



**ΗΛΙΑΚΟΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ**  
**ΜΕ ΨΥΧΟΜΕΝΑ ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ**



**ΑΘΗΝΑ**  
**ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2008**



Αφιερώνεται  
στη σύζυγό μου Μαρία –  
το σύντροφό στις δύσκο-  
λες στιγμές της πορείας  
μου προς το πτυχίο...



« Είναι νομίζω φανερό γιατί ο άνθρωπος είναι πολιτικόν ζώον περισσότερο απ'ότι οι μέλισσες ή τα άλλα αγελαία ζώα . Ο άνθρωπος είναι το μόνο ζώο που είναι εφοδιασμένο με την ικανότητα του λόγου · του λόγου όμως ο προορισμός είναι να κάνει φανερό τι είναι ωφέλιμο και τι βλαβερό , και άρα τι είναι δίκαιο και τι άδικο »

Αριστοτέλους «Πολιτικά»

Αυτή η ιδιάζουσα ικανότητα που σκιαγραφεί ο Αριστοτέλης και για μένα ανθρώπινη ανάγκη και υποχρέωση με ωθεί να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στους ανθρώπους που συνέραμαν γί'αυτό το εκπόνημα.

Έτσι θέλω να ευχαριστήσω τους γονείς μου που με γαλούχησαν με τον τρόπο που το έκαναν δίνοντάς μου τα απαραίτητα εφόδια και πατήματα για να απολαύσω αυτήν εδώ την επιτυχία .

Θέλω να ευχαριστήσω τον πνευματικό μου πατέρα , Καθηγούμενο της Ιεράς Μεγίστης Μονής Βατοπαιδίου, γέροντα Εφραίμ για την πνευματική καθοδήγηση και υποστήριξη. Αποτελεί μάλλον τον κυριότερο λόγο που οδήγήθηκα στο πτυχίο...

Θέλω να ευχαριστήσω τους καθηγητές κ. Κίμωνα Αντωνόπουλο και κ. Χρήστο Τζιβανίδη για την καθοδήγηση , την βοήθεια αλλά και τις πολύτιμες συμβουλές για την αποπεράτωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας .

Και φυσικά τη σύζυγο μου , Μαρία!



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>0 ■ ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b> .....	<b>I</b>
ΣΤΑ ΠΡΟΘΥΡΑ ΤΟΥ 21 <sup>ΟΥ</sup> ΑΙΩΝΑ.....	I
ΠΡΟΣ ΕΝΑ ΒΙΩΣΙΜΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΜΕΛΛΟΝ.....	II
ΓΙΑΤΙ ΟΜΩΣ ΑΠΟΤΕΛΕΙ Ο ΗΛΙΑΚΟΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ ΜΙΑ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΥΣΑ ΠΡΟΤΑΣΗ;.....	IV
<b>1 ■ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ</b> .....	<b>1</b>
1.1 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ .....	1
1.2 ΜΟΡΦΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ .....	3
1.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ .....	6
1.3.1 Θεωρητικά δεδομένα υπολογισμού.....	6
1.3.2 Πειραματικά δεδομένα υπολογισμού για την περιοχή της Αθήνας . .....	12
1.4 ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΩΦΕΛΙΜΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΥΠΙΚΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ . .....	13
<b>2 ■ ΨΥΚΤΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ</b> .....	<b>17</b>
2.1 ΗΛΙΑΚΟΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ – ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ . .....	17
2.2 ΨΥΞΗ ΔΙ΄ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΕΩΣ .....	18
2.2.1 Διατάξεις νερού – διαλύματος LiBr.....	20
2.2.2 Ιδιότητες διμερούς μίγματος νερού – διαλύματος LiBr .....	25
2.3 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΨΥΞΗΣ ΜΕ ΜΗΧΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ Η <sub>2</sub> O – LiBr . .....	27
<b>3 ■ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ ΜΕ ΨΥΧΩΜΕΝΑ ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥΣ ΠΙΝΑΚΕΣ</b> .....	<b>31</b>
3.1 ΓΕΝΙΚΑ .....	31
3.1.1 Βασικές αρχές της μεταφοράς θερμότητας δι΄ ακτινοβολίας .....	31
3.1.2 Μεταφορά θερμότητας από ψυχόμενες ή θερμαινόμενες επιφάνειες . .....	33
3.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΥΧΟΜΕΝΩΝ PANEL.....	37
3.2.1 Ψυχόμενα δομικά στοιχεία .....	37
3.2.2 Μεταλλικοί πίνακες . .....	41
3.3 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ . .....	43
3.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΜΕΛΕΤΟΥΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ .....	51





**ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

**ΤΜΗΜΑ**

**1**



# ΠΡΟΛΟΓΟΣ

## Στα πρόθυρα του 21<sup>ου</sup> αιώνα...

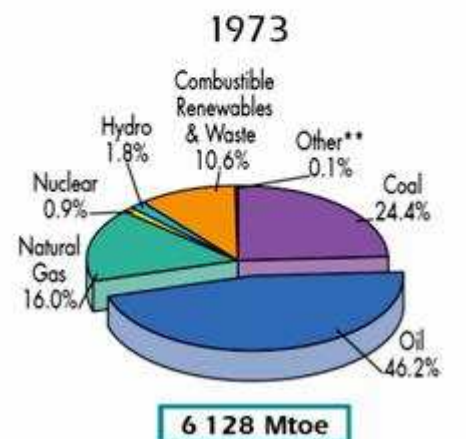
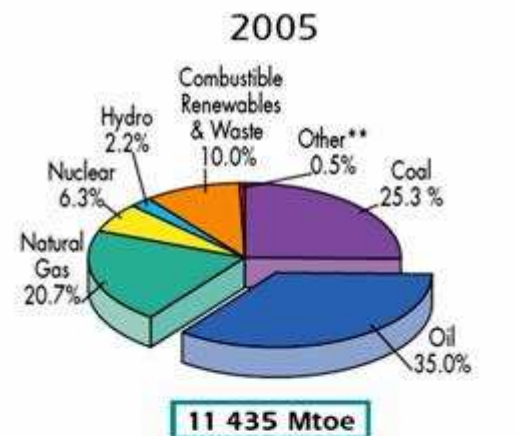
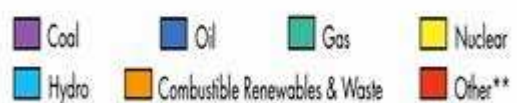
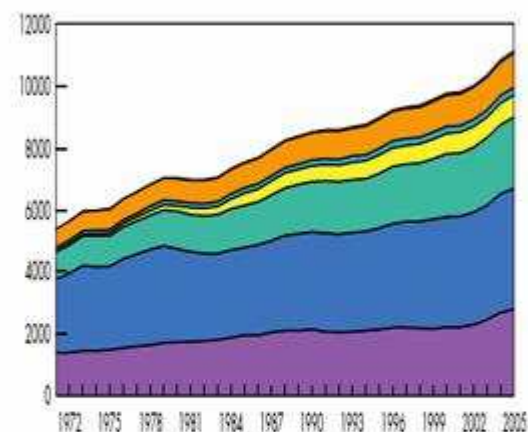
Σήμερα, αρχές του 21<sup>ου</sup> αιώνα, ο απόηχος της βιομηχανικής εποχής μας προκαλεί να παρατηρήσουμε την επίδραση που αυτή επέφερε στη ζωή μας. Το «μετα-βιομηχανικό στάδιο» -αν και η οικονομία του οποίου πλέον στρέφεται προς την κατεύθυνση των τηλεπικοινωνιών και των διαδικασιών πληροφόρησης – συνίσταται από συνεχώς αυξανόμενη βιομηχανική παραγωγή και ανάπτυξη τεχνολογίας, κατάλληλης για την αύξηση του βιοτικού επιπέδου του ανθρώπου.

Η παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση εικοσαπλασιάστηκε από το 1850 μέχρι σήμερα, δεκαπλασιάστηκε από το 1900 και τετραπλασιάστηκε από το 1950. Από το τέλος της δεκαετίας του '60 άρχισαν να αναγνωρίζονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της βιομηχανικής ανάπτυξης και ιδιαίτερα των επιπτώσεων που προκαλεί η καύση των ορυκτών καυσίμων. Οι ενεργειακές κρίσεις της δεκαετίας του '70 ώθησαν την ανάπτυξη διαφόρων τεχνικών που καθιστούν πιο αποδοτική την χρήση της ενέργειας και άρχισε να δίνεται έμφαση στην παραγωγή ενέργειας από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ). Η ηλιακή, η αιολική, η υδροδυναμική ενέργεια, η βιομάζα και η γεωθερμία αποτελούν τις νέες ενεργειακές προτάσεις. [2]

Η πτώση των τιμών του πετρελαίου κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '80 και του μεγαλύτερου μέρους της δεκαετίας του '90 δυσκόλεψε, για οικονομικούς λόγους την ανάπτυξη και εισαγωγή σε μεγάλη κλίμακα των ΑΠΕ και της εξοικονόμησης ενέργειας. Παρόλο ότι η συνειδητοποίηση των περιβαλλοντικών προβλημάτων της χρήσης των ορυκτών καυσίμων απέκτησε μία άλλη διάσταση κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, η οικονομική παράμετρος εμπόδισε την ανάπτυξή τους.

Σήμερα τα ορυκτά καύσιμα παρέχουν το 81% της παγκόσμιας ενεργειακής προσφοράς. Μεταξύ των ορυκτών, το πετρέλαιο παρέχει το μεγαλύτερο ποσοστό περίπου το 35% της συνολικής παγκόσμιας ενεργειακής

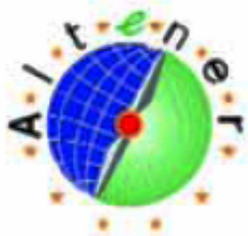
Evolution from 1971 to 2005 of World Total Primary Energy Supply\* by Fuel (Mtoe)



Σχήμα 1 : Παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας από το 1973 έως το 2005. [1]

προσφοράς , ο άνθρακας παρέχει το 25.3% και το φυσικό αέριο το 20.7%.Οι ΑΠΕ παρέχουν περίπου το 12.7% και η πυρηνική ενέργεια τέλος παρέχει το υπόλοιπο 6.3% [1]. Γνωρίζοντας τα μειονεκτήματα της καύσης των ορυκτών καυσίμων – με σημαντικότερα την ενεργειακή εξάρτηση των χωρών από τους προμηθευτές , την περιβαλλοντική επιβάρυνση και σαφώς τα σενάρια πρόβλεψης εξάντλησης τους στα επόμενα 70 χρόνια – προβάλλεται απαραίτητη η εισαγωγή ενός νέου ενεργειακού δόγματος...

## Προς ένα βιώσιμο ενεργειακά μέλλον



Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή , κινούμενη στα πλαίσια της συνθήκης του Κιότο , υποστηρίζει τις 2 τελευταίες δεκαετίες την ανάπτυξη των ΑΠΕ μέσω των προγραμμάτων της (Joule , Thermie , Energie , Altener). Με τη λευκή βίβλο για τις ΑΠΕ που υιοθετήθηκε τον Νοέμβριο του 1997 κατέστρωσε για πρώτη φορά μία περιεκτική στρατηγική και ένα σχέδιο δράσης για τον τομέα.

Κεντρικό στοιχείο της στρατηγικής για τις ΑΠΕ αποτελεί ο στόχος του διπλασιασμού του ποσοστού διείσδυσης από το περίπου 6% (έτος αναφοράς 2005 ) σε 12% έως το έτος 2010. Για να επιτευχθεί ο στόχος αυτός σημαίνει ότι τα κράτη μέλη οφείλουν να ενθαρρύνουν την αύξηση των ΑΠΕ σύμφωνα με το δικό τους δυναμικό. Έχει επομένως σημασία κάθε κράτος μέλος να καθορίσει τη δική του στρατηγική και στο πλαίσιο της να προτείνει τη δική του συμβολή στο συνολικό στόχο για το 2010.

Τεχνολογία	1998	2000	2004	Προοπτικές 2010
Αιολικά	39 MW	214 MW	465 MW	2000-2500 MW
Μεγάλα Υδροηλεκτρικά	2784 MW	2988 MW	3060 MW	3686 MW
Μικρά Υδροηλεκτρικά	31 MW	39 MW	70 MW	400-500 MW
Φωτοβολταϊκά	0,3 MW	0,8 MW	4,5 MW	30-40 MW
Ήλιακοι Σηλλέκτες	2.300.000 m <sup>2</sup>	2.700.000 m <sup>2</sup>	3.000.000 m <sup>2</sup>	5.000.000 - 7.000.000 m <sup>2</sup>
Βιομάζα	908 χΤΠΠ	946 χΤΠΠ	1.000 χΤΠΠ	1.600 - 1.800 χΤΠΠ
Γεωθερμία	30 MW <sub>th</sub>	58 MW <sub>th</sub>	80 MW <sub>th</sub>	300-400 MW <sub>th</sub> 100MWe

Πίνακας 1: Σημερινή κατάσταση και προοπτικές ανάπτυξης στην Ελλάδα . [2]

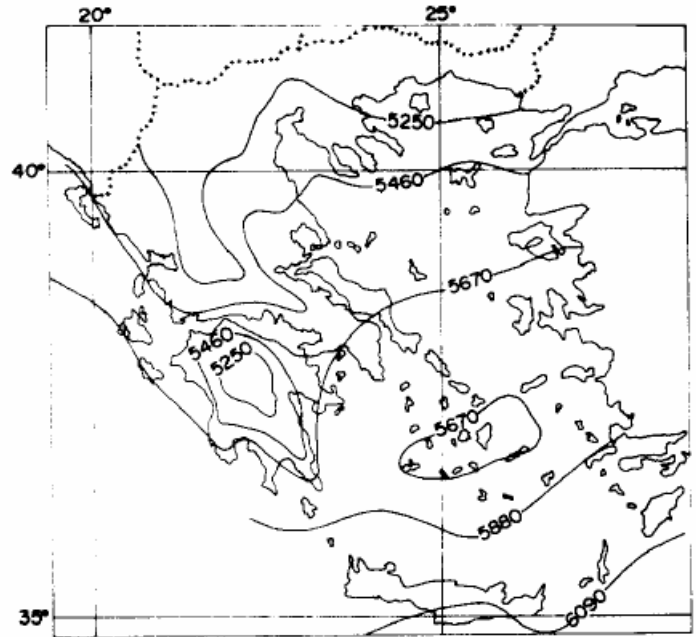
Η Ελλάδα λοιπόν έχοντας πλούσιο κυρίως αιολικό και ηλιακό δυναμικό ( βλέπε σχήμα 2) έχει διαμορφώσει την στρατηγική που φαίνεται στον πίνακα 1.1. Στον προκείμενο πίνακα καθίσταται σαφής η διάθεση της ελληνικής πολιτικής να εκμεταλλευτεί το πλούσιο ηλιακό της δυναμικό, αφενός με την εισαγωγή των φωτοβολταϊκών συστημάτων και αφετέρου με τη χρήση των ηλιακών συλλεκτών.

Οι ηλιακοί συλλέκτες μέχρι σήμερα στην Ελλάδα έχουν βρει ευρεία χρήση στα θερμοσιφωνικά συστήματα (όπως φαίνεται από τον πίνακα 2 αποτελεί την 2<sup>η</sup> Ευρωπαϊκή χώρα στην εγκατάσταση ηλιακών συλλεκτών) και ως εκ τούτου έχει αναπτύξει δυναμική βιομηχανία παραγωγής (που εξάγει εξοπλισμό σε διάφορες Ευρωπαϊκές χώρες). Η χρήση όμως των συλλεκτών αυτών περιορίζεται μόνο στα συστήματα αυτά με ελάχιστες εξαιρέσεις εφαρμογών θέρμανσης και ψύξης.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία επιχειρείται η πρόταση της ηλιακής ψύξης ως τεχνολογία κλιματισμού ικανή να αντικαταστήσει τα συμβατικά συστήματα σε

οικιακό και όχι μόνο επίπεδο.

Ο ηλιακός κλιματισμός σαν τεχνολογία βρίσκεται σε ώριμο επίπεδο όμως η οικονομικότητα της εφαρμογής δεν είναι ανταγωνιστική των συμβατικών



Σχήμα 2 : Ετήσια διανομή της εκτιμώμενης διανομής της ακτινοβολίας στην Ελλάδα (MJ/m<sup>2</sup>) . [17]

Market growth country by country - glazed collectors only												
	1985		1990		1995		2000		2001			
	Newly Installed	In Operation	Newly Installed	In Operation	Newly Installed	In Operation	Newly Installed	In Operation	Newly Installed	In Operation	In Operation per head	Energy Output
	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> /1.000	MWh
AT	9.950	37.120	39.885	158.845	160.660	712.908	152.944	1.504.684	160.080	1.651.814	203	583.743
BE	2.325	9.300	1.000	19.600	1.000	23.850	3.230	24.378	4.481	26.534	3	11.156
DE	15.000	48.000	35.000	132.000	193.000	802.000	620.000	2.743.000	900.000	3.634.000	44	1.480.650
DK	1.195	3.185	5.734	17.504	25.490	108.000	30.200	246.165	26.150	271.120	51	108.475
ES	29.100	119.100	9.400	170.700	9.800	207.563	40.487	190.209	46.357	224.666	6	135.800
FI	145	1.645	50	2.145	500	3.645	1.010	6.210	1.110	7.220	1	2.170
FR	41.200	195.500	14.900	287.350	7.700	346.450	23.500	221.150	38.500	230.750	4	138.450
GR	200.000	569.000	204.000	1.482.500	169.000	2.420.500	181.000	2.833.200	175.000	2.790.200	264	1.082.598
IE	0	0	50	170	170	690	380	3.065	270	3.325	1	1.496
IT	36.500	148.000	12.500	239.600	17.850	313.036	45.249	325.885	49.327	335.212	6	236.262
NL	5.300	9.300	1.840	16.420	12.706	61.684	27.661	174.265	30.537	203.877	13	85.628
PT	42.000	121.385	21.960	265.558	9.233	330.448	5.500	239.663	6.000	210.963	21	126.578
SE	5.700	20.200	7.480	58.710	9.362	100.799	19.117	140.256	21.970	158.226	18	47.638
UK	5.000	39.000	7.000	65.000	7.596	100.996	11.850	108.190	15.230	119.420	2	52.309
EU 14	393.415	1.320.735	360.799	2.916.102	624.067	5.532.569	1.162.128	8.760.320	1.475.012	9.867.327	26	4.092.953

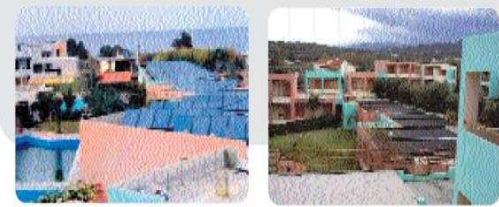
Πίνακας 2 : Ρυθμός μεταβολής της εγκατεστημένης επιφάνειας ηλιακών συλλεκτών στην Ευρώπη των 14 μέχρι το 2001 . [3]



μέχρι στιγμής. Το κράτος πρέπει να προσφέρει το εναρκτήριο λάκτισμά της με την προβολή οικονομικών κινήτρων στους ενδιαφερόμενους ιδιώτες. [15]

## Γιατί όμως αποτελεί ο ηλιακός κλιματισμός μία ενδιαφέρουσα πρόταση; [16]

Οι απαιτήσεις κλιματισμού στον τριτογενή τομέα αυξάνονται συνεχώς, ιδιαίτερα λόγω των μεγαλύτερων απαιτήσεων θερμικής άνεσης και των υψηλότερων θερμοκρασιών που έχουν εμφανιστεί κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας. Παράλληλα, εφαρμογές παθητικών και ημι-ενεργητικών συστημάτων, που χρησιμοποιούνται για αιώνες για τη διατήρηση άνετων συνθηκών σε εσωτερικούς χώρους, φαίνεται να μην αξιοποιούνται σε πολλά νέα κτήρια. Αυτή η όλο και περισσότερο εκτενής χρήση των ηλεκτροκίνητων συστημάτων ψύξης με συμπίεση είναι υπεύθυνη για την αυξανόμενη ζήτηση αιχμής της ηλεκτρικής ενέργειας το καλοκαίρι, η οποία φτάνει σε διάφορες περιπτώσεις στο ανώτατο όριο του δικτύου. Η εκπομπή αερίων ρύπων υπεύθυνων για το φαινόμενο του θερμοκηπίου αυξάνεται, είτε από την ενεργειακή παραγωγή, είτε από τυχόν διαρροές των ψυκτικών ρευστών, γεγονός που ενισχύει το φαύλο κύκλο των κλιματικών αλλαγών. Ένα μεγάλο εύρος επιλογών παθητικών συστημάτων είναι διαθέσιμο, είτε για εφαρμογή σε νέα κτήρια που βρίσκονται στο στάδιο του σχεδιασμού, είτε για ήδη υπάρχοντα, με σκοπό τη βελτίωση των συνθηκών εσωτερικών χώρων χωρίς τη χρήση οποιουδήποτε συστήματος κλιματισμού, ή τουλάχιστον τη δραστική μείωση των αναγκών ψύξης το καλοκαίρι. Την ίδια στιγμή, η ηλιακή ακτινοβολία είναι διαθέσιμη. Οι ηλιακές τεχνολογίες ψύξης που παρουσιάζονται στο διπλανό σχήμα έχουν αποδείξει, κάποιες για διάρκεια μεγαλύτερη των δέκα ετών, την αποδοτικότητα και αξιοπιστία τους. Αυτές οι τεχνολογίες χρησιμοποιούν αβλαβή ρευστά (κυρίως νερό) και πολύ λιγότερη πρωτογενή ενέργεια σε σχέση με τα κλασσικά συστήματα. Επομένως, γιατί να μη χρησιμοποιηθεί η ηλιακή ενέργεια με σκοπό τη διατήρηση άνετων συνθηκών σε εσωτερικούς χώρους ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού; Στην Ελλάδα αφ'ότου έγιναν το 1974 τα πρώτα βήματα ανάπτυξης εφαρμογών ανανεώσιμων πηγών (δηλαδή μετά την πετρελαϊκή κρίση του '73) η εξάπλωση της αγοράς ηλιακών συλλεκτών εξελίσσεται εντυπωσιακά



### Περιγραφή

Το Rethimno Village Hotel βρίσκεται στο Ρέθυμνο της Κρήτης, στη νότια Ελλάδα. Είναι τουριστικό συγκρότημα χωρητικότητας 170 κλινών και έχει πληρότητα 100% το καλοκαίρι και 45% το χειμώνα. Η εγκατάσταση χρησιμοποιεί επίπεδους συλλέκτες (επιλεκτικής επιφάνειας, 448 m<sup>2</sup>) για τον κεντρικό κλιματισμό (ψύξη και θέρμανση) και επίσης συλλέκτες

πολυπροπυλενίου 199 m<sup>2</sup> που τροφοδοτούν ζεστό νερό για τη θέρμανση της πισίνας. Ο σχεδιασμός, η προμήθεια και η εγκατάσταση αυτού του συστήματος έγιναν από τη SOLE A.E. Συνολική κλιματιζόμενη επιφάνεια: 3.000 m<sup>2</sup>.



### Περιγραφή

Το έργο λέγεται "ΦΩΤΟΝΟ" και αφορά στην εγκατάσταση κεντρικού συστήματος κλιματισμού κάνοντας χρήση ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση ή την ψύξη των νέων κτιρίων και αποθήκων καλλυντικών της επιχείρησης Σαράντης Α.Ε.

Ο κλιματιζόμενος χώρος είναι 22.000 m<sup>2</sup> (130.000 m<sup>3</sup>). Το πεδίο ηλιακών επιλεκτικών συλλεκτών συνολικής έκτασης 2.700 m<sup>2</sup> κατασκευάστηκε εξολοκλήρου στην Ελλάδα από τη SOLE A.E.



### Περιγραφή

Στο εμπορικό επιμελητήριο (IHK Sudlicher Oberthein) του Freiburg, λειτουργεί το πρώτο αυτόνομο ηλιακό θερμοκίνητο σύστημα ψύξης ανοικτού κύκλου DEC στη Γερμανία, το οποίο χρησιμοποιείται για την ψύξη δύο αίθουσών συνεδριάσεων το καλοκαίρι και για την προθέρμανση των χώρων το χειμώνα.

Το εμβαδόν της μικρής αίθουσας συνεδριάσεων είναι 65 m<sup>2</sup> ενώ της μεγάλης αίθουσας συνεδριάσεων είναι 148 m<sup>2</sup>. Η συνολική χωρητικότητα των αίθουσών είναι περίπου 120 ατόμων και ο συνολικός όγκος των διαμετρίων είναι 815 m<sup>3</sup>. Οι προσόψεις είναι γυάλινες, αλλά διαθέτουν εξωτερικές και εσωτερικές διατάξεις σκίασης. Η παροχή αέρα του συστήματος ψύξης ανοικτού κύκλου (desiccant) είναι μεταβλητή, από 2.500 m<sup>3</sup>/h έως 10.200 m<sup>3</sup>/h. Δεν υπάρχει εγκατεστημένο εφεδρικό σύστημα ψύξης, καθώς τα ψυκτικά φορτία έχουν αρκετά

καλή συσχέτιση με τα ηλιακά κέρδη. Εφεδρικό σύστημα θέρμανσης χρησιμοποιείται το χειμώνα, για να επιτευχθεί η απαιτούμενη θερμοκρασία του αέρα.

Προκειμένου να μειωθεί το κόστος της κατασκευής των υποστηρίγματός τους, οι συλλέκτες είναι τοποθετημένοι παράλληλα με τη κεκλιμένη στέγη (15°). Λόγω της χρήσης συλλεκτών αέρα και του υψηλού συσχετισμού μεταξύ των ηλιακών κερδών και του ψυκτικού φορτίου, δε χρησιμοποιείται μονάδα αποθήκευσης θερμότητας. Σαν συνέπεια της ηλιακής αυτονομίας κατά τη λειτουργία το καλοκαίρι, υπάρχουν αποκλίσεις από τις συνθήκες άνεσης (όπως καθορίζονται από το DIN 1946, μέρος 2) οι οποίες όμως βρίσκονται εντός του αναμενόμενου εύρους για το μικρό χρονικό διάστημα της λειτουργίας του συστήματος.

**Εικόνα 1 : Εφαρμογές ηλιακού κλιματισμού υπό την αιγίδα του Ευρωπαϊκού προγράμματος Climasol . [16]**

καθώς φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα. Κατά το έτος 2001 τοποθετούμαστε στην δεύτερη θέση ως προς τη συνολική εγκατεστημένη επιφάνεια και στην πρώτη θέση ως προς την ανηγμένη ανά πληθυσμό επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών (βλ. πίνακα 2)

Οι ρυθμοί αυτοί ανάπτυξης στον τομέα των ηλιακών συνεχίζονται μέχρι σήμερα διατηρώντας έτσι την Ελλάδα στην ίδια θέση, ακολουθούμενης της Γερμανίας .

Συνεπώς , η Ελλάδα αποτελεί μία από τις σημαντικότερες Ευρωπαϊκές δυνάμεις στον τομέα των ηλιακών συλλεκτών και διαφαίνεται η δυνατότητα επέκτασης της πολυετούς εμπειρίας της και της βιομηχανίας της στον τομέα του ηλιακού κλιματισμού . Οι εφαρμογές αυτές μπορούν όχι μόνο να διατηρήσουν ζωντανή την εγχώρια βιομηχανία, αλλά και να προσφέρουν πληθώρα νέων επιχειρηματικών ευκαιριών και νέες υπηρεσίες στους καταναλωτές, συμβάλλοντας ταυτόχρονα στην προστασία του περιβάλλοντος.

	In Operation <sup>2</sup>	Market (=Newly Installed)					Market Growth
	2007	2005	2006	2007	Flat Plate m <sup>2</sup>	Vacuum Collectors m <sup>2</sup>	2007/2006
	Total Glazed m <sup>2</sup>	Total Glazed m <sup>2</sup>	Total Glazed m <sup>2</sup>	Total Glazed m <sup>2</sup>			Total Glazed %
AT (Austria)	2 892 627	233 470	292 669	281 000	277 600	3 400	-4%
BE (Belgium)	146 118	20 234	35 636	42 000	37 000	5 000	18%
BG (Bulgaria)	25 100	2 000	2 200	2 500	-	-	14%
CH (Switzerland)	508 980	39 132	51 863	65 432	62 878	2 554	26%
CY (Cyprus)	625 200	50 000	60 000	65 000	-	-	8%
CZ (Czech Republic)	131 730	15 550	22 030	25 000	18 900	6 100	13%
DE (Germany)	8 994 000	950 000	1 500 000	940 000	840 000	100 000	-37%
DK (Denmark)	385 280	21 250	25 300	23 000	22 000	1 000	-9%
EE (Estonia)	1 470	250	300	350	-	-	17%
ES (Spain)	964 166	106 800	175 000	262 000	251 000	11 000	50%
FI (Finland)	20 493	2 383	3 200	4 000	3 000	1 000	25%
FR (France)	870 600	121 500	220 000	255 000	243 000	12 000	16%
GR (Greece)	3 570 200	220 500	240 000	283 000	279 000	4 000	18%
HU (Hungary)	14 250	1 000	1 000	8 000	6 000	2 000	700%
IE (Ireland)	30 790	3 500	5 000	15 000	10 000	5 000	200%
IT (Italy)	1 100 230	127 059	186 000	245 000	210 000	35 000	32%
LT (Lithuania)	3 450	500	600	700	-	-	17%
LU (Luxemburg)	18 900	1 900	2 500	3 000	-	-	20%
LV (Latvia)	5 350	1 000	1 200	1 500	-	-	25%
MT (Malta)	29 360	4 000	4 500	5 500	-	-	22%
NL (Netherlands)	338 341	20 248	14 685	19 900	17 900	2 000	36%
PL (Poland)	234 897	27 700	41 400	67 000	44 000	23 000	62%
PT (Portugal)	205 950	16 000	20 000	25 000	22 000	3 000	25%
RO (Romania)	69 600	400	400	500	-	-	25%
SE (Sweden)	262 394	22 621	28 539	25 465	15 554	9 911	-11%
SI (Slovenia)	121 300	4 800	6 900	12 000	10 300	1 700	74%
SK (Slovakia)	81 750	7 500	8 500	9 000	7 740	1 260	6%
UK (United Kingdom)	304 920	28 000	54 000	54 000	27 000	27 000	0%
EU27 + CH	21 957 446	2 049 297	3 003 422	2 739 847	-	-	-9%

Πίνακας 3 Εγκατεστημένη επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών κατά το έτος 2007 στην Ευρώπη των 27 . [ 3]





# 1

# ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

## 1.1 Προέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας .

Ο ήλιος είναι ένας τεράστιος αντιδραστήρας σύντηξης , όπου πραγματοποιείται μετατροπή του υδρογόνου σε ήλιο με ρυθμό 4 εκατομμύρια τόνους το δευτερόλεπτο. Η ισχύς της ακτινοβολίας που δέχεται η γη από τον ήλιο είναι κατά μέσο όρο  $173 \cdot 10^{15} \text{ W}$ . Για σύγκριση αναφέρεται ότι οι ετήσιες ενεργειακές ανάγκες της ανθρωπότητας είναι  $133 \cdot 10^{15} \text{ Wh}$  (2005) και αντιστοιχούν σε μία ισχύ  $15 \cdot 10^{12} \text{ W}$ . Είναι δηλαδή η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία κατά 11,000 φορές μεγαλύτερη από τις ενεργειακές ανάγκες όλης της ανθρωπότητας . Η γη ακτινοβολεί όση ενέργεια έχει λάβει , δημιουργώντας μια κατάσταση ενεργειακής ισορροπίας σε θερμοκρασία κατάλληλη για τη διατήρηση της ζωής.

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

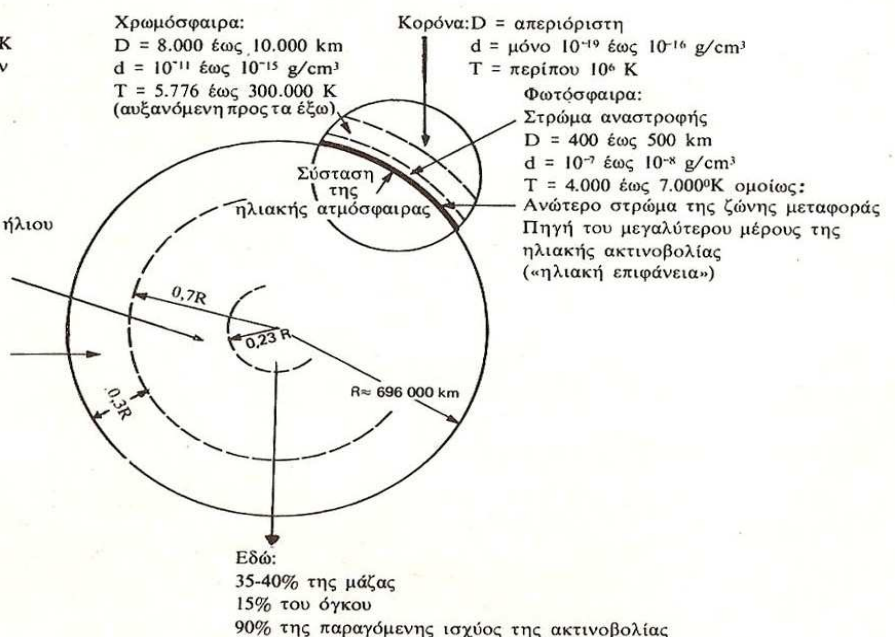
Χρωμόσφαιρα:  
 $D = 8.000 \text{ έως } 10.000 \text{ km}$   
 $d = 10^{-11} \text{ έως } 10^{-15} \text{ g/cm}^3$   
 $T = 5.776 \text{ έως } 300.000 \text{ K}$   
(αυξανόμενη προς τα έξω)

Κορόνα:  $D = \text{απεριόριστη}$   
 $d = \text{μόνο } 10^{-19} \text{ έως } 10^{-16} \text{ g/cm}^3$   
 $T = \text{περίπου } 10^6 \text{ K}$

Φωτόσφαιρα:  
Στρώμα αναστροφής  
 $D = 400 \text{ έως } 500 \text{ km}$   
 $d = 10^{-7} \text{ έως } 10^{-8} \text{ g/cm}^3$   
 $T = 4.000 \text{ έως } 7.000^\circ \text{K}$  ομοίως:  
Ανώτερο στρώμα της ζώνης μεταφοράς  
Πηγή του μεγαλύτερου μέρους της ηλιακής ακτινοβολίας («ηλιακή επιφάνεια»)

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

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



Σχήμα 3 : Σχηματική παράσταση της σύστασης του ήλιου . [19]

## Ενότητες

- 1.1 Προέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας .
- 1.2 Μορφή της ηλιακής ακτινοβολίας .
- 1.3 Υπολογισμός ηλιακής ακτινοβολίας .
- 1.4 Παραμετρικός υπολογισμός ηλιακού συλλέκτη στην περιοχή της Αθήνας .

## Στόχοι

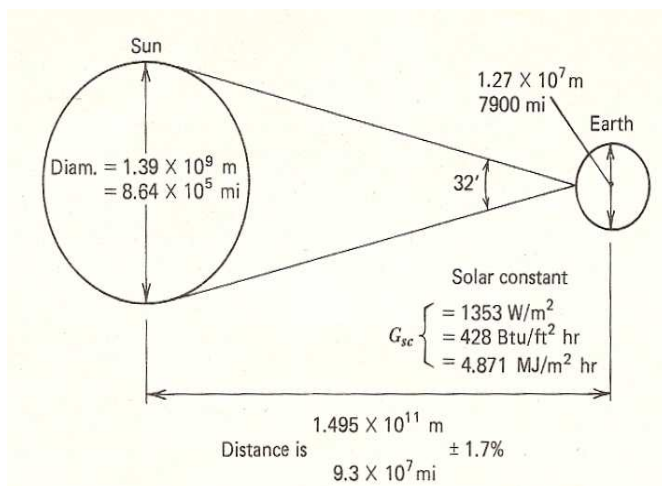
- Γνώση του ηλιακού δυναμικού και της δυνατότητας αξιοποίησής του .
- Κατάστρωση θεμελιωδών εξισώσεων υπολογισμού των βασικών μεγεθών ηλιακής ακτινοβολίας.
- Γνωριμία με τον τεχνολογικό εξοπλισμό δέσμωσης της ηλιακής ακτινοβολίας .

### Λίγα λόγια για τη φύση του ηλίου ...

Ο ήλιος είναι μία σφαίρα από εντόνως ζεστή αέρια ύλη με μία διάμετρο  $1.39 \cdot 10^9$  m και απέχει κατά μέσο όρο  $1.5 \cdot 10^{11}$  m από τη γη (βλ. σχήμα 4). Όπως φαίνεται από τη γη, ο ήλιος περιστρέφεται γύρω από τον άξονα του περίπου μία φορά κάθε τέσσερις (4) εβδομάδες. Εντούτοις, δεν περιστρέφεται ως στερεό σώμα: ο ημεμερινός χρειάζεται περίπου 27 ημέρες και οι πολικές περιοχές περίπου 30 ημέρες για κάθε περιστροφή.

Ο ήλιος έχει ισοδύναμη θερμοκρασία μέλανος σώματος 5762K. Η θερμοκρασία στα εσωτερικά κεντρικά στρώματα κυμαίνεται από  $8 \cdot 10^6$  σε  $40 \cdot 10^6$  K και η πυκνότητα περί 100 φορές της αντίστοιχης του νερού. Ο ήλιος στην πραγματικότητα είναι ένας συνεχής αντιδραστήρας σύντηξης με τα συνιστώμενα αέρια του ως ένα 'πλωτό μέσο' συγκρατούμενο από τις δυνάμεις βαρύτητας. Πολλαπλές αντιδράσεις σύντηξης έχουν προταθεί για να μοντελοποιήσουν την ακτινοβολούμενη ενέργεια από τον ήλιο: αυτή που θεωρείται ως πιο σημαντική είναι μια αντίδραση στην οποία το υδρογόνο (H) ενώνεται προς σχηματισμό ηλίου (He): η μάζα του πυρήνα του ηλίου είναι λιγότερη απ' αυτή των τεσσάρων (4) πρωτονίων, έλλειμμα μάζας το οποίο μετατράπηκε σε ενέργεια.

Αυτή η ενέργεια παράγεται στο εσωτερικό της ηλιακής σφαίρας, σε θερμοκρασία πολλών εκατομμυρίων βαθμών. Πρέπει να μεταφερθεί στην επιφάνεια και



**Σχήμα 4 : Γεωμετρικές διαστάσεις ηλίου – γης. [6]**

Περίπου το 30% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας ανακλάται απευθείας στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας χωρίς αλλαγή του μήκους κύματος (Albedo[18]). Περίπου 47% απορροφάται από την ατμόσφαιρα και την επιφάνεια της γης, προκαλεί ανύψωση της θερμοκρασίας και στη συνέχεια επανακτινοβολείται στο διάστημα (βλέπε σχήμα7). Το υπόλοιπο 23% γίνεται η κινητήρια δύναμη των ανέμων, των ρευμάτων, των κυμάτων, διαμορφώνει το

κλίμα και προκαλεί τον υδρολογικό κύκλο. Τελικά αυτή η ενέργεια επανακτινοβολείται στο διάστημα.

Ένα ποσοστό 0.02% του συνολικού ποσού εισέρχεται στο βιολογικό σύστημα με τη φωτοσύνθεση. Ένα μικρό ποσοστό της ενέργειας που αποθηκεύεται σαν χημική ενέργεια στα φυτά και στους ιστούς των ζώων, με την πάροδο εκατομμυρίων ετών και κάτω από ευνοϊκές γεωλογικές συνθήκες έχει μετασχηματισθεί σε κάρβουνο

ύστερα ακτινοβολείται στο διάστημα. Προκύπτει μία διαδοχή ακτινοβολίας και συναγωγής με διαδοχική εκπομπή, απορρόφηση και επανεκπομπής ακτινοβολίας· η ακτινοβολία στον πυρήνα του ήλιου πρέπει να είναι στο τμήμα των ακτίνων x και γ του φάσματος με τα μήκη κύματος της ακτινοβολίας να αυξάνουν καθώς η θερμοκρασία μειώνεται με την αύξηση της ακτινικής απόστασης.

