

**ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟΥ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ & ΑΡΧΙΚΗ
ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΡΤΙΣΗ (Ε.Π.Ε.Α.Ε.Κ. ΙΙ)**

**«ΑΡΧΙΜΗΔΗΣ ΙΙ - ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ
ΟΜΑΔΩΝ ΣΤΑ ΤΕΙ (ΕΕΟΤ)»**

ΠΑΡΑΔΟΤΕΑ 1^{ΟΥ} ΠΑΚΕΤΟΥ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

ΘΕΜΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ:

**“ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΑΕΡΑΓΩΓΟΥ
ΦΥΣΙΚΟΥ ΕΛΚΥΣΜΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ”**

Ίδρυμα (Φορέας Υλοποίησης): Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Σερρών

Τμήμα: Μηχανολογίας

Επιστημονικός Υπεύθυνος: Δημήτριος Χασάπης

Χρονική Περίοδος: 01/01/2005 – 31/03/2005

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Διάρκεια έργου : 24 Μήνες

Ημερομηνία έναρξης έργου: 01/01/2005

Ημερομηνία λήξης έργου: 31/12/2006

Όνοματεπώνυμο επιστημονικού υπευθύνου υποέργου: Δημήτριος Χασάπης
Ιδιότητα / Θέση: Καθηγητής
Τμήμα: Μηχανολογίας
Ίδρυμα: Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Σερρών (Τ.Ε.Ι Σερρών)
Ταχυδρομική Διεύθυνση: Τέρμα Μαγνησίας – 62124 Σέρρες
Τηλ.: 2321049243 | Fax: 2321046556 | E-mail: dcasap@teiser.gr

Όνοματεπώνυμο μέλους της ερευνητικής ομάδας: Αναστάσιος Μπαλουκτσής
Ιδιότητα / Θέση: Καθηγητής – Αντιπρόεδρος Τ.Ε.Ι Σερρών
Τμήμα: Πληροφορικής & Επικοινωνιών
Ίδρυμα: Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Σερρών (Τ.Ε.Ι Σερρών)
Ταχυδρομική Διεύθυνση: Τέρμα Μαγνησίας – 62124 Σέρρες
Τηλ.: 23210 49102 | Fax: 23210 46556 | E-mail: tasosb@teiser.gr

Όνοματεπώνυμο μέλους της ερευνητικής ομάδας: Κων/νος Δαυίδ
Ιδιότητα / Θέση: Επίκουρος Καθηγητής
Τμήμα: Μηχανολογίας
Ίδρυμα: Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Σερρών (Τ.Ε.Ι Σερρών)
Ταχυδρομική Διεύθυνση: Τέρμα Μαγνησίας – 62124 Σέρρες
Τηλ.: 2321049143 | Fax: 2321046556 | E-mail: david@teiser.gr

Όνοματεπώνυμο μέλους της ερευνητικής ομάδας: Αριστομένης Αντωνιάδης
Ιδιότητα / Θέση: Αναπληρωτής Καθηγητής – Διευθυντής Σ.Τ.Ε.Φ
Τμήμα: Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος
Ίδρυμα: Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Ηρακλείου, Κρήτης (Τ.Ε.Ι Ηρακλείου)
Τηλ.: 2821023012 | E-mail: antoniadis@chania.teiher.gr

Όνοματεπώνυμο μέλους της ερευνητικής ομάδας: Θεόδωρος Καραπάντσιος
Ιδιότητα / Θέση: Επίκουρος Καθηγητής
Τμήμα: Χημείας
Ίδρυμα: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (Α.Π.Θ)
Ταχυδρομική διεύθυνση: Πανεπιστημιακή Θυρίδα 116, 54124 Θεσσαλονίκη
Τηλ.: 2310997772 | Fax: 2310997759 | E-mail: karapant@chem.auth.gr

1. ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΛΛΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ

Πολλές μελέτες ιδιαίτερα τις τελευταίες δυο δεκαετίες αποδεικνύουν το αυξανόμενο ενδιαφέρον στις εφαρμογές ηλιακής ενέργειας. Πολλές από αυτές αναφέρονται στο κέρδος από τη χρησιμοποίηση των αεραγωγών φυσικού ελκυσμού με τη βοήθεια ηλιακής ενέργειας, σε συνδυασμό με το χαμηλό εργατικό κόστος, ελάχιστη τεχνική υποστήριξη και μεγάλη διάρκεια ζωής. Οι αεραγωγοί αυτοί κυρίως χρησιμοποιούνται για την ανανέωση του αέρα σε κτίρια, βελτιώνοντας την ποιότητα του αέρα και σε γεωργικές εφαρμογές, όπως είναι τα ηλιακά ξηραντήρια, π.χ. Aboulnaga (2000), Kumar et al. (1998), Gan (1998), Khedari et al. (2000), Κακούρης & Λαμπρινός (1996). Οι Afonso & Oliveira (2000) σύγκριναν την απόδοση μιας ηλιακής καμινάδας με μια συμβατική κάτω από τις ίδιες συνθήκες, όσο αναφορά την προσομοίωση και την πειραματική υλοποίηση.

Για το σκοπό του φυσικού αερισμού των κτιρίων για κλιματισμό ή θέρμανση, με συνέπεια την εξοικονόμηση ενέργειας, άλλες κατασκευές όπως οι ηλιακοί συλλέκτες σε ταράτσες (Sanchez et al., 2003) και διατάξεις Trombe-walls (Gan, 1998), που θεωρούνται ειδικές κατασκευές ηλιακής καμινάδας, έχουν χρησιμοποιηθεί. Επιπλέον, οι ηλιακές καμινάδες χρησιμοποιούνται σε γεωργικές ή βιομηχανικές διεργασίες ξήρανσης, όπως ξήρανση ξύλου, φρούτων, σπόρων κ.α. σε ειδικούς ξηραντήρες, π.χ. Ekechukwu & Norton (1995), Vlachos et al. (2002), Καραθάνος & Μπελεσιώτης (1996). Ειδικές ηλιακές καμινάδες μεγάλου ύψους (100 - 200 m), πολυπλοκότερου σχεδιασμού και ακριβότερης κατασκευής λόγω του μεγέθους τους και των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν έχουν χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας (Haaf et al., 1983, και Haaf, 1984). Σ' αυτές τις εφαρμογές η ηλιακή καμινάδα συνδυάζεται με ηλιακό συλλέκτη και αεροτουρμπίνα για την παραγωγή ενέργειας, συνδυάζοντας έτσι τρεις τεχνολογίες: την ηλιακή καμινάδα, το θερμοκήπιο και την αεροτουρμπίνα (Pasumarthi & Sherif, 1998a,b, Lodhi et al., 1999, Gannon & von Backstrom, 2000 και Dai et al., 2003).

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη λειτουργία της ηλιακής καμινάδας σε συγκεκριμένη τοποθεσία ενδιαφέροντος είναι το ύψος, η γεωμετρία της διατομής, το πάχος και η μόνωση των τοιχωμάτων, ο προσανατολισμός καθώς και η κλίση σε σχέση με την κάθετη τοποθέτηση. Οι περισσότερες μελέτες τοποθετούν τις ηλιακές καμινάδες κεκλιμένες, κυρίως κάθετα ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Οι Prasad & Chandra (1990) έχουν κάνει μια θεωρητική μελέτη για την επαλήθευση της μέγιστης ροής αέρα σε κεκλιμένη ηλιακή καμινάδα και βρήκαν ότι η βέλτιστη κλίση για μέγιστη θερμοκρασία αέρα είναι διαφορετική από την βέλτιστη κλίση για μέγιστη ταχύτητα αέρα μέσα στην ηλιακή καμινάδα. Ο προσανατολισμός της καμινάδας είναι σημαντικός όπως φαίνεται και στην μελέτη των Bouchair & Fitzgerald, (1988), όπου μελετήθηκε η επίδραση του προσανατολισμού στην ποσότητα της θερμότητας που συλλέγεται από την καμινάδα για την βέλτιστη απόδοση. Οι Pasumarthi & Sherif, 1998b αναφέρουν ότι οι υπολογισμοί δείχνουν ότι η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια της καμινάδας παίρνει τη μέγιστη τιμή όταν αυτή είναι κεκλιμένη σε γωνία ίση με το γεωγραφικό πλάτος της τοποθεσίας ενδιαφέροντος. Ο Chen et al., (1993) μελέτησε πειραματικά μοντέλο ηλιακής καμινάδας με ομοιόμορφη θερμική ροή στο τοίχωμα, τροφοδοτούμενη από συνεχή τάση ρεύματος σε διαφορετικά επίπεδα κλίσης και σε διαφορετικά διάκενα καμινάδας στο εύρος 100 - 600 mm. Ωστόσο, η επίδραση της κλίσης στην απόδοση της καμινάδας, αν και προφανής, δεν έχει μελετηθεί διεξοδικά στην βιβλιογραφία.

Πολλοί ανέπτυξαν αριθμητικά μοντέλα για ηλιακούς συλλέκτες ή καμινάδες (Bernardes et al., 1999, Bernardes et al., 2003, Naphon & Kongtragool, 2003). Όμως, στις περισσότερες

περιπτώσεις που αφορούν την απόδοση της ηλιακής καμινάδας, τα πειραματικά αποτελέσματα συγκρίνονται με προβλέψεις βασισμένες σε μαθηματικά μοντέλα, όπως των Ong (2003), Ong & Chow (2003), Dai et al. (2003) και Balocco (2002), όπου χρησιμοποιήθηκε κατασκευή που είναι ειδική περίπτωση μια ηλιακής καμινάδας. Σε μερικές περιπτώσεις έχει χρησιμοποιηθεί υπολογιστική ρευστομηχανική (CFD) για την προσομοίωση της ροής του αέρα και της μετάδοσης θερμότητας η οποία επαλήθευσε τα πειραματικά αποτελέσματα (Gan, 1998, Ziskind et al., (2002), Kazansky et al., 2003, Sanchez et al., 2003). Σε όλες αυτές τις μελέτες μετριόταν η ηλιακή ενέργεια που απορροφούνταν από την επιφάνεια απορρόφησης της ηλιακής καμινάδας, ενώ σε άλλες εργασίες χρησιμοποιούνταν ηλεκτρικοί θερμαντήρες για να ελέγξουν τη θερμική ροή της απορροφητικής επιφάνειας.

Τα δεδομένα της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας σε ένα τόπο είναι πολύ σημαντικά για τον σχεδιασμό ενός τέτοιου αεραγωγού. Για την αξιοποίηση αυτών των δεδομένων χρειάζεται μεγάλος όγκος μετεωρολογικών στοιχείων που σπάνια είναι ευρέως διαθέσιμα. Η απουσία τέτοιου είδους δεδομένων από πειραματικές μετρήσεις για ένα εύλογο χρονικό διάστημα στην τοποθεσία ενδιαφέροντος, συχνά μας οδηγεί σε εμπειρικά μοντέλα. Ωστόσο λόγω της μεγάλης στοχαστικότητας της ηλιακής ακτινοβολίας τα εμπειρικά μοντέλα βασίζονται στην στατιστική (Balouktsis et al., 1989). Η πιο σημαντική στατιστική παράμετρος που συναντάται στον σχεδιασμό των αεραγωγών φυσικού ελκυσμού με τη βοήθεια της ηλιακής ενέργειας είναι η μεταβλητότητα της ηλιακής ακτινοβολίας σε ωριαία και ημερήσια βάση. Ανάλογα με τη χρήση του αεραγωγού, διαφορετικοί μετεωρολογικοί παράγοντες παίζουν ρόλο, όπως για παράδειγμα η θερμοκρασία περιβάλλοντος, η ταχύτητα και η κατεύθυνση του ανέμου. Συμπερασματικά, για τον καλό σχεδιασμό της ηλιακής καμινάδας, εκτός από την στοχαστικότητα της ηλιακής ακτινοβολίας, πρέπει να λάβουμε υπόψη και άλλες μετεωρολογικές παραμέτρους. Σύμφωνα με τους Καραπάντσιος και άλλοι, (1996), οι μηνιαίες τιμές των μετρήσεων ολικής ηλιακής ακτινοβολίας παρουσίασαν αποκλίσεις από τις μέσες τιμές που προβλέπει ο ΕΛΟΤ για τις Σέρρες, στο εύρος του 20%, όμως σε ετήσια βάση η απόκλιση ήταν μόλις +3%. Τα στοιχεία αυτά φανερώνουν το σημαντικό σφάλμα που μπορεί να γίνει στον σχεδιασμό ηλιακών εφαρμογών, αν ληφθεί υπόψη μόνο η μέση μηνιαία ακτινοβολία και αγνοηθεί η μεταβλητότητα γύρω από τη μέση τιμή. Μολαταύτα, η σύγκριση με τις προβλέψεις του ΕΛΟΤ εκτιμάται ως ικανοποιητική, δεδομένης της γενικής ισχύος του χρησιμοποιούμενου θεωρητικού μοντέλου (Λάλας και άλλοι, 1982) για όλο τον Ελλαδικό χώρο. Στην ίδια εργασία παρουσιάζονται και συσχετίσεις των μετρήσεων ολικής ηλιακής ακτινοβολίας, με ορισμένα μετεωρολογικά δεδομένα, όπως η σχετική υγρασία και θερμοκρασία του αέρα καθώς και η ταχύτητα και διεύθυνση του ανέμου. Η υγρασία είναι σημαντικός παράγοντας ελάττωσης της ηλιακής ακτινοβολίας και με ταχύτητα του ανέμου, $> 3 \text{ m/s}$, η ηλιακή ακτινοβολία λαμβάνει κυρίως μεγάλες τιμές διότι προφανώς τότε καθαρίζει η ατμόσφαιρα από υδρατμούς και αεροζόλς.

2. ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Τα κλιματολογικά και μετεωρολογικά δεδομένα συλλέχθηκαν από τη Εθνική μετεωρολογική υπηρεσία (Ε.Μ.Υ) και αφορούν τα έτη από το 1986 ως το 1996, καθώς και το διάστημα 1975 ως 1988 (μόνο μέσες τιμές). Στους επόμενους πίνακες εμφανίζονται συνοπτικά τα μετεωρολογικά και κλιματολογικά δεδομένα, ανά έτος. Οι αριθμοί που εμφανίζονται στις στήλες των πινάκων αντιστοιχούν στα εξής μεγέθη:

- 1: Μέση στάθμη πίεσης, σε mm bar
- 2: Πίεση επιφάνειας σταθμού, σε mm bar
- 3: Σχετική υγρασία, σε %
- 4: Μέση θερμοκρασία, σε °C
- 5: Μέσος όρος των ελάχιστων θερμοκρασιών που παρατηρήθηκαν, σε °C
- 6: Μέσος όρος των μέγιστων θερμοκρασιών που παρατηρήθηκαν, σε °C
- 7: Ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία, σε °C
- 8: Μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία, σε °C
- 9: Ύψος βροχοπτώσεων, σε mm
- 10: Αριθμός ημερών βροχόπτωσης, σε μηνιαία βάση
- 11: Ώρες ηλιοφάνειας, σε μηνιαία βάση
- 12: Αριθμός ημερών καταιγίδας, σε μηνιαία βάση
- 13: Αριθμός ημερών χιονόπτωσης, σε μηνιαία βάση
- 14: Αριθμός ημερών χαλαζόπτωσης, σε μηνιαία βάση

Πίνακας 1. Μετεωρολογικά και κλιματολογικά στοιχεία για το έτος 1986

1986	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ΙΑΝ	1014.3	1009.9	73.0	5.3	1,6	9.0	- 5.8	16.6	26.6	6	98.3	0	1	0
ΦΕΒ	1012.6	1008.3	75.8	5.9	2.7	9.3	- 4.0	16.4	110.1	10	55.7	0	6	0
ΜΑΡ	1019.8	1015.7	66.8	9.1	4.9	13.2	- 1.0	24.2	19.1	4	103.0	0	2	0
ΑΠΡ	1012.0	1008.0	45.4	16.9	8.3	23.4	2.8	27.8	9.9	3	264.7	0	0	0
ΜΑΙ	1016.3	1012.3	53.9	19.6	13.5	25.4	10.0	32.0	43.9	16	217.4	0	0	0
ΙΟΥ	1010.6	1006.6	52.3	24.0	17.0	29.8	12.4	38.4	69.6	10	273.4	0	0	0
ΙΟΥ	0	0	49.4	24.8	17.2	29.7	15.0	33.2	37.2	1	315.0	0	0	0
ΑΥΓ	0	0	46.3	26.6	18.5	33.6	16.6	39.0	6.2	2	302.0	0	0	0
ΣΕΠ	1017.0	1012.9	50.3	22.5	14.0	29.7	7.0	35.6	4.7	2	252.2	0	0	0
ΟΚΤ	1020.0	1015.6	62.0	15.3	8.9	20.6	3.0	29.4	19.2	3	178.7	0	0	0
ΝΟΕ	1024.4	1020.1	71.0	7.9	2.3	13.3	3.6	17.8	18.6	3	147.5	0	0	0
ΔΕΚ	1019.9	1015.9	66.4	1.9	- 3.1	6.9	- 9.2	13.0	16.4	4	131.6	0	3	0

Πίνακας 2. Μετεωρολογικά και κλιματολογικά στοιχεία για το έτος 1987

1987	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ΙΑΝ	1015.7	1011.3	74.0	3.2	- 0.3	7.2	- 15	16.2	85.0	7	67.2	0	7	0
ΦΕΒ	1016.5	1012.3	66.1	8.0	4.2	12.1	- 1.8	18.6	50.8	10	79.0	0	0	0
ΜΑΡ	1014.9	1010.6	53.3	5.9	0.6	10.6	- 6.8	20.8	40.4	5	144.2	0	2	0
ΑΠΡ	1015.4	1010.7	51.4	13.5	7.7	19.0	4.0	25.0	69.6	10	191.1	0	0	1
ΜΑΙ	1011.7	1007.7	45.8	18.2	11.3	23.6	4.8	29.8	37.2	10	259.0	0	0	0
ΙΟΥ	1013.8	1010.6	47.5	24.0	15.8	29.9	10.2	37.4	47.0	3	304.7	0	0	0
ΙΟΥ	1012.5	1008.5	42.0	27.5	19.5	33.7	14.6	39.6	24.9	4	320.8	0	0	0
ΑΥΓ	1012.3	1009.4	43.1	24.9	17.6	31.1	13.4	35.4	50.8	8	304.9	0	0	1
ΣΕΠ	0	0	58.5	22.5	15.7	30.0	13.2	35.0	15.7	4	0	0	0	0
ΟΚΤ	0	0	80.2	13.8	10.6	20.1	5.6	23.8	53.2	8	0	0	0	
ΝΟΕ	0	0	87.0	7.9	7.6	12.9	1.6	18.2	19.1	5	0	0	0	0
ΔΕΚ	0	0	84.8	5.0	2.6	8.2	- 2.0	11.8	45.0	6	0	0	0	0

Πίνακας 3. Μετεωρολογικά και κλιματολογικά στοιχεία για το έτος 1988

1988	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ΙΑΝ	0	0	84.9	4.8	3.7	14	- 3.6	16.0	6.5	3	0	0	0	0
ΦΕΒ	0	0	67.2	7.3	2.0	11.7	- 3.0	15.6	77.0	6	0	0	0	0
ΜΑΡ	1010.2	1006.1	65.7	9.4	4.1	14.1	- 2.6	20.2	61.3	7	1006.1	1	0	1
ΑΠΡ	1015.0	1010.9	63.3	13.4	7.7	18.4	1.4	25.8	21.9	5	1010.9	4	0	0
ΜΑΙ	1013.9	1009.9	60.2	19.6	12.3	25.7	4.6	31.8	24.6	8	1009.9	6	0	0
ΙΟΥ	1010.1	1006.2	53.7	24.4	16.5	29.9	12.4	34.6	53.7	7	1006.2	3	0	0
ΙΟΥ	1011.7	1007.8	50.1	29.4	20.8	35.6	19.4	42.8	17.3	3	1007.8	2	0	0
ΑΥΓ	1012.1	1008.1	51.8	27.2	18.7	33.7	17.2	36.8	2.7	1	1008.1	0	0	0
ΣΕΠ	1015.5	1011.5	56.6	22.5	14.7	28.9	10.4	35.0	4.6	4	1011.5	0	0	0
ΟΚΤ	1019.6	1015.6	60.3	15.3	7.6	21.5	4.0	28.6	12.0	5	1015.6	0	0	0
ΝΟΕ	1019.5	1015.6	77.8	5.7	1.4	9.7	- 3.6	17.0	118.4	14	1015.5	0	1	0
ΔΕΚ	0	0	80.2	4.8	0.4	8.9	- 7.8	17.4	63.8	10	0	0	5	0

Πίνακας 4. Μετεωρολογικά και κλιματολογικά στοιχεία για το έτος 1989

1989	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ΙΑΝ	1029.9	1025.6	71.8	3.4	- 2.8	9	- 6.6	14.0	0.0	0	0	0	0	0
ΦΕΒ	1024.0	1019.8	68.9	7.6	0.7	13.6	- 5.4	21.2	1.3	1	0	0	0	0
ΜΑΡ	1015.6	1011.4	71.9	11.8	5.9	17.5	0.0	26.2	45.7	7	0	0	0	0
ΑΠΡ	1012.4	1008.3	59.5	16.9	9.0	23.4	5.4	28.2	24.5	5	0	1	0	0
ΜΑΙ	1015.5	1011.5	62.4	18.4	11.8	24.0	5.8	28.6	60.9	11	0	6	0	0
ΙΟΥ	1012.0	1008.0	55.8	22.7	15.7	27.8	11.0	33.2	56.6	10	0	9	0	0
ΙΟΥ	1014.7	1010.8	57.6	25.5	18.5	31.0	15.2	35.0	56.3	9	0	6	0	0
ΑΥΓ	1010.9	1006.9	51.8	26.1	18.3	32.6	15.0	35.6	7.4	2	0	3	0	0
ΣΕΠ	1014.7	1010.7	60.6	21.9	15.1	27.6	10.2	32.2	17.7	7	0	4	0	0
ΟΚΤ	1019.0	1014.8	67.8	15.1	8.8	20.7	4.0	24.2	24.9	5	0	1	0	0
ΝΟΕ	1018.2	1013.9	76.7	9.3	4.7	13.5	- 5.2	25.0	28.8	11	0	0	0	0
ΔΕΚ	1021.1	1016.8	83.7	3.3	- 0.8	7.4	- 7.0	11.0	39.9	7	0	0	0	0

Πίνακας 5. Μετεωρολογικά και κλιματολογικά στοιχεία για το έτος 1990

1990	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ΙΑΝ	1027.0	1022.5	74.1	3.3	- 2.5	8.4	- 9.6	16.4	0	0	0	0	0	0
ΦΕΒ	1018.8	1014.6	60.6	8.1	1.3	14.2	- 3.2	22.2	6	3	0	0	0	0
ΜΑΡ	1023.9	1019.7	53.2	12.9	4.6	20.3	- 2.4	26.8	8	3	0	1	0	0
ΑΠΡ	1013.0	1008.9	66.9	15.1	9.2	20.5	5.4	24.2	41	10	175.2	4	0	0
ΜΑΙ	1016.3	1012.2	57.5	20.0	12.5	25.9	6.0	34.4	129	10	208.3	5	0	2
ΙΟΥ	1012.8	1008.8	53.0	24.4	16.4	29.8	9.0	33.8	33	8	309.1	7	0	0
ΙΟΥ	1012.7	1008.7	50.2	27.2	18.6	33.5	14.0	37.2	28	5	296.4	2	0	0
ΑΥΓ	1014.3	1010.9	52.1	25.7	17.2	32.4	14.0	37.4	25	5	302.8	3	0	0
ΣΕΠ	1014.6	1010.6	57.6	21.5	14.1	28.4	8.0	36.6	20	2	240.1	2	0	0
ΟΚΤ	1018.9	1014.8	72.9	16.0	9.5	21.9	2.4	29.6	54	8	162.0	0	0	0
ΝΟΕ	1016.5	1012.3	81.5	11.6	6.4	16.6	- 2.2	22.2	19	8	97.5	0	0	0
ΔΕΚ	1018.0	1013.7	87.1	5.9	2.0	9.8	- 4.6	17.8	90	18	56.2	1	0	0

