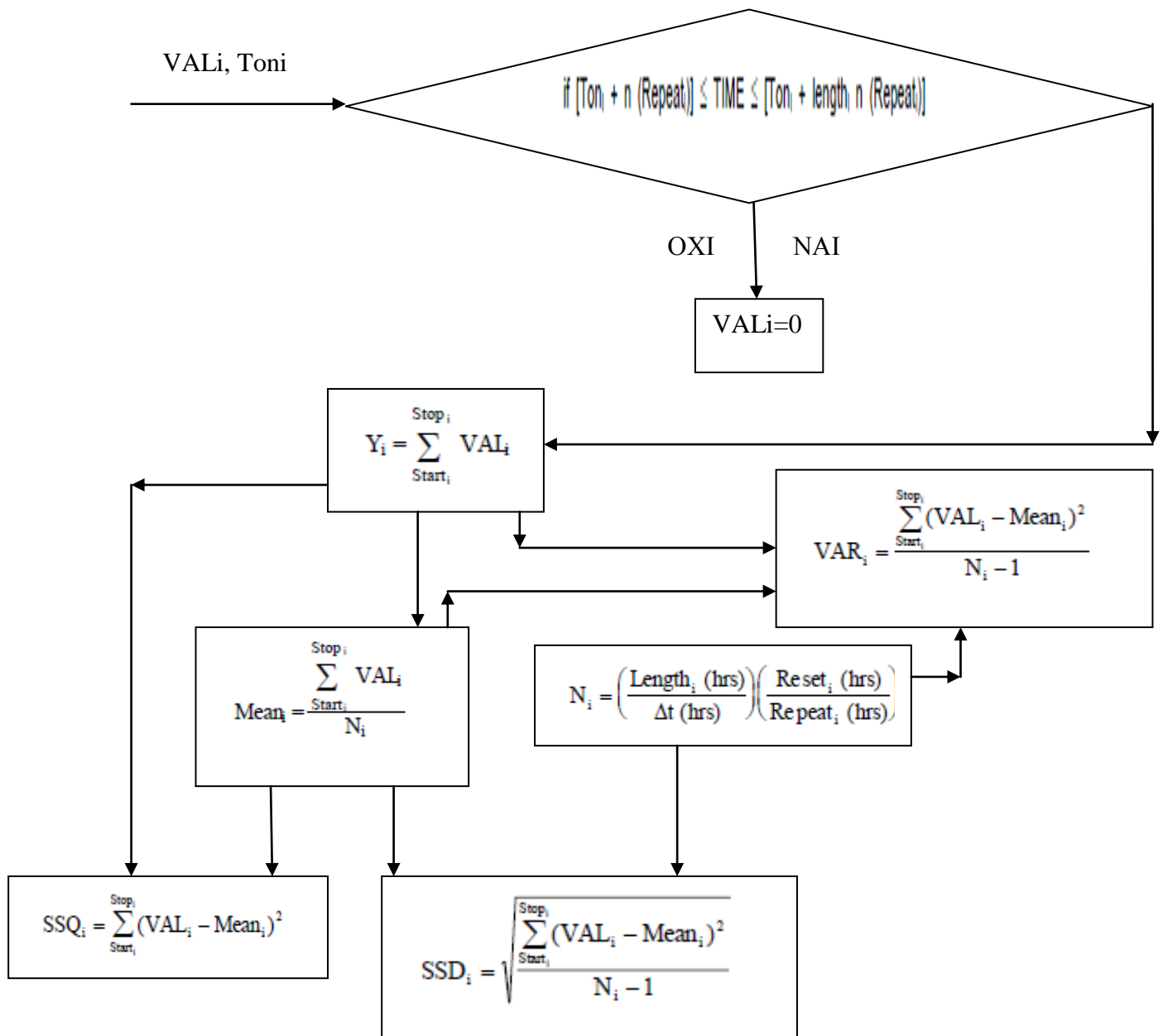
Οι προσομοιώσεις αυτού του τύπου δεν παρουσιάζουν διαφορές και τη λογική τους θα την εξηγήσουμε παρακάτω.

Μία από τις προσομοιώσεις που θα δούμε είναι:

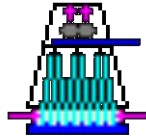


Σχ.5.26-Συνδέσεις Μοντέλου Περιοδικού Ολοκληρωτή

Αλγόριθμος

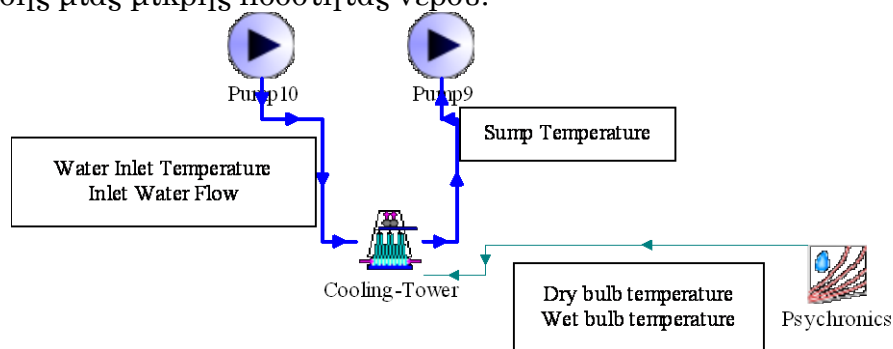


Διάγραμμα Ροής 3-Αλγόριθμος Επίλυσης Περιοδικού Ολοκληρωτή



Πύργος Ψύξης

Στον πύργο ψύξης ρεύμα ζεστού νερού ψύχεται από ρεύμα αέρα του περιβάλλοντος. Αυτό γίνεται μεταφοράς αισθητής θερμότητας λόγω της θερμοκρασιακής διαφοράς των δύο ρευμάτων και μεταφοράς μάζας από την εξάτμιση νερού στο ρεύμα αέρα. Έτσι έχουμε το πλεονέκτημα με σχετικά μικρό κόστος σε κατανάλωση ενέργειας να επιτυγχάνουμε επανακυκλοφορία του νερού δίχως να απαιτείται νέα ποσότητα νερού για την ίδια λειτουργία παρά μόνο ένα μικρό συμπλήρωμα ανά κάποιο χρονικό διάστημα λόγω της εξάτμισης μιας μικρής ποσότητας νερού.



Σχ.5.27-Συνδέσεις Πύργου Ψύξης

Το συγκεκριμένο μοντέλο υπολογίζει την λειτουργία ψυκτικού πύργου εγκάρσιας ροής ή αντιροής. Υπάρχουν δύο μέθοδοι υπολογισμού. Στην πρώτη μέθοδο, ο χρήστης εισάγει του συντελεστές της εξίσωσης μεταφοράς μάζας c και n . Παρόλο που τα δεδομένα αυτά είναι δύσκολο να είναι γνωστά, ο οδηγός εξοπλισμού της ASHRAE καθώς και η Simpson and Sherwood δίνουν τυπικές τιμές των δεδομένων αυτών. Στην δεύτερη μέθοδο, ο χρήστης εισάγει δεδομένα της συνολικής συμπεριφοράς του πύργου και το μοντέλο υπολογίζει τις τιμές των παραμέτρων c και n , που ταιριάζουν στα δεδομένα αυτά, με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Οι τιμές αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε επόμενες προσομοιώσεις χωρίς να χρειάζεται το πρόγραμμα να τις επαναυπολογίσει.

Στοιχεία Μοντέλου

A_v	συνολική επιφάνεια σταγονιδίων νερού ανά όγκο βαθμίδας
C_{pw}	ειδική θερμότητα νερού υπό σταθερή πίεση
C_s	/
h_a	ενθαλπία υγρού αέρα ανά μονάδα μάζας ξηρού αέρα
h_D	συντελεστής μεταφοράς μάζας
h_s	ενθαλπία κορεσμένου αέρα
m_a	παροχή μάζας ξηρού αέρα
m_w	παροχή μάζας νερού
N_{cell}	αριθμός βαθμίδων
N_{tu}	αριθμός μονάδων μεταφοράς μάζας
Q_{cell}	ρυθμός μεταφοράς θερμότητας ανά βαθμίδα
T_a	θερμοκρασία αέρα
T_{main}	θερμοκρασία του νερού συμπλήρωσης στη λεκάνη
T_s	θερμοκρασία νερού στη λεκάνη υπό πλήρη ανάμιξη
T_w	θερμοκρασία νερού
T_{wb}	θερμοκρασία υγρού βολβού του αέρα περιβάλλοντος
T_{ref}	θερμοκρασία αναφοράς του νερού (00C)
V_{cell}	συνολικός όγκος συναλλαγής ανά βαθμίδα
V_s	συνολικός όγκος νερού στη λεκάνη
ω_a	λόγος υγρασίας του αέρα
ω_s	υγρασία κορεσμένου αέρα
ϵ_a	λόγος μεταβολής ενθαλπίας του αέρα προς την μέγιστη δυνατή μεταβολή
ρ_w	πυκνότητα νερού
	Δείκτες
a	μεγέθη ρεύματος αέρα
i	μεγέθη εισόδου
o	μεγέθη εξόδου
w	μεγέθη ρεύματος νερού
exit	συνθήκες εξόδου αέρα

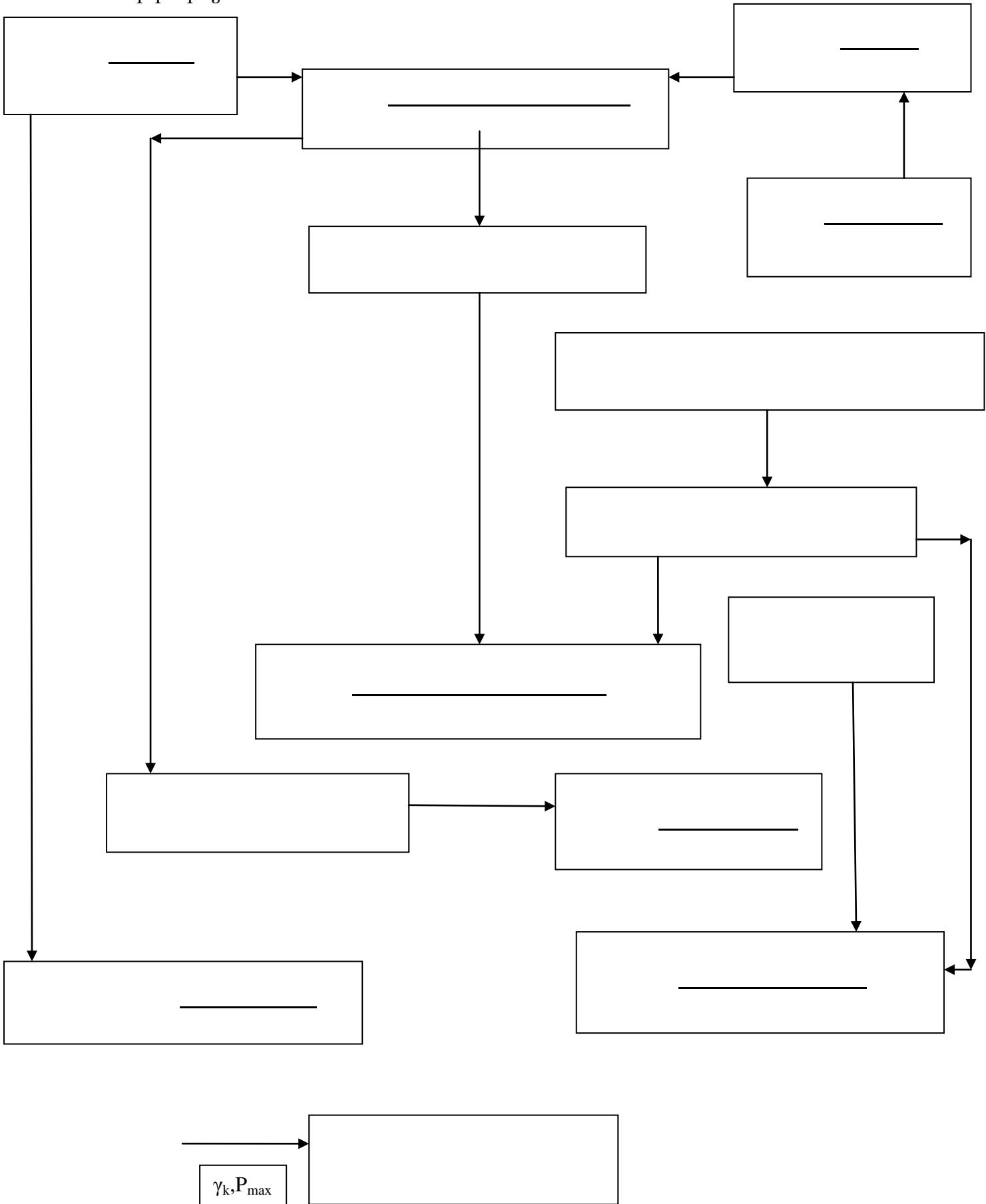
Πίνακας 5.11- Στοιχεία του Μοντέλου

Παράμετροι του μοντέλου:

Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
2	Flow geometry	1	-			More...
3	Number of tower cells	1	-			More...
4	Maximum cell flow rate	400.0			m ³ /hr	More...
5	Fan power at maximum flow	1.0			kW	More...
6	Minimum cell flow rate	10.0			m ³ /hr	More...
7	Sump volume	1.0			m ³	More...
8	Initial sump temperature	15.0			C	More...
9	Mass transfer constant	2.3				More...
10	Mass transfer exponent	-0.72				More...

Πίνακας 5.12- Παραμέτρων Μοντέλου Ψυκτικού Πύργου

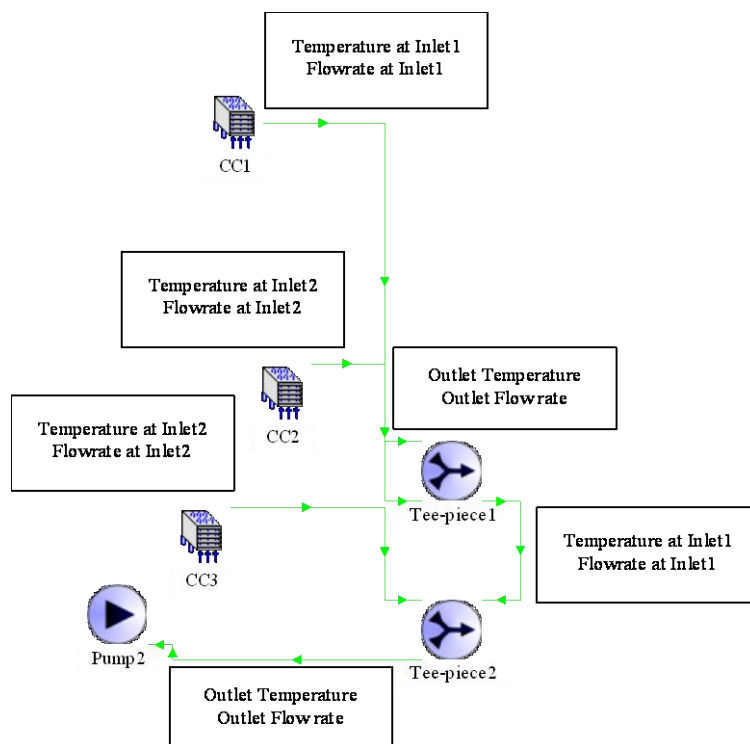
Αλγόριθμος





Ταφ

Μετά τη διέλευση του νερού από τα cooling coils θα ξανασυγκεντρωθούν σε ένα ρεύμα προκειμένου αυτό να διέλθει από το ψύκτη απορρόφησης να ψυχθεί εκ νέου και να επανακυκλοφορήσει στο κύκλωμα.



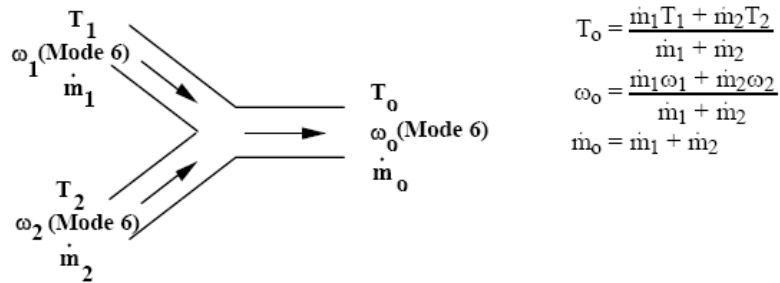
Σχ.5.28-Συνδέσεις Τεμαχίων Ταφ

Στοιχεία Μοντέλου

m_i	παροχή μάζας ρευστού εισόδου
m_o	παροχή μάζας ρευστού εξόδου
m_1	παροχή μάζας ρευστού στη θέση 1
m_2	παροχή μάζας ρευστού στη θέση 2
T_i	θερμοκρασία εισόδου του ρευστού
T_o	θερμοκρασία εξόδου του ρευστού
T_1	θερμοκρασία εισόδου του ρευστού στη θέση 1
T_2	θερμοκρασία εισόδου του ρευστού στη θέση 2
γ	το ποσοστό της παροχής μάζας στη θέση 1 ως προς την αρχική

Πίνακας 5.13- Στοιχεία του Μοντέλου

Αλγόριθμος

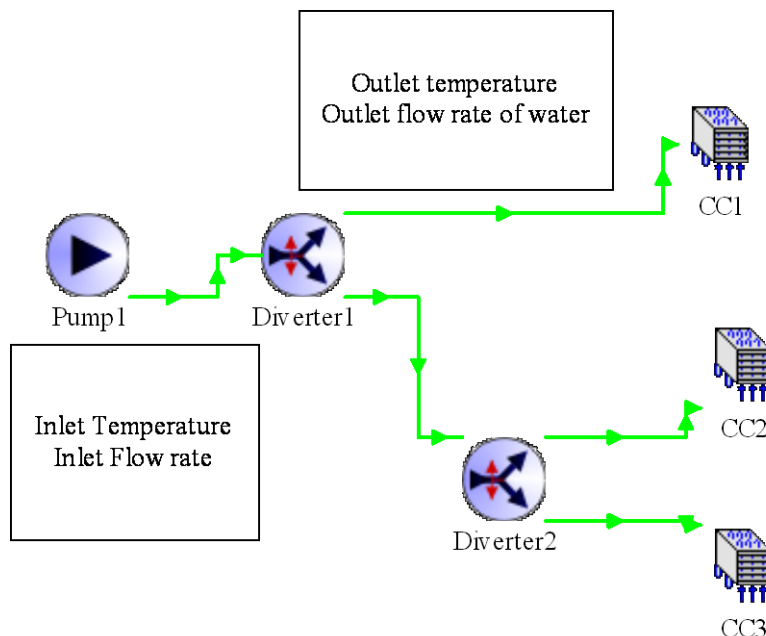


Σχ.5.29-Λειτουργία του Μοντέλου Ταφ



Διαχωριστής

Ο διαχωριστής διαμοιράζει το ρεύμα του νερού που έχει ψυχθεί από τον ψύκτη απορρόφησης ούτως ώστε να δέχεται το κάθε cooling coil ,που είναι υπεύθυνο για τη ψύξη του χώρου που αυτό ανήκει, τη κατάλληλη παροχή ώστε να υπάρξει θερμοκρασία μέσα στα όρια της θερμικής άνεσης.



Σχ.5.30-Συνδέσεις Διαχωριστή

Στοιχεία Μοντέλου

m_i	παροχή μάζας ρευστού εισόδου
m_o	παροχή μάζας ρευστού εξόδου
m_1	παροχή μάζας ρευστού στη θέση 1
m_2	παροχή μάζας ρευστού στη θέση 2
T_i	θερμοκρασία εισόδου του ρευστού
T_o	θερμοκρασία εξόδου του ρευστού
T_1	θερμοκρασία εισόδου του ρευστού στη θέση 1
T_2	θερμοκρασία εισόδου του ρευστού στη θέση 2
γ	το ποσοστό της παροχής μάζας στη θέση 1 ως προς την αρχική

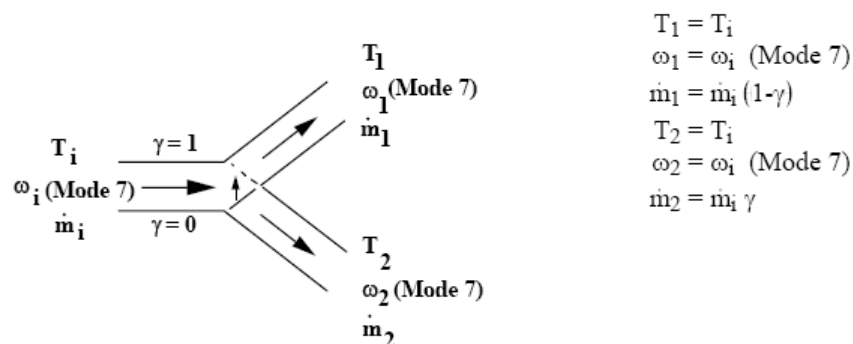
Πίνακας 5.14- Στοιχεία του Μοντέλου

Είσοδοι του μοντέλου:

Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
1	Inlet temperature	20.0	C	More...		
2	Inlet flow rate	100.0	kg/hr	More...		
3	Control signal	0.5	-	More...		