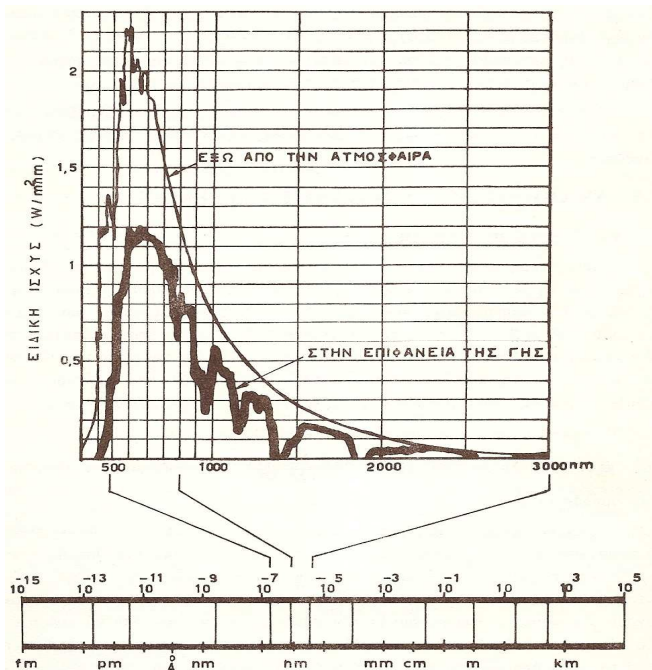
Ένα σχηματικό διάγραμμα της δομής του ήλιου φαίνεται στο σχήμα 3. Εκτιμάται ότι το 90% της ενέργειας παράγεται στην περιοχή από 0 έως 0.23R (όπου R η ακτίνα του ήλιου), το οποίο περιλαμβάνει το 40% της μάζας του ήλιου. Σε απόσταση 0.7R από το κέντρο η θερμοκρασία μειώνεται στα 130,000K και η πυκνότητα στα 70 Kg/m<sup>3</sup>. Εδώ η συναγωγή αρχίζει να γίνεται σημαντική και η ζώνη από 0.7R έως 1.0R είναι γνωστή ως ζώνη συναγωγής. Εντός αυτής της ζώνης η θερμοκρασία πέφτει στα 5000K και η πυκνότητα στα 10<sup>-5</sup> Kg/m<sup>3</sup>.

Η επιφάνεια του ήλιου φαίνεται να συντίθεται από κόκκους (granules) με διαστάσεις κυψελίδας από 1000 έως 3000Km και με διάρκεια ζωής λίγων λεπτών. Άλλα στοιχεία της επιφάνειας του ήλιου είναι μικρές σκοτεινές περιοχές που καλούνται πόροι, οι οποίοι είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με τα κελιά **συναγωγής** καθώς επίσης και μεγαλύτερες σκοτεινές περιοχές που λέγονται ηλιακές κηλίδες οι οποίες ποικίλουν στο μέγεθος. Το εξώτερο στρώμα της ζώνης συναγωγής λέγεται φωτόσφαιρα. Το τέλος της φωτόσφαιρας είναι αυστηρά καθορισμένο, αν και είναι αραιής πυκνότητας (περί 10<sup>-4</sup> αυτής του αέρα στο επίπεδο της θάλασσας). Ουσιαστικά είναι αδιαφανής, καθώς τα αέρια, από τα οποία αποτελείται, είναι

και πετρέλαιο, σχηματίζοντας το απόθεμα των ορυκτών καυσίμων. Βέβαια ο ρυθμός σχηματισμού των ορυκτών καυσίμων είναι ασήμαντος σε σύγκριση με τον ρυθμό κατανάλωσης. Συνεπώς θα μπορούσε να διατυπωθεί με ασφάλεια η άποψη ότι η ηλιακή ενέργεια αποτελεί 'πηγή όλων των πηγών ενέργειας'. [5]

## 1.2 Μορφή της ηλιακής ακτινοβολίας.

Το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας έξω από την ατμόσφαιρα ισοδυναμεί με την εκπομπή μέλανος σώματος θερμοκρασίας 6000°C περίπου. Είναι ένα συνεχές φάσμα από 200 περίπου nm (υπεριώδης) μέχρι 3000 περίπου nm (υπέρυθρη ακτινοβολία) με αιχμή γύρω στα 500 nm (βλέπε σχήμα 7). Τα κενά στη χαμηλότερη κα-

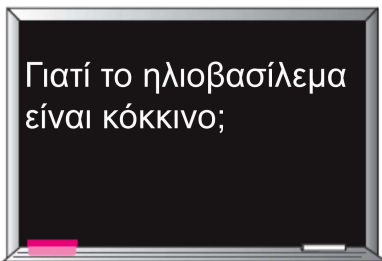


Σχήμα 5 : Το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας σε σχέση με το συνολικό φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. [5]

εντόνως ιονισμένα και ικανά να απορροφούν και να εκπέμπουν ένα συνεχές φάσμα της ακτινοβολίας. Η φωτόσφαιρα είναι η πηγή της περισσότερης ηλιακής ακτινοβολίας.

Εκτός της φωτόσφαιρας είναι μία περισσότερο ή λιγότερο διαφανής ατμόσφαιρα η οποία είναι παρατηρήσιμη κατά τη διάρκεια της ολικής έκλειψης ή με όργανα που κρύβουν το δίσκο του ηλίου. Πάνω από την ατμόσφαιρα είναι ένα στρώμα ψυχρότερου αερίου πολλών εκατοντάδων χιλιομέτρων βαθύ που ονομάζεται ανατρεπτική στιβάδα . Εκτός αυτής βρίσκεται ένα στρώμα που αναφέρεται ως χρωμόσφαιρα με βάθος περί τα 10,000Km. Αυτό είναι ένα αέριο στρώμα με θερμοκρασίες κάτι μεγαλύτερες της φωτόσφαιρας και με μικρότερη πυκνότητα . Ακόμη εξώτερα βρίσκεται η κορώνα με πολύ χαμηλή πυκνότητας και με πολύ υψηλή θερμοκρασία ( $10^6\text{K}$ ). Για περισσότερες πληροφορίες βλέπε Thomas (1958) ή Robinson (1966).

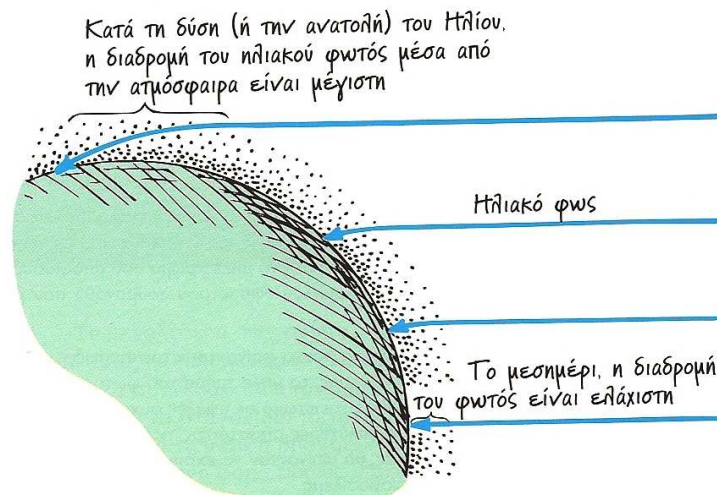
Αυτή η απλοποιημένη εικόνα του ήλιου , η φυσική του δομή και οι κλίσεις της πυκνότητας και της θερμοκρασίας θα μας χρησιμεύσουν ως βάση για την εκτίμηση ότι στην πραγματικότητα ο ήλιος δεν λειτουργεί ως ένας ακτινοβολητής μίας θερμοκρασίας μέλανος σώματος. Αντί αυτού η εκπεμπόμενη ηλιακή ακτινοβολία είναι το σύνθετο αποτέλεσμα των πολλών στρωμάτων που εκπέμπουν και απορροφούν ακτινοβολία σε πολλά μήκη κύματος . Η προκύπτουσα ηλιακή ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας της γης και η φασματική κατανομή έχουν πλέον μετρηθεί από πολλές μεθόδους σε πολλά πειράματα . [6]



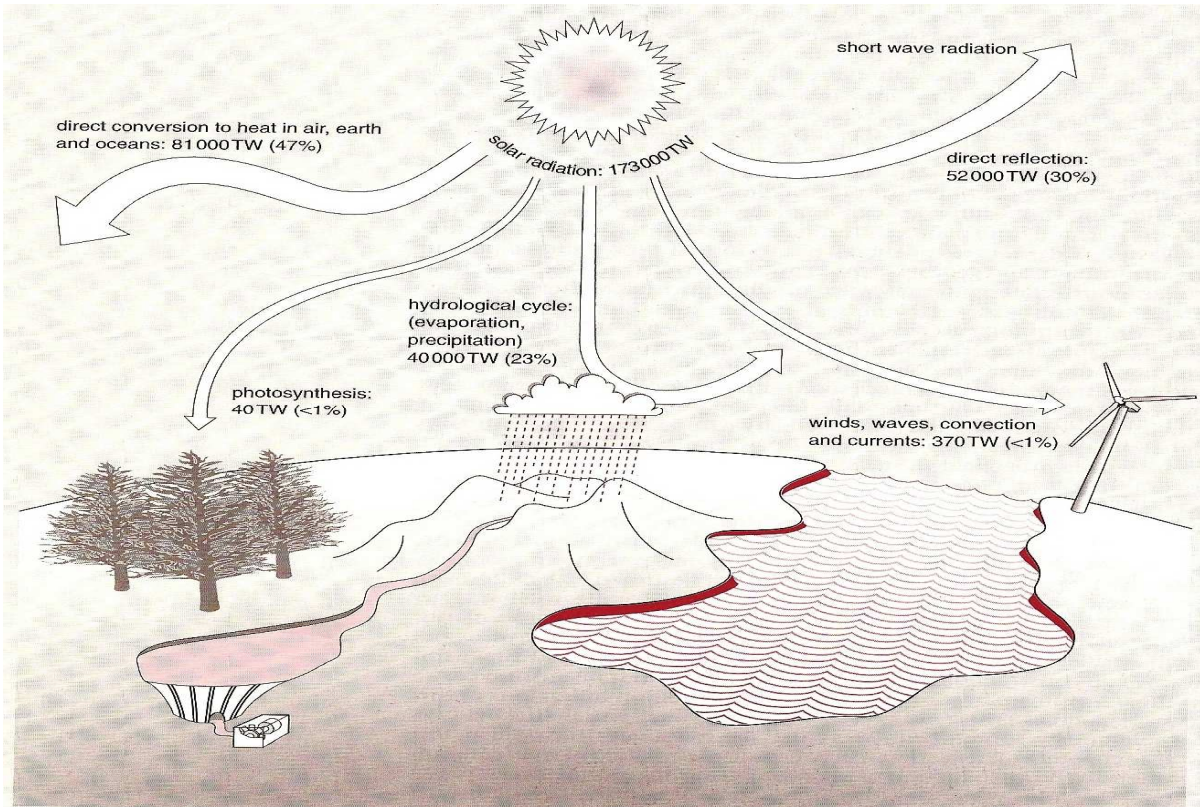
**Σχήμα 6 :** Κατά τη δύση του ηλίου , μία δέσμη ηλιακού φωτός πρέπει να διασχίσει μεγαλύτερο στρώμα ατμόσφαιρας απ'ότι το μεσημέρι μέχρι να φτάσει στην επιφάνεια της γης . Το κόκκινο που σκεδάζεται περισσότερο από όλα τα χρώματα και επομένως διέρχεται σε μεγαλύτερο ποσοστό , μπορεί να διασχίσει μεγαλύτερο στρώμα της ατμόσφαιρας . Έτσι όπως δείχνει η εικόνα το ηλιακό φως διασχίζει μεγαλύτερη διαδρομή κατά το ηλιοβασίλεμα δίνοντας του έτσι το ιδιαίτερο οικείο μας κόκκινο χρώμα ! [7]

μπύλη δείχνουν τις χαρακτηριστικές περιοχές απορρόφησης των αερίων της ατμόσφαιρας .

Η ηλιακή ακτινοβολία , κατά τη διέλευσή της στην ατμόσφαιρα , υπόκειται σε εξασθένηση αφ'ενός λόγω διασκορπισμού υπό των μορίων του αέρα , του υδρατμού και της σκόνης και αφ'ετέρου λόγω απορρόφησης από το όζον ( $\text{O}_3$ ) , το οξυγόνο ( $\text{O}_2$ ), το άζωτο ( $\text{N}_2$ ) ,το μονοξείδιο και το διοξείδιο του άνθρακα καθώς και των υδρατμών . Επιπρόσθετη εξασθένηση της προκύπτει λόγω της διαδρομής που πραγματοποιεί για να φθάσει στην επιφάνεια της γης (λόγος επίσης αλλαγής του χρωματισμού της ατμόσφαιρας).







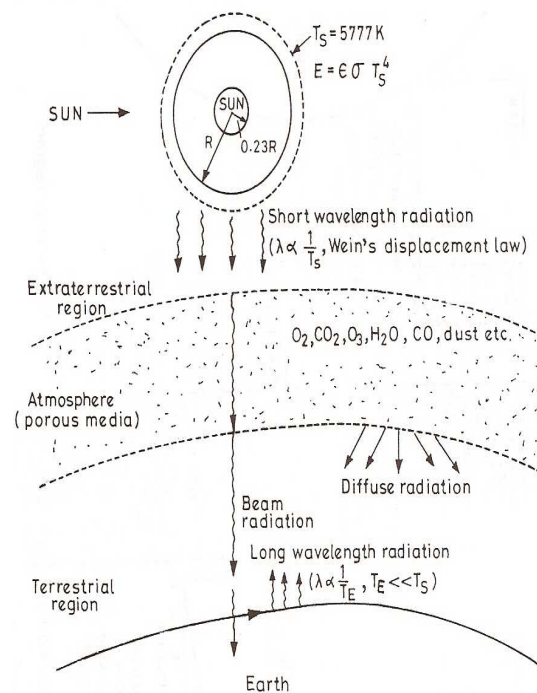
Σχήμα 7 :Μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας στις διάφορες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Από το διασκορπισμό προκύπτει η διάχυτος ακτινοβολία .Η απορρόφηση δεν γίνεται ομοιόμορφα αλλά κατά ζώνες φάσματος.

Οι ακτίνες X και άλλες πολύ μικρού μήκους κύματος ακτινοβολίες του ηλιακού φάσματος απορροφώνται στην ιονόσφαιρα από το άζωτο , το οξυγόνο και τα άλλα ατμοσφαιρικά συστατικά.

Η απορρόφηση από το όζον συμβαίνει στην υπεριώδη περιοχή του φάσματος , ενώ η απορρόφηση από τον υδρατμό και τα οξείδια του άνθρακα συμβαίνει στην υπέρυθη περιοχή. [9]

Η ένταση της ακτινοβολίας , που φθάνει στα ακρότατα όρια της ατμόσφαιρας έχει μικρές διακυμάνσεις , αλλά η μέση τιμή ,  $1353\text{ W/m}^2$  , ονομάζεται ηλιακή σταθερά . Η δραστηριότητα των κηλίδων μπορεί να μεταβάλλει την ισχύ της εκπεμπόμενης ενέργειας κατά  $\pm 2\%$  και υπάρχει επίσης μία διακύμανση  $\pm 3.5\%$  λόγω της μεταβολής της απόστασης ηλίου – γης .



Σχήμα 8: Διάκριση της ακτινοβολίας σε άμεση και διάχυτο κατά την είσοδό της στην ατμόσφαιρα της γης. [19]

### 1.3 Υπολογισμός ηλιακής ακτινοβολίας.

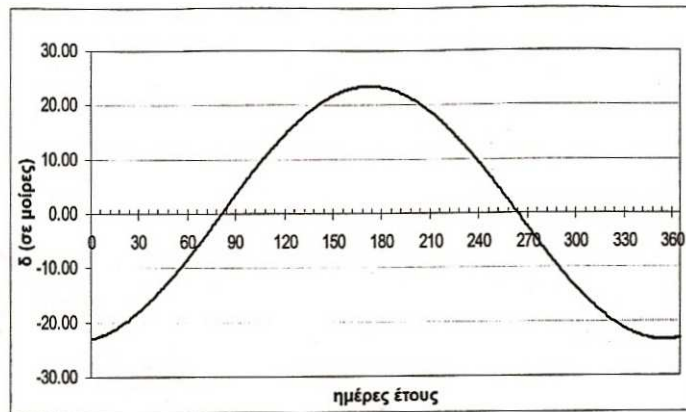
**Κορυφή της  
ατμόσφαιρας**

#### 1.3.1 Θεωρητικά δεδομένα υπολογισμού.[2],[9]

Η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην κορυφή της ατμόσφαιρας δεν είναι σταθερή εξαιτίας των μεταβολών της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας από τον ήλιο (>1.5%, δεν λαμβάνεται υπόψη) και της απόστασης γης ηλίου.

Η ηλιακή απόκλιση δίνεται από τον τύπο:

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



Διάγραμμα 1: Ηλιακή απόκλιση δ.[9]

Η ωριαία γωνία δύσης ή ανατολής από τον τύπο:

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

Η μέση μηνιαία ακτινοβολία στην κορυφή της ατμόσφαιρας δίνεται από τη σχέση :

$$(1.1) \quad \overline{H_0} = \frac{24 \cdot 3600}{\pi} \cdot G_{sc} \cdot \left(1 + 0.033 \cdot \cos\left(\frac{360 \cdot n}{365}\right)\right) \cdot \left[\cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega_s + \frac{2 \cdot \pi \cdot \omega_s}{360} \cdot \sin \varphi \cdot \sin \delta\right]$$

Όπου :

- $G_{sc}$  = Ηλιακή σταθερά (  $1353 \text{ W/m}^2$  )
- $n$  = Ημέρα του έτους (  $1 < n < 365$  ) βλ.πίνακα 4.
- $\varphi$  = Γεωγραφικό πλάτος
- $\delta$  = Ηλιακή απόκλιση
- $\omega_s$  = Ωριαία γωνία δύσης ή ανατολής

μήνας	ημέρα μήνα	τιμές μέσης ημέρας μήνα		
		ημέρα	ημέρα έτους	ηλιακή απόκλιση $\delta$
Ιανουάριος	i	17	17	-20.9
Φεβρουάριος	31 + i	16	47	-13.0
Μάρτιος	59 + i	16	75	-2.4
Απρίλιος	90 + i	15	105	9.4
Μάιος	120 + i	15	135	18.8
Ιούνιος	151 + i	11	162	23.1
Ιούλιος	181 + i	17	198	21.2
Αύγουστος	212 + i	16	228	13.5
Σεπτέμβριος	243 + i	15	258	2.2
Οκτώβριος	273 + i	15	288	-9.6
Νοέμβριος	304 + i	14	318	-18.9
Δεκέμβριος	334 + i	10	344	-23.0

Πίνακας 4: Πίνακας εύρεσης μέσης μέρας μήνα και της αντίστοιχης ηλιακής απόκλισης .[9]

Για τον υπολογισμό της μέσης ακτινοβολίας χρησιμοποιούμε μια χαρακτηριστική μέρα κάθε μήνα , όπως δίνεται στον πίνακα 4.

Όταν η ατμόσφαιρα είναι καθαρή και ο ήλιος αρκετά ψηλά ώστε οι ακτίνες να προσπίπτουν σχεδόν κάθετα στην επιφάνεια της γης , το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια απευθείας είναι γύρω στα 72%. Έκτος από το ποσοστό αυτό άλλα 7% φτάνουν στην επιφάνεια μετά από διάχυση στα σωματίδια της ατμόσφαιρας. Τα υπόλοιπα 18% απορροφούνται από το όζον , τους υδρατμούς , τον αέρα και την σκόνη , ενώ 3% επιστρέφει πίσω στο διάστημα. Φυσικά σε περίπτωση που οι ποσότητες των υδρατμών είναι περισσότερες , η απορρόφηση είναι μεγαλύτερη και έτσι φτάνει μικρότερο ποσοστό από το 79% στην επιφάνεια της γης .

**Οριζόντια επιφάνεια**

Συντελεστής αιθριότητας είναι το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας στην κορυφή της ατμόσφαιρας που φτάνει στην επιφάνεια της γης . Μέσες μηνιαίες τιμές του συντελεστή αιθριότητας είναι διαθέσιμες για του μετεωρολογικούς σταθμούς όπου υπάρχουν μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας.

(1.2)

$$H = K_T \cdot H_o$$

Όπου :

$H_o$  = Μέση μηνιαία ακτινοβολία στην κορυφή της ατμόσφαιρας .

$K_T$  = Μέση μηνιαίος συντελεστής αιθριότητας .

$H$  = Μέση μηνιαία ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια .

### Κεκλιμένη επιφάνεια

Η ηλιακή ακτινοβολία σε μια κεκλιμένη επιφάνεια  $H_T$  έχει τρεις συνιστώσες , την άμεση ακτινοβολία , την διάχυτη ακτινοβολία και την ανακλώμενη :

(1.3)

$$H_T = R \cdot H$$

$$R = \left[ \left( 1 - \frac{H_d}{H} \right) \cdot R_b \right] + \left[ \frac{H_d}{H} \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) \right] + \left[ r \cdot \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \right]$$

*Άμεση*
*Διάχυτη*
*Ανακλώμενη*

όπου :

$H$  = Η μέση ημερήσια μηνός ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια .

$H_d$  = Η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο .

$R_b$  = ο λόγος της άμεσης ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο προς την άμεση ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο .

$\beta$  = η κλίση της επιφάνειας .

$r$  = ο συντελεστής ανακλαστικότητας της περιοχής γύρω από την κεκλιμένη επιφάνεια .



Ο λόγος της άμεσης ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο προς την μέση ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο δίνεται από τη σχέση :

$$R_b = \frac{\cos(\phi - \beta) \cdot \cos \delta \cdot \cos(\omega) + \sin(\phi - \beta) \cdot \sin \delta}{\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos(\omega) + \sin \phi \cdot \sin \delta} \quad (1.4)$$

Ο λόγος της διάχυτης ακτινοβολίας προς τη συνολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο συσχετίζεται με τον συντελεστή αιθριότητας με βάση μετρήσεις της διάχυτης ακτινοβολίας .[1]

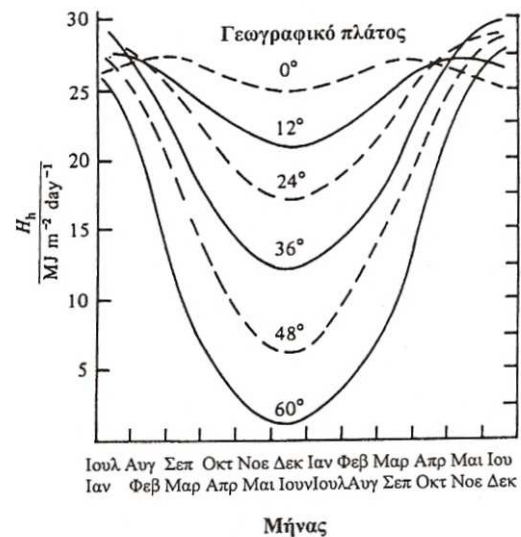
### Διαθεσιμότητα της ηλιακής ακτινοβολίας

Η ηλιακή ακτινοβολία μεταβάλλεται με την εποχή του έτους , το γεωγραφικό πλάτος αλλά και την ώρα της ημέρας . Στο σχήμα 9 δίνεται η μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας με το γεωγραφικό πλάτος και το μήνα του έτους , στο βόρειο και το νότιο ημισφαίριο.

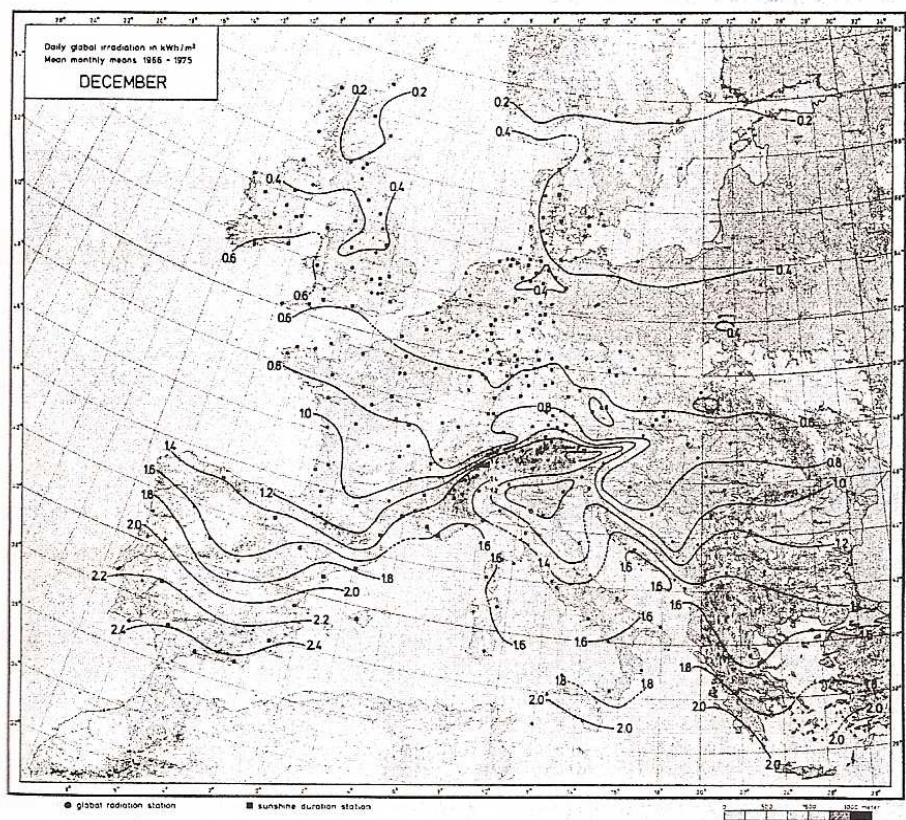
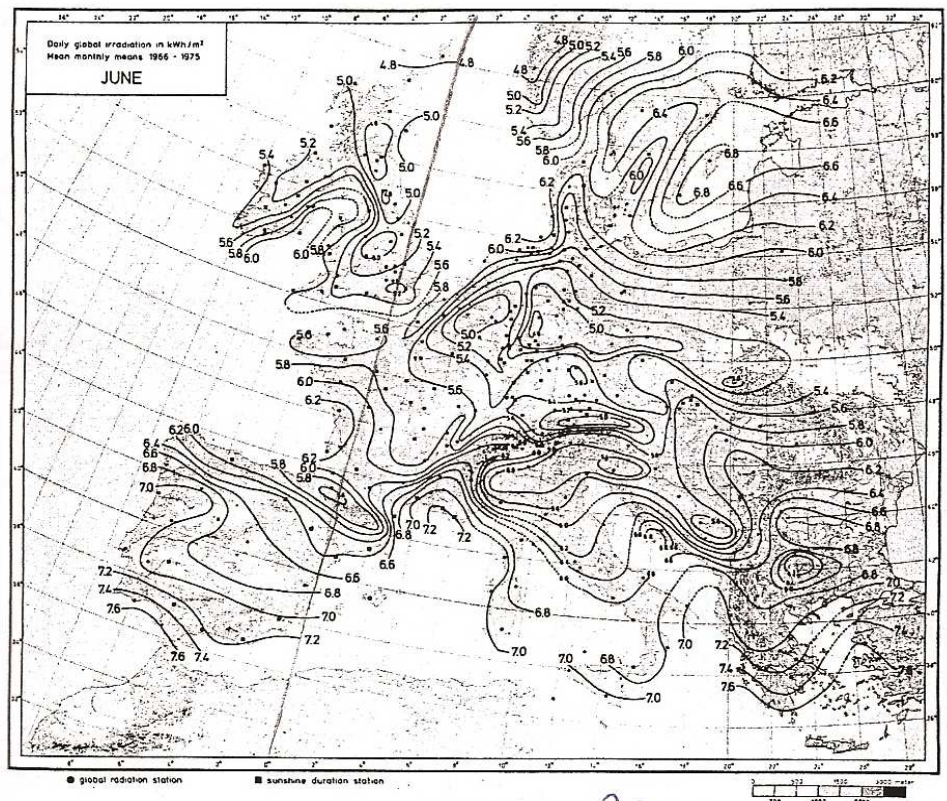
Στο σχήμα 9 δίνονται οι τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας στην Ευρώπη για τους μήνες Ιούνιο και Δεκέμβριο . Παρατηρούμε ότι η ηλιακή ακτινοβολία το χειμώνα είναι πολύ μικρότερη απ'ότι το καλοκαίρι . Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι ο ημερήσιος ηλιακός χρόνος μικραίνει τους χειμερινούς μήνες . Η τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας για το μήνα Δεκέμβριο στη κεντρική Ευρώπη είναι μόλις το 10% της αντίστοιχης τιμής του Ιουνίου. Για τη βελτιστοποίηση της αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας σε βόρειες περιοχές απαιτείται η χρήση της σε εφαρμογές με έντονη ζήτηση κατά την καλοκαιρινή περίοδο . Η συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας το χειμώνα είναι δύσκολη.

### Κλίση και προσανατολισμός επιφάνειας συλλογής.

Η επιφάνεια συλλογής θα πρέπει να έχει κλίση προς τον ήλιο για τη μέγιστη συλλογή ακτινοβολίας . Η κλίση της επιφάνειας εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής και την εποχή του χρόνου που απαιτείται η περισσότερη ενέργεια. Εάν η κλίση της επιφάνειας είναι ίση με το γεωγραφικό πλάτος τότε οι ακτίνες του ήλιου θα την βρίσκουν κάθετα το μεσημέρι του Μαρτίου και του Σεπτεμβρίου.



Διάγραμμα 2 : Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας με το γεωγραφικό πλάτος και το μήνα του έτους . [2]



Σχήμα 9 : Ηλιακή ακτινοβολία το καλοκαίρι και το χειμώνα .[2]



Για τη μεγιστοποίηση της συλλογής της ηλιακής ενέργειας το καλοκαίρι (οπότε και η μεγαλύτερη διαθεσιμότητα της ακτινοβολίας), η επιφάνεια θα πρέπει να έχει κλίση πιο κοντά στο οριζόντιο επίπεδο. Αντίθετα, το χειμώνα (οπότε και απαιτείται περισσότερη ενέργεια) η επιφάνεια θα πρέπει να έχει κλίση πιο κοντά στο κάθετο επίπεδο.

Αντίστοιχη είναι και η επίδραση του προσανατολισμού σε κατεύθυνση διαφορετική από τη νότια. Για τις περισσότερες ηλιακές εφαρμογές ο προσανατολισμός μπορεί να είναι από νοτιοανατολικός μέχρι νοτιοδυτικός. Μεγάλο ποσοστό των υφισταμένων κτηρίων έχουν οροφές με προσανατολισμό κατάλληλο για ανάπτυξη της ηλιακής ενέργειας.

### Εκτίμηση ηλιακού δυναμικού

Η ηλιακή ενέργεια έχει τεράστιο θεωρητικό δυναμικό. Η ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει στη γη είναι μεγαλύτερη κατά τρεις τάξεις μεγέθους από την ετήσια παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας.

Η διαθεσιμότητα όμως της ηλιακής ενέργειας εξαρτάται, όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω από την γεωγραφική θέση, τις μετεωρολογικές συνθήκες και την διαθεσιμότητα του εδάφους. Χρησιμοποιώντας χοντρικές εκτιμήσεις για τις διάφορες περιοχές του πλανήτη, το διαθέσιμο ηλιακό δυναμικό παρουσιάζεται στον πίνακα 5 και συσχετίζεται με την παρούσα

Παράμετρος	Ενέργεια Exajoules
Ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια της γης με τιμή 1,37 kW/m <sup>2</sup>	5,5x10 <sup>6</sup>
Ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία από την ατμόσφαιρα προς το διάστημα με 0,3 kW/m <sup>2</sup>	1,6x10 <sup>6</sup>
Ηλιακή ακτινοβολία εν δυνάμει αξιοποιήσιμη με τιμή 1,0 kW/m <sup>2</sup>	3,9x10 <sup>6</sup>
Λόγος της εν δυνάμει αξιοποιήσιμης ηλιακής ακτινοβολίας προς την σημερινή παγκόσμια πρωτογενή κατανάλωση ενέργειας (402 Exajoules)	~9.000

Πίνακας 5: Εκτίμηση ετήσιου θεωρητικού ηλιακού δυναμικού. [2]

και την μελλοντική παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας.

Η εκτίμηση αυτή δεν παίρνει υπόψη της τους τεχνολογικούς, οικονομικούς και κοινωνικούς περιορισμούς, εκτός από τη διαθεσιμότητα του εδάφους, όπου γίνονται δυο διαφορετικές παραδοχές.

Το ηλιακό δυναμικό που παρουσιάζεται στον πίνακα 5 είναι παραπάνω από αρκετό για να καλύψει ακόμη και τις εκτιμώμενες ενεργειακές ανάγκες του πλανήτη πολύ αργότερα και από το 2100. Άρα η συνεισφορά της ηλιακής ενέργειας δεν πρόκειται να περιορισθεί από την δι-

αθεσιμότητα της πηγής . Οι άλλοι παράγοντες που θα καθορίσουν το κατά πόσο θα εφαρμοσθεί η ηλιακή ενέργεια σε μεγάλη κλίμακα σε ένα μακροπρόθεσμο ορίζοντα : η διαθεσιμότητα αποδοτικής και χαμηλού κόστους τεχνολογίας καθώς και η διαθεσιμότητα αποδοτικών ενεργειακών τεχνολογιών αποθήκευσης για τον ηλεκτρισμό.

### 1.3.2 Πειραματικά δεδομένα υπολογισμού για την περιοχή της Αθήνας .

Το αστεροσκοπείο της Αθήνας μετρά και καταγράφει την στιγμιαία τιμή της ολικής ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου ,  $G$  ( $W/m^2$ ) , για κάθε ώρα της ημέρας και κάθε ημέρα του έτους . Με στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων των ετών 1961 – 1980 προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα :

$$(1.5) \quad G_b = M_t + A_t \cdot \sin\left(\frac{360 \cdot n}{365} - P_t\right)$$

$$G_d = m_t + a_t \cdot \sin\left(\frac{360 \cdot n}{365} - p_t\right)$$

Η σχέση 1.5 και ο διπλανός πίνακας έχουν χρησιμοποιηθεί στον κώδικα Gt.for που παρουσιάζεται στο παράρτημα για τον υπολογισμό της ολικής προσπίπτουσας κεκλιμένου επιπέδου ακτινοβολίας .

Όπου οι συντελεστές  $M_t$  ,  $A_t$  ,  $P_t$  ,  $m_t$  ,  $a_t$  ,  $p_t$  δίνονται για κάθε ώρα  $t$  στον πίνακα 6.

Time t hrs LST	$M_t$ kW/m <sup>2</sup>	$A_t$ kW/m <sup>2</sup>	$P_t$ degrees	$m_t$ kW/m <sup>2</sup>	$a_t$ kW/m <sup>2</sup>	$p_t$ degrees
07.00	0.007	0.046	86.18	0.048	0.111	81.23
08.00	0.057	0.068	87.31	0.134	0.127	82.45
09.00	0.119	0.104	87.94	0.208	0.133	83.94
10.00	0.191	0.129	88.31	0.261	0.129	85.60
11.00	0.258	0.153	89.35	0.283	0.117	86.05
12.00	0.319	-0.181	-88.88	0.271	0.095	82.71
13.00	0.342	-0.194	-89.18	0.243	0.081	81.95
14.00	0.325	0.183	87.21	0.210	0.083	87.23
15.00	0.269	0.166	86.22	0.176	0.087	89.53
16.00	0.183	0.147	82.10	0.141	-0.085	-88.19
17.00	0.078	0.131	79.85	0.104	-0.079	-88.97
18.00	-0.025	0.114	77.36	0.051	0.091	86.79

Πίνακας 6 : Συντελεστές της εξίσωσης 1.1 . [9]

### 1.4 Παραμετρικός υπολογισμός ωφέλιμης ισχύος ηλιακού συλλέκτη και βαθμός απόδοσης τυπικού ηλιακού συλλέκτη στην περιοχή της Αθήνας .

Η ωφέλιμη  $\dot{Q}_u$  (W/m<sup>2</sup>) αποδιδόμενη ισχύς επίπεδου ηλιακού συλλέκτη δίνεται από τον παρακάτω τύπο :

$$Q_u = F_R \cdot (\tau \cdot \alpha) \cdot G_T - F_R \cdot U_L \cdot (T_i - T_{amb}) \quad (1.6)$$

και ο βαθμός απόδοσης του συλλέκτη από τη σχέση :

$$n_i = \frac{Q_u}{G_T} \quad (1.7)$$

Όπου :

- FR - παράγοντας θερμικής απολαβής του συλλέκτη
- (τα) - γινόμενο της διαπερατότητας του καλύματος επί την απορροφητικότητα του απορροφητήρα του συλλέκτη
- UL - συντελεστής συνολικών θερμικών απωλειών του συλλέκτη  $\left[ \frac{W}{m^2 \cdot grad} \right]$
- Ti - θερμοκρασία εισόδου του ρευστού στον συλλέκτη
- Tamb - θερμοκρασία ξηρής σφαίρας περιβάλλοντος.

Εκτός από τις θεωρητικές σχέσεις υπάρχουν και πειραματικές συσχετίσεις .Η παρακάτω αποτελεί μία τέτοια για συλλέκτη κενού και θα χρησιμοποιηθεί και στο υπολογιστικό μέρος [20]:

$$\dot{q}_{coll} = 0.71 \cdot G_T - 0.00244 \cdot (T_{coll} - T_{amb}) \quad (1.8)$$

**Λίγα λόγια για τους συλλέκτες . [4]**

Οι θερμικοί ηλιακοί συλλέκτες που διατίθενται στην αγορά παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα . Τα συστήματα υψηλών θερμοκρασιών όπως οι παραβολικοί συλλέκτες με σύστημα παρακολούθησης του ηλίου δε λαμβάνονται υπόψη . Στα συστήματα ηλιακού κλιματισμού , η διαφορά στη λειτουργία των ηλιακών συλλεκτών σε σχέση με τα ηλιακά συστήματα ζεστού νερού χρήσης είναι το υψηλό επίπεδο θερμοκρασίας , στο οποίο πρέπει να παρασχεθεί η χρήσιμη θερμότητα . Για τους θερμοκίνητους ψύκτες η θερμοκρασία αναγέννησης είναι συνήθως άνω των 80°C με ελάχιστη τιμή 60 °C . Για τα συστήματα ψύξης DEC , η θερμοκρασία αναγέννησης είναι από 55 °C ως και 90 °C . Λόγω των υψηλών παροχών στο κύκλωμα θέρμανσης , η ιδανική στρωμάτωση στην αποθήκευση ζεστού νερού είναι δύσκολο να επιτευχθεί και έτσι η θερμοκρασία επιστροφής στον ηλιακό συλλέκτη είναι σχετικά υψηλή . Αυτό προκαλεί μερικούς περιορισμούς στην επιλογή του τύπου συλλεκτών .



