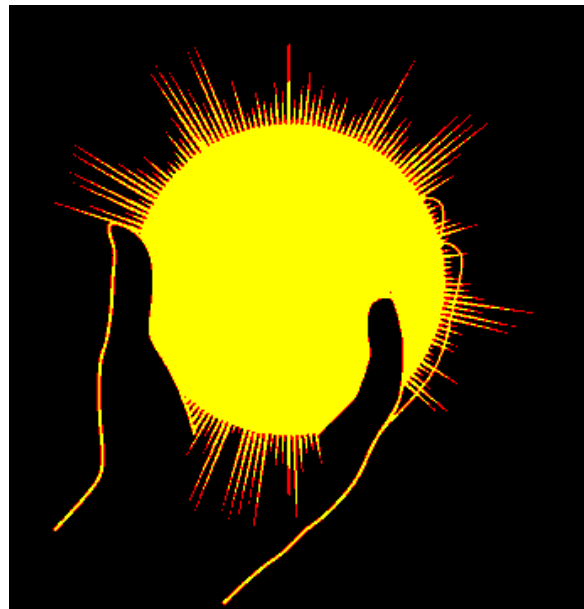




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Παραμετρική μελέτη θέρμανσης χώρων με εποχιακή αποθήκευση με χρήση του προγράμματος TRNSYS



του
Παναγιώτη Δ. Τσεκούρα

Επιβλέπων καθηγητής : Κίμων Α. Αντωνόπουλος

ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2008

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1	Η Ενέργεια ως Στόχος και ως Προοπτική Ανάπτυξης	1
1.2	Συμβατικές Πηγές Ενέργειας	3
1.3	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	6
1.4	Η Κατάσταση Σήμερα	8

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

2.1	Η Ηλιακή Ακτινοβολία	12
2.2	Ολική, απ'ευθείας, διάχυτη και διάχυτα ανακλώμενη ακτινοβολία	14
2.3	Όργανα μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας	22
2.4	Η Κίνηση της Γης Γύρω από τον Ήλιο	26
2.5	Ημερήσια Ενεργειακή Απολαβή από τον Ήλιο	31
2.6	Ηλιοφάνεια	33
2.7	Προσανατολισμός του Συλλέκτη	34

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΘΕΡΜΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

3.1	Συλλέκτες	37
3.2	Ηλιακά Συστήματα	42
3.3	Συστήματα Διεποχιακής Αποθήκευσης θερμότητας	51

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

TRNSYS

4.1	Περιγραφή του Πακέτου TRNSYS	64
4.1.1	Simulation Studio	65
4.1.2	TRNBUILD	69
4.1.3	TRNEDIT	82
4.2	Μοντέλα της Προσομοίωσης	85

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5****ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ**

5.1	Περιγραφή του Συστήματος	106
5.2	Αποτελέσματα των Προσομοιώσεων	114
5.3	Παρατηρήσεις-Συμπεράσματα	154

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ**1****ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Η ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΩΣ ΣΤΟΧΟΣ ΚΑΙ ΩΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

1.1

Η ενέργεια απετέλεσε και αποτελεί τον κινητήριο μοχλό κάθε ανθρώπινης δραστηριότητας. Σ'ολη την ιστορική του πορεία, ο άνθρωπος χρησιμοποίησε με εφευρετικότητα τις δυνατότητες που του παρείχε απλόχερα η ίδια η φύση, τη δύναμη της φωτιάς, του νερού, του ανέμου και του ήλιου, με στόχο τη βελτίωση των συνθηκών της διαβίωσης του.

Στους πιο πρόσφατους αιώνες, χρησιμοποίησε την ενέργεια από την κάυση του κάρβουνου και του πετρελαίου και βρήκε τρόπο να την μετατρέπει στην περισσότερο εξευγενισμένη των μορφών της, τον ηλεκτρισμό. Στα μέσα του 20^{ου} αιώνα, ένας νέος τρόπος παραγωγής ενέργειας ήρθε να δημιουργήσει ελπίδες, για ριζική επίλυση του παγκοσμίου ενεργειακού προβλήματος, ο οποίος είναι η πυρηνική ενέργεια. Πολύ γρήγορα, όμως, δραματικά γεγονότα ήλθαν να επιβεβαιώσουν, χωρίς περιθώρια αμφισβήτησης, την αδυναμία μας να διασφαλίσουμε την ελεγχόμενη παραγωγή της πυρηνικής ενέργειας.

Συνάμα, αρχισαν να επιβεβαιώνονται, με επιστημονικά τεκμηριωμένο τρόπο, οι προβλέψεις για σημαντικές επιβαρυντικές συνέπειες της μέχρι σήμερα συμπεριφοράς του ανθρώπου στο οικοσύστημα, εξαιτίας κυρίως της αλόγιστης χρήσης των συμβατικών καυσίμων και πολλών, φαινομενικά αθώων, τεχνολογικών προϊόντων.

Όλα τα μηνύματα έδειχναν πια καθαρά, ότι η συνέχιση της πορείας μας στο μέλλον επιβάλλει την αλλαγή της καθημερινής νοοτροπίας μας και την αναθεώρηση των αξιών της ζωής, σε συνδυασμό με τον επαναπροσδιορισμό της έννοιας και των στόχων της τεχνολογικής ανάπτυξης. Είναι πολύ σημαντικό και επιπλέον χρήσιμο για την ορθή επιλογή των μέτρων περιβαλλοντικής αποκατάστασης, να συνειδητοποιήσουμε το εντυπωσιακά μεγάλο μέγεθος της χρονικής απόκρισης του φυσικού μας κόσμου, σε κλιματικές μεταβολές. Απαιτούνται δεκαετίες για να διαπιστωθούν τα πρώτα ενθαρρυντικά θετικά αποτελέσματα, των όποιων σημερινών διορθωτικών αλλαγών επεμβάσεων μας στο οικολογικό σύστημα. Η αποδοχή των ριζικών αυτών αλλαγών στο τρόπο ζωής μας καθώς και στην τροποποίηση του είδους και του τρόπου παραγωγής ενέργειας και στόχων της τεχνολογίας, είναι η πιο δύσκολη φάση προσαρμογής μας στη νέα κατάσταση. Η ανησυχία και ο σκεπτικισμός των κάποτε ολίγων οικολόγων αποτελεί σήμερα καθημερινό προβληματισμό των περισσότερων.

Πάντως παρά τις αντιδράσεις των ολίγων, αλλά ισχυρών αυτού του κόσμου, η ευαισθητοποίηση και η κινητοποίηση των πολιτών ολοένα αυξάνει. Η εκφραζόμενη, ποικιλοτρόπως, πρόθεση αντιμετώπισης του θέματος σε διεθνή κλίμακα, δείχνει ότι συνειδητοποιούμε αργά, αλλά σταθερά, πως η τεχνολογία, ως καρπός ανώτερης πνευματικής εργασίας, πρέπει να έχει στόχο να θεραπεύει και να υπηρετεί τον άνθρωπο, με σεβασμό προς το οικοσύστημα που τον φιλοξενεί. Αυτό το οικοσύστημα, χώρος ανάπτυξης και διαβίωσης όλων των μορφών ζωής, δεν είναι υπόθεση μερικών ανθρώπινων γενεών. Χρειάστηκαν 5 δισεκατομμύρια χρόνια για να εξιδανικευτούν οι κλιματικές συνθήκες στον πλανήτη μας, σε τέτοιο βαθμό, που να συμβάλλουν στη δημιουργία ζωής.

Είναι γεγονός αδιαμφισβήτητο, η σημαντική συμβολή των πηγών ενέργειας, η σημαντική συμβολή των πηγών ενέργειας μεγάλης ισχύος στην τεχνολογική πρόοδο, απ'την οποία προέκυψαν πολλά θετικά αποτελέσματα. Μέσα από την ιστορική αναγκαιότητα των συμβατικών καυσίμων ξηπήδησαν νέες και συνεχώς βελτιώνονται παλαιότερες μέθοδοι, εξευγενισμένης παραγωγής ενέργειας. Ο ήλιος και ο άνεμος θα έχουν τον πρώτο λόγο στις επόμενες δεκαετίες.

ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.2

Το σύνολο των πηγών ενέργειας, που ο άνθρωπος έχει στη διάθεση του διακρίνεται σε δύο κύριες κατηγορίες. Στις πηγές εκείνες που βασίζονται σε υπάρχοντα αποθέματα μέσα στο στερεό φλοιό της Γης, με συγκεκριμένη διάρκεια ζωής και σ' αυτές που καθημερινά και αέναα μας παρέχονται σε βαθμό ήπιας εκμετάλλευσης. Στις πρώτες ανήκουν τα ορυκτά καύσιμα (πετρέλαιο, φυσικό αέριο, κάρβουνο), αναφερόμενα και ως συμβατικά καύσιμα και η χαρακτηριστικά μη ήπια μορφή ενέργειας, η πυρηνική ενέργεια.

Οι δεύτερες, έχουν βασική τους προέλευση τον Ήλιο. Η ακτινοβολούμενη απ' τον Ήλιο ενέργεια, που φτάνει στη Γη, εκτός από τη γενικότερη συμβολή της στη δημιουργία, ανάπτυξη και διατήρηση της ζωής στον πλανήτη μας, δίδει ακατάπαυστα ενέργεια, με διάφορες μορφές αξιοποίησης. Άμεσα θερμαίνει, εξατμίζει μεγάλες ποσότητες θαλασσινού νερού και συντηρεί τον γνωστό φυσικό κύκλο, δημιουργώντας τις λίμνες και τα ποτάμια, που αποτελούν πρόσθετη πηγή ενέργειας (υδατοπτώσεις). Θέτει σε κίνηση τις αέριες μάζες της ατμόσφαιρας (Αιολική ενέργεια), δημιουργεί τα κύματα (Ενέργεια κυμάτων). Απορροφούμενο από συνδυασμένα υλικά παράγει ηλεκτρισμό (Φωτοβολταϊκό φαινόμενο). Συμβάλλει στην ανάπτυξη της χλωρίδας, η καύση δε των φυτικών προϊόντων παράγει ενέργεια (βιομάζα).

Οι κύριες πηγές ενέργειας, που χρησιμοποιούνται σήμερα, είναι:

➤ **Το κάρβουνο**

Απετέλεσε για πολλά χρόνια μέχρι σήμερα, την κύρια καύσιμη ύλη. Σ' αυτό βασίστηκε κατά κύριο λόγο, η βιομηχανική επανάσταση. Μεγάλο μέρος της σημερινής παγκόσμιας βιομηχανικής παραγωγής βασίζεται στην ενέργεια από την καύση του ορυκτού άνθρακα.

➤ **Το πετρέλαιο**

Ήταν γνωστό από την αρχαιότητα, στους Εβραίους και τους Αιγυπτίους. Στη Δύση, γινόταν περιορισμένη χρήση του σε φωτισμό και την ιατρική, μέχρι το τέλος του 15ου αιώνα, οπότε άρχισε η βιομηχανική του εκμετάλλευση. Η παγκόσμια παραγωγή του εντατικοποιήθηκε από τα μέσα του 19ου αιώνα, ενώ από τα μέσα του 20ου, οι ρυθμοί εκμετάλλευσης πήραν εκρηκτικές διαστάσεις. Σήμερα, μετά από δύο πετρελαϊκές κρίσεις (1973 και 1979) και τη διαπίστωση ορατών πλέον επιπτώσεων, συνειδητοποιούμε την ανάγκη αλλαγής του τρόπου ζωής μας και αναζήτησης λύσεων από το χώρο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Παράλληλα, αποκτά ιδιαίτερο νόημα η εφαρμογή αυστηρότερης πολιτικής στον τομέα της ορθολογικής χρήσης και εξοικονόμησης ενέργειας.

Τα συμβατικά καύσιμα καλύπτουν το 85% της καταναλισκόμενης ενέργειας στις αναπτυγμένες χώρες και το 55%, στις υπό ανάπτυξη. Στις τελευταίες, το ποσοστό χρήσης πετρελαίου, ως ενεργειακής πηγής, συνεχίζει να αυξάνει, ενώ στις αναπτυγμένες χώρες υπάρχει τάση μείωσης του, με σταδιακή διεύδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Εκτιμάται ότι τα υπάρχοντα αποθέματα των πηγών αυτών θα επαρκέσουν ακόμα για περίπου 200 χρόνια για το κάρβουνο, 60 χρόνια για το φυσικό αέριο και 50 χρόνια για το πετρέλαιο.

Η καύση του άνθρακα, του πετρελαίου και των παραγώγων του δίδει, ως άμεσα προϊόντα, το CO₂, τα οξείδια του αζώτου και του θείου. Οι αυξημένες ποσότητες των αερίων αυτών, που εισέρχονται στην ατμόσφαιρα, αποτελούν πια μόνιμη απειλή για το μέλλον μας, προκαλώντας ισχυρές κλιματικές αλλαγές και επιβαρυντική απόκλιση από τις κανονικές συνθήκες ισορροπίας του φαινομένου του θερμοκηπίου.

➤ **Η πυρηνική ενέργεια**

Από το 1945 και μετά, προστέθηκε στις μεγάλης ισχύος πηγές ενέργειας, η πυρηνική, στην οποία αρχικά βασίστηκαν πολλές ελπίδες. Η Γαλλία είναι από τις χώρες που έδωσαν μεγάλη έμφαση στην ανάπτυξη της, χρησιμοποιώντας, κατά την περίοδο της δεκαετίας του 70, το μη πειστικό πια επιχείρημα της παραγωγής καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας. Σήμερα αντιλαμβανόμαστε με απόγνωση, την αδυναμία μας να λύσουμε το πρόβλημα της ανεξέλεγκτης διασποράς των πυρηνικών όπλων ή της διασφαλισμένης αποθήκευσης των πυρηνικών

αποβλήτων και αισθανόμαστε τρόμο για τα ολοένα και πιο πιθανά πυρηνικά ατυχήματα. Από τα πιο σημαντικά, εκείνο στον πυρηνικό σταθμό του Three Mile Island της Πενσυλβάνιας (ΗΠΑ), τον Απρίλιο του 1979 και εκείνο στο Τσερνομπίλ της Ρωσίας, τον Απρίλιο του 1986, τρομοκράτησαν όλο τον κόσμο, ο οποίος συνειδητοποίησε με φρίκη την ανικανότητα του να αντιμετωπίσει ένα ύπουλο και αόρατο εχθρό, που μόνιμα τον απειλεί με αφανισμό.

Η πυρηνική ενέργεια προορίζεται, στο βαθμό που έχει αναπτυχθεί σήμερα, κυρίως για παραγωγή ηλεκτρισμού βάσης, δηλαδή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σταθερής ισχύος χωρίς δυνατότητα κάλυψης των διακυμάνσεων ζήτησης. Καλύπτει το 4-5% της παγκόσμιας ενεργειακής ζήτησης. Η παραγόμενη παγκοσμίως ισχύς σε πυρηνικά εργοστάσια ανέρχεται σε 360 GW (2005). Στην Ευρώπη ξεπερνά τα 110 GW, με τη Γαλλία στα 63 GW. Το περιορισμένο των κοιτασμάτων του βασικού υλικού (Ουράνιο 235), τα πυρηνικά απόβλητα και η απειλητική πιθανότητα ολοσχερούς καταστροφής του κόσμου μας, είτε από την υποτιθέμενη υπό έλεγχο πυρηνική αντίδραση είτε από την ανεξέλεγκτη διασπορά των πυρηνικών όπλων, βάζουν φρένο στη χρήση της.

Όλες οι μεγάλης πυκνότητας ισχύος συμβατικές πηγές ενέργειας, εκτός από την αδιαμφισβήτητη προσφορά τους στην ανάπτυξη της τεχνολογίας και της επιστήμης και τη μεγάλη συμβολή τους στη βελτίωση της διαβίωσης του ανθρώπου, συνδέονται δυστυχώς με πολύ σοβαρές και εμφανώς αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Έτσι, ενισχύεται διεθνώς η άποψη για μερική, σε πρώτη φάση, αντικατάστασή τους με άλλες πηγές ενέργειας, που να μη ρυπαίνουν και να ενσωματώνονται φιλικά στο περιβάλλον, τις λεγόμενες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.3

Οι ήπιες μορφές ενέργειας ή "ανανεώσιμες πηγές ενέργειας" (ΑΠΕ) είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού και άλλες. Ο όρος "ήπιες" αναφέρεται σε δυο βασικά χαρακτηριστικά τους. Καταρχήν, για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη, άντληση, καύση, όπως με τις μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας, αλλά απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση. Δεύτερο, πρόκειται για "καθαρές" μορφές ενέργειας, πολύ φιλικές στο περιβάλλον, που δεν αποδεσμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα όπως οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα.

Τελευταία από την Ευρωπαϊκή Ένωση υιοθετούνται νέες πολιτικές για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, που προάγουν τέτοιες εσωτερικές πολιτικές και για τα κράτη μέλη.

Οι κύριες μορφές των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι:

➤ **Η ηλιακή Ενέργεια**

Αυτή αξιοποιείται μέσω τεχνολογιών που εκμεταλλεύονται άμεσα την ηλιακή ακτινοβολία και διακρίνονται στα:

- **Θερμικά Ηλιακά Συστήματα**, στα οποία χρησιμοποιούνται κατάλληλοι συλλέκτες για τη δέσμευση της ηλιακής ακτινοβολίας και την αποθήκευση της, με τη μορφή θερμότητας, σε κάποιο ρευστό.
- **Φωτοβολταϊκά Συστήματα**, με τα οποία μετατρέπεται η ηλιακή ενέργεια απ'ευθείας σε ηλεκτρική, μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου.

➤ **Η Αιολική Ενέργεια**

Στηρίζεται στην εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας των ανέμων. Οι μηχανές που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό δεσμεύουν την κινητική ενέργεια του ανέμου και την μετατρέπουν είτε σε κάποια άλλη μορφή μηχανικής ενέργειας είτε, συνηθέστερα, σε ηλεκτρική.

➤ **Η Γεωθερμική Ενέργεια**

Αξιοποιούνται τα θερμά νερά ή/και οι ατμοί που υπάρχουν σε υπόγειους ταμιευτήρες σε πολλές περιοχές της Γης. Τα ρευστά αυτά, όταν είναι εφικτό να αντληθούν με οικονομικά συμφέρον κόστος, μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε σε θερμικές εφαρμογές, είτε για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.

➤ **Η Ενέργεια από Βιομάζα**

Με τον όρο αυτό εννοούμε τη χημική ενέργεια που εμπεριέχεται σε κάθε υλικό που προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από το φυτικό κόσμο. Η καύση της βιομάζας, είτε απ'ευθείας είτε μετατρέπόμενη σε κατάλληλο καύσιμο, αποδίδει θερμική ενέργεια, η οποία, στη συνέχεια, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ποικιλία εφαρμογών.

➤ **Η Υδροηλεκτρική Ενέργεια**

Στηρίζεται στην εκμετάλλευση της μηχανικής ενέργειας του νερού των ποταμών και την μετατροπής της σε ηλεκτρική ενέργεια με τη βοήθεια στροβίλων και ηλεκτρογεννητριών.

Όλες οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας παρουσιάζουν κάποια κοινά πλεονεκτήματα, με κυριότερα από αυτά, την ανεξάρτηση από τα συμβατικά καύσιμα, την προστασία του περιβάλλοντος, το μηδενικό κόστος πρώτης ύλης, το οποίο, σε συνδυασμό με τις μικρές έως ελάχιστες απαιτήσεις συντήρησης που εμφανίζουν, συνεπάγεται πολύ περιορισμένο κόστος λειτουργίας. Έτσι, αντισταθμίζεται σε μεγάλο βαθμό το μέχρι σήμερα μειονέκτημα του αυξημένου κόστους που απαιτείται για την εγκατάσταση των μονάδων εκμετάλλευσης τους.

Πέραν των ανωτέρω, η παραγωγή της ενέργειας στις περιπτώσεις αυτές γίνεται από μονάδες σχετικά μικρής δυναμικότητας, οι οποίες βρίσκονται συνήθως κοντά στον

τόπο κατανάλωσης της. Με τον τρόπο αυτό, περιορίζονται οι απώλειες κατά τη μεταφορά της ενέργειας που παρουσιάζονται, για παράδειγμα, στην περίπτωση του ηλεκτρικού ρεύματος, ενώ, ταυτόχρονα, υποβοηθείται η αποκέντρωση και η ανάπτυξη της τοπικής οικονομίας σε κάθε περιοχή όπου εγκαθίστανται τέτοιου είδους μονάδες.

Τέλος, με τις Α.Π.Ε. καθίστανται ενδιαφέρουσες και κάποιες άλλες εφαρμογές, οι οποίες μπορούν να επιτευχθούν με πιο συμφέροντα τρόπο συγκριτικά με τα συμβατικά καύσιμα. Τέτοιες εφαρμογές είναι για παράδειγμα, η τηλεθέρμανση, όπου θερμότητα η οποία παράγεται κεντρικά διανέμεται σε έναν οικισμό, προκειμένου να θερμανθούν τα σπίτια των κατοίκων, η αφαλάτωση θαλασσινού νερού για την παραγωγή ποσίμου, η οποία παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον στα άνυδρα νησιά του Αιγαίου.

Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΗΜΕΡΑ

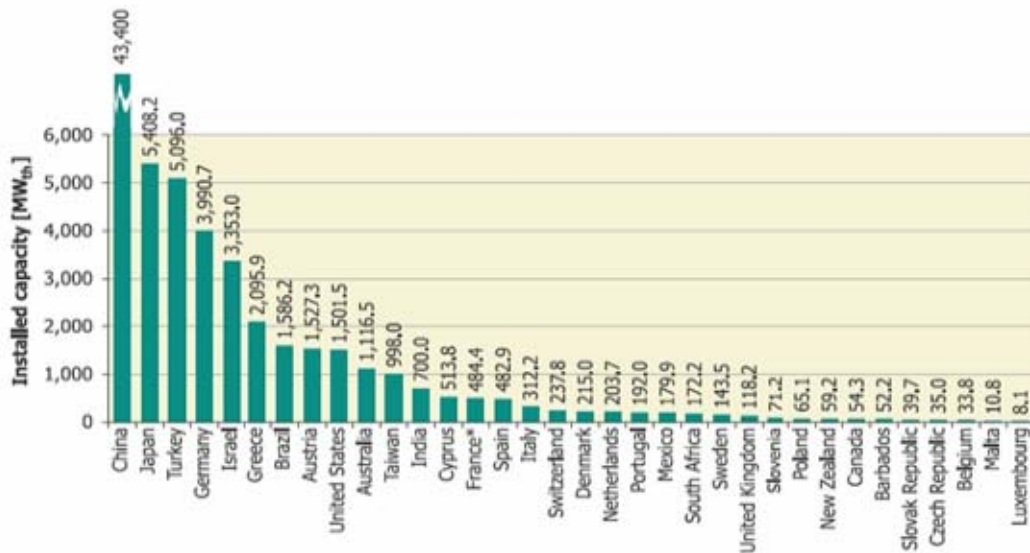
1.4

Η αγορά ηλιακών συστημάτων στην Ελλάδα

Η χώρα μας γνώρισε, τις τελευταίες δεκαετίες, μια σημαντική διάδοση των θερμικών ηλιακών συστημάτων, που στην συντριπτική τους πλειοψηφία είναι οι γνωστοί σε όλους μας ηλιακοί θερμοσίφωνες. Ήδη το 1990, τα εγκατεστημένα ηλιακά συστήματα (επίπεδων συλλεκτών και κενού) εν λειτουργία στη χώρα μας ανέρχονταν σε περίπου 1,5 εκατομμύρια m^2 . Το εμβαδόν αυτό ξεπερνούσε το 50% της συνολικής επιφάνειας συλλεκτών σε ολόκληρη την Ευρώπη (2,9 εκατομμύρια m^2).

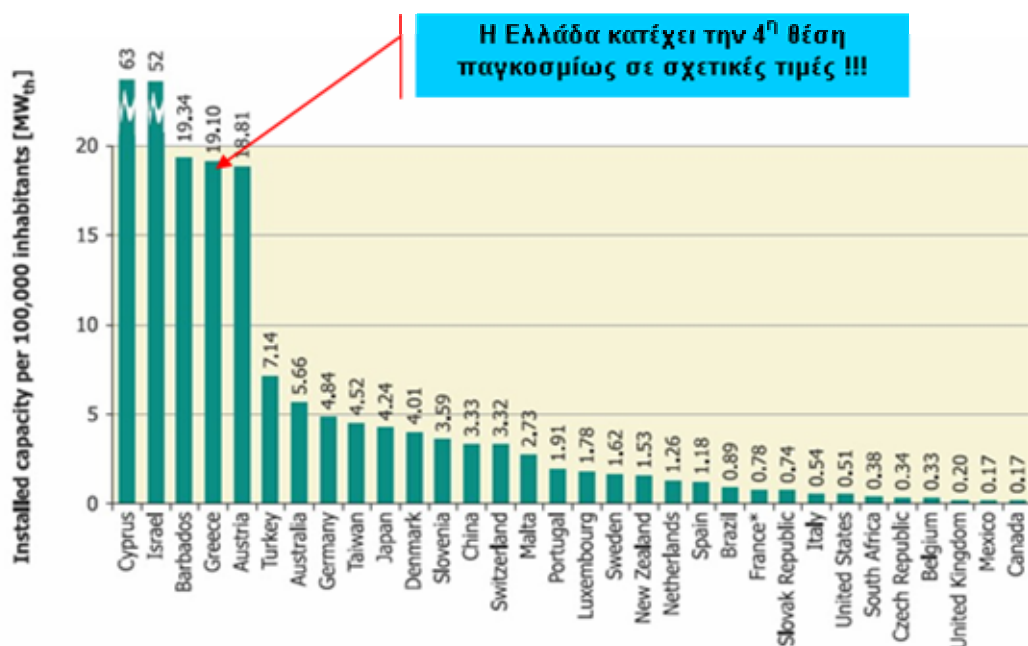
Σύμφωνα με τα πιο πρόσφατα διαθέσιμα στοιχεία, η επιφάνεια των συλλεκτών το 2005 ανέρχονταν σε 3 εκ. m^2 στην Ελλάδα και σε περίπου 16 εκ. m^2 σε ολόκληρη την Ευρώπη (ποσοστό 19%). Η έντονη αυτή αύξηση των ηλιακών εγκαταστάσεων στην Ευρώπη μετά το 1990 οφείλεται κατά κύριο λόγο στην ραγδαία εξάπλωση των

ηλιακών συστημάτων στην Γερμανία και την Αυστρία και κατά δεύτερο λόγο στην αρκετά δυναμική παρουσία της Ελλάδας καθώς και την εμφάνιση νέων αγορών. Η εικόνα 1.1 δείχνει ότι η χώρα μας κατέχει την έκτη θέση παγκοσμίως σε απόλυτες τιμές εγκατεστημένης θερμικής ισχύος από θερμικά ηλιακά συστήματα.



Εικόνα 1.1 Εγκατεστημένη ισχύς ηλιακών συλλεκτών[3]

Αξίζει να αναφερθεί ότι η χώρα μας είναι δεύτερη στην Ευρώπη και τέταρτη στον κόσμο στην επιφάνεια συλλεκτών εν λειτουργία, αν αυτή αναχθεί στον πληθυσμό της. Η εικόνα 1.2 δείχνει την ανηγμένη εγκατεστημένη ισχύ των ηλιακών συλλεκτών ανά 100000 κατοίκους.



Εικόνα 1.2 Ανηγγεμένη εγκατεστημένη ισχύς ηλιακών συλλεκτών[3]

Πρέπει να διευκρινιστεί ότι η επιτυχία αυτή οφείλεται μάλλον στο μεγάλο αριθμό εγκαταστάσεων κατά το παρελθόν και δεν φαίνεται να μπορεί να συνεχιστεί για πολύ αν η αγορά ακολουθήσει τη σημερινή της πορεία και στο μέλλον. Πράγματι, μια πιο προσεκτική ανάλυση των στοιχείων δείχνει ότι η εγχώρια αγορά δεν ακολουθεί την δυναμική πορεία των άλλων χωρών.

Ένα άλλο σοβαρό θέμα για την εξέλιξη των ηλιακών στην Ελλάδα είναι το είδος των συστημάτων που θα πρέπει να προωθηθούν. Στην ερώτηση αν θα πρέπει να δοθεί βαρύτητα στα θερμοσιφωνικά ή τα κεντρικά ηλιακά συστήματα η απάντηση δεν μπορεί να είναι μονοσήμαντη. Η πλήρης ανάλυση αυτού του θέματος ξεφεύγει από τους σκοπούς του παρόντος κειμένου και θα μπορούσε να αποτελέσει θέμα για μια νέα μελέτη. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθούν επιγραμματικά τα εξής:

- Τα θερμοσιφωνικά συστήματα (που αποτελούν την συντριπτική πλειοψηφία των ηλιακών σήμερα) είναι ιδιαίτερα αξιόπιστα και η εμπειρία της ελληνικής βιομηχανίας στο είδος είναι μακρόχρονη. Συνεπώς η συνέχιση της παραγωγής και χρήσης τους (και συνεπώς της ενίσχυσής τους) είναι αναγκαία.
- Τα κεντρικά ηλιακά συστήματα, όταν είναι σωστά σχεδιασμένα, έντεχνα εγκατεστημένα και ελέγχονται περιοδικά, αποτελούν σε πολλές περιπτώσεις τη βέλτιστη ή και τη μοναδική λύση από τεχνικής, ενεργειακής, οικονομικής και αισθητικής πλευράς. Κύριο πεδίο εφαρμογής αποτελούν οι πολυκατοικίες για θέρμανση νερού αλλά και συμμετοχή στη θέρμανση χώρων (και στο άμεσο μέλλον κλιματισμό). Συνεπώς είναι απαραίτητο να εξαπλωθεί σταδιακά η χρήση τους. Η χρηματική επιδότηση για τα (πρωτοποριακά) συστήματα ηλιακού κλιματισμού ή/και θέρμανσης θα πρέπει να είναι ιδιαίτερα ενισχυμένη.

Τα οφέλη από την προώθηση των ηλιακών συστημάτων

Η προώθηση της χρήσης των θερμικών ηλιακών συστημάτων συνοδεύεται από ποικίλα οφέλη. Ορισμένα από τα σημαντικότερα είναι τα ακόλουθα:

- *Οφέλη για τον πολίτη*

- Οικονομικά οφέλη και βελτίωση της ποιότητας ζωής.
 - Μεγαλύτερη ενεργειακή αυτονομία και προβλεψιμότητα των εξόδων ενός νοικοκυριού για κατανάλωση ενέργειας.
 - Αίσθηση προσωπικής και άμεσης συνεισφοράς στην εξοικονόμηση ενέργειας και την περιβαλλοντική προστασία.
- *Οφέλη για τη χώρα*
- Προστασία του περιβάλλοντος και αναβάθμιση της ποιότητας ζωής των πολιτών.
 - Οικονομικά οφέλη που προκύπτουν από την εξοικονόμηση ενέργειας αλλά και την (εν εξελίξει) εμπορευματοποίηση της αποφυγής εκπομπών CO₂. Ήδη σήμερα η εγκατεστημένη ισχύς των θερμικών ηλιακών είναι της τάξης των 2100MW_{th}, παράγοντας περίπου 1700 GWh ανά έτος. Η συνεισφορά στην αποφυγή εκπομπών CO₂ ισοδυναμεί με αξία (βάσει του διεθνούς εμπορίου εκπομπών) ίση με περίπου τριάντα εκατομμύρια €.
 - Ελάττωση της ενεργειακής εξάρτησης από τις άλλες χώρες και από τις συμβατικές πηγές καυσίμων.
 - Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας γενικά και σε τοπικό επίπεδο ειδικότερα.
 - Τόνωση των μικρομεσαίων επιχειρήσεων.
 - Ενίσχυση των εξαγωγών και εκμετάλλευση της τεχνογνωσίας της χώρας μας στο εξωτερικό.
 - Προβολή της χώρας σε διεθνές επίπεδο. Αξιοπιστία, όσον αφορά τις δεσμεύσεις της απέναντι στην διεθνή κοινότητα για τον περιορισμό του φαινομένου του θερμοκηπίου. Με αυτό τον τρόπο η Ελλάδα θα αποτελέσει «χώρα-μοντέλο» ανάπτυξης της ηλιακής τεχνολογίας (από τα απλά συστήματα ως τα ηλιακά για θέρμανση ή/και κλιματισμό).

Αναφορές

[1] Τομέας Εκπαίδευσης Κ.Α.Π.Ε., *Εγχειρίδιο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας*, ΚΑΠΕ 2007

[2] **Ι.Ε.Φραγκιαδάκης**, *Φωτοβολταϊκά Συστήματα*, 2^η Έκδοση, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη 2006

[3] **Αριστοτέλης Αηδόνης, ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος**, *Προώθηση θερμικών ηλιακών στην Ελλάδα*, 2006

ΚΕΦΑΛΑΙΟ**2****Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ****Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΚΑΙ Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΤΗΣ ΓΗΣ****2.1****Ο ήλιος**

Ο ήλιος είναι ένα τυπικό αστέρι, με μάζα 2×10^{30} kg, ακτίνα 700.000 km, ηλικία 5×10^9 χρόνια και υπολογίζεται ότι έχει μπροστά του άλλα 5 περίπου δισεκατομμύρια χρόνια ζωής. Η επιφανειακή θερμοκρασία του είναι ~ 5.800 K, ενώ η εσωτερική, περίπου, 15.000.000 K. Η υψηλή θερμοκρασία του ήλιου οφείλεται στις αυτοσυντηρούμενες πυρηνικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στο εσωτερικό του κατά τις οποίες μετατρέπεται το υδρογόνο σε ήλιο. Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, η πυρηνική αντίδραση:



δικαιολογεί, με το έλλειμμα μάζας, την εκλυόμενη ενέργεια με βάση τη γνωστή σχέση $E = \Delta m \cdot c^2$, από την ειδική θεωρία της σχετικότητας του Einstein. Υπολογίζεται ότι για κάθε γραμμάριο υδρογόνου, που μετατρέπεται σε He, εκλύεται ενέργεια ίση με $U = 1,67 \times 10^5$ kWh. Η ηλιακή ενέργεια διαδίδεται στο σύμπαν, κυρίως με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αλλά και με σωματιδιακή μορφή.

Η ακτινοβολία του ήλιου

Η τροχιά της γης, κατά την κίνηση της γύρω απ' τον ήλιο, είναι έλλειψη, με τον ήλιο στη μία των εστιών της, με μήκος μεγάλου ημιάξονα, $a = 149,6 \times 10^6$ km και εκκεντρότητα, $e \sim 0,01673$. Η απόσταση γης-ήλιου μεταβάλλεται περιοδικά, κατά τη διάρκεια του έτους, μεταξύ της μέγιστης τιμής της (περί την 1^η Ιουλίου), που ονομάζεται αφήλιο ($\sim 152,1 \times 10^6$ km) και της ελαχίστης (περί την 1^η Ιανουαρίου), που ονομάζεται περιήλιο ($147,1 \times 10^6$ km). Το μήκος του μεγάλου ημιάξονα, a , προσεγγιστικά $150.000.000$ km, λαμβάνεται ως μονάδα μήκους σε διαστημικές αποστάσεις, ονομάζεται Αστρονομική Μονάδα και συμβολίζεται ως 1 AU (Astronomical Unit). Για να διανύσει την απόσταση αυτή το φως, με την ταχύτητα των ~ 300.000 km/s, απαιτούνται $\sim 8,5$ min.

Η εκπεμπόμενη ακτινοβολία απομακρύνεται ακτινικά από τον αστέρα προς το διάστημα και άρα η ένταση J , της ακτινοβολίας του, μεταβάλλεται αντιστρόφως αναλόγως με το τετράγωνο της απόστασης:

$$J = \frac{P}{4\pi d^2} \quad (2.2)$$

όπου P η ολική, σ' όλα τα μήκη κύματος, εκπεμπόμενη από απ' όλη την επιφάνειά του, ισχύς της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και d η απόσταση από τον ήλιο στην οποία μετράται η ένταση.

Η ηλιακή σταθερά

Η ένταση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, που αντιστοιχεί στη μέση απόσταση πλανήτη-ήλιου, ενός ηλιακού συστήματος, ονομάζεται ηλιακή σταθερά του συγκεκριμένου πλανήτη. Στην περίπτωση του ηλιακού μας συστήματος, ηλιακή σταθερά για τη γη, ορίζεται σε απόσταση 1 AU από τον ήλιο. Το 1970 προτάθηκε ως πρότυπη τιμή της ηλιακής σταθεράς, η (1353 ± 21) W/m². Μεταγενέστερες, περισσότερο ακριβείς, μετρήσεις από δορυφόρους έδωσαν, τιμές για την ηλιακή σταθερά, στην περιοχή 1363-1375 W/m². Η μέση τιμή τους, $J_0 = 1367$ W/m², χρησιμοποιείται πλέον διεθνώς, ως πρότυπη τιμή της ηλιακής σταθεράς για τη γη. Η

μετρούμενη τιμή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ γης και ήλιου, η οποία αλλάζει κατά τη διάρκεια του έτους, όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο. Εξαρτάται επίσης, από την περιοδική εμφάνιση των ηλιακών κηλίδων (ενδεκαετής κύκλος) και από την περιστροφή του ήλιου γύρω απ' τον άξονα του, η οποία προκαλεί περιοδική απόκρυψη των κηλίδων. Η ηλιακή σταθερά αυξάνει καθώς αυξάνει η ηλικία του ηλιακού μας συστήματος. Έχει παρατηρηθεί ελάττωση της ακτίνας του ήλιου, που έχει ως συνέπεια την αύξηση της θερμοκρασίας του. Το φάσμα του ηλιακού φωτός στά όρια της ατμόσφαιρας χαρακτηρίζεται με τη συντεταγμένη έκφραση AMO (Air Mass 0).

ΟΛΙΚΗ, ΑΠ'ΕΥΘΕΙΑΣ, ΔΙΑΧΥΤΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΥΤΑ ΑΝΑΚΛΩΜΕΝΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

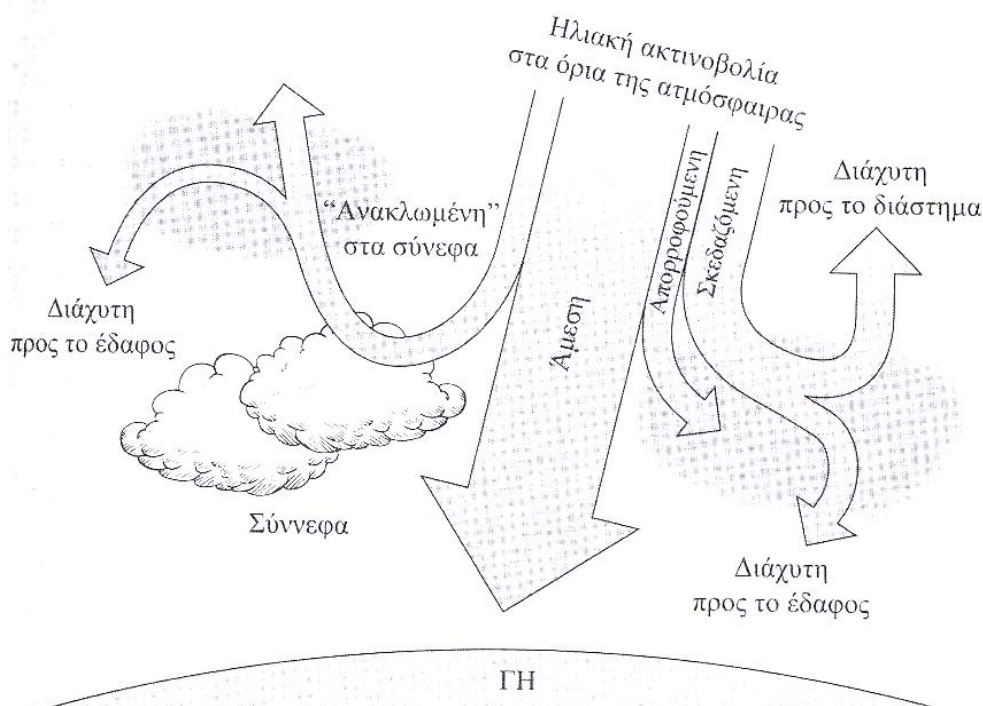
2.2

Κατά τη διέλευση των ηλιακών ακτινών, από τη γήινη ατμόσφαιρα, η ένταση τους ελαττώνεται, καθώς τα φωτόνια σκεδάζονται αφενός στα μόρια της ατμόσφαιρα και στα πολύ μικρής διαμέτρου d , σωματίδια ($d \leq \lambda$, σκέδαση Rayleigh), αφετέρου, στα μεγαλύτερης διαμέτρου αιωρήματα της, δηλαδή, τους υδρατμούς, τη σκόνη και τον καπνό (Σκέδαση Mie ή Tyndall). Ένα άλλο μέρος της ακτινοβολίας, απορροφάται από ορισμένα συστατικά της ατμόσφαιρας. Παραδείγματος χάριν, η υπεριώδης ακτινοβολία απορροφάται από τα μόρια του όζοντος, στα ανώτερα στρώματα της κύριας μάζας της ατμόσφαιρας, έτσι ώστε η ένταση των ακτινών αυτών, στην επιφάνεια της γης, να είναι εξαιρετικά μειωμένη και η καρκινογόνος δράση της αρκετά περιορισμένη. Ομοίως απορροφούν οι υδρατμοί, το CO₂, τα οξείδια του αζώτου κ.α., σε άλλες περιοχές του φάσματος. Τέλος, μέρος της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας φτάνει στην επιφάνεια της γης.

Συνεπώς, σε κάθε τόπο της επιφάνειας της γης, φτάνουν δύο συνιστώσες του ηλιακού φωτός: η απευθείας, ή άμεση B (Beam) και η σκεδαζόμενη στα μόρια του αέρα, η οποία ονομάζεται διάχυτη, D (Diffuse) (Εικόνα 2.1). Η διάχυτη ακτινοβολία σε

οριζόντια επιφάνεια, προέρχεται από όλο τον ουράνιο θόλο (πάνω από το φυσικό ορίζοντα) και σε πρώτη εκτίμηση, μπορεί να θεωρηθεί ισότροπη.

Γενικά, λοιπόν, η προσπίπτουσα ακτινοβολία σε ένα συλλέκτη ή ένα αισθητήρα, αποτελείται από την απευθείας, τη διάχυτη και τη διάχυτα «ανακλώμενη» από το έδαφος. Η συνολική αυτή ακτινοβολία αναφέρεται ως ολική ακτινοβολία σε κεκλιμένο ή οριζόντιο συλλέκτη και θα τη συμβολίζουμε με G (Global Irradiation). Τα σημαντικά μεγέθη που αφορούν στην ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σ' ένα συλλέκτη καθώς και τα σύμβολα που θα χρησιμοποιούνται, δίδονται στον πίνακα 2.1.



Εικόνα 2.1 Η ηλιακή ακτινοβολία

Η διάχυτα ανακλώμενη εξαρτάται από τη μορφολογία και το χρώμα του εδάφους ή της επικάλυψης του (γρασίδι ή χιόνι) και την πυκνότητα των νεφών, ενώ η ολική, απευθείας και διάχυτη, εξαρτώνται, σε γενικές γραμμές, από τους επόμενους παράγοντες:

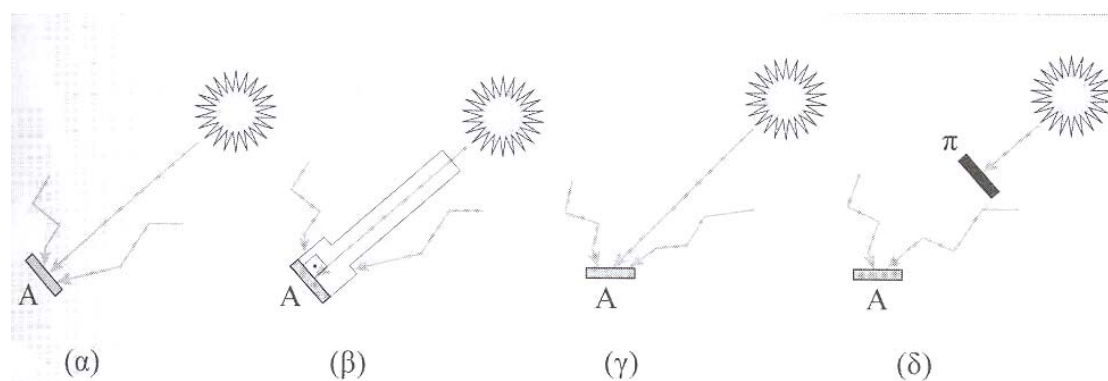
- α) τη σύσταση - κατάσταση της ατμόσφαιρας, τη δεδομένη χρονική στιγμή (υγρασία και γενικά, τα αιωρήματα της ατμόσφαιρας)
- β) την ημέρα κατά τη διάρκεια του έτους
- γ) τη γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτίνων στη συλλεκτική επιφάνεια (ύψος του ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας).

	Χαρακτηρισμός/Σύμβολο	Άλλο χρησιμοποιούμενο σύμβολο	Περιγραφή
Ολική ακτινοβολία, G (Global Irradiation)	Κάθετη ολική ακτινοβολία, G_n . (Global Normal Irradiation, GNI) Σχήμα 1.10α.	I_n	Ολική ακτινοβολία, σε συλλέκτη προσανατολισμένο κάθετα στην απ' ευθείας ακτινοβολία του ήλιου. Αποτελείται από την απ'ευθείας ακτινοβολία και τη διάχυτη από όλα τα σημεία του ουράνιου θόλου πάνω απ' το επίπεδο του συλλέκτη καθώς και από τη διάχυτα ανακλώμενη στο έδαφος.
	Οριζόντια ολική ακτινοβολία, G Global Horizontal Irradiation (GHI) Σχήμα 1.10γ	I, I_t	Ολική ακτινοβολία, απ'ευθείας και διάχυτη από όλα τα σημεία του ουράνιου θόλου καθώς και διάχυτα ανακλώμενη από τα σημεία του εδάφους, που είναι πάνω από το επίπεδο του συλλέκτη, ο οποίος είναι τοποθετημένος οριζόντια.
	Ολική ακτινοβολία στο επίπεδο του συλλέκτη, GTI ή G, (Tilted Global Irradiation) Αναφέρεται επίσης, ως πυκνότητα ισχύος ακτινοβολίας στο επίπεδο της συστοιχίας: in plane of array irradiance (POAI)	I_β, G_β	Ολική ακτινοβολία, απ'ευθείας και διάχυτη απ' όλα τα σημεία του ουράνιου θόλου καθώς και διάχυτα ανακλώμενη από σημεία του εδάφους, πάνω από το επίπεδο του συλλέκτη.
Απ' ευθείας ακτινοβολία, B (Beam)	Απ'ευθείας κάθετη ακτινοβολία, B_n Direct normal Irradiation (BNI) Σχήμα 1.10β	I_{bn}, G_{bn}	Η επιφάνεια του συλλέκτη προσανατολίζεται κάθετα προς τις ακτίνες της ευθείας ακτινοβολίας
	Απ' ευθείας οριζόντια ακτινοβολία B	I_b, G_b	Η επιφάνεια του συλλέκτη προσανατολίζεται οριζόντια
	Απ' ευθείας στο επίπεδο του συλλέκτη (Beam Tilted Irradiance, BTI), B_t	$I_{b,\beta}, G_{b,\beta}$	Αφορά στην απ' ευθείας συνιστώσα της ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο του συλλέκτη

Διάχυτη ακτινοβολία, D (Diffuse)	Διάχυτη ακτινοβολία (Diffuse Irradiation) : 1) Διάχυτη ακτινοβολία σε οριζόντιο συλλέκτη: D ή DHI 2) Διάχυτη ακτινοβολία σε κεκλιμένο συλλέκτη: D_i . Σχήμα 1.10δ.	I_d, G_d $I_{d,\beta}, G_{d,\beta}$	Ακτινοβολία σκεδαζόμενη κατά Rayleigh και Mie, προς τη γη. Προέρχεται απ' το τμήμα του ουρανού πάνω απ' το επίπεδο του συλλέκτη και του εδάφους
Διάχυτα ανακλώμενη	Από το έδαφος στον κεκλιμένο συλλέκτη: GR_i (Ground Reflected Irradiation)		Προέρχεται από το διάχυτα ανακλώμενο φως στο έδαφος και σε ό,τι το καλύπτει (Φυτά, κτιριακές κατασκευές κ.α.).
	Από τα σύννεφα, CR (Cloud reflected)		

Πίνακας 2.1 Ορολογία ηλιακής ακτινοβολίας

Στην περίπτωση που αναφερόμαστε στην ακτινοβολία στα όρια της ατμόσφαιρας (χωρίς την επίδραση της ατμόσφαιρας στη διέλευση του φωτός), χρησιμοποιούνται τα σύμβολα G_{ext} και B_{ext} , (ext=extraterrestrial=πέραν της γης, εννοείται στα όρια της ατμόσφαιρας), για την ολική και απευθείας ακτινοβολία, αντίστοιχα. Η απευθείας ακτινοβολία μπορεί να διακριθεί από τη διάχυτη, με βάση το οπτικό αποτέλεσμα της διέλευσης τους από συγκεντρωτικό φακό ή την ανάκλαση τους σε κοίλο κάτοπτρο. Η πρώτη συγκλίνει και σχηματίζει το είδωλο του ήλιου και μάλιστα, εξαιτίας της μεγάλης απόστασης του απ' το οπτικό όργανο, το είδωλο του σχηματίζεται, πρακτικά, πάνω στην εστία του οπτικού οργάνου. Αντίθετα η διάχυτη ακτινοβολία, προερχόμενη από όλο τον ουρανό, δεν εστιάζεται και συνεπώς δεν δίδει είδωλο.



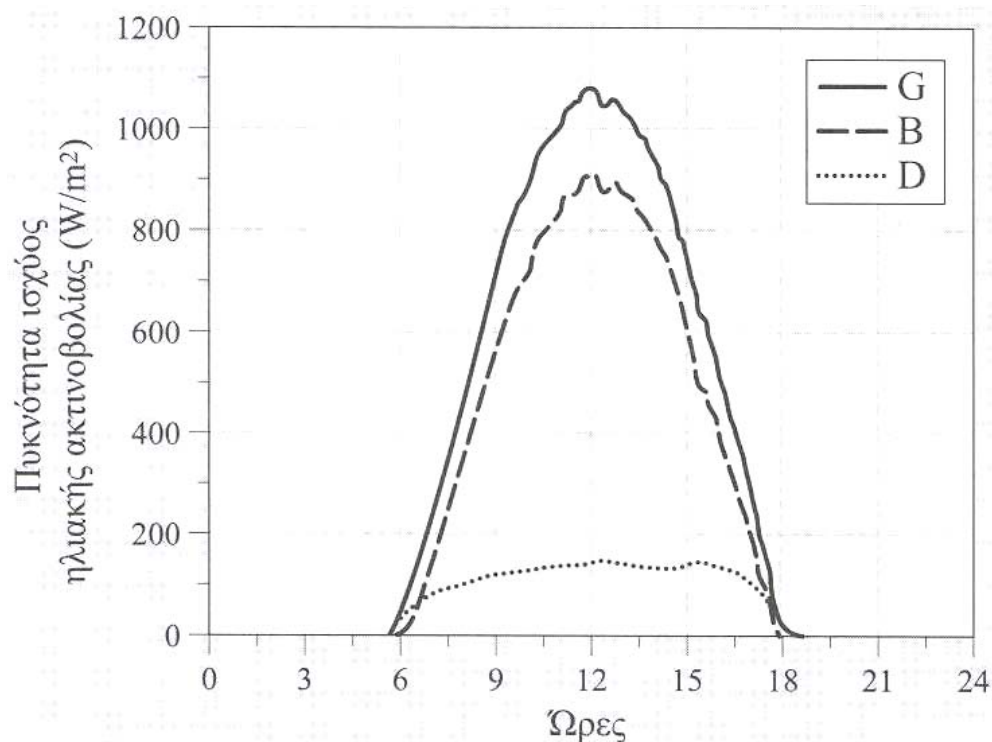
Εικόνα 2.2 (α) Ολική ακτινοβολία σε επιφάνεια κάθετη στην άμεση (β) Άμεση ακτινοβολία κάθετη στην επιφάνεια (γ) Ολική ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια (δ) Διάχυτη ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια

Μεταξύ της ολικής οριζόντιας ακτινοβολίας, G , που προσπίπτει σε συλλεκτική επιφάνεια ή που μετρείται με αισθητήρα (π.χ. πυρανόμετρο), της κάθετης απ' ευθείας ακτινοβολίας, B_n , και της διάχυτης D , ισχύει η επόμενη σχέση:

$$G = B + D = B_n \sin z + D \quad (2.3)$$

όπου z , η ζενιθία γωνία του ήλιου ($z=90-EL$, EL το ύψος του ήλιου)

Κατά την ανατολή του ήλιου, η ζενιθία γωνία είναι $z=90^\circ$ και άρα η ολική οριζόντια πυκνότητα ισχύος της ακτινοβολίας G , καθορίζεται, κυρίως, από τη διάχυτη συνιστώσα, D . Καθώς το ύψος του ήλιου αυξάνει, μέσα σε μια αίθρια ημέρα, η απευθείας κάθετη ακτινοβολία, αυξάνει μέχρι το ηλιακό μεσημέρι, μετά το οποίο ελαττώνεται, κατά συμμετρικό τρόπο (Εικόνα 2.3).



Εικόνα 2.3 Ημερήσια μεταβολή της πυκνότητας ισχύος της ολικής, της απευθείας και της οριζόντιας διάχυτης ακτινοβολίας, κατά μία αίθρια μέρα.

Με βάση τις ωριαίες τιμές των συνιστωσών G , B και D , προκύπτουν οι ημερήσιες μέσες τιμές, οι μηνιαίες μέσες τιμές των μεγεθών αυτών καθώς και οι ετήσιες μέσες τιμές. Προκειμένου τα αποτελέσματα αυτά να αξιοποιηθούν σε ενεργειακούς

υπολογισμούς, συλλέγονται επί σειρά πολλών ετών (π.χ. 30 ετών), η επεξεργασία των οποίων δίδει το Τυπικό Μετεωρολογικό Έτος για τον αντίστοιχο τόπο.

Συνήθως δεν διατίθενται αναλυτικές μετρήσεις της πυκνότητας ισχύος της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε κάθε θέση και πολύ περισσότερο μετρήσεις της G σε διάφορες γωνίες κλίσεως συλλέκτη. Έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι (αναλυτικές και αριθμητικές) για την αναγωγή των μετρήσεων της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο αισθητήρα, σε τιμές που θα κατέγραψε, ο ίδιος αισθητήρας, προσανατολισμένος παράλληλα προς το επίπεδο του κεκλιμένου συλλέκτη. Με εφαρμογή των μεθόδων αυτών μπορεί να υπολογιστεί η βέλτιστη κλίση συλλέκτη, σε ορισμένο τόπο, με αξιοποίηση μετρήσεων ακτινοβολίας σε οριζόντιο αισθητήρα. Στον πίνακα 2.2 δίδονται τυπικές τιμές ημερήσιας μεταβολής χαρακτηριστικών λόγων πυκνοτήτων ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας.

Ακτινοβολία στην επιφάνεια της γης			Ποσοστό
Απ' ευθείας, κάθετη, ακτινοβολία, B_{η} (ή BNI), κατά τη διάρκεια μιας αίθριας ως προς	την αντίστοιχη στα όρια της ατμόσφαιρας	B_{η}/B_{ext}	0-70 %
	την ολική κάθετη	B_{η}/G_{η}	0-85 %
Οριζόντια ολική ακτινοβολία, G (ή GHI), ως προς την αντίστοιχη στα όρια της ατμόσφαιρας, κατά τη διάρκεια μιας αίθριας ημέρας		G/E_{ext}	0-80 %
Διάχυτη οριζόντια ακτινοβολία, D (ή DHI), ως προς την ολική οριζόντια.		D/G	Αίθρια μέρα: 15-25%
			Συννεφιασμένη μέρα: μέχρι και 100%

Πίνακας 2.2 Ημερήσια ποσοστιαία μεταβολή των συνιστωσών της ηλιακής ακτινοβολίας, στην επιφάνεια της γης (*ext* = *extraterrestrial* = εκτός ατμόσφαιρας, *όρια ατμόσφαιρας*)

Όσον αφορά στο μέγεθος της διάχυτα ανακλώμενης ακτινοβολίας, που προσπίπτει στην επιφάνεια ενός συλλέκτη ή αισθητήρα, αυτό καθορίζεται από τη φύση της επιφάνειας που «ανακλά» διάχυτα. Το φως «ανακλάται» στα σύννεφα, στο γυμνό έδαφος, στα φυτά, στο χιόνι, στο νερό (π.χ. θαλασσών, λιμνών), στις κατασκευές του ανθρώπου (π.χ. κτίσματα, θερμοκήπια) κ.α.. Η διάχυτη ανακλαστικότητα, δηλαδή, το

ποσοστό της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας από την επιφάνεια της γης και ό,τι την καλύπτει, αναφέρεται, στη βιβλιογραφία, ως albedo. Τιμές του albedo σε διάφορες περιπτώσεις, αναφέρονται στον επόμενο πίνακα.

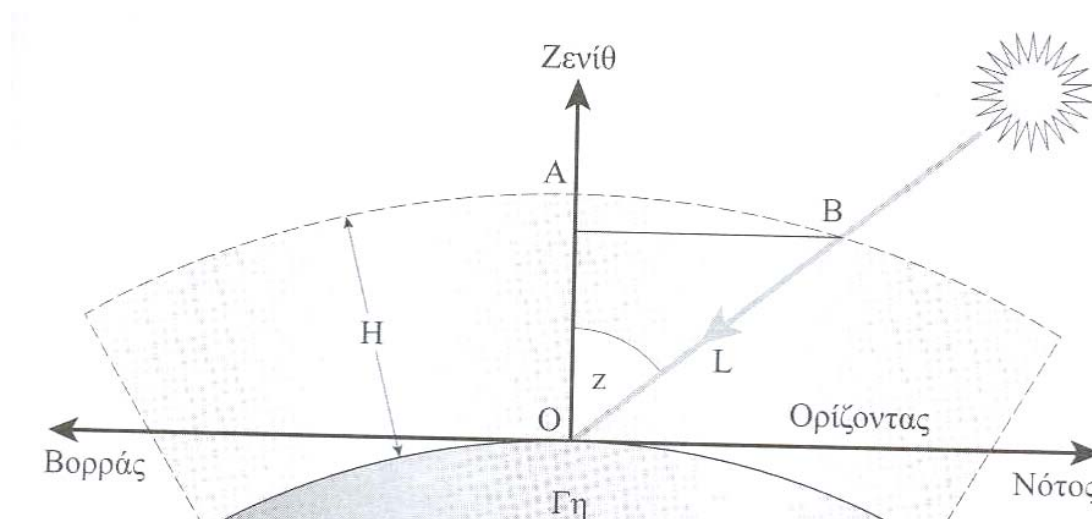
Είδος επιφάνειας	Συντελεστής διάχυτης ανάκλασης ή albedo
Επιφάνεια νερού, θάλασσα	0,05
Ασφαλτόστρωμα	0,07
Αγρός σκοτεινόχρωμος	0,08
Αγρός πράσινος	0,15
Βραχώδης επιφάνεια	0,20
Επιφάνεια τσιμέντου	0,24 - 0,30
Χιόνι	0,60

Πίνακας 2.3 Τιμές διάχυτης ανακλαστικότητας στην επιφάνεια της γης (albedo)

Η πυκνότητα ισχύος της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας, κάθετα στην επιφανή συλλογής, που αντιστοιχεί σε AM1 (Air mass 1), έχει τυπική τιμή $\sim 950 \text{ W/m}^2$. Η AM1 μπορεί να μετρηθεί σε τόπους με γ.π. μεταξύ των τιμών $-23,5^\circ$ και $23,5^\circ$, διότι μόνο σ' αυτούς, οι ηλιακές ακτίνες μπορούν να διαπεράσουν κάθετα την ατμόσφαιρα, δύο φορές μέσα στο έτος. Καθώς το ύψος (EL, Elevation) του ήλιου, δηλαδή, η γωνία των ακτινών του, σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο του τόπου, αλλάζει, οι ακτίνες του διανύουν διαφορετικό μήκος μέσα στην ατμόσφαιρα.

Ο λόγος $m=L/H$, του μήκους της διαδρομής των ηλιακών ακτινών μέσα στη ατμόσφαιρα σε σχέση με το πάχος της ατμόσφαιρας, προσδιορίζει τον αριθμό, m τίθεται μετά τα ακρωνύμια A, M. Καθορίζει ουσιαστικά την ελάττωση της έντασης του φωτός, που προκαλείται από τον μεγαλύτερο δρόμο που διανύουν σ' αυτή την περίπτωση, οι ακτίνες του ήλιου μέσα στην ατμόσφαιρα. Όπως είναι φανερό, ο λόγος m , εξαρτάται από τη ζενιθία γωνία z , μεταξύ των ηλιακών ακτινών και της διεύθυνσης του Ζηνίθ του τόπου (Εικόνα 2.4). Με καλή, σχετικά, προσέγγιση, για μικρές ζενιθίες γωνίες ($z < 60^\circ$), μπορούμε να υπολογίζουμε το λόγο m από τη σχέση:

$$m\left(\frac{L}{H}\right) = \text{τεμ}z \left(= \frac{1}{\sigma \nu \nu z} \right) \quad (2.4)$$



Εικόνα 2.4 Το μήκος L , που διανύουν οι ηλιακές ακτίνες μέσα στην ατμόσφαιρα, πάχους H , καθορίζει την ολική ελάττωση της έντασης τους

Για μεγαλύτερες γωνίες η σχέση είναι πιο σύνθετη. Συνεπώς, με γνωστή τη γωνία z , προσδιορίζεται ο λόγος m . Σημειώστε τη σχέση μεταξύ ζενιθίας γωνίας z και ύψους του ήλιου, $EL=90^\circ-z$. Για γωνία πρόσπτωσης των ακτίνων, ίση με $48,19^\circ$ το φάσμα λέγεται AM1,5 (τεμ $48,19^\circ=1,50$, $EL=41,81^\circ$) και η αντίστοιχη πυκνότητα ισχύος της ολικής οριζόντιας ηλιακής ακτινοβολίας έχει τιμή περίπου 830 W/m^2 . Για γωνία $\theta=60^\circ$ το φάσμα της καταγραφόμενης ηλιακής ακτινοβολίας είναι διαφορετικό απ' ότι για τη γωνία $z=48,19^\circ$, αναφέρεται ως AM2 (τεμ $60^\circ=2$) και η πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας είναι, περίπου, $\sim 700 \text{ W/m}^2$.

Οι παραπάνω τιμές της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας, δεν έχουν εντελώς αυστηρή τυποποίηση και καλό είναι να θεωρούνται ενδεικτικές. Σύμφωνα με τα προηγούμενα, η τιμή της ηλιακής σταθεράς αντιστοιχεί σε μηδενική μάζα αέρα (Air Mass zero, AM0), δηλαδή στα όρια της ατμόσφαιρας, όπου η πυκνότητα ισχύος της ολικής κάθετης ηλιακής ακτινοβολίας έχει την τιμή της ηλιακής σταθεράς, 1367 W/m^2 .

ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

2.3

Διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Στους θερμικούς αισθητήρες, των οποίων η ένδειξη οφείλεται στη θέρμανση της φωτιζόμενης (μαύρης) επιφάνειας, μιας πλάκας από ορισμένο υλικό και στους αισθητήρες ηλεκτρονικής διέγερσης, στους οποίους η μέτρηση οφείλεται στις ενεργειακές μεταβάσεις των ηλεκτρονίων του υλικού, κατά την απορρόφηση φωτονίων.

I. Θερμικοί ανιχνευτές (Thermal detectors)

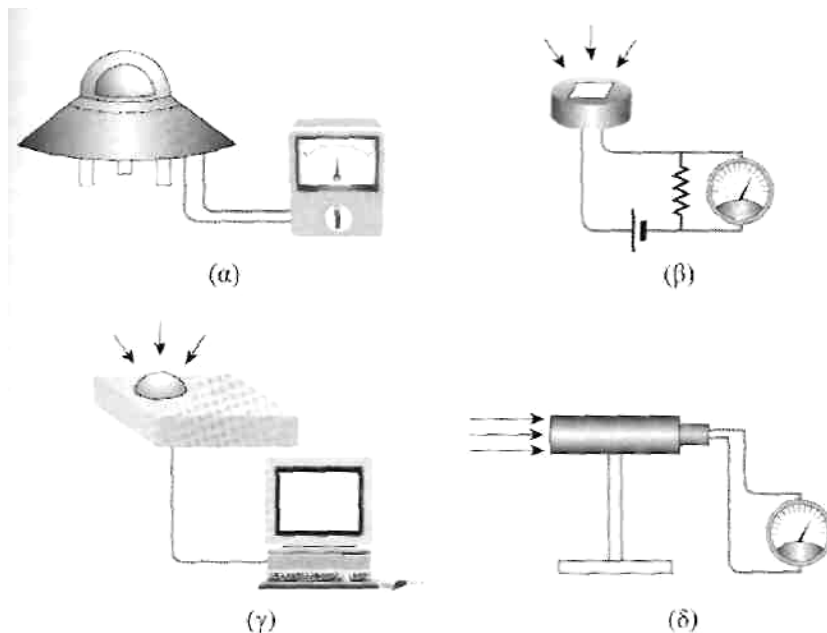
Για μεγαλύτερη ευαισθησία των θερμικών αισθητήρων, φροντίζουμε η μάζα της πλάκας που απορροφά την ακτινοβολία να είναι μικρή, ώστε μικρά ποσά απορροφούμενης ενέργειας να προκαλούν μεγάλη μεταβολή στη θερμοκρασία της. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν α) το πυρανόμετρο, β) ο πυροηλεκτρικός κρύσταλλος και γ) τα βολόμετρα (μεταξύ των οποίων και το thermistor).

