

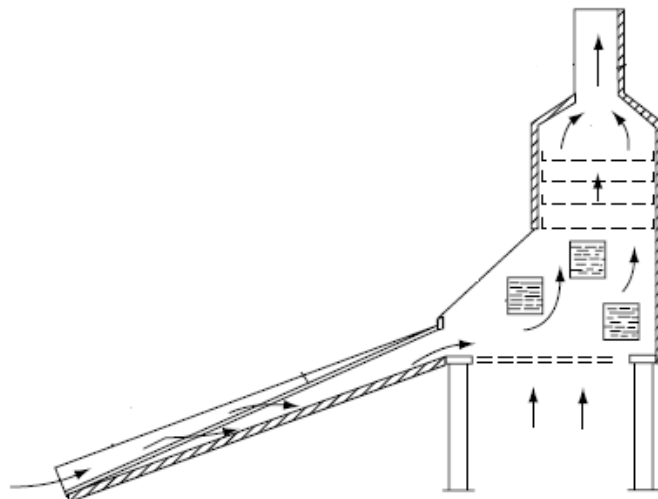
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Διπλωματική εργασία

ΑΝΑΛΥΣΗ ΗΛΙΑΚΩΝ ΞΗΡΑΝΤΗΡΙΩΝ



Γαλανού Βασιλεία

Επιβλέπων καθηγητής: Αντωνόπουλος Κίμων

ΑΘΗΝΑ ΙΟΥΛΙΟΣ 2009

ΠΡΟΛΟΓΟΣ-ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο “Ανάλυση ηλιακών ξηραντηρίων” εκπονήθηκε υπό την επίβλεψη του καθηγητή του Ε.Μ.Π κ. Κίμωνα Αντωνόπουλου.

Αντικείμενο του παρόντος συγγράμματος αποτέλεσε η αναλυτική περιγραφή και μελέτη των σύγχρονων ηλιακών ξηραντηρίων τα οποία προορίζονται για γεωργική χρήση, καθώς και η αξιολόγηση της απόδοσής τους στις ελληνικές περιβαλλοντικές συνθήκες.

Η παρούσα εργασία χωρίζεται στα ακόλουθα κεφάλαια:

Στο 1^ο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στη ξήρανση καθώς και στη σημασία της για την ελληνική οικονομία.

Στο 2^ο κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικότερα η έννοια της ηλιακής ξήρανσης και γίνεται σύγκρισή της με άλλους υπάρχοντες τρόπους.

Στο 3^ο κεφάλαιο περιγράφονται οι διάφοροι τύποι ηλιακών ξηραντηρίων καθώς και τα χαρακτηριστικά τους.

Στο 4^ο κεφάλαιο αναλύεται η βασική θεωρία του μηχανισμού της ξήρανσης.

Το 5^ο κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στις αρχές της ηλιακής ενέργειας που χρησιμοποιούνται για τη μελέτη του ηλιακού συλλέκτη.

Στο 6^ο κεφάλαιο περιγράφονται αναλυτικά τα βασικά μέρη από τα οποία αποτελείται ένας ηλιακός ξηραντήρας.

Στο 7^ο κεφάλαιο δίνεται η οικονομική ανάλυση της διεργασίας της ξήρανσης.

Το υπολογιστικό μέρος της εργασίας αποτελείται από τα κεφάλαια 8 έως 12 όπου μελετώνται διάφορα χαρακτηριστικά τόσο του ηλιακού συλλέκτη, ο οποίος αποτελεί βασικό μέρος του ηλιακού ξηραντήρα, όσο και του θαλάμου ξήρανσης, υπό διάφορες συνθήκες.

Κλείνοντας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Κίμωνα Αντωνόπουλο όχι μόνο για την επιλογή και την ανάθεση του θέματος, αλλά και για την καθοδήγησή του καθόλη τη διάρκεια της προσπάθειάς μου.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ευστράτιο Καρατζά για την πολύτιμη βοήθειά του.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου, για την αμέριστη στήριξή της καθόλη τη διάρκεια της προσπάθειάς μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΞΗΡΑΝΣΗ.....	6
1.1 Εισαγωγή.....	6
1.2 Σημασία της ξήρανσης στην ελληνική οικονομία.....	8
2. ΗΛΙΑΚΗ ΞΗΡΑΝΣΗ.....	10
2.1 Τί είναι η ηλιακή ξήρανση και η σημασία της σήμερα.....	10
2.2 Σύγκριση ηλιακής ξήρανσης με άλλες μεθόδους.....	10
2.2.1 Φυσική ξήρανση.....	10
2.2.2 Βιομηχανική ξήρανση.....	11
2.3 Πλεονεκτήματα και περιορισμοί της ηλιακής ξήρανσης.....	12
2.4 Χρήση της ξήρανσης ως μέθοδο προξήρανσης.....	14
2.5 Αναγκαιότητα χρήσης ΑΠΕ.....	15
2.5.1 Τί είναι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	15
2.5.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ΑΠΕ.....	19
2.5.3 Ο ρόλος της τεχνολογίας ξήρανσης στην ανάπτυξη των ΑΠΕ.....	20
3. ΤΥΠΟΙ ΗΛΙΑΚΩΝ ΞΗΡΑΝΤΗΡΙΩΝ.....	22
3.1 Ταξινόμηση ηλιακών ξηραντήρων.....	22
3.2 Ηλιακός ξηραντήρας κιβωτίου.....	23
3.3 Ηλιακός ξηραντήρας θαλάμου.....	24
3.4 Ηλιακός ξηραντήρας σκηνής.....	26
3.5 Ηλιακός ξηραντήρας σήραγγας.....	27
3.6 Ηλιακός ξηραντήρας τύπου θερμοκηπίου.....	29
3.7 Ηλιακός ξηραντήρας έμμεσου τύπου.....	31
3.8 Ηλιακός ξηραντήρας έμμεσου τύπου με καμινάδα.....	33
3.9 Ηλιακός ξηραντήρας δωματίου.....	37
3.10 Ηλιακοί ξηραντήρες ενσωματωμένοι σε μεγαλύτερα συστήματα.....	39
3.11 Υβριδικά ηλιακά ξηραντήρια.....	39
3.12 Επιλογή τύπου ηλιακού ξηραντήρα.....	40
3.13 Συντήρηση ηλιακού ξηραντήρα.....	40
4. ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΞΗΡΑΝΣΗΣ.....	41
4.1 Εισαγωγή.....	41
4.2 Στοιχεία ξήρανσης.....	41
4.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την ξήρανση.....	43
4.4 Αέρας ξήρανσης.....	44
4.4.1 Ανακύκλωση του αέρα ξήρανσης.....	45
4.5 Σημασία της υγρασίας του αέρα.....	45
4.6 Υγρασία ισορροπίας.....	46

4.7 Πορεία ξήρανσης.....	47
4.7.1 Καμπύλες ξήρανσης.....	47
4.7.2 Περίοδος σταθερού ρυθμού ξήρανσης.....	49
4.7.3 Περίοδος φθίνοντος ρυθμού ξήρανσης.....	50
4.8 Θεωρία της μοριακής διάχυσης.....	51
5. ΑΡΧΕΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	54
5.1 Ηλιακή ακτινοβολία εκτός ατμοσφαιράς.....	54
5.2 Βασικές γωνίες.....	55
5.3 Ηλιακή ακτινοβολία οριζόντιας επιφάνειας εκτός ατμοσφαιράς..	59
5.4 Υπολογισμός της μέσης ημερήσιας ακτινοβολίας.....	60
5.5 Δείκτης αιθριότητας.....	60
5.6 Ανάλυση ακτινοβολίας σε άμεση και διάχυτη.....	61
5.7 Προσπίπτουσα ακτινοβολία κεκλιμένης επιφάνειας.....	63
5.8 Τιμές ηλιακής ακτινοβολίας στην Αθήνα.....	64
5.8.1 Μέση στιγμιαία ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου.....	64
5.8.2 Μέση ημερήσια ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου.....	65
5.8.3 Μέση στιγμιαία άμεση και διάχυτη ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου.....	66
5.8.4 Μέση ημερήσια ολική ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου.....	66
6. ΜΕΡΗ ΤΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΞΗΡΑΝΤΗΡΙΟΥ.....	68
6.1 Εισαγωγή.....	68
6.2 Ηλιακός συλλέκτης.....	68
6.2.1 Χαρακτηριστικά επίπεδου ηλιακού συλλέκτη.....	69
6.2.2 Διάτρητος επίπεδος ηλιακός συλλέκτης.....	71
6.2.3 Σύγκριση επίπεδου ηλιακού συλλέκτη νερού-άερα.....	72
6.2.4 Απόδοση επίπεδου ηλιακού συλλέκτη αέρα.....	74
6.2.5 Μέγεθος ηλιακού συλλέκτη στην ξήρανση.....	75
6.2.6 Θερμοκρασία εξόδου ρευστού από το συλλέκτη.....	77
6.3 Χρήση ανεμιστήρα.....	78
6.4 Θάλαμος ξήρανσης.....	80
6.4.1 Απόδοση του θαλάμου ξήρανσης.....	81
6.5 Δεξαμενή αποθήκευσης θερμότητας.....	82
6.6 Σύστημα αυτόματου ελέγχου.....	85
7. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΗΛΙΑΚΩΝ ΞΗΡΑΝΤΗΡΙΩΝ.....	86
7.1 Κύριοι οικονομικοί παράγοντες.....	86
7.2 Μέθοδος οικονομικής αξιολόγησης.....	87
8. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ-ΜΕΛΕΤΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ.....	91
8.1 Περιγραφή του μοντέλου ανάλυσης.....	91
8.1.1 Υπολογισμοί ηλιακού συλλέκτη.....	91
8.1.2 Βαθμός απόδοσης ηλιακού συλλέκτη.....	93

8.1.3	Βαθμός απόδοσης θαλάμου ξήρανσης.....	93
8.2	Πειραματικά δεδομένα.....	94
8.3	Δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας.....	96
8.3.1	Ηλιακή ακτινοβολία.....	96
8.3.2	Θερμοκρασία περιβάλλοντος.....	102
9.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Α.....	104
9.1	Βάρος προϊόντος W=20 kg.....	104
9.1.1	Επιφάνεια συλλέκτη Ac.....	104
9.1.2	Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ηc.....	107
9.2	Βάρος προϊόντος W=50 kg.....	111
9.2.1	Επιφάνεια συλλέκτη Ac.....	111
9.2.2	Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ηc.....	114
9.3	Βάρος προϊόντος W=100 kg.....	117
9.3.1	Επιφάνεια συλλέκτη Ac.....	117
9.3.2	Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ηc.....	120
9.4	Βάρος προϊόντος W=150 kg.....	123
9.4.1	Επιφάνεια συλλέκτη Ac.....	123
9.4.2	Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ηc.....	126
10	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Β.....	129
10.1	Βάρος προϊόντος W=20 kg.....	129
10.1.1	Επιφάνεια συλλέκτη Ac.....	129
10.1.2	Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ηc.....	132
10.2	Βάρος προϊόντος W=50 kg.....	136
10.2.1	Επιφάνεια συλλέκτη Ac.....	136
10.2.2	Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ηc.....	139
10.3	Βάρος προϊόντος W=100 kg.....	142
10.3.1	Επιφάνεια συλλέκτη Ac.....	142
10.3.2	Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ηc.....	145
10.4	Βάρος προϊόντος W=150 kg.....	148
10.4.1	Επιφάνεια συλλέκτη Ac.....	148
10.4.2	Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ηc.....	151
10.5	Βαθμός απόδοσης ξήρανσης η _d	154
11	ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΔΥΟ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ.....	156
11.1	Σύγκριση για την περίπτωση Α.....	156
11.2	Σύγκριση για την περίπτωση Β.....	158
11.3	Σύγκριση μεταξύ των δύο περιπτώσεων.....	160
11.3.1	Σύγκριση για βάρος W=20 kg.....	160
11.3.2	Σύγκριση για βάρος W=50 kg.....	162
11.3.3	Σύγκριση για βάρος W=100 kg.....	164
11.3.4	Σύγκριση για βάρος W=150 kg.....	166
12	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ.....	168
12.1	Σύγκριση των τιμών της ηλιακής ακτινοβολίας.....	168
12.2	Σύγκριση των τιμών επιφάνειας συλλέκτη.....	170

12.3 Σύγκριση των βαθμών απόδοσης του συλλέκτη.....	174
12.4 Σύγκριση των βαθμών απόδοσης του θαλάμου ξηρανσης.....	177
13 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ...	179
13.1 Αποτελέσματα για τις περιπτώσεις A και B.....	179
13.2 Σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών τιμών της ηλιακής ακτινοβολίας.....	181
Παράρτημα 1.....	182
Βιβλιογραφία.....	188

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΞΗΡΑΝΣΗ

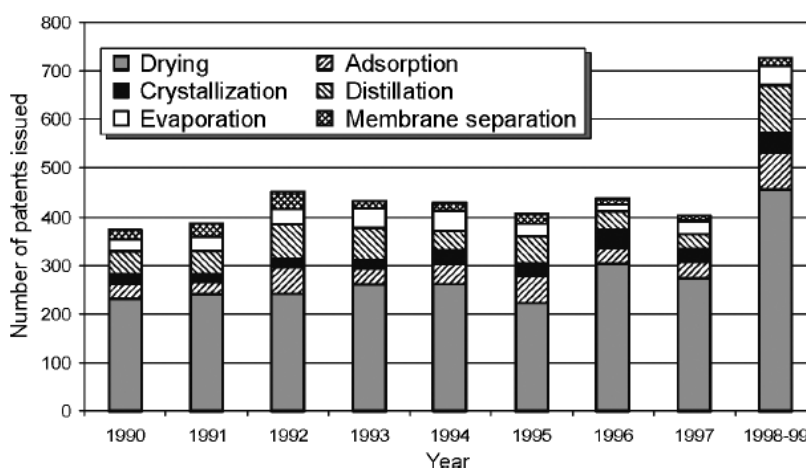
1.1 Εισαγωγή

Ξήρανση ονομάζεται η κατεργασία ολικής ή μερικής αφαίρεσης της περιεχόμενης σε ένα σώμα υγρασίας [24]. Η υπαίθρια ξήρανση με τη βοήθεια του ηλίου, ήταν η πρώτη μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε από αρχαιότερων χρόνων, ως ένας τρόπος συντήρησης διαφόρων προϊόντων όπως φρούτα, σπόροι, κρέας, ψάρια, ξύλο και άλλα γεωργικά ή δασικά προϊόντα. Σήμερα πλέον, η ξήρανση έχει αναπτυχθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό, με ακόμα μεγαλύτερες προοπτικές ανάπτυξης για το μέλλον.

Τα διάφορα συστήματα ξήρανσης αξιολογούνται με βάση τα ακόλουθα κριτήρια [19] :

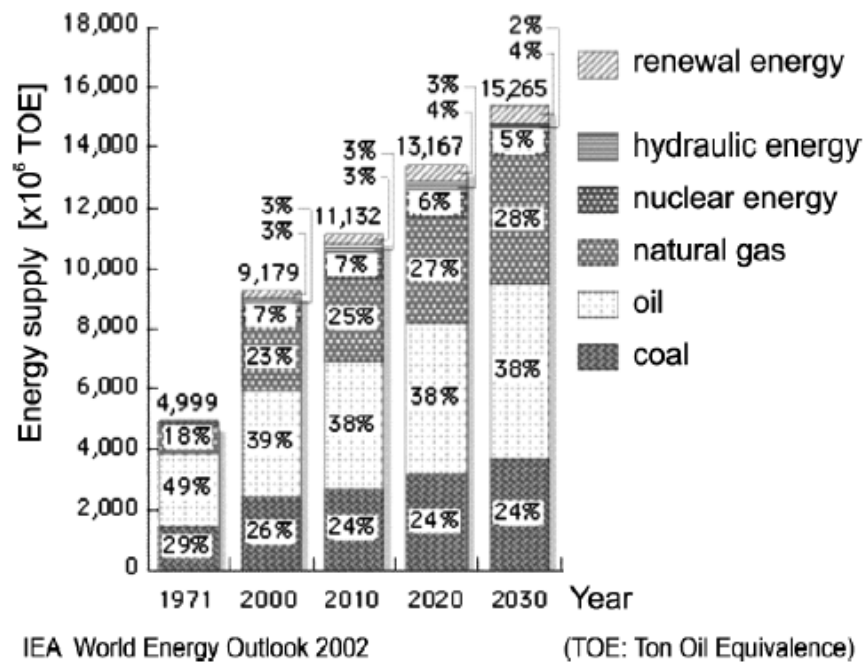
- περιβαλλοντικές επιπτώσεις
- κόστος (κατασκευαστικό, λειτουργίας και συντήρησης)
- τεχνικούς παράγοντες όπως ευελιξία, απλότητα, αξιοπιστία
- πιθανή εμπορική αξία του τελικού προϊόντος

Η βιομηχανική ξήρανση αποτελεί σήμερα τον συνηθέστερο τρόπο ξήρανσης προκειμένου να μειωθεί η υψηλή περιεκτικότητα υγρασίας των τροφίμων, αλλά έχει το μειονέκτημα της μεγάλης ενεργειακής κατανάλωσης. Η αύξηση της τιμής του πετρελαίου τα τελευταία χρόνια, σε συνδυασμό με τη νέα αυστηρότερη περιβαλλοντική νομοθεσία, είχε ως αποτέλεσμα να γίνουν μεγάλες προσπάθειες στην μελέτη τρόπων βελτίωσης της διαδικασίας της ξήρανσης σε συνδυασμό με την εξοικονόμηση ενέργειας (σχήμα 1.1) [25].

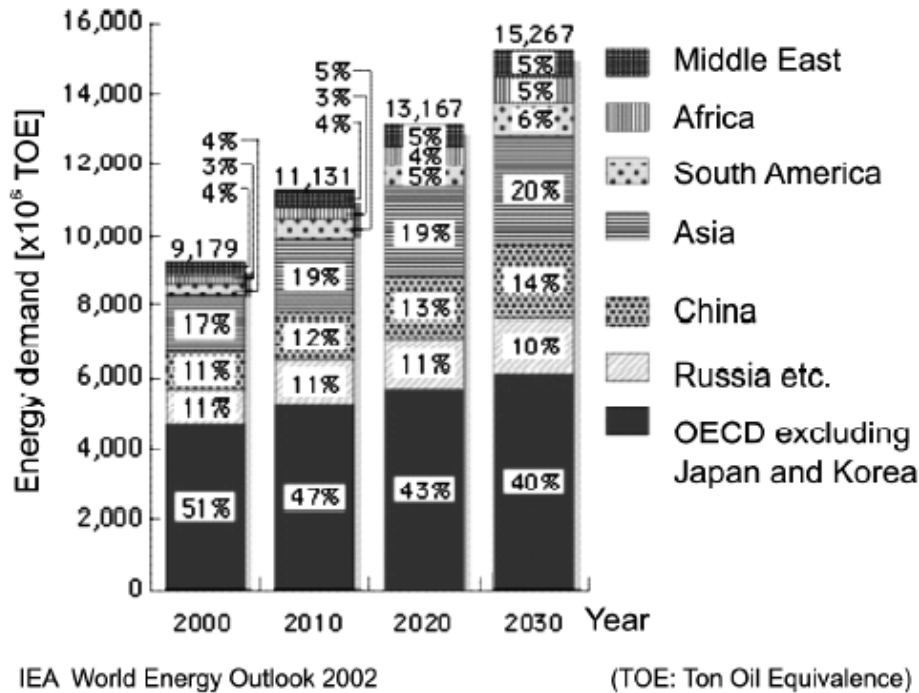


Σχήμα 1.1 Σημασία της ξήρανσης στην αμερικανική βιομηχανία [26]

Πληροφορίες για την παγκόσμια παροχή και ζήτηση ενέργειας δίνονται στα σχήματα 1.2 και 1.3 και υποδεικνύουν την ανάγκη της στροφής της διαδικασίας της ξήρανσης σε περιβαλλοντικά φιλικές πηγές ενέργειας [26]. Τα τελευταία χρόνια μία ιδιαίτερα αναπτυσσόμενη μέθοδος είναι αυτή της ηλιακής ξήρανσης με την οποία θα ασχοληθούμε στην παρούσα διπλωματική εργασία και η οποία σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους παρουσιάζει το επιπλέον πλεονέκτημα της χρήσης της ηλιακής ενέργειας ως βασική πηγή ενέργειας.



Σχήμα 1.2 Ποσότητα ενεργειακών πηγών παγκοσμίως [26]



Σχημα 1.3 Παγκόσμια ενεργειακή ζήτηση [26]

1.2 Σημασία της ξήρανσης στην ελληνική οικονομία

Στην Ελλάδα, η αποτελεσματική ξήρανση των προϊόντων είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς τα αποξηραμένα φρούτα αποτελούσαν πάντοτε μια σημαντική οικονομική πηγή για την ελληνική γεωργική οικονομία [27]. Οι σταφίδες ήταν το κύριο εξαγωγικό προϊόν της χώρας από την αρχή του αιώνα μέχρι και τη δεκαετία του 60, σταδιακά όμως με την αύξηση του ανταγωνισμού η θέση της Ελλάδας ως χώρα εξαγωγής άρχισε να υποχωρεί, με αποτέλεσμα σήμερα να αποτελεί μέγα πρόβλημα με πολλαπλές προεκτάσεις στην αγροτική οικονομία [65]. Τα φρούτα που ξηραίνονται πλέον είναι κυρίως οι σταφίδες, τα σύκα, μικρές ποσότητες δαμάσκηνων και ένα πολύ μικρό ποσοστό λαχανικών, ωστόσο η ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων δεν είναι ιδιαίτερα καλή [28]. Η τυποποιημένη μέθοδος για αυτά τα προϊόντα είναι η φυσική ηλιακή ξήρανση (open sun drying), η οποία όμως παρουσιάζει σημαντικά μειονεκτήματα στην ποιότητα του τελικού προϊόντος όπως θα αναλυθεί στη συνέχεια [9]. Χαρακτηριστικό είναι ότι τα ξηρά λαχανικά που παράγονται στην Ελλάδα εξάγονται σχεδόν εξ ολοκλήρου χωρίς να καταναλώνονται στην εσωτερική αγορά ενώ αντίθετα εισάγονται άλλα καλύτερης ποιότητας. Από την άλλη μεριά, τα ξηρά φρούτα (σταφίδες, σύκα και δαμάσκηνα) αντιμετωπίζουν μεγάλο ανταγωνισμό στις εξωτερικές αγορές από τις υπόλοιπες χώρες που εξάγουν τα ίδια

προϊόντα (π.χ. ΗΠΑ, Αυστραλία, Τουρκία, Νότια Αφρική, Ιράν κ.λ.π.) κάτι που έχει ως αποτέλεσμα την αναπόφευκτη μείωση των εξαγωγών και συνεπώς της ζήτησης και της τιμής πώλησης των παραπάνω προϊόντων. Καθίσταται επομένως αναγκαία η βελτίωση των μεθόδων ξήρανσης προκειμένου να παραμείνει η Ελλάδα ανταγωνιστική στη διεθνή αγορά [28].



Σχήμα 1.4 Φυσική ξήρανση σταφίδας στα Αλώνια Πιερίας [65]

2. ΗΛΙΑΚΗ ΞΗΡΑΝΣΗ

2.1 Τί είναι η ηλιακή ξήρανση και η σημασία της σήμερα

Κατά την ηλιακή ξήρανση η θερμότητα που απαιτείται για την απομάκρυνση της υγρασίας από τα στερεά προϊόντα παρέχεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια [9].

Η εναλλακτική λύση της παραδοσιακής φυσικής ηλιακής ξήρανσης είναι η χρήση ξηραντήρων που χρησιμοποιούν την ηλιακή ακτινοβολία ως πηγή θερμότητας. Αυτή είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας - άφθονη σε αρκετές περιοχές - και η χρήση της έχει πολλά πλεονεκτήματα. Εκτός αυτού, η στροφή σε νέες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας κρίνεται ιδιαίτερος σημαντική και η μέθοδος της ηλιακής ξήρανσης κάνει άμεση χρήση της ενέργειας του ηλίου.

Η ηλιακή ξήρανση, όπου μπορεί να εφαρμοστεί, αποτελεί συχνά την οικονομικά αποδοτικότερη τεχνική ξήρανσης [29]. Ο σωστός σχεδιασμός του ηλιακού ξηραντηρίου μπορεί να καλύψει τις απαιτήσεις της ξήρανσης των προϊόντων ακόμα και χωρίς πρόσθετη πηγή ενέργειας. Κατά το σχεδιασμό τέτοιων ξηραντηρίων, το κόστος της κατασκευής και η δυνατότητα της ευρείας εφαρμογής τους (π.χ. για την ξήρανση πολλών διαφορετικών προϊόντων) είναι δύο πρόσθετοι παράγοντες που θέτουν μια ακόμα μεγαλύτερη πρόκληση στην ανάπτυξη ενός αποδοτικού αλλά και οικονομικά βιώσιμου ηλιακού ξηραντηρίου.

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών περισσότερη προσοχή έχει δοθεί στα ηλιακά ξηραντήρια φρούτων και λαχανικών, με όλα τα αποτελέσματα των μελετών να είναι ενθαρρυντικά [30].

Λαμβάνοντας υπόψη ότι τα περισσότερα από τα γεωργικά προϊόντα που ξηραίνονται, θερίζονται κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού [31] όπου στην Ελλάδα η ηλιακή ακτινοβολία είναι ιδιαίτερα υψηλή, η ιδέα του σχεδιασμού ενός ξηραντηρίου χαμηλού κόστους και υψηλής απόδοσης είναι ιδιαίτερος ελκυστική.

2.6 Σύγκριση ηλιακής ξήρανσης με άλλες μεθόδους

2.2.1 Φυσική ξήρανση

Η φυσική ηλιακή ξήρανση αποτελεί ακόμα και σήμερα έναν ευρέως χρησιμοποιούμενο τρόπο συντήρησης των τροφίμων κυρίως σε μέρη του αναπτυσσόμενου κόσμου που δεν έχουν τη δυνατότητα για την κατασκευή κανονικών ξηραντηρίων. Παρόλα αυτά, η παραδοσιακή αυτή πρακτική παρουσιάζει πολλά μειονεκτήματα [32] :

- Πιθανότητα ζημιάς στη συγκομιδή από τα τρωκτικά, τα πουλιά και τα ζώα
- υποβάθμιση της ποιότητας του τελικού προϊόντος λόγω των απρόβλεπτων καιρικών συνθηκών
- μόλυνση από τη σκόνη, τους ρύπους και την περιβαλλοντική ρύπανση
- πιθανότητα καταστροφής των προϊόντων από έντομα
- ανάπτυξη μικροοργανισμών
- πρόσθετες απώλειες κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης λόγω της ανεπαρκούς ή της μη ομοιόμορφης ξήρανσης
- υψηλές δαπάνες εργασίας
- απαίτηση μεγάλης περιοχής για την ξήρανση

Με αυτόν τον τρόπο ξήρανσης οι απώλειες υπολογίζονται ως ένα ποσοστό μεγαλύτερο του 30% οι οποίες θα μπορούσαν να μειωθούν σε μεγάλο βαθμό με την αποδοτικότερη ξήρανση των συγκομιδών [33]. Αυτοί είναι οι κυριότεροι λόγοι για τους οποίους τις τελευταίες δεκαετίες μεγάλες προσπάθειες γίνονται για την αντικατάσταση της φυσικής υπαίθριας ξήρανσης με την ηλιακή ξήρανση και την ανάπτυξη της τεχνολογίας, του σχεδιασμού και της κατασκευής διάφορων τύπων ηλιακών ξηραντήρων [9].

2.2.2 Βιομηχανική ξήρανση

Η βιομηχανική ξήρανση είναι ο πλέον διαδεδομένος τρόπος ξήρανσης αυτή τη στιγμή. Η επιλογή ανάμεσα στη χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας ή κάποιου συμβατικού καυσίμου (πετρέλαιο, κάρβουνο, ηλεκτρική ενέργεια κτλ.) εξαρτάται από τους ακόλουθους παράγοντες [66] :

- το αρχικό κόστος εξοπλισμού,
- το κόστος του προϊόντος που θα ξηρανθεί,
- το κόστος λειτουργίας και συντήρησης του ξηραντηρίου, και
- την αναμενόμενη τιμή πώλησης του προϊόντος μετά την ξήρανση.

Η βιομηχανική ξήρανση επιτρέπει πολύ καλύτερο έλεγχο της διαδικασίας ξήρανσης και δεν επηρεάζεται από τις μεταβολές της ηλιακής ακτινοβολίας. Παρόλα αυτά, παρουσιάζει αρκετά μειονεκτήματα τα σημαντικότερα των οποίων είναι [9, 27] :

- Υψηλές εκπομπών CO₂, SO₂ και NO₂
- ακριβή επένδυση

- ανάγκη μεγάλης ποσότητας καυσίμου ή ηλεκτρισμού για την αποδοτική λειτουργία της μονάδας
- ανάγκη εξειδικευμένου προσωπικού για τη λειτουργία και τη συντήρηση της μονάδας.

Σε πολλές περιπτώσεις εάν δεν είναι εφικτή η αποκλειστική χρήση της ηλιακής ενέργειας για την αποτελεσματική ξήρανση, αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με τη χρήση του συμβατικού καυσίμου, μειώνοντας έτσι τόσο το οικονομικό κόστος εξαιτίας του καυσίμου, όσο και τη μόλυνση που προκαλείται.



Σχήμα 2.1 Βιομηχανικός ξηραντήρας μεταφορικής ταινίας (conveyor dryer) [9]

2.3 Πλεονεκτήματα και περιορισμοί της ηλιακής ξήρανσης

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της ηλιακής ξήρανσης είναι [9, 34, 35] :

- Κάνει χρήση μιας ελεύθερης, μη ρυπογόνας, ανανεώσιμης και άφθονης πηγής ενέργειας που προέρχεται από τον ήλιο και δεν μπορεί να μονοπωληθεί
- τα προϊόντα που έχουν υποστεί ηλιακή ξήρανση αναγνωρίζονται ως ανώτερα από αυτά που έχουν υποστεί βιομηχανική ξήρανση
- παρέχει την επιθυμητή μείωση της περιεκτικότητας σε υγρασία μαζί με βελτιωμένη ποιότητα των προϊόντων

- η περίοδος συγκομιδής μπορεί να μειωθεί, κάτι που επιτρέπει στο έδαφος να προετοιμαστεί για την καλλιέργεια της επόμενης συγκομιδής
- η εποχή της ξήρανσης μπορεί να επιμηκυνθεί με διαδοχικές συγκομιδές και με τη χρησιμοποίηση ηλιακών ξηραντήρων στους οποίους διάφοροι τύποι προϊόντων μπορούν να συντηρηθούν
- ο χρόνος της ξήρανσης μπορεί να μειωθεί σημαντικά σε σχέση με τη φυσική ξήρανση
- οι αγρότες μπορούν να έχουν μεγαλύτερο εισόδημα από την παραγωγή εμπορεύσιμων συγκομιδών
- οι συμπληρωματικές δαπάνες που περιλαμβάνονται στην εγκατάσταση των ηλιακών ξηραντήρων μπορούν να αποσβεστούν από τα αυξανόμενα κέρδη.

Παρόλα αυτά, χρησιμοποιώντας την ηλιακή ακτινοβολία για την προγραμματισμένη ξήρανση, παρουσιάζονται διάφορες δυσκολίες που πρέπει να υπερνικηθούν [27]. Το κυριότερο μειονέκτημα των ηλιακών ξηραντήρων έγκειται στο γεγονός ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο όταν η ηλιακή ακτινοβολία είναι υψηλή, και κατά προτίμηση σε ένα μεσογειακό κλίμα στο οποίο η περίοδος ξήρανσης να είναι αρκετά μεγάλη ώστε οι ηλιακοί ξηραντήρες να κρίνονται οικονομικά αποδοτικοί. Αυτή η δυσκολία μπορεί να απαληφθεί, είτε με τη χρησιμοποίηση δεξαμενών αποθήκευσης θερμότητας, είτε με τη χρήση μιας βοηθητικής πηγής ενέργειας. Εκτός αυτού, ακόμη και οι περίοδοι ακτινοβολίας μπορούν να δημιουργήσουν ορισμένες δυσκολίες. Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μια μεταβλητή λειτουργία που σχετίζεται με το χρόνο και για αυτόν τον λόγο απαιτείται να υπάρχει σύστημα ελέγχου. Κατά συνέπεια, η φύση της ηλιακής ακτινοβολίας έχει έμφυτα προβλήματα που απαιτούν αρκετά μέσα για τη λύση τους (αποθήκευση θερμότητας, βοηθητική πηγή ενέργειας, συστήματα ελέγχου, ηλιακοί συλλέκτες μεγάλης επιφάνειας), κάνοντας έτσι τις δαπάνες επένδυσης αρκετά σημαντικές. Προφανώς μια προϋπόθεση στη χρησιμοποίηση της ηλιακής ενέργειας είναι η οικονομική βιωσιμότητα της επιχείρησης και η ανάγκη να επιτευχθεί ένα αποδεκτό ποσοστό κέρδους [13]. Η εξέταση των τεχνοοικονομικών μεγεθών της ηλιακής ξήρανσης έχει οδηγήσει στη γνώση των κυριότερων παραγόντων, του ρόλου τους, και της επιρροής που ασκούν στη διαδικασία της ξήρανσης. Η πρώτη προφανής διαπίστωση είναι ότι η ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί επαγγελματικά για την ξήρανση, μόνο σε συνδυασμό με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της ηλιακής ακτινοβολίας που δίνουν πολύτιμες πληροφορίες [30]. Κατά συνέπεια, οι γεωγραφικές συνθήκες καθορίζουν τον αριθμό των ηλιόλουστων ημερών ετησίως και η ένταση της ακτινοβολίας δίνει διαφορετικό ενεργειακό κέρδος στις διάφορες

περιοχές της γης. Οι σχετικά χαμηλές τιμές ηλιακής ακτινοβολίας ταιριάζουν ιδιαίτερα στις διαδικασίες ξήρανσης με μικρές ενεργειακές απαιτήσεις.

Οι εποχιακές αλλαγές της ηλιακής ακτινοβολίας συνιστούν τη χρήση της ηλιακής ξήρανσης την εποχή της μέγιστης έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας (π.χ. μέρος των γεωργικών προϊόντων θα πρέπει να ξηραίνεται κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου). Ο συσχετισμός της διαδικασίας ξήρανσης και των συγκεκριμένων χαρακτηριστικών της ηλιακής ακτινοβολίας είναι επίσης σημαντικός για τη ρύθμιση των δαπανών επένδυσης και ο τύπος του συλλέκτη που θα χρησιμοποιηθεί είναι ιδιαίτερα σημαντικός όπως θα αναλυθεί στη συνέχεια [9].

2.4 Χρήση της ηλιακής ξήρανσης ως μέθοδο προξήρανσης

Προξήρανση ονομάζεται η μερική ξήρανση ενός υλικού η οποία γίνεται μέχρι ένα ορισμένο ποσοστό υγρασίας προτού αυτό εισαχθεί σε ένα ξηραντήριο για την τελική ξήρανση [22]. Το ζητούμενο με την προξήρανση είναι να μειωθεί ο χρόνος παραμονής του προϊόντος στο ξηραντήριο ώστε να αυξηθεί η ετήσια δυναμικότητα του ξηραντηρίου με αντίστοιχη μείωση του χρόνου απόσβεσής του.

Η ξήρανση με ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί προπαρασκευαστικά πριν από την τελική ξήρανση οπότε με αυτόν τον τρόπο η ξήρανση είναι πολύ ταχύτερη και εξαρτάται λιγότερο από τις περιβαλλοντικές συνθήκες [4]. Το θέμα της αξιοποίησης της ηλιακής ξήρανσης σαν μέθοδο προξήρανσης σε συμβατική ξήρανση έχει απασχολήσει αρκετούς ερευνητές [37]. Το προϊόν το οποίο υπόκειται συχνά σε προξήρανση είναι το ξύλο.

Για να είναι η προξήρανση οικονομική πρέπει [22]:

- α) Το κόστος ξήρανσης ανά μονάδα όγκου να είναι πολύ χαμηλότερο στην προξήρανση απ' ό τι στο ξηραντήριο, και
- β) ο ρυθμός ξήρανσης στην προξήρανση να προσεγγίζει αυτόν του ξηραντηρίου στην περιοχή υγρασίας που πραγματοποιείται.