Εικόνα 2 : Συστοιχίες ηλιακών συλλεκτών .[14]

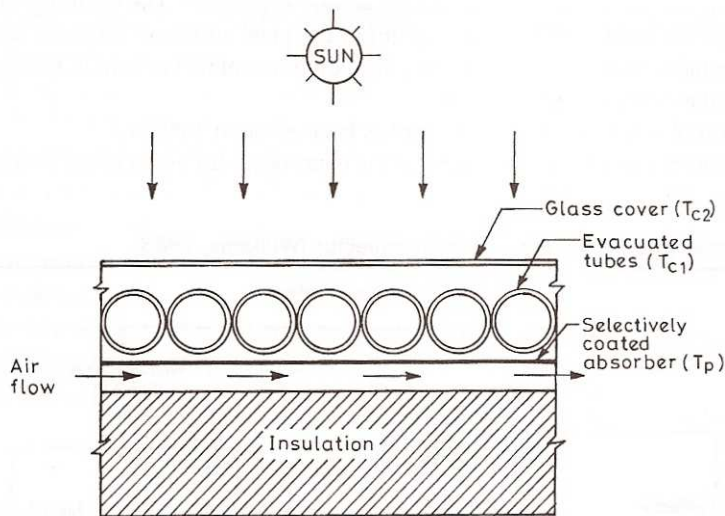
Πίνακας 7 : Τύποι ηλιακών συλλεκτών . [5]

Τύπος συλλεκτών	Ηλιακός συλλέκτης αέρα	Επίπεδος συλλέκτης	Σταθερός παραβολικός σύνθετος συλλέκτης	Συλλέκτης Σωλήνων Κενού
Σύντηξη	(Solar Air Collector) SAC	(Flat-Plate Collector) FPC	(Stationary Parabolic Compound Collector) CPC	Evacuated Tube Collector ETC: 1. Evacuated Tube with Heat Pipe EHP (με σωλήνα θερμότητας) 2. Evacuated Tube with Direct Flow EDF (απ'αυθείας ροής) 3. Sydnay-type Evacuated Tube with Concentrator Reflector SYC (τύπος Sydney με συγκεντρωτικό ανακλαστήρα)
Αρχή λειτουργίας	Άμεση θέρμανση του αέρα	Θέρμανση υγρού (νερό, νερό-γλυκόλη) Συγκέντρωση ακτινοβολίας χωρίς παρακαλούθηση	Θέρμανση υγρού (νερό, νερό-γλυκόλη)	Γυάλινος σωλήνας κενού για μείωση των θερμικών απωλειών
Κύρια εφαρμογή	Προθέρμανση του αέρα προσαγωγής	Παραγωγή ζεστού νερού χρήσης	Παραγωγή ζεστού νερού οικιακής και βιομηχανικής χρήσης	Παραγωγή ζεστού νερού οικιακής και βιομηχανικής χρήσης
Κύρια εφαρμογή στον ηλιακό κλιματισμό	Ανακτά συστήματα ψύξης, π.χ. συστήματα ψύξης DEC	Συστήματα ψύξης DEC θερμοκίνητοι ψύκτες μιας βαθμίδας	Θερμοκίνητοι ψύκτες μιας βαθμίδας	Θερμοκίνητοι ψύκτες μιας βαθμίδας θερμοκίνητοι ψύκτες διπλής βαθμίδας (SYC)



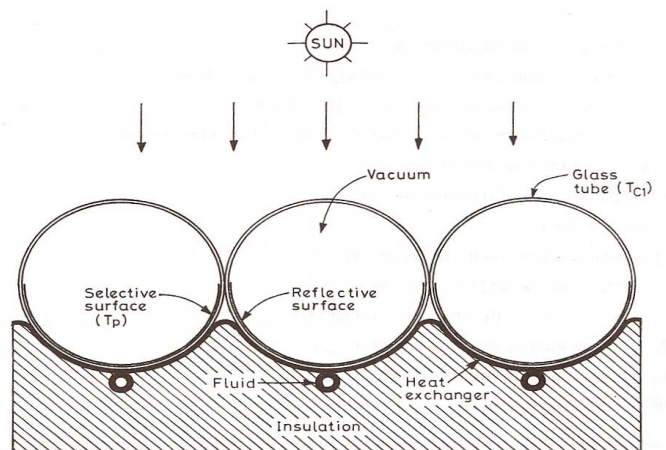
Συνεπώς, οι τυποποιημένοι επίπεδοι συλλέκτες και οι ηλιακοί συλλέκτες αέρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν με μέγιστο όφελος στα συστήματα DEC. Στις διατάξεις που χρησιμοποιούν ψύκτη προσρόφησης ή απορρόφησης μονής βαθμίδας, η χρήση επίπεδων συλλεκτών επιλεκτικής επιφάνειας περιορίζεται σε περιοχές με υψηλή ηλιακή ακτινοβολία. Για τις άλλες περιοχές και για ψύκτες που απαιτούν υψηλότερες θερμοκρασίες αναγέννησης, χρησιμοποιούνται συλλέκτες υψηλής απόδοσης, π.χ συλλέκτες σωλήνων κενού. Από τα σταθερά συστήματα συλλεκτών, οι υψηλότερες θερμοκρασίες μπορούν να επιτευχθούν με συλλέκτες σωλήνων κενού, χρησιμοποιώντας οπτική συγκέντρωση. Αυτή αποτελεί ενδιαφέρουσα επιλογή για τα συστήματα ηλιακού κλιματισμού που χρησιμοποιούν υψηλής απόδοσης ψύκτες απορρόφησης (διπλής βαθμίδας).

Στο υπολογιστικό κομμάτι έχει υποτεθεί χρήση ηλιακών συλλεκτών κενού για τον υπολογισμό της ωδέλιμης ισχύος. Για πληρέστερη εικόνα της λειτουργίας τους παραθέτω το σχήμα 10 που απεικονίζει 2 τομές τέτοιων συλλεκτών:



Οι συλλέκτες κενού αναπτύσσουν μεγαλύτερες θερμοκρασίες από τους επίπεδους, εφόσον μέσω του δημιουργούμενου κενού ελαχιστοποιούνται οι απώλειες συναγωγής και έχουμε πλέον μόνο απώλειες ακτινοβολίας! [19]

Σχήμα 10 : Συλλέκτες κενού [19] :  
 α) Όψη τομής συλλέκτη Solaron  
 β) Όψη τομής συλλέκτη κενού Phillips



**Θερμοκρασία ξηρής σφαίρας στην Αθήνα .**

Η ημερήσια μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας ξηρής σφαίρας περιβάλλοντος στην περιοχή της Αθήνας προέκυψε με στατιστική επεξεργασία σχετικών μετρήσεων πολλών ετών της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας , στον τομέα Θερμότητας του Ε.Μ.Π.

Η θερμοκρασία αυτή στην Αθήνα υπολογίζεται για κάθε ώρα και ημέρα ενός τυπικού έτους από την εξίσωση :

$$( 1.9 ) \quad T_{amb} = M + \sum_{i=1}^3 C_i \cdot \cos \frac{360 \cdot i \cdot (t - 0.5)}{24} + \sum_{i=1}^3 S_i \cdot \cos \frac{360 \cdot i \cdot (t - 0.5)}{24}$$

Όπου  $t = 1 \div 24$  , η ώρα της ημέρας .

Οι συντελεστές  $M$  ,  $C_i$  και  $S_i$  δίνονται στον πίνακα 7.

Day	M	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
21 JAN	9.384	-1.6730	0.7110	0.0085	-1.7230	0.5240	-0.2410
21 FEB	10.984	-2.1500	0.7860	-0.1070	-1.7500	0.5780	-0.0724
21 MAR	11.956	-1.8980	0.6510	-0.0097	-1.0840	0.2560	-0.0093
21 APR	15.072	-2.6680	0.7270	0.2690	-1.7630	0.2430	0.2120
21 MAY	20.724	-2.7960	0.7590	0.0926	-1.3440	0.1190	0.3080
21 JUN	26.192	-3.3930	1.1150	0.1560	-2.1960	-0.1390	0.1570
21 JUL	28.080	-3.3590	0.8110	0.2720	-2.0770	0.1340	0.1400
21 AUG	27.880	-3.1130	0.8840	0.0670	-1.9780	0.4860	0.3610
21 SEP	23.236	-3.3100	1.0350	-0.0495	-1.6960	0.4770	0.2210
21 OCT	18.144	-2.6300	1.0850	-0.1440	-1.4270	0.6040	0.1380
21 NOV	11.968	-1.3000	0.6160	-0.2520	-0.3170	0.6290	-0.0490
21 DEC	9.264	-1.1100	0.5210	-0.1520	-0.8810	0.3330	0.0080

**Πίνακας 8 : Συντελεστές της εξίσωσης 1.5 . [21]**



# 2 ΨΥΚΤΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ

## 2.1 Ηλιακός κλιματισμός – Τεχνική επισκόπηση .[4]

Στα συστήματα ηλιακού κλιματισμού , η διαδικασία ψύξης τροφοδοτείται από την ηλιακή ακτινοβολία . Οι πιο κοινές τεχνολογίες κλιματισμού με τη χρήση της ηλιακής ενέργειας , παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα :

Τα συστήματα ηλιακού κλιματισμού που χρησιμοποιούνται μέχρι τώρα μπορούν να ταξινομηθούν σε :




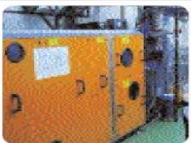
- Κλειστά συστήματα : αυτά είναι θερμοκίνητοι ψύκτες που παρέχουν ψυχρό νερό , το οποίο είτε χρησιμοποιείται στις κεντρικές κλιματιστικές μονάδες για να παρέχει πλήρως κλιματισμένο αέρα ( ψυχρό , ξηρό ) είτε διανέμεται μέσω ενός δικτύου ψυχρού νερού σε καθορισμένους χώρους για να ενεργοποιήσει τις τοπικές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

### Ενότητες

- 2.1 Ηλιακός κλιματισμός – Τεχνική επισκόπηση
- 2.2 Ψύξη δι' απορρόφησης .
- 2.3 Παραγωγή ψύξεως με μηχανή απορρόφησης H<sub>2</sub>O – LiBr.

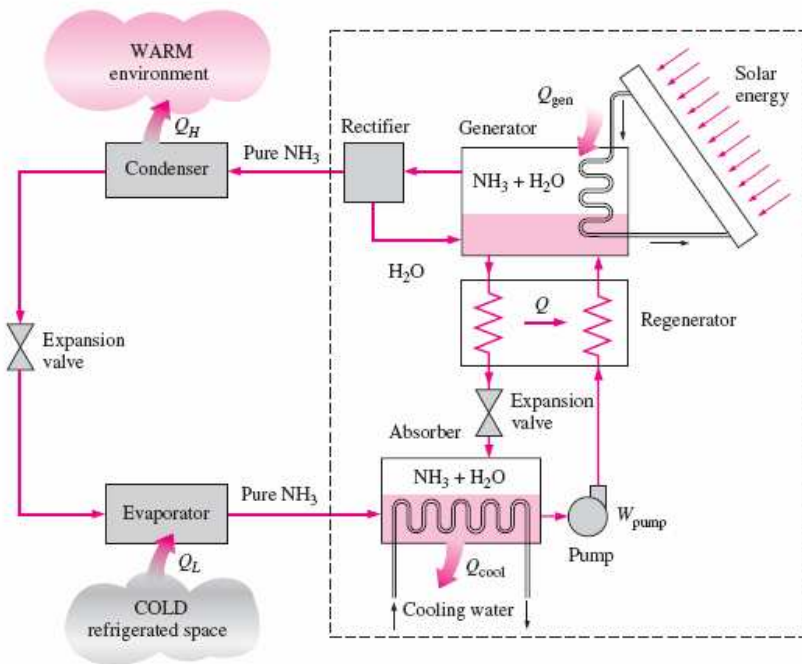
### Στόχοι

- Γνωριμία με τους θερμοκίνητους ψύκτες – μηχανές απορρόφησης
- Κατανόηση του κύκλου λειτουργίας του διμερούς διαλύματος .
- Κατάστρωση απαραίτητων εξισώσεων για τον υπολογισμό της ψυκτικής ισχύος της εγκατάστασης.

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

Πίνακας 9 : Επισκόπηση των πιο κοινών τεχνολογιών ηλιακού κλιματισμού . [4]

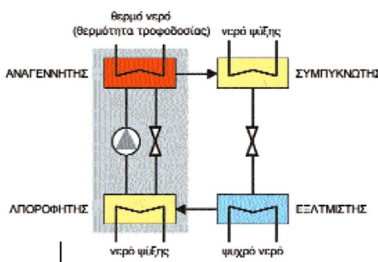
- Ανοικτά συστήματα : που επιτρέπουν πλήρη κλιματισμό παρέχοντας ψυχρό και ξηρό αέρα σύμφωνα με τις απαιτούμενες συνθήκες άνεσης . Το ψυκτικό μέσο είναι πάντα νερό , δεδομένου ότι είναι σε άμεση επαφή με τον αέρα . Τα πιο κοινά συστήματα είναι συστήματα ψύξης ανοικτού κύκλου ( desiccant ) , που χρησιμοποιούν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



Σχήμα 11 : Ψυκτικός κύκλος απορρόφησης αμμωνίας . [10]

Στην παρούσα εργασία θα μελετήσουμε μόνο τα κλειστά συστήματα και συγκεκριμένα μόνο με τη διαδικασία απορρόφησης .

## 2.2 Ψύξη δι' απορρόφησης . [11]



Σχήμα 12 : Σχηματικό διάγραμμα ενός ψύκτη απορρόφησης . [4]

Οι ψύκτες απορρόφησης είναι οι πιο διαδεδομένοι ψύκτες παγκοσμίως . Η θερμική συμπίεση του ψυκτικού μέσου επιτυγχάνεται με τη χρήση υγρού διαλύματος ψυκτικού μέσου / ροφητικού υλικού και πηγή θερμότητας , αντικαθιστώντας με αυτόν τον τρόπο την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ενός μηχανικού συμπιεστή .

Για ψυχρό νερό άνω των 0°C , όπως απαιτείται στον κλιματισμό , τυπικά χρησιμοποιείται ένα υγρό διάλυμα H<sub>2</sub>O / LiBr , με το νερό ως ψυκτικό μέσο . Τα περισσότερα συστήματα χρησιμοποιούν εσωτερική αντλία για το διάλυμα , καταναλώνοντας όμως μικρή ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας . Στη λειτουργία του ψύκτη απορρόφησης H<sub>2</sub>O / LiBr , η κρυστάλλωση του διαλύματος πρέπει να αποφευχθεί με εσωτερικό έλεγχο της θερμοκρασίας απόρριψης θερμότητας στην μηχανή .

Τα κύρια σημεία ενός ψύκτη απορρόφησης παρουσιάζονται στην σχήμα 12 .

Η ψύξη βασίζεται στην εξάτμιση του ψυκτικού μέσου ( νερό ) στον εξατμιστή σε πολύ χαμηλές πιέσεις . Το ατμοποιημένο ψυκτικό μέσο απορροφάται στον απορ-

ροφητή , αραιώνοντας το διάλυμα  $H_2O / LiBr$  (για να καταστεί η διαδικασία απορρόφησης αποδοτική , απαιτείται ψύξη σε αυτό το στάδιο της διεργασίας ) .Το διάλυμα αντλείται συνεχώς στον αναγεννητή ( γεννήτρια ατμού ) , όπου επιτυγχάνεται η αναγέννηση του διαλύματος χρησιμοποιώντας θερμότητα ( θερμότητα αναγέννησης / τροφοδοσίας ) , π.χ ζεστό νερό από ηλιακά . Το ψυκτικό μέσο στη συνέχεια , συμπυκνώνεται στο συμπυκνωτή και κυκλοφορεί με τη βοήθεια μιας στραγγαλιστικής / εκτονωτικής βαλβίδας πάλι στον εξατμιστή. Η ονομαστική ψυκτική ικανότητα των ψυκτών απορρόφησης είναι της τάξης αρκετών εκατοντάδων kW . Τροφοδοτούνται κυρίως μέσω κεντρικής θέρμανσης , απορριπτόμενης θερμότητας ή θερμότητας συμπαραγωγής . Η απαιτούμενη θερμοκρασία της θερμικής πηγής είναι συνήθως πάνω από  $80^{\circ}C$  για τις μηχανές μονής βαθμίδας ενώ ο COP είναι της τάξης του 0.6 έως 0.8 . Μηχανές διπλής βαθμίδας με δύο στάδια συμπίεσης , απαιτούν θερμοκρασία άνω των  $140^{\circ}C$  , αλλά ο COP μπορεί να πετύχει τιμές μέχρι και 1.2 .

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί δύο εργαζόμενα μέσα ήτοι το καθαυτό ψυκτικό μέσο και το μέσο απορροφήσεως . Δύο κλασικά ζεύγη παρομοίων μέσων είναι :

- α) Αμμωνία – Νερό (  $NH_3 - H_2O$  )
- β) Νερό – Διάλυμα Βρωμιούχου Λιθίου (  $H_2O - LiBr$  )

Στην πρώτη περίπτωση το ψυκτικό μέσο είναι η αμμωνία και το μέσο απορρόφησης το νερό . Στη δεύτερη περίπτωση ψυκτικό μέσο είναι το νερό και μέσο απορροφήσεως το διάλυμα βρωμιούχου λιθίου .

Χαρακτηριστικό γνώρισμα των ψυκτικών διατάξεων δι' απορροφήσεως είναι ότι απαιτούν ελάχιστη ή καθόλου μηχανική ενέργεια και ότι παράγουν την ψυκτική ισχύ μόνο δια χρήσεως θερμικής ενέργειας . Η θερμική ενέργεια απαιτείται για τον εκ νέου διαχωρισμό του ψυκτικού μέσου από το μέσο απορροφήσεως στην υψηλή πίεση όπου βρίσκονται . Ο διαχωρισμός αυτός επιτυγχάνεται με βρασμό και κλασματική απόσταξη . Η θερμική ενέργεια που προσδίδεται προέρχεται είτε από υδρατμό είτε καύση φυσικών αερίων ή υγρών καυσίμων είτε εν προκειμένω με χρήση ηλιακών συλλεκτών . Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία έχει η θερμότητα που προσδίδεται για την λειτουργία της ψυκτικής διατάξεως δι' απορρο-

φήσεως , τόσο χαμηλότερη θερμοκρασία ατμοποίησης δύναται να επιτευχθεί .

Με διατάξεις αμμωνίας – νερού μπορούν να επιτευχθούν θερμοκρασίες παραγωγής ψυκτικής ισχύος μέχρι και  $-70^{\circ}\text{C}$  με μονοβάθμια εγκατάσταση . Την θερμοκρασία αυτή καμμία μονοβάθμια διάταξη συμπίεσης ατμού μπορεί να πλησιάσει , λόγω του εξαιρετικά μεγάλου λόγου συμπίεσης που απαιτείται .

Οι διατάξεις νερού – διαλύματος LiBr έχουν περιορισμένη δυνατότητα θερμοκρασίας ατμοποίησης . Ο περιορισμός εδώ οφείλεται στο γεγονός ότι το νερό , που χρησιμοποιείται στις διατάξεις αυτές ως ψυκτικό μέσο , στερεοποιείται στους  $0^{\circ}\text{C}$ . Οι διατάξεις αυτές δεν εργάζονται ποτέ σε θερμοκρασίες κάτω από τους  $4^{\circ}\text{C}$  και χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις κλιματισμού .

Τέτοιες διατάξεις αποτελούν και το αντικείμενο εξέτασης του παρόντος εκπονήματος .

### 2.2.1 Διατάξεις νερού – διαλύματος LiBr



Εικόνα 3 : Ψύκτες στο στάδιο της εγκατάστασης στο έργο "Φωτόνιο" της επιχείρησης Σαράντης στα Οινόφυτα.

Οι διατάξεις απορροφήσεως νερού - διαλύματος LiBr κατασκευάζονται σε 2 τύπους :μεγάλης και μικρής ψυκτικής ισχύος (στο διπλανή εικόνα παρουσιάζεται ένα μεγάλης ισχύος έργο στα Οινόφυτα Αττικής).Οι μεγάλης ισχύος μονάδες κατασκευάζονται για ψυκτική ισχύ από 100 μέχρι 1500 ψυκτικούς τόνους ( R.T ) δηλαδή από 0.35 μέχρι και 5.3 MW και οι μικρές για ισχύ από 3 μέχρι 25 R.T δηλαδή 10 έως 88 KW .

Η αρχή λειτουργίας αμφότερων παρίσταται επί του σχήματος 12.Στην ατμογεννήτρια

προσδίδεται έξωθεν η θερμική ενέργεια  $\dot{Q}_T$  , που ατμοποιεί μερικά την πλούσια διάλυση η οποία προωθείται στην ατμογεννήτρια με την βοήθεια της αντλίας διαλύματος . Προϊόν της μερικής ατμοποίησης είναι αφενός μεν ο ατμός , αφετέρου το υπόλοιπο της διαλύ-



σεως , το οποίο περιέχει πολύ λιγότερο ψυκτικό μέσο και ονομάζεται φτωχή διάλυση .

Όπως είναι γνωστό ο ατμός που εξωθείται από την πλούσια διάλυση αποτελείται κατά το μεγαλύτερο μέρος από ψυκτικό μέσο και μόνο ίχνη μέσου απορρόφησης περιέχει .

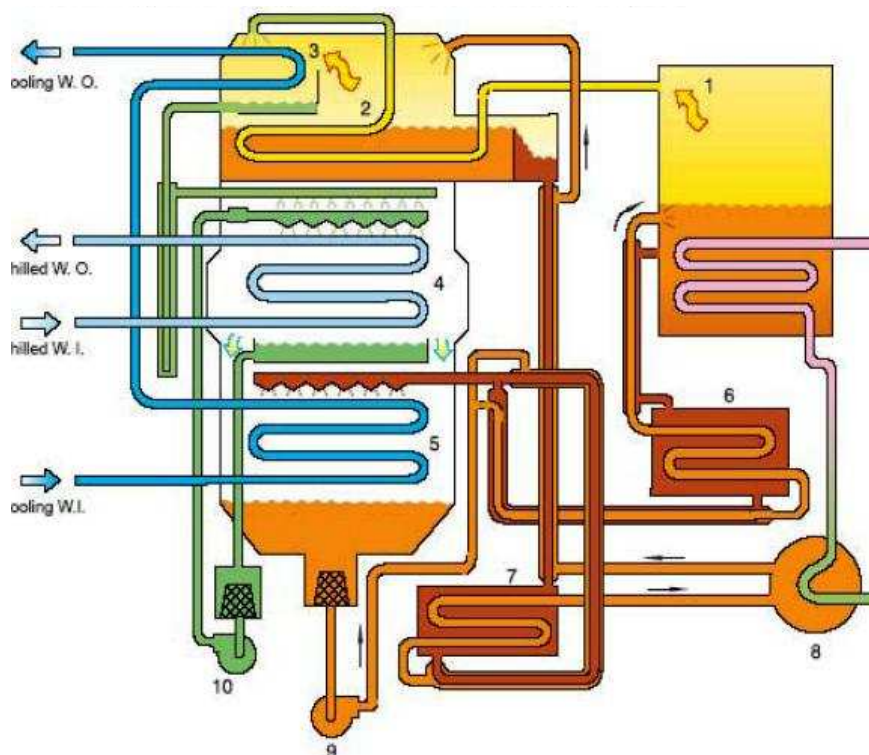
Η φτωχή διάλυση απομακρύνεται από την ατμογεννήτρια και μετά το στραγγαλισμό στην αντίστοιχη βαλβίδα στραγγαλισμού επιστρέφει στον απορροφητή .

Ο ατμός οδηγείται στον συμπυκνωτή , όπου συμπυκνείται αποβάλλοντας την θερμότητα συμπυκνώσεως . Το συμπύκνωμα οδεύει προς το τμήμα της εγκαταστάσεως με την χαμηλή πίεση μέσω δεύτερης βαλβίδας στραγγαλισμού και στην συνέχεια παράγει δι' ατμοποίησης του στον ατμοποιητή την ψυκτική ισχύ .

Ο ατμός χαμηλής πίεσεως που παράγεται στο στοιχείο ατμοποίησης ρέει τέλος προς τον απορροφητή , όπου και απορροφάται από την φτωχή διάλυση . Προϊόν της απορρόφησης αυτής είναι η πλούσια διάλυση , η οποία με την αντλία διαλύματος καταθλίβεται εκ νέου προς την ατμογεννήτρια .

Η θερμοκρασία ατμοποίησης εξαρτάται , όπως είναι φυσικό , από την πίεση που επικρατεί εντός του στοιχείου ατμοποίησης . Η πίεση αυτή όμως εξαρτάται περαιτέρω από την σύνθεση της φτωχής διαλύσεως στον απορροφητή , καθώς και από την θερμοκρασία του απορροφητή . Δεδομένου ότι η σύνθεση της φτωχής διαλύσεως εξαρτάται από την θερμοκρασία κατά κύριο λόγο εντός της ατμογεννήτριας – γιατί η από τον συμπυκνωτή καθοριζόμενη υψηλή πίεση δεν μεταβάλλεται αισθητά στις διάφορες εγκαταστάσεις – συμπεραίνεται ότι η θερμοκρασία ατμοποίησης , και συνεπώς παραγωγής της ψυκτικής ισχύος είναι συνάρτηση κατά κύριο λόγο , της μέγιστης θερμοκρασίας της ατμογεννήτριας .

Οι διατάξεις μεγάλης ισχύος διακρίνονται από κατασκευαστικής πλευράς σε μονάδες δύο κελυφών και μονάδες ενός κελύφους .



- Concentrated solution
- Diluted solution
- Refrigerant vapor
- Refrigerant /condensed W.
- Cooling W.
- Chilled W.
- Heat source steam

1. High-temp. generator(HTG)
2. Low-temp. generator(LTG)
3. Condenser
4. Evaporator
5. Absorber
6. High temp. heat exchanger(HTHE)
7. Low temp. heat exchanger(LTHE)
8. Condensed W. heat exchanger
9. Solution pump
10. Refrigerant pump

Σχήμα 12 : Ψυκτική μηχανή απορρόφησης .[12]

Το σχήμα 12 παριστά σχηματικά ψυκτική διάταξη νερού – διαλύματος LiBr δύο κελυφών . Το πάνω κέλυφος περικλείει την ατμογεννήτρια και τον συμπυκνωτή δηλαδή την υψηλή πίεση και το κάτω τον απορροφητή και το στοιχείο ατμοποίησης δηλαδή την χαμηλή πίεση. Παρά την χρήση των όρων χαμηλή και υψηλή πίεση πρέπει να μην παραβλέπεται το γεγονός ότι ολόκληρη η μονάδα λειτουργεί υπό κενό και ότι στο πάνω κέλυφος

επικρατεί πίεση περίπου 0.1 ata και στο κάτω κέλυφος 0.01 ata . Για το λόγο αυτό οι μονάδες αυτές είναι αρκετά ευαίσθητες στην παρουσία αδρανών αερίων τα οποία ελαττώνουν το αναγκαίο κενό και γι'αυτό εφοδιάζονται πάντοτε με διάταξη εξαερώσεως .

Στο σχήμα 12 απεικονίζονται τα κυριότερα στοιχεία μίας διατάξεως απορροφήσεως νερού – διαλύματος LiBr δύο κελυφών . Το θερμό νερό που παράγεται από τους ηλιακούς συλλέκτες τροφοδοτείται στην ατμογεννήτρια 1 και παράγει τον ατμό του ψυκτικού μέσου (  $H_2O$  ) . Ο ατμός ψυκτικού μέσου συμπυκνείται στην συνέχεια στον συμπυκνωτή 3 και ρέει ως συμπύκνωμα προς το στοιχείο ατμοποίησης 4 όπου και καταιονίζεται επί του αγωγού – εναλλάκτη , δια του οποίου διέρχεται το ψυχόμενο νερό που απάγει την ψυκτική ισχύ . Το στοιχείο ατμοποίησης είναι εφοδιασμένο με την αντλία ανακυκλοφορίας 10 για συνεχή λειτουργία του καταιονιστή . Ο ατμός του ψυκτικού μέσου απορροφάται ακολούθως υπό του διαλύματος στον απορροφητή 5 και μεταφέρεται εκ νέου δια της αντλίας διαλύματος 9 προς την ατμογεννήτρια .

Ως προς την ορολογία των δύο διαφορετικής περιεκτικότητας διαλυμάτων της διατάξεως επικρατεί ακόμη ασάφεια και σύγχυση . Ο όρος 'φτωχό' και 'πλούσιο' διάλυμα δεν έχει ορισθεί μονοσήμαντα , γιατί χρησιμοποιείται άλλοτε μεν για το ψυκτικό μέσο και άλλοτε δε για το μέσο απορρόφησης . Ακολουθώντας σύσταση της Ashrae θα χρησιμοποιηθεί ο όρος 'ασθενές μέσο απορροφήσεως' για το διάλυμα το οποίο απορρόφησε ήδη ατμό ψυκτικού μέσου στον απορροφητή και δεν έχει μεγάλη ικανότητα περαιτέρω απορροφήσεως . Ο όρος 'ισχυρό μέσο απορροφήσεως' θα χαρακτηρίζει το διάλυμα που απέδωσε ήδη στην ατμογεννήτρια ατμό ψυκτικού μέσου και έτσι αποκτά αυξημένη ικανότητα απορροφήσεως ατμού ψυκτικού μέσου εκ νέου .

Η παράσταση των μεταβολών του διαλύματος γίνεται συνήθως σε διαγράμματα με άξονες την κατά μάζα σύ-

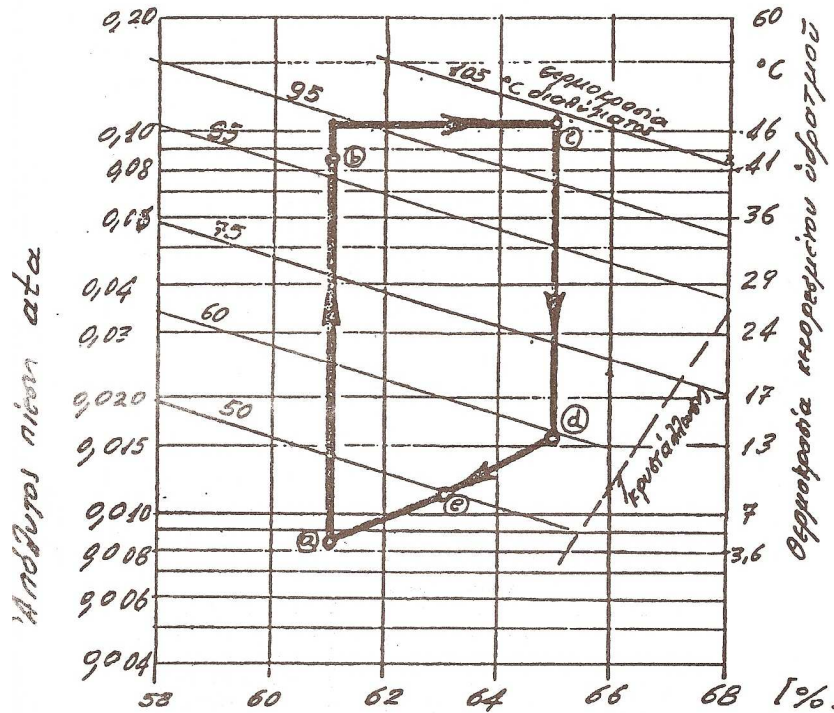


Εικόνα 4 : Κτήριο κατασκευασμένο για ερευνητικούς σκοπούς από το SERT (School of Renewable Energy Technology ) στην Ταιλάνδη . Για τις κλιματιστικές ανάγκες χρησιμοποιεί 10 tn LiBr/ $H_2O$ . [13]

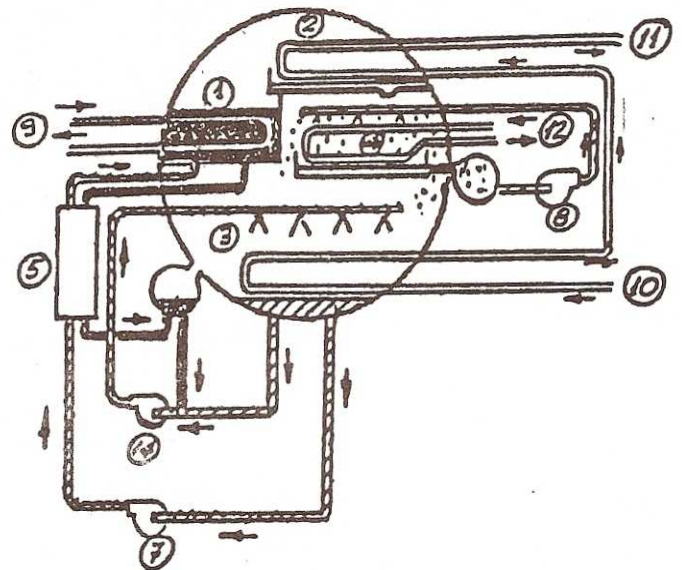
σταση και την πίεση . Ένα παράδειγμα παρομοίου διαγράμματος δίνεται στο διάγραμμα 3. Η μεταβολή ab απεικονίζει την θέρμανση του ασθενούς μέσου απορρόφησης στον εναλλάκτη θερμότητας . Η περαιτέρω θέρμανση του από το σημείο b μέχρι την υψηλή πίεση γίνεται εντός της ατμογεννήτριας , όπου στην συνέχεια έχουμε την παραγωγή του ατμού ψυκτικού μέσου κατά μήκος της ισόθλιπτης μέχρι το σημείο c . Η ψύξη του ισχυρού μέσου απορρόφησης παρίσταται δια της μεταβολής cd και η ακολουθούσα απορρόφηση δια της μεταβολής da . Οι μεταβολές αυτές λαμβάνουν χώρα μεταξύ διαλυμάτων συγκεντρώσεως 61% και 65% . Από το διάγραμμα είναι εμφανές , ότι το σημείο d βρίσκεται πλησίον της οριακής γραμμής κρυστάλλωσης και πρέπει να ληφθεί μέριμνα για την αποφυγή της .

Η εμφάνιση κρυστάλλων , οι οποίοι προκαλούν ακόμα και διακοπή λειτουργίας , είναι ένα από τα προβλήματα των διατάξεων του είδους αυτού , μαζί με την απομάκρυνση των αδρανών αερίων από αυτές .

Για μεγαλύτερη ασφάλεια λειτουργίας χρησιμοποιείται ανάμιξη του ισχυρού μέσου απορρόφησης, που προέρχεται από την ατμογεννήτρια, με διάλυμα από τον απορροφητή , προ της εισόδου αυτού στον αναρροφητή . Η βελτίωση αυτή παρίσταται στο σχήμα 13 για διάταξη ενός κελύφους . Η λειτουργία της είναι παρόμοια προς την λειτουργία των διατάξεων δύο κελύφων του σχήματος 12. Οι μεταβολές του διαλύματος για την περίπτωση που υπάρχει διάταξη αναμίξεως παρίσταται στο διάγραμμα 4. Είναι προφανές ότι η ανάμιξη



Διάγραμμα 3 : Παράσταση των μεταβολών του διαλύματος LiBr μιας διατάξεως απορρόφησης νερού - διαλύματος



Σχήμα 14 : Ψυκτική διάταξη απορρόφησης νερού - διαλύματος LiBr ενός κελύφους. [11]



εδώ επιτρέπει τη χρήση μεγαλύτερης συγκεντρώσεως για το ισχυρό μέσο απορροφήσεως , παρά το ότι η πίεση ατμοποίησης παραμένει εξίσου χαμηλή όπως και προηγουμένως .

Οι ψυκτικές αυτές διατάξεις χρησιμοποιούνται όπως ήδη έχει λεχθεί στις κλιματιστικές εγκαταστάσεις . Για ευχερέστερη σύγκριση και για μονοσήμαντο καθορισμό της ψυκτικής ισχύος αυτών έχουν γίνει αποδεκτές ως ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας αυτών ( ASHRAE ) τα παρακάτω :

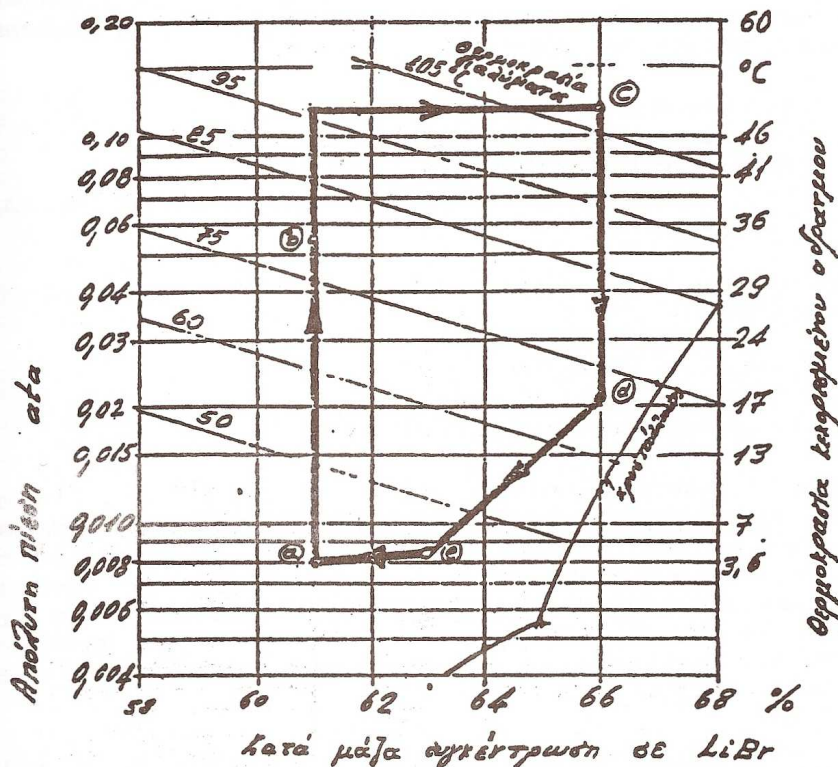
1. Ψύξη ψυχόμενου νερού σε  $6.7^{\circ}\text{C}$  (  $44^{\circ}\text{F}$  ) .
2. Θερμοκρασιακή διαφορά ψυχόμενου νερού  $5.5^{\circ}\text{C}$  (  $10^{\circ}\text{F}$  ) .
3. Θερμοκρασία εισόδου νερού ψύξεως  $29.4^{\circ}\text{C}$  (  $85^{\circ}\text{F}$  ) .
4. Πίεση θερμαίνοντος υδρατμού στην είσοδο της ρυθμιστικής βαλβίδας  $0.84\text{ata}$  (  $12\text{psig}$  ) .

Για την λειτουργία παρόμοιων μονάδων δύνανται να θεωρηθούν ως χαρακτηριστικά μεγέθη τα ακόλουθα :

1. Παροχή νερού ψύξεως  $13 \frac{l}{\text{min} \cdot \text{RT}}$  .
2. Ύψωση θερμοκρασίας νερού ψύξεως  $10^{\circ}\text{C}$  .
3. Παροχή θερμαίνοντος υδρατμού  $8.8 \frac{\text{kg}}{h \cdot \text{RT}}$  .

Ο συντελεστής συμπεριφοράς COP των μονάδων απορροφήσεως με νερό - διάλυμα LiBr για λειτουργία υπό τις παραπάνω ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας κυμαίνεται μεταξύ 0.60 και 0.65 . Αποκλίσεις από τις συνθήκες αυτές μεταβάλλουν τον συντελεστή συμπεριφοράς αντίστοιχα.





Διάγραμμα 3 : Μεταβολές του διαλύματος LiBr διατάξεως απορροφήσεως με ανάμιξη του ισχυρού μέσου απορροφήσεως με το διάλυμα του απορροφητή .[11]

Οι ψυκτικές μονάδες μικρής ισχύος είναι όπως έχει αναφερθεί άμεσης θερμάνσεως .Οι μονάδες αυτές κατασκευάζονται χωρίς αντλίες μηχανοκίνητες και χωρίς άλλα κινούμενα μέρη , η δε διαφορά πίεσεως μεταξύ συμπυκνωτή και στοιχείου ατμοποίησης διατηρείται με την βοήθεια υδροστατικής στήλης υγρού . Η άντληση του διαλύματος από τον απορροφητή ( χαμηλή πίεση ) στην ατμογεννήτρια ( υψηλή πίεση ) γίνεται εδώ με την βοήθεια θερμοσιφωνικής αντλίας .

### 2.2.2 Ιδιότητες διμερούς μίγματος νερού – διαλύματος LiBr . [22]

Για θερμοκρασίες  $T \leq 110^\circ C$  η ειδική ενθαλπία του υγρού νερού ,  $h_l$  , και των ατμών νερού ,  $h_u$  , μπορεί να προσεγγισθεί από τις παρακάτω σχέσεις :

$$h_l(T) = 4.199 \cdot T$$

$$h_u(T) = 1.73 \cdot T + 2501.6$$

Όπου :  $T$  σε  $^{\circ}\text{C}$  .

Για θερμοκρασίες και πιέσεις σε μια περιοχή από 0 έως  $400^{\circ}\text{C}$  και από 4 έως 150 Torr η θερμοκρασία  $T_e [^{\circ}\text{C}]$  και η πίεση ισορροπίας  $P_e [\text{Torr}]$  του νερού δίνονται από την παρακάτω σχέση :

$$(2.1) \quad \log_{10} P_e = 14.4 - \left( \frac{322.6383}{T_e + 273} + 2.4850432 \right)^2$$

Η θερμοκρασία ισορροπίας  $T_e'$  του διαλύματος  $\text{H}_2\text{O} - \text{LiBr}$  δίνεται με βάση την θερμοκρασία  $T_e$  του νερού :

$$(2.2) \quad \begin{aligned} T_e' &= A(X) \cdot T_e + B(X) \\ A(X) &= -2.0075 + 0.16976 \cdot X \\ &\quad - 3.133362 \cdot X^2 \cdot 10^{-3} - 1.97668 \cdot X^3 \cdot 10^{-5} \\ B(X) &= 124.94 - 7.71649 \cdot X \\ &\quad + 0.1522858 \cdot X^2 - 7.9509 \cdot X^3 \cdot 10^{-4} \end{aligned}$$

Όπου :  $T_e, T_e'$  σε  $^{\circ}\text{C}$  και  $X$  επί τοις εκατό (%) . Οι παραπάνω σχέσεις ισχύουν για :  $-17.8^{\circ}\text{C} \leq T_e \leq 110^{\circ}\text{C}$  ,  $4.4^{\circ}\text{C} \leq T_e' \leq 176^{\circ}\text{C}$  και  $45\% \leq X \leq 70\%$ .