➤ ***Πυρανόμετρο***

Η αρχή λειτουργίας του (Εικόνα 2.5α) βασίζεται στο θερμοηλεκτρικό φαινόμενο. Η ακτινοβολία που προσπίπτει, στην ενεργό επιφάνεια (μαύρη), απορροφούμενη θερμαίνει την πλάκα αυτή. Έτσι, δημιουργείται διαφορά θερμοκρασιών μεταξύ της εκτεθειμένης στο φως και μιας άλλης στο εσωτερικό η οποία παραμένει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Οι μισές επαφές πολλών θερμοηλεκτρικών ζευγών (Thermocouples), συνδεδεμένων σε σειρά, είναι εντυπωμένες στην πάνω επιφάνεια, η οποία έχει υποστεί επεξεργασία αμαύρωσης, (π.χ. μαύρο βελούδου, velvet black) και οι άλλες μισές στην κάτω η οποία αποτελεί σώμα θερμοκρασίας αναφοράς (αντιστάθμιση). Ο συνδυασμός πολλών (π.χ. 100) θερμοηλεκτρικών ζευγών, που φέρεται με το όνομα Thermopile, γίνεται με σκοπό η ολική τάση στα δύο ελεύθερα άκρα τους να είναι αρκετά μεγάλη (μερικά mV), ώστε να μετρείται με ένα βολτόμετρο. Η

ενεργός επιφάνεια (μαύρη) περιβάλλεται από δύο ομόκεντρα κρυστάλλινα ημισφαίρια, για προστασία από την υγρασία και την ψύξη λόγω αέριων ρευμάτων.



Εικόνα 2.5 α) Πυρανόμετρο, β) Φωτοδίοδος, γ) Φασματοραδιόμετρο, δ)
Πυροηλεκτρικός κρύσταλλος

➤ Πυροηλεκτρικός κρύσταλλος

Η αρχή λειτουργίας του (Εικόνα 2.5δ) βασίζεται στην τροποποίηση της διπολικής ηλεκτρικής ροπής διηλεκτρικών υλικών, που ονομάζονται πυροηλεκτρικά (πυροηλεκτρικό φαινόμενο). Η αύξηση της θερμοκρασίας του πυροηλεκτρικού υλικού οδηγεί σε εμφάνιση ηλεκτρίσης, δηλαδή, πόλωσης του υλικού λόγω θέρμανσης του. Χαρακτηρίζεται από σταθερή απόκριση (Ampere/Watt), σε ευρεία περιοχή μηκών κύματος, δηλαδή, απόκριση ανεξάρτητη του μήκους κύματος, λ κι αυτό τον καθιστά ιδανικό για καταγραφή φασμάτων, στην περιοχή ευαισθησίας του.

➤ Βολόμετρα ή αισθητήρες θερμοκρασίας με βάση την αντίσταση του υλικού

Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στη μεταβολή της ηλεκτρικής αντίστασης ενός υλικού, με την θερμοκρασία του, λόγω απορρόφησης της ενέργειας της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Για αυξημένη απόκριση του αισθητήρα, το υλικό του πρέπει να χαρακτηρίζεται από υψηλή απορροφητικότητα της ακτινοβολίας,

σε ευρύ φάσμα συχνοτήτων και μικρή θερμοχωρητικότητα. Κατασκευάζονται από ποικιλία υλικών, τόσο σε στοιχειακή (π.χ. Si, Ge, Bi, Au) όσο και σε σύνθετη μορφή (Bi σε συνδυασμό με ίνες από nylon, Ge με προσμίξεις και ίνες nylon). Μια πολύ σημαντική κατηγορία βολομέτρων είναι τα μεταλλικά (π.χ. λευκοχρύσου ή πλατίνας Pt) και τα thermistors (ημιαγωγοί).

II. Αισθητήρες ηλεκτρονικής διέγερσης (Quantum detectors)

Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται είτε στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, δηλαδή την εκπομπή ηλεκτρονίων από την επιφάνεια ενός μετάλλου είτε στη διέγερση ηλεκτρονίων από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας, στην περίπτωση των ημιαγωγών.

➤ Κατηγορία αισθητήρων που βασίζονται στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

Σ' αυτήν την κατηγορία ανήκουν:

- Οι φωτοδιόδοι κενού ή φωτοκύτταρα. Αποτελούνται από δύο ηλεκτρόδια (άνοδο και κάθοδο) ενσωματωμένα σε μια διάταξη υψηλού κενού. Η κάθοδος, πάνω στην οποία προσπίπτει το φως, αποτελείται από υλικό χαμηλού έργου εξόδου των φωτοηλεκτρονίων. Η άνοδος βρίσκεται σε ορισμένο ηλεκτρικό δυναμικό σε σχέση με την κάθοδο συλλέγοντας τα φωτοηλεκτρόνια. Η διάταξη χαρακτηρίζεται από εξαιρετικά μικρό χρόνο απόκρισης (Response time) μικρότερο των 10ns.
- Οι φωτοπολλαπλασιαστές. Στην περίπτωση ακτινοβολιών χαμηλής έντασης, χρησιμοποιούνται σύνθετες διατάξεις, που αποτελούνται από συνδυασμό πολλών φωτοδίοδων σε σειρά (κάθοδος - αντικάθοδοι - άνοδος). Η κάθοδος και οι αντικάθοδοι είναι επιχρισμένες από υλικό χαμηλού έργου εξόδου. Η κάθοδος, ειδικά διαμορφωμένη, αποτελεί το παράθυρο «εισόδου» της ακτινοβολίας δημιουργώντας εσωτερικά τα αρχικά ηλεκτρόνια (φωτοηλεκτρόνια). Τα φωτοηλεκτρόνια επιταχυνόμενα προσπίπτουν στην πρώτη αντικάθοδο, παράγοντας το καθένα, ανάλογα με το υλικό και την

εφαρμοζόμενη ηλεκτρική τάση, μερικά δευτερογενή ηλεκτρόνια κ.ο.κ.. Έτσι, στην άνοδο συλλέγεται μεγάλο πλήθος ηλεκτρονίων που αντιστοιχούν σ' ένα αρχικό φωτόνιο. Η διάταξη, δηλαδή, λειτουργεί ως αισθητήρας ακτινοβολίας χαμηλής εντάσεως, ενισχύοντας σταδιακά, το ασθενικό πρώτο ηλεκτρικό σήμα. Η ενίσχυση μπορεί να ξεπερνά τον παράγοντα 10 (για κάθε φωτοηλεκτρόνιο).

➤ **Κατηγορία αισθητήρων που βασίζονται στη φωτοαγωγιμότητα του υλικού**

Εδώ υπάγονται οι φωτοαγωγοί ή φωτοαντιστάσεις, οι φωτοдиодοι και τα φωτοβολταϊκά στοιχεία.

- Φωτοαγωγοί ή φωτοαντιστάσεις. Είναι ημιαγωγοί, ενδογενείς ή προσμείξεων, οι οποίοι εμφανίζουν έντονη φωτοαγωγιμότητα. Δηλαδή, η απορρόφηση φωτός στο ημιαγωγικό υλικό διεγείρει ηλεκτρόνια από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας, αυξάνοντας την ηλεκτρική αγωγιμότητα του ημιαγωγού.
- Φωτοдиодος ημιαγωγών. Είναι μια διόδος επαφής ημιαγωγών, που όταν φωτίζεται στο εσωτερικό της παράγονται επιπλέον ζεύγη ηλεκτρονίου-οπής (Σχήμα 1.13β), τα οποία διαχωριζόμενα από το πεδίο επαφής, συμβάλλουν στη δημιουργία αυξημένου ηλεκτρικού ρεύματος, (στο κύκλωμα περιλαμβάνονται: η ηλεκτρική πηγή, η διόδος και μια αντίσταση). Η επιφάνεια τους είναι συνήθως πολύ μικρή, της τάξης του mm^2 , ώστε να χαρακτηρίζονται από μικρή χωρητικότητα επαφής και άρα πολύ καλή χρονική απόκριση (Response time), της τάξης του 10^{-10}s . Διακρίνονται σε διάφορους τύπους: σε φωτοдиодους p-n, p-i-n, τύπου Schottky, χιονοστιβάδας και ετεροεπαφών. Για να λειτουργεί μια φωτοдиодος, έτσι ώστε, το ρεύμα να είναι ανάλογο της ροής της ακτινοβολίας και ταυτόχρονα να χαρακτηρίζεται από μικρό χρόνο κίνησης φορέων (λειτουργία ταχείας απόκρισης), πολώνεται ανάστροφα. Αν δεν ενδιαφέρει η απαίτηση αυτή, η φωτοдиодος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε λειτουργία φωτοβολταϊκού στοιχείου (Photovoltaic mode).

- Φωτοβολταϊκή κυψελίδα ή φωτοβολταϊκό στοιχείο. (Η συντομογραφία ΦΒ αντιπροσωπεύει τη λέξη φωτοβολταϊκό). Εδώ επισημαίνουμε την διαφορετικότητα του με τη φωτοδίοδο. Αναφέρθηκε ότι η επιφάνεια της δίοδου είναι πολύ μικρή. Αντίθετα, το ΦΒ στοιχείο χαρακτηρίζεται από όσο το δυνατόν μεγαλύτερη επιφάνεια και ο λόγος είναι ότι προορίζεται για πηγή ηλεκτρικής ενέργειας κι όχι για αισθητήρας.
- **Φασματογράφος**
Διάταξη με την οποία αναλύεται η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μιας πηγής (ηλεκτρομαγνητικό φάσμα). Η ανάλυση βασίζεται στη χρήση είτε πρίσματος είτε οπτικών φραγμάτων (ανάκλασης ή διέλευσης).
- **Φασματοραδιόμετρο -Φασματοφωτόμετρο**
Είναι ένα φασματοσκόπιο εφοδιασμένο με μηχανισμούς κίνησης (Εικόνα 2.5γ), ώστε το φάσμα να σαρώνεται σ' όλο το λειτουργικό εύρος μηκών κύματος και να καταγράφεται σε ηλεκτρονική «μνήμη». Ο χρόνος καταγραφής του ηλιακού φάσματος είναι 1-2 min. Στο σημείο εισόδου του φασματογράφου τοποθετείται μια «σφαίρα ολοκλήρωσης», προκειμένου η προσπίπτουσα ακτινοβολία να καταγράφεται ανεξάρτητα από τη γωνία πρόσπτωσης.

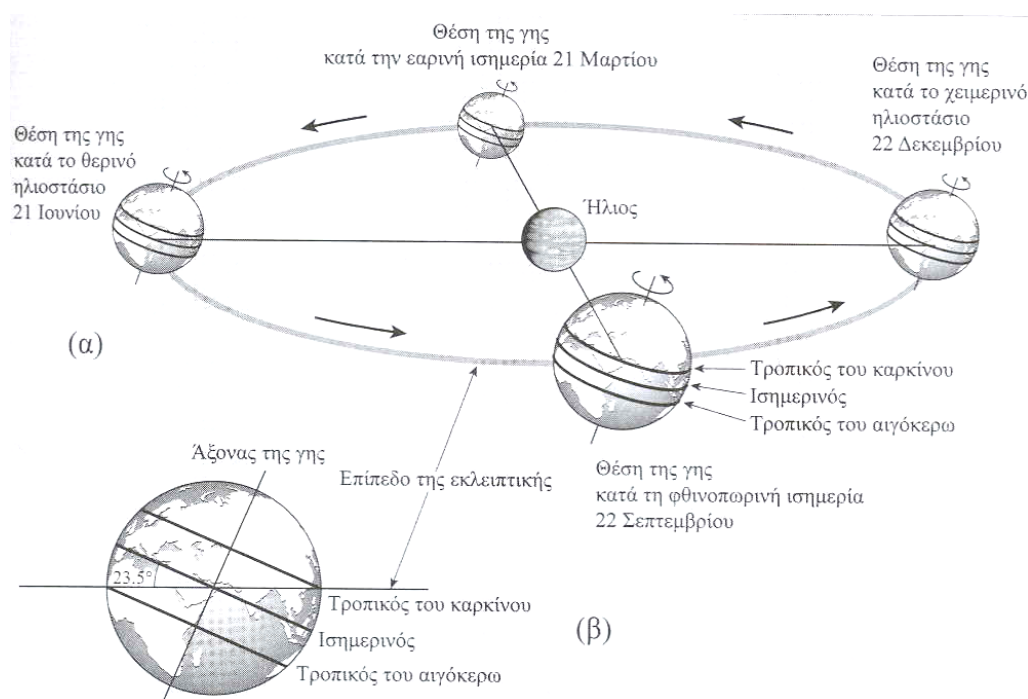
Η ΚΙΝΗΣΗ ΤΗΣ ΓΗΣ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΟΝ ΗΛΙΟ

2.4

Η κίνηση της γης γύρω απ' τον ήλιο μπορεί να αναλυθεί σε δύο κύριες συνιστώσες:

- 1) Περιφορά γύρω απ' τον ήλιο, σε ελλειπτική τροχιά, με τον ήλιο στη μια εκ των δύο εστιών.
- 2) Περιστροφή της γης γύρω από τον άξονα της.

Στην εικόνα 2.6α δείχνεται η σύνθετη κίνηση της γης γύρω απ' τον ήλιο. Κατά την περιφορά της διαγράφει ελλειπτική τροχιά, η οποία ονομάζεται εκλειπτική. Μπορείτε επίσης να παρατηρήσετε την περιστροφή της γης γύρω απ' τον άξονα της, σε τέσσερις χαρακτηριστικές θέσεις της γης κατά τη διάρκεια του έτους. Ο άξονας της γης μετατοπίζεται, περίπου παράλληλα προς τον εαυτό του, σχηματίζοντας σχεδόν σταθερή γωνία με την εκλειπτική. Το επίπεδο του ισημερινού της γης, που είναι κάθετο στον άξονα της γης, σχηματίζει με το επίπεδο της εκλειπτικής γωνία, ίση με $23,45^\circ$.



Εικόνα 2.6 Κίνηση της γης γύρω από τον ήλιο

Φυσικά, την ίδια γωνία σχηματίζει και κάθε άλλος παράλληλος της γης (παράλληλος προς τον ισημερινό), με την εκλειπτική. Έτσι, καθώς η γη αλλάζει θέση στην ετήσια τροχιά της περί τον ήλιο, αλλάζει το ύψος μεσουράνησης του ήλιου σε κάθε τόπο στην επιφάνεια της. Για τόπο στο βόρειο ημισφαίριο, η θέση μεσουράνησης παίρνει την μικρότερη τιμή της το χειμώνα (22 Δεκεμβρίου) και τη μέγιστη το καλοκαίρι (21 Ιουνίου). Το αντίθετο ισχύει για τόπους του νοτίου ημισφαιρίου. Στις 21 Μαρτίου και 22 Σεπτεμβρίου, η ημέρα έχει ίση διάρκεια με τη νύκτα (Ισημερίες).

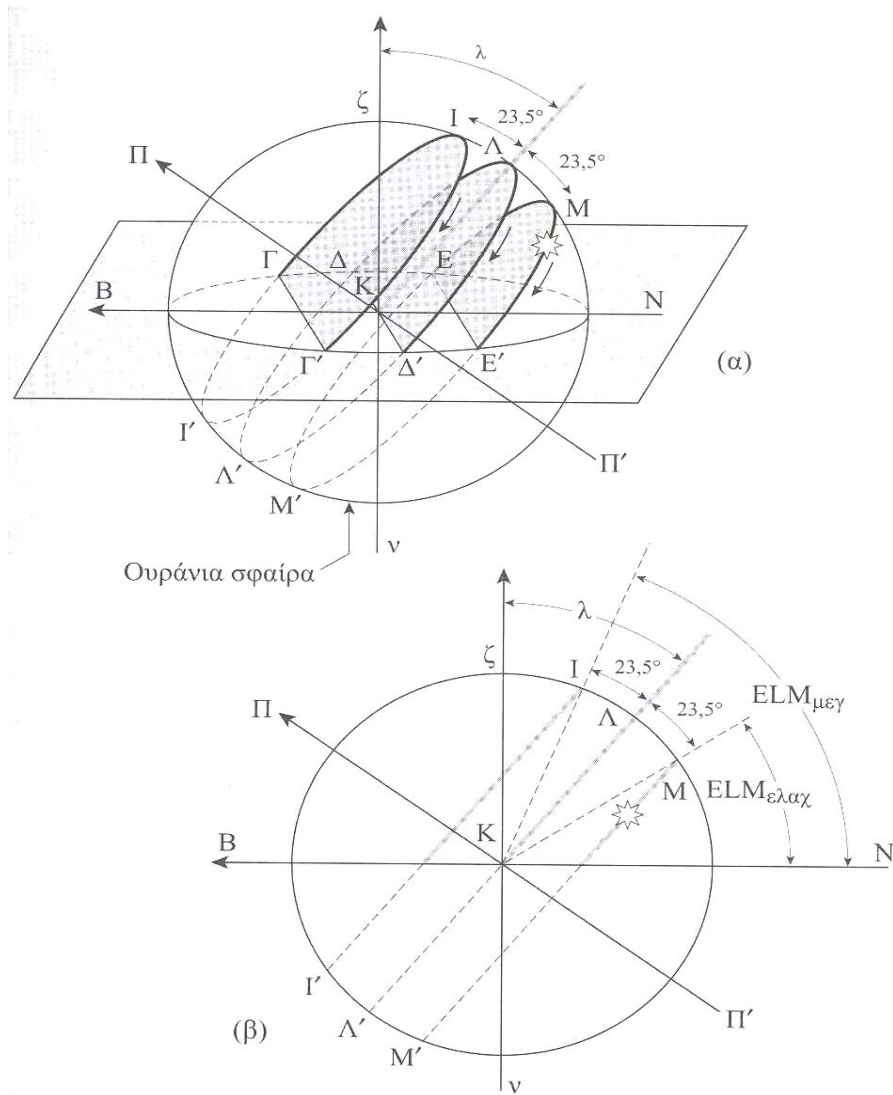
Ένας προσφιλής τρόπος για να περιγράψουμε την κίνηση της γης γύρω απ' τον ήλιο, είναι να δούμε το φαινόμενο αυτό από τη θέση του τοπικού παρατηρητή. Αυτός ο παρατηρητής περιγράφει τα προηγούμενα, ως κίνηση του ήλιου γύρω απ' τη γη, που τη

θεωρεί ακίνητη. Γι' αυτόν, όλα τα αστέρια και οι πλανήτες φαίνονται να είναι τοποθετημένα σε μια τεράστια σφαίρα, την ουράνια σφαίρα, η οποία φαίνεται να περιστρέφεται γύρω απ' τη γη με φορά αντίθετη της περιστροφής της γης.

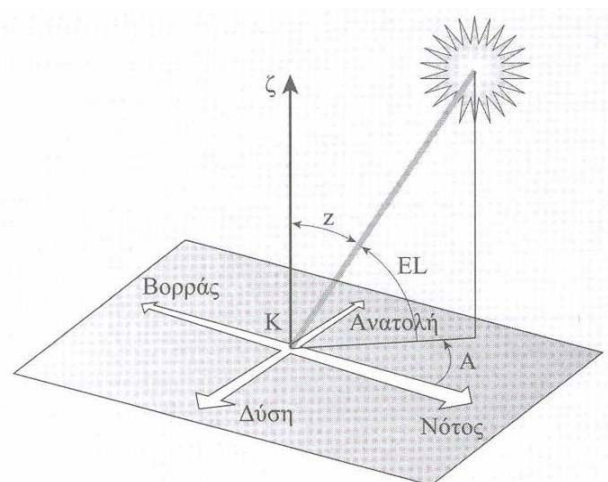
Στην τρισδιάστατη παράσταση της εικόνας 2.7α, ο τοπικός παρατηρητής είναι στο κέντρο K, της ουράνιας σφαίρας. Η κατακόρυφη του τόπου, με κατεύθυνση προς τα πάνω προσδιορίζει, επί της ουράνιας σφαίρας, το Ζενίθ (ζ) του τόπου. Το αντιδιαμετρικό σημείο λέγεται Ναδίρ (ν) του τόπου. Ο παρατηρητής βλέπει τον ήλιο να ανατέλλει, τη μέρα του χειμερινού ηλιοστασίου, από το Ε και να δύει στο Ε'. Καθώς περνάνε οι μέρες, ο ήλιος αλλάζει κύκλο, η θέση μεσουράνησης αυξάνει, το σημείο ανατολής μετατοπίζεται ανατολικότερα και η δύση δυτικότερα. Έτσι, την ημέρα της ισημερίας, ο ήλιος ανατέλλει από το Δ και δύει στο Δ'. Μετά από άλλους τρεις μήνες, η κυκλική τροχιά του ήλιου φτάνει στον κύκλο Π". Ανατέλλει από το Γ και δύει στο Γ'.

Η εικόνα 2.7β αποτελεί τομή της εικόνας 2.7α και περιέχει τον άξονα της ουράνιας σφαίρας, την κατακόρυφη του τόπου, το ίχνος του επιπέδου τους με το οριζόντιο επίπεδο του τόπου καθώς επίσης και τον μεσημβρινό του τόπου. Το επίπεδο που περνά απ' τον τόπο (θέση K του παρατηρητή, εικόνες 2.7α και 2.7β) και είναι κάθετο στην κατακόρυφη του τόπου, αποτελεί το οριζόντιο επίπεδο του τόπου. Στο ίδιο σχήμα δείχνεται η κατεύθυνση Νότου-Βορρά. Η τροχιά του ήλιου γύρω απ' τη γη, κατά τις ισημερίες, είναι μέγιστος κύκλος της ουράνιας σφαίρας, με ζενιθία γωνία ίση με το γεωγραφικό πλάτος (λ), του τόπου (ή $ELM_{\text{ισημερίας}}=90^\circ-\lambda$, όπου η συμβολική γραφή ELM χαρακτηρίζει το ύψος του ήλιου κατά το ηλιακό μεσημέρι). Την ίδια μέρα τα τόξα ημέρας και νύκτας είναι ίσα.

Η μεσουράνηση του ήλιου σε τόπους που βρίσκονται στον ίδιο μεσημβρινό συμβαίνει προφανώς την ίδια στιγμή, ο ήλιος όμως βρίσκεται σε διαφορετικό ύψος στους διάφορους αυτούς τόπους. Μάλιστα, το μέγιστο ύψος του ήλιου, που συμβαίνει κατά τη μεσουράνηση του, για τους τόπους ενός μεσημβρινού, στο βόρειο ημισφαίριο, ελαττώνεται όσο αυξάνεται το γεωγραφικό πλάτος του τόπου. Η θέση του ήλιου στον ουράνιο θόλο, μπορεί να καθορίστε ως προς το σύστημα του τοπικού παρατηρητή, με βάση δύο συντεταγμένες γωνίες που δείχνονται στην εικόνα 2.8.



Εικόνα 2.7 Το (α) είναι το προοπτικό σχήμα και το (β) η τομή της ουράνιας σφαίρας, για ένα τόπο με ορισμένο γεωγραφικό πλάτος (λ)



Εικόνα 2.8 Απλοποιημένο σχήμα για τη θέση του ήλιου

Οι γωνίες αυτές είναι:

- Το ύψος (Elevation) του ήλιου, (το οποίο εδώ συμβολίζεται με EL), είναι η γωνία μεταξύ της ευθείας από τον παρατηρητή ή τον τόπο, προς τον ήλιο, το οριζόντιο επίπεδο. Ισούται με τη συμπληρωματική γωνία της ζενιθίας απόστασης του ήλιου, z, δηλαδή, της γωνίας μεταξύ της ευθείας παρατηρητή ήλιου και της κατακόρυφου του τόπου Κζ, ($EL=90^\circ-z$).
- Το αζιμούθιο ή η αζιμουθιακή γωνία του ήλιου, που αφορά στην αντίστοιχη γωνία μεταξύ του κατακόρυφου επιπέδου, που περιέχει τον ήλιο και το γεωγραφικού μεσημβρινού, συμβολίζεται συνήθως, με Α. Μετρείται κατά τη φορά κίνησης των δεικτών του ωρολογίου (Clockwise), με αναφορά στην κατεύθυνση του βορρά, από 0-360°. Συνηθίζεται η αναφορά του αζιμουθίου του ήλιου, ως προς την κατεύθυνση του νότου, ανατολικά από 0-180° και δυτικά, από 0-180°. Όπως εύκολα μπορείτε να συμπεράνετε, το άθροισμα των αζιμουθιακών γωνιών, ως προς τις κατευθύνσεις αναφοράς βορρά και νότου, αντιστοίχως, έχουν άθροισμα 180°. Αυτό εξηγεί την προσήμανση της αζιμουθιακής γωνίας ως προς το νότο. Το ύψος και το αζιμούθιο του ήλιου προσδιορίζονται από τις επόμενες σχέσεις:

$$\eta\mu EL = \eta\mu\lambda \cdot \eta\mu\delta + \sigma\upsilon\nu\lambda \cdot \sigma\upsilon\nu\delta \cdot \sigma\upsilon\nu\omega \quad (2.5)$$

$$\eta\mu A = -\frac{\sigma\upsilon\nu\delta \cdot \eta\mu\omega}{\sigma\upsilon\nu EL} \quad (2.6)$$

όπου

λ: το γ.π. του τόπου

δ: η απόκλιση του ήλιου τη δεδομένη ημέρα και

ω: η ωριαία γωνία του ήλιου τη χρονική στιγμή t_A (ηλιακός χρόνος), όταν το ύψος και το αζιμούθιο του είναι EL και Α. Προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$\omega = \frac{12 - t_A}{24} 360 \quad (2.7)$$

- Η γωνία που σχηματίζουν οι ακτίνες του ήλιου κατά τη μεσουράνηση του κάθε μέρα, με το επίπεδο του ισημερινού, δηλαδή, με την ευθεία ΚΛ (εικόνες 2.7α και 2.7β) ονομάζεται απόκλιση (Declination) του ήλιου την συγκεκριμένη μέρα και

συμβολίζεται συνήθως με δ . Μεταβάλλεται ημιτονικά, μεταξύ των τιμών $-23,5^\circ$ και $+23,5^\circ$, με το χρόνο, εκφρασμένο σε αριθμό ημερών, κατά τη διάρκεια του έτους. Κατά την ετήσια φαινόμενη κίνηση του ο ήλιος αλλάζει συνεχώς ημερήσιο κύκλο και το ύψος μεσουράνησης του ($ELM = (90^\circ - \lambda) + \delta$), αυξάνει μέρα με την μέρα, από την ελάχιστη τιμή $ELM_{ελαχ} = (90^\circ - \lambda) - 23,5^\circ$ (22 Δεκεμβρίου), μέχρι τη μέγιστη τιμή $ELM_{μεγ} = (90^\circ - \lambda) + 23,5^\circ$ (21 Ιουνίου). Τότε έχουμε τη μέγιστη μέρα και αντίστοιχα την ελάχιστη νύκτα του έτους, για το συγκεκριμένο τόπο. Οι έννοιες ημέρας και νύκτας καθορίζονται από τα αντίστοιχα τόξα, πάνω και κάτω από το επίπεδο του ορίζοντα. Στις ισημερίες (Εαρινή, 21 Μαρτίου και Φθινοπωρινή, 22 Σεπτεμβρίου), η απόκλιση του ήλιου μηδενίζεται και το ύψος μεσουράνησης του γίνεται ίσο με $90^\circ - \lambda$.

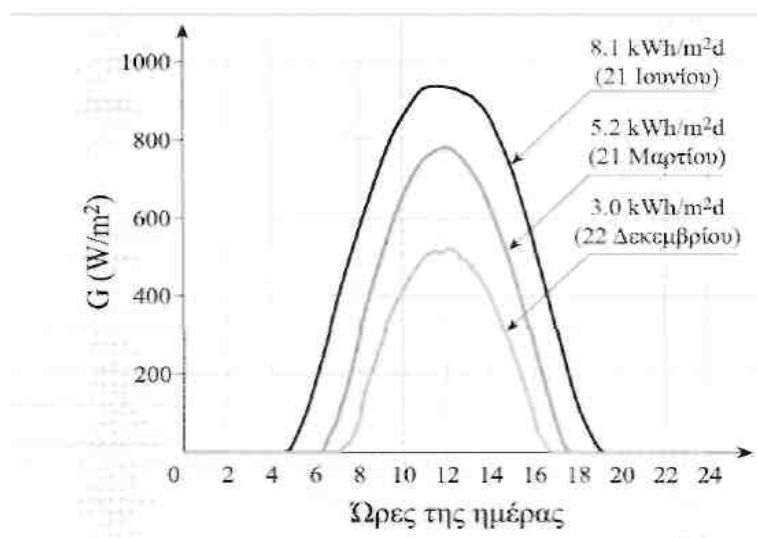
ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΛΑΒΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΗΛΙΟ

2.5

Η ενέργεια ανά m^2 που φτάνει στην επιφάνεια της Γης μέσα σε μια μέρα εξαρτάται από την κλίση της συλλεκτικής επίπεδης επιφάνειας, το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, τη μέρα του χρόνου και από τις συγκεντρώσεις των διαφόρων αερίων, υγρών και στερεών συστατικών και αιωρημάτων της ατμόσφαιρας κατά την ημέρα εκείνη.

Προκειμένου, όμως, να υπάρχουν συγκρίσιμα στοιχεία σε διεθνή κλίμακα αναφερόμαστε σε μετρήσεις με αισθητήρες, οι οποίοι τοποθετούνται με τη συλλεκτική τους επιφάνεια οριζόντια. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι μέσες ημερήσιες τιμές της πυκνότητας ισχύος και της πυκνότητας ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας, σε οριζόντια επιφάνεια, μέσα σε κάθε μήνα και μέσα στο έτος. Για να αξιοποιηθούν αυτά τα μετεωρολογικά στοιχεία σε πρακτικές εφαρμογές (π.χ. σε ενεργειακές μελέτες), απαιτούνται μετρήσεις που να καλύπτουν περίοδο πολλών ετών (π.χ. 10 έως 30 ετών). Σε περιπτώσεις που λείπουν στοιχεία μακράς περιόδου για κάποιο τόπο, μπορούν να αξιοποιούνται στοιχεία που έχουν συλλεχθεί σε μικρότερες χρονικές περιόδους με την επιφύλαξη της μικρότερης αξιοπιστίας τους.

Τυπικές μορφές εξέλιξης μέσα στην ημέρα της πυκνότητας ισχύος της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο (G σε W/m^2), απεικονίζονται στην εικόνα 2.9. Στο ίδιο σχήμα σημειώνονται και οι αντίστοιχες ενεργειακές πυκνότητες H (σε kWh/m^2d), οι οποίες προκύπτουν ως ολοκλήρωμα ή εμβαδόν κάτω απ' την αντίστοιχη καμπύλη. Σημειώνεται πάντως ότι κατά τη διάρκεια μερικής παρουσίας σύννεφων, γύρω απ' την κατεύθυνση του ήλιου, μπορεί να παρατηρηθούν τιμές της πυκνότητας ισχύος μεγαλύτερες των τιμών που θα καταγράφονταν χωρίς την παρουσία τους. Οι συγκεκριμένες γραφικές παραστάσεις προέρχονται από μετρήσεις που έγιναν στο εργαστήριο "Φωτοβολταϊκό Πάρκο", στο Ηράκλειο της Κρήτης, με γεωγραφικό πλάτος $35,5^\circ$ και γεωγραφικό μήκος 25°



Εικόνα 2.9 Καταγραφή της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας, σε πυρανόμετρο με οριζόντια επιφάνεια, στο Ηράκλειο της Κρήτης

Στον τόπο αυτό η μέση, καθ' όλο το έτος, ημερήσια τιμή της ηλιακής ενέργειας, σε οριζόντιο επίπεδο, για μια σειρά πέντε ετών, έχει προκύψει ίση με $\bar{H} = 5 kWh/m^2d$. Σημειώστε ότι τα ολοκληρώματα κάτω από τις καμπύλες του σχήματος, ισούνται με την αντίστοιχη ημερήσια ενέργεια που προσφέρει ο ήλιος στο συλλέκτη ανά μονάδα επιφάνειας. Η ημερήσια μέση πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας τη συγκεκριμένη ημέρα, προκύπτει διαιρώντας το αντίστοιχο ολοκλήρωμα H (εκφρασμένο π.χ. σε kWh/m^2d), δια των 24 h ($\bar{G} = H/T$, όπου $T=24$ h). Η μέση τιμή της πυκνότητας ισχύος αντιπροσωπεύει την πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας, με την οποία αν ο τόπος φωτιζόταν όλο το εικοσιτετράωρο, η συνολική

πυκνότητα ενέργειας ηλιακής ακτινοβολίας θα ήταν ίση με την πραγματικά αποδοθείσα κατά τη συγκεκριμένη μέρα. Αποτελεί τυπικό συγκριτικό στοιχείο ηλιακής ακτινοβολίας, για διαφορετικούς τόπους.

Σε περιοχές κοντά στον ισημερινό, η μέση ετησίως τιμή της είναι μεγαλύτερη (μέχρι και 7 kWh/m²d) και αντίστοιχα, σε περιοχές στα όρια των Εύκρατων ζωνών, είναι μικρότερη (<3 kWh/m²d). Άξιο παρατήρησης είναι η ελαττωμένη τιμή της σε περιοχές της Τροπικής ζώνης (γύρω από τον Ισημερινό). Η υψηλή υγρασία των περιοχών αυτών, με την έντονη βλάστηση, έχει ως αποτέλεσμα την ισχυρή ελάττωση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας.

ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑ

2.6

Εκτός από τη μέση ημερήσια ενέργεια από το ήλιο σε μηνιαία και ετήσια βάση, σε οριζόντιο επίπεδο, χαρακτηριστικό στοιχείο μιας περιοχής είναι η ηλιοφάνεια της. Αυτή εξαρτάται βεβαίως από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου και από την θέση και την διαμόρφωση της περιοχής. Τα χαρακτηριστικά αυτά πιθανόν να ευνοούν την ανάπτυξη νεφώσεων, με αποτέλεσμα την μείωση των ηλιόλουστων ημερών. Η ηλιοφάνεια εκφράζεται σε πλήθος ωρών ανά μήνα και ανά έτος, κατά τις οποίες ο ήλιος είναι ορατός στον ουρανό. Στην Ελλάδα, η περιοχή με τη μεγαλύτερη ηλιοφάνεια είναι η περιοχή της Ιεράπετρας στο νοτιοανατολικό μέρος της Κρήτης (3108 ώρες ετησίως).

ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ

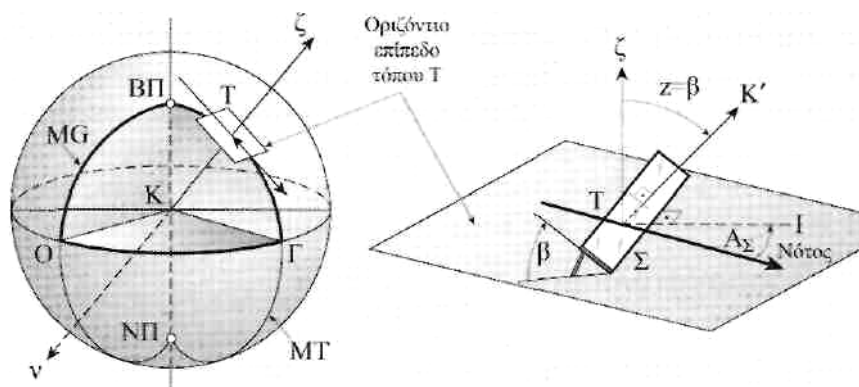
2.7

Σημαντικό ρόλο στην αποδοτικότερη συλλογή ηλιακής ακτινοβολίας από ένα συλλέκτη παίζει ο προσανατολισμός του ως προς τον ηλιακό νότο, ο οποίος αντιστοιχεί στη στιγμή που ο ήλιος βρίσκεται στο μεσημβρινό του συγκεκριμένου τόπου. Στην παράγραφο αυτή θα αναφερθούμε, κατ' αρχήν, σε μια απλή μέθοδο προσδιορισμού του αληθούς νότου, ως προς τον οποίο προσανατολίζουμε συνήθως το συλλέκτη και στη συνέχεια θα εξετάσουμε σε συντομία, τους διάφορους τρόπους τοποθέτησης των συλλεκτών με βασική απαίτηση τη μεγιστοποίηση της ημερησίας συλλεγόμενης ηλιακής ενέργειας, από το συλλέκτη, σε συνδυασμό με μια αξιόπιστη και οικονομική κατασκευή.

Κάθε τόπος όπως ο τόπος T , της εικόνας 2.10α, πάνω στην επιφάνεια της γης, προσδιορίζεται από τις σφαιρικές συντεταγμένες του:

- i. Το γεωγραφικό μήκος, (L), που καθορίζεται από το τόξο OG , πάνω στον Ισημερινό ή σε άλλο παράλληλο, με αναφορά το μεσημβρινό του Greenwich (MG), από $0-180^\circ$ Ανατολικά (ή με αναφορά μόνο της γωνίας αλλά με αρνητικό πρόσημο, π.χ. για την Αθήνα: γ.μ.=-23.5°) και από $0-180^\circ$ Δυτικά (ή η γωνία με θετικό πρόσημο).
- ii. Το γεωγραφικό πλάτος, (λ), που καθορίζεται από το τόξο GT , πάνω στον μεσημβρινό του τόπου MT , με αναφορά τον Ισημερινό, από $0-90^\circ$ Βόρεια και $0-90^\circ$ Νότια.

Ας θεωρήσουμε ένα επίπεδο συλλέκτη, Σ , τοποθετημένο έτσι ώστε το επίπεδο του να σχηματίζει γωνία β ως προς τον ορίζοντα (εικόνα 2.10β). Η γωνία κλίσης του συλλέκτη β ισούται με τη ζενιθία γωνία ζ της καθέτου στο επίπεδο του συλλέκτη (TK'), η οποία μπορεί να πάρει τιμές από 0° (Ζενίθ) έως 180° (Ναδίρ).



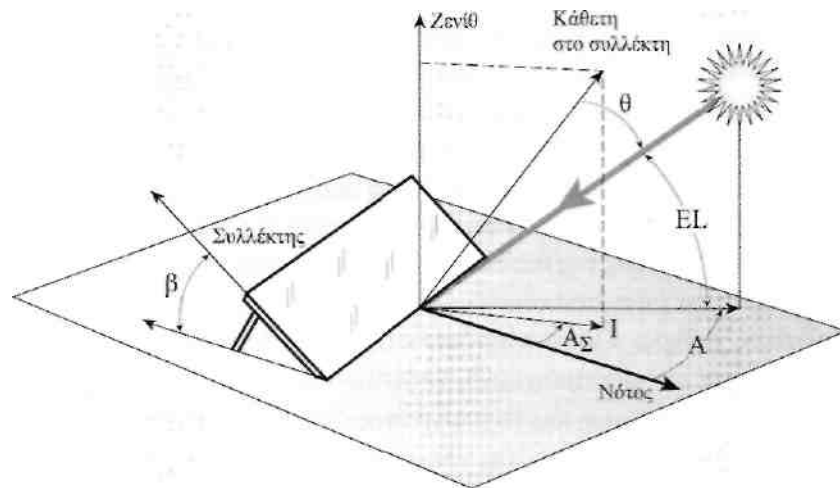
Εικόνα 2.10 Σφαιρικές συντεταγμένες του τόπου T και του συλλέκτη Σ .

Η γωνία A_{Σ} , μεταξύ της κατακόρυφης προβολής TI , της καθέτου στο συλλέκτη, TK' πάνω στο οριζόντιο επίπεδο, με τη διεύθυνση του νότου, ονομάζεται αζιμουθίο ή αζιμουθιακή γωνία του συλλέκτη και παίρνει τιμές από $+180^{\circ}$ μέχρι -180° . Χαρακτηριστικές θέσεις: $+180^{\circ}$ (βορράς), $+90^{\circ}$ (Ανατολή), 0° (Νότος), -90° (Δύση) και -180° (Βορράς). Όταν ο συλλέκτης στραφεί ώστε οι ακτίνες του ήλιου (απευθείας ακτινοβολία), να προσπίπτουν κάθετα στην επιφάνεια του, τότε το ύψος του ήλιου EL και η γωνία κλίσης β , του συλλέκτη δίδουν άθροισμα 90° ($EL + \beta = 90^{\circ}$).

Η στροφή του συλλέκτη, ώστε αυτός να παρακολουθεί ανά πάσα στιγμή τον ήλιο, γίνεται με μηχανισμούς οι οποίοι οδηγούνται από κατάλληλες ηλεκτρονικές διατάξεις με βάση τις εξισώσεις κίνησης του ήλιου στην ουράνια σφαίρα. Η γωνία θ που σχηματίζουν μια δεδομένη χρονική στιγμή οι ηλιακές ακτίνες (απευθείας ακτινοβολία) με την κάθετη σ' ένα επίπεδο συλλέκτη (εικόνα 2.11) γωνίας κλίσης β και αζιμουθιακής γωνίας A_{Σ} , δίδεται από τη σχέση

$$\cos\theta = \cos EL \cdot \eta\mu\beta \cdot \cos(A - A_{\Sigma}) + \eta\mu EL \cdot \sin\beta \quad (2.8)$$

όπου A , η αζιμουθία γωνία και EL το ύψος του ήλιου την ίδια χρονική στιγμή.



Εικόνα 2.11 Ο προσανατολισμός του συλλέκτη

Αναφορές

Ι.Ε.Φραγκιαδάκης, *Φωτοβολταϊκά Συστήματα*, 2^η Έκδοση, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη 2006

ΚΕΦΑΛΑΙΟ**3****ΘΕΡΜΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ****ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ****3.1**

Ο ηλιακός συλλέκτης είναι ειδικής μορφής εναλλάκτης θερμότητας, που απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία και μεταφέρει την ενέργεια στο εργαζόμενο μέσο, το οποίο διαπερνά τον συλλέκτη και αποτελεί την καρδιά κάθε ηλιακού συστήματος θέρμανσης. Η ιδιορρυθμία του έγκειται κυρίως στο ότι μεταφέρει ενέργεια μορφής ακτινοβολίας από πολύ μακρινή πηγή (ήλιος) σε ρευστό. Υπάρχουν διάφορα είδη ηλιακών συλλεκτών:

- Επίπεδοι συλλέκτες
- Συλλέκτες κενού
- Συγκεντρωτικοί συλλέκτες

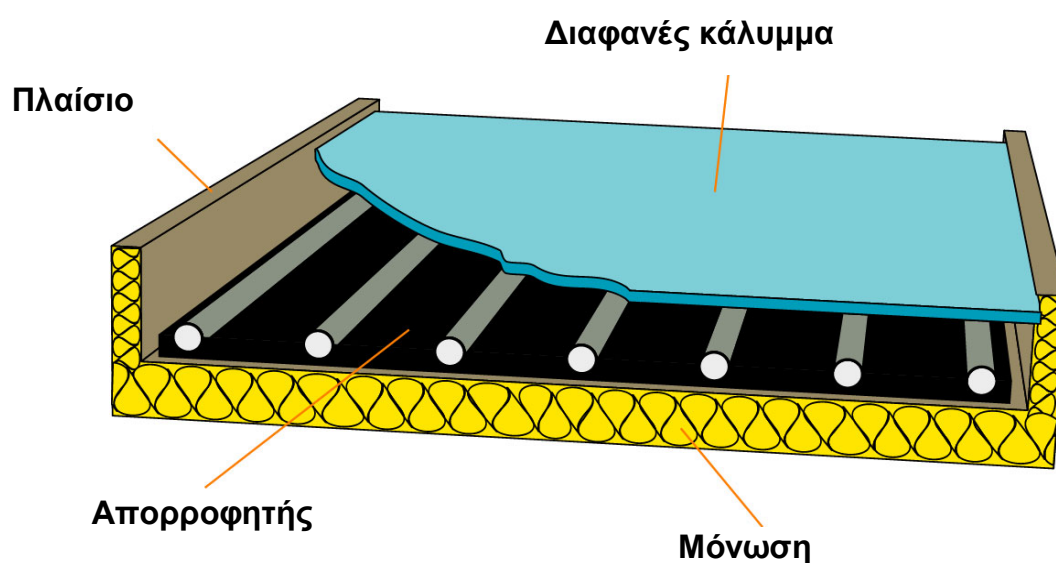
Επίπεδοι συλλέκτες

Είναι η πιο διαδεδομένη μορφή συλλέκτη για οικιακά ηλιακά συστήματα θέρμανσης νερού. Η λειτουργία ενός επίπεδου συλλέκτη επηρεάζεται από τους ακόλουθους παράγοντες:

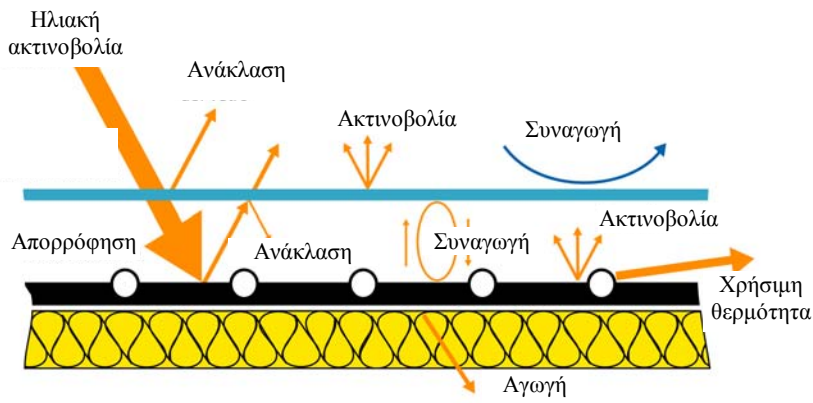
- Ηλιακούς παράγοντες πχ ένταση ακτινοβολίας, γωνία κλίσης συλλέκτη κ.α.
- Συνθήκες περιβάλλοντος πχ θερμοκρασία περιβάλλοντος, ταχύτητα ανέμου κ.α.
- Συνθήκες λειτουργίας πχ θερμοκρασία εργαζόμενου μέσου, θερμικές ιδιότητες του ρευστού, προσανατολισμός του συλλέκτη
- Κατασκευή συλλέκτη

Ένας επίπεδος ηλιακός συλλέκτης αποτελείται από τα εξής μέρη:

1. Το διαφανές κάλυμμα, που μπορεί να αποτελείται από ένα, δύο ή και περισσότερες διαφανείς πλάκες από γυαλί ή πλαστικό.
2. Την φωτοαπορροφητική πλάκα που απορροφά την ηλιακή ενέργεια η οποία είναι μια ειδικά επεξεργασμένη μεταλλική επιφάνεια ή βαμμένη με ειδική βαφή.
3. Τους σωλήνες που είναι σε επαφή με την απορροφητική πλάκα μέσα στους οποίους κυκλοφορεί το ρευστό που απάγει τη θερμική ενέργεια από την απορροφητική πλάκα.
4. Το περίβλημα που συνήθως είναι μεταλλικό ή πλαστικό, το οποίο ενοποιεί την κατασκευή και προστατεύει το συλλέκτη από τις συνθήκες περιβάλλοντος.
5. Την μόνωση στην πίσω και στις πλάγιες πλευρές του συλλέκτη.



Εικόνα 3.1 Επίπεδος συλλέκτης (Κ.Α.Π.Ε.)



Εικόνα 3.2 Η ηλιακή ακτινοβολία(πηγή Κ.Α.Π.Ε.)

Στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας, το ωφέλιμο ποσό ενέργειας που αποδίδει ο συλλέκτης περιγράφεται από την σχέση 3.1. Σε αυτήν τη σχέση εκφράζεται ο καταμερισμός της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας σε ωφέλιμη, θερμικές και οπτικές απώλειες:

$$Q_u = A_c[S - U_L(T_{pm} - T_a)] \quad (3.1)$$

όπου:

Q_u : ωφέλιμη αποδιδόμενη ισχύς(W)

A_c : επιφάνεια συλλέκτη (m^2)

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

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

T_{pm} : μέση θερμοκρασία απορροφητήρα ($^\circ C$)

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

Η παραπάνω εξίσωση όμως δεν είναι εύχρηστη για τον υπολογισμό της ωφέλιμης ισχύος Q_u , καθώς απαιτείται γνώση της θερμοκρασίας $T_{p,m}$, η οποία αφενός εξαρτάται από τον τύπο του συλλέκτη, την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία και τις συνθήκες εισόδου του ρευστού και αφετέρου παρουσιάζει δυσκολίες κατά την μέτρηση ή τον υπολογισμό. Γι'αυτό το λόγο αντικαθίσταται η μέση θερμοκρασία του απορροφητήρα από τη θερμοκρασία εισόδου του ρευστού $T_{f,i}$ στο συλλέκτη μέσω της εξίσωσης:

$$T_{p,m} = T_{f,i} + \frac{Q_u}{AcULFR}(1 - FR) \quad (3.2)$$

Όπου F_R είναι ο παράγοντας θερμικής απολαβής του συλλέκτη. Ορίζεται σαν ο λόγος της πραγματικά αποδιδόμενης θερμικής ισχύος Q_u προς την θερμική ισχύ που θα αποδιδόταν αν ο απορροφητήρας είχε τη θερμοκρασία εισόδου του ρευστού $T_{f,i}$, η οποία αποτελεί τη μέγιστη δυνατή θερμική ισχύ που μπορεί να αποδοθεί. Πρόκειται ουσιαστικά για βαθμό απόδοσης εναλλάκτη θερμότητας.

Με αντικατάσταση προκύπτει η εξίσωση του επίπεδου συλλέκτη:

$$Q_u = AcFR[S - U_L(T_{fi} - T_a)] \quad (3.3)$$

όπου: $T_{f,i}$: Θερμοκρασία εισόδου του ρευστού

Για την απορροφούμενη ηλιακή ενέργεια S ισχύει:

$$S = (\tau\alpha)G_T \quad (3.4)$$

όπου:

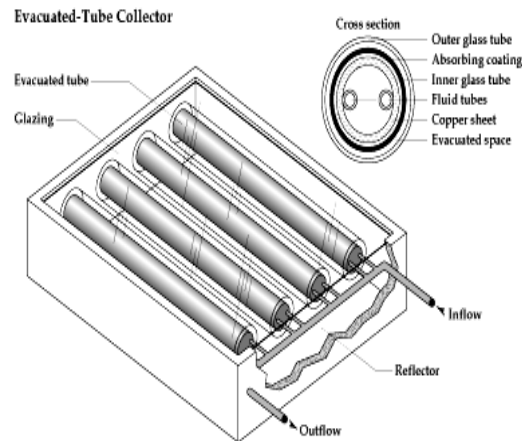
($\tau\alpha$): το μέσο και συγχρόνως το προσαυξημένο γινόμενο διαπερατότητας-απορροφητικότητας.

Συνδυάζοντας τις παραπάνω εξισώσεις προκύπτει η τελική εξίσωση:

$$Q_u = AcFR[(\tau\alpha)G_T - U_L(T_{fi} - T_a)] \quad (3.5)$$

Συλλέκτες κενού

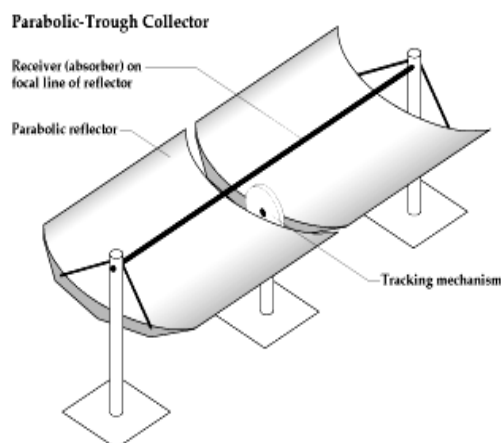
Οι συλλέκτες αυτοί αποτελούνται από ένα σύστημα με αρθρωτούς σωλήνες, στο κέντρο των οποίων βρίσκεται λεπτός μεταλλικός αγωγός με απορροφητική επιφάνεια. Λόγω των συνθηκών κενού, οι απώλειες θερμότητας με συναγωγή μειώνονται.



Εικόνα 3.3 Τυπικός συλλέκτης κενού (πηγή Κ.Α.Π.Ε.)

Συγκεντρωτικοί συλλέκτες

Όταν είναι επιθυμητή η απόδοση της ενέργειας σε θερμοκρασίες υψηλότερες από αυτές που επιτυγχάνονται με τους συνήθεις επίπεδους συλλέκτες, μπορεί να γίνει χρήση των συγκεντρωτικών συλλεκτών. Σε αυτούς, οι υψηλές θερμοκρασίες αναπτύσσονται με συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας σε μικρή επιφάνεια απορρόφησης, μειώνοντας έτσι και τις θερμικές απώλειες προς το περιβάλλον.



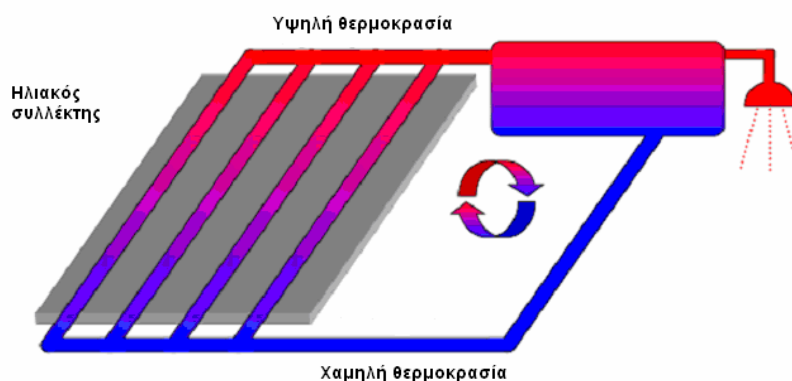
Εικόνα 3.4 Τυπικός συγκεντρωτικός συλλέκτης (πηγή Κ.Α.Π.Ε.)

ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

3.2

Θερμοσιφωνικά συστήματα ζεστού νερού χρήσης (ZNX)

Τα θερμοσιφωνικά συστήματα στηρίζονται στη φυσική μεταφορά του νερού στους συλλέκτες και στη δεξαμενή, η οποία βρίσκεται επάνω από το συλλέκτη. Η αρχή λειτουργίας του θερμοσιφωνικού συστήματος είναι απλή. Το νερό θερμαίνεται στο συλλέκτη, διαστέλλεται κι επομένως γίνεται ελαφρύτερο από το χαμηλότερης θερμοκρασίας νερό της δεξαμενής (Εικόνα 3.5). Αυτή η διαφορά στην πυκνότητα του νερού έχει ως αποτέλεσμα τη φυσική κυκλοφορία του, μέσω του συλλέκτη και τη μεταφορά του θερμού νερού στην αποθηκευτική δεξαμενή, της οποίας το ψυχρότερο νερό αντικαθιστά το ζεσταμένο στο συλλέκτη, συνεχίζοντας κατ' αυτό τον τρόπο την κυκλοφορία του.



Εικόνα 3.5 Αρχή λειτουργίας θερμοσιφωνικού συστήματος

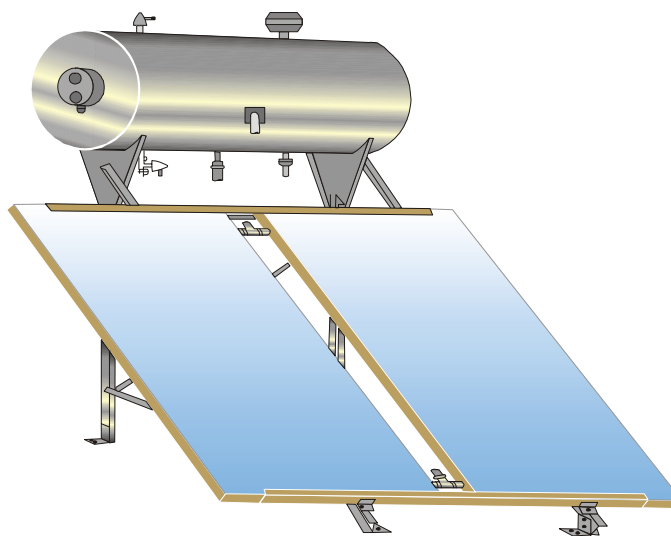
Απαραίτητη προϋπόθεση, προκειμένου να είναι εφικτή η φυσική κυκλοφορία του νερού, αποτελεί η τοποθέτηση της αποθηκευτικής δεξαμενής σε υψηλότερο σημείο από τους συλλέκτες. Το ευνοϊκό Ελληνικό κλίμα επιτρέπει την τοποθέτηση της δεξαμενής στις οροφές των κατοικιών, χωρίς μεγάλες απώλειες θερμότητας από το θερμό νερό προς το περιβάλλον. Αυτή είναι και η πλέον κοινή περίπτωση που συναντάται.

Ο τυπικός ηλιακός θερμοσίφωνας (Εικόνα 3.6) αποτελείται από

- τους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες,
- μια δεξαμενή αποθήκευσης του ζεστού νερού,
- τις απαραίτητες σωληνώσεις και
- τα εξαρτήματα (βαλβίδα ασφαλείας, εξαεριστικό κ.τ.λ.)

Η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από το συλλέκτη και η συλλεγόμενη θερμότητα μεταφέρεται στο δοχείο αποθήκευσης. Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες τοποθετούνται συνήθως στην οροφή του κτιρίου, με νότιο προσανατολισμό και κλίση 30° - 60° ως προς το οριζόντιο επίπεδο, ώστε να μεγιστοποιηθεί το ποσό της ακτινοβολίας που συλλέγεται ετησίως.

Το πιο διαδεδομένο θερμοσιφωνικό σύστημα στην Ελλάδα αποτελείται από συλλεκτική επιφάνεια $2,5\text{m}^2$ και δεξαμενή 150lt. Το εύρος των χαρακτηριστικών αυτών κυμαίνεται μεταξύ $2 - 4\text{m}^2$ για την συλλεκτική επιφάνεια (σε ένα ή δύο τεμάχια) και μεταξύ 150 – 300lt για την δεξαμενή.

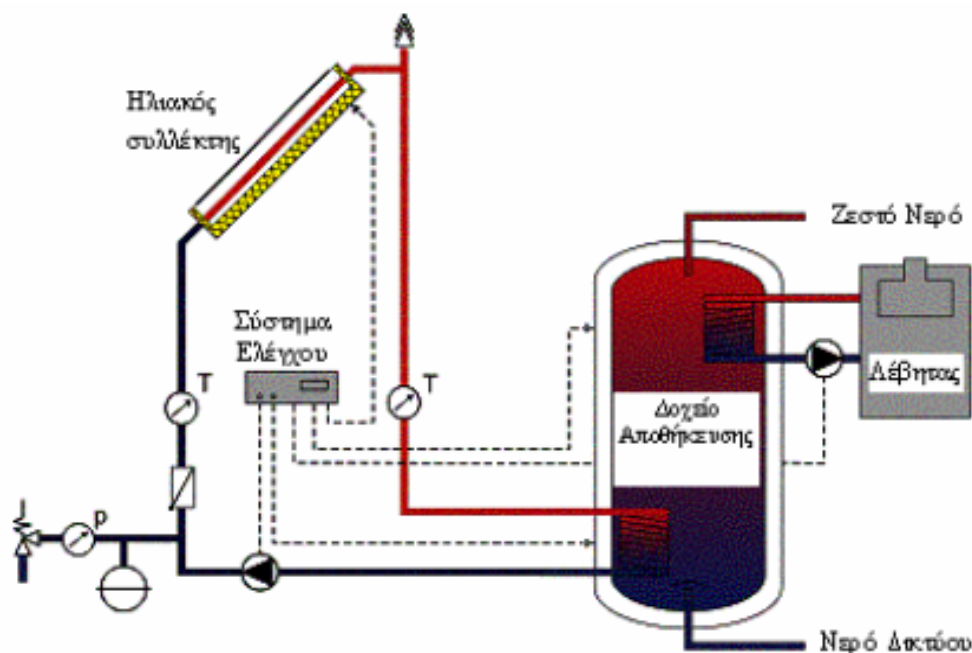


Εικόνα 3.6 Ηλιακός θερμοσίφωνας

Στην Ελλάδα, το 98% των εγκατεστημένων ηλιακών συλλεκτών αφορούν θερμοσιφωνικά συστήματα, για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης ($40 - 75^{\circ}\text{C}$). Η παραγόμενη ενέργεια ποικίλλει ανά γεωγραφική περιοχή και ανά εφαρμογή. Ένα τυπικό θερμοσιφωνικό σύστημα για οικιακή χρήση στην Ελλάδα, παράγει ετησίως περίπου 1000 θερμικές κιλοβατώρες (kWh) και με τη χρήση του αποφεύγεται η έκλυση περίπου 1100 κιλών CO_2 ετησίως, θεωρώντας ότι υποκαθιστά τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας.

Κεντρικά ηλιακά συστήματα

Τα κεντρικά ηλιακά συστήματα, αποτελούνται από ένα πεδίο ηλιακών συλλεκτών και μια κεντρική δεξαμενή, από την οποία παρέχεται το ζεστό νερό στα σημεία κατανάλωσης μέσω δικτύου αγωγών. Τυπική σχηματική παράσταση ενός κεντρικού ηλιακού συστήματος δίνεται στην Εικόνα 3.7.

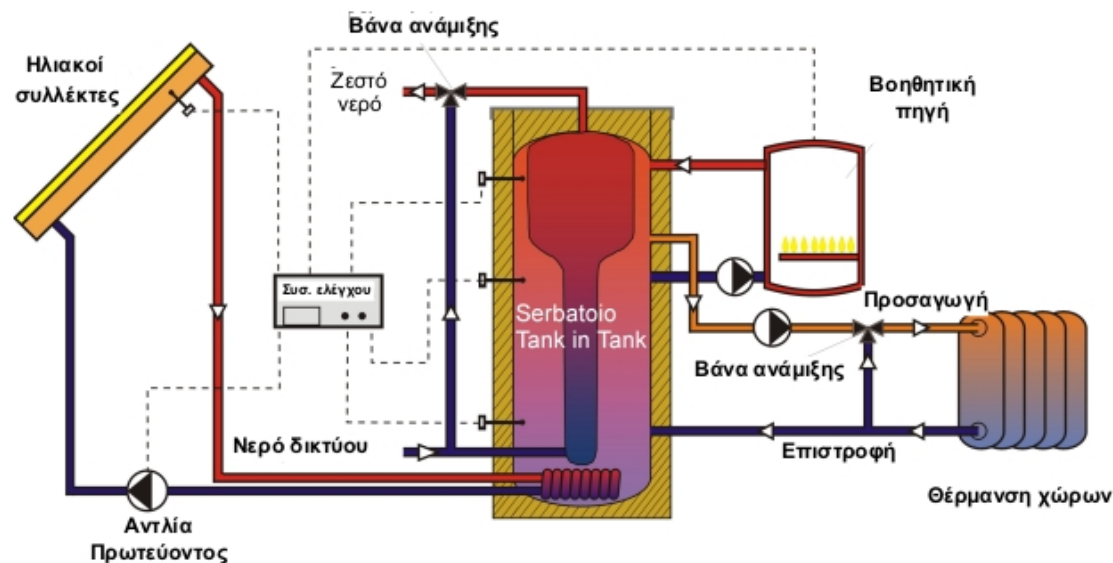


Εικόνα 3.7 Σχηματική παράσταση κεντρικού ηλιακού συστήματος (Πηγή Target/DGS)

Συνοπτικά, η λειτουργία του ηλιακού συστήματος της εικόνας 3.7 έχει ως εξής: η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από τους ηλιακούς συλλέκτες οι οποίοι θερμαίνονται. Η θερμότητά μεταφέρεται σε ένα δοχείο αποθήκευσης δια μέσου ενός υγρού (συνήθως πρόκειται για αντιψυκτικό υγρό) το οποίο κυκλοφορεί με τη βοήθεια αντλίας στο υδραυλικό κύκλωμα των συλλεκτών. Η μεταφορά της θερμότητας γίνεται από έναν εναλλάκτη που μπορεί να είναι μια σπείρα εμβαπτισμένη στο αποθηκευτικό δοχείο ή μια εξωτερική πλακοειδής διάταξη. Όταν ο ήλιος δεν επαρκεί για να καλύψει τις ανάγκες σε ζεστό νερό, τίθεται σε λειτουργία η βοηθητική πηγή (συνήθως λέβητας) και θερμαίνει την ποσότητα νερού που απαιτείται στο πάνω μέρος του δοχείου. Την διαδικασία (έναρξη και παύση λειτουργίας αντλιών, λέβητα κλπ) καθορίζει ένα ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου.