Πίνακας 6. Μετεωρολογικά και κλιματολογικά στοιχεία για το έτος 1991

1991	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ΙΑΝ	1024.5	1020.1	78.0	3.0	- 2.5	8.6	- 8.2	13.4	4	4	145.5	0	1	0
ΦΕΒ	1019.2	1014.9	82.0	5.0	0.6	8.6	- 12.6	15.6	34	12	64.7	1	2	0
ΜΑΡ	1017.8	1013.6	76.0	10.2	6.3	15.2	- 1.8	22.2	22	10	109.3	0	0	0
ΑΠΡ	1013.6	1009.6	68.0	13.4	8.2	17.8	4.0	22.6	59	14	132.2	1	0	0
ΜΑΙ	1012.2	1008.0	60.0	17.8	10.7	22.2	6.8	27.6	26	8	220.4	2	0	0
ΙΟΥ	1012.0	1008.1	52.0	26.2	17.3	31.7	8.6	37.2	29	5	314.8	4	0	0
ΙΟΥ	1017.7	1013.6	72.0	25.6	18.3	32	13.2	37.2	33	11	284.8	8	0	0
ΑΥΓ	1013.5	1009.4	63.0	25.4	18.3	30.1	13	35.6	96	6	303.9	10	0	0
ΣΕΠ	1017.6	1013.5	61.0	21.6	14.0	28.3	10.2	32.8	15	5	234.0	1	0	0
ΟΚΤ	1017.7	1013.6	72.0	16.6	11.1	22.2	3.4	34.2	20	6	130.5	1	0	0
ΝΟΕ	1019.6	1015.4	72.0	10.8	6.4	15.1	- 3.2	20.6	60	9	108.0	2	0	0
ΔΕΚ	1021.4	1016.8	71.0	2.2	- 1.9	6.0	- 7.2	10.2	11	3	113.0	0	0	0

Πίνακας 7. Μετεωρολογικά και κλιματολογικά στοιχεία για το έτος 1992

1992	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ΙΑΝ	1026.5	1022.9	63.2	4.2	- 1.1	9.5	- 6.4	16.0	0.2	1	197.3	0	0	0
ΦΕΒ	1021.6	1017.3	56.6	5.6	- 0.9	10.8	- 8.4	19.6	2.1	2	159.5	0	0	0
ΜΑΡ	1017.9	1013.7	61.5	9.9	1.9	15.3	- 5.6	22.6	32.3	6	129.3	3	0	0
ΑΠΡ	1013.2	1009.1	67.2	14.5	8.2	19.8	3.2	28.8	68.6	9	179.0	3	0	0
ΜΑΙ	1016.1	1012	64.2	18.8	11.2	24.4	5.8	31.8	39.0	11	187.4	6	0	0
ΙΟΥ	1010.2	1006.2	55.1	24.5	17.1	29.7	13.6	37.8	31.5	15	207.6	10	0	0
ΙΟΥ	1013.9	1009.9	56.1	25.4	17.5	31.4	12.8	36.4	34.7	8	258.2	8	0	0
ΑΥΓ	1013.9	1014.7	47.4	28.7	19.0	35.5	16.8	37.0	1.8	1	330.9	1	0	0
ΣΕΠ	1018.7	1010.5	56.7	21.6	13.7	28.5	7.0	35.6	1.5	3	232.0	1	0	0
ΟΚΤ	1014.5	1014.9	77.1	16.9	11.1	22.1	3.8	29.0	43.0	9	102.5	1	0	0
ΝΟΕ	1019.1	1018.5	72.1	10.8	5.4	15.3	- 1.4	23.6	39.6	6	103.3	0	0	0
ΔΕΚ	1022.8	---	80.9	3	- 1.9	7.0	- 10.0	15.4	40.1	5	90.3	1	0	0

Πίνακας 8. Μετεωρολογικά και κλιματολογικά στοιχεία για το έτος 1993

1993	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ΙΑΝ	1025.8	1021.4	81.6	3.0	- 3.2	8.3	- 12.2	16.2	15.8	5	149.4	0	4	0
ΦΕΒ	1023.4	1019	76.6	3.4	- 2.5	8.4	- 7.2	17.4	19.2	5	150.9	0	3	0
ΜΑΡ	1016.8	1012.5	78.0	8.9	2.6	14.1	- 3.4	25.0	35.5	7	137.4	1	1	0
ΑΠΡ	1013.7	1009.5	68.2	14.8	6.9	20.3	0.2	27.4	20.5	7	206.5	5	0	0
ΜΑΙ	1012.6	1008.5	76.4	19.5	12.4	24.9	5.6	32.4	79.7	17	201.0	13	0	1
ΙΟΥ	1013.3	1009.3	61.0	25.4	17.0	31.3	14.8	37.2	52.5	2	298.9	3	0	0
ΙΟΥ	1013.6	1009.6	49.0	27.1	18.4	33.7	14.0	38.2	1.5	4	366.4	3	0	0
ΑΥΓ	1014.5	1010.6	52.4	27.3	18.6	34.1	15.2	41.8	13.5	2	327.5	2	0	0
ΣΕΠ	1014.9	1010.8	54.7	22.7	13.7	29.4	8.2	35.8	6.5	3	262.2	1	0	0
ΟΚΤ	1019.4	1015.3	68.7	18.4	11.8	24.7	2.4	31.4	16.9	4	164.0	0	0	0
ΝΟΕ	1022.8	1018.5	84.9	7.4	4.2	10.7	- 3.4	24.6	71.5	13	61.6	0	2	0
ΔΕΚ	1018.3	1014	84.7	6.6	1.8	11.2	- 3.2	17.0	41.8	9	101.3	0	0	0

Πίνακας 9. Μετεωρολογικά και κλιματολογικά στοιχεία για το έτος 1994

1994	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ΙΑΝ	1016.8	1012.5	86.9	6.5	2.8	9.9	- 3	13.4	77.2	11	86.9	0	0	0
ΦΕΒ	1018.7	1014.4	78.0	7.1	3.1	10.8	- 2.2	17.0	48.9	12	87.2	0	3	0
ΜΑΡ	1019	1014.8	72.9	11.4	5.1	16.5	0.0	23.6	21.0	5	169.8	0	0	0
ΑΠΡ	1011.6	1007.5	70.8	15.5	8.7	20.7	1.8	27.2	43.9	11	160.7	5	0	0
ΜΑΙ	1013.3	1009.3	60.2	21.4	13.3	27.1	7.2	35.6	26.9	12	270.1	3	0	0
ΙΟΥ	1013.8	1009.8	49.8	24.7	16.2	30.6	12.0	36.4	47.2	7	293.9	4	0	0
ΙΟΥ	1012.0	1008.0	54.4	26.9	19.5	33.1	16.2	37.8	48.1	12	288.4	8	0	0
ΑΥΓ	1012.7	1008.7	53.7	27.7	18.7	34.5	14.8	42	3.0	4	314.9	2	0	0
ΣΕΠ	1014.8	1010.8	55.9	25.8	16.5	33.1	11.8	36.6	0.0	0	282.4	0	0	0
ΟΚΤ	1017.8	1013.7	79.1	17.2	12.0	22.3	6.6	31.6	40.6	10	149.7	0	0	0
ΝΟΕ	1020.7	1016.4	78.4	9.6	5.0	13.7	- 3.6	23.4	39.7	8	121.3	0	0	0
ΔΕΚ	1022.4	1018.1	80.1	5.3	1.2	9.2	- 5.2	17	67.6	8	112.2	1	0	0

Πίνακας 10. Μετεωρολογικά και κλιματολογικά στοιχεία για το έτος 1995

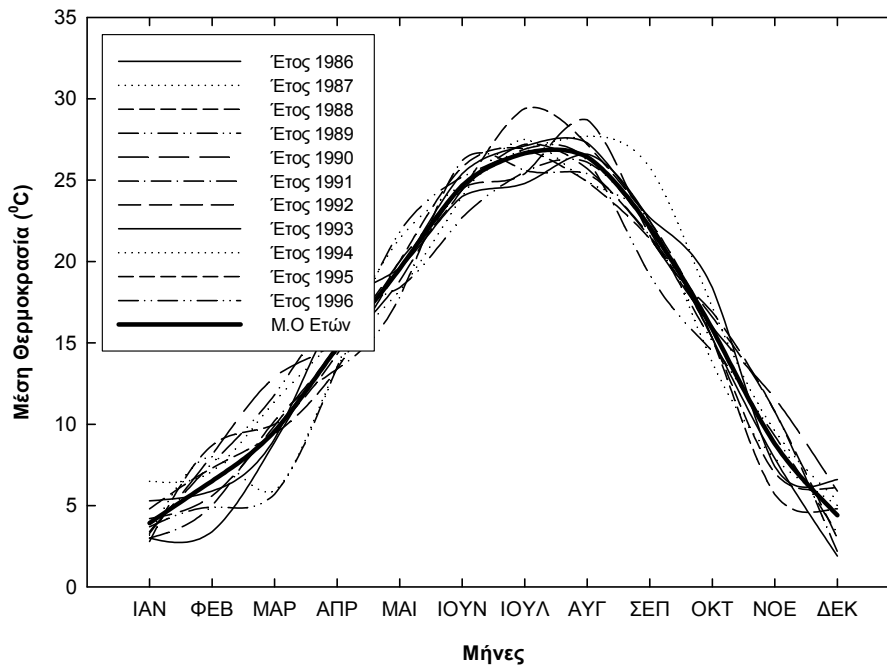
1995	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ΙΑΝ	1018.4	1014	89.8	2.8	-0.1	5.4	-11.8	16.4	55.1	17	49.8	0	6	0
ΦΕΒ	1019	1015	77.9	8.7	3.2	13.1	-3.0	21.0	16.4	4	123.3	0	0	0
ΜΑΡ	1014.2	1010	71.4	10	4.0	14.4	-1.8	20.4	44.9	9	172.7	2	1	0
ΑΠΡ	1014.4	1010	61.2	14.3	7.4	20.1	2.0	27.4	24.6	9	233.1	2	0	0
ΜΑΙ	1014.2	1010	58.2	20	12.4	25.9	6.2	33.0	47.0	14	245.5	5	0	0
ΙΟΥ	1011.9	1008	53.0	25.8	17.6	32.2	14.2	36.0	26.3	10	302.1	11	0	0
ΙΟΥ	1012.8	1009	55.8	26.9	18.6	32.8	16.0	37.0	37.0	10	243.2	8	0	0
ΑΥΓ	1012.7	1009	59.1	24.9	17.7	31.0	11.6	35.8	58.7	10	255.0	10	0	0
ΣΕΠ	1014.6	1011	62.2	21.4	14.2	27.0	10.2	31.8	28.2	5	216.4	0	0	0
ΟΚΤ	1023.3	1019	63.5	15.3	7.8	22.0	2.6	28.6	0.0	0	210.8	0	0	0
ΝΟΕ	1018.1	1014	72.6	7.0	2.3	12.2	-6.8	21.6	33.0	9	115.2	0	0	0
ΔΕΚ	1021.3	1017	89.4	6.1	3.4	8.8	-4.2	18.6	110.6	14	47.5	0	0	0

Πίνακας 11. Μετεωρολογικά και κλιματολογικά στοιχεία για το έτος 1996

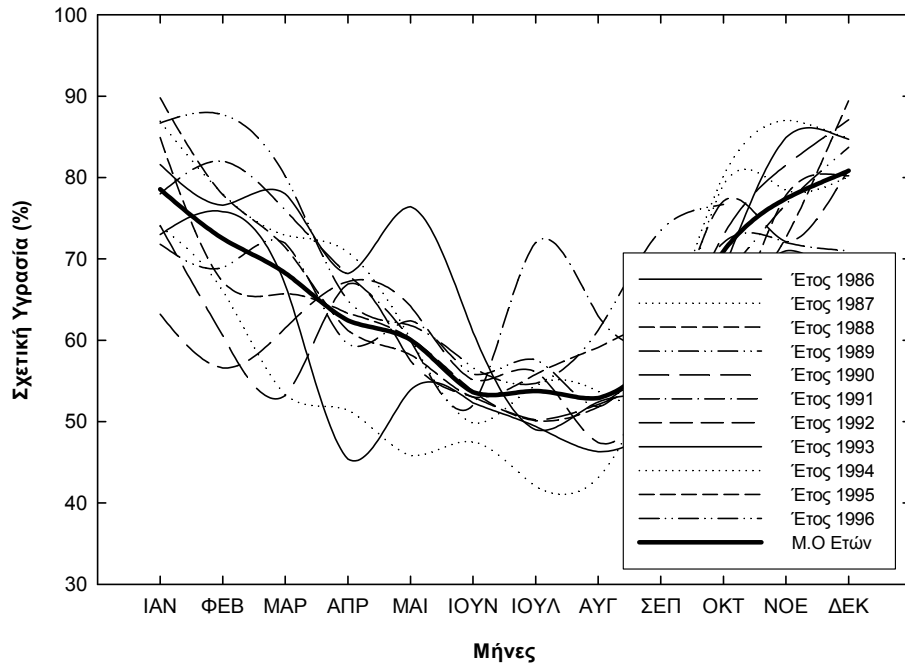
1996	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ΙΑΝ	1020.8	1016.4	86.7	3.7	0.7	6.4	-5.6	12.0	50.1	11	71.0	0	4	0
ΦΕΒ	1014.9	1010.6	87.7	4.9	1.6	8.0	-4.4	16.4	89.8	14	82.1	0	1	0
ΜΑΡ	1017.0	1012.7	80.2	5.7	2.0	9.2	-4.8	17.4	48.4	17	90.9	1	2	0
ΑΠΡ	1015.5	1011.4	64.9	13.5	6.6	18.7	2.0	25.8	34.8	7	183.6	2	0	0
ΜΑΙ	1012.2	1008.2	61.8	21.8	14.0	27.6	8.8	33.2	84.6	9	224.0	4	0	1
ΙΟΥ	1016.2	1012.2	56.6	25.2	17.3	30.4	14.2	34.6	3.0	2	305.8	5	0	0
ΙΟΥ	1014.0	1010	54.7	26.9	18.6	32.5	14.8	37.6	6.5	2	315.2	1	0	0
ΑΥΓ	1013.3	1009.3	61.2	26.2	18.4	32.6	14.4	37.2	25.2	8	303.0	7	0	0
ΣΕΠ	1011.6	1007.5	73.5	19.2	13.2	25.0	8.0	30.6	58.5	15	199.2	6	0	0
ΟΚΤ	1019.5	1015.4	76.7	14.5	8.9	19.7	0.2	26	29.1	5	144.3	0	0	0