Τέλος η ενθαλπία  $h$  του διαλύματος  $\text{H}_2\text{O} - \text{LiBr}$  μπορεί να υπολογισθεί από την παρακάτω σχέση :

$$(2.3) \quad \begin{aligned} h &= E_1 + E_2 \cdot T + E_3 \cdot T^2 \\ E_1 &= -2024.18588321 + 163.2976010204 \cdot X - 4.88126853177 \cdot X^2 \\ &\quad + 6.30250843 \cdot X^3 \cdot 10^{-2} - 2.91350364 \cdot X^4 \cdot 10^{-4} \\ E_2 &= 18.2816227619 - 1.169094163968 \cdot X + 3.24785671 \cdot X^2 \cdot 10^{-2} \\ &\quad - 4.03390218 \cdot X^3 \cdot 10^{-4} + 1.85192774 \cdot X^4 \cdot 10^{-6} \\ E_3 &= -0.0370056321 + 2.88756514 \cdot X \cdot 10^{-3} - 8.13075689 \cdot X^2 \cdot 10^{-5} \\ &\quad + 9.91097142 \cdot X^3 \cdot 10^{-7} - 4.44381071 \cdot X^4 \cdot 10^{-9} \end{aligned}$$

### 2.3 Παραγωγή ψύξης με μηχανή απορρόφησης H<sub>2</sub>O – LiBr .

Για να σιγουρευτούμε ότι θα υπάρχει συναλλαγή θερμότητας μεταξύ περιβάλλοντος και συμπυκνωτή θα θεωρήσουμε πως η θερμοκρασία του συμπυκνωτή είναι 5°C μεγαλύτερη του περιβάλλοντος . Επειδή όμως η θερμοκρασία του περιβάλλοντος μεταβάλλεται χρονικά ανά ώρα θα μεταβάλλεται και η θερμοκρασία του συμπυκνωτή . Η δε πίεση του συμπυκνωτή  $P_h$  βρίσκεται πάλι με την βοήθεια της σχέσης 2.1.

Ομοίως για να σιγουρευτούμε ότι θα υπάρχει συναλλαγή θερμότητας και απορροφητή θα θεωρήσουμε πως η χαμηλή θερμοκρασία του απορροφητή  $T_{abs,l}$  είναι 5°C μεγαλύτερη του περιβάλλοντος δηλαδή:

$$T_{abs,l} = T_{cond} = T_{amb} + 5^{\circ} C \quad (2.4)$$

Με αυτή τη συνθήκη μπορούμε να ορίσουμε το ασθενές κλάσμα μάζας  $X_w \left[ \frac{kg \text{ LiBr}}{kg \text{ διαλυματος}} \right]$  από την παρακάτω σχέση ( η οποία είναι στην ουσία η σχέση 2.2) :

$$T_{abs,l} = A(X_w) \cdot T_{ev} + B(X_w)$$

Αφού βρούμε το  $X_w$  (αριθμητικά ή αναλυτικά ) μπορούμε να υπολογίσουμε το ισχυρό κλάσμα μάζας :

$$X_s = X_w + \Delta X = X_w + 5\% \quad (2.5)$$

Άρα η υψηλή θερμοκρασία του απορροφητή  $T_{abs,h}$  είναι :

$$T_{abs,h} = A(X_s) \cdot T_{ev} + B(X_s)$$

Επομένως η υψηλή και χαμηλή θερμοκρασία της γεννήτριας είναι :

$$T_{gen,l} = A(X_w) \cdot T_{cond} + B(X_w)$$

$$T_{gen,h} = A(X_s) \cdot T_{cond} + B(X_s)$$

Από την υψηλή θερμοκρασία του ατμοποιητή μπορώ να υπολογίσω την θερμοκρασία εισόδου του νερού στον συλλέκτη . Κάνοντας την θεώρηση πως :

$$T_i = T_{gen,l} + 10^{\circ} C$$

Ως τώρα έχουμε υπολογίσει :  $T_{ev}$  ,  $P_l$  ,  $T_{cond}$  ,  $P_h$  ,  $T_{abs,l}$  ,  $X_s$  ,  $X_w$  ,  $T_{abs,h}$  ,  $T_{gen,l}$  ,  $T_{gen,h}$  .

Η θερμότητα που εισέρχεται στην γεννήτρια ( στην περίπτωση μας η θερμότητα δίνεται από τους ηλιακούς συλλέκτες ) και υπολογίζεται ανά ώρα για την 21<sup>η</sup> κάθε μήνα :

$$(2.6) \quad Q_h = 1.73 \cdot T_{gen,l} + 2501.6 - \frac{X_s}{\Delta X} \cdot h(X_w, T_{abs,h}) + \frac{X_w}{\Delta X} \cdot h(X_s, T_{abs,h})$$

Οι ενθαλπίες υπολογίζονται από τις σχέσεις ... Στη συνέχεια βρίσκω το ψυκτικό φορτίο του εξαμιστή  $Q_l$  (kJ/kg) :

$$(2.7) \quad Q_l = 1.73 \cdot T_{abs,l} + 2501.6 - 4.199 \cdot T_{cond}$$

Έπειτα τον συντελεστή συμπεριφοράς C.O.P της ψυκτικής εγκατάστασης :

$$(2.8) \quad C.O.P = \frac{Q_l}{Q_h}$$

Και τελικά την ψυκτική ισχύ ανά  $m^2$  συλλέκτη :

$$\dot{Q}_l = C.O.P. \cdot \dot{Q}_{coll}$$

Προκειμένου να γίνουν συγκρίσεις στα μεγέθη της θερμότητας απορρόφησης από το πάνελ και ψυκτικής ισχύος από την ψυκτική μηχανή απορρόφησης εισάγεται ο λόγος  $r$  που ισούται με :

$$r = \frac{A_{pan}}{A_{coll}} \quad (2.9)$$

Συνεπώς , η ψυκτική ισχύς ανηγμένη στην επιφάνεια του πάνελ δίνεται από τη σχέση :

$$\dot{q}_c = \dot{m} \cdot \frac{q_l}{3.6 \cdot r} \quad (2.10)$$

Όπου  $m$  είναι η παροχή μάζας του ψυκτικού μέσου και ισούται :

$$\dot{m} = 3600 \cdot \frac{\dot{q}_{coll}}{q_h} \quad (2.11)$$

Οι εξισώσεις 2.1 έως 2.10 έχουν χρησιμοποιηθεί στον υπολογιστικό κώδικα του παραρτήματος QCE. for για τον υπολογισμό της ψυκτικής ισχύος στο υπολογιστικό μέρος !





# 3

## ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ ΜΕ ΨΥΧΩΜΕΝΑ ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥΣ ΠΙΝΑΚΕΣ

### 3.1 Γενικά [24].

Τα μη συμβατικά συστήματα κλιματισμού και πιο συγκεκριμένα τα συστήματα που χρησιμοποιούν πλάκες ακτινοβολίας για την ψύξη των εσωτερικών χώρων είναι αυτά που βασίζουν την λειτουργία τους στον έλεγχο των θερμοκρασιών των δομικών στοιχείων του χώρου με την βοήθεια του κυκλοφορούντος νερού . Οι ελεγχόμενες θερμοκρασιακά επιφάνειες μπορεί να είναι στην οροφή ή και σε συγκεκριμένα μέρη των τοίχων . Μία τέτοια επιφάνεια μπορεί να χαρακτηριστεί σαν 'πίνακας ακτινοβολίας' όταν πάνω από το 50% της θερμότητας μεταφέρεται από ή προς αυτήν διαμέσου της ακτινοβολίας που συναλλάσσεται με τις υπόλοιπες επιφάνειες του χώρου ( εννοείται ότι αναφερόμαστε μόνο σε αυτές με τις οποίες ο 'πίνακας' έχει οπτική επαφή ) .

#### 3.1.1 Βασικές αρχές της μεταφοράς θερμότητας δι' ακτινοβολίας .

Η ενέργεια που μεταφέρεται δι' ακτινοβολίας μεταδίδεται με την ταχύτητα του φωτός κινούμενη σε ευρείες γραμμές και ανεβάζει την θερμοκρασία των στερεών αντικειμένων τα οποία την απορροφούν . Η ενέργεια αυτή δεν μεταδίδει θερμότητα στον αέρα που υπάρχει ανάμεσα στις 2 επιφάνειες ενώ μπορεί να ανακλαστεί προς διαφορετι-

### Ενότητες

- 3.1 Γενικά
- 3.2 Συστήματα ψυχόμενων panel.
- 3.3 Ανάπτυξη αναλυτικού μοντέλου
- 3.4 Πλεονεκτήματα του μελετούμενου συστήματος .

### Στόχοι

- Γνωριμία με τα μη συμβατικά συστήματα κλιματισμού ψυχόμενων δομικών στοιχείων και μεταλλικών πινάκων.
- Διερεύνηση αποτελεσματικής εφαρμογής τους στον τομέα του κλιματισμού .



Εικόνα 5: Ψυκτικό πάνελ νερού εγκατεστημένο σε οροφή πρωτοτύπου στο ΚΑΠΕ . [23]

κή κατεύθυνση αλλάζοντας την θερμοκρασία και άλλων δομικών στοιχείων

Η συνεχής μεταφορά και συναλλαγή θερμότητας μεταξύ όλων των σωμάτων που βρίσκονται μέσα σε κάποιο κτήριο ή δωμάτιο εξαρτάται από πολλούς παράγοντες . Οι τέσσερις πιο σημαντικού από αυτούς είναι :

- Η θερμοκρασία του σώματος που εκπέμπει ( καθώς και αυτή του αποδέκτη της ακτινοβολίας )
- Ο συντελεστής εκπομπής όλων των επιφανειών που συμμετέχουν στην συναλλαγή θερμότητας
- Η ανακλαστικότητα , η απορροφητικότητα και η διαπερατότητα όλων των επιφανειών που δέχονται την ακτινοβολία
- Η εκάστοτε γωνία όρασης μεταξύ εκπομπού και αποδέκτη

Ο τρόπος κατασκευής μιας επιφάνειας είναι ένας σημαντικός παράγοντας που καθορίζει πολλά από τα χαρακτηριστικά που αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο . Γενικά μπορεί να λεχθεί ότι τραχείς επιφάνειες έχουν χαμηλό συντελεστή ανακλαστικότητας και υψηλό συντελεστή εκπομπής ή απορροφητικότητας . Αντιθέτως λείες ή καλά γυαλισμένες επιφάνειες έχουν υψηλή ανακλαστικότητα και χαμηλή εκπομπή ή απορροφητικότητα .

Κατά καιρούς έχει λεχθεί ότι συστήματα κλιματισμού και θέρμανσης με την βοήθεια πινάκων ακτινοβολίας είναι κατάλληλα μόνο για συγκεκριμένους τύπους κτηρίων και μόνο κάτω από συγκεκριμένα κλιματολογικά χαρακτηριστικά . Αυτό όμως δεν είναι αληθές αφού έχουμε παραδείγματα ακραίων κλιματολογικών κατασκευών οι οποίες δεν επηρέασαν την λειτουργία των εν λόγω συστημάτων .

Όπως όλοι γνωρίζουμε , ένα καλοσχεδιασμένο σύστημα κλιματισμού πρέπει να δίνει σε αυτούς που το χρησιμοποιούν την αίσθηση της θερμικής άνεσης . Μία παράμετρος αυτής της άνεσης είναι και η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας του χώρου ( ΜΘΑ ) η οποία είναι σε θέση να ελαχιστοποιεί τις απώλειες ή τα θερμικά κέρδη ακτινοβολίας του σώματος προς τα γύρω αντικείμενα ή δομικά υλικά . Όταν η εν λόγω θερμοκρασία έχει μεγάλη διακύμανση σε σχέση με την θερμοκρασία αέρα του εσωτερικού χώρου ( όπως σε περιπτώσεις εξωτερικών τοίχων με μεγάλες επιφάνειες γυαλιού ) τότε είναι προφανές ότι τα συμβατικά συστήματα κλιματισμού αδυνατούν να αντιμετωπίσουν την 'ενόχληση' που πα-

*Μία σημαντική παράμετρος θερμικής άνεσης που συχνά διαφεύγει αναφοράς είναι η λεγόμενη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας (ΜΘΑ) την οποία τα συμβατικά συστήματα κλιματισμού αδυνατούν να ελέγξουν !*

ρουσιάζεται από όλες αυτές τις κρύες ή ζεστές επιφάνειες . Τα περισσότερα δομικά υλικά έχουν επιφάνειες με υψηλούς συντελεστές εκπομπής οπότε κατά συνέπεια μπορούν να απορροφήσουν και στην συνέχεια να εκπέμψουν τα μεγάλα ποσά θερμότητας που ακτινοβολεί μια θερμαινόμενη οροφή . Τα ίδια ισχύουν και για την ψυχόμενη οροφή με την διαφορά ότι τώρα υπάρχει απορρόφηση θερμότητας από την πλάκα της οροφής . Σε κάθε περίπτωση οι υαλοπίνακες δεν αποτελούν μεγάλο πρόβλημα όπως στα συμβατικά συστήματα αφού εδώ η ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος που εκπέμπεται από τα γύρω σώματα είναι σχεδόν αδιαπέραστη από αυτούς προς το εξωτερικό περιβάλλον .

### 3.1.2 Μεταφορά θερμότητας από ψυχόμενες ή θερμαινόμενες επιφάνειες .

Η μεταφορά θερμότητας σε αυτές τις περιπτώσεις γίνεται με δύο διαφορετικούς τρόπους , δηλαδή κατά κύριο λόγο με ακτινοβολία και κατά δεύτερο λόγο με συναγωγή .

#### Ακτινοβολία

Η βασική εξίσωση συναλλαγής ακτινοβολίας για ένα χώρο που περικλείεται από ισοθερμοκρασιακές επιφάνειες είναι η παρακάτω :

$$q_r = J_p - \sum_{i=1}^N F_{pi} \cdot J_i$$

- $q_r$  = καθαρό ποσό θερμότητας που μεταφέρεται από ή προς το panel ( $W/m^2$ )  
 $J_p$  = ποσό ακτινοβολίας που φεύγει από το panel ( $W/m^2$ )  
 $J_i$  = συνολική ακτινοβολία από την επιφάνεια  $i$  προς το panel ( $W/m^2$ )  
 $F_{pi}$  = αδιάστατος συν/τής όρασης της επιφάνειας  $i$  προς

Η εξίσωση αυτή είναι εφαρμόσιμη τόσο σε απλές όσο και σε σύνθετες περιπτώσεις με διαφορετικές θερμοκρασίες επιφανειών και διαφορετικούς συντελεστές εκπομπών . Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να υπολογι-

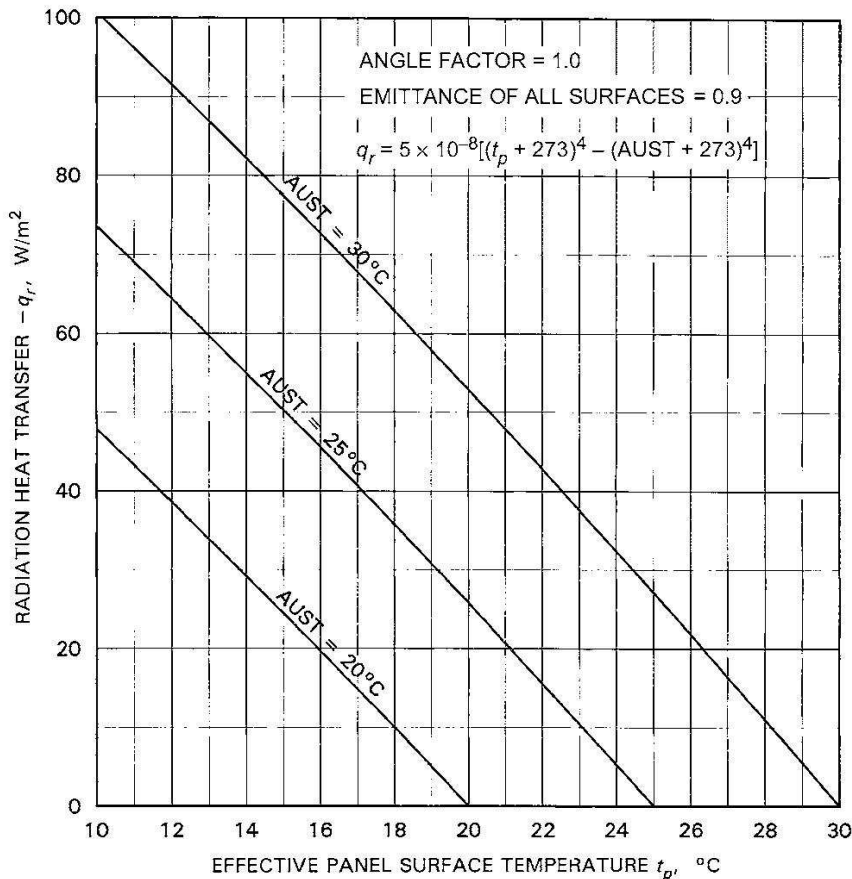
στεί ο όρος  $J_i$  για να είναι δυνατός ο υπολογισμός του καθαρού ποσού ακτινοβολίας που μεταφέρθηκε .

Με στόχο την απλοποίηση της παραπάνω σχέσης έχουν αναπτυχθεί κατά καιρούς διαφορετικές μέθοδοι για τον υπολογισμό του  $q_r$  . Μία από αυτές είναι η μέθοδος MRT ( μέθοδος μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας ) . Στη θεώρηση αυτή εισάγεται ένα νέο λογιστικό μέγεθος , η θερμοκρασία AUST (Average Unheated Surface Temperature ) η οποία για ίσους συντελεστές εκπομπής όλων των σωμάτων και ίσες αρχικές θερμοκρασίες όλων των επιφανειών ισούται με τη θερμοκρασία της ισοδύναμης επιφάνειας της θεωρίας MRT δίνοντας έτσι για ψύξη χώρου την παρακάτω εξίσωση :

$$q_r = 5 \cdot 10^{-8} \left( (T_p + 273)^4 - (AUST + 273)^4 \right)$$

$$\text{όπου } AUST = T_r = \frac{\sum_{i \neq p}^n A_i \cdot \varepsilon_i \cdot T_i}{\sum_{i \neq p}^n A_i \cdot \varepsilon_i}$$

Στην εξίσωση αυτή έχει χρησιμοποιηθεί η παραδοχή στην εξίσωση Hotel ότι ο συντελεστής εκπομπής μη μεταλλικών επιφανειών είναι περίπου 0.9! [24]



Η παραπάνω εξίσωση έχει κατασκευαστεί σύμφωνα με τη σύμβαση προσήμου που δέχτηκε η ASHRAE . Έτσι το ποσό της ακτινοβολίας για θέρμανση έχει θετικό πρόσημο ενώ αντίθετα για κλιματισμό φέρει αρνητικό πρόσημο .

Η πραγματική μεταφορά θερμότητας μέσω ακτινοβολίας όμως μπορεί να είναι στην πράξη λίγο διαφορετική εξαιτίας της όχι και τόσο ομαλής κατανομής των θερμοκρασιών ή εξαιτίας των μεταβαλλόμενων συντελεστών εκπομπής των διαφόρων σωμάτων . Ωστόσο οι μέγιστες αποκλίσεις που έχουν βρεθεί πειραματικά δεν υπερβαίνουν το 10% .

**Διάγραμμα 5 :** Θερμότητα που αφαιρείται μέσω ακτινοβολίας σε κλιματιζόμενο χώρο μέσω ψυχόμενης οροφής . [25]



## Συναγωγή

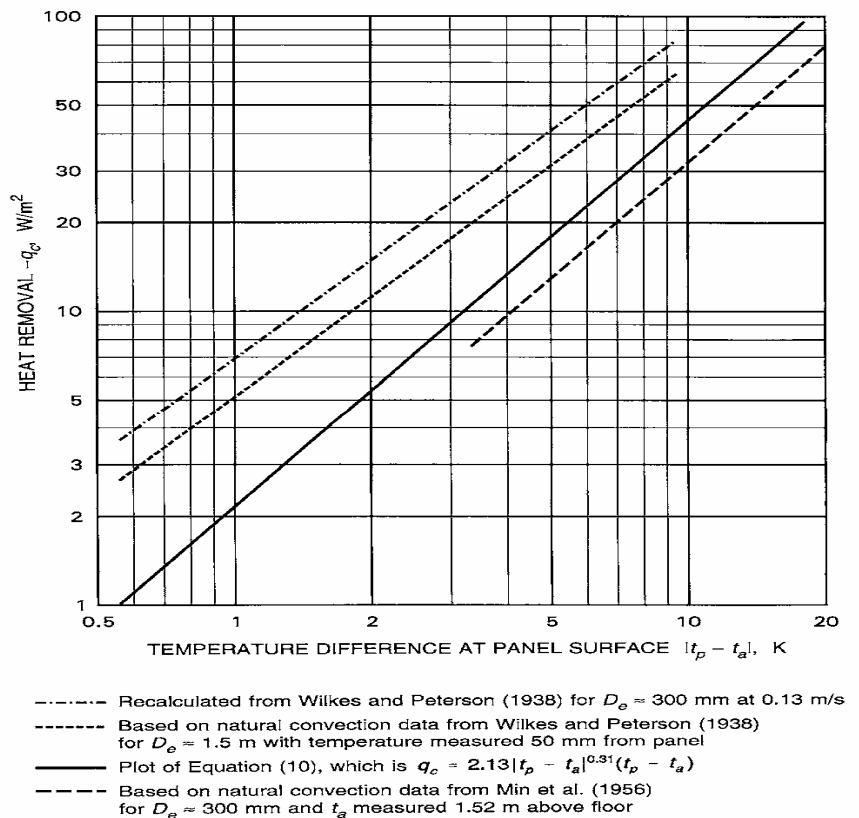
Η θερμότητα  $q_c$  που μεταφέρεται μέσω συναγωγής από τις θερμαινόμενες ή ψυχόμενες επιφάνειες είναι αυτή που αλληλεπιδρά πρωτογενώς με τον αέρα, σε αντιδιαστολή με την προηγούμενη περίπτωση. Σε αυτά τα μη συμβατικά συστήματα κλιματισμού η συναγωγή είναι συνήθως ελεύθερη αν και αυτό ισχύει μόνο θεωρητικά αφού στην πραγματικότητα υπάρχουν πολλοί αστάθμητοι παράγοντες που τείνουν να μετατρέψουν την συναγωγή σε εξαναγκασμένη.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία η συναγωγή (ελεύθερη συναγωγή) μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω σχέση :

$$q_c = 2.13 \cdot |t_p - t_a|^{0.31} \cdot (t_p - t_a)$$

- $q_c$  = θερμότητα που μεταφέρεται λόγω ελεύθερης συναγωγής σε  $W/m^2$ .
- $t_p$  = ενεργός (effective) θερμοκρασία της επιφάνειας του panel σε  $^{\circ}C$ .
- $t_a$  = θερμοκρασία του αέρα σε  $^{\circ}C$ .

**Διάγραμμα 6 :** Θερμότητα που αφαιρείται μέσω συναγωγής σε κλιματιζόμενο χώρο μέσω ψυχόμενης οροφής . [25]

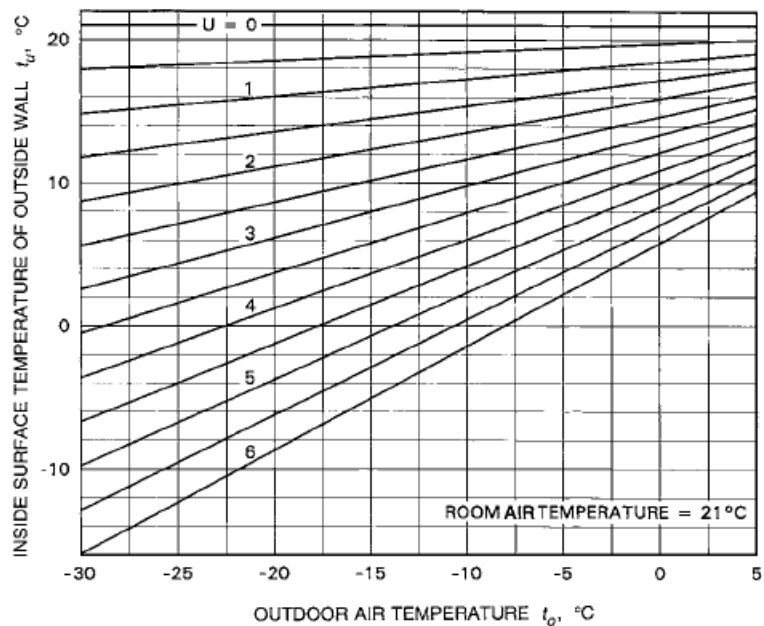


**Συνδυασμός ακτινοβολίας και συναγωγής**

Κάθε επιφάνεια μέσα στο χώρο ακτινοβολεί σε μια καινούρια επιφάνεια η οποία ισοδυναμεί το σύστημα από απόψεως συναλλαγής θερμότητας με το αρχικό σύστημα πολλών επιφανειών .

Έτσι υπολογίζονται οι συντελεστές όρασης μόνο αυτών των δύο επιφανειών !

Ο πραγματικός υπολογισμός της μεταφοράς θερμότητας μεταξύ του ψυχόμενου ( ή θερμαινόμενου πίνακα οροφής ) μπορεί να προκύψει πολύ εύκολα από τον συνδυασμό των αποτελεσμάτων των παραπάνω εξισώσεων ή εναλλακτικά των σχημάτων . Βέβαια στην περίπτωση της ακτινοβολίας πρέπει να υπολογιστεί αρχικά και η σταθμισμένη μέση τιμή των θερμοκρασιών του χώρου ( AUST ) – η οποία όπως προαναφέρθη ισούται με την θερμοκρασία της υποθετικής λογιστικής επιφάνειας . Για τον υπολογισμό αυτής της μέσης τιμής χρειαζόμαστε και τις θερμοκρασίες του εσωτερικού μέρους των εξωτερικών τοίχων για τις οποίες πρώτη προσέγγιση μπορούμε να πάρουμε από το σχήμα :



**Διάγραμμα 7 :** Θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας των εξωτερικών τοίχων για θερμοκρασία περιβάλλοντος ίση με 21°C . [25]

Για την θερμοκρασία  $t_p$  που έγινε λόγος παραπάνω ο αναγνώστης πρέπει να ανατρέξει στη βιβλιογραφική αναφορά [25] .

### 3.2 Συστήματα ψυχόμενων panel. [24],[25]

#### 3.2.1 Ψυχόμενα δομικά στοιχεία .

Πρόκειται για υδρονικά συστήματα ( δηλαδή εργαζόμενο μέσο είναι το νερό ) στα οποία χρησιμοποιούνται συστήματα διανομής δύο ή τεσσάρων σωλήνων .Το σχήμα 15 σκιαγραφεί τη διάταξη τους σε ένα τέτοιο τυπικό σύστημα . Είναι σύνηθες να σχεδιάζονται τα συστήματα αυτά για πτώση δέκα βαθμών για τη θέρμανση και για αύξηση 3 βαθμών για τον κλιματισμό κατά την κατεύθυνση της ροής , δίχως να αποκλείονται όμως συστήματα μεγαλύτερων θερμοκρασιακών διαφορών .

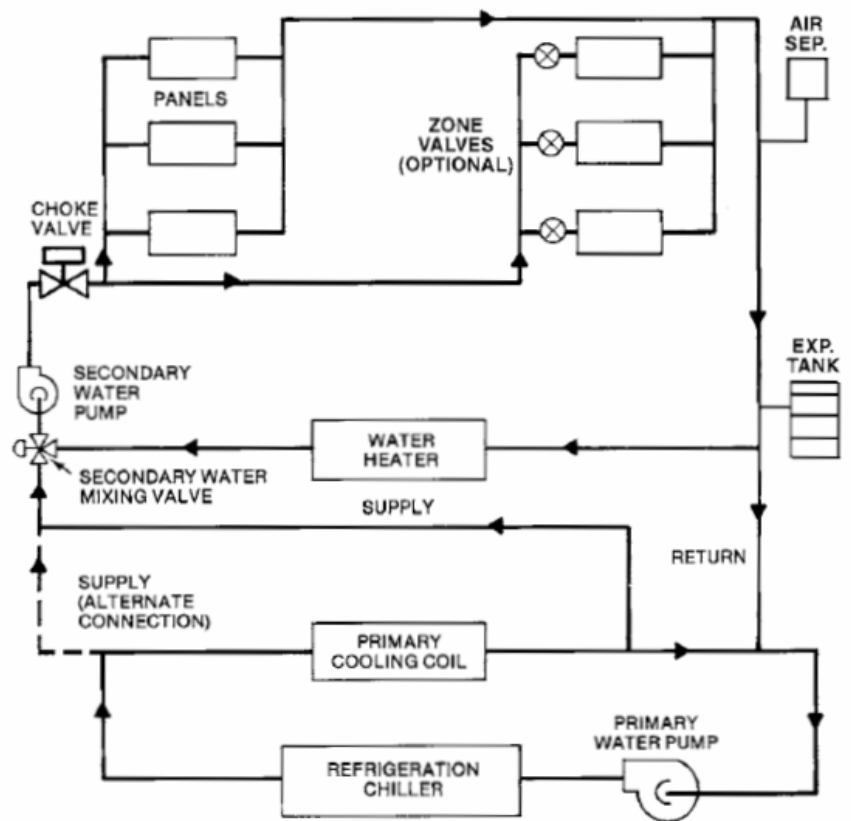
Ο σχεδιασμός των panel απαιτεί τον καθορισμό :

- Της επιφάνειας του panel .
- Τη θερμοκρασία του νερού τροφοδοσίας .
- Την παροχή του νερού .
- Την διάταξη των σωλήνων .

Η απόδοση των panel είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τις συνθήκες του κλιματιζόμενου χώρου .

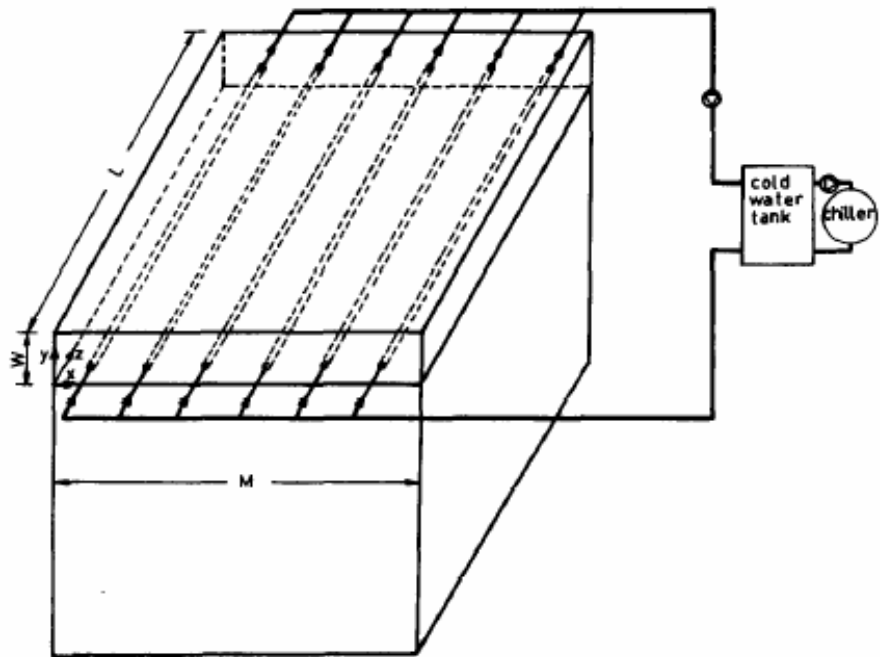
Διαδικασία προσέγγισης τέτοιων συστημάτων :

1. Καθορισμός επιθυμητών συνθηκών – συνθήκες σχεδιασμού ( θερμοκρασία ξηρής σφαίρας , σχετική υγρασία και σημείο δρόσου ) .
2. Υπολογισμός αισθητού και λανθάνοντος θερμικού κέρδους .
3. Επιλογή μέσης θερμοκρασίας νερού για κλιματισμό .
4. Καθορισμό ελάχιστης παροχής αέρα καθώς και το λανθάνον και αισθητό θερμικό του κέρδος .
5. Καθορισμός του ψυκτικού φορτίου .
6. Καθορισμός της ψυκτικής επιφάνειας με panel .

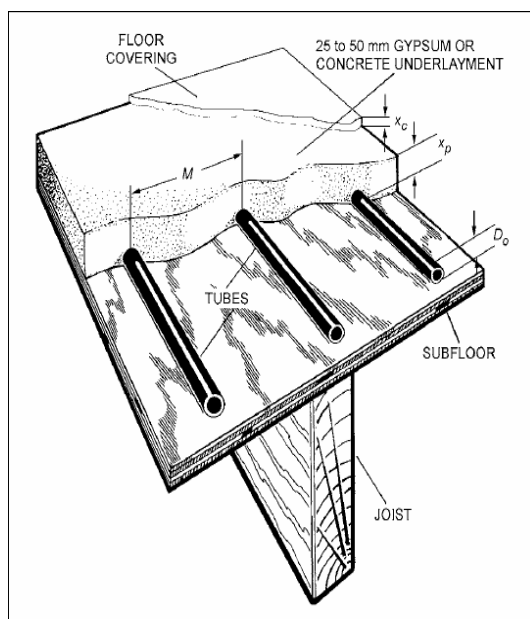


Σχήμα 15 : Σύστημα διανομής νερού με έλεγχο ανάμιξης .[25]

Φυσικά κρίνεται σκόπιμη η περαιτέρω εξέταση κάθε μεμονωμένης περίπτωσης με προσανατολισμό προς τις υπόλοιπες απαιτήσεις θερμικής άνεσης που εκείνη απαιτεί ( π.χ ο ρουχισμός , η θερμοκρασία MRT , οι ασυμμετρία του χώρου κ.ο.κ ) [25].



Σχήμα 16 : Σχηματική αναπαράσταση κλιματισμού χώρου με ψυχόμενα δομικά στοιχεία στην οροφή . [23]



Σχήμα 17 : Ενδοδαπέδια επένδυση . [25]

Οι πλείστες εφαρμογές των συστημάτων αυτών είναι τοποθετημένες στις οροφές των κλιματιζόμενων χώρων (Σχήμα 16) . Ο λόγος είναι ότι οι οροφές έχουν πολύ μεγαλύτερη ακάλυπτη επιφάνεια απ'ότι τα δάπεδα των κτηρίων . Αυτό όμως δεν αποκλείει την προσαρμογή της προκείμενης τεχνολογίας και σε ενδοδαπέδιες εφαρμογές (Σχήμα 17) .

Η τεχνολογία , ο σχεδιασμός και η εγκατάσταση αυτών των συστημάτων φέρει κάποιες ιδιαιτερότητες και απαιτούμενες τεχνικές :

1. Όπως με κάθε υδρονικό σύστημα , προσοχή πρέπει να δοθεί στο σχεδιασμό του συστήματος σωλήνωσης . Ο σωστός σχεδιασμός μπορεί να ελαχιστοποιήσει τις ανεπιθύμητες συνέπειες της ύπαρξης οξυγόνου στο σύστημα .
2. Ξεχωριστά panel μπορούν να ενωθούν για παράλληλη ροή ή όταν είναι απαραίτητη κάποια ελικοειδής ή εν γένει περίπλοκη διαδρομή .

**Μερικά πειραματικά συμπεράσματα. [24]**

Κατά την ψύξη κτηρίων με το σύστημα ψυχρών πινάκων , το παραγόμενο στον χώρο θερμικό φορτίο παραλαμβάνεται από ρευστό ρέον δια των πινάκων .

Οι πίνακες μπορούν να αποτελούνται από λεπτή μεταλλική πλάκα με ενσωματωμένους τους σωλήνες του ψυχρού νερού , εφαρμοζόμενοι επί της εσωτερικής επιφάνειας της οροφής ή επί οποιοδήποτε άλλου σημείου των τοίχων . Είναι όμως δυνατόν η ίδια οροφή ή ακόμα και οι παράπλευροι τοίχοι μαζί με το δάπεδο να αποτελούν τον πίνακα , όταν οι σωλήνες έχουν εγκατασταθεί εντός αυτών κατά την κατασκευή του κτηρίου .

Συμπεραίνεται ότι με την εσωτερική θέρμανση δομικών στοιχείων επιτυγχάνεται θερμική αξιοποίηση της μάζας του κτηρίου κατά πολύ ανώτερη από αυτή που παρατηρείται κατά τους συμβατικούς τρόπους θέρμανσης . Οι υπολογισμοί στο παράδειγμα της ενδοδαπέδιας θέρμανσης έδειξαν ότι υπό συνήθεις συνθήκες , οι θερμοκρασίες θερμικής άνεσης διατηρούνται στον χώρο για πολλά 24ώρα μετά την διακοπή διέλευσης θερμού νερού από το δάπεδο . Αντίθετα η αντίστοιχη διάρκεια θερμικής άνεσης στα συμβατικά

3. Θόρυβος από εγκλωβισμένο αέρα , υψηλής ταχύτητας ή υψηλής πτώσης πίεσης συσκευές ή ταλαντώσεις αντλιών ή σωλήνωσης πρέπει να αποφευχθούν . Οι ταχύτητες του νερού πρέπει να είναι αρκετά υψηλές ώστε να αποτρέψει το σχηματισμό θυλάκων αέρος .
4. Σχεδιάστε τη σωλήνωση να δύναται να δεχτεί θερμικές τάσεις . Μην επιτρέπτε οι προκύπτουσες θερμικές παραμορφώσεις να μεταφέρονται στα panel . Πρέπει να γίνει πρόβλεψη κατά τη φάση του σχεδιασμού για τις αναμενόμενες θερμικές τάσεις .
5. Στα υδρονικά συστήματα σωλήνες από πλαστικό, καουτσούκ , χάλυβα και χαλκό χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε κατασκευές panel οροφής , τοίχων και δαπέδων .
6. Τοποθέτηση του θερμοστάτη σε ένα τοίχο που μπορεί να δει τον εξωτερικό τοίχο και το ψυκτικό panel . Η εμπειρία αποκαλύπτει ότι χώροι ψυχόμενοι μέσω ακτινοβολίας παρουσιάζουν μεγαλύτερη άνεση παρά όταν ο θερμοστάτης είναι τοποθετημένος σε ένα πίσω τοίχο .
7. Όταν το σύστημα του ψυκτικού panel εκκινείται , η θερμοκρασία του ρέοντος νερού πρέπει να δι-



συστήματα θέρμανσης μπορεί να υπερβεί τις 2 ώρες ( ενδεικτική τιμή ) μόνο με την υπερθέρμανση του χώρου προ της διακοπής .

Ανάλογα είναι τα αποτελέσματα και στην περίπτωση ψύξης . Συγκριτικά αναφέρεται ότι κατά τον κλιματισμό με ψυχόμενη πλάκα οροφής υπό συνθήκες συνθήκες , η θερμική άνεση διατηρείται στον χώρο μέχρι και δύο 24ωρα μετά την διακοπή διέλευσης ψυχρού νερού από τους ψυκτικούς σωλήνες , οι οποίοι βρίσκονται ενσωματωμένοι στην οροφή . Αντίθετα στα συμβατικά συστήματα κλιματισμού η αντίστοιχη διάρκεια θερμικής άνεσης δεν υπερβαίνει τις δύο ώρες ( ενδεικτική τιμή ) .

Η πρακτική σημασία των παραπάνω συμπερασμάτων είναι προφανής στην περίπτωση αντλιών θερμότητας ( θέρμανση ή ψύξη ) . Με τα εσωτερικά θερμαινόμενα ή ψυχόμενα δομικά στοιχεία επιτυγχάνεται η επιθυμητή χρονική μετατόπιση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και συνεπώς αποφεύγεται η επικίνδυνη για την ΔΕΗ αιχμή φορτίου . Συγχρόνως ο καταναλωτής έχει άμεσο οικονομικό κέρδος καθώς μεταφέρει την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για θέρμανση ή ψύξη σε χρόνους μειωμένου τιμολογίου .

Τα συμπεράσματα της παραμετρικής μελέτης στην περίπτωση της ψυχόμενης

ατηρείται σε θερμοκρασία δωματίου μέχρι το σύστημα του αέρα να ισορροπήσει , η συσκευή αφύγρανσης να δουλεύει κανονικά και η υγρασία του κτηρίου να είναι σε τιμή σχεδιασμού .