Συστήματα “combi”

Τα ηλιακά συστήματα που υποβοηθούν τη θέρμανση χώρων (για τα οποία έχει επικρατήσει ο όρος “solar combi-systems” ή απλά “combi”), παρότι δεν είναι ακόμη ιδιαίτερα γνωστά στη χώρα μας, αναπτύσσονται με ταχείς ρυθμούς σε άλλες Ευρωπαϊκές χώρες όπως η Αυστρία και η Γερμανία.



Εικόνα 3.8 Ενδεικτικό σχηματικό διάγραμμα ενός συστήματος combi(πηγή: ITW)

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, τα γενικά χαρακτηριστικά του είναι τα ίδια με αυτά ενός κοινού κεντρικού ηλιακού συστήματος. Στην συγκεκριμένη διάταξη, χρησιμοποιούνται δύο δοχεία αποθήκευσης, αυτό του ζεστού νερού χρήσης είναι εμβαπτισμένο στο μεγαλύτερο δοχείο (στο οποίο κυκλοφορεί το ίδιο υγρό –νερό– με αυτό του δικτύου θέρμανσης, δηλ. των καλοριφέρ).

Το 2001 η συνολική επιφάνεια συλλεκτών που αφορούσε ηλιακά συστήματα combi σε οκτώ Ευρωπαϊκές χώρες (Γερμανία, Αυστρία, Γαλλία, Ολλανδία, Ελβετία, Σουηδία, Δανία και Νορβηγία) ήταν ίση με 340,000 m². Αν θεωρήσουμε την μέση επιφάνεια συλλεκτών ανά σύστημα ίση με 15 m², προκύπτει ότι ήδη από το 2001 υπήρχαν περίπου 22.600 εγκατεστημένα συστήματα combi στις χώρες που αναφέρθηκαν.

Ένα αξιοσημείωτο χαρακτηριστικό ορισμένων Ευρωπαϊκών συστημάτων combi είναι η χρησιμοποίηση ηλιακών στεγών, δηλαδή το συλλεκτικό πεδίο αποτελεί ταυτόχρον και την στέγη του κτηρίου. Στην εικόνα 3.9, παρατηρούμε ένα τέτοιο σύστημα στο

Gneis-Moos της Αυστρίας. Το γεγονός ότι το συγκεκριμένο σύστημα καλύπτει το 40% των συνολικών αναγκών για θέρμανση (με κοινά σώματα καλοριφέρ) και ζεστό νερό χρήσης αποτελεί μια καλή ένδειξη για τις δυνατότητες που έχουν τα συστήματα combi.



Εικόνα 3.9 Ηλιακή στέγη σε Αυστριακό σύστημα combi (πηγή: GSWB)

Η ηλιακή θέρμανση χώρων αντιπροσωπεύει μια πολύ μεγάλη πιθανή αγορά για τη χώρα μας. Τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν σε ορισμένα τέτοια συστήματα στο παρελθόν (π.χ. η υπερθέρμανση κατά το καλοκαίρι και η ενσωμάτωση των ηλιακών συλλεκτών στο κέλυφος του κτιρίου) μπορούν πια να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά με σωστό σχεδιασμό.

Η εικόνα 3.10 δείχνει την στέγη ενός σπιτιού της Αττικής στο οποίο εγκαταστάθηκε το 2005 ένα ηλιακό σύστημα combi. Το σύστημα συνδέθηκε με το υπάρχον δίκτυο θέρμανσης το οποίο αποτελείται από συμβατικά καλοριφέρ.



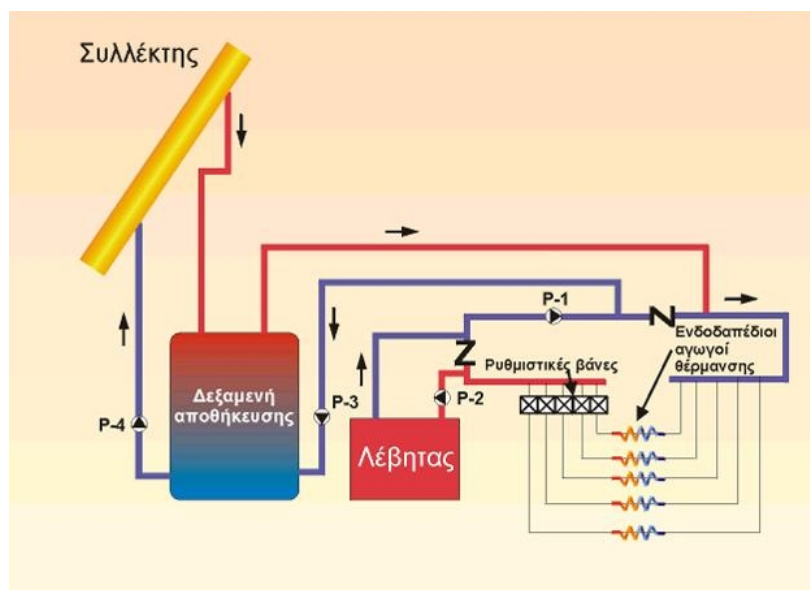
Εικόνα 3.10 Στέγη με ηλιακό σύστημα combi στην Αττική(πηγή: ΚΑΠΕ)

Οι προσομοιώσεις για τον Ελληνικό χώρο έδειξαν ότι τα συστήματα combi μπορούν να συνδυαστούν με συμβατικά συστήματα θέρμανσης, δίνοντας αξιόλογα ενεργειακά αποτελέσματα και καλύψεις του συνολικού θερμικού φορτίου που φτάνουν το 40 με 50%. Ένα σύστημα που διαστασιοποιείται για να καλύψει ένα ακόμη μεγαλύτερο ποσοστό των θερμικών αναγκών του χρήστη κινδυνεύει να γίνει αντικοινομικό, καθώς μόνο μέρος από την πρόσθετη δυναμικότητά του θα χρησιμοποιείται (κατά τη διάρκεια των ψυχρότερων ημερών) ενώ το υπόλοιπο του χρόνου θα έχουμε περίσσεια της παραγόμενης ηλιακής ενέργειας.

Το ποσό της θερμότητας που δεν παρέχεται από το ηλιακό σύστημα πρέπει να προέλθει από ένα εφεδρικό σύστημα, το οποίο είναι συνήθως ένας συμβατικός λέβητας. Το εφεδρικό σύστημα θέρμανσης θα πρέπει να είναι ικανό να παράσχει το 100% των απαιτήσεων θέρμανσης, δεδομένου ότι κατά τις περιόδους νεφελώδους καιρού, το ηλιακό σύστημα μπορεί να έχει μηδενική ή πολύ μικρή συμβολή στην κάλυψη των αναγκών θέρμανσης.

Η ιδανική μέθοδος διανομής της θερμότητας σε συνδυασμό με θερμικά ηλιακά συστήματα είναι η ενδοδαπέδια ή η επιτοίχια θέρμανση. Σ' αυτό το είδος συστήματος χρησιμοποιείται δίκτυο πλαστικών σωλήνων που ενσωματώνονται στο δάπεδο ή το τοίχο και μπορούν να λειτουργήσουν αποτελεσματικά σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες. Παρ' όλα αυτά, και τα συμβατικά θερμαντικά σώματα (τα κοινά καλοριφέρ) μπορούν να λειτουργήσουν σε συνδυασμό με ένα ηλιακό θερμικό σύστημα, ειδικά αν είναι ελαφρά υπερδιαστασιοποιημένα.

Σε μερικές περιπτώσεις, αντί να θερμαίνεται ένας μεγάλος όγκος νερού στη δεξαμενή αποθήκευσης, η θερμική αδράνεια του πατώματος ή των τοίχων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση και τη μετέπειτα απελευθέρωση της θερμότητας με αργούς ρυθμούς. Σχηματική παράσταση ενός τυπικού ηλιακού συστήματος συνδεδεμένου με ενδοδαπέδια θέρμανση δίνεται στην Εικόνα 3.11.



Εικόνα 3.11 Σχηματικό διάγραμμα ηλιακού συστήματος
συνδεδεμένου με ενδοδαπέδια θέρμανση

Επίσης, ένα ηλιακό σύστημα combi είναι δυνατό να συνδυαστεί με fan coils τα οποία απαιτούν χαμηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με τα συμβατικά σώματα θέρμανσης.

Αξίζει να σημειωθεί ότι συνδυασμός ενός συστήματος combi με ένα σύστημα ηλιακού κλιματισμού είναι ιδανικός δεδομένου ότι αίρει το πρόβλημα της περίσσειας ενέργειας κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και συνεπώς μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλα ποσοστά κάλυψης για τις ανάγκες θέρμανσης και ψύξης των κατοικιών ή άλλων κτιρίων.

Ηλιακό σύστημα κλιματισμού

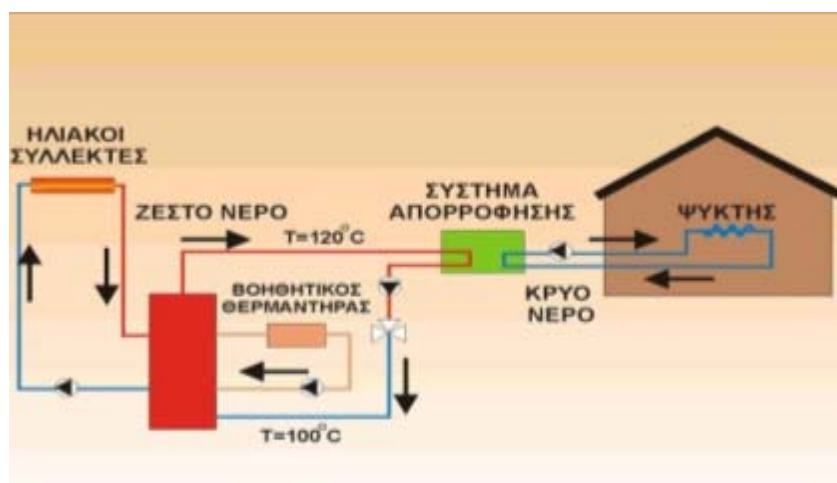
Ο ηλιακός κλιματισμός αποτελεί μια νέα και αναπτυσσόμενη τεχνολογία, σε σύγκριση με τους άλλους τομείς εφαρμογής της ηλιακής ενέργειας. Η χρήση της ηλιακής ενέργειας για τη λειτουργία συστημάτων κλιματισμού χώρων είναι όμως πολύ ελκυστική, δεδομένου ότι η περίοδος που οι απαιτήσεις σε ψύξη ενός κτιρίου είναι υψηλές (δηλαδή το καλοκαίρι) είναι και η περίοδος με την υψηλότερη διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία.

Η εφαρμογή των συστημάτων ηλιακού κλιματισμού ενδείκνυται κυρίως σε περιπτώσεις κτιρίων με υψηλές και συνεχείς (για την καλοκαιρινή περίοδο)

απαιτήσεις σε κλιματισμό (π.χ. ξενοδοχεία, νοσοκομεία, αίθουσες αθλητικών κέντρων κλπ).

Τα συστήματα ηλιακής ψύξης έχουν το πλεονέκτημα ότι χρησιμοποιούν απολύτως αβλαβή ρευστά όπως το νερό, ή διαλύματα αλάτων για την λειτουργία τους. Είναι περιβαλλοντικά φιλικά και μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε ως αυτόνομα συστήματα, είτε σε συνδυασμό με συμβατικές διατάξεις, για την ψύξη ή τον κλιματισμό του εσωτερικού όλων σχεδόν των τύπων κτιρίων, καταλήγοντας σε μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών CO₂.

Ένα απλοποιημένο σχηματικό διάγραμμα ενός συστήματος ηλιακού κλιματισμού με απορρόφηση φαίνεται στην Εικόνα 3.12.



Εικόνα 3.12 Σχηματικό διάγραμμα συστήματος ηλιακού κλιματισμού





Στα συστήματα ηλιακού κλιματισμού, η διαδικασία ψύξης τροφοδοτείται από την ηλιακή ακτινοβολία. Οι πιο κοινές τεχνολογίες κλιματισμού με χρήση της ηλιακής ενέργειας, παρουσιάζονται στον πίνακα 3.1.

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 μονάδες για να παρέχει πλήρως κλιματισμένο αέρα (ψυχρό και 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).

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

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

Πίνακας 3.1 Επισκόπηση των πιο κοινών τεχνολογιών ηλιακού κλιματισμού

Τα κύρια υποσυστήματα μιας διάταξης ηλιακού κλιματισμού είναι:

1. Οι ηλιακοί συλλέκτες
2. Ο ηλιακός ψύκτης νερού
3. Οι δεξαμενές αποθήκευσης της θερμότητας που παράγουν οι ηλιακοί συλλέκτες.
4. Το υδραυλικό κύκλωμα με κύρια τμήματα:

- a. Πύργος ψύξης
 - b. Αντλίες
 - c. Εναλλάκτες θερμότητας
 - d. Σωληνώσεις, βάνες και σύνδεση με τη βοηθητική πηγή θέρμανσης
5. Σύστημα ελέγχου και, ενδεχομένως, τηλεπαρακολούθησης

Η οικονομικότητα ενός συστήματος ηλιακού κλιματισμού ευνοείται αν επεκταθεί η χρήση του στην χειμερινή περίοδο (για θέρμανση) και στην παραγωγή ζεστού νερού χρήσης.

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΕΠΟΧΙΑΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

3.3

Εισαγωγή

Μετά την ενεργειακή κρίση του 1973 μια σοβαρή προσπάθεια άρχισε στις βιομηχανικές χώρες. Η προσπάθεια αυτή αποσκοπούσε στη μείωση της εξάρτησης από το πετρέλαιο και στην αυτάρκεια σε ενέργεια αλλά έφερε στο φως προβλήματα που συνδέονταν με τη φύση των άλλων διαθέσιμων ενεργειακών πηγών. Επειδή οι ανεώσιμες πηγές ενέργειας ήταν μεταβαλλόμενες συναρτήσει του χρόνου, όπως ακριβώς και οι ενεργειακές ανάγκες, έγινε επιτακτική ανάγκη η ανάπτυξη της ενεργειακής αποθήκης, που θα εξομάλυνε τις διακυμάνσεις στον εφοδιασμό ενός ενεργειακού συστήματος αλλά και θα περιείχε αρκετή ενέργεια για να καλύψει τις ανάγκες και τις διακυμάνσεις της κατανάλωσης.

Οι μελέτες που ακολούθησαν απέδειξαν ότι η ενεργειακή αποθήκη θα μπορούσε να βοηθήσει στη βελτίωση της απόδοσης των μεγάλων κυρίως ενεργειακών μονάδων, να μειώσει τις ενεργειακές ανάγκες και να επιτρέψει να χρησιμοποιηθούν οι ενεργειακές πηγές πιο αποδοτικά.

Παράλληλα με την κατάδειξη της αναγκαιότητας της ενεργειακής αποθήκης, ερευνήθηκαν τα κριτήρια και τα χαρακτηριστικά της ώστε να είναι οικονομικά συμφέρουσα σε βιομηχανικές, εμπορικές ή οικιακές εφαρμογές.

Τα λειτουργικά χαρακτηριστικά μιας ενεργειακής αποθήκης, τα οποία θα πρέπει να ερευνηθούν κατά τον σχεδιασμό ενός τέτοιου συστήματος κατά το National Research Council of U.S.A., είναι τα ακόλουθα:

1. Χωρητικότητα αποθήκευσης
2. Τρόπος φόρτισης και εκφόρτισης
3. Χρόνος ζωής της αποθήκης
4. Βάρος, όγκος και άλλα φυσικά χαρακτηριστικά της
5. Κρίσιμες παράμετροι ασφάλειας
6. Περιβαντολογικά δεδομένα
7. Αποδεκτό αρχικό και λειτουργικό κόστος

Επιπλέον έναν προβληματισμό αποτελεί το είδος της αποθήκης καθώς, συνδέεται άμεσα με τη φύση της ενέργειας που θέλουμε να αποθηκεύσουμε. Έτσι σήμερα αποθηκεύεται δυναμική ενέργεια, κινητική ενέργεια, χημική ενέργεια, ενέργεια υπό μορφή ενεργειακών πεδίων και θερμικής ενέργειας. Κάθε είδος αποθηκευμένης ενέργειας απαιτεί μια ειδική αποθήκη και έχει πλεονεκτήματα και περιορισμούς. Παρακάτω θα ασχοληθούμε με τη θερμική αποθήκευση, που είναι και η πλέον συνηθισμένη για ηλιακές εφαρμογές.

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που πρέπει να εξετασθούν για να αποφασίσει κανείς το υλικό μέσο αποθήκευσης της θερμικής ενέργειας. Τα επιθυμητά χαρακτηριστικά του είναι τα ακόλουθα:

1. Υψηλή ειδική θερμοχωρητικότητα
2. Μεγάλο ειδικό βάρος
3. Η δυνατότητα χρήσης του ως θερμικό και ως ψυκτικό μέσο
4. Χημική και γεωμετρική σταθερότητα
5. Να μην είναι εύφλεκτο, να μην διαβρώνει και να μην είναι τοξικό
6. Να έχει χαμηλή πίεση ατμών (στην περίπτωση αερίου)
7. Να έχει χαμηλό κόστος τόσο αυτό όσο και το δοχείο που θα το περιέχει
8. Να είναι ικανοποιητικής μηχανικής αντοχής
9. Το φάσμα θερμοκρασιών λειτουργίας του να είναι ευρύ

Επιπλέον, αρκετά σημαντική συνιστώσα του συστήματος αποτελεί η θερμική χωρητικότητα της θερμικής αποθήκης. Ειδικά για τις ηλιακές εφαρμογές η χωρητικότητα της ενεργειακής αποθήκης βασίζεται:

1. Στην αναμενόμενη και χρονικά μεταβαλλόμενη ηλιακή ακτινοβολία
2. Στο μέγεθος και τις μεταβολές των ενεργειακών αναγκών
3. Στο επιθυμητό βαθμό αξιοπιστίας της εγκατάστασης
4. Στη διαθέσιμη βοηθητική ενεργειακή πηγή
5. Στην οικονομική ανάλυση, που θα καθορίσει τι ποσοστό από τις ετήσιες ενεργειακές ανάγκες θα καλύψει το ηλιακό σύστημα και ποιες η βοηθητική πηγή.

Το νερό ως μέσο αποθήκευσης

Παραπάνω έγινε αναφορά στις επιθυμητές ιδιότητες που πρέπει να έχει το υλικό της θερμικής αποθήκης. Το νερό, έχοντας σε μέγιστο βαθμό, εκείνες τις ιδιότητες αλλά και για άλλους λειτουργικούς λόγους, φαίνεται να αποτελεί ένα ιδανικό μέσο αποθήκευσης ειδικά σε χαμηλές θερμοκρασίες. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα του είναι:

1. Η μεγάλη δυνατότητα θερμικής αποθήκευσης ανά μονάδα όγκου, εξαιτίας της μεγάλης ειδικής θερμοχωρητικότητας του.
2. Η ταυτόχρονη χρήση του ως ρευστό μεταφοράς θερμότητας αλλά και ως αποθηκευτικό μέσο.
3. Η ευρεία θερμική περιοχή λειτουργίας από 0 - 100°C, με δυνατότητα διεύρυνσης σε ακόμα πιο χαμηλές θερμοκρασίες.
4. Το ιδιαίτερα χαμηλό κόστος του και η εύκολη εξεύρεση του, ειδικά στις μεγάλες ποσότητες που απαιτούν ορισμένα είδη αποθηκών, όπως οι διεποχιακές.

Διεποχιακή αποθήκευση θερμότητας

Στην εισαγωγή του κεφαλαίου έγινε αναφορά για την αναγκαιότητα της αποθήκης όταν γενικά η καμπύλη ζήτησης της ενέργειας δεν συμπίπτει με την καμπύλη προσφοράς. Για ορισμένες ενεργειακές πηγές, όπως είναι η ηλιακή, τα διαλείμματα μη προσφοράς ενέργειας που μπορεί να υπάρξουν είναι πιθανόν να είναι ιδιαίτερα

μεγάλα, ακόμα και μια σειρά πολλών συνεχόμενων ημερών. Σ' αυτή την περίπτωση, η ενεργειακή αποθήκη πρέπει να είναι αρκετά μεγάλης θερμοχωρητικότητας, ώστε να καλύψει την κατά κανόνα καθημερινή ζήτηση ενέργειας.

Η προσφορά της ηλιακής ενέργειας κατά τους θερινούς μήνες αποτελεί το μεγαλύτερο ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε ετήσια βάση. Αξίζει να αναφερθεί πως το 68% της διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας προσφέρεται τους μη χειμερινούς μήνες.

Τα συστήματα διεποχιακής απόθηκευσης θερμότητας παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα, τα οποία είναι:

1. Η κάλυψη των θερμικών αναγκών σε μεγάλο ποσοστό
2. Απαιτούν συνήθως μικρότερη επιφάνεια συλλεκτών, για την ίδια απόδοση σε σύγκριση με ηλιακά συστήματα μικρότερων αποθηκών
3. Η μικρή έως ανύπαρκτη επένδυση σε βοηθητική ενέργεια και οι πολύ μικρότερες δαπάνες λειτουργίας του συστήματος από ένα αντίστοιχο συμβατικό σύστημα
4. Η μικρότερη εξάρτηση του χρήστη από τα συμβατικά καύσιμα

Ταυτόχρονα όμως τα δύο κύρια χαρακτηριστικά των διεποχιακών αποθηκών, δηλαδή η μεγάλη χρονική διάρκεια αποθήκευσης και ο κατά κανόνα μεγάλος όγκος τους, δημιουργούν και τα κύρια προβλήματα τους, τα οποία είναι:

A) **Θερμικές απώλειες:** Οι θερμικές απώλειες της αποθήκης είναι ανάλογες με την εξωτερική της επιφάνεια, της μόνωσης και φυσικά της διαφοράς της θερμοκρασίας του αποθηκευτικού μέσου μείον τη θερμοκρασία του υλικού που περιβάλλει τη δεξαμενή. Δεν πρέπει να παραλείψουμε το γεγονός ότι η μόνωση είναι κομμάτι και της οικονομικής ανάλυσης. Ισχυρές μονώσεις σημαίνουν και μεγαλύτερο κόστος εγκατάστασης και ίσως σε τελική ανάλυση να αποδεικνύονται μη συμφέρουσες.

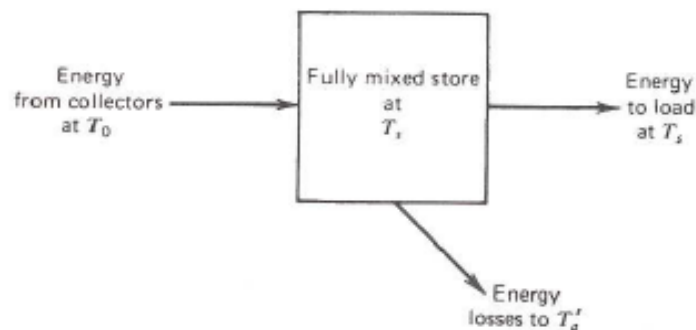
B) Το δεύτερο πρόβλημα σχετίζεται με τη θερμική διαδικασία. Το καλοκαίρι η θερμοκρασία της αποθήκης πρέπει να ανεβαίνει όσο ψηλότερα είναι δυνατό, για να έχουμε τη μεγαλύτερη δυνατή θερμική αποθήκευση. Αυτό όμως σημαίνει ότι, κυρίως κατά τη διάρκεια του χειμώνα και με τις υψηλές θερμοκρασίες του νερού της αποθήκης και χαμηλές εξωτερικές θερμοκρασίες, η αποδοτικότητα των συλλεκτών περιορίζεται σε χαμηλά επίπεδα.

Θερμικής συμπεριφοράς αποθήκης νερού

Η ενέργεια που αποθηκεύεται στη δεξαμενή είναι:

$$Q_s = (mC_p)_s \Delta T_s \quad (3.6)$$

όπου Q_s είναι η ενέργεια που αποθηκεύεται στη δεξαμενή όταν από τη λειτουργία του συστήματος προκαλείται αύξηση της θερμοκρασίας ΔT_s . Τέλος m είναι η μάζα του νερού.



Εικόνα 3.13 Δεξαμενή χωρίς διαστρωμάτωση

Το ενεργειακό ισοζύγιο στη δεξαμενή της εικόνας 3.13 είναι:

$$(mC_p)_s \frac{dT_s}{dt} = Q_u - L_s - (UA)_s(T_s - T_a') \quad (3.7)$$

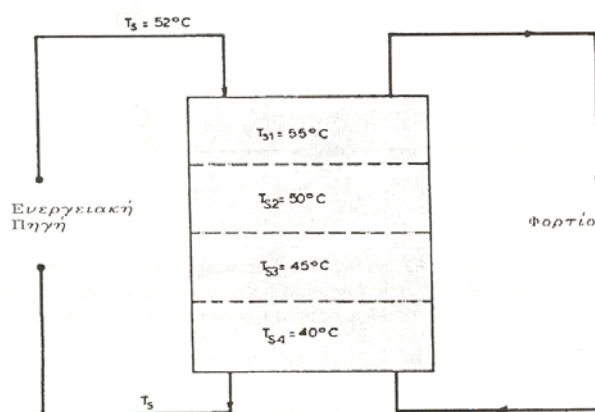
όπου Q_u είναι ο ρυθμός προσθήκης ενέργειας στη δεξαμενή από τους συλλέκτες, L_s ο ρυθμός απομάστευσης ενέργειας ώστε να καλυφθούν οι θερμικές ανάγκες και T_a' είναι η θερμοκρασία του περιβάλλοντος της δεξαμενής.

Για χρονικό διάστημα Δt , η νέα θερμοκρασία της δεξαμενής T_s δίνεται από τη σχέση:

$$T_s^+ = T_s + \frac{\Delta t}{(mC_p)_s} [Q_u - L_s - (UA)_s(T_s - T_a')] \quad (3.8)$$

Θερμικά διαστρωμένη δεξαμενή

Στη διαστρωμένη θερμική αποθήκη το θερμό νερό εισόδου δεν αναμιγνύεται με το κρύο νερό εξόδου από αυτήν. Αυτό πρακτικά συμβαίνει, όταν η εισαγωγή του θερμού νερού γίνεται από το πάνω μέρος της αποθήκης και η εξαγωγή προς την πηγή θέρμανσης από το κάτω μέρος. Επιπλέον, σημαντικός παράγοντας για τη δημιουργία και διατήρηση της διαστρωμάτωσης είναι η ταχύτητα του νερού. Πρέπει να είναι αρκετά μικρή, ώστε να μην αναμιγνύεται το θερμό νερό εισαγωγής με το κρύο νερό που εξέρχεται για την πηγή θέρμανσης. Αυτό επιτυγχάνεται βέβαια γιατί το θερμό νερό, έχοντας μικρότερο ειδικό βάρος από το κρύο, παραμένει στην κορυφή της αποθήκης ενώ το κρύο στον πυθμένα της.



Εικόνα 3.14 Δεξαμενή νερού με διαστρωμάτωση

Για να παραμείνει μια αποθήκη θερμικά διαστρωμένη πρέπει επίσης το θερμό νερό που εισάγεται σ' αυτή, να κατεβαίνει κάθε φορά στο στρώμα νερού, που έχει την ίδια μ'αυτό θερμοκρασία. Αν π.χ. $T = 52^{\circ}\text{C}$ είναι η θερμοκρασία του εισαγόμενου θερμού νερού τότε αυτό πρέπει να κατεβεί στο δεύτερο στρώμα της αποθήκης του σχήματος 3.14. Καθώς όμως κατεβαίνει το ζεστό νερό προς το στρώμα του, παρασύρει μαζί του και νερό του ανώτερου και θερμότερου στρώματος επομένως η θερμική στρωμάτωση δεν μπορεί στη πράξη να είναι τέλεια. Ετσι φορτίζεται η υδάτινη θερμικά διαστρωμένη αποθήκη. Η εκφόρτιση της ακολουθεί τον αντίθετο ακριβώς δρόμο. Δηλαδή, το θερμό νερό από την αποθήκη οδηγείται προς την κατανάλωση από το πάνω μέρος της δεξαμενής και επιστρέφει με χαμηλότερη πλέον θερμοκρασία στον πυθμένα έτσι ώστε να μη διαταραχθεί η θερμική διαστρωμάτωση της αποθήκης.

Το ηλιακό χωριό

Το Πρόγραμμα «Ηλιακό Χωριό» πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της συμφωνίας πάνω σε θέματα επιστημονικής και τεχνολογικής συνεργασίας μεταξύ των αρμοδίων Υπουργείων της Ελληνικής Δημοκρατίας και της Ομοσπονδιακής Δημοκρατίας της Γερμανίας με την συμμετοχή του Οργανισμού Εργατικής Κατοικίας (ΟΕΚ).

Το συγκεκριμένο πρόγραμμα αποτελεί συνεισφορά στην διεθνή προσπάθεια για ορθολογική χρησιμοποίηση της ενέργειας με αύξηση των εφαρμογών της Ηλιακής Τεχνολογίας.

Γι' αυτό το πρόγραμμα επίδειξης, επελέγη ένας οικισμός του ΟΕΚ στην Πεύκη Αττικής. Η χρηματοδότηση του Προγράμματος Ηλιακό Χωριό καλύφθηκε από το Ελληνικό υπουργείο βιομηχανίας, ενέργειας και τεχνολογίας και το Γερμανικό υπουργείο έρευνας και τεχνολογίας, ενώ ο ΟΕΚ συνεισέφερε στο συνολικό κόστος των κτηρίων πληρώνοντας ένα ποσό αντίστοιχο με αυτό που θα χρειαζόταν για την ανέγερση ενός τυπικού οικισμού της ίδιας ωφέλιμης επιφάνειας.

Το Πρόγραμμα Ηλιακό Χωριό δίνει την ευκαιρία για εφαρμογή και δοκιμή νέων τεχνολογιών στην Πολεοδομία και Αρχιτεκτονική συνδυάζοντας ενεργητικά και παθητικά συστήματα κάτω από πραγματικές συνθήκες.

Περιγραφή συστήματος

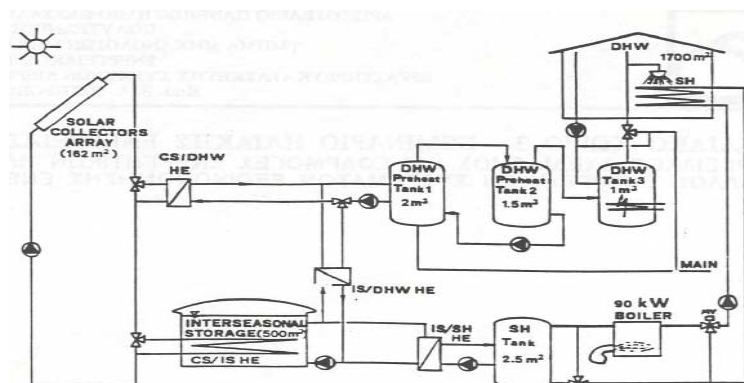
Στην περιοχή "UF", εγκαταστήθηκε ένα κεντρικό ηλιακό σύστημα με διεποχιακή αποθήκευση θερμότητας και λειτουργεί από το 1988 καλύπτοντας τις απαιτήσεις θέρμανσης νερού χρήσης και θέρμανσης χώρου ενός κτηρίου. Η λειτουργία του συστήματος αυτού παρακολουθήθηκε με συνεχείς καταγραφές δεδομένων την περίοδο 1988-1989. Τα δεδομένα αυτών των καταγραφών αναλύθηκαν με στόχο την αξιολόγηση της πραγματικής θερμικής συμπεριφοράς του συστήματος. Παρακάτω παρουσιάζονται τα βασικότερα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης και τα κύρια συμπεράσματα της αξιολόγησης.



Εικόνα 3.15 Δεξαμενή νερού στο ηλιακό χωριό 3

Το σύστημα της Περιοχής "UF" είναι το μοναδικό σύστημα αυτού του τύπου και έκτασης που είναι εγκατεστημένο, λειτουργεί και παρακολουθείται στον Ελληνικό χώρο. Τα συμπεράσματα λοιπόν της αξιολόγησης της θερμικής συμπεριφοράς του συστήματος κατά την περίοδο 1988-1989, και ιδιαίτερα αυτά της περιόδου Σεπτεμβρίου 1989 εως Αύγουστου 1991 όπου το σύστημα λειτουργούσε υπο τις κανονικές απαιτήσεις κατανάλωσης, είναι σημαντικά για τη κρίση της εφαρμοσιμότητας των συστημάτων αυτού του τύπου στην Ελλάδα και στις άλλες Νοτιοευρωπαϊκές χώρες με αντίστοιχο κλίμα.

Πρόκειται για ένα αυτόνομο κεντρικό ηλιακό σύστημα το οποίο εξυπηρετεί τις ανάγκες θέρμανσης νερού χρήσης και θέρμανσης χώρου ενός πενταόροφου κτιρίου με 24 το σύνολο διαμερίσματα με περίπου 100 κατοίκους. Ενα βασικό διάγραμμα λειτουργίας του συστήματος δίνεται στην Εικόνα 3.16. Τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος δίνονται στον Πίνακα 3.2



Εικόνα 3.16 Βασικό διάγραμμα λειτουργίας του συστήματος

Site-Climate Site : SOLAR VILLAGE LIKOVRISI - ATHENS Latitude: 37o 58' Longitude:23o 43' Average Annual Air Temp.:17,9oC Solar radiation on horizontal surf, yearly: 1610 kWh/m2 Degree Days (base temp. 18oC): 1199oC days	Interseasonal Storage Storage type:Water Store Material:Steel S137-2 Dimensions:Diameter x Length (m) 10 x 6,85 Total Tank Volume: 563 m3 Water Volume:500 m3 Operating Temperature Range: 28 - 90oC Insulation Thickness: Cyl.pert: 300 mm of Mineral Wool Grounded Base: 600 mm of Foamglass Design Heat Losses Coefficient: 51,1 WK Corrosion Protection: Moisture Hardening Polyurethane Type of Heat Exchanger (Coil. to IS HE): Submerged Coil (Natural Convection) at the bottom of the Tank. Design Heat Transfer Coeff. of the HE: 7540 WK Tank Area per Water Vol.:0,744 m2/m3
Building Characteristics Number of floors: 5 Total Number of Apartments:24 Expected Number of Inhabitants: 91 Total domestic area:1700 m2 Passive Solar System: Direct gain only Total area of South facing glazing:160 m2	Short Term Storage a. DHW Preheat Tank 1 Storage type:Water Tank Material:Steel RS137-2 Water Volume:2000 lt Insulation:Mineral Wool/200 mm Design Heat Losses Coeff.:4,1 WK b. DHW Preheat Tank 2 Storage type:Water Tank Material:Steel RS137-2 Water Volume:1500 lt Insulation:Mineral Wool/200 mm Design Heat Losses Coeff.: 3,4 WK c. DHW Tank 3 Storage type:Water Tank Material:Steel RS137-2 Water Volume:1000 lt Insulation:Mineral Wool/200 mm Design Heat Losses Coeff.:2,8 WK d. SH Tank Storage type:Water Tank Material:Steel RS137-2 Water Volume:2500 lt Insulation:Mineral Wool/200 mm Design Heat Losses Coeff.: 4,9 WK
Solar Collectors Subsystem Collector brand and type:φ PHILIPS VTR 361 (Heat Pipe) Working fluid:Water Collector Aperture Area:161,76 m2 Orientation (azimuth):South facing (0 deg) Tilt:38 deg. Piping Thickness of Insulation: 4050 mm of Mineral Wool Total Piping Length: 200,6 m Design Piping Heat Loss.Coeff. : 40,1 WK	
Auxiliary a. Auxiliary to DHW Type:Electrical Heater Maximum Heating Rate:45 kW b. Auxiliary to SH Type:Oil Fired Heating Boiler Maximum Heating Rate:85 kW	SOLAR VILLAGE 3- REGION UF
Description of the Load 1. Domestic Hot Water Load Hot Water Consumption : 4550 liters per day (50 lt/person day) Total Energy Consumption :48 MWh/year. 2. Space Heating Load Heat Distribution System in Building: Underfloor Feed Temperatures for SH: 20-40 o C Maximum Heating Load:66,6 kW Passive Solar Heat Gains:49 MWh/year Internal Heat Gains: 71 MWh/year Energy consumption:42 MWh/year	

Πίνακας 3.2 Βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος

Το κύριο μέρος της θερμότητας που απαιτείται για τη θέρμανση νερού χρήσης (ΘΝΧ) και για τη θέρμανση χώρου (ΘΧ) συλλέγεται απο το πεδίο των θερμοσωλήνων κενού συνολικής έκτασης 194 m² που είναι εγκατεστημένο στο δώμα του κτηρίου, προσανατολισμένο τέλεια στο νότο υπό κλίση 38°. Η συλλεγόμενη θερμότητα μεταφέρεται μέσω εναλλακτών θερμότητας είτε στις δεξαμενές αποθήκευσης θερμού νερού χρήσης (οι δύο δεξαμενές προθέρμανσης χωρητικότητας 2 και 1.5 m³), είτε σε μία πολύ καλά μονωμένη δεξαμενή νερού χωρητικότητας 500m³ που βρίσκεται μισοθαμμένη στο έδαφος μπροστά απο το κτήριο. Ο κύκλος φόρτισης-αποφόρτισης της δεξαμενής αυτής απο το πεδίο των ηλιακών συλλεκτών είναι ετήσιος, πράγμα που σημαίνει ότι η δεξαμενή αυτή φορτίζεται κυρίως το καλοκαίρι όπου υπάρχουν μεγάλα ποσά συλλεγόμενης ενέργειας και μικρές απαιτήσεις θερμότητας στην κατανάλωση, και

αποφορτίζεται κατά το χειμώνα όπου υπάρχει έλλειψη ηλιακής ακτινοβολίας και μεγάλες απαιτήσεις κατανάλωσης ενέργειας..

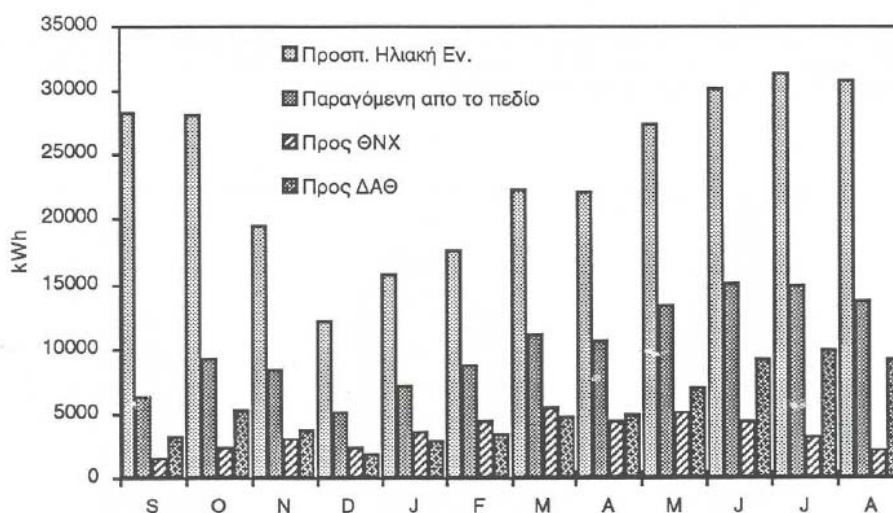
Το υποσύστημα ΘΝΧ αποτελείται από δύο τις δύο δεξαμενές προθέρμανσης νερού που θερμαίνονται μόνον από το ηλιακό μέρος του συστήματος και μία τελική δεξαμενή ζήτησης στην οποία είναι βυθισμένη ηλεκτρική αντίσταση 45 kW σε βοηθητική πηγή θερμότητας. Θερμό νερό κυκλοφορεί στο δίκτυο διανομής ΘΝΧ στους 40°C έτοιμο προς χρήση τις ώρες 6.00 έως 12.00. Το υποσύστημα ΘΧ αποτελείται από μία ενδιάμεση δεξαμενή νερού 2.5 m³ που θερμαίνεται μόνον από την ΔΑΘ μέσω εναλλάκτη θερμότητας, ένα λέβητα πετρελαίου σαν βοηθητική πηγή, τη βάννα ανάμιξης και το ενδοδαπέδιο σύστημα διανομής της θερμότητας στους χώρους του κτιρίου.

Οι βασικές αρχές του ελέγχου της λειτουργίας του συστήματος είναι:

- Ο έλεγχος του κυκλοφορητή στο υποσύστημα των ηλιακών συλλεκτών (ΗΣ) γίνεται μέσω αισθητή της ακτινοβολίας. Καταστάσεις λειτουργίας για αποφυγή παγώματος και υπερθέρμανσης έχουν προβλεφθεί. Η αντιπαγετική προστασία του κυκλώματος εξασφαλίζεται μέσω της λειτουργίας του κυκλοφορητή και ηλεκτρικού θερμαντή όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος γίνει χαμηλότερη από 5° C. Η προστασία από την υπερθέρμανση εξασφαλίζεται με την απόρριψη της συλλεγόμενης από το πεδίο θερμότητας σε εναλλάκτη νερού αέρα με ανεμιστήρα που είναι εγκατεστημένος στο δώμα του κτιρίου και τίθεται σε λειτουργία όταν η θερμοκρασία εξόδου του υγρού από το πεδίο υπερβεί τους 120° C.
- Το υποσύστημα ΘΝΧ έχει προτεραιότητα φόρτισης από το πεδίο των ΗΣ σε σχέση με τη ΔΑΘ. Μόνον εφόσον οι δύο δεξαμενές προθέρμανσης του υποσυστήματος ΘΝΧ έχουν φορτιστεί (θερμοκρασίες τουλάχιστον 45° C στην πρώτη και 40° C στη δεύτερη), καταργείται αυτή η προτεραιότητα. Αν αυτό συμβεί η φόρτιση γίνεται προς τη δεξαμενή (ΘΝΧ ή ΔΑΘ) με τη χαμηλότερη θερμοκρασία. Σε κάθε περίπτωση η φόρτιση των δεξαμενών ΘΝΧ παύει αν έχει επιτευχθεί θερμοκρασία στην πρώτη δεξαμενή μεγαλύτερη από 60° C.
- Η φόρτιση των δεξαμενών προθέρμανσης ΘΝΧ από τη ΔΑΘ ενεργοποιείται εφόσον δε μπορεί να εξασφαλιστεί η θέρμανση τους από το κύκλωμα των ΗΣ. Μεταφορά θερμότητας από την πρώτη στη δεύτερη δεξαμενή ΘΝΧ συμβαίνει

μόνον εφόσον βρίσκεται εν εξελίξει διαδικασία φόρτισης των δεξαμενών και η θερμοκρασία της πρώτης δεξαμενής είναι μεγαλύτερη απο αυτήν της δεύτερης. Η ηλεκτρική αντίσταση στη δεξαμενή ζήτησης ενεργοποιείται αν η θερμοκρασία στη δεύτερη δεξαμενή ΘΝΧ είναι χαμηλότερη απο 38°C και αποενεργοποιείται μόλις η θερμοκρασία στη δεξαμενή ζήτησης φτάσει τους 50°C . Μέσω βάννας ανάμιξης η θερμοκρασία του νερού προσαγωγής ρυθμίζεται στους $40-42^{\circ}\text{C}$.

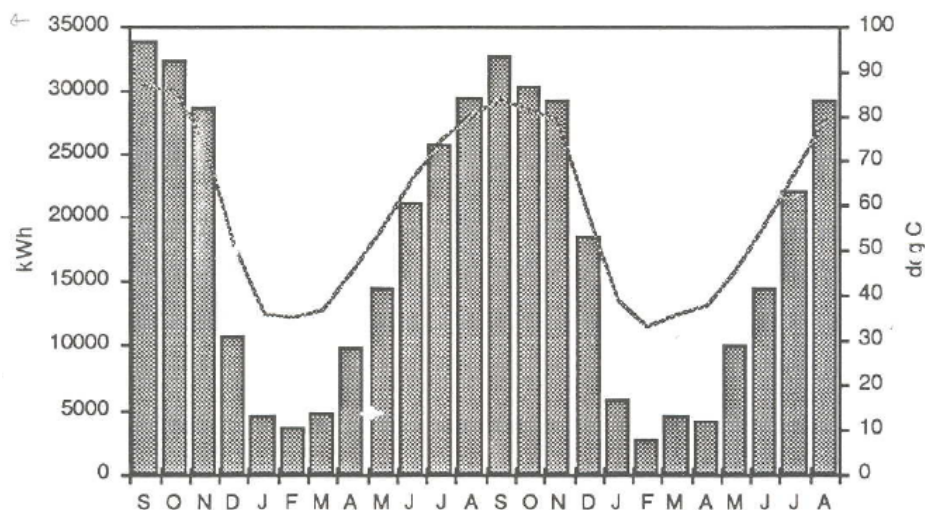
- Η δεξαμενή ΘΧ φορτίζεται απο τη ΔΑΘ συνεχώς κατά τη διάρκεια της θερμαντικής περιόδου μέχρι τους 40°C το μέγιστο. Ανάλογα με την απαιτούμενη θερμοκρασία προσαγωγής του δικτύου ΘΧ (η απαιτούμενη θερμοκρασία προσαγωγής είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας του αέρα του περιβάλλοντος) και τη θερμοκρασία της δεξαμενής ΘΧ η κυκλοφορία του νερού γίνεται μέσω της δεξαμενής ΘΧ ή μέσω του λέβητα. Η διανομή της θερμότητας για την κάλυψη των απαιτήσεων θέρμανσης χώρου παύει τις νυχτερινές ώρες (00.00 έως 06.00).
- Σε κάθε διεργασία φόρτισης-αποφόρτισης μέσω εναλλάκτη θερμότητας (εκτός απο αυτή της φόρτισης της δεξαμενής ΘΧ απο την ΔΑΘ) μία ελάχιστη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο ρευμάτων εισόδου στον εναλλάκτη απαιτείται. Αυτή η διαφορά είναι $3-5^{\circ}\text{C}$.



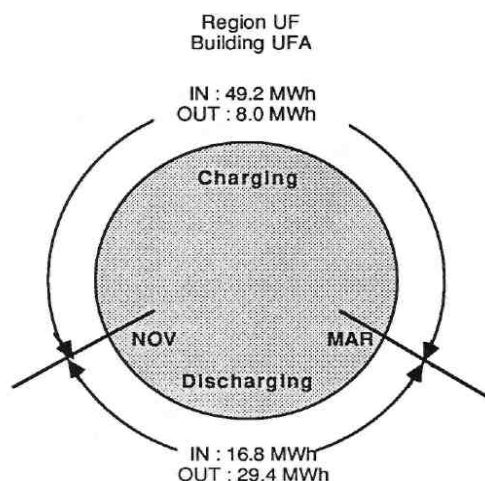
Εικόνα 3.17 Βασικές ροές ενέργειας στο υποσύστημα των ηλιακών συλλεκτών κατά την περίοδο Σεπτ89-Αυγ91

Υποσύστημα Διεποχιακής Αποθήκευσης Θερμότητας

Η διακύμανση της μέσης μηνιαίας τιμής της θερμοκρασίας της ΔΑΘ και της αποθηκευμένης ενέργειας σ' αυτήν κατά τη διάρκεια της περιόδου Σεπ.89-Αυγ.91 φαίνεται στο διάγραμμα της Εικόνας 3.18. Κατά τη διάρκεια της περιόδου αυτής των δύο ετών, συνολικά 140 MWh αποδόθηκαν από το υποσύστημα των ΗΣ προς τη ΔΑΘ, περίπου 100 MWh αποδόθηκαν από τη ΔΑΘ, 23 MWh προς το υποσύστημα ΘΝΧ και 77 προς το υποσύστημα ΘΧ. Η μέση θερμοκρασία της δεξαμενής κυμάνθηκε μεταξύ 87.5° C (Σεπτ. 1989) και 35.0° C (Φεβρ.1990) την πρώτη περίοδο και μεταξύ 84.1° C (Σεπτ.1990) και 32.8° C (Φεβρ.91) με αναμενόμενη από το σχεδιασμό διακύμανση 94.6-31.0° C. Καθώς η κατανάλωση ενέργειας κατά την χειμερινή περίοδο και οι θερμικές απώλειες ήταν αρκετά μεγαλύτερες από τις αναμενόμενες η ΔΑΘ αποφορτίστηκε και τις δύο περιόδους γρηγορότερα από το αναμενόμενο (ελάχιστη θερμοκρασία στα μέσα Ιανουαρίου) με αποτέλεσμα να μη μπορεί να συνησφέρει σοβαρά στη κάλυψη των φορτίων κατά τους μήνες Φεβρουάριο και Μάρτιο. Στην Εικόνα 3.19 δίνονται οι ενεργειακές ροές κατά τις περιόδους φόρτισης-αποφόρτισης την περίοδο Σεπτ-Αυγ.91.



Εικόνα 3.18 Μέση Θερμοκρασία και αποθηκευμένη θερμότητα (βάση 28° C) στην δεξαμενή της διεποχιακής αποθήκευσης θερμότητας κατά την περίοδο Σεπ.89-Αυγ.91.



Εικόνα 3.19 Ροές Ενέργειας στην ΔΑΘ την περίοδο Σεπτ.90-Αυγ.91

Αναφορές

- [1] Αριστοτέλης Αηδόνης, Βασιλική Δρόσου, Παρουσίαση τεχνολογιών των θερμικών ηλιακών συστημάτων
- [2] ΚΑΠΕ, Κανονισμός Ορθολογικής Χρήσης & Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΟΧΕΕ), Νομοτεχνικό Σχέδιο, 2003.
- [3] Πρόγραμμα CLIMASOL , Οδηγός ηλιακού κλιματισμού / (brochure) ΚΑΠΕ
- [4] Δημήτρης Α. Μπόζης, Σεμινάριο Ηλιακής Ενέργειας, Ηλιακό Χωριό 3
- [5] Ανδρέας Ε. Μοσχάτος, Ηλιακή Ενέργεια, Έκδοση Τεχνικού Επιμελητήριου Ελλάδος
- [6] John A.Duffie & William A. Beckman, *Solar engineering of thermal processes*, 3rd Edition, WILEY 2006
- [7] Jan-Olof Dalenback, *Solar Heating with Seasonal Storage*, Goteborg 1993
- [8] International Solar Energy Society, *Solar Energy-Special Issue Large Scale Solar Heating*, Volume 69, Number 6, 2000

ΚΕΦΑΛΑΙΟ**4****TRNSYS****ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΑΚΕΤΟΥ TRNSYS****4.1**

Το TRNSYS αποτελεί ένα ευέλικτο και επεκτάσιμο υπολογιστικό περιβάλλον για την προσομοίωση μεταβαλλόμενων συστημάτων στο χρόνο, συμπεριλαμβανομένων των πολυζωνικών κτηρίων. Χρησιμοποιείται από μηχανικούς και ερευνητές παγκοσμίως για την αξιολόγηση νέων ενεργειακών συστημάτων για διάφορες χρήσεις. Από ένα απλό σύστημα θέρμανσης νερού μέχρι τον σχεδιασμό και την προσομοίωση κτηρίων και του εξοπλισμού τους, συμπεριλαμβανομένων των στρατηγικών ελέγχου, την συμπεριφορά κατοίκων και συστήματα εναλλακτικών πηγών ενέργειας (άνεμος, ήλιος, φωτοβολταϊκά, συστήματα υδρογόνου κτλ).

Ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του TRNSYS είναι το γεγονός ότι ο πηγαίος κώδικας, ο πυρήνας του προγράμματος καθώς και ο κώδικας των διαφόρων μοντέλων που περιλαμβάνει το TRNSYS, δίνονται στον χρήστη ο οποίος μπορεί να τα τροποποιήσει κατάλληλα ώστε να εξυπηρετεί καλύτερα τις δικές του ανάγκες. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής νέων μοντέλων που μπορεί να κατασκευάσει ο ίδιος ο χρήστης ή άλλοι προγραμματιστές χρησιμοποιώντας κοινές γλώσσες προγραμματισμού (C, C++, PASCAL, FORTRAN κ.α.). Αυτό είναι δυνατόν χάρη στην αρχιτεκτονική του προγράμματος η οποία είναι βασισμένα στα αρχεία DLL. Επιπλέον, το TRNSYS μπορεί να συνδεθεί εύκολα με πολλές άλλες εφαρμογές για επεξεργασία πριν, μετά ή κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης (π.χ. Microsoft Excel, Matlab, COMIS κτλ.). Το TRNSYS συμπεριλαμβάνει τις ακόλουθες εφαρμογές:

- Ηλιακά συστήματα (θερμικά ηλιακά και φωτοβολταϊκά)

- Συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- Συμπαράγωγή. Κυψέλες καυσίμου
- Οτιδήποτε απαιτεί δυναμική προσομοίωση

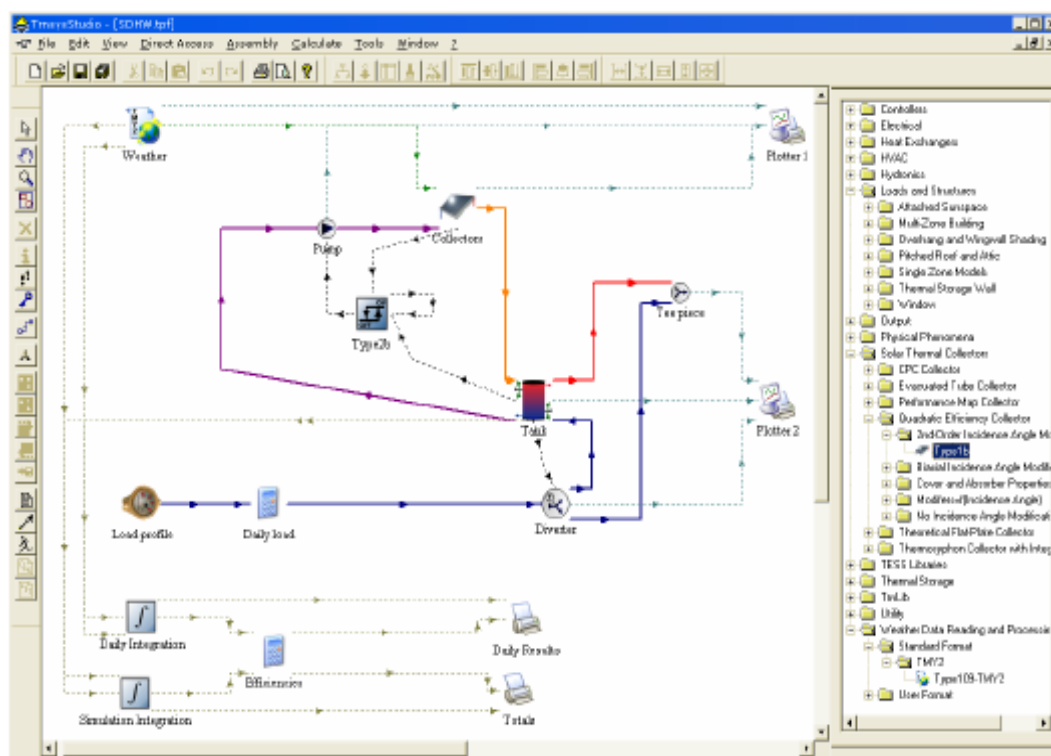
Το TRNSYS αποτελείται από το σύνολο των ακόλουθων προγραμμάτων: Το στούντιο προσομοίωσης (TRNSYS Simulation Studio) και το εκτελέσιμο αρχείο του (TRNExe.exe), το γραφικό περιβάλλον διεπαφής κτηρίου, για την εισαγωγή των δεδομένων κτηρίων (TRNBuild.exe), και τον επεξεργαστή με τον οποίο μπορούν να δημιουργηθούν αυτόνομα προγράμματα, γνωστά ως “TRNSED εφαρμογές” (TRNEdit.exe).

ΣΤΟΥΝΤΙΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

4.1.1

Το κεντρικό γραφικό περιβάλλον του TRNSYS αποτελεί το στούντιο προσομοίωσης. Σε αυτό δημιουργούνται τα προγράμματα της προσομοίωσης “ρίχνοντας” με το ποντίκι στο παράθυρο εργασίας τα επιλεγόμενα μοντέλα, συνδέοντάς τα και θέτοντας τις μεταβλητές της προσομοίωσης. Τα μοντέλα παριστάνονται με τα εικονίδια τους στο παράθυρο εργασίας.

Το στούντιο προσομοίωσης δημιουργεί το αρχείο με τα δεδομένα του προγράμματος προσομοίωσης του χρήστη (*.trf). Επίσης δημιουργεί αρχείο εισόδου, το οποίο είναι ένα αρχείο κειμένου που περιέχει όλες τις πληροφορίες της προσομοίωσης.



Εικόνα 4.1 Στούντιο προσομοίωσης του TRNSYS

Το στούντιο προσομοίωσης περιλαμβάνει επίσης έναν διαχειριστή των εξόδων του προγράμματος, με τον οποίο ο χρήστης μπορεί να καθορίσει ποιές μεταβλητές θα συμπεριληφθούν στις εξόδους, ποιές θα εκτυπωθούν και ποιές θα χρησιμοποιηθούν στα διαγράμματα. Τέλος περιλαμβάνει έναν καταγραφέα/ διαχειριστή σφαλμάτων ο οποίος επιτρέπει την λεπτομερή μελέτη των γεγονότων κατά τη διάρκεια μίας προσομοίωσης.

Τέλος, πολλές επιπρόσθετες εργασίες μπορούν να πραγματοποιηθούν μέσα από το στούντιο προσομοίωσης, όπως η δημιουργία νέων υπολογιστικών μοντέλων προς εισαγωγή στο TRNSYS χρησιμοποιώντας την επιλογή “Fortran Wizard” καθώς επίσης η ανάγνωση των εξαγόμενων αρχείων, η επεξεργασία της περιγραφής ενός μοντέλου τροποποιώντας τις παραμέτρους, τις εισόδους και τις εξόδους του μοντέλου κτλ.

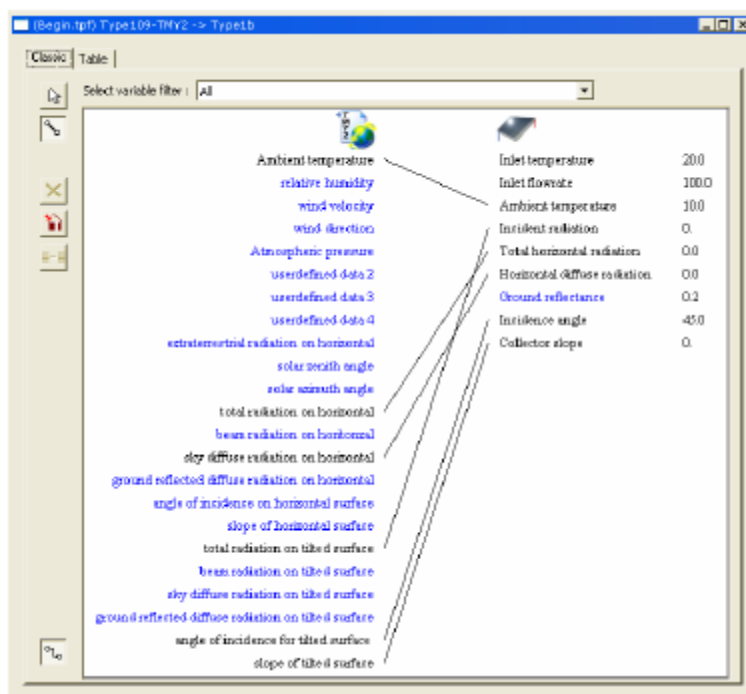
Ρύθμιση των επιλεγμένων μοντέλων της προσομοίωσης

Η ρύθμιση των μοντέλων της προσομοίωσης γίνεται κάνοντας διπλό κλικ στο εικονίδιο του μοντέλου. Έτσι ανοίγει ένα παράθυρο με τις καρτέλες του μοντέλου. Όλα τα μοντέλα έχουν τις εξής καρτέλες: παραμέτρων, εισόδων, εξόδων και

παραγώγων. Από τις καρτέλες αυτές ρυθμίζονται οι τιμές όλων των στοιχείων του μοντέλου. Οι τιμές των εισόδων παραβλέπονται αν το μοντέλο συνδεθεί με κάποιο άλλο μοντέλο.

Συνδέσεις

Η σύνδεση των μοντέλων γίνεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο της σύνδεσης στα αριστερά του παραθύρου εργασίας και επιλέγοντας τα δύο στοιχεία που επιθυμούμε να συνδέσουμε. Κάνοντας διπλό κλικ στην γραμμή σύνδεσης μεταξύ των δύο μοντέλων ανοίγει ένα παράθυρο στο οποίο μπορούν να επιλεγούν ποιές έξοδοι του ενός μοντέλου θα συνδεθούν με τις εισόδους του άλλου.

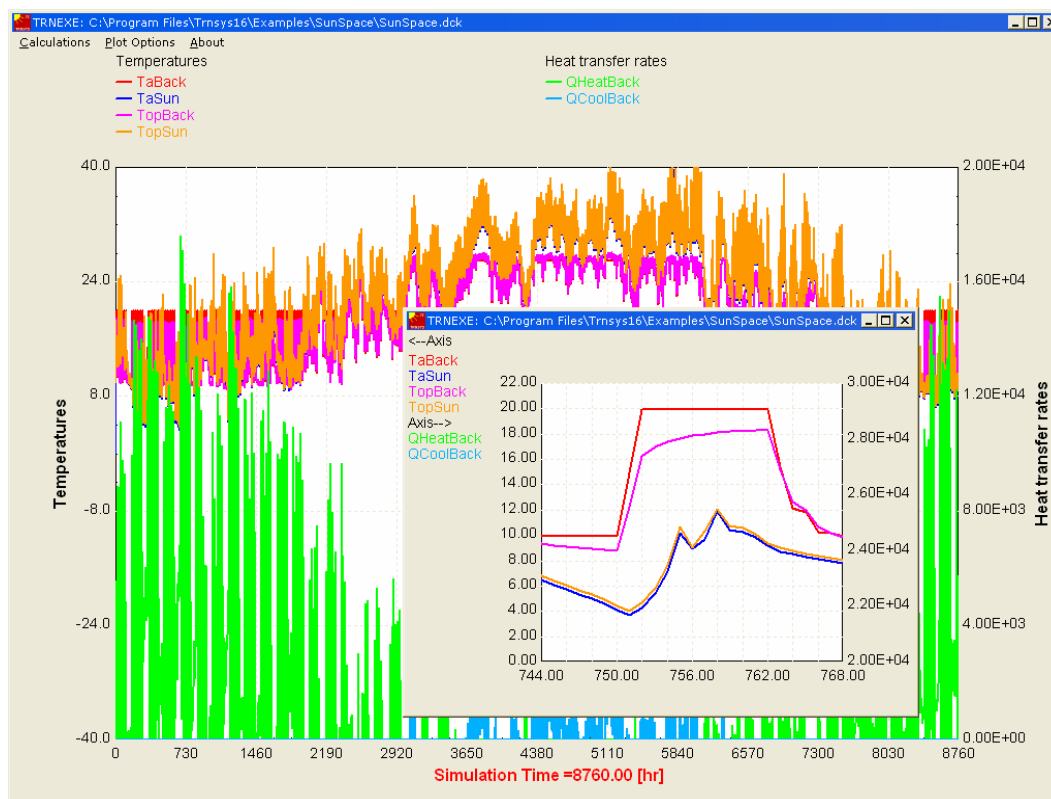


Εικόνα 4.2 Παράδειγμα παραθύρου συνδέσεων

Εκτέλεση προσομοίωσης και ανάγνωση αποτελεσμάτων.

Η προσομοίωση εκτελείται πληκτρολογώντας “F8” ή κάνοντας κλικ στην συντόμευση “Calculate/Run” στα αριστερά του παραθύρου εργασίας. Εάν στο πρόγραμμα της προσομοίωσης έχει προστεθεί τουλάχιστον ένα μοντέλο ταυτόχρονης δημιουργίας διαγραμμάτων (Online Plotter), εμφανίζεται ένα διάγραμμα κατά τη διάρκεια των υπολογισμών της προσομοίωσης. Το μοντέλο αυτό παρέχει πολλές

δυνατότητες που χρησιμεύουν στην ανάλυση των αποτελεσμάτων κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης και αφού αυτή περατωθεί. Ενδεικτικά κάποιες από αυτές τις δυνατότητες είναι η παύση, το σταμάτημα και η επανέναρξη της προσομοίωσης, η απόκρυψη και η εμφάνιση μιας μεταβλητής στο διάγραμμα, η επιλογή χρωμάτων και η προσαρμογή των αξόνων του διαγράμματος καθώς και η μεγέθυνση ενός μέρους του διαγράμματος.