Πίνακας 12. Συγκριτικά μετεωρολογικά και κλιματολογικά στοιχεία για τα διαστήματα 1975-1988 (Α) και 1986-1996 (Β)

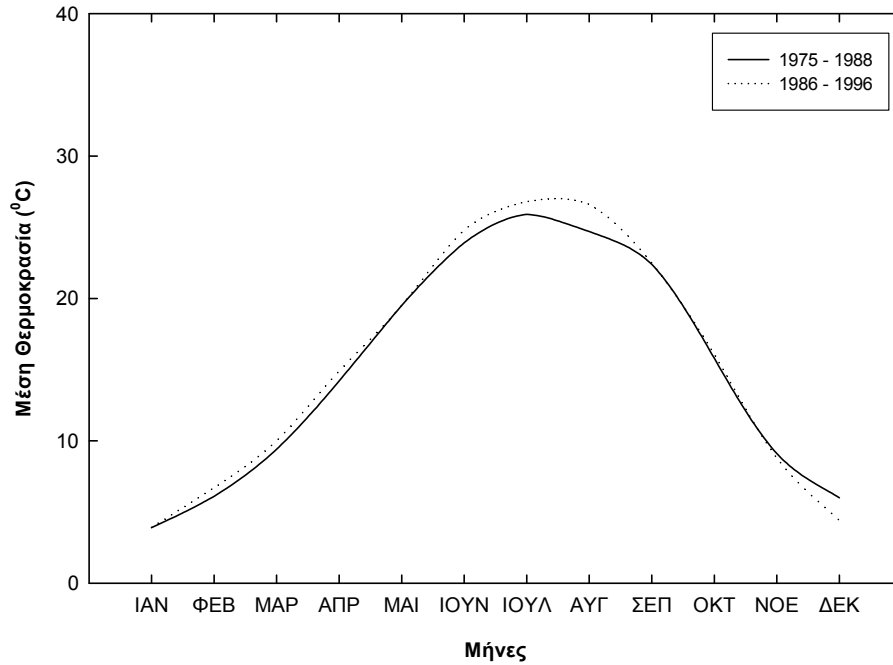
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
	3		4		5		6		7		8		9		10	
ΙΑΝ	75.1	78.5	3.9	3.9	0.0	-0.3	7.6	8.9	-17.6	-8.2	17.6	13.9	37.1	27.2	9.9	4.1
ΦΕΒ	71.2	71.8	6.1	6.7	1.6	1.4	10.2	11.3	-11.2	-5.1	22.0	16.9	45.1	27.2	9.7	4.1
ΜΑΡ	66.8	67.8	9.4	10.0	4.0	2.9	14.8	15.2	-6.8	-2.5	27.0	20.9	44.6	27.3	9.8	4.1
ΑΠΡ	61.6	62.8	14.2	14.9	7.6	6.4	19.6	20.5	0.6	3.3	30.6	23.8	36.8	27.3	9.9	4.1
ΜΑΙ	58.0	60.4	19.5	19.5	12.5	9.9	25.0	25.1	4.8	6.3	36.0	28.8	44.3	27.3	10.8	4.1
ΙΟΥ	53.4	53.8	23.9	24.8	16.0	13.4	29.6	30.5	7.9	11.9	39.4	32.6	43.4	27.3	6.4	4.1
ΙΟΥ	54.0	54.2	25.9	26.8	18.2	15.1	31.7	32.9	11.4	15.1	41.0	34.4	28.3	27.3	4.2	4.1
ΑΥΓ	54.0	52.6	24.7	26.6	17.8	14.8	30.8	33.1	10.6	14.8	40.6	34.1	32.1	27.4	6.1	4.1
ΣΕΠ	59.0	58.1	22.4	22.5	14.2	11.8	27.9	29.3	9.8	9.7	34.6	31.4	23.8	27.4	4.4	4
ΟΚΤ	69.7	71.1	15.8	16.1	9.3	7.9	22.0	21.9	-1.6	3.7	27.0	26.3	41.4	27.5	6.7	4
ΝΟΕ	75.7	77.4	9.1	8.8	4.5	3.3	13.8	13.3	-4.9	-3.1	24.0	19.6	51.6	23.9	9.1	3.9
ΔΕΚ	78.2	80.8	6.0	4.4	0.9	-0.3	9.1	8.3	-9.2	-6.0	17.4	13.6	40.6	23.9	9.1	3.9



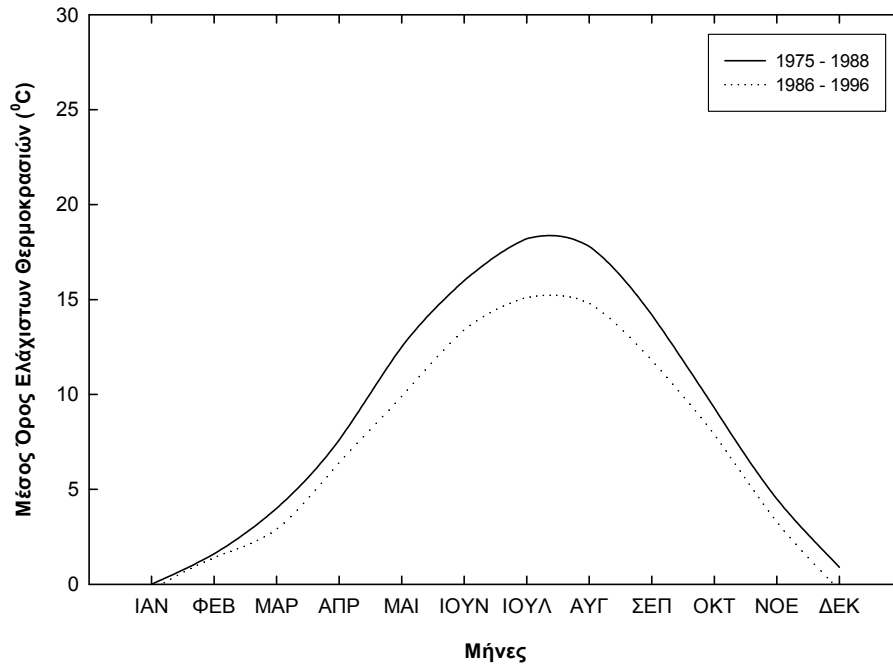
Σχήμα 1. Διάγραμμα μηνιαίας μεταβολής της μέσης θερμοκρασίας για κάθε έτος από το 1986 μέχρι 1996



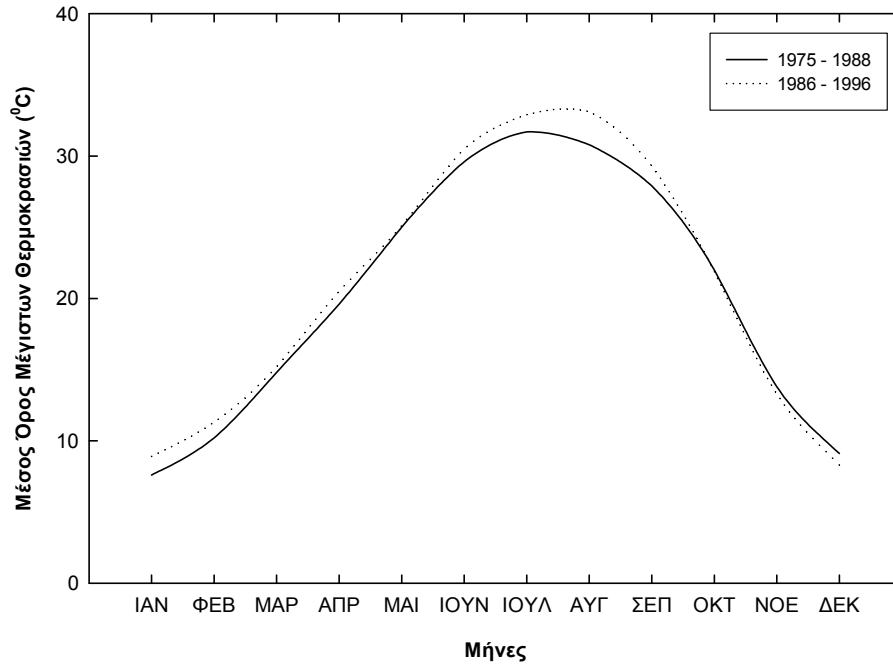
Σχήμα 2. Διάγραμμα μηνιαίας μεταβολής της σχετικής υγρασίας για κάθε έτος από το 1986 μέχρι 1996



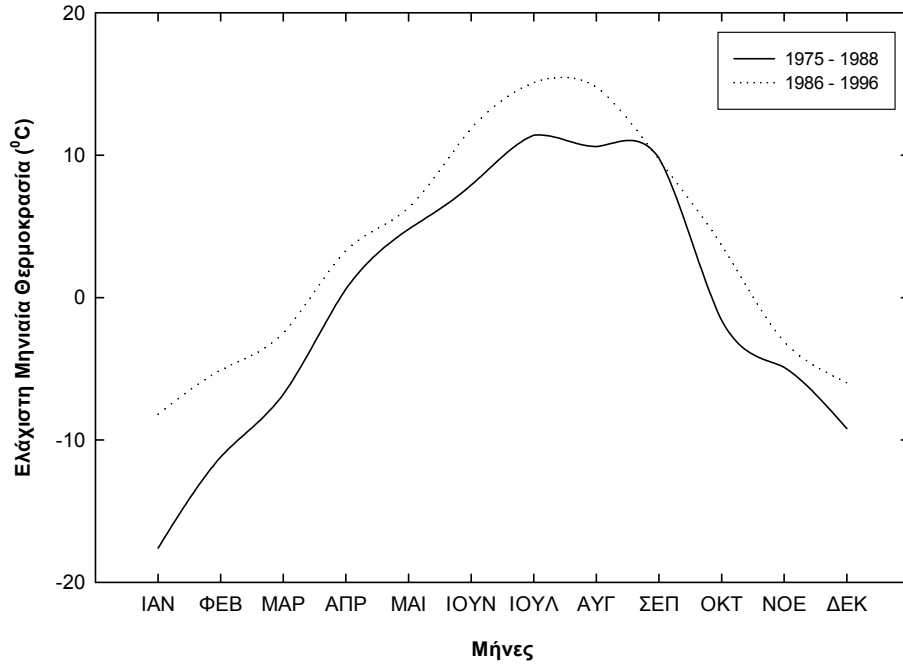
Σχήμα 3. Διάγραμμα μηνιαίας μεταβολής της μέσης θερμοκρασίας στα διαστήματα 1975 - 1988 και 1986 - 1996