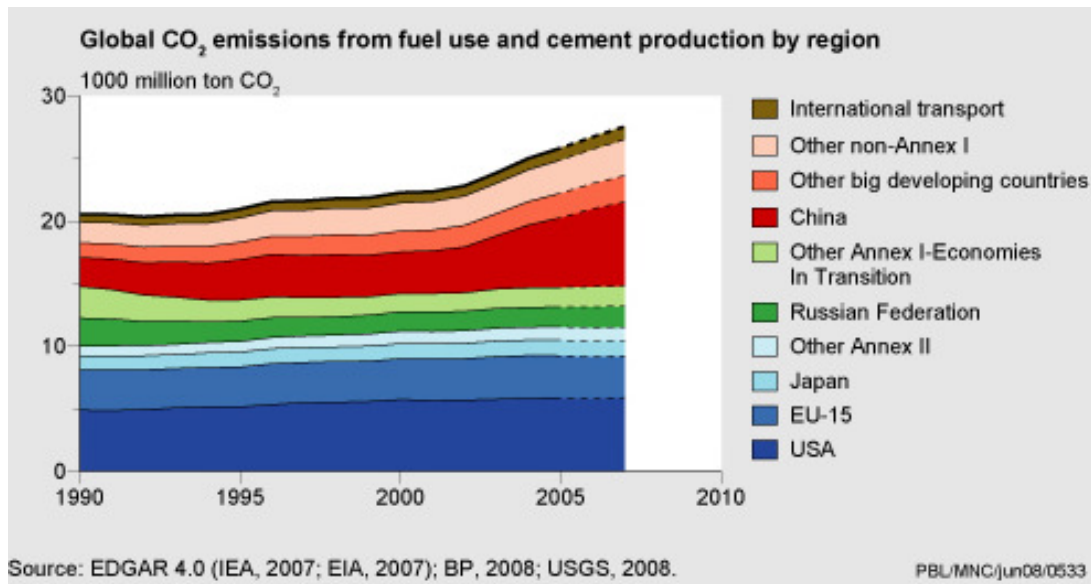
2.5 Αναγκαιότητα χρήσης ΑΠΕ

2.5.1 Τί είναι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

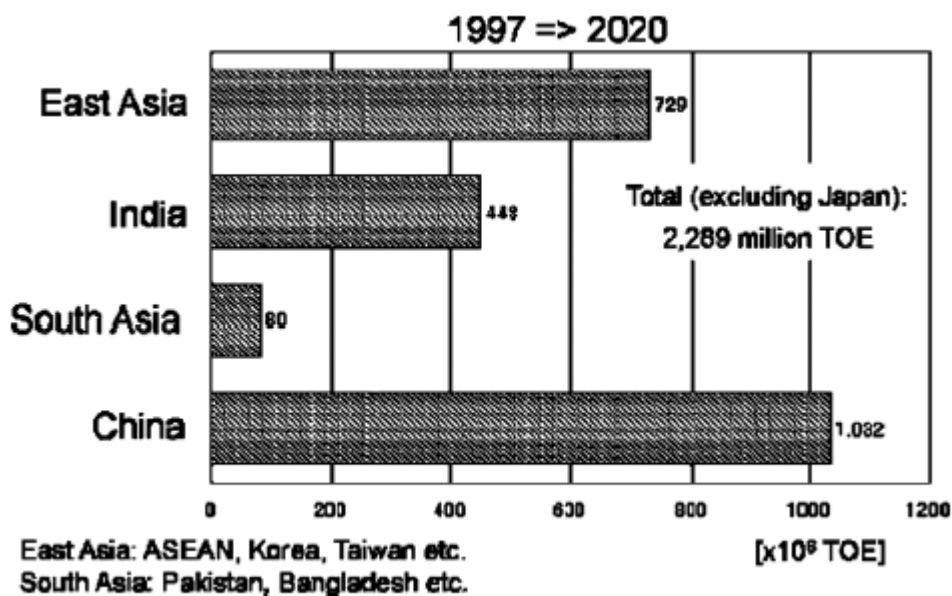
Ως Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) ορίζονται οι ενεργειακές πηγές, οι οποίες υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό μας περιβάλλον. Είναι η πρώτη μορφή ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος πριν στραφεί έντονα στη χρήση του άνθρακα και των υδρογονανθράκων. Οι ΑΠΕ πρακτικά είναι ανεξάντλητες, η χρήση τους δε ρυπαίνει το περιβάλλον και η αξιοποίησή τους έγκειται μόνο στην ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδεκτών τεχνολογιών που θα δεσμεύουν το δυναμικό τους. Το ενδιαφέρον στη σύγχρονη εποχή για την ανάπτυξη των τεχνολογιών αυτών και την ευρύτερη αξιοποίηση των ΑΠΕ, παρουσιάστηκε αρχικά μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση του 1974 και παγιώθηκε μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων τις τελευταίες δεκαετίες [19]. Για πολλές χώρες, οι ΑΠΕ αποτελούν μια εγγώρια πηγή ενέργειας με ευνοϊκές προοπτικές συνεισφοράς στο ενεργειακό τους ισοζύγιο, συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από το ακριβό εισαγόμενο πετρέλαιο και στην ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού τους εφοδιασμού. Παράλληλα, συμβάλλουν στη βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος, καθώς έχει πλέον διαπιστωθεί ότι ο ενεργειακός τομέας είναι ο κλάδος που ευθύνεται κατά κύριο λόγο για τη ρύπανση του περιβάλλοντος.

Είναι χαρακτηριστικό ότι οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα παγκοσμίως βρίσκονται σε πολύ υψηλά τιμές και αναμένεται να αυξηθούν τα επόμενα χρόνια όπως φαίνεται στο σχήμα 2.2 [38].

Εκτός αυτού, η αύξηση της ενεργειακής ζήτησης από τις χώρες της Ασίας με κυριότερο παράδειγμα την Κίνα προσθέτουν έναν ακόμη λόγο για τον οποίο η ανάπτυξη και η ευρεία χρήση των ΑΠΕ κρίνεται σήμερα απαραίτητη (σχήμα 2.3) [26].



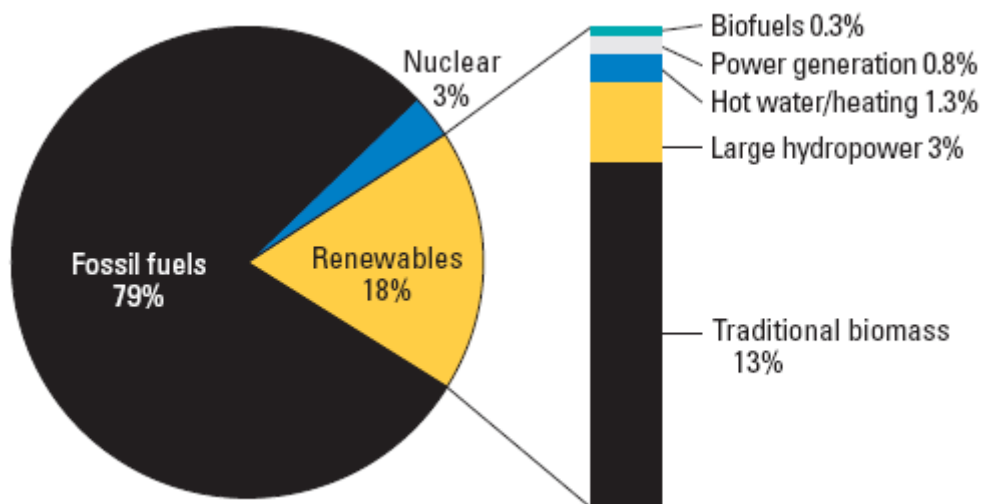
Σχήμα 2.2 Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) παγκοσμίως [38]



Σχήμα 2.3 Αύξηση ενεργειακής ζήτησης στην Ασία [26]

Ο μόνος δυνατός τρόπος που διαφαίνεται για να μπορέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση να ανταποκριθεί στο φιλόδοξο στόχο που έθεσε να περιορίσει τους ρύπους του διοξειδίου του άνθρακα είναι να επιταχύνει την ανάπτυξη των ΑΠΕ. Έτσι, υιοθετούνται νέες πολιτικές για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, που προάγουν εσωτερικές πολιτικές και

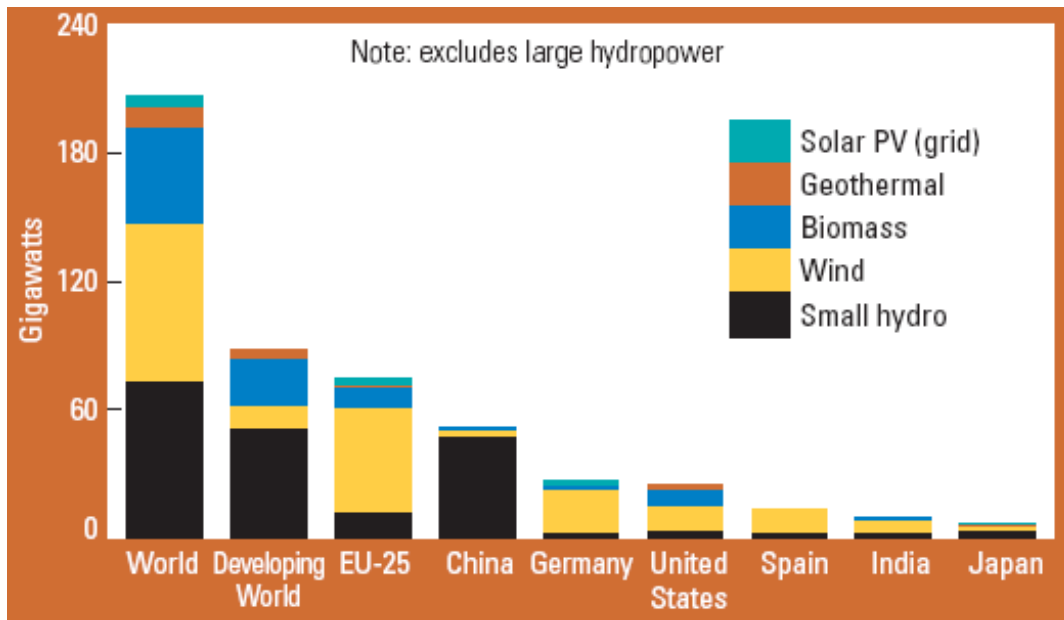
για τα κράτη μέλη. Οι ήπιες μορφές ενέργειας βασίζονται στην ουσία στην ηλιακή ακτινοβολία, με εξαίρεση τη γεωθερμική ενέργεια, η οποία είναι ροή ενέργειας από το εσωτερικό του φλοιού της γης, και την ενέργεια απ' τις παλίρροιες που εκμεταλλεύεται τη βαρύτητα. Οι βασιζόμενες στην ηλιακή ακτινοβολία ήπιες πηγές ενέργειας είναι ανανεώσιμες, μιας και δεν πρόκειται να εξαντληθούν όσο υπάρχει ο ήλιος [19]. Υπολογίζεται ότι το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο ενεργειακό δυναμικό απ' τις ήπιες μορφές ενέργειας είναι πολλαπλάσιο της παγκόσμιας συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Η υψηλή όμως μέχρι πρόσφατα τιμή των νέων ενεργειακών εφαρμογών και κάποια τεχνικά προβλήματα εφαρμογής εμπόδισαν την εκμετάλλευση έστω και μέρους αυτού του δυναμικού.



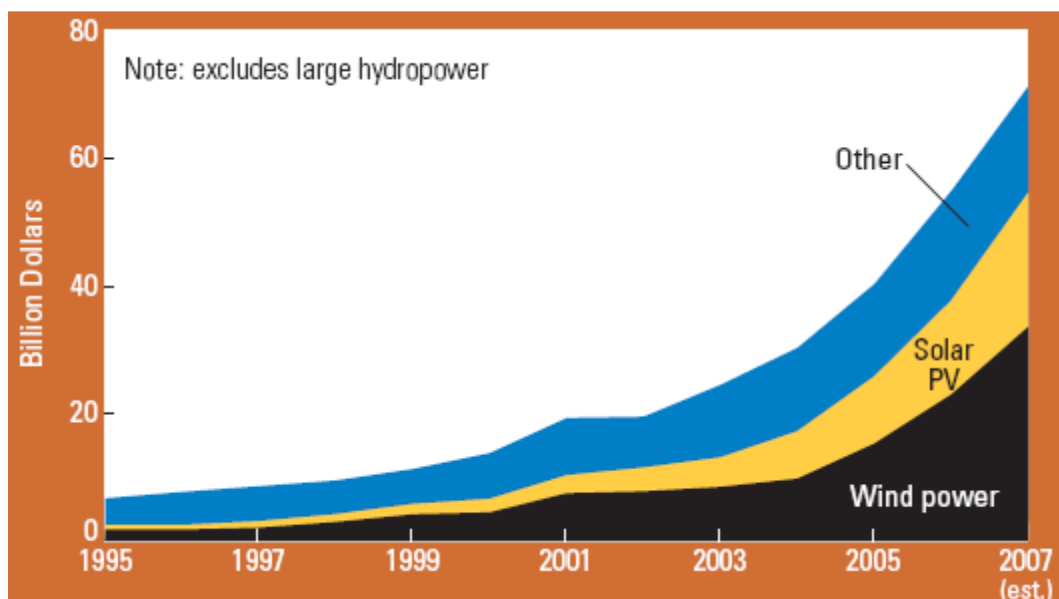
Σχήμα 2.4 Ποσοστό χρήσης ΑΠΕ στην παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση (έτος 2007) [38]

Ειδικά στην Ελλάδα, που έχει μορφολογία και κλίμα κατάλληλο για νέες ενεργειακές εφαρμογές, η εκμετάλλευση αυτού του ενεργειακού δυναμικού θα βοηθούσε σημαντικά στην ενεργειακή αυτονομία της χώρας. Το ενδιαφέρον για τις ήπιες μορφές ενέργειας ανακινήθηκε τη δεκαετία του 1970, ως αποτέλεσμα κυρίως των απανωτών πετρελαϊκών κρίσεων της εποχής, αλλά και της αλλοίωσης του περιβάλλοντος και της ποιότητας ζωής από τη χρήση κλασικών πηγών ενέργειας. Ιδιαίτερα ακριβές στην αρχή, ξεκίνησαν σαν πειραματικές εφαρμογές. Σήμερα όμως λαμβάνονται υπόψη στους επίσημους σχεδιασμούς των ανεπτυγμένων κρατών για την ενέργεια και αν και δεν αποτελούν ακόμα μεγάλο ποσοστό της ενεργειακής παραγωγής, ετοιμάζονται γίνονται προσπάθειες για την περαιτέρω αξιοποίησή τους. Το κόστος δε των

εφαρμογών ήπιων μορφών ενέργειας μειώνεται συνεχώς τα τελευταία χρόνια και ειδικά η αιολική και η υδροηλεκτρική ενέργεια, αλλά και η βιομάζα, μπορούν πλέον να ανταγωνίζονται παραδοσιακές πηγές ενέργειας όπως ο άνθρακας και η πυρηνική ενέργεια.



Σχήμα 2.5 Κατανάλωση ΑΠΕ το 2006 [38]



Σχήμα 2.6 Ετήσια επένδυση στις ΑΠΕ, 1995-2007 [38]

2.5.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ΑΠΕ

-Πλεονεκτήματα [19, 67]

- Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από συμβατικούς ενεργειακούς πόρους.
- Απαντούν στο ενεργειακό πρόβλημα για τη σταθεροποίηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και των υπόλοιπων αερίων του θερμοκηπίου. Επιπλέον, υποκαθιστώντας τους σταθμούς παραγωγής ενέργειας από συμβατικές πηγές οδηγούν σε ελάττωση εκπομπών από άλλους ρυπαντές π.χ. οξείδια θείου και αζώτου που προκαλούν την όξινη βροχή.
- Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.
- Είναι διάσπαρτες γεωγραφικά και οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, δίνοντας τη δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, ανακουφίζοντας έτσι τα συστήματα υποδομής και μειώνοντας τις απώλειες από τη μεταφορά ενέργειας.
- Προσφέρουν τη δυνατότητα ορθολογικής αξιοποίησης των ενεργειακών πόρων, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα των ενεργειακών αναγκών των χρηστών (π.χ. ηλιακή ενέργεια για θερμότητα χαμηλών θερμοκρασιών, αιολική ενέργεια για ηλεκτροπαραγωγή).
- Δίνουν τη δυνατότητα επιλογής της κατάλληλης μορφής ενέργειας που είναι προσαρμοσμένη στις ανάγκες του χρήστη επιτυγχάνοντας ορθολογικότερη χρησιμοποίηση των ενεργειακών πόρων.
- Έχουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος που δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων.
- Οι επενδύσεις των ΑΠΕ δημιουργούν σημαντικό αριθμό νέων θέσεων εργασίας, ιδιαίτερα σε τοπικό επίπεδο.
- Μπορούν να αποτελέσουν σε πολλές περιπτώσεις πυρήνα για την αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών και πόλο έλξης για την τοπική ανάπτυξη με την προώθηση ανάλογων επενδύσεων.

-Μειονεκτήματα [19, 68]

- Το διεσπαρμένο δυναμικό τους είναι δύσκολο να συγκεντρωθεί σε μεγάλα μεγέθη ισχύος, να μεταφερθεί και να αποθηκευθεί.
- Έχουν χαμηλή πυκνότητα ισχύος και ενέργειας και συνεπώς για μεγάλες ισχύεις απαιτούνται συχνά εκτεταμένες εγκαταστάσεις.
- Παρουσιάζουν συχνά διακυμάνσεις στη διαθεσιμότητά τους που μπορεί να είναι μεγάλης διάρκειας απαιτώντας την εφεδρεία άλλων ενεργειακών πηγών ή γενικά δαπανηρές μεθόδους αποθήκευσης.
- Έχουν αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης, της τάξης του 30% ή και χαμηλότερο. Συνεπώς απαιτείται αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια γης. Γι' αυτό το λόγο μέχρι τώρα χρησιμοποιούνται σαν συμπληρωματικές πηγές ενέργειας.
- Το κόστος επένδυσης ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος σε σύγκριση με τις σημερινές τιμές των συμβατικών καυσίμων είναι ακόμη υψηλό.
- Η παροχή και απόδοση της αιολικής, υδροηλεκτρικής και ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από την εποχή του έτους αλλά και από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής στην οποία εγκαθίστανται.

2.5.3 Ο ρόλος της τεχνολογίας ξήρανσης στην ανάπτυξη των ΑΠΕ

Η ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως έχει ειπωθεί είναι ο ιδανικότερος τρόπος για να «καλύψουμε τις ανάγκες του σήμερα, χωρίς να θυσιάσουμε την ικανότητα των επερχόμενων γενεών να καλύψουν τις δικές τους ανάγκες» [39]. Με την υπογραφή του πρωτοκόλλου του Κιότο, κυβερνήσεις και οργανώσεις δεσμεύτηκαν να συνεισφέρουν εκτός των άλλων και με οικονομικούς πόρους στην έρευνα για την περαιτέρω ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η τεχνολογία της ξήρανσης λαμβάνει υπόψιν της την ανάγκη για σωστή εκμετάλλευση των φυσικών πόρων και η περαιτέρω έρευνα μπορεί να βοηθήσει στην βελτίωση της ποιότητας ξήρανσης με κέρδη τη μείωση του κόστους, καθώς και τη μείωση της χρήσης συμβατικής ενέργειας. Πώς όμως επηρεάζει η ξήρανση το περιβάλλον;

Χάρη στη σημερινή μελέτη της ξήρανσης κάποιες αρνητικές επιδράσεις που είχε στο περιβάλλον όπως η ατμοσφαιρική ρύπανση, η υψηλή κατανάλωση ενέργειας που απαιτείται προκειμένου να επιτευχθεί η ιδανικότερη ξήρανση, η απελευθέρωση διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) που είναι το αποτέλεσμα της παραγωγής ενέργειας καθώς επίσης και

κάποια ηχορύπανση έχουν μειωθεί σημαντικά. Με την παρούσα τεχνολογία η επιλογή του κατάλληλου τύπου ξήρανσης μπορεί να αποδειχθεί ιδιαίτερα ωφέλιμη προς το περιβάλλον. Μέσω της ξήρανσης διευκολύνεται η χρήση βιομάζας ως πηγή ανανεώσιμης ενέργειας, η οποία μπορεί να βοηθήσει στην μετατροπή των βιομηχανικών αποβλήτων σε εκ νέου προϊόντα. Εκτός αυτού, μειώνεται σημαντικά η απώλεια αγροτικών προϊόντων και επομένως βελτιώνεται η γενικότερη ενεργειακή ισορροπία. Είναι πιθανό να υπάρχουν και άλλα πλεονεκτήματα τα οποία όμως δεν έχουν ανακαλυφθεί ακόμα. Με τον τρόπο αυτό η ξήρανση συντελεί στην ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και με περαιτέρω έρευνα και βελτίωση μπορεί να γίνει πιο αποδοτική και φιλική για το περιβάλλον.

3. ΤΥΠΟΙ ΗΛΙΑΚΩΝ ΞΗΡΑΝΤΗΡΙΩΝ

3.1 Ταξινόμηση ηλιακών ξηραντηρίων

Για την αποτελεσματική ξήρανση των προϊόντων έχουν κατασκευαστεί διάφοροι τύποι ξηραντηρίων, η επιλογή των οποίων εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες. Οι σημαντικότεροι αυτών είναι η ποσότητα και το είδος του προς ξήρανση προϊόντος, το μέρος στο οποίο γίνεται η ξήρανση καθώς και οι διαθέσιμοι οικονομικοί πόροι για την κατασκευή και τη λειτουργία του.

Η κατάταξη των ηλιακών ξηραντηρίων μπορεί να γίνει με διάφορα κριτήρια, όπως [4, 9, 12]:

- εάν το ξηραίνόμενο προϊόν εκτίθεται απ' ευθείας ή όχι στον ήλιο,
- εάν ως πηγή ενέργειας χρησιμοποιείται αποκλειστικά η ηλιακή ενέργεια ή και άλλες συμβατικές μορφές ενέργειας,
- η μορφολογία του ξηραντηρίου
- εάν το ξηραντήριο θεωρείται μεικτού τύπου (mixed-mode solar dryer) ή όχι. Ο τύπος αυτός αποτελείται από έναν ηλιακό συλλέκτη αέρα και ένα θάλαμο ξήρανσης ο οποίος είναι καλυμμένος με διάφανο υλικό. Με αυτόν τον τρόπο η απαραίτητη θέρμανση ξήρανσης παρέχεται τόσο με την προθέρμανση του αέρα ξήρανσης με τη βοήθεια του ηλιακού συλλέκτη, όσο και με την απευθείας θέρμανση του προϊόντος από την ηλιακή ακτινοβολία στο θάλαμο ξήρανσης.

Οι πλέον συνηθισμένοι τύποι ηλιακών ξηραντηρίων, οι οποίοι αναλύονται στη συνέχεια είναι οι εξής:

- 1) Ηλιακός ξηραντήρας κιβωτίου
- 2) Ηλιακός ξηραντήρας θαλάμου
- 3) Ηλιακός ξηραντήρας σκηνής
- 4) Ηλιακός ξηραντήρας σήραγγας
- 5) Ηλιακός ξηραντήρας τύπου θερμοκηπίου
- 6) Ηλιακός ξηραντήρας έμμεσου τύπου
- 7) Ηλιακός ξηραντήρας με καπνοδόχο
- 8) Ηλιακός ξηραντήρας δωματίου.

3.2 Ηλιακός ξηραντήρας κιβωτίου

Οι ηλιακοί ξηραντήρες κιβωτίου (box type dryer) [12] είναι συνήθως μικρές μεταφερόμενες μονάδες και προορίζονται για οικιακή χρήση διατήρησης των αγροτικών προϊόντων.

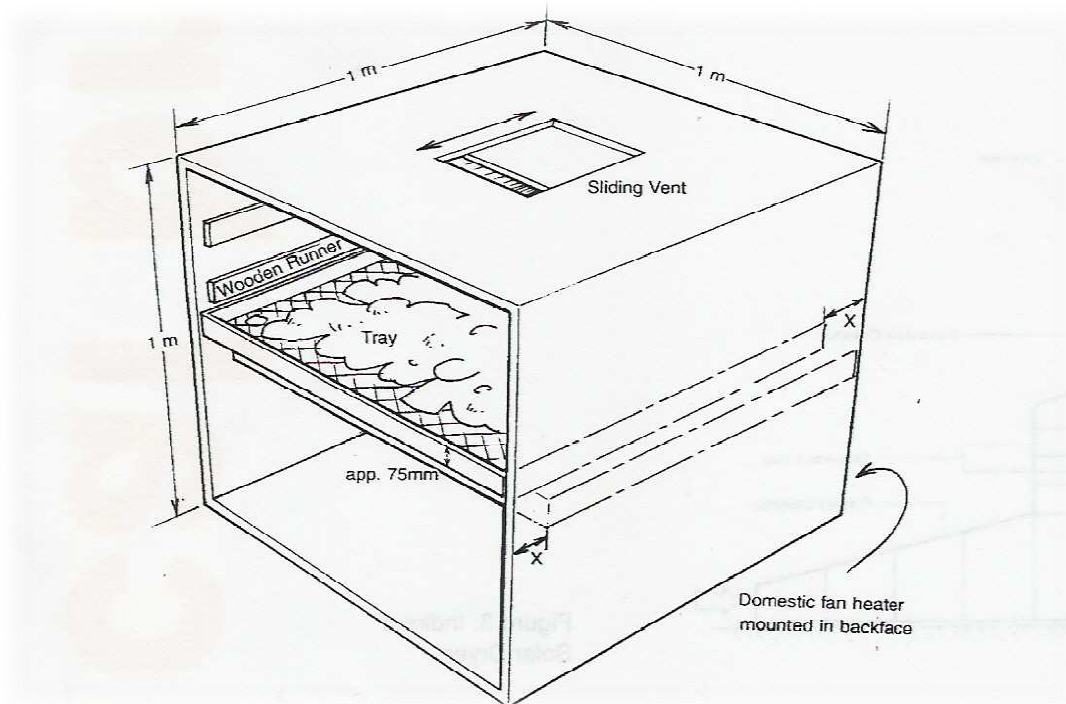


Σχήμα 3.1 Τυπικός ηλιακός ξηραντήρας κιβωτίου [69]

Ο τύπος αυτός ξηραντηρίου αποτελεί συνήθως απλή κατασκευή και αποτελείται από ένα πλαίσιο (το οποίο μπορεί να είναι και ένα απλό διάφανο κάλυμμα) στο εσωτερικό του οποίου τοποθετείται το προς ξήρανση προϊόν επάνω σε δίσκους αλουμινίου. Οι δίσκοι βρίσκονται μερικά εκατοστά επάνω από το κατώτερο σημείο της συσκευής, έτσι ώστε το προϊόν να μπορεί να λάβει την ηλιακή ακτινοβολία άμεσα. Αυτό επίσης βοηθά τον αέρα να περνάει εύκολα από το κατώτερο σημείο των δίσκων μέσω του προϊόντος.

Η ηλιακή ακτινοβολία διέρχεται από το κάλυμμα και απορροφάται από την εσωτερική επιφάνεια του κουτιού. Με αυτόν τον τρόπο η θερμοκρασία στο εσωτερικό του ξηραντήρα αυξάνεται, αυξάνοντας έτσι και τη θερμοκρασία του αέρα που εισέρχεται στο κουτί από τα ανοίγματα στο μπροστινό μέρος του και διευκολύνοντας την κυκλοφορία του. Σε περίπτωση που η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα δεν είναι αρκετή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και μία εσωτερική θερμάστρα.

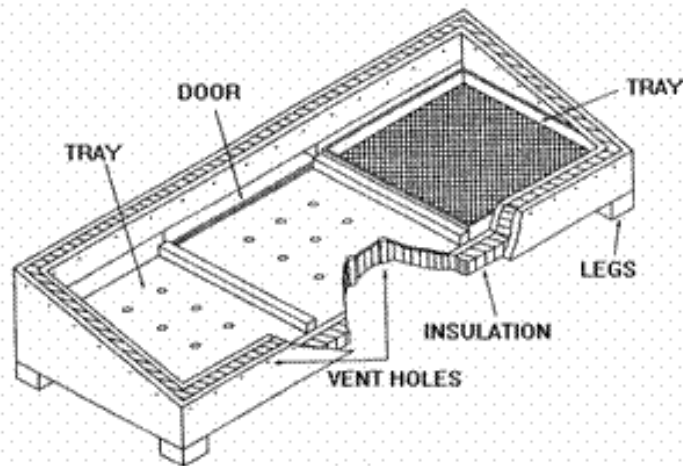
Το κόστος αυτού του τύπου ηλιακού ξηραντήρα είναι αρκετά χαμηλό και χρησιμοποιείται κυρίως για οικιακή χρήση καθώς είναι ιδανικός για την ξήρανση μικρών ποσοτήτων φρούτων και λαχανικών. Επιπλέον, παρέχει μία σχετική ανεξαρτησία από τις καιρικές συνθήκες και ο σχεδιασμός του διευκολύνει τον έλεγχο της διαδικασίας ξήρανσης [21].



Σχήμα 3.2 Εσωτερικό ηλιακού ξηραντήρα [21]

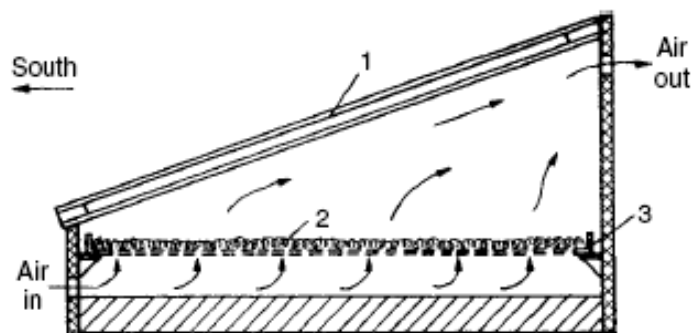
3.3 Ηλιακός ξηραντήρας θαλάμου

Ο ηλιακός ξηραντήρας θαλάμου (cabinet type dryer) [9] όπως και ο ξηραντήρας τύπου κιβωτίου, αποτελεί έναν επίσης απλό τύπο ξηραντήρα. Ο σχεδιασμός αυτού του τύπου ξηραντήρα είναι απλός, με χαμηλό κόστος και προορίζεται κυρίως για την ξήρανση μικρής ποσότητας προϊόντος (10-20 kg). Τα προϊόντα που ξηραίνονται σε αυτόν τον ξηραντήρα είναι κυρίως λαχανικά, φρούτα και μπαχαρικά με την επιφάνεια ξήρανσης να είναι 1-2 m². Η κατασκευή του τις περισσότερες φορές γίνεται με ξύλο, και συνήθως έχει μήκος τρεις φορές το πλάτος του [12].



Σχήμα 3.3 Τυπικός ξηραντήρας θαλάμου [66]

Το κυριότερο χαρακτηριστικό του είναι ότι η θερμότητα που απαιτείται για την ξήρανση εισέρχεται στο υλικό με απευθείας ακτινοβολία μέσω της διαφανούς πλευράς 1 (συνήθως από γυαλί) [9]. Οι υπόλοιπες πλευρές είναι αδιαφανείς και καλά μονωμένες προκειμένου να απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία που διαβιβάζεται μέσω του πλαστικού ή της γυάλινης κάλυψης. Το προς ξήρανση υλικό 2 τοποθετείται στην λεπτή επιφάνεια 3 που έχει ανοίγματα και ο αέρας κυκλοφορεί διαμέσου του, εξερχόμενος τελικά από ένα άνοιγμα που βρίσκεται στο πάνω μέρος του θαλάμου.



Σχήμα 3.4 Απεικόνιση της ροής του αέρα στο εσωτερικό [9]

Στον ξηραντήρα θαλάμου η μέγιστη θερμοκρασία που συνήθως καταγράφεται είναι 80°C [21]. Τρύπες βρίσκονται κοντά στη βάση και

την κορυφή της οπίσθιας κάθετης πλευράς (μερικά εκατοστά κάτω από την κάλυψη) που επιτρέπουν την έξοδο του αέρα με φυσική μεταφορά θερμότητας.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα του είναι [21]:

- το χαμηλό κόστος,
- η εύκολη συντήρηση και
- η βελτιωμένη ποιότητα του προϊόντος.

Τα κύρια μειονεκτήματα είναι [21]:

- ο μεγάλος χρόνος που χρειάζεται για την ξήρανση λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας και
- η χαμηλή αποδοτικότητα λόγω της εισαγόμενης ηλιακής ενέργειας που χρησιμοποιείται για να προκαλέσει τη ροή του αέρα και επειδή το ίδιο το προϊόν μπορεί και να μην είναι καλός απορροφητής της ηλιακής ακτινοβολίας.

3.4 Ηλιακός ξηραντήρας σκηνής

Ο ξηραντήρας σκηνής (tent type dryer) [9, 21] αποτελεί μία παραλλαγή του ξηραντήρα θαλάμου, και όπως και στον προηγούμενο η συλλογή της ηλιακής ενέργειας και η ξήρανση γίνονται στο ίδιο μέρος.



Σχήμα 3.5 Ξηραντήρας σκηνής στη Γκάνα [66]

Ο ηλιακός ξηραντήρας σκηνής όπως φαίνεται στα σχήματα, είναι φτηνός και απλός στην κατασκευή και αποτελείται από ένα ξύλινο πλαίσιο σκεπασμένο με κάλυμμα. Τα προς ξήρανση προϊόντα είναι τοποθετημένα σε ένα ράφι επάνω από το έδαφος.

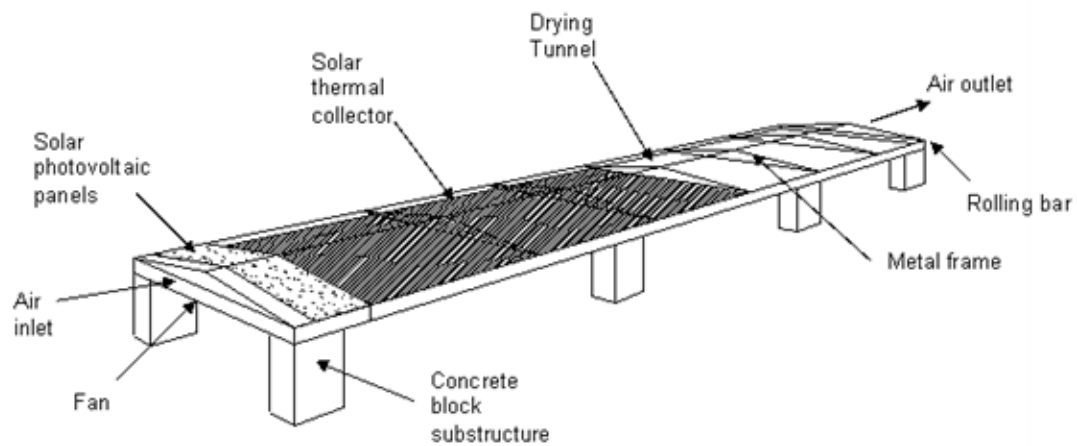


Σχήμα 3.6 Μικρός ξηραντήρας σκηνής [66]

Ο ξηραντήρας αυτού του τύπου παρέχει προστασία ενάντια στη βροχή, τα έντομα και τη σκόνη και μπορεί να μειώσει τους χρόνους ξήρανσης κατά 25% σε σχέση με τη φυσική ξήρανση. Παρόλα αυτά, έχει το βασικό μειονέκτημα ότι μπορεί να καταστρέφεται εύκολα από τους ισχυρούς ανέμους.

3.5 Ηλιακός ξηραντήρας σήραγγας

Ο ηλιακός ξηραντήρας σήραγγας (tunnel type dryer) [12, 35, 36] αποτελείται από έναν επίπεδο ηλιακό συλλέκτη αέρα, ένα θάλαμο ξήρανσης και έναν ανεμιστήρα που παρέχει την κατάλληλη παροχή αέρα για την ξήρανση του προϊόντος. Τόσο ο συλλέκτης όσο και ο θάλαμος ξήρανσης καλύπτονται με διαφανές πλαστικό κάλυμμα. Το εσωτερικό μέρος του θαλάμου ξήρανσης και οι παράπλευρες επιφάνειές του είναι μονωμένες για την αποφυγή θερμικών απωλειών.

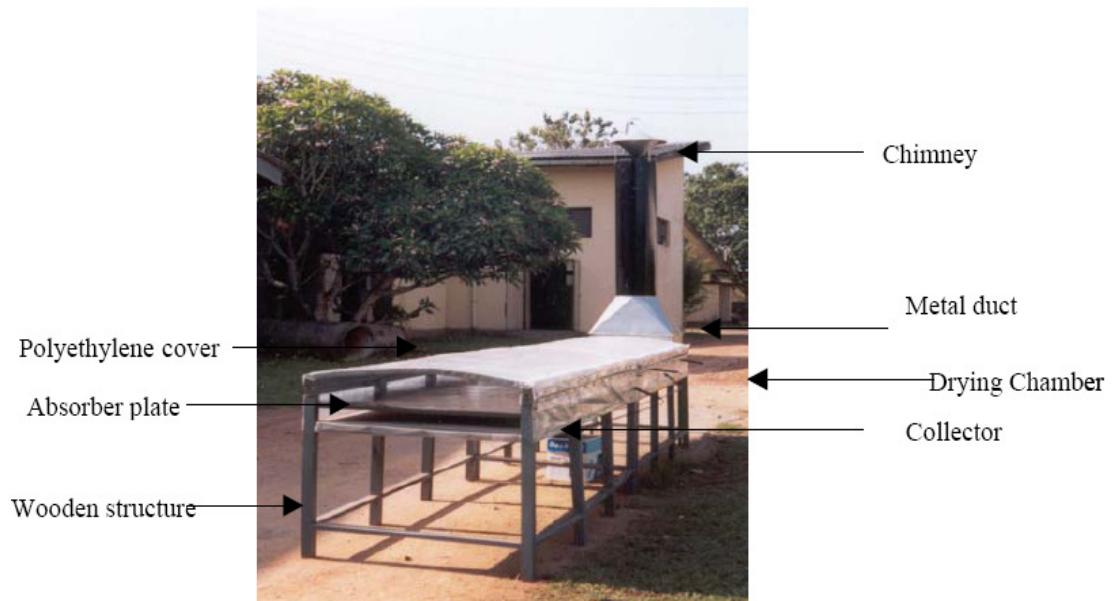


Σχήμα 3.7 Ηλιακός ξηραντήρας σήραγγας [66]

Ολόκληρο το σύστημα είναι κατασκευασμένο οριζόντια όπως φαίνεται και στα ακόλουθα σχήματα. Καθώς ο αέρας σε αυτόν τον τύπο ξηραντήρα διέρχεται πάνω και όχι διαμέσου του προϊόντος η ισχύς που απαιτείται για τη λειτουργία του ανεμιστήρα είναι μικρή. Για την αποφυγή εισόδου νερού σε περίπτωση βροχής το κάλυμμα είναι κατασκευασμένο σε ελαφρά κεκλιμένη μορφή.

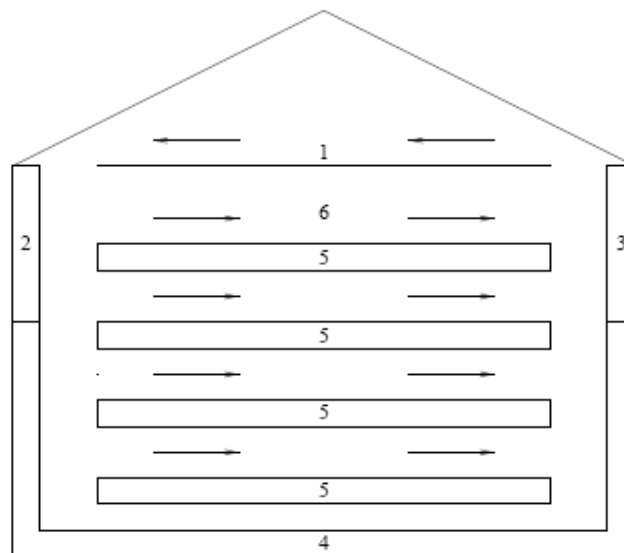


Σχήμα 3.8 Ηλιακός ξηραντήρας σήραγγας (Γκάνα) [66]



Σχήμα 3.9 Ηλιακός ξηραντήρας σήραγγας με καμινάδα (Σρι Λάνκα)
[40]

3.6 Ηλιακός ξηραντήρας τύπου θερμοκηπίου (greenhouse type dryer)



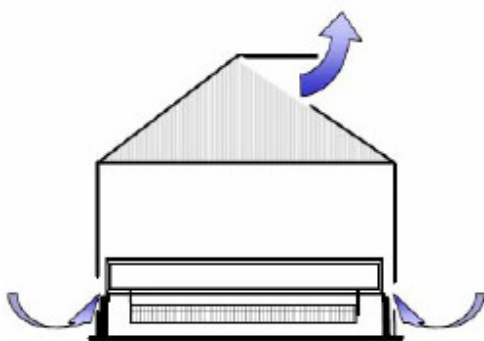
Σχήμα 3.10 1, 2, 3: ηλιακοί συλλέκτες 4: Τοίχοι 5: Ξηραίνόμενο προϊόν 6: Αέρας ξήρανσης [41]

Οι ξηραντήρες τύπου θερμοκηπίου (greenhouse type dryers) [4] είναι ιδανικοί σε χώρες υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας. Είναι από τους πιο συνηθισμένους τύπους ξηραντηρίων και έχουν ευρεία χρήση ιδιαίτερα στην ξήρανση ιλύος και ξύλου. Η κατασκευή τους αποτελείται από διαφανή ή ημιδιαφανή τοιχώματα με τον ηλιακό συλλέκτη ενσωματωμένο σε αυτή και το προς ξήρανση προϊόν τοποθετημένο στο εσωτερικό. Η είσοδος τοποθετείται στη βόρεια πλευρά η οποία είναι θερμικά μονωμένη. Οι νότιες επιφάνειες καλύπτονται με διαφανές υλικό (γυαλί ή πλαστικό) ενώ το δάπεδο επιστρώνεται με σκυρόδεμα ή πέτρες [4].