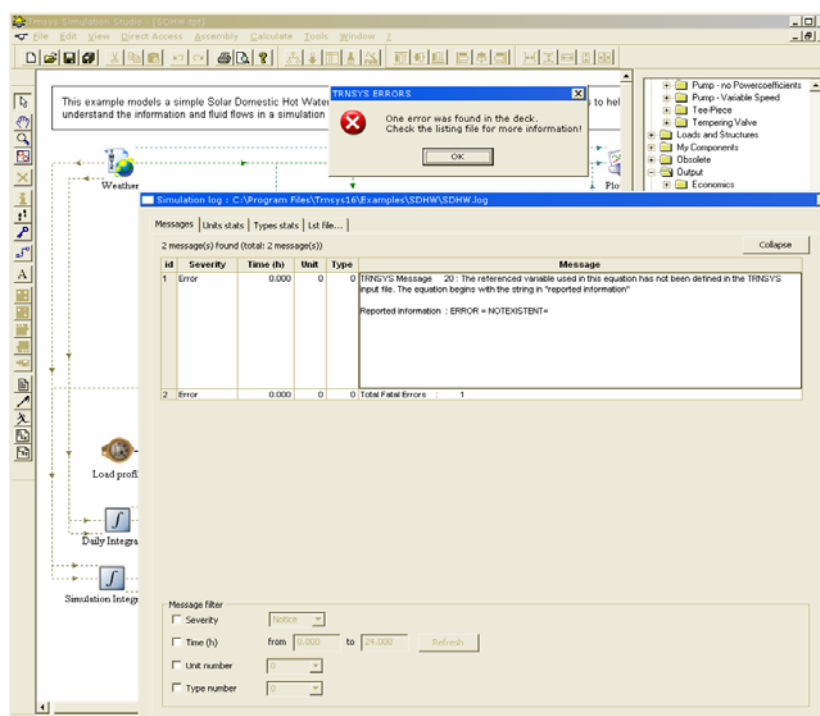


Εικόνα 4.3 Διάγραμμα κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης

Στην περίπτωση που έχει προστεθεί μοντέλο εκτυπωτή στην προσομοίωση, οι έξοδοι εκτυπώνονται σε ένα αρχείο εξόδου το οποίο μπορεί να ανοιχθεί μέσω του στούντιο προσομοίωσης κάνοντας κλικ στο "Calculate/ Open/ External Files" στο επάνω μέρος του παραθύρου εργασίας.

Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης δημιουργείται αρχείο καταγραφής γεγονότων στο οποίο καταγράφονται εκτός των άλλων και τα σφάλματα που προκύπτουν κατά την προσομοίωση. Το στούντιο προσομοίωσης παρέχει πρόσβαση στο αρχείο αυτό μέσω του διαχειριστή σφαλμάτων. Το παράθυρο του διαχειριστή σφαλμάτων εμφανίζεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο "LST" στα αριστερά του παραθύρου

εργασίας. Στο παράθυρο αυτό εμφανίζονται όλα τα σφάλματα και οι προειδοποιήσεις που προέκυψαν καθώς και σχετικά στατιστικά στοιχεία. Επίσης μπορεί να ανοιχθεί το αρχείο “Listing file”, το οποίο δημιουργείται κατά την προσομοίωση και περιέχει και αυτό όλα τα σφάλματα που προκύπτουν καθώς και μια επανάληψη του αρχείου εισόδου του TRNSYS (deck) μαζί με επιπρόσθετες εξόδους.



Εικόνα 4.4 Ο διαχειριστής σφαλμάτων

TRNBUILD

4.1.2

Γενική περιγραφή

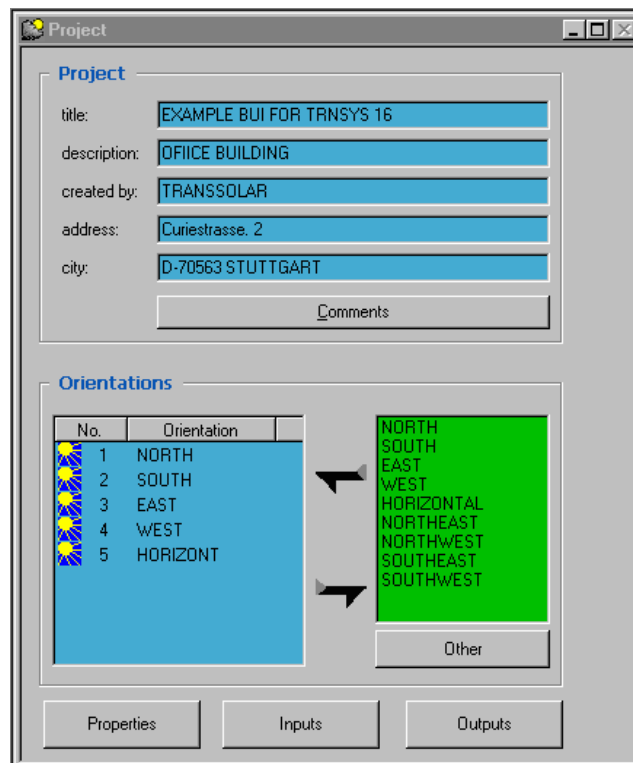
Το TRNBuild είναι το πρόγραμμα εισαγωγής των δεδομένων ενός πολυζωνικού κτηρίου. Επιτρέπει στον χρήστη τον λεπτομερή καθορισμό όλων των κατασκευαστικών στοιχείων του κτηρίου, καθώς και ότι χρειάζεται για τον καθορισμό της θερμικής του συμπεριφοράς, όπως οι οπτικές ιδιότητες των παραθύρων, το πρόγραμμα ψύξης και θέρμανσης που εφαρμόζεται στο κτήριο κτλ.

Επεξεργασία των στοιχείων του κτηρίου

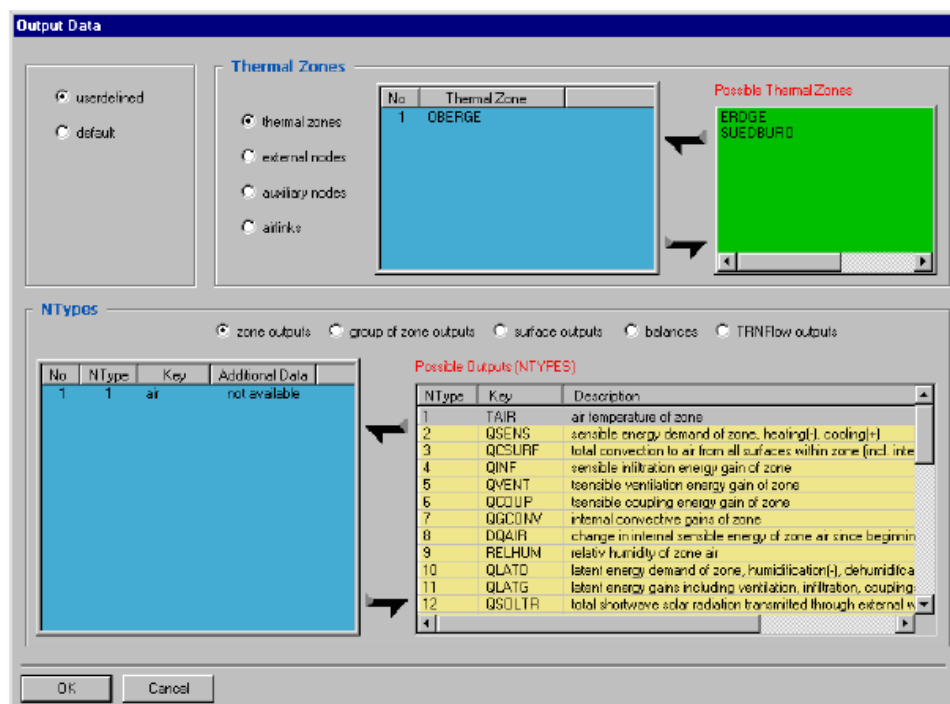
Το μοντέλο του πολυζωνικού κτηρίου εμπλέκει πολλές παραμέτρους ώστε να έχει ένα τυπικό αρχείο περιγραφής όπως τα υπόλοιπα μοντέλα του TRNSYS. Έτσι κάθε κτήριο που δημιουργεί ο χρήστης έχει το δικό του ειδικό αρχείο περιγραφής με επέκταση .bui. Ο καθορισμός των στοιχείων του κτηρίου γίνεται κάνοντας δεξί κλικ στο εικονίδιο του κτηρίου και επιλέγοντας “Edit Building”. Με τον τρόπο αυτό εκκινεί το πρόγραμμα TRNBuild και ανοίγει το αρχείο περιγραφής του κτηρίου.

Μέσω του TRNBuild καθορίζονται αρχικά οι γενικές παράμετροι του κτηρίου από την καρτέλα “Project” και οι θερμικές ζώνες. Στην καρτέλα “Project” ορίζονται:

- i. Ιδιότητες του κτηρίου. Οι ιδιότητες περιλαμβάνουν τις τιμές σταθερών όπως αυτή του Stephan Boltzmann, την πυκνότητα του αέρα καθώς και τιμές συντελεστών για τον υπολογισμό της μεταφοράς θερμότητας. Οι συντελεστές είναι της μορφής $\alpha_{\text{conv}} = \text{const}(T_{\text{surf}} - T_{\text{air}})^{\text{exp}}$ και στην καρτέλα αυτή καθορίζονται οι συντελεστές const και exp για την καλύτερη προσαρμογή στα διάφορα θεωρητικά μοντέλα.
- ii. Οι επιτρεπτοί προσανατολισμοί για τους τοίχους και τα παράθυρα. Μπορούν να επιλεγθούν συνήθεις προσανατολισμοί που ήδη υπάρχουν ή να καθορισθούν νέοι δίνοντας ένα όνομα για τον προσανατολισμό και ορίζοντας νέες εισόδους στο μοντέλο για τον καθορισμό της ακτινοβολίας στον προσανατολισμό αυτό.
- iii. Οι επιθυμητές έξοδοι του μοντέλου του κτηρίου και οι επιπλέον εισοδοί. Οι επιπλέον εισοδοί ορίζονται στην περίπτωση που επιθυμούμε τον καθορισμό της τιμής μιας μεταβλητής από άλλο μοντέλο που χρησιμοποιείται στην προσομοίωση. Οι έξοδοι που μπορεί να έχει το μοντέλο του πολυζωνικού κτηρίου είναι πολλές και συγκεκριμένες και αφορούν κάθε ζώνη ξεχωριστά, ή ένα σύνολο ζωνών, κάθε επιφάνεια ξεχωριστά ή το σύνολο των επιφανειών και τέλος ενεργειακά ισοζύγια σε επιφάνειες ή ζώνες μεμονωμένα ή στο σύνολό τους.

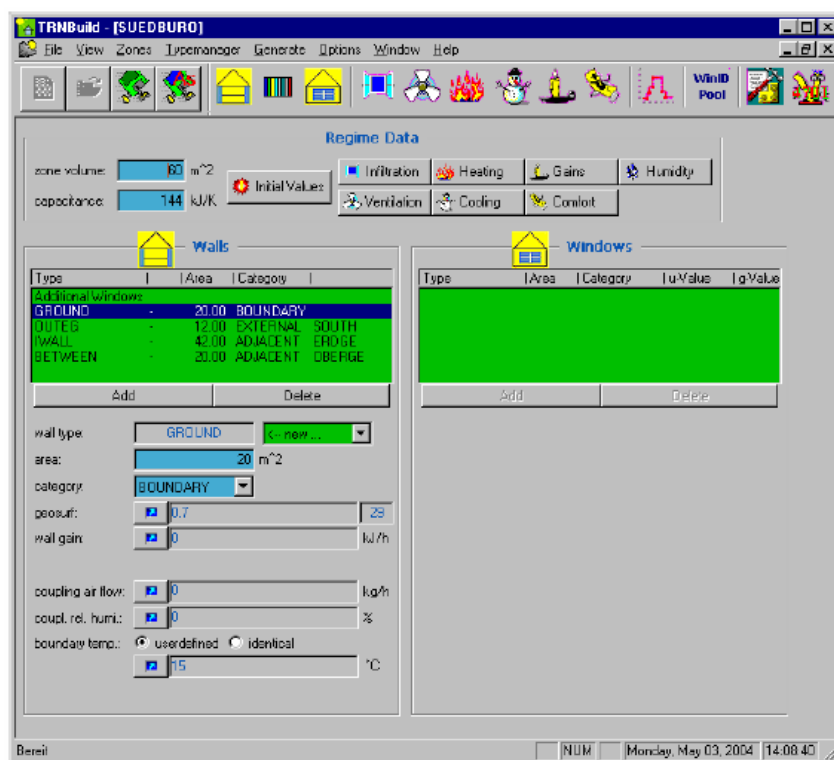


Εικόνα 4.5 Το παράθυρο “Project” στο πρόγραμμα TRNBuild



Εικόνα 4.6 Παράθυρο επιλογής εξόδων του TRNBuild

Επιλέγοντας μια θερμική ζώνη ανοίγει το παράθυρο επεξεργασίας της ζώνης.



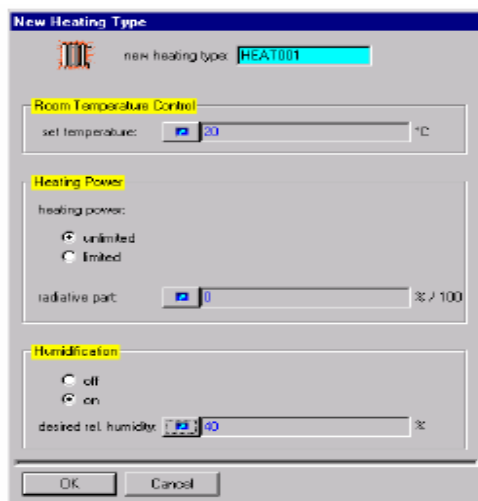
Εικόνα 4.7 Το παράθυρο επεξεργασίας της ζώνης

Από το παράθυρο αυτό καθορίζονται:

- i. Τα δεδομένα των τοίχων. Τα δεδομένα για τους τοίχους εισάγονται στο αριστερό μέρος του παραθύρου, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Συγκεκριμένα καθορίζονται οι διαστάσεις, η κατηγορία (παρακείμενος σε άλλη ζώνη, εξωτερικός ή με οριακές συνθήκες), ο προσανατολισμός των τοίχων και το είδος (υλικά) του τοίχου. Εκτός από τα παραπάνω πρέπει να οριστούν ο συντελεστής θέασης του τοίχου από τον ουρανό, ο συντελεστής κατανομής της εισερχόμενης ακτινοβολίας (geosurf) και τυχόν επιπρόσθετα φορτία του τοίχου. Το είδος του τοίχου μπορεί να επιλεγθεί από τις παρεχόμενες βιβλιοθήκες του TRNSYS ή να περιγραφεί από τον χρήστη μέσω του διαχειριστή τοίχων στο άνω μέρος του κεντρικού παραθύρου. Οι βιβλιοθήκες που παρέχει το TRNSYS περιλαμβάνουν: α) Την βασική βιβλιοθήκη, η οποία περιλαμβάνει συνηθισμένους τοίχους και οροφές, β) την γερμανική βιβλιοθήκη με τοίχους κατασκευασμένους σύμφωνα με το γερμανικό VDI 2078, γ) την

- αμερικάνικη βιβλιοθήκη η οποία περιλαμβάνει 144 τοίχους κατασκευασμένους στα πρότυπα της ASHRAE.
- ii. Τα δεδομένα των παραθύρων. Τα παράθυρα μπορούν να τοποθετηθούν ε εξωτερικούς τοίχους και σε τοίχους παρακείμενους σε άλλες ζώνες. Τα δεδομένα εισάγονται στο δεξιό μέρος του παραθύρου επεξεργασίας της ζώνης, απ' όπου καθορίζονται η θέση, οι διαστάσεις το είδος των παραθύρων και ο μηχανισμός σκίασης. Επίσης καθορίζεται ο συντελεστής θέασης του παραθύρου από τον ουρανό, τυχόν επιπρόσθετα φορτία και τέλος ο προσανατολισμός στην περίπτωση παρακείμενων σε άλλη ζώνη τοίχων ο οποίος μπορεί να είναι ο προσανατολισμός της πρόσθιας ή της οπίσθιας επιφάνειας του τοίχου. Το είδος του παραθύρου επιλέγεται από τις παρεχόμενες βιβλιοθήκες του TRNSYS η καθορίζεται εκ νέου από τον χρήστη. Οι παρεχόμενες βιβλιοθήκες είναι: α) η γερμανική, η οποία περιλαμβάνει 14 συνηθισμένα παράθυρα κατασκευασμένα με τις Γερμανικές προδιαγραφές, καθώς και παράθυρα με στοιχεία που πάρθηκαν από τις εταιρίες Pilkington, Saint Gobain, Interpane, και Luxguard β) η Αμερικάνικη, η οποία περιλαμβάνει παράθυρα με προδιαγραφές της ASHRAE. Και οι δύο βιβλιοθήκες έχουν δημιουργηθεί με χρήση του προγράμματος WINDOWS 4.1 που αναπτύχθηκε από το Lawrence Berkeley Laboratory.
- iii. Η μέθοδος θέρμανσης κάθε ζώνης. Η ενεργειακή απαίτηση μιας ζώνης σε θέρμανση εξαρτάται από την στρατηγική που θα επιλεγεί για τη θέρμανση της ζώνης η οποία καθορίζεται από τη μέθοδο που θα επιλέξει ο χρήστης. Αν ο εξοπλισμός θέρμανσης μοντελοποιείται εξωτερικά του μοντέλου 56 τότε δεν πρέπει να χρησιμοποιηθεί η λειτουργία αυτή, αλλά να ορισθούν ως είσοδοι στο μοντέλο 56 η θερμοκρασία, η υγρασία και οι εναλλαγές του αέρα που υπολογίζονται από το μοντέλο του εξοπλισμού ή εναλλακτικά να ορισθούν ως κέρδη της ζώνης η θερμότητα δια συναγωγής και ακτινοβολίας που παρέχεται από τον εξοπλισμό. Με τη μέθοδο θέρμανσης υπολογίζεται η απαιτούμενη ενέργεια στην περίπτωση ιδανικής λειτουργίας του εξοπλισμού. Η επιλογή της μεθόδου θέρμανσης γίνεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο "Heating" στο άνω μέρος του παραθύρου επεξεργασίας της ζώνης. Στο παράθυρο που εμφανίζεται είτε επιλέγεται μια ήδη υπάρχουσα μέθοδο είτε δημιουργείται νέα επιλέγοντας

“New”. Στην δεύτερη περίπτωση ο χρήστης εισάγει την επιθυμητή θερμοκρασία του δωματίου κάτω από την οποία λειτουργεί η θέρμανση στη ζώνη, την μέγιστη ισχύ που μπορεί να παραχθεί για θέρμανση μαζί με το ποσοστό αυτής που δίδεται με ακτινοβολία και τέλος αν επιθυμείται υγραποίηση του αέρα στη ζώνη. Στην περίπτωση που επιλεγεί η υγραποίηση του αέρα πρέπει να οριστεί η επιθυμητή σχετική υγρασία στη ζώνη.

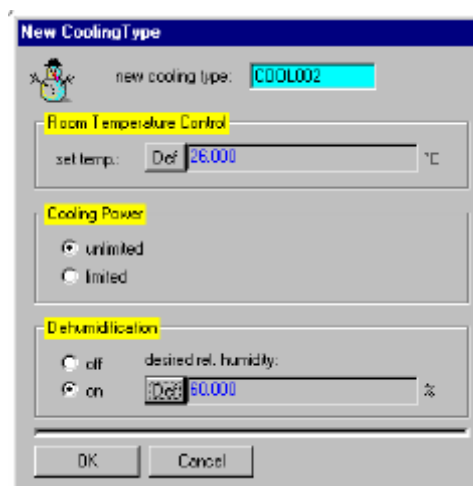


Εικόνα 4.8 Παράθυρο καθορισμού νέας μεθόδου θέρμανσης της ζώνης

Συνήθως στην πραγματικότητα η θέρμανση δεν λειτουργεί ασταμάτητα. Για να είναι η προσομοίωση πιο κοντά στην πραγματικότητα πρέπει να ορισθεί ένα πρόγραμμα λειτουργίας. Αυτό ορίζεται έμμεσα θέτοντας χρονοδιάγραμμα της επιθυμητής θερμοκρασίας της ζώνης σε κάθε χρονική στιγμή. Ο τρόπος εισαγωγής χρονοδιαγραμμάτων αναλύεται παρακάτω.

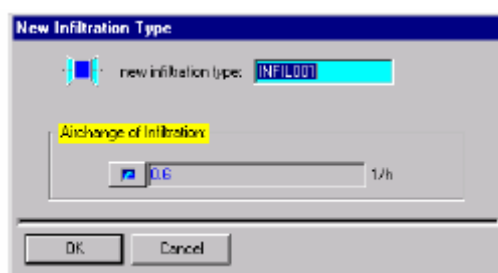
- iv. Η μέθοδος ψύξης της ζώνης. Αντίστοιχα με την μέθοδο θέρμανσης δίνεται η επιλογή εισαγωγής μεθόδου ψύξης της ζώνης. Όμοια, εισάγεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο “Cooling” στο άνω μέρος του παραθύρου επεξεργασίας της ζώνης και αφορά την ιδανική λειτουργία του εξοπλισμού. Στο παράθυρο που ανοίγει επιλέγεται μία προϋπάρχουσα μέθοδος ψύξης ή καθορίζεται νέα. Σε κάθε μέθοδο καθορίζεται η θερμοκρασία της ζώνης πάνω από την οποία λειτουργεί ο εξοπλισμός για την ψύξη του χώρου, η μέγιστη παρεχόμενη ισχύς για ψύξη και επιλέγεται αν γίνεται ή όχι αφύγρανση του αέρα καθώς και η επιθυμητή σχετική

υγρασία του χώρου στην περίπτωση που έχουμε αφύγρανση. Ο ορισμός χρονοδιαγράμματος λειτουργίας της συσκευής ψύξης καθορίζεται και πάλι έμμεσα μέσω χρονοδιαγράμματος για την επιθυμητή θερμοκρασία στη ζώνη.



Εικόνα 4.9 Παράθυρο καθορισμού νέας μεθόδου ψύξης.

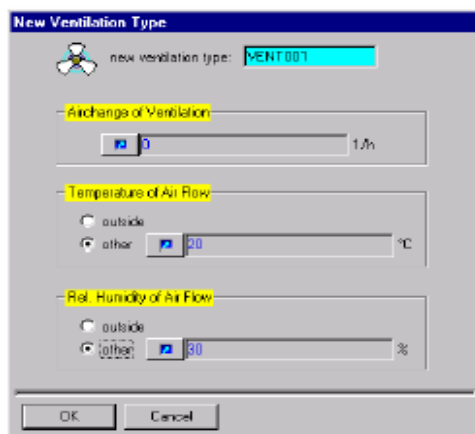
- v. Η διείσδυση του αέρα. Καθορίζεται το αν θα συνυπολογιστεί για τη συγκεκριμένη ζώνη το φορτίο από τη διείσδυση του αέρα. Επιλέγεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο “Infiltration” στο άνω μέρος του παραθύρου επεξεργασίας της ζώνης. Στο παράθυρο που ανοίγει επιλέγεται μια προϋπάρχουσα μέθοδος ή δημιουργείται νέα. Για τον καθορισμό της μεθόδου απαιτείται ο ρυθμός εναλλαγών αέρα. Ο αέρας εισέρχεται με την θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία του περιβάλλοντος.



Εικόνα 4.10 Παράθυρο διείσδυσης αέρα

- vi. Η μέθοδος αερισμός κάθε ζώνης. Με τη μέθοδο αυτή μπορεί να καθορισθεί η εισροή αέρα από οποιαδήποτε πηγή (π.χ. από ένα κλιματιστικό). Ο ορισμός μεθόδου αερισμού είναι προαιρετικός και

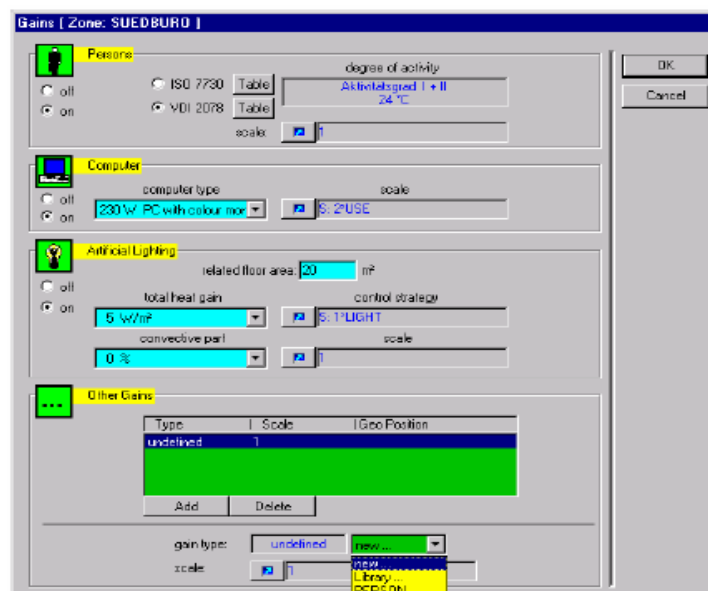
πραγματοποιείται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο “Ventilation” στο άνω μέρος του παραθύρου. Μπορεί να επιλεγεί μια προϋπάρχουσα μέθοδος ή να οριστεί μία καινούρια. Για τον ορισμό μιας μεθόδου αερισμού εισάγεται ο ρυθμός εναλλαγής αέρα, καθώς και η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία του εισερχόμενου αέρα. Μπορεί αντί της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας να οριστεί ότι ο αέρας εισέρχεται με τις συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος.



Εικόνα 4.11 Παράθυρο ορισμού μεθόδου αερισμού της ζώνης

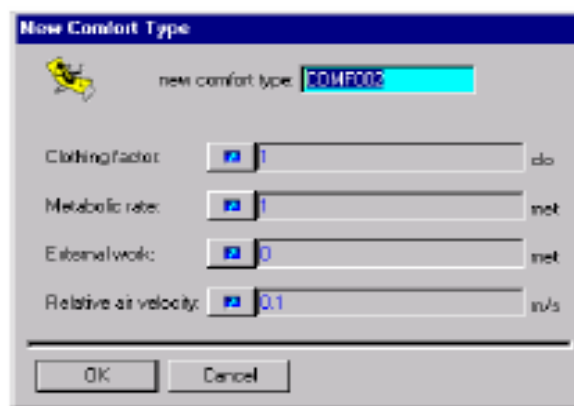
- vii. Τα εσωτερικά φορτία κάθε ζώνης. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τα φορτία ανθρώπων, υπολογιστών, φωτισμού καθώς και κάθε άλλο φορτίο που ορίζεται από το χρήστη. Ο ορισμός των φορτίων γίνεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο “Gains” στο άνω μέρος του παραθύρου. Το παράθυρο που εμφανίζεται είναι διαμορφωμένο έτσι ώστε να διευκολύνεται η εισαγωγή των φορτίων ανθρώπων υπολογιστών και φωτισμού. Για το φορτίο των ανθρώπων δίνεται πίνακας για την εργασία που εκτελούν τα άτομα στο χώρο με βάση τις προδιαγραφές ISO 7730 ή VDI 2078. Για τους υπολογιστές καθορίζεται από λίστα η ισχύς τους και το αν έχουν ή όχι έγχρωμη οθόνη. Τέλος για τον τεχνητό φωτισμό επιλέγεται από λίστα η εγκατεστημένη ισχύς σε watt/m^2 και το είδος του λαμπτήρα μαζί με το μέρος της ισχύς που μεταδίδεται στον αέρα μέσω συναγωγής. Το πεδίο “scale” αναφέρεται στον αριθμό ατόμων ή υπολογιστών ενώ στην περίπτωση του φωτισμού λαμβάνει τιμές 0 ή 1 ορίζοντας έτσι το πότε ανάβει και σβήνει ο φωτισμός. Εναλλακτικά για τον φωτισμό μπορεί να οριστεί στρατηγική έλεγχου από το αντίστοιχο

πεδίο “control strategy”. Τα υπόλοιπα εσωτερικά κέρδη της ζώνης καθορίζονται στο κάτω μέρος του παραθύρου κάνοντας κλικ στο εικονίδιο “Add”. Ο ορισμός ενός κέρδους απαιτεί την εισαγωγή της ισχύος που μεταδίδεται στη ζώνη μέσω συναγωγής, ακτινοβολίας και της απόλυτης υγρασίας που παράγεται.



Εικόνα 4.12 Παράθυρο ορισμού εσωτερικών φορτίων της ζώνης

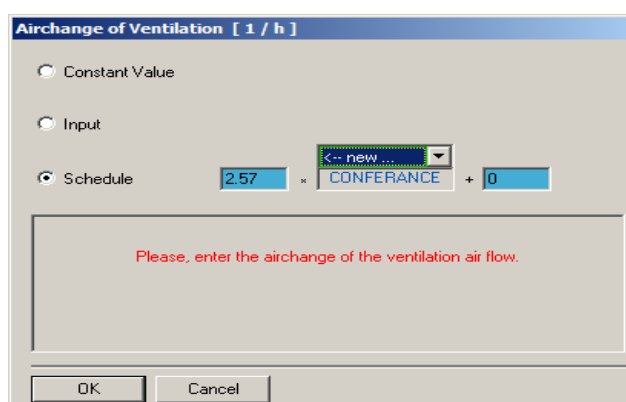
- viii. Επιλογή συνυπολογισμού της θερμικής άνεσης σε μία ζώνη. Η θερμική άνεση είναι προαιρετική και ορίζεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο “Comfort” στο άνω μέρος του παραθύρου. Στο παράθυρο που ανοίγει απαιτείται εισαγωγή του συντελεστή ένδυσης ανάλογα με την ένδυση των ατόμων στο χώρο, του μεταβολικού ρυθμού ανάλογα με την δραστηριότητα των ατόμων στο χώρο, του εξωτερικού έργου, το οποίο συνήθως είναι περίπου μηδέν, και της σχετικής ταχύτητας του αέρα με τα άτομα στο χώρο. Το μοντέλο βασίζεται στις προδιαγραφές ISO 7730 και παρακάτω δίνονται πίνακες για τις τιμές του συντελεστή ένδυσης για συνηθισμένους τύπους ένδυσης και για τον μεταβολικό ρυθμό για συνηθεις εργασίες.



Εικόνα 4.13 Παράθυρο ορισμού παραμέτρων

για τον συνυπολογισμό της θερμικής άνεσης στη ζώνη

Κατά τον ορισμό μίας από τις παραπάνω μεθόδους, ο καθορισμός της τιμής μιας μεταβλητής (εκτός αυτών που επιλέγονται από λίστες ή πίνακες που παρέχει το TRNSYS) μπορεί να γίνει είτε δίνοντας μία σταθερή τιμή στη μεταβλητή, είτε ορίζοντας να διαβάζεται η τιμή από μία είσοδο στο μοντέλο 56, είτε τέλος ορίζοντας ένα χρονοδιάγραμμα για τις τιμές που λαμβάνει η μεταβλητή σε διάφορες χρονικές περιόδους. Στην περίπτωση χρήσης χρονοδιαγράμματος η τιμή καθορίζεται υπό την ακόλουθη μορφή: $x = a \cdot \text{schedule} + b$, όπου x η τιμή της μεταβλητής, schedule το χρονοδιάγραμμα που χρησιμοποιείται και a , b συντελεστές που ορίζονται από τον χρήστη για τον καθορισμό της τιμής. Έτσι, αν θέλουμε η μεταβλητή να έχει τιμή 5 σε μία χρονική περίοδο και 2 σε κάθε άλλη περίπτωση, ορίζουμε με το χρονοδιάγραμμα στην περίοδο αυτή τιμή ίση με 1 και θέτουμε $a=3$ και $b=2$. Έτσι έχουμε στην περίοδο αυτή $x=3 \cdot 1+2=5$ και σε κάθε άλλη χρονική στιγμή $x=3 \cdot 0+2=2$. Τα χρονοδιαγράμματα μπορεί να είναι ημερήσια ή εβδομαδιαία και αναλύονται παρακάτω.

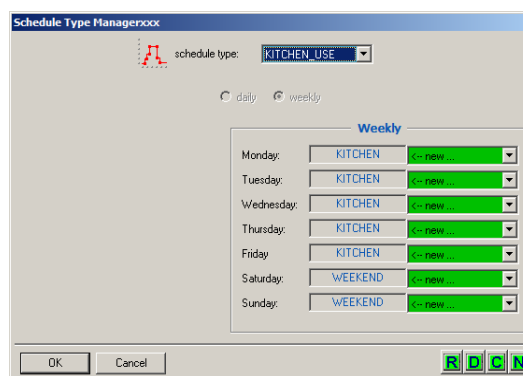


Εικόνα 4.14 Παράδειγμα ορισμού του ρυθμού εναλλαγής αέρα σε μία ζώνη με χρήση χρονοδιαγράμματος.

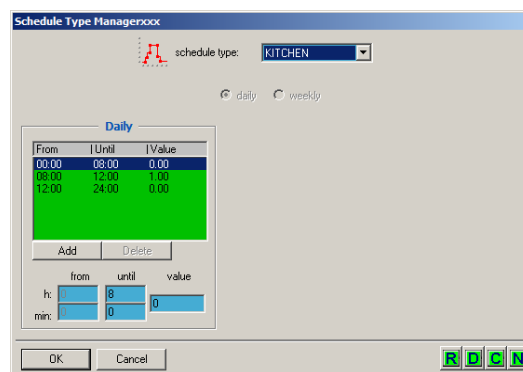
Κεντρικό παράθυρο του προγράμματος TRNBuild

Στο άνω μέρος του κεντρικού παραθύρου του προγράμματος TRNBuild υπάρχουν τα εικονίδια των διαχειριστών διαφόρων τύπων. Αυτοί είναι οι διαχειριστές α) θέρμανσης, β) ψύξης, γ) αερισμού, δ) διείσδυσης αέρα, ε) εσωτερικών φορτίων στ) θερμικής άνεσης, ζ) τοίχων, η) παραθύρων, θ) στρώσεων υλικών των τοίχων, ι) χρονοδιαγραμμάτων. Από τους διαχειριστές αυτούς οι έξι πρώτοι χρησιμεύουν στην διαχείριση και στην επεξεργασία των μεθόδων των αντίστοιχων διεργασιών που έχουν εισαχθεί σε κάθε ζώνη. Μέσω των υπόλοιπων διαχειριστών δίδονται οι ακόλουθες επιλογές:

- i. Χρονοδιάγραμμα λειτουργίας των συσκευών θέρμανσης και ψύξης και χρονοδιάγραμμα έναρξης και λήξης της ισχύος των διαφόρων φορτίων. Μπορούν να ορισθούν ημερήσια και εβδομαδιαία προγράμματα. Στα ημερήσια επιλέγονται τα χρονικά διαστήματα κατά την διάρκεια της ημέρα όπου λαμβάνεται η τιμή 1 ή 0. Στα εβδομαδιαία επιλέγονται τα ημερήσια προγράμματα που χρησιμοποιούνται κάθε μέρα στην περίοδο μιας βδομάδας. Στο κάτω μέρος του παραθύρου του διαχειριστή υπάρχουν τα εικονίδια R,D,C,N τα οποία χρησιμεύουν αντίστοιχα στην μετονομασία, διαγραφή, αντιγραφή και τη δημιουργία νέου χρονοδιαγράμματος.

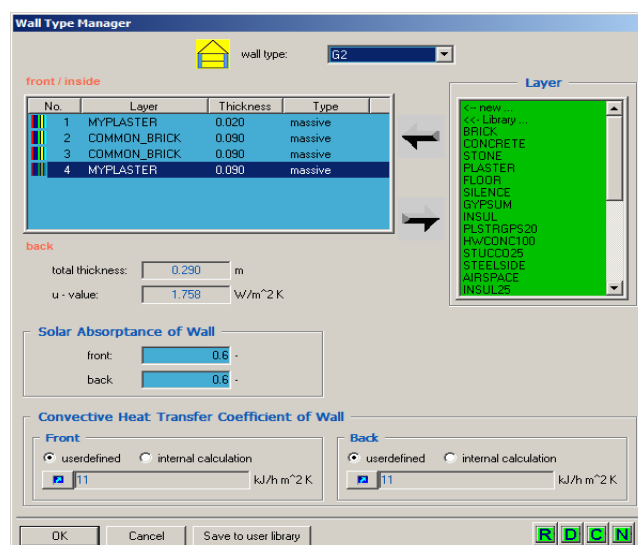


Εικόνα 4.15α Καθορισμό εβδομαδιαίου χρονοδιαγράμματος



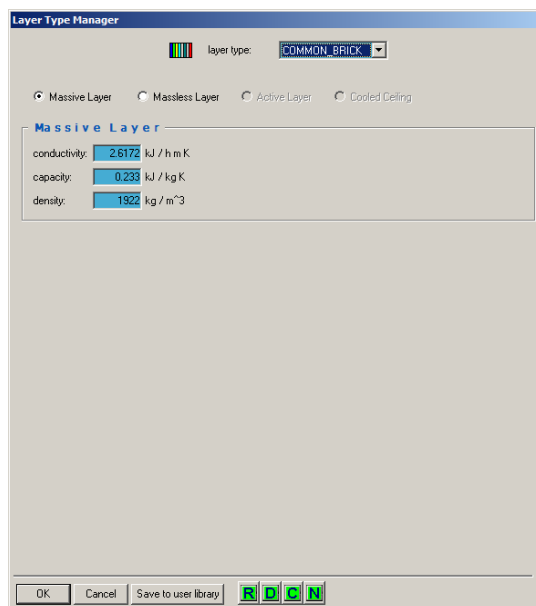
Εικόνα 4.15β Καθορισμό ημερίσιου χρονοδιαγράμματος

- ii. Δημιουργία νέων τοίχων. Επιλέγοντας τον διαχειριστή τοίχων (wall type manager) ανοίγει ένα παράθυρο στο οποίο μπορεί να γίνει επεξεργασία ενός τοίχου ή να οριστεί ένας νέος. Αυτό γίνεται επιλέγοντας τις στρώσεις των υλικών που αποτελεί τον τοίχο, με το πάχος κάθε στρώσης, ορίζοντας τους συντελεστές απορρόφησης ηλιακής ακτινοβολίας για τις δύο επιφάνειες του τοίχου και τέλος δίνοντας τον συντελεστή μεταφοράς θερμότητας για τις δύο επιφάνειες του τοίχου. Ο συντελεστής αυτός μπορεί να υπολογιστεί αν επιλεγεί από το πρόγραμμα. Στο παράθυρο φαίνεται το συνολικό πάχος του τοίχου και ο ολικός συντελεστής θερμοπερατότητας που προκύπτει από την επιλογή των στρώσεων των υλικών και τα πάχη τους. Οι στρώσεις των υλικών εισάγονται από βιβλιοθήκη ή καθορίζονται νέες από τον χρήστη. Τέλος, υπάρχουν και πάλι τα εικονίδια R,D,C,N που αντιστοιχούν στις ίδιες ενέργειες με πριν.



Εικόνα 4.16 Παράθυρο του διαχειριστή τοίχων

- iii. Επεξεργασία και εισαγωγή νέων στρώσεων υλικών για τους τοίχους. Η ενέργειες αυτές γίνονται μέσω του διαχειριστή στρώσεων υλικών (Layer Type Manager). Στο παράθυρο του διαχειριστή επιλέγεται ένα υλικό και καθορίζεται η αγωγιμότητα του υλικού ($\text{kJ/h}\cdot\text{m}\cdot\text{K}$), η θερμοχωρητικότητα ($\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$) και η πυκνότητα (kg/m^3). Η δημιουργία νέας στρώσης, η μετονομασία, η αντιγραφή και η διαγραφή γίνονται και πάλι μέσω των εικονιδίων R,D,C,N.



Εικόνα 4.17 Παράθυρο διαχειριστή υλικών των τοίχων

- iv. Επεξεργασία και δημιουργία νέων παραθύρων. Μέσω του διαχειριστή παραθύρων δίνεται επιλογή του συνδυασμού ήδη υπάρχοντων υαλοπινάκων με ήδη υπάρχοντα πλαίσια, καθώς επίσης και ορισμός επιπλέον θερμικής αντίστασης από εσωτερικά ή εξωτερικά σκίαστρα. Οι υαλοπίνακες ορίζονται με την αρίθμηση που έχουν λάβει από την βιβλιοθήκη του “windows4.1” και συνεπώς το όνομα (ID number) του υαλοπίνακα που επιθυμούμε να εισάγουμε πρέπει να υπάρχει στη βιβλιοθήκη. Επιπλέον, πρέπει να οριστεί για τον υαλοπίνακα ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας δια συναγωγής και για τις δύο επιφάνειες του υαλοπίνακα ενώ η τιμή των συντελεστών u και g διαβάζονται από την βιβλιοθήκη. Επίσης από το παράθυρο ορίζεται το πλαίσιο του υαλοπίνακα από την παρεχόμενη λίστα καθώς και το ποσοστό της επιφάνειας του παραθύρου που καταλαμβάνει, ο συντελεστής ανάκλασης και ο ολικός συντελεστής θερμοπερατότητας u .

Σημείωση: Η τιμή του συντελεστή u πρέπει να εισαχθεί χωρίς να συνυπολογίζονται οι συντελεστές μεταφοράς θερμότητας δια συναγωγής της εξωτερικής και της εσωτερικής επιφάνειας.

The screenshot shows the 'Window Type Manager' dialog box with the following settings:

- Window type: DOUBLE
- Glazing:
 - ID number: 2001
 - slope of window: 90 degree
 - For 1 glazing module: width: m, height: m
 - u - value: 1.4 W/m² K
 - g - value: 0.589 %/100
 - ID spacer: 0 (Data from w4-lib.dat)
- Convective Heat Transfer Coefficient of Window:
 - Front (inside): userdefined, 11 kJ/h m² K
 - Back (outside): userdefined, 64 kJ/h m² K
- Optional Properties of Shading Devices:
 - Additional Heat Resistance: internal device: 0 h m² K/kJ, external device: 0 h m² K/kJ
 - Reflection Coefficient of Internal Device: towards window: 0.5 %/100, towards zone: 0.5 %/100
 - Fraction of abs. Solar Radiation to Zone Air Node (CCISHADE): 0.5 %/100
- Frame:
 - area frame/window: 0.2 %/100
 - u - value (1/R): 8.17 kJ/h m² K
 - solar absorptance: 0.6

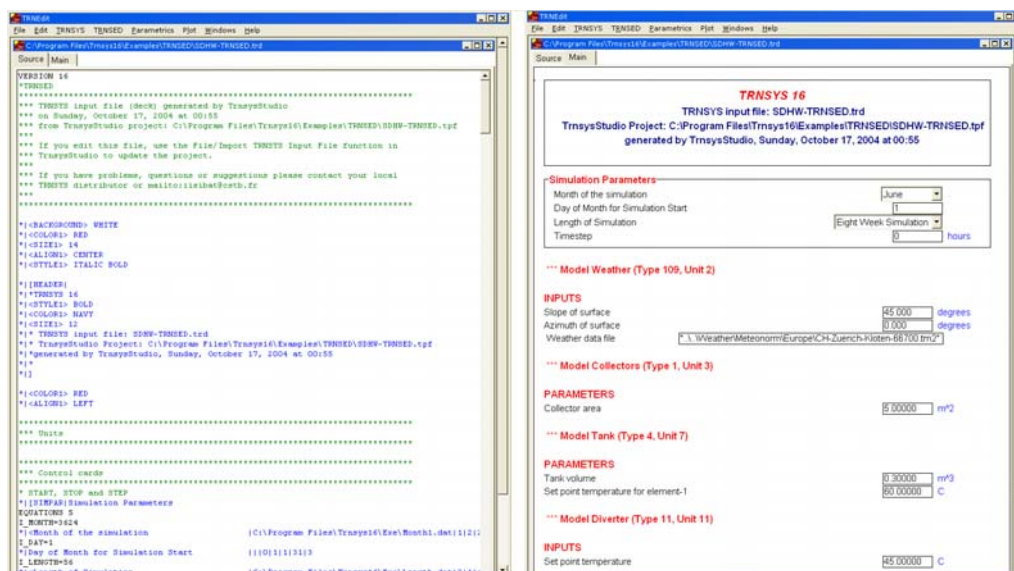
Εικόνα 4.18 Παράθυρο του διαχειριστή παραθύρων

TRNEDIT

4.1.3

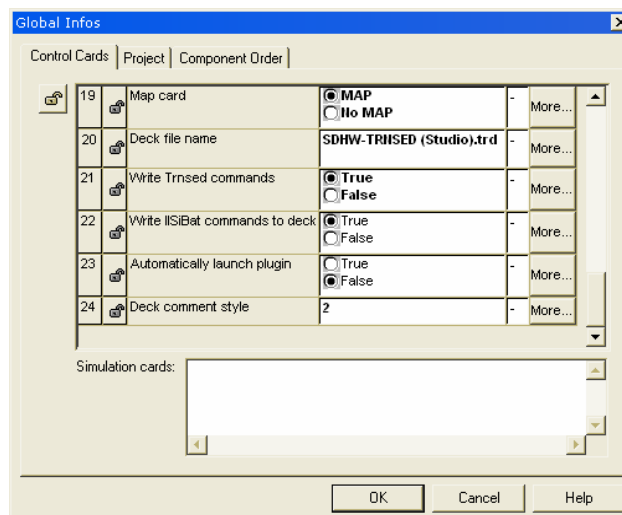
Το πρόγραμμα TRNEdit είναι ένας εξειδικευμένος επεξεργαστής (editor) ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τροποποίηση των αρχείων εισόδου του TRNSYS (decks). Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία αυτόνομων εφαρμογών οι οποίες είναι γνωστές ως TRNSED εφαρμογές. Οι εφαρμογές αυτές μπορούν να διανεμηθούν ελεύθερα μεταξύ των χρηστών που δεν έχουν άδεια χρήσης του TRNSYS με σκοπό να τους παραχθεί ένα απλοποιημένο εργαλείο προσομοίωσης. Το πρόγραμμα TRNEdit παρέχεται με ένα κατάλληλο γραφικό περιβάλλον στο οποίο ο

χρήστης μπορεί να τροποποιήσει το αρχείο εισόδου του TRNSYS εισάγοντας ειδικές εντολές ώστε να προστεθούν στο πρόγραμμα που κατασκευάζεται στοιχεία όπως πολλαπλά παράθυρα και ενεργές εικόνες. Το περιβάλλον του TRNEdit αποτελείται από δύο καρτέλες. Στην πρώτη φαίνεται ο κώδικας του αρχείου εισαγωγής, και στην άλλη το γραφικό αποτέλεσμα του κώδικα που αποτελεί την Trnsed εφαρμογή.



Εικόνα 4.19 Καρτέλα του κώδικα του TRNEdit και η μορφή της Trnsed εφαρμογής

Για να είναι δυνατή η δημιουργία TRNSED εφαρμογών θα πρέπει από την καρτέλα ελέγχου στο στούντιο προσομοίωσης να αλλαχθεί η επέκταση του αρχείου εισόδου του TRNSYS από *.dck σε *.trd και θέτοντας την τιμή “True” στην επιλογή “Write Trnsed commands”. Έπειτα, επιλέγονται οι εισοδοί και οι παράμετροι των μοντέλων που χρησιμοποιούνται στην προσομοίωση των οποίων οι τιμές θα μπορούν να επεξεργαστούν μέσω του προγράμματος TRNEdit και θα αποτελούν αργότερα παραμέτρους της Trnsed εφαρμογής. Αυτό γίνεται κάνοντας διπλό κλικ σε όλα τα μοντέλα της προσομοίωσης και επιλέγοντας “lock” σε κάθε μεταβλητή που δεν επιθυμούμε να αποτελεί παράμετρο της Trnsed εφαρμογής. Τέλος επιλέγουμε να γραφτεί το αρχείο εισόδου και το ανοίγουμε μέσω του προγράμματος TRNEdit όπου και τροποποιείται περεταίρω.



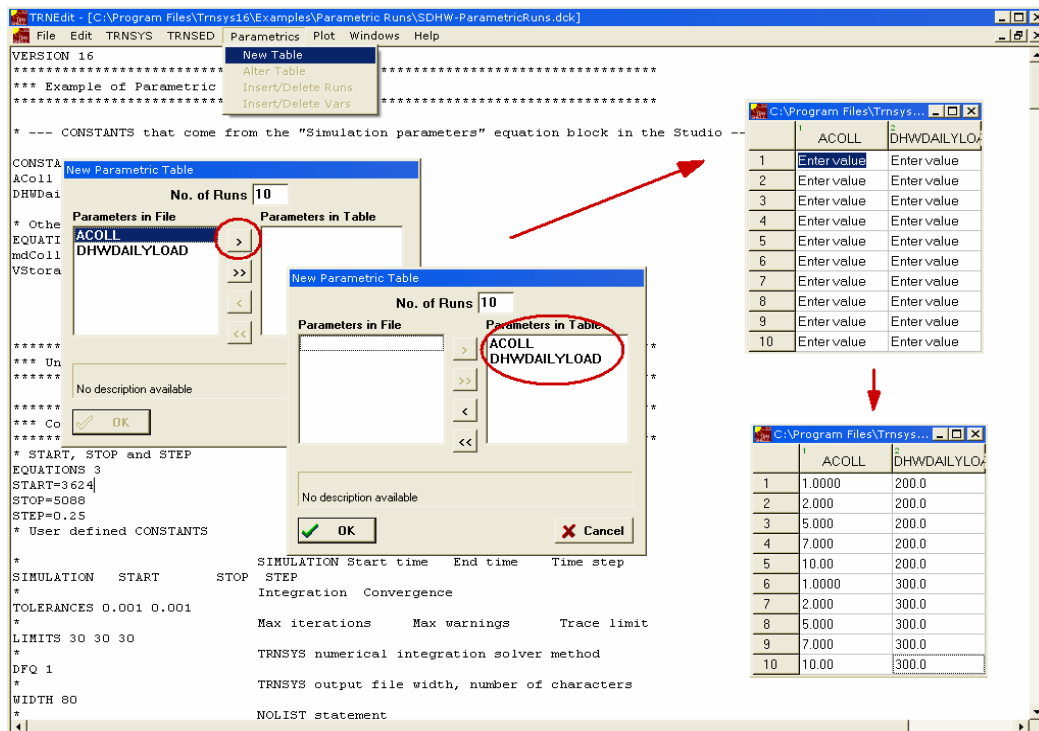
Εικόνα 4.20 Καρτέλα ελέγχου της προσομοίωσης

Με το πρόγραμμα TRNEdit παρέχονται οι ακόλουθες δυνατότητες εισάγοντας τις κατάλληλες εντολές:

- i. Ορισμός σταθερών του προγράμματος ως μεταβλητές και αντίστροφα.
- ii. Αλλαγή των τιμών σταθερών, μεταβλητών και παραμέτρων.
- iii. Ορισμός των εξωτερικών αρχείων που χρησιμοποιούν τα μοντέλα του προγράμματος (π.χ. μετεωρολογικά δεδομένα, αρχείο περιγραφής κτηρίου κτλ).
- iv. Καθορισμός γραφικών παραμέτρων όπως δημιουργία πολλαπλών παραθύρων, ενεργών εικόνων, εισαγωγή εικόνων.
- v. Ρύθμιση των Trnsed εφαρμογών έτσι ώστε να μπορούν να επιλεγθούν οι τιμές άμεσα ή από λίστα ή από καθοριζόμενο αρχείο και εισαγωγή αποκλειστικών και μη αποκλειστικών επιλογών.
- vi. Παραμετρικές εκτελέσεις της προσομοίωσης.

Οι παραμετρικές εκτελέσεις πραγματοποιούνται δημιουργώντας έναν πίνακα των σταθερών του προγράμματος που επιθυμούμε να οριστούν ως οι παράμετροι των εκτελέσεων με τις τιμές που επιθυμούμε να λάβουν οι σταθερές αυτές σε κάθε εκτέλεση. Για να δημιουργηθεί ο πίνακας αυτός, επιλέγεται από το άνω μέρος του παραθύρου “Parametric” και “new table”. Στο παράθυρο που ανοίγει ορίζουμε τον αριθμό των παραμετρικών εκτελέσεων και επιλέγονται από τη λίστα οι σταθερές βάσει των οποίων θέλουμε να γίνει η παραμετροποίηση. Τέλος συμπληρώνονται οι επιθυμητές τιμές στον πίνακα έτσι ώστε κάθε γραμμή του πίνακα να περιέχει τον επιθυμητό συνδυασμό των τιμών των παραμέτρων που θα χρησιμοποιηθούν σε κάθε

εκτέλεση. Η παραμετρική μελέτη εκκινεί επιλέγοντας “run table” από το μενού “Trnsys” στο άνω μέρος του παραθύρου του προγράμματος TRNEdit.



Εικόνα 4.21 Παραμετρική μελέτη

ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

4.2

 Psychrometric	<h2>ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ</h2>
Μοντέλο 33	

Το μοντέλο αυτό καλεί στο TRNSYS την υπορουτίνα ‘Psychometrics’. Έχει ως εισόδους: 1) θερμοκρασία ξηρού βολβού και μια ακόμα ιδιότητα αναλόγως την ορισμένη λειτουργία του μοντέλου. Η ιδιότητα αυτή μπορεί να είναι: θερμοκρασία

υγρού βολβού, σχετική υγρασία, θερμοκρασία σημείου δρόσου, λόγος υγρασίας, ενθαλπία. 2) λόγος υγρασίας και ενθαλπία. Η έξοδοι του μοντέλου είναι οι ακόλουθες ιδιότητες: λόγος υγρασίας, θερμοκρασία υγρού βολβού, ενθαλπία, πυκνότητα του μείγματος αέρα-νερού, πυκνότητα ξηρού αέρα, ποσοστό σχετικής υγρασίας, θερμοκρασία ξηρού βολβού και θερμοκρασία σημείου δρόσου.

Η πρώτη παράμετρος του μοντέλου καθορίζει ποιό ζευγάρι ιδιοτήτων θα αποτελέσουν είσοδο στο μοντέλο. Η δεύτερη παράμετρος καθορίζει το αν θα πρέπει να υπολογιστεί ή όχι η θερμοκρασία υγρού βολβού. Ο υπολογισμός της θερμοκρασίας υγρού βολβού απαιτεί επαναληπτική διαδικασία η οποία μπορεί να είναι χρονοβόρα. Αν δεν απαιτείται ο υπολογισμός της τότε η δεύτερη παράμετρος πρέπει να είναι 0. Η τρίτη παράμετρος είναι η λειτουργία σφάλματος (error mode). Αν η παράμετρος τεθεί ίση με 1, αναφέρεται μόνο μια ειδοποίηση ανά σφάλμα. Αν η παράμετρος λάβει την τιμή 2, εκτυπώνεται ειδοποίηση σε κάθε χρονικό βήμα που εμφανίζεται σφάλμα.

 T_sky	ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΟΥΡΑΝΟΥ
Μοντέλο 69	

Το μοντέλο αυτό υπολογίζει μια αντιπροσωπευτική θερμοκρασία για τον ουρανό. Με βάση αυτήν την θερμοκρασία υπολογίζεται η συναλλαγή ακτινοβολίας μεγάλου μήκους από τις εξωτερικές επιφάνειες ενός κτηρίου με το περιβάλλον.

Συμβολισμός

C_{Cover}	Βαθμός συννεφιάς του ουρανού
E_{Dif}	Διάχυτη ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου
E_{Dir}	Άμεση ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου
$E_{Glob, h}$	Ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου
G	Επιτάχυνση της βαρύτητας
H	υψόμετρο πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας

p_{atm}	ατμοσφαιρική πίεση
p_0	Ατμοσφαιρική πίεση στο ύψος h_0
ρ_0	πυκνότητα αέρα στο ύψος h_0
ϵ_0	εκπομπή καθαρού ουρανού
T_{amb}	Θερμοκρασία περιβάλλοντος
T_{sat}	Θερμοκρασία σημείου δρόσου σε συνθήκες περιβάλλοντος
T_{sky}	Θερμοκρασία ουρανού

Μαθηματικό μοντέλο

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

Στην περίπτωση που τα εισαγόμενα δεδομένα από τον χρήστη δεν περιλαμβάνουν τον βαθμό συννεφιάς του ουρανού, μπορεί να υπολογιστεί από την ακόλουθη σχέση:

$$C_{Cover} = \left(1.4286 \frac{E_{Dif}}{E_{Glob,H}} - 0.3 \right)^{0.5} \quad (4.1)$$

Για τον βαθμό συννεφιάς κατά την περίοδο της νύκτας χρησιμοποιείται ένας μέσος βαθμός με βάση τις τιμές που έχει τις απογευματινές ώρες.

Η ατμοσφαιρική πίεση καθορίζεται με βάση το βαρομετρικό υψόμετρο της ζητούμενης τοποθεσίας:

$$p_{atm} = p_0 e^{-\frac{g \rho_0 h}{p_0}} \quad (4.2)$$

Η εκπομπή του καθαρού ουρανού μπορεί να βρεθεί από την T_{sat} στις συνθήκες περιβάλλοντος

$$\varepsilon_0 = 0.711 + 0.005 T_{sat} + 7.3 \times 10^{-5} T_{sat}^2 + 0.013 \cos \left[2\pi \frac{time}{24} \right] + 12 \times 10^{-5} (p_{amb} - p_0) \quad (4.3)$$

όπου η μεταβλητή time αναφέρεται στην ώρα της ημέρας.

Η αντιπροσωπευτική θερμοκρασία ουρανού μπορεί τότε να υπολογιστεί από την παρακάτω σχέση:

$$T_{sky} = T_{amb} (\varepsilon_0 + 0.8 (1 - \varepsilon_0) C_{Cover})^{0.25} \quad [K] \quad (4.4)$$

 Controller	ΔΙΑΦΟΡΙΚΟΣ ΕΛΕΓΚΤΗΣ
Μοντέλο 2	

Ο ελεγκτής παράγει μια συνάρτηση ελέγχου γ_0 η οποία μπορεί να έχει τιμές 0 ή 1. Η τιμή της γ_0 καθορίζεται αναλόγως με τη διαφορά των άνω και κάτω θερμοκρασιών, T_H και T_L , συγκρινόμενη με δύο όρια, ΔT_H και ΔT_L . Η νέα τιμή της γ_0 εξαρτάται από το αν $\gamma_i=0$ ή 1. Ο ελεγκτής συνήθως χρησιμοποιείται έχοντας συνδεδεμένες τις τιμές γ_0 και γ_i δίνοντας έτσι υστέρηση. Για λόγους ασφαλείας καθορίζεται ένα άνω όριο λειτουργίας στον ελεγκτή, το οποίο αν ξεπεραστεί η τιμή της συνάρτησης ελέγχου είναι μηδέν ανεξαρτήτως των ορίων ΔT_H και ΔT_L . Ο ελεγκτής αυτός είναι γενικού τύπου και μπορεί να αναφέρεται σε οποιοδήποτε μέγεθος εκτός των θερμοκρασιών.

Συμβολισμός

ΔT_H [C]	άνω όριο θερμοκρασιακής διαφοράς
ΔT_L [C]	κάτω όριο θερμοκρασιακής διαφοράς
T_H [C]	άνω θερμοκρασία εισόδου
T_{IN} [C]	θερμοκρασία για τον έλεγχο του άνω ορίου
T_L [C]	κάτω θερμοκρασία εισόδου
T_{MAX} [C]	μέγιστη θερμοκρασία εισόδου
γ_i [0..1]	εισερχόμενη συνάρτηση ελέγχου

$\gamma_0 [0..1]$ εξερχόμενη συνάρτηση ελέγχου

Μαθηματική περιγραφή

Μαθηματικά το μοντέλο εκφράζεται ως εξής:

Στην περίπτωση που ο ελεγκτής ήταν προηγουμένως σε λειτουργία, τότε:

Αν $\gamma_i=1$ και $\Delta T_L \leq (T_H - T_L)$, $\gamma_0=1$

Αν $\gamma_i=1$ και $\Delta T_L > (T_H - T_L)$, $\gamma_0=0$

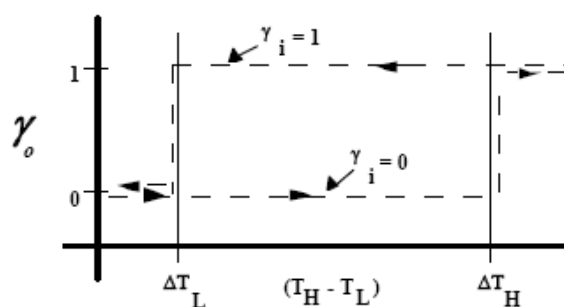
Στην περίπτωση που ο ελεγκτής ήταν προηγουμένως εκτός λειτουργίας, τότε:

Αν $\gamma_i=0$ και $\Delta T_H \leq (T_H - T_L)$, $\gamma_0=1$

Αν $\gamma_i=0$ και $\Delta T_H > (T_H - T_L)$, $\gamma_0=0$

Τέλος, η συνάρτηση ελέγχου έχει τιμή μηδέν ανεξαρτήτως των ορίων θερμοκρασιακής διαφοράς αν $T_{IN} > T_{MAX}$. Η περίπτωση αυτή είναι πολύ συνηθισμένη στην θέρμανση νερού όπου θέλουμε το θερμό νερό να μην λειτουργεί η αντλία όταν η θερμοκρασία της δεξαμενής είναι υψηλότερη κάποιας δοσμένης τιμής.

Η συνάρτηση ελέγχου φαίνεται γραφικά στο σχήμα 4.22:




Εικόνα 4.22 Συνάρτηση ελέγχου

Αλληλεπίδραση του μοντέλου 2 με την μέθοδο επίλυσης του TRNSYS

Με την προεπιλεγμένη μέθοδο επίλυσης του TRNSYS (solver 0, διαδοχικές αντικαταστάσεις), όταν $(T_H - T_L)$ πλησιάζει το άνω ή το κάτω όριο, η συνάρτηση γ_0 μπορεί να αρχίσει να ταλαντώνεται μεταξύ της τιμής 1 και 0 για διαδοχικές επαναλήψεις σε ένα δοσμένο χρονικό βήμα. Αυτό συμβαίνει γιατί οι T_H και T_L

αλλάζουν ελαφρώς σε κάθε επανάληψη, πληρώνοντας ή όχι έτσι τις προϋποθέσεις για να αλλάξει η τιμή της γ_0 . Η τιμή της παραμέτρου 1 (NSTK) είναι ο αριθμός των επιτρεπόμενων ταλαντώσεων μέσα σε ένα χρονικό βήμα πριν η τιμή εξόδου σταματήσει να μεταβάλλεται.

Μετά την έκδοση 14.1 του TRNSYS, προστέθηκε ένας νέος ελεγκτής ο οποίος να μπορεί να χρησιμοποιηθεί με την μέθοδο επίλυσης του Powell. Η μέθοδος ελέγχου του Powell είναι πιο σταθερή σε ορισμένες περιπτώσεις, επιλύοντας το σύστημα των εξισώσεων απαγορεύοντας την μεταβολή της ελεγχόμενης μεταβλητής κατά την διαδικασία των επαναλήψεων. Κατά την σύγκλιση, η κατάσταση του ελεγκτή συγκρίνεται με την επιθυμητή και οι υπολογισμοί επαναλαμβάνονται αν είναι απαραίτητο.

 System_Printer	ΕΚΤΥΠΩΤΗΣ
Μοντέλο 25	

Το μοντέλο 25 χρησιμοποιείται για να εξάγει σε αρχεία ή να εκτυπώνει τις επιλεγμένες μεταβλητές του συστήματος σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές. Ο μέγιστος αριθμός μεταβλητών έχει ορισθεί στις 500 και δεν υπάρχει όριο στον αριθμό των μοντέλων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά τη διάρκεια μιας προσομοίωσης.

Συμβολισμοί

L_{unit}	Ο αριθμός της λογικής μονάδας στον οποίο θα εκτελεστεί έξοδος στον εκτυπωτή
Δt	Το χρονικό βήμα της προσομοίωσης
Δt_p	Η χρονική στιγμή κατά την οποία θα εκτυπωθούν οι μεταβλητές
t_{on}	Η χρονική στιγμή κατά την οποία ο εκτυπωτής θα αρχίσει να εκτυπώνει
t_{off}	Η χρονική στιγμή κατά την οποία ο εκτυπωτής θα σταματήσει να εκτυπώνει
TIME	η τωρινή χρονική στιγμή στην προσομοίωση
X_i	Η τιμή της εισερχόμενης μεταβλητής i που θα εκτυπωθεί

Μαθηματικό μοντέλο

Για το μοντέλο του εκτυπωτή ισχύουν:

- Αν $\Delta t_p = 0$ ή αν δεν έχει ορισθεί, εκτύπωση πραγματοποιείται μόνο στο τέλος της προσομοίωσης.
- Αν $0 < \Delta t_p \leq \Delta t$, πραγματοποιείται εκτύπωση σε κάθε πολλαπλάσιο του Δt
- Αν $\Delta t_p > \Delta t$, εκτύπωση πραγματοποιείται ανά N χρονικά βήματα, όπου N πρέπει να είναι θετικός ακέραιος και $N = \Delta t_p / \Delta t$
- Αν $t_{on} \leq 0$, η εκτύπωση εκκινεί στην αρχή της προσομοίωσης. Αλλιώς η εκτύπωση εκκινεί όταν $TIME \geq t_{on}$
- Αν $t_{off} \geq t_{end}$, η εκτύπωση σταματά στο τέλος της προσομοίωσης. Αλλιώς η εκτύπωση σταματά όταν $TIME > t_{off}$
- Αν $L_{unit} \leq 0$ ή αν δεν έχει ορισθεί χρησιμοποιείται η προκαθορισμένη λογική μονάδα. Αν $L_{unit} > 0$, ο αριθμός αυτός χρησιμοποιείται ως η λογική μονάδα για την έξοδο του εκτυπωτή. Αυτό επιτρέπει στην έξοδο του εκτυπωτή να γραφτεί σε ξεχωριστό αρχείο.
- Αν $UNITS=1$, εκτυπώνονται μεταβλητές που καθορίζει ο χρήστης. Αν $UNITS=2$, εκτυπώνονται μεταβλητές που επιλέγει το TRNSYS.

 online plotter	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΑΜΕΣΩΝ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ
Μοντέλο 65	


Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιείται για να παρουσιάσει στην οθόνη επιλεγμένες μεταβλητές σε καθορισμένες χρονικές στιγμές ταυτόχρονα με την εκτέλεση της προσομοίωσης. Το μοντέλο αυτό είναι πολύ χρήσιμο καθώς επιτρέπει στον χρήστη τον άμεσο έλεγχο των υπό μελέτη μεταβλητών κατά την εξέλιξη της προσομοίωσης. Επίσης τα διαγράμματα των διαφόρων μεταβλητών εμφανίζονται σε διαφορετικά παράθυρα στην οθόνη.