8. Όταν το panel χρησιμοποιείται για θέρμανση και κλιματισμό και η επιφάνεια κλιματισμού είναι μεγαλύτερη από την απαιτούμενη για τη θέρμανση μπορεί να χρησιμοποιηθεί η διάταξη που εικονίζεται στο διπλανό σχήμα.
9. Για να αποτραπεί συμπύκνωση η θερμοκρασία του νερού πρέπει να διατηρείται τουλάχιστον 0.5K υψηλότερη από τη θερμοκρασία δρόσου σχεδιασμού .
- 10.Επιλογή σημείου δρόσου κάτω των 10°C γενικά είναι ασύμφορη οικονομικά .

πλάκας οροφής μπορούν να συνοψισθούν ως εξής :

Κατά την μόνιμη κατάσταση , η θερμοκρασία της κάτω επιφάνειας της οροφής είναι πρακτικά ομοιόμορφη όταν οι ψυκτικοί σωλήνες βρίσκονται σε μεγάλο βάθος εντός της οροφής ( $d > 4\text{cm}$  μετρούμενο από την κάτω επιφάνεια ) και η απόσταση μεταξύ τους είναι μικρή ( $s < 15\text{ cm}$  ) . Κατά τη μεταβατική λειτουργία παρατηρούνται ήπιες θερμοκρασιακές μεταβολές  $\Delta T_{s,x}$  στην κάτω επιφάνεια της οροφής κατά την κάθετη προς του σωλήνες κατεύθυνση  $x$  .

Οι θερμοκρασιακές διαφορές  $\Delta T_{s,x}$  γίνονται σημαντικές όταν οι ψυκτικοί σωλήνες βρίσκονται σε μέτριο ή μικρό βάθος ( $d < 4\text{cm}$  ) και η απόσταση τους είναι μεγάλη ( $s > 40\text{ cm}$  ) . Για τη δημιουργία συνθηκών ανέσεως , οι θερμοκρασιακές διαφορές των εσωτερικών επιφανειών πρέπει να διατηρούνται όσον το δυνατό μικρότερες .

Η θερμοκρασιακή διαφορά  $\Delta T_{s,z}$  της ψυχόμενης οροφής κατά την κατεύθυνση της ροής είναι γενικώς πολύ μικρή και ακολουθεί την θερμοκρασιακή διαφορά του εισερχόμενου – εξερχόμενου ψυκτικού νερού , η οποία εξαρτάται από το συνολικό εσωτερικό φορτίο και την ταχύτητα του ψυκτικού νερού .

Η μέγιστη διαφορά κατά την κατεύθυνση  $y$  του πάχους της οροφής παρατηρείται μεταξύ της περιφέρειας των σωλήνων και της κάτω επιφάνειας της οροφής . Κατά προσέγγιση η  $\Delta T_y$  στην μόνιμη κατάσταση μπορεί να εκφρασθεί ως  $\Delta T_y = \frac{q_i \cdot d}{k}$

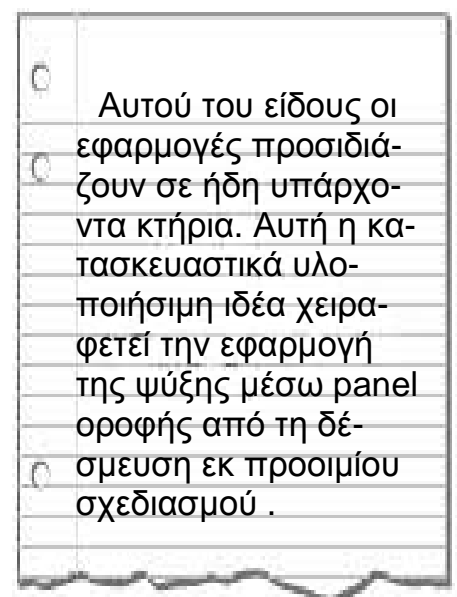
όπου  $q_i$  είναι η πυκνότητα του ολικού εσωτερικού φορτίου σε  $\text{W/m}^2$  .

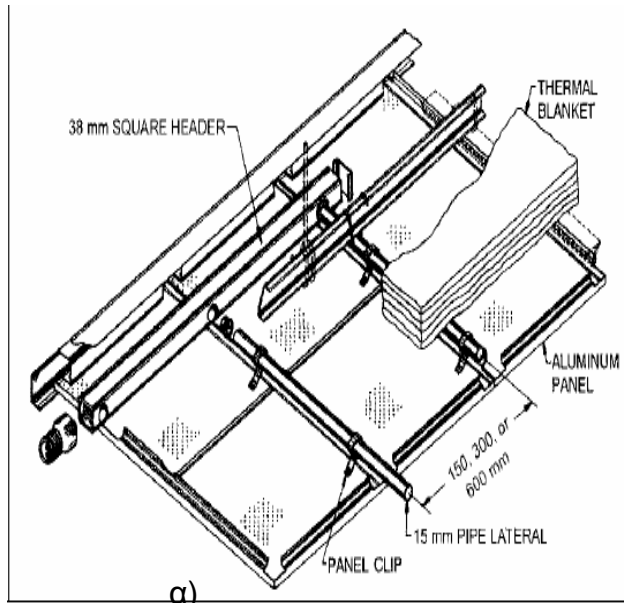
Η μεταβατική συμπεριφορά του συστήματος μπορεί να χαρακτηριστεί κατά μέσον όρο ως εξής : Εάν η αποκατάσταση του μόνιμου θερμοκρασιακού πεδίου εντός της οροφής απαιτεί χρόνο  $t_0$  τότε οι αντίστοιχοι χρόνοι για την αντικατάσταση της μόνιμης κατάστασης στο ψυκτικό νερό και στην θερμοκρασία του εσωτερικού χώρου είναι  $t_0/2$  και  $t_0/4$  αντίστοιχα .

### 3.2.2 Μεταλλικοί πίνακες .

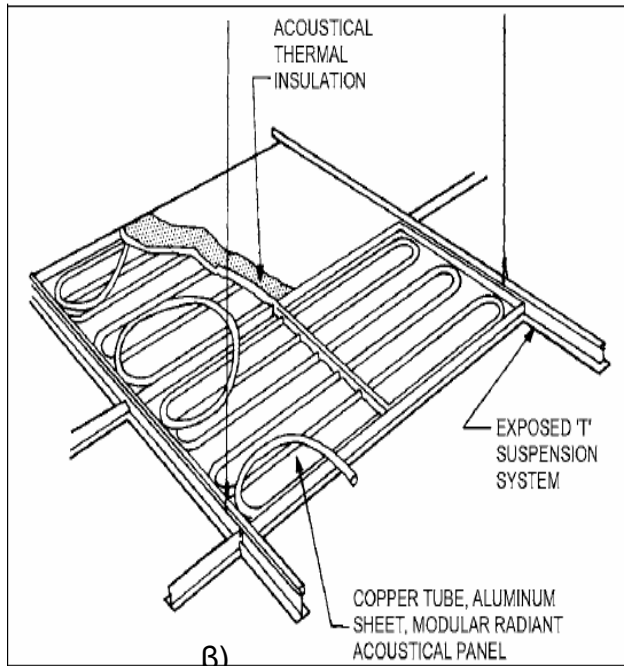
Οι μεταλλικοί πίνακες μπορούν να ενσωματωθούν σε ένα σύστημα που κλιματίζει και θερμαίνει. Σε ένα τέτοιο σύστημα μία πηγή αφυγρασμένου αερισμού έτσι ώστε το σύστημα να ταξινομείται ως ένα σύστημα αέρος - νερού.

Πρόκειται για ένα παράγωγο σύστημα των διάτρητων ψευδοροφών .Αυτά τα συστήματα ακτινοβολίας συνηθίζεται να εντάσσονται σε κτήρια που μπορούν να συνδυαστούν με τις υπάρχουσες ψευδοροφές . Τα panel μπορούν να σχεδιαστούν σαν μικρές μονάδες που εναρμονίζονται με τον τύπο του κτηρίου , το οποίο παρέχει εκτεταμένη ελαστικότητα για κλιματισμό κατά ζώνες και έλεγχο , καθώς επίσης μπορούν να διαταχθούν ως μεγάλες συνεχείς επιφάνειες για επίτευξη μεγαλύτερης οικονομίας . Μερικές εφαρμογές απαιτούν οι μεταλλικοί





α)



β)

Σχήμα 18 : Μεταλλικοί πίνακες [25]

- 1) Α' τύπου
- 2) Β' τύπου
- 3) Γ' τύπου

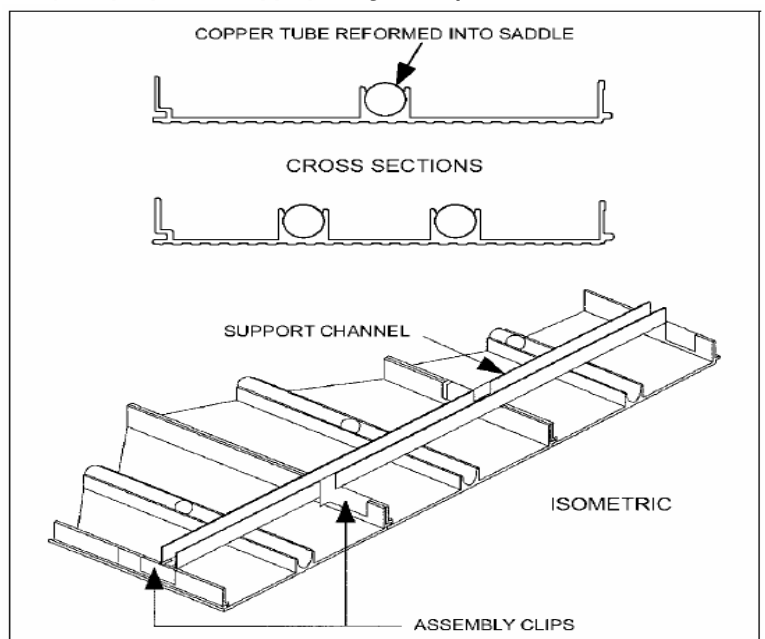
πίνακες να καλύπτουν μόνο ένα ποσοστό του χώρου και συμβατά acoustical panel για το υπόλοιπο.

Τρεις τύποι μεταλλικών πινάκων είναι διαθέσιμοι . Ο πρώτος αποτελείται από ελαφρύ αλουμινένιο panel –συνήθως 300mm-600mm - . Ένα τέτοιο παρουσιάζεται και στο σχήμα 18. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης και για θέρμανση .

Ο δεύτερος τύπος είναι από χάλκινη σερπαντίνα ασφαλισμένη σε έλασμα αλουμινίου σχηματίζοντας ένα αρθρωτό panel . Τα τελευταία διατίθενται σε μεγέθη εύρους περίπου 910mm-1520mm (Σχήμα 18).

Ο τρίτος τύπος panel είναι ένα έλασμα αλουμινίου με χάλκινο σωλήνα εμφωλευμένο μηχανικά σε ένα κανάλι στο πίσω μέρος του .

Οι μεταλλικοί πίνακες παρέχουν θέρμανση , κλιματισμό , ηχητική απορρόφηση , μόνωση και απεριόριστη πρόσβαση . Συντηρούνται εύκολα , επισκευάζονται σε σημείο να φαίνονται σαν καινούρια και έχουν διάρκεια ζωής που υπερβαίνει τα 30 χρόνια. Το σύστημα είναι ήσυχο , άνετο , αποτελεσματικό και αποκρίνεται γρήγορα. Τα κόστη κεφαλαίου που απαιτούνται στην αρχή είναι συγκρίσιμα με αυτά των συμβατικών συστημάτων και αναλύσεις κόστους συχνά αποδεικνύουν ότι η μακροζωία του εξοπλισμού το καθιστά την φθηνότερη εφαρμογή κλιματισμού υπό μακροπρόθεσμο πρίσμα. Τα συστήματα αυτά έχουν χρησιμοποιηθεί σε νοσοκομεία , σχολεία , γραφεία , κτήρια, πανεπιστημιακά ιδρύματα , αεροδρόμια και χώρους εκδηλώσεων.

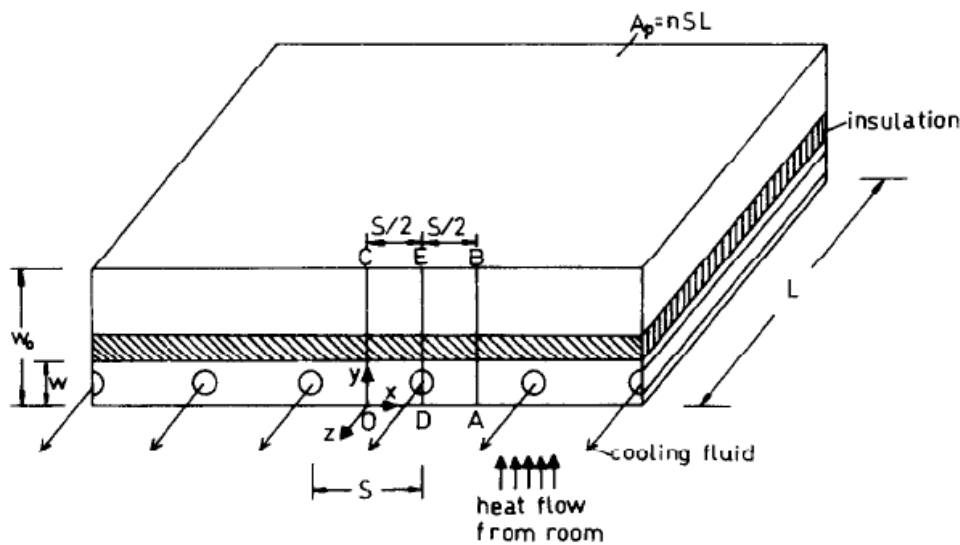


γ)

### 3.3 Ανάπτυξη αναλυτικού μοντέλου . [26]

Σε πλάκα οροφής η οποία περιέχει παράλληλους ψυκτικούς ή θερμαντικούς σωλήνες θεωρείται καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων  $x, y, z$ . Οι μεν συντεταγμένες  $x, y$  κείνται επί καθέτου επιπέδου προς τους σωλήνες, η  $z$  είναι παράλληλη προς αυτούς όπως φαίνεται στο σχήμα 19.

**Μεταβολή της θερμοκρασίας μεταξύ των σωλήνων.**

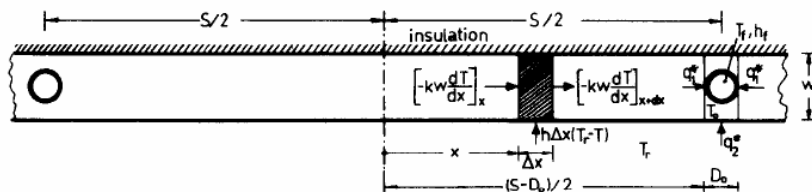


**Σχήμα 19 :** Πλάκα οροφής με παράλληλους ψυκτικούς σωλήνες και σύστημα συντεταγμένων.[26]

Σύμφωνα με το σχήμα 20 ο ενεργειακός ισολογισμός επί στοιχειώδους όγκου της πλάκας εύρους  $\Delta x$  και μοναδιαίου μήκους κατά την κατεύθυνση των σωλήνων μπορεί να εκφραστεί ως :

$$h \cdot \Delta x \cdot (T_r - T) + \left[ -k \cdot w \cdot \frac{dT}{dx} \right]_x - \left[ -k \cdot w \cdot \frac{dT}{dx} \right]_{x+\Delta x} = 0 \quad (3.1)$$

Όπου  $h$  είναι ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας επί της κάτω επιφάνειας της πλάκας,  $T_r$  η θερμοκρασία αέρος του εσωτερικού περιβάλλοντος,  $T(x)$  η θερμοκρασία της πλάκας στην θέση  $x$  ( θεωρείται αμελητέα μεταβολή της θερμοκρασίας κατά το εύρος της πλάκας ) και  $k$  και  $w$  η θερμική αγωγιμότητα και το πάχος αυτής αντίστοιχα .



Σχήμα 20 : Ενεργειακός ισολογισμός επι στοιχειώδους όγκου πλάκας .[26]

Λαμβάνοντας υπόψη ότι :

$$\left[ \frac{dT}{dx} \right]_{x+\Delta x} = \left[ \frac{dT}{dx} \right]_x + \frac{d}{dx} \left( \frac{dT}{dx} \right)$$

Με οριακές συνθήκες :

$$\begin{cases} \left[ \frac{dT}{dx} \right]_{x=0} = 0 \\ T(x) = T_o, x = \frac{S - D_o}{2} \end{cases}$$

Η εξίσωση γίνεται :

$$\frac{d^2T}{dx^2} = m^2 \cdot (T - T_r)$$

$$\mu\epsilon \quad m^2 = \frac{h}{k \cdot w}$$

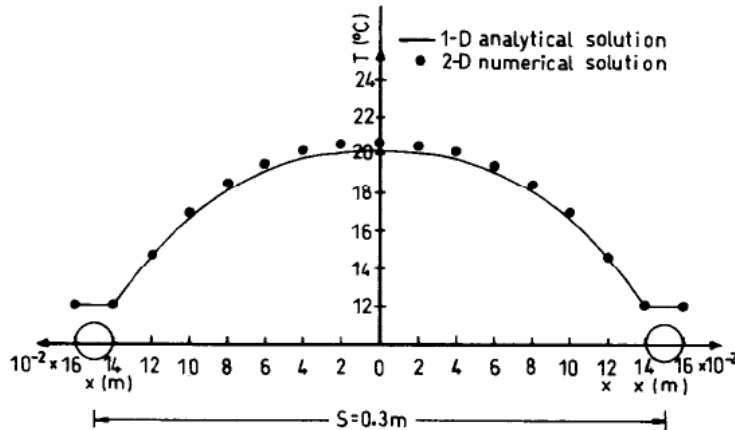
Όπου  $T_o$  είναι η θερμοκρασία της πλάκας στην θέση του σωλήνα ,  $D_o$  η εξωτερική διάμετρος αυτού και  $S$  η απόσταση μεταξύ των αξόνων των σωλήνων .

Ολοκλήρωση της διαφορικής εξίσωσης με τις παραπάνω οριακές συνθήκες δίνει την κατανομή της θερμοκρασίας της πλάκας μεταξύ των σωλήνων :

$$(3.2) \quad \frac{T - T_r}{T_o - T_r} = \frac{\cosh(m \cdot x)}{\cosh\left(\frac{m \cdot (s - D_o)}{2}\right)}$$



Το σχήμα 21 δείχνει την κατανομή της θερμοκρασίας ανάμεσα στους σωλήνες σύμφωνα με την εξίσωση (3.2) για  $h=10 \text{ Wm}^{-2}\cdot\text{°C}$  ,  $T_r=24 \text{ °C}$ ,  $k=1.4 \text{ W}\cdot\text{m}\cdot\text{°C}$ ,  $w=0.04\text{m}$ ,  $T_o=12 \text{ °C}$ ,  $D_o=0.02\text{m}$  και  $S=0.3\text{m}$ .



**Σχήμα 21:** Μονοδιάστατη ανάλυση και διδιάστατη αριθμητική πρόβλεψη της κατανομής θερμοκρασίας μεταξύ των σωλήνων του πάνελ.[26]

Σύμφωνα με το σχήμα 19 η θερμότητα  $q^*$  που άγεται σε κάθε σωλήνα ανά μονάδα μήκους στην κατεύθυνση της ροής είναι :

$$q^* = q_1^* + q_1^* + q_2^*$$

όπου  $q_2^*$  είναι η εισερχόμενη θερμότητα από το τμήμα επιφάνειας της πλάκας το οποίο ευρίσκεται ακριβώς κάτω από το σωλήνα , δηλαδή :

$$q_2^* = D_o \cdot h \cdot (T_r - T_o)$$

Και  $q_1^*$  η ροή θερμότητας κατά τη x κατεύθυνση , υπολογισμένη από παραγωγή της εξίσωσης (3.2) :

**Απορροφώμενη  
θερμότητα από το  
πάνελ .**

$$q_1^* = -k \cdot w \cdot \left[ \frac{dT}{dx} \right]_{\frac{S-D_o}{2}} = 0.5 \cdot h \cdot (T_r - T_o) \cdot (S - D_o) \cdot F$$

$$\mu\epsilon : F = \frac{\tanh\left(\frac{m \cdot (S - D_o)}{2}\right)}{m \cdot (S - D_o)}$$

Αντικατάσταση των  $q_1^*$ ,  $q_2^*$  δίνουν :

$$q^* = h \cdot (T_r - T_o) \cdot (D_o + (S - D_o) \cdot F)$$

Επειδή το πάχος του τοιχώματος του σωλήνα είναι μικρό και η θερμική του αγωγιμότητα μεγάλη, η θερμική αντίσταση του σωλήνα μπορεί να παραλειφθεί και η ροή θερμότητας  $q^*$  προς το ρευστό μπορεί να εκφραστεί ως:

(3.3)

$$q^* = \pi \cdot D_i \cdot h_f \cdot (T_o - T_f)$$

Όπου :

$T_f$  η τοπική θερμοκρασία του ρευστού  
 $D_i$  η εσωτερική διάμετρος του σωλήνα  
 $h_f$  ο συντελεστής μετάδοσης στην εσωτερική επιφάνεια του σωλήνα

Αντικατάσταση του  $T_o$  στην προηγούμενη εξίσωση και επίλυση ως προς  $q^*$  δίνει :

(3.4)

$$q^* = S \cdot F_1 \cdot h \cdot (T_r - T_f)$$

Όπου :

$$F_1 = \frac{\frac{1}{h}}{\frac{S}{h \cdot (D_o + (S - D_o) \cdot F)} + \frac{S}{\pi \cdot D_i \cdot h_f}}$$

Το  $F_1$  μπορεί να θεωρηθεί ως ο «συντελεστής απόδοσης του πάνελ».

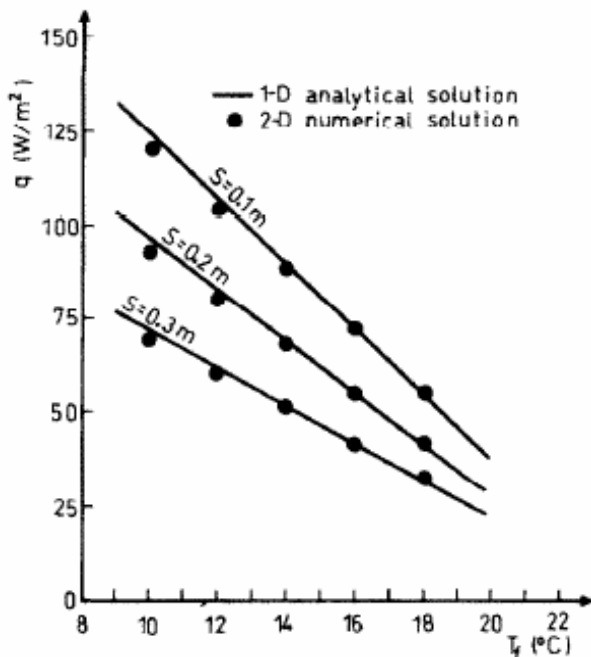
Η εξίσωση (3.3) υποδηλώνει ότι το  $F_1$  εκφράζει το λόγο της πραγματικής ψυκτικής ισχύος του πάνελ προς την ψυκτική ισχύ που θα προέκυπτε αν η επιφάνεια του πάνελ βρισκόταν στην τοπική θερμοκρασία του ρευστού  $T_f$ .

Επίσης από την έκφραση του  $F_1$  παρατηρούμε ότι αποτελεί το λόγο της αντίστασης μετάδοσης θερμότητας από την επιφάνεια του πάνελ στον αέρα δωματίου προς την αντίσταση μετάδοσης θερμότητας από το ρευστό στον αέρα δωματίου.

Η θερμότητα  $q$  που απορροφάται ανά μονάδα επιφάνειας του πάνελ μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση (3.3) :

$$q = \frac{q^*}{S} = F_1 \cdot h \cdot (T_r - T_f) \quad (3.5)$$

Το διάγραμμα 8 δείχνει τη θερμότητα  $q$  συναρτήσει του  $T_f$  με το  $S$  ως παράμετρο, υπολογισμένη σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση για τις ακόλουθες τιμές των υπόλοιπων παραμέτρων  $h=10 \text{ Wm}^{-2}\cdot\text{°C}$ ,  $T_r=24 \text{ °C}$ ,  $k=1.4 \text{ W}\cdot\text{m}\cdot\text{°C}$ ,  $w=0.04\text{m}$ ,  $D_i=0.018\text{m}$ ,  $D_o=0.02\text{m}$  και  $h_f=3000 \text{ Wm}^{-2}\cdot\text{°C}$ .



Διάγραμμα 8 : Αναλυτική και αριθμητική πρόβλεψη της θερμότητας  $q$  που απορροφάται ανά μονάδα επιφάνειας του πάνελ συναρτήσει της θερμοκρασίας ρευστού  $T_f$  με παράμετρο την απόσταση σωλήνων  $S$ . [26]

**Θερμοκρασιακή κατανομή στην κατεύθυνση της ροής .**

Το ψυκτικό ρευστό εισέρχεται στο πάνελ σε θερμοκρασία  $T_{f,i}$  και το εγκαταλείπει σε  $T_{f,o} > T_{f,i}$ .

Με παραπομπή στο σχήμα 20 που δείχνει ένα μόνο σωλήνα του πάνελ , ενεργειακό ισοζύγιο σε ένα στοιχείο  $\Delta z$  δίνει :

$$\left[ \frac{m}{n} \cdot C_p \cdot T_f \right]_z - \left[ \frac{m}{n} \cdot C_p \cdot T_f \right]_{z+\Delta z} + q^* \cdot \Delta z = 0$$

Λαμβάνοντας υπόψη ότι  $[T_f]_{z+\Delta z} = [T_f]_z + dT_f$  , αντικαθιστώντας το  $q^*$  από την εξίσωση (3.3) η παραπάνω εξίσωση γίνεται :

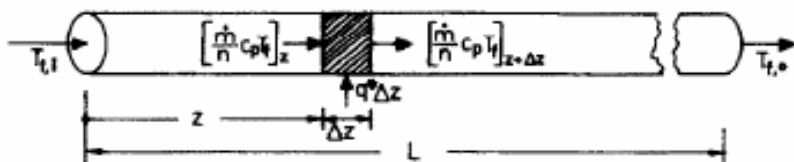
$$m \cdot C_p \cdot \frac{dT_f}{dz} - n \cdot S \cdot F_1 \cdot h \cdot (T_r - T_f) = 0$$

Ολοκλήρωσή της με οριακές συνθήκες  $T_f = T_{f,i}$  για  $z=0$  δίνει τη θερμοκρασιακή κατανομή στην κατεύθυνση της ροής :

$$(3.6) \quad \frac{T_f - T_r}{T_{f,i} - T_r} = e^{-\frac{h \cdot n \cdot S \cdot F_1 \cdot z}{m \cdot C_p}}$$

Αν το μήκος του πάνελ στην κατεύθυνση της ροής είναι  $L$  τότε η θερμοκρασία εξόδου του ρευστού μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση αυτή για  $z=L$  :

$$(3.7) \quad \frac{T_{f,0} - T_r}{T_{f,i} - T_r} = e^{-\frac{A_p \cdot h \cdot F_1}{m \cdot C_p}} \quad , \quad A_p = n \cdot S \cdot L$$



Σχήμα 22 : Ενεργειακό ισοζύγιο σε ένα στοιχείο  $\Delta z$  του ψυκτικού ρευστού . [26]

Η ψυκτική απόδοση του πάνελ  $F_c$  μπορεί να οριστεί ως ο λόγος της πραγματικής ψυκτικής ισχύος του πάνελ προς την ψυκτική ισχύ που θα προέκυπτε αν η επιφάνεια του πάνελ βρισκόταν στη θερμοκρασία εισόδου του ρευστού :

$$F_c = \frac{m \cdot C_p \cdot (T_{f,o} - T_{f,i})}{A_p \cdot h \cdot (T_r - T_{f,i})}$$

Χρησιμοποιώντας την έκφραση της θερμοκρασίας εξόδου του ρευστού η παραπάνω εξίσωση γίνεται :

$$F_c = \frac{m \cdot C_p}{A_p \cdot h} \left( 1 - e^{-\frac{A_p \cdot h \cdot F_1}{m \cdot C_p}} \right) = F_1 \cdot F_2 \quad (3.8)$$

$$\text{Όπου: } F_2 = \frac{m \cdot C_p}{A_p \cdot h \cdot F_1} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{A_p \cdot h \cdot F_1}{m \cdot C_p}} \right) = G \cdot \left( 1 - e^{-\frac{1}{G}} \right)$$

Το μέγεθος  $F_2$  είναι μία συνάρτηση μια μοναδικής μεταβλητής, του αδιάστατου ρυθμού ροής μάζας του πάνελ :

$$G = \frac{m \cdot C_p}{A_p \cdot h \cdot F_1}$$

Και μπορεί να ονομαστεί «συντελεστής ροής του πάνελ» .

Χρησιμοποιώντας την εξίσωση (3.4), η θερμότητα  $q$  που απορροφάται ανά μονάδα επιφάνειας του πάνελ να εκφραστεί ως:

$$q = F_c \cdot h \cdot (T_r - T_{f,i}) \quad (3.9)$$

Η παραπάνω εξίσωση είναι περισσότερο χρήσιμη από την εξίσωση 3.5 γιατί επιτρέπει υπολογισμό της θερμότητας  $q$  συναρτήσει της γνωστής θερμοκρασίας εισόδου του ρευστού .

**Ψυκτική απόδοση  
του πάνελ .**



**Ψυκτική απόδοση  
του πάνελ .**

Η μέση θερμοκρασία του ρευστού :

$$T_{f,m} = \frac{1}{L} \cdot \int_0^L T_f \cdot dz$$

Μπορεί να υπολογιστεί αντικαθιστώντας το  $T_f$  από την εξίσωση 3.6 στην παραπάνω εξίσωση και μετά ολοκληρώνοντας . Χρησιμοποιώντας ακόμη τις εξισώσεις 3.7 και 3.9 βρέθηκε η ακόλουθη έκφραση για τη μέση θερμοκρασία του ρευστού :

$$T_{f,m} = T_{f,i} + \frac{q}{h \cdot F_c} \cdot (1 - F_2)$$

Η απορροφούμενη θερμότητα  $q$  ανά μονάδα επιφάνειας του πάνελ , που δίνεται από τις εξισώσεις 3.5 ή 3.9 μπορεί να εκφραστεί συναρτήσει της μέσης θερμοκρασίας της επιφάνειας του πάνελ  $T_{p,m}$  ως :

$$q = h \cdot (T_r - T_{p,m})$$

Συνδυάζοντας την παραπάνω εξίσωση με την εξίσωση 3.9 προκύπτει η ακόλουθη έκφραση για την μέση θερμοκρασία του πάνελ :

$$T_{p,m} = T_{f,i} + \frac{q}{h \cdot F_c} \cdot (1 - F_c)$$

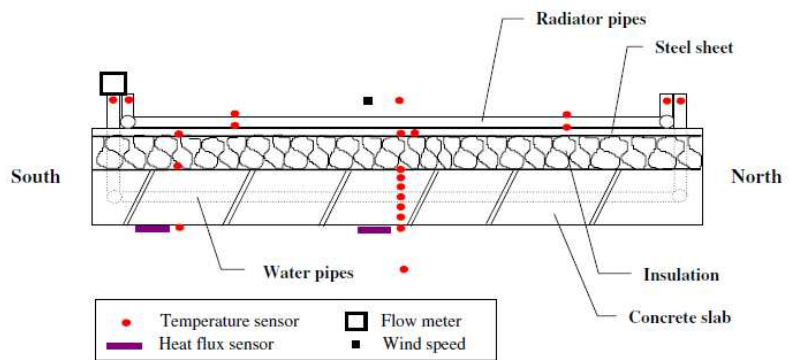
### 3.4 Πλεονεκτήματα του μελετούμενου συστήματος – Συμπεράσματα. [24]

- Ο δροσισμός της κεφαλής των ατόμων με τη δι' ακτινοβολίας συναλλαγή θερμότητας με την ψυχρή οροφή , δημιουργεί αίσθηση άνεσης με υψηλότερη θερμοκρασία αέρα εσωτερικού χώρου .
- Λόγω των μεγάλων ψυκτικών επιφανειών ( ολόκληρη η οροφή ) ο απαιτούμενος ρυθμός συναλλαγής θερμότητας επιτυγχάνεται με υψηλότερες θερμοκρασίες ψυκτικού νερού .
- Ενδείκνυται η χρήση ηλιακών ψυκτικών μηχανών λόγω των ηπίων θερμοκρασιών ψυκτικού νερού , συμβάλλοντας έτσι όχι μόνο στην εξοικονόμηση ενέργειας αλλά και στη μείωση της μόλυνσης του περιβάλλοντος . Λόγω της υψηλότερης θερμοκρασίας του ψυκτικού νερού , αυξάνεται η απόδοση τόσο της ηλιακής ψυκτικής μηχανής , όσο και του ηλιακού συλλέκτη , δεδομένου ότι επαρκούν χαμηλότερες θερμοκρασίες διέγερσης της ατμογεννήτριας της ψυκτικής μηχανής απορρόφησης .
- Με την εσωτερική ψύξη ή θέρμανση δομικών στοιχείων επιτυγχάνεται θερμική αξιοποίηση της μάζας του κτηρίου ανώτερη από αυτήν που παρατηρείται κατά το συμβατικό κλιματισμό .
- Με τα ψυχόμενα ή θερμαινόμενα δομικά στοιχεία επιτυγχάνεται η επιθυμητή χρονική μετατόπιση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από τις αντλίες θερμότητας και συνεπώς αποφεύγεται η επικίνδυνη για τη ΔΕΗ αιχμή φορτίου . Συγχρόνως , ο καταναλωτής έχει άμεσο οικονομικό όφελος , καθώς μεταφέρει τη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε χρόνους μειωμένου τιμολογίου .
- Κατά τη θέρμανση χώρων με θερμές δομικές επιφάνειες ή πλάκες , σημαντικό μέρος της μεταφοράς θερμότητας γίνεται δι' ακτινοβολίας . Αποτέλεσμα είναι η μείωση των απωλειών προς το εξωτερικό περιβάλλον , λόγω διαδοχικών ανακλάσεων της ακτινοβολίας στις εσωτερικές επιφάνειες των δομικών στοιχείων του χώρου . Επιπρόσθετη μείωση των απωλειών προς το εξωτερικό περιβάλλον επιτυγχάνεται διότι οι υαλοπίνακες του χώρου είναι αδιαπέραστοι από τη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία που εκπέμπεται από τις εσωτερι-

κές επιφάνειες ελεγχόμενης θερμοκρασίας ( δομικές επιφάνειες ή πίνακες ) .

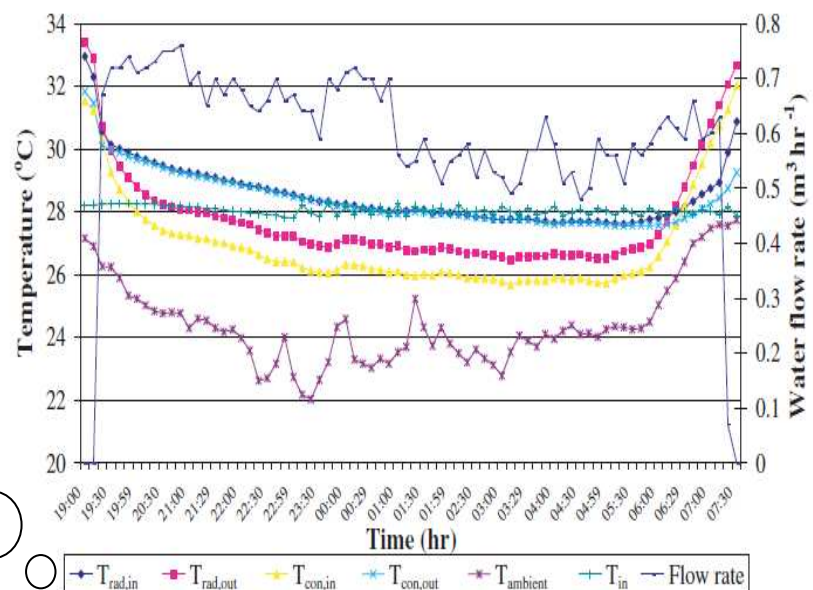
Εκτός από την εξοικονόμηση ενέργειας και τη μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος λόγω δυνατότητας χρήσης ηλιακής ενέργειας , το υπό μελέτη σύστημα κλιματισμού προσφέρει και υψηλότερο βαθμό συνθηκών θερμικής άνεσης , διότι :

- Ελαχιστοποιείται η ενοχλητική κίνηση αέρος στο χώρο .
- Μηδενίζεται ο θόρυβος που σχετίζεται με τοπικές κλιματιστικές μονάδες .
- Αυξάνεται ο έλεγχος της θερμοκρασίας των εσωτερικών επιφανειών του χώρου και έτσι αποφεύγονται οι δυσάρεστες διαφορές θερμοκρασίας των επιφανειών , οι οποίες παρατηρούνται στα συναγωγικά συστήματα κλιματισμού.



### Επεξηγήσεις θερμοκρασιών :

$T_{rad,in}, T_{rad,out}$ : των σωλήνων ακτινοβολίας.  
 $T_{con,in}, T_{con,out}$ : των σωλήνων κλιματισμού.  
 $T_{amb}$ : περιβάλλοντος.  
 $T_{in}$ : δωματίου.



Σχήμα 23 : Πειραματική διάταξη με τους αισθητήρες (πάνω) και αποτελέσματα (κάτω) του πρωτοτύπου ψυκτικού πάνελ οροφής που κατασκευάστηκε στο ΚΑΠΕ (25<sup>η</sup> Ιουνίου) .[23]

**ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

**ΤΜΗΜΑ**

**2**





## Επίδοση ενός ψυκτικού πάνελ οροφής ψυχόμενου από μηχανή απορρόφησης H<sub>2</sub>O-LiBr οδηγούμενης από ηλιακούς συλλέκτες κενού . [28]

Κατά τον κλιματισμό κτηρίων με ψυκτικά πάνελ , η θερμότητα που παράγεται ή εισέρχεται στο κτήριο παραλαμβάνεται από ένα ψυχρό ρευστό που ρέει εντός των αγωγών που επενδύουν την οροφή του χώρου όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3. Με αυτά τα συστήματα , επιτυγχάνεται αξιοσημείωτη εξοικονόμηση ενέργειας μιας και υψηλότερες θερμοκρασίες σχεδιασμού της κλιματιστικής εγκατάστασης είναι αρκετές . Αυτό συμβαίνει κυρίως για τους εξής λόγους :

1. Διαθεσιμότητα μεγάλων ψυκτικών επιφανειών.
2. Ανταλλαγή θερμότητας (δροσισμός) μέσω ακτινοβολίας μεταξύ της οροφής και της κεφαλής των ανθρώπων.
3. Ψυκτική αποθήκευση στα δομικά στοιχεία ελαττώνει τις αιχμές φορτίου.

Το υπό ανάλυση ψυκτικό πάνελ χρησιμοποιεί ψυκτική μηχανή απορρόφησης H<sub>2</sub>O-LiBr . Μία θερμοδυναμική και θερμική ανάλυση του συστήματος διεξάγεται και προβλέπεται η αναμενόμενη επίδοση του κατά τη διάρκεια του τυπικού καλοκαιριού στην περιοχή της Αθήνας.