Πίνακας 5.15- Εισόδων του Μοντέλου του Διαχωριστή

Αλγόριθμος

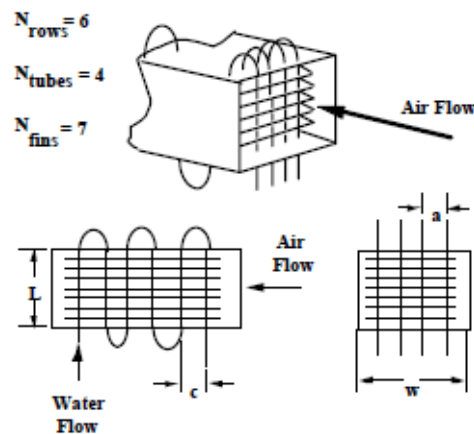


Σχ.5.31-Αναπαράσταση Λειτουργίας του Μοντέλου Διαχωριστή



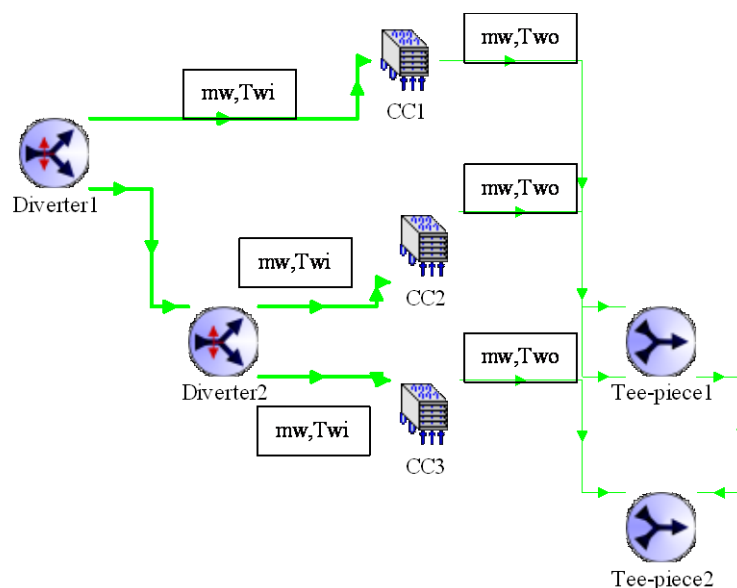
COOLING COILS

Στα cooling coils γίνεται η ψύξη του αέρα του δωματίου. Ουσιαστικά θα μπορούσε κανείς να πει ότι πρόκειται για έναν εναλλάκτη θερμότητας στον οποίο το νερό που αποτελεί και το ψυκτικό μέσω της ροής του στους σωλήνες απορροφά θερμότητα από το θερμότερο αέρα του δωματίου ψύχοντάς τον.



Σχ.5.32- Αναπαράσταση Cooling-Coil

Στη προσομοίωση μας χρησιμοποιήσαμε 3 τέτοια cooling coils ώστε το κάθε δωμάτιο του σπιτιού να έχει από ένα. Το ψυχρό νερό ερχόμενο από τον ψύκτη διαμοιράζεται σε αυτά σε αναλογία 0,4 για το CC1 και 0,3 για τα CC2 και CC3 και αυτό διότι το δωμάτιο 1 (Trap1) έχει υψηλότερες ανάγκες σε ψύξη.



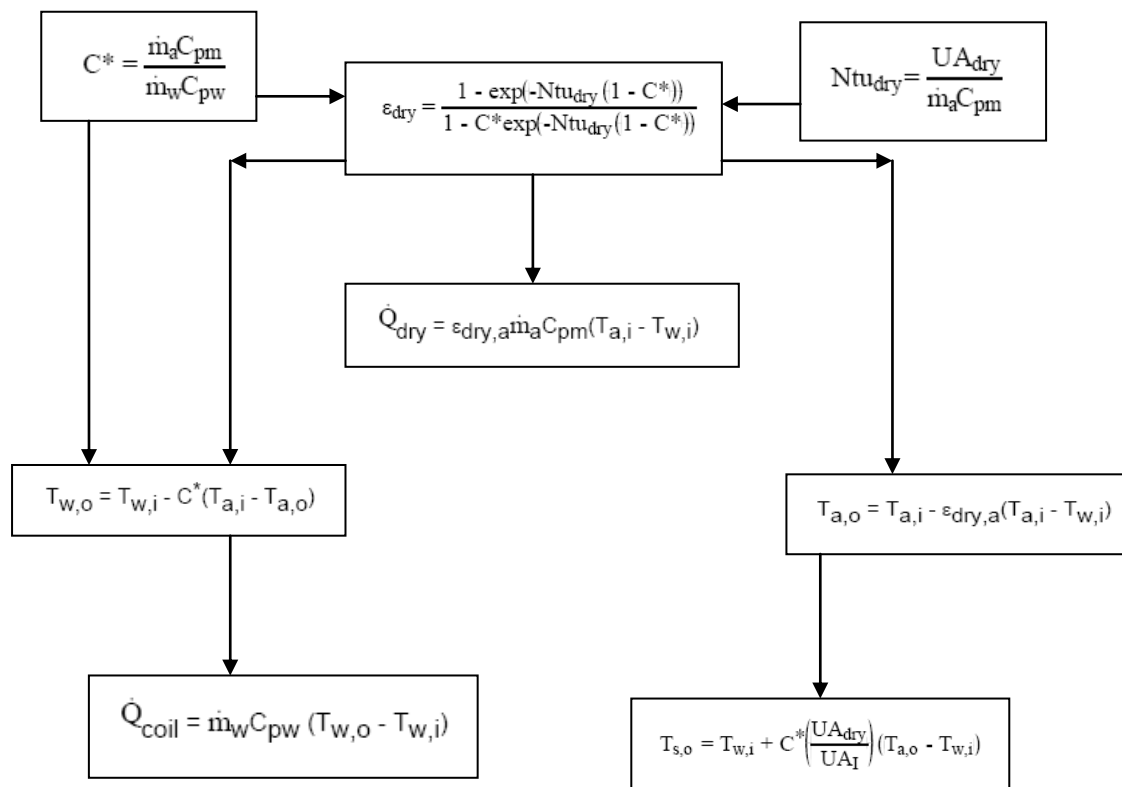
Σχ.5.33-Συνδέσεις των Cooling-Coils

Στοιχεία Μοντέλου

C_{pm}	ισόθλιπτη θερμοχωρητικότητα υγρού αέρα
C_{pw}	ισόθλιπτη θερμοχωρητικότητα νερού
C_s	η μέση κλίση της καμπύλης της ενθαλπίας του αέρα προς τη θερμοκρασία του
C^*	$\dot{m}_a C_{pm} / \dot{m}_w C_{pw}$
h_a	ενθαλπία υγρού αέρα ανά μάζα ξηρού
h_s	ενθαλπία κεκορεσμένου αέρα ανά μάζα ξηρού αέρα
\dot{m}_a	ροή μάζας ξηρού αέρα
\dot{m}_w	ροή μάζας νερού
m^*	$\dot{m}_a C_s / \dot{m}_w C_{pw}$
N_{tu}	ο αριθμός των μονάδων
Q	συνολική μεταφορά ισχύος
T_a	θερμοκρασία αέρα
T_{dp}	
T_s	θερμοκρασία επιφάνειας
T_w	θερμοκρασία νερού
UA	ολική συναγωγή
a	λόγος υγρασίας αέρα
ω_s	υγρασία κορεσμένου αέρα

Πίνακας 5.16- Στοιχεία του Μοντέλου

Αλγόριθμος



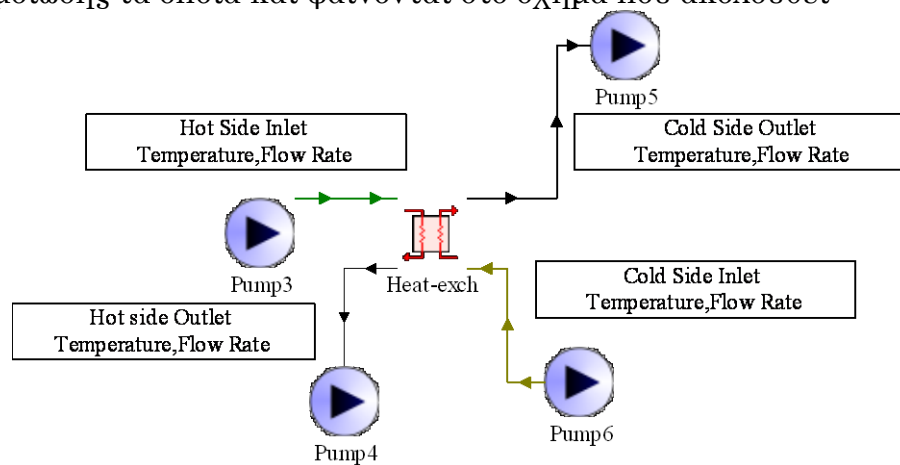


ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Ο σκοπός του εναλλάκτη θερμότητας είναι να μεταφέρει θερμότητα μεταξύ δύο ρευμάτων διαφορετικών κυκλωμάτων. Υπάρχουν από γεωμετρικής και κατασκευαστικής άποψης διάφοροι τύποι τέτοιων εναλλακτών που καθιστούν περισσότερο ή λιγότερο αποτελεσματική αυτή τη μεταφορά:

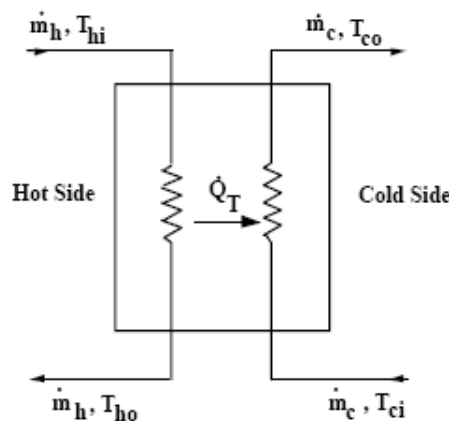
- Παράλληλης ροής
- Αντίθετης ροής
- Σταυρωτής ροής

Θα χρησιμοποιήσουμε εναλλάκτη θερμότητας σε δύο σημεία της προσομοίωσης τα οποία και φαίνονται στο σχήμα που ακολουθεί:



Σχ. 5.34-Συνδέσεις Εναλλάκτη Θερμότητας στη Προσομοίωση

Ανάλογα το τύπο του εναλλάκτη που επιλέγουμε έχουμε και άλλο τρόπο επίλυσης του μοντέλου. Εμείς θα επιλέξουμε εναλλάκτη αντίθετης ροής.



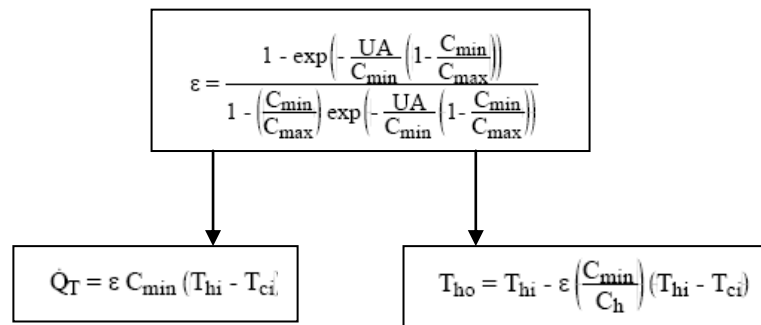
Σχ.5.35-Αναπαράσταση Εναλλάκτη Θερμότητας με Αντιροή

Στοιχεία Μοντέλου

C _c	m _c C _{p,c} ολική θερμοχωρητικότητα ψυχρής πλευράς
C _h	m _h C _{p,h} ολική θερμοχωρητικότητα θερμής πλευράς
C _{max}	μέγιστη θερμοχωρητικότητα
C _{min}	ελάχιστη θερμοχωρητικότητα
C _{p,c}	ισόθλιπτη θερμοχωρητικότητα ψυχρής πλευράς
C _{p,h}	ισόθλιπτη θερμοχωρητικότητα θερμής πλευράς
ε	αποδοτικότητα
m _c	ροής μάζας ψυχρής πλευράς
m _h	ροής μάζας θερμής πλευράς
Q _T	ολική μεταφορά θερμότητας διαμέσου του εναλλάκτη
Q _{max}	μέγιστη μεταφορά θερμότητας διαμέσου του εναλλάκτη
T _{ci}	θερμοκρασία εισόδου ψυχρής πλευράς
T _{co}	θερμοκρασία εξόδου ψυχρής πλευράς
T _{hi}	θερμοκρασία εισόδου θερμής πλευράς
T _{ho}	θερμοκρασία εξόδου θερμής πλευράς
UA	ολική ικανότητα για μεταφορά θερμότητας

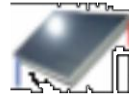
Πίνακας 5.17- Στοιχεία του Μοντέλου

Αλγόριθμος





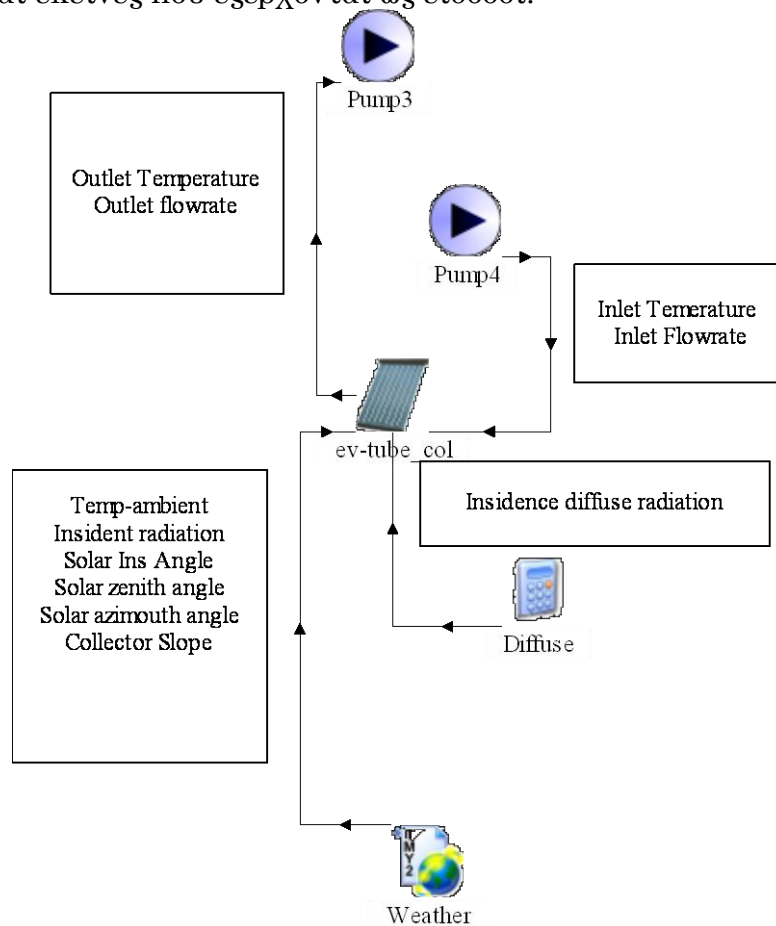
Συλλέκτης Κενού



Επίπεδος Συλλέκτης

Για ηλιακούς συλλέκτες θα χρησιμοποιήσουμε και τα δύο αυτά είδη στα πλαίσια της βελτιστοποίησης του συστήματος. Θα δούμε παρακάτω ότι δεν έχουμε όπως είναι και ευκολονόητο αλλαγές στο τρόπο σύνδεσής τους με το υπόλοιπο σύστημα ούτε και στις πληροφορίες που μεταφέρουν συνεπώς στο παρακάτω σχήμα θα χρησιμοποιήσουμε τη παραπάνω απεικονιζόμενη προσομοίωση.

Στο παρακάτω σχήμα δίνεται η σύνδεση και οι πληροφορίες που δέχεται ως εισόδους και εκείνες που εξέρχονται ως εισοδοί.











Σχ.5.36- Συνδέσεις Ηλιακού Συλλέκτη

Πίνακας Στοιχείων

I	[kJ/hm ²] συνολική ωριαία ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου
I _d	[kJ/hm ²] διάχυτη ωριαία ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου
I _T	[kJ/hm ²] συνολική ωριαία ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου
I _{bT}	[kJ/hm ²] άμεση ωριαία ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου
T _a	[°C] θερμοκρασία περιβάλλοντος
T _{av}	[°C] μέση θερμοκρασία του ρευστού στον συλλέκτη
T _i	[°C] θερμοκρασία εισόδου του ρευστού στον συλλέκτη
T _o	[°C] θερμοκρασία εξόδου του ρευστού από τον συλλέκτη
α	[-] απορροφητικότητα του απορροφητήρα του συλλέκτη
β	[°] κλίση συλλέκτη ως προς το οριζόντιο επίπεδο
θ	[°] γωνία πρόσπτωσης άμεσης ακτινοβολίας
θ _l	[°] προβολή της γωνίας πρόσπτωσης στο επιμήκες επίπεδο
θ _t	[°] προβολή της γωνίας πρόσπτωσης στο εγκάρσιο επίπεδο
ρ _g	[-] ανακλαστικότητα του εδάφους
τ	[-] διαπερατότητα καλύμματος του συλλέκτη
(τα)	[-] κλάσμα της συνολικά προσπίπτουσας ακτινοβολίας που απορροφά ο απορροφητήρας
(τα) _b	[-] η τιμή του (τα) για την άμεση ακτινοβολία
(τα) _n	[-] η τιμή του (τα) για κάθετη πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας
(τα) _s	[-] η τιμή του (τα) για την προερχόμενη από τον ουρανό διάχυτη ακτινοβολία
(τα) _g	[-] η τιμή του (τα) για την προερχόμενη από το έδαφος διάχυτη ακτινοβολία

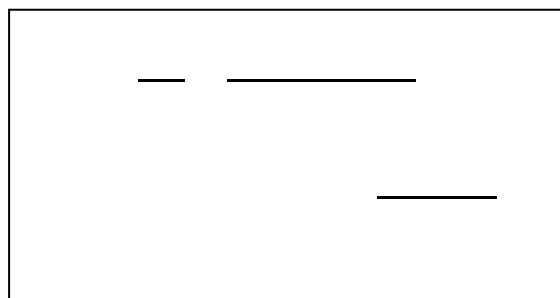
Πίνακας 5.18- Στοιχεία του Μοντέλου

Παράμετροι του μοντέλου

1	 Number in series	1	-	More...
2	 Collector area	4	m ²	More...
3	 Fluid specific heat	3.7	kJ/kg.K	More...
4	 Efficiency mode	1	-	More...
5	 Flow rate at test conditions	8.0	kg/hr.m ²	More...
6	 Intercept efficiency	0.7	-	More...
7	 Negative of first order efficiency coefficient	10	kJ/hr.m ² .K	More...
8	 Negative of second order efficiency coefficient	0.03	kJ/hr.m ² .K ²	More...

Πίνακας 5.19-Παράμετροι του Μοντέλου του Ηλιακού Συλλέκτη με Σωλήνες Κενού

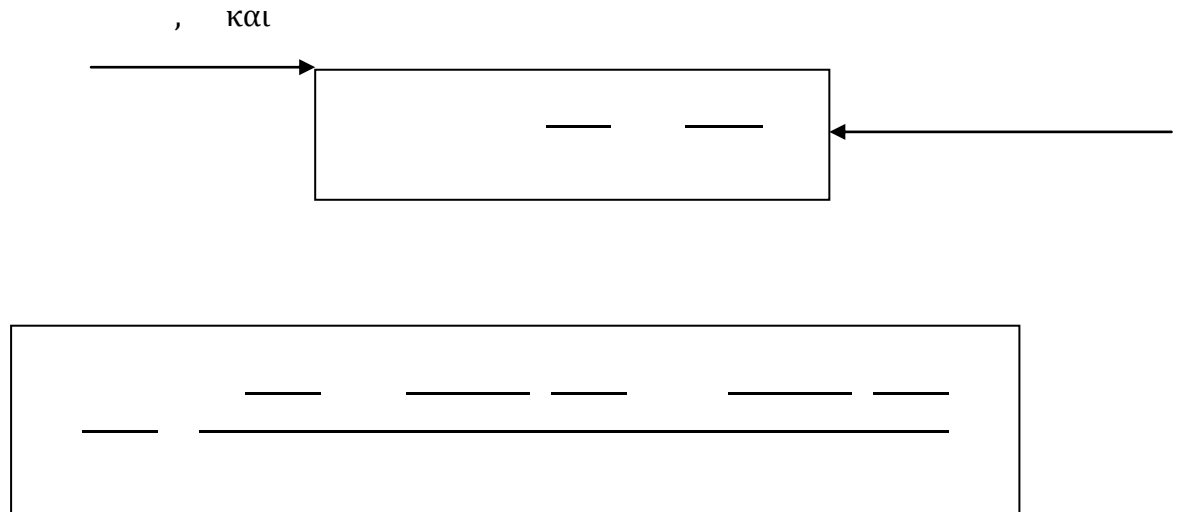
Αλγόριθμος Επίπεδου Ηλιακού Συλλέκτη

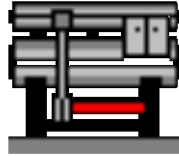


Θα πρέπει να επισημάνουμε ότι:

- , και είναι διαθέσιμες για συλλέκτες δοκιμασμένους σύμφωνα με τα πρότυπα της ASHRAE (ASHRAE, 2003; SRCC, 1995)

Αλγόριθμος



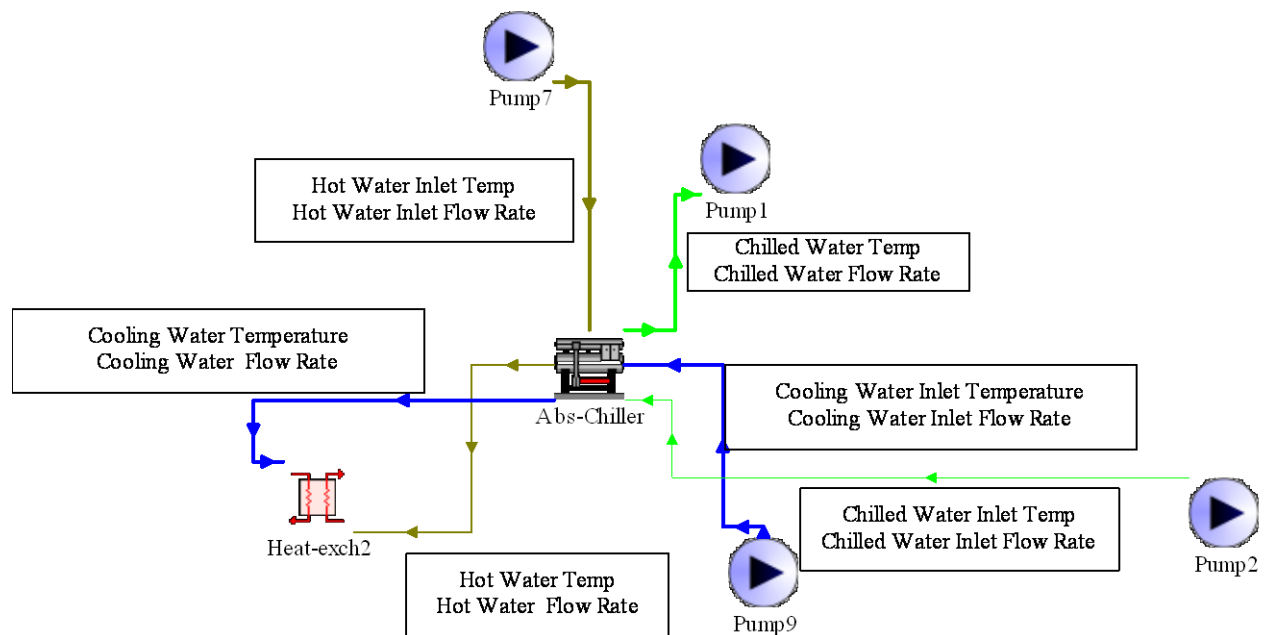


Ψύκτης Απορρόφησης

Περί της λειτουργίας του ψύκτη απορρόφησης αναφερθήκαμε ενδελεχώς παραπάνω. Αποτελεί ως προς τη προσομοίωση τη καρδιά του συστήματος. Όλα τα μοντέλα συνδέονται άμεσα η έμμεσα με αυτό.