Χάρη στη μόνωση η θερμότητα διατηρείται και κατά τη διάρκεια των ημερών με χαμηλή ηλιακή ακτινοβολία καθώς και κατά τη διάρκεια της νύχτας. Επιμέρους διακρίσεις εδώ είναι οι εξής [18]:

α) Ξηραντήρες όπου η μεταφορά της ενέργειας γίνεται με αγωγή και ο εξαερισμός με φυσική κίνηση του αέρα, χωρίς χρήση ανεμιστήρων.

Το κεκλιμένο κάλυμμα της κατασκευής είναι τοποθετημένο στη κατεύθυνση βορρά-νότου ενώ υπάρχει μία ή περισσότερες θυρίδες εξαερισμού ώστε ο υγρός θερμός αέρας να μπορεί να βγει (σχήμα 3.11). Για την είσοδο του φρέσκου αέρα στο ξηραντήριο υπάρχουν ανοίγματα στη χαμηλότερη μεριά του τοίχου κάτω από την οροφή γυαλιού. Το προϊόν θερμαίνεται χρησιμοποιώντας την ηλιακή ακτινοβολία που διαπερνά την οροφή γυαλιού και αυξάνοντας έτσι την εσωτερική θερμοκρασία. Στις νεφελώδεις ή στις βροχερές εποχές, για να ενισχυθεί το ποσοστό ξήρανσης, χρησιμοποιούνται θερμάστρες αερίου.



Σχήμα 3.11 Ηλιακός ξηραντήρας για την ξήρανση ιλύος [23]

β) Ξηραντήρες στους οποίους η κυκλοφορία του αέρα πραγματοποιείται με τη βοήθεια ανεμιστήρων και ο εξαερισμός πραγματοποιείται με φυσική κίνηση.

Η διαφορά σε αυτόν τον τύπο είναι ότι η κυκλοφορία του αέρα στο εσωτερικό του ξηραντηρίου γίνεται με ηλεκτρικούς ανεμιστήρες μικρής ισχύος κατάλληλα τοποθετημένους που συνήθως βρίσκονται στις ανατολικές και δυτικές πλευρές της κατασκευής. Για τον εξαερισμό υπάρχουν όπως και πριν θυρίδες εξαερισμού στο πάνω μέρος του ξηραντηρίου.

γ) Ξηραντήρες στους οποίους η κυκλοφορία του αέρα πραγματοποιείται με τη βοήθεια ανεμιστήρων και ο εξαερισμός πραγματοποιείται επίσης με τη βοήθεια ανεμιστήρα του οποίου η λειτουργία ελέγχεται ανάλογα με τα επίπεδα υγρασίας στο εσωτερικό (σχ. 3.12).



Σχήμα 3.12 Ηλιακός ξηραντήρας τύπου θερμοκηπίου [70]

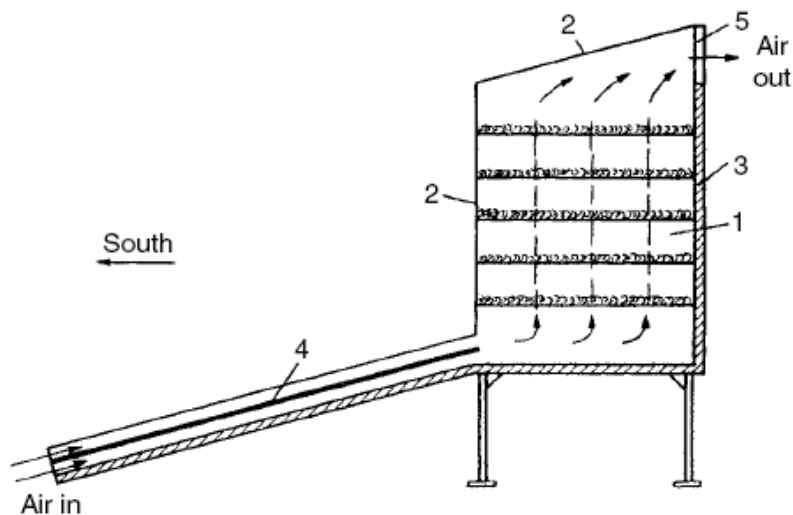
3.7 Ηλιακός ξηραντήρας έμμεσου τύπου

Η απόδοση των ξηραντήρων τύπου θαλάμου, σκηνής, κιβωτίου κλπ. είναι περιορισμένη εξαιτίας δύο συνθηκών: της συνεχούς ύπαρξης άμεσης ακτινοβολίας προκειμένου να έχουμε ξήρανση του προϊόντος και της μικρής ταχύτητας ροής του αέρα στο εσωτερικό. Επιπλέον, για την ξήρανση μεγαλύτερων ποσοτήτων προϊόντος η εσωτερική επιφάνεια του συλλέκτη πρέπει να αυξηθεί. Για την αποφυγή αυτού του προβλήματος είναι προτιμότερο το προϊόν να τοποθετηθεί σε ανεξάρτητα ράφια

(διαμερίσματα) και η απαραίτητη μεταφορά θερμότητας να επιτυγχάνεται με συναγωγή.

Γι' αυτό το λόγο αναπτύχθηκε ο ξηραντήρας έμμεσου τύπου (indirect ή shelf-type dryer) [9] στον οποίο η συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας και η ξήρανση πραγματοποιούνται σε διαφορετικά τμήματα όπως φαίνεται στο σχήμα 3.13.

Το υλικό τοποθετείται σε οριζόντια ράφια 1 τα οποία επιτρέπουν τον αέρα να εισέλθει διαμέσου τους. Η μπροστινή πλευρά του ξηραντήρα έχει νότια κατεύθυνση και η κορυφή με την μπροστινή επιφάνεια 2 είναι κατασκευασμένες από γυαλί, ενώ ο πίσω τοίχος 3 είναι μονωμένος. Ο εισερχόμενος αέρας θερμαίνεται σε έναν επίπεδο συλλέκτη 4, εισέρχεται στον θάλαμο ξήρανσης και τελικά εξέρχεται από ένα άνοιγμα 5 στο πάνω μέρος.

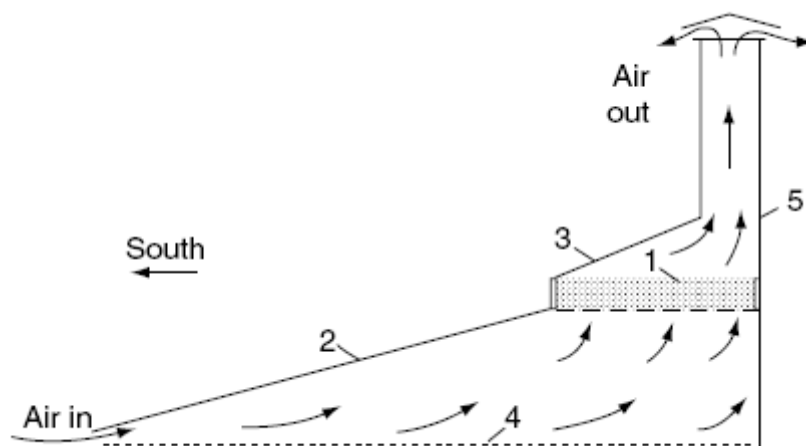


Σχήμα 3.13 Ξηραντήρας έμμεσου τύπου [9]

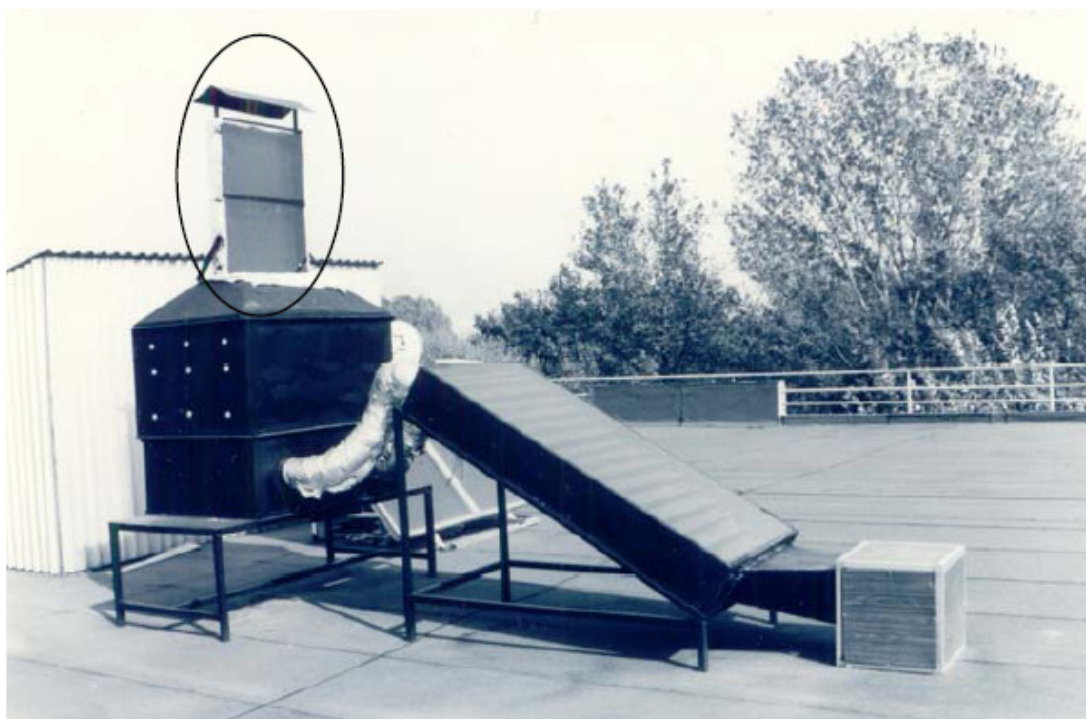
Ο ηλιακός συλλέκτης μπορεί να είναι νερού ή αέρα αναλόγως με τις απαιτήσεις της κατασκευής, έχει κλίση προς το νότο και μεταβιβάζει τη θερμότητα που δεσμεύει στο θάλαμο ξήρανσης με τη βοήθεια κυκλοφορητή αέρα ή νερού. Σε ορισμένους τύπους ξηραντηρίων η θερμότητα αποθηκεύεται σε δεξαμενές με νερό. Ο τύπος αυτός ξηραντηρίου δεν έχει τυποποιημένες διαστάσεις καθώς το μέγεθός του εξαρτάται από παράγοντες όπως η μέγιστη θερμοκρασία και η παροχή του αέρα ξήρανσης, το είδος των προς ξήρανση προϊόντων κτλ. Τα ξηραντήρια αυτά είναι περισσότερο περίπλοκα και δαπανηρά σε σχέση με τα προηγούμενα γιατί απαιτείται προσεκτική κατασκευή και καλή θερμική μόνωση, όπως επίσης και τοποθέτηση εγκαταστάσεων διακίνησης ή αποθήκευσης θερμότητας ή και ελέγχου των συνθηκών.

3.8 Ηλιακός ξηραντήρας έμμεσου τύπου με καμινάδα

Για την ξήρανση μεγάλων ποσοτήτων υλικού μια ψηλή καμινάδα συνδέεται στον ξηραντήρα έμμεσου τύπου προκειμένου να ενισχύεται η σωστή κυκλοφορία του αέρα (chimney type dryer) [9, 42].

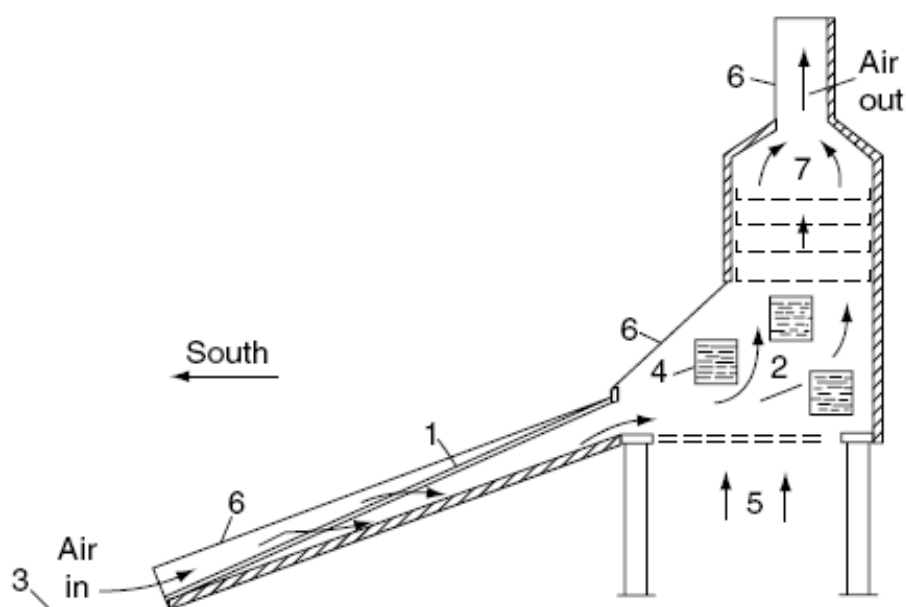


Σχήμα 3.14 Ροή αέρα στον ηλιακό ξηραντήρα με καμινάδα [9]



Σχήμα 3.15 Πειραματικός ηλιακός ξηραντήρας με καμινάδα του ΤΕΙ Σερρών [42]

Αρκετές μελέτες έχουν γίνει για την κατασκευή αντίστοιχου τύπου ξηραντήρα με καμινάδα ο οποίος όμως θα συνδυάζει και θάλαμο αποθήκευσης θερμότητας προκειμένου να παρατείνει την διαδικασία ξήρανσης και σε περιόδους μη επαρκούς ακτινοβολίας. Μία τέτοια κατασκευή φαίνεται στο σχήμα 3.16 [9]. Ο αέρας περνάει από τον ηλιακό συλλέκτη 1 στον θάλαμο αποθήκευσης θερμότητας 2. Μια επιφάνεια 3 που έχει ως σκοπό να ανακλά την ηλιακή ακτινοβολία τοποθετείται κοντά στην είσοδο του αέρα στον θάλαμο ξήρανσης και δοχεία νερού 4 χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση της θερμότητας. Κατά τη διάρκεια της νύχτας ο εξωτερικός αέρας μπορεί να εισέλθει από τα ανοίγματα 5. Η μπροστινή και οι παράπλευρες επιφάνειες του θαλάμου αποθήκευσης θερμότητας είναι καλυμμένες με διάφανα φύλλα όπως και η νότια πλευρά της καμινάδας 6. Τέλος, στον θάλαμο ξήρανσης 7 το προς ξήρανση υλικό είναι τοποθετημένο σε ράφια.

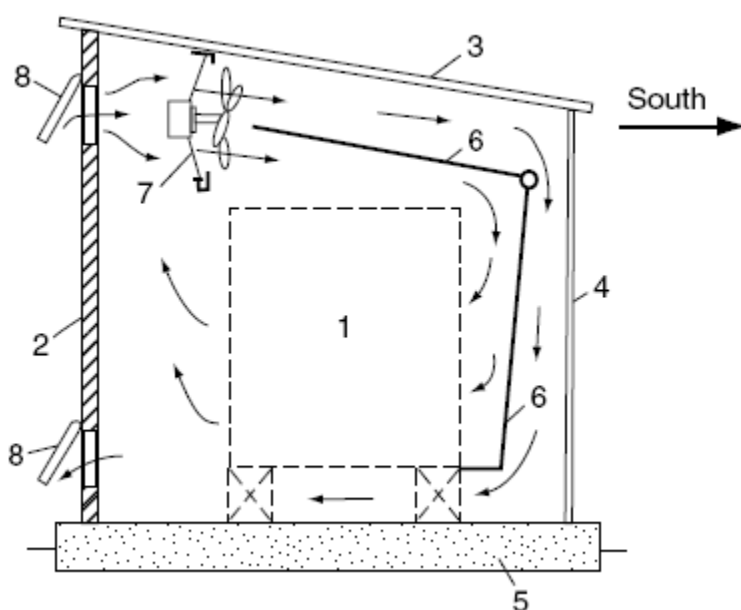


Σχήμα 3.16 Ηλιακός ξηραντήρας με καμινάδα και θάλαμο αποθήκευσης θερμότητας [9]

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των ξηραντήρων με καμινάδα είναι ότι δεν απαιτείται βοηθητική πηγή ενέργειας και επομένως μπορούν να λειτουργήσουν σε απομακρυσμένες περιοχές. Το μειονέκτημα είναι ότι το ύψος της καμινάδας δεν μπορεί να είναι τόσο μεγάλο εξαιτίας των υψηλών ταχυτήτων ανέμου. Ο περιορισμός αυτός στο ύψος της καμινάδας σημαίνει περιορισμό στη διαφορά υδροστατικής πίεσης και μη σωστή ροή του αέρα ξήρανσης [12].

3.9 Ηλιακός ξηραντήρας δωματίου

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η κατασκευή ενός ξηραντήρα δωματίου (room type dryer) για την ξήρανση ξυλείας [9]. Ένα πλαίσιο με κενά για τη διέλευση του αέρα 1 βρίσκεται στο εσωτερικό του ξηραντήρα. Ο βόρειος τοίχος 2 της κατασκευής είναι καλά μονωμένος ενώ η σκεπή 3, ο νότιος τοίχος 4 και οι παράπλευρες επιφάνειες είναι κατασκευασμένες από διάφανες πλάκες δύο στρωμάτων. Ο ξηραντήρας είναι κατασκευασμένος σε μία βάση σκυροδέματος 5. Η ηλιακή ακτινοβολία εισέρχεται από τις διάφανες πλάκες θερμαίνοντας το σκούρο απορροφητήρα αλουμινίου 6. Ο αέρας που κατευθύνεται από τον ανεμιστήρα 7 ρέει και στις δύο πλευρές του απορροφητήρα 6· ένα μέρος του εισέρχεται στο πλαίσιο από την πίσω πλευρά ενώ το υπόλοιπο από το κάτω τμήμα. Η αναλογία φρέσκου αέρα και αέρα ανακυκλοφορίας μπορεί να ρυθμιστεί από την αλλαγή του ανοίγματος 8.



Σχήμα 3.17 Ξηραντήρας δωματίου [9]

Όπως και στην προηγούμενη ενότητα, και εδώ υπάρχουν αρκετές παραλλαγές αυτού του τύπου ξηραντήρα. Στα σχήματα 3.18 και 3.19 οι ηλιακοί συλλέκτες τοποθετούνται στο επάνω μέρος του θαλάμου ξήρανσης ή σε κάποιο παραπλήσιο κτίριο. Οι συλλέκτες μπορούν να λειτουργούν είτε με αέρα είτε με νερό με την προσθήκη ενός εναλλάκτη θερμότητας που τοποθετείται στο θάλαμο ξήρανσης.



Σχήμα 3.18 Θάλαμος ξήρανσης ηλιακού ξηραντήρα δωματίου [71]



Σχήμα 3.19 Ηλιακός ξηραντήρας μεγάλης κλίμακας [71]

Στο σχήμα 3.20 φαίνεται η κατασκευή ενός ηλιακού ξηραντήρα δωματίου Solarwall® [72]. Για τη συλλογή της ηλιακής ενέργειας χρησιμοποιείται σκούρος διάτρητος συλλέκτης ο οποίος θερμαίνει τον αέρα. Στη συνέχεια, ο ανεμιστήρας απορροφά τον θερμό αέρα και τον διανέμει στο θάλαμο ξήρανσης. Για να είναι η θερμοκρασία ιδανική για την ξήρανση ρυθμίζεται από ένα διάφραγμα παράκαμψης ή ακόμα και από ένα συμβατικό λέβητα.



Σχήμα 3.20 Ηλιακός ξηραντήρας δωματίου Solarwall® [72]

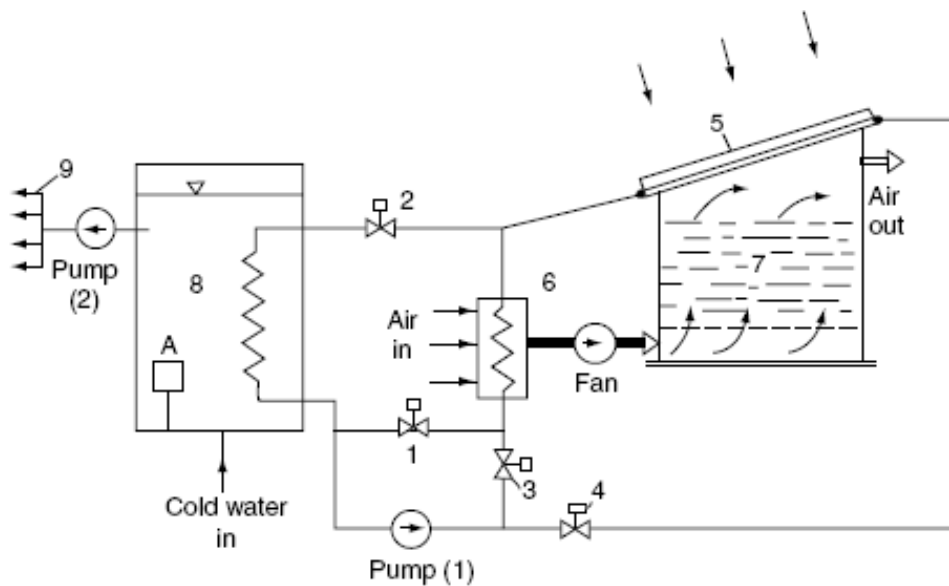
3.10 Ηλιακοί ξηραντήρες ενσωματωμένοι σε μεγαλύτερα συστήματα

Καθώς η περίοδος ξήρανσης περιορίζεται κυρίως στους θερινούς μήνες, σε περίπτωση που ο σχεδιασμός του ηλιακού ξηραντηρίου έχει γίνει για λειτουργία καθόλη τη διάρκεια του χρόνου, είναι προτιμότερο να υπάρχει δυνατότητα αξιοποίησης του και με άλλους τρόπους τις υπόλοιπες περιόδους [9]. Εάν ο ηλιακός συλλέκτης είναι νερού και όχι αέρα μία τέτοια δυνατότητα είναι για παράδειγμα η κάλυψη των αναγκών σε ζεστό νερό, προκειμένου να γίνει ταχύτερη απόσβεση του κόστους εγκατάστασης. Το γεγονός ότι η απόδοση των επίπεδων ηλιακών συλλεκτών αυξάνεται με τη μείωση της θερμοκρασίας λειτουργίας δίνει ένα επιπλέον όφελος στη χρήση των ηλιακών συλλεκτών για τη θέρμανση νερού (που μπορεί να προέρχεται π.χ. από πηγάδια).

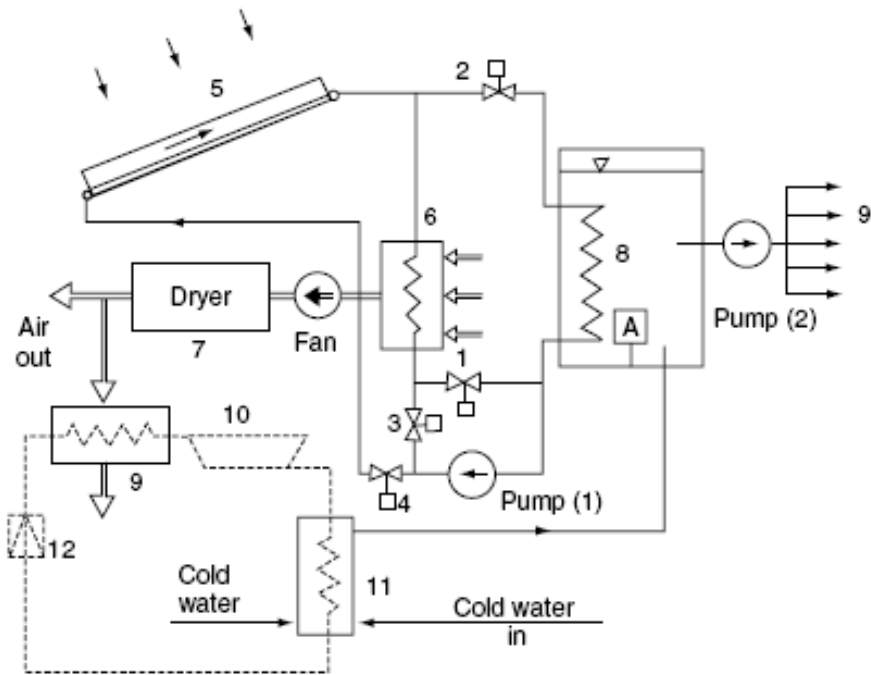
Στο παρακάτω σχήμα 3.21 φαίνεται η λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος. Ο ηλιακός συλλέκτης νερού 5, που βρίσκεται στο πάνω μέρος του θαλάμου ξήρανσης είναι συνδεδεμένος σε ένα κλειστό κύκλωμα. Το σύστημα μπορεί να λειτουργεί με διάφορους τρόπους. Όταν οι βαλβίδες 2 και 3 είναι κλειστές, το σύστημα του ηλιακού συλλέκτη δουλεύει με τον εναλλάκτη νερού-αέρα 6 για τη λειτουργία του θαλάμου ξήρανσης 7. Όταν οι βαλβίδες 1 και 3 είναι κλειστές, ο

θάλαμος αποθήκευσης θερμότητας νερού 8 θερμαίνεται. Στη θέση αλλαγής των βαλβίδων 1 και 2 (η βαλβίδα 3 είναι κλειστή) οι δύο τρόποι μπορούν να λειτουργούν συγχρόνως. Εάν οι βαλβίδες 1 και 4 είναι κλειστές, ο αέρας ξήρανσης θερμαίνεται με τη βοήθεια του εναλλάκτη θερμότητας 6 χρησιμοποιώντας το απόθεμα ζεστού νερού του εναλλάκτη 8.

Οι ηλιακοί ξηραντήρες αυτού του τύπου είναι αρκετά περίπλοκοι και συνήθως χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με αντλίες θερμότητας και θαλάμους αποθήκευσης θερμότητας. Κάποια χαρακτηριστικά παραδείγματα εμφανίζονται στη συνέχεια.



Σχήμα 3.21 Ηλιακός ξηραντήρας συνδεδεμένος με σύστημα ζεστού νερού [9]



Σχήμα 3.22 Ηλιακός ξηραντήρας με αντλία θερμότητας [9]

3.11 Υβριδικά ηλιακά ξηραντήρια

Τα υβριδικά ηλιακά ξηραντήρια [12] χρησιμοποιούν εκτός από την ηλιακή ενέργεια, και μία συμπληρωματική πηγή ενέργειας προκειμένου να εξασφαλισθεί η επαρκής θέρμανση του αέρα ξήρανσης ή ο αερισμός. Μία επιλογή είναι να χρησιμοποιηθούν συμβατικά καύσιμα όπως το πετρέλαιο ή η ηλεκτρική ενέργεια για τις εφαρμογές ξήρανσης, ενώ τα τελευταία χρόνια ως δευτερεύουσα πηγή ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί βιομάζα [43] ή αέριο [44]. Με το συνδυασμό ηλιακής ενέργειας-βοηθητικής πηγής επιτυγχάνεται η συνεχής λειτουργία του ξηραντήρα ακόμα και σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες ή κατά τη διάρκεια της νύχτας. Παρόλα αυτά, τα συστήματα αυτά είναι αρκετά πιο δαπανηρά και χρησιμοποιούνται συνήθως σε εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας ή σε εμπορικές εφαρμογές για τις οποίες η ποιότητα και η παροχή του τελικού προϊόντος δε μπορεί να εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες.

3.12 Επιλογή τύπου ηλιακού ξηραντήρα

Η επιλογή του τύπου του ηλιακού ξηραντήρα εξαρτάται από τις τοπικές απαιτήσεις συμπεριλαμβανομένου της κλίμακας λειτουργίας, καθώς και

του οικονομικού προϋπολογισμού [66]. Εάν το ηλιακό ξηραντήριο πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη αναγκών σε μικρή κλίμακα (π.χ. για ιδιοκατανάλωση), τότε το αρχικό κόστος είναι ο κύριος παράγοντας που επηρεάζει την επιλογή και σε τέτοιες περιπτώσεις προτιμώνται απλοί ηλιακοί ξηραντήρες. Όταν πρόκειται το ηλιακό ξηραντήριο να χρησιμοποιηθεί για ξήρανση μεγάλης ποσότητας και κλίμακας προϊόντων με στόχο τη διάθεσή τους στην αγορά, τότε προτιμώνται οι ηλιακοί ξηραντήρες που συνδυάζονται με τη χρήση ανεμιστήρων και ηλιακών συλλεκτών με γυαλί.

3.13 Συντήρηση ηλιακού ξηραντήρα

Για τη συντήρηση του ηλιακού ξηραντήρα το σημαντικότερο είναι ο καθαρισμός των ηλιακών συλλεκτών, των καλυμμάτων και του θαλάμου ξήρανσης μια φορά την εβδομάδα [78]. Εάν υπάρχει ηλεκτρικός ανεμιστήρας πρέπει να καθαρίζεται τουλάχιστον μία φορά ετησίως. Οι συλλέκτες και οι θάλαμοι ξήρανσης πρέπει να ελέγχονται τακτικά για την πιθανότητα διαρροής. Σε περίπτωση ζημιάς των καλυμμάτων του συλλέκτη ή του θαλάμου ξήρανσης, αυτά πρέπει να αντικαθίστανται όσο το δυνατόν συντομότερα.

4. ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΞΗΡΑΝΣΗΣ

4.1 Εισαγωγή

Η ξήρανση είναι μία περίπλοκη διαδικασία κατά την οποία έχουμε ταυτόχρονη μεταφορά θερμότητας και μάζας σε συνδυασμό με φυσικούς ή χημικούς μετασχηματισμούς οι οποίοι με τη σειρά τους μπορούν να προκαλέσουν αλλαγές στην ποιότητα του τελικού προϊόντος [3, 45].

Οι φυσικές αλλαγές που μπορούν να συμβούν περιλαμβάνουν συρρίκνωση του προϊόντος, φούσκωμα, και κρυστάλλωση. Σε μερικές περιπτώσεις επιθυμητές ή όχι χημικές και βιοχημικές αντιδράσεις μπορούν να συμβούν, έχοντας ως αποτέλεσμα αλλαγές στο χρώμα, την υφή, την οσμή και άλλες ιδιότητες του στερεού προϊόντος [14].

Η ξήρανση επιτυγχάνεται με ατμοποίηση του υπάρχοντος υγρού στο προϊόν παρέχοντάς του την κατάλληλη θερμότητα και μετατρέποντάς το τελικά σε ένα ξηρό προϊόν. Η θερμότητα αυτή παρέχεται είτε με συναγωγή (απ' ευθείας ξήρανση), είτε με αγωγή (έμμεση ξήρανση), είτε με ακτινοβολία [11].

Περίπου το 85% των βιομηχανικών ξηραντηρίων κάνουν απ' ευθείας ξήρανση με την παροχή αέρα ή άλλου αερίου ως το μέσο ξήρανσης. Περισσότερα από το 99% των ξηραντηρίων αφορούν απομάκρυνση του νερού από το προϊόν. Όλοι οι τρόποι εκτός των διηλεκτρικών (μικροκύματα ή ηλεκτρομαγνητικά κύματα) παρέχουν τη θερμότητα στα σύνορα του υπό ξήρανση υλικού έτσι ώστε αυτή να διαχέεται πρωτίστως με συναγωγή [45].

4.2 Στοιχεία ξήρανσης

Τα στερεά σώματα περιέχουν δύο είδη υγρασίας [5]:

- Το ελεύθερο νερό (free water), το οποίο συγκρατείται μηχανικά από το στερεό και συμπεριφέρεται ως καθαρό νερό και
- το ενωμένο ή δεσμευμένο νερό (bound water), το οποίο συναντάται ως φυσικά προσροφημένο νερό, ή κρυσταλλικό νερό, ή ως διάλυμα. Το νερό αυτό σε δεδομένο στερεό, προσδιορίζεται ποσοτικά από την καμπύλη ισορροπίας υδρατμού-στερεού σε δοθείσα θερμοκρασία.

Από τα δύο αυτά είδη υγρασίας, το πρώτο αποβάλλεται ευκολότερα ακόμη και με ελεύθερη εξάτμιση, ενώ το δεύτερο δυσκολότερα και συνήθως απαιτεί θέρμανση.

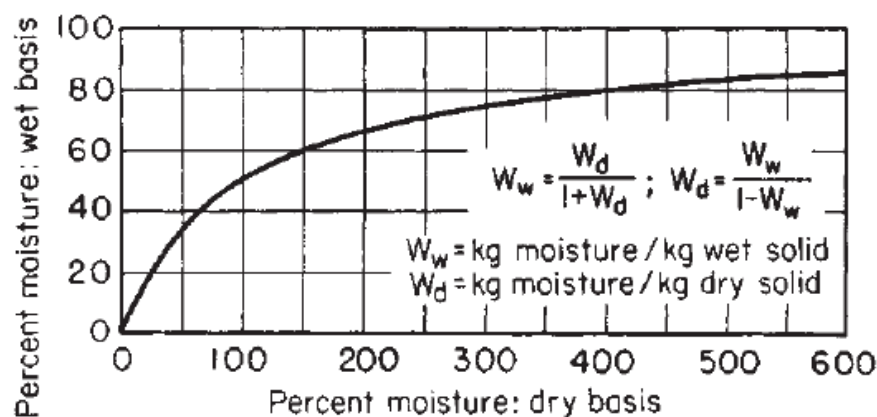
Η υγρασία του στερεού εκφράζεται ποσοτικά συνήθως επί ξηράς βάσης (% W_d) σε kg ύδατος/kg ξηρού στερεού. Οι σχέσεις που συσχετίζουν την υγρασία επί ξηράς βάσης με την αντίστοιχη υγρής βάσης (% W_w) και αντίστροφα είναι [11]:

$$W_d = \frac{W_w}{1 - W_w} \quad (4.1)$$

$$W_w = \frac{W_d}{1 + W_d} \quad (4.2)$$

Η υγρασία των στερεών μπορεί να προσδιοριστεί πειραματικά με αρκετές μεθόδους, είτε άμεσες, είτε έμμεσες. Τέτοιες είναι [5]:

- Ξήρανση εντός κλιβάνου σε ατμοσφαιρική πίεση και θερμοκρασία 105 °C για ορισμένο χρονικό διάστημα.
- Ογκομετρικώς με το αντιδραστήριο του Fischer (διάλυμα ιωδίου σε πυριδίνη).
- Ξήρανση στο κενό, συνήθως για ευαίσθητα στη θερμοκρασία προϊόντα.
- Αζεοτροπική απόσταξη του νερού με ανάμιξη του στερεού με τολουένιο.
- Με ηλεκτρικές μετρήσεις, καθώς η περιεκτικότητα σε υγρασία επηρεάζει την ηλεκτρική αντίσταση και την διηλεκτρική σταθερά.



Σχήμα 4.1 Συσχέτιση υγρασιών στερεής και υγρής βάσης [11]

4.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την ξήρανση

Η ξήρανση εξαρτάται από
[65] :

- ✓ Τη θερμοκρασία, την υγρασία και τη ποσότητα του αέρα που χρησιμοποιείται.
- ✓ Το μέγεθος των προϊόντων που ξηραίνονται.
- ✓ Τη φυσική δομή και τη σύνθεσή τους.
- ✓ Τον τρόπο της κυκλοφορίας του αέρα στον ξηραντήρα.

Η γνώση της επίδρασης των συνθηκών αυτών οδηγεί στην βελτιστοποίηση των παραμέτρων σχεδιασμού του ξηραντηρίου που σχετίζονται άμεσα με το μέγεθος των ενεργειακών απαιτήσεων και την εξοικονόμηση ενέργειας κατά την λειτουργία.

Μία ανάλυση των ενεργειακών απαιτήσεων της διεργασίας της ξήρανσης πρέπει να λαμβάνει οπωσδήποτε υπόψη τον τρόπο με τον οποίο διεξάγονται οι διεργασίες της εναλλαγής μάζας και θερμότητας προϋποθέτοντας την γνώση των καμπύλων ξήρανσης για τα συγκεκριμένα προϊόντα [12].

Πίνακας 4.1 Δεδομένα ξήρανσης για διάφορα γεωργικά προϊόντα [9]

Product	Moisture Percent (wb)		Drying Air Temperature (°C)
	Initial	Final	
Bananas	80	15	70
Barley	18–20	11–13	40–82
Beets	75–85	10–14	—
Cardamom	80	10	45–50
Cassava	62	17	70
Chilies	90	20	35–40
Coffee seeds	65	11	45–50
Copra	75	5	35–40
Com	28–32	10–13	43–82
Cotton	25–35	5–7	—
French beans	70	5	75
Garlic	80	4	55
Grapes	74–78	18	50–60
Green forages	80–90	10–14	
Hay	30–60	12–16	35–45
Longan	75	20	
Medicinal plants	85	11	35–50
Oats	20–25	12–13	43–82
Onions	80–85	8	50
Peanuts	45–50	13	35
Pepper	80	10	55
Potato	75–85	10–14	70
Pyrethrum	70	10–13	
Rice	25	12	43
Rye	16–20	11–13	
Sorghum	30–35	10–13	43–82
Soybeans	20–25	11	61–67
Spinach leaves	80	10	
Sweet potato	75	7	75
Tea	75	5	50 ^a
Virginia tobacco	85	12	35–70
Wheat	18–20	11–14	43–82

^aAt the end of drying, for 2–3 h 100°C.