Με το μοντέλο αυτό υπάρχει επίσης η δυνατότητα δημιουργίας αρχείου με όλες τις τιμές των μεταβλητών που εκτυπώνονται. Αυτό είναι δυνατόν ορίζοντας την

παράμετρο 10 του μοντέλου ίση με έναν θετικό αριθμό . Επίσης, ο εκτυπωτής μπορεί να τεθεί εκτός λειτουργίας χωρίς να διαγραφεί το μοντέλο από το πρόγραμμα της προσομοίωσης θέτοντας την παράμετρο 9 ίση με -1. Αν όλοι οι online plotters έχουν τεθεί εκτός λειτουργίας στην οθόνη εμφανίζεται η προκαθορισμένη μπάρα προόδου της προσομοίωσης αντί των διαγραμμάτων. Αν έχει επιλεγεί να παράγεται αρχείο εξόδου, αυτό δημιουργείται ακόμα και αν ο εκτυπωτής έχει τεθεί εκτός λειτουργίας.

Παρατηρήσεις

- Σε μία προσομοίωση μπορούν να υπάρχουν έως 5 online plotters
- Κάθε εκτυπωτής μπορεί να έχει από 1 έως 20 εισόδους. (10 στον αριστερό άξονα και 10 στον δεξιό)
- Στην καρτέλα εισόδων πρέπει να ορισθούν οι ονομασίες των μεταβλητών. Οι ονομασίες μπορούν να έχουν 25 το πολύ χαρακτήρες και διαχωρίζονται η μία από την άλλη με κόμμα ή κενό.
- Απαιτείται κάρτα ταμπελών για να ορισθούν οι μονάδες των μεταβλητών και οι επικεφαλίδες των διαγραμμάτων. Συγκεκριμένα πρέπει να ορισθούν 3 ταμπέλες. Η πρώτη αναφέρεται στον τίτλο του αριστερού άξονα y, η δεύτερη στον τίτλο του άξονα x και η Τρίτη στον τίτλο του διαγράμματος
- Ο αριθμός εισόδων είναι ίσος με το άθροισμα των δύο πρώτων παραμέτρων.

 Weather Data	ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΝΑΓΝΩΣΗΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ &
Μοντέλο 109	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Το μοντέλο αυτό εξυπηρετεί το γενικό σκοπό ανάγνωσης μετεωρολογικών δεδομένων ανά τακτά χρονικά διαστήματα από ένα αρχείο δεδομένων, τα μετατρέπει στο επιθυμητό σύστημα μονάδων και υπολογίζει την άμεση και διάχυτη ακτινοβολία για έναν αυθαίρετο αριθμό επιφανειών με αυθαίρετο προσανατολισμό και κλίση. Το

μοντέλο 109 διαβάζει ορισμένα αρχεία με γνωστή μορφοποίηση καθώς επίσης και αρχεία με μορφοποίηση που καθορίζεται από τον χρήστη με την σύνταξη που αναφέρεται παρακάτω.

Λειτουργίες

Υπάρχουν 4 διαφορετικές λειτουργίες για την διαχείριση μορφοποιημένων αρχείων:

- Η λειτουργία 1 στην οποία ο καθορισμός μορφοποίησης γίνεται από τον χρήστη και αναφέρεται σε αυθαίρετα μετεωρολογικά δεδομένα.
- Η λειτουργία 2 η οποία διαβάζει αρχεία με μορφοποίηση TMY2
- Η λειτουργία 3 η οποία διαβάζει αρχεία με τη γερμανική μορφοποίηση TRY.
- Η λειτουργία 4 η οποία διαβάζει αρχεία VDI 91x και 92x σύμφωνα με τον γερμανικό κώδικα VDI 2078

Επίσης, το μοντέλο αυτό μπορεί να διαβάσει γενικά αρχεία δεδομένων, τα οποία δεν έχουν απαραίτητα μετεωρολογικά δεδομένα, μετατρέποντάς τα στο επιθυμητό σύστημα μονάδων.

Το μοντέλο 109 υποστηρίζει αρχεία ελεύθερης μορφοποίησης καθορισμένης από τον χρήστη. Κάθε τιμή πρέπει να διαχωρίζεται από την προηγούμενη με κενό ή κόμμα για τις λειτουργίες 0 και 1.

Παρατηρήσεις

- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως 5 μοντέλα 109 σε μία προσομοίωση
- Τα δεδομένα από γραμμή σε γραμμή πρέπει να απέχουν σταθερά χρονικά διαστήματα.
- Στην λειτουργία 0 όπου η μορφοποίηση των δεδομένων καθορίζεται από τον χρήστη, τα δεδομένα εξάγονται με την ίδια σειρά που εμφανίζονται στο αρχείο δεδομένων. Σε όλες τις λειτουργίες διαχείρισης δεδομένων, οι εξόδοι έχουν την ίδια προκαθορισμένη σειρά εξόδου έτσι ώστε να διευκολύνεται η διαδικασία.

- Στην λειτουργία 0, μπορούν να υπάρχουν ως 20 γραμμές με σχόλια πριν τις γραμμές με τα δεδομένα. Οι γραμμές με τα σχόλια δεν πρέπει να ξεκινούν με αριθμό.
- Στα δεδομένα μπορεί ή όχι να εφαρμόζεται παρεμβολή ανάμεσα στα χρονικά βήματα αναλόγως με τις καθορισμένες παραμέτρους.
- Αν η προσομοίωση λήγει με τα δεδομένα να δίνουν ακτινοβολία $\neq 0$ η τιμή της ακτινοβολίας ορίζεται 0 για την τελευταία ώρα της προσομοίωσης

Μαθηματικό μοντέλο

Το μοντέλο 109 χρησιμοποιεί τους ίδιους αλγόριθμους με το μοντέλο 16 για τον υπολογισμό της ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο (με τις ίδιες λειτουργίες κεκλιμένης επιφάνειας 1-4) και για τον υπολογισμό της θέσης μίας κινούμενης επιφάνειας γύρω από έναν ή δύο άξονες.

Τα δεδομένα της ακτινοβολίας ελέγχονται για τιμές μεγαλύτερες του μηδενός πριν την ανατολή και μετά την δύση του ηλίου και εφαρμόζεται παρεμβολή για χρονικά διαστήματα μικρότερα ή μεγαλύτερα του διαστήματος που χωρίζει δύο διαδοχικές γραμμές. Η εσωτερική διαδικασία υπολογισμού της ακτινοβολίας παράγει τιμές της διάχυτης και της άμεσης ακτινοβολίας για έναν αυθαίρετο αριθμό επιφανειών με οποιαδήποτε γωνία αζιμουθίου και κλίση. Τέλος, προκαθορισμένες εξόδους αποτελούν η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, η ταχύτητα του ανέμου και η κατεύθυνση του ανέμου. Ως 4 επιπλέον στήλες δεδομένων μπορούν να επεξεργαστούν στην λειτουργία 1 όπου καθορίζονται από τον χρήστη.

Λειτουργίες οριζόντιας ακτινοβολίας

Το μοντέλο 109 χρειάζεται δύο στοιχεία της ηλιακής ακτινοβολίας για τον υπολογισμό της ακτινοβολίας σε μία κεκλιμένη επιφάνεια. Οι συνδυασμοί που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι οι ακόλουθοι:

- I_b και I_d
- I και I_d

- I και I_{on}
- I , T_{amb} και RH . Η διάχυτη ακτινοβολία υπολογίζεται με βάση το πλήρες μοντέλο του Reindl.
- I . Η διάχυτη ακτινοβολία υπολογίζεται με βάση τους απλοποιημένους συσχετισμούς του μοντέλου του Reindl.

 Pump	ΑΝΤΛΙΑ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ
Μοντέλο 3	

Το μοντέλο αυτό υπολογίζει τη ροή μάζας χρησιμοποιώντας μία συνάρτηση ελέγχου, η οποία μεταβάλλεται από 0 έως 1, και τη μέγιστη χωρητικότητα μάζας, η οποία προσδιορίζεται από το χρήστη. Η ενέργεια που καταναλώνεται μπορεί επίσης να υπολογιστεί, είτε ως γραμμική συνάρτηση της ροής μάζας είτε ως σχέση, προσδιοριζόμενη από το χρήστη, μεταξύ της ροής και της ενεργειακής κατανάλωσης. Ύστερα από την έκδοση του TRNSYS 14, ο χρήστης μπορεί να εισάγει κλάσμα της καταναλισκόμενης ενέργειας που μεταφέρεται με μορφή θερμότητας στο ρευστό. Σε πολλά συστήματα, δεν υπάρχει συνεχής ροή και η συνάρτηση ελέγχου είναι 0 ή 1. Σ' αυτή την περίπτωση, η ροή εξόδου και η ισχύς που χρησιμοποιούνται είναι είτε μηδέν είτε παίρνουν τη μέγιστη τιμή τους.

Συμβολισμός

C_p	Ειδική θερμοχωρητικότητα του ρευστού
F_{par}	Κλάσμα της καταναλισκόμενης ενέργειας που μεταφέρεται στο ρευστό
M	Ροή μάζας της ροής
M_{max}	Μέγιστη ροή μάζας (όταν $\gamma = 1$)
P	Ενεργειακή κατανάλωση της αντλίας
P_{max}	Μέγιστη ενεργειακή κατανάλωση (όταν $\gamma = 1$)
T_i	Θερμοκρασία εισόδου του ρευστού
T_o	Θερμοκρασία εξόδου του ρευστού
γ	συνάρτηση ελέγχου ($0 \leq \gamma \leq 1$)

Μαθηματική περιγραφή

Η θερμοκρασία εξόδου υπολογίζεται ως

$$T_o = T_i + \frac{P * f_{par}}{m C_p} \quad (4.5)$$

Η ροή μάζας στην έξοδο είναι

$$\dot{m}_o = \gamma \dot{m}_{max} \quad (4.6)$$

Αν μόνο οι ζητούμενες παράμετροι παρέχονται, τότε υποθέτουμε μια γραμμική σχέση μεταξύ της ροής μάζας και της ενεργειακής κατανάλωσης

$$P = \gamma P_{max} \quad (4.7)$$

 Type24	ΠΟΣΟΤΙΚΟΣ ΟΛΟΚΛΗΡΩΤΗΣ
Μοντέλο 24	

Το μοντέλο αυτό είναι ανάλογο με κάποιο μηχανισμό σε ένα φυσικό σύστημα το οποίο ολοκληρώνει μία ποσότητα σε μία περίοδο. Για παράδειγμα ένας μετρητής kWh που συνεχώς αθροίζει την ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται.

Το μοντέλο 24 μπορεί να ολοκληρώσει μέχρι και 250 μεταβλητές και δεν υπάρχει περιορισμός στον αριθμό των μοντέλων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μία προσομοίωση.

Συμβολισμός

X_i η ποσότητα της ν-οστής ποσότητας που πρόκειται να ολοκληρωθεί
 Y_i ο χρόνος ολοκλήρωσης του X_i

Μαθηματική περιγραφή

$$Y_i = \int_{\text{time}} X_i dt \quad (4.8)$$

 <small>T_ground</small>	ΠΡΟΦΙΛ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ
Μοντέλο 501	

Γενική περιγραφή

Η υπορουτίνα αυτή μοντελοποιεί την κατακόρυφη διανομή της θερμοκρασίας του εδάφους. Δεδομένα που πρέπει να εισαχθούν από το χρήστη είναι: η μέση ετήσια θερμοκρασία της επιφάνειας του εδάφους, η ετήσια διακύμανση της θερμοκρασίας αυτής, η διαφορά στον χρόνο μεταξύ της έναρξης του χρόνου και την ημέρα που παρατηρείται η ελάχιστη θερμοκρασία στην επιφάνεια, η πυκνότητα του εδάφους και τέλος η θερμική αγωγιμότητά του. Οι αντίστοιχες τιμές μπορούν να βρεθούν από διάφορες πηγές συμπεριλαμβανομένου εγχειρίδια της ASHRAE (αναφερόμενα στη θερμοκρασία εδάφους).

Συμβολισμός

T	[°C]	Θερμοκρασία
T _{mean}	[°C]	Μέση θερμοκρασία της επιφάνειας (μέση θερμ. του αέρα)
T _{amp}	[°C]	Διακύμανση της θερμοκρ. της επιφάνειας (T _{airmax} - T _{airmin})
Depth	[m]	Βάθος κάτω από την επιφάνεια
α	[kJ/hr.m.K]	Θερμική αγωγιμότητα του εδάφους
t _{now}	[1..365]	Τρέχουσα ημέρα του χρόνου
t _{shift}	[1..365]	Ημέρα του χρόνου που παρατηρείται η ελάχιστη θερμοκρασία στην επιφάνεια

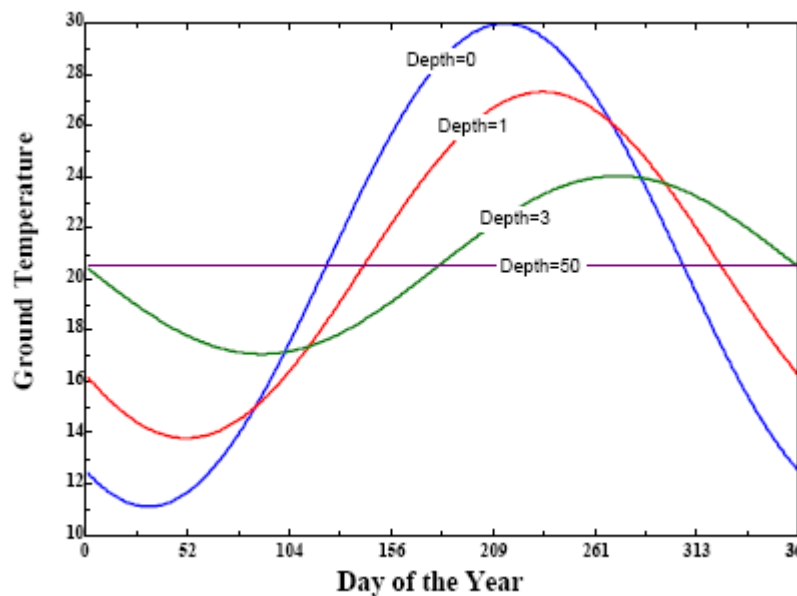
Αναλυτική περιγραφή

Έχει υπολογιστεί ότι η θερμοκρασία εδάφους χωρίς διαταρχές εξαρτάται από την ημέρα του χρόνου και το βάθος κάτω από την επιφάνεια. Η παρακάτω εξίσωση προσεγγίζει αυτή την εξάρτηση:

$$T = T_{mean} - T_{amp} * \exp\left[-depth * \left(\frac{\pi\alpha}{365}\right)^{0.5}\right] * \cos\left\{\frac{2\pi}{365} * \left[t_{now} - t_{shift} - \frac{depth}{2} * \left(\frac{365\alpha}{\pi}\right)^{0.5}\right]\right\} \quad (4.9)$$

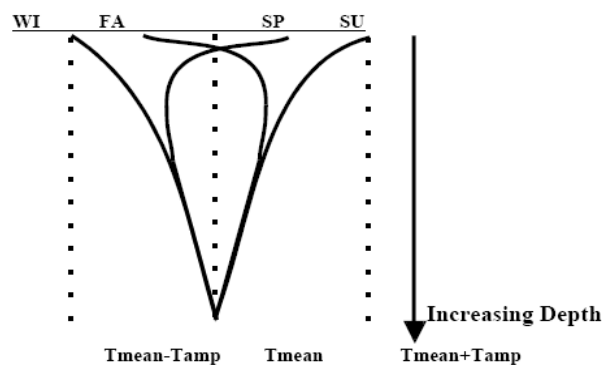
Σε περίπτωση έλλειψης της πραγματικής τιμής, η T_{mean} μπορεί να αντικατασταθεί από την μέση ετήσια θερμοκρασία του αέρα.

Αποτέλεσμα της παραπάνω εξίσωσης είναι η διανομή της θερμοκρασίας συναρτήσει του χρόνου και του βάθους για ένα δεδομένο κλίμα, όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.26.



Εικόνα 4.26 Διανομή θερμοκρασίας

Το εύρος των θερμοκρασιών που παράγονται από αυτή τη θερμοκρασία δίνεται στην εικόνα 4.27. Η γραμμή WI δείχνει την ακραία θερμοκρασία που αντιστοιχεί στο Χειμώνα ενώ η γραμμή SU την ακραία τιμή για το Καλοκαίρι. Οι τιμές του μοντέλου θα βρίσκονται ανάμεσα σ'αυτές τις ακραίες. Την Άνοιξη και το Φθινόπωρο, η επιφάνεια θερμαίνεται και ψύχεται πιο γρήγορα απ'ότι σε μεγαλύτερα βάθη.



Εικόνα 4.27 Εύρος θερμοκρασιών

 Tank	ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΔΙΕΠΟΧΙΑΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ
Μοντέλο 502	

Γενική περιγραφή

Το μοντέλο της δεξαμενής λαμβάνει υπόψη τις παρακάτω μεταφορές θερμότητας:

- Θερμικές απώλειες προς το περιβάλλον από την κορυφή της δεξαμενής
- Θερμικές απώλειες προς το περιβάλλον από τις πλευρές της δεξαμενής
- Θερμικές απώλειες προς το περιβάλλον από την βάση της δεξαμενής
- Μίξη των στρώματων για να εξαληφθούν θερμικές αστάθειες
- Μίξη των στρωμάτων προκαλούμενη από την εισερχόμενη/εξερχόμενη ροή

Απώλειες από την βάση, κορυφή και τις πλευρές:

Η δεξαμενή αλληλεπιδρά θερμικά με το περιβάλλον μέσω των απωλειών από την επιφάνεια της κορυφής, της βάσης και των πλευρών. Το μοντέλο επιτρέπει στο χρήστη να προσδιορίσει συγκεκριμένα τις θερμοκρασία περιβάλλοντος σε κάθε στρώμα, επιτυγχάνοντας έτσι μεγαλύτερη ευελιξία. Η μεταφορά θερμότητας από το στρώμα j είναι:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{loss,top},j} &= (A_{\text{top},j} * U_{\text{top}}) * (T_{\text{tank},j} - T_{\text{env,top}}) \\
 Q_{\text{loss,bottom},j} &= (A_{\text{bottom},j} * U_{\text{bottom}}) * (T_{\text{tank},j} - T_{\text{env,bottom}}) \\
 Q_{\text{loss,edges},j} &= (A_{\text{edges},j} * U_{\text{edges}}) * (T_{\text{tank},j} - T_{\text{env,edge}})
 \end{aligned}
 \tag{4.10}$$

όπου:

$A_{\text{top},j}$	Επιφάνεια κορυφής της δεξαμενής
$A_{\text{bottom},j}$	Επιφάνεια βάσης της δεξαμενής
$A_{\text{edge},j}$	επιφάνεια των πλευρών της
U_{top}	συντελεστής θερμικών απωλειών (κορυφής)
U_{bottom}	συντελεστής θερμικών απωλειών (βάσης)
U_{edge}	συντελεστής θερμικών απωλειών (πλευρών)
$T_{\text{tank},j}$	Θερμοκρασία του στρώματος j
$T_{\text{env,top}}$	θερμοκρασία περιβάλλοντος στην επιφάνεια της κορυφής
$T_{\text{env,bottom}}$	Θερμοκρασία περιβάλλοντος στην επιφάνεια της βάσης
$T_{\text{env,edj}}$	Θερμοκρασία περιβάλλοντος στην επιφάνεια των πλευρών

Μεταφορά θερμότητας μέσω αγωγής

Τα στρώματα της δεξαμενής μπορούν να αλληλεπιδούν θερμικά μέσω αγωγής. Η λειτουργία αυτή του μοντέλου μπορεί να απενεργοποιηθεί αν η παράμετρος της αγωγής είναι μικρότερη του μηδενός. Η εξίσωση της αγωγής από το στρώμα j είναι:

$$Q_{\text{cond},j} = k_j * A_j * (T_j - T_{j+1}) / L_{\text{cond},j} + k_{j-1} * A_{j-1} * (T_j - T_{j-1}) / L_{\text{cond},j-1}
 \tag{4.11}$$

όπου:

T_j	Θερμοκρασία του στρώματος j
T_{j+1}	θερμοκρασία του στρώματος που βρίσκεται ακριβώς από κάτω από το τρέχων
T_{j-1}	θερμοκρασία του στρώματος που βρίσκεται ακριβώς από πάνω από το τρέχων
k_j	θερμική αγωγιμότητα του ρευστού στο στρώμα j
k_{j-1}	θερμική αγωγιμότητα του ρευστού στο στρώμα j-1

A_j	επιφάνεια από την οποία συμβαίνει η μεταφορά θερμότητας μεταξύ αυτού του στρώματος και του κατώτερου
A_{j-1}	επιφάνεια από την οποία συμβαίνει η μεταφορά θερμότητας μεταξύ αυτού του στρώματος και του ανωτερου
$L_{cond,j}$	κατακόρυφη απόσταση μεταξύ του κέντρου του στρώματος και αυτού του κατωτερου
$L_{cond,j-1}$	κατακόρυφη απόσταση μεταξύ του κέντρου του στρώματος και αυτού του ανωτερου

Επίδραση του εισερχόμενου ρεύματος:

Το μοντέλο αυτό επιτρέπει στο χρήστη να έχει πολλαπλά ρεύματα που διέρχονται από τη δεξαμενή. Η λειτουργία 3 του μοντέλου χρησιμοποιήθηκε στις προσομοιώσεις. Σύμφωνα με την οποία υπάρχουν σταθεροί εξόδοι και μεταβαλλόμενοι εισόδοι.

Ο χρήστης καλείται να προσδιορίσει τις τοποθεσίες εξόδου (στρώματα) και για κάθε ένα από τα ρεύματα. Η θερμοκρασία εξόδου σε κάθε ένα ισούται με τη μέση θερμοκρασία του αντίστοιχου στρώματος τη δεδομένη χρονική στιγμή. Ο χρήστης δίνει ακόμα τη θερμοκρασία εισόδου και ροή του ρευστού. Έπειτα το στρώμα εισόδου είναι εκείνο που έχει τη πλησιεστερη θερμοκρασία στη θερμοκρασία εισόδου του ρευστού. Η ροή εξόδου από κάθε έξοδο είναι ίση με τη ροή εισόδου του αντίστοιχου ρεύματος (π.χ.100kg/h στην είσοδο 1 συνεπάγεται 100kg/h στην έξοδο 1). Σ' αυτό το μοντέλο, το εισερχόμενο ρεύμα σε ένα στρώμα αναμιγνύεται τελείως με το υπόλοιπο ρευστό που βρίσκεται στο ίδιο στρώμα σε κάθε βήμα χρόνου της προσομοίωσης κι έπειτα αυτό προχωράει στο επόμενο (η κίνηση του ρευστού γίνεται από το σημείο εισόδου προς το σημείο εξόδου). Για παράδειγμα, νερό 10 °C και ροής 200 kg/h εισέρχεται στο στρώμα 4 (εξοδος=στρώμα 1), το οποίο έχει αρχική θερμοκρασία 30 °C. Το ρεύμα των 10 °C αναμιγνύεται με αυτό των 30 °C και προκαλεί πτώση της θερμοκρασίας του στρώματος 4, για παράδειγμα, στους 25 °C. Στη συνέχεια τα 200 kg/h στους 25 °C εισέρχονται στο στρώμα 3 με το οποίο και αναμιγνύονται πριν το ρεύμα μετακινηθεί στο στρώμα 2, και τελικά στο 1.

Η μεταφορά θερμότητας εξαιτίας της ροής σε ένα στρώμα εκφράζεται ως:

$$Q_{\text{flow},i,j} = \dot{m}_{\text{in}} * \text{frac}_{\text{in},j} * C_p * T_{\text{in}} + \dot{m}_{\text{in},j-1} * C_p * T_{j-1} + \dot{m}_{\text{in},j+1} * C_p * T_{j+1} - \dot{m}_{\text{push}} * C_p * T_j \quad (4.12)$$

όπου:

\dot{m}_{in}	Ροή μάζας του εισερχόμενου ρεύματος στη δεξαμενή
$\dot{m}_{\text{in},j-1}$	Ροή μάζας που εισέρχεται από το στρώμα που βρίσκεται πάνω από το τρέχων
$\dot{m}_{\text{in},j+1}$	Ροή μάζας που εισέρχεται από το στρώμα που βρίσκεται κάτω από το τρέχων
$\text{frac}_{\text{in},j}$	Κλάσμα του εισερχόμενου ρευστού που εισέρχεται στο τρέχων στρώμα
C_p	Ειδική θερμοχωρητικότητα του ρευστού
T_{in}	Θερμοκρασία του εισερχόμενου ρευστού
T_j	Θερμοκρασία του τρέχοντος στρώματος
T_{j-1}	Θερμοκρασία της δεξαμενής στο στρώμα πάνω από το τρέχων
T_{j+1}	Θερμοκρασία της δεξαμενής στο στρώμα κάτω από το τρέχων

 Collectors	ΕΠΙΠΕΔΟΣ ΗΛΙΑΚΟΣ ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ
Μοντέλο 1	

Ο συλλέκτης αυτός μοντελοποιεί τη θερμική συμπεριφορά μιας πληθώρας συλλεκτών χρησιμοποιώντας τη θεωρία. Το συνολικό πεδίο μπορεί να αποτελείται από συλλέκτες συνδεδεμένους σε σειρά αλλά και παράλληλα. Η θερμική συμπεριφορά του πεδίου καθορίζεται από τον αριθμό των συλλεκτών σε σειρά και από τα χαρακτηριστικά τους. Ο χρήστης πρέπει να εισάγει τα αποτελέσματα από τυποποιημένους ελέγχους της απόδοσης συναρτήσει του κλάσματος της θερμοκρασίας του ρευστού μείον της θερμοκρασίας περιβάλλοντος δια της ακτινοβολίας ($\Delta T/I_T$). Η θερμοκρασία του ρευστού μπορεί να είναι εισόδου, εξόδου ή μέση. Το μοντέλο υποθέτει ότι η καμπυλη της απόδοσης συναρτήσει του κλάσματος $\Delta T/I_T$, μπορεί να προσεγγισθεί από μία δευτεροβάθμια εξίσωση.

Συμβολισμός

A	[m ²]	Συνολική μεικτή επιφάνεια των συλλεκτών
a ₀	[-]	Το γινόμενο F _R * (τα)
a ₁	[kJ/h-m ² -K]	Το γινόμενο F _R * U _L
a ₂	[kJ/h-m ² -K ²]	Το γινόμενο F _R * U _{L/T}
C _{pf}	[kJ/kg-K]	Ειδική θερμοχωρητικότητα του ρευστού που διαρρέει τον συλλέκτη
F _R	[-]	Παράγων θερμικής απολαβής
I _T	[kJ/h-m ²]	Ολική προσπίπτουσα ακτινοβολία στην επιφάνεια του συλλέκτη
m	[kg/h]	Ροή μάζας σε συνθήκες λειτουργίας
T _a	[°C]	Θερμοκρασία περιβάλλοντος
T _i	[°C]	Θερμοκρασία του ρευστού στην είσοδο του συλλέκτη
T _o	[°C]	Θερμοκρασία του ρευστού στην έξοδο του συλλέκτη
U _L	[kJ/h-m ² -K]	Συντελεστής θερμικών απωλειών του συλλέκτη ανα μονάδα επιφανείας
U _{L/T}	[kJ/h-m ² -K ²]	Συντελεστής θερμικών απωλειών του συλλέκτη εξαρτώμενος από τη θερμοκρασία
(τα)	[-]	Το γινόμενο διαπερατότητας του καλύματος και της απορροφητικότητας του απορροφητήρα
(τα) _n	[-]	(τα) για την ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο

Μαθηματική περιγραφή

Η γενική εξίσωση για την απόδοση του επίπεδου ηλιακού συλλέκτη μπορεί να ληφθεί από την εξίσωση των Hottel-Whillier (Duffie and Beckman, 1991):

$$\eta = \frac{Q_u}{A I_T} = \frac{\dot{m} C_{pf} (T_o - T_i)}{A I_T} = F_R (\tau\alpha)_n - F_R U_L \frac{(T_i - T_a)}{I_T} \quad (4.13)$$

Ο συντελεστής απωλειών U_L δεν είναι ακριβώς σταθερά, επομένως μια καλύτερη προσέγγιση μπορεί να γίνει αν λάβουμε υπόψη τη γραμμική εξάρτηση του U_L με τη διαφορά (T_i-T_a):

$$\eta = \frac{Q_u}{A I_T} = F_R (\tau \alpha)_h - F_R U_L \frac{(T_i - T_a)}{I_T} - F_R U_{L/T} \frac{(T_i - T_a)^2}{I_T} \quad (4.14)$$

Η τελευταία εξίσωση μπορεί να γραφτεί ως:

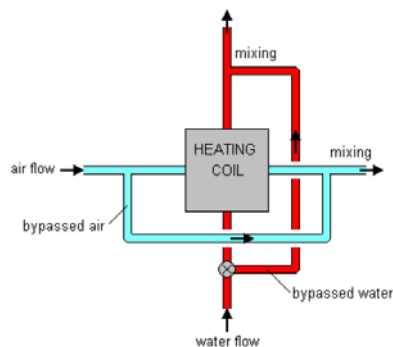
$$\eta = a_0 - a_1 \frac{(\Delta T)}{I_T} - a_2 \frac{(\Delta T)^2}{I_T} \quad (4.15)$$

Η οποία είναι η γενική εξίσωση που χρησιμοποιείται στο μοντέλο 1. Η θερμική απόδοση προσδιορίζεται από 3 παραμέτρους: a_0 , a_1 και a_2 . Αυτές οι 3 παράμετροι είναι διαθέσιμες σε συλλέκτες που έχουν δοκιμαστεί σύμφωνα με τα πρότυπα της ASHRAE και βαθμολογηθεί από τη SRCC, καθώς και σε συλλέκτες που έχουν ελεγχθεί σύμφωνα με τα πρόσφατα ευρωπαϊκά πρότυπα (CEN,2001). Πολλά παραδείγματα παραμέτρων των συλλεκτών μπορούν να βρεθούν στο διαδίκτυο (π.χ. SPF, 2004)

 Heating coil	HEATING COIL
Μοντέλο 753	

Γενική περιγραφή

Το μοντέλο αυτό θερμαίνει το ρεύμα αέρα που διέρχεται από τις σωλήνες με το ζεστό νερό. Ενέργεια μεταφέρεται από ζεστό νερό στο ψυχρό αέρα. Για να διατηρηθεί η επιθυμητή κατάσταση του αέρα στην έξοδο, το ρεύμα αέρος μοιράζεται στα δύο, με το πρώτο από αυτά να διέρχεται από τις σωλήνες και στην έξοδο του να έχει θερμοκρασία ίση με το μέση θερμοκρασία των σωλήνων, ενώ το δεύτερο ρεύμα παρακαμπτεί τις σωλήνες και στην έξοδο του έχει την αρχική θερμοκρασία. Έπειτα τα δυο ρεύματα συναντώνται και αναμιγνύονται. Η εικόνα 4.28 παρουσιάζει την αντίστοιχη τεχνική.



Εικόνα 4.28 Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας του “heating coil”

Κάθε φορά που το μοντέλο χρησιμοποιείται, αυτό καθορίζει πλήρως την κατάσταση του αέρα, καλώντας την υπορουτίνα του ψυχομετρικού χάρτη, χρησιμοποιώντας δεδομένα όπως η πίεση του αέρα, θερμοκρασία ξηρού βολβού, και υγρασία.

 Building	ΚΤΗΡΙΟ
Μοντέλο 56	

Περιγραφή μοντέλου

Το πολυζωνικό κτήριο προσομοιώνεται με το μοντέλο 56 του προγράμματος TRNSYS. Στο μοντέλο αυτό κάθε ζώνη περιγράφεται από την θερμοχωρητικότητα της, τον όγκο αέρα που περικλείει και την θερμοχωρητικότητα των στοιχείων που βρίσκονται σε αυτήν (π.χ. επίπλωση). Κάθε ζώνη αποτελεί ένα ξεχωριστό υπολογιστικό κόμβο στον οποίο η θερμοχωρητικότητα και ο όγκος της ζώνης αποτελούν ξεχωριστές εισόδους. Για περισσότερες λεπτομέρειες αυτού του μοντέλου ο αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει στο εγχειρίδιο του TRNSYS.

Αναφορές

- [1] *TRNSYS 16 Manual*
- [2] *TRNSYS 16 Manual of TESS Library*
- [3] **Διπλωματική εργασία του φοιτητή Χρήστου Στεργίου, Προσομοίωση της Ενεργειακής Συμπεριφοράς Κτηρίου Γραφείων στην Αθήνα με Χρήση του Υπολογιστικού Πακέτου TRNSYS, Επιβλέποντες καθηγητές: Κίμων Α. Αντωνόπουλος, Χρήστος Τζιβανίδης, Αθήνα 2007**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ**5****ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ
ΗΛΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ****ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ****5.1**

Η παρούσα διπλωματική πραγματεύεται την ενεργειακή συμπεριφορά ενός συστήματος ηλιακής θέρμανσης με δεξαμενή διεποχιακής αποθήκευσης θερμότητας για να καλύψει τις ανάγκες ενός σπιτιού που βρίσκεται στην περιοχή της Αθήνας. Το εν λόγω σύστημα αποτελείται από τους ηλιακούς συλλέκτες, την δεξαμενή αποθήκευσης, τις αντλίες, τα fan coils, το δίκτυο σωληνώσεων, τις συσκευές ελέγχου καθώς και το προς θέρμανση κτήριο. Οι σωληνώσεις παραλείπονται κάνοντας τη ρεαλιστική υπόθεση ότι οι θερμικές απώλειες αποτελούν πολύ μικρό ποσοστό των συνολικών απωλειών.

Η ανάλυση του συστήματος θα γίνει παραμετρικά μεταβάλλοντας την επιφάνεια των συλλεκτών (A_c), τον όγκο της δεξαμενής (V) και το θερμικό φορτίο (L) του σπιτιού.

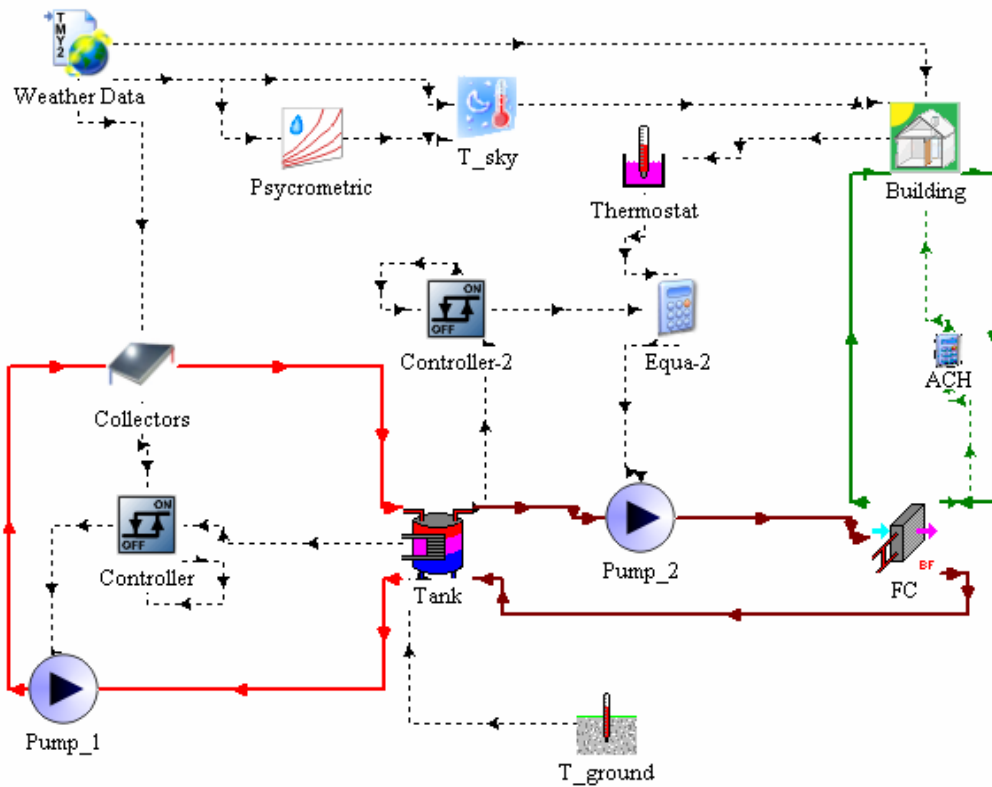
Αναλυτικά οι τιμές που θα δοθούν σε κάθε παράμετρο είναι:

A_c : 50 m², 200 m², 500 m²

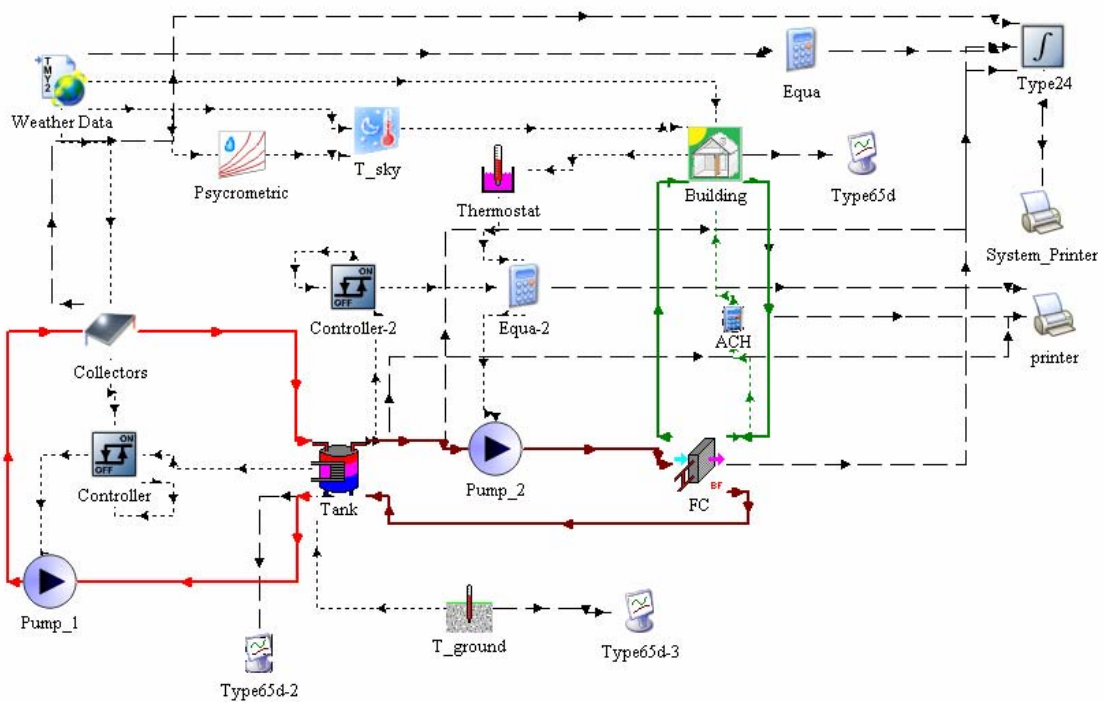
V : 200 m³, 600 m³, 1200 m³

L : 15 W/m²K, 65 W/m²K

Στις εικόνες 5.1 και 5.2 φαίνεται το σύστημα όπως μοντελοποιήθηκε στο TRNSYS. Για περισσότερες πληροφορίες των μοντέλων που χρησιμοποιούνται ο αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει στο κεφάλαιο 4.2 της παρούσας διπλωματικής εργασίας ή στον πέμπτο τόμο του εγχειριδίου του TRNSYS σχετικά με τη μαθηματική περιγραφή των μοντέλων.



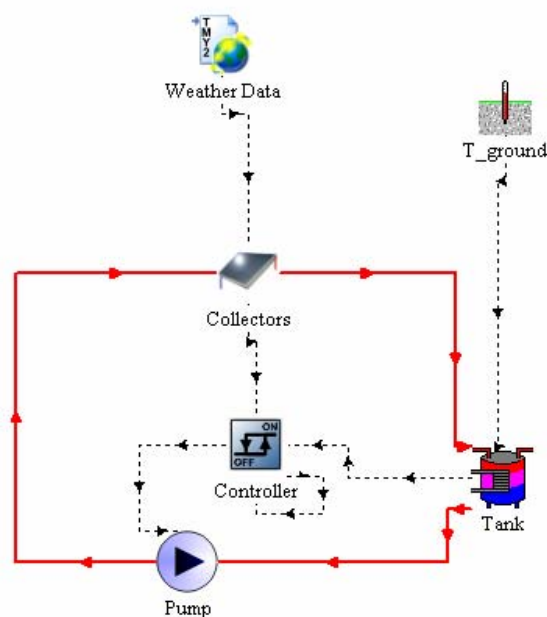
Εικόνα 5.1 Σχηματική απεικόνιση του συστήματος



Εικόνα 5.2 Σχηματική απεικόνιση του συστήματος με τα μοντέλα εξαγωγής δεδομένων και διαγραμμάτων

Το πρωτεύον κύκλωμα

Το πρωτεύον κύκλωμα αποτελείται από τους ηλιακούς συλλέκτες, την υπόγεια δεξαμενή και την αντλία. Απαραίτητη, για την σωστή λειτουργία του κυκλώματος, είναι η ύπαρξη συσκευής ελέγχου. Σκοπός του κυκλώματος είναι η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας ώστε να επιτευχθεί η φόρτιση της δεξαμενής. Στην εικόνα 5.3, η οποία προέρχεται από το πρόγραμμα TRNSYS, φαίνεται σχηματικά το πρωτεύον κύκλωμα.



Εικόνα 5.3 Πρωτεύον κύκλωμα

Ηλιακοί συλλέκτες

Υποθέτουμε ότι δεν υπάρχει σκίαση στο πεδίο των επίπεδων συλλεκτών. Τα μετεωρολογικά δεδομένα εισάγονται από το μοντέλο 109 (Weather Data), όπως είναι η ηλιακή ακτινοβολία ολική και άμεση και θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η κλίση των συλλεκτών επιλέγεται 38° στραμμένοι προς το νότο, ώστε να μεγιστοποιηθεί η ενεργειακή απολαβή. Η επιφάνεια τους εξετάζεται παραμετρικά.

Αντλία

Είναι μίας ταχύτητας με μέγιστη ροή μάζας $6\text{m}^3/\text{h}$. Η λειτουργία της εξαρτάται από τη συσκευή ελέγχου. Όταν δέχεται σήμα 0 τότε η αντλία δεν λειτουργεί, επομένως

δεν υπάρχει κυκλοφορία του εργαζόμενου μέσου. Όταν το σήμα γίνει 1 τότε το ρευστό κυκλοφορεί στο κύκλωμα.

Συσκευή ελέγχου

Είναι υπεύθυνη για τη λειτουργία του πρωτεύοντος κυκλώματος. Πρακτικά, ελέγχει την θερμοκρασία στην έξοδο του συλλέκτη (T_{coll}), στον πυθμένα (T_{tank-b}) και στην κορυφή της δεξαμενής (T_{tank-p}) καθώς και την προηγούμενη κατάσταση και τελικά παράγει κάποιο σήμα, $\gamma=0$ ή 1, το οποίο στέλνεται στην αντλία.

Όταν η προηγούμενη κατάσταση είναι 1 τότε:

$$T_{coll} - T_{tank-b} > 2 \text{ τότε } \gamma = 1$$

$$T_{coll} - T_{tank-b} < 2 \text{ τότε } \gamma = 0$$

Όταν η προηγούμενη κατάσταση είναι 0 τότε:

$$T_{coll} - T_{tank-b} > 10 \text{ τότε } \gamma = 1$$

$$T_{coll} - T_{tank-b} < 10 \text{ τότε } \gamma = 0$$

Ταυτόχρονα παρακολουθείται η θερμοκρασία στην κορυφή της δεξαμενής έτσι ώστε η τιμή της να μην υπερβεί τους 100°C .

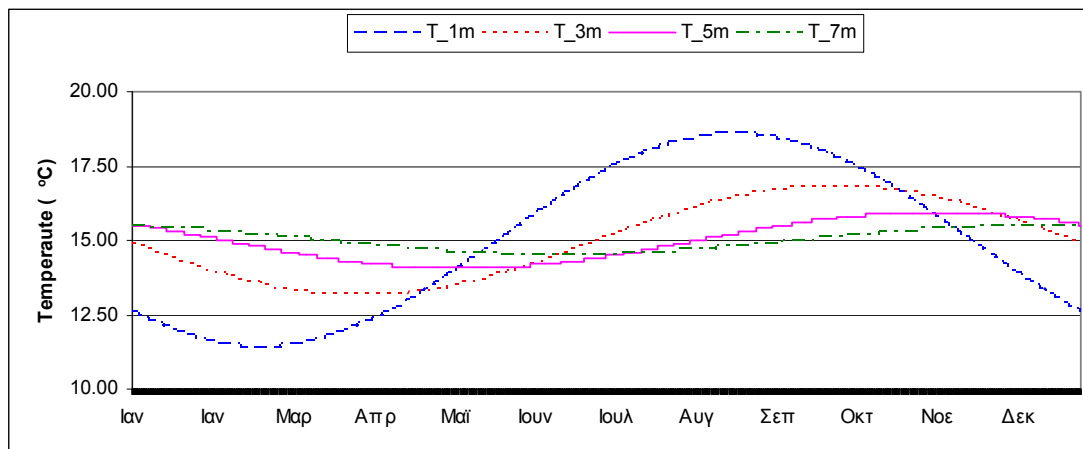
Δεξαμενή διεποχιακής αποθήκευσης θερμότητας

Η δεξαμενή έχει κυλινδρικό σχήμα και είναι θαμμένη στο έδαφος για τον περιορισμό των εξωτερικών απωλειών θερμότητας. Ο όγκος της δεξαμενής εξετάζεται παραμετρικά.

Σε πραγματικές συνθήκες εμφανίζονται φαινόμενα διαστρωμάτωσης. Στο μοντέλο αυτό υποθέτουμε 4 στρώματα. Η έξοδος του νερού που αναρροφάται γίνεται από τον πυθμένα της δεξαμενής και η επιστροφή του γίνεται μέσω “stratifier”, κατά τον οποίο το νερό εισέρχεται στο στρώμα με την πιο κοντινή σε αυτό θερμοκρασία. Ο συντελεστής απωλειών της δεξαμενής ανέρχεται σε $0,138\text{W/m}^2 \text{K}$.

Λόγω του ύψους της δεξαμενής και επειδή οι απώλειες εξαρτώνται από την εξωτερική θερμοκρασία του εδάφους, χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο 501 “T_ground”, το οποίο παράγει τη θερμοκρασία του εδάφους σε διαφορετικά βάθη, 1m-3m-5m-7m. Οι τιμές αυτές αντιστοιχούν στις αποστάσεις των τεσσάρων στρωμάτων της

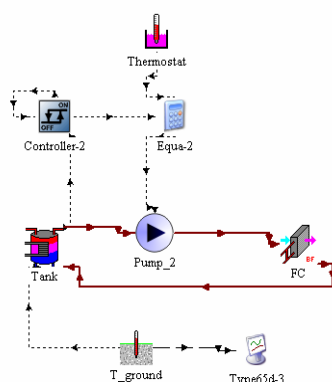
δεξαμενής από την επιφάνεια της γης. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στο χρόνο συνολικά ενός έτους, με αρχή τον μήνα Ιανουάριο και τέλος το Δεκέμβριο.



Εικόνα 5.4 Θερμοκρασία εδάφους

Το δευτερεύον κύκλωμα

Το δευτερεύον κύκλωμα αποτελείται από τη δεξαμενή, τα “fan coils” και τη συσκευή ελέγχου. Η έξοδος του ζεστού νερού γίνεται από το πρώτο στρώμα το οποίο βρίσκεται στην πάνω μέρος της δεξαμενής. Στη συνέχεια το ρεύμα ζεστού νερού οδηγείται στα “fan coils” κι έπειτα επιστρέφει στη δεξαμενή. Η είσοδος στη δεξαμενή γίνεται με “stratifier”, για να διαταραχθεί όσο το δυνατό λιγότερο η υπάρχουσα διαστρωμάτωση. Η κυκλοφορία του ρευστού επιτυγχάνεται με μία αντλία μέγιστης ροής $6\text{m}^3/\text{h}$. Η ρύθμιση λειτουργίας του κυκλώματος γίνεται με τη χρήση ενός θερμοστάτη και ενός διαφορικού ελεγκτή. Για να τεθεί το σύστημα σε λειτουργία πρέπει να τηρούνται οι παρακάτω προϋποθέσεις. Η θερμοκρασία του κτηρίου να βρίσκεται κάτω από 20°C και η θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής που βρίσκεται στο πάνω στρώμα να υπερβαίνει τους 38°C .



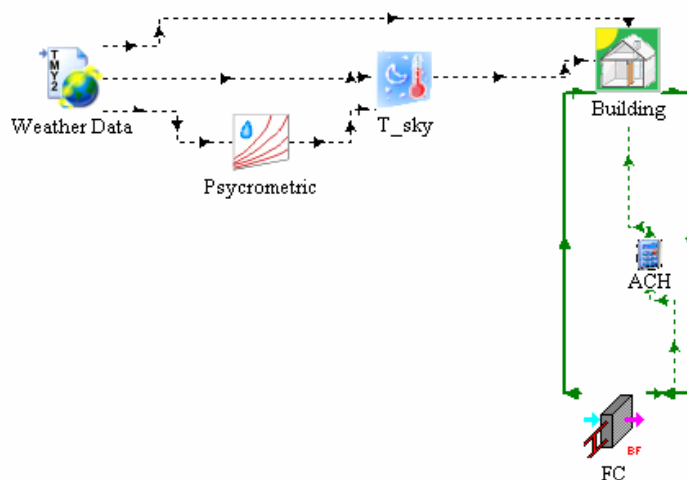
Εικόνα 5.5 Δευτερεύον κύκλωμα

Κτήριο

Το υπό μελέτη κτήριο αποτελείται από έναν όροφο, με συνολικό εμβαδόν 700 m². Το κτήριο μελετάται στο σύνολο του ως μία θερμική ζώνη. Τα παράθυρα καλύπτουν το 20% της επιφάνειας των τοίχων που είναι στραμμένοι στην ανατολή και στη δύση, το 33% στο νότο, ενώ στο βορρά δεν έχουν τοποθετηθεί παράθυρα.

Στο μοντέλο του κτηρίου εισάγονται:

- i. Η ολική ακτινοβολία στο επίπεδο της επιφάνειας για καθένα από τους τέσσερις προσανατολισμούς (βορράς, νότος, ανατολή, δύση)
- ii. Η άμεση ακτινοβολία στο επίπεδο της επιφάνειας για καθένα από τους τέσσερις προσανατολισμούς (βορράς, νότος, ανατολή, δύση)
- iii. Οι γωνίες πρόσπτωσης για καθένα από τους τέσσερις προσανατολισμούς (βορράς, νότος, ανατολή, δύση)
- iv. Η θερμοκρασία ουρανού από το μοντέλο 69 (T_{sky})
- v. Η θερμοκρασία περιβάλλοντος
- vi. Η σχετική υγρασία περιβάλλοντος
- vii. Η θερμοκρασία και σχετική υγρασία του ζεστού αέρα από τα “fan coils”



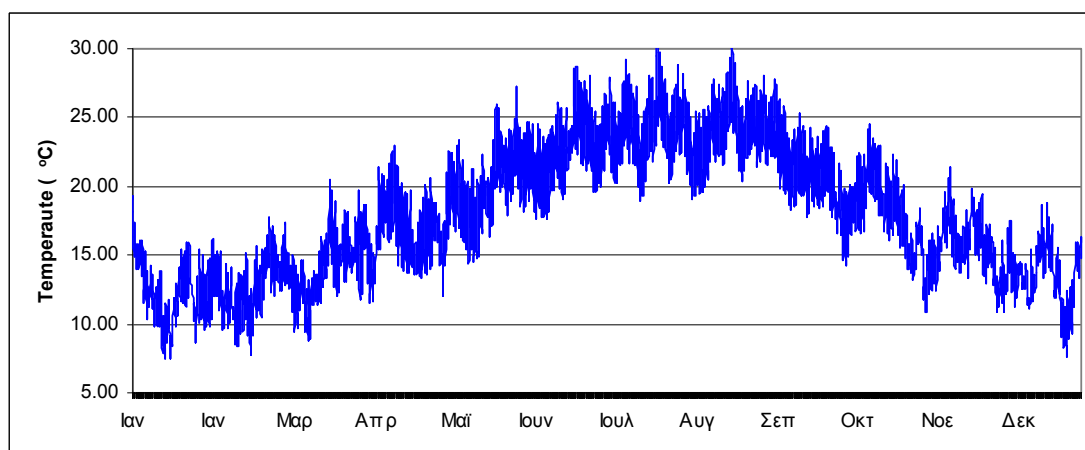
Εικόνα 5.6 Το κτήριο και οι συνδέσεις του

Στην πρώτη περίπτωση εξετάζεται μία οικία με καλή μόνωση στους εξωτερικούς τοίχους ενώ στη δεύτερη μία οικία χωρίς μόνωση. Είναι προφανές πως η διακύμανση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του κτηρίου στη δεύτερη περίπτωση είναι αρκετά μεγαλύτερη. Αυτό εξηγείται από την ευκολία με την οποία η θερμότητα μεταδίδεται από το εσωτερικό του κτηρίου προς το περιβάλλον αλλά και αντίστροφα, καθώς δεν

υπάρχει αντίσταση, δηλαδή μόνωση. Επομένως η θερμοκρασία στο εσωτερικό του κτηρίου τείνει να ακολουθήσει τη εξωτερική θερμοκρασία χωρίς μεγάλη καθυστέρηση. Τα φορτία θέρμανσης είναι 15W/m^2 και 65W/m^2 αντίστοιχα.



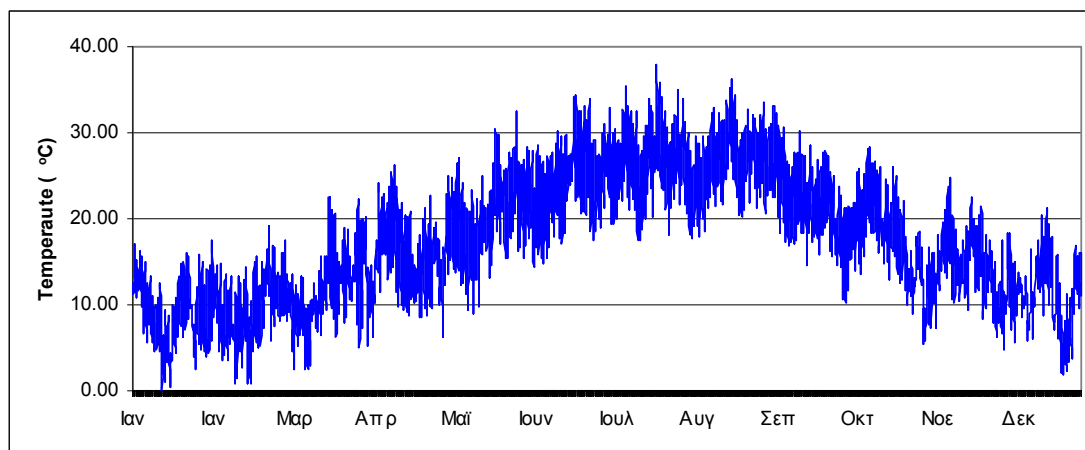
Εικόνα 5.7 Θερμοκρασία του κτηρίου χωρίς σύστημα θέρμανσης ($L=15\text{W/m}^2$)



Εικόνα 5.8 Θερμοκρασία του κτηρίου χωρίς σύστημα θέρμανσης ($L=65\text{W/m}^2$)

Μετεωρολογικά Δεδομένα

Τα μετεωρολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν κατά τις προσομοιώσεις, πάρθηκαν από τη βιβλιοθήκη του TRNSYS για την περιοχή της Αθήνας με γεωγραφικό πλάτος $37^{\circ}97'$ και γεωγραφικό μήκος $23^{\circ}72'$. Η παραγωγή αυτών έγινε από το πρόγραμμα “Meteonorm Version 5.0”. Για την ανάγνωση και επεξεργασία των μετεωρολογικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο 109, το οποίο είναι κατάλληλο για την ανάγνωση αντίστοιχων αρχείων με συνήθη μορφοποίηση.