Συσχέτιση με τα υποσυστήματα:

- ◆ Η λειτουργία του καθορίζεται από το υποσύστημα του σπιτιού
- ◆ Τα υποσυστήματα του Ηλιακού Συλλέκτη, του Πύργου Ψύξης και του Αποταμιευτήρα υποστηρίζουν τη λειτουργία του
- ◆ Το υποσύστημα των Cooling Coils φέρει το αποτέλεσμα της λειτουργίας του



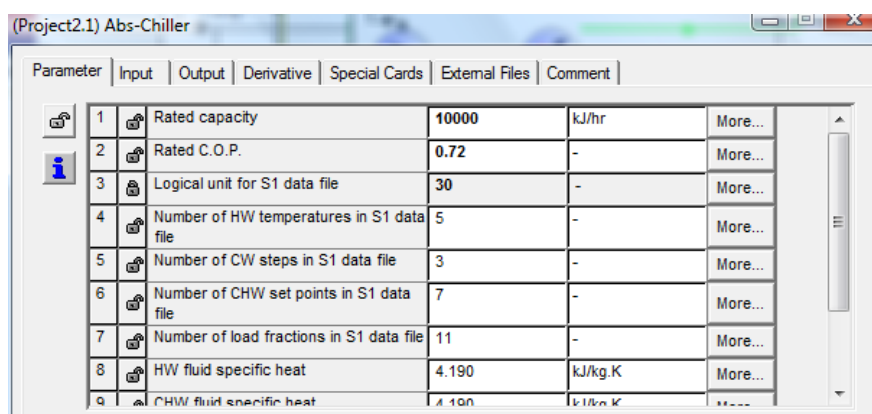
Σχ.5.37-Συνδέσεις του Ψύκτη Απορρόφησης

Στοιχεία Μοντέλου

Capacity	[kj/hr]ισχύς ψύκτη
f_(FullLoadCapacity)	[0...1]λόγος ισχύος λειτουργίας ως προς την ισχύ πλήρους φορτίου
f_(NominalCapacity)	[0...1]λόγος ισχύος λειτουργίας προς την ονομαστική ισχύ
Capacity_rated	[kj/hr]ισχύς σχεδίασης της μηχανής
(Q_remove)	[kj/hr]ενέργεια η οποία θα πρέπει να απαχθεί από το σύστημα μέσω του νερού ψύξης
T_(chw,set)	[0C]επιθυμητή θερμοκρασία εξόδου του προς ψύξη νερού από την μηχανή
f_DesignLoad	[0...1]λόγος ισχύος λειτουργίας προς την ισχύ σχεδίασης
f_DesignEnergyInput	[0...1] λόγος της απαιτούμενης ισχύος εισόδου ως προς την αντίστοιχη ισχύ σχεδίασης
T_(hw,out)	[0C] θερμοκρασία του ρεύματος ζεστού νερού στην έξοδο του από τον αναγεννητή
T_(hw,in)	[0C]θερμοκρασία εισόδου του ρεύματος ζεστού νερού στον αναγεννητή
(Q_hw)	[kj/hr] ενέργεια η οποία απάγεται από το ρεύμα ζεστού νερού κατά την διέλευσή του από τον αναγεννητή
(m_hw)	[kg/hr]παροχή μάζας του ρεύματος ζεστού νερού
Cp_hw	[kj/kgK]ειδική θερμότητα υπό σταθερή πίεση του ρεύματος ζεστού νερού
T_(chw,out)	[0C]θερμοκρασία εξόδου του 'προς ψύξη' νερού από την μηχανή
T_(chw,in)	[0C]θερμοκρασία εισόδου του 'προς ψύξη' νερού στην μηχανή
(Q_chw)	[kj/hr]ισχύς την οποία λαμβάνει το 'προς ψύξη' νερό από τον ψύκτη
(m_chw)	[kg/hr]παροχή μάζας του 'προς ψύξη' νερού
Cp_chw	[kj/kgK]ειδική θερμότητα υπό σταθερή πίεση του 'προς ψύξη' νερού
T_(cw,out)	[0C] θερμοκρασία του νερού ψύξης κατά την έξοδό του από την μηχανή
T_(cw,in)	[0C]θερμοκρασία του νερού ψύξης κατά την εισοδό του στη μηχανή
(Q_cw)	[kj/hr]ενέργεια η οποία παραλαμβάνεται από το νερό ψύξης κατά την διέλευσή του από την μηχανή
(m_cw)	[kg/hr]παροχή μάζας του νερού ψύξης
Cp_cw	[kj/kgK]ειδική θερμότητα υπό σταθερή πίεση του νερού ψύξης
(Q_aux)	[kj/hr]ενέργεια η οποία απαιτείται για αντλίες, ελεγκτές κλπ
COP_	[-] συντελεστής συμπεριφοράς

Πίνακας 5.20- Στοιχεία του Μοντέλου

Παράμετροι που επιλέχθηκαν:



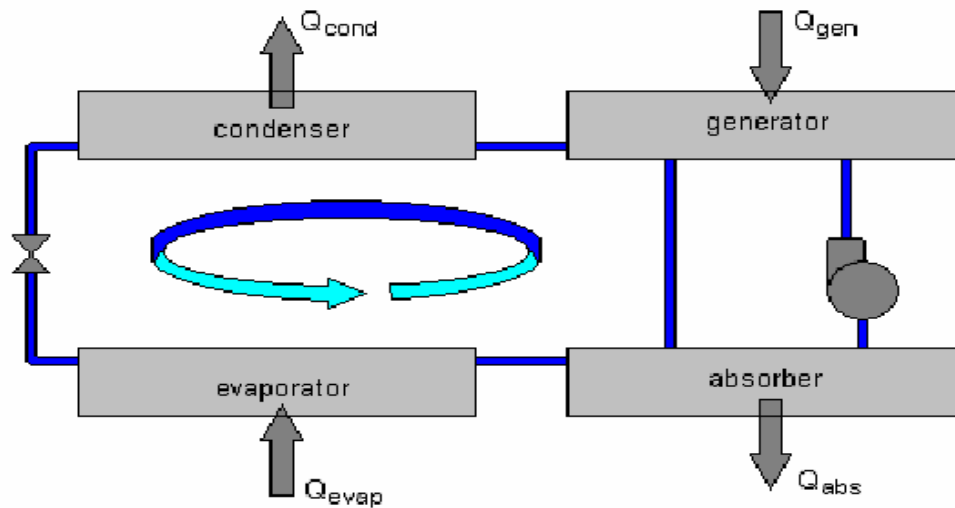
Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
1	Rated capacity	10000				kj/hr
2	Rated C.O.P.	0.72				-
3	Logical unit for S1 data file	30				-
4	Number of HW temperatures in S1 data file	5				-
5	Number of CW steps in S1 data file	3				-
6	Number of CHW set points in S1 data file	7				-
7	Number of load fractions in S1 data file	11				-
8	HW fluid specific heat	4.190				kj/kg.K
9	CHW fluid specific heat	4.190				kj/kg.K

Πίνακας 5.21-Παράθυρο Παραμέτρων του Ψύκτη Απορρόφησης

Είσοδοι στο σύνολό τους:

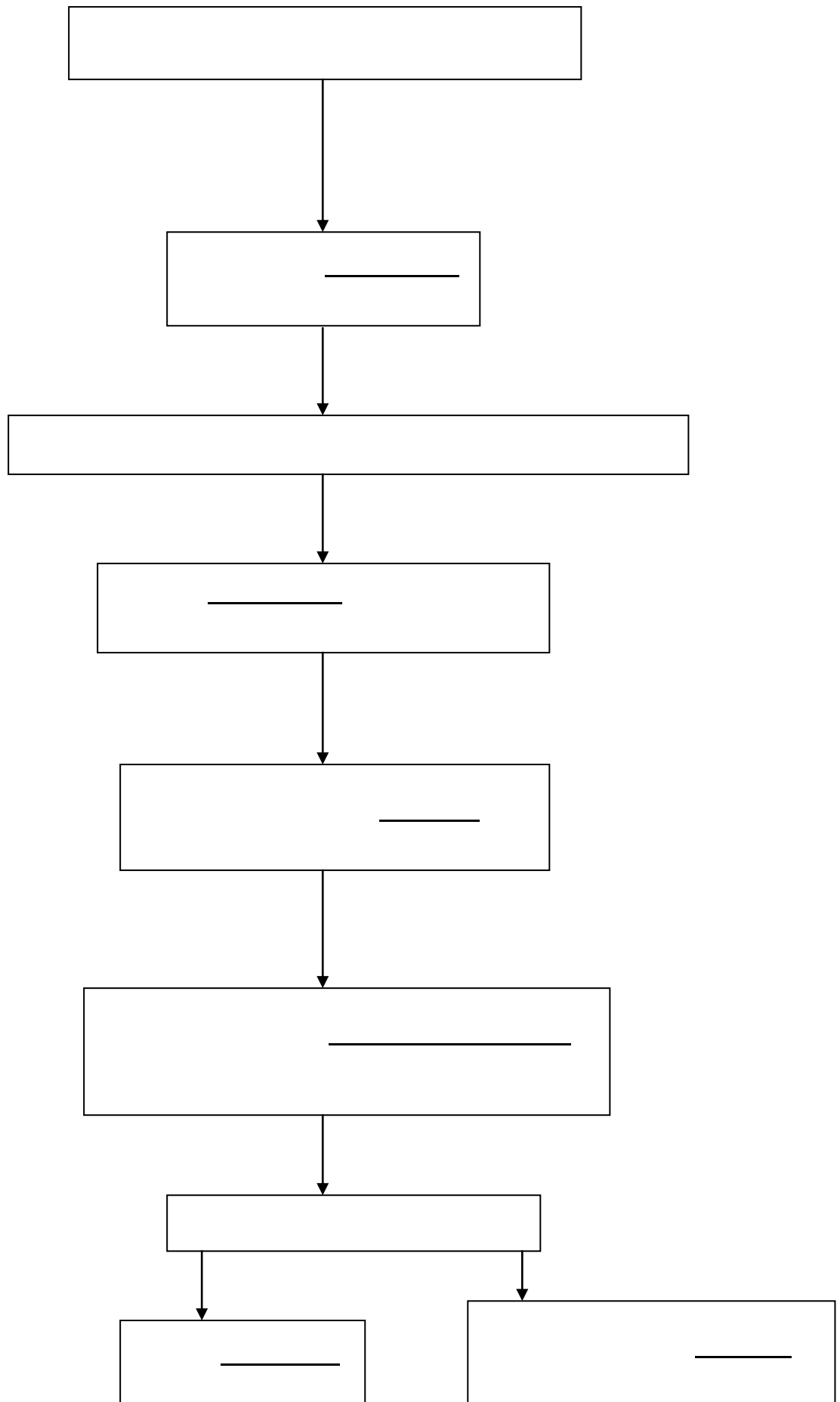
Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
1	Chilled water inlet temperature	12.22	C			More...
2	Chilled water flow rate	23200.0	kg/hr			More...
3	Cooling water inlet temperature	40	C			More...
4	Cooling water flow rate	400.0	kg/hr			More...
5	Hot water inlet temperature	95.0	C			More...
6	Hot water flow rate	180.0	kg/hr			More...
7	CHW set point	7	C			More...
8	Chiller control signal	1.0	-			More...

Πίνακας 5.22-Παράθυρο Εισόδων του Ψύκτη Απορρόφησης



Σχ. 5.38-Αναπαράσταση της Λειτουργίας του Ψύκτη Απορρόφησης

Αλγόριθμος





Αποταμιευτήρας Νερού

Ο αποταμιευτήρας χρησιμοποιείται αφενός μεν να έχει μια ποσότητα νερού έτοιμη προς κατανάλωση ανά πάσα στιγμή σε θερμοκρασία που να γίνεται επιτυχημένα η τροφοδοσία του θερμού ρεύματος στο ψύκτη απορρόφησης αφετέρου να εκμεταλλευόμαστε σε βαθμό μεγαλύτερο τη θερμότητα που προσφέρει ο ηλιακός συλλέκτης. Το ρυθμίζουμε ώστε να διατηρεί το νερό στους 85°C όταν ο ψύκτης βρίσκεται εκτός λειτουργίας και στους 95°C με την έναρξη της λειτουργίας του. Ο αποταμιευτήρας που θα χρησιμοποιήσουμε θα έχει 15 τμήματα όπου θα συμπεριφέρεται σαν να έχουμε πλήρη ανάμειξη σε κάθε ένα.

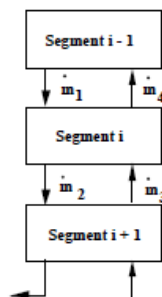


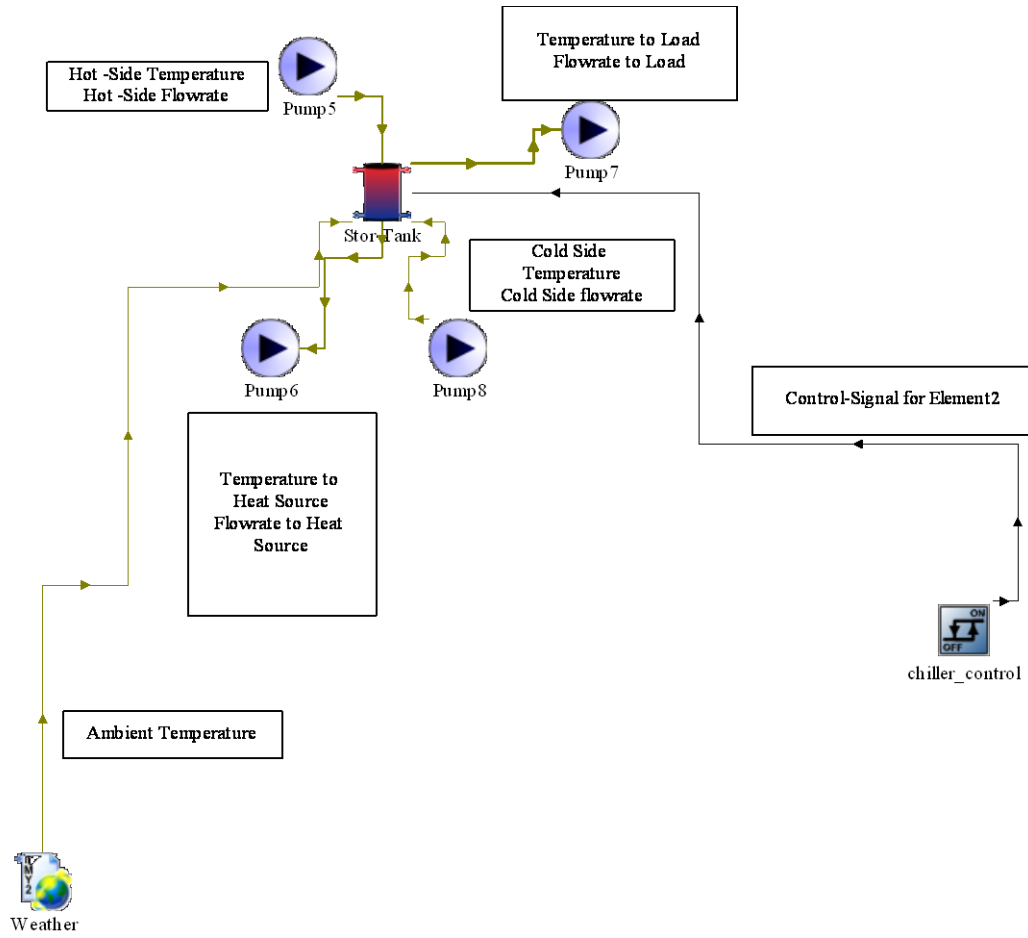
Figure 5.12.1-2: Flowstreams between Segments

Σχ.5.41-Τμήματα Επίλυσης Αποταμιευτήρα

Παράμετροι του μοντέλου:

1		Fixed inlet positions	1	-	More...
2		Tank volume	0.7	m ³	More...
3		Fluid specific heat	4.190	kJ/kg.K	More...
4		Fluid density	1000.0	kg/m ³	More...
5		Tank loss coefficient	3.0	kJ/hr.m ² .K	More...
6		Height of node	0.05	m	More...
7		Auxiliary heater mode	1	-	More...
8		Node containing heating element 1	1	-	More...
9		Node containing thermostat 1	1	-	More...
10		Set point temperature for element 1	85.0	C	More...
11		Deadband for heating element 1	5.0	deltaC	More...
12		Maximum heating rate of element 1	16200.0	kJ/hr	More...
13		Node containing heating element 2	1	-	More...
14		Node containing thermostat 2	1	-	More...
15		Set point temperature for element 2	95.0	C	More...
16		Deadband for heating element 2	5.0	deltaC	More...
17		Maximum heating rate of element 2	480000	kJ/hr	More...
18		Not used (Flue UA)	0.0	W/K	More...

Πίνακας 5.23- Στοιχεία του Μοντέλου



Σχ.5.41-Συνδέσεις του Storage-Tank

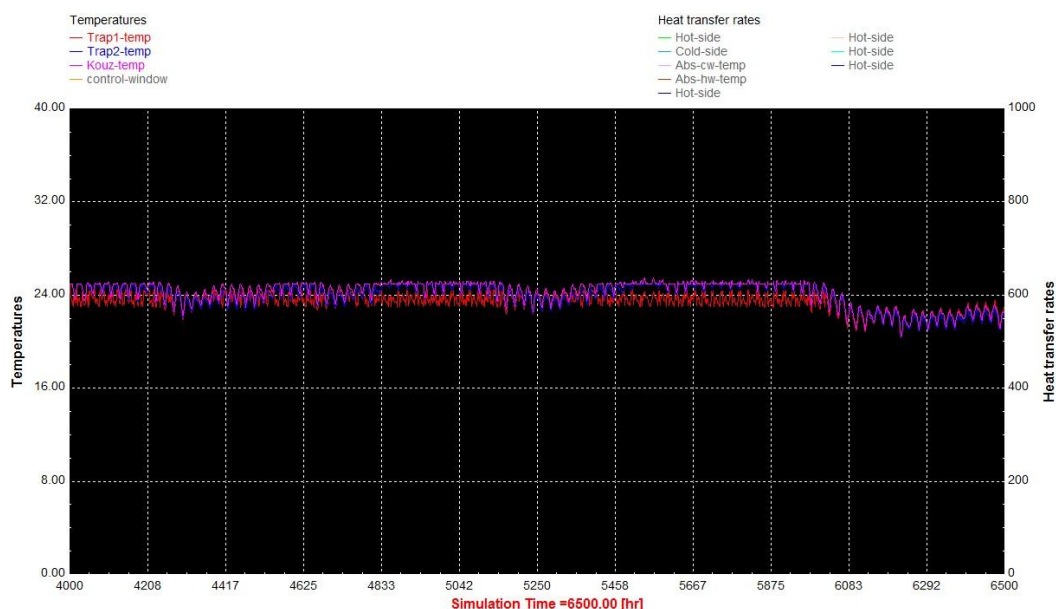
6 Αποτελέσματα

Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναλύσαμε τον τρόπο λειτουργίας της προσομοίωσης μας τόσο στο σύνολο του όσο και μεμονωμένα το κάθε μοντέλο στο επίπεδο το αλγοριθμικό αλλά και στο επίπεδο σύνδεσης με τα υπόλοιπα στο πλαίσιο της προσομοίωσης. Σε αυτό αρχικά θα αναφέρουμε τις αμετάβλητες παραμέτρους και εισόδους του κάθε μοντέλου κατόπιν θα αναφέρουμε τη μεταβολή της καθεμίας.

Εδώ θα παρουσιαστούν όλα τα αποτελέσματα της κάθε συσκευής που χρησιμοποιήσαμε στη προσομοίωση μας.

Θερμοκρασία Ζωνών

Με βάσει τα επίπεδα θερμοκρασίας προκειμένου να επιτευχθεί η θερμική άνεση χρησιμοποιήσαμε τον τρόπο ψύξης παρουσιάστηκε παραπάνω έχοντας τα εξής αποτελέσματα.



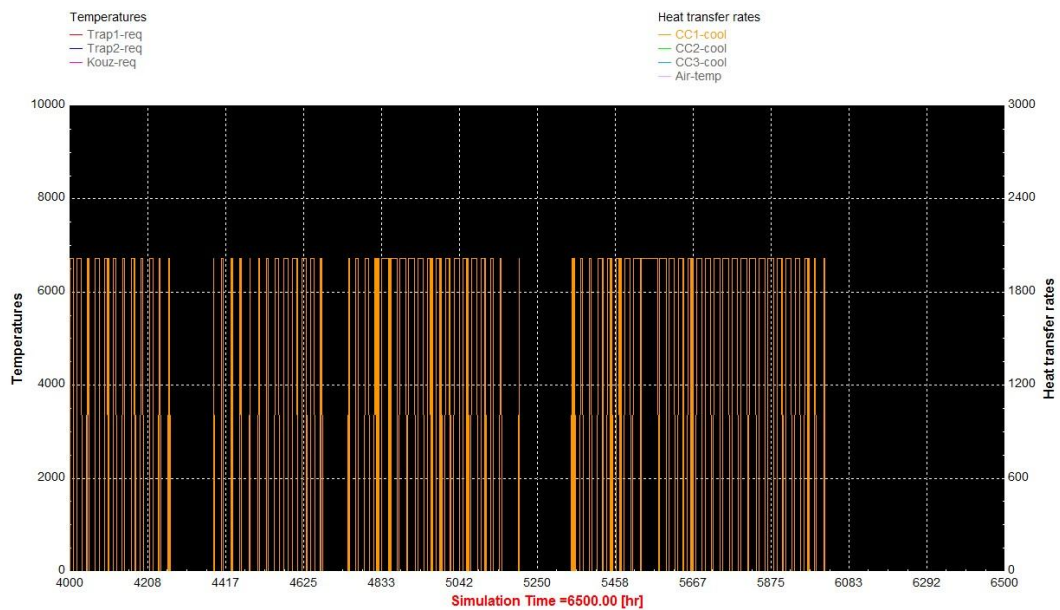
Διάγραμμα TRNSYS 6.1- Θερμοκρασιών του Κάθε Χώρου

Τα αποτελέσματα που βλέπουμε στο διάγραμμα είναι και τα επιθυμητά. Η θερμοκρασία μόνο κατά πολύ μικρά και ελάχιστα χρονικά διαστήματα υπερβαίνει τη τιμή των 25°C. Ενώ πάντοτε είναι άνω των 20 °C ακόμα και τις νυχτερινές ώρες.