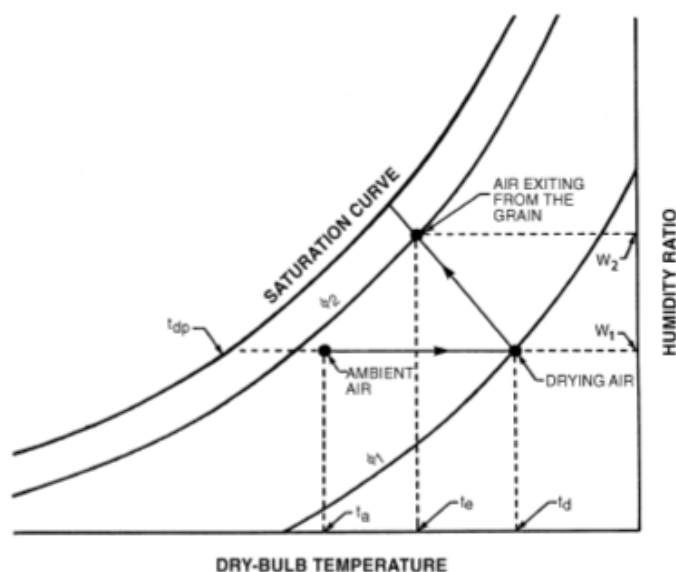
4.4 Αέρας ξήρανσης

Ο συνηθέστερος τρόπος ξήρανσης χρησιμοποιεί την αισθητή θερμότητα του αέρα. Η διαδικασία που ακολουθείται μπορεί να απεικονιστεί στον ψυχομετρικό χάρτη, εντοπίζοντας τα σημεία για τον αέρα καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία του από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος στην

τελική θερμοκρασία κατά την οποία και γίνεται η ξήρανση, και τέλος, καθώς εξέρχεται από το προϊόν [46].

Η διαδικασία θεωρείται αδιαβατική (δηλαδή όλη η αισθητή θερμότητα του αέρα χρησιμοποιείται για την εξάτμιση της υγρασίας και μετατρέπεται σε λανθάνουσα θερμότητα των υδρατμών στον αέρα ξήρανσης).

Τα σημεία που περιγράφουν τον αέρα φαίνονται στον παρακάτω απλοποιημένο ψυχομετρικό χάρτη:



Σχήμα 4.2 Η διαδικασία της ξήρανσης στον ψυχομετρικό χάρτη [46]

Η θερμοκρασία περιβάλλοντος ξηρής σφαίρας του εισερχόμενου αέρα t_a με θερμοκρασία σημείου δρόσου t_{dp} αυξάνεται στη θερμοκρασία t_d κατά την οποία η σχετική υγρασία είναι ϕ_1 .

Καθώς ο αέρας διέρχεται μέσα από το υπό ξήρανση υλικό, η αισθητή θερμότητά του παρέχει την λανθάνουσα θερμότητα που είναι απαραίτητη για την εξάτμιση της περιεχόμενης υγρασίας.

Όταν ο αέρας εξέρχεται από το υλικό, η θερμοκρασία του έχει μειωθεί σε t_e ενώ η σχετική του υγρασία έχει αυξηθεί στην τιμή ϕ_2 .

Η υγρασία που απομακρύνθηκε από το προϊόν ανά κιλό αέρα ξήρανσης είναι η διαφορά $W_2 - W_1$ στον κάθετο άξονα [46].

4.4.1 Ανακύκλωση του αέρα ξήρανσης

Στο ηλιακό ξηραντήριο μπορεί να εφαρμοστεί σύστημα ανακύκλωσης του αέρα ξήρανσης. Στο σύστημα μερικής ανακύκλωσης [44] ο θερμός

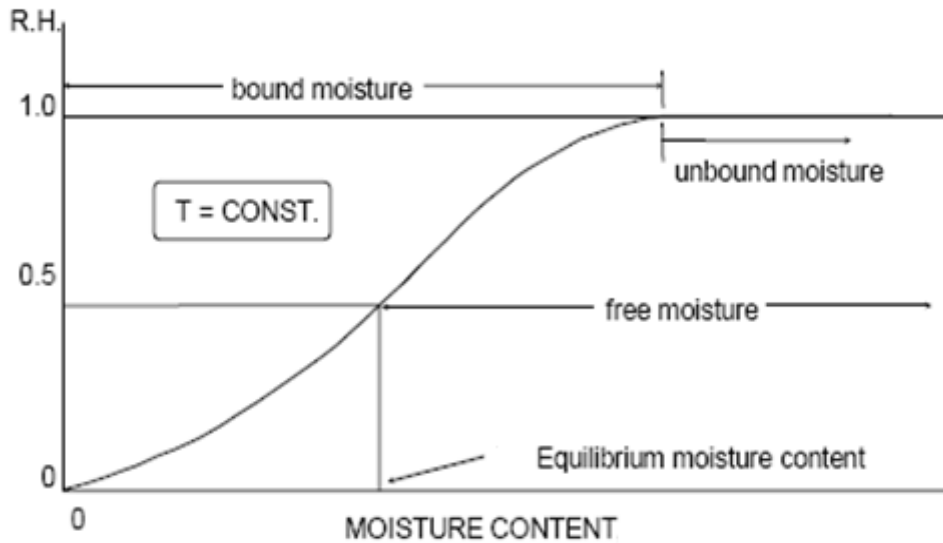
αέρα που εξέρχεται είτε από τον ηλιακό συλλέκτη είτε από τον εναλλάκτη θερμότητας (σε περιπτώσεις μειωμένης ηλ. ακτινοβολίας ή κατά τη νύχτα), προτού εισέλθει στο θάλαμο ξήρανσης αναμιγνύεται με ένα μέρος του αέρα που εξέρχεται από αυτόν, ενώ ο υπόλοιπος εξέρχεται στην ατμόσφαιρα.

4.5 Σημασία της υγρασίας του αέρα [50, 65]

Η θερμότητα δεν είναι ο μόνος παράγοντας που είναι απαραίτητος για τη σωστή ξήρανση. Ο συνδυασμός της ποιότητας και της ποσότητας του αέρα που διέρχεται από τα υπό ξήρανση προϊόντα καθορίζει το ρυθμό ξήρανσης. Η ποσότητα της υγρασίας που περικλείεται στον αέρα ξήρανσης είναι ιδιαίτερος σημαντική και αναφέρεται ως απόλυτη υγρασία. Ο όρος σχετική υγρασία (RH) είναι περισσότερο συνηθισμένος και είναι ο λόγος της απόλυτης υγρασίας με το μέγιστο ποσό υγρασίας που έχει ο αέρας όταν είναι σε κατάσταση κορεσμού. Το RH εκφράζεται ως ποσοστό % με τη μέγιστη τιμή 100% να λαμβάνεται όταν ο αέρας δε μπορεί να συγκρατήσει περισσότερη υγρασία. Ο αέρας που έχει ένα συγκεκριμένο ποσοστό υγρασίας σε χαμηλή θερμοκρασία, όταν θερμανθεί, θα έχει μεγαλύτερο ποσοστό.

4.6 Υγρασία ισορροπίας

Εάν ο αέρας βρίσκεται σε επαφή με το υλικό για πολλή ώρα, τότε θα φτάσει σε ισορροπία με την υγρασία του προϊόντος και η τιμή φ_2 θα αποτελεί το ισοζύγιο της σχετικής υγρασίας του προϊόντος στη θερμοκρασία T_e [47]. Το ποσοστό του νερού το οποίο δεν μπορεί να απομακρυνθεί πλέον από το προϊόν με τη βοήθεια του αέρα λόγω της υγρασίας του τελευταίου, ονομάζεται υγρασία ισορροπίας W_e . Σε αυτή την κατάσταση, η μερική πίεση των υδρατμών του αέρα είναι ίση με τη μερική πίεση των υδρατμών που βρίσκονται γύρω από το υλικό και επομένως, από το σημείο αυτό και μετά η ξήρανση τερματίζεται.



Σχήμα 4.3 Καμπύλη ισορροπίας υγρασιών (moisture content-relative humidity) [45]

Για να αποφευχθεί αυτό το φαινόμενο συνήθως χρησιμοποιείται πλεόνασμα αέρα κατά την ξήρανση [47].

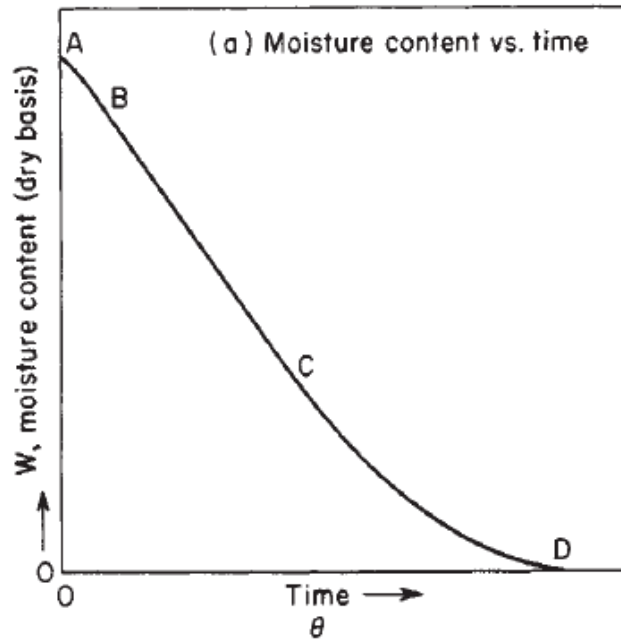
4.7 Πορεία ξήρανσης

4.7.1 Καμπύλες ξήρανσης

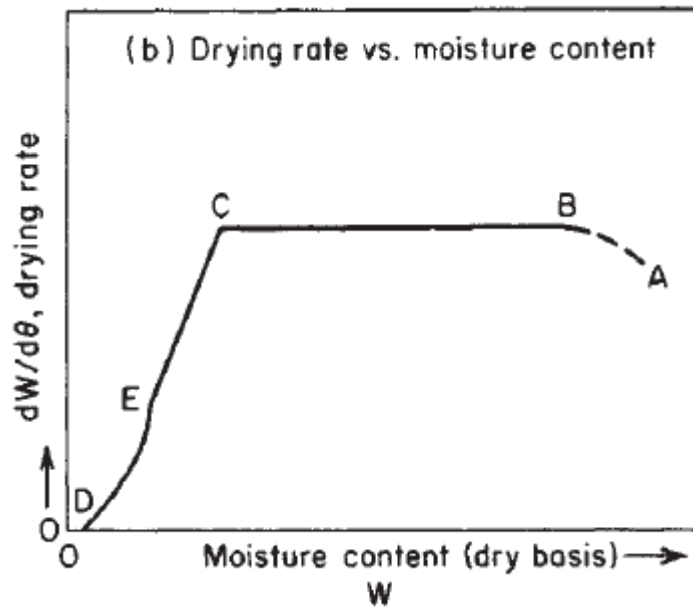
Η πορεία της ξήρανσης ενός στερεού δεν είναι δυνατό να προβλεφθεί πλήρως με βάση τις φυσικές ιδιότητες του στερεού και τα χαρακτηριστικά της διάταξης της συστήματος ξήρανσης [3]. Απαιτούνται πειραματικά δεδομένα από πρότυπους ρυθμιζόμενους ξηραντήρες, για το σχεδιασμό των βιομηχανικών ξηραντήρων. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για τη δημιουργία του διαγράμματος περιεκτικότητας υγρασίας-χρόνου όπως στο σχήμα 4.4 που δείχνει τη μεταξύ τους εξάρτηση. Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί η καμπύλη του ρυθμού ξήρανσης συναρτήσει της περιεκτικότητας σε υγρασία όπως στο σχήμα 4.5 ή του χρόνου (σχήμα 4.6). Το σχήμα 4.6 δείχνει και τη διάρκεια της κάθε περιόδου ξήρανσης. Το τμήμα AB σε κάθε καμπύλη αντιπροσωπεύει μία αρχική περίοδο θέρμανσης (warming-up) του στερεού. Το τμήμα BC αποτελεί την περίοδο σταθερού ρυθμού ξήρανσης, με το σημείο C να αποτελεί το σημείο κρίσιμης περιεκτικότητας σε υγρασία (critical-moisture content).

Το τμήμα CD αποτελεί την περίοδο φθίνοντος ρυθμού ξήρανσης και όπως φαίνεται από τα τελευταία 2 σχήματα εκφράζεται από μία συνεχή

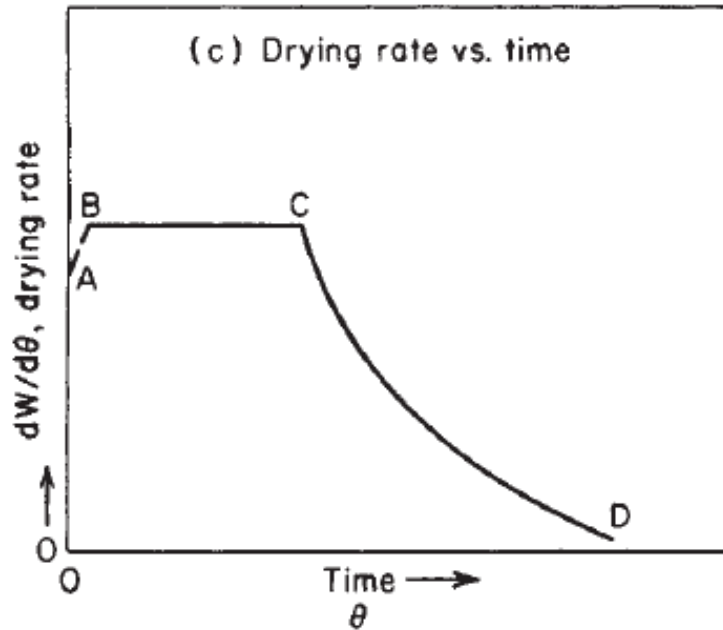
μεταβολή του ρυθμού ξήρανσης. Το τμήμα CE αναφέρεται και ως το πρώτο μέρος της περιόδου φθίνοντος ρυθμού ξήρανσης, ενώ το DE ως το δεύτερο [11, 48].



Σχήμα 4.4 Διάγραμμα περιεκτικότητας υγρασίας-χρόνου [11]



Σχήμα 4.5 Διάγραμμα ρυθμού ξήρανσης-περιεκτικότητας υγρασίας [11]



Σχήμα 4.6 Διάγραμμα ρυθμού ξήρανσης-χρόνου [11]

4.7.2 Περίοδος σταθερού ρυθμού ξήρανσης

Κατά την περίοδο του σταθερού ρυθμού ξήρανσης (constant rate period), η επιφάνεια του στερεού είναι κορεσμένη με νερό και η ξήρανση λαμβάνει χώρα με διάχυση του νερού στο γύρω χώρο [5, 48]. Κατά την περίοδο αυτή η υγρασία μεταφέρεται από το εσωτερικό προς την επιφάνεια του στερεού, ώστε αυτή να παραμένει συνεχώς κορεσμένη σε νερό. Η θερμότητα εξατμίσεως μεταδίδεται στην διεπιφάνεια στερεού-αέρα με μεταφορά εξ επαφής με ρεύμα αέρα, με αγωγή, ή και με ακτινοβολία. Στην περίπτωση μεταφοράς εξ επαφής με ρεύμα αέρα, από το ενεργειακό ισοζύγιο μπορούμε να πάρουμε την σχέση [11]:

$$\dot{W} = \frac{dw}{d\theta} = h_t A \Delta T / \lambda = k_g A \Delta p \quad (4.3)$$

όπου:

- $dW/d\theta$: ο ρυθμός ξήρανσης υγρής βάσης (kg εξατμιζόμενου νερού / sec),
- h_t : ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας (W/m^2K),
- k_g : συντελεστής μεταφοράς μάζας ($kg/sec m^2atm$),
- A : η επιφάνεια εξατμίσεως (m^2),
- λ : η λανθάνουσα θερμότητα εξατμίσεως του νερού (J/kg),
- T_w : η θερμοκρασία επιφάνειας εξατμίσεως (K),

- T : η θερμοκρασία της κύριας μάζας του αέρα (K),
- $\Delta T = T - T_w$, η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ αέρα και επιφάνειας εξατμίσεως (K)
- $\Delta p = p_w - p$: η διαφορά τάσης ατμών μεταξύ επιφάνειας εξατμίσεως και αέρα (atm)

Επειδή η μόνη πηγή ενέργειας είναι η θερμότητα του αέρα και η ολική ενθαλπία αυτού μένει σταθερή, η ξήρανση με σταθερό ρυθμό ξήρανσης λέγεται και αδιαβατική ξήρανση.

Όπως φαίνεται από τις παραπάνω εξισώσεις, ο ρυθμός εξάτμισης του νερού ισούται με το ρυθμό μεταφοράς θερμότητας στην επιφάνεια του υλικού και ο ρυθμός ξήρανσης σε αυτή την περίοδο εξαρτάται από τους συντελεστές μεταφοράς θερμότητας και μάζας, από τη διαφορά θερμοκρασίας αέρα ξήρανσης και επιφάνειας εξατμίσεως (θερμοκρασία υγρού βολβού), από την επιφάνεια του υλικού και από τη διαφορά υγρασίας μεταξύ της υγρής επιφάνειας και του αέρα ξήρανσης. Τελικά κατά την περίοδο αυτή, ο ρυθμός ξήρανσης εξαρτάται από τις εξωτερικές και όχι τις εσωτερικές συνθήκες μεταφοράς υγρασίας [11]. Οι συντελεστές μεταφοράς θερμότητας και μάζας εξαρτώνται από τις φυσικές ιδιότητες, την ταχύτητα του αέρα και τη γεωμετρία του ξηραντήρα.

Για ροή αέρα κάθετη στην επιφάνεια του στερεού, ισχύει η εμπειρική σχέση [5]:

$$h_t = 24G^{0.37} \quad (4.4)$$

όπου G ο ρυθμός ροής του αέρα ($\text{kg}/\text{m}^2\text{sec}$).

4.7.3 Περίοδος φθίνοντος ρυθμού ξήρανσης

Κατά τη φθίνουσα περίοδο της ξήρανσης (falling rate period), ο ρυθμός ξήρανσης καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τη χημική σύνθεση του προϊόντος [5, 48]. Κατά την περίοδο αυτή, η μεταφορά υγρασίας προς την επιφάνεια εξατμίσεως είναι βραδύτερη, λόγω της αυξανόμενης αντίστασης στη μεταφορά μάζας εντός του υλικού. Αυτό οφείλεται πιθανότατα, στο γεγονός ότι η υγρασία μεταφερόμενη με διάχυση εντός του υλικού, μεταφέρει και άλλες ουσίες (στα φρούτα ζάχαρα, μέταλλα) που αυξάνουν το ιξώδες, μειώνοντας έτσι την τάση των υδρατμών στην επιφάνεια και επομένως και το ρυθμό ξήρανσης, καθώς επίσης και στην αυξανόμενη αντίσταση στη μεταφορά μάζας εντός του στερεού σώματος (συρίκνωση τριχοειδών κτλ).

Ο ρυθμός ξήρανσης εξαρτάται κυρίως από την υγρασία του στερεού (W) και την θερμοκρασία του αέρα (T) και λιγότερο από την υγρασία και την ταχύτητα του αέρα, δηλαδή $\dot{W} = f(W, T, \Delta W)$.

Η παραπάνω συνάρτηση δεν είναι δυνατό να υπολογιστεί με θεωρητική ανάλυση. Απαιτούνται πειραματικά δεδομένα, τα οποία προσαρμόζονται σε μία σχέση της μορφής [5]:

$$\dot{W} = K(W - W_e) \quad (4.5)$$

όπου

- W_e : η υγρασία σε κατάσταση ισορροπίας και
- K : η εμπειρική σταθερά ξήρανσης (1/sec)

Η διαφορά $W - W_e$ είναι το δυναμικό της ξήρανσης και καλείται ελεύθερη υγρασία του στερεού. Η ξήρανση μπορεί να φτάσει ασυμπτωτικά στην υγρασία ισορροπίας W_e αν και στην πράξη διακόπτεται πριν η υγρασία του σώματος φτάσει σε αυτή την τιμή.

4.8 Θεωρία της μοριακής διάχυσης

Η κίνηση της υγρασίας από το εσωτερικό προς την επιφάνεια εξάτμισης γίνεται με διάφορους τρόπους ανάλογα με τη φύση και τη δομή του προς ξήρανση στερεού καθώς και τις συνθήκες της ξήρανσης [3]. Το είδος της κίνησης επηρεάζει την ξήρανση κατά την περίοδο φθίνοντος ρυθμού.

Σύμφωνα με τη θεωρία της μοριακής διάχυσης, η υγρασία μεταφέρεται στην εξωτερική επιφάνεια του στερεού λόγω διαφοράς συγκέντρωσης κατά τρόπο ανάλογο προς τη μετάδοση θερμότητας στη μη μόνιμη κατάσταση.

Στην περίπτωση της μονοδιάστατης διάχυσης ισχύει ο ακόλουθος νόμος του Fick [11]:

$$\frac{dW}{d\theta} = D_{AB} \left(\frac{d^2W}{dx^2} \right) \quad (4.6)$$

όπου:

- W είναι η υγρασία σε χρόνο θ εκφρασμένη σε kg υγρού/ kg ξηρού στερεού υλικού
- θ ο χρόνος σε sec
- x το πάχος του υλικού σε m
- D_{AB} ο συντελεστής διάχυσης της υγρής φάσης για κίνηση μέσα από την στερεή φάση εκφρασμένος σε m^2/sec .

Η ολοκλήρωση αυτής της εξίσωσης προϋποθέτει ότι έχουν επιλεγεί οι οριακές συνθήκες, καθώς και ότι τα χαρακτηριστικά του D_{AB} είναι δεδομένα [49]. Στην απλούστερη περίπτωση θεωρείται ότι το D_{AB} είναι σταθερό, ανεξάρτητο της υγρασίας, και ότι η ξήρανση λαμβάνει χώρα από την μία πλευρά της πλάκας, οι πλευρές και η βάση της οποίας είναι μονωμένες. Εφαρμόζοντας αυτές τις παραδοχές και υποθέτοντας ότι η αρχική υγρασία είναι ομοιόμορφα κατανεμημένη σε ολόκληρη την πλάκα καταλήγουμε στην εξίσωση [11]:

$$\frac{W - W_e}{W_c - W_e} = \frac{8}{\pi^2} \left[\sum_{n=0}^{n=\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} e^{-(2n+1)^2 D_1 \theta (\pi/2d)^2} \right] \quad (4.7)$$

όπου:

- W_e η υγρασία σε κατάσταση ισορροπίας, εκφρασμένη σε kg υγρού/ kg ξηρού στερεού υλικού [49]
- W_c η υγρασία στην αρχή της περιόδου, κατά την διάρκεια της οποίας ο ρυθμός ξήρανσης καθορίζεται από την διάχυση, εκφρασμένη σε kg υγρού/ kg ξηρού στερεού υλικού
- $2d$ η απόσταση από την επιφάνεια μέχρι το κέντρο της πλάκας, όταν αυτή ξηραίνεται και από τις δυο μεριές ή το ολικό πάχος της πλάκας, όταν ξηραίνεται από την μία μεριά
- D_1 ο συντελεστής διάχυσης (m^2/s)

Για μεγάλο χρονικό διάστημα ξήρανσης η εξίσωση (4.7) απλοποιείται στην ακόλουθη [11]:

$$\frac{W - W_e}{W_c - W_e} = \frac{8}{\pi^2} [e^{-D_1 \theta (\pi/2d)^2}] \quad (4.8)$$

η οποία με διαφορίση δίνει το ρυθμό ξήρανσης (σε kg/s) [11]:

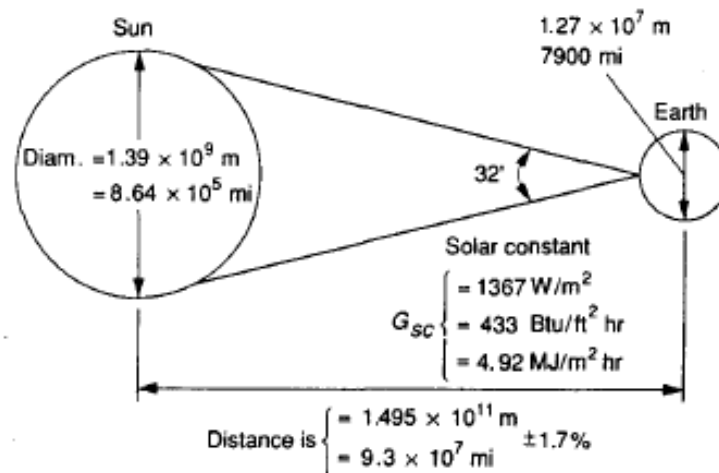
$$-\frac{dW}{d\theta} = \frac{\pi^2 D_1}{4d^2} (W - W_e) \quad (4.9)$$

Μία εξίσωση για την περίοδο φθίνοντος ρυθμού ξήρανσης μπορεί να προκύψει από την εξίσωση (4.9) [11]:

$$\theta_f = \frac{4d^2}{\pi^2 D_1} \ln \left(\frac{W_c - W_e}{W - W_e} \right) \quad (4.10)$$

με θ_f το χρόνο ξήρανσης στην περίοδο φθίνοντος ρυθμού.

5. ΑΡΧΕΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



Σχήμα 5.1 Κύρια γεωμετρικά χαρακτηριστικά γης-ηλίου [1]

Στο κεφάλαιο αυτό δίνονται κάποιες βασικές αρχές του υπολογισμού της ηλιακής ακτινοβολίας, οι οποίες είναι απαραίτητες για τη μελέτη του ηλιακού συλλέκτη της εγκατάστασης. [1, 8, 10, 15, 51]

5.1 Ηλιακή ακτινοβολία εκτός ατμοσφαιρας

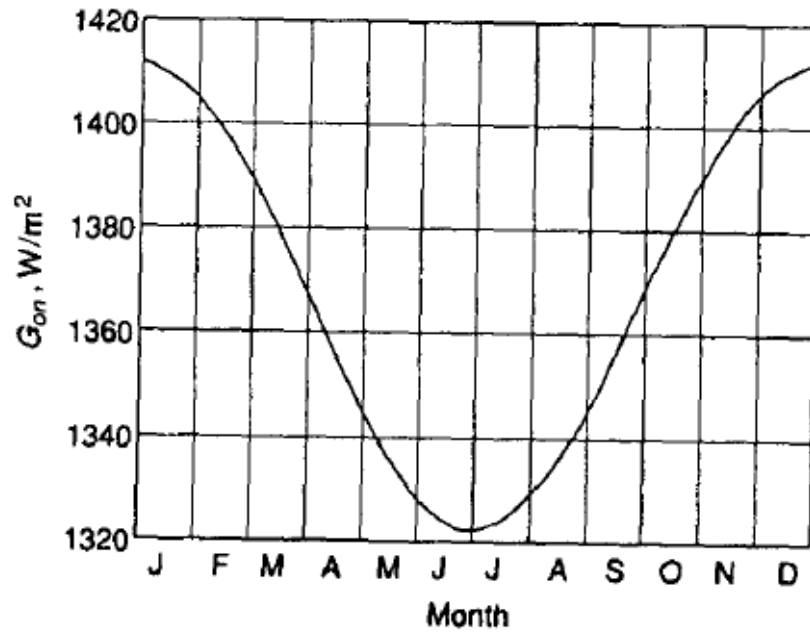
Για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας χρησιμοποιείται η ηλιακή σταθερά G_{sc} , η οποία αποτελεί την ενέργεια ανά μονάδα χρόνου που δέχεται εκτός ατμοσφαιρας από τον ήλιο η μονάδα επιφάνειας κάθετης στη διεύθυνση διάδοσης της ακτινοβολίας, όταν η απόσταση γης-ηλίου λαμβάνει τη μέση τιμή της.

Η τιμή της ηλιακής σταθεράς είναι $G_{sc} = 1353 \text{ W/m}^2$.

Η μεταβολή της απόστασης γης-ηλίου προκαλεί μεταβολή της ακτινοβολίας εκτός ατμοσφαιρας κατά $\pm 3\%$. Η ακτινοβολία G_{on} που δέχεται το επίπεδο εκτός ατμοσφαιρας κάθετο στις ακτίνες δίνεται από τη σχέση:

$$G_{on} = G_{sc} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365} \right) \quad (5.1)$$

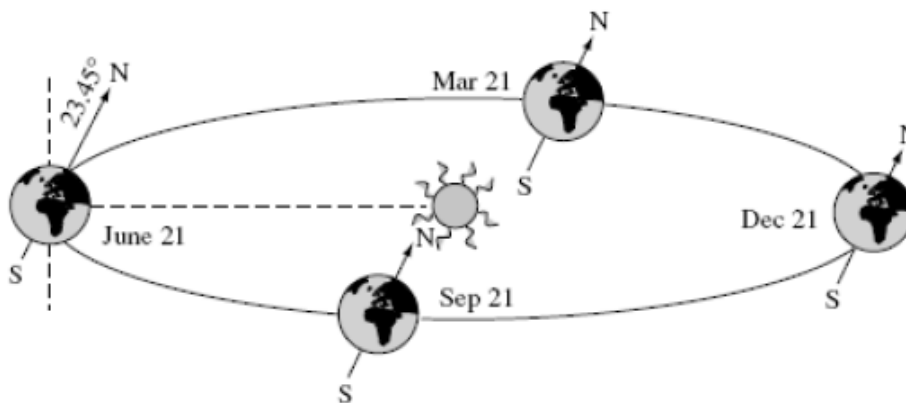
όπου $n=1-365$ είναι η ημέρα του έτους. Η γραφική παράσταση της παραπάνω σχέσης δίνεται στο σχήμα 5.2.



Σχήμα 5.2 Μεταβολή της ακτινοβολίας καθέτου επιπέδου εκτός ατμόσφαιρας συναρτήσει των ημερών του έτους [1]

5.2 Βασικές γωνίες

Η γη περιστρέφεται μια φορά την ημέρα γύρω απ' τον άξονα της, ο οποίος περιστρέφεται γύρω από τον ήλιο διατηρώντας μια σταθερή γωνία, $23,45^\circ$. Αυτή η γωνία είναι υπεύθυνη για το ότι ο ήλιος φαίνεται ψηλότερα στον ουρανό το καλοκαίρι απ' ότι το χειμώνα. Επίσης εξαιτίας της γωνίας αυτής είναι μεγαλύτερη η διάρκεια της ημέρας το καλοκαίρι. Στο σχήμα 5.3 φαίνεται η τροχιά της γης γύρω από τον ήλιο και η κλίση του άξονα της.



Σχήμα 5.3 Τροχιά της γης γύρω από τον ήλιο [16]

- Η γωνία που σχηματίζεται από το επίπεδο του ισημερινού και την ευθεία που ενώνει το κέντρο της γης με αυτό του ήλιου ονομάζεται ηλιακή απόκλιση δ και δίνεται από τον τύπο:

$$\delta = 23,45 * \sin\left(\frac{360(284+n)}{365}\right) \quad (5.2)$$

Ισχύει $-23,45 \leq \delta \leq 23,45$. Οι γωνίες βόρεια του ισημερινού θεωρούνται θετικές και αυτές νότια αρνητικές.

Στον παρακάτω πίνακα 5.1 δίνονται οι τιμές της ηλιακής απόκλισης δ για τη μέση ημέρα κάθε μήνα, δηλαδή τη μέρα κατά την οποία η ηλιακή ακτινοβολία εκτός ατμοσφαιράς θεωρείται περίπου ίση με τη μέση ημερήσια του μηνός.

Πίνακας 5.1 Τιμές ηλιακής απόκλισης δ [1]

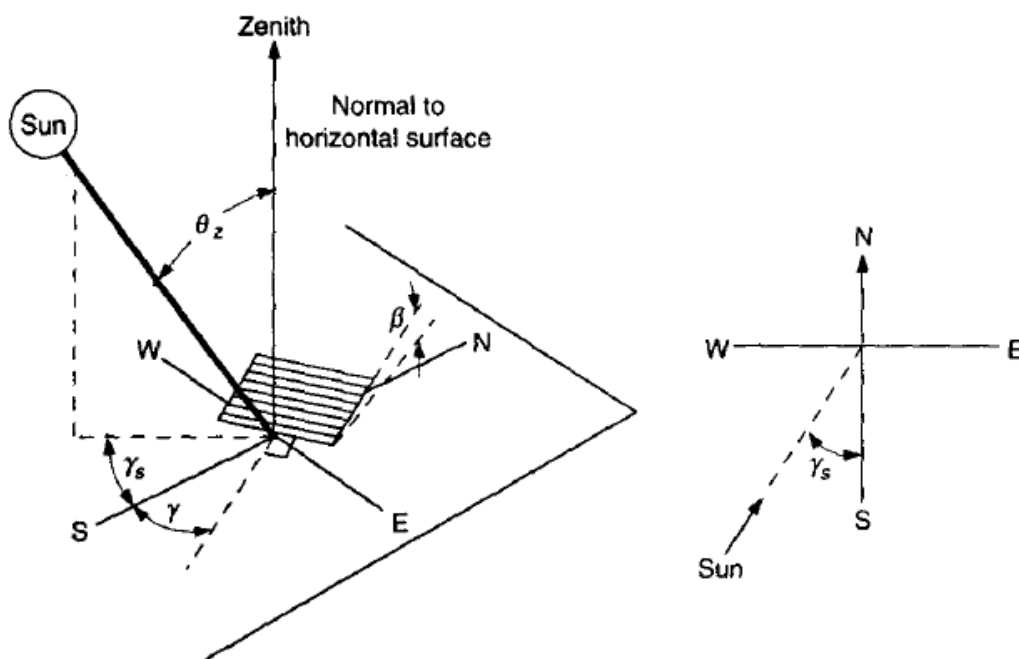
Month	<i>n</i> for <i>i</i> th Day of Month	For the Average Day of the Month		
		Date	<i>n</i> , Day of Year	δ , Declination
January	<i>i</i>	17	17	-20.9
February	31 + <i>i</i>	16	47	-13.0
March	59 + <i>i</i>	16	75	-2.4
April	90 + <i>i</i>	15	105	9.4
May	120 + <i>i</i>	15	135	18.8
June	151 + <i>i</i>	11	162	23.1
July	181 + <i>i</i>	17	198	21.2
August	212 + <i>i</i>	16	228	13.5
September	243 + <i>i</i>	15	258	2.2
October	273 + <i>i</i>	15	288	-9.6
November	304 + <i>i</i>	14	318	-18.9
December	334 + <i>i</i>	10	344	-23.0

^a From Klein (1977)

- Η γωνία ζενίθ θ_z είναι η γωνία που σχηματίζεται από την κατακόρυφο και την ευθεία όρασης του ηλίου.
- Κλίση επιπέδου β είναι η γωνία που σχηματίζει μια επίπεδος επίπεδος επιφάνεια με το οριζόντιο επίπεδο και είναι πάντα $0 \leq \beta \leq 180^\circ$. Για το οριζόντιο επίπεδο είναι $\beta=0^\circ$ και για το κατακόρυφο $\beta=180^\circ$.

- Αζιμούθιο επιφάνειας γ είναι η γωνία που σχηματίζεται από την προβολή της καθέτου στην επιφάνεια πάνω στο οριζόντιο επίπεδο και τη νότια κατεύθυνση. Είναι $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$ με $\gamma=0^\circ$ στο νότο, $\gamma=90^\circ$ στη δύση, $\gamma=180^\circ$ στο βορρά και $\gamma=-90^\circ$ στην ανατολή.
- Αζιμούθιο ηλίου γ_s είναι η γωνία μεταξύ της προβολής της ευθείας όρασης του ηλίου στο οριζόντιο επίπεδο και της νότιας κατεύθυνσης.

Οι παραπάνω γωνίες φαίνονται αναλυτικά στο σχήμα 5.4 που ακολουθεί.



Σχήμα 5.4 Γωνίες θ_z , β , γ , γ_s [8]

- Ωριαία γωνία ω είναι η γωνιακή μετατόπιση του ηλίου ανατολικά ή δυτικά του τοπικού μεσημβρινού λόγω της περιστροφής της γης περί τον άξονά της. Η ωριαία γωνία δίνεται από τη σχέση:

$$\omega = 0,25 * (\text{min από ηλιακό μεσημέρι}) \quad (5.3)$$

Λαμβάνεται $\omega > 0$ για μ.μ. και $\omega < 0$ για π.μ.

- Γωνία πρόσπτωσης θ της άμεσου ακτινοβολίας πάνω σε μια επιφάνεια, ονομάζεται η γωνία μεταξύ των προσπιπτουσών ηλιακών

ακτινών και της καθέτου στην επιφάνεια. Η θ υπολογίζεται από τη σχέση (5.4):

$$\cos\theta = \sin\delta \sin\varphi \cos\beta - \sin\delta \cos\varphi \sin\beta \cos\gamma + \cos\delta \cos\varphi \cos\beta \cos\omega + \cos\delta \sin\varphi \sin\beta \cos\gamma \cos\omega + \cos\delta \sin\beta \sin\gamma \sin\omega$$

όπου φ είναι το γεωγραφικό πλάτος του τόπου (για την Αθήνα είναι $\varphi=37,97^\circ$).

- Για κατακόρυφες επιφάνειες όπου $\beta=90^\circ$ από τη σχέση (5.5):

$$\cos\theta = -\sin\delta \cos\varphi \cos\gamma + \cos\delta \sin\varphi \cos\gamma \cos\omega + \cos\delta \sin\gamma \sin\omega$$

- Για οριζόντιες επιφάνειες όπου $\beta=0$ ισχύει $\theta=\theta_z$ και η σχέση θα γίνεται:

$$\cos\theta_z = \sin\delta \sin\varphi + \cos\delta \cos\varphi \cos\omega \quad (5.6)$$

- Τέλος, για κεκλιμένες επιφάνειες που βρίσκονται στο βόρειο ημισφαίριο και είναι στραμμένες προς το νότο ($\gamma=0$) θα ισχύει:

$$\cos\theta = \sin\delta \sin(\varphi - \beta) + \cos\delta \cos(\varphi - \beta) \cos\omega \quad (5.7)$$

Για κεκλιμένες επιφάνειες που βρίσκονται στο νότιο ημισφαίριο και είναι στραμμένες προς το βορρά ($\gamma=180^\circ$) θα ισχύει η παραπάνω σχέση με $\varphi+\beta$ αντί για $\varphi-\beta$.