Για τη θερμική συμπεριφορά του πάνελ χρησιμοποιείται το εκπόνημα του κ.Αντωνόπουλου [26] σύμφωνα με το οποίο η θερμότητα που απορροφάται από ένα χώρο ανά μονάδα επιφάνειας του πάνελ ισούται με :

**Θερμική  
ανάλυση**

$$q = \frac{q^*}{S} = F_1 \cdot h \cdot (T_r - T_f)$$

Όπου

$$F_1 = \frac{\frac{1}{h}}{\frac{1}{h \cdot (D_o + (S - D_o) \cdot F)} + \frac{1}{\pi \cdot D_i \cdot h_f}}$$

$$F = \frac{\tanh\left(\frac{m \cdot (S - D_o)}{2}\right)}{\frac{m \cdot (S - D_o)}{2}}, \quad m^2 = \frac{h}{k \cdot w}$$

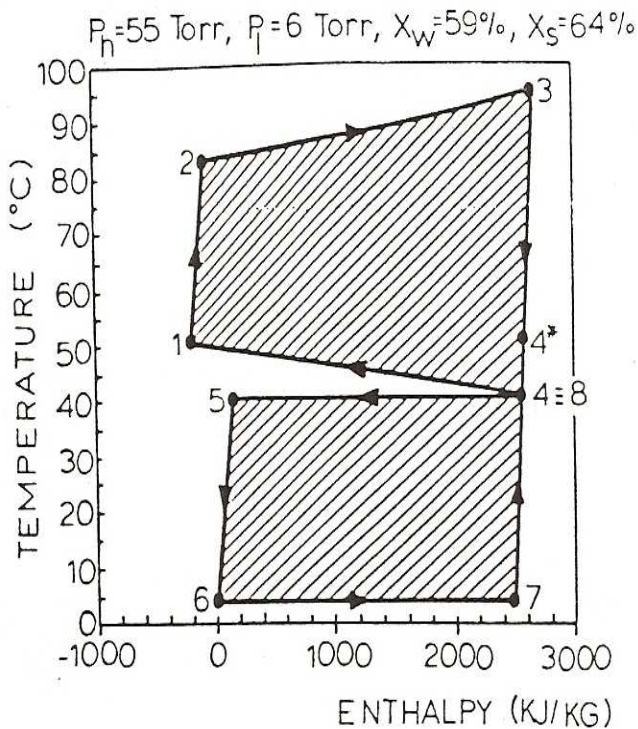
Τα μεγέθη που χρησιμοποιούνται στις παραπάνω εξισώσεις περιγράφονται αναλυτικά στην ενότητα 3.3.

Για τους ηλιακούς συλλέκτες χρησιμοποιείται η έκφραση που δίνεται από τον Rapp [29]:

$$\dot{q}_{coll} = 0.71 \cdot G_T - 0.00244 \cdot (T_{coll} - T_{amb})$$

## Θερμοδυναμική ανάλυση

Η μονάδα H<sub>2</sub>O-LiBr αναλύθηκε από προσεγγίσεις διάφορων δημοσιεύσεων ([21],[22],[30]) και η υπολογιστική διαδικασία που ακολουθήθηκε παρουσιάστηκε στην ενότητα 2.3 και για πληρότητα παρατίθεται και παρακάτω (καθώς και για καλύτερη εποπτεία παρατίθενται το σχήμα 24 και το διάγραμμα 9):



Διάγραμμα 4 : Κύκλος ψύξης σε διάγραμμα ενθαλπίας - θερμοκρασίας . [28]

$$T_{con} = T_4 = T_5 = T_{amb} + 5^\circ C$$

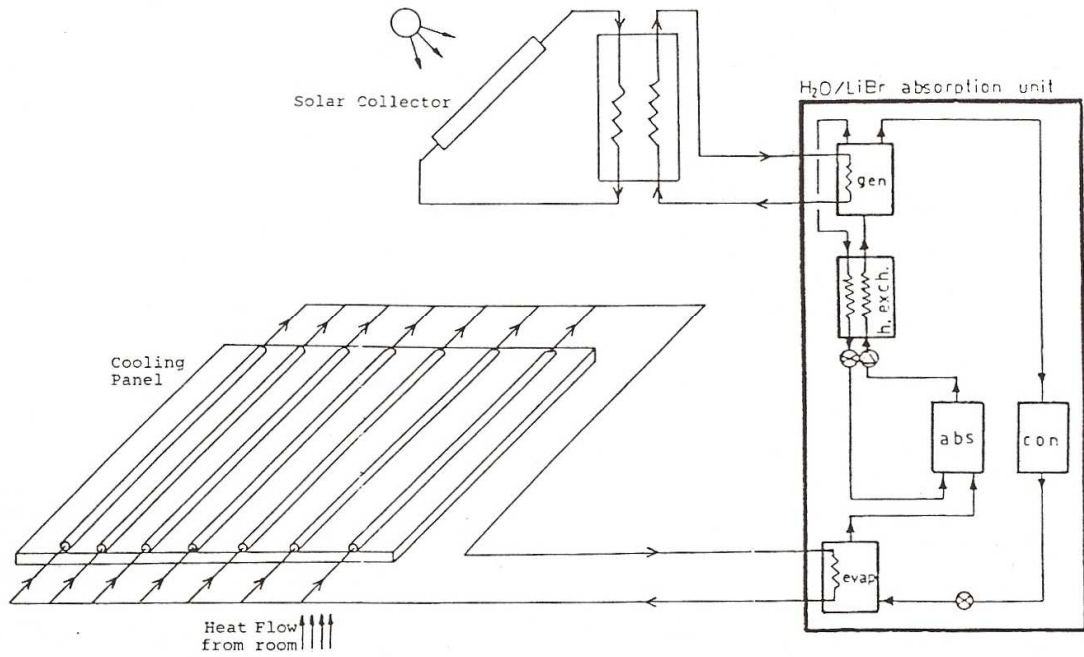
$$\log_{10} p_h = 14.4 - \left( \frac{322.6383}{T_{con} + 273} + 2.4850432 \right)^2$$

$$\log_{10} p_l = 14.4 - \left( \frac{322.6383}{T_{ev} + 273} + 2.4850432 \right)^2$$

$$T_{abs,l} = T_8 = T_{cond} = T_{amb} + 5^\circ C$$

$$T_{abs,l} = A(X_w) \cdot T_{ev} + B(X_w)$$

$$X_s = X_w + \Delta X = X_w + 5\%$$



Σχήμα 24 : Σχηματική αναπαράσταση του περιγραφόμενου συστήματος . [28]

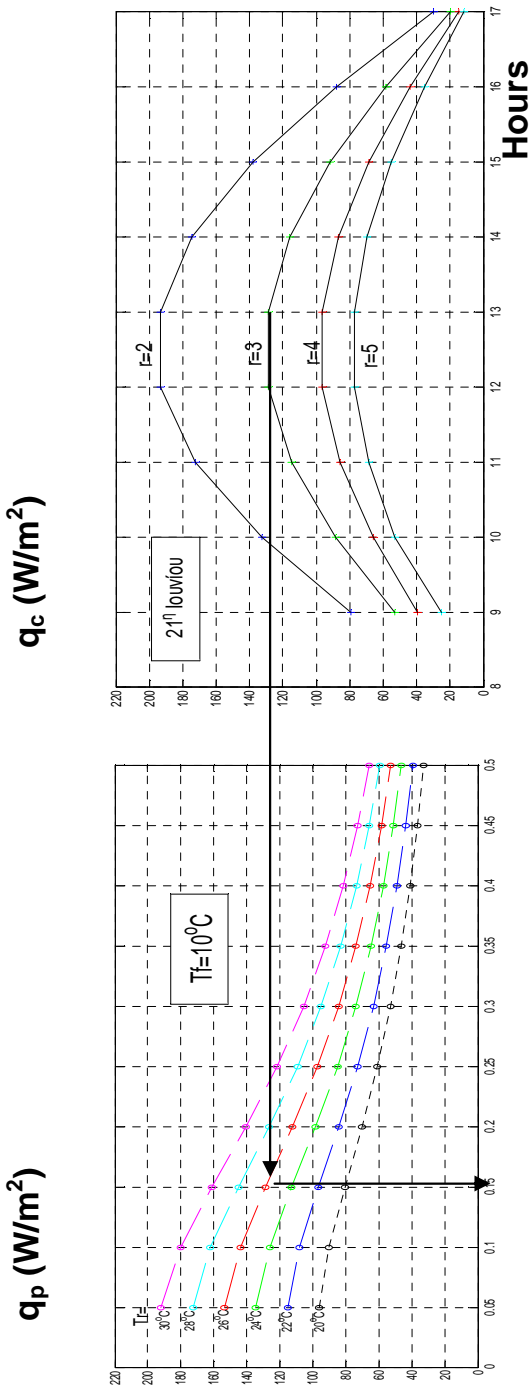
$$\left[ \begin{array}{l} T_{abs,h} = A(X_s) \cdot T_{ev} + B(X_s) \\ T_{gen,l} = A(X_w) \cdot T_{cond} + B(X_w) \\ T_{gen,h} = A(X_s) \cdot T_{cond} + B(X_s) \end{array} \right]$$

$$Q_h = 1.73 \cdot T_{gen,l} + 2501.6 - \frac{X_s}{\Delta X} \cdot h(X_w, T_{abs,h}) + \frac{X_w}{\Delta X} \cdot h(X_s, T_{abs,h})$$

$$Q_l = 1.73 \cdot T_{abs,l} + 2501.6 - 4.199 \cdot T_{cond}$$

$$\dot{q}_c = \dot{m} \cdot \frac{q_l}{3.6 \cdot r}, \text{ οπου } \dot{m} = 3600 \cdot \frac{q_{coll}}{q_h}, r = \frac{A_{pan}}{A_{coll}}$$

## Επίδοση του πάνελ



Μία σημαντική παράμετρος στο σχεδιασμό ενός συστήματος ψυκτικού πάνελ είναι η αξονική τους απόσταση στην διάταξη τους  $S$ , η οποία μπορεί να προσδιοριστεί ως ακολούθως. Με δεδομένη την επιθυμητή θερμοκρασία χώρου και τη μέση θερμοκρασία νερού,  $T_r$  και  $T_f$  αντίστοιχα, λαμβάνω μία τιμή του  $q_p$  για κάθε τιμή του  $S$ . Η επιλογή της τιμής του  $S$  γίνεται μέσω των διαγραμμάτων που παρατίθενται παρακάτω για διάφορες θερμοκρασίες  $T_{ev}$  και την πλήρωση της παρακάτω εξίσωσης:

$$\dot{q}_p = \left( \dot{q}_c \right)_{\max}$$

Έτσι η απορροφώμενη θερμότητα από το πάνελ ισούται με την μέγιστη ψυκτική ικανότητα που προσφέρεται από την μονάδα H<sub>2</sub>O-LiBr.

Για πληρέστερη κατανόηση παραθέτω το παράδειγμα του σχήματος 25 (21<sup>η</sup> Ιουνίου,  $T_{ev}=10^\circ\text{C}$ ,  $r=3$ ,  $T_r=26^\circ\text{C}$ ):  $S=0.15\text{m}$ .

Αν  $S > 0.15$  τότε  $\dot{q}_p < \left( \dot{q}_c \right)_{\max}$  και συνεπώς το πάνελ δεν μπορεί να χρησιμοποιήσει όλη την προσφερόμενη από την μονάδα ψυκτική ισχύ, ενώ στην αντίθετη περίπτωση το επιλεγμένο πάνελ είναι ανώτερο και άρα πιο ακριβό.

Μία διαδικασία αναπτύχθηκε για τον υπολογισμό συστημάτων ψυκτικών πάνελ με ψυκτική μηχανή απορρόφησης  $H_2O-LiBr$  οδηγούμενη από ηλιακούς συλλέκτες και η επίδοση τους προβλέφθηκε για το τυπικό καλοκαίρι στην περιοχή της Αθήνας . Τα κύρια συμπεράσματα συνοψίζονται παρακάτω :

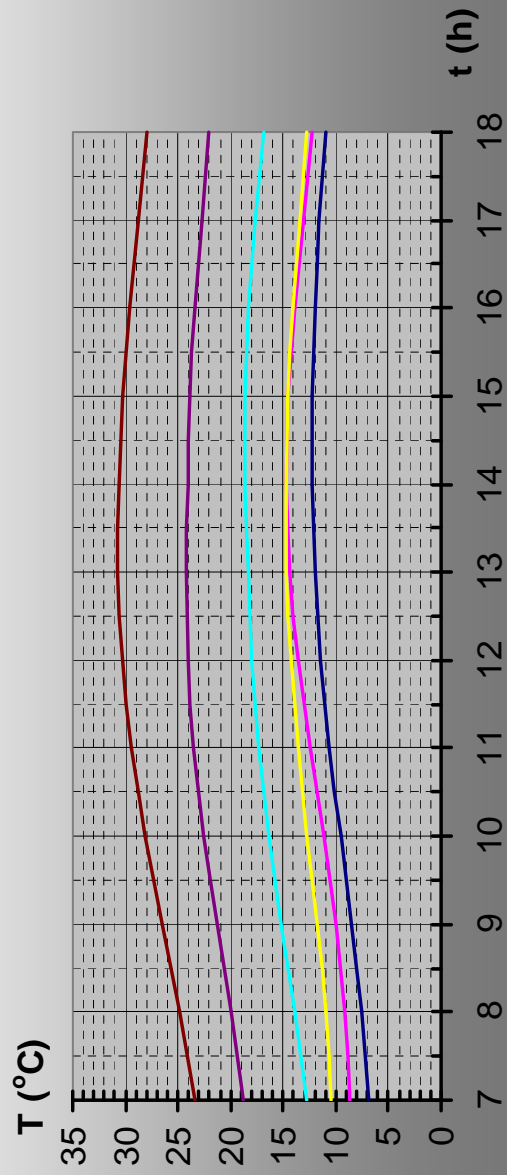
- (1) Μία σημαντική παράμετρος σχεδιασμού του συστήματος είναι ο λόγος  $r$  της επιφάνειας του πάνελ προς αυτή των ηλιακών συλλεκτών . Παρατηρείται ότι ακόμη και για  $r=2$  επιτυγχάνονται τιμές πλησίον του  $200W/m^2$  όταν οι συνήθεις τιμές των συμβατικών δεν ξεπερνούν την τιμή των  $150 W/m^2$ . Συνεπώς τα συστήματα αυτά δύνανται να καλύψουν τις ανάγκες κλιματισμού των ελληνικών κτηρίων .
- (2) Λόγω των μεγάλων ψυκτικών επιφανειών και της ιδιαιτερότητας της εφαρμογής μπορεί να επιτευχθεί θερμική άνεση σε υψηλότερη θερμοκρασία ξηρής σφαίρας δωματίου κάτι που οδηγεί σε υψηλότερες θερμοκρασίες νερού και διαλύματος στην μηχανή απορρόφησης και συνεπώς υψηλότερες τιμές COP.
- (3) Μία ακόμη σημαντική παράμετρος σχεδιασμού είναι η αξονική απόσταση  $S$  η οποία μπορεί να διαστασιοποιηθεί χρησιμοποιώντας τα διαγράμματα αυτού του εκπονήματος όπως αναλύθηκε παραπάνω.





## Θερμοκρασίες περιβάλλοντος για την περιοχή της Αθήνας

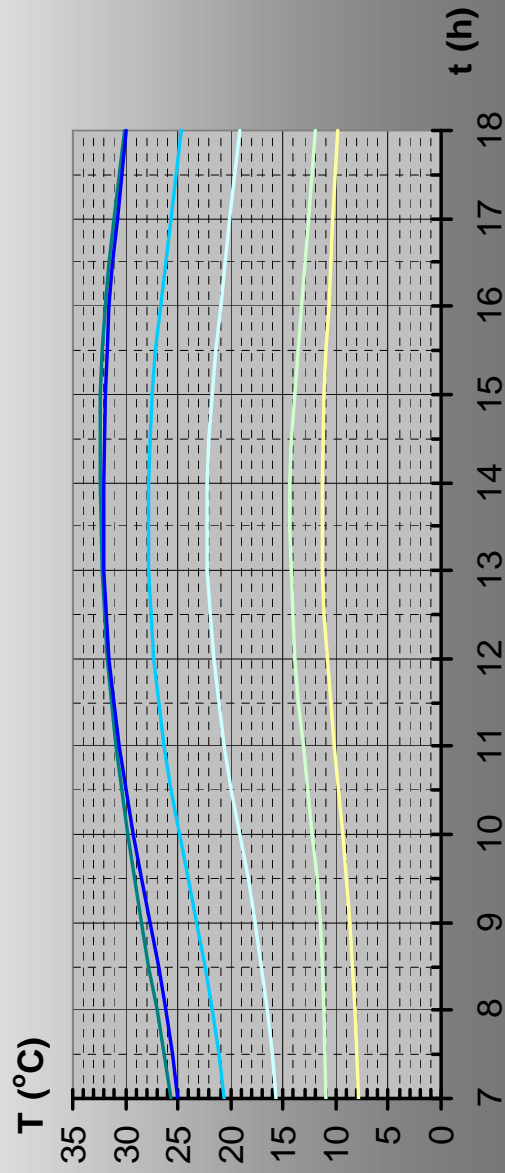
— ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ — ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ — ΜΑΡΤΙΟΣ — ΑΠΡΙΛΙΟΣ — ΜΑΙΟΣ — ΙΟΥΝΙΟΣ



Θερμοκρασία  
περιβάλλοντος



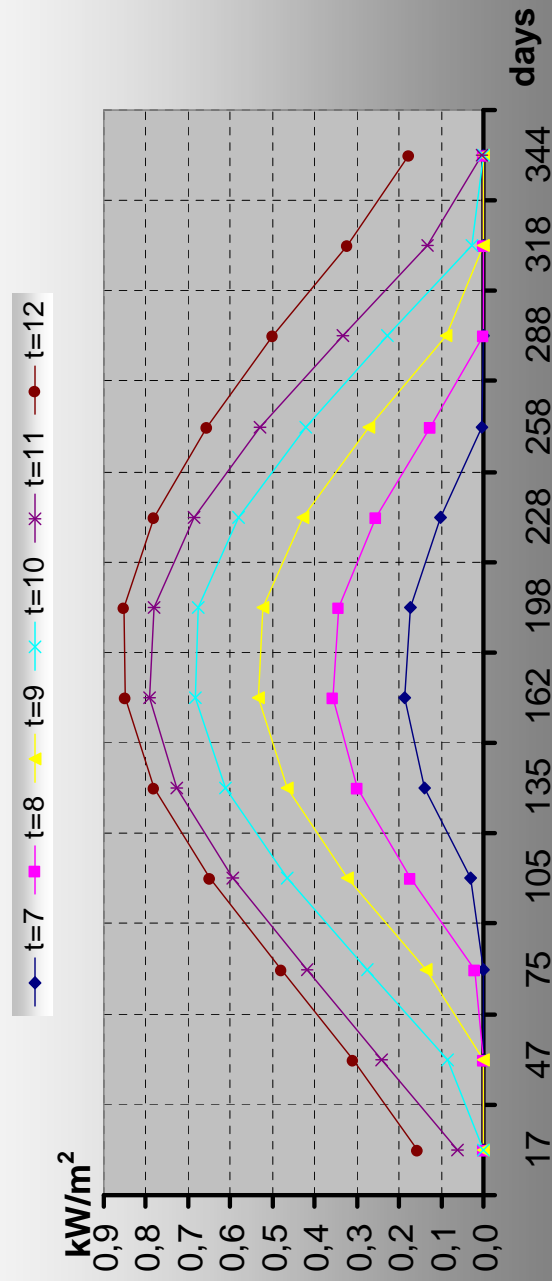
## Θερμοκρασίες περιβάλλοντος για την περιοχή της Αθήνας







# $G_T$ (διάγραμμα ανά ώρα)

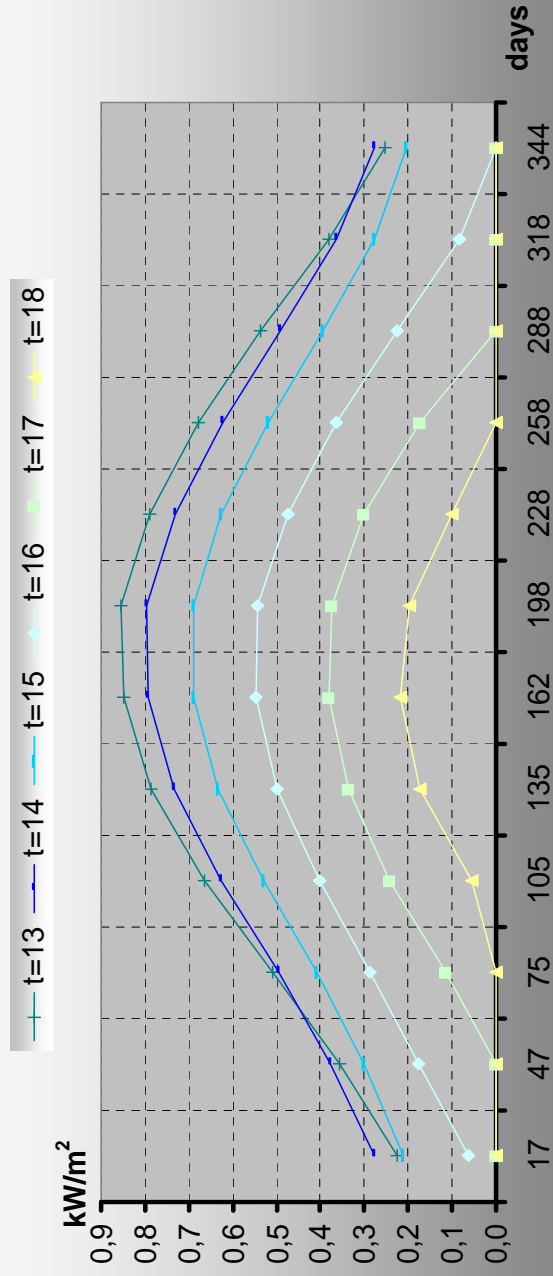


$G_T$ - διάγραμμα  
ανά ώρα



# $G_T$

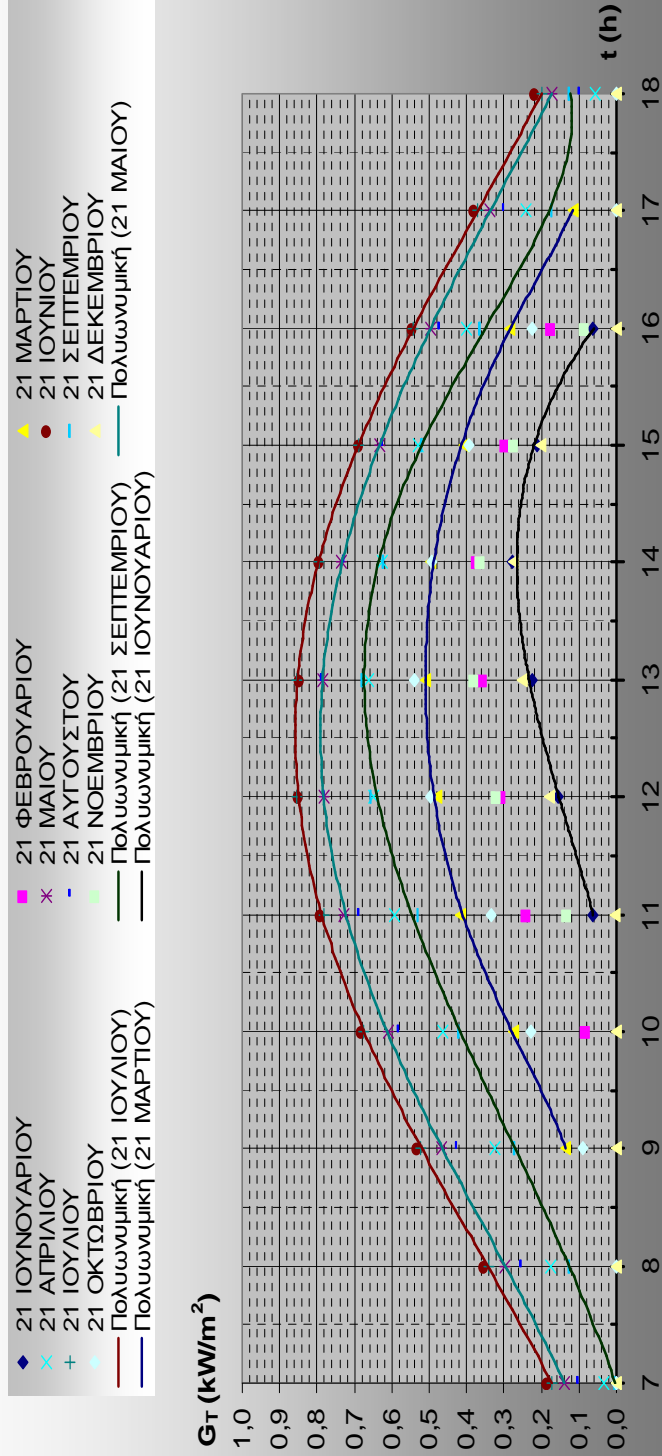
(διάγραμμα ανά ώρα)



$G_T$ - διάγραμμα  
ανά ώρα



ΟΛΙΚΗ ΠΡΟΣΠΙΠΤΟΥΣΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΚΕΚΛΙΜΜΕΝΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ

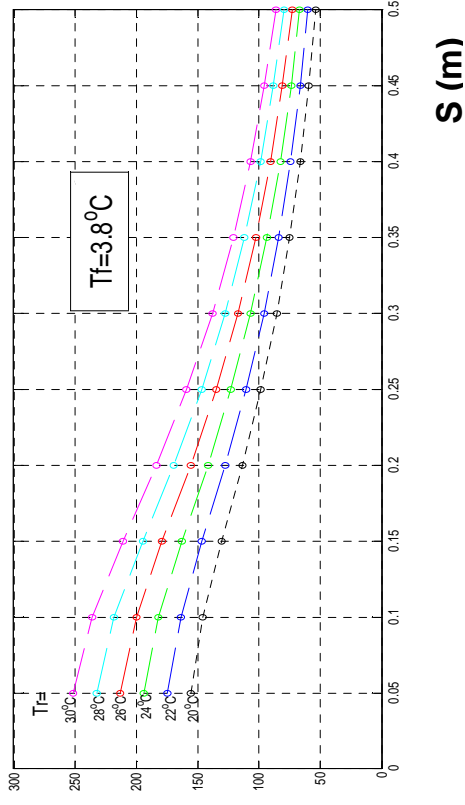


**G<sub>T</sub>- διάγραμμα  
ανά μήνα.**

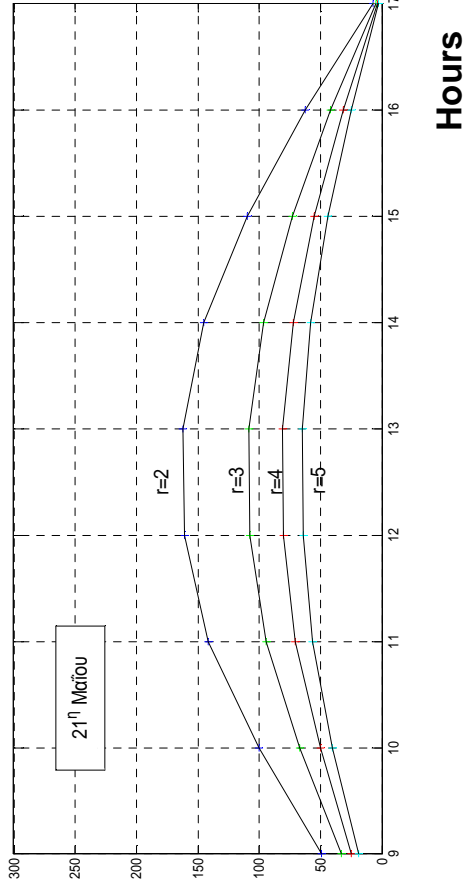




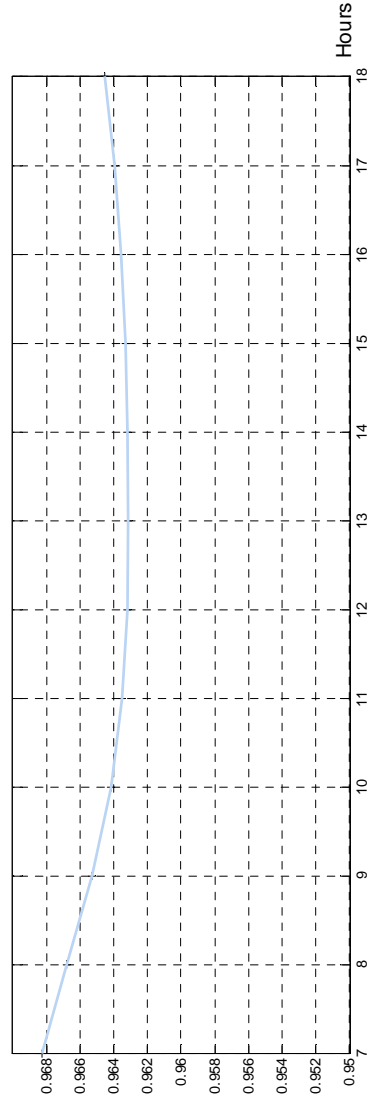
$q_p$  (W/m<sup>2</sup>)



$q_c$  (W/m<sup>2</sup>)



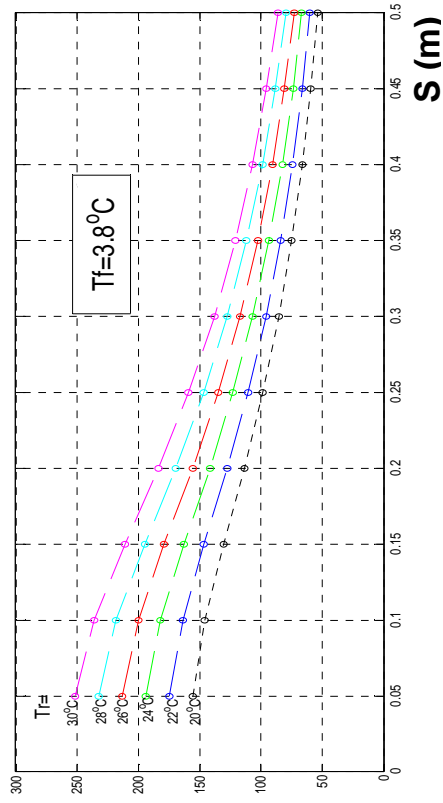
COP



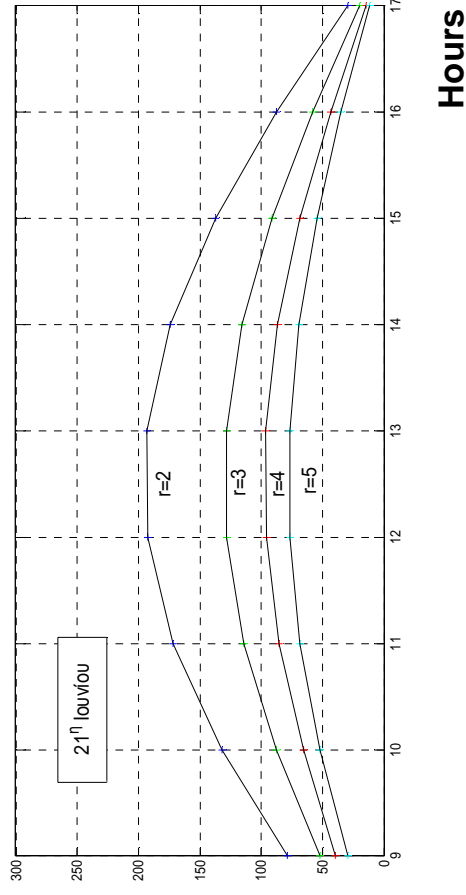
$T_{ev} = 3.8^\circ\text{C}$



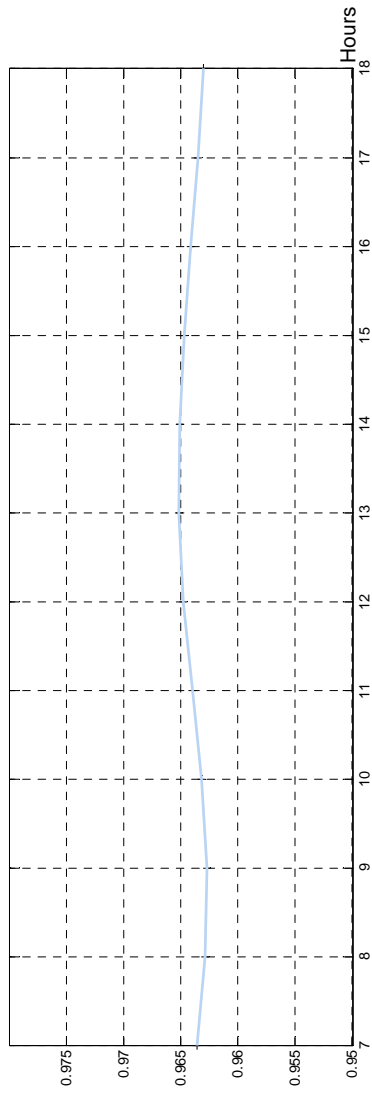
$q_p$  ( $W/m^2$ )



$q_c$  ( $W/m^2$ )



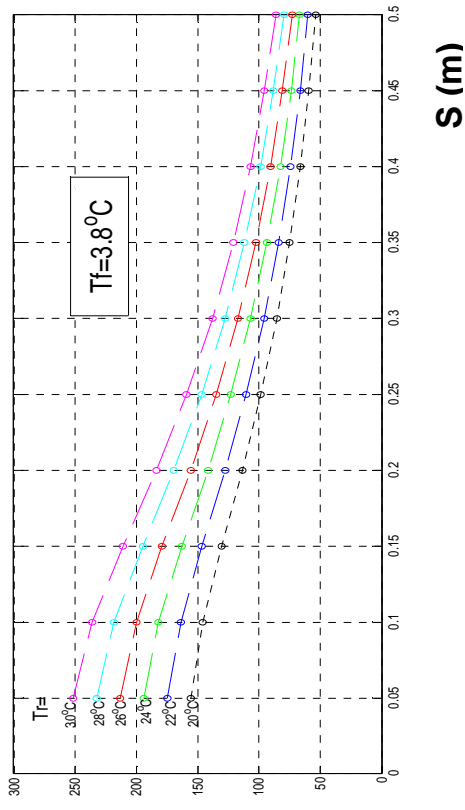
COP



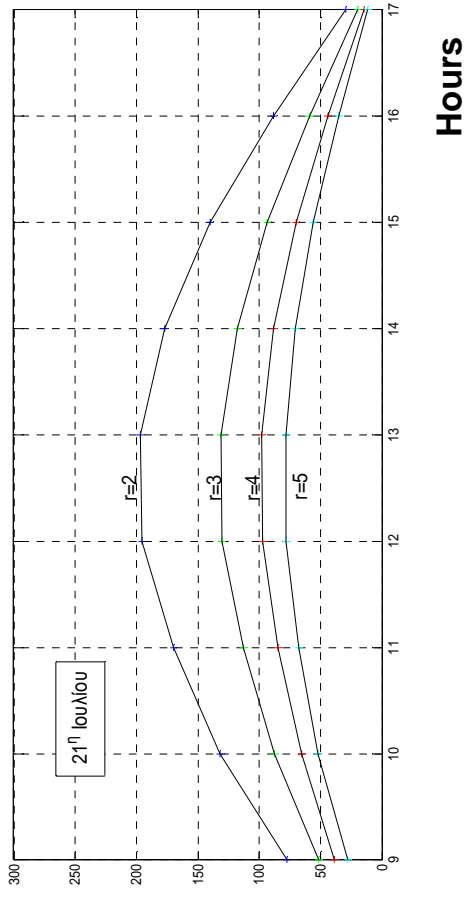
$T_{ev} = 3.8^\circ C$



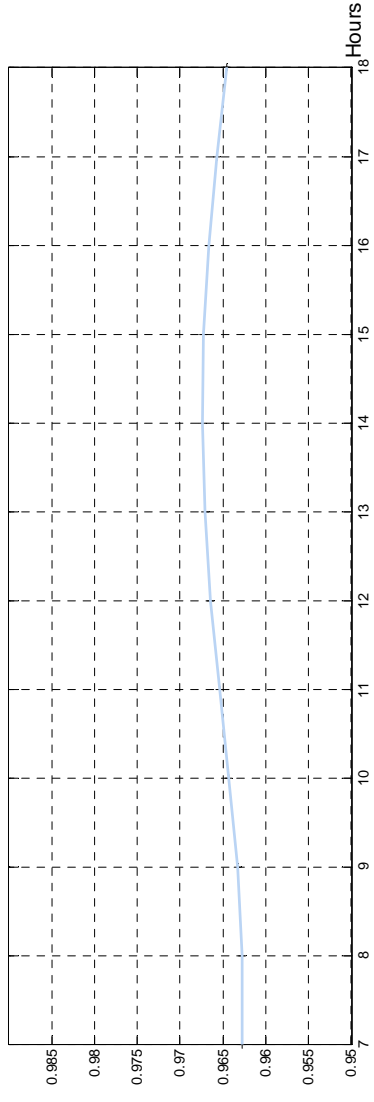
$q_p$  (W/m<sup>2</sup>)



$q_c$  (W/m<sup>2</sup>)



COP



$S$  (m)

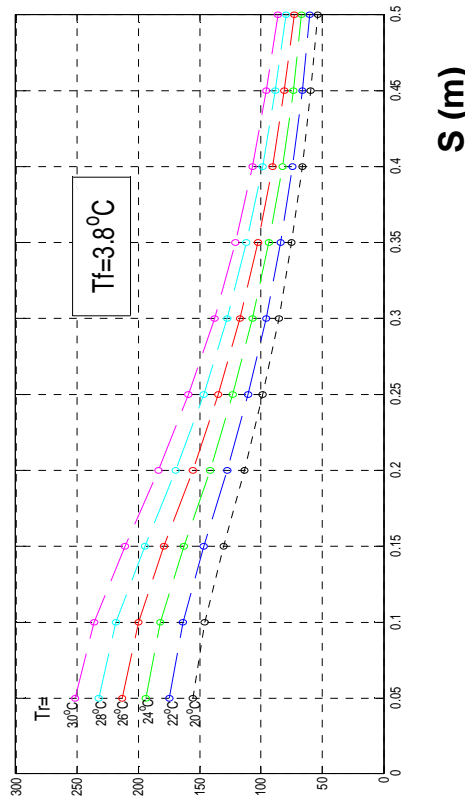
Hours

$T_{ev} = 3.8^\circ\text{C}$

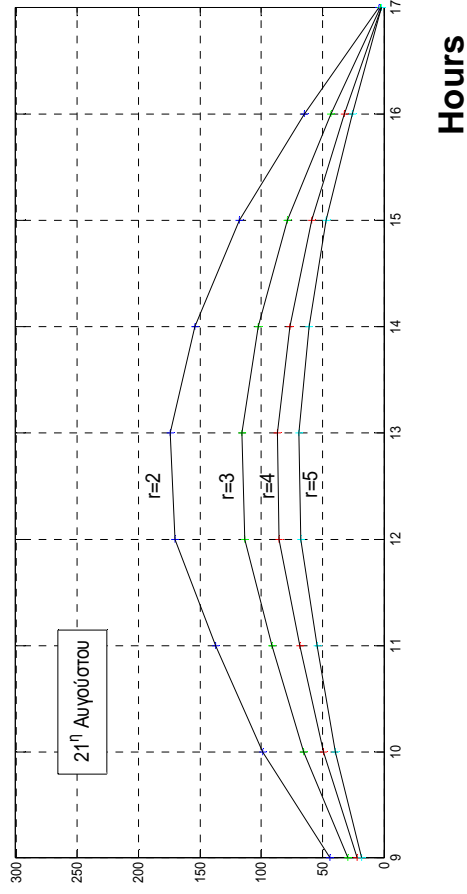




$q_p$  ( $W/m^2$ )



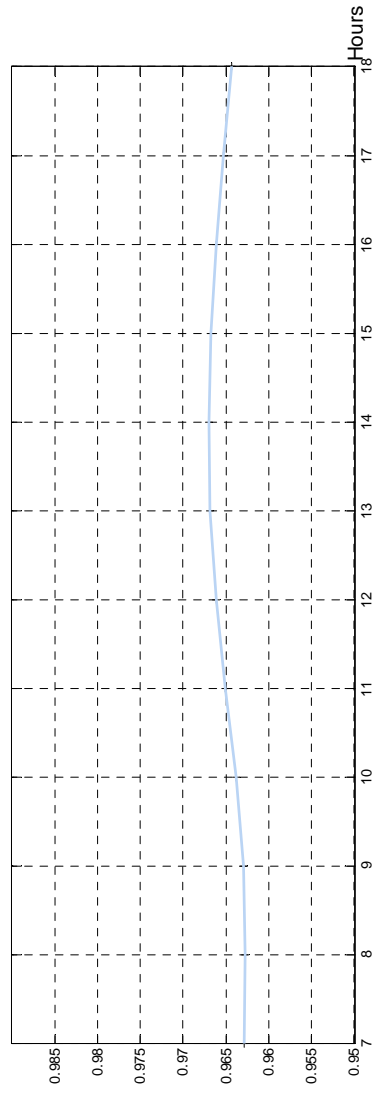
$q_c$  ( $W/m^2$ )



$S$  (m)