Εικόνα 5.9 Θερμοκρασία περιβάλλοντος

Χρόνος προσομοίωσης

Το κριτήριο επιλογής του χρόνου προσομοίωσης για κάθε περίπτωση είναι η εξαγωγή αποτελεσμάτων, με τιμές οι οποίες επαναλαμβάνονται κάθε χρόνο. Σε όλες τις περιπτώσεις που εξετάζονται το σύστημα έρχεται σε ισορροπία κι εμφανίζει περιοδικότητα μετά το δεύτερο ή τρίτο χρόνο προσομοίωσης. Η διαφορά αυτή έγκειται στο γεγονός ότι η ενεργειακή συμπεριφορά της δεξαμενής εξαρτάται από τον συνδυασμό επιφάνειας συλλεκτών, όγκου δεξαμενής και θερμικού φορτίου.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΕΩΝ

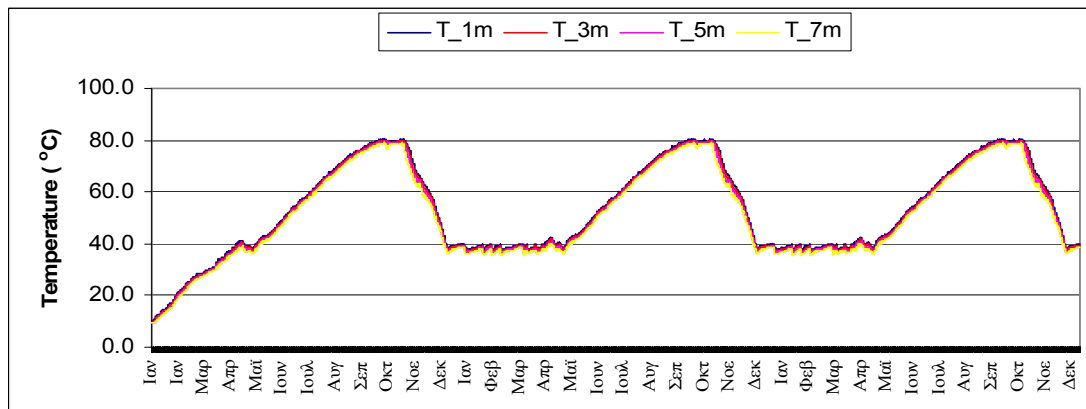
5.2

1^η Περίπτωση

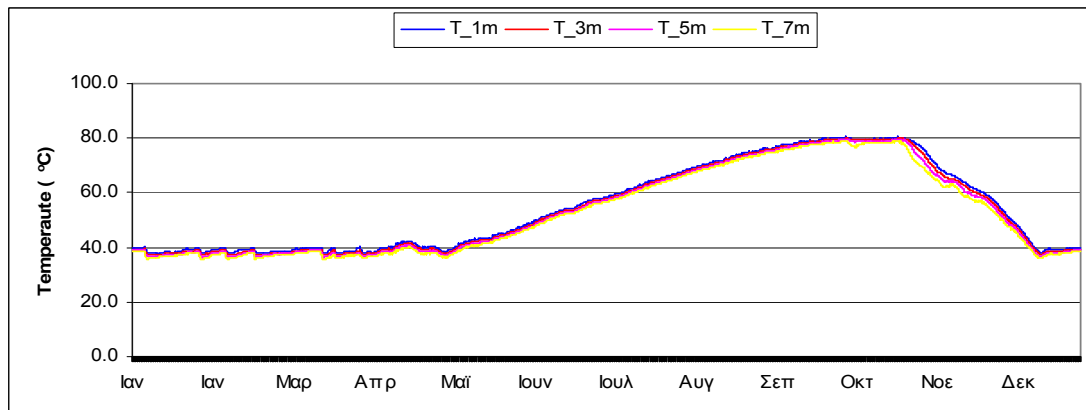
Επιφάνεια Συλλεκτών: 50m²

Όγκος Δεξαμενής; 200m³

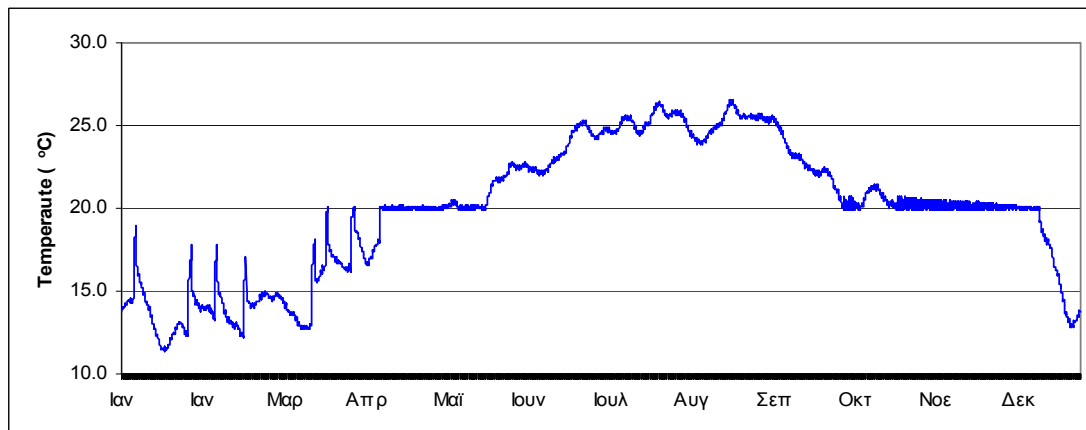
Θερμικό Φορτίο: 15W/m²



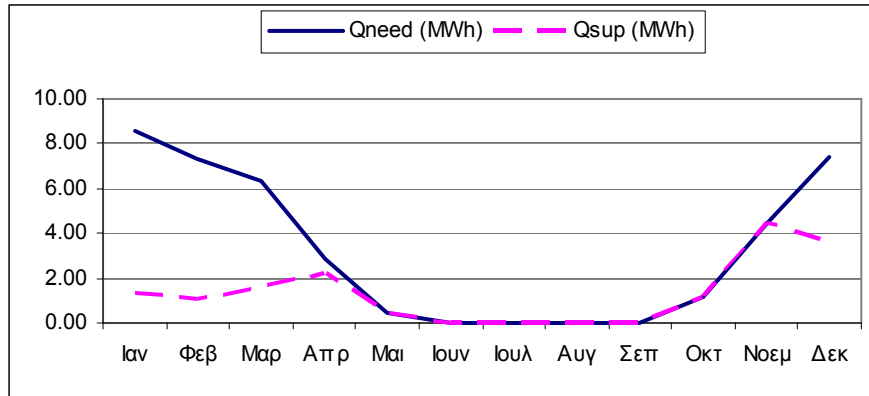
Διάγραμμα 5.1α Θερμοκρασία νερού της δεξαμενής σε διάφορα επίπεδα (3 έτη)



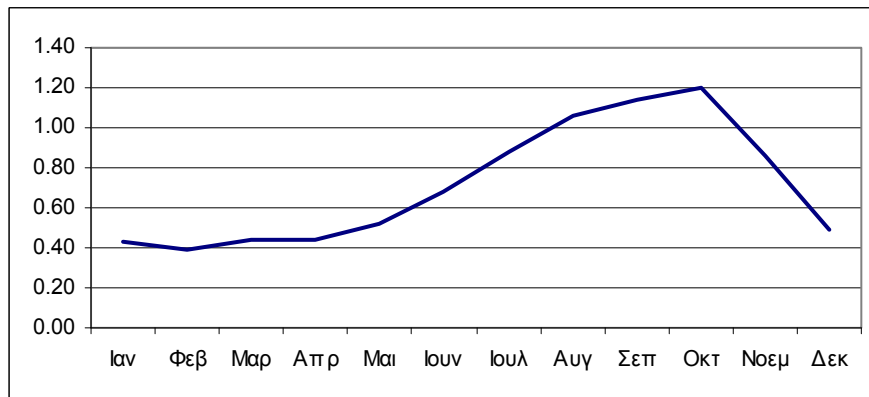
Διάγραμμα 5.1β Θερμοκρασία νερού της δεξαμενής σε διάφορα επίπεδα (3 έτος)



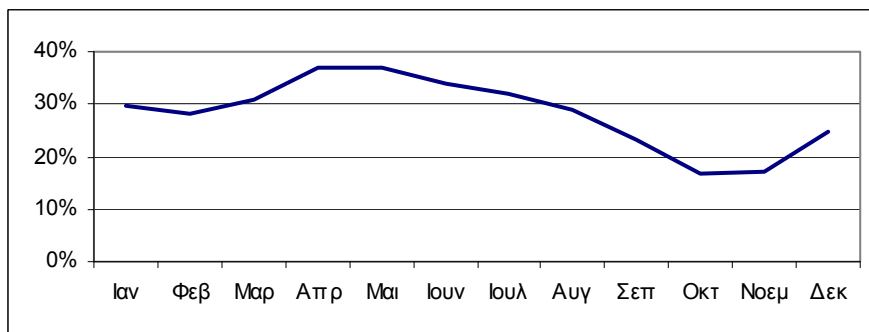
Διάγραμμα 5.1γ Θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του κτηρίου (3 έτος)



Διάγραμμα 5.1δ Φορτία θέρμανσης (MWh)



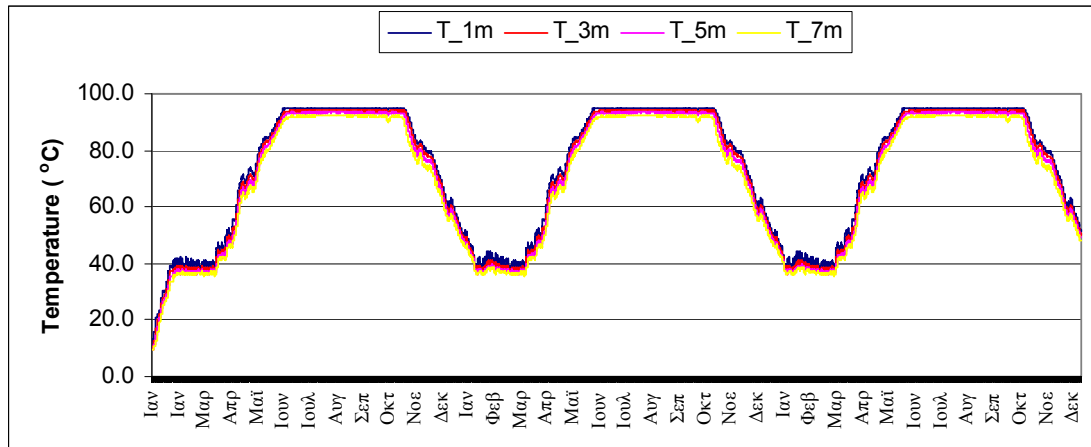
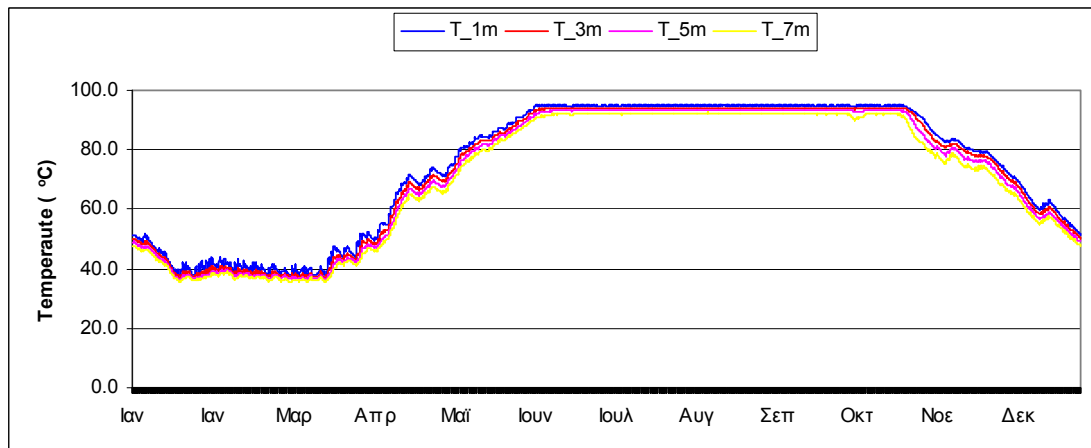
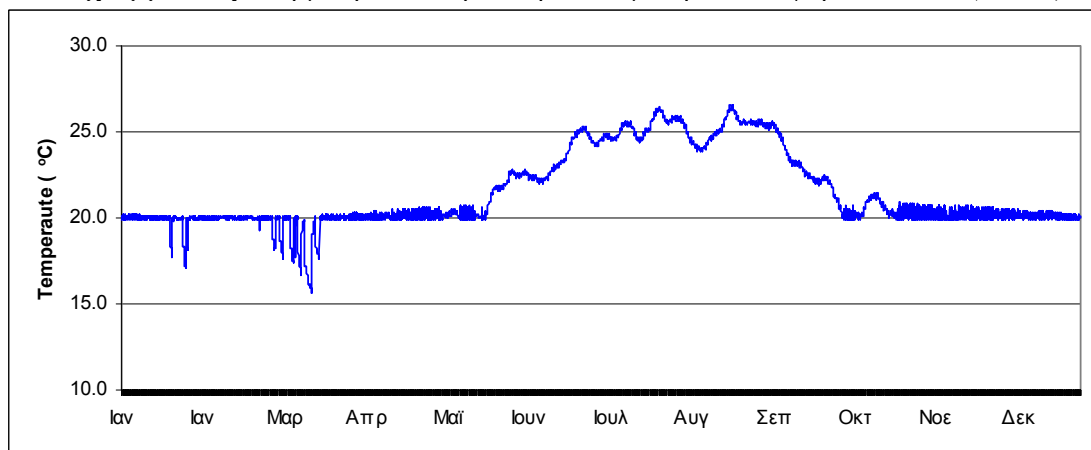
Διάγραμμα 5.1ε Απώλειες δεξαμενής (MWh)

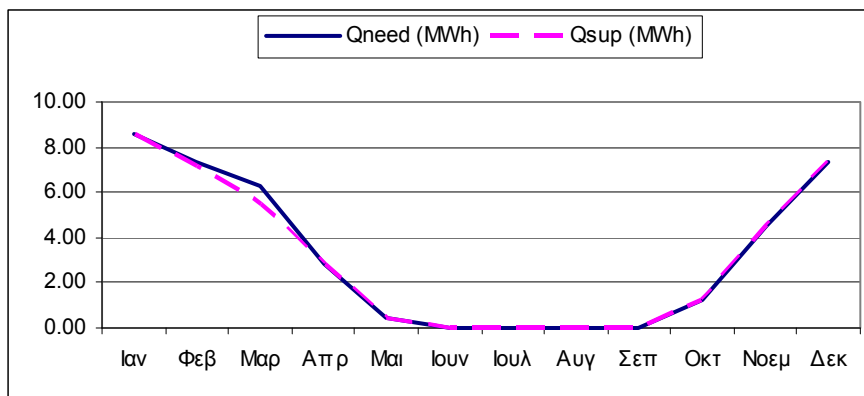


Διάγραμμα 5.1ζ Απόδοση συλλεκτών

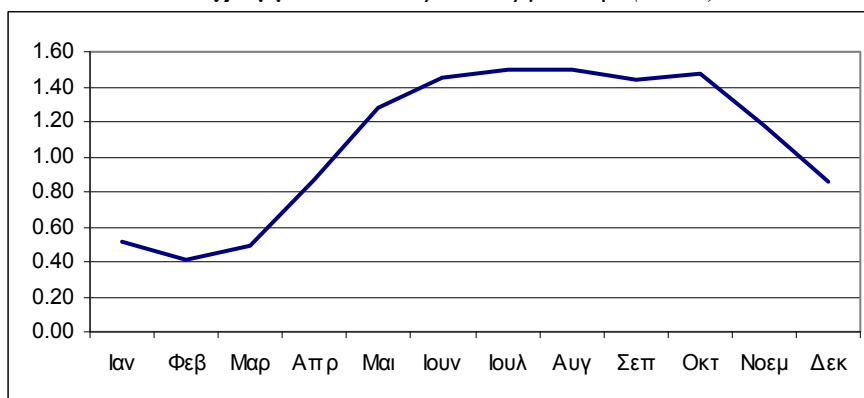
Χρόνος	It (mWh)	Qu (mWh)	ncoll	Qneed (MWh)	Qsup (MWh)	SF	Qloss (mWh)	Qloss/Qu
Ιαν	5.17	1.53	30%	8.57	1.31	15%	0.43	28%
Φεβ	5.06	1.43	28%	7.36	1.08	15%	0.39	27%
Μαρ	5.99	1.85	31%	6.32	1.64	26%	0.44	24%
Απρ	7.64	2.81	37%	2.87	2.24	78%	0.44	16%
Μαι	8.57	3.17	37%	0.43	0.43	100%	0.52	16%
Ιουν	8.95	3.04	34%	0.00	0.00	0%	0.68	23%
Ιουλ	9.78	3.12	32%	0.00	0.00	0%	0.88	28%
Αυγ	10.12	2.93	29%	0.00	0.00	0%	1.06	36%
Σεπ	9.08	2.11	23%	0.00	0.00	0%	1.14	54%
Οκτ	7.06	1.17	17%	1.20	1.20	100%	1.20	102%
Νοεμ	4.82	0.82	17%	4.47	4.47	100%	0.86	105%
Δεκ	4.18	1.04	25%	7.38	3.65	49%	0.49	48%
Σύνολο	86.42	25.02	29%	38.60	16.04	42%	8.55	34%

Πίνακας 5.1

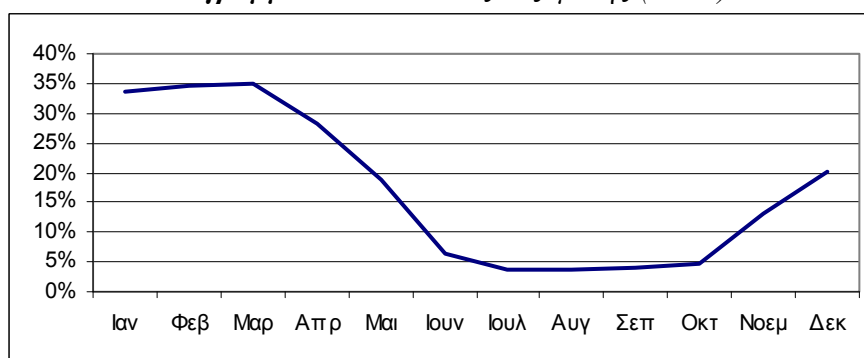
2η ΠερίπτωσηΕπιφάνεια Συλλεκτών: 200m²Όγκος Δεξαμενής; 200m³Θερμικό Φορτίο: 15W/m²**Διάγραμμα 5.2α** Θερμοκρασία νερού της δεξαμενής σε διάφορα επίπεδα (3 έτη)**Διάγραμμα 5.2β** Θερμοκρασία νερού της δεξαμενής σε διάφορα επίπεδα (3 έτος)**Διάγραμμα 5.2γ** Θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του κτηρίου (3 έτος)



Διάγραμμα 5.2δ Φορτία θέρμανσης (MWh)



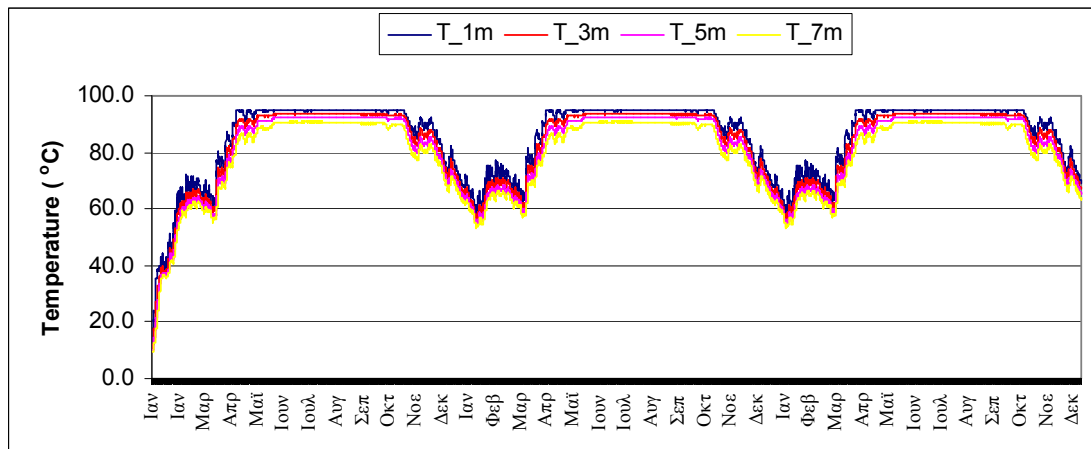
Διάγραμμα 5.2ε Απώλειες δεξαμενής (MWh)



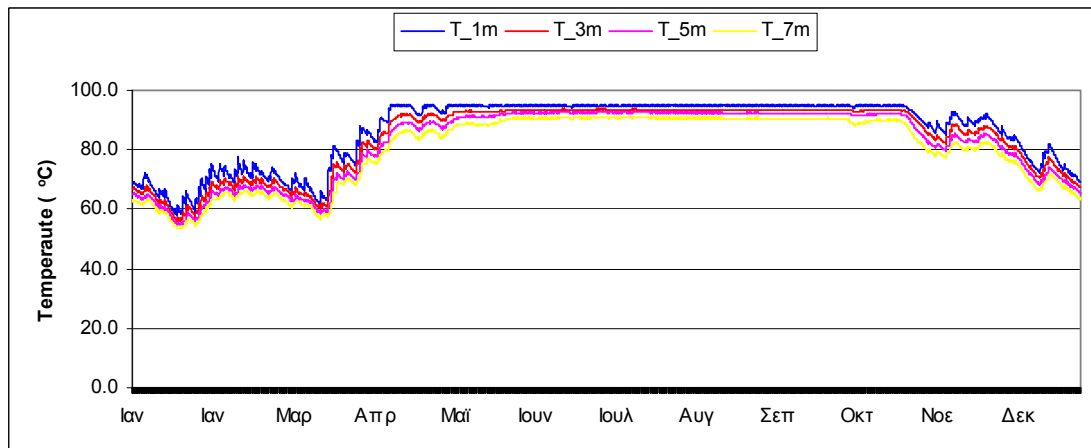
Διάγραμμα 5.2ζ Απόδοση συλλεκτών

Χρόνος	It (MWh)	Qu (MWh)	ncoll	Qneed (MWh)	Qsup (MWh)	SF	Qloss (MWh)	Qloss/Qu
Ιαν	20.69	6.94	34%	8.57	8.54	100%	0.51	7%
Φεβ	20.24	7.03	35%	7.36	7.14	97%	0.41	6%
Μαρ	23.95	8.35	35%	6.32	5.53	87%	0.49	6%
Απρ	30.56	8.67	28%	2.87	2.87	100%	0.86	10%
Μαι	34.28	6.50	19%	0.43	0.43	100%	1.28	20%
Ιουν	35.81	2.32	6%	0.00	0.00	0%	1.45	63%
Ιουλ	39.14	1.51	4%	0.00	0.00	0%	1.50	100%
Αυγ	40.49	1.47	4%	0.00	0.00	0%	1.50	102%
Σεπ	36.32	1.44	4%	0.00	0.00	0%	1.44	100%
Οκτ	28.23	1.37	5%	1.20	1.20	100%	1.48	108%
Νοεμ	19.28	2.56	13%	4.47	4.47	100%	1.18	46%
Δεκ	16.71	3.38	20%	7.38	7.38	100%	0.86	25%
Σύνολο	345.70	51.53	15%	38.60	37.56	97%	12.96	25%

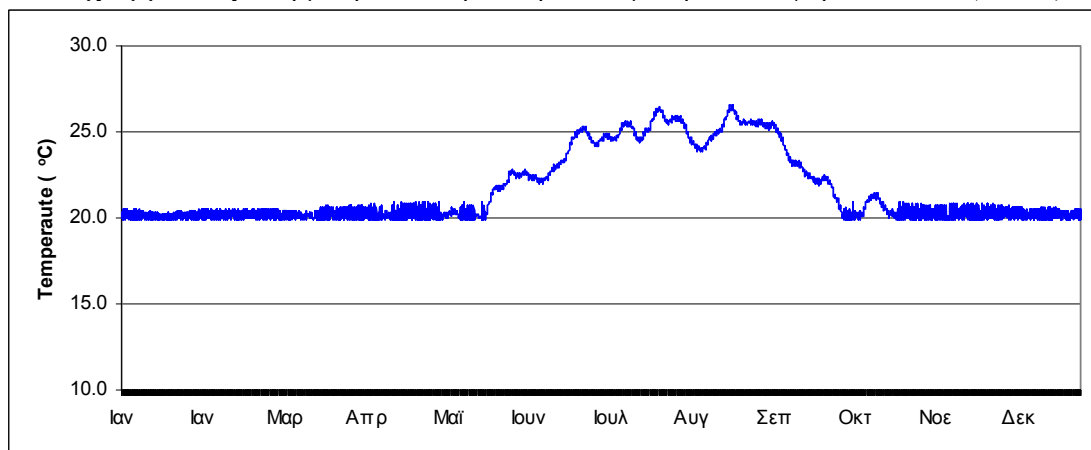
Πίνακας 5.2

3^η ΠερίπτωσηΕπιφάνεια Συλλεκτών: 500m²Όγκος Δεξαμενής; 200m³Θερμικό Φορτίο: 15W/m²

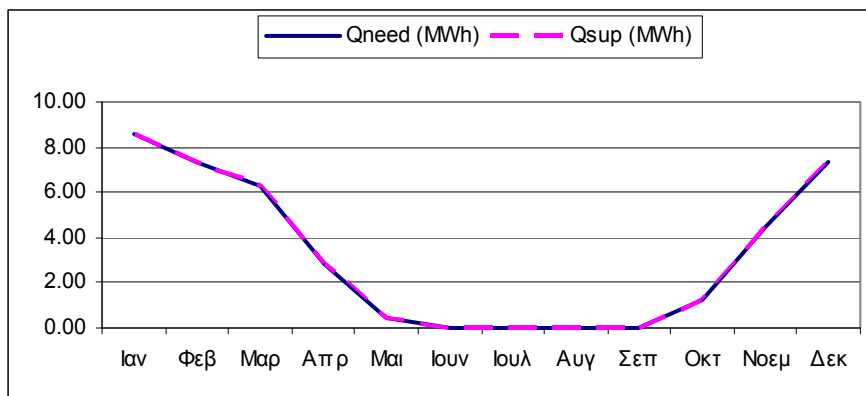
Διάγραμμα 5.3α Θερμοκρασία νερού της δεξαμενής σε διάφορα επίπεδα (3 έτη)



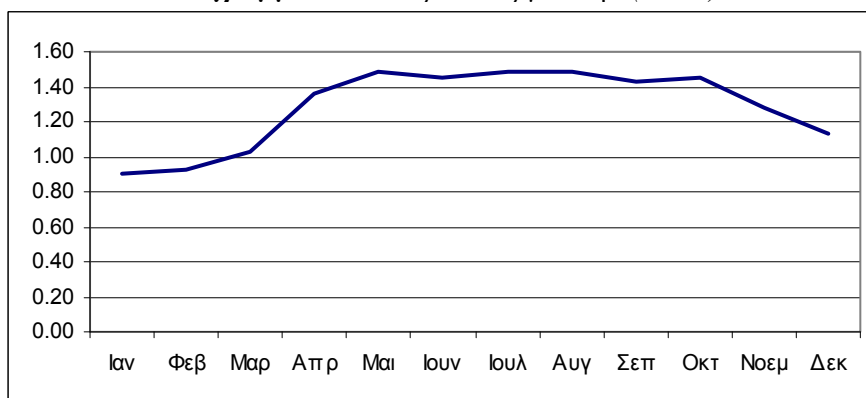
Διάγραμμα 5.3β Θερμοκρασία νερού της δεξαμενής σε διάφορα επίπεδα (3 έτος)



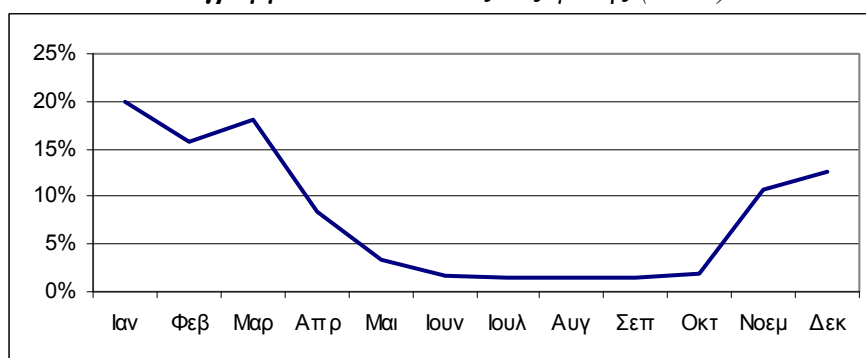
Διάγραμμα 5.3γ Θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του κτηρίου (3 έτος)



Διάγραμμα 5.3δ Φορτία θέρμανσης (MWh)



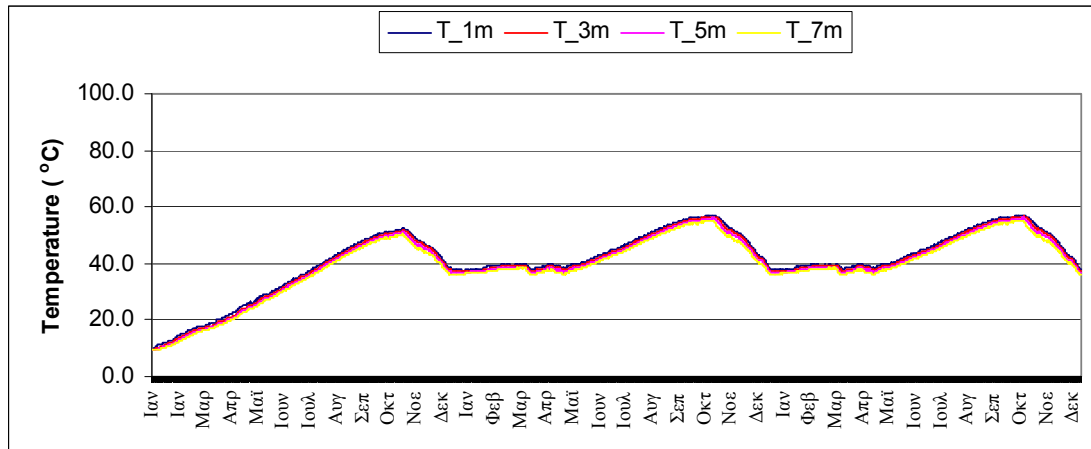
Διάγραμμα 5.3ε Απώλειες δεξαμενής (MWh)



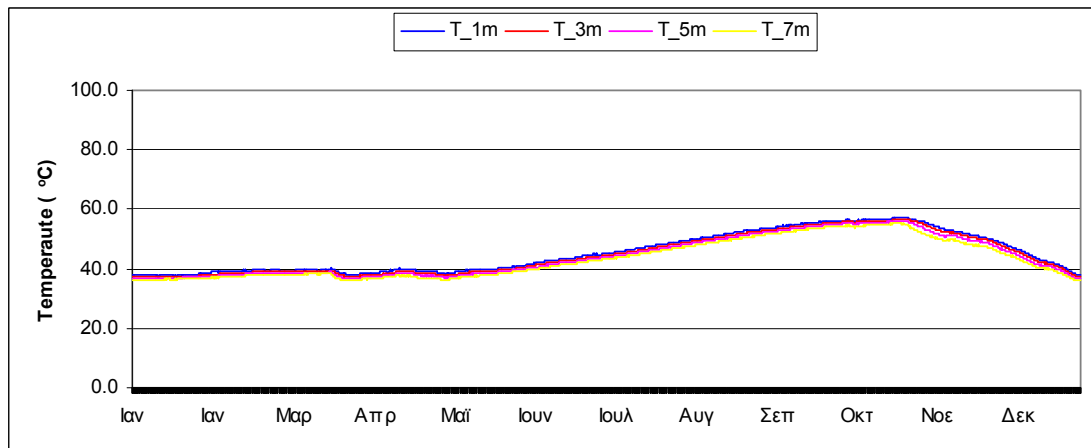
Διάγραμμα 5.3ζ Απόδοση συλλεκτών

Χρόνος	It (MWh)	Qu (MWh)	ncoll	Qneed (MWh)	Qsup (MWh)	SF	Qloss (MWh)	Qloss/Qu
Ιαν	51.74	10.29	20%	8.57	8.57	100%	0.90	9%
Φεβ	50.60	8.02	16%	7.36	7.36	100%	0.93	12%
Μαρ	59.87	10.87	18%	6.32	6.32	100%	1.03	9%
Απρ	76.41	6.45	8%	2.87	2.87	100%	1.36	21%
Μαι	85.69	2.88	3%	0.43	0.43	100%	1.49	52%
Ιουν	89.53	1.48	2%	0.00	0.00	0%	1.45	98%
Ιουλ	97.85	1.45	1%	0.00	0.00	0%	1.49	103%
Αυγ	101.21	1.46	1%	0.00	0.00	0%	1.48	102%
Σεπ	90.79	1.41	2%	0.00	0.00	0%	1.43	101%
Οκτ	70.57	1.40	2%	1.20	1.20	100%	1.46	104%
Νοεμ	48.21	5.17	11%	4.47	4.47	100%	1.28	25%
Δεκ	41.77	5.23	13%	7.38	7.38	100%	1.13	22%
Σύνολο	864.25	56.10	6%	38.60	38.60	100%	15.42	27%

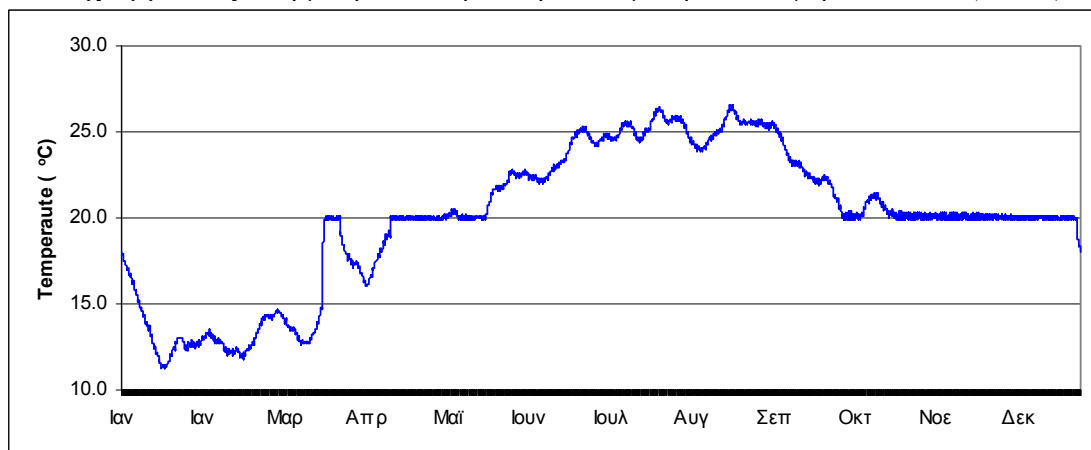
Πίνακας 5.3

4η ΠερίπτωσηΕπιφάνεια Συλλεκτών: 50m^2 Όγκος Δεξαμενής: 600m^3 Θερμικό Φορτίο: 15W/m^2 

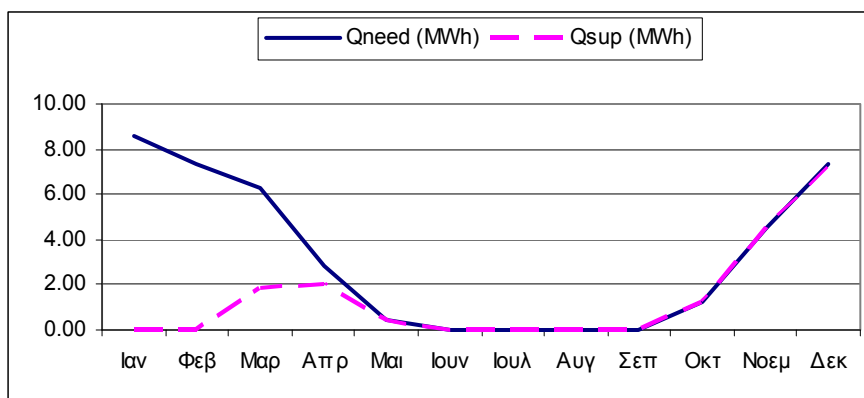
Διάγραμμα 5.4α Θερμοκρασία νερού της δεξαμενής σε διάφορα επίπεδα (3 έτη)



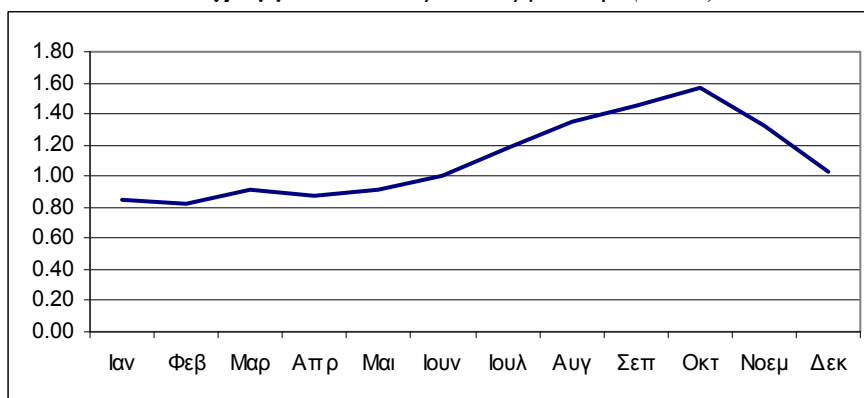
Διάγραμμα 5.4β Θερμοκρασία νερού της δεξαμενής σε διάφορα επίπεδα (3 έτος)



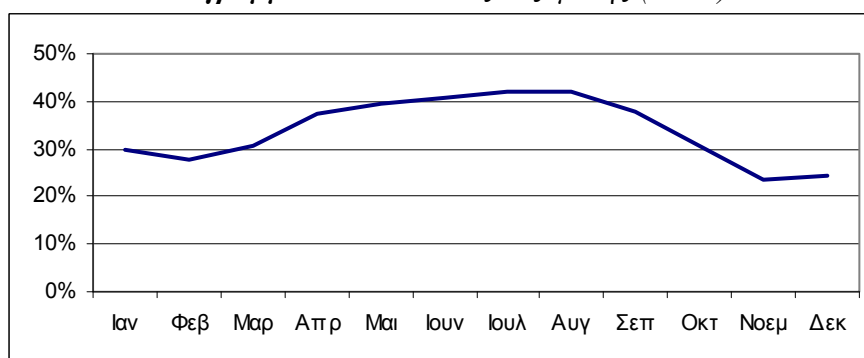
Διάγραμμα 5.4γ Θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του κτηρίου (3 έτος)



Διάγραμμα 5.4δ Φορτία θέρμανσης (MWh)



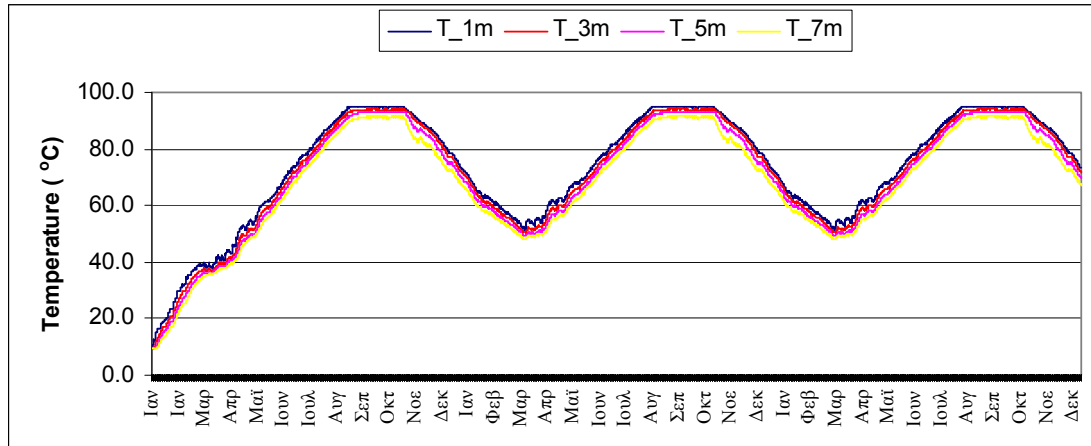
Διάγραμμα 5.4ε Απώλειες δεξαμενής (MWh)



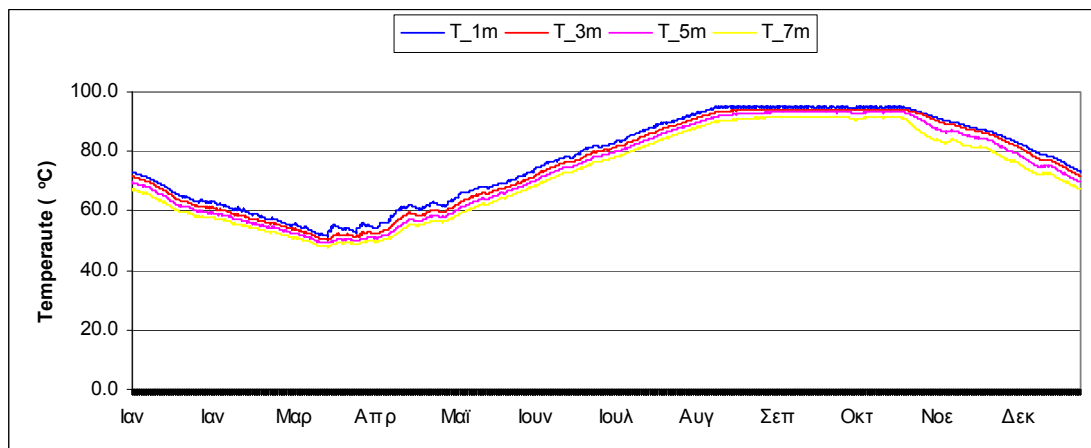
Διάγραμμα 5.4ζ Απόδοση συλλεκτών

Χρόνος	It (MWh)	Qu (MWh)	ncoll	Qneed (MWh)	Qsup (MWh)	SF	Qloss (MWh)	Qloss/Qu
Ιαν	5.17	1.55	30%	8.57	0.00	0%	0.85	55%
Φεβ	5.06	1.40	28%	7.36	0.00	0%	0.83	59%
Μαρ	5.99	1.84	31%	6.32	1.82	29%	0.91	49%
Απρ	7.64	2.86	37%	2.87	2.07	72%	0.87	30%
Μαι	8.57	3.38	39%	0.43	0.43	100%	0.92	27%
Ιουν	8.95	3.64	41%	0.00	0.00	0%	1.01	28%
Ιουλ	9.78	4.12	42%	0.00	0.00	0%	1.18	29%
Αυγ	10.12	4.24	42%	0.00	0.00	0%	1.35	32%
Σεπ	9.08	3.43	38%	0.00	0.00	0%	1.45	42%
Οκτ	7.06	2.15	31%	1.20	1.20	100%	1.56	73%
Νοεμ	4.82	1.13	23%	4.47	4.47	100%	1.33	117%
Δεκ	4.18	1.03	25%	7.38	7.13	97%	1.03	101%
Σύνολο	86.42	30.77	36%	38.60	17.13	44%	13.28	43%

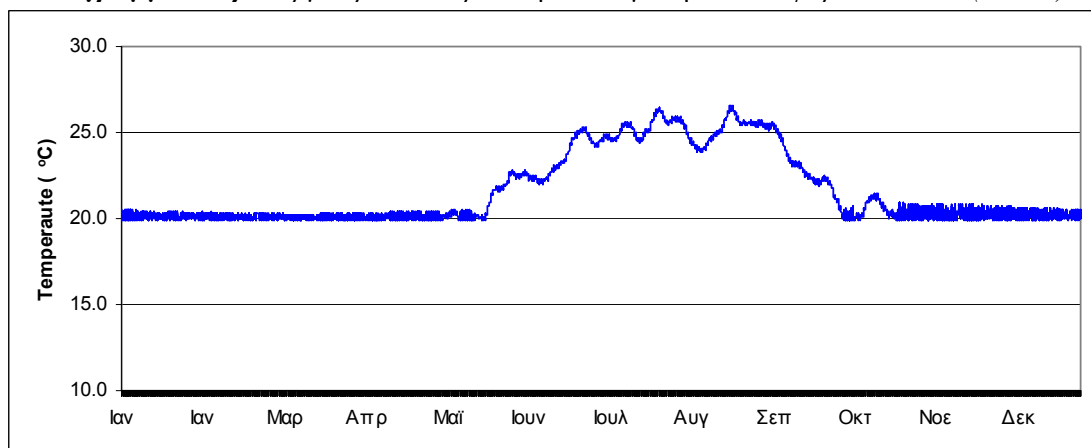
Πίνακας 5.4

5η ΠερίπτωσηΕπιφάνεια Συλλεκτών: 200m²Όγκος Δεξαμενής: 600m³Θερμικό Φορτίο: 15W/m²

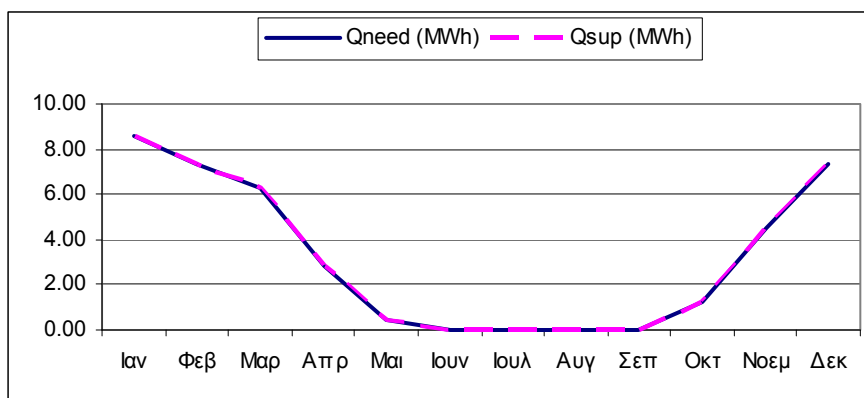
Διάγραμμα 5.5α Θερμοκρασία νερού της δεξαμενής σε διάφορα επίπεδα (3 έτη)



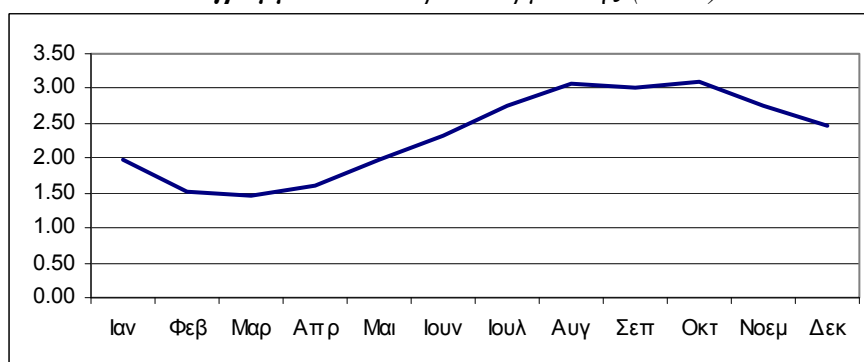
Διάγραμμα 5.5β Θερμοκρασία νερού της δεξαμενής σε διάφορα επίπεδα (3 έτος)



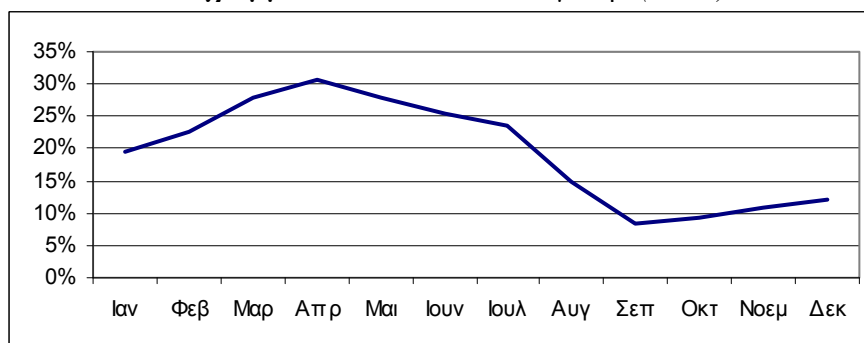
Διάγραμμα 5.5γ Θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του κτηρίου (3 έτος)



Διάγραμμα 5.5δ Φορτία θέρμανσης (MWh)



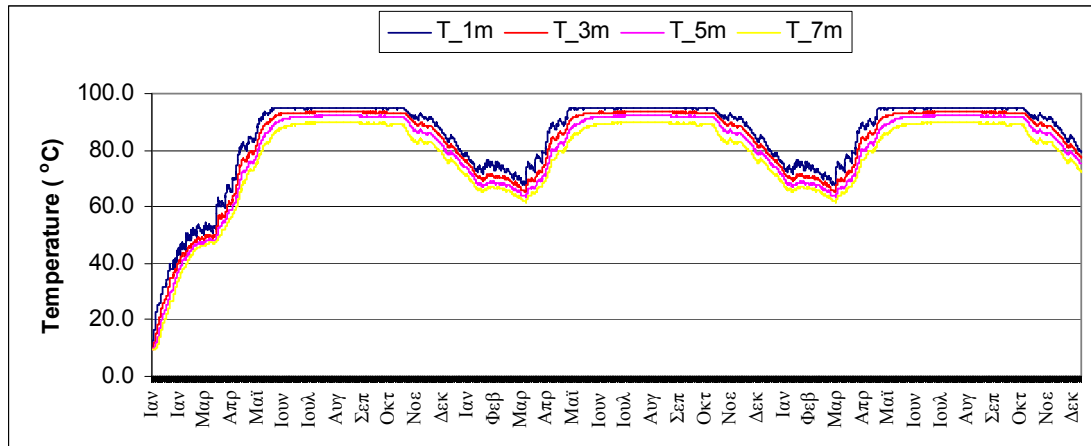
Διάγραμμα 5.5ε Απώλειες δεξαμενής (MWh)



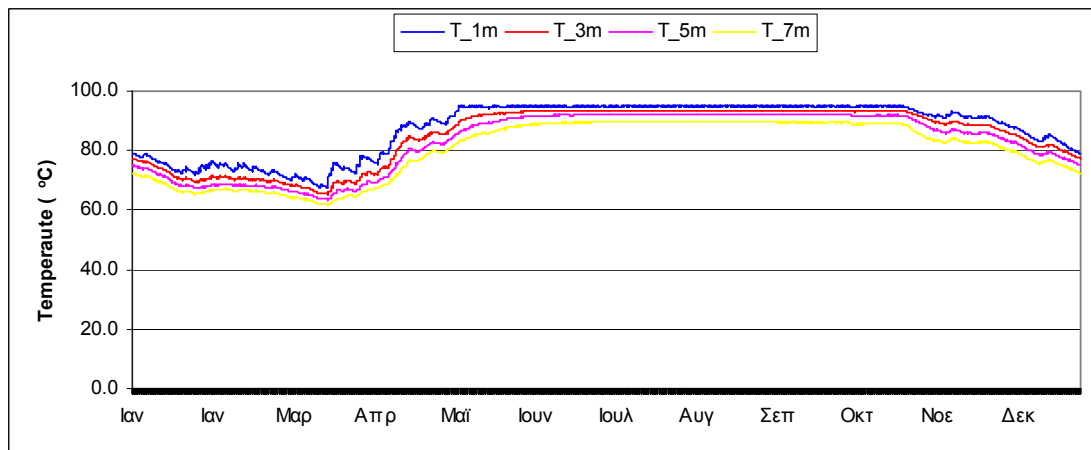
Διάγραμμα 5.5ζ Απόδοση συλλεκτών

Χρόνος	It (MWh)	Qu (MWh)	ncoll	Qneed (MWh)	Qsup (MWh)	SF	Qloss (MWh)	Qloss/Qu
Ιαν	20.69	4.06	20%	8.57	8.57	100%	1.98	49%
Φεβ	20.24	4.58	23%	7.36	7.36	100%	1.52	33%
Μαρ	23.95	6.65	28%	6.32	6.32	100%	1.46	22%
Απρ	30.56	9.42	31%	2.87	2.87	100%	1.60	17%
Μαι	34.28	9.59	28%	0.43	0.43	100%	1.99	21%
Ιουν	35.81	9.10	25%	0.00	0.00	0%	2.32	25%
Ιουλ	39.14	9.20	23%	0.00	0.00	0%	2.76	30%
Αυγ	40.49	6.01	15%	0.00	0.00	0%	3.08	51%
Σεπ	36.32	3.08	8%	0.00	0.00	0%	3.02	98%
Οκτ	28.23	2.65	9%	1.20	1.20	100%	3.11	117%
Νοεμ	19.28	2.06	11%	4.47	4.47	100%	2.75	133%
Δεκ	16.71	2.01	12%	7.38	7.38	100%	2.46	123%
Σύνολο	345.70	68.41	20%	38.60	38.60	100%	28.05	41%

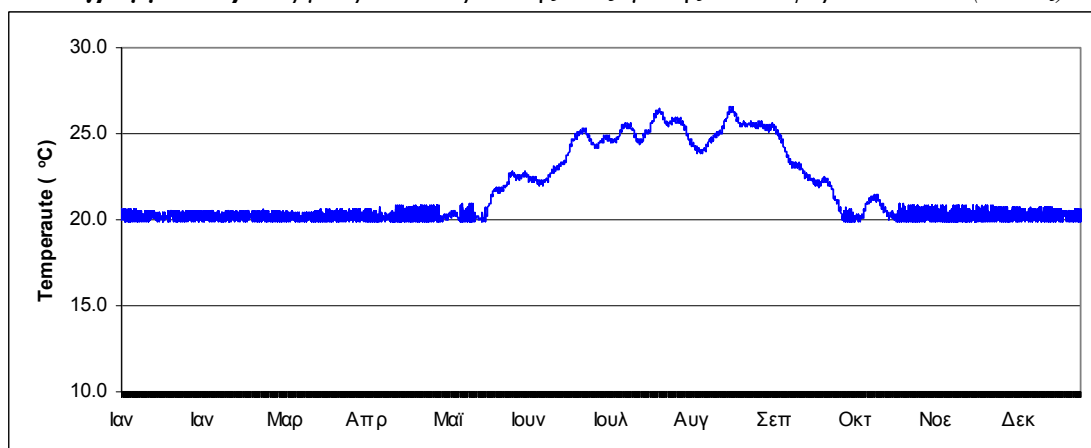
Πίνακας 5.5

6η ΠερίπτωσηΕπιφάνεια Συλλεκτών: 500m²Όγκος Δεξαμενής: 600m³Θερμικό Φορτίο: 15W/m²

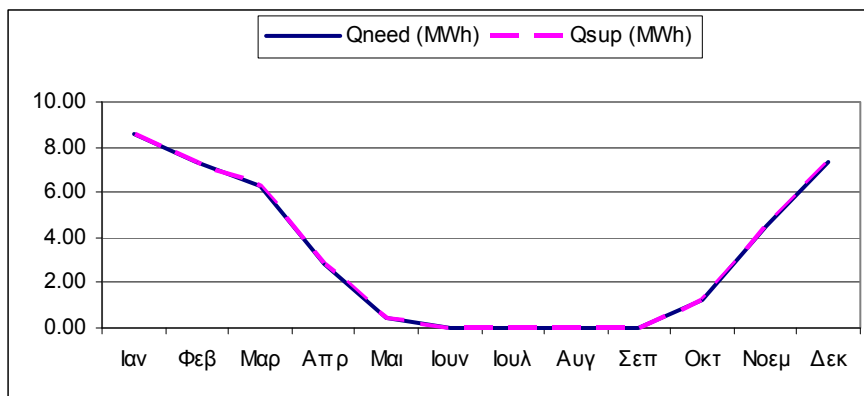
Διάγραμμα 5.6α Θερμοκρασία νερού της δεξαμενής σε διάφορα επίπεδα (3 έτη)



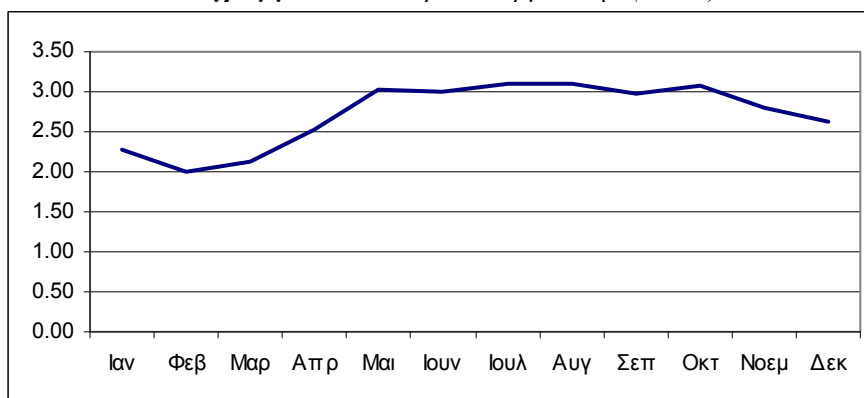
Διάγραμμα 5.6β Θερμοκρασία νερού της δεξαμενής σε διάφορα επίπεδα (3 έτος)



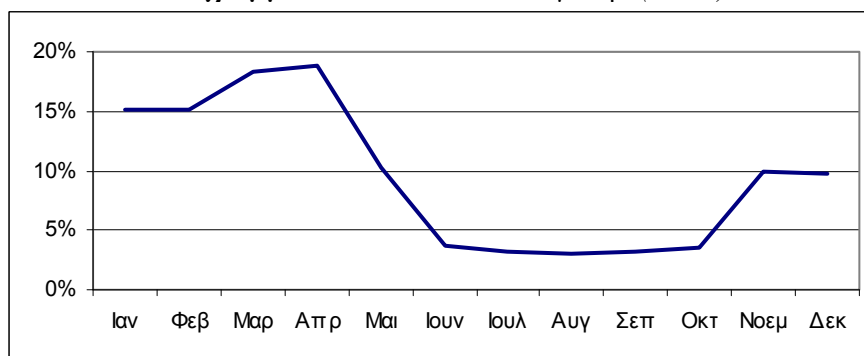
Διάγραμμα 5.6γ Θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του κτηρίου (3 έτος)



Διάγραμμα 5.6δ Φορτία θέρμανσης (MWh)



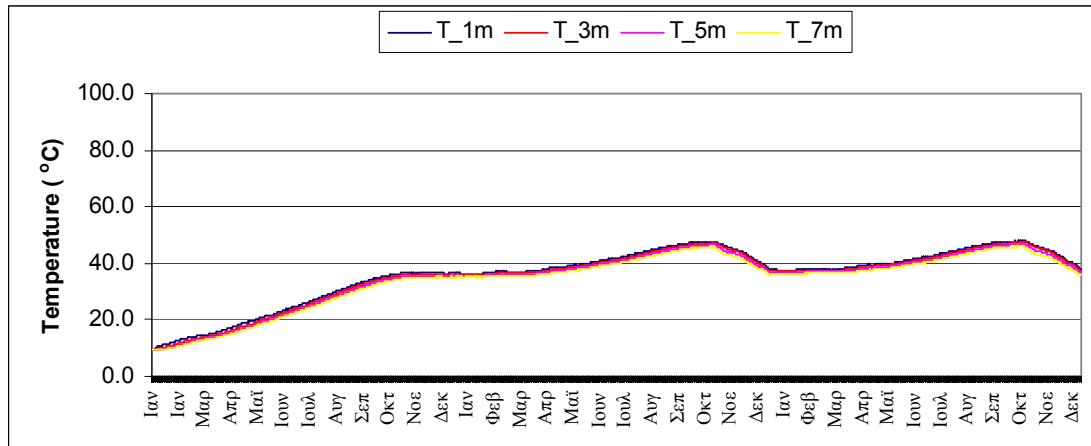
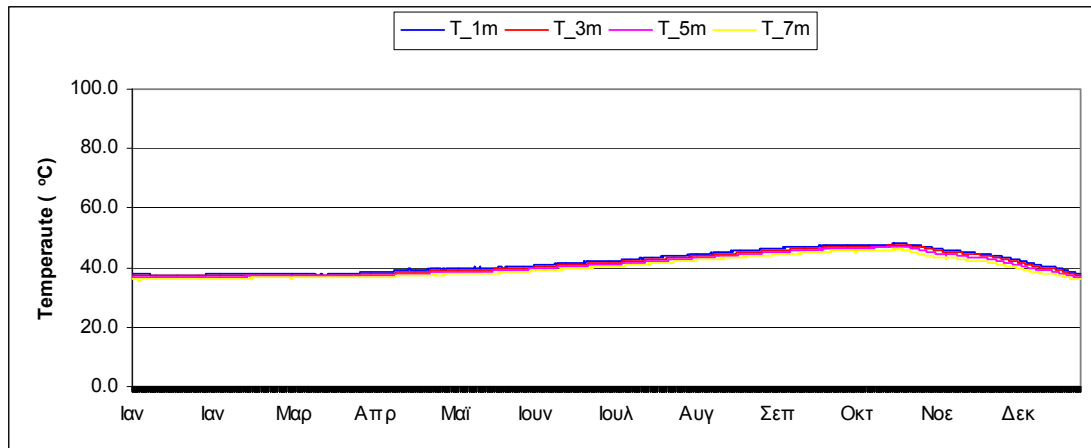
Διάγραμμα 5.6ε Απώλειες δεξαμενής (MWh)

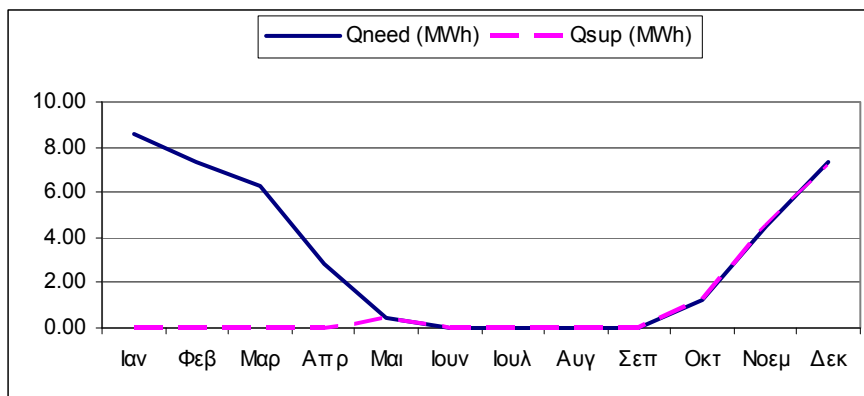


Διάγραμμα 5.6ζ Απόδοση συλλεκτών

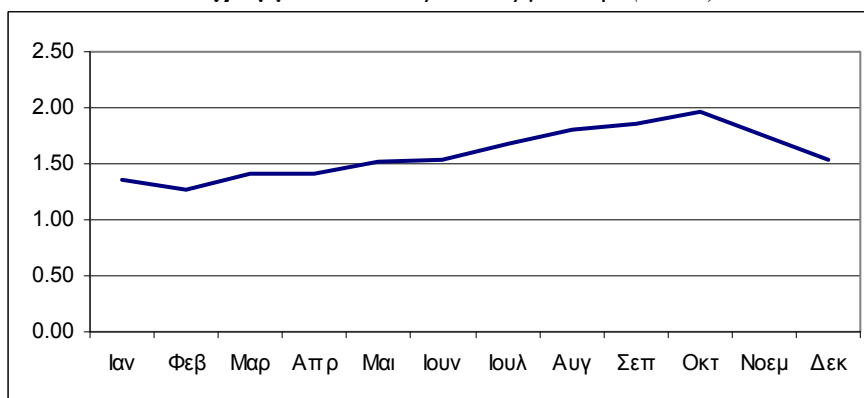
Χρόνος	It (MWh)	Qu (MWh)	ncoll	Qneed (MWh)	Qsup (MWh)	SF	Qloss (MWh)	Qloss/Qu
Ιαν	51.74	7.80	15%	8.57	8.57	100%	2.28	29%
Φεβ	50.60	7.63	15%	7.36	7.36	100%	2.00	26%
Μαρ	59.87	10.96	18%	6.32	6.32	100%	2.13	19%
Απρ	76.41	14.45	19%	2.87	2.87	100%	2.51	17%
Μαι	85.69	8.79	10%	0.43	0.43	100%	3.03	34%
Ιουν	89.53	3.36	4%	0.00	0.00	0%	3.01	90%
Ιουλ	97.85	3.11	3%	0.00	0.00	0%	3.11	100%
Αυγ	101.21	3.06	3%	0.00	0.00	0%	3.09	101%
Σεπ	90.79	2.93	3%	0.00	0.00	0%	2.99	102%
Οκτ	70.57	2.54	4%	1.20	1.20	100%	3.07	121%
Νοεμ	48.21	4.74	10%	4.47	4.47	100%	2.80	59%
Δεκ	41.77	4.06	10%	7.38	7.38	100%	2.64	65%
Σύνολο	864.25	73.43	8%	38.60	38.60	100%	32.65	44%

Πίνακας 5.6

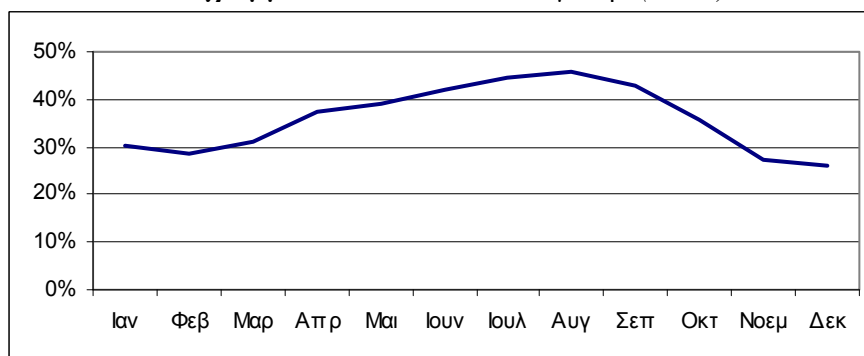
7^η ΠερίπτωσηΕπιφάνεια Συλλεκτών: 50m²Ογκος Δεξαμενής; 1200m³Θερμικό Φορτίο: 15W/m²**Διάγραμμα 5.7α** Θερμοκρασία νερού της δεξαμενής σε διάφορα επίπεδα (3 έτη)**Διάγραμμα 5.7β** Θερμοκρασία νερού της δεξαμενής σε διάφορα επίπεδα (3 έτος)**Διάγραμμα 5.7γ** Θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του κτηρίου (3 έτος)



Διάγραμμα 5.7δ Φορτία θέρμανσης (MWh)



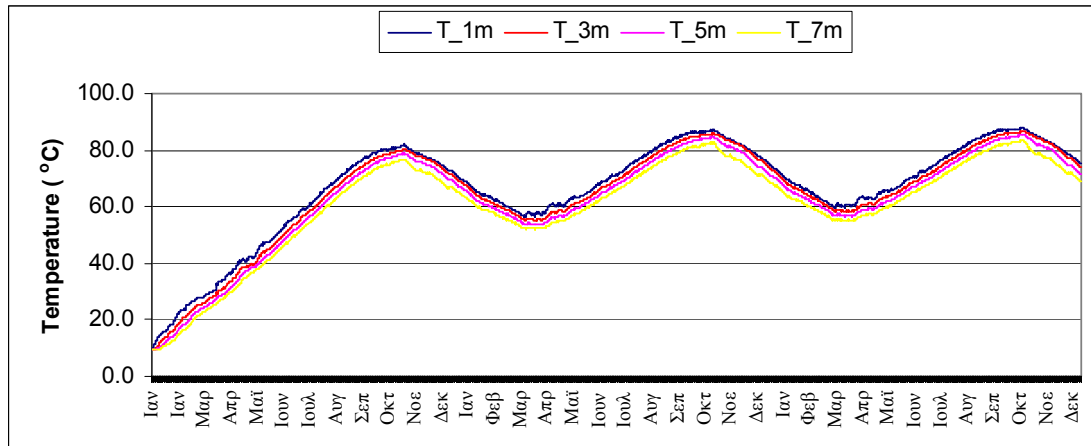
Διάγραμμα 5.7ε Απώλειες δεξαμενής (MWh)



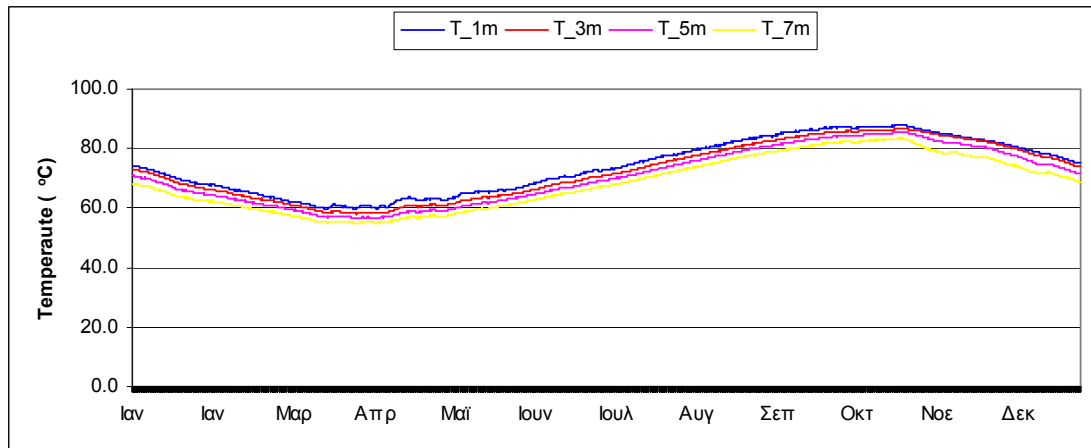
Διάγραμμα 5.7ζ Απόδοση συλλεκτών

Χρόνος	It (MWh)	Qu (MWh)	ncoll	Qneed (MWh)	Qsup (MWh)	SF	Qloss (MWh)	Qloss/Qu
Ιαν	5.17	1.57	30%	8.57	0.00	0%	1.35	86%
Φεβ	5.06	1.45	29%	7.36	0.00	0%	1.26	87%
Μαρ	5.99	1.87	31%	6.32	0.00	0%	1.41	75%
Απρ	7.64	2.85	37%	2.87	0.00	0%	1.41	50%
Μαι	8.57	3.36	39%	0.43	0.43	100%	1.51	45%
Ιουν	8.95	3.75	42%	0.00	0.00	0%	1.53	41%
Ιουλ	9.78	4.37	45%	0.00	0.00	0%	1.67	38%
Αυγ	10.12	4.63	46%	0.00	0.00	0%	1.79	39%
Σεπ	9.08	3.88	43%	0.00	0.00	0%	1.85	48%
Οκτ	7.06	2.53	36%	1.20	1.20	100%	1.97	78%
Νοεμ	4.82	1.32	27%	4.47	4.47	100%	1.75	133%
Δεκ	4.18	1.09	26%	7.38	7.21	98%	1.53	140%
Σύνολο	86.42	32.68	38%	38.60	13.32	34%	19.04	58%

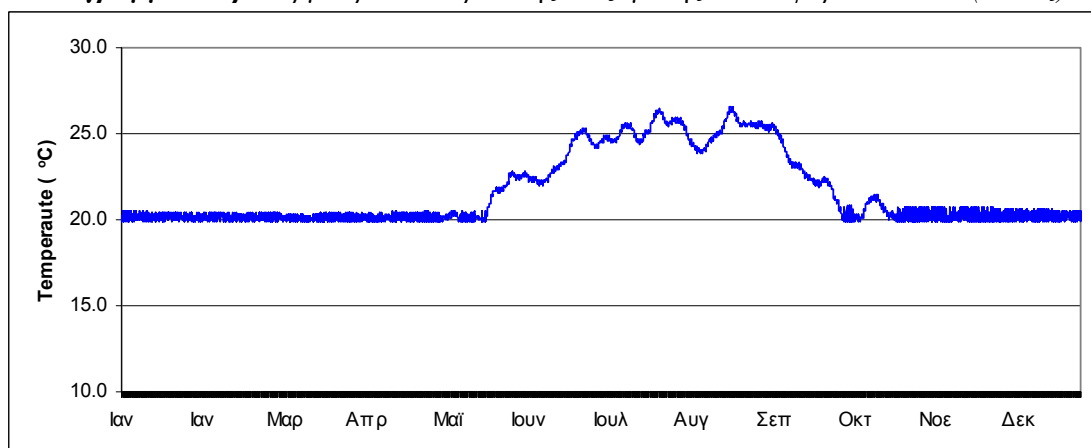
Πίνακας 5.7

8^η ΠερίπτωσηΕπιφάνεια Συλλεκτών: 200m²Ογκος Δεξαμενής; 1200m³Θερμικό Φορτίο: 15W/m²

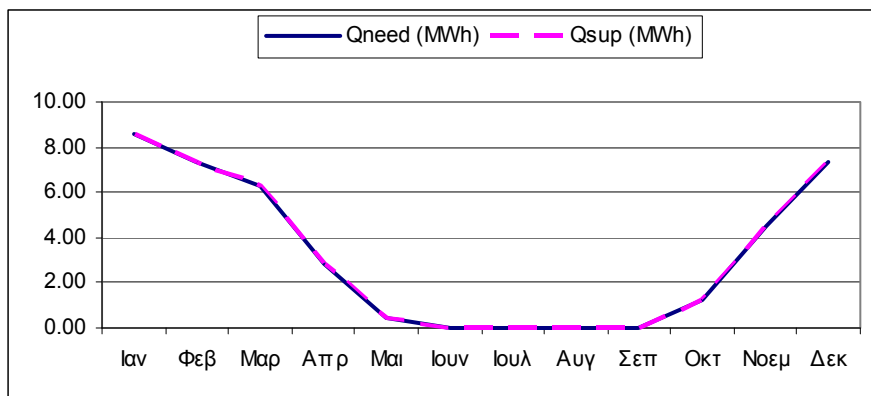
Διάγραμμα 5.8α Θερμοκρασία νερού της δεξαμενής σε διάφορα επίπεδα (3 έτη)