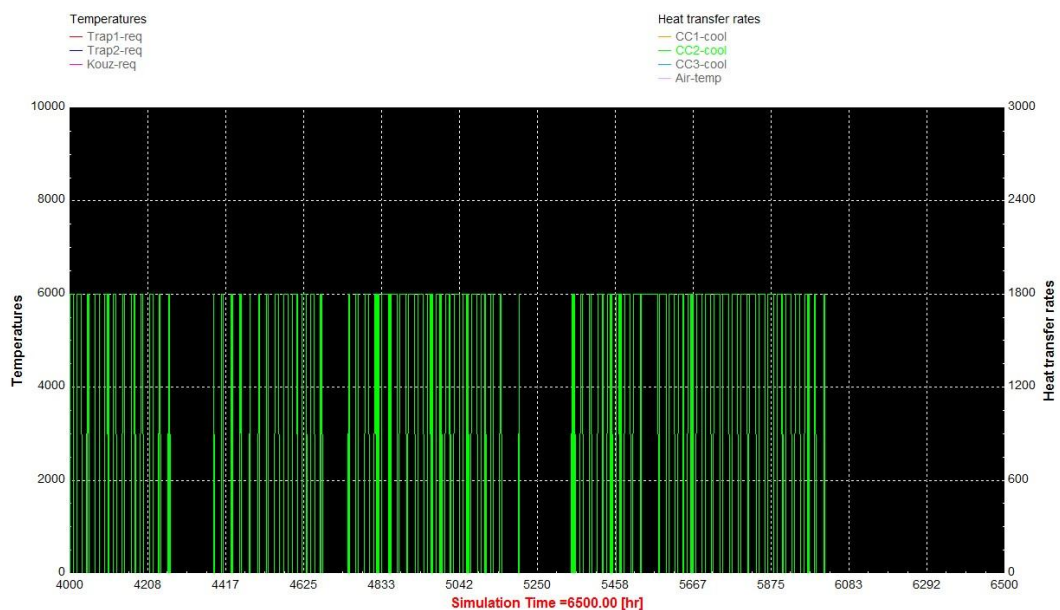
Βλέπουμε ότι η ζώνη Kouz έχει την υψηλότερη κάτι που για αυτό ευθύνονται οι συσκευές που βρίσκονται στο χώρο. Ενώ η μικρότερες εμφανίζονται στη Trap1 το οποίο εξηγείται από την αυξημένη ροή του ψυκτικού μέσου στα Cooling Coils αυτού.

Ψύξη των Ζωνών

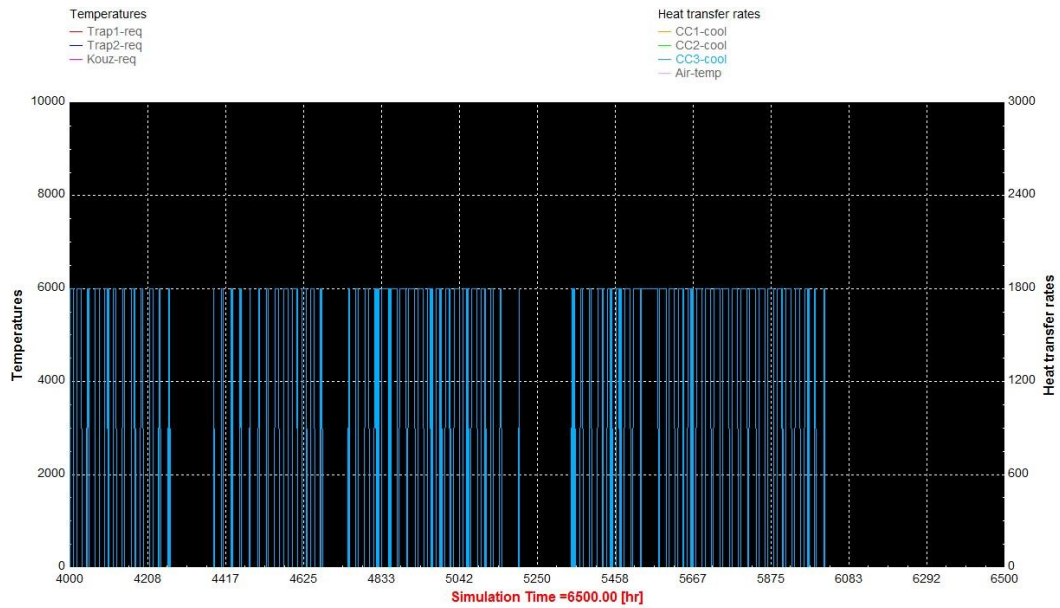
Για την ψύξη των ζωνών θα χρησιμοποιήσουμε τρία όμοια μεταξύ τους Cooling Coils αυτό που όμως θα διαφέρει θα είναι η παροχή ψυκτικού μέσου στο κάθε ένα. Η διαφορά στη ψυκτική ισχύ που παράγουν έγκειται στο γεγονός του ότι μετά το διαχωριστεί τα ρεύματα νερού που αποτελεί άλλωστε και το ψυκτικό μέσο δεν έχουν την ίδια παροχή αλλά λόγω των χαρακτηριστικών του χώρου έχει επιλεγεί να έχουμε μεγαλύτερη στη Trap1 καθότι έχει μεγαλύτερες ανάγκες σε ψύξη.



Διάγραμμα TRNSYS 6.2- Λειτουργίας του Cooling Coil της ζώνης Trap1



Διάγραμμα TRNSYS 6.3- Λειτουργίας του Cooling Coil της ζώνης Trap2



Διάγραμμα TRNSYS 6.4- Λειτουργίας του Cooling Coil της ζώνης Kouz

Τα αποτελέσματα είναι και τα αναμενόμενα αφενός μεν στο επίπεδο τάξεως της ψύξης αφετέρου στη διάρκεια στην οποία λειτουργεί η ψύξη του χώρου.

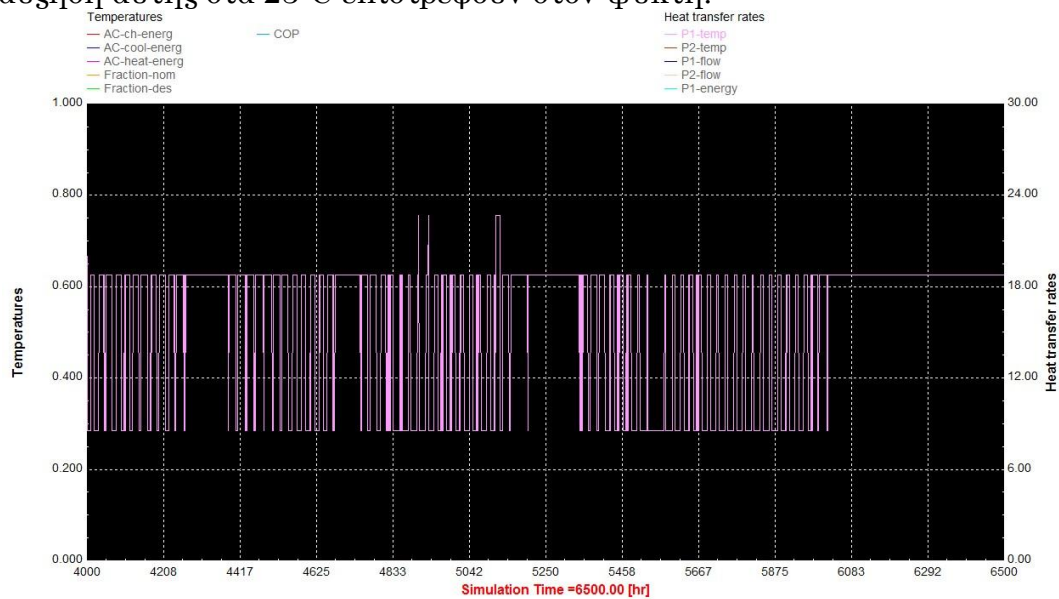
Αντλίες

Μέσω των αντλιών έχουμε μια πλήρη εποπτεία της λειτουργίας του συστήματος.

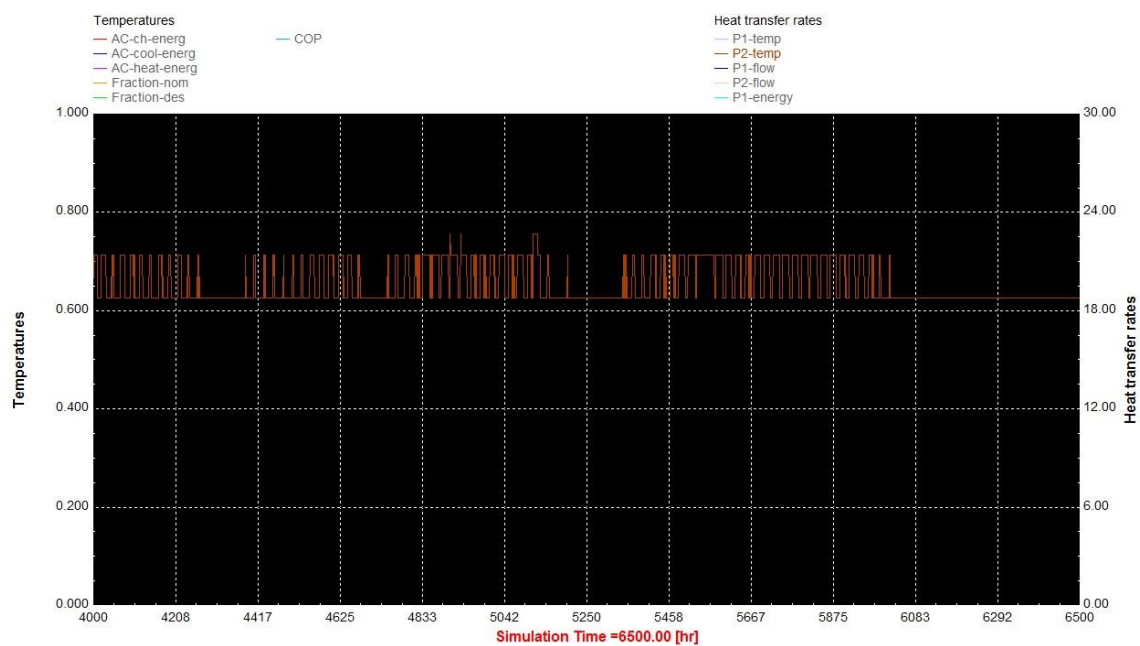
Αντλίες Pump1 και Pump2

Πρόκειται για εκείνες τις ευθείες οι οποίες μεταβιβάζουν το ψυκτικό μέσω στα Cooling Coils.

Η Pump1 παίρνει το νερό από την έξοδο του ψύκτη στη θερμοκρασία των 7°C που έχουμε θέσει σε εκείνον και μέσω των Cooling Coils αυτή αυξάνεται έπειτα από την μεταφορά ενέργειας με τον αέρα του δωματίου. Κατόπιν με αύξηση αυτής στα 23°C επιστρέφουν στον ψύκτη.



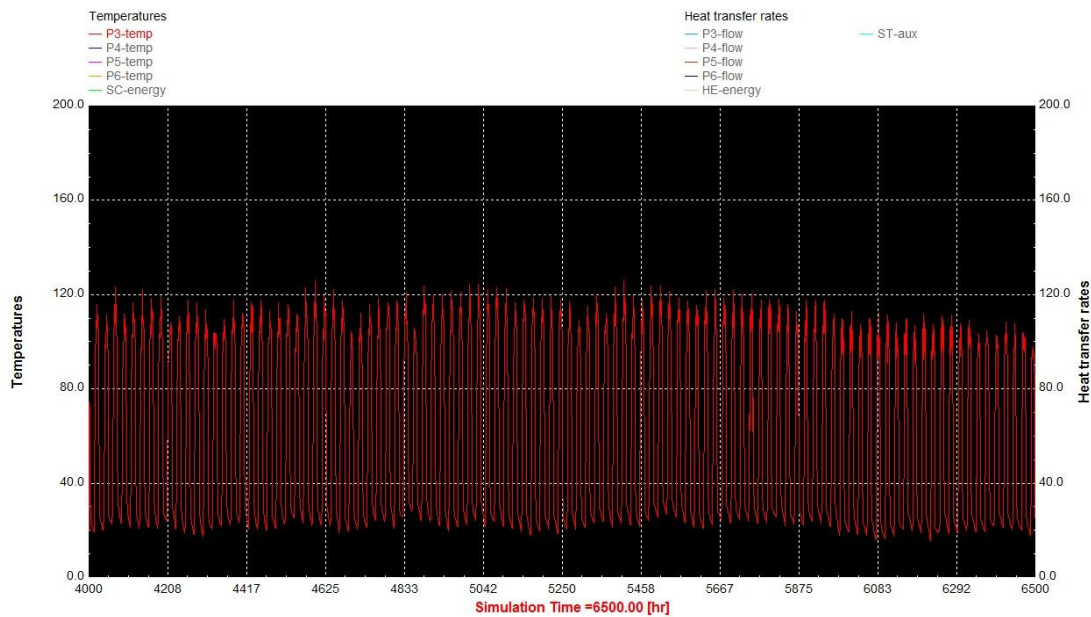
Διάγραμμα TRNSYS 6.5- Θερμοκρασία της Pump1



Διάγραμμα TRNSYS 6.6- Θερμοκρασία της Pump2

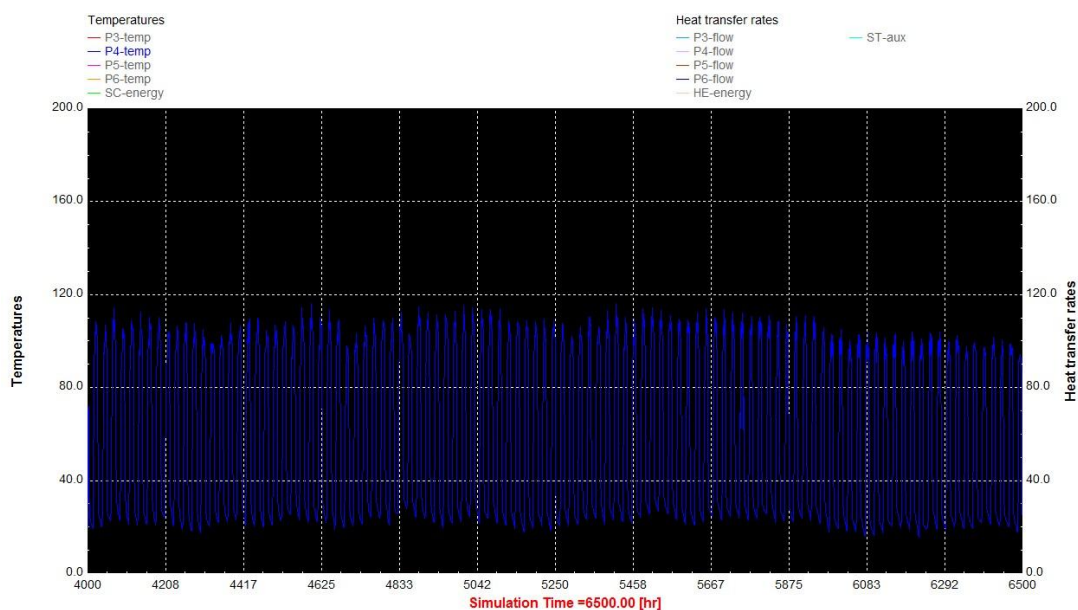
Αντλίες Pump3 και Pump4

Στην Pump3 έχουμε την παροχή που έρχεται έπειτα από τη θέρμανση του διαλύματος γλυκερίνης-νερού από τον ηλιακό συλλέκτη και κατευθύνεται στον εναλλάκτη θερμότητας προκειμένου να θερμανθεί το νερό του αποταμιευτήρα. Οι τιμές είναι λογικές τόσο κατά τη περίοδο της ημέρας που φτάνει μέχρι και τους 120°C καθώς και της νύχτας που παίρνει τιμές λίγο πάνω από 20 °C.



Διάγραμμα TRNSYS 6.7- Θερμοκρασία της Pump3

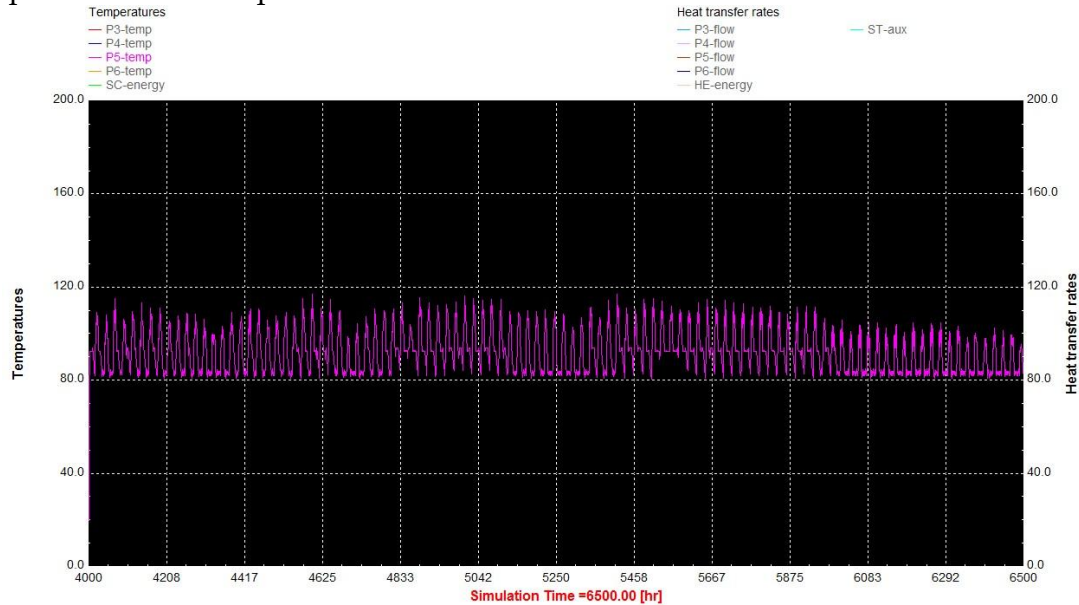
Λογικές είναι και οι τιμές της Pump4 καθώς βρίσκονται σε φάση με αυτές της Pump3 με μικρότερες τιμές λόγω της μεταφοράς θερμότητας που έγινε στον εναλλάκτη.



Διάγραμμα TRNSYS 6.8- Θερμοκρασία της Pump4

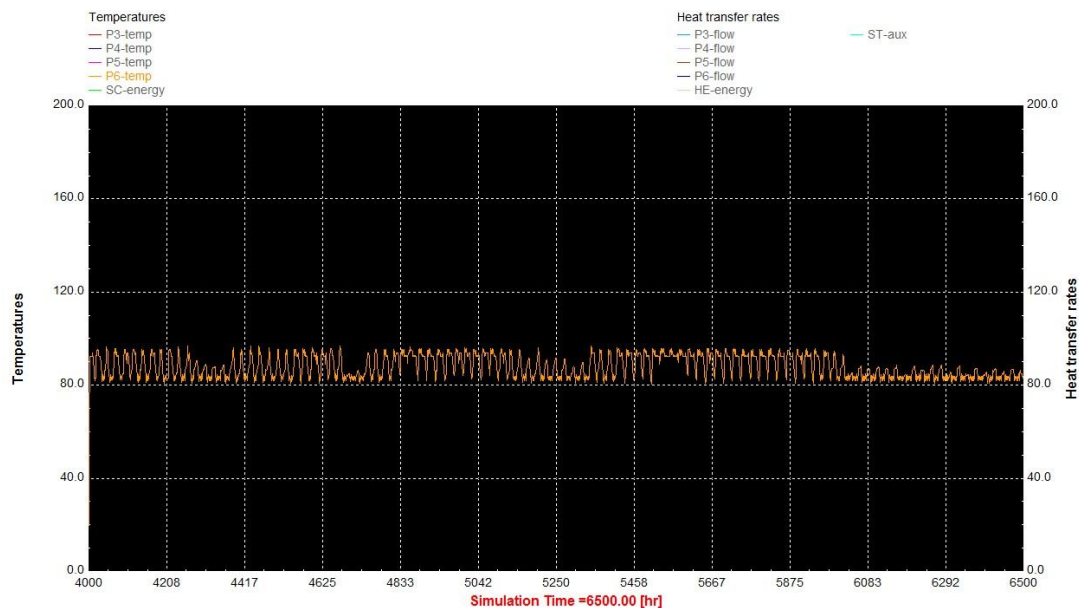
Αντλίες Pump5 και Pump6

Η αντλία Pump5 είναι υπεύθυνη για τη μεταφορά του θερμαινόμενου νερού μετά τον εναλλάκτη και την επαναφορά του στον αποταμιευτήρα. Βλέπουμε πως η αυξομείωση αυτών των θερμοκρασιών είναι σε φάση με εκείνων του ηλιακού συλλέκτη.