Hours

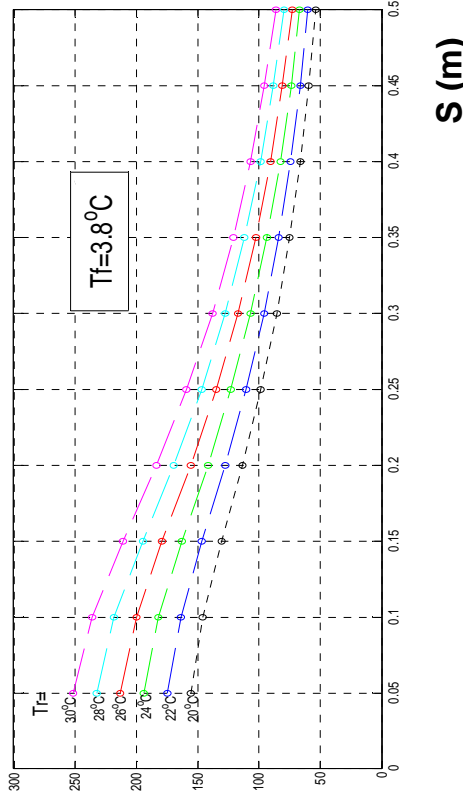
COP



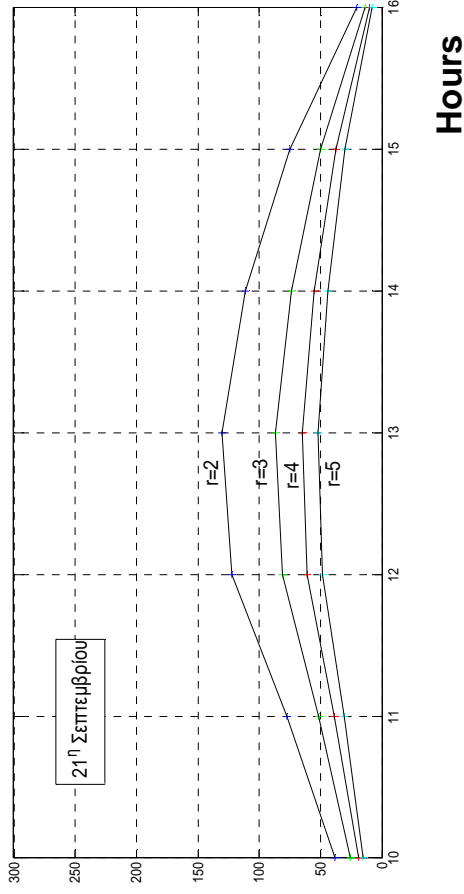
$T_{ev} = 3.8^\circ C$



$q_p$  ( $W/m^2$ )



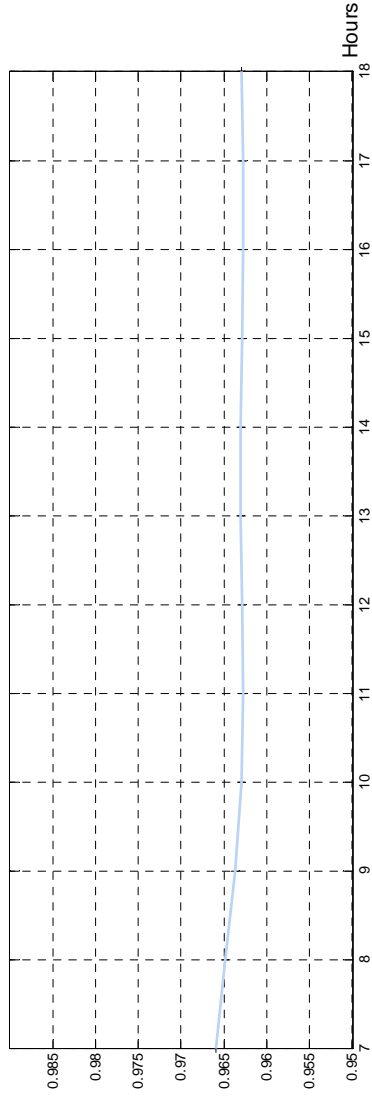
$q_c$  ( $W/m^2$ )



$S$  (m)

Hours

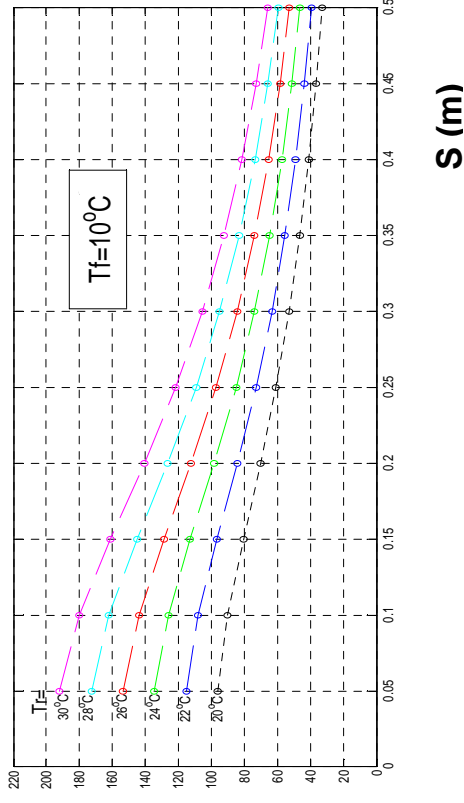
COP



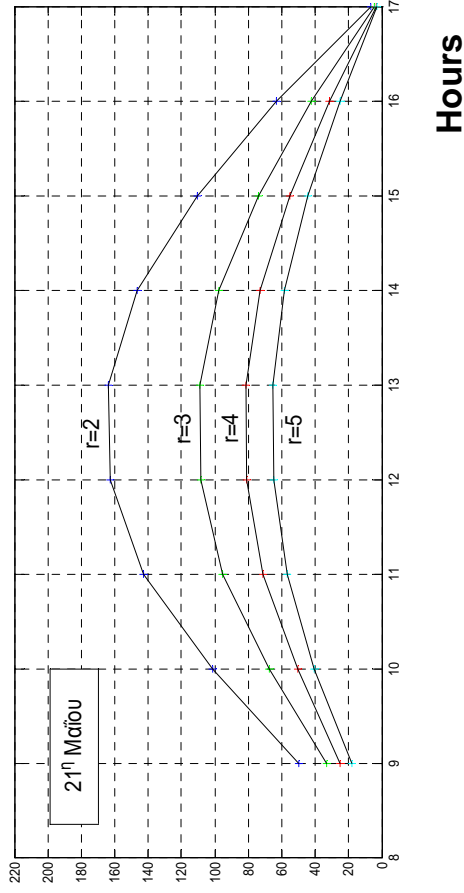
$T_{ev} = 3.8^\circ C$



$q_p$  ( $W/m^2$ )



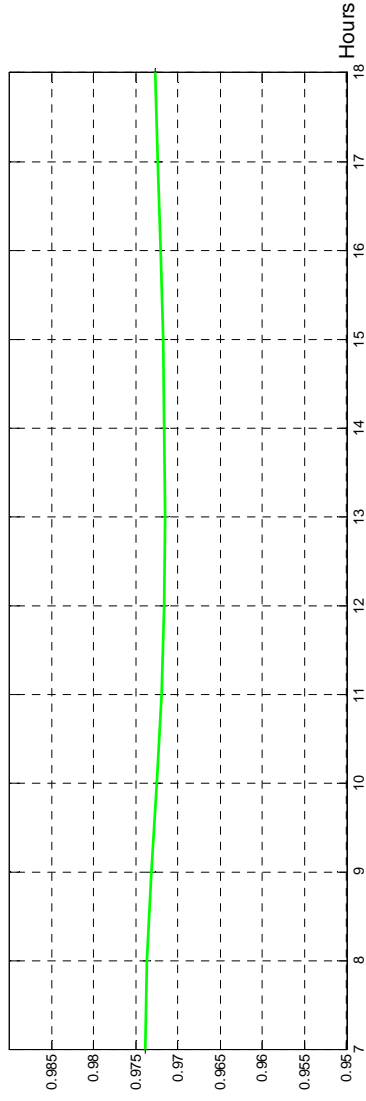
$q_c$  ( $W/m^2$ )



$S$  (m)

Hours

COP

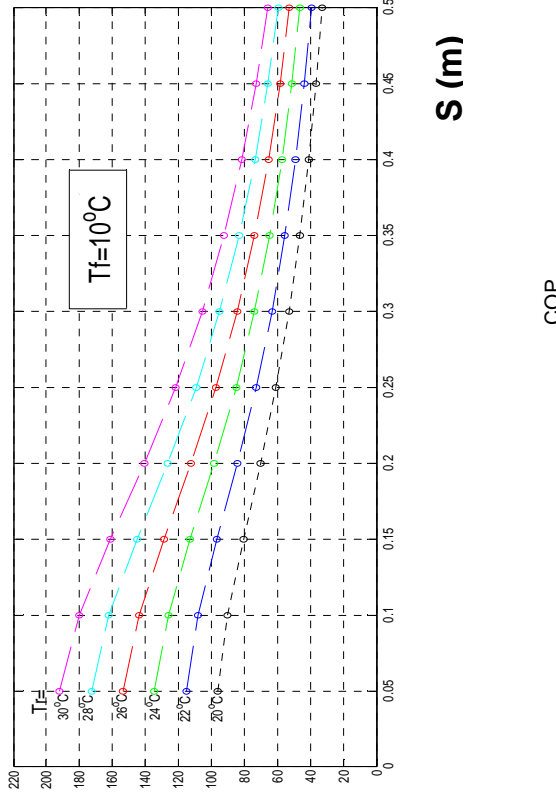


$T_{ev} = 10^\circ C$

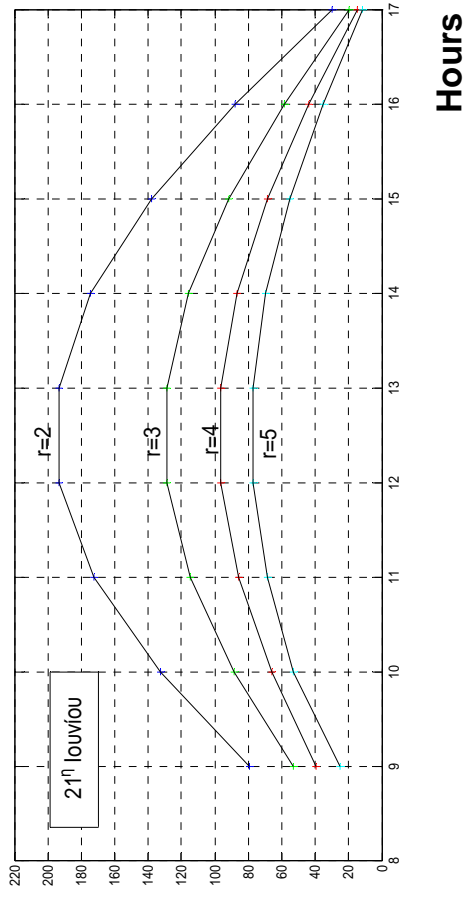




$q_p$  (W/m<sup>2</sup>)



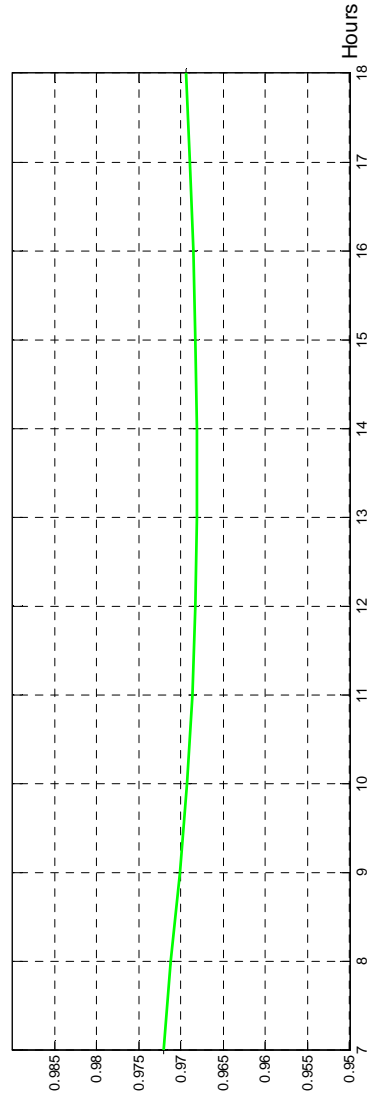
$q_c$  (W/m<sup>2</sup>)



$S$  (m)

Hours

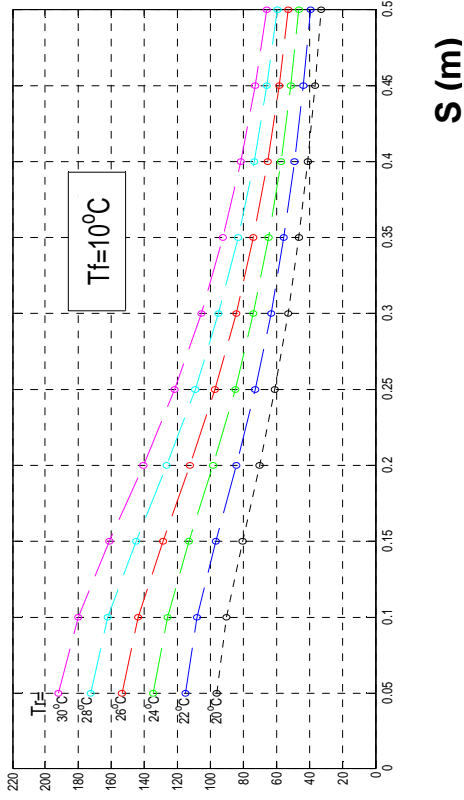
COP



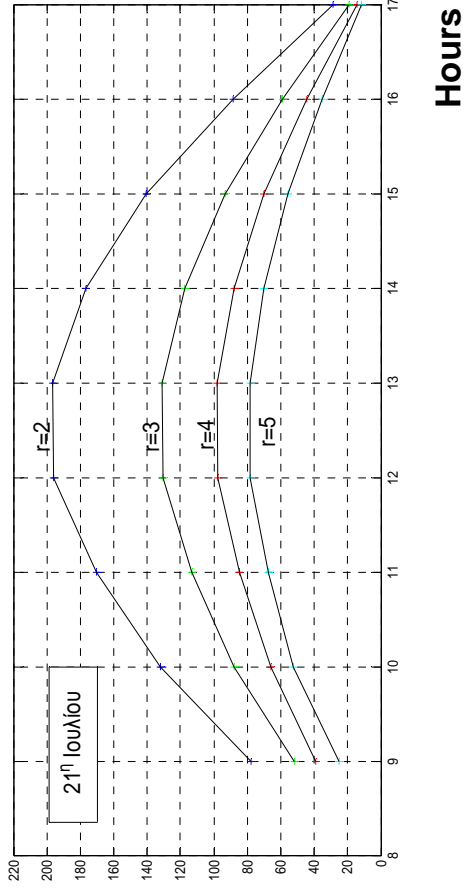
$T_{ev} = 10^\circ\text{C}$



$q_p$  (W/m<sup>2</sup>)



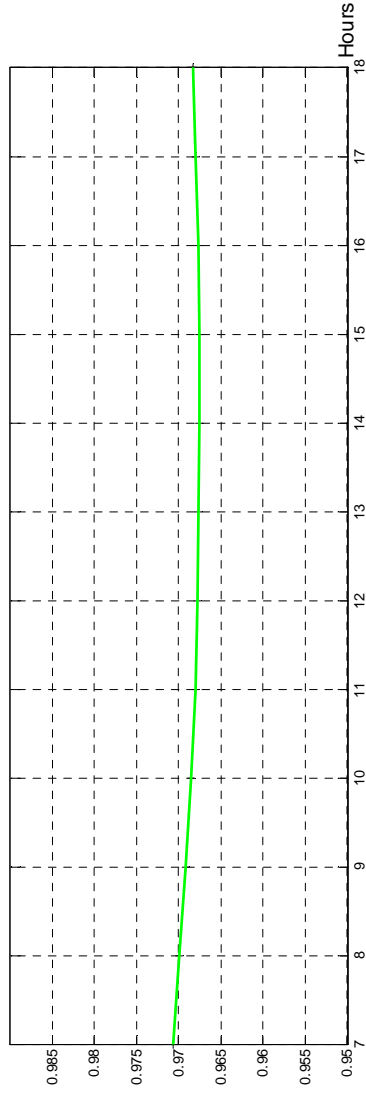
$q_c$  (W/m<sup>2</sup>)



$S$  (m)

Hours

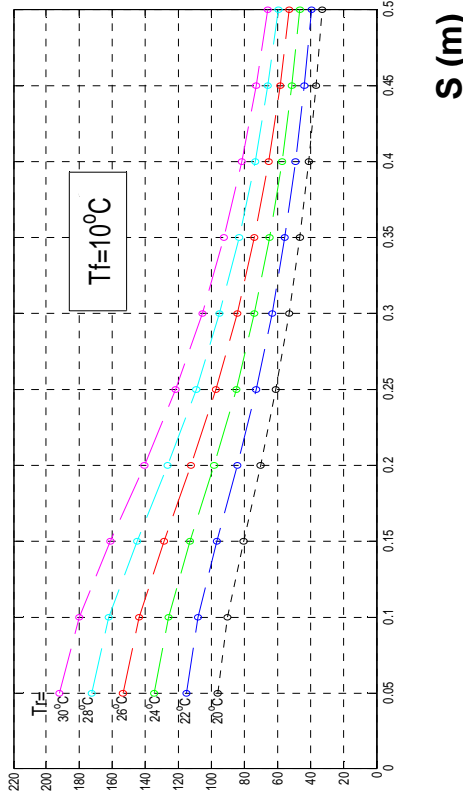
COP



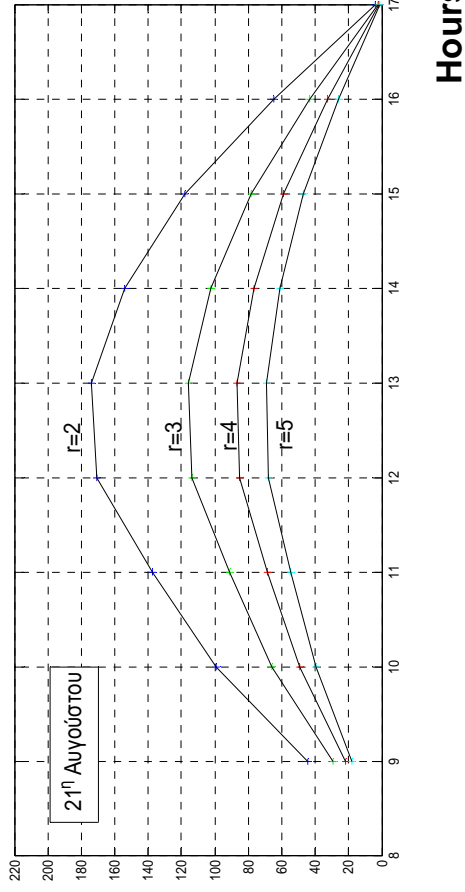
$T_{ev} = 10^\circ\text{C}$



$q_p$  (W/m<sup>2</sup>)



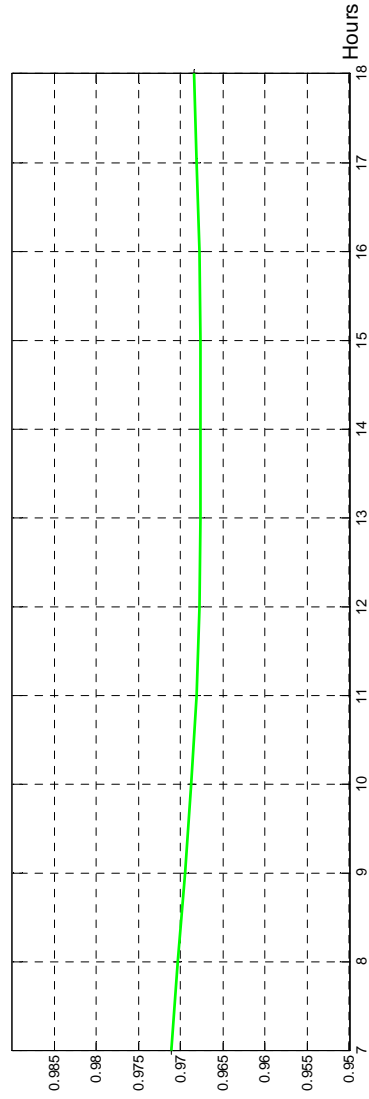
$q_c$  (W/m<sup>2</sup>)



$S$  (m)

Hours

COP

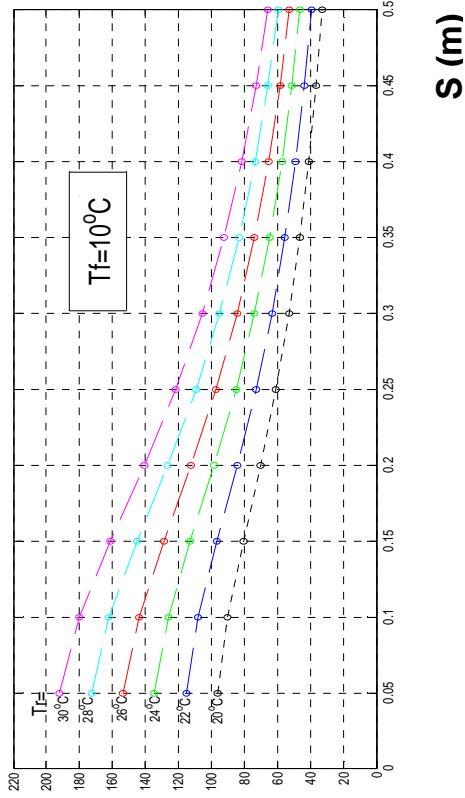


$T_{ev} = 10^\circ\text{C}$

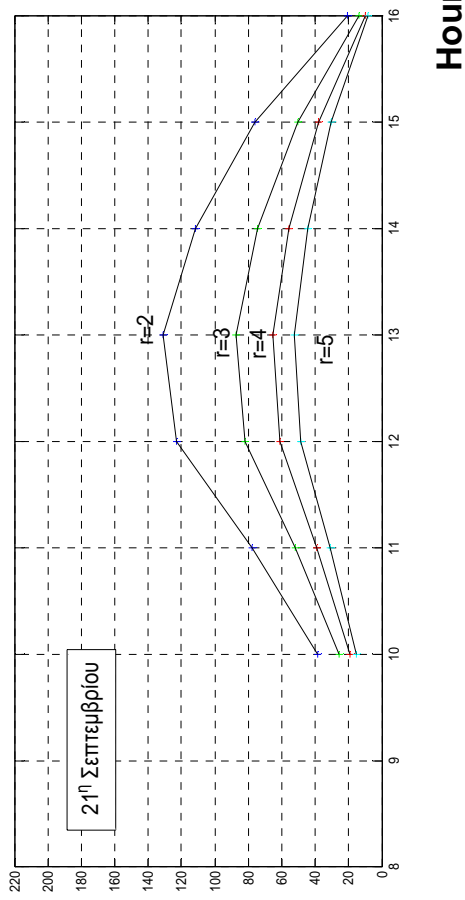




$q_p$  (W/m<sup>2</sup>)



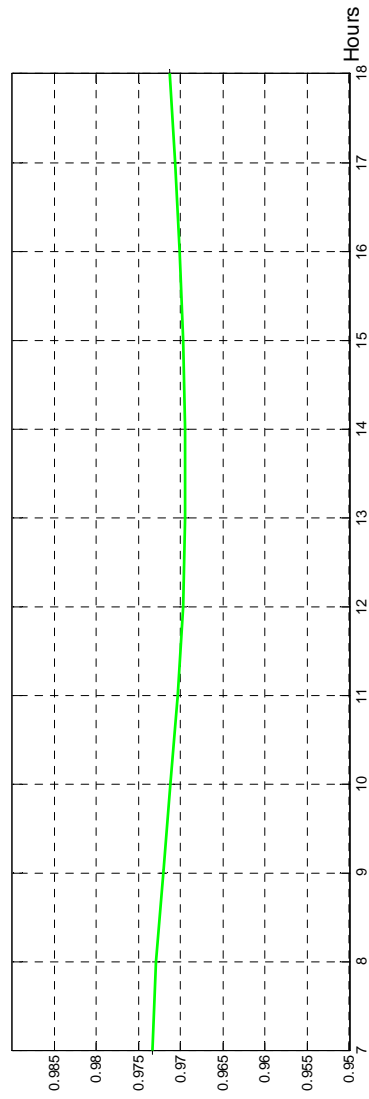
$q_c$  (W/m<sup>2</sup>)



$S$  (m)

Hours

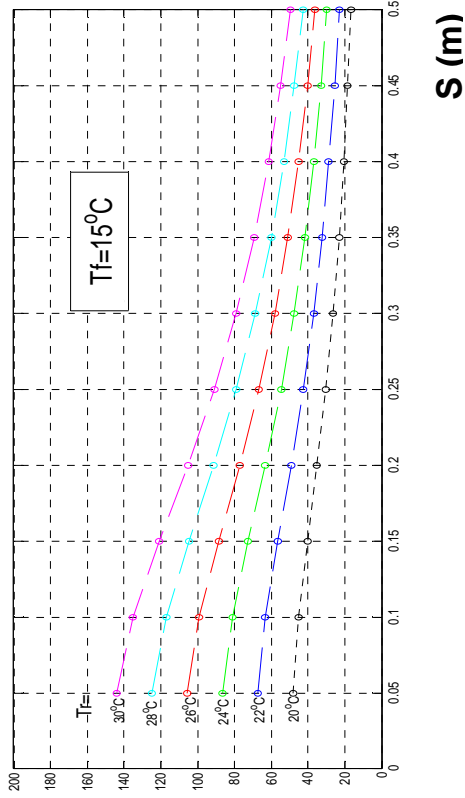
COP



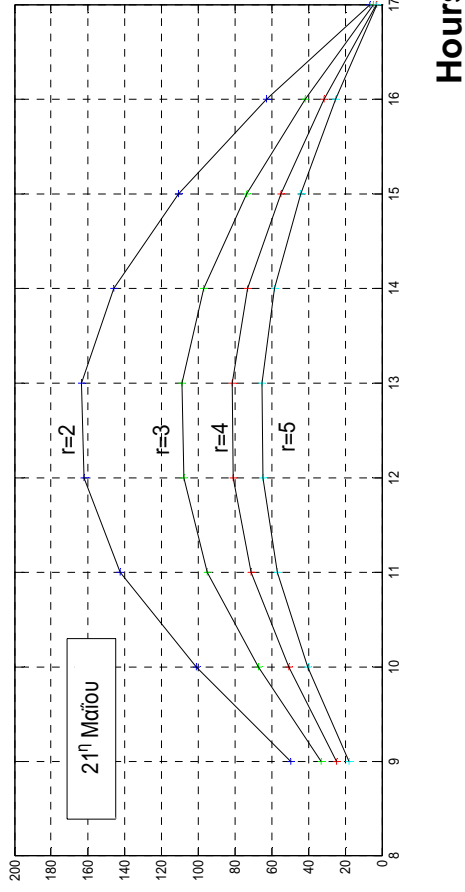
$T_{ev} = 10^\circ\text{C}$



$q_p$  (W/m<sup>2</sup>)



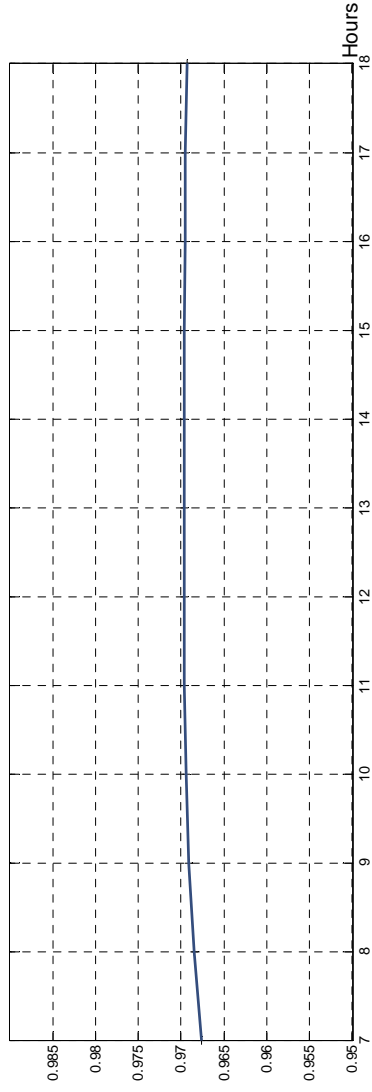
$q_c$  (W/m<sup>2</sup>)



$S$  (m)

Hours

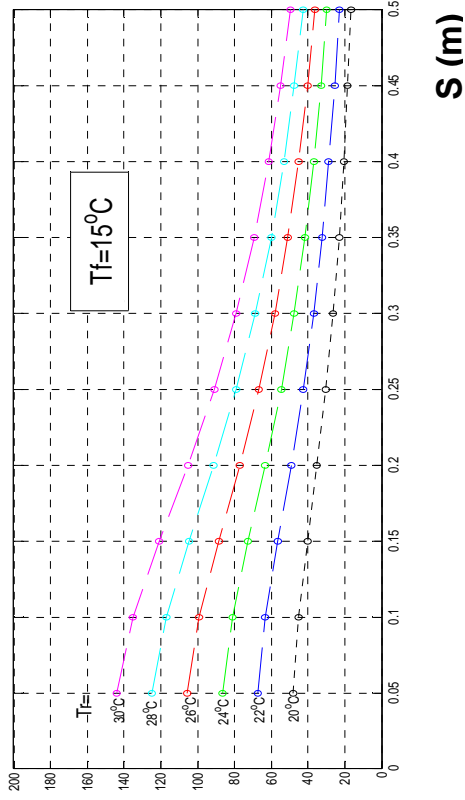
COP



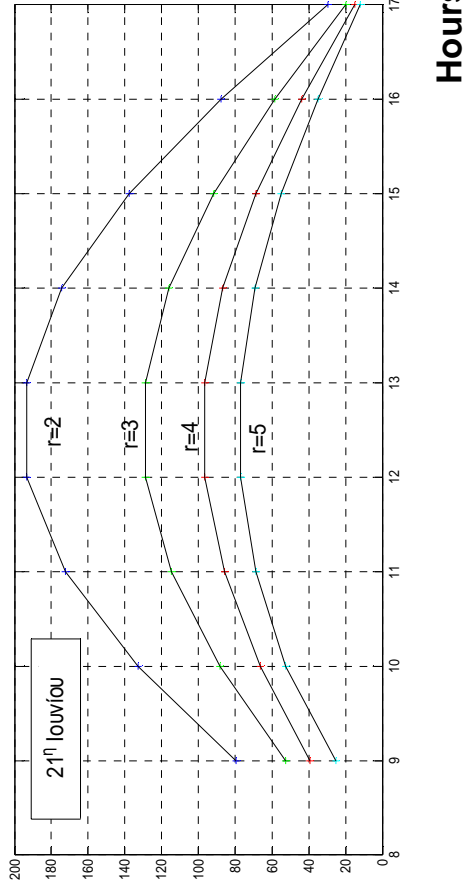
$T_{ev} = 15^\circ\text{C}$



$q_p$  (W/m<sup>2</sup>)



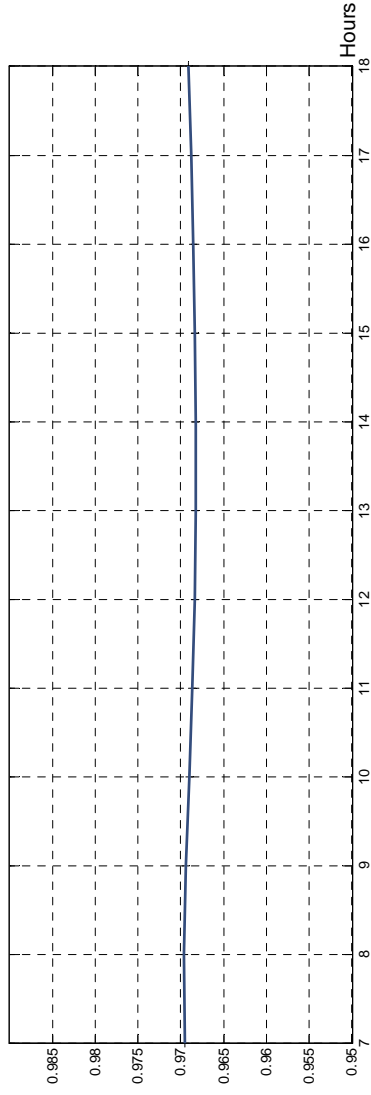
$q_c$  (W/m<sup>2</sup>)



$S$  (m)

Hours

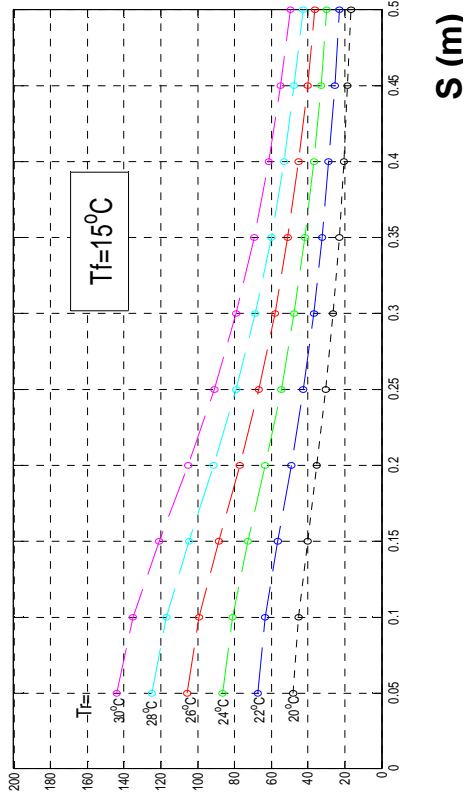
COP



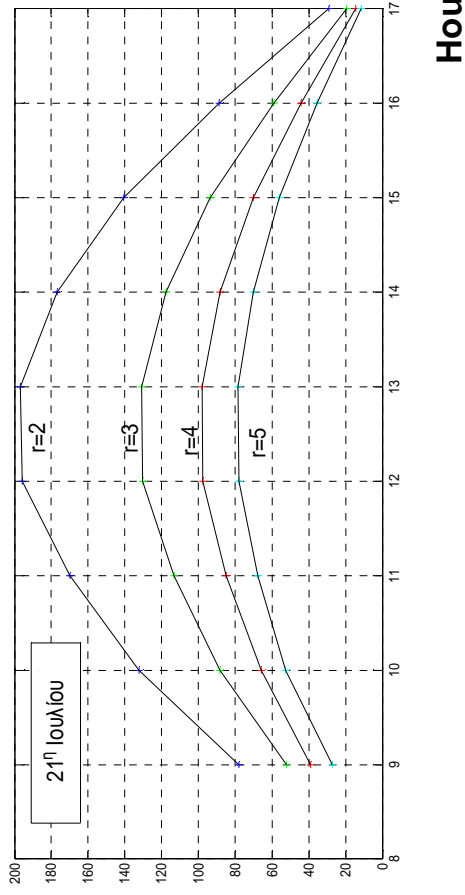
$T_{ev} = 15^\circ\text{C}$



$q_p$  (W/m<sup>2</sup>)

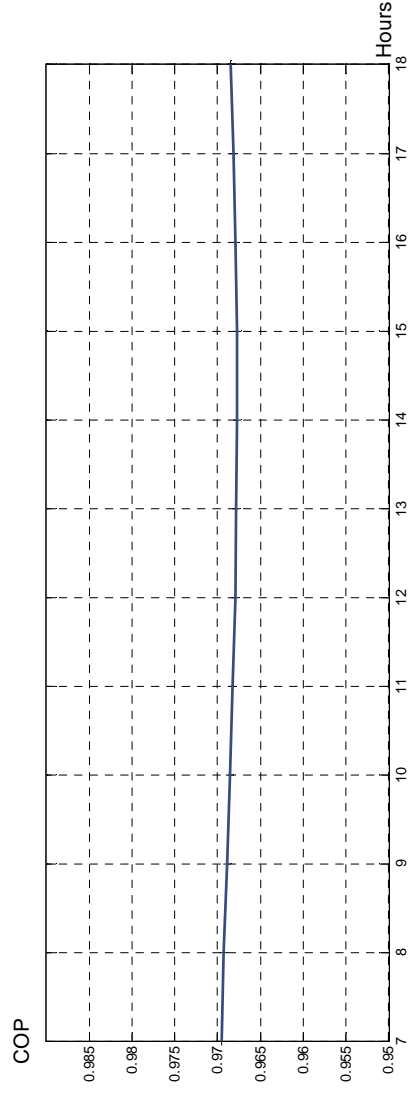


$q_c$  (W/m<sup>2</sup>)



$S$  (m)

Hours

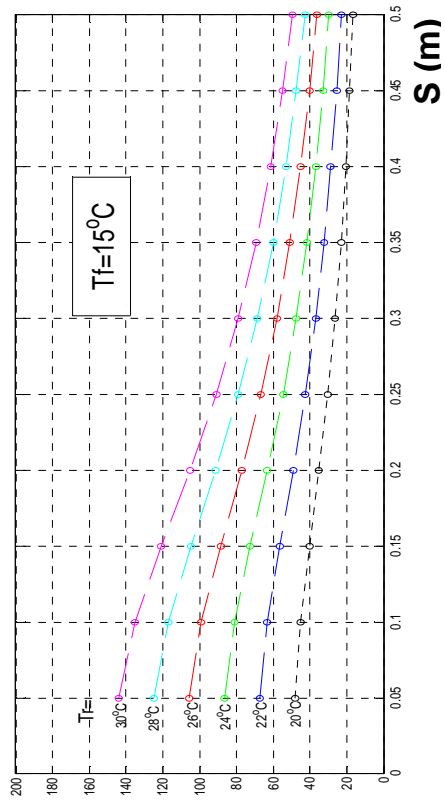


$T_{ev} = 15^\circ\text{C}$

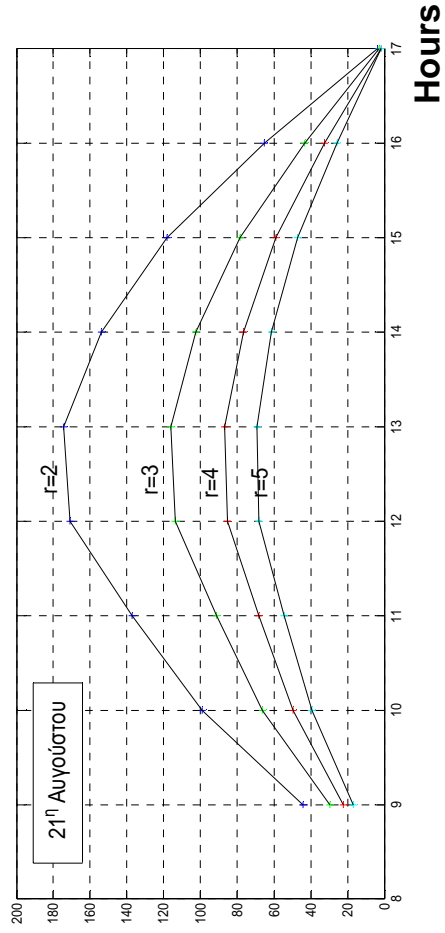




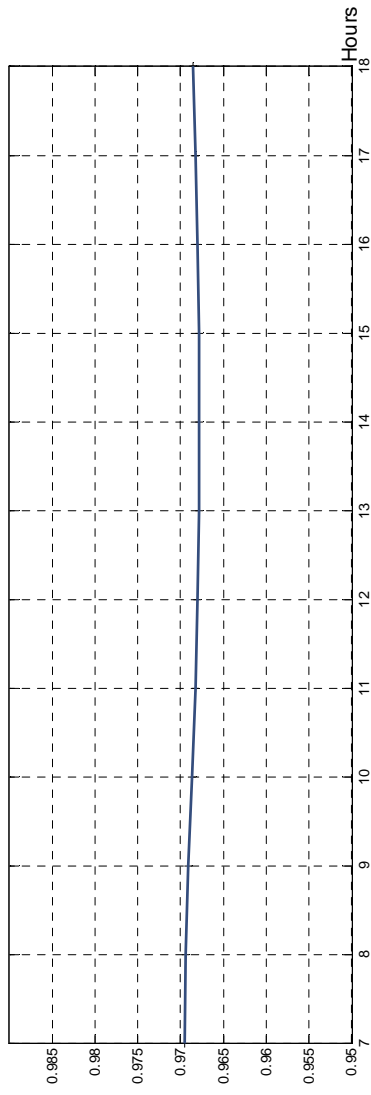
$q_p$  (W/m<sup>2</sup>)