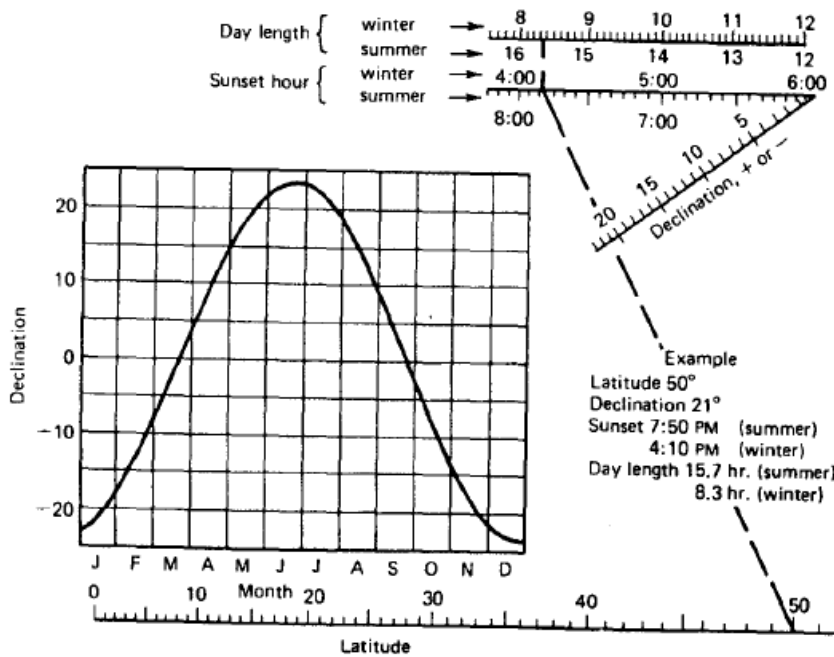
- Η ωριαία γωνία δύσης του ηλίου ω_s δίνεται από τη σχέση:

$$\cos\omega_s = -\frac{\sin\varphi \sin\delta}{\cos\varphi \cos\delta} = -\tan\varphi \tan\delta \quad (5.8)$$

- Τέλος, με τη χρήση των παραπάνω σχέσεων υπολογίζεται η διάρκεια της μέρας N σε ώρες:

$$N = \frac{2}{15} \arccos(-\tan\varphi \tan\delta) \quad (5.9)$$

Με δεδομένα το γεωγραφικό πλάτος φ και την ηλιακή απόκλιση δ , μπορεί να υπολογισθεί η διάρκεια της μέρας και ο χρόνος δύσης του ηλίου από το σχήμα 5.5.



Σχήμα 5.5 Νομογράφημα εύρεσης διάρκειας ημέρας [1]

5.3 Ηλιακή ακτινοβολία οριζόντιας επιφάνειας εκτός ατμοσφαιράς

- Η ακτινοβολία οριζόντιας επιφάνειας εκτός ατμοσφαιράς G_o συνδέεται με την κάθετο ακτινοβολία εκτός ατμοσφαιράς G_{on} με τη σχέση:

$$G_o = G_{on} \cos\theta_z \quad (5.10)$$

και με τη χρήση των παραπάνω σχέσεων γίνεται:

$$G_o = G_{sc} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365} \right) (\sin\delta \sin\varphi + \cos\delta \cos\varphi \cos\omega) \quad (5.11)$$

- Η ενέργεια που δέχεται η οριζόντια επιφάνεια εκτός ατμοσφαιράς κατά τη διάρκεια 1 ώρας I_o (J/m^2) δίνεται από τη σχέση (5.12):

$$I_o = \frac{12 * 3600}{\pi} G_{sc} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365} \right) * \left[\cos\varphi \cos\delta (\sin\omega_2 - \sin\omega_1) + \frac{2\pi(\omega_2 - \omega_1)}{360} \sin\varphi \sin\delta \right]$$

όπου ω_1, ω_2 είναι οι ωριαίες γωνίες που καθορίζουν τη χρονική περίοδο 1 ώρας ($\omega_1 < \omega_2$).

- Θέτοντας σαν όρια τις ωριαίες γωνίες ανατολής και δύσης, δηλαδή $\omega_1 = -\omega_s$ και $\omega_2 = \omega_s$ προκύπτει η ημερήσια ενέργεια οριζόντιας επιφάνειας εκτός ατμοσφαιράς H_o (J/m²) (σχέση **5.13**):

$$H_o = \frac{24 * 3600}{\pi} G_{sc} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365} \right) * \left[\cos\phi \cos\delta \sin\omega_s + \frac{2\pi\omega_s}{360} \sin\phi \sin\delta \right]$$

5.4 Υπολογισμός της μέσης ημερήσιας ακτινοβολίας

Για την εκτίμηση της μηνιαίας μέσης ακτινοβολίας ημέρας οριζοντίου επιπέδου \bar{H} ο πλέον σίγουρος τρόπος είναι με τη διεξαγωγή μετρήσεων στον τόπο που μας ενδιαφέρει. Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν μετρήσεις, για τον υπολογισμό προτιμάται ο ακόλουθος τύπος:

$$\frac{\bar{H}}{\bar{H}_o} = a + b \frac{\bar{n}}{\bar{N}} \quad (5.14)$$

όπου

\bar{H}_o : μηνιαία μέση ακτινοβολία ημέρας οριζοντίου επιπέδου εκτός ατμοσφαιράς (υπολογίζεται εάν στη σχέση της ημερήσιας ενέργειας H_o βάλουμε τα n και δ της μέσης ημέρας του μήνα)

\bar{n} : μηνιαίο μέσο πλήθος ωρών ημέρας πλήρους ηλιοφάνειας

\bar{N} : πλήθος ωρών της μέσης ημέρας του μήνα

a, b : σταθερές που εξαρτώνται από τον τόπο και τον τύπο του κλίματος.

5.5 Δείκτης αιθριότητας

Ο δείκτης αιθριότητας καθορίζει τη διαύγεια της ατμόσφαιρας και διακρίνεται σε ωριαίο, ημερήσιο και μηνιαίο:

- Ωριαίος δείκτης αιθριότητας

$$k_T = \frac{I}{I_o} \quad (5.15)$$

όπου I : ωριαία ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου

➤ Ημερήσιος δείκτης αιθριότητας

$$K_T = \frac{H}{H_0} \quad (5.16)$$

όπου H : ημερήσια ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου

➤ Μηνιαίος μέσος δείκτης αιθριότητας

$$\bar{K}_T = \frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} \quad (5.17)$$

5.6 Ανάλυση ακτινοβολίας σε άμεση και διάχυτη

➤ Ωριαία ακτινοβολία

Η ωριαία ολική ακτινοβολία δίνεται ως το άθροισμα της άμεσης I_b και της διάχυτης I_d ωριαίας ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου. Οι σχέσεις συσχετισμού της διάχυτης με την ολική ωριαία ακτινοβολία σύμφωνα με τους Stauter and Klein (1979) δίνονται από τους ακόλουθους τύπους:

- Για $0 \leq \frac{I}{I_c} \leq 0.48$

$$\frac{I_d}{I} = 1 - 0.1 \left(\frac{I}{I_c} \right) \quad (5.18)$$

- Για $0.48 \leq \frac{I}{I_c} \leq 1.10$

$$\frac{I_d}{I} = 1.11 + 0.0396 \left(\frac{I}{I_c} \right) - 0.789 \left(\frac{I}{I_c} \right)^2 \quad (5.19)$$

- Για $1.10 \leq \frac{I}{I_c}$

$$\frac{I_d}{I} = 0.20 \quad (5.20)$$

όπου I_c η ωριαία ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου τυπικής διαυγούς ατμόσφαιρας.

Με την εύρεση της διάχυτης ακτινοβολίας I_d υπολογίζεται και η άμεση από τη σχέση $I_b = I - I_d$.

➤ Ημερήσια ακτινοβολία

Η ημερήσια ολική ακτινοβολία δίνεται ως το άθροισμα της άμεσης H_b και της διάχυτης H_d ωριαίας ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου. Οι σχέσεις συσχετισμού της διάχυτης με την ολική ημερήσια ακτινοβολία σύμφωνα με τους Collares-Pereira and Rabl (1979) είναι:

- Για $K_T \leq 0.17$

$$\frac{H_d}{H} = 0.99 \quad (5.21)$$

- Για $0.17 < K_T \leq 0.75$ (σχέση 5.22)

$$\frac{H_d}{H} = 1.188 - 2.272K_T + 9.473K_T^2 - 21.865K_T^3 + 14.648K_T^4$$

- Για $0.75 < K_T < 0.80$

$$\frac{H_d}{H} = 0.54K_T + 0.632 \quad (5.23)$$

- Για $K_T \geq 0.8$

$$\frac{H_d}{H} = 0.2 \quad (5.24)$$

όπου K_T ο ημερήσιος δείκτης αιθριότητας.

➤ Μηνιαία μέση ημερήσια ακτινοβολία

Η μηνιαία μέση ολική ακτινοβολία \bar{H} δίνεται ως το άθροισμα της άμεσης \bar{H}_b και της διάχυτης \bar{H}_d μηνιαίας μέσης ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου. Η σχέση συσχετισμού της διάχυτης με την ολική μηνιαία μέση

ακτινοβολία σύμφωνα με τους Collares-Pereira and Rabl είναι (σχέση 5.25):

$$\bullet \quad \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 0.775 + 0.00653(\omega_s - 90) - [0.505 + 0.00455(\omega_s - 90)]\cos(115\bar{K}_T - 103)$$

όπου ω_s η ωριαία γωνία δύσης ηλίου και \bar{K}_T ο μηνιαίος μέσος δείκτης αιθριότητας.

5.7 Προσπίπτουσα ακτινοβολία κεκλιμένης επιφάνειας

➤ Αρχικά, για τον υπολογισμό ορίζονται οι λόγοι ολικής R , άμεσης R_b και διάχυτης R_d ακτινοβολίας:

$$R = \frac{I_T}{I} \quad (5.26)$$

$$R_b = \frac{I_{bT}}{I_b} \quad (5.27)$$

$$R_d = \frac{I_{dT}}{I_d} \quad (5.28)$$

όπου I_T, I_{bT}, I_{dT} : ωριαία ολική, άμεση και διάχυτη ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου

- Για κεκλιμένες επιφάνειες που βρίσκονται στο βόρειο ημισφαίριο και είναι στραμμένες προς τον νότο ($\gamma=0^\circ$), ο λόγος R_b της άμεσης ακτινοβολίας γίνεται:

$$R_b = \frac{\sin\delta \cdot \sin(\varphi - \beta) + \cos\delta \cdot \cos(\varphi - \beta) \cdot \cos\omega}{\sin\delta \cdot \sin\varphi + \cos\delta \cdot \cos\varphi \cdot \cos\omega} \quad (5.29)$$

Από τις παραπάνω σχέσεις προκύπτει:

$$R = \frac{I_b}{I} R_b + \frac{I_d}{I} R_d \quad (5.30)$$

➤ Η ολική ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$I_T = I_b R_b + I_d \left(\frac{1 + \cos\beta}{2} \right) + (I_d + I_b) \rho \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right) \quad (5.31)$$

ρ : η ανακλαστικότητα του εδάφους (0,2 για συνηθισμένο έδαφος).

Πίνακας 5.2 Τιμές ανακλαστικότητας εδάφους [17]

Είδος επιφάνειας	Συντελεστής ανάκλασης
Φρέσκο χιόνι	0.87
Ξηρή άμμος	0.18
Υγρή άμμος	0.09
Δάσος κωνοφόρων	0.05
Τσιμέντο νέο	0.33
Τσιμέντο παλιό	0.23

5.8 Τιμές ηλιακής ακτινοβολίας στην Αθήνα

Το αστεροσκοπείο Αθηνών μετρά και καταγράφει τη στιγμιαία τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου G , για κάθε ώρα της ημέρας και κάθε ημέρα του έτους. Με στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων των ετών 1961 έως 1980 προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα:

5.8.1 Μέση στιγμιαία ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου

Η μέση στιγμιαία ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου G , προσεγγίζεται για κάθε ώρα $t = 8,9...17$ της ημέρας και κάθε ημέρα, $D = 1 \div 365$, του τυπικού έτους σε KW / m^2 από τον τύπο:

$$G = \alpha_t + b_t \sin\left(\frac{360}{365} D - f_t\right) \quad (5.32)$$

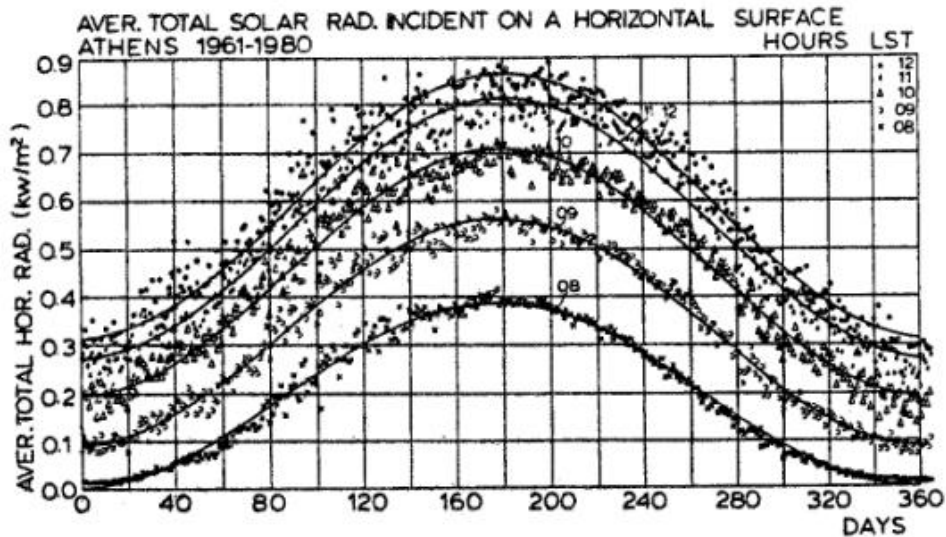
όπου:

$$\alpha_t = 2.556658 - 1.260976t + 0.202873t^2 - 0.012257t^3 + 0.000274t^4 \quad (5.33)$$

$$b_t = -0.349143 + 0.101153t - 0.004075t^2 \quad (5.34)$$

$$f_t = 48.039515 + 7.360165t - 0.401357t^2 + 0.005558t^3 \quad (5.35)$$

Οι επεξεργασμένες τιμές του τυπικού έτους και η συσχέτιση που τις προσεγγίζει δίνεται στο σχήμα 5.6:



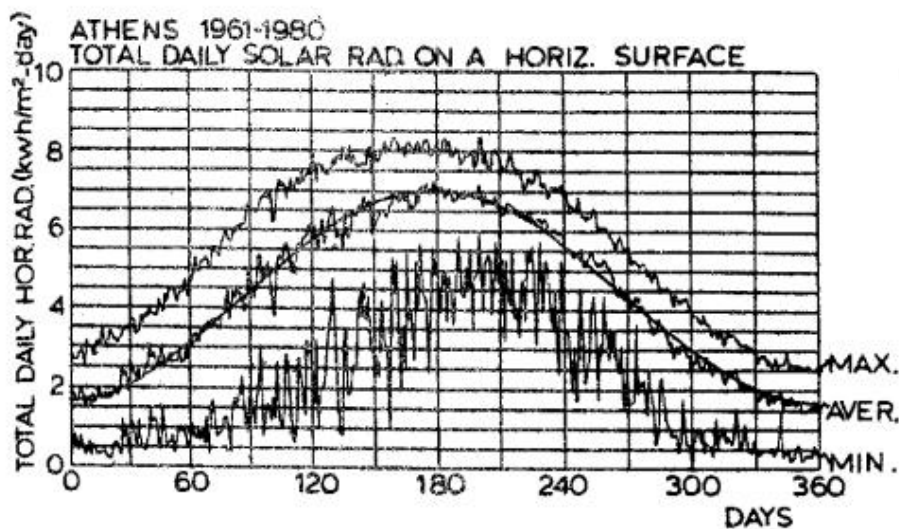
Σχήμα 5.6 Μέση στιγμιαία ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου [1]

5.8.2 Μέση ημερήσια ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου

Η μέση ημερήσια ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου H , για κάθε ημέρα $D = 1 \div 365$, του τυπικού έτους προσεγγίζεται σε KWh/m^2 από τη σχέση:

$$H = 4.348 + 2.676 \sin\left(\frac{360}{365}D - 86.410\right) \quad (5.36)$$

Η παραπάνω συσχέτιση δίνεται και σε μορφή διαγράμματος (σχήμα 5.7), στο οποίο δίνονται επίσης και η μέγιστη και η ελάχιστη ημερήσια ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου για κάθε μέρα του τυπικού έτους.



Σχήμα 5.7 Μέση ημερήσια ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου [1]

5.8.3 Μέση στιγμιαία άμεση και διάχυτη ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου

Η μέση στιγμιαία άμεση και διάχυτη ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου, G_b και G_d αντίστοιχα προέκυψαν με λογιστική ανάλυση των μετρήσεων της ολικής ακτινοβολίας και προσεγγίζονται σε KW /m^2 για κάθε ώρα $t = 7,8,...18$ της ημέρας και κάθε ημέρα $D = 1 \div 365$ του έτους από τις παρακάτω συσχετίσεις:

$$G_b = M_t + A_t \sin\left(\frac{360}{365} D - P_t\right) \quad (5.37)$$

$$G_d = m_t + a_t \sin\left(\frac{360}{365} D - p_t\right) \quad (5.38)$$

όπου οι συντελεστές $M_t, A_t, P_t, m_t, a_t, p_t$ δίνονται για κάθε ώρα t στον παρακάτω πίνακα 5.3:

Πίνακας 5.3 Τιμές των συντελεστών των εξισώσεων (5.37), (5.38) [1]

Time	M_t	A_t	P_t	m_t	a_t	p_t
7.00	0,007	0,046	86,18	0,048	0,111	81,23
8.00	0,057	0,068	87,31	0,134	0,127	82,45
9.00	0,119	0,104	87,94	0,208	0,133	83,94
10.00	0,191	0,129	88,31	0,261	0,129	85,6
11.00	0,258	0,153	89,35	0,283	0,117	86,05
12.00	0,319	-0,181	-88,88	0,271	0,095	82,71
13.00	0,342	-0,194	-89,18	0,243	0,081	81,95
14.00	0,325	0,183	87,21	0,21	0,083	87,23
15.00	0,269	0,166	86,22	0,176	0,087	89,53
16.00	0,183	0,147	82,1	0,141	-0,085	-88,19
17.00	0,078	0,131	79,85	0,104	-0,079	-88,97
18.00	-0,025	0,114	77,36	0,051	0,091	86,79

5.8.3 Μέση ημερήσια ολική ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου

Η μέση ημερήσια ολική ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου προσεγγίζεται σε KWh/m^2 για κάθε μέρα $D = 1 \div 365$ του τυπικού έτους από τη σχέση (5.39):

$$H_T = c_0 + c_1 \cos\left(\frac{360}{365}D\right) + c_2 \cos\left(2\frac{360}{365}D\right) + c_3 \sin\left(\frac{360}{365}D\right) + c_4 \sin\left(2\frac{360}{365}D\right)$$

όπου οι συντελεστές c_0, c_1, c_2, c_3, c_4 , δίνονται στον πίνακα 5.4 για αζιμούθιο του κεκλιμένου επιπέδου $\gamma = 0^\circ$ και κλίσεις ως προς το οριζόντιο επίπεδο $\beta = 0^\circ, \beta = 15^\circ, \beta = 30^\circ, \beta = 45^\circ, \beta = 60^\circ, \beta = 75^\circ, \beta = 90^\circ$.

Πίνακας 5.4 Τιμές των συντελεστών της εξίσωσης (5.39) για $\gamma=0^\circ$ [1]

β°	c_0	c_1	c_2	c_3	c_4
0	4,348	-2,667	-0,027	0,23	0,105
15	4,842	-2,493	-0,14	0,133	0,129
30	5,126	-2,203	-0,254	0,045	0,158
45	5,119	-1,774	-0,348	-0,038	0,185
60	4,817	-1,251	-0,411	-0,115	0,178
75	4,282	-0,727	-0,454	-0,183	0,186
90	3,627	-0,264	-0,444	-0,218	0,166

6. ΜΕΡΗ ΗΛΙΑΚΟΥ ΞΗΡΑΝΤΗΡΑ

6.1 Εισαγωγή

Τα κύρια μέρη του ηλιακού ξηραντήρα είναι τα εξής [9]:

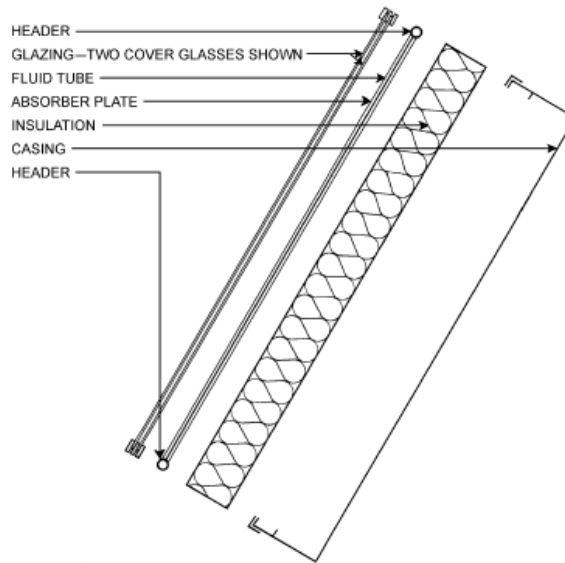
1. Ο ηλιακός συλλέκτης
2. Ο θάλαμος ξήρανσης, στον οποίο τοποθετείται το προς ξήρανση προϊόν
3. Μέσα για τη διατήρηση της συνεχούς ροής του αέρα στο θάλαμο ξήρανσης (π.χ. ανεμιστήρες)
4. Δεξαμενή αποθήκευσης θερμότητας (προαιρετικό)
5. Σύστημα αυτόματου ελέγχου (προαιρετικό)
6. Βοηθητική πηγή ενέργειας (προαιρετική)

Στη συνέχεια θα γίνει αναλυτικότερη περιγραφή των κυριότερων τμημάτων του ξηραντήρα.

6.2 Ηλιακός συλλέκτης

Ο ηλιακός συλλέκτης αποτελεί την κυριότερη πηγή ενέργειας ενός ηλιακού ξηραντήρα, έχοντας ιδιαίτερος σημαντικό ρόλο στη μετατροπή και τη μεταφορά της ενέργειας [1, 51].

Μετατρέπει την άμεση και τη διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία που λαμβάνει από τον ήλιο σε θερμότητα. Αυτή η μετατροπή ενέργειας πραγματοποιείται στην πλάκα απορρόφησης του συλλέκτη (absorber plate) που φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα 6.1.



Σχήμα 6.1 Πλάκα επίπεδου ηλιακού συλλέκτη [51]

Ο ρόλος του συλλέκτη ως μεταφορέα ενέργειας είναι ότι μεταφέρει την ηλιακή ακτινοβολία που απορροφάται και έχει μετατραπεί σε θερμότητα στο εργαζόμενο μέσο του συλλέκτη. Το εργαζόμενο μέσο ανάλογα με τον τύπο του ηλιακού ξηραντήρα μπορεί να είναι είτε ο αέρας είτε κάποιο κατάλληλα επιλεγμένο υγρό (απεσταγμένο νερό ή κάποιο υγρό με χαμηλό σημείο ψύξης εάν έχουμε χειμερινή λειτουργία κλπ.).

Η πλειονότητα των ηλιακών ξηραντήρων υψηλής απόδοσης χρησιμοποιεί επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες κυρίως για οικονομικούς λόγους, καθώς οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες θεωρούνται πολύ ακριβοί και χρησιμοποιούνται μόνο για προϊόντα που απαιτούν πολύ υψηλές θερμοκρασίες ξήρανσης [9].

6.2.1 Χαρακτηριστικά επίπεδου ηλιακού συλλέκτη

Ο επίπεδος ηλιακός συλλέκτης από είναι ο πλέον συνηθισμένος τύπος συλλέκτη σήμερα και χρησιμοποιείται σε εφαρμογές που απαιτούν απόδοση ενέργειας σε θερμοκρασίες έως 100° C [53].

Τα κύρια μέρη αυτού του τύπου συλλέκτη είναι τα εξής [1]:

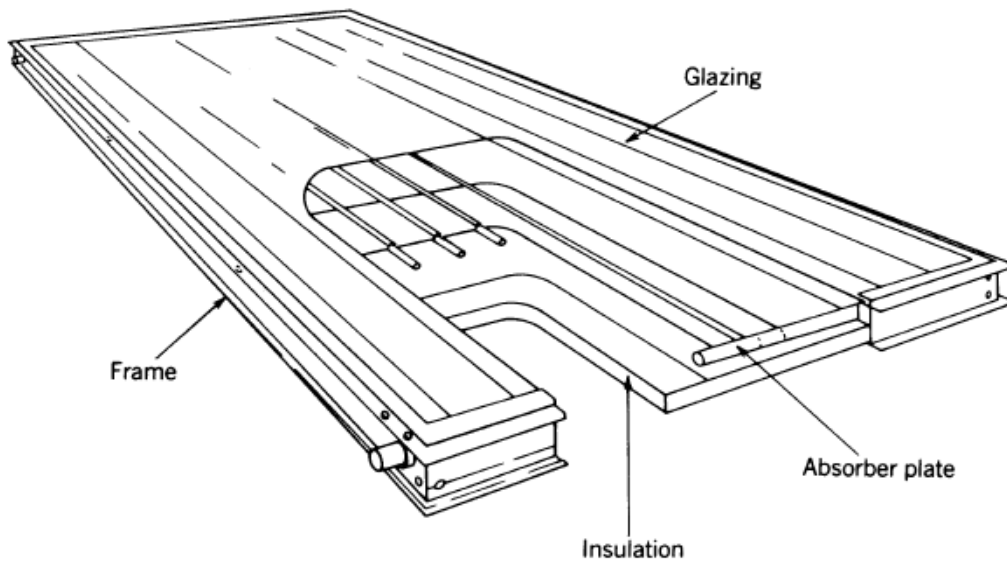
- 1) Η πλάκα απορρόφησης ή απορροφητήρας (absorber plate) ο οποίος πρόκειται για μια μαύρη επίπεδη επιφάνεια που απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία. Σε συλλέκτες υγρού είναι εφοδιασμένος με σωλήνες ενώ σε συλλέκτες αέρος με αεραγωγούς.

- 2) Ένα ή περισσότερα διάφανα καλύμματα (glazings) που βρίσκονται τοποθετημένα πάνω από τον απορροφητήρα προκειμένου να μειώνονται οι θερμικές απώλειες δια συναγωγής και ακτινοβολίας προς το περιβάλλον. Ο αριθμός των καλυμμάτων καθώς και το υλικό κατασκευής τους (χρώμα και υφή), σε συνδυασμό με τη γωνία πρόσπτωσης θ του συλλέκτη καθορίζουν το ποσοστό απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας, όπως φαίνεται στον πίνακα 6.1.

Πίνακας 6.1 Βαθμός απορρόφησης ηλιακής ακτινοβολίας για διάφορες γωνίες πρόσπτωσης και αριθμό καλυμμάτων [51]

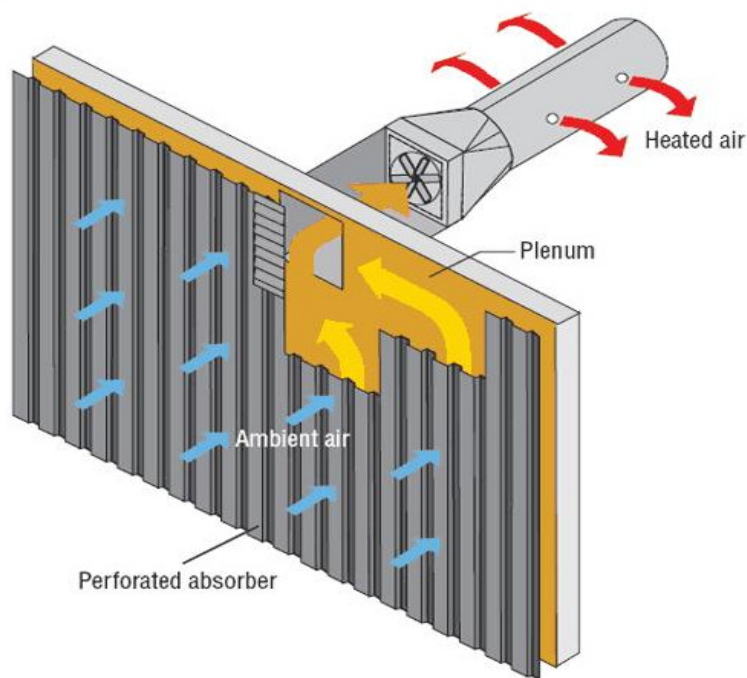
Incident Angle, Deg	Transmittance		Absorptance for Flat Black Paint
	Single Glazing	Double Glazing	
0	0.87	0.77	0.96
10	0.87	0.77	0.96
20	0.87	0.77	0.96
30	0.87	0.76	0.95
40	0.86	0.75	0.94
50	0.84	0.73	0.92
60	0.79	0.67	0.88
70	0.68	0.53	0.82
80	0.42	0.25	0.67
90	0.00	0.00	0.00

- 3) Μόνωση (insulation) των πίσω και παράπλευρων επιφανειών του συλλέκτη ώστε να μειώνονται οι θερμικές απώλειες.
 4) Πλαίσιο (frame) που περιβάλλει τον συλλέκτη.



Σχήμα 6.2 Μέρη του επίπεδου ηλιακού συλλέκτη [10]

6.2.2 Διάτρητος επίπεδος ηλιακός συλλέκτης



Σχήμα 6.3 Λειτουργία διάτρητου επίπεδου ηλιακού συλλέκτη Solarwall® [73]

Σε αυτόν τον τύπο συλλέκτη (unglazed perforated plate collector) [74] υπάρχουν ειδικά διάτρητα πάνελς τα οποία εγκαθίστανται σε απόσταση

αρκετών ιντσών από ένα νότιο τοίχο δημιουργώντας έτσι κενό αέρα. Η μεταλλική επένδυση θερμαίνεται από την ακτινοβολία και με τη βοήθεια ανεμιστήρων εξαερισμού ο ηλιακά θερμαινόμενος αέρας εξέρχεται από τον συλλέκτη. Ο τύπος αυτός έχει υψηλό βαθμό απόδοσης και χρησιμοποιείται σε μεγάλα κυρίως ξηραντήρια αλλά έχει αρκετά μεγάλο κόστος εγκατάστασης.



Σχήμα 6.4 Φωτογραφία του διάτρητου πάνελ [74]

6.2.3 Σύγκριση επίπεδου ηλιακού συλλέκτη νερού-αέρα

Ο επίπεδος ηλιακός συλλέκτης μπορεί να λειτουργεί είτε με τη χρήση κάποιου υγρού (συνήθως νερό) είτε με τη χρήση αέρα όπως ειπώθηκε και παραπάνω.

➤ Επίπεδος συλλέκτης νερού [9]

Εξ αιτίας της ευρείας εφαρμογής των ηλιακών συστημάτων ζεστού νερού χρήσης, οι συλλέκτες νερού χρησιμοποιούνται ευρέως σήμερα με κυριότερο τύπο τον συλλέκτη επιφάνειας 1-2 m². Το πλεονέκτημα αυτού του τύπου συλλέκτη είναι η γρήγορη και απλή αντικατάσταση των μερών του σε περίπτωση ζημιάς, καθώς και ένας εγγυημένος θερμικός βαθμός απόδοσης. Ένα σημαντικό μειονέκτημα είναι το συνήθως υψηλό κόστος επένδυσης και ο μεγάλος χρόνος αποπληρωμής. Εκτός αυτού, στο συλλέκτη νερού υπάρχει ο κίνδυνος διαρροής και παγώματος, κάτι όμως

που μπορεί να αποτραπεί με τη χρήση κόμβων που επιτρέπουν τη διαστολή, και με τη χρήση αντιπηκτικών υγρών.

Οι συλλέκτες νερού χρησιμοποιούνται στους ηλιακούς ξηραντήρες σε συνδυασμό με μια δεξαμενή αποθήκευσης θερμότητας. Η εφαρμογή τους σε εγκαταστάσεις υψηλής απόδοσης είναι διαδεδομένη επειδή δεν απαιτείται σύστημα συλλογής και διανομής αέρα, κάτι που είναι αρκετά ακριβό και χρησιμοποιείται στους συλλέκτες αέρα. Εκτός αυτού, ο συλλέκτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί τις περιόδους που δε γίνεται ξήρανση για άλλες χρήσεις π.χ. θέρμανσης νερού. Από την άλλη, στους συλλέκτες νερού απαιτείται εναλλάκτης θερμότητας νερού-αέρα.

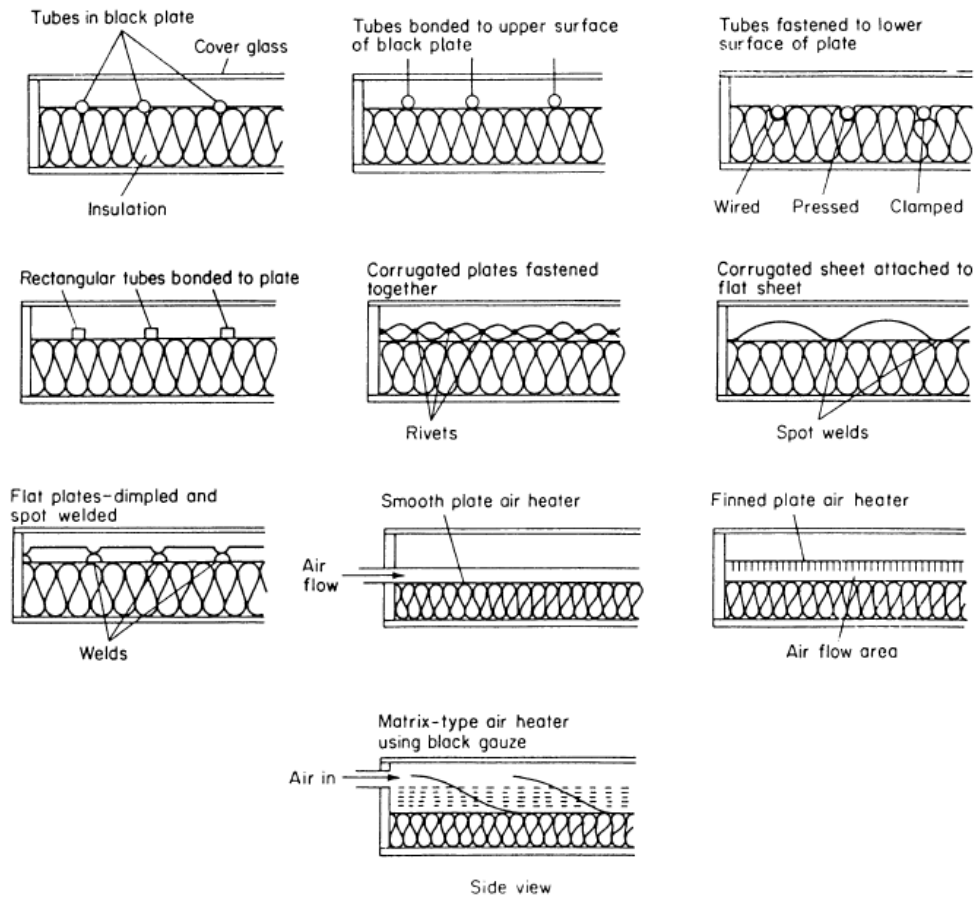
➤ Επίπεδος συλλέκτης αέρα [9, 33, 54, 55]

Ο επίπεδος συλλέκτης αέρα δεν είναι τόσο συνηθισμένος όσο ο συλλέκτης νερού, στην ηλιακή ξήρανση όμως έχει ευρεία εφαρμογή. Το κυριότερο πλεονέκτημά του είναι ότι λαμβάνει απευθείας τον αέρα από το περιβάλλον και δεν απαιτείται εναλλάκτης όπως στην περίπτωση του συλλέκτη νερού. Εκτός αυτών, οι συλλέκτες αέρα έχουν ως πλεονέκτημα ότι η περίπτωση διαρροής δεν προκαλεί σοβαρές επιπτώσεις. Παρόλα αυτά, μπορεί να υπάρξουν δυσκολίες στην ομοιόμορφη κατανομή του αέρα, γεγονός που μπορεί να αποφευχθεί εάν χρησιμοποιηθεί ένας ανεμιστήρας, κάτι όμως που αυξάνει το λειτουργικό κόστος. Στον ακόλουθο πίνακα εμφανίζεται η καταλληλότητα τριών τύπων ηλιακών συλλεκτών αέρα για τη διεργασία της ξήρανσης (crop drying).

Πίνακας 6.2 Καταλληλότητα συλλεκτών αέρα για ξήρανση [75]

Type of collector	Ventilation Air Heating	Space Heating	Crop Drying
<u>Un glazed perforated plate</u>	Very Good	Poor	Very Good
<u>Glazed flat-plate</u>	Good	Poor	Good
<u>Back Pass</u>	Fair	No	Fair-Good
<u>Trombe wall</u>	No	Good	No

Η τελική μορφή του συλλέκτη αποτελεί ένα τεχνοοικονομικό πρόβλημα που εξαρτάται από τις απαιτήσεις που έχει το ηλιακό ξηραντήριο.



Σχήμα 6.5 Είδη συλλεκτών νερού και αέρα [10]

6.2.4 Απόδοση επίπεδου ηλιακού συλλέκτη

Ο βαθμός απόδοσης ενός επίπεδου συλλέκτη αέρα για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα δίνεται από την παρακάτω σχέση [1, 8]:

$$\eta = \frac{\dot{m}C_p(T_o - T_i)}{A_c G_T} \quad (6.1)$$

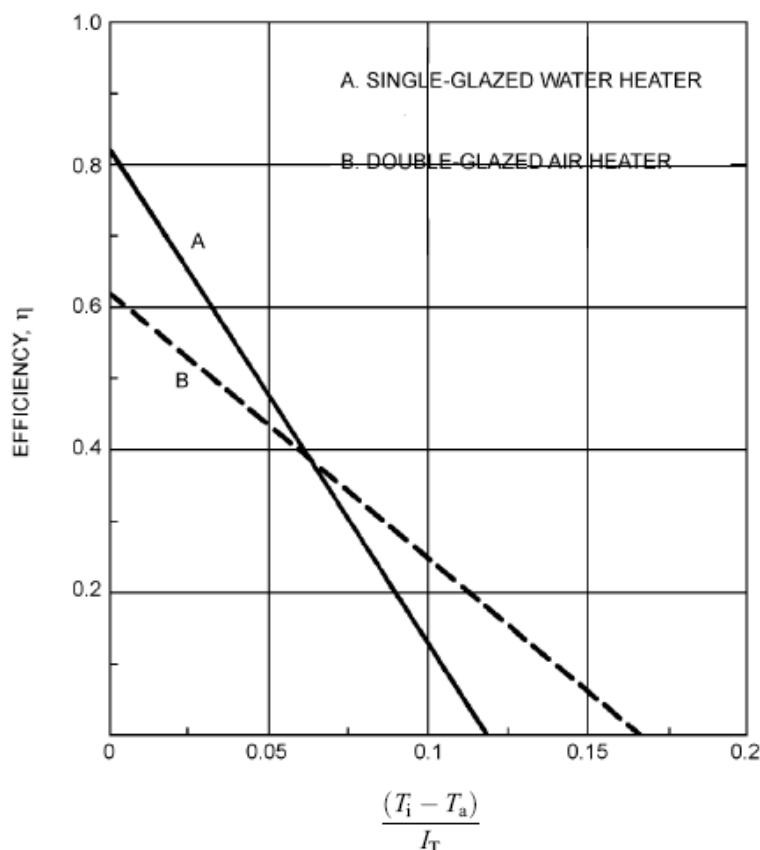
Ο σταθερός βαθμός απόδοσης του ηλιακού συλλέκτη περιγράφεται από την εξίσωση των Hottel-Whillier-Bliss:

$$\eta = \frac{Q_u}{A_c G_T} = F_R(\tau\alpha) - F_R U_L \frac{(T_i - T_a)}{G_T} \quad (6.2)$$

όπου

$$F_R = \frac{\dot{m}C_p}{A_c U_L} \left[1 - e^{-(A_c U_L F') / (\dot{m}C_p)} \right] \quad (6.3)$$

Από την εξίσωση (6.2) προκύπτει και η καμπύλη απόδοσης του συλλέκτη (σχήμα 6.6).