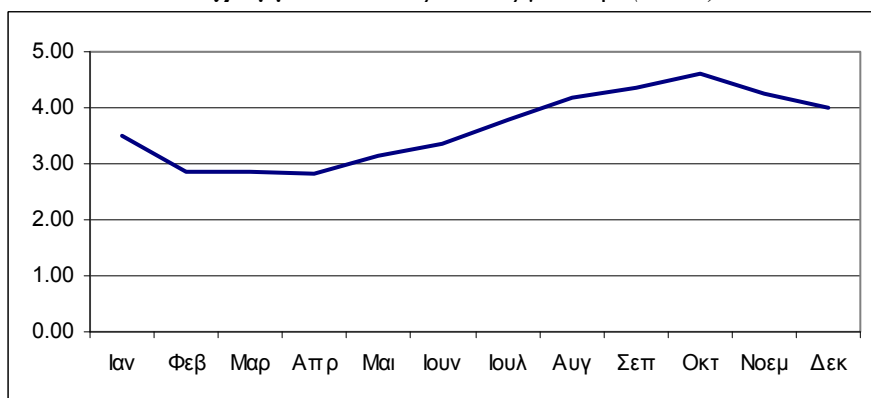
Διάγραμμα 5.8β Θερμοκρασία νερού της δεξαμενής σε διάφορα επίπεδα (3 έτος)



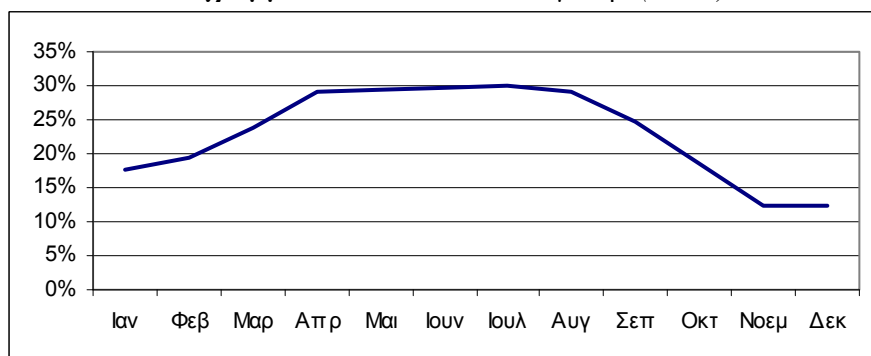
Διάγραμμα 5.8γ Θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του κτηρίου (3 έτος)



Διάγραμμα 5.8δ Φορτία θέρμανσης (MWh)



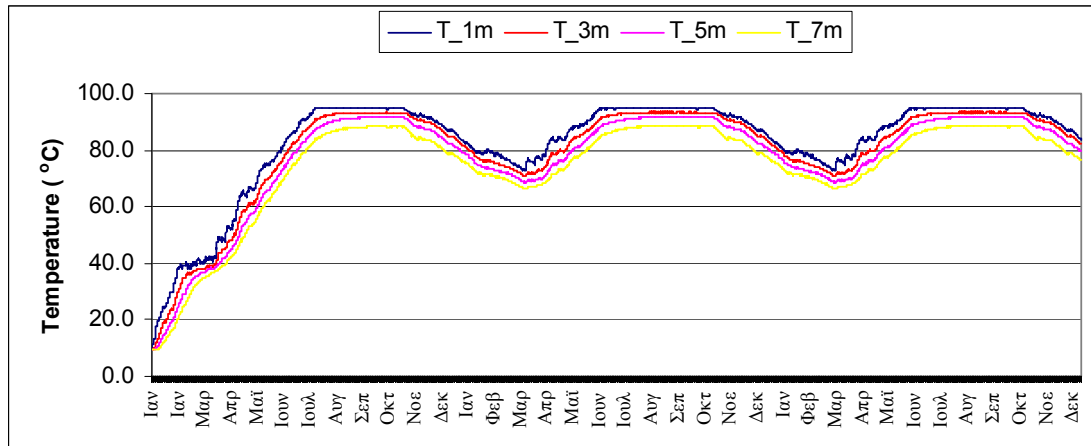
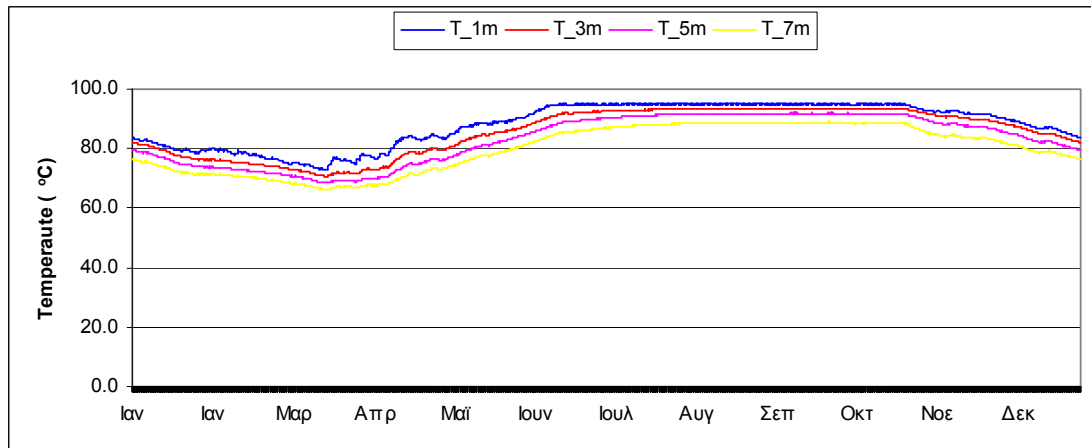
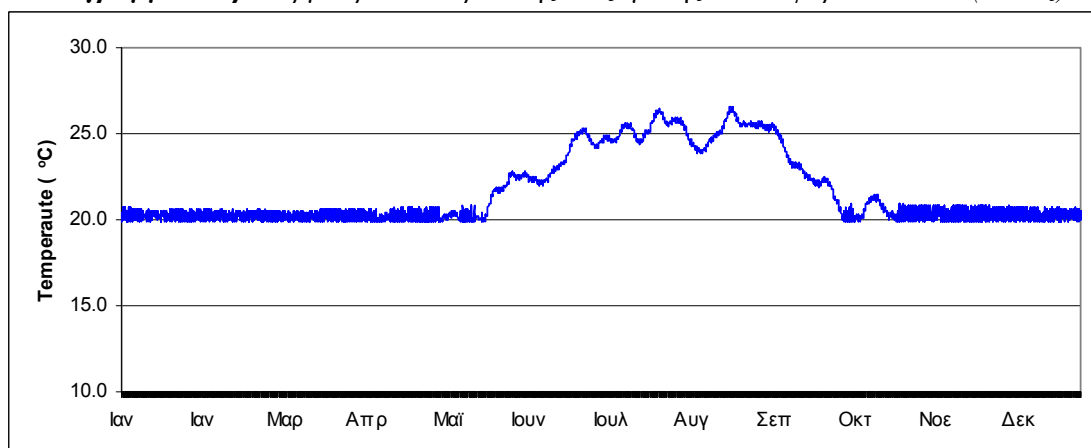
Διάγραμμα 5.8ε Απώλειες δεξαμενής (MWh)

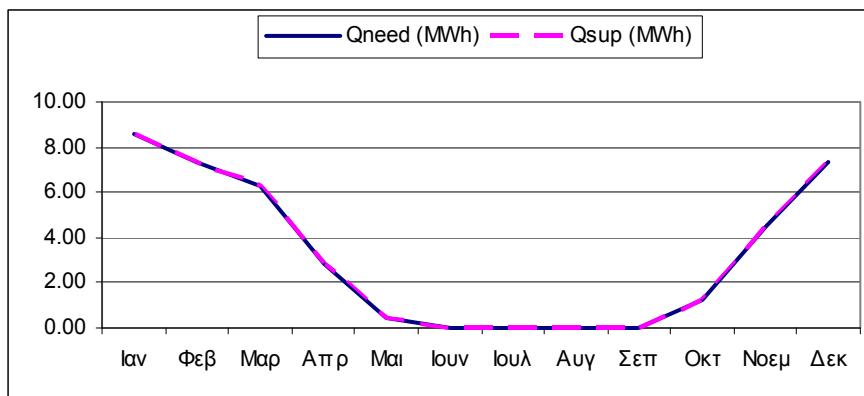


Διάγραμμα 5.8ζ Απόδοση συλλεκτών

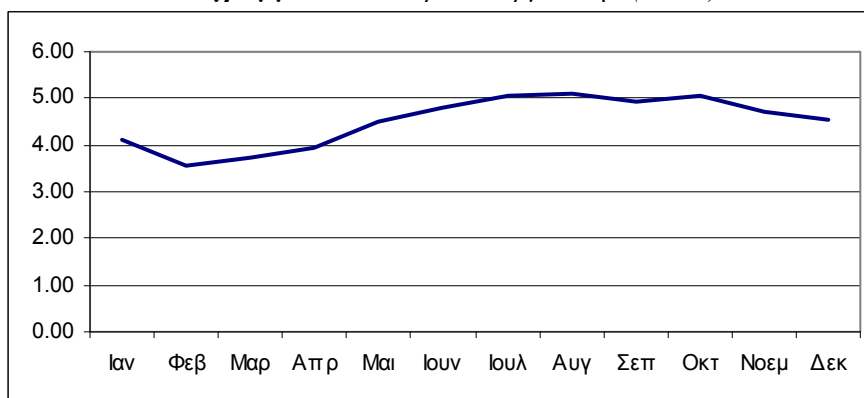
Χρόνος	It (MWh)	Qu (MWh)	ncoll	Qneed (MWh)	Qsup (MWh)	SF	Qloss (MWh)	Qloss/Qu
Ιαν	20.69	3.68	18%	8.57	8.57	100%	3.50	95%
Φεβ	20.24	3.93	19%	7.36	7.36	100%	2.85	72%
Μαρ	23.95	5.71	24%	6.32	6.32	100%	2.87	50%
Απρ	30.56	8.88	29%	2.87	2.87	100%	2.82	32%
Μαι	34.28	10.06	29%	0.43	0.43	100%	3.13	31%
Ιουν	35.81	10.59	30%	0.00	0.00	0%	3.34	32%
Ιουλ	39.14	11.69	30%	0.00	0.00	0%	3.79	32%
Αυγ	40.49	11.75	29%	0.00	0.00	0%	4.18	36%
Σεπ	36.32	9.01	25%	0.00	0.00	0%	4.34	48%
Οκτ	28.23	5.26	19%	1.20	1.20	100%	4.62	88%
Νοεμ	19.28	2.38	12%	4.47	4.47	100%	4.24	178%
Δεκ	16.71	2.05	12%	7.38	7.38	100%	4.01	196%
Σύνολο	345.70	84.99	25%	38.60	38.60	100%	43.68	51%

Πίνακας 5.8

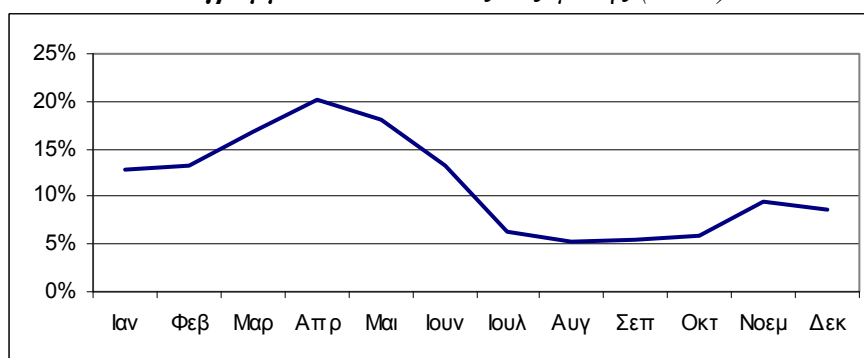
9^η ΠερίπτωσηΕπιφάνεια Συλλεκτών: 500m²Όγκος Δεξαμενής: 1200m³Θερμικό Φορτίο: 15W/m²**Διάγραμμα 5.9α** Θερμοκρασία νερού της δεξαμενής σε διάφορα επίπεδα (3 έτη)**Διάγραμμα 5.9β** Θερμοκρασία νερού της δεξαμενής σε διάφορα επίπεδα (3 έτος)**Διάγραμμα 5.9γ** Θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του κτηρίου (3 έτος)



Διάγραμμα 5.9δ Φορτία θέρμανσης (MWh)



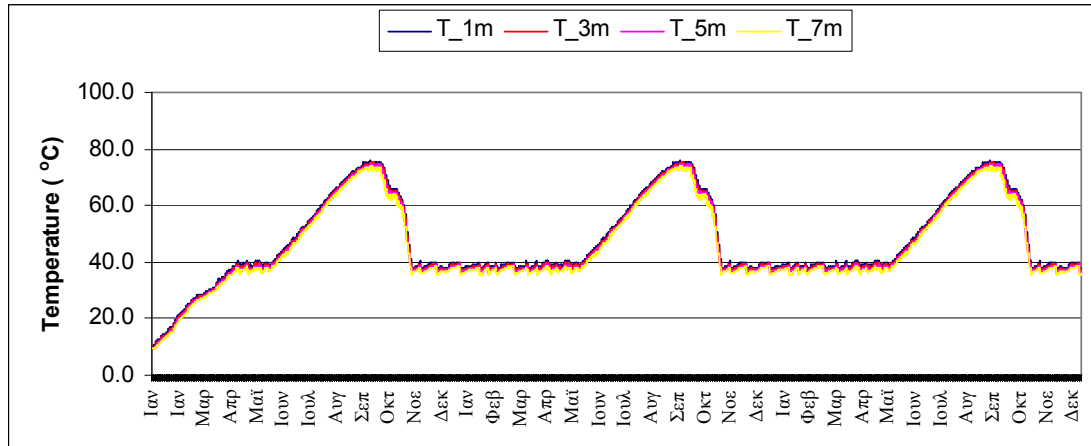
Διάγραμμα 5.9ε Απώλειες δεξαμενής (MWh)



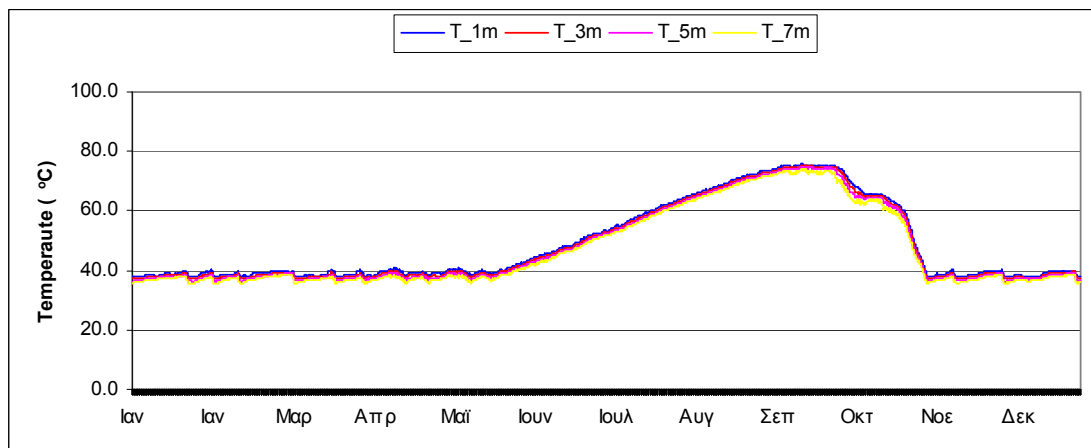
Διάγραμμα 5.9ζ Απόδοση συλλεκτών

Χρόνος	It (MWh)	Qu (MWh)	ncoll	Qneed (MWh)	Qsup (MWh)	SF	Qloss (MWh)	Qloss/Qu
Ιαν	51.74	6.63	13%	8.57	8.57	100%	4.13	62%
Φεβ	50.60	6.66	13%	7.36	7.36	100%	3.56	53%
Μαρ	59.87	10.05	17%	6.32	6.32	100%	3.74	37%
Απρ	76.41	15.45	20%	2.87	2.87	100%	3.93	25%
Μαι	85.69	15.53	18%	0.43	0.43	100%	4.51	29%
Ιουν	89.53	11.89	13%	0.00	0.00	0%	4.80	40%
Ιουλ	97.85	6.19	6%	0.00	0.00	0%	5.08	82%
Αυγ	101.21	5.32	5%	0.00	0.00	0%	5.09	96%
Σεπ	90.79	4.91	5%	0.00	0.00	0%	4.92	100%
Οκτ	70.57	4.08	6%	1.20	1.20	100%	5.07	124%
Νοεμ	48.21	4.58	10%	4.47	4.47	100%	4.70	103%
Δεκ	41.77	3.64	9%	7.38	7.38	100%	4.55	125%
Σύνολο	864.25	94.92	11%	38.60	38.60	100%	54.08	57%

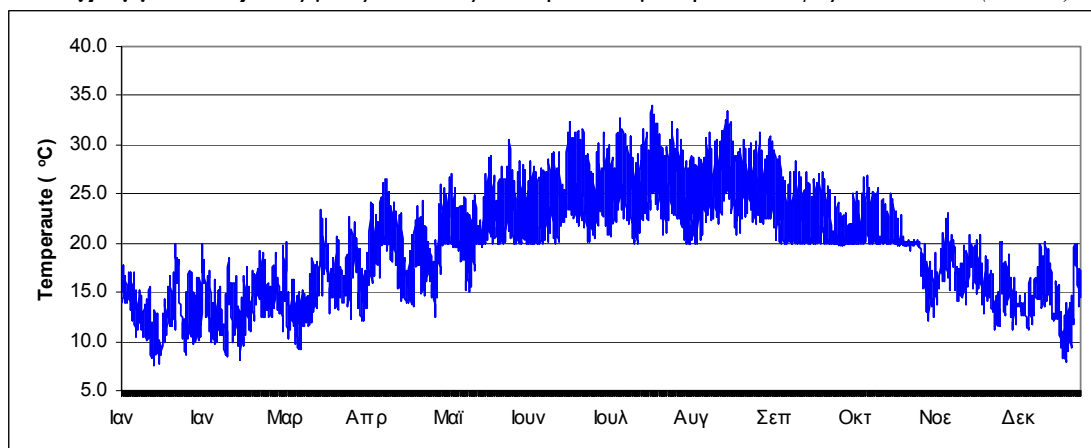
Πίνακας 5.9

10^η ΠερίπτωσηΕπιφάνεια Συλλεκτών: 50m²Όγκος Δεξαμενής: 200m³Θερμικό Φορτίο: 65W/m²

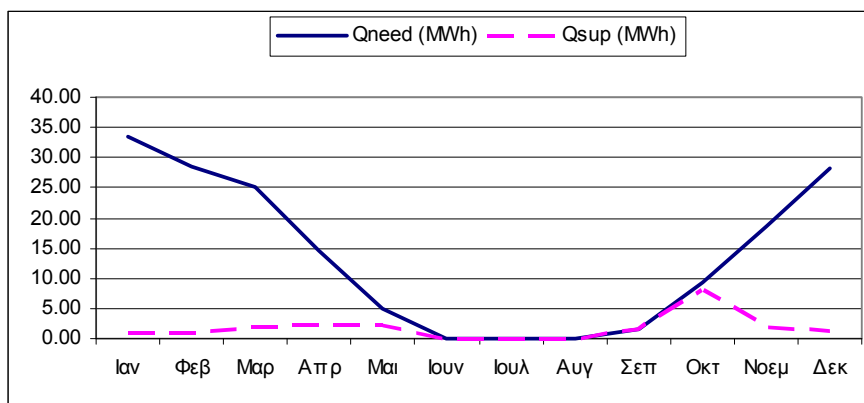
Διάγραμμα 5.10α Θερμοκρασία νερού της δεξαμενής σε διάφορα επίπεδα (3 έτη)



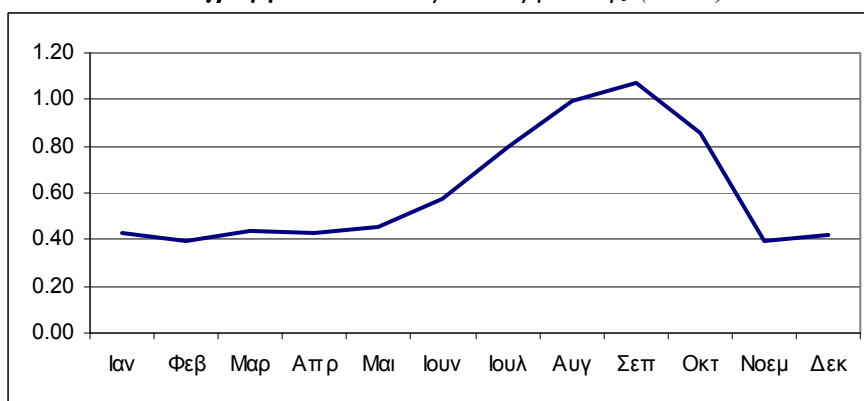
Διάγραμμα 5.10β Θερμοκρασία νερού της δεξαμενής σε διάφορα επίπεδα (3 έτος)



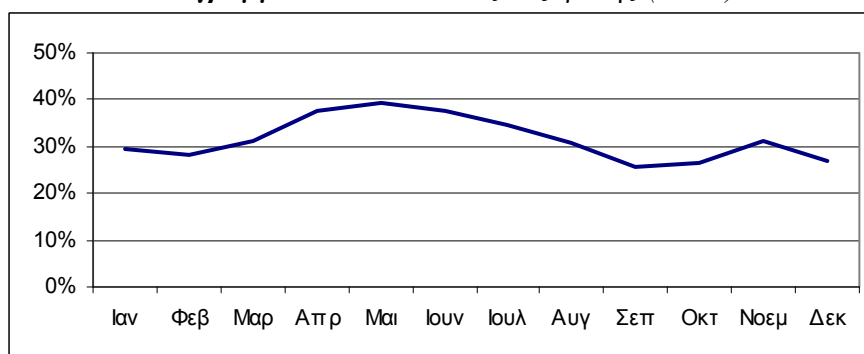
Διάγραμμα 5.10γ Θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του κτηρίου (3 έτος)



Διάγραμμα 5.10δ Φορτία θέρμανσης (MWh)



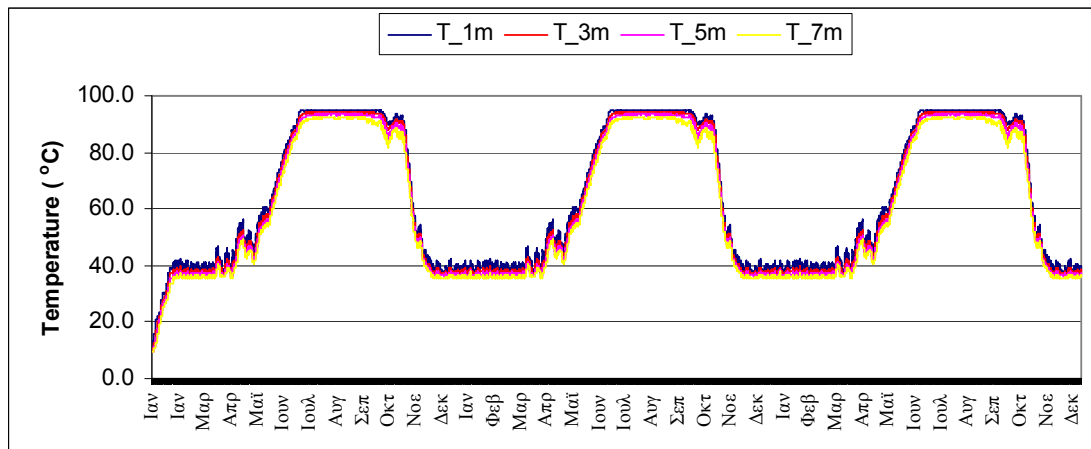
Διάγραμμα 5.10ε Απώλειες δεξαμενής (MWh)



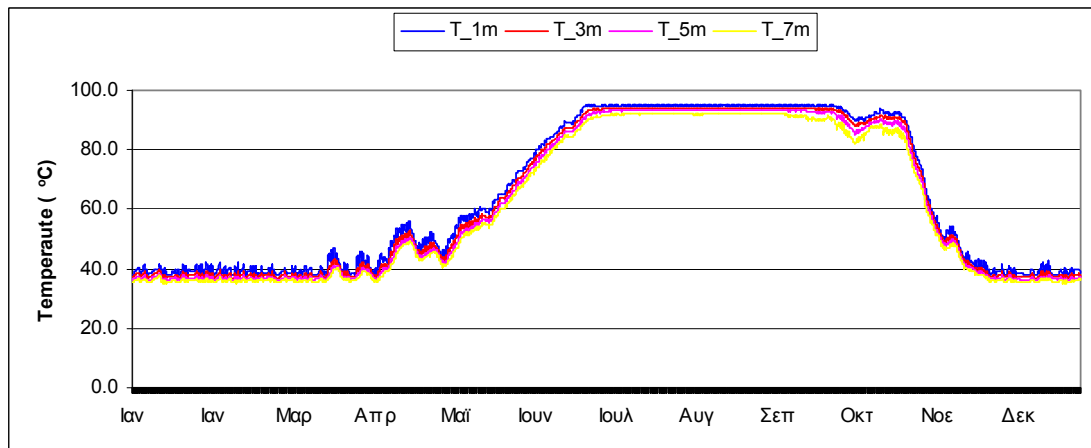
Διάγραμμα 5.10ζ Απόδοση συλλεκτών

Χρόνος	It (MWh)	Qu (MWh)	ncoll	Qneed (MWh)	Qsup (MWh)	SF	Qloss (MWh)	Qloss/Qu
Ιαν	5.17	1.53	30%	33.63	0.80	2%	0.43	28%
Φεβ	5.06	1.43	28%	28.38	0.83	3%	0.39	28%
Μαρ	5.99	1.86	31%	25.23	1.92	8%	0.44	23%
Απρ	7.64	2.86	37%	14.67	2.12	14%	0.43	15%
Μαι	8.57	3.37	39%	4.93	2.10	43%	0.45	13%
Ιουν	8.95	3.37	38%	0.00	0.00	0%	0.58	17%
Ιουλ	9.78	3.39	35%	0.00	0.00	0%	0.80	24%
Αυγ	10.12	3.14	31%	0.00	0.00	0%	0.99	32%
Σεπ	9.08	2.32	26%	1.59	1.59	100%	1.07	46%
Οκτ	7.06	1.88	27%	9.21	7.92	86%	0.86	46%
Νοεμ	4.82	1.50	31%	18.70	1.77	9%	0.40	27%
Δεκ	4.18	1.12	27%	28.07	1.22	4%	0.42	37%
Σύνολο	86.42	27.77	32%	164.40	20.25	12%	7.25	26%

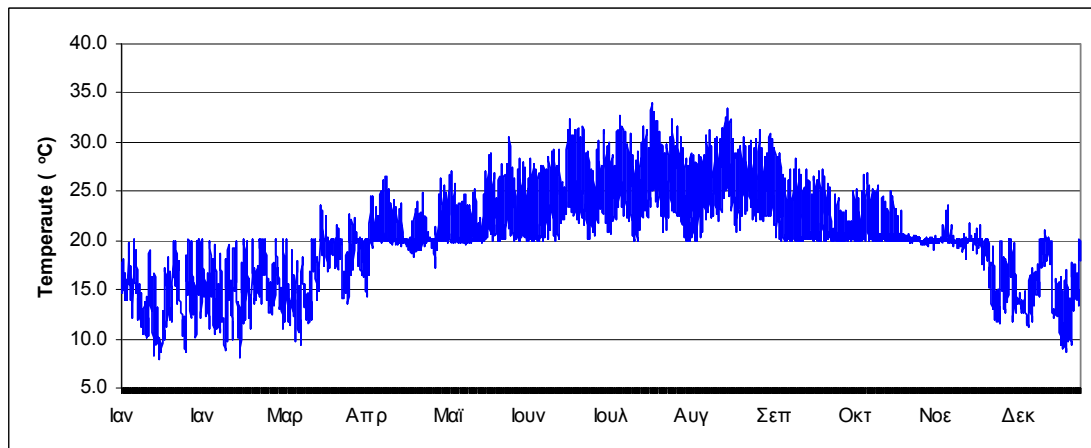
Πίνακας 5.10

11^η ΠερίπτωσηΕπιφάνεια Συλλεκτών: 200m²Όγκος Δεξαμενής; 200m³Θερμικό Φορτίο: 65W/m²

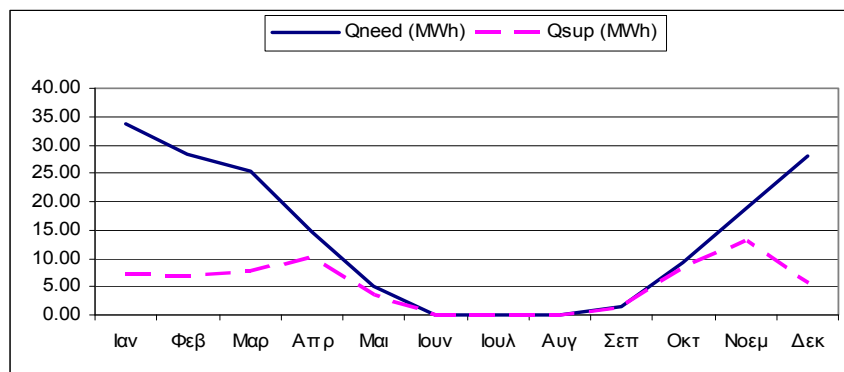
Διάγραμμα 5.11α Θερμοκρασία νερού της δεξαμενής σε διάφορα επίπεδα (3 έτη)



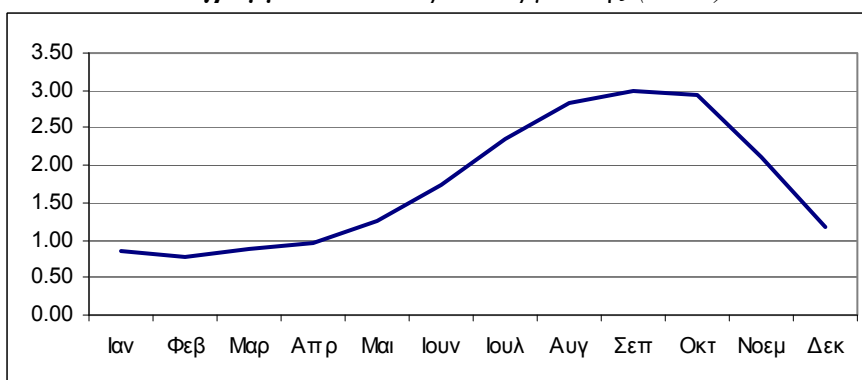
Διάγραμμα 5.11β Θερμοκρασία νερού της δεξαμενής σε διάφορα επίπεδα (3 έτος)



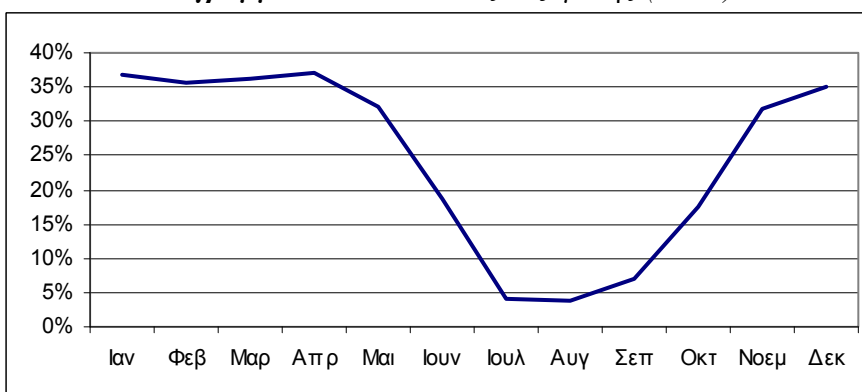
Διάγραμμα 5.11γ Θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του κτηρίου (3 έτος)



Διάγραμμα 5.11δ Φορτία θέρμανσης (MWh)



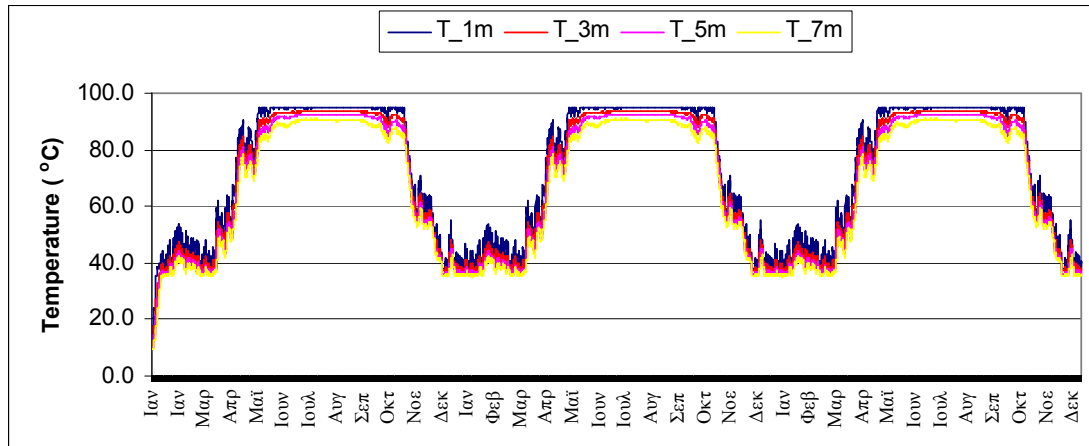
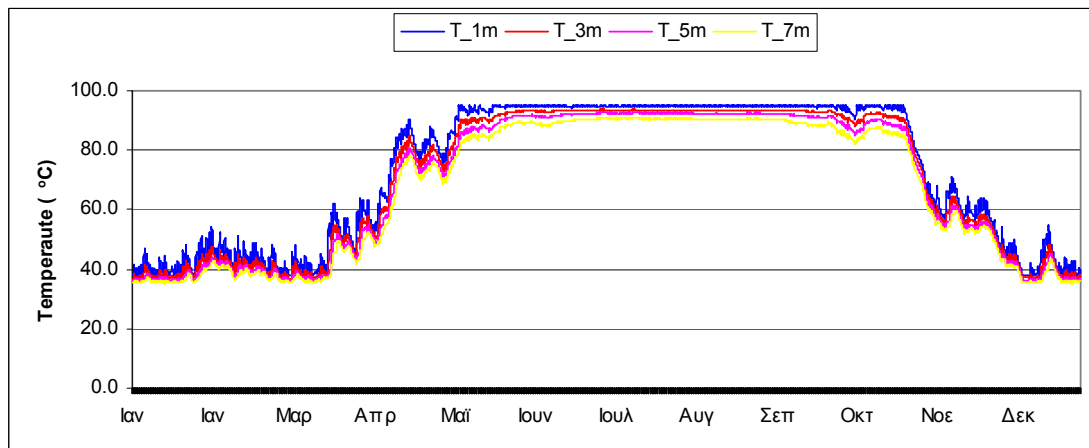
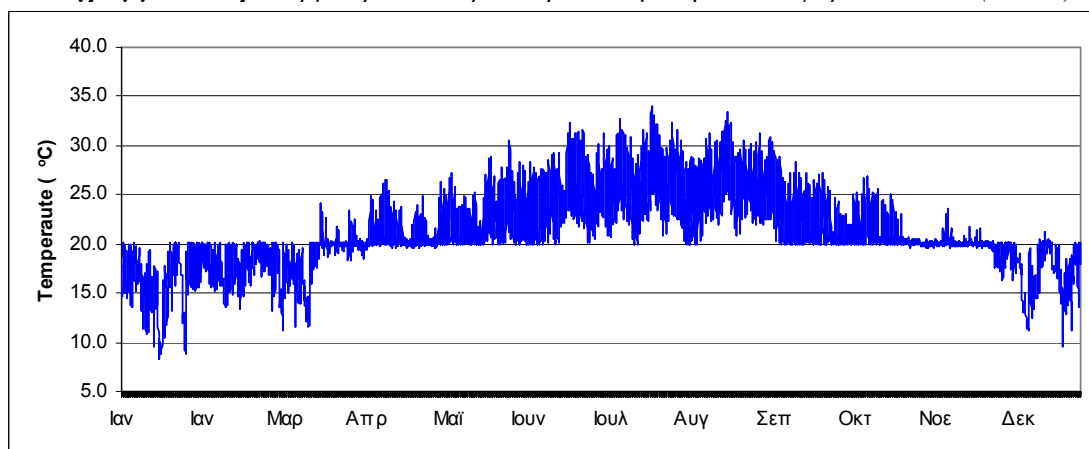
Διάγραμμα 5.11ε Απώλειες δεξαμενής (MWh)

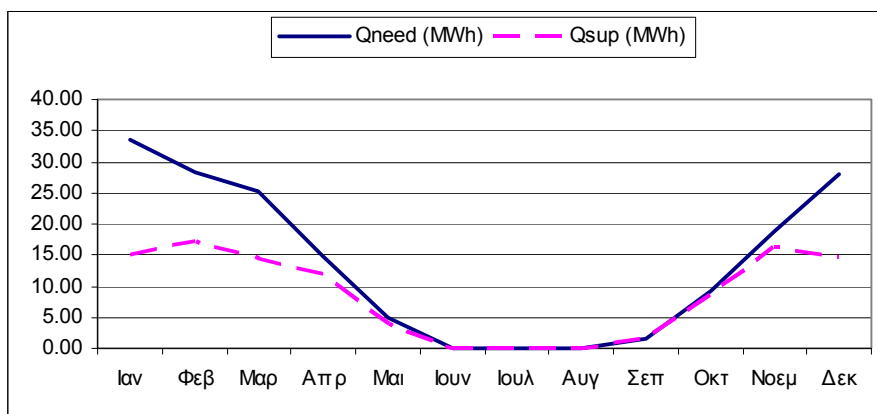


Διάγραμμα 5.11ζ Απόδοση συλλεκτών

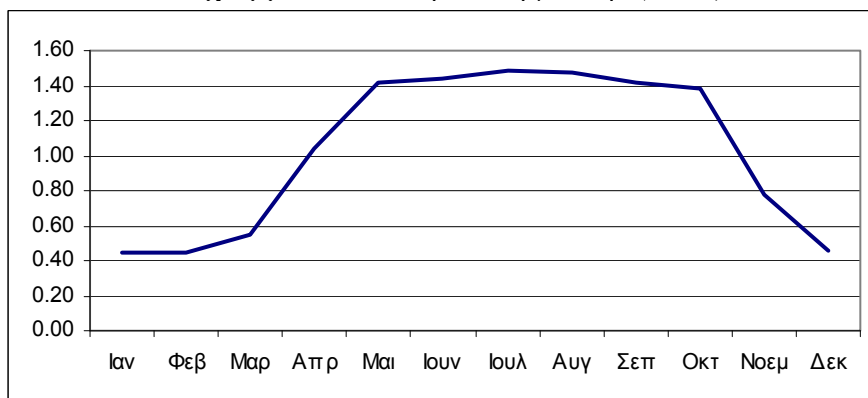
Χρόνος	It (MWh)	Qu (MWh)	ncoll	Qneed (MWh)	Qsup (MWh)	SF	Qloss (MWh)	Qloss/Qu
Ιαν	20.69	7.61	37%	33.63	7.08	21%	0.42	6%
Φεβ	20.24	7.23	36%	28.38	6.80	24%	0.38	5%
Μαρ	23.95	8.69	36%	25.23	7.66	30%	0.45	5%
Απρ	30.56	11.38	37%	14.67	10.19	69%	0.56	5%
Μαι	34.28	11.05	32%	4.93	3.70	75%	0.82	7%
Ιουν	35.81	6.73	19%	0.00	0.00	0%	1.29	19%
Ιουλ	39.14	1.61	4%	0.00	0.00	0%	1.50	93%
Αυγ	40.49	1.52	4%	0.00	0.00	0%	1.50	98%
Σεπ	36.32	2.50	7%	1.59	1.59	100%	1.43	57%
Οκτ	28.23	4.93	17%	9.21	8.45	92%	1.36	28%
Νοεμ	19.28	6.14	32%	18.70	13.05	70%	0.56	9%
Δεκ	16.71	5.86	35%	28.07	5.56	20%	0.41	7%
Σύνολο	345.70	75.24	22%	164.40	64.08	39%	10.69	14%

Πίνακας 5.11

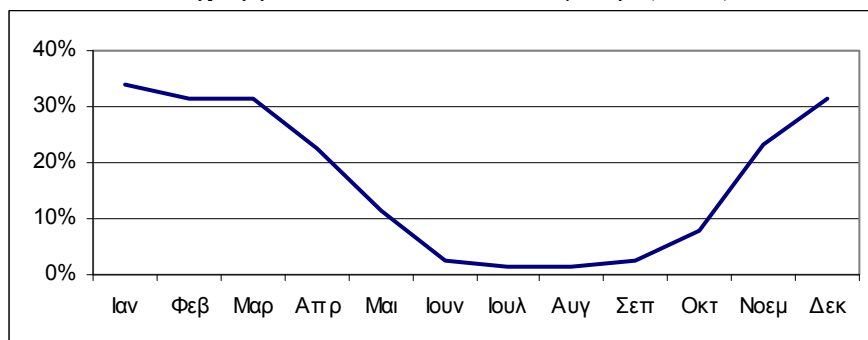
12^η ΠερίπτωσηΕπιφάνεια Συλλεκτών: 500m²Όγκος Δεξαμενής; 200m³Θερμικό Φορτίο: 65W/m²**Διάγραμμα 5.12α** Θερμοκρασία νερού της δεξαμενής σε διάφορα επίπεδα (3 έτη)**Διάγραμμα 5.12β** Θερμοκρασία νερού της δεξαμενής σε διάφορα επίπεδα (3 έτος)**Διάγραμμα 5.12γ** Θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του κτηρίου (3 έτος)



Διάγραμμα 5.12δ Φορτία θέρμανσης (MWh)



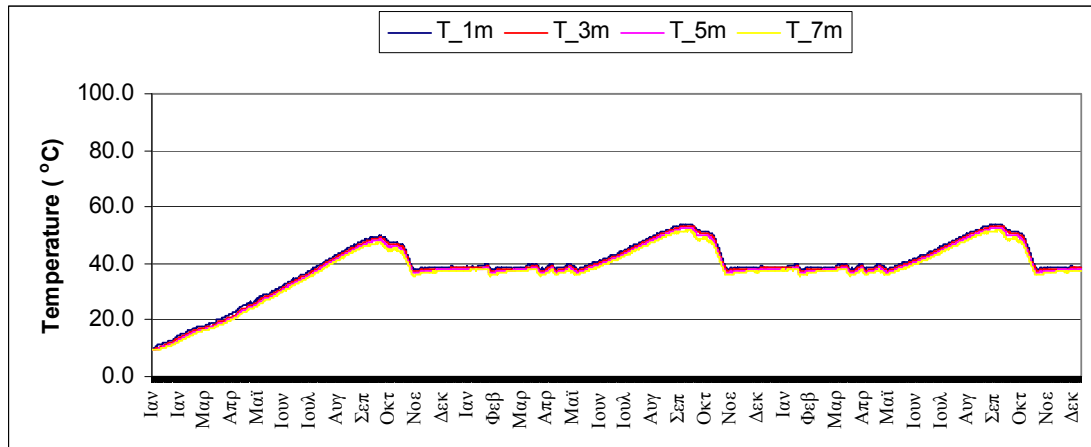
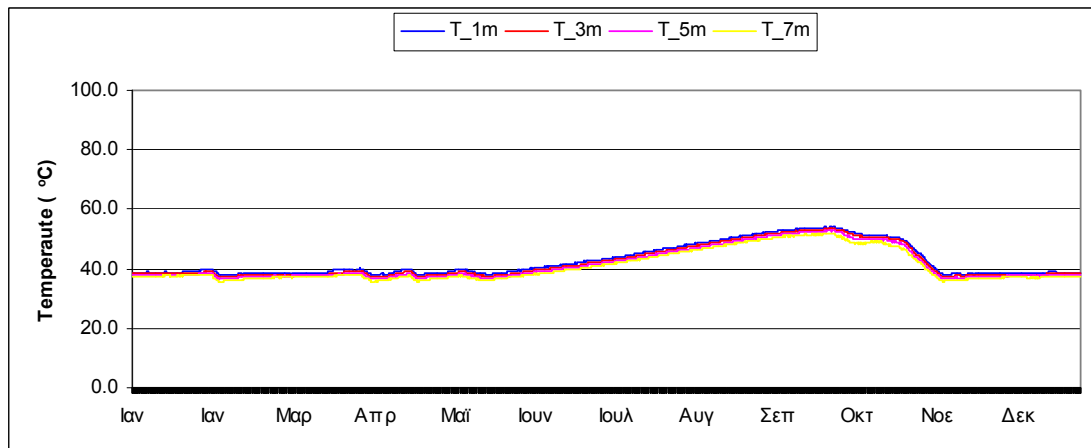
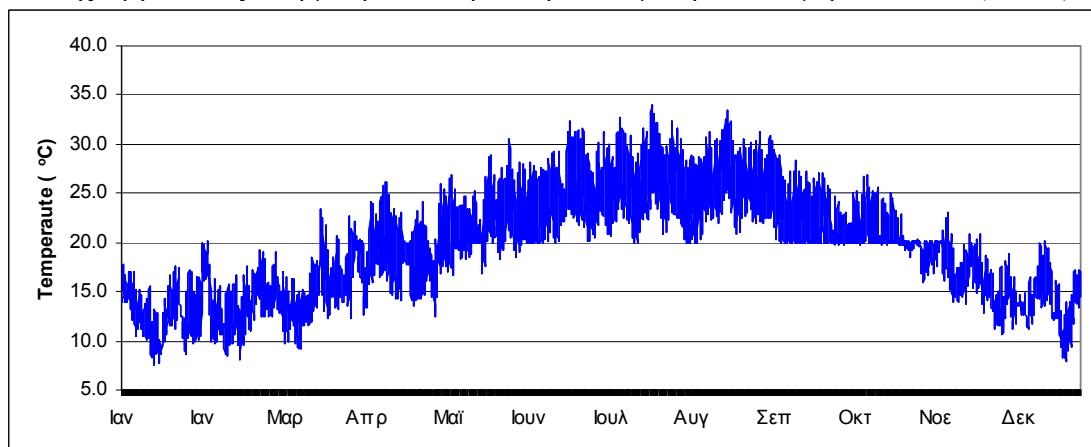
Διάγραμμα 5.12ε Απώλειες δεξαμενής (MWh)

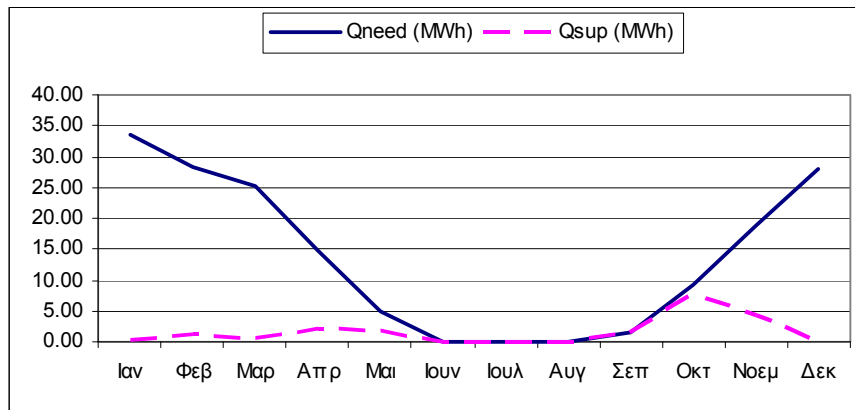


Διάγραμμα 5.12ζ Απόδοση συλλεκτών

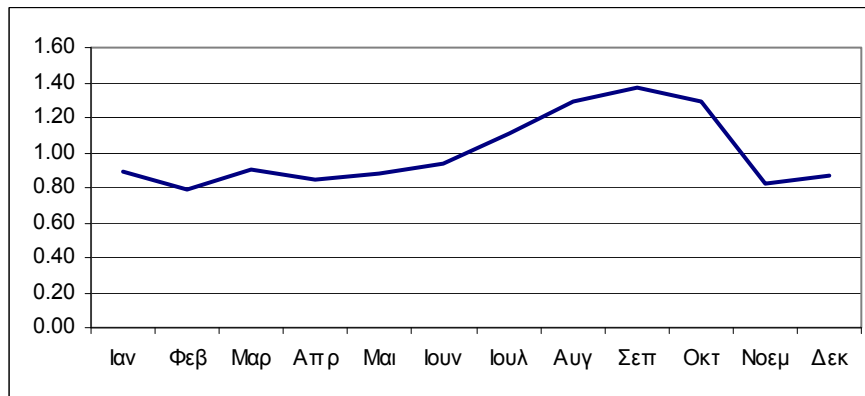
Χρόνος	It (MWh)	Qu (MWh)	ncoll	Qneed (MWh)	Qsup (MWh)	SF	Qloss (MWh)	Qloss/Qu
Ιαν	51.74	17.52	34%	33.63	15.00	45%	0.45	3%
Φεβ	50.60	15.98	32%	28.38	17.32	61%	0.45	3%
Μαρ	59.87	18.85	31%	25.23	14.52	58%	0.55	3%
Απρ	76.41	17.31	23%	14.67	11.90	81%	1.04	6%
Μαι	85.69	9.75	11%	4.93	4.09	83%	1.41	15%
Ιουν	89.53	2.13	2%	0.00	0.00	0%	1.44	68%
Ιουλ	97.85	1.48	2%	0.00	0.00	0%	1.49	101%
Αυγ	101.21	1.51	1%	0.00	0.00	0%	1.48	98%
Σεπ	90.79	2.40	3%	1.59	1.59	100%	1.42	59%
Οκτ	70.57	5.66	8%	9.21	8.49	92%	1.38	24%
Νοεμ	48.21	11.18	23%	18.70	16.36	87%	0.78	7%
Δεκ	41.77	13.07	31%	28.07	14.62	52%	0.46	4%
Σύνολο	864.25	116.83	14%	164.40	103.89	63%	12.35	11%

Πίνακας 5.12

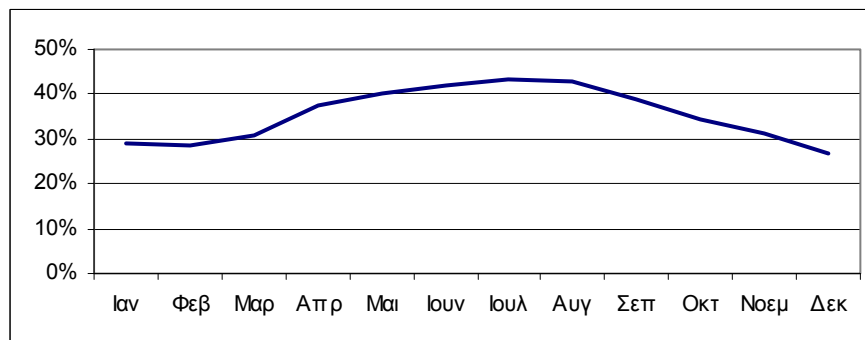
13^η ΠερίπτωσηΕπιφάνεια Συλλεκτών: 50m²Όγκος Δεξαμενής; 600m³Θερμικό Φορτίο: 65W/m²**Διάγραμμα 5.13α** Θερμοκρασία νερού της δεξαμενής σε διάφορα επίπεδα (3 έτη)**Διάγραμμα 5.13β** Θερμοκρασία νερού της δεξαμενής σε διάφορα επίπεδα (3 έτος)**Διάγραμμα 5.13γ** Θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του κτηρίου (3 έτος)



Διάγραμμα 5.13δ Φορτία θέρμανσης (MWh)



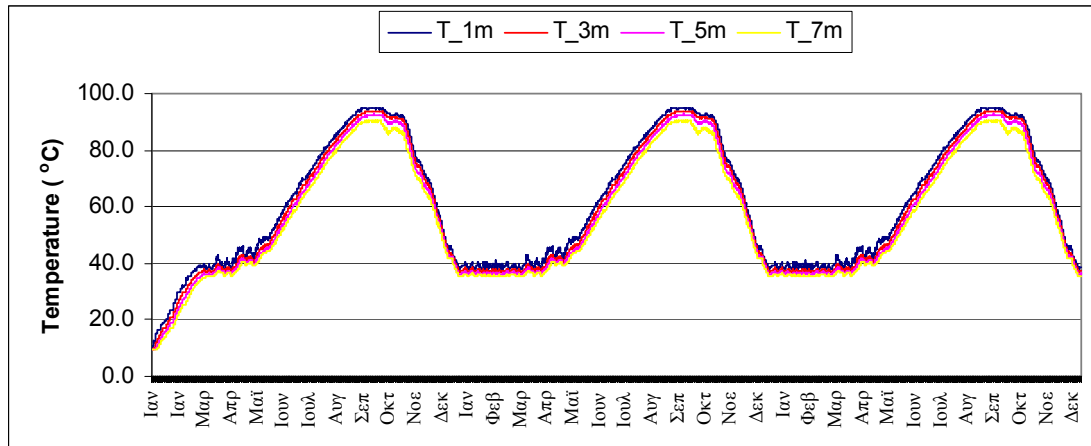
Διάγραμμα 5.13ε Απώλειες δεξαμενής (MWh)



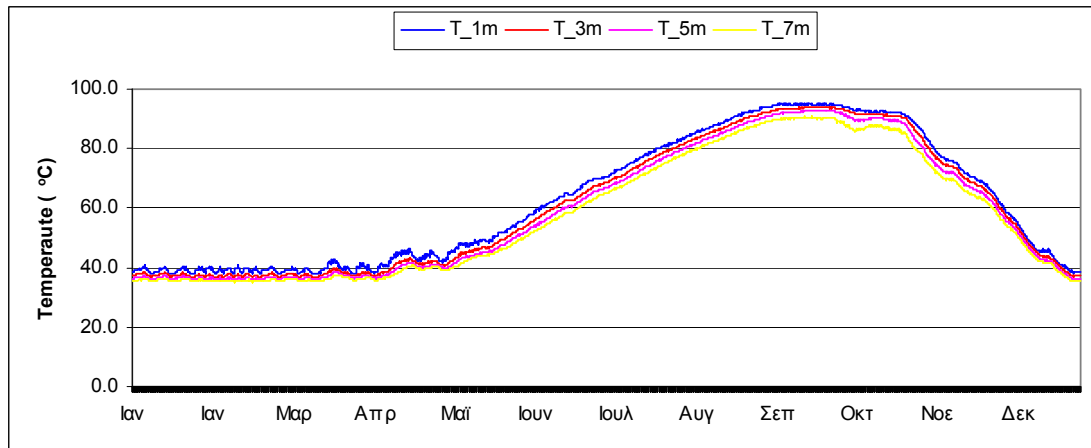
Διάγραμμα 5.13ζ Απόδοση συλλεκτών

Χρόνος	It (mWh)	Qu (mWh)	ncoll	Qneed (mWh)	Qsup (mWh)	SF	Qloss (mWh)	Qloss/Qu
Ιαν	5.17	1.51	29%	33.63	0.23	1%	0.89	59%
Φεβ	5.06	1.44	29%	28.38	1.28	5%	0.79	55%
Μαρ	5.99	1.84	31%	25.23	0.75	3%	0.91	49%
Απρ	7.64	2.88	38%	14.67	2.23	15%	0.85	29%
Μαι	8.57	3.44	40%	4.93	1.90	39%	0.88	26%
Ιουν	8.95	3.75	42%	0.00	0.00	0%	0.93	25%
Ιουλ	9.78	4.23	43%	0.00	0.00	0%	1.11	26%
Αυγ	10.12	4.34	43%	0.00	0.00	0%	1.29	30%
Σεπ	9.08	3.54	39%	1.59	1.59	100%	1.38	39%
Οκτ	7.06	2.43	34%	9.21	7.65	83%	1.30	53%
Νοεμ	4.82	1.50	31%	18.70	4.28	23%	0.82	55%
Δεκ	4.18	1.12	27%	28.07	0.00	0%	0.86	77%
Σύνολο	86.42	32.02	37%	164.40	19.91	12%	12.01	37%

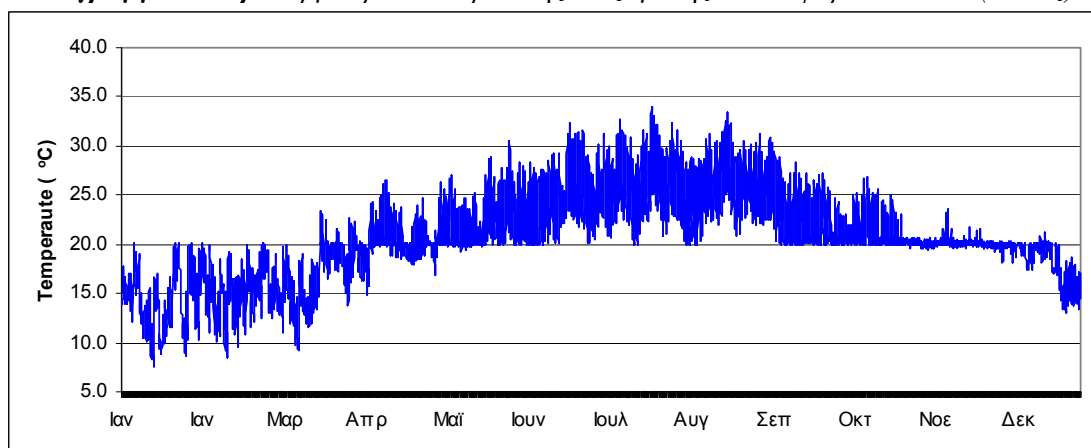
Πίνακας 5.13

14^η ΠερίπτωσηΕπιφάνεια Συλλεκτών: 200m²Ογκος Δεξαμενής: 600m³Θερμικό Φορτίο: 65W/m²

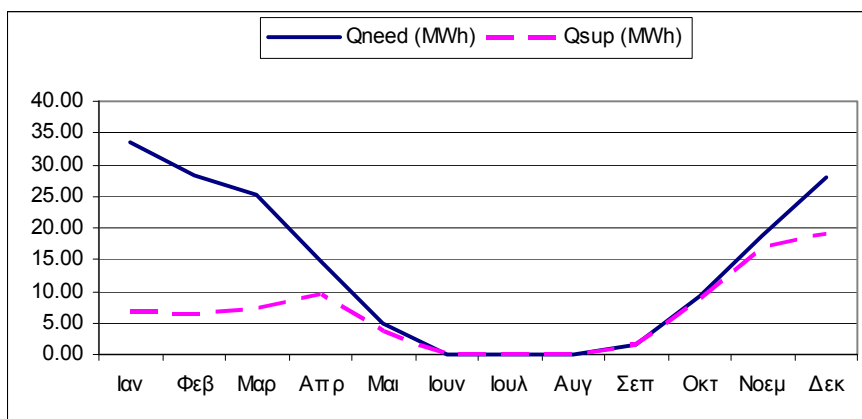
Διάγραμμα 5.14α Θερμοκρασία νερού της δεξαμενής σε διάφορα επίπεδα (3 έτη)



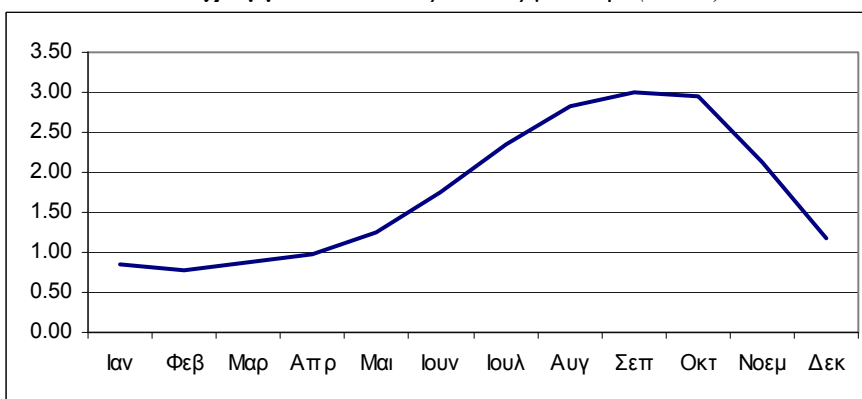
Διάγραμμα 5.14β Θερμοκρασία νερού της δεξαμενής σε διάφορα επίπεδα (3 έτος)



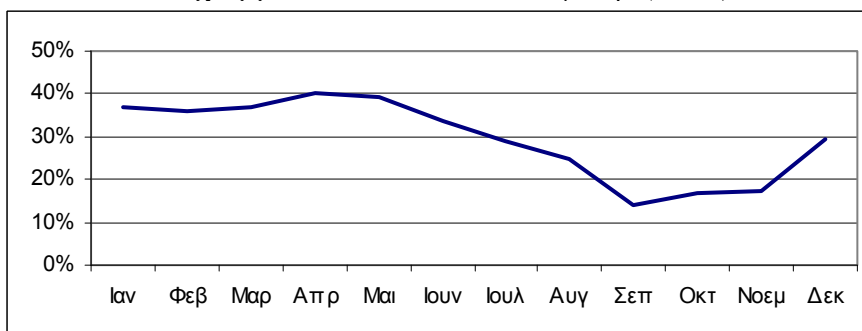
Διάγραμμα 5.14γ Θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του κτηρίου (3 έτος)



Διάγραμμα 5.14δ Φορτία θέρμανσης (MWh)



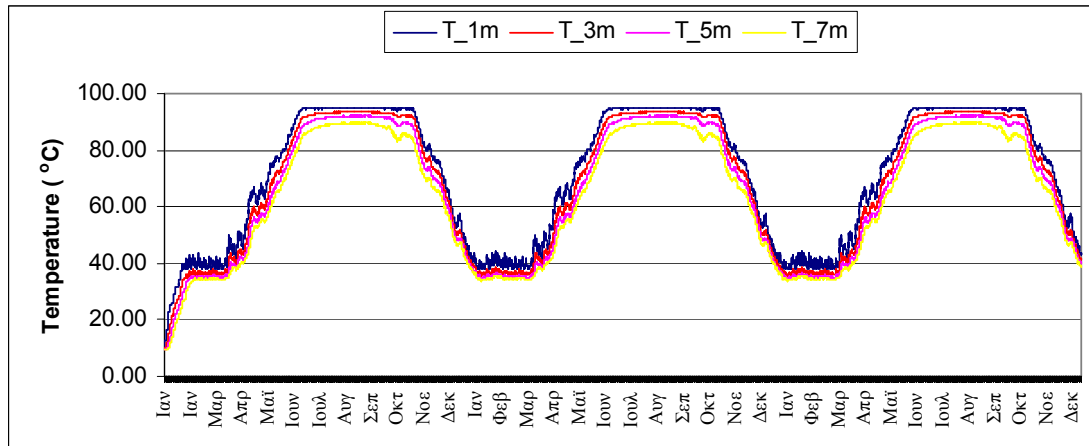
Διάγραμμα 5.41ε Απώλειες δεξαμενής (MWh)



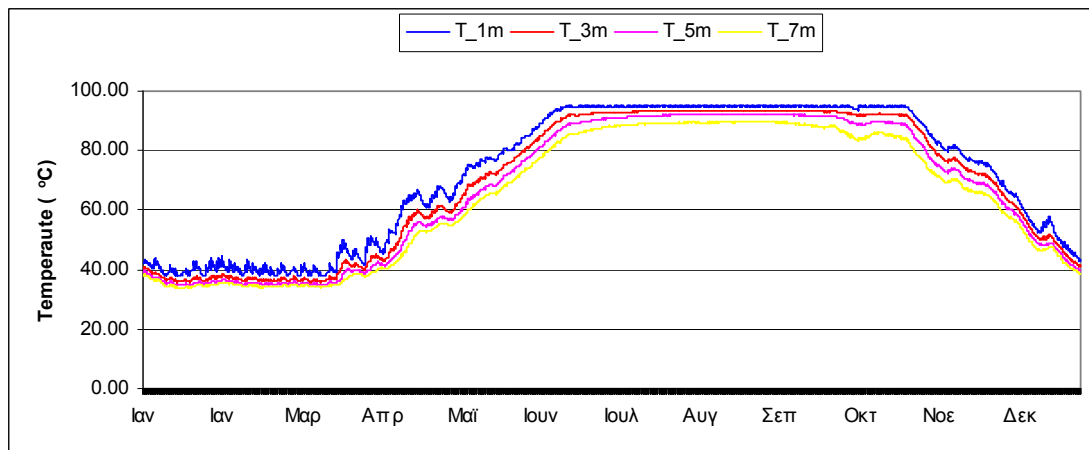
Διάγραμμα 5.14ζ Απόδοση συλλεκτών

Χρόνος	It (MWh)	Qu (MWh)	ncoll	Qneed (MWh)	Qsup (MWh)	SF	Qloss (MWh)	Qloss/Qu
Ιαν	20.69	7.64	37%	33.63	6.62	20%	0.85	11%
Φεβ	20.24	7.28	36%	28.38	6.51	23%	0.78	11%
Μαρ	23.95	8.80	37%	25.23	7.42	29%	0.89	10%
Απρ	30.56	12.22	40%	14.67	9.43	64%	0.96	8%
Μαι	34.28	13.41	39%	4.93	3.60	73%	1.24	9%
Ιουν	35.81	12.10	34%	0.00	0.00	0%	1.75	14%
Ιουλ	39.14	11.41	29%	0.00	0.00	0%	2.34	21%
Αυγ	40.49	10.06	25%	0.00	0.00	0%	2.84	28%
Σεπ	36.32	5.08	14%	1.59	1.59	100%	2.99	59%
Οκτ	28.23	4.74	17%	9.21	8.52	93%	2.95	62%
Νοεμ	19.28	3.32	17%	18.70	16.88	90%	2.12	64%
Δεκ	16.71	4.94	30%	28.07	19.03	68%	1.18	24%
Σύνολο	345.70	101.00	29%	164.40	79.61	48%	20.89	21%