$q_c$  (W/m<sup>2</sup>)



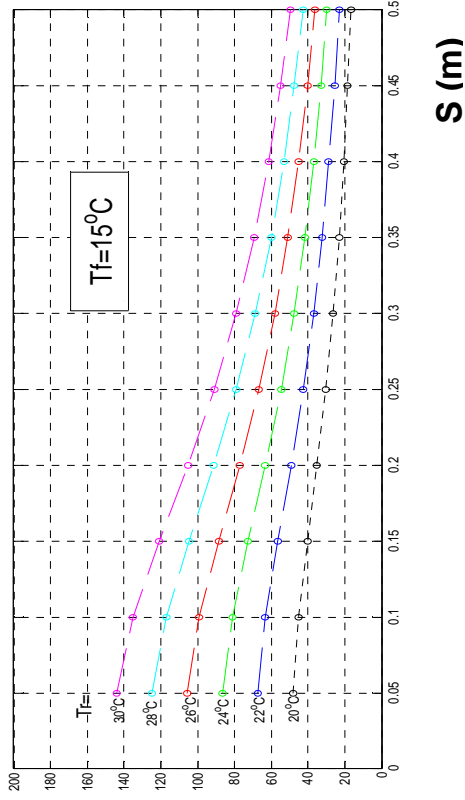
COP



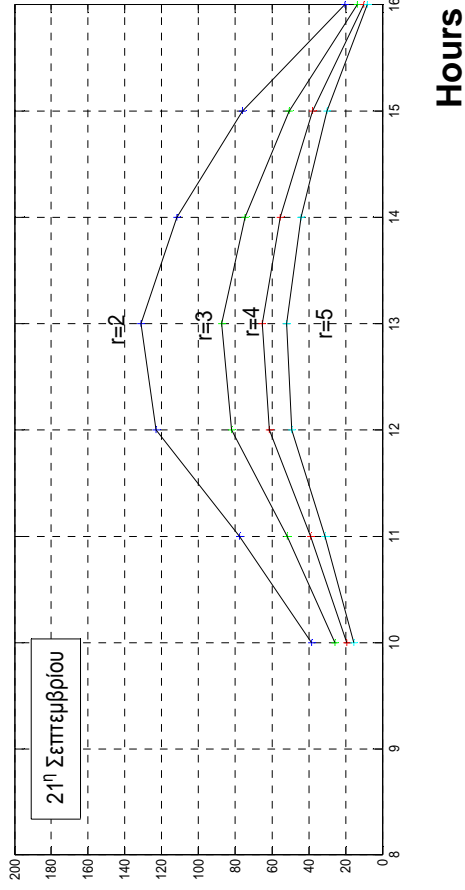
$T_{ev} = 15^\circ\text{C}$



$q_p$  (W/m<sup>2</sup>)



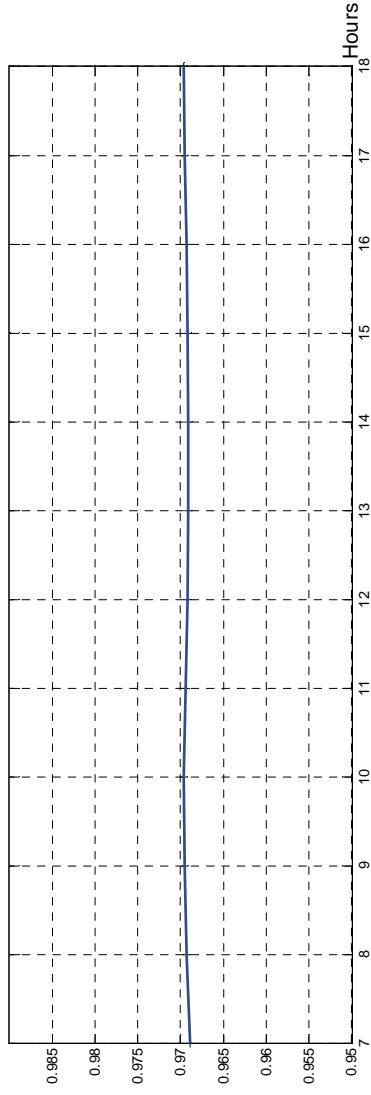
$q_c$  (W/m<sup>2</sup>)



$S$  (m)

Hours

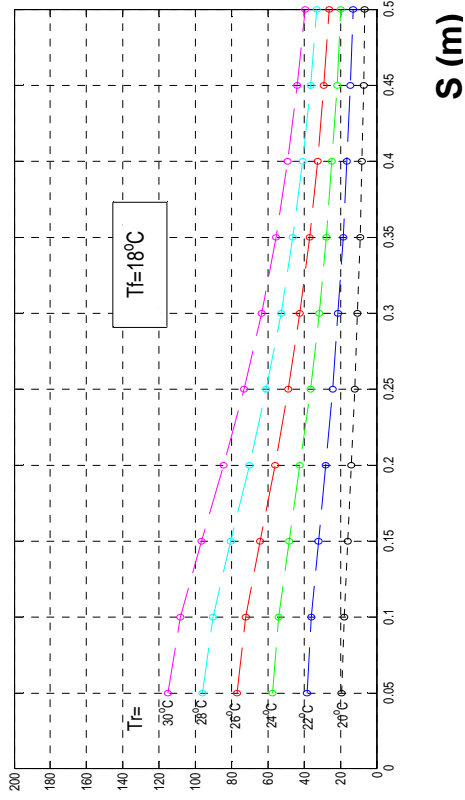
COP



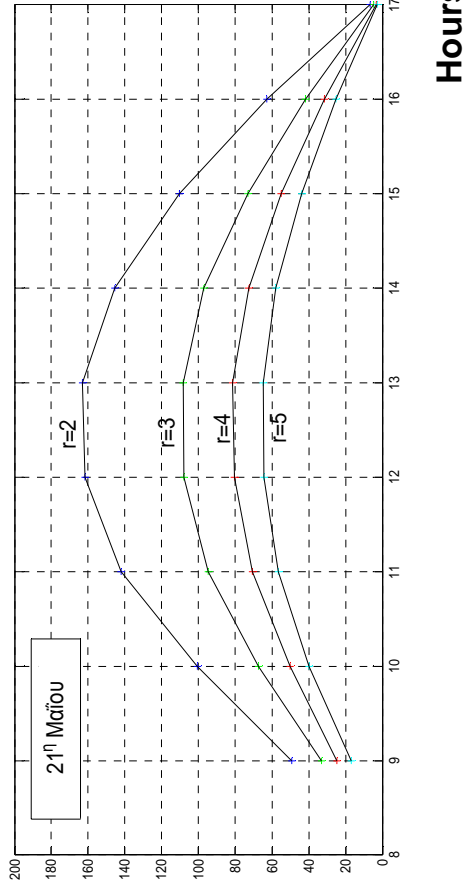
$T_{ev} = 15^\circ\text{C}$



$q_p$  (W/m<sup>2</sup>)



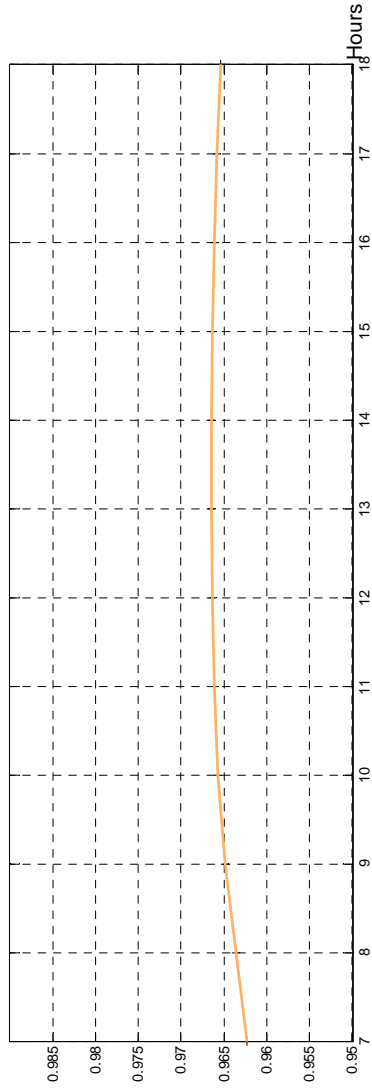
$q_c$  (W/m<sup>2</sup>)



$S$  (m)

Hours

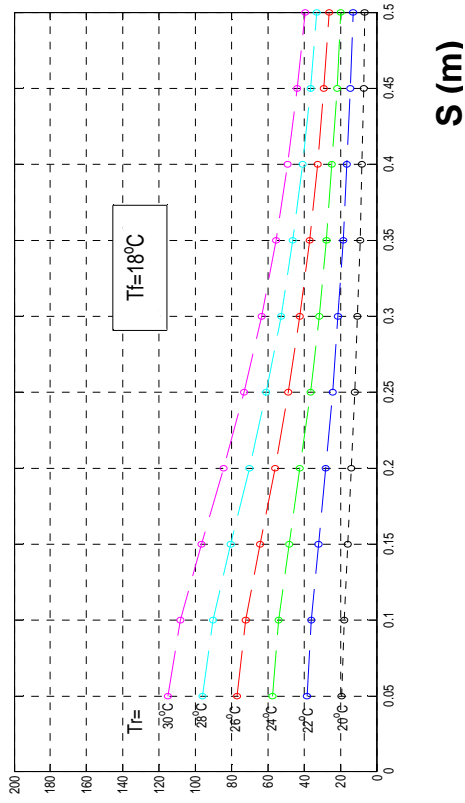
COP



$T_{ev} = 18^\circ\text{C}$

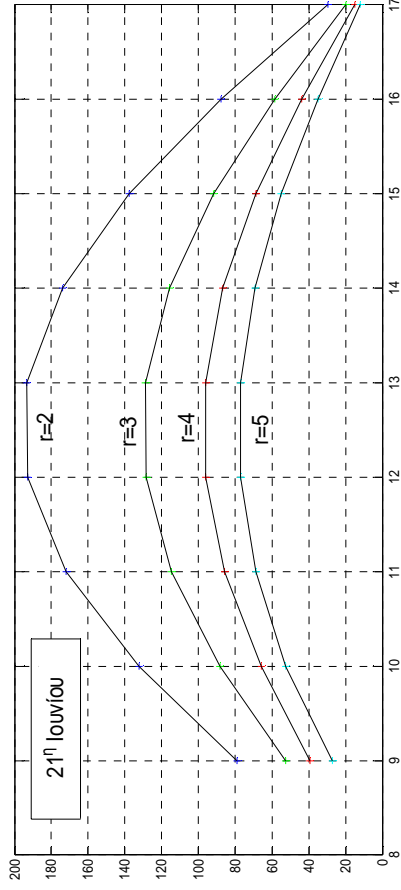


$q_p$  ( $W/m^2$ )



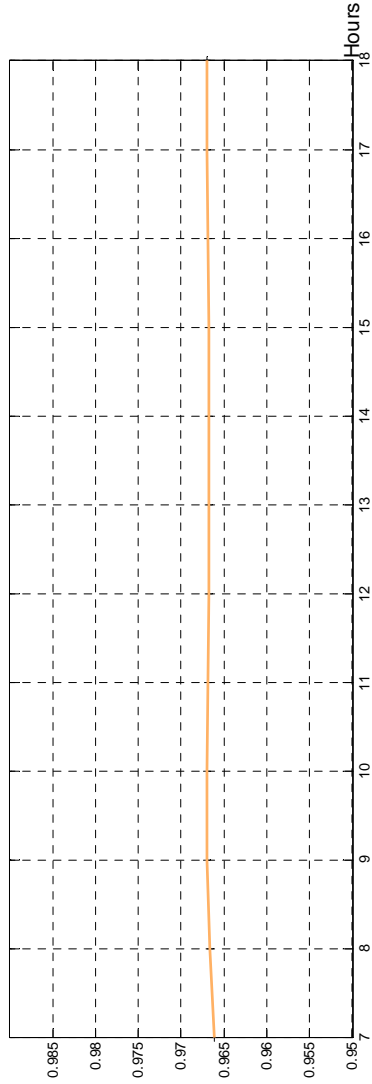
$S$  (m)

$q_c$  ( $W/m^2$ )



Hours

COP

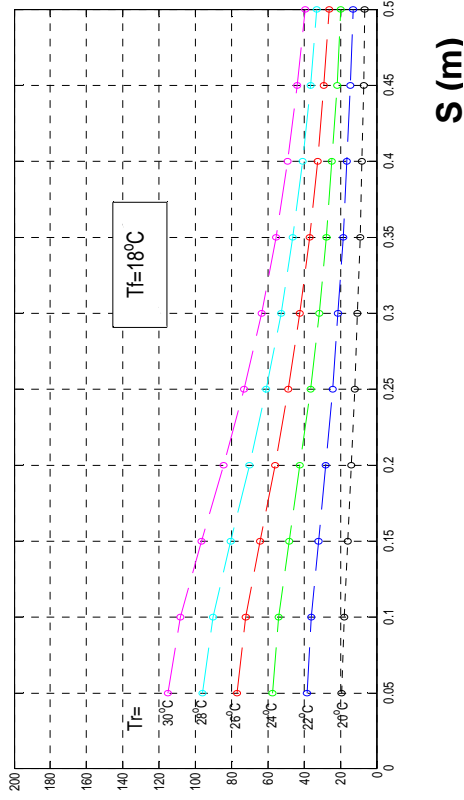


$T_{ev} = 18^\circ C$

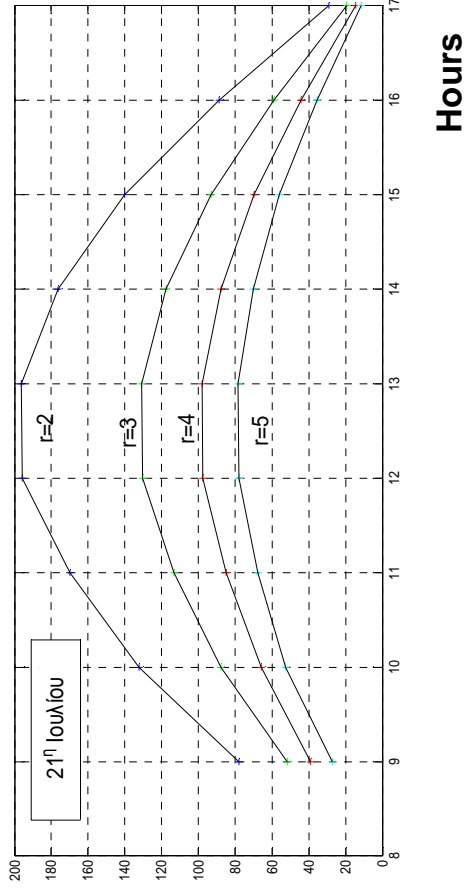




$q_p$  ( $W/m^2$ )



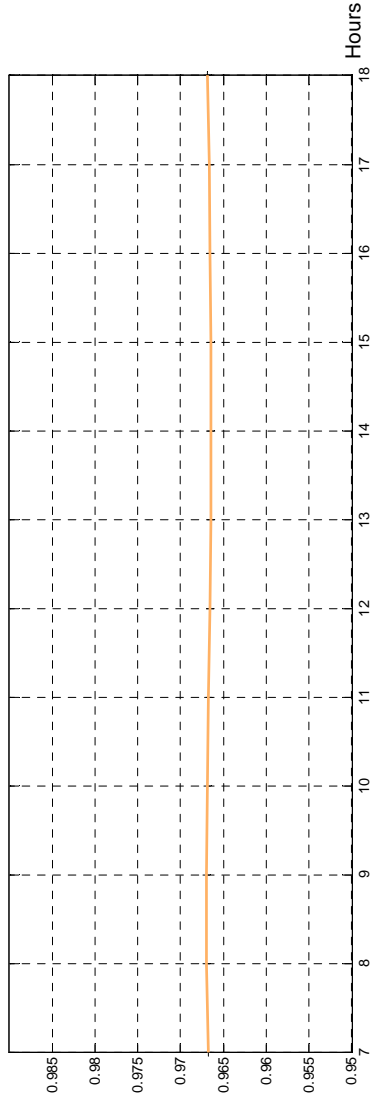
$q_c$  ( $W/m^2$ )



$S$  (m)

Hours

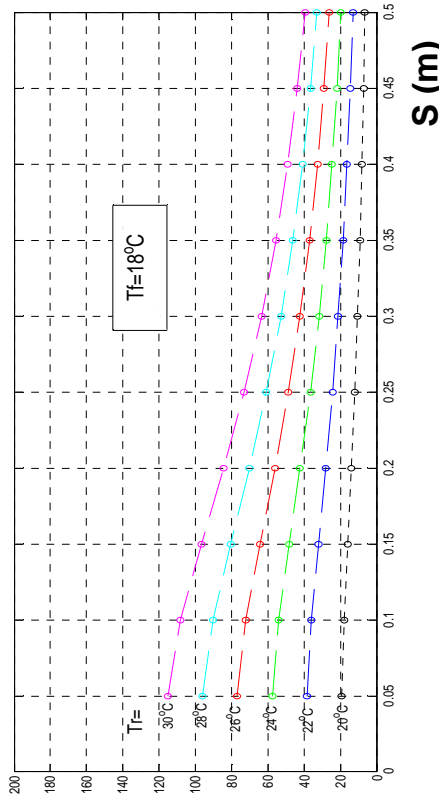
COP



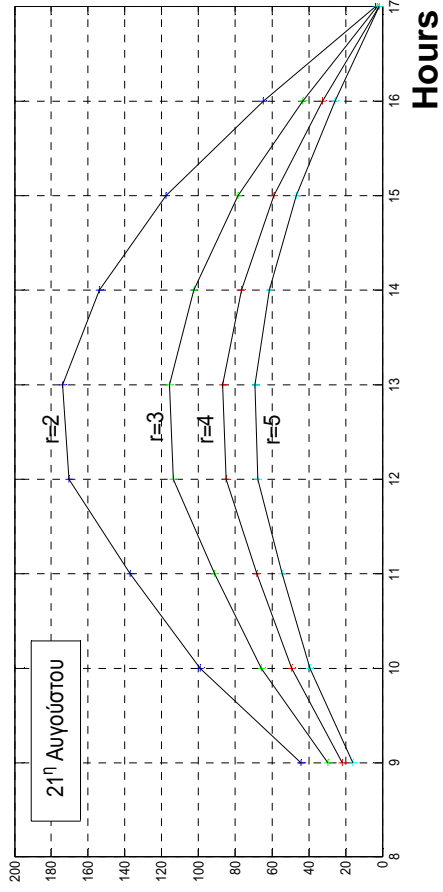
$T_{ev} = 18^\circ C$



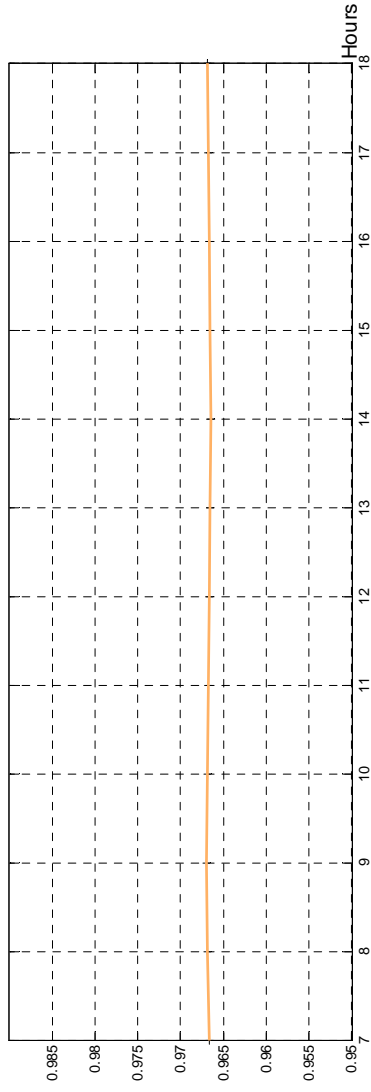
$q_p$  ( $W/m^2$ )



$q_c$  ( $W/m^2$ )



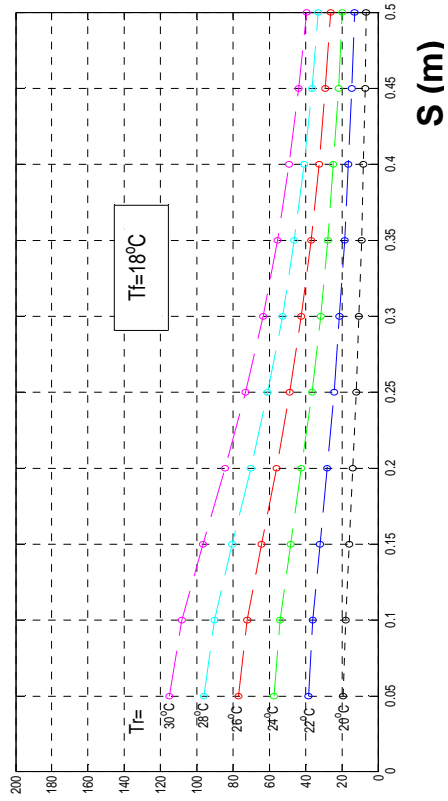
COP



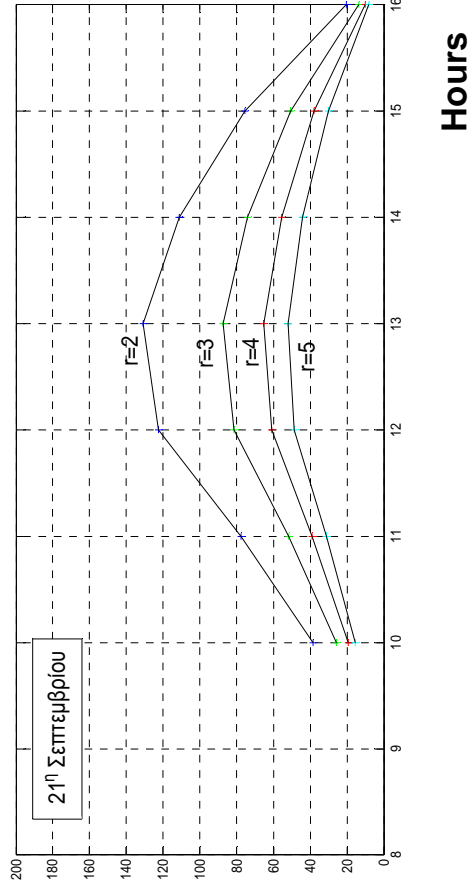
$T_{ev} = 18^\circ C$



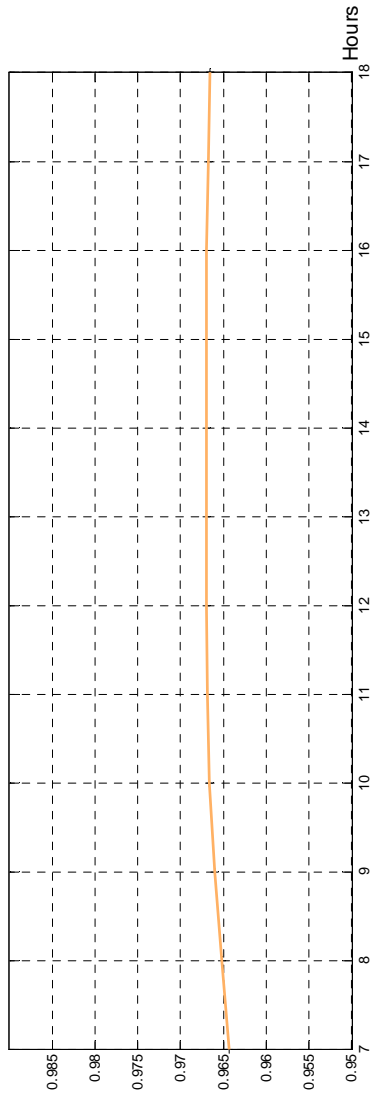
$q_p$  (W/m<sup>2</sup>)



$q_c$  (W/m<sup>2</sup>)



COP



$T_{ev} = 18^\circ\text{C}$



# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

## PROGRAM GITAF

```
C
C  ΣΥΓΓΡΑΦΕΑΣ: ΞΕΥΓΕΝΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ
C  ΓΛΩΣΣΑ:          FORTRAN 77
C
C  ΑΡΧΕΙΑ:
C          COEF - ΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΤΗΣ ΔΙΑΧΥΤΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΑΜΕΣΗΣ Α ΚΤΙΝΟΒΟΛΙ-
ΑΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΩΡΑ
C          G      - ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΟΛΙΚΗΣ ΠΡΟΣΠΙΠΤΟΥΣΑΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ
ΕΠΙΠΕΔΟΥ
C          GT     - ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΟΛΙΚΗΣ ΠΡΟΣΠΙΠΤΟΥΣΑΣ ΚΕΚΛΙΜΜΕ-
ΝΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ
C  ΠΙΝΑΚΕΣ:
C          C      - ΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΠΟΥ ΔΙΑΒΑΖΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟ ΑΡΧΕΙΟ
C          N      - ΟΙ ΤΥΠΙΚΕΣ ΗΜΕΡΕΣ ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ
C          D      - Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΤΩΝ ΤΥΠΙΚΩΝ ΗΜΕΡΩΝ
C          GB     - ΟΙ ΤΙΜΕΣ ΤΗΣ ΑΜΕΣΗΣ ΠΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΝΤΑΙ
C          GD     - ΟΙ ΤΙΜΕΣ ΤΗΣ ΔΙΑΧΥΤΗΣ ΠΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΝΤΑΙ
C          G      - ΤΟ ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΤΟΥΣ
C          GT     - Η ΟΛΙΚΗ ΚΕΚΛΙΜΜΕΝΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ
C          OMS    - ΩΡΙΑΙΑ ΓΩΝΙΑ ΔΥΣΗΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ
C
C  ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ:
C          ΒΕΤΑ - ΚΛΙΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ
C
C
C
C
C          DIMENSION C(6), N(12),D(12),GB(12),GD(12),G(12),
1          GT(12),OMS(12)
C
C
C          ΑΡΧΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΙΜΩΝ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΠΙΝΑΚΕΣ
C          C , D , N
C
C
C          DATA N/17,47,75,105,135,162,198,228,258,288,318,344/,
2          D/-20.9,-13.,-2.4,9.4,18.8,23.1,21.2,13.5,2.2,-9.6,-18.9,-23./
C
C          OPEN(10,FILE='COEF18.TXT')
C          OPEN(11,FILE='GT18.TXT')
C          OPEN(12,FILE='G18.TXT')
C
C          READ(10,*) (C(L),L=1,6)
C
C
C          ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΜΕΣΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ GB
C          ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΧΥΤΗΣ -//- GD
C          ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΟΛΙΚΗΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ G
C          ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΟΛΙΚΗΣ ΚΕΚΛΙΜΜΕΝΟΥ GT
```

Gt.for

```

C
EL=TAND(37.97)          !ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ
RO=0.2                  !Η ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ
PI=ACOS(-1.)
DO 100 I=1,12
    X=(360./365.)*N(I)-C(3)
    Y=(360./365.)*N(I)-C(6)
    GB(I)=C(1)+C(2)*SIND(X)
    GD(I)=C(4)+C(5)*SIND(Y)
    G(I)=GB(I)+GD(I)      !ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗΚΕ Η ΤΙΜΗ ΤΗΣ ΟΛΙΚΗΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ
102  WRITE(12,102) GB(I),GD(I),G(I)
    FORMAT (3(F9.4,3X))
    OMS(I)=ACOSD((-EL)*TAND(D(I)))
    BETA=37.97-D(I)
    CALL COEFRB(D(I),OMS(I),RBI)      ! ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗΚΕ Η ΤΙΜΗ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ

RB
    R=(1.-GD(I)/GB(I))*RBI+(GD(I)/GB(I))*((1.+COSD(BETA))/2)
3  +RO*((1.-COSD(BETA))/2)
    GT(I)=R*G(I)
100 CONTINUE
    WRITE(11,101) (GT(L),L=1,12)
101 FORMAT(12(F9.4))
    STOP
    END

C
C  ΥΠΟΡΟΥΤΙΝΑ R
C  ΑΠΟΤΕΛΕΙ ΤΗΝ ΕΚΦΡΑΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΛΟΓΟΥ ΟΛΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ
C  ΥΠΟΛΟΓΙΖΕΤΑΙ ΞΕΧΩΡΙΣΤΑ Ο ΛΟΓΟΣ ΤΗΣ ΑΜΕΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΙΤΑ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΕΞΙΣΩ-
ΣΗ
C  A.13.6 Ο ΟΛΙΚΟΣ!
C

SUBROUTINE COEFRB(D,OS,RB)
PI=ACOS(-1.)
AR=(COSD(D))**2*SIND(OS)+(SIND(D))**2      ! ΑΡΙΘΜΗΤΗΣ
PAR=COSD(37.97)*COSD(D)*SIND(OS)+SIND(37.97)*SIND(D)
RB=AR/PAR
RETURN
END

```



Gt.for



```

PROGRAM QPI
C
C ΣΥΓΓΡΑΦΕΑΣ: ΞΕΥΓΕΝΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ
C ΓΛΩΣΣΑ: FORTRAN 77
C
C ΑΡΧΕΙΑ:
C QP -ΑΡΧΕΙΟ ΣΤΟ ΟΠΟΙΟ ΓΡΑΦΟΝΤΑΙ ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ QP
C ΠΙΝΑΚΕΣ:
C S -ΑΞΟΝΙΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΣΩΛΗΝΩΝ ΠΑΝΕΛ
C F -ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΟΥ ΠΑΝΕΛ
C QP -ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΠΟΥ ΑΠΟΡΡΟΦΑ ΤΟ ΠΑΝΕΛ ΑΠΟ ΤΟ ΨΥΧΟΜΕΝΟ ΧΩΡΟ
C ΣΤΑΘΕΡΕΣ:
C DI -ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ
C D0 -ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ
C H -ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΕΠΙ ΤΗΣ ΚΑΤΩ ΕΠΙΦΑ-
ΝΕΙΑΣ ΤΟΥ ΠΑΝΕΛ
C HF -ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ Ε-
ΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ
C W -ΠΑΧΟΣ ΤΟΥ ΠΑΝΕΛ
C RK -ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΠΑΝΕΛ
C ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ:
C TR -ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΔΩΜΑΤΙΟΥ (ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ)
C TF -ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΡΕΥΣΤΟΥ
C
C DIMENSION S(10),F(10),QP(10)
C COMMON DI,D0,H,HF,EM,PI
C
C ΑΡΧΙΚΟΠΟΙΗΣΗ
C
C DATA DI,D0,H,HF,RK,W/.018,.02,9.7,3100,1.4,.04/ !RK ΛΟΓΩ ΚΛΑΣΜΑΤΙΚΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ
C WRITE(*,*) 'GIVE MEAN FLOW (=TEV) TEMPERATURE TF (REAL NUMBER)'
C READ(*,*) TF
C
C ΕΚΤΕΛΕΣΙΜΟΣ ΚΩΔΙΚΑΣ
C
C OPEN(11,FILE='QP.TXT')
C PI=ACOS(-1.)
C EM=(H/(RK*W))**.5
C DO 200 J=1,6
C TR=18.+FLOAT(J)*2. !H TR ΕΙΝΑΙ Η ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ ΤΟΥ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ QP(S)
C WRITE(*,*) TR
C DO 100 I=1,10
C S(I)=FLOAT(I)*.05
C CALL SUB1(S(I),F(I))
C QP(I)=F(I)*H*(TR-TF)
C
C 100 CONTINUE
C WRITE(11,*) (QP(L),L=1,10) !ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΟ QP.TXT ΔΙΝΟΝΤΑΙ ΑΝΑ 2
C ΓΡΑΜΜΕΣ
C 200 CONTINUE

```

**QP.for**

```
STOP
END
C
C ΥΠΟΡΟΥΤΙΝΑ SUB1
C
SUBROUTINE SUB1(S,F1)
COMMON DI,D0,H,HF,EM,PI
P=EM*((S-D0)/2.)
F=(TANH(P))/P
F1=(S/(D0+(S-D0)*F)+H*S/(PI*DI*HF))**-1.
RETURN
END
```





```

C
C      ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗΚΑΝ ΟΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΚΑΙ
C      ΑΠΟΜΕΝΟΥΝ ΟΙ ΕΝΘΑΛΠΙΕΣ ΓΙΑ ΝΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕΙ
C      Ο ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ
C
      CALL SUBH(T2,XW,H1)                                !ΓΝΩΡΙΖΩ ΠΛΕΟΝ ΤΗΝ Η1
      CALL SUBH(T2,XS,H2)                                !ΓΝΩΡΙΖΩ ΠΛΕΟΝ ΤΗΝ Η2
      QH(I)=1.73*T3+2501.6-(XS/5.)*H1+(XW/5.)*H2
      QL(I)=2501.6-2.469*T8
      QCOLL=GT(I)*.71-.00244*(TCOLL-T(I))
      COP=QL(I)/QH(I)
      EM=3600*QCOLL/QH(I)
      DO 200 J=1,4
          R=1.+FLOAT(J)*1.
          QC(J)=EM*QL(J)/(3.6*R)
200    CONTINUE
      WRITE(12,*) (QC(L),L=1,4)
      WRITE(13,*) COP
100    CONTINUE
      STOP
      END

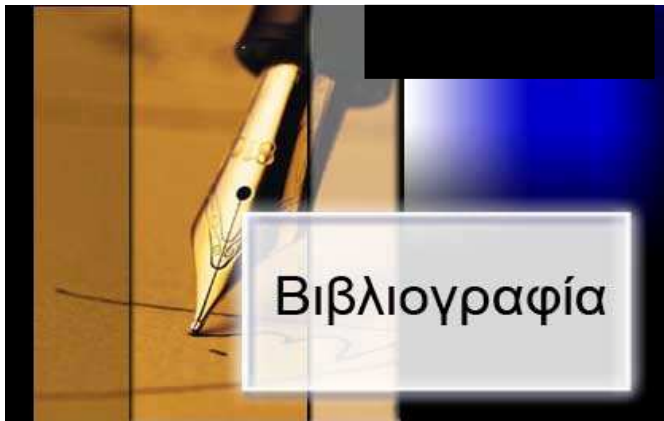
C
C      ΥΠΟΡΟΥΤΙΝΕΣ
C
      SUBROUTINE SUBT(X,T1,T2)
      A=-2.0075+.16976*X-.003133362*(X**2)-.0000197668*(X**3)
      B=124.94-7.71649*X+.1522858*(X**2)-.00079509*(X**3)
      T2=ABS(A)*T1+B                                     !ΕΧΩ ΠΡΟΣΘΕΣΕΙ ΕΝΑ ΑΠΟΛΥΤΟ ΣΤΗ ΣΧΕΣΗ
      RETURN
      END

      SUBROUTINE SUBH(T,X,H)
      E1=-2024.18588321+163.2976010204*X-4.88126853177*(X**2)
1      +.0630250843*(X**3)-.000291350364*(X**4)
      E2=18.2816227619-1.169094163968*X+.0324785671*(X**2)
2      -.000403390218*(X**3)+.00000185192774*(X**4)
      E3=-.0370056321+.00288756514*X-.0000813075689*(X**2)
3      +.000000991097142*(X**3)-.00000000444381071*(X**4)
      H=E1+T*E2+E3*(T**2)
      RETURN

      END

```





**[1]** Key World Energy Statistics 2007, IEA .

**[2]** Αρθούρος Ζερβός , Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας , Εκδόσεις Ε.Μ.Π , Αθήνα 2006 .

**[3]** Trends and market statistics 2007, ESTIF

**[4]** Οδηγός ηλιακού κλιματισμού , ΚΑΠΕ .

**[5]** Βαζαίος Ευθύμιος , Εφαρμογές

της ηλιακής ενέργειας : υπολογισμός και σχεδίαση συστημάτων Εκδόσεις Φοίβος , Αθήνα 1984 .

**[6]** Duffie , John A. , Solar engineering of thermal processes , Εκδόσεις John Wiley&Sons , New York 1991.

**[7]** Paul G .Hewitt , Conceptual Physics , Εκδόσεις Addison Wesley Longman , 2002.

**[8]** Godfrey Boyle , Renewable Energy – Power for a sustainable future , Oxford ,2004.

**[9]** Αντωνόπουλος , Κίμων , Θερμικά – Ηλιακά συστήματα , Εκδόσεις Ε.Μ.Π , Αθήνα 2004.

**[10]** Cengel Yunus , Boles Michael , Thermodynamics : An engineering approach , 5<sup>th</sup> edition .

**[11]** Χατζηδάκης Σ. , Σημειώσεις Ψύξης Α΄ και Β΄ μέρος , Εκδόσεις Ε.Μ.Π , Αθήνα 2003 .

**[12]** Ηλιάδης , Συμπαγωγή και ψύκτες απορρόφησης , Σεμινάριο ελληνικού παραρτήματος ASHRAE .

**[13]** A. Pongtornkulpanicha, S. Thepaa, M. Amornkitbamrungb, C. Butcher, Experience with fully operational solar-driven 10-ton LiBr/H<sub>2</sub>O single-effect absorption cooling system in Thailand , Renewable Energy 33 (2008) 943–949 .

**[14]** X.Q. Zhai , R.Z. Wang, J.Y. Wu, Y.J. Dai, Q. Ma , Design and performance of a solar-powered air-conditioning system in a green building , Applied Energy 85 (2008) 297–311.

**[15]** Theocharis Tsoutsos a,\* , Joanna Anagnostou b, Colin Pritchard b, Michalis Karagiorgas a, Dimosthenis Agoris , Solar cooling technologies in Greece. An economic viability analysis , Applied Thermal Engineering 23 (2003) 1427–1439.

**[16]** Οδηγός ηλιακού κλιματισμού , ΚΑΠΕ.

**[17]** Β.Κατσούλης, Κ. Παπαχριστόπουλος , Analysis of solar radiation measurements at Athens observatory and estimates of solar radiation in Greece, Solar Energy 21 (1978) pp. 217-226.

**[18]** Hans Rau, Εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας σε παγκόσμια κλίμακα , εκδόσεις Gutenberg , Αθήνα 1983.

**[19]** G.N.Tiwari, Solar Energy, Alpha Science International Ltd., 2002.

- [20] Rapp.,D.,Solar Energy,Prentice Hall,Englewood Cliffs ,NJ.,1981
- [21] D.A.Kouremenos , K.A.Antonopoulos , E.Rogdakis , Performance of solar NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O absorption cycles in th Athens area , Solar Energy Vol.39 (1987) , pp.187-195.
- [22] D.A.Kouremenos, K.A.Antonopoulos,E.Rogdakis, Predicted performance of solar driven H<sub>2</sub>O-LiBr absorprion unit in Athens, Heat Recovery Systems & CHP Vol.9 (1989) ,pp. 189-200.
- [23] A.Dimoudi,A.Androutsopoulos,The cooling performance of a radiator based roof component,Solar Energy 80(2006),pp 1039-1047.
- [24] Χ.Τζιβανίδης,Μεταβατική μετάδοση θερμότητας κατά τον κλιματισμό με ψυχόμενα ή θερμαινόμενα δομικά στοιχεία ή μεταλλικούς πίνακες, Διδακτορική διατριβή, ΕΜΠ 1998.
- [25] ASHRAE Systems and Equipment Handbook (SI) ,2000.
- [26] K.A.Antonopoulos , Analytical and numerical heat transfer in cooling panels , Heat Mass Transfer , Vol.35, No11 , pp.2777-2782.
- [27] Π.Παπασημάκης,Θέρμανση/ψύξη κτηρίων με θερμαινόμενα /ψυχόμενα δομικά στοιχεία, Διπλωματική εργασία , ΕΜΠ 2003.
- [28] E.D.Rogdakis, K.A.Antonopoulos , Performance of a solar driven H<sub>2</sub>O-LiBr absorption panel cooling system ,AES-Vol.27/HTD-Vol.228,ASME 1992.
- [29] Rapp.,D.,Solar Energy,Prentice Hall,Englewood Cliffs ,NJ. 1981.
- [30] D.A.Kouremenos , K.A.Antonopoulos, E.Rogdakis, Hour by hour simulation of a solar H<sub>2</sub>O-LiBr absorption heat transformers in Athens , Solar and wind technology ,Vol.7, No2/3,pp.111-118.

### **ΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ**

- [www.cres.gr/slimasol](http://www.cres.gr/slimasol)
- [www.ebhe.gr](http://www.ebhe.gr)
- [www.ypan.gr](http://www.ypan.gr)
- [www.estif.org](http://www.estif.org)
- [www.iea.org](http://www.iea.org)
- [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
- [www.solair-project.eu](http://www.solair-project.eu)
- [www.iea-shc-task25.org](http://www.iea-shc-task25.org)