Σχήμα 6.6 Καμπύλη απόδοσης συλλέκτη (νερού:A, αέρα:B) [51]

6.2.5 Μέγεθος ηλιακού συλλέκτη στην ξήρανση [18]

Το μεγάλο εμβαδόν συλλεκτών παρέχει τη δυνατότητα δέσμευσης μεγάλου ποσού ηλιακής ενέργειας, επιτυγχάνοντας ταχύτερη ξήρανση. Αυτό όμως δεν ισχύει απεριόριστα, καθώς η δέσμευση και η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας εξαρτάται και επηρεάζεται από πολλούς ακόμη παράγοντες, όπως η διάρκεια και η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, ο σχεδιασμός των συλλεκτών (π.χ. προσανατολισμός, μόνωση, διπλά τζάμια, υλικό επικάλυψης της συλλεκτικής επιφάνειας) και ο σχεδιασμός του θαλάμου ξήρανσης (π.χ. μόνωση, κυκλοφορία αέρα, δυναμικότητα) σύμφωνα με τον Steinmann [22].

Πολλά, παραπλήσιας δυναμικότητας ηλιακά ξηραντήρια έχουν διαφορετικό μέγεθος ηλιακών συλλεκτών. Για το λόγο αυτό, από πολλούς ερευνητές χρησιμοποιείται ο λόγος [18]:

$$\text{Λόγος συλλεκτών} = \frac{\text{εμβαδόν συλλεκτών}}{\text{όγκος ξηραίνόμενου φορτίου}}$$

εκφραζόμενος σε m^2/m^3 , σαν ένα από τα κριτήρια αξιολόγησης της απόδοσης ενός ηλιακού ξηραντηρίου.

Από τη βιβλιογραφία προκύπτουν πολλοί διαφορετικοί λόγοι συλλεκτών, κυμαινόμενοι από 0,79 έως 18,6 m^2/m^3 . Οι μεγάλοι λόγοι συλλεκτών αναφέρονται κυρίως σε ξηραντήρια τύπου θερμοκηπίου, όπου ως συλλέκτες λαμβάνονται όλα τα διάφανα τοιχώματα των ξηραντηρίων. Το μειονέκτημα στις περιπτώσεις αυτές είναι ότι ο προσανατολισμός των συλλεκτών σε σχέση με την πορεία του ήλιου δεν είναι πάντα ο ιδανικός με αποτέλεσμα οι λόγοι συλλεκτών να μην είναι άμεσα συγκρίσιμοι.

Αύξηση του εμβαδού των συλλεκτών δε σημαίνει απαραίτητα και υψηλότερες θερμοκρασίες στο θάλαμο ξήρανσης, αυξάνεται όμως ο ρυθμός της ξήρανσης. Για παράδειγμα, οι Chen and Helmer [56] σε συνδυασμό ηλιακής ξήρανσης-αφύγρανσης διπλασίασαν τη συλλεκτική επιφάνεια στο ξηραντήριό τους και πρόσθεσαν και ένα σύστημα συσσώρευσης ενέργειας με αποτέλεσμα ο λόγος συλλεκτών από 9,4 m^2/m^3 να γίνει 18,6 m^2/m^3 . Ταυτόχρονα, μείωσαν την ταχύτητα του αέρα στους συλλέκτες για να επιτύχουν υψηλότερες θερμοκρασίες στην έξοδό τους. Με τις παραπάνω βελτιώσεις η προσ αύξηση της θερμοκρασίας στο θάλαμο ξήρανσης κυμάνθηκε από 3-6° C σε σχέση με τις αντίστοιχες θερμοκρασίες στο παλαιότερο σύστημα, ενώ μικρή ήταν και η μείωση του χρόνου ξήρανσης. Από τα παραπάνω είναι προφανές ότι η αύξηση του λόγου συλλεκτών είχε μικρή επίδραση στην αύξηση της θερμοκρασίας και την απόδοση του ξηραντηρίου.

Οι Wengert and Oliveira (1987) υπολόγισαν ότι σε είδη ευαίσθητα στην ξήρανση ένας ημερήσιος ρυθμός απώλειας υγρασίας 3,5% είναι ασφαλής προκειμένου να μην εμφανιστούν σφάλματα ξήρανσης. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με λόγο συλλεκτών 3,8 m^2/m^3 , ενώ για λιγότερο ευαίσθητα είδη μπορεί να χρησιμοποιηθεί και μεγαλύτερος λόγος συλλεκτών, προκειμένου να αυξηθεί ο ρυθμός ξήρανσης. Σημειώνουν επίσης ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν και μικρότεροι λόγοι συλλεκτών με μόνη συνέπεια το μεγαλύτερο χρόνο ξήρανσης.

Ο Steinmann [22] σε ηλιακό ξηραντήριο με εξωτερικούς συλλέκτες και λόγο συλλεκτών 9,8 m^2/m^3 καταλήγει στο συμπέρασμα ότι ο ρυθμός ξήρανσης δε μπορεί να αυξάνεται απεριόριστα με την αύξηση των συλλεκτών. Γι' αυτό, χρειάζεται έρευνα με διάφορους λόγους συλλεκτών προκειμένου να υπολογιστεί η άριστη αναλογία εμβαδού συλλεκτών-

δυναμικότητας. Αυτό δε μπορεί να επιτευχθεί σε διαδοχικούς κύκλους ξήρανσης όπου θα αυξάνεται σταδιακά το εμβαδόν των συλλεκτών καθώς οι καιρικές συνθήκες μεταβάλλονται ανομοιόμορφα. Κατέφυγε επομένως στην προσομοίωση της ξήρανσης με διάφορους λόγους συλλεκτών και κατέληξε στα παρακάτω συμπεράσματα:

1. Πολύ μικρός λόγος συλλεκτών (π.χ. $1,5 \text{ m}^2/\text{m}^3$) συνδυαζόμενος με επαρκή εξαερισμό μπορεί να δώσει ικανοποιητικό ρυθμό ξήρανσης και τελικό ποσοστό υγρασίας.
2. Για μια δεδομένη περίοδο ξήρανσης, χρησιμοποιώντας τις ίδιες καιρικές παραμέτρους, το τελικό ποσοστό υγρασίας στην ηλιακή ξήρανση μπορεί να μειωθεί κατά 1% περίπου αν ο λόγος συλλεκτών αυξηθεί από $2,42 \text{ m}^2/\text{m}^3$ σε $7,27 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Περαιτέρω αύξηση του λόγου συλλεκτών έχει μικρή επίδραση στο ρυθμό ξήρανσης.
3. Ο απαιτούμενος χρόνος για ξήρανση από 10% σε 12% ποσοστό υγρασίας μειώθηκε κατά 21% όταν ο λόγος συλλεκτών αυξήθηκε από $2,42 \text{ m}^2/\text{m}^3$ σε $7,27 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Μεγαλύτεροι λόγοι συλλεκτών δεν έδειξαν παραπάνω βελτίωση.
4. Μια σειρά κύκλων ξήρανσης με λόγους συλλεκτών κυμαινόμενους από $1 \text{ m}^2/\text{m}^3$ έως $7 \text{ m}^2/\text{m}^3$ θα χρειαζόταν προκειμένου να προσδιοριστεί μια ακριβέστερη σχέση μεταξύ ρυθμού ξήρανσης και λόγου συλλεκτών.

Στα ξηραντήρια με εξωτερικούς συλλέκτες η κατασκευή του συλλέκτη αποτελεί σημαντικό μέρος του όλου κόστους κατασκευής. Το μεγάλο εμβαδόν συλλεκτών ανεβάζει επομένως ιδιαίτερα το κατασκευαστικό κόστος. Αντίστοιχα, στα ξηραντήρια τύπου θερμοκηπίου ή ημίθερμοκηπίου η κατασκευή διάφανων τοιχωμάτων μεγάλου εμβαδού (που λειτουργούν την ημέρα σαν συλλέκτες) αυξάνει τις απώλειες θερμοκρασίας τη νύχτα.

6.2.6 Θερμοκρασία εξόδου ρευστού από το συλλέκτη [9]

Κατά την ξήρανση των τροφίμων, είναι σημαντικό να αφαιρεθεί η υγρασία όσο το δυνατόν γρηγορότερα σε μια θερμοκρασία που δεν έχει σοβαρές επιπτώσεις στη γεύση, τη σύσταση και το χρώμα των τροφίμων. Εάν η θερμοκρασία είναι πάρα πολύ χαμηλή στην αρχή, οι μικροοργανισμοί μπορούν να αυξηθούν προτού τα τρόφιμα να είναι επαρκώς ξηρά. Εάν η θερμοκρασία είναι πάρα πολύ υψηλή και η υγρασία πάρα πολύ χαμηλή, τα τρόφιμα μπορούν να σκληράνουν στην επιφάνειά τους. Αυτό καθιστά δυσκολότερη την απελευθέρωση υγρασίας να

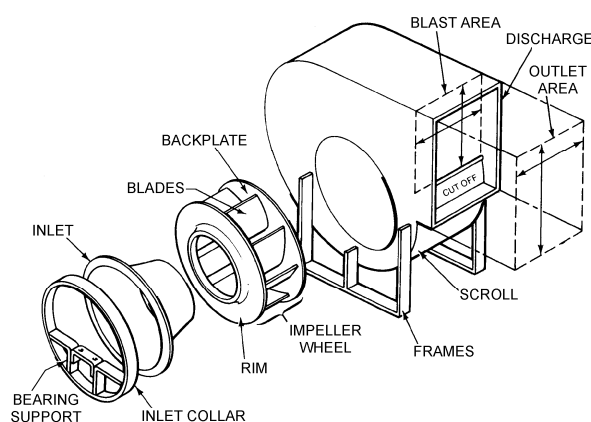
δραπετεύσει και τα τρόφιμα δεν ξηραίνονται κατάλληλα. Σε γενικές γραμμές οι θερμοκρασίες που προτιμώνται κυμαίνονται μεταξύ 50-70° C.

6.3 Χρήση ανεμιστήρα [18, 20, 76]

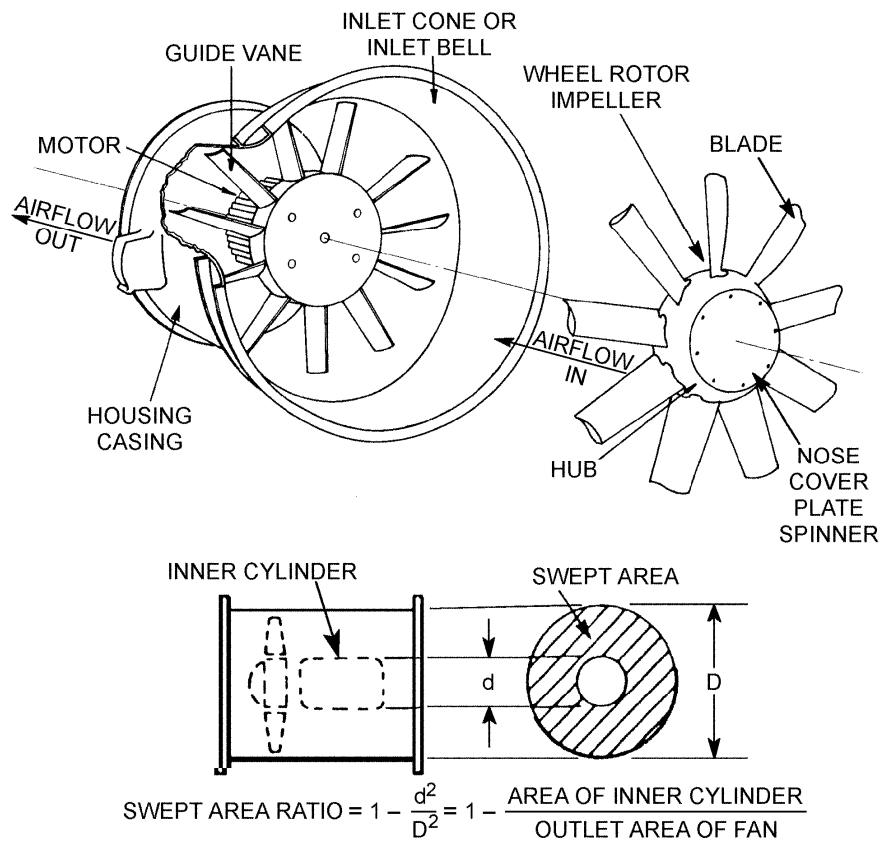
Στην κορυφή του χώρου ξήρανσης τοποθετούνται ένας ή περισσότεροι ανεμιστήρες, οι οποίοι εξασφαλίζουν την επιθυμητή παροχή του αέρα ξήρανσης. Η επιλογή και το μέγεθος του ανεμιστήρα στον θάλαμο ξήρανσης είναι πολύ σημαντικά. Η μεγαλύτερη αντίσταση στην κυκλοφορία του αέρα προέρχεται από το ίδιο το προϊόν προκαλώντας έτσι την πτώση της πίεσης του αέρα καθώς διέρχεται από τα στρώματα του προϊόντος, και είναι συνάρτηση του πάχους του προϊόντος και της ταχύτητας του αέρα.

Στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιείται είτε αξονικός (axial-flow) είτε φυγοκεντρικός (centrifugal) ανεμιστήρας, αναλόγως με την κατεύθυνση του αέρα διαμέσου της έλικας. Οι αξονικοί ανεμιστήρες είναι σχετικά φτηνοί αλλά είναι κατάλληλοι μόνο για λειτουργία σε πτώση πίεσης μικρότερη των 1500 Pa. Συγκρινόμενοι με τους αξονικούς, οι φυγοκεντρικοί ανεμιστήρες μπορούν να λειτουργήσουν σε μεγαλύτερες πτώσεις πίεσης και είναι σχεδόν αθόρυβοι αλλά είναι ακριβότεροι. Οι Brooker et al. (1974) παρέχουν αναλυτικές πληροφορίες για την επιλογή και τη λειτουργία των ανεμιστήρων.

Πρέπει να τονιστεί ιδιαίτερα ότι ειδικά για τις μεγάλες εγκαταστάσεις ξήρανσης τυχόν βλάβη στον ανεμιστήρα μπορεί να προκαλέσει σημαντικές απώλειες στη λειτουργία του ξηραντηρίου εάν δεν επιδιορθωθεί σε σύντομο χρονικό διάστημα (1-2 μέρες). Για την αποφυγή αυτού μπορεί να εγκατασταθεί και ένας επιπλέον ανεμιστήρας ο οποίος θα λειτουργεί συμπληρωματικά.



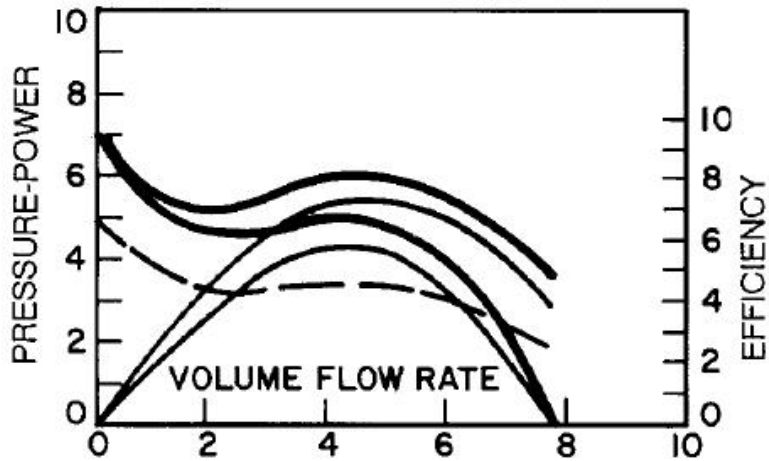
Σχήμα 6.7 Φυγοκεντρικός ανεμιστήρας [57]



Note: The swept area ratio in axial fans is equivalent to the blast area ratio in centrifugal fans.

Σχήμα 6.8 Αξονικός ανεμιστήρας [57]

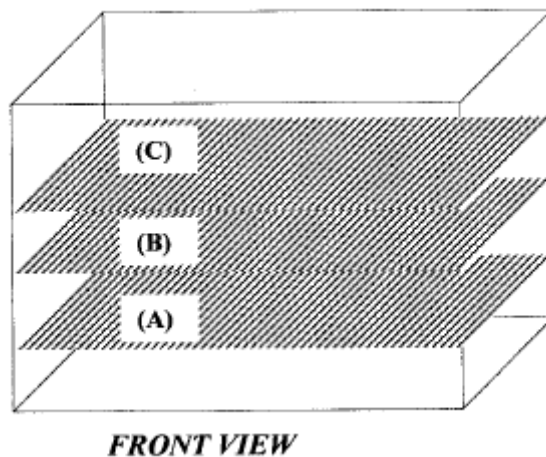
Η επιλογή των κατάλληλων ανεμιστήρων εξαρτάται από την επιθυμητή παροχή αέρα και τα χαρακτηριστικά του βρίσκονται από τις καμπύλες λειτουργίας όπως αυτή του σχήματος 3 που είναι τυπική για αξονικό ανεμιστήρα .



Σχήμα 6.9 Καμπύλη λειτουργίας αξονικού ανεμιστήρα [57]

6.4 Θάλαμος ξήρανσης

Ο θάλαμος ξήρανσης (ή κιβώτιο ξηραντηρίου) [4, 20, 58] αποτελείται από ένα στεγανό και θερμικά μονωμένο θάλαμο, με σύστημα υποδοχής του νωπού προϊόντος (τελάρα). Τα τελάρα συνήθως βρίσκονται τοποθετημένα σε στήλες, ο αριθμός και το μέγεθος των οποίων καθορίζει και την ικανότητα του ξηραντηρίου.



Σχήμα 6.10 Θάλαμος ξήρανσης με 3 τελάρα [59]

Ο θάλαμος ξήρανσης έχει ένα άνοιγμα στο κάτω μέρος του για την εισαγωγή του αέρα από τον ηλιακό συλλέκτη (ή την εισαγωγή φρέσκου αέρα) και ένα στο πάνω μέρος για την έξοδο του αφού έχει χρησιμοποιηθεί για την ξήρανση. Η κατασκευή του θαλάμου επιτρέπει την ανακύκλωση του αέρα στο εσωτερικό του.



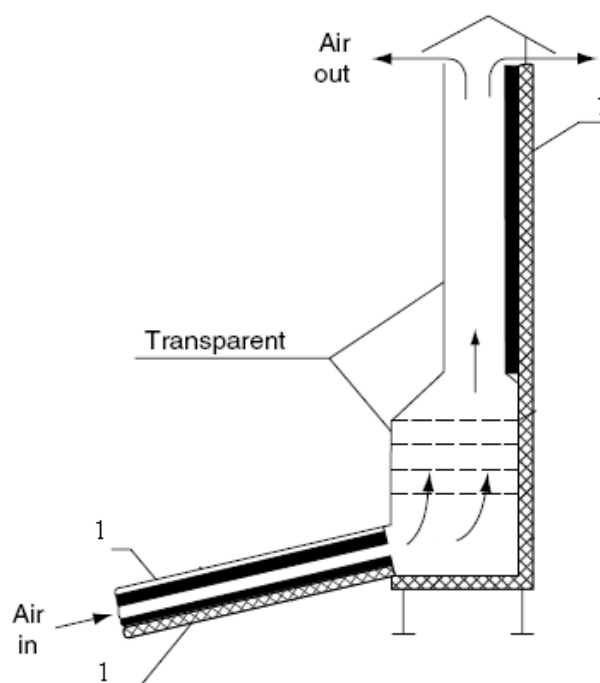
Σχήμα 6.11 Θάλαμος ξήρανσης [71]

6.4.1 Απόδοση του θαλάμου ξήρανσης

Η απόδοση του θαλάμου ξήρανσης επηρεάζεται σημαντικά από τις ακόλουθες παραμέτρους [18]:

- Γεωμετρία-σχεδιασμός θαλάμου (δυναμικότητα, σκεπή, είσοδος)
- Μόνωση θαλάμου
- Ανεμιστήρες θαλάμου (θέση, φορά, ταχύτητα αέρα, θέση κινητήρων)
- Εξαερισμός θαλάμου
- Ύγρανση θαλάμου
- Σύστημα συσσώρευσης ενέργειας.

6.5 Δεξαμενή αποθήκευσης θερμότητας

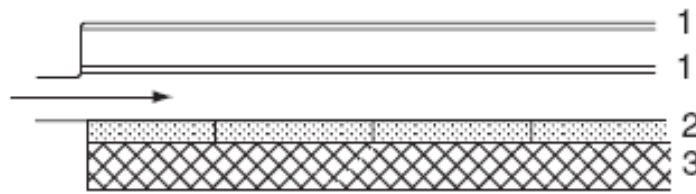


Σχήμα 6.12 Ηλ. ξηραντήρας με καπνοδόχο με δεξαμενή αποθήκευσης θερμότητας (1) [9]

Ο κύριος σκοπός της δεξαμενής αποθήκευσης θερμότητας είναι να αποθηκεύει την επιπλέον ενέργεια που υπάρχει τις περιόδους υψηλής ηλιοφάνειας. Με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η περίοδος της ξήρανσης καθώς η ενέργεια αυτή μπορεί να χρησιμοποιείται ακόμα και για τη λειτουργία του ξηραντηρίου κατά τη διάρκεια της νύχτας. Όταν υπολογίζεται η επιφάνεια του συλλέκτη, το ποσό της ενέργειας που θα αποθηκεύεται πρέπει να λαμβάνεται υπόψη [9].

- Αποθήκευση θερμότητας με απευθείας εκμετάλλευση της ηλ. ακτινοβολίας [9]

Ο τύπος αυτός χρησιμοποιείται τις περισσότερες φορές με στόχο την ενεργειακή κάλυψη τις περιόδους χαμηλής ηλιοφάνειας. Όπως φαίνεται στο σχήμα 6.13, υλικά που αποθηκεύουν θερμότητα σε μορφή λανθάνουσας θερμότητας ενσωματώνονται στο εσωτερικό του ηλιακού συλλέκτη λειτουργώντας ως απορροφητήρας της ηλιακής ακτινοβολίας.



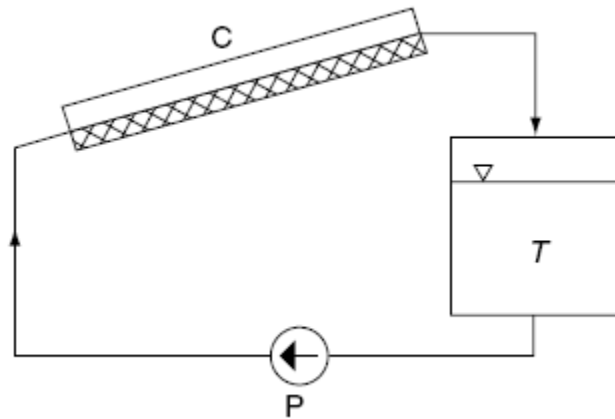
Σχήμα 6.13 Ηλ. συλλέκτης με ενσωματωμένη αποθήκευση θερμότητας (1: κάλυμμα, 2:αποθήκευση θερμότητας, 3:μόνωση) [9]

- Αποθήκευση θερμότητας με εκμετάλλευση του εργαζόμενου μέσου του συλλέκτη [9]

Σε αυτή την περίπτωση ως υλικό αποθήκευσης της ενέργειας χρησιμοποιείται νερό, υλικά αλλαγής φάσης (PCMs), διάφορα στερεά, ακόμα και χημικά υλικά κατάλληλα για αποθήκευση ενέργειας. Η θερμοκρασία του μέσου κατά την είσοδό του στη δεξαμενή αποθήκευσης είναι ίση με τη θερμοκρασία του μέσου κατά την έξοδό του από τον συλλέκτη, θεωρώντας τις απώλειες των σωληνώσεων αμελητέες. Στα συστήματα που το εργαζόμενο μέσο είναι το νερό, όταν αυτό εξέρχεται από τη δεξαμενή επιστρέφει στο συλλέκτη προκειμένου να επαναχρησιμοποιηθεί, ενώ στα συστήματα αέρα, αρκετές φορές αυτός εξέρχεται στην ατμόσφαιρα.

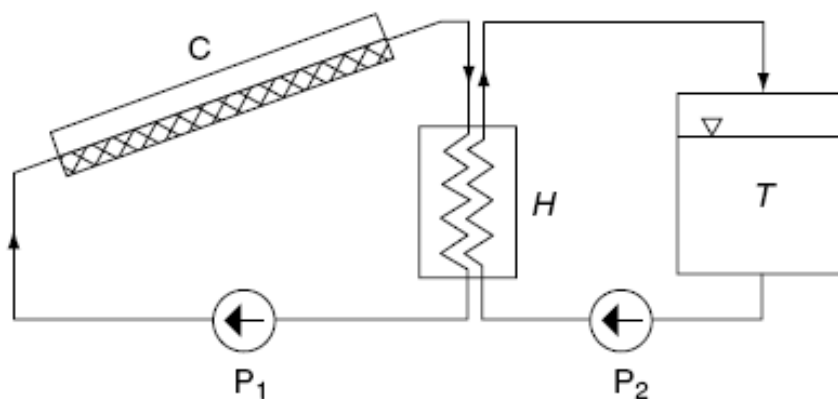
Τα συστήματα αποθήκευσης θερμότητας αυτού του τύπου διακρίνονται σε άμεσα και έμμεσα [9]:

- i. Στα άμεσα συστήματα το εργαζόμενο μέσο κυκλοφορεί σε ένα κλειστό κύκλωμα (σχ. 30-α).



Σχήμα 6.14 Άμεσο σύστημα (C:συλλέκτης, T:δεξαμενή, P:αντλία) [9]

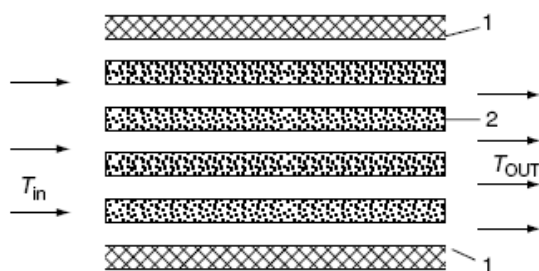
- ii. Στα έμμεσα συστήματα το κλειστό κύκλωμα του συλλέκτη και το κλειστό κύκλωμα της δεξαμενής αποθήκευσης συνδέονται μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας (σχ. 30-β). Το εργαζόμενο μέσο μπορεί να είναι υγρό (σε αρκετές περιπτώσεις είναι αντιπηκτικά υγρά).



Σχήμα 6.15 Έμμεσο σύστημα (C:συλλέκτης, T:δεξαμενή, P:αντλία, H:εναλλάκτης θερμότητας) [9]

Στη λειτουργία του ηλιακού ξηραντήρα το ενδιαφέρον βρίσκεται κυρίως στην υψηλή θερμοκρασία του ρευστού κατά την έξοδό του από το συλλέκτη.

Κατά τη διάρκεια κάποιων περιόδων είναι δυνατόν ο ξηραντήρας και η δεξαμενή αποθήκευσης θερμότητας να λειτουργούν ταυτόχρονα. Σε τέτοια περίπτωση πρέπει να έχει προβλεφθεί ο επαρκής ρυθμός της ροής του εργαζόμενου μέσου στο συλλέκτη προκειμένου να μην υπάρχουν αποκλίσεις στη θερμοκρασία εξόδου του.

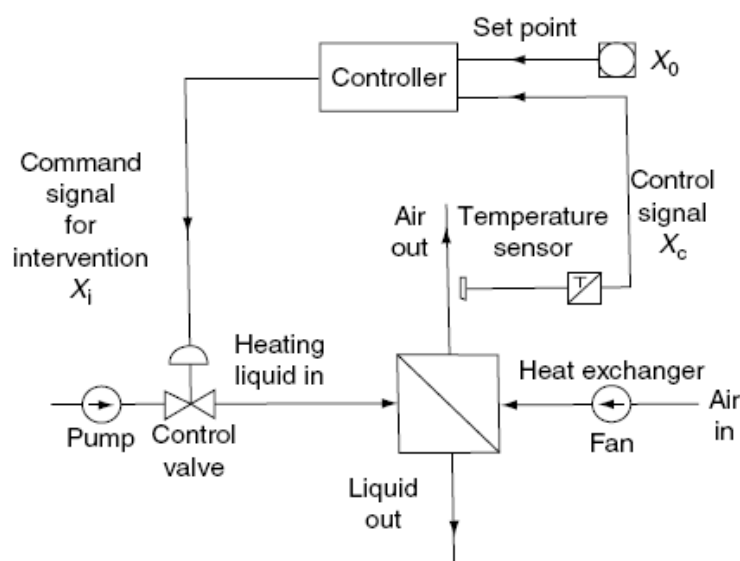


Σχήμα 6.16 Τοποθέτηση υλικών αλλαγής φάσης στη δεξαμενή (1:μόνωση, 2:δοχεία) [9]

6.6 Σύστημα αυτόματου ελέγχου

Το σύστημα αυτόματου ελέγχου έχει ως σκοπό τον έλεγχο και τη διατήρηση των τιμών που λαμβάνουν διάφορες παράμετροι κατά τη διάρκεια της ξήρανσης, και οι οποίες καθορίζονται κατά την έναρξη της λειτουργίας της ξήρανσης. Πιο συγκεκριμένα ελέγχει [9, 52]:

- i. Τυχόν διαφορά στη θερμοκρασία του αέρα ξήρανσης μεταξύ του ηλιακού συλλέκτη και του θαλάμου ξήρανσης
- ii. Τη σχετική υγρασία στο θάλαμο ξήρανσης
- iii. Το ρυθμό ξήρανσης
- iv. Την ανακυκλοφορία του αέρα ξήρανσης
- v. Ενεργοποιεί και απενεργοποιεί συσκευές όπως οι ανεμιστήρες και η βοηθητική πηγή ενέργειας εάν οι αντίστοιχες παράμετροι λάβουν τις ανώτατες τιμές τους.



Σχήμα 6.17 Παράδειγμα συστήματος ελέγχου σε εναλλάκτη θερμότητας νερού-αέρα [9]

7. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΗΛΙΑΚΩΝ ΞΗΡΑΝΤΗΡΙΩΝ

7.1 Κύριοι οικονομικοί παράγοντες

Με τη βοήθεια της ηλιακής ενέργειας η οποία μπορεί να καλύψει έως και 80% των αναγκών της ξήρανσης, έχει υπολογιστεί ότι θα μπορούσαν να εξοικονομηθούν 300-900 PJ ετησίως στη σημερινή αγορά, κυρίως με την αντικατάσταση των βιομηχανικών ξηραντήρων που λειτουργούν σε θερμοκρασίες ξήρανσης κάτω των 50° C [77].

Παρόλα αυτά, η ακριβής αξιολόγηση των κερδών από το ηλιακό ξηραντήριο δεν είναι τόσο εύκολη όσο στους υπόλοιπους τύπους ηλιακών συστημάτων [64]. Ο κύριος λόγος γι' αυτό βρίσκεται στον μεγάλο αριθμό διαφορετικών τύπων ηλιακών ξηραντηρίων. Για τη σωστή αξιολόγηση του κέρδους που προέρχεται από τη λειτουργία του ηλιακού ξηραντηρίου, θα πρέπει αυτό να υπολογίζεται συγκρινόμενο με έναν άλλο τύπο ξηραντήρα.

Οι ξηραντήρες που χρησιμοποιούν αποκλειστικά την ηλιακή ενέργεια θα πρέπει να συγκρίνονται με την παραδοσιακή φυσική ξήρανση [9]. Σε αυτή την περίπτωση τα κέρδη υπολογίζονται λαμβάνοντας υπόψη τη μείωση των απωλειών που θα υπήρχαν στην περίπτωση της παραδοσιακής φυσικής ξήρανσης, καθώς και με τη μη χρησιμοποίηση συμβατικών καυσίμων.

Οι ξηραντήρες που λειτουργούν με τη βοήθεια ανεμιστήρα θα πρέπει να συγκρίνονται με ένα βιομηχανικό ξηραντήρα της ίδιας απόδοσης. Τα πλεονεκτήματά τους βρίσκονται στη μείωση του αρχικού κόστους με μία απλή κατασκευή (η οποία παρόλα αυτά δε θα μειώνει σημαντικά την απόδοση του ξηραντηρίου) και με τη μείωση του κόστους που επιτυγχάνεται με το ποσό της ενέργειας που προέρχεται από τον ήλιο και όχι από συμβατική πηγή. Στους ηλιακούς ξηραντήρες μεικτού τύπου, τα κέρδη θα πρέπει να αξιολογούνται από την ενέργεια που αντικαθιστάται. Ως κόστος, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη το σύστημα μετατροπής της ηλιακής ενέργειας.

Τα κέρδη από ένα ηλιακό ξηραντήριο εξαρτώνται από το διάστημα ζωής του, και για τους δύο τελευταίους τύπους εξαρτώνται και από το κέρδος που εξοικονομήθηκε με την αντικατάσταση των συμβατικών καυσίμων με ηλιακή ενέργεια. Ο χρόνος ζωής του ηλιακού ξηραντηρίου μπορεί να υπολογιστεί εκ των προτέρων, σε κάθε περίπτωση όμως σχετίζεται με το κόστος συντήρησης. Ένα σφάλμα στον υπολογισμό του χρόνου ζωής μπορεί να προκαλέσει σημαντική αβεβαιότητα στην οικονομική αξιολόγηση του έργου.

Εκτός αυτών, στην οικονομική μελέτη πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι αλλαγές της τιμής πώλησης των ξηραϊνόμενων προϊόντων καθώς επίσης

και οι μεταβολές της τιμής των συμβατικών καυσίμων (π.χ. πετρέλαιο) που μπορούν να συμβαίνουν καθόλη τη διάρκεια ζωής του ξηραντηρίου. Γι' αυτές τις αλλαγές μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατάλληλες προβλέψεις, παρόλα αυτά, προκαλούν ακόμα ένα παράγοντα αβεβαιότητας στην οικονομική ανάλυση.

Το συνολικό κόστος εγκατάστασης του ηλιακού ξηραντηρίου αποτελείται από [9]:

- το κόστος επένδυσης,
- τους τόκους και τα έξοδα λειτουργίας και συντήρησης,
- τους φόρους, και
- ο χρόνος αποπληρωμής σε περίπτωση δανείου.

Ο πληθωρισμός επίσης μεταβάλλει το συνολικό κόστος εγκατάστασης.

7.2 Μέθοδος οικονομικής αξιολόγησης

Η οικονομική μελέτη του ηλιακού ξηραντηρίου συνήθως έχει ως στόχο των υπολογισμό του χρόνου αποπληρωμής. Η μέθοδος λαμβάνει υπόψη και την επίδραση του πληθωρισμού. Οι ακόλουθες σχέσεις βασίζονται στη μέθοδο υπολογισμού του χρόνου αποπληρωμής των ηλιακών συστημάτων του Böer [61].

- Η αποπληρωμή επιτυγχάνεται όταν το συνολικό κέρδος S είναι ίσο με το άθροισμα του κεφαλαίου επένδυσης I συν τον ετήσιο τόκο και το συνολικό κόστος E :

$$S = I + E \quad (7.1)$$

- Στην περίπτωση των ξηραντήρων που χρησιμοποιούν αποκλειστικά την ηλιακή ενέργεια, το ετήσιο συνολικό κέρδος μπορεί να υπολογιστεί από το καθαρό εισόδημα D αφαιρώντας τις απώλειες λόγω χαμηλής ποιότητας του προϊόντος και επομένως αυξάνοντας την τιμή του στην αγορά. Για τους ηλιακούς ξηραντήρες με προσθήκη ανεμιστήρων και τους ηλιακούς ξηραντήρες μεικτού τύπου το κέρδος υπολογίζεται από την τιμή της ενέργειας που αντικαθιστά η ηλιακή ενέργεια D . Λαμβάνοντας υπόψη το ετήσιο επιτόκιο r και τον ετήσιο ρυθμό πληθωρισμού e για τις τιμές της ενέργειας, για n έτη το ετήσιο συνολικό κέρδος υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$S = \frac{(1+r)^n - (1+e)^n}{r-e} D \quad (7.2)$$

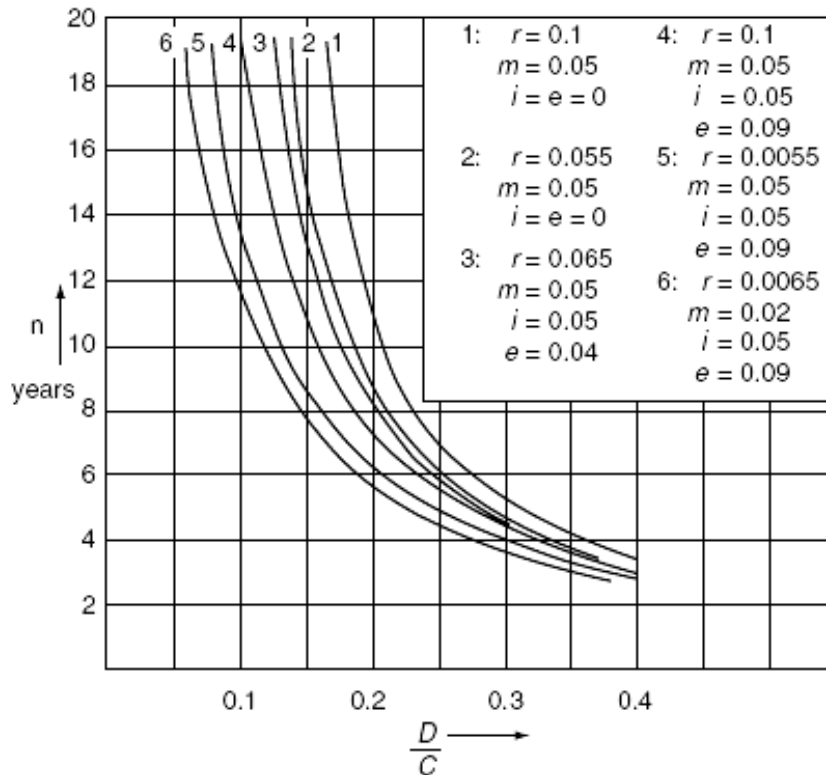
-Το άθροισμα του αρχικού κόστους επένδυσης C μαζί με τον τόκο μετά από n έτη θα είναι:

$$I = C(1+r)^n \quad (7.3)$$

-Λαμβάνοντας υπόψη τον ετήσιο ρυθμό πάγιων εξόδων mC και το ρυθμό του πληθωρισμού I για τον εξοπλισμό, το ετήσιο συνολικό κόστος θα είναι [7]:

$$E = \frac{mC(1+r)^n - mC(1+i)^n}{r-i} \quad (7.4)$$

Γνωρίζοντας τις τιμές των C και D μπορούμε να σχηματίσουμε διαγράμματα για την εύρεση του χρόνου αποπληρωμής n σε συνάρτηση με τις τιμές των r, m, i και e. Από αυτά τα διαγράμματα προκύπτουν οι απαιτήσεις για τον αναμενόμενο χρόνο αποπληρωμής. Στο σχήμα 7.1 φαίνεται ο χρόνος αποπληρωμής συναρτήσει του κλάσματος D/C για διάφορες τιμές των r, m, i και e.