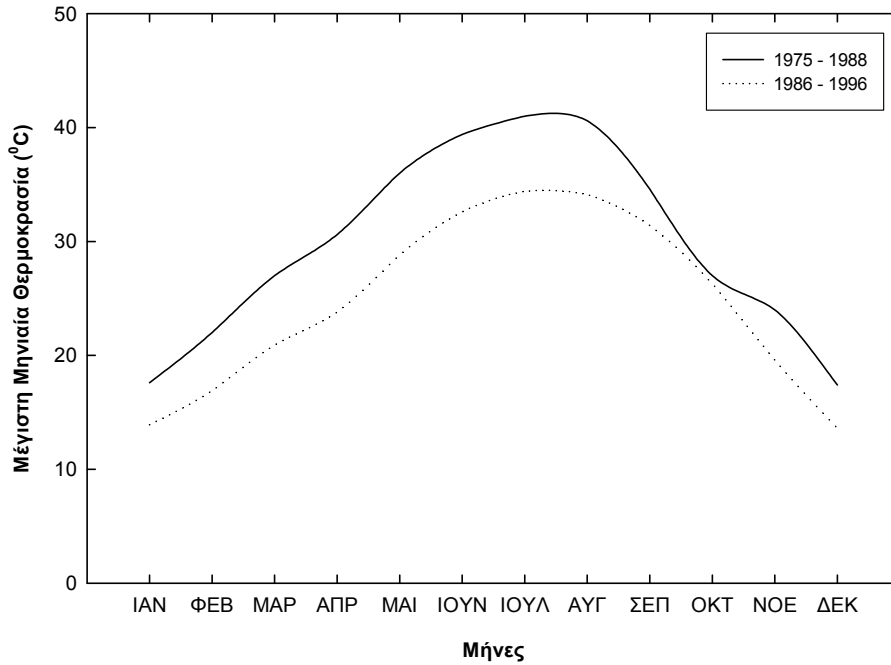
Σχήμα 4. Διάγραμμα μηνιαίας μεταβολής του μέσου όρου ελάχιστων θερμοκρασιών στα διαστήματα 1975 - 1988 και 1986 - 1996



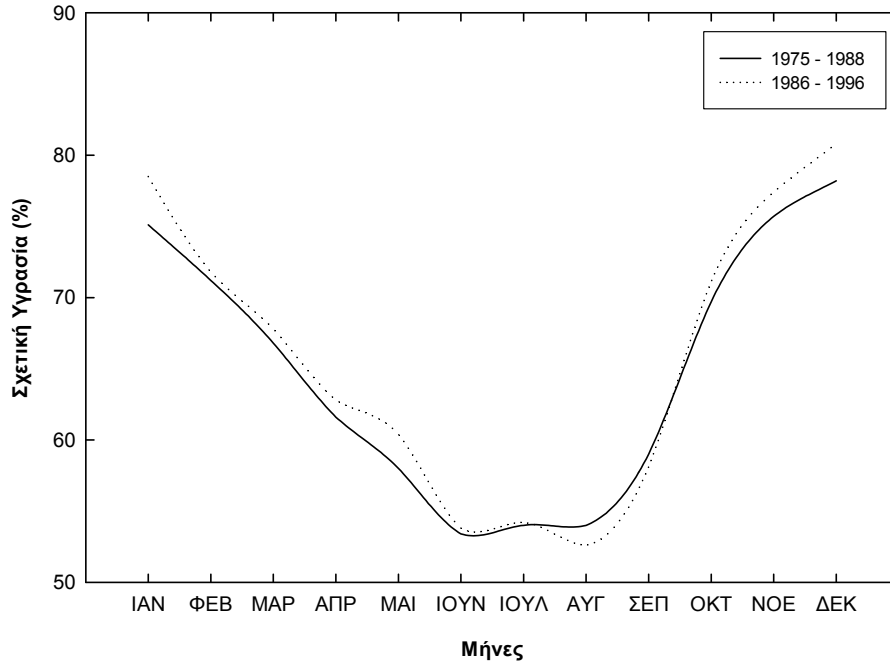
Σχήμα 5. Διάγραμμα μηνιαίας μεταβολής του μέσου όρου μέγιστων θερμοκρασιών στα διαστήματα 1975 - 1988 και 1986 - 1996



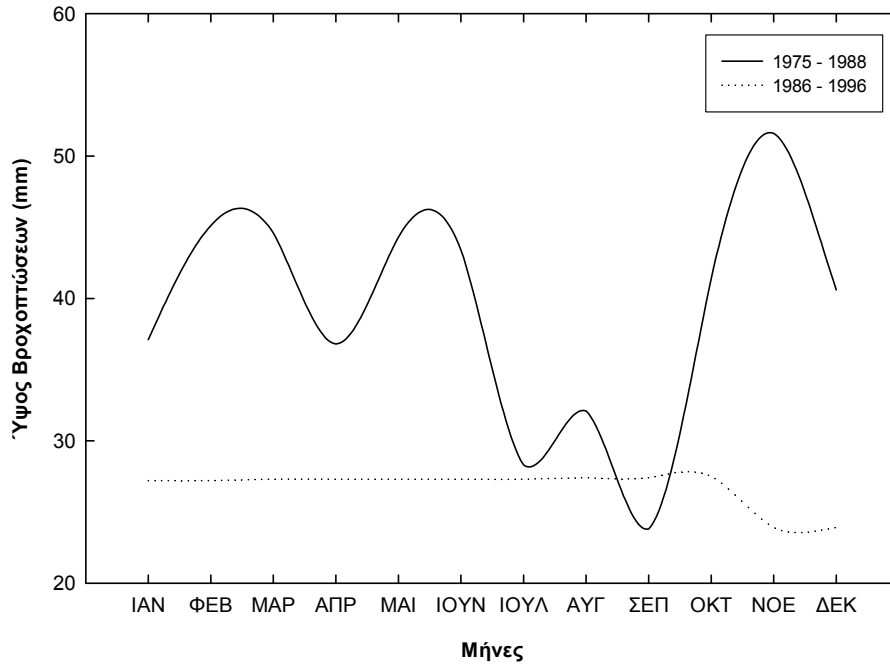
Σχήμα 6. Διάγραμμα μηνιαίας μεταβολής της ελάχιστης θερμοκρασίας στα διαστήματα 1975 - 1988 και 1986 - 1996



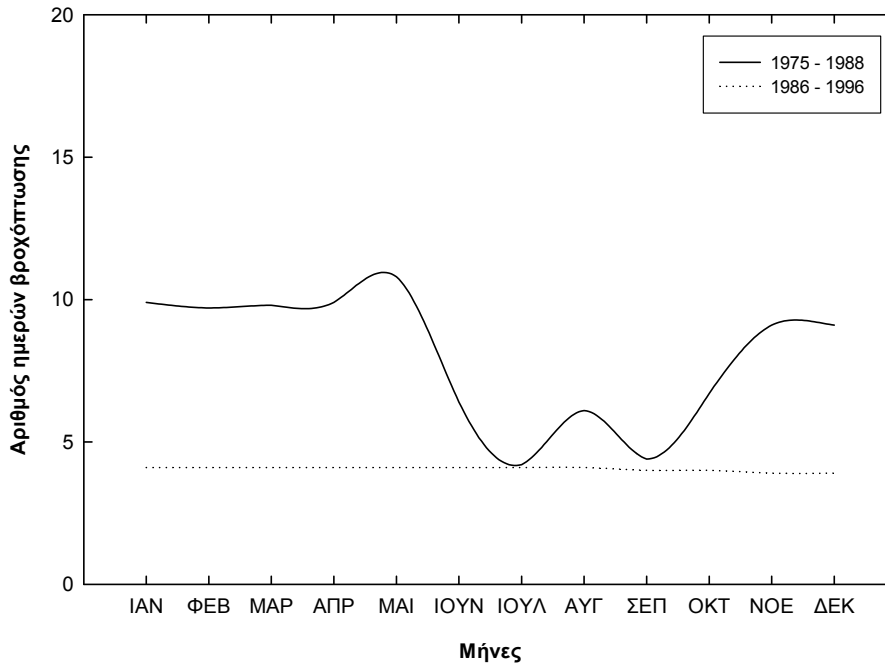
Σχήμα 7. Διάγραμμα μηνιαίας μεταβολής της μέγιστης θερμοκρασίας στα διαστήματα 1975 - 1988 και 1986 - 1996



Σχήμα 8. Διάγραμμα μηνιαίας μεταβολής της σχετικής υγρασίας στα διαστήματα 1975 - 1988 και 1986 - 1996



Σχήμα 9. Διάγραμμα μηνιαίας μεταβολής του ύψους βροχοπτώσεων στα διαστήματα 1975 - 1988 και 1986 - 1996



Σχήμα 10. Διάγραμμα μηνιαίας μεταβολής του αριθμού ημερών βροχόπτωσης στα διαστήματα 1975 - 1988 και 1986 - 1996

Οι μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας έγιναν από το εργαστήριο Ήπιων Μορφών Ενέργειας (Σχήμα 11) του Τ.Ε.Ι Σερρών (γεωγραφικό πλάτος $41^{\circ} 07'$ και γεωγραφικό μήκος $23^{\circ} 40'$), αναφέρονται σε οριζόντιο επίπεδο και έγιναν με ένα πυρανόμετρο ακριβείας Erppley (μοντέλο PSP) που βαθμονομήθηκε στην αρχή της περιόδου των μετρήσεων (μετράει ολική ακτινοβολία με θερμοηλεκτρική στήλη, που σκεπάζεται από ημισφαίριο με διπλά γυάλινα τοιχώματα). Το μέγιστο σφάλμα από τη συλλογή, καταγραφή, αποθήκευση και επεξεργασία των δεδομένων δεν ξεπερνά το 3%. Ταυτόχρονα με τις τιμές ολικής ηλιακής ακτινοβολίας καταγράφηκαν επίσης και δεδομένα ταχύτητας και διεύθυνσης του ανέμου. Οι μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας αφορούν τη συνολική ακτινοβολία, I , ανά 1 h για 24 h για όλη τη διάρκεια του έτους 2004. Οι μετρήσεις από το σταθμό δίνουν τη συνολική ακτινοβολία αλλά όχι την εξωγήινη. Στο κεφάλαιο 4 αναφέρονται οι εξισώσεις που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της εξωγήινης ακτινοβολίας.

Οι μη νεφελώδεις ημέρες ξεχωρίζονται (Black, 1954 και Al-Riahi, 1990) κάνοντας χρήση του δείκτη αιθριότητας, K_T (λόγος της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης προς την εξωγήινη ηλιακή ακτινοβολία), ο οποίος θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος από κάποια τιμή, π.χ. 0.64. Η παράμετρος αυτή έχει δεχθεί κριτική για την αξιοπιστία και την καταλληλότητα της αφού η ηλιακή ακτινοβολία εξαρτάται, εκτός από την απόσταση ήλιου - γης (δηλαδή τον ημερολογιακό χρόνο) και το γεωγραφικό πλάτος, και από τις ειδικές κλιματολογικές συνθήκες του κάθε τόπου οι οποίες μάλιστα μπορεί να έχουν πιο σημαντική επίδραση ακόμα και από το γεωγραφικό πλάτος (Erbs, 1982 και Perez, 1990). Στον Πίνακα 13 δίνονται οι μέσες μηνιαίες τιμές της συνολικής και της εξωγήινης ακτινοβολίας, καθώς και ο μέσος μηνιαίος δείκτης αιθριότητας για το έτος 2004. Στους επόμενους Πίνακες 14 και 15, δίνονται οι μέσες μηνιαίες τιμές της ωριαίας συνολικής ακτινοβολίας μεταξύ των ωρών 05:00 - 12:00 και 12:00 - 19:00 για το έτος 2004,

αντίστοιχα. Στον Πίνακα 16 δίνεται η μέση μηνιαία τιμή της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου που προήλθαν από ημερήσιες μετρήσεις (με ανεμόμετρο) των δύο αυτών μεγεθών από το Τ.Ε.Ι Σερρών. Η ταχύτητα του αέρα είναι σε m/s και η διεύθυνση του σε μοίρες.