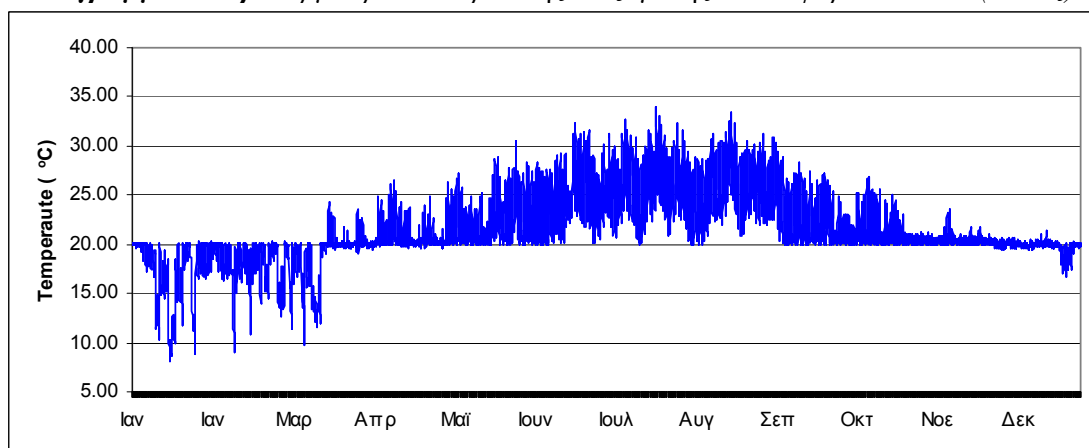
Πίνακας 5.14

15^η ΠερίπτωσηΕπιφάνεια Συλλεκτών: 500m²Όγκος Δεξαμενής: 600m³Θερμικό Φορτίο: 65W/m²

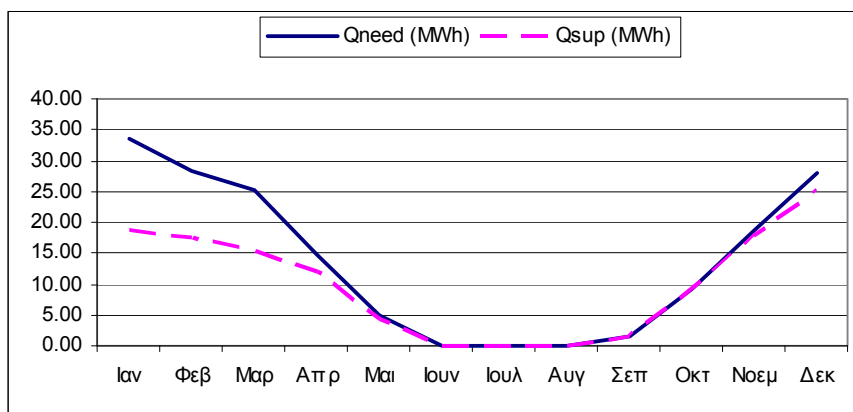
Διάγραμμα 5.15α Θερμοκρασία νερού της δεξαμενής σε διάφορα επίπεδα (3 έτη)



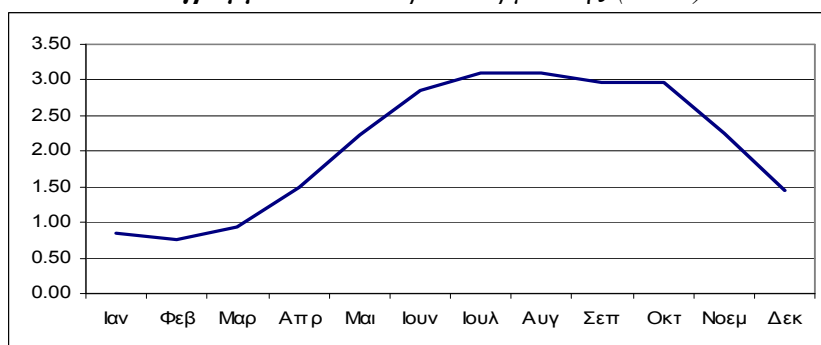
Διάγραμμα 5.15β Θερμοκρασία νερού της δεξαμενής σε διάφορα επίπεδα (3 έτος)



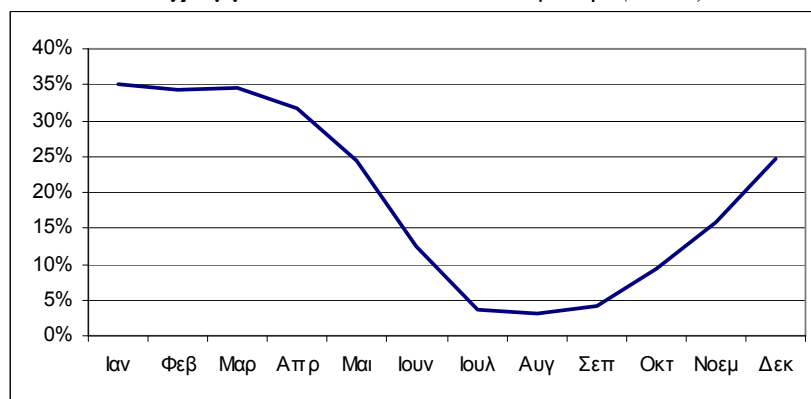
Διάγραμμα 5.15γ Θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του κτηρίου (3 έτος)



Διάγραμμα 5.15δ Φορτία θέρμανσης (MWh)



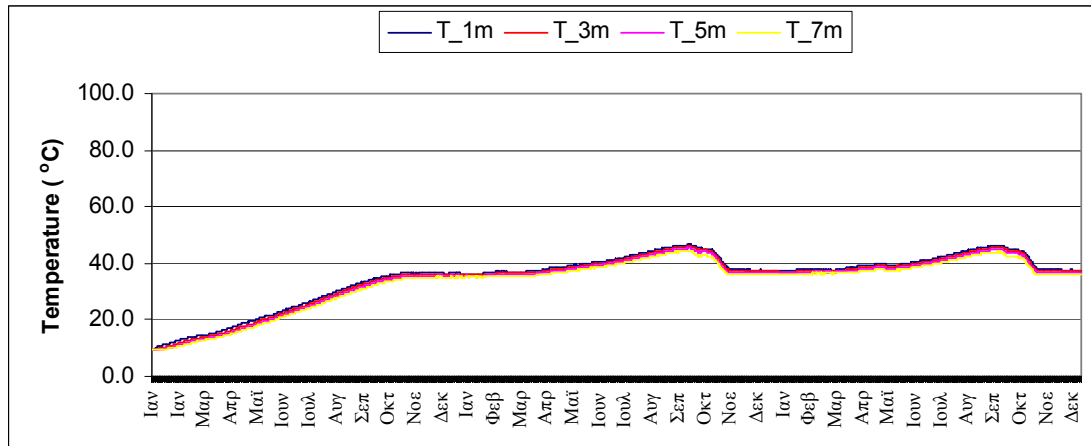
Διάγραμμα 5.15ε Απώλειες δεξαμενής (MWh)



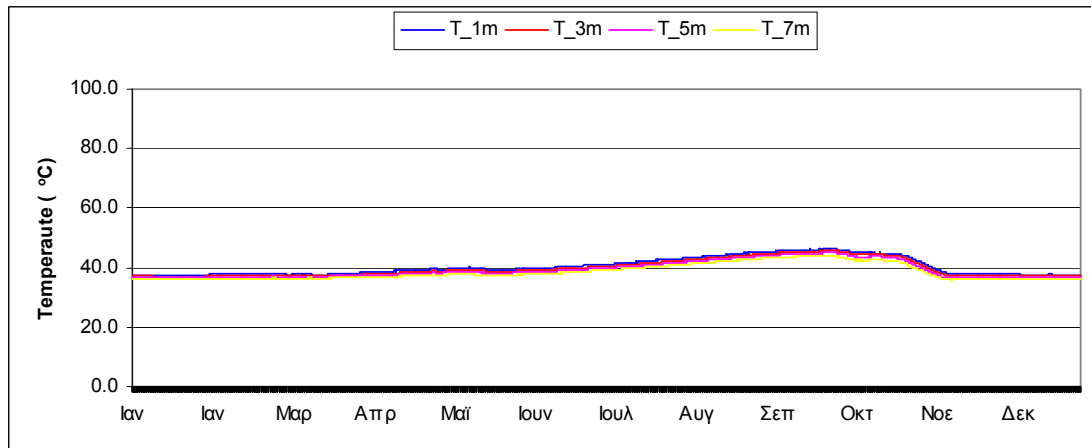
Διάγραμμα 5.15ζ Απόδοση συλλεκτών

Χρόνος	It (mWh)	Qu (mWh)	ncoll	Qneed (MWh)	Qsup (MWh)	SF	Qloss (mWh)	Qloss/Qu
Ιαν	51.74	18.19	35%	33.63	18.79	56%	0.86	5%
Φεβ	50.60	17.38	34%	28.38	17.54	62%	0.77	4%
Μαρ	59.87	20.71	35%	25.23	15.33	61%	0.94	5%
Απρ	76.41	24.16	32%	14.67	12.11	83%	1.49	6%
Μαι	85.69	20.93	24%	4.93	4.20	85%	2.24	11%
Ιουν	89.53	11.27	13%	0.00	0.00	0%	2.86	25%
Ιουλ	97.85	3.61	4%	0.00	0.00	0%	3.09	85%
Αυγ	101.21	3.18	3%	0.00	0.00	0%	3.09	97%
Σεπ	90.79	3.75	4%	1.59	1.59	100%	2.97	79%
Οκτ	70.57	6.52	9%	9.21	9.17	100%	2.96	45%
Νοεμ	48.21	7.60	16%	18.70	17.99	96%	2.24	30%
Δεκ	41.77	10.32	25%	28.07	25.28	90%	1.44	14%
Σύνολο	864.25	147.64	17%	164.40	122.01	74%	24.94	17%

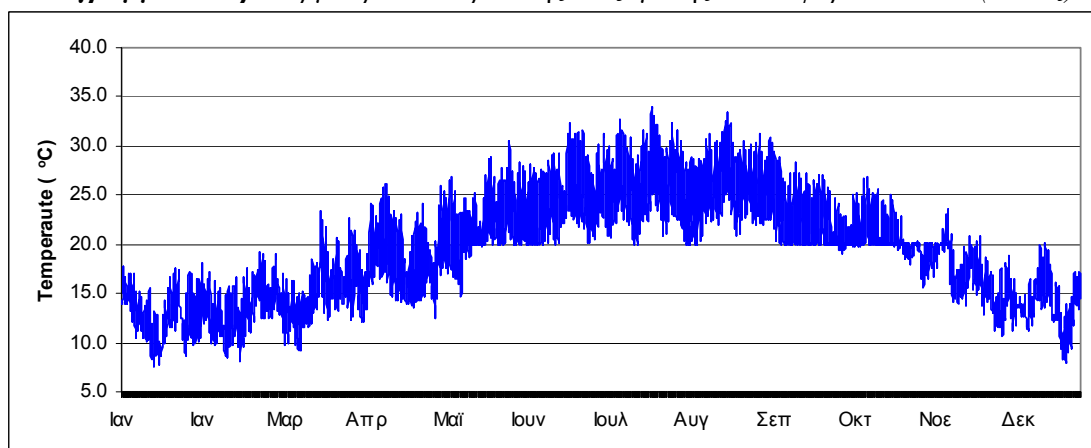
Πίνακας 5.15

16^η ΠερίπτωσηΕπιφάνεια Συλλεκτών: 50m²Ογκος Δεξαμενής; 1200m³Θερμικό Φορτίο: 65W/m²

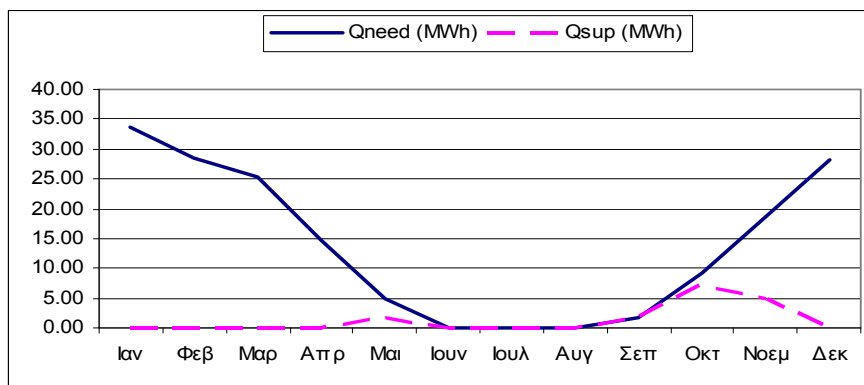
Διάγραμμα 5.16α Θερμοκρασία νερού της δεξαμενής σε διάφορα επίπεδα (3 έτη)



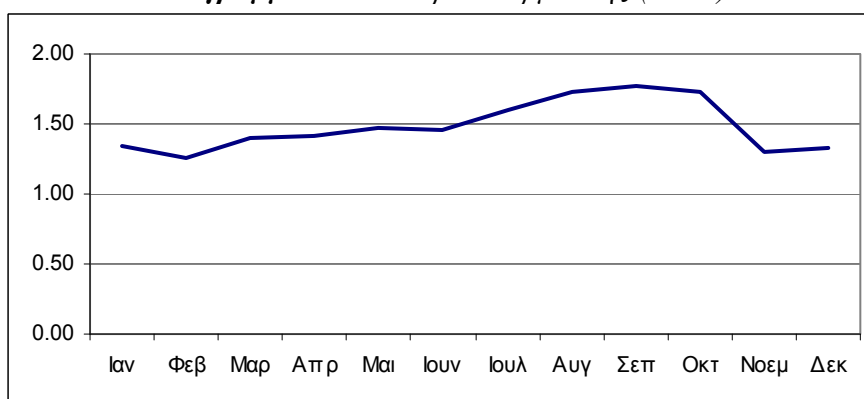
Διάγραμμα 5.16β Θερμοκρασία νερού της δεξαμενής σε διάφορα επίπεδα (3 έτος)



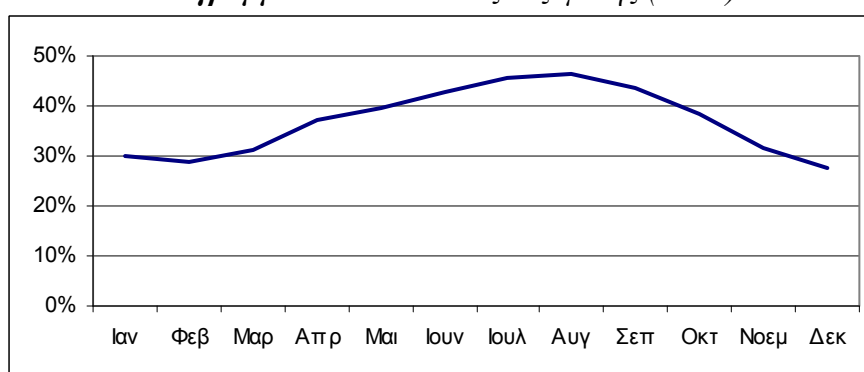
Διάγραμμα 5.16γ Θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του κτηρίου (3 έτος)



Διάγραμμα 5.16δ Φορτία θέρμανσης (MWh)



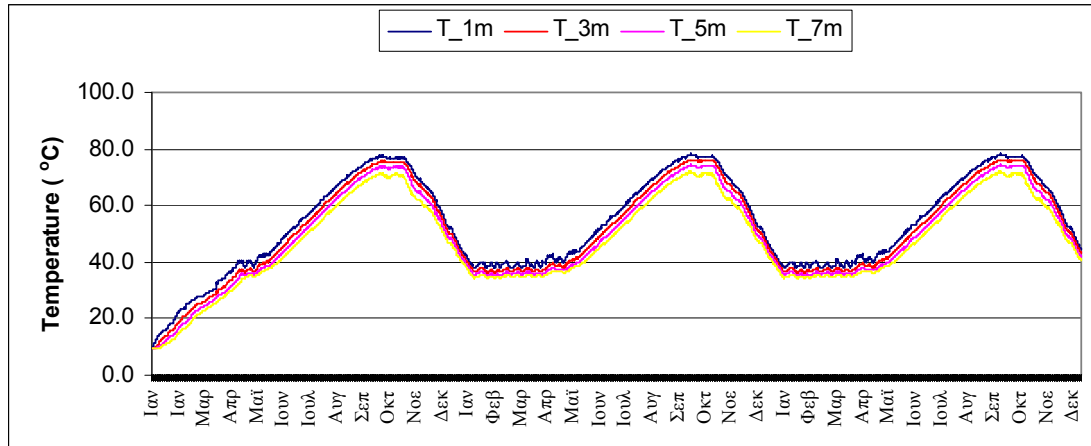
Διάγραμμα 5.16ε Απώλειες δεξαμενής (MWh)



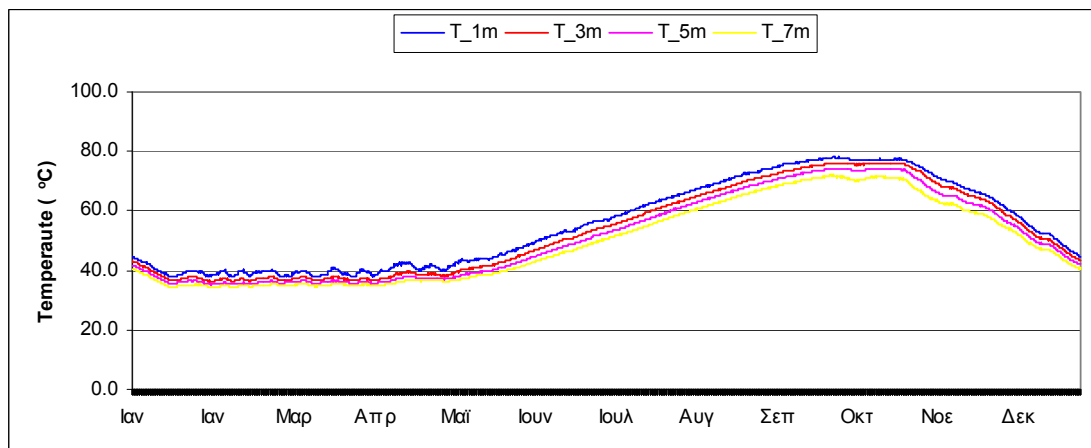
Διάγραμμα 5.16ζ Απόδοση συλλεκτών

Χρόνος	It (MWh)	Qu (MWh)	ncoll	Qneed (MWh)	Qsup (MWh)	SF	Qloss (MWh)	Qloss/Qu
Ιαν	5.17	1.56	30%	33.63	0.00	0%	1.35	86%
Φεβ	5.06	1.45	29%	28.38	0.00	0%	1.25	86%
Μαρ	5.99	1.87	31%	25.23	0.00	0%	1.40	75%
Απρ	7.64	2.86	37%	14.67	0.00	0%	1.41	49%
Μαι	8.57	3.40	40%	4.93	1.73	35%	1.47	43%
Ιουν	8.95	3.83	43%	0.00	0.00	0%	1.45	38%
Ιουλ	9.78	4.45	45%	0.00	0.00	0%	1.60	36%
Αυγ	10.12	4.70	46%	0.00	0.00	0%	1.72	37%
Σεπ	9.08	3.95	44%	1.59	1.59	100%	1.77	45%
Οκτ	7.06	2.70	38%	9.21	7.31	79%	1.73	64%
Νοεμ	4.82	1.52	32%	18.70	4.81	26%	1.31	86%
Δεκ	4.18	1.15	28%	28.07	0.00	0%	1.34	116%
Σύνολο	86.42	33.44	39%	164.40	15.44	9%	17.80	53%

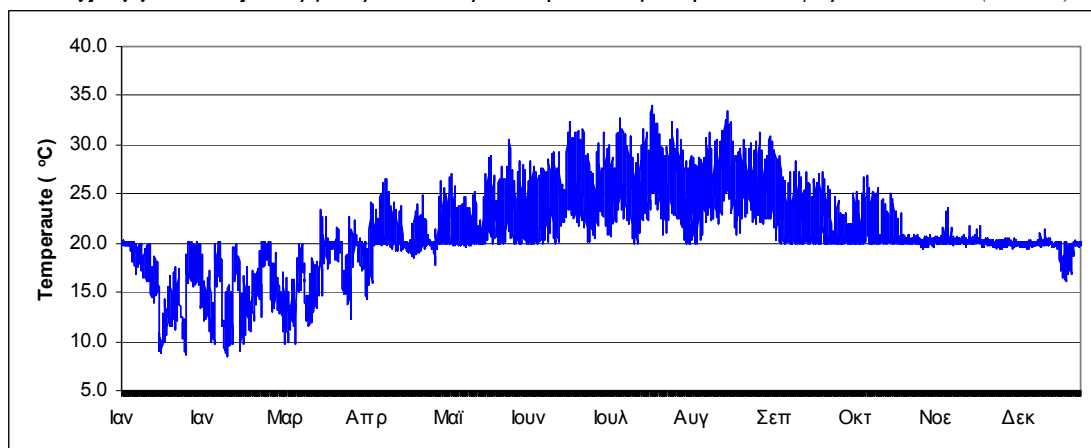
Πίνακας 5.16

17^η ΠερίπτωσηΕπιφάνεια Συλλεκτών: 200m²Όγκος Δεξαμενής: 1200m³Θερμικό Φορτίο: 65W/m²

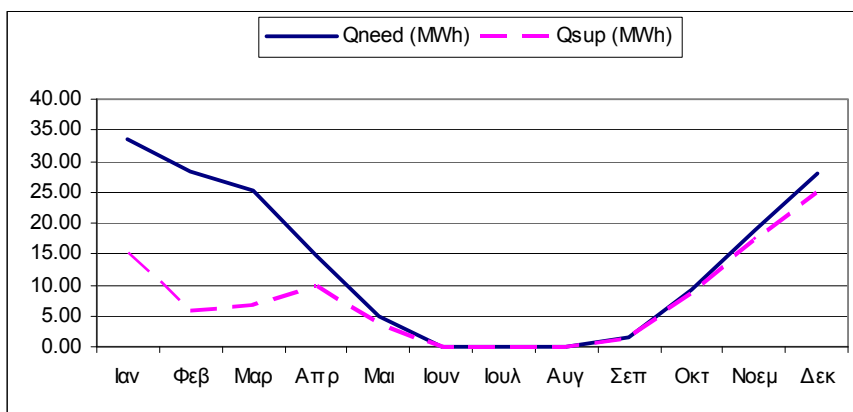
Διάγραμμα 5.17α Θερμοκρασία νερού της δεξαμενής σε διάφορα επίπεδα (3 έτη)



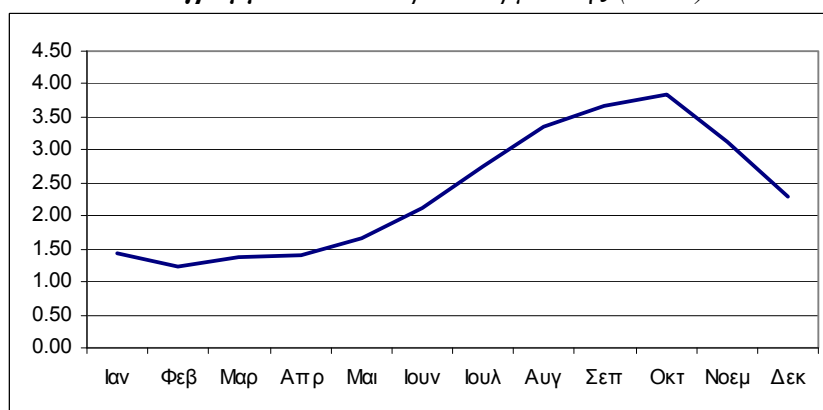
Διάγραμμα 5.17β Θερμοκρασία νερού της δεξαμενής σε διάφορα επίπεδα (3 έτος)



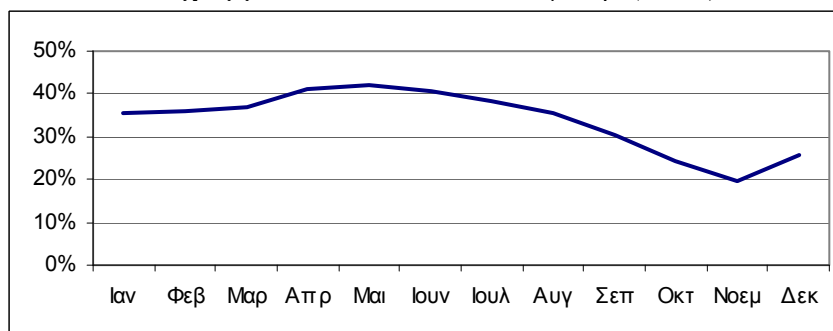
Διάγραμμα 5.17γ Θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του κτηρίου (3 έτος)



Διάγραμμα 5.17δ Φορτία θέρμανσης (MWh)



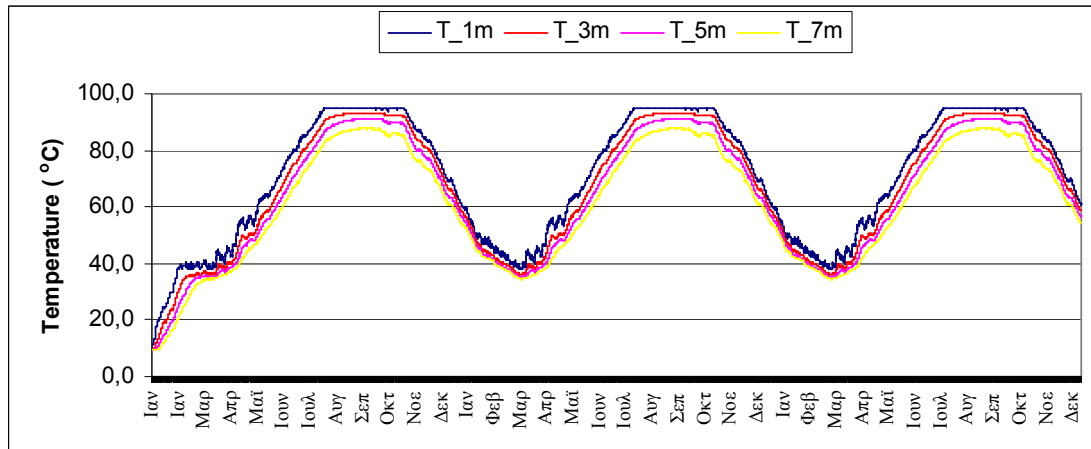
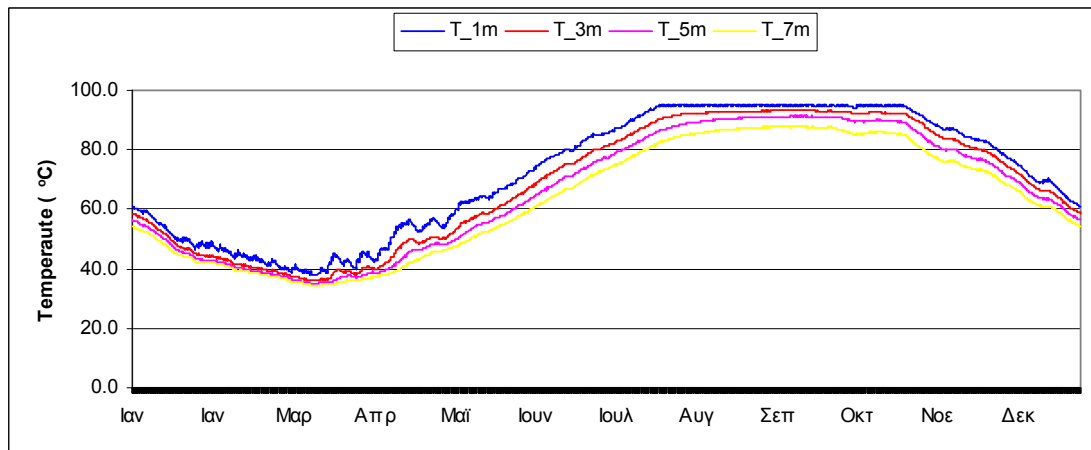
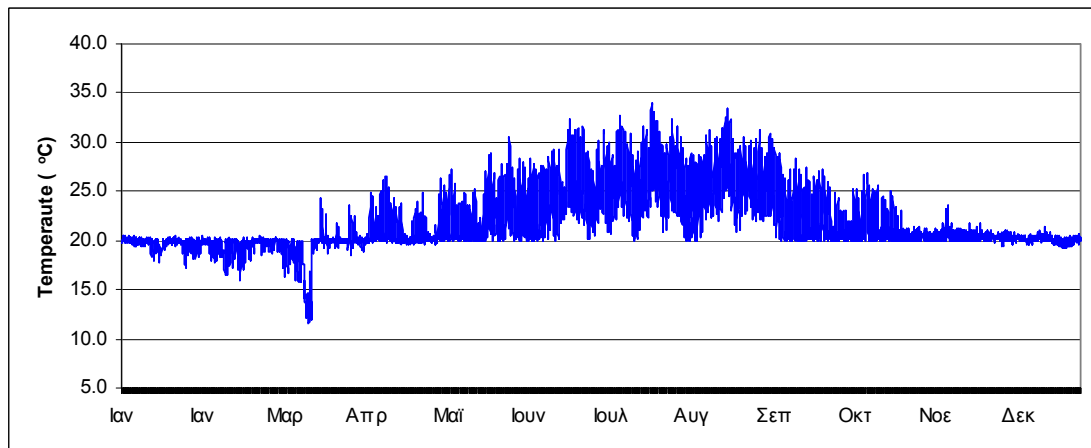
Διάγραμμα 5.17ε Απώλειες δεξαμενής (MWh)

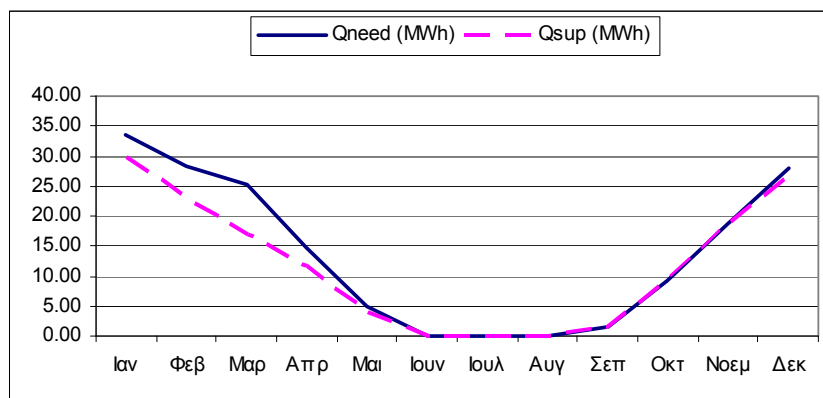


Διάγραμμα 5.17ζ Απόδοση συλλεκτών

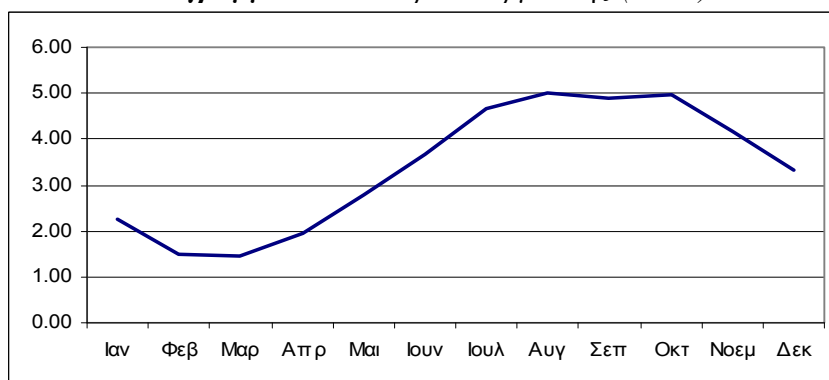
Χρόνος	It (MWh)	Qu (MWh)	ncoll	Qneed (MWh)	Qsup (MWh)	SF	Qloss (MWh)	Qloss/Qu
Ιαν	20.69	7.61	37%	33.63	14.94	44%	1.44	19%
Φεβ	20.24	7.40	37%	28.38	5.79	20%	1.23	17%
Μαρ	23.95	8.97	37%	25.23	6.89	27%	1.39	15%
Απρ	30.56	12.70	42%	14.67	9.97	68%	1.42	11%
Μαι	34.28	14.69	43%	4.93	3.67	75%	1.66	11%
Ιουν	35.81	14.69	41%	0.00	0.00	0%	2.12	14%
Ιουλ	39.14	15.21	39%	0.00	0.00	0%	2.76	18%
Αυγ	40.49	14.54	36%	0.00	0.00	0%	3.35	23%
Σεπ	36.32	11.09	31%	1.59	1.59	100%	3.67	33%
Οκτ	28.23	6.97	25%	9.21	8.61	94%	3.85	55%
Νοεμ	19.28	3.99	21%	18.70	17.26	92%	3.13	78%
Δεκ	16.71	4.45	27%	28.07	24.78	88%	2.28	51%
Σύνολο	345.70	122.30	35%	164.40	93.50	57%	28.29	23%

Πίνακας 5.17

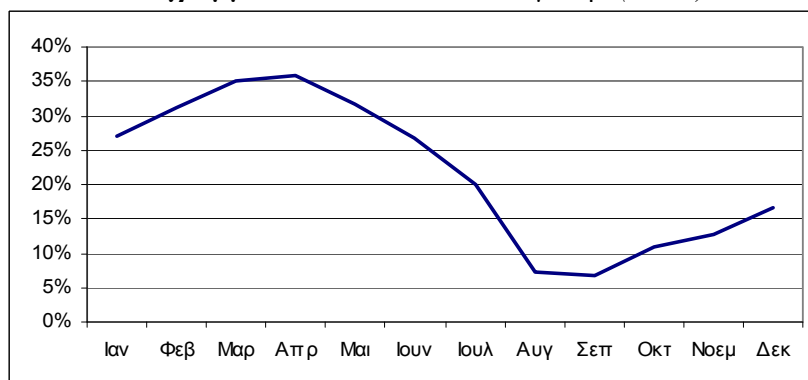
18^η ΠερίπτωσηΕπιφάνεια Συλλεκτών: 500m²Όγκος Δεξαμενής: 1200m³Θερμικό Φορτίο: 65W/m²**Διάγραμμα 5.18α** Θερμοκρασία νερού της δεξαμενής σε διάφορα επίπεδα (3 έτη)**Διάγραμμα 5.18β** Θερμοκρασία νερού της δεξαμενής σε διάφορα επίπεδα (3 έτος)**Διάγραμμα 5.18γ** Θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του κτηρίου (3 έτος)



Διάγραμμα 5.18δ Φορτία θέρμανσης (MWh)



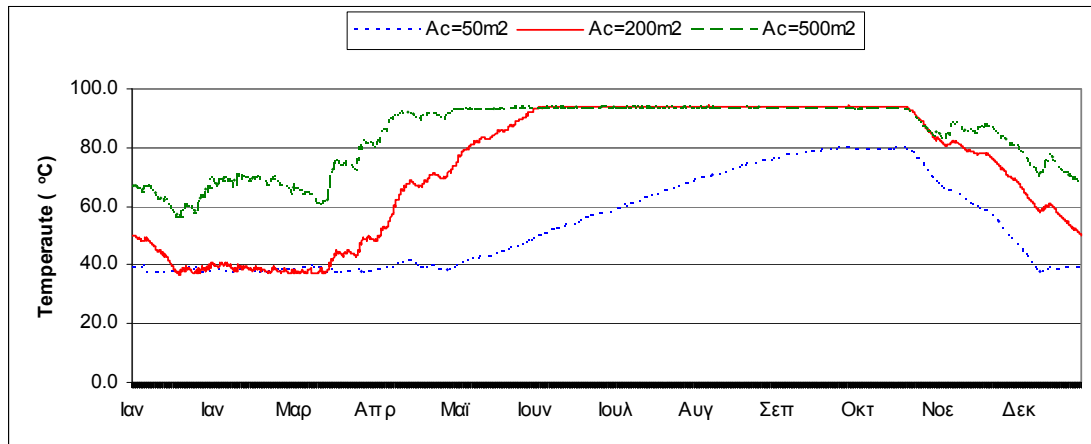
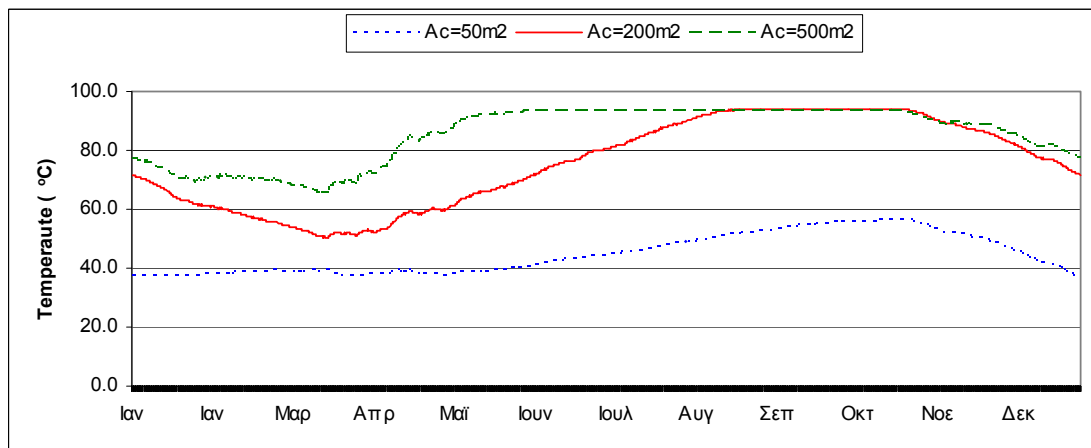
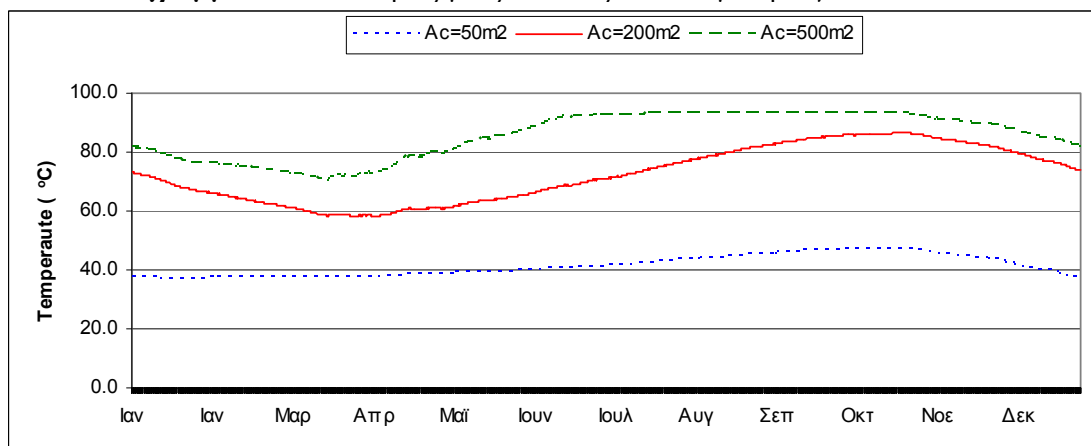
Διάγραμμα 5.18ε Απώλειες δεξαμενής (MWh)



Διάγραμμα 5.18ζ Απόδοση συλλεκτών

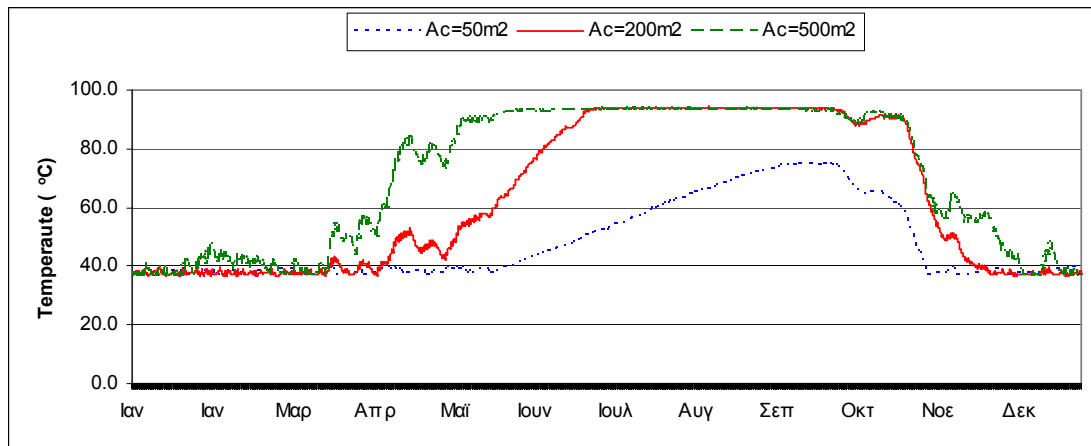
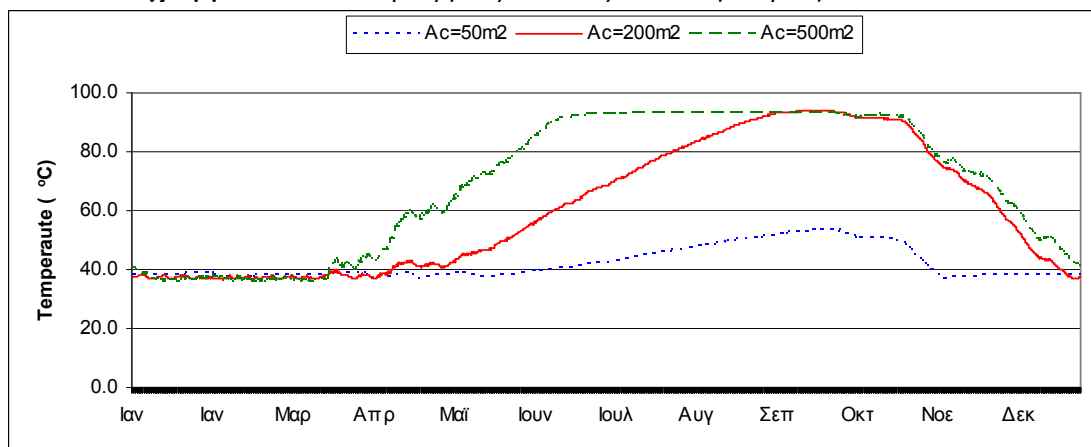
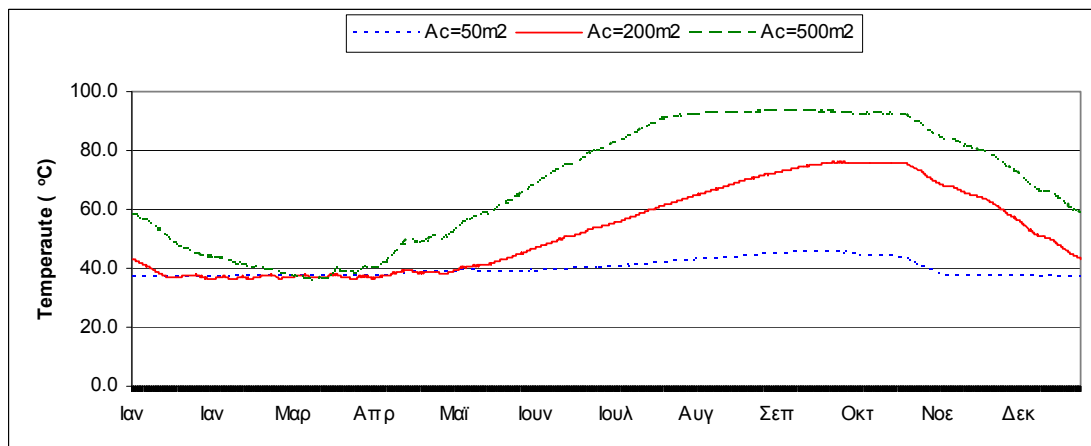
Χρόνος	It (mWh)	Qu (mWh)	ncoll	Qneed (mWh)	Qsup (mWh)	SF	Qloss (mWh)	Qloss/Qu
Ιαν	51.74	14.00	27%	33.63	29.85	89%	2.25	16%
Φεβ	50.60	15.83	31%	28.38	22.94	81%	1.51	10%
Μαρ	59.87	20.92	35%	25.23	16.99	67%	1.45	7%
Απρ	76.41	27.29	36%	14.67	11.77	80%	1.94	7%
Μαι	85.69	27.14	32%	4.93	4.03	82%	2.80	10%
Ιουν	89.53	23.98	27%	0.00	0.00	0%	3.67	15%
Ιουλ	97.85	19.59	20%	0.00	0.00	0%	4.65	24%
Αυγ	101.21	7.25	7%	0.00	0.00	0%	5.02	69%
Σεπ	90.79	6.03	7%	1.59	1.59	100%	4.89	81%
Οκτ	70.57	7.62	11%	9.21	9.20	100%	4.95	65%
Νοεμ	48.21	6.15	13%	18.70	18.33	98%	4.16	68%
Δεκ	41.77	6.99	17%	28.07	26.76	95%	3.34	48%
Σύνολο	864.25	182.81	21%	164.40	141.46	86%	40.62	22%

Πίνακας 5.18

Περιπτώσεις με θερμικό φορτίο: $L=15 \text{ W/m}^2$ Διάγραμμα 5.19 Μέση θερμοκρασία νερού δεξαμενής όγκου $V=200\text{m}^3$ Διάγραμμα 5.20 Μέση θερμοκρασία νερού δεξαμενής όγκου $V=600\text{m}^3$ Διάγραμμα 5.21 Μέση θερμοκρασία νερού δεξαμενής όγκου $V=1200\text{m}^3$

V (m ³)	Ac (m ²)	It (MWh)	Qu (MWh)	ncoll	Qneed (MWh)	Qsup (MWh)	SF	Qloss (MWh)	Qloss/Qu
200	50	86.42	25.02	29%	38.60	16.04	42%	8.55	34%
	200	345.70	51.53	15%	38.60	37.56	97%	12.96	25%
	500	864.25	56.10	6%	38.60	38.60	100%	15.42	27%
600	50	86.42	30.77	36%	38.60	17.13	44%	13.28	43%
	200	345.70	68.41	20%	38.60	38.60	100%	28.05	41%
	500	864.25	73.43	8%	38.60	38.60	100%	32.65	44%
1200	50	86.42	32.68	38%	38.60	13.32	34%	19.04	58%
	200	345.70	84.99	25%	38.60	38.60	100%	43.68	51%
	500	864.25	94.92	11%	38.60	38.60	100%	54.08	57%

Πίνακας 5.19 Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων για $L=15W/m^2$

Περιπτώσεις με θερμικό φορτίο: $L=65 \text{ W/m}^2$ Διάγραμμα 5.22 Μέση θερμοκρασία νερού δεξαμενής όγκου $V=200\text{m}^3$ Διάγραμμα 5.23 Μέση θερμοκρασία νερού δεξαμενής όγκου $V=600\text{m}^3$ Διάγραμμα 5.24 Μέση θερμοκρασία νερού δεξαμενής όγκου $V=1200\text{m}^3$

V (m ³)	Ac (m ²)	It (MWh)	Qu (MWh)	ncoll	Qneed (MWh)	Qsup (MWh)	SF	Qloss (MWh)	Qloss/Qu
200	50	86.42	27.77	32%	164.40	20.25	12%	7.25	26%
	200	345.70	75.24	22%	164.40	64.08	39%	10.69	14%
	500	864.25	116.83	14%	164.40	103.89	63%	12.35	11%
600	50	86.42	32.02	37%	164.40	19.91	12%	12.01	37%
	200	345.70	101.00	29%	164.40	79.61	48%	20.89	21%
	500	864.25	147.64	17%	164.40	122.01	74%	24.94	17%
1200	50	86.42	33.44	39%	164.40	15.44	9%	17.80	53%
	200	345.70	122.30	35%	164.40	93.50	57%	28.29	23%
	500	864.25	182.81	21%	164.40	141.46	86%	40.62	22%

Πίνακας 5.20 Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων για $L=65W/m^2$

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ- ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.3

- ✓ Ο βαθμός απόδοσης των ηλιακών συλλεκτών εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Ένας από αυτούς, ο οποίος μεταβάλλεται με το χρόνο, είναι η θερμοκρασία του νερού που εισέρχεται στο συλλέκτη. Όσο μεγαλύτερη είναι η εν λόγω θερμοκρασία τόσο μικρότερος είναι ο βαθμός απόδοσης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι θερμικές απώλειες του συλλέκτη προς το περιβάλλον εξαρτώνται άμεσα από τη θερμοκρασία του ρευστού. Όταν αυτό έχει υψηλή θερμοκρασία οι απώλειες είναι αυξημένες και ο βαθμός απόδοσης μειωμένος. Η θερμοκρασία εισόδου του ρευστού στο συλλέκτη είναι ίση με τη θερμοκρασία εξόδου του ρευστού από τη δεξαμενή.
- ✓ Με δεδομένο το φορτίο του κτηρίου και την επιφάνεια των συλλεκτών, ο βαθμός απόδοσης αυξάνει όταν αυξάνεται ο όγκος της δεξαμενής. Η αύξηση του βαθμού απόδοσης εξηγείται από το γεγονός ότι σε μεγαλύτερο όγκο δεξαμενής η θερμοκρασία του νερού κυμαίνεται σε πιο χαμηλά επίπεδα και επομένως οι συλλέκτες λειτουργούν πιο αποδοτικά. Ενδεικτικά αναφέρονται οι περιπτώσεις 2, 5 και 8 με όγκο δεξαμενής 200m^3 , 600m^3 και 1200m^3 όπου οι αντίστοιχες τιμές του βαθμού απόδοσης είναι 15%, 20% και 25%.
- ✓ Με δεδομένο το φορτίο του κτηρίου και τον όγκο της δεξαμενής, παρατηρούμε ότι ο βαθμός απόδοσης μειώνεται όσο αυξάνεται η επιφάνεια των συλλεκτών. Αυτό συμβαίνει διότι με μεγαλύτερη επιφάνεια συλλεκτών η θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής είναι υψηλότερη. Ενδεικτικά αναφέρονται οι περιπτώσεις 1, 2 και 3 με επιφάνεια συλλεκτών 50m^2 , 200m^2 και 500m^2 όπου ο βαθμός απόδοσης αντίστοιχα είναι 29%, 15% και 6%.

- ✓ Με δεδομένο τον όγκο της δεξαμενής και την επιφάνεια των συλλεκτών, ο βαθμός απόδοσης αυξάνει όσο μεγαλύτερο είναι το φορτίο του κτηρίου. Το παραπάνω εξηγείται από το γεγονός ότι όταν το κτήριο έχει μεγαλύτερα φορτία το σύστημα προσπαθεί να καλύψει τις ανάγκες κι έτσι απομαστεύονται μεγάλα ποσά ενέργειας. Επομένως η θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής κυμαίνεται σε πιο χαμηλά επίπεδα και άρα οι συλλέκτες λειτουργούν πιο αποδοτικά. Παραδείγματος χάριν, στις περιπτώσεις 5 ($V=600\text{m}^3$, $A_c=200\text{m}^2$ και $L=15\text{W/m}^2$) και 12 ($V=600\text{m}^3$, $A_c=200\text{m}^2$ και $L=65\text{W/m}^2$) ο βαθμός απόδοσης είναι αντίστοιχα 20% και 29%. Μάλιστα σε κάποιες περιπτώσεις, όπως είναι οι περιπτώσεις 3 ($V=200\text{m}^3$, $A_c=500\text{m}^2$, $L=15\text{W/m}^2$) και 12 ($V=200\text{m}^3$, $A_c=500\text{m}^2$, $L=65\text{W/m}^2$), ο βαθμός απόδοσης είναι υπερδιπλάσιος. Συγκεκριμένα στην περίπτωση 3 είναι 6% με συλλεχθείσα ετήσια ενέργεια 56.10 MWh ενώ στην περίπτωση 12 είναι 14% με 116.83 MWh.
- ✓ Στα διαγράμματα 5.2β και 5.2ζ φαίνονται η θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής και ο βαθμός απόδοσης των συλλεκτών στη διάρκεια ενός έτους, αντίστοιχα. Παρατηρούμε ότι στους πρώτους μήνες του έτους, δηλαδή Ιανουάριο έως Μάρτιο, κατά τους οποίους η θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής κυμαίνεται στους 40°C ο βαθμός απόδοσης είναι αρκετά υψηλός, κοντά στο 35%. Από τον Απρίλιο όμως η θερμοκρασία της δεξαμενής αυξάνεται καθώς δεν υπάρχουν μεγάλες ανάγκες για τη θέρμανση χώρου ή είναι μηδαμινές, οπότε και ο βαθμός απόδοσης μειώνεται σταδιακά μέχρι να φτάσει στο 4% τους καλοκαιρινούς μήνες. Αυτό συμβαίνει διότι η θερμοκρασία της δεξαμενής έχει φτάσει τους 95°C . Έπειτα από τον Οκτώβρη και προς το τέλος του χρόνου, επειδή παρουσιάζονται ανάγκες θέρμανσης η θερμοκρασία του νερού μειώνεται, καθώς εκμεταλλευόμαστε την ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στη δεξαμενή κι επομένως ο βαθμός απόδοσης αυξάνεται.
- ✓ Στην περίπτωση 7 ($V=1200\text{m}^3$, $A_c=50\text{m}^2$, $L=15\text{W/m}^2$) παρατηρείται άνοδος του βαθμού απόδοσης των συλλεκτών κατά τους μήνες Μάρτιο έως τον Αύγουστο. Αυτό συμβαίνει διότι λόγω του συνδυασμού μεγάλου όγκου δεξαμενής ($V=1200\text{m}^3$) και μικρής επιφάνειας συλλεκτών ($A_c=50\text{m}^2$), η θερμοκρασία του νερού στη δεξαμενή δεν έχει μεγάλη διακύμανση, με μέγιστη θερμοκρασία κοντά στους 50°C . Επομένως με σχετικά σταθερή τη θερμοκρασία του νερού στη

δεξαμενή και με μεγαλύτερη ακτινοβολία τους καλοκαιρινούς μήνες είναι λογικό ο βαθμός απόδοσης να ακολουθήσει την καμπύλη του διαγράμματος 5.7ζ

- ✓ Η περίοδος που παρουσιάζει τα υψηλότερα φορτία θέρμανσης είναι αυτή του Δεκεμβρίου έως τον Φεβρουάριο, με τον Ιανουάριο να παρουσιάζει το μεγαλύτερο φορτίο. Για το κτήριο με θερμικό φορτίο 15W/m^2 οι ανάγκες θέρμανσης για τους τρεις μήνες ανέρχονται σε 7.38MWh, 8.57MWh και 7.36 MWh αντίστοιχα. Για το κτήριο με θερμικό φορτίο 65W/m^2 οι αντίστοιχες τιμές είναι 28.07 MWh, 33.36 MWh και 28.38 MWh. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων τα θερμικά φορτία καλύπτονται πλήρως στους πρώτους μήνες μετά την καλοκαιρινή περίοδο. Σταδιακά όμως η δεξαμενή χάνει την ενέργειά της οπότε σε κάποιες περιπτώσεις αδυνατεί να καλύψει πλήρως τις θερμικές ανάγκες.
- ✓ Με δεδομένο τον όγκο της δεξαμενής και το φορτίο του κτηρίου παρατηρούμε πως σε αύξηση της επιφάνειας των ηλιακών συλλεκτών αυξάνεται και η ηλιακή κάλυψη. Παραδείγματος χάριν, στις περιπτώσεις 1, 2 και 3 ($V=200\text{m}^3$, $L=15\text{W/m}^2$) με επιφάνεια συλλεκτών 50m^2 , 200m^2 και 500m^2 αντίστοιχα σε κάθε περίπτωση, η ηλιακή κάλυψη είναι 42%, 97% και 100%.
- ✓ Η μηνιαία κάλυψη των φορτίων θέρμανσης έχει υψηλά ποσοστά τους πρώτους μήνες μετά το καλοκαίρι καθώς η θερμοκρασία της δεξαμενής έχει τη μέγιστη τιμή της. Προχωρώντας προς το τέλος της περιόδου θέρμανσης και απομαστεύοντας ποσά ενέργειας από τη δεξαμενή η θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής μειώνεται. Για παράδειγμα, στην περίπτωση 4 ($V=600\text{m}^3$, $A_c=50\text{m}^2$, $L=15\text{W/m}^2$), τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο η κάλυψη είναι μηδενική, καθώς η θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής έχει πέσει κάτω από τους 38°C , οπότε δεν αντλείται νερό για να καλύψει τα φορτία.
- ✓ Στο κτήριο με θερμικό φορτίο $L=15\text{W/m}^2$, η ηλιακή κάλυψη είναι 100% στις περιπτώσεις 3, 5, 6, 8 και 9. Το παραπάνω φαίνεται και από το διάγραμμα με τη θερμοκρασία του εσωτερικού του κτηρίου στις αντίστοιχες περιπτώσεις καθώς η θερμοκρασία είναι πάντα πάνω από τους 20°C .

- ✓ Στο κτήριο με θερμικό φορτίο $L=65\text{W/m}^2$, η ηλιακή κάλυψη κυμαίνεται από 9% στην περίπτωση 16 ($V=1200\text{m}^3$ και $A_c=50\text{m}^2$) έως 86% στην περίπτωση 18 ($V=1200\text{m}^3$ και $A_c=50\text{m}^2$). Εκ των πραγμάτων οι περιπτώσεις με επιφάνεια συλλεκτών 50m^2 δεν είναι δυνατόν να καλύψουν εξ'ολοκλήρου το ετήσιο φορτίο θέρμανσης, το οποίο ανέρχεται σε 164.40 MWh καθώς η ενέργεια που προσπίπτει στην συνολική επιφάνεια των συλλεκτών είναι μόλις 86.42 MWh .
- ✓ Αξίζει να σημειωθεί ότι οι απώλειες θερμότητας της δεξαμενής προς το περιβάλλον αυξάνονται όταν αυξάνεται ο όγκος της δεξαμενής. Αυτό συμβαίνει γιατί αυξάνεται η επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας επομένως και οι απώλειες. Ενδεικτικά αναφέρονται οι περιπτώσεις 12 ($V=200\text{m}^3$, $A_c=500\text{m}^2$) και 18 ($V=1200\text{m}^3$, $A_c=500\text{m}^2$) με απώλειες θερμότητας 12.35 MWh και 40.62 MWh . Αν όμως αναχθεί η ποσότητα ενέργειας που χάνεται με τη μορφή απωλειών σε ενέργεια ανά κυβικό μέτρο του όγκου δεξαμενής τότε τα αποτελέσματα έχουν ως εξής: 61.75kWh/m^3 και 33.85kWh/m^3 αντίστοιχα. Επομένως, λογικό συμπέρασμα είναι η χρησιμοποίηση παρόμοιων συστημάτων σε μεγάλη κλίμακα ώστε να μειωθεί ο λόγος επιφάνειας-όγκου της δεξαμενής και άρα οι απώλειες προς το περιβάλλον.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, για το κτήριο με θερμικό φορτίο 15W/m^2 , οι περιπτώσεις 1,3,4,6,7,8 και 9 δεν είναι κατάλληλες γιατί είτε δεν επαρκούν να καλύψουν τις θερμικές ανάγκες του κτηρίου (περιπτώσεις 1, 4 και 7), είτε είναι υπερδιαστασιολογημένο το σύστημα. Συγκεκριμένα στις περιπτώσεις 3 και 6, στις οποίες καλύπτονται 100% οι ανάγκες του κτηρίου, η επιφάνεια των συλλεκτών είναι αρκετά μεγαλύτερη από την απαιτούμενη με αποτέλεσμα η απόδοση των συλλεκτών να είναι μόλις 6% και 8% αντίστοιχα. Στις περιπτώσεις 8 και 9, στις οποίες καλύπτονται οι ανάγκες του κτηρίου και ο βαθμός απόδοσης των συλλεκτών είναι αποδεκτός (25% στην περίπτωση 8), οι απώλειες θερμότητας από τη δεξαμενή είναι τόσο μεγάλες (43.68 MWh και 54.08 MWh αντίστοιχα) που ξεπερνούν ακόμα και το ετήσιο φορτίο θέρμανσης (38.60 MWh).

Αποδεκτοί συνδυασμοί αποτελούν οι 2 και 5 με ποσοστά ηλιακής κάλυψης 97% και 100% αντίστοιχα. Στην περίπτωση 2 ($V=600\text{m}^3$, $A_c=50\text{m}^2$, $L=15\text{W/m}^2$) ο βαθμός απόδοσης των συλλεκτών είναι ικανοποιητικός (15%) και οι απώλειες θερμότητας

της δεξαμενής προς το περιβάλλον είναι 12.96 MWh, δηλαδή αντιστοιχούν στο 25% της συλλεχθείσας ενέργειας.

Για το κτήριο με θερμικό φορτίο 65W/m^2 , οι περιπτώσεις 1,4 και 7 δεν είναι κατάλληλες γιατί είτε δεν επαρκούν να καλύψουν τις θερμικές ανάγκες του κτηρίου. Τα αντίστοιχα ποσοστά κάλυψης ανέρχονται αντίστοιχα σε 12%, 12% και 9%. Ομοίως για τις περιπτώσεις 2, 5 και 7 που καλύπτουν μη ικανοποιητικά ποσοστά των αναγκών θέρμανσης του κτηρίου, 39%, 48% και 57%. Αποδεκτές περιπτώσεις είναι οι 3, 6 και 9 όπου τα ποσοστά ηλιακής κάλυψης ανέρχονται σε 63%, 74% και 86%.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **Κίμων Α. Αντωνόπουλος**, *Θερμικά-Ηλιακά Συστήματα, Μέρος Πρώτο*, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 2004
2. **Ανδρέας Ε. Μοσχάτος**, *Ηλιακή Ενέργεια*, Έκδοση Τεχνικού Επιμελητήριου Ελλάδος
3. **Ι.Ε.Φραγκιαδάκης**, *Φωτοβολταϊκά Συστήματα, 2^η Έκδοση*, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη 2006
4. **John A.Duffie & William A. Beckman**, *Solar engineering of thermal processes, 3rd Edition*, WILEY 2006
5. **Δημήτρης Α. Μπόζης**, *Σεμινάριο Ηλιακής Ενέργειας, Ηλιακό Χωριό 3*
6. **Τομέας Εκπαίδευσης Κ.Α.Π.Ε.**, *Εγχειρίδιο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας*, ΚΑΠΕ 2007
7. *TRNSYS 16 Manual*
8. *TRNSYS 16 Manual of TESS Library*
9. **Jan-Olof Dalenback**, *Solar Heating with Seasonal Storage*, Goteborg 1993
10. **International Solar Energy Society**, *Solar Energy-Special Issue Large Scale Solar Heating*, Volume 69, Number 6, 2000
11. **Διπλωματική εργασία του φοιτητή Χρήστου Στεργίου**, *Προσομοίωση της Ενεργειακής Συμπεριφοράς Κτηρίου Γραφείων στην Αθήνα με Χρήση του Υπολογιστικού Πακέτου TRNSYS*, Επιβλέποντες: Κίμων Α. Αντωνόπουλος, Χρήστος Τζιβανίδης, Αθήνα 2007
12. **Αριστοτέλης Αηδόνης, ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος**, *Προώθηση θερμικών ηλιακών στην Ελλάδα*, 2006
13. **European Solar Thermal Industry Federation (ESTIF)**, *Sun in Action II*, April 2003
14. **IEA, SHC**: *Solar Heat Worldwide, Markets and contribution to the energy supply*, 2006.
15. **Αριστοτέλης Αηδόνης, Βασιλική Δρόσου**, *Παρουσίαση τεχνολογιών των θερμικών ηλιακών συστημάτων*
16. **ΚΑΠΕ**, *Κανονισμός Ορθολογικής Χρήσης & Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΟΧΕΕ)*, Νομοτεχνικό Σχέδιο, 2003
17. **Πρόγραμμα CLIMASOL**, *Οδηγός ηλιακού κλιματισμού / (brochure) ΚΑΠΕ*
18. **Δημήτρης Α. Μπόζης**, *Σεμινάριο Ηλιακής Ενέργειας, Ηλιακό Χωριό 3*