Σχήμα 7.1 Χρόνος αποπληρωμής συναρτήσει του λόγου D/C [9]

Από το διάγραμμα προκύπτει η τιμή του κλάσματος D/C για την οποία έχουμε τον επιθυμητό χρόνο αποπληρωμής με δεδομένες όλες τις υπόλοιπες μεταβλητές. Εάν οι παράμετροι διαφοροποιούνται από τις παραπάνω, τότε ο υπολογισμός γίνεται εκ νέου με τη βοήθεια των εξισώσεων (7.1) έως (7.4).

Μια σύγκριση των καμπυλών 1 και 2 υποδεικνύει την επίδραση του επιτοκίου σε περιπτώσεις που δεν υπάρχει πληθωρισμός.

Η σύγκριση των καμπυλών 3 και 6 δείχνει την επίδραση των τιμών της ενέργειας.

Όπως βλέπουμε απ' όλες τις παραπάνω περιπτώσεις, ο απαιτούμενος λόγος D/C για διάστημα αποπληρωμής τα 10 χρόνια βρίσκεται ανάμεσα στις τιμές 0,12-0,23.

Αφού ο χρόνος αποπληρωμής είναι μια συνάρτηση του λόγου D/C είναι προφανές ότι μια φθηνότερη (μικρότερο αρχικό κόστος επένδυσης C) και με μικρότερη απόδοση (μικρότερο D) εγκατάσταση δικαιολογείται, δεδομένου ότι δε μειώνει σημαντικά τη διάρκεια ζωής της εγκατάστασης.

Οι υπολογισμοί του χρόνου αποπληρωμής αναφέρονται σε ολόκληρη την εγκατάσταση του ηλιακού ξηραντηρίου. Παρόλα αυτά, με τον κατάλληλο διαχωρισμό του συνολικού κόστους, μπορεί να υπολογιστεί αποκλειστικά και μόνο το κόστος του ηλιακού συλλέκτη [62, 63].

Όταν η εφαρμογή του ηλιακού ξηραντηρίου οδηγεί σε αυξημένη ποιότητα του ξηραϊνόμενου προϊόντος, η τιμή του D πρέπει να αυξηθεί καθώς συνδέεται με την αύξηση της ποιότητας.

8. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ-ΜΕΛΕΤΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ

8.1 Περιγραφή του μοντέλου ανάλυσης

Στην ακόλουθη ανάλυση εξετάζεται η λειτουργία και η απόδοση τόσο του ηλιακού ξηραντήρα όσο και του συλλέκτη αέρος υπό διαφορετικές συνθήκες.

8.3.3 Υπολογισμοί ηλιακού συλλέκτη

Θα θεωρηθεί η παραδοχή ότι η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία είναι επαρκής τόσο για να διατηρεί το υπό ξήρανση υλικό σε σταθερή θερμοκρασία, όσο και για να αντισταθμίζει τυχόν απώλειες που έχει ο θάλαμος ξήρανσης.

Ο ισολογισμός ενέργειας στο θάλαμο ξήρανσης βάσει των Jansen (1985), Das and Kumar (1989) είναι:

$$V_{\alpha}\rho_{\alpha}[C_{pa}(T_{oc} - T_{od}) + \lambda(y_{oc} - y_{od})] = \frac{W}{t} \{ (m_i - m_f)[\lambda + C_{pw}(T_{od} - T_{am})] + C_{ps}(T_{od} - T_{am}) \} \quad (8.1)$$

όπου:

- V_{α} : παροχή του αέρα (m^3/h)
- ρ_{α} : πυκνότητα του αέρα (kg/m^3)
- C_{pa} : ειδική θερμοχωρητικότητα του αέρα ($KJ/kg/K$)
- C_{pw} : ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού ($KJ/kg/K$)
- C_{ps} : ειδική θερμοχωρητικότητα του στερεού ($KJ/kg/K$)
- T_{oc} : θερμοκρασία του αέρα κατά την έξοδό του από τον ηλιακό συλλέκτη ($^{\circ}C$)
- T_{od} : θερμοκρασία του αέρα κατά την έξοδό του από το θάλαμο ξήρανσης ($^{\circ}C$)
- T_{am} : θερμοκρασία περιβάλλοντος ($^{\circ}C$)
- λ : λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του νερού (KJ/kg)
- y_{oc} : απόλυτη υγρασία του αέρα κατά την έξοδό του από το συλλέκτη ($kg H_2O/kg_{\xi.a.}$)
- y_{od} : απόλυτη υγρασία του αέρα κατά την έξοδό του από το θάλαμο ξήρανσης ($kg H_2O/kg_{\xi.a.}$)
- W : βάρος του ξηρού προϊόντος (kg)
- m_i : αρχική περιεκτικότητα του στερεού σε υγρασία ($kg H_2O/kg_{\xi.π.}$)

- m_f : τελική περιεκτικότητα του στερεού σε υγρασία (kg H₂O/kg_{ξ.π.})
- t : χρόνος ξήρανσης (h)

Αμελώντας τυχόν ενέργεια που δίνεται στον ξηραντήρα (π.χ. από τη χρήση ενός ανεμιστήρα), η λειτουργία του ηλιακού συλλέκτη αέρος μπορεί να περιγραφεί από την ακόλουθη σχέση [8]:

$$[I_T(\tau\alpha)_e - U_L(T_p - T_{am})]A_c = (V_a\rho_a C_{pa})(T_{oc} - T_i) \quad (8.2)$$

όπου T_i (°C) η θερμοκρασία εισόδου του αέρα στο συλλέκτη και T_p η θερμοκρασία του απορροφητήρα (°C).

Λόγω της δυσκολίας του υπολογισμού της θερμοκρασίας του απορροφητήρα T_p εισάγεται στην εξίσωση (8.2) ο παράγων θερμικής απολαβής του συλλέκτη F_R και προκύπτει η σχέση (Hottel-Whillier-Bliss):

$$F_R[I_T(\tau\alpha)_e - U_L(T_i - T_{am})]A_c = (V_a\rho_a C_{pa})(T_{oc} - T_i) \quad (8.3)$$

Επειδή ο συλλέκτης χρησιμοποιεί απευθείας τον περιβάλλοντα αέρα, η θερμοκρασία T_i θα ισούται με τη θερμοκρασία T_{am} και επομένως καταλήγουμε στη σχέση που περιγράφει τη λειτουργία του συλλέκτη αέρα στον ξηραντήρα:

$$A_c F_R I_T(\tau\alpha)_e = (V_a\rho_a C_{pa})(T_{oc} - T_{am}) \quad (8.4)$$

Έχοντας καταλήξει στην τελική εξίσωση περιγραφής της λειτουργίας του συλλέκτη, και με τις παραδοχές που έχουν ήδη γίνει, η ελάχιστη επιφάνεια του συλλέκτη που απαιτείται για την εξάτμιση της υγρασίας από το προϊόν θα βρεθεί εξισώνοντας το αριστερό μέρος της εξίσωσης (8.4) με το δεξιό μέρος της (8.1):

$$A_c = \frac{W(m_i - m_f)\lambda}{F_R(\tau\alpha)_e \int_0^t I_T dt} \quad (8.5)$$

Για λόγους απλοποίησης έγινε η επιπλέον παραδοχή ότι η θερμοκρασία του αέρα κατά την έξοδό του από το θάλαμο ξήρανσης T_{od} ισούται με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος T_{am} .

Έχοντας υπολογίσει την ελάχιστη απαιτούμενη επιφάνεια του ηλιακού συλλέκτη, από την εξίσωση (8.4) βρίσκεται η παροχή αέρα V_α :

$$V_\alpha = \frac{A_c F_R (\tau\alpha)_e \int_0^t I_T dt}{\rho_\alpha C_{p\alpha} (T_{oc} - T_{am})} \quad (8.6)$$

8.1.2 Βαθμός απόδοσης ηλιακού συλλέκτη

Ο βαθμός απόδοσης του ηλιακού συλλέκτη αέρα θα δίνεται από την εξίσωση [59]:

$$\eta_c = \frac{(V_\alpha \rho_\alpha C_{p\alpha}) \int_0^t (T_{oc} - T_{am}) dt}{A_c \int_0^t I_T dt} \quad (8.7)$$

8.1.3 Βαθμός απόδοσης θαλάμου ξήρανσης

Ο βαθμός απόδοσης του θαλάμου ξήρανσης (μετά το συλλέκτη) δίνεται από το λόγο της απαιτούμενης ενέργειας για την εξάτμιση της υγρασίας από το προϊόν με την ενέργεια που παρέχεται στο θάλαμο ξήρανσης από το συλλέκτη [59]:

$$\eta_d = \frac{W(m_i - m_f)\lambda}{A_c F_R (\tau\alpha)_e \int_0^t I_T dt} \quad (8.8)$$

8.2 Πειραματικά δεδομένα

Για τη διερεύνηση του μοντέλου ξήρανσης επιλέχθηκαν τα ακόλουθα δεδομένα:

- Για ηλιακό συλλέκτη αέρα ο παράγοντας θερμικής απολαβής είναι περίπου $F_R=0,8$ (Garg 1987)
- Διαπερατότητα του καλύματος $\tau=0,85$.
- Η απορροφητικότητα του συλλέκτη για μαύρο τζάμι (συνηθέστερη περίπτωση) θεωρήθηκε $\alpha=0,95$.
- Στις περισσότερες περιπτώσεις ο συντελεστής συνολικών θερμικών απωλειών του συλλέκτη είναι $U_L = 5 \text{ W/m}^2\text{°C}$ (Garg 1987) και χρησιμοποιήθηκε αυτή η τιμή.
- Η τιμή της θερμοκρασίας στην έξοδο του συλλέκτη T_{oc} η οποία ισούται και με την τιμή στην είσοδο του θαλάμου ξήρανσης προκαθορίζεται ανάλογα με τις εκάστοτε απαιτήσεις για την ξήρανση του προϊόντος. Στην ηλιακή ξήρανση των αγροτικών προϊόντων οι καταλληλότερες τιμές οι οποίες και χρησιμοποιήθηκαν είναι [9]:

T_{oc} (°C)
50
60
70

- Βάσει των παραπάνω τιμών βρίσκονται η πυκνότητα του αέρα ρ_α [15] και η ειδική θερμοχωρητικότητα του αέρα $C_{p\alpha}$ [15]:

T_{oc} (°C)	ρ_α (kg/m ³)	$C_{p\alpha}$ (KJ/kg/K)
50	1,094	1,008
60	1,061	1,008
70	1,03	1,009

- Η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του νερού βρίσκεται συναρτήσει της θερμοκρασίας T_{oc} [2]:

Τοc (°C)	λ (KJ/kg)
50	2381,94
60	2357,63
70	2333

- Για το βάρος του προς ξήρανση προϊόντος επιλέχθηκαν οι τιμές:

W (kg)
20
50
100
150

- Περιεκτικότητα σε υγρασία: επιλέχθηκαν δύο περιπτώσεις. Ως πρώτη περίπτωση (Α), οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν πλησιάζουν τις τιμές γεωργικών προϊόντων που ξηραίνονται σε μεγάλο βαθμό στην Ελλάδα (σύκα, σταφύλια) [4] ενώ η δεύτερη περίπτωση (Β) επιλέθηκε προκειμένου να εξεταστεί η διαφορά στα επιμέρους χαρακτηριστικά της ξήρανσης (επιφάνειας του συλλέκτη, βαθμοί απόδοσης κλπ.):

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Α

m_i (%)	70
m_f (%)	22

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Β

m_i (%)	35
m_f (%)	15

- Η ανάλυση θα γίνει για κλίση του συλλέκτη:

β°
30
45
60

- Τέλος, η ημερήσια διάρκεια λειτουργίας του ηλιακού ξηραντηρίου επιλέχθηκε 8π.μ-4 μ.μ..

8.3 Δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας

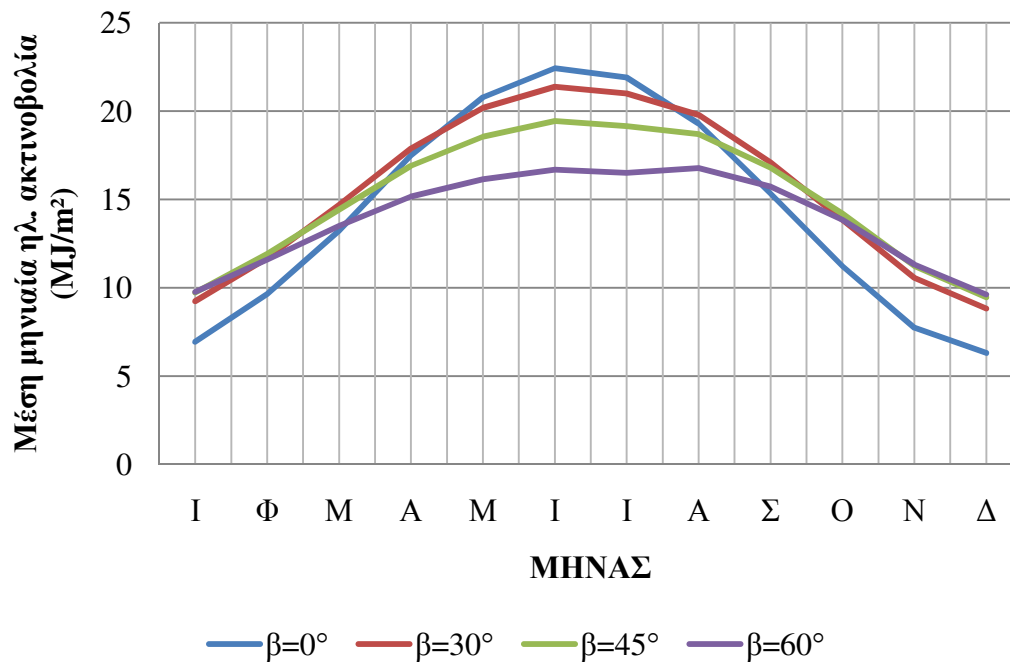
Στην ενότητα αυτή δίνονται τα δεδομένα της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο.

8.3.1 Ηλιακή ακτινοβολία

Η ωριαία τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο βρέθηκε από τις τιμές του Αστεροσκοπείου Αθηνών την περίοδο 1961-1980 χρησιμοποιώντας τη στιγμιαία ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου [1], ενώ η ωριαία ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου υπολογίστηκε όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο ‘Αρχές ηλιακής ενέργειας’.

Ως μέση ημέρα του μήνα θεωρήθηκε η 21^η μέρα και βάσει αυτής έχουν υπολογισθεί τόσο η ηλιακή ακτινοβολία όσο και η θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Στη συνέχεια ακολουθεί η γραφική παράσταση της μέσης μηνιαίας ακτινοβολίας καθόλη τη διάρκεια του έτους, και οι πίνακες με τις τιμές της ωριαίας ηλιακής ακτινοβολίας για κάθε μήνα τις ώρες που εξετάζονται.

Η οριζόντια ακτινοβολία δε χρησιμοποιήθηκε κατά τη μελέτη αλλά δίνεται για λόγους αναφοράς.



Σχήμα 8.1 Μέση μηνιαία ακτινοβολία σε όλη τη διάρκεια του έτους (MJ/m²)

Πίνακας 8.1 Ωριαία ακτινοβολία It (KJ/m²) Ιανουαρίου

ΩΡΑ	β=0°	β=30°	β=45°	β=60°
8-9	238	270	270	261
9-10	590	707	722	709
10-11	1125	1130	1163	1146
11-12	1125	1416	1466	1449
12-13	1195	1542	1608	1598
13-14	1121	1510	1596	1603
14-15	907	1308	1411	1440
15-16	590	941	1045	1094

Πίνακας 8.2 Ωριαία ακτινοβολία It (KJ/m²) Φεβρουαρίου

ΩΡΑ	β=0°	β=30°	β=45°	β=60°
8-9	504	565	563	540
9-10	889	1013	1013	971
10-11	1444	1421	1427	1371
11-12	1444	1703	1718	1655
12-13	1516	1821	1848	1787
13-14	1438	1775	1817	1769
14-15	1215	1553	1607	1580
15-16	882	1177	1238	1234

Πίνακας 8.3 Ωριαία ακτινοβολία It (KJ/m²) Μαρτίου

ΩΡΑ	β=0°	β=30°	β=45°	β=60°
8-9	851	892	862	800
9-10	1287	1376	1336	1244
10-11	1878	1788	1745	1628
11-12	1878	2073	2032	1901
12-13	1955	2189	2154	2019
13-14	1867	2116	2090	1962
14-15	1627	1859	1841	1730
15-16	1269	1450	1436	1350

Πίνακας 8.4 Ωριαία ακτινοβολία It (KJ/m²) Απριλίου

ΩΡΑ	β=0°	β=30°	β=45°	β=60°
8-9	1251	1228	1147	1027
9-10	1752	1760	1657	1491
10-11	2398	2191	2075	1874
11-12	2398	2483	2361	2135
12-13	2477	2587	2464	2227
13-14	2375	2484	2362	2129
14-15	2116	2192	2073	1855
15-16	1725	1740	1625	1434

Πίνακας 8.5 Ωριαία ακτινοβολία It (KJ/m²) Μαΐου

ΩΡΑ	β=0°	β=30°	β=45°	β=60°
8-9	1555	1466	1339	1168
9-10	2112	2036	1876	1648
10-11	2803	2483	2302	2028
11-12	2803	2779	2582	2275
12-13	2887	2876	2672	2346
13-14	2775	2751	2545	2219
14-15	2497	2430	2226	1917
15-16	2074	1946	1748	1471

Πίνακας 8.6 Ωριαία ακτινοβολία It (KJ/m²) Ιουνίου

ΩΡΑ	β=0°	β=30°	β=45°	β=60°
8-9	1699	1578	1429	1234
9-10	2288	2173	1985	1725
10-11	3013	2633	2420	2110
11-12	3013	2937	2705	2356
12-13	3100	3031	2788	2417
13-14	2977	2891	2644	2274
14-15	2689	2558	2313	1962
15-16	2249	2057	1820	1504

Πίνακας 8.7 Ωριαία ακτινοβολία It (KJ/m²) Ιουλίου

ΩΡΑ	β=0°	β=30°	β=45°	β=60°
8-9	1633	1537	1402	1221
9-10	2223	2118	1939	1688
10-11	2960	2548	2327	2014
11-12	2960	2828	2576	2215
12-13	3046	2973	2731	2364
13-14	2922	2893	2673	2327
14-15	2631	2556	2338	2012
15-16	2189	2049	1839	1547

Πίνακας 8.8 Ωριαία ακτινοβολία It (KJ/m²) Αυγούστου

ΩΡΑ	β=0°	β=30°	β=45°	β=60°
8-9	1377	1356	1266	1132
9-10	1934	1947	1834	1650
10-11	2649	2427	2300	2077
11-12	2649	2755	2621	2369
12-13	2736	2873	2738	2474
13-14	2616	2745	2612	2353
14-15	2335	2418	2287	2047
15-16	1908	1922	1795	1586

Πίνακας 8.9 Ωριαία ακτινοβολία It (KJ/m²) Σεπτεμβρίου

ΩΡΑ	β=0°	β=30°	β=45°	β=60°
8-9	997	1057	1024	952
9-10	1497	1613	1570	1463
10-11	2169	2086	2039	1904
11-12	2169	2419	2377	2226
12-13	2252	2554	2521	2367
13-14	2142	2447	2421	2275
14-15	1878	2144	2121	1993
15-16	1480	1676	1655	1553

Πίνακας 8.10 Ωριαία ακτινοβολία It (KJ/m²) Οκτωβρίου

ΩΡΑ	β=0°	β=30°	β=45°	β=60°
8-9	608	710	717	695
9-10	1047	1221	1230	1187
10-11	1669	1681	1698	1639
11-12	1669	2011	2043	1978
12-13	1748	2157	2206	2146
13-14	1651	2076	2137	2089
14-15	1406	1808	1875	1846
15-16	1041	1375	1442	1436

Πίνακας 8.11 Ωριαία ακτινοβολία It (KJ/m²) Νοεμβρίου

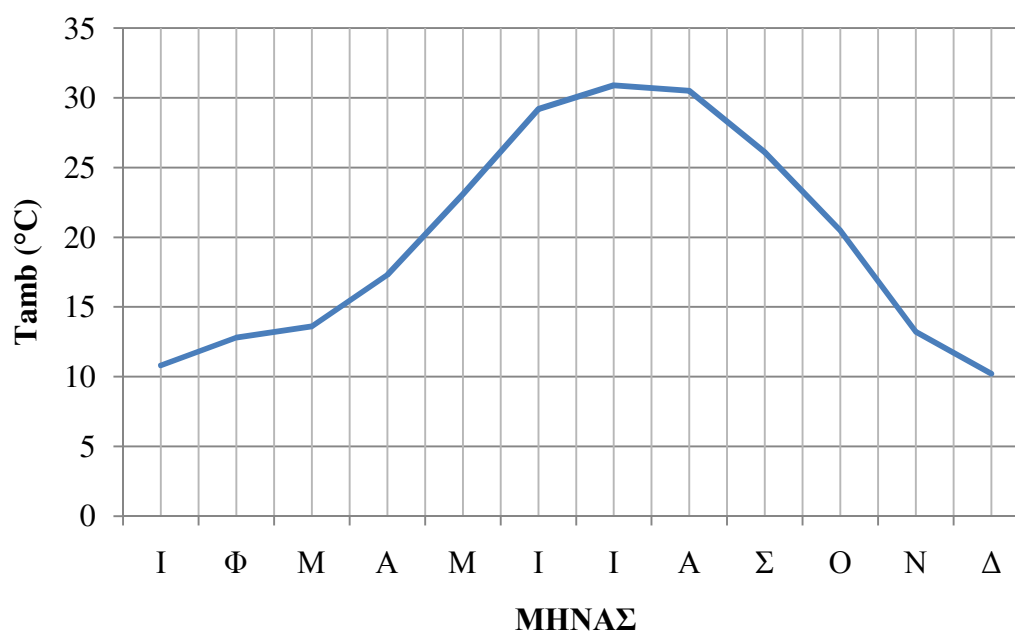
ΩΡΑ	β=0°	β=30°	β=45°	β=60°
8-9	299	371	384	382
9-10	683	849	878	869
10-11	1252	1299	1347	1334
11-12	1252	1618	1689	1679
12-13	1272	1712	1808	1812
13-14	1187	1657	1769	1789
14-15	1016	1480	1601	1639
15-16	680	1077	1196	1251

Πίνακας 8.5 Ωριαία ακτινοβολία It (KJ/m²) Δεκεμβρίου

ΩΡΑ	β=0°	β=30°	β=45°	β=60°
8-9	165	203	205	200
9-10	517	636	657	651
10-11	1057	1079	1126	1122
11-12	1057	1383	1452	1453
12-13	1127	1520	1609	1620
13-14	1052	1485	1594	1622
14-15	837	1281	1408	1460
15-16	519	891	1010	1076

8.3.2 Θερμοκρασία περιβάλλοντος

Στη συνέχεια δίνονται οι τιμές της ωριαίας θερμοκρασίας σε °C για όλους τους μήνες [2]. Οι τιμές αναφέρονται στην 21^η μέρα του κάθε μήνα.



Σχήμα 8.2 Μέση μηνιαία θερμοκρασία σε όλη τη διάρκεια του έτους (°C)

Πίνακας 8.13 Μέση ωριαία θερμοκρασία μηνών Ιανουαρίου-Ιουνίου (°C)

ΩΡΑ	ΙΑΝ	ΦΕΒΡ	ΜΑΡΤ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ
8-9	8,0	9,7	11,4	14,4	20,5	25,6
9-10	8,8	10,7	12,3	15,5	21,6	27,2
10-11	9,9	11,9	13,1	16,7	22,7	28,7
11-12	10,9	13,0	13,9	17,7	23,6	29,9
12-13	11,8	13,9	14,4	18,4	24,2	30,7
13-14	12,3	14,4	14,7	18,8	24,4	30,9
14-15	12,5	14,6	14,6	18,8	24,2	30,7
15-16	12,3	14,3	14,3	18,4	23,7	30,0

Πίνακας 8.14 Μέση ωριαία θερμοκρασία μηνών Ιουλίου-Δεκεμβρίου (°C)

ΩΡΑ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
8-9	27,5	26,9	22,6	17,2	11,5	8,6
9-10	28,9	28,2	23,9	18,4	12,1	9,1
10-11	30,3	29,6	25,3	19,8	12,7	9,8
11-12	31,4	30,9	26,6	21,0	13,3	10,4
12-13	32,2	31,8	27,6	21,8	13,9	10,9
13-14	32,6	32,4	28,0	22,2	14,2	11,2
14-15	32,5	32,4	27,8	22,2	14,1	11,2
15-16	32,1	32,0	27,2	21,6	13,8	11,0

9. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Α

Στην ανάλυση που θα ακολουθήσει ο διαχωρισμός έχει γίνει με βάση το βάρος W του υλικού που ξηραίνεται ανά ώρα, και τα αποτελέσματα αφορούν την ελάχιστη απαιτούμενη επιφάνεια του ηλιακού συλλέκτη A_c καθώς και την απόδοσή του η_c ανάλογα τόσο με τη γωνία κλίσης β , όσο και τη θερμοκρασία ξήρανσης T_{oc} .

Ο βαθμός απόδοσης της ξήρανσης παρουσιάζεται τελευταίος καθώς όπως θα φανεί είναι ανεξάρτητος του βάρους W .

9.1 Βάρος προϊόντος $W=20$ kg

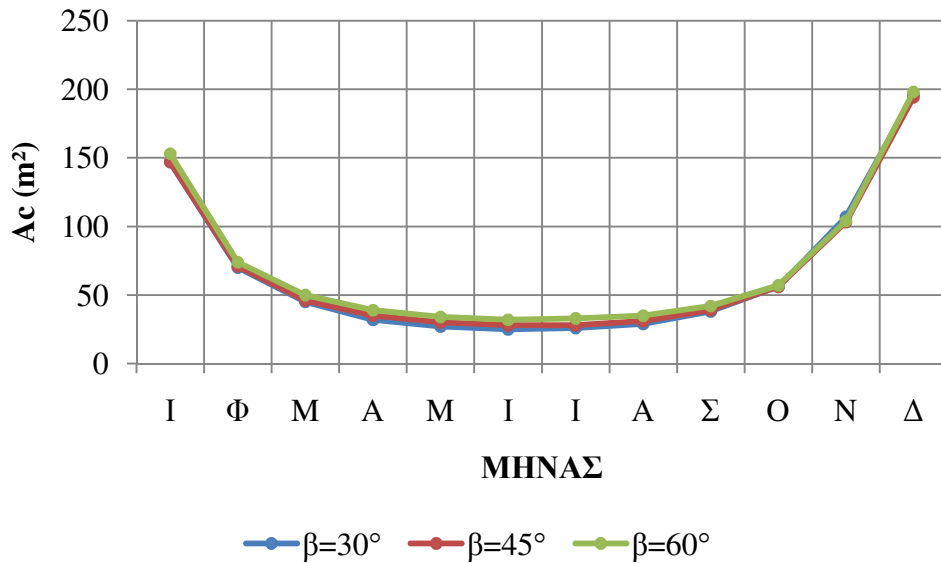
9.1.1 Επιφάνεια συλλέκτη A_c

Διακρίνονται τρεις περιπτώσεις ανάλογα με τη θερμοκρασία εξόδου του αέρα από το συλλέκτη που αποτελεί και τη θερμοκρασία ξήρανσης T_{oc} .

1) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 50^\circ\text{C}$

Πίνακας 9.1 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και γωνία κλίσης β

A_c (m ²)	$\beta=30^\circ$	$\beta=45^\circ$	$\beta=60^\circ$
ΙΑΝ	368	368	382
ΦΕΒ	176	177	184
ΜΑΡΤ	111	115	124
ΑΠΡ	81	87	97
ΜΑΙ	68	74	85
ΙΟΥΝ	63	70	81
ΙΟΥΛ	65	71	81
ΑΥΓ	73	78	88
ΣΕΠΤ	94	97	104
ΟΚΤ	140	139	143
ΝΟΕ	268	259	260
ΔΕΚ	490	484	496

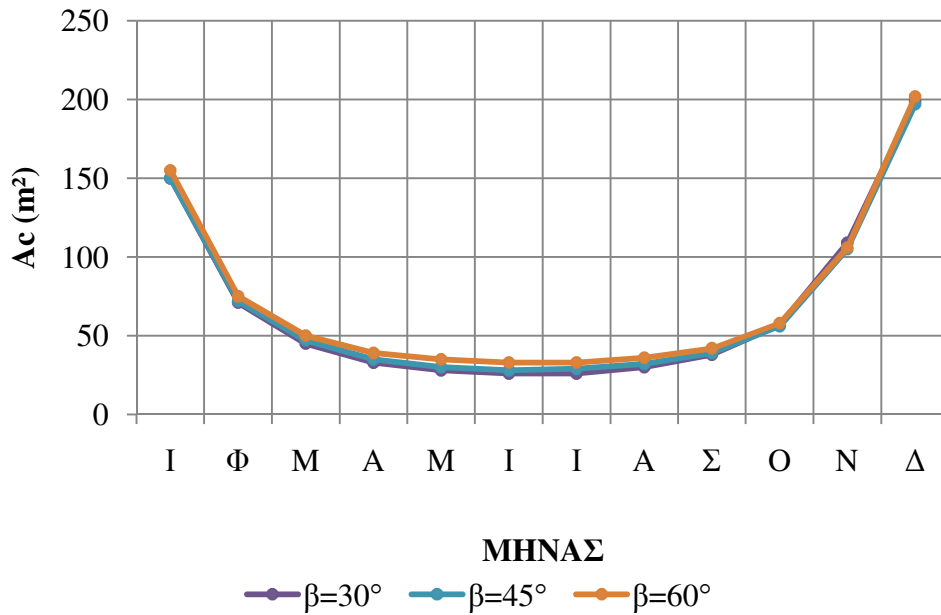


Σχήμα 9.1 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

2) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 60^{\circ}\text{C}$

Πίνακας 9.2 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και γωνία κλίσης β

A_c (m^2)	$\beta=30^{\circ}$	$\beta=45^{\circ}$	$\beta=60^{\circ}$
ΙΑΝ	150	150	155
ΦΕΒ	71	72	75
ΜΑΡΤ	45	47	50
ΑΠΡ	33	35	39
ΜΑΙ	28	30	35
ΙΟΥΝ	26	28	33
ΙΟΥΛ	26	29	33
ΑΥΓ	30	32	36
ΣΕΠΤ	38	39	42
ΟΚΤ	57	56	58
ΝΟΕ	109	105	106
ΔΕΚ	199	197	202

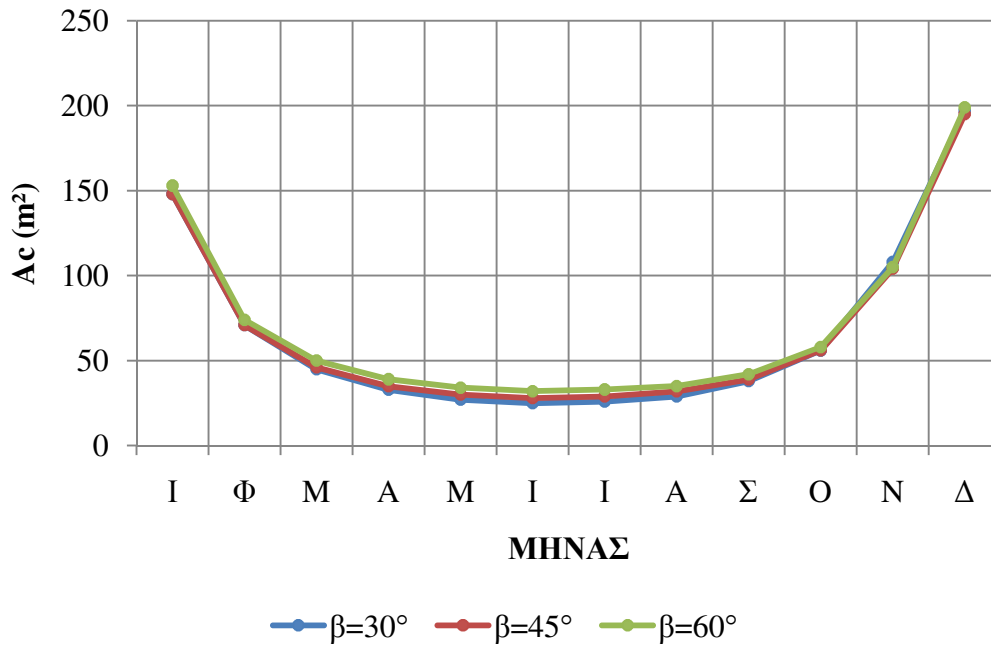


Σχήμα 9.2 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

3) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 70^{\circ}\text{C}$

Πίνακας 9.3 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και γωνία κλίσης β

Ac (m ²)	β=30°	β=45°	β=60°
ΙΑΝ	148	148	153
ΦΕΒ	71	71	74
ΜΑΡ	45	46	50
ΑΠΡ	33	35	39
ΜΑΙ	27	30	34
ΙΟΥΝ	25	28	32
ΙΟΥΛ	26	29	33
ΑΥΓ	29	32	35
ΣΕΠ	38	39	42
ΟΚΤ	56	56	58
ΝΟΕ	108	104	105
ΔΕΚ	197	195	199



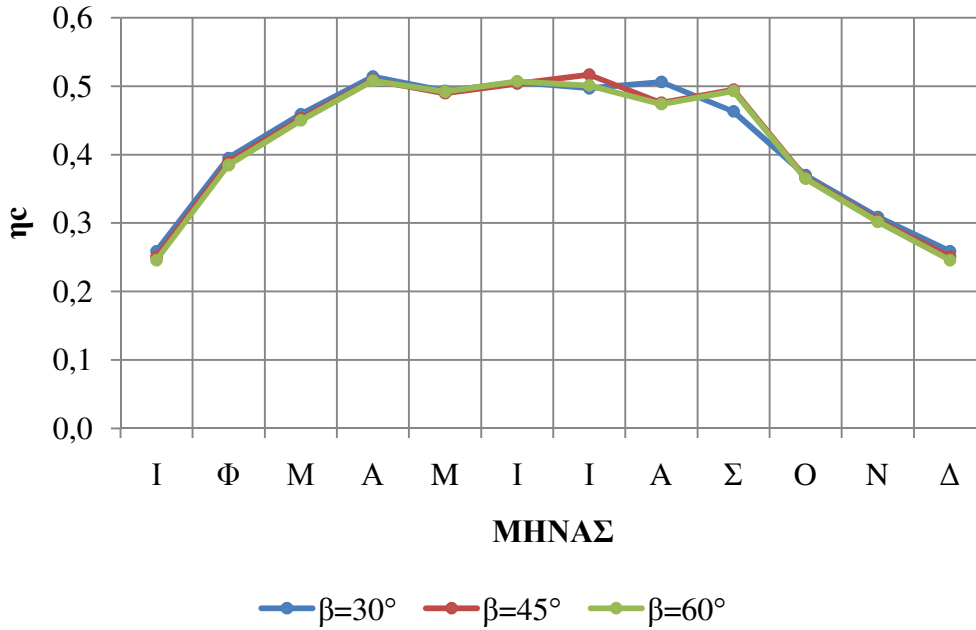
Σχήμα 9.3 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

9.1.2 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη η_c

1) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 50^{\circ}\text{C}$

Πίνακας 9.4 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και γωνία κλίσης β

η _c	β=30°	β=45°	β=60°
ΙΑΝ	0,259	0,251	0,246
ΦΕΒ	0,395	0,389	0,385
ΜΑΡ	0,459	0,453	0,450
ΑΠΡ	0,514	0,509	0,508
ΜΑΙ	0,493	0,490	0,492
ΙΟΥΝ	0,506	0,504	0,507
ΙΟΥΛ	0,497	0,517	0,501
ΑΥΓ	0,506	0,476	0,474
ΣΕΠ	0,463	0,495	0,493
ΟΚΤ	0,370	0,366	0,365
ΝΟΕ	0,309	0,304	0,302
ΔΕΚ	0,259	0,251	0,246

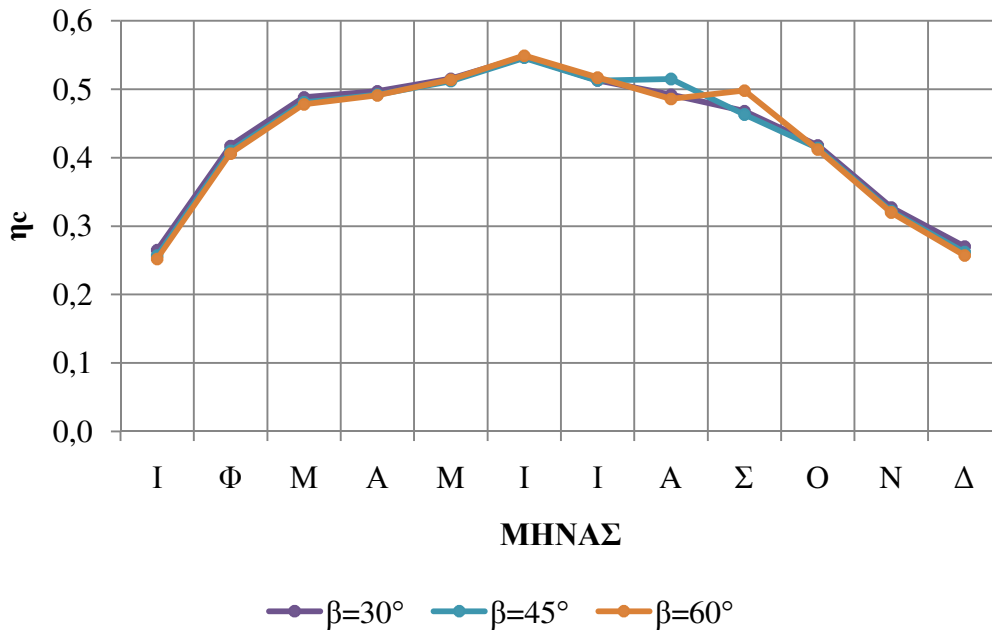


Σχήμα 9.4 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

2) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 60^{\circ}\text{C}$

Πίνακας 9.5 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και γωνία κλίσης β