Σχήμα 11. Μετεωρολογικός σταθμός του Τ.Ε.Ι Σερρών

Πίνακας 13. Μέση μηνιαία τιμή της ημερήσιας συνολικής και εξωγήινης ακτινοβολίας καθώς και του δείκτη αιθριότητας για το 2004

2004	I (μέση μηνιαία τιμή σε MJ/m ²)	I ₀ (μέση μηνιαία τιμή σε MJ/m ²)	K _T
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	4.48	15.04	0.29
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	7.23	20.21	0.35
ΜΑΡΤΙΟΣ	9.77	27.65	0.35
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	18.42	34.69	0.53
ΜΑΙΟΣ	20.86	39.50	0.53
ΙΟΥΝΙΟΣ	25.40	41.39	0.61
ΙΟΥΛΙΟΣ	22.07	40.03	0.54
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	20.38	35.69	0.56
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	17.04	29.17	0.57
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	12.78	21.90	0.58
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	7.13	16.04	0.44
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	3.62	13.58	0.26

Πίνακας 14. Μέση μηνιαία τιμή της ωριαίας συνολικής ακτινοβολίας μεταξύ των ωρών 05:00 - 12:00 για το 2004

2004	I (MJ/m ²) (05:00 - 06:00)	I (MJ/m ²) (06:00 - 07:00)	I (MJ/m ²) (07:00 - 08:00)	I (MJ/m ²) (08:00 - 09:00)	I (MJ/m ²) (09:00 - 10:00)	I (MJ/m ²) (10:00 - 11:00)	I (MJ/m ²) (11:00 - 12:00)
ΙΑΝ	0.000	0.000	0.000	0.000	0.077	0.301	0.535
ΦΕΒ	0.000	0.000	0.000	0.016	0.225	0.513	0.862
ΜΑΡ	0.000	0.000	0.002	0.123	0.433	0.812	1.110
ΑΠΡ	0.000	0.000	0.159	0.603	1.174	1.658	2.174
ΜΑΙ	0.000	0.042	0.399	0.865	1.299	1.874	2.353
ΙΟΥ	0.000	0.135	0.585	1.198	1.826	2.365	2.828
ΙΟΥ	0.000	0.134	0.430	0.918	1.472	1.961	2.403
ΑΥΓ	0.000	0.001	0.252	0.761	1.311	1.824	2.277
ΣΕΠ	0.000	0.000	0.084	0.502	1.038	1.613	2.067
ΟΚΤ	0.000	0.000	0.010	0.268	0.742	1.200	1.657
ΝΟΕ	0.000	0.000	0.000	0.039	0.310	0.634	0.955
ΔΕΚ	0.000	0.000	0.000	0.000	0.067	0.270	0.462

Πίνακας 15. Μέση μηνιαία τιμή της ωριαίας συνολικής ακτινοβολίας μεταξύ των ωρών 12:00 - 19:00 για το 2004

2004	I (MJ/m ²) (12:00 - 13:00)	I (MJ/m ²) (13:00 - 14:00)	I (MJ/m ²) (14:00 - 15:00)	I (MJ/m ²) (15:00 - 16:00)	I (MJ/m ²) (16:00 - 17:00)	I (MJ/m ²) (17:00 - 18:00)	I (MJ/m ²) (18:00 - 19:00)
ΙΑΝ	0.700	0.784	0.813	0.663	0.443	0.002	0.000
ΦΕΒ	1.108	1.194	1.130	0.952	0.686	0.112	0.000
ΜΑΡ	1.320	1.385	1.326	1.276	1.054	0.265	0.021
ΑΠΡ	2.430	2.545	2.447	1.973	1.479	0.560	0.163
ΜΑΙ	2.519	2.697	2.481	2.184	1.813	0.728	0.329
ΙΟΥ	3.066	3.176	2.935	2.576	1.836	1.018	0.462
ΙΟΥ	2.753	2.787	2.671	2.203	1.854	0.834	0.356
ΑΥΓ	2.564	2.655	2.585	2.213	1.849	0.680	0.233
ΣΕΠ	2.354	2.344	2.182	2.009	1.489	0.402	0.049
ΟΚΤ	1.907	2.038	1.832	1.530	1.022	0.089	0.000
ΝΟΕ	1.113	1.229	1.141	0.949	0.593	0.000	0.000
ΔΕΚ	0.623	0.649	0.653	0.514	0.304	0.000	0.000

Πίνακας 16. Μέση μηνιαία τιμή της ταχύτητας και της διεύθυνσης του αέρα για το 2004

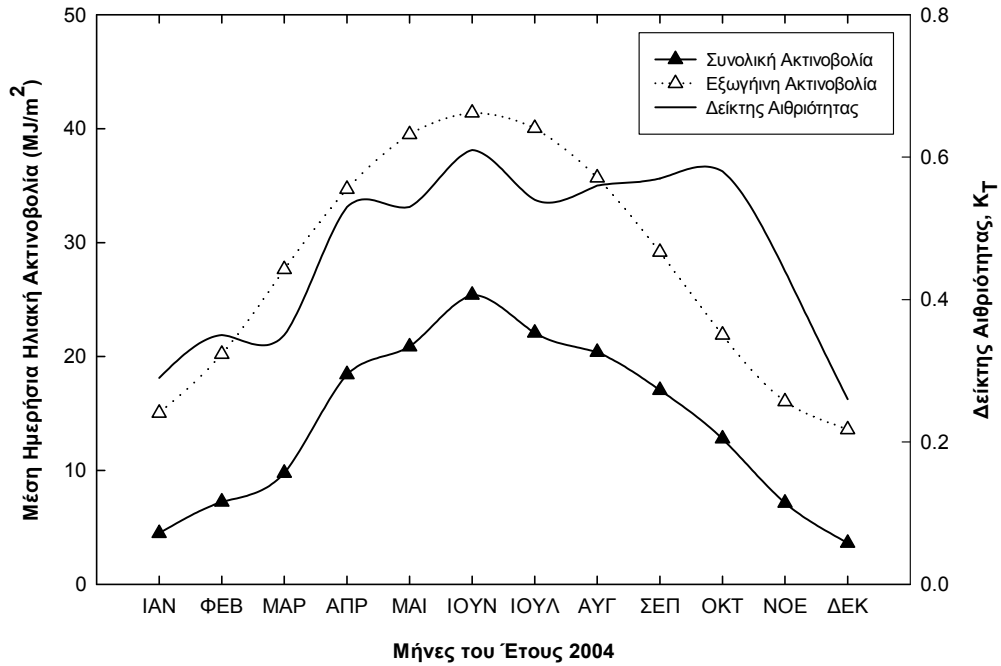
2004	Ταχύτητα αέρα (m/s) ± τυπ. απόκλιση	Διεύθυνση αέρα (μοίρες) ± τυπ. απόκλιση
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	1.10 ±0.79	165.43 ±49.39
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	1.28 ±0.80	186.48 ±48.24
ΜΑΡΤΙΟΣ	1.67 ±1.25	176.04 ±43.52
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	2.14 ±1.53	187.07 ±46.82
ΜΑΙΟΣ	2.04 ±1.24	183.69 ±44.62
ΙΟΥΝΙΟΣ	2.21 ±1.17	169.24 ±37.57
ΙΟΥΛΙΟΣ	1.72 ±0.75	167.18 ±24.61
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	1.95 ±1.15	164.59 ±32.41
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	2.14 ±1.61	157.63 ±41.21
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	1.39 ±1.47	166.08 ±37.11
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	1.69 ±1.79	165.09 ±48.16
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	1.03 ±0.59	159.38 ±51.71

Η ημερήσια συνολική και εξωγήινη ακτινοβολία στις Σέρρες είναι περίπου 10 MJ/m^2 και 25 MJ/m^2 , αντίστοιχα, με μια εποχιακή μεταβολή από 5 MJ/m^2 για συνολική ακτινοβολία και 17 MJ/m^2 για εξωγήινη ακτινοβολία στο μέσο χειμώνα, καθώς και στο 22 MJ/m^2 για συνολική ακτινοβολία και 40 MJ/m^2 για εξωγήινη ακτινοβολία στο μέσο καλοκαίρι. Επίσης, παρατηρείται ότι η μέγιστη συνολική ακτινοβολία σημειώνεται τον Ιούνιο που είναι 25.4 MJ/m^2 και η μέγιστη εξωγήινη ακτινοβολία σημειώνεται τον ίδιο μήνα με τιμή 41.3 MJ/m^2 . Η καλοκαιρινή περίοδος συνεισφέρει περίπου 69% με 73% της ημερήσιας συνολικής και εξωγήινης ακτινοβολίας ανά έτος, αντίστοιχα.

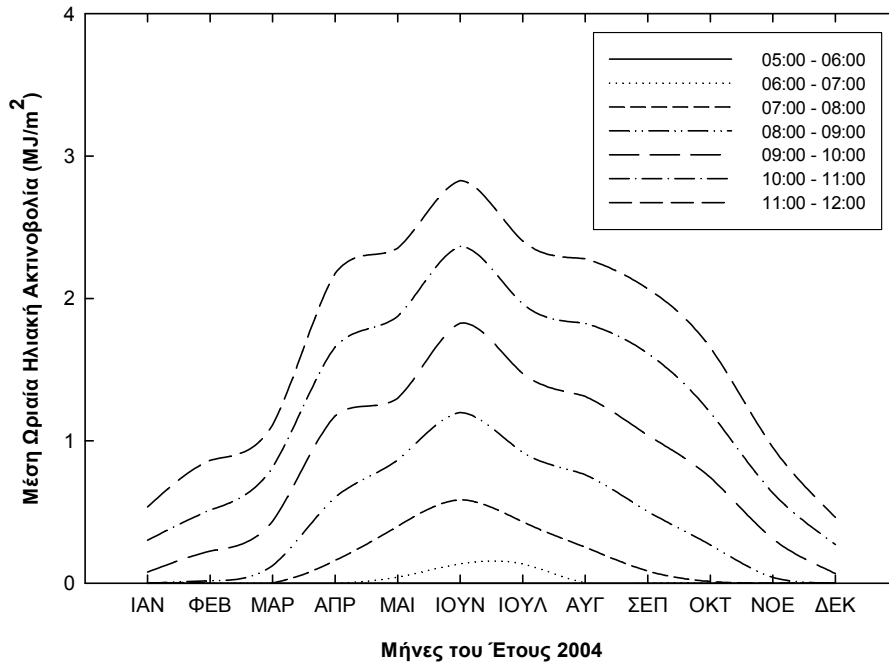
Στο Σχήμα 12 παρατηρούμε τη μηνιαία μεταβολή της μέσης ημερήσιας συνολικής και εξωγήινης ακτινοβολίας για το έτος 2004. Η σχετική διακύμανση που παρουσιάζεται στη καμπύλη της συνολικής ακτινοβολίας, ενώ δεν παρουσιάζεται στην καμπύλη της εξωγήινης ακτινοβολίας, οφείλεται στο γεγονός ότι η εξωγήινη ακτινοβολία υπολογίζεται θεωρητικά, ενώ η συνολική προέρχεται από τις μετρήσεις που παίρνουμε από τον σταθμό. Και στις δυο καμπύλες υπάρχει το αναμενόμενο μέγιστο τους καλοκαιρινούς μήνες. Η μέση μηνιαία τιμή του δείκτη αιθριότητας δεν είναι σταθερή. Η υψηλότερη τιμή εμφανίζεται τον Ιούνιο ($K_T = 0.61$) και η χαμηλότερη εμφανίζεται τον Δεκέμβριο ($K_T = 0.26$), ενώ τους μήνες Φεβρουάριο με Μάρτιο, καθώς και Απρίλιο με Μάιο η τιμή της παραμένει σχετικά σταθερή.

Στα διαγράμματα της μηνιαίας μεταβολής της μέσης ωριαίας συνολικής ακτινοβολίας για τις ώρες 05:00 - 12:00 (Σχήμα 13) και 12:00 - 19:00 (Σχήμα 14) παρατηρούμε ότι κατά τις μεσημεριανές ώρες (11:00 - 16:00) υπάρχει σε όλη τη διάρκεια του έτους αυξημένες μέσες τιμές ηλιακής ακτινοβολίας, με τους καλοκαιρινούς μήνες να εμφανίζουν τις μεγαλύτερες μέσες τιμές.