Διάγραμμα TRNSYS 6.9- Θερμοκρασία της Pump5

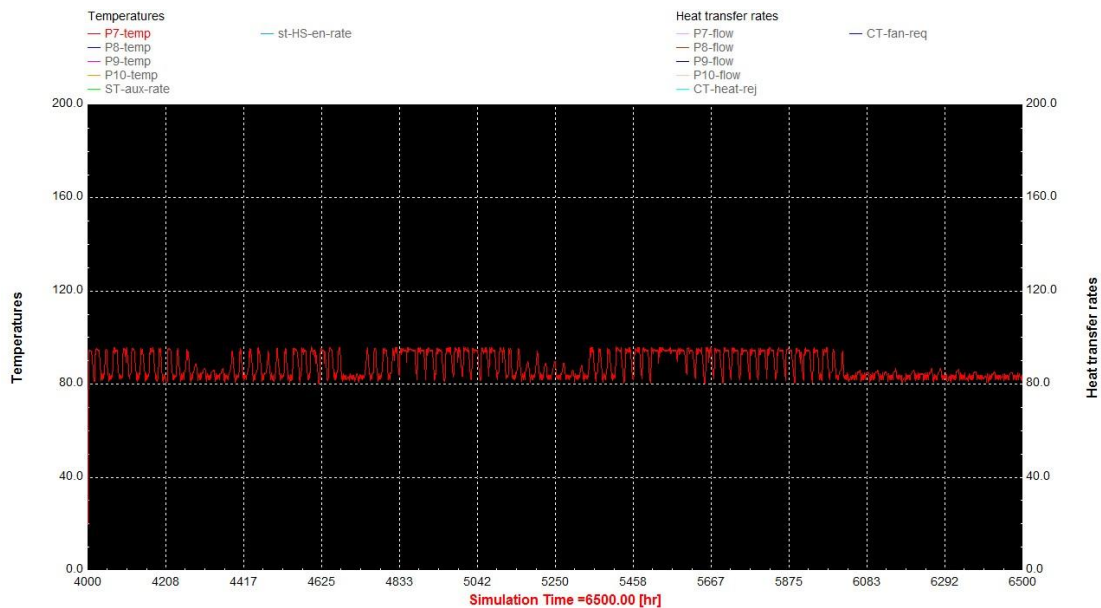
Η αντλία Pump6 μεταφέρει από τον αποταμιευτήρα στον εναλλάκτη το νερό σύμφωνα με το σήμα ελέγχου του διαφορικού ελεγκτή Controller1. Βλέπουμε από τα διαγράμματα την ενεργειακή προσφορά ουσιαστικά του ηλιακού συλλέκτη στο σύστημα ψύξης.



Διάγραμμα TRNSYS 6.10- Θερμοκρασία της Pump6

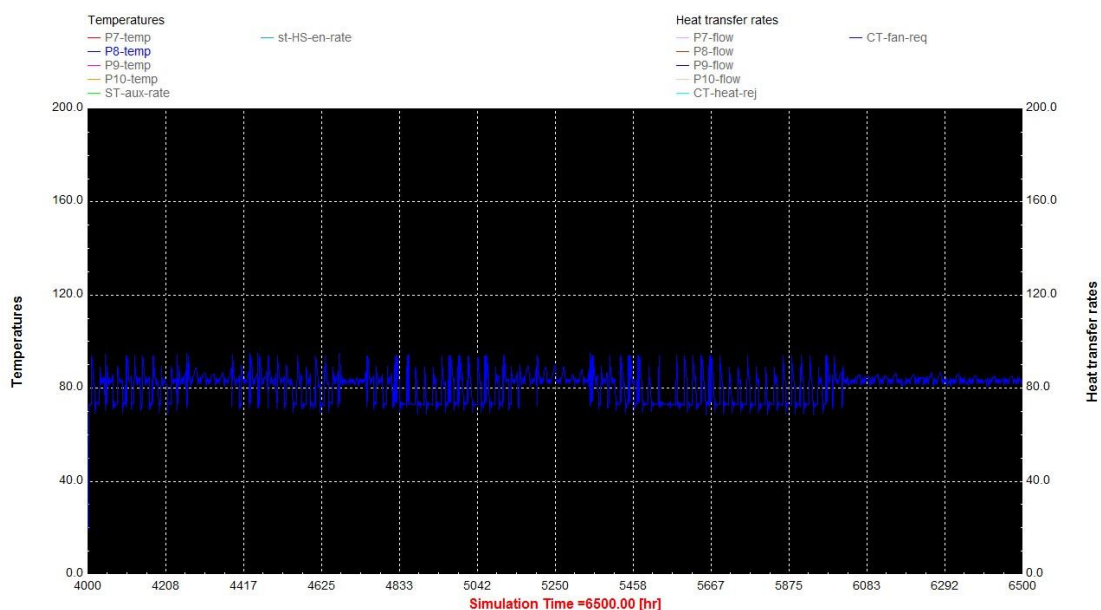
Αντλίες Pump7 και Pump8

Με την αντλία Pump7 γίνεται η ροή του θερμού ρεύματος νερού που θα προσκομίσει την απαραίτητη θερμότητα στον αναγεννητή για τον διαχωρισμό του διαλύματος. Η επιλογή είναι αυτής η θερμοκρασία να είναι περί τους 95 °C εδώ βλέπουμε πως αυτή εννίοτε υπερβαίνεται. Αυτό εξηγείται από το γεγονός του μικρού όγκου αποταμιευτήρα ο οποίος αναγκαστικά θα πληρωθεί από νερό σε θερμοκρασία μεγαλύτερη έπειτα από τη μεταφορά ενέργειας που έγινε στον εναλλάκτη.



Διάγραμμα TRNSYS 6.11- Θερμοκρασία της Pump7

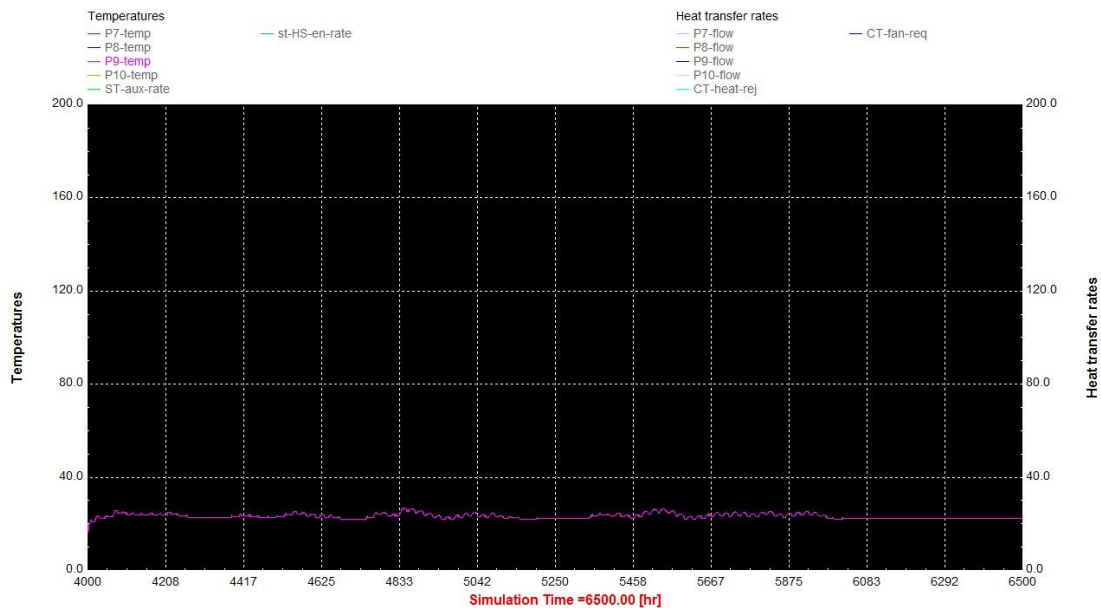
Η αντλία Pump8 είναι η έξοδος του παραπάνω ρεύματος από τον αναγεννητή. Οι θερμοκρασίες που φαίνονται παρακάτω είναι και οι αναμενόμενες.



Διάγραμμα TRNSYS 6.12- Θερμοκρασία της Pump8

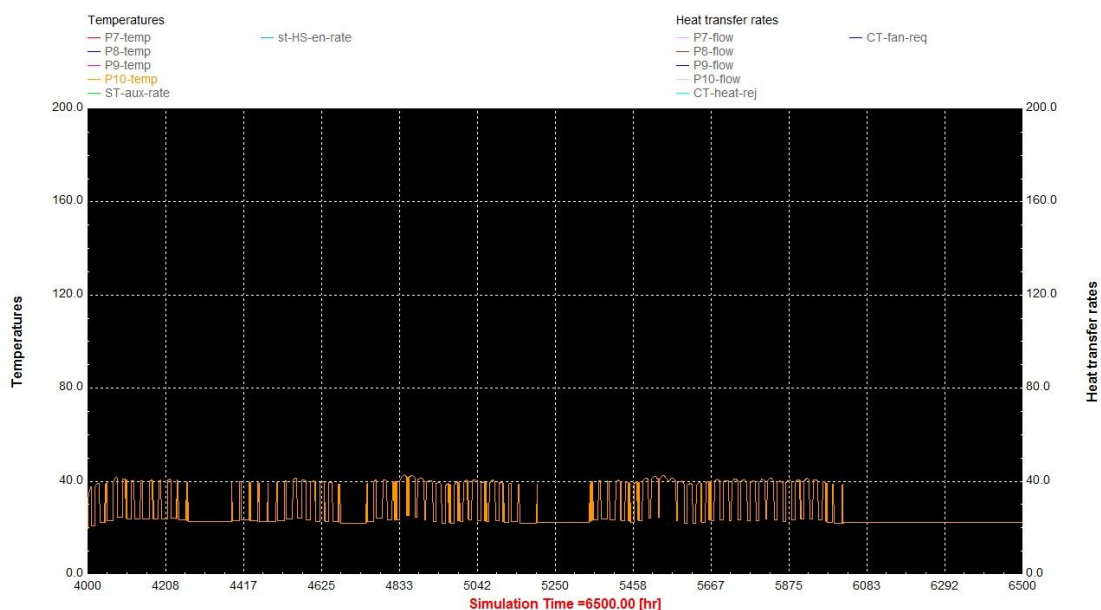
Αντλίες Pump9 και Pump10

Η αντλία Pump9 είναι υπεύθυνη για τη ροή του ψυχρού ρεύματος νερού στο συμπυκνωτή και απορροφητή. Η ψύξη που γίνεται μέσω του πύργου ψύξεως μέσω του ατμοσφαιρικού αέρα και με τη βοήθεια ενός ανεμιστήρα καταφέρνει αυτή να φτάνει λίγο πιο κάτω από τους 30°C όπως βλέπουμε και από το διάγραμμα. Οι τυχόν απώλειες μάζας αυτού του ρεύματος λόγω εξάτμισης συμπληρώνονται ώστε αυτή να διατηρείται σταθερή.



Διάγραμμα TRNSYS 6.13- Θερμοκρασία της Pump9

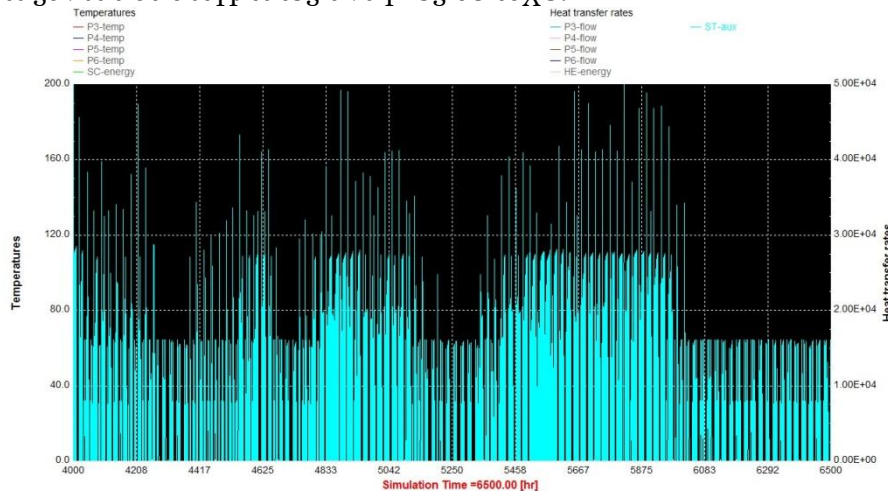
Η αντλία Pump10 επιστρέφει το ψυχρό ρεύμα νερού έπειτα από τη θέρμανσή του σε απορροφητή και συμπυκνωτή. Η αύξηση της αυτής θερμοκρασία ανέρχεται μέχρι λίγο επάνω από τη τιμή των 40°C.



Διάγραμμα TRNSYS 6.14- Θερμοκρασία της Pump10

Βοηθητική Θέρμανση στον Αποταμιευτήρα

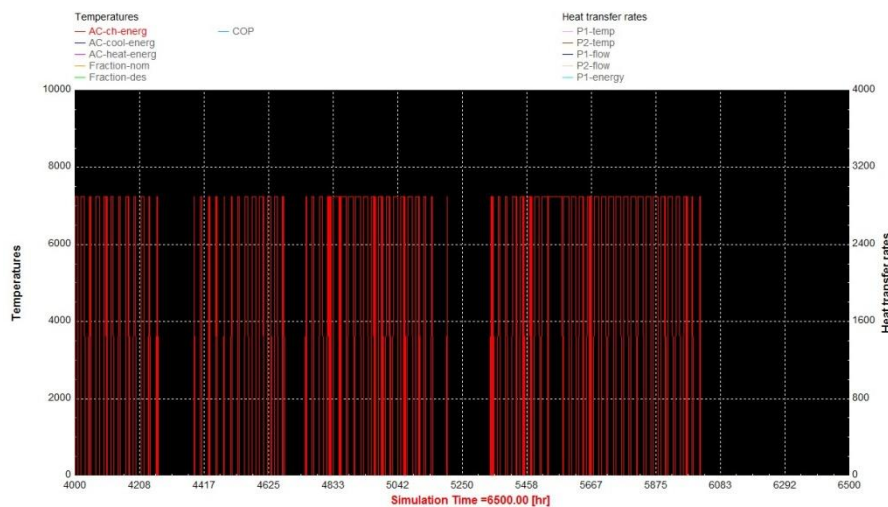
Προκειμένου το θερμό ρεύμα νερού να εισέρχεται στη θερμοκρασία των 95°C ώστε να επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός του διαλύματος σε νερό και πλούσιο μείγμα βρωμιούχου λιθίου γίνεται χρήση εντός του αποταμιευτήρα ειδικών αντιστάσεων που η θερμότητα που απελευθερώνουν απορροφάται από το νερό του αποταμιευτήρα. Προκειμένου όμως να έχουμε το νερό αυτό άμεσα εκμεταλλεύσιμο κατά τις ώρες της μη λειτουργίας του ψύκτη η θερμοκρασία εντός του διατηρείται σταθερή στους 65 °C. Παρακάτω παρουσιάζονται οι στιγμιαίες ανάγκες σε ισχύ.



Διάγραμμα TRNSYS 6.15- Ισχύς στον Αποταμιευτήρα για Θέρμανση του Νερού

Ισχύ Ψύξης

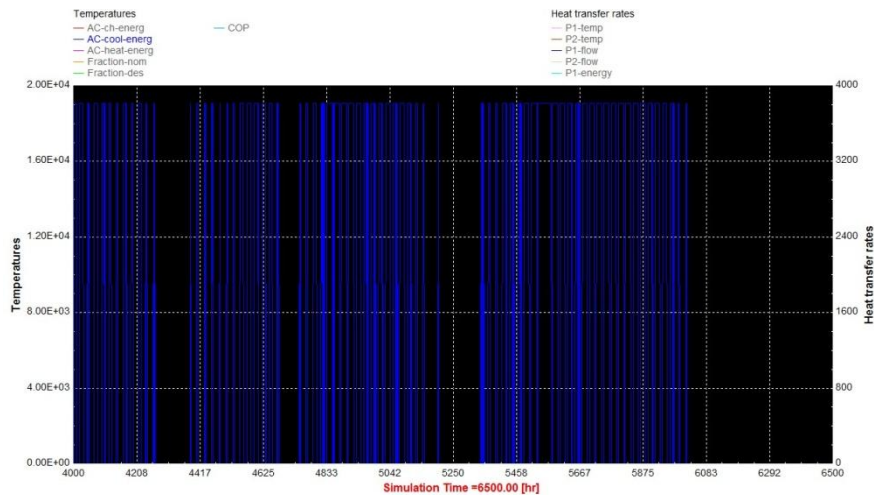
Ο ψύκτης απορρόφησης που χρησιμοποιούμε έχει ονομαστική ισχύ 10000KJ/hr εδώ βλέπουμε ότι εν τέλει θα μπορούσε με την ίδια άνεση να χρησιμοποιηθεί και ένας μικρότερος τάξεως 7500 KJ/hr όμως δε θα πρέπει να ξεχνάμε ότι η προσομοίωση έγινε για τη μέση ωριαία κλιματική κατάσταση και πως οι τιμές που μπορούν να συναντηθούν στη διάρκεια του καλοκαιριού να είναι κατά πολύ μεγαλύτερες. Σε μια τέτοια κατάσταση με αλλαγή στη ροή του ψυχόμενου νερού μέσω αλλαγής των στροφών της αντλίας ,σε μια μεταβλητής ταχύτητας αντλία, εύκολα δύναται να επιτευχθεί η απαραίτητη ψύξη του χώρου.



Διάγραμμα TRNSYS 6.16- Ισχύς του Ψύκτη Απορρόφησης

Απορροφούμενη Ισχύ του Ψυχρού Ρεύματος

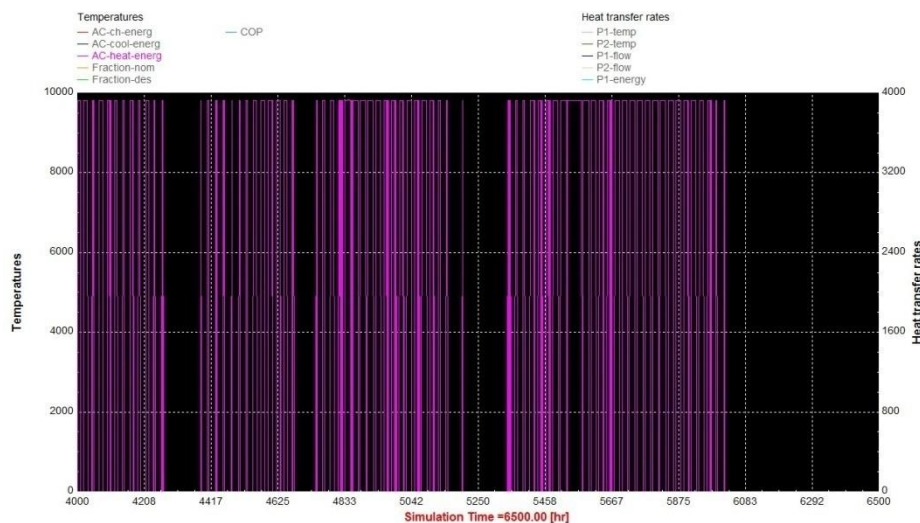
Η ισχύς που απορροφάται από το ψυχρό ρεύμα νερού ισούται αθροιστικά με εκείνο το οποίο αποβάλλεται στον ατμοποιητή κατά τη ψύξη του νερού και με εκείνο που προσδίδεται στον αναγεννητή για τον διαχωρισμό του διαλύματος. Όπως βλέπουμε τα παρακάτω αποτελέσματα έρχονται σε συμφωνία με αυτά τα οποία πηγάζουν τόσο από τη θεωρία όσο και από τον αλγόριθμο επίλυσης του υπολογιστικού προγράμματος.



Διάγραμμα TRNSYS 6.17- Ισχύς του Ψυχρού Ρεύματος

Προδιδόμενη Ισχύς του Θερμού Ρεύματος

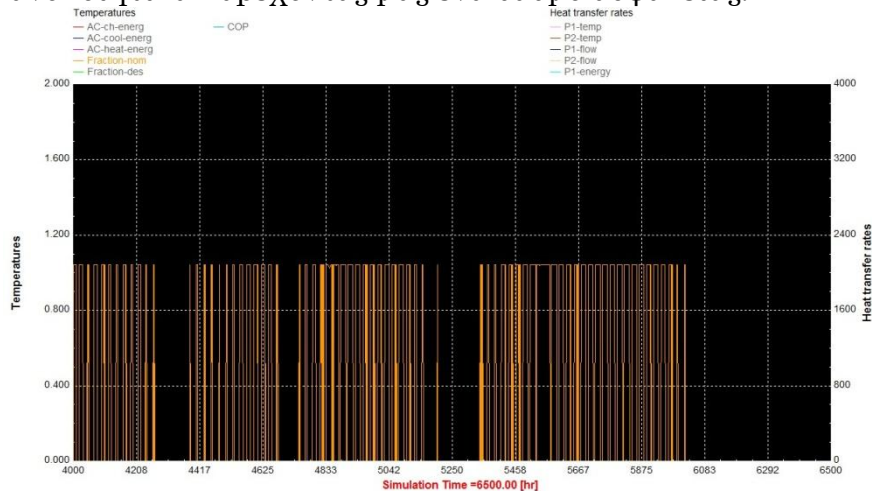
Πρόκειται για τη θερμότητα που είναι απαραίτητη για την ελευθέρωση του νερού από το διάλυμα του βρωμιούχου λιθίου. Πρόκειται ουσιαστικά για την κατανάλωση που απαιτείται για τη ψύξη της συγκεκριμένης ποσότητας νερού στη συγκεκριμένη θερμοκρασία. Ένα μέρος αυτής έχει ως πηγή την ηλιακή ενέργεια που μέσω της απορρόφησης της από το συλλέκτη προσδίδεται στον αποταμιευτήρα μέσω του εναλλάκτη θερμότητας και το υπόλοιπο μέσω ηλεκτρικής ενέργειας στις αντιστάσεις του αποταμιευτήρα.