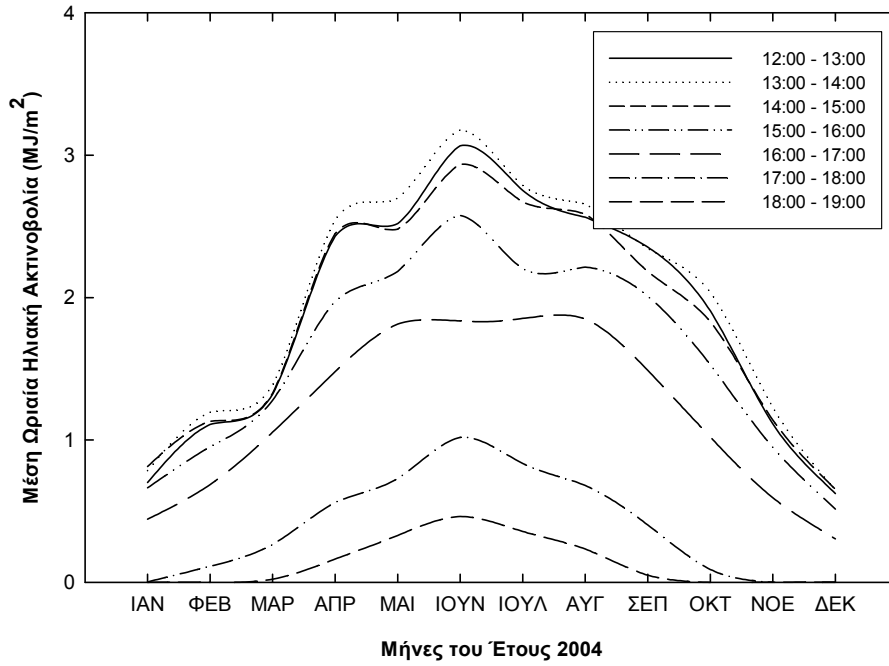
Στο Σχήμα 15 παρατηρούμαι τη μηνιαία μεταβολή της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου για το 2004. Η ταχύτητα του ανέμου παρουσιάζει σημαντική μεταβλητότητα σχεδόν όλους τους μήνες του χρόνου, κάτι που πρέπει να ληφθεί υπόψη στον σχεδιασμό του αεραγωγού. Η διεύθυνση του ανέμου παρουσιάζει σχετική σταθερότητα σε όλους τους μήνες του έτους με διεύθυνση N - ΝΔ.



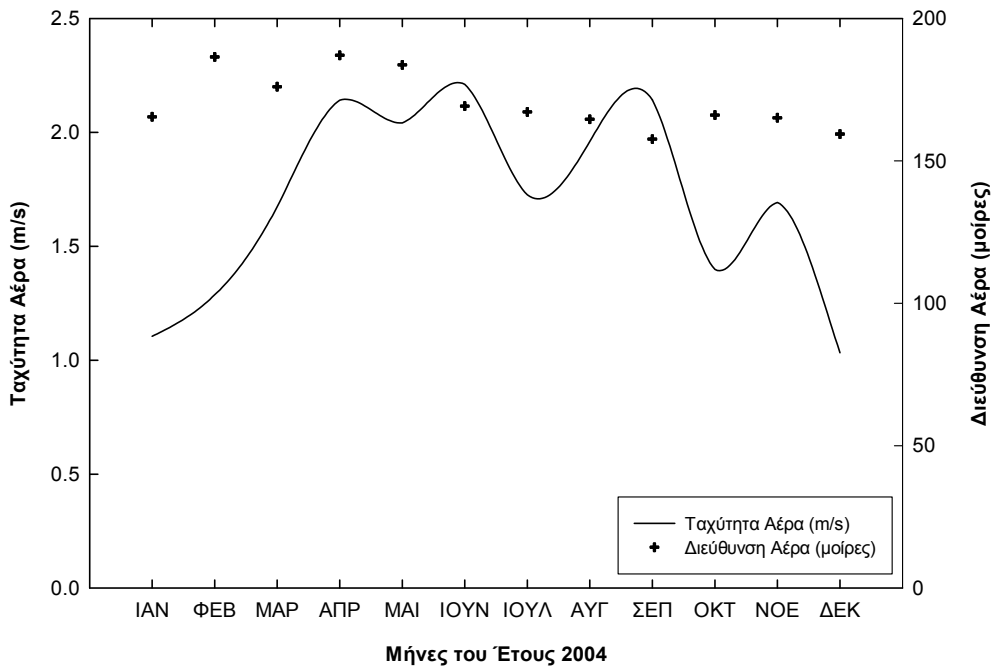
Σχήμα 12. Διάγραμμα μηνιαίας μεταβολής της μέσης ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας (συνολική και εξωγήινη) και του δείκτη αιθριότητας για το 2004



Σχήμα 13. Διάγραμμα μηνιαίας μεταβολής της μέσης ωριαίας συνολικής ακτινοβολίας από τις 05:00 - 12:00 για το 2004



Σχήμα 14. Διάγραμμα μηνιαίας μεταβολής της μέσης ωριαίας συνολικής ακτινοβολίας από τις 12:00 - 19:00 για το 2004



Σχήμα 15. Διάγραμμα μηνιαίας μεταβολής της ταχύτητας και της διεύθυνσης του αέρα για το 2004

4. ΚΑΤΑΣΤΡΩΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΩΝ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ - ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ

Το κυριότερο πρόβλημα στον σχεδιασμό του ηλιακού αεραγωγού είναι ότι η μεταβλητή I_T (ηλιακή έκθεση ανά μονάδα επιφανείας σε κεκλιμένο επίπεδο, σε $\text{kJ/hr}\cdot\text{m}^2$) δεν είναι γνωστή για τις περισσότερες τοποθεσίες. Αντίθετα αυτό που συνήθως καταγράφεται σε μετεωρολογικούς σταθμούς είναι η μεταβλητή, I , που είναι η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε οριζόντιο επίπεδο. Οι Λάλας και άλλοι (1982), παρουσίασαν εκτεταμένους πίνακες με τις προβλέψεις του μοντέλου της ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο, για πολλές τοποθεσίες στην Ελλάδα, βασισμένοι σε μετρήσεις της ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο. Αυτές οι προβλέψεις όμως, επαληθεύονται μόνο με τη σύγκριση των δεδομένων με συγκεκριμένη τοποθεσία (Αθήνα) και επιπλέον είναι 20 ετών παλιές. Στην τελευταία δεκαετία, οι κλιματικές συνθήκες στην περιοχή της Ελλάδας έχουν μεταβληθεί αρκετά (Kararantsios et al., 1999). Γι αυτό το λόγο για να υπολογιστεί η I_T από τις διαθέσιμες τοπικές μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο, χρησιμοποιείται μια γενική διαδικασία. Οι εξισώσεις παρακάτω, εκτός θα αναφερθούν επιπλέον, έχουν παρθεί από τους Duffie and Beckman (1991). Η ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο, I , εκφράζεται σαν άθροισμα δυο μεταβλητών: την άμεση ακτινοβολία και την διάχυτη ακτινοβολία από τον ουρανό:

$$I = I_b + I_d \quad (1)$$

Θεωρώντας μέσες ωριαίες τιμές ακτινοβολίας, η δείκτης αιθριότητας ορίζεται ως:

$$K_T = \frac{I}{I_o} \quad (2)$$

όπου I_o είναι η εξωγήινη ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο, η οποία δίνεται από την εξίσωση:

$$I_o = \frac{12 \times 3600}{\pi} G_{sc} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365} \right) \times \left[\cos \phi \cos \delta (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + \frac{\pi(\omega_2 - \omega_1)}{180} \sin \phi \sin \delta \right] \quad (3)$$

όπου G_{sc} είναι η ηλιακή σταθερά (1367 W/m^2), n είναι η ημέρα του χρόνου (1 ως 365), ϕ είναι το γεωγραφικό πλάτος της τοποθεσίας ενδιαφέροντος (η γωνία που σχηματίζει η ακτινική γραμμή που ενώνει την τοποθεσία ενδιαφέροντος και το κέντρο της γης με την προέκταση της γραμμής του ισημερινού), δ είναι η ηλιακή απόκλιση (η γωνία που σχηματίζει η γραμμή που ενώνει τα κέντρα του ήλιου και της γης με την προέκταση της γραμμής του ισημερινού) και ω είναι η ωριαία γωνία ανατολής (γωνιακή μέτρηση του χρόνου και ισοδυναμεί με 15° της ώρας). Η ηλιακή απόκλιση δ υπολογίζεται από την εξίσωση του Cooper όπως αναφέρεται στους Duffie και Beckman, (1991):

$$\delta = 23.45 \cdot \sin \left(360 \frac{284 + n}{365} \right) \quad (4)$$

όπου η γωνία ω δίνεται σε μοίρες (αρνητικές πριν το μεσημέρι και θετικές μετά), από την εξίσωση:

$$\omega = \cos^{-1}[-\tan(\phi) \cdot \tan(\delta)] \text{ ή } \omega = 0.25 \cdot (\text{λεπτά της ώρας από τον τοπικό μεσημβρινό}) \quad (5)$$

και ο ηλιακός χρόνος, Sot (σε λεπτά), σχετίζεται με την τοπική ώρα, Stt (σε λεπτά), από την εξίσωση:

$$Sot - Stt = 229.2(0.000075 + 0.001868 \cos X - 0.032077 \sin X - 0.014615 \cos 2X - 0.04089 \sin 2X) \quad (6)$$

όπου $X = (n - 1) \cdot (360/365)$. Η διάχυτη ακτινοβολία υπολογίζεται από την επόμενη συσχέτιση:

$$\frac{I_d}{I} = \begin{cases} 1.0 - 0.09k_T & \text{for } k_T \leq 0.22 \\ 0.9511 - 0.1604k_T + 4.388k_T^2 - 16.638k_T^3 + 12.336k_T^4 & \text{for } 0.22 < k_T \leq 0.80 \\ 0.165 & \text{for } k_T > 0.80 \end{cases} \quad (7)$$

και από αυτή, η άμεση ακτινοβολία υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$I_b = I - I_d \quad (8)$$

Μια συνήθης πρακτική για την εκτίμηση της ακτινοβολίας σε κεκλιμένες επιφάνειες είναι να θεωρήσουμε ένα ισοτροπικό μοντέλο για την διάχυτη ακτινοβολία (Liu και Jordan, 1963) και να υποθέσουμε ότι οι ανακλώμενες επιφάνειες είναι διαχυτικές και όχι κατοπτρικές. Σ' αυτή την περίπτωση η ακτινοβολία στην επιφάνεια απορρόφησης που είναι κεκλιμένη σε γωνία β , δίνεται από την εξίσωση (Sukhatme, 1984):

$$I_T = I_b R_b + I_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + I_r \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (9)$$

όπου ο τελευταίος όρος περιγράφει την ακτινοβολία που ανακλάται από διάφορες επιφάνειες, που τις "βλέπει" η απορροφητική επιφάνεια, r_g είναι η διάχυτη ανάκλαση του περιβάλλοντος χώρου (συνήθως είναι περίπου 0.20) και R_b είναι το κλάσμα της ακτινοβολίας στην κεκλιμένη επιφάνεια προς αυτή σε οριζόντιο επίπεδο. Το R_b για το βόρειο ημισφαίριο δίνεται από την εξίσωση (Sukhatme, 1984):

$$R_b = \frac{\cos(\phi - \beta) \cos \delta \cos \omega + \sin(\phi - \beta) \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta} \quad (10)$$

Στις περισσότερες πρακτικές περιπτώσεις, η θέρμανση του αέρα μέσα στην καμινάδα είναι αυτή που θα επιδράσει στην απόδοση της, δημιουργώντας επαρκή ροή αέρα (Sodha et al., 1987, Akachuku, 1986). Η καμινάδα έχει σχεδιαστεί για φυσικό ελκυσμό και ακολουθεί τις επόμενες σχέσεις παρακάτω:

$$F_R [I_T (\tau \alpha)_c - U_{Lch} (T_{och} - T_{od})] = V_a \rho_a c_{pa} / (S * H) (T_{och} - T_{od}) \quad (11)$$

Όπου U_{Lch} είναι ο ολικός συντελεστής απώλειας θερμότητας (για το ίδιο πάχος μόνωσης: $U_{Lch} \cong U_L$), U_L είναι ο ολικός συντελεστής απώλειας θερμότητας του συλλέκτη, που αποτελεί μέρος ξηρατηρίου, όπου είναι προσαρμοσμένη η καμινάδα σε $W/m^2 \cdot ^\circ C$, ρ_a είναι η πυκνότητα του αέρα σε kg/m^3 , T_{och} είναι η θερμοκρασία εξόδου από την καμινάδα του αέρα σε $^\circ C$, T_{od} είναι η

Θερμοκρασία εξόδου από το ξηραντήριο όπου είναι προσαρμοσμένη η καμινάδα σε °C, F_R είναι ο συντελεστής απώλειας θερμότητας από τον συλλέκτη, c_{pa} είναι η μέση θερμοχωρητικότητα του αέρα σε kJ/kg·K, S είναι το πάχος τη καμινάδας σε m, V_a είναι η ογκομετρική παροχή σε m³/h, $(\tau_a)_c$ είναι το πραγματικό γινόμενο απορρόφησης-εκπομπής και H είναι το ύψος της καμινάδας. Ο συντελεστής εκπομπής τ της υαλοκατασκευής έχει τιμή περίπου 0.85 και ο συντελεστής α της μαύρης επιφάνειας είναι περίπου 0.95, ενώ στις περισσότερες περιπτώσεις ο U_L είναι περίπου 5 W/m²·°C (Garg, 1987). Εφαρμόζοντας την εξίσωση της ορμής στην καμινάδα παίρνουμε την εξίσωση:

$$\Delta P = H(\rho_a - \rho_{ch})g \frac{B}{760} - \tau_w [2(S + P)H / (S * P)] \quad (12)$$

όπου ΔP είναι η απαιτούμενη πίεση αναρρόφησης σε N/m² (συνήθως έχει τιμή 0.5 mm νερού για ηλιακές καμινάδες, Das & Kumar, 1989), g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας σε m/s², ρ_{ch} είναι η μέση πυκνότητα του αέρα στην καμινάδα, B είναι η βαρομετρική πίεση σε mm Hg, P είναι το βάθος της καμινάδας σε m και τ_w είναι η διατμητική τάση στον αέρα σε επαφή με την επιφάνεια της καμινάδας σε N/m². Αυτή δίνεται από την εξίσωση:

$$\tau_w = \frac{1}{2} \rho_{ch} u_{ch}^2 f_{ch} \quad (13)$$

όπου u_{ch} είναι η μέση ταχύτητα του αέρα μέσα στην καμινάδα ($V_a / [S \cdot P]$), ενώ ο παράγοντας τριβής μπορεί να βρεθεί χρησιμοποιώντας την εξίσωση (14) για στρωτή ροή ή την εξίσωση (15) για τυρβώδη ροή, οπότε:

$$f_{ch} = \frac{64}{Re} \quad (14)$$

$$f_{ch} = \frac{0.079}{Re^{0.25}} \quad (15)$$

με τον αριθμό Reynolds να δίνεται από την εξίσωση:

$$Re = \frac{D_h \rho_{ch} u_{ch}}{\mu_{ch}} \quad (16)$$

όπου D_h είναι η υδραυλική μέση διάμετρο της καμινάδας και ορίζεται ως:

$$D_h = \frac{2S * P}{S + P} \quad (17)$$

όπου μ_{ch} είναι το μέσο ιξώδες του αέρα μέσα στην καμινάδα. Οι Pasumarthi & Sherif (1998) παρουσίασαν μια παρόμοια ανάλυση στο σχεδιασμό μιας μεγάλης μεγέθους ηλιακής καμινάδας για εργοστάσιο ενέργειας. Οι Ekechukwu & Norton (1995) παρουσίασαν μια απλούστερη έκδοση της εξίσωσης (12) με την προϋπόθεση ότι η διαφορά πίεσης εξαιτίας της ανωστικής θερμικής πίεσης μέσα στην καμινάδα, αντισταθμίζει πλήρως την πτώση πίεσης εξαιτίας των απωλειών τριβής. Θέτοντας $f_{ch} = 0.003$ (για τυρβώδη ροή), η ογκομετρική παροχή αέρα μέσα στην καμινάδα δίνεται από την εξίσωση:

$$V_a = 0.113\pi D_h^2 \left[\frac{D_h g}{\rho_a} (T_{ch} - T_{am}) \right]^{0.5} \quad (18)$$

όπου T_{ch} είναι η μέση θερμοκρασία της καμινάδας: $T_{ch} = (T_{od} + T_{och}) / 2$. Για δεδομένο V_a , S και P , μπορούμε να υπολογίσουμε τα T_{och} και H , λύνοντας τις εξισώσεις (11) ως (17) ή τις εξισώσεις (11), (17) και (18). Οι προηγούμενες θεωρητικές προσεγγίσεις μαζί με τη δοκιμαστική λειτουργία έκαναν δυνατό τον επιτυχημένο σχεδιασμό της ηλιακής καμινάδας.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Aboulnaga, M. M., Abrabboth, S. N. (2000). Improving night ventilation into low-rise buildings in hot-arid climates exploring a combined wall-roof solar chimney, *Renewable Energy*, 19, 47-54.
- Afonso, C. and Oliveira, A. (2000). Solar chimneys: simulation and experiment, *Energy and Buildings*, 32, 71-79.
- Akachuku, A. E. (1986). Solar kiln dryers for timber and agricultural crops, *Int. J. Ambient Energy*, 7(2), 95-101.
- Al-Riahi, M., Al-Hamdani, N., and Tahir, K. (1990). Contribution to the study of the solar radiation climate of the Baghdad environment, *Solar Energy*, 44(1), 7-12.
- Balocco, C. (2002). A simple model to study ventilated facades energy performance, *Energy and Buildings*, 34, 469-475.
- Balouktsis, A., Tsanakas, D., and Vachtsevanow, G. (1989). Stochastic modeling of daily global solar radiation, *Int. J. solar Energy*, 7, 1-10.
- Black, J. N., Bonython C. W., and Prescott, J. A. (1954). Solar radiation and the duration of sunshine, *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, 80, 231-235.
- Bernardes, M. A., Valle, R. M. and Cortez, M. F-B. (1999). Numerical analysis of natural laminar convection in a radial solar heater, *Int. J. Therm. Sci.*, 38, 42-50.
- Bernardes, M. A., Vob., A., and Weinrebe, G. (2003). Thermal and technical analysis of solar chimneys, *Solar Energy*, 75, 511-523.
- Bouchair, A., and Fitzgerald, D. (1988). The optimum azimuth for a solar chimney in hot climates, *Energy and Buildings*, 12, 135-140.
- Chen, Z. D., Bandothayay, P., Halldorsson, J., Byrjalsen, C., Heiselberg, P., and Li, Y. (2003). An experimental investigation of a solar chimney model with uniform wall heat flux, *Building and Environment*, 38, 893-906.
- Dai, Y. J., Huang, H. B., and Wang, R. Z. (2003). Case study of solar chimney power plants in China, *Renewable Energy*, 28, 1295-1304.
- Das, S. K. and Kumar, Y. (1989). Design and performance of a solar dryer with vertical collector chimney suitable for rural application, *Energy Convers. Mgmt.*, 29(2), 129-135.
- Duffie, J.A., and Beckman, W.A. Solar engineering of thermal processes, 2nd edition, John Wiley & Sons, New York, 1990.
- Ekechukwu, O. V. and Norton, B. (1995). Design and measured performance of a solar chimney for natural circulation solar energy dryers, *Journal of Solar Energy Engineering*, 118, 69-71.

- Erbs, D. G., Klein, S. A., and Duffie, J. A. (1982). Estimation of the diffuse radiation fraction for hourly, daily and monthly-average global radiation, *Solar Energy*, 28(5), 293-302.
- Gan, G. (1998). A parametric study of Trombe walls for passive cooling of buildings, *Energy and Buildings*, 27, 37-43.
- Gannon, A. J. and von Backstrom, T. M. (2000). Solar chimney cycle analysis with system loss and solar collector performance, *Journal of Solar Energy Engineering*, 122, 133-137.
- Garg, H. P. Solar Food Drying, Vol. 3, in *Advances in Solar Energy Technology. Heating, Agricultural and Photovoltaic Applications of Solar Energy*, D. Reidel Publishing Co., Dordrecht, Holland, 1987.
- Haaf, W. (1984). Solar chimneys, part II: preliminary test results from Manzanares Pilot Plant, *Int. J. Solar Energy*, 2, 141-161.
- Haaf, W. (1983). Solar chimneys, part I: principles and construction of the Pilot Plant in Manzanares, *Int. J. Solar Energy*, 2, 3-20.
- Κακούρης, Α. και Λαμπρινός, Γ. Αερισμός αγροτικών κτιρίων με ηλιακή καμινάδα, Πρακτικά Έθνικού Συνεδρίου για τις Ήπιες μορφές ενέργειας, 434-442, Αθήνα, 1996.
- Καραθάνος, Β. Θ. και Μπελεσιώτης, Β. Γ. Κινητική ηλιακής ξήρανσης αγροτικών προϊόντων και ξήρανσης σε ξηραντήριο εξαναγκασμένης κυκλοφορίας, Πρακτικά Έθνικού Συνεδρίου για τις Ήπιες μορφές ενέργειας, 443-452, Αθήνα, 1996.
- Καραπάντσιος, Θ., Χατζημωυσιάδης, Κ., Μπαλουκτσής, Α., και Τσίντσης, Μ. Αξιοποίηση δεδομένων ολικής ηλιακής ακτινοβολίας για προκαταρκτικές εκτιμήσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, Πρακτικά Έθνικού Συνεδρίου για τις Ήπιες μορφές ενέργειας, 1-10, Αθήνα, 1996.
- Karapantsios, T.D., Hatzimoisiadis, K.A. and Balouktsis, A.I. (1999). Estimation of total atmospheric pollution using global radiation data: introduction of a novel clear day selection methodology, *Renewable Energy*, 17, 169-181.
- Kazansky, S., Dubovsky, V., Ziskind, G., and Letan, R. (2003). Chimney-enhanced natural convection from a vertical plate: experiments and numerical calculations, *Int. J. Heat and Mass Transfer*, 46, 497-512.
- Khedari, J., Boonsri, B., and Hirunlabh, J. (2000). Ventilation impact of a solar chimney on indoor temperature fluctuation and air change in a school building, *Energy and Buildings*, 32, 89-93.
- Kumar, S., Sinha, S., and Kumar, N. (1998). Experimental investigation of a solar chimney assisted bioclimatic architecture, *Energy Conversion and Management*, 39, 441-444.
- Λάλας, Δ. Π., Πισιμάνης, Δ. Κ., και Νοταρίδου, Β. Α. (1982). Μέθοδοι υπολογισμού εντάσεως ηλιακής ακτινοβολίας σε αυθαίρετης κλίσεως επίπεδο και πίνακες για 30°, 45° και 60° στον Ελληνικό χώρο”, *Τεχν. Χρον.-Β*, 2 (3-4), 129-181.
- Liu, B. Y. H., and Jordan., R. C. (1963). The long term average performance of flat plate solar energy collectors, *Solar Energy*, 7, 53-74.
- Lodhi, M. A. K. (1999). Application of helio-aero-gravity concept in producing energy and suppressing pollution, *Energy Conversion and Management*, 40, 407-421.
- Naphon, P., and Kongtragool, B. (2003). Theoretical study on heat transfer characteristics and performance of the flat-plate solar air heaters, *Int. Comm. Heat Mass Transfer*, 30, 1125-1136.

- Ong, K. S. (2003). A mathematical model of a solar chimney, *Renewable Energy*, 28, 1047-1060.
- Ong, K. S. and Chow, C. C. (2003). Performance of a solar chimney, *Solar Energy*, 74, 1-17.
- Pasumarthi, N., and Sherif, S. A. (1998a). Experimental and theoretical performance of a demonstration solar chimney model – Part I: mathematical model development, *International Journal of Energy Research*, 22, 277-288.
- Pasumarthi, N., and Sherif, S. A. (1998b). Experimental and theoretical performance of a demonstration solar chimney model – Part II: experimental and theoretical results and economic analysis, *International Journal of Energy Research*, 22, 443-461.
- Perez, R., Ineichen, P. Seals R. and Zelenka, A. (1990). Making full use of the clearness index for parameterizing hourly insolation conditions, *Solar Energy*, 45(2), 111-114.
- Perry, R. H., and Green, D. W. Perry's Chemical Engineers' Handbook, 7th Edition, McGraw-Hill, New York, 1997.
- Prasad, m., and Chandra, K. S. (1990). Optimum tilt of solar collector for maximum natural flow, *Energy Conversion and Management*, 30, 369-379.
- Sanchez, M. M., Lucas, M., Martinez, P., Sanchez, A., and Viedma, A. (2003). Climatic solar roof: an ecological alternative to heat dissipation in buildings, *Solar Energy*, 73, 419-432.
- Sodha, M. S., Bansal, N. K., Kumar, K., Bansal, P. K. and Malik, M. A. S. Solar crop drying, Vol. 1, CRC Press, FL., 1987.
- Sukhatme, S. P. Solar Energy: principles of thermal collection and storage, p. 271, McGraw-Hill, New Delhi, 1984.
- Vlachos, N. Karapantsios, T. D., Balouktsis, A. I., and Chassapis, D. (2002). Design and testing of a new solar tray dryer, *Drying Technology*, 20, 1243-1271.
- Χαρώνης, Π. Ηλιακά Ξηραντήρια, σελ. 256, Ίων, Αθήνα, 1989.
- Ziskind, G., Dubovsky, V., and Letan, R. (2002). Ventilation by natural convection of a one-story building, *Energy and Buildings*, 34, 91-102.