Διάγραμμα TRNSYS 6.18- Ισχύς του Θερμού Ρεύματος

Κλάσμα ονομαστικής παραγωγικής ικανότητας

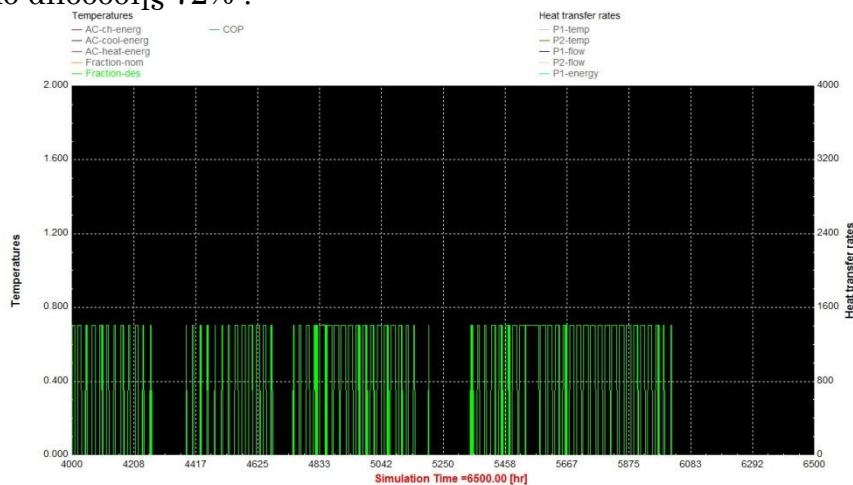
Το κλάσμα της ονομαστικής παραγωγικής ικανότητας στη διάθεση του ψύκτη στο κάθε βήμα της προσομοίωσης. Το κλάσμα της ονομαστικής δυναμικότητας απαιτεί για να γίνει παρεμβολή το αρχείο δεδομένων για τη συνιστώσα αυτή (S1.dat) ως συνάρτηση της εισόδου θερμοκρασίας του νερού ψύξης, το ψυχρό νερό που σημείο της θερμοκρασίας, η θερμοκρασία του τροφοδοσίας του νερού, καθώς και το κλάσμα του φορτίου σχεδιασμού. Από τα αποτελέσματα συμπεραίνουμε πως τα αποτελέσματα λίγο πάνω του 1 είναι ικανοποιητικά παρέχοντάς μας ένα βαθμό ασφάλειας.



Διάγραμμα TRNSYS 6.19- Κλάσματος Ονομαστικής Παραγωγικής Ικανότητας

Βαθμός απόδοσης του ψύκτη απορρόφησης

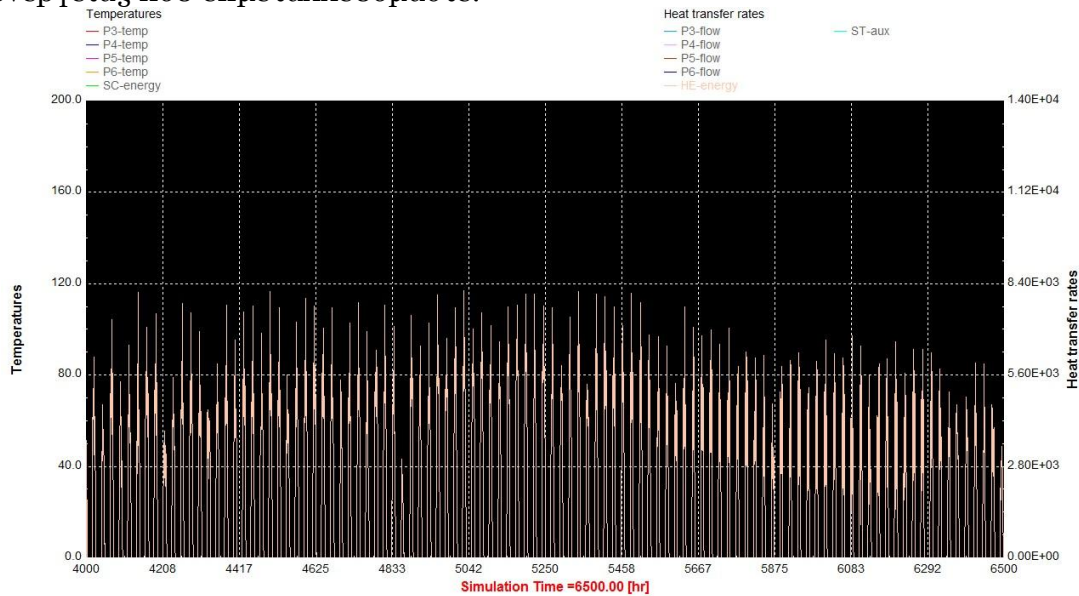
Το κλάσμα των εισροών ενέργειας σχεδιασμού που απαιτείται από τον ψύκτη στο κάθε βήμα της προσομοίωσης. Πρόκειται για το κλάσμα των εισροών ενέργειας σε σύγκριση με το σχεδιασμό συνθήκες είναι παρεμβολή από το απαιτούμενο αρχείο δεδομένων για τη συνιστώσα αυτή (S1.dat) ως συνάρτηση της εισόδου θερμοκρασίας του νερού ψύξης, το κλάσμα του φορτίου σχεδιασμού που πρέπει να πληρούνται από τον ψύκτη, η σύναψη θερμοκρασία ζεστού νερού, και το παγωμένο νερό που θερμοκρασίας σημείο. Το αποτέλεσμα είναι το αναμενόμενο με την επιλογή ψύκτη απορρόφησης με βαθμό απόδοσης 72% .



Διάγραμμα TRNSYS 6.20- Βαθμός Απόδοσης του Ψύκτη Απορρόφησης

Θερμότητα που μεταφέρεται μέσω του εναλλάκτη

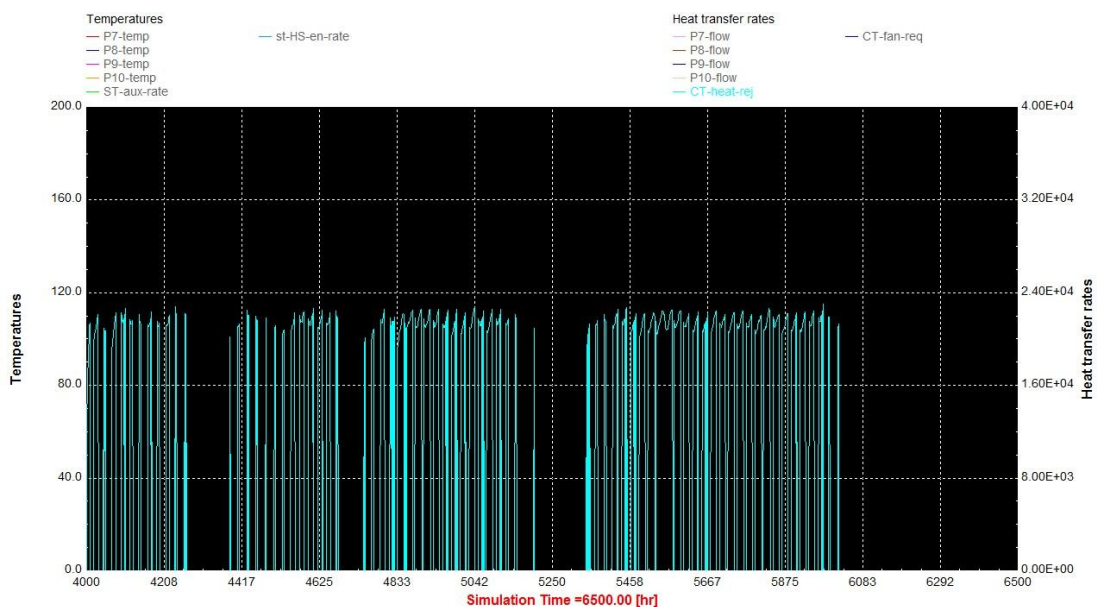
Το παρακάτω διάγραμμα έχει την ισχύ που μεταφέρεται μέσω του εναλλάκτη θερμότητας από το διάλυμα νερού-γλυκερίνης που κυκλοφορεί στον ηλιακό συλλέκτη και που κατά τη θέρμανσή του προσδίδει θερμότητα στο νερό του αποταμιευτήρα. Είναι δηλαδή η ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που εκμεταλλευόμαστε.



Διάγραμμα TRNSYS 6.21- Θερμότητα που Μεταφέρεται μέσω του Εναλλάκτη

Θερμότητα που απορρίπτεται από το ψυχρό ρεύμα νερού στο πύργο ψύξης

Στο πύργο ψύξης το ρεύμα του αέρα μέσω ενός ανεμιστήρα έρχεται σε αντιροή με το ψυχρό ρεύμα του συστήματος ψύξης. Η απορριφθείσα αυτή θερμότητα αυξάνει τη θερμοκρασία του αέρα και μειώνει αυτή του ψυχρού ρεύματος. Παράλληλα έχουμε και απώλεια του ρεύματος οι οποία αναπληρώνεται.



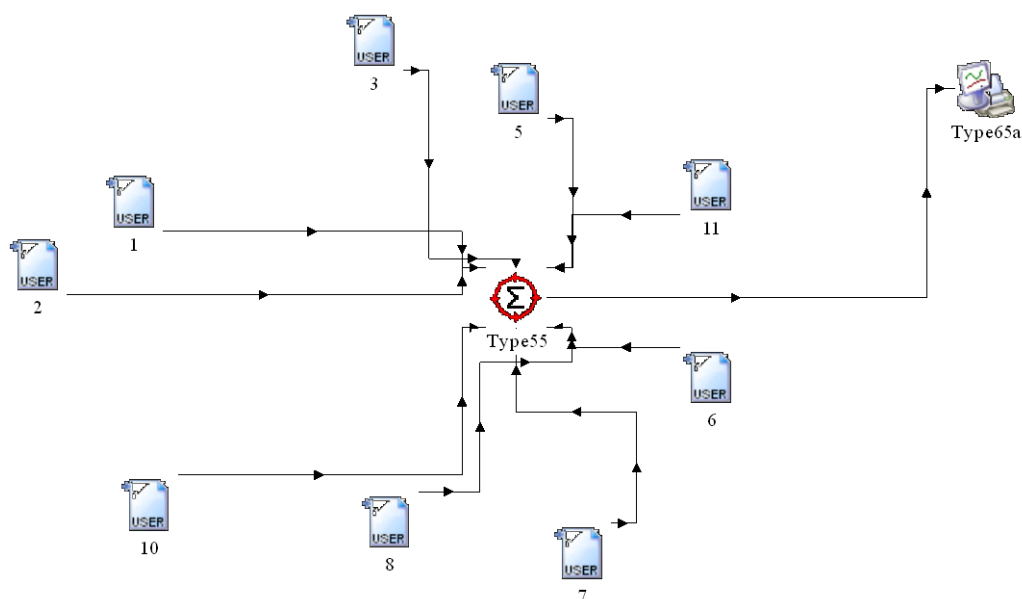
Διάγραμμα TRNSYS 6.22- Θερμότητα που Απορρίπτει ο Πύργος Ψύξης

7 Αποτελέσματα Συγκρίσεων

Η φιλοσοφία της σύγκρισης βρίσκεται στο εξής: Θα τεθεί σαν στόχος η ελάχιστη ενέργεια που χρειάζεται να προστεθεί στον αποταμιευτήρα προκειμένου να έχουμε τη προσδοκώμενη θερμοκρασία στην είσοδο του θερμού ρεύματος. Ο λόγος είναι πως εφόσον εκεί έγκειται η όποια απαίτηση για ενέργεια η ιδανική περίπτωση θα ήταν αυτή να είναι μηδενική. Τότε το σύστημα ψύξης θα απαιτούσε ένα αρχικό κόστος και στη συνέχεια θα ήταν ενεργειακά αυτόνομο. Βέβαια κάτι τέτοιο θα μπορούσε ενδεχομένως να επιτευχθεί με επιλογή ηλιακών συλλεκτών μεγάλης επιφάνειας που όμως θα ήταν εκτός από αισθητικά μη κομψό και οικονομικά επιζήμιο.

Η μέθοδος που θα ακολουθεί συνοψίζεται στα εξής βήματα:

1. Στη κύρια προσομοίωσή μας αλλάζουμε την υπό σύγκριση μεταβλητή
2. Μέσω του μοντέλου printer αποθηκεύουμε την κατανάλωση της πρόσθετης ενέργειας στον αποταμιευτήρα
3. Κατόπιν χρησιμοποιούμε αυτά τα αρχεία σε μια προσομοίωση ως η κάτωθι
4. Από τη γραφική παράσταση που προκύπτει και είναι το ολοκλήρωμα της ισχύος ήτοι η ενέργεια επιλέγουμε το μικρότερο εξ αυτών



Σχ7.1-Τυπική Προσομοίωση για Σύγκριση Αποτελεσμάτων

7.1 Ηλιακοί Συλλέκτες

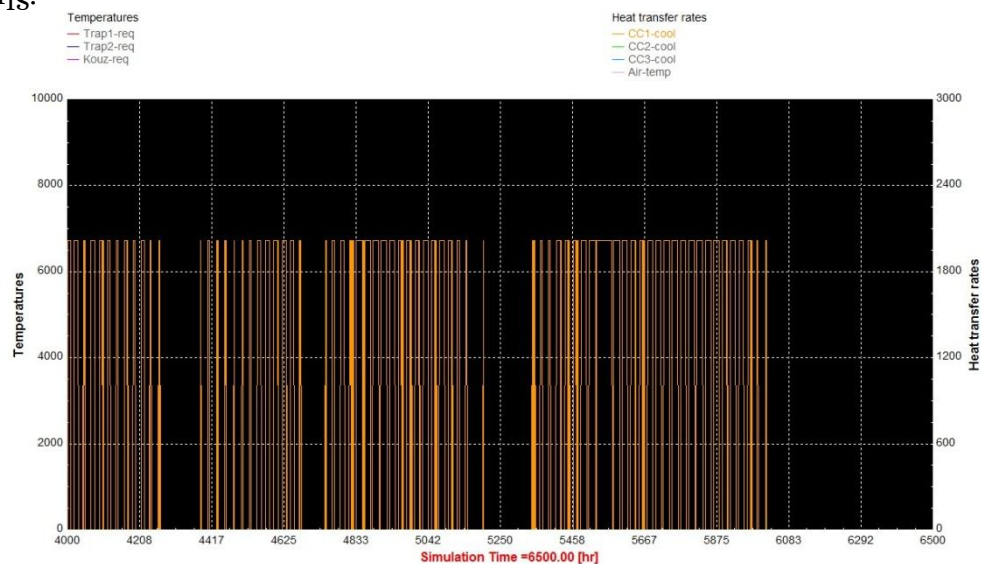
Στη προσομοίωση ηλιακών συλλεκτών έχουμε τις κάτωθι βασικές ρυθμίσεις:

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ	
ΑΠΟΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑΣ	0.7m ³ χωρητικότητα	95 °C θερμού νερού/65 για μη λειτουργία
ΕΛΕΓΚΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ	23 °C θερμοκρασία	1.5 ανώτερο νεκρό σημείο/0 κατώτερο
ΨΥΚΤΗΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ	10000KJ/h	7 °C /120 kg/h

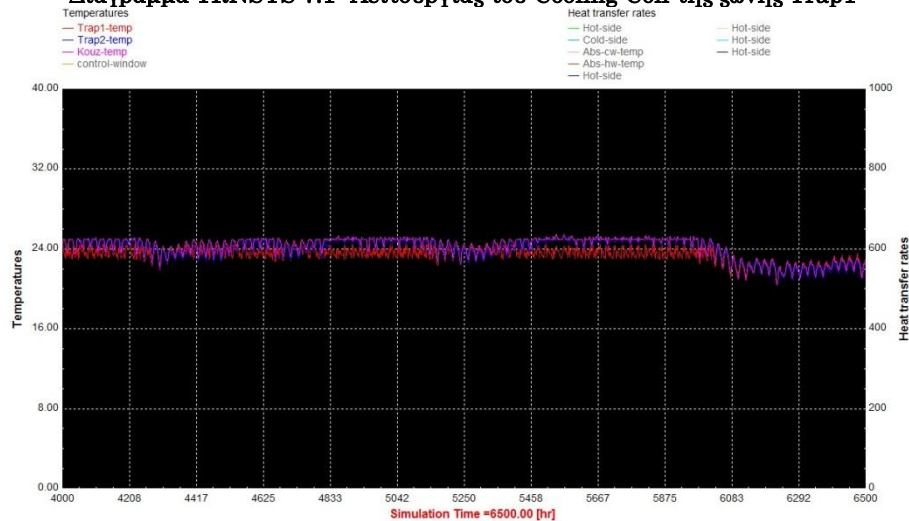
Πίνακας 7.1-Ρυθμίσεων της Προσομοίωσης

Η σύγκριση που θα ακολουθήσει αφορά την συμπληρωματική ισχύ που θα πρέπει να εισάγουμε στον αποταμιευτήρα ώστε το νερό να εισέρχεται στους 95°C στον ψύκτη απορρόφησης.

Στα παρακάτω διαγράμματα έχουμε τη λειτουργία της ψύξης , τυχαία επιλέγουμε αυτή του cooling coil της Trap1, και τη θερμοκρασία της κάθε ζώνης.



Διάγραμμα TRNSYS 7.1- Λειτουργίας του Cooling Coil της ζώνης Trap1

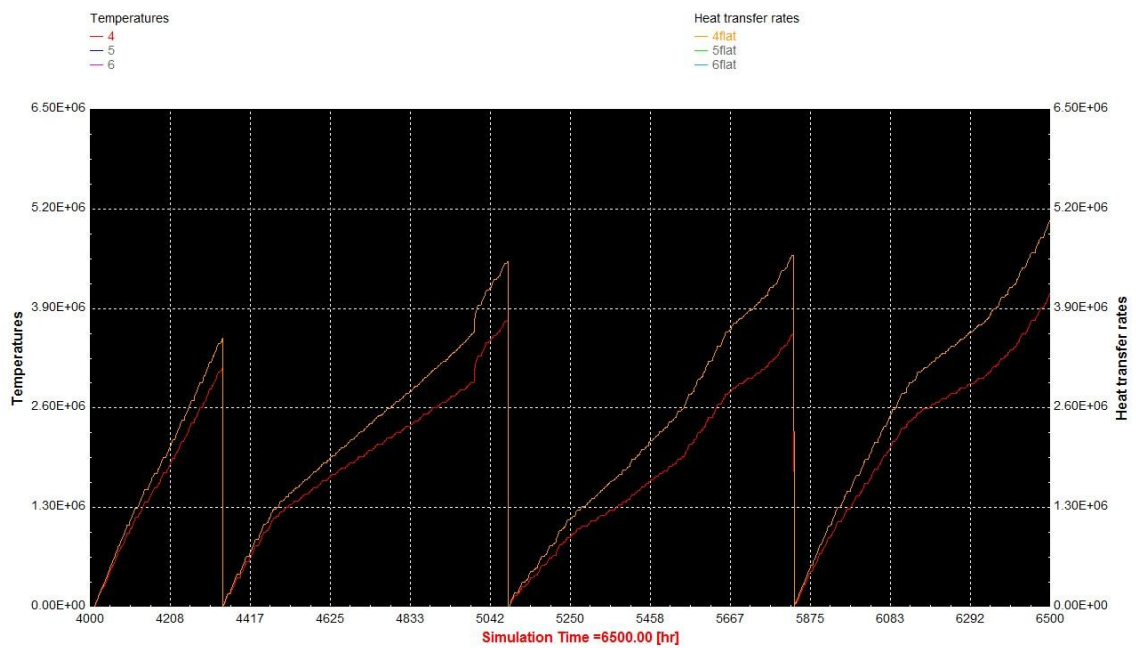


Διάγραμμα TRNSYS 7.2-Θερμοκρασία της Κάθε Ζώνης

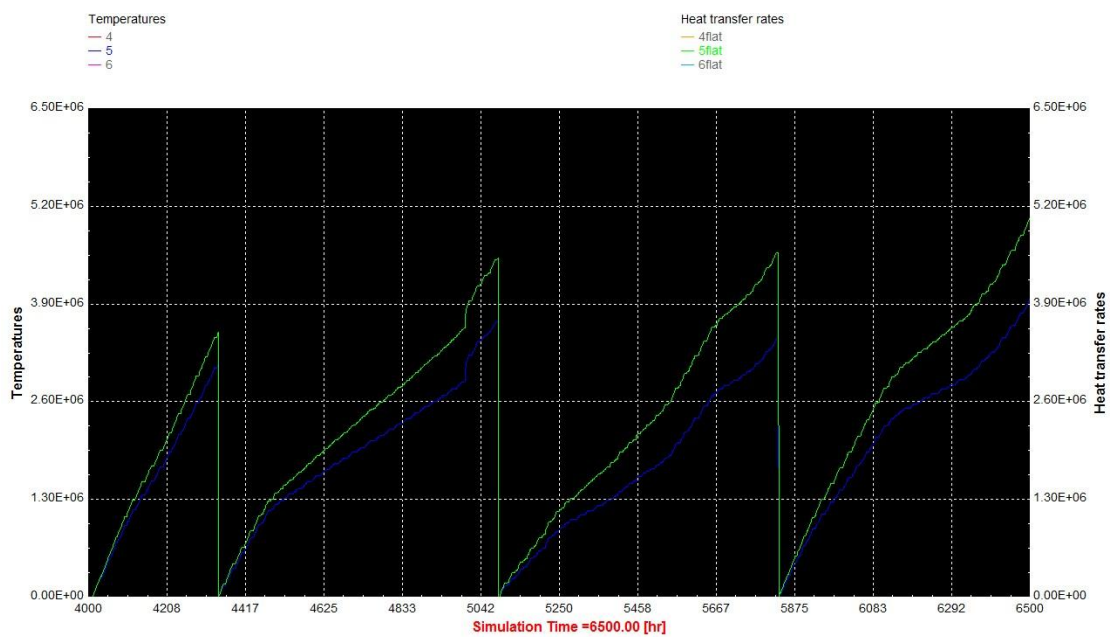
Διατηρούμε όλες τις παραμέτρους σταθερές αλλάζοντας την επιφάνεια του συλλέκτη και το τύπο του.

Συγκεκριμένα:

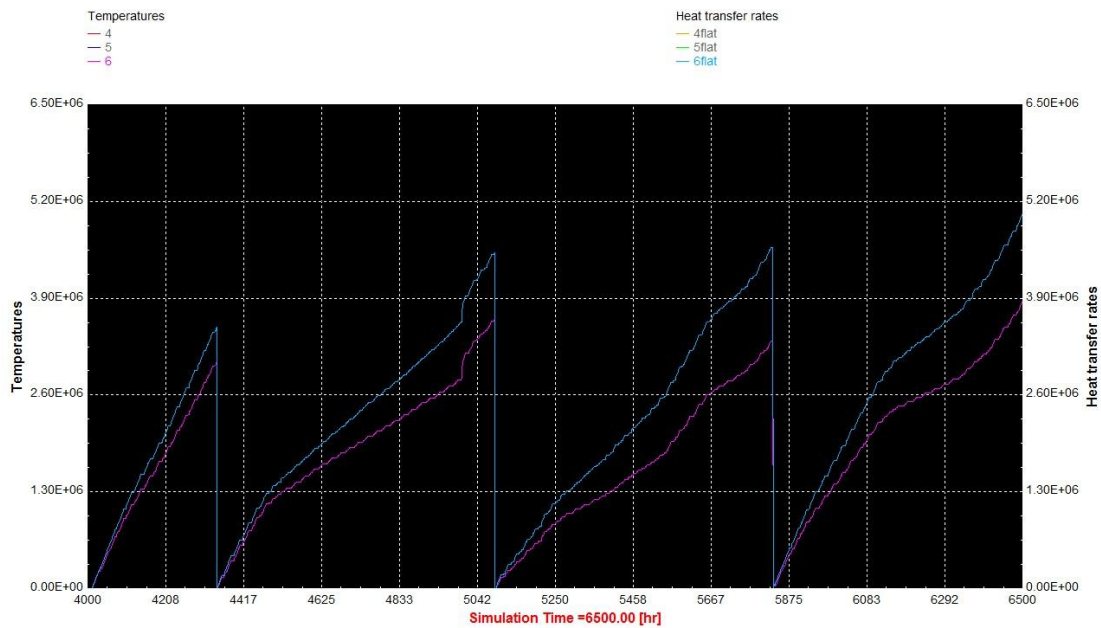
- **eva3** Ηλιακός Συλλέκτης με σωλήνες κενού επιφάνειας 3m^2
- **eva4** Ηλιακός Συλλέκτης με σωλήνες κενού επιφάνειας 4m^2
- **eva5** Ηλιακός Συλλέκτης με σωλήνες κενού επιφάνειας 5m^2
- **3flat** Επίπεδος Ηλιακός Συλλέκτης επιφάνειας 3m^2
- **4flat** Επίπεδος Ηλιακός Συλλέκτης επιφάνειας 4m^2
- **5flat** Επίπεδος Ηλιακός Συλλέκτης επιφάνειας 5m^2



Διάγραμμα TRNSYS 7.3- για 4m^2 Συλλέκτης



Διάγραμμα TRNSYS 7.4- για 5m^2 Συλλέκτης



Διάγραμμα TRNSYS 7.5- για 5m² Συλλέκτες

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν ήταν και τα αναμενόμενα. Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες έχουν καλύτερη απόδοση από τους επίπεδους ενώ η θέρμανση του διαλύματος νερού-γλυκερίνης ευθέως ανάλογη της επιφάνειας του συλλέκτη. Θα είναι λοιπόν σωστή η επιλογή τέτοιων συλλεκτών για ένα σύστημα ηλιακής ψύξης.

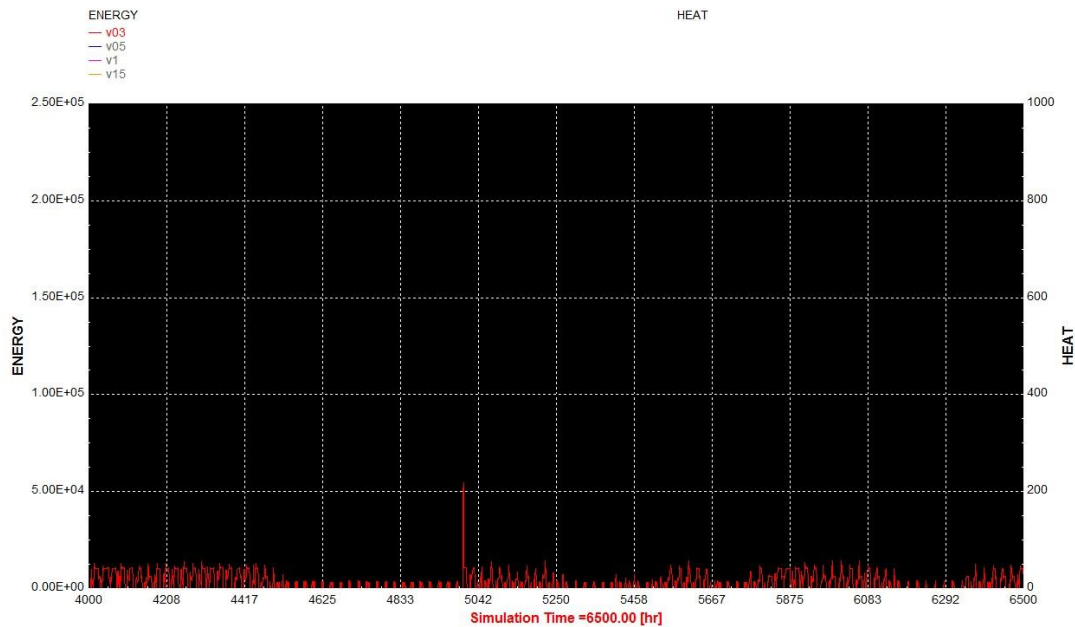
Βλέπουμε πως οι διαφορές στη πρόσθετη ενέργεια που απαιτείται για τη θέρμανση του νερού στον αποταμιευτήρα μειώνεται αυξανόμενης της επιφάνειας του συλλέκτη. Όμως αυτή η αύξηση δε φαίνεται να είναι ανάλογη της αύξησης της επιφάνειας. Έτσι μια επιλογή των 4m² φαίνεται πως είναι και η ορθότερη.

7.2 Όγκος του Αποταμιευτήρα

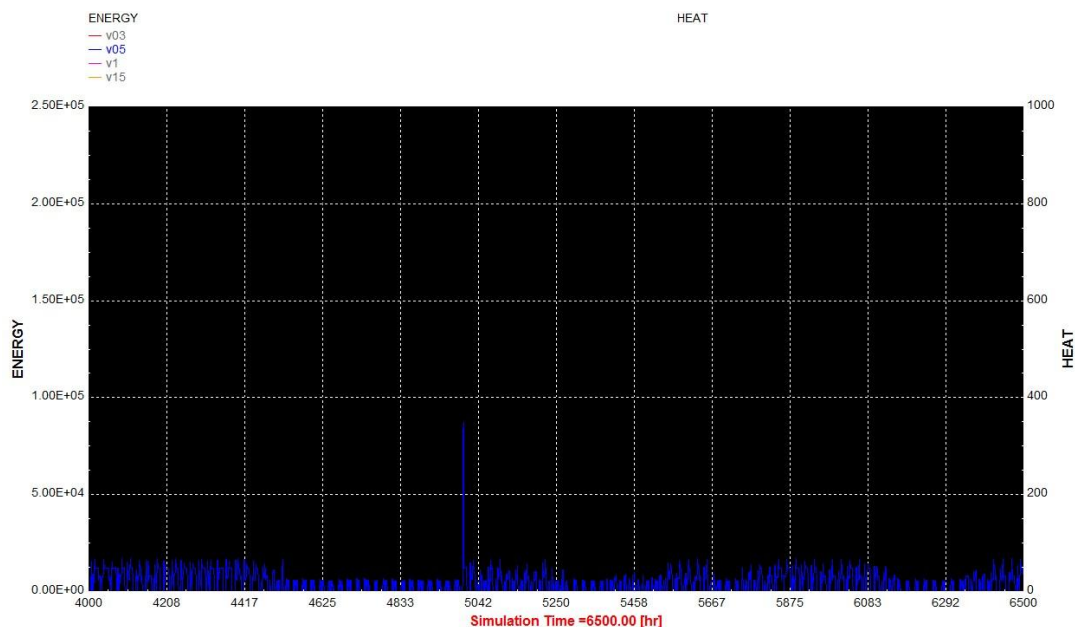
Η σύγκριση που θα ακολουθήσει αφορά την συμπληρωματική ισχύ που θα πρέπει να εισάγουμε στον αποταμιευτήρα ώστε το νερό να εισέρχεται στους 95°C στον ψύκτη απορρόφησης.

Διατηρούμε όλες τις παραμέτρους σταθερές αλλάζοντας τον όγκο του αποταμιευτήρα.

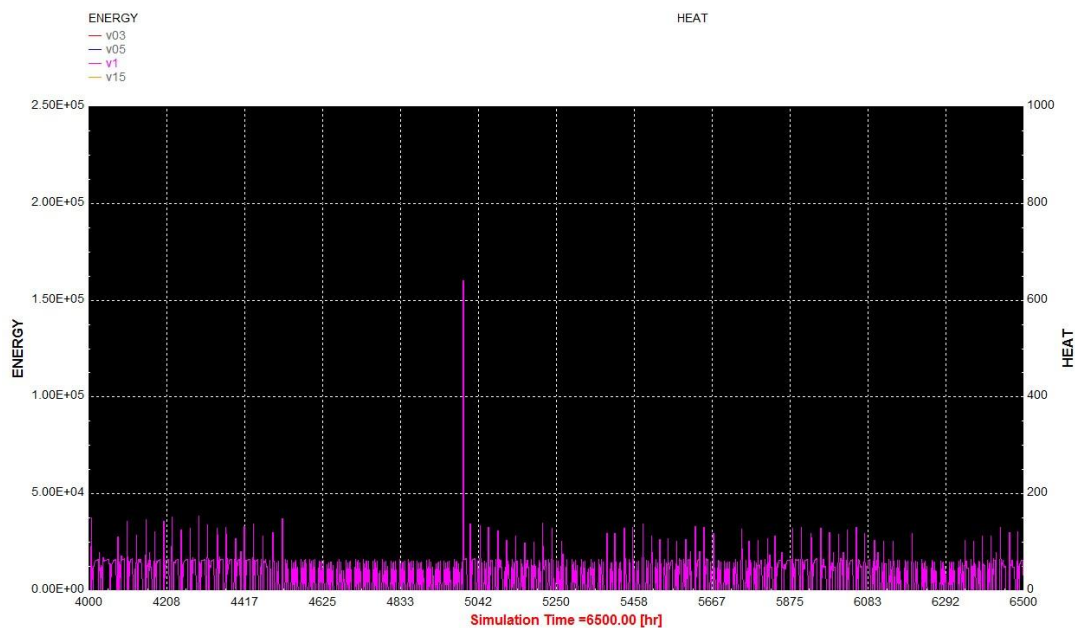
Συγκεκριμένα:



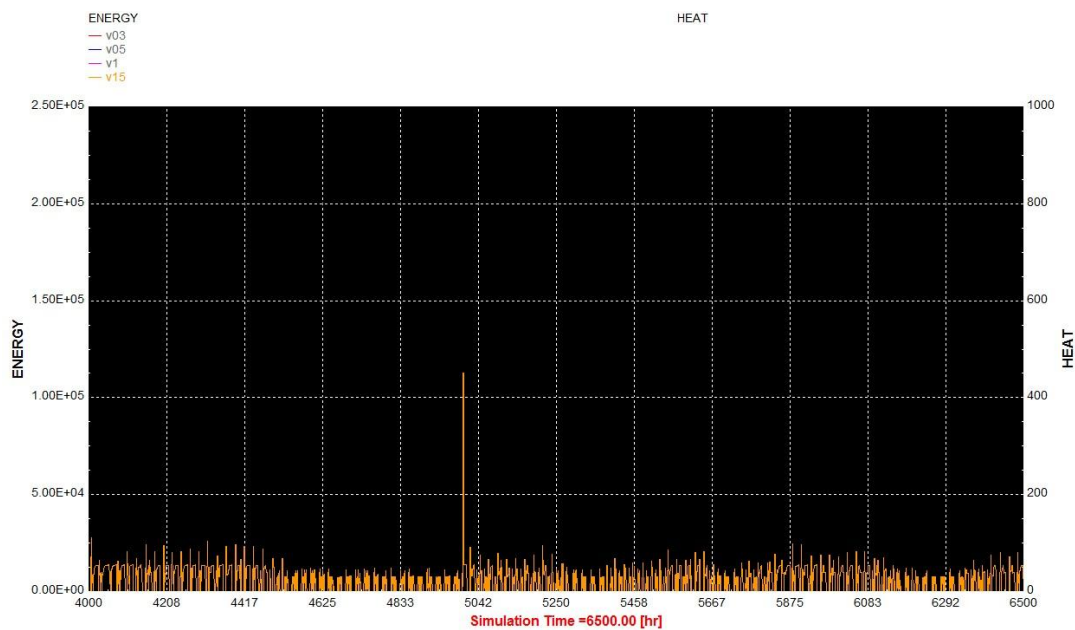
Διάγραμμα TRNSYS 7.6- Ισχύος για Αποταμιευτήρα 0.3m³



Διάγραμμα TRNSYS 7.7- Ισχύος για Αποταμιευτήρα 0.5m³



Διάγραμμα TRNSYS 7.8- Ισχύος για Αποταμιευτήρα 1m³



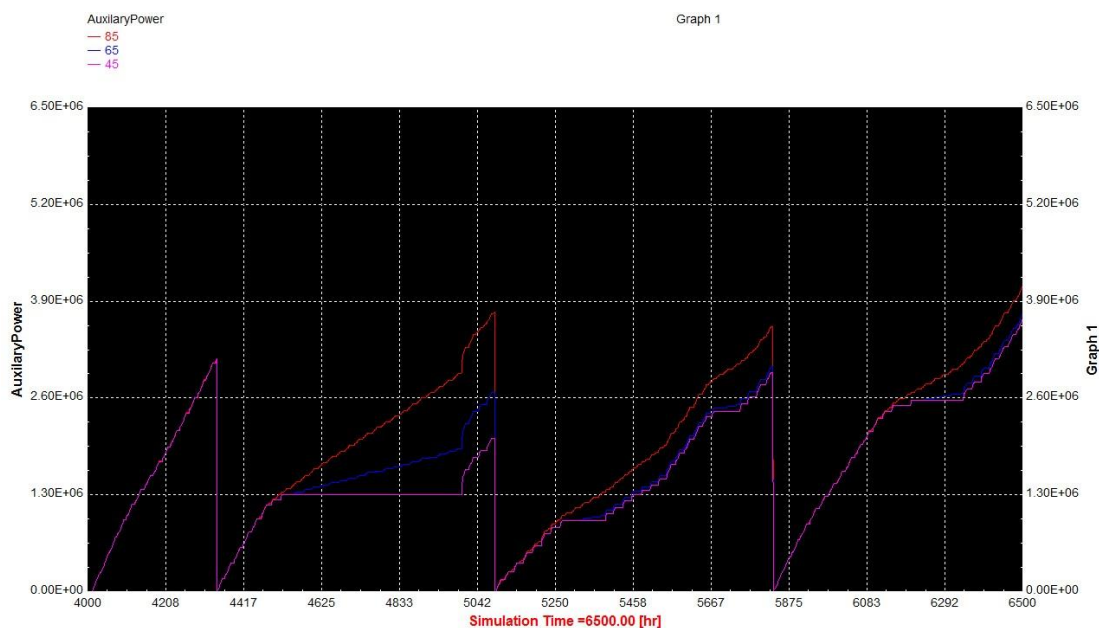
Διάγραμμα TRNSYS 7.9-Ισχύος για Αποταμιευτήρα 1.5m³

Σχολιασμός των αποτελεσμάτων:

Όπως βλέπουμε η αύξηση του όγκου του αποταμιευτήρα οδηγεί σε αύξηση των αναγκαίων θερμικών φορτίων που επιβάλλεται προκειμένου να έχουμε την απαραίτητη θερμοκρασία νερού. Αναμενόμενα αποτελέσματα αν κρίνουμε από το μικρό σε μέγεθος χώρο προς ψύξη και την μεγάλη για τα δεδομένα του χώρου επιφάνεια του ηλιακού συλλέκτη.

7.3 Θερμοκρασία Εντός του Αποταμιευτήρα στη μη Λειτουργία

Η επιλογή ,η άνωθεν, για τη θερμοκρασία που επικρατεί εντός του αποταμιευτήρα κρίνεται υπερβολική αν σκεφτούμε τις διαστάσεις του δοχείου και τη παροχή του θερμού ρεύματος νερού στο ψύκτη απορρόφησης. Εδώ θα κάνουμε μια σύγκριση των απαιτούμενων ποσών ενέργειας που απαιτούνται ώστε το θερμό ρεύμα να εισέρχεται στη απαιτούμενη θερμοκρασία ,αυτή των 95°C , στο ψύκτη. Η επιλογή της ισχύος της αντίστασης θα είναι τέτοια ώστε να επιτυγχάνεται η παραπάνω απαίτηση.



Διάγραμμα TRNSYS 7.10- Θερμοκρασία Εντός του Αποταμιευτήρα στη μη Λειτουργία

Σχολιασμός των αποτελεσμάτων:

Παρατηρούμε πως οι απαιτήσεις σε θερμότητα για τη θερμοκρασία των 85°C είναι σαφώς μεγαλύτερες αυτών για τις υπόλοιπες δύο. Από το διάγραμμα παρατηρούμε πως οι ανάγκες για τις αντίστοιχες θερμοκρασίες κυμαίνονται στο ίδιο επίπεδο. Συνεπώς από τα παραπάνω θα θεωρούσαμε ως την ορθότερη επιλογή εκείνη των 65°C καθώς η απαίτηση σε θερμική αντίσταση θα είναι σαφέστατα μικρότερη, η λειτουργία του όλου συστήματος σαφώς ομαλότερη ενώ το κόστος σε ηλεκτρική ενέργεια απαραίτητη για τη λειτουργία του ψύκτη σε ικανοποιητικά επίπεδα.

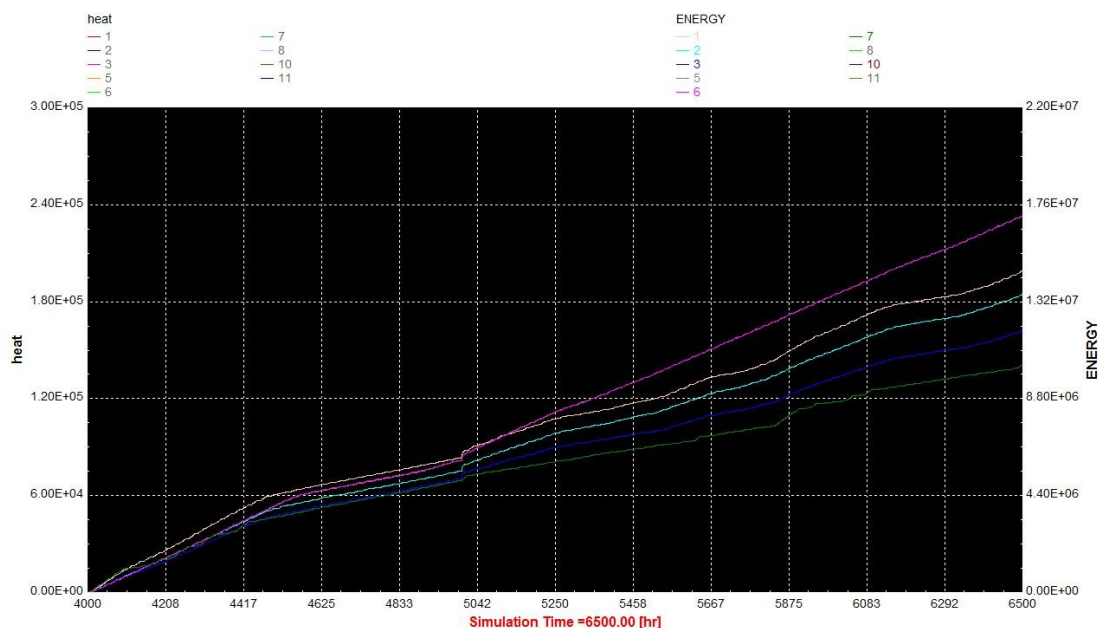
7.4 Συστημάτων Ελέγχου

Εδώ η προσομοίωση έχει στόχο την επίτευξη της μικρότερης συμπληρωματικής ηλεκτρικής ενέργειας απαραίτητης για την επίτευξη των επιβαλλόμενων θερμοκρασιών για το θερμό ρεύμα νερού. Υπάρχει όμως σε αυτή τη σύγκριση μία δέσμευση η θερμοκρασία στο κάθε δωμάτιο με αυτή τη στρατηγική να είναι στα επίπεδα της θερμικής άνεσης.

Θα λάβουν μέρος στη σύγκριση τα κάτωθι σενάρια με τα οποία ικανοποιείται η απαίτηση της θερμικής άνεσης.

Αριθμός Σεναρίου	Άνω Νεκρό Σημείο	Κάτω Νεκρό Σημείο
1	1.5	0
2	1.5	1.5
3	2	2
4	3	3
5	0	3
6	0	1.5
7	3	0

Πίνακας 7.2-Συγκρινόμενες Στρατηγικές Κλιματισμού



Διάγραμμα TRNSYS 7.11-Απαντούμενη Ενέργεια στον Αποταμιευτήρα σε Διάφορες Στρατηγικές Ψύξης του Χώρου

Σχολιασμός των αποτελεσμάτων:

Βλέπουμε εδώ το πόσο μείζονος σημασίας αποτελεί η σωστή στρατηγική στο πότε θα έχουμε εκκίνηση και παύση της λειτουργίας του ψύκτη απορρόφησης. Αυτή η συμπεριφορά κρίνεται φυσιολογική διότι η ενέργεια που δεσμεύεται από τον ήλιο είναι προκαθορισμένη κατά τη διάρκεια της ημέρας και η υπόλοιπη αναγκαία ενέργεια λαμβάνεται μέσω των θερμαντήρων του αποταμιευτήρα.

8 Συμπεράσματα

Η παραπάνω εργασία είχε ως αρχικό στόχο την μελέτη και ανάλυση ενός συστήματος ψύξης με απορρόφηση και κατόπιν την βελτιστοποίηση αυτής τόσο στο επίπεδο επιλογής των συσκευών που την συγκροτούν όσο και στο τρόπο λειτουργίας της. Θα πρέπει εδώ να αναφερθούμε πριν προχωρήσουμε στην ανάλυση των αποτελεσμάτων σε κάποιες ιδιαιτερότητες του κτιρίου που επηρεάζουν τη λειτουργία και κατ' επέκταση τα συμπεράσματα που θα καταλήξουμε. Το κτίριο έχει από την δόμηση του ,λόγω των πέτρινων τοιχιών, την ιδιότητα της μεγάλης θερμοχωρητικότητας που έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση του φαινομένου της θερμικής υστέρησης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι θερμοκρασίες στο χώρο για να επιτευχθούν να απαιτούν χαμηλότερα ψυκτικά φορτία αλλά και ένα μέρος από τη προσλαμβανόμενη ηλιακή ενέργεια να χάνεται σαν απώλειες στον αποταμιευτήρα λόγω της καθυστέρησης στη χρήση του. Επίσης η λειτουργία του ως εστιατόριο δημιουργεί επιπλέον ιδιαιτερότητα λόγω των αυξημένων θερμικών φορτίων που εκλύονται κατά τις ώρες λειτουργίας οι οποίες είναι διαφορετικές από αυτές ενός γραφείου ή οποιουδήποτε άλλου χώρου.

Η χρήση της ηλιακής ψύξης οφείλει να μειώσει το κόστος λειτουργίας του κλιματισμού στο χώρο που εγκαθίσταται. Αυτό όμως πρέπει να σταθμιστεί με ένα όχι υπέρμετρο κόστος που θα έκανε συμφέρουσα σε εύλογο χρονικό διάστημα την επένδυση.

Για έναν τέτοιο χώρο μπορούμε να συμπεράνουμε:

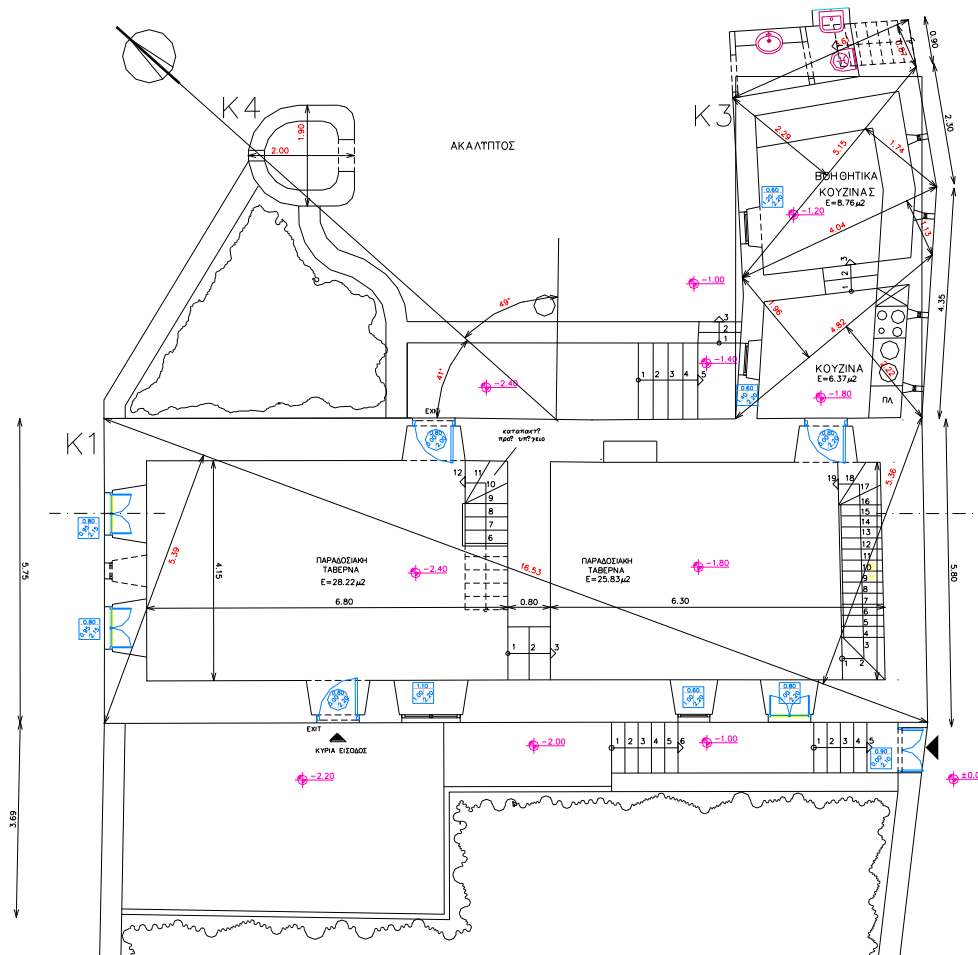
1. Επιλογή ηλιακών συλλεκτών με σωλίνες κενού ώστε οι απώλειες θερμότητας να είναι μειωμένες και έτσι να εξισορροπείται το φαινόμενο της θερμικής υστέρησης.
2. Δεν απαιτείται υπέρμετρα μεγάλη επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών προκειμένου η ηλιακή ενέργεια στο θερμό ρεύμα να συνεισφέρει σε υψηλό βαθμό.
3. Λόγο του μικρού χώρου αλλά και των χαμηλών ψυκτικών φορτίων που απαιτούνται δεν υπάρχει ανάγκη ενός μεγάλου αποταμιευτήρα νερού. Η επιλογή ενός μικρότερου θα ήταν ορθότερη. Αυτό βέβαια πάντα έρχεται σε συσχέτιση με τη θερμοκρασία του νερού που επιλέγουμε να έχουμε εντός της συσκευής.
4. Επειδή εκμεταλλευόμαστε την ηλιακή ενέργεια που δίνεται σε συγκεκριμένα διαστήματα του χρόνου κατά τη διάρκεια της ημέρας είναι πολύ σημαντική η ορθή επιλογή της στρατηγικής της λειτουργίας του ψύκτη απορρόφησης προκειμένου να επιτευχθεί η όσο το δυνατόν μέγιστη χρήση της ενέργειας αυτής.

Η ηλιακή ψύξη είναι ένας τρόπος κλιματισμού του χώρου ο οποίος ενδείκνυται στη χώρα μας. Τα οφέλη που μπορεί κάποιος να αποκομίσει με σωστή επιλογή των συσκευών που θα χρησιμοποιήσει μπορούν να είναι άμεσα δίχως να χρειάζεται όπως αποδεικνύεται παραπάνω υπέρμετρο αρχικό κόστος.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Το Κτίριο

Η προσομοίωση του συστήματος της ηλιακής ψύξης θα εφαρμοστεί στο παρακάτω κτίριο για το ισόγειο επίπεδο του.



Σχ1-Κάτοψη Χώρου

Κατανομή Χώρων Κτιρίου

Το παραπάνω χώρος πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σαν εστιατόριο. Στη προσομοίωση μας θα τον χωρίσουμε σε τρεις ζώνες:

- Τραπεζαρία1(Trap1) για το βόρειο-δυτικό δωμάτιο
- Τραπεζαρία2(Trap2) για το νότιο-ανατολικό δωμάτιο
- Κουζίνα(Κουζ) για το παράπλευρο στο τελευταίο

Το κτίριο δε σκιάζεται από οποιαδήποτε άλλη γύρω του κατασκευή αλλά και φυσικό στοιχείο.

Η απαιτούμενη επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών θα τοποθετηθεί στη περιοχή του ακάλυπτου όπως και τα άλλα στοιχεία.

Προσανατολισμός Κτιρίου

Η πλάγια όψη του κτιρίου μας σχηματίζει με το βορρά 41°. Η κλίση αυτή είναι τυπική σε παραδοσιακά σπίτια. Συνηθίζονταν τα σπίτια να μην έχουν τη μεγαλύτερη επιφάνεια τους στο νότο όπως θα ήταν ορθότερο αλλά νοτιο-ανατολικά ώστε με την ανατολή του ηλίου να έχουμε τα πρώτα φορτία θέρμανσης.

Δόμηση Κτιρίου

Τα δομικά υλικά ενός κτιρίου μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες

- Φυσικές Πέτρες
- Συνήθη Δομικά Υλικά
- Μονωτικά

Στο δικό μας κτίριο η κατασκευή έχει γίνει αποκλειστικά με πέτρα. Η πέτρα έχει τα κάτωθι θερμικά χαρακτηριστικά.

Θερμική Αγωγιμότητα λ [W/mK]	0,87
Πυκνότητα [kg/m ³]	1400
Ειδική Θερμότητα [kJ/kgK]	1

Πίνακας 1- Βασικές Θερμοδυναμικές Ιδιότητες της Πέτρας

Η πέτρα είναι υλικό που λόγω της μεγάλης θερμοχωρητικότητας της αποτελεί μια καλή αποθήκη θερμότητας κάτι που συνεπάγεται τη θερμική υστέρηση του κτιρίου. Αυτό προσφέρει μια περισσότερο ομαλή διακύμανση της θερμοκρασίας στο χώρο διότι κατά τη διάρκεια των υψηλών θερμικών φορτίων οι τοίχοι αποθηκεύουν ενέργεια την οποία τη δίνουν αργότερα όταν εκείνα μειώνονται λόγω της μειούμενης ηλιακής ακτινοβολίας.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

Θερμική Άνεση

Στο κεφάλαιο αυτό θα κάνουμε μια αναφορά στο θέμα της θερμικής άνεσης ώστε να γίνει αντιληπτή η φιλοσοφία στην οποία θα βασιστούμε στη προσομοίωση ώστε αυτή να επιτευχθεί.

Ένα πλήθος παραγόντων είναι εκείνο που πρέπει να προσεχθεί ώστε να αισθάνεται το άτομο άνετα και με αίσθηση σωματικής και πνευματικής ευημερίας στο χώρο που βρίσκεται.

Το ανθρώπινο σώμα προσπαθεί να διατηρήσει περίπου σταθερή τη θερμοκρασία του κοντά στο $36,6^{\circ}\text{C}$. Κατά τη διάρκεια της ημέρας το σύνολο των εσωτερικών διεργασιών που κάνει προκαλούν την έκλυση θερμότητας η οποία πρέπει να διαφύγει μέσω αυτού στο περιβάλλον ώστε να μην αυξηθεί η άνωθεν θερμοκρασία. Οι τρόποι που αυτό κατορθώνεται να επιτευχθεί φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχ.1-Τρόποι Αποβολής της Περίσσειας στο Σώμα Θερμότητας [2]

Αν η εσωτερική θερμοκρασία υπερβεί τους 46°C είναι πολύ πιθανόν να υπάρξουν εγκεφαλικές βλάβες ενώ καρδιακές αρρυθμίες εμφανίζονται για κάτω από τους 28°C .

Το κέντρο το οποίο είναι υπεύθυνο για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας βρίσκεται σε θερμοκρασία $36,8^{\circ}\text{C}$ και όταν η αυτή του σώματος ανέλθει από τους 37°C ενεργοποιούνται οι μηχανισμοί για την μείωσή της. Ένας από αυτούς τους τρόπους είναι και η εφίδρωση. Σε συνήθεις καταστάσεις στις οποίες δεν γίνεται και αντιληπτό από τον άνθρωπο έχουμε περί τα $40\text{gH}_2\text{O}/\text{ώρα}$ εξατμισμένη ποσότητα νερού.

Όπως εύκολα διαπιστώνουμε σε ένα χώρο ο άνθρωπος συμβάλει με την ύπαρξή του σε αυτόν στα θερμικά κέρδη του

Μάζα	m	65 – 75 Kg
Όγκος	V	60 – 70 lt
Επιφάνεια	A	1.7 – 1.9 m ²
Αποβολή θερμότητας	Q	116 – 260 W (100 – 225 (kcal/h)
Θερμοκρασία		36.6 – 37 °C
Θερμοκρασία επιδερμίδας (μέση τιμή)		33 °C
Σφυγμοί		70 – 80 /min
Αναπνοές		16 – 17 /min
Αποβολή υδρατιμών	Y	35 – 260 g/h
Κατανάλωση ενέργειας	E	80 – 700 W (70 – 600 Kcal/h)
Διάρκεια ζωής χωρίς αέρα	T _A	3 min
Διάρκεια ζωής χωρίς νερό	T _N	3 days
Διάρκεια ζωής χωρίς τροφή	T _T	40 days
Απαιτούμενη ποσότητα αέρα	V _A	0.4 – 6 m ³ /h

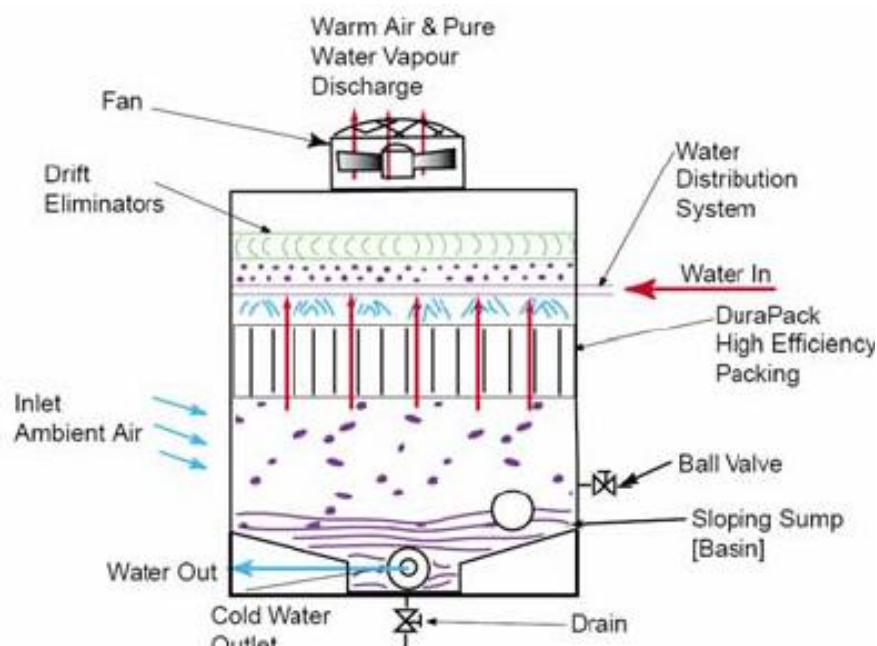
Πίνακας1-Μέσες Τιμές Στοιχείων του Ανθρώπινου Σώματος [2]

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

Πύργος Ψύξης

Ο λόγος που χρησιμοποιείται ο πύργος ψύξης είναι για επαναχρησιμοποίηση του νερού που έχουμε στο ψυχρό ρεύμα προκειμένου να απαγάμε θερμότητα στο συμπυκνωτή και απορροφητήρα.

Σε αυτές τις συσκευές έχουμε με τη βοήθεια του αέρα του περιβάλλοντος ψύξη του θερμού, έπειτα από τον απορροφητήρα και τον συμπυκνωτή στη προκειμένη περίπτωση, ρεύματος νερού ώστε να έχουμε την κατά μεγάλο ποσοστό επαναχρησιμοποίηση του στις προαναφερθείσες συσκευές. Συνήθως τοποθετείται σε κάποια απομακρυσμένη από το κτήριο περιοχή.



Σχ.1-Αναπαράσταση Πύργου Ψύξης [7]

Αρχή της λειτουργίας του είναι η εξάτμιση του νερού και η πτώση της θερμοκρασίας που προκαλεί. Όταν το ζεστό νερό έρχεται σε επαφή με τον αέρα ένα μικρό ποσοστό του εξατμίζεται. Η θερμότητα που απαιτείται για αυτή την εξάτμιση προέρχεται από το ίδιο το νερό αλλά και τον αέρα με αποτέλεσμα τη πτώση της θερμοκρασίας του νερού. Αυτή η πτώση είναι τόσο μεγαλύτερη όσο πιο ξηρός είναι ο αέρας, δηλαδή η σχετική του υγρασία, στην είσοδο του πύργου. Προκειμένου να γίνει αποδοτικότερη η μεταφορά θερμότητας αυξάνουμε την επιφάνεια συναγωγής με πλήρωση από μικρού όγκου υλικών στη περιοχή επαφής ατμοσφαιρικού αέρα και νερού.

Η μεγάλη διαφορά μεταξύ ενός αερόψυκτου και ενός που χρησιμοποιεί πύργο ψύξης είναι η θερμοκρασία που έχουμε στον απορροφητή. Με τον αερόψυκτο δεν είναι πάντοτε δυνατή η επίτευξη θερμοκρασίας αρκετά χαμηλής ώστε να ανταποκριθεί στην πίεση ατμοποίησης του ατμοποιητή. ο μόνος τρόπος για να έχουμε ομαλή λειτουργία είναι ν' αυξήσουμε τη συγκέντρωση του LiBr στο διάλυμα όμως κάτι τέτοιο κάνει πιο πιθανή τη κρυστάλλωση

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Κουρεμένος, Δημήτριος Α. Θερμοδυναμική Ι .Αθήνα:Εκδόσεις Συμπεών,1991
2. Βραχόπουλος Μιχάλης Γρ. Αναλυτική Προσέγγιση Κεντρικών Θερμάνσεων . Αθήνα:Εκδόσεις Αθ. Σταμούλη ,2004
3. Αντωνόπουλος, Κίμων Α. Κλιματισμός, Μέρος Πρώτο. Αθήνα : Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 2004.
4. Αντωνόπουλος, Κίμων Α. Θερμικά - Ηλιακά Συστήματα, Μέρος Πρώτο. Αθήνα : Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 2004.
5. Τζιβανίδης, Χρήστος. Σημειώσεις Μαθήματος "Θερμική Συμπεριφορά Κτηρίων", Σχολή Μηχ.Μηχ. Ε.Μ.Π. Αθήνα, 2007.
6. Gerson Grossman, Alec Johansenn Solar cooling and air-conditioning, <http://www.sciencedirect.com>
7. ASHRAE Fundamentals. 2005.
8. Wang, Shan K. Handbook of Air Conditioning and Refrigeration. New York : Mc Graw Hill, 2001.
9. Guozhen Xie , Guogang Sheng , Pradeep Kumar Bansal , Guang Li Absorber performance of a water/lithium–bromide absorption chiller, , <http://www.sciencedirect.com>
- 10.D. A. Kouremenos, K. A. Antonopoulos and E. Rogdakis, Predicted performance of solar driven H₂O-LiBr absorption units in Athens, , <http://www.sciencedirect.com>
- 11.Icksoo Kyung, Keith E. Herold, Yong Tae Kang Model for absorption of water vapor into aqueous LiBr flowing over a horizontal smooth tube Simple LiBr/Water Absorption Cycle Limitations, , <http://www.sciencedirect.com>
12. Ursula Eicker , Dirk Pietruschka, Design and performance of solar powered absorption cooling systems in office buildings, , <http://www.sciencedirect.com>
- 13.Ibrahim Atmaca , Abdulvahap Yigit, Simulation of solar-powered absorption cooling system, , <http://www.sciencedirect.com>
- 14.Gerson Grossman, Solar-Powered Systems for Cooling, Dehumidification and Air-Conditioning , , <http://www.sciencedirect.com>
- 15.Solar Collector and Applications Soteris A. Kalogirou
- 16.Antonopoulos, K. A. and Koronaki, E. Envelope and indoor thermal capacitance of buildings. Applied Thermal Engineering. 1999, Τόμ. 19.
- 17.Κεντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ). Οδηγός Ηλιακού Κλιματισμού & Οδηγός θερμομόνωσης. [Ηλεκτρονικό] http://www.cres.gr/energy-saving/technologies_exikonomisis_ener.htm.
- 18.Time Constant Of Greek Buildings. Antonopoulos, K A and Tzivanidis, C., pp 789-802, 1995, Elsevier Science Ltd, 1995, Τόμ. 2
- 19.Torcellini, P., Lessons Learned from Case Studies of Six High-Performance Buildings: NREL, June 2006. TP-550-37542.
- 20.TRNSYS 16.00 Manual : TRANSOLAR Energietechnik GmbH.Ursula, Eicker. Solar Technologies for Buildings. John Wiley & Sons Ltd, 2003.
- 21.Duffie, John. A. Beckman, William .A. Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley & Sons, Inc, Second Edition.

22. Petchers, Neil. Combined Heating, Cooling & Power Handbook Technologies and Applications: an Integrated Approach to Energy Resource Optimization, Routledge, USA, 2002.
23. TRNSYS 16.00 Manual : TRANSSOLAR Energietechnik GmbH.
24. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ): Οδηγός Ηλιακού Κλιματισμού.
25. Y. Gupta, L. Metchopt, A. Frantzis, P.E. Phelan. Comparative analysis of Thermally activated, environmentally friendly cooling systems, , <http://www.sciencedirect.com>
26. G.A. Florides, S.A. Kalogirou, S.A. Tassou, L.C. Wrobel. Modeling and simulation of an absorption solar cooling system for Cyprus, , <http://www.sciencedirect.com>
27. Khalid A. Joudi, Qussai J. Abdul- Gafour. Development of design charts for solar cooling systems, , <http://www.sciencedirect.com>
28. F. Assilzadeh, S.A. Kalogirou, Y. Ali, K. Sophian. Simulation and optimization of a LiBr solar absorption cooling system with evacuated tube collectors, , <http://www.sciencedirect.com>
29. D. Arzoz P. Rodriguez, M. Izquierdo Experimental study on the adiabatic absorption of water vapor into LiBr–H₂O solutions , , <http://www.sciencedirect.com>
30. Ursula Eicker , Dirk Pietruschka Design and performance of solar powered absorption cooling systems in office buildings , <http://www.sciencedirect.com>
31. D.S. Kim, C.A. Infante Ferreira A Gibbs energy equation for LiBr aqueous solutions , , <http://www.sciencedirect.com>
32. Adel E. Nasser and Taj R. Osman, Thermodynamic modeling of an ammonia–water absorption chiller, , <http://www.sciencedirect.com>
33. H.T. Chuua, H.K. Toh, K.C. Ng, Air-cooled LiBr–water absorption chillers for solar air conditioning in extremely hot weathers, , <http://www.sciencedirect.com>
34. D.S. Kim , C.A. Infante Ferreira, A dynamic simulation model for transient absorption chiller performance , <http://www.sciencedirect.com>
35. M. Venegas , A. Zacari'as , R. Salgado Mathematical modelling of a LiBr–H₂O absorption chiller including two-dimensional distributions of temperature and concentration fields for heat and mass exchangers, , <http://www.sciencedirect.com>
36. Krzysztof Banasiak, Joachim Kozio, A. Lecuona , R. Ventas , Optimum hot water temperature for absorption solar cooling, , <http://www.sciencedirect.com>
37. Ahmed Hamza H. Ali , Peter Noeres , Clemens Pollerberg Performance assessment of an integrated free cooling and solar powered single-effect lithium bromide-water absorption chiller, , <http://www.sciencedirect.com>
38. P. Kumar and S. Devottai Analysis of solar absorption cooling systems with low generator Temperatures, <http://www.sciencedirect.com>
39. Σαχίνης Παναγιώτης, 2010 , «3ο Συμπόσιο Δελφών για τις ΑΠΕ»
40. Κάπρος Παντελής , 2010 , «3ο Συμπόσιο Δελφών για τις ΑΠΕ»