η_c	$\beta=30^{\circ}$	$\beta=45^{\circ}$	$\beta=60^{\circ}$
ΙΑΝ	0,265	0,257	0,252
ΦΕΒΡ	0,417	0,410	0,406
ΜΑΡΤ	0,488	0,481	0,478
ΑΠΡ	0,497	0,492	0,491
ΜΑΙ	0,515	0,512	0,514
ΙΟΥΝ	0,547	0,546	0,549
ΙΟΥΛ	0,513	0,513	0,517
ΑΥΓ	0,492	0,515	0,486
ΣΕΠΤ	0,468	0,463	0,498
ΟΚΤ	0,418	0,414	0,412
ΝΟΕ	0,327	0,322	0,320
ΔΕΚ	0,270	0,262	0,257

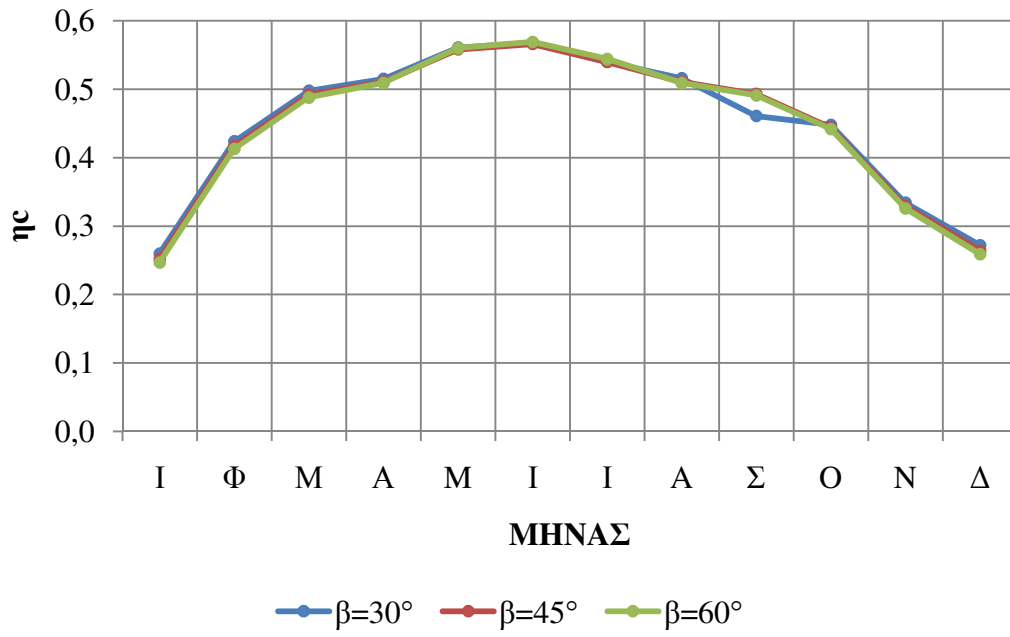


Σχήμα 9.5 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

3) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 70^{\circ}\text{C}$

Πίνακας 9.6 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και γωνία κλίσης β

ηc	β=30°	β=45°	β=60°
ΙΑΝ	0,260	0,252	0,247
ΦΕΒ	0,424	0,417	0,413
ΜΑΡ	0,498	0,492	0,488
ΑΠΡ	0,515	0,511	0,509
ΜΑΙ	0,561	0,558	0,560
ΙΟΥΝ	0,568	0,566	0,569
ΙΟΥΛ	0,540	0,540	0,544
ΑΥΓ	0,516	0,511	0,509
ΣΕΠ	0,461	0,493	0,491
ΟΚΤ	0,448	0,444	0,442
ΝΟΕ	0,334	0,329	0,326
ΔΕΚ	0,272	0,264	0,259



Σχήμα 9.6 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

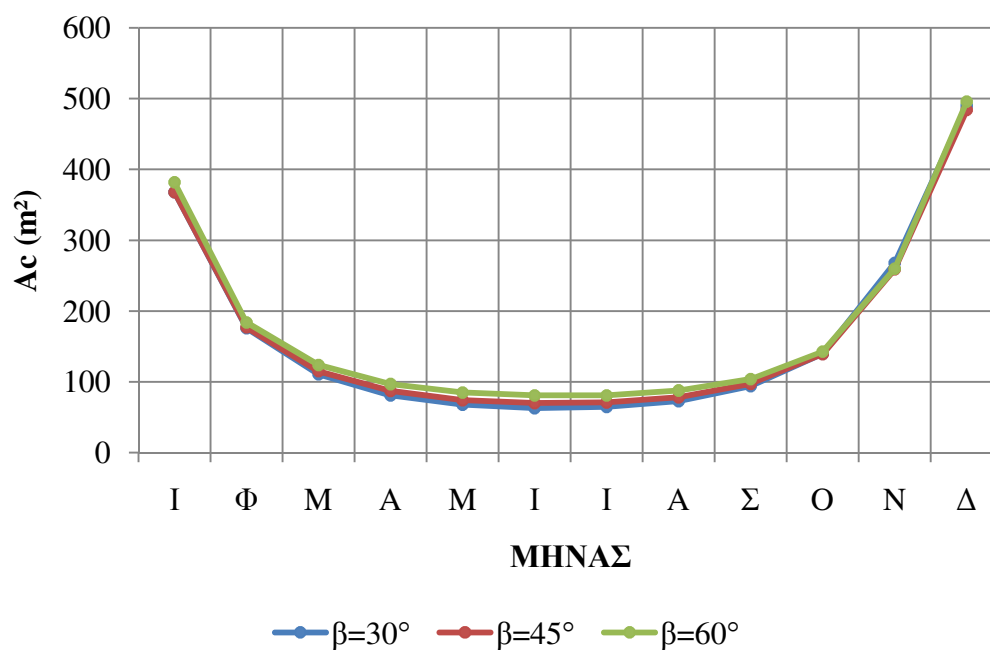
9.2 Βάρος προϊόντος W=50 kg

9.2.1 Επιφάνεια συλλέκτη Ac

1) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 50^{\circ}\text{C}$

Πίνακας 9.7 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και γωνία κλίσης β

A_c (m^2)	$\beta=30^{\circ}$	$\beta=45^{\circ}$	$\beta=60^{\circ}$
ΙΑΝ	368	368	382
ΦΕΒ	176	177	184
ΜΑΡΤ	111	115	124
ΑΠΡ	81	87	97
ΜΑΙ	68	74	85
ΙΟΥΝ	63	70	81
ΙΟΥΛ	65	71	81
ΑΥΓ	73	78	88
ΣΕΠΤ	94	97	104
ΟΚΤ	140	139	143
ΝΟΕ	268	259	260
ΔΕΚ	490	484	496

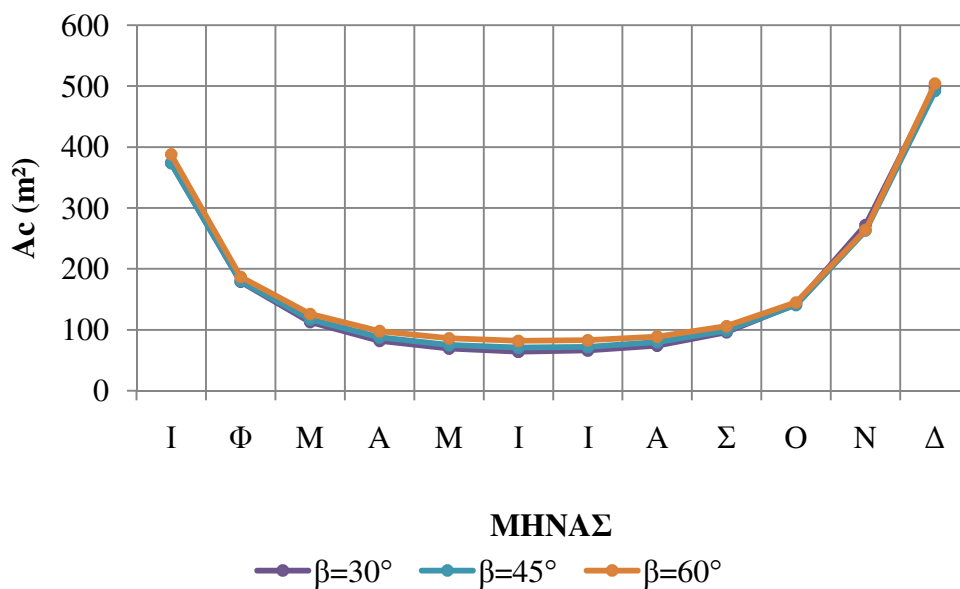


Σχήμα 9.7 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

2) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 60^{\circ}\text{C}$

Πίνακας 9.8 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και γωνία κλίσης β

A_c (m^2)	$\beta=30^{\circ}$	$\beta=45^{\circ}$	$\beta=60^{\circ}$
ΙΑΝ	374	374	388
ΦΕΒΡ	179	180	187
ΜΑΡΤ	113	117	126
ΑΠΡ	82	88	98
ΜΑΙ	69	75	86
ΙΟΥΝ	64	71	82
ΙΟΥΛ	66	72	83
ΑΥΓ	74	80	89
ΣΕΠΤ	96	99	106
ΟΚΤ	142	141	145
ΝΟΕ	272	263	264
ΔΕΚ	498	492	504

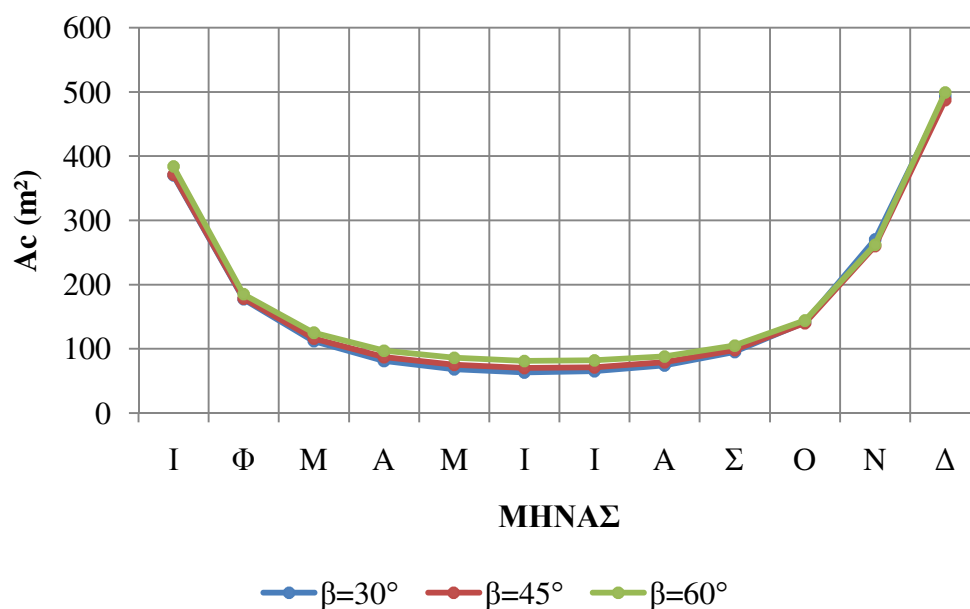


Σχήμα 9.8 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

3) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 70^{\circ}\text{C}$

Πίνακας 9.9 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και γωνία κλίσης β

A_c (m^2)	$\beta=30^{\circ}$	$\beta=45^{\circ}$	$\beta=60^{\circ}$
ΙΑΝ	370	371	384
ΦΕΒ	177	178	185
ΜΑΡΤ	112	116	125
ΑΠΡ	81	87	97
ΜΑΙ	68	75	86
ΙΟΥΝ	63	70	81
ΙΟΥΛ	65	71	82
ΑΥΓ	74	79	88
ΣΕΠΤ	95	98	105
ΟΚΤ	141	140	144
ΝΟΕ	270	260	262
ΔΕΚ	493	487	499



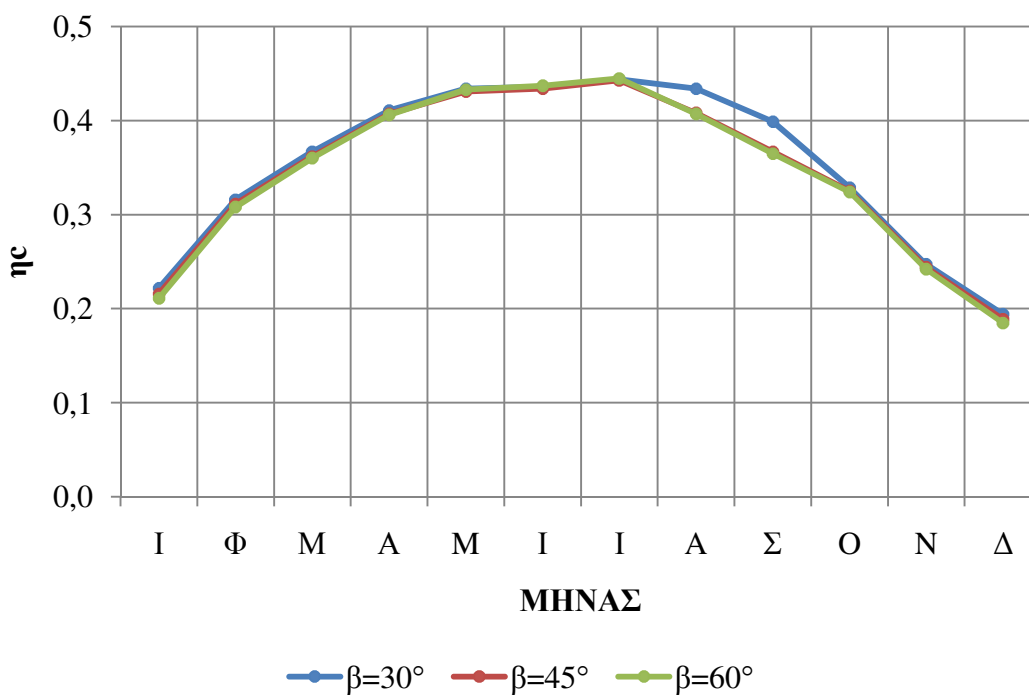
Σχήμα 9.9 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

9.2.2 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη η_c

1) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 50^\circ\text{C}$

Πίνακας 9.8 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και γωνία κλίσης β

η_c	$\beta=30^\circ$	$\beta=45^\circ$	$\beta=60^\circ$
ΙΑΝ	0,222	0,216	0,211
ΦΕΒ	0,316	0,311	0,308
ΜΑΡΤ	0,367	0,362	0,360
ΑΠΡ	0,411	0,407	0,406
ΜΑΙ	0,434	0,431	0,433
ΙΟΥΝ	0,436	0,434	0,437
ΙΟΥΛ	0,444	0,443	0,445
ΑΥΓ	0,434	0,408	0,407
ΣΕΠΤ	0,399	0,367	0,365
ΟΚΤ	0,329	0,325	0,324
ΝΟΕ	0,247	0,244	0,242
ΔΕΚ	0,194	0,189	0,185

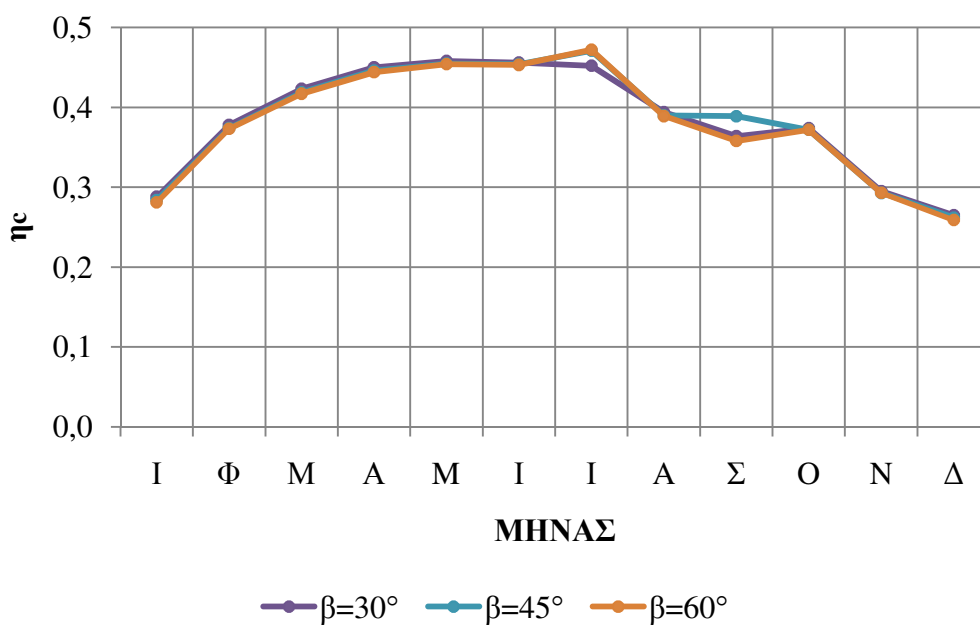


Σχήμα 9.10 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

2) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 60^{\circ}\text{C}$

Πίνακας 9.11 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και γωνία κλίσης β

η_c	$\beta=30^{\circ}$	$\beta=45^{\circ}$	$\beta=60^{\circ}$
ΙΑΝ	0,288	0,284	0,281
ΦΕΒ	0,378	0,374	0,373
ΜΑΡΤ	0,423	0,419	0,417
ΑΠΡ	0,450	0,446	0,444
ΜΑΙ	0,458	0,455	0,454
ΙΟΥΝ	0,456	0,454	0,453
ΙΟΥΛ	0,452	0,471	0,472
ΑΥΓ	0,394	0,390	0,389
ΣΕΠΤ	0,364	0,389	0,358
ΟΚΤ	0,374	0,372	0,372
ΝΟΕ	0,295	0,293	0,293
ΔΕΚ	0,265	0,262	0,259

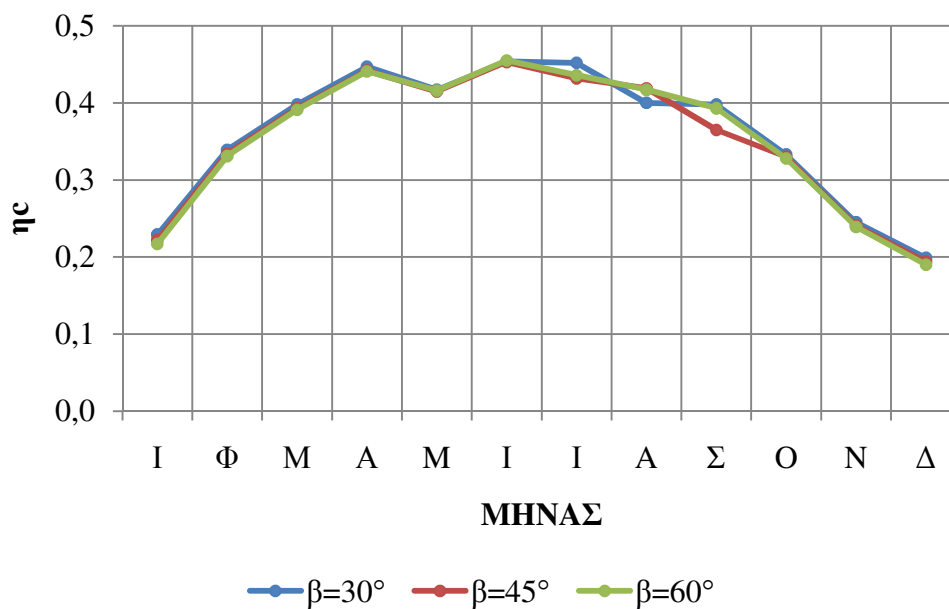


Σχήμα 9.11 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

3) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 70^{\circ}\text{C}$

Πίνακας 9.12 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

η_c	$\beta=30^{\circ}$	$\beta=45^{\circ}$	$\beta=60^{\circ}$
ΙΑΝ	0,229	0,222	0,217
ΦΕΒΡ	0,339	0,334	0,331
ΜΑΡΤ	0,398	0,393	0,391
ΑΠΡ	0,447	0,442	0,441
ΜΑΙ	0,417	0,415	0,416
ΙΟΥΝ	0,454	0,453	0,455
ΙΟΥΛ	0,452	0,432	0,436
ΑΥΓ	0,400	0,419	0,417
ΣΕΠΤ	0,398	0,365	0,393
ΟΚΤ	0,333	0,330	0,328
ΝΟΕ	0,245	0,241	0,239
ΔΕΚ	0,199	0,194	0,190



Σχήμα 9.12 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

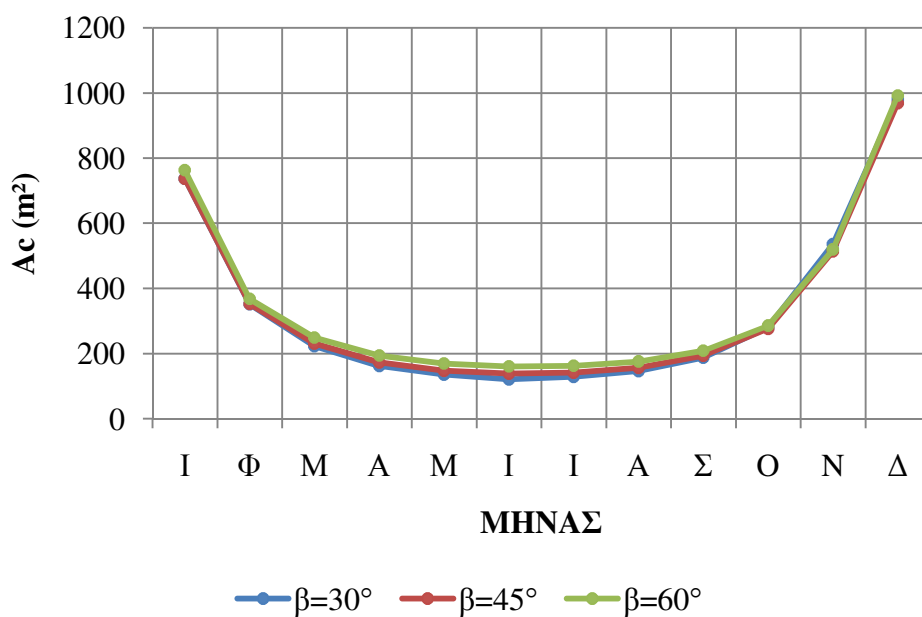
9.3 Βάρος προϊόντος $W=100$ kg

9.3.1 Επιφάνεια συλλέκτη A_c

1) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 50^\circ\text{C}$

Πίνακας 9.13 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

A_c (m^2)	$\beta=30^\circ$	$\beta=45^\circ$	$\beta=60^\circ$
ΙΑΝ	737	737	763
ΦΕΒ	352	353	368
ΜΑΡΤ	223	231	249
ΑΠΡ	162	173	194
ΜΑΙ	136	148	170
ΙΟΥΝ	121	139	161
ΙΟΥΛ	129	142	163
ΑΥΓ	147	157	176
ΣΕΠΤ	188	194	209
ΟΚΤ	280	277	286
ΝΟΕ	536	514	520
ΔΕΚ	980	969	992

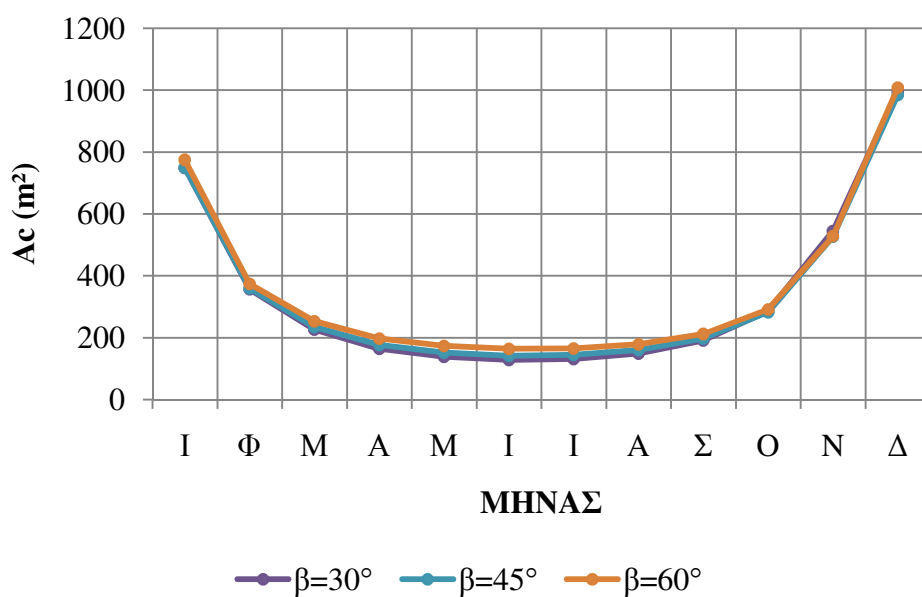


Σχήμα 9.13 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

2) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 60^{\circ}\text{C}$

Πίνακας 9.14 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

A_c (m^2)	$\beta=30^{\circ}$	$\beta=45^{\circ}$	$\beta=60^{\circ}$
ΙΑΝ	749	749	775
ΦΕΒΡ	357	359	374
ΜΑΡΤ	226	234	253
ΑΠΡ	164	176	197
ΜΑΙ	138	151	173
ΙΟΥΝ	128	141	164
ΙΟΥΛ	131	144	165
ΑΥΓ	149	160	178
ΣΕΠΤ	191	197	212
ΟΚΤ	285	282	291
ΝΟΕ	545	526	528
ΔΕΚ	996	984	1008

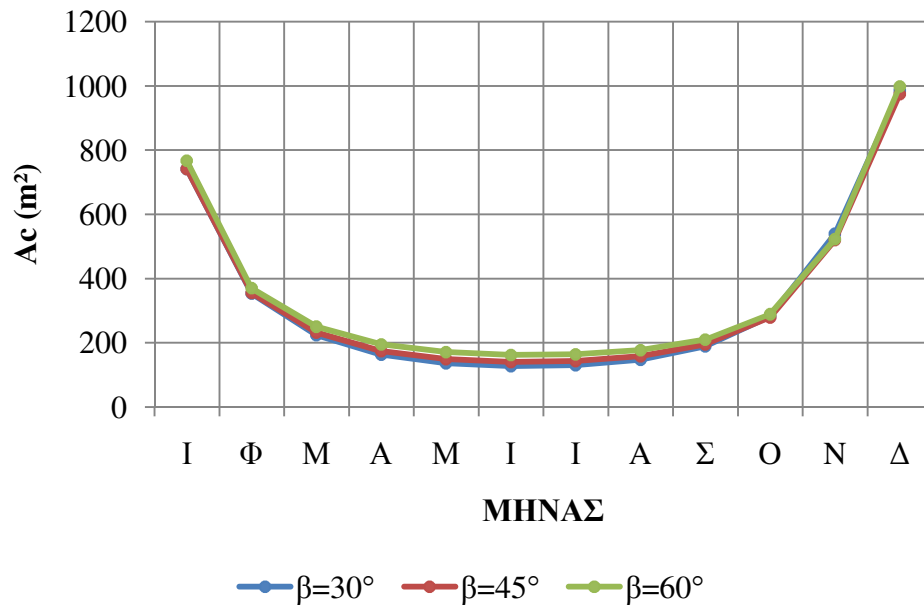


Σχήμα 9.14 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

3) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 70^{\circ}\text{C}$

Πίνακας 9.15 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

A_c (m^2)	$\beta=30^{\circ}$	$\beta=45^{\circ}$	$\beta=60^{\circ}$
ΙΑΝ	741	741	767
ΦΕΒΡ	353	355	370
ΜΑΡΤ	224	232	250
ΑΠΡ	163	174	195
ΜΑΙ	136	149	171
ΙΟΥΝ	127	140	162
ΙΟΥΛ	130	143	164
ΑΥΓ	147	158	177
ΣΕΠΤ	189	195	210
ΟΚΤ	282	279	289
ΝΟΕ	539	520	523
ΔΕΚ	985	974	998



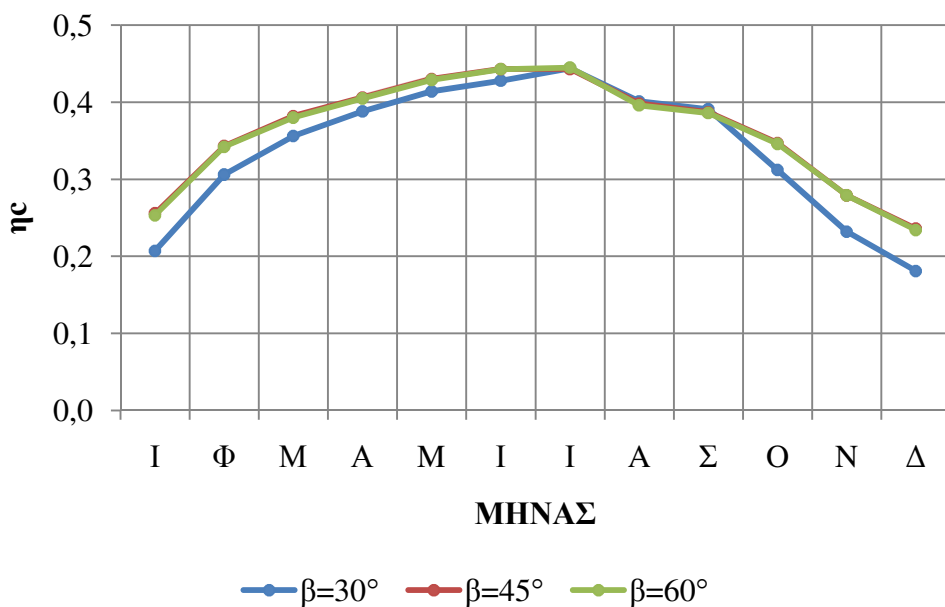
Σχήμα 9.15 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

9.3.2 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη η_c

1) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 50^\circ\text{C}$

Πίνακας 9.16 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

η_c	$\beta=30^\circ$	$\beta=45^\circ$	$\beta=60^\circ$
ΙΑΝ	0,207	0,256	0,253
ΦΕΒ	0,306	0,343	0,342
ΜΑΡΤ	0,356	0,382	0,380
ΑΠΡ	0,388	0,406	0,405
ΜΑΙ	0,414	0,430	0,429
ΙΟΥΝ	0,428	0,443	0,443
ΙΟΥΛ	0,444	0,443	0,445
ΑΥΓ	0,401	0,398	0,396
ΣΕΠΤ	0,391	0,387	0,386
ΟΚΤ	0,312	0,347	0,346
ΝΟΕ	0,232	0,279	0,279
ΔΕΚ	0,181	0,236	0,234

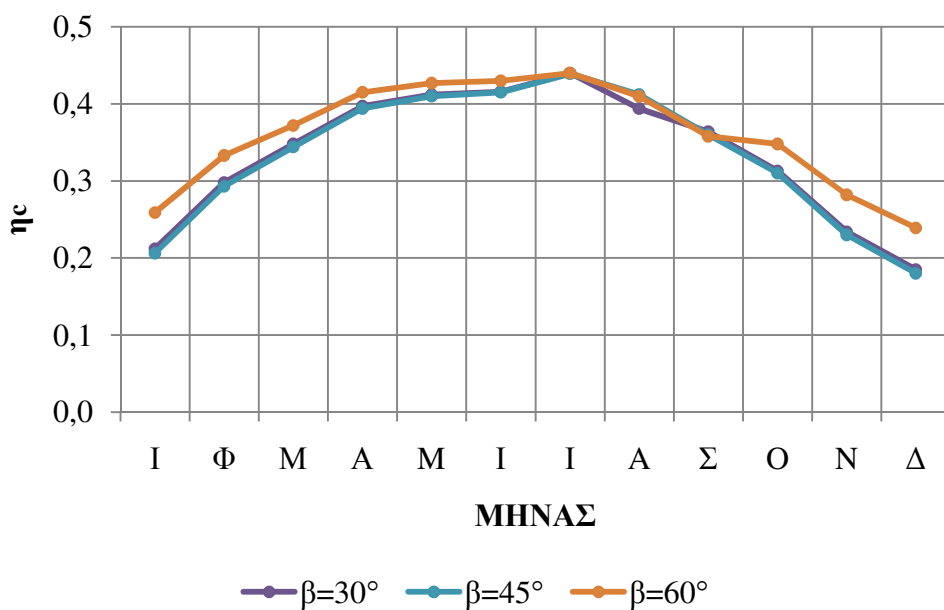


Σχήμα 9.16 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

2) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 60^{\circ}\text{C}$

Πίνακας 9.17 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

η_c	$\beta=30^{\circ}$	$\beta=45^{\circ}$	$\beta=60^{\circ}$
ΙΑΝ	0,212	0,206	0,259
ΦΕΒΡ	0,298	0,293	0,333
ΜΑΡΤ	0,348	0,344	0,372
ΑΠΡ	0,397	0,394	0,415
ΜΑΙ	0,412	0,410	0,427
ΙΟΥΝ	0,416	0,415	0,430
ΙΟΥΛ	0,440	0,439	0,440
ΑΥΓ	0,394	0,412	0,410
ΣΕΠΤ	0,364	0,360	0,358
ΟΚΤ	0,313	0,310	0,348
ΝΟΕ	0,234	0,230	0,282
ΔΕΚ	0,185	0,180	0,239

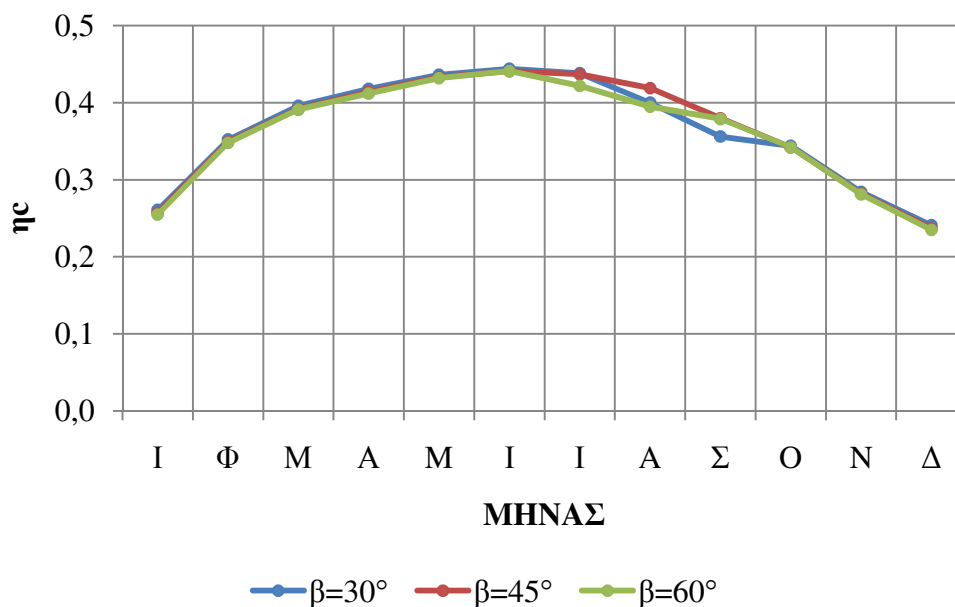


Σχήμα 9.17 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

3) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 70^{\circ}\text{C}$

Πίνακας 9.18 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

η_c	$\beta=30^{\circ}$	$\beta=45^{\circ}$	$\beta=60^{\circ}$
ΙΑΝ	0,261	0,257	0,255
ΦΕΒΡ	0,352	0,349	0,348
ΜΑΡΤ	0,396	0,392	0,391
ΑΠΡ	0,418	0,414	0,412
ΜΑΙ	0,436	0,433	0,432
ΙΟΥΝ	0,444	0,441	0,441
ΙΟΥΛ	0,438	0,437	0,422
ΑΥΓ	0,400	0,419	0,395
ΣΕΠΤ	0,356	0,380	0,379
ΟΚΤ	0,344	0,342	0,342
ΝΟΕ	0,284	0,282	0,281
ΔΕΚ	0,241	0,237	0,235



Σχήμα 9.18 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

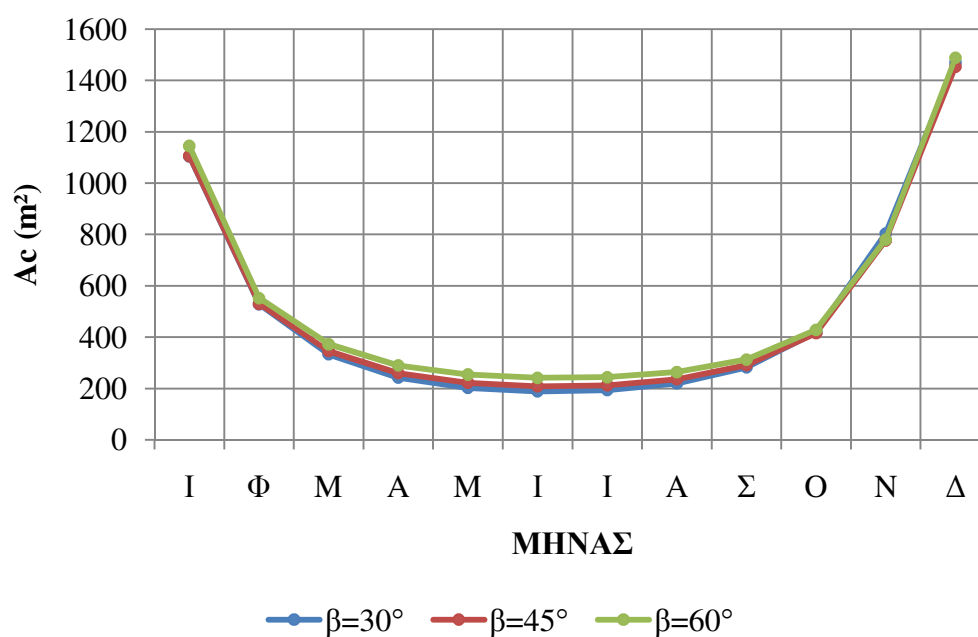
9.4 Βάρος προϊόντος $W=150$ kg

9.4.1 Επιφάνεια συλλέκτη A_c

1) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 50^\circ\text{C}$

Πίνακας 9.19 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

A_c (m^2)	$\beta=30^\circ$	$\beta=45^\circ$	$\beta=60^\circ$
ΙΑΝ	1105	1106	1145
ΦΕΒ	528	530	552
ΜΑΡΤ	334	346	373
ΑΠΡ	243	260	290
ΜΑΙ	203	223	255
ΙΟΥΝ	189	209	242
ΙΟΥΛ	194	213	244
ΑΥΓ	220	236	264
ΣΕΠΤ	282	291	313
ΟΚΤ	420	416	429
ΝΟΕ	804	776	780
ΔΕΚ	1470	1453	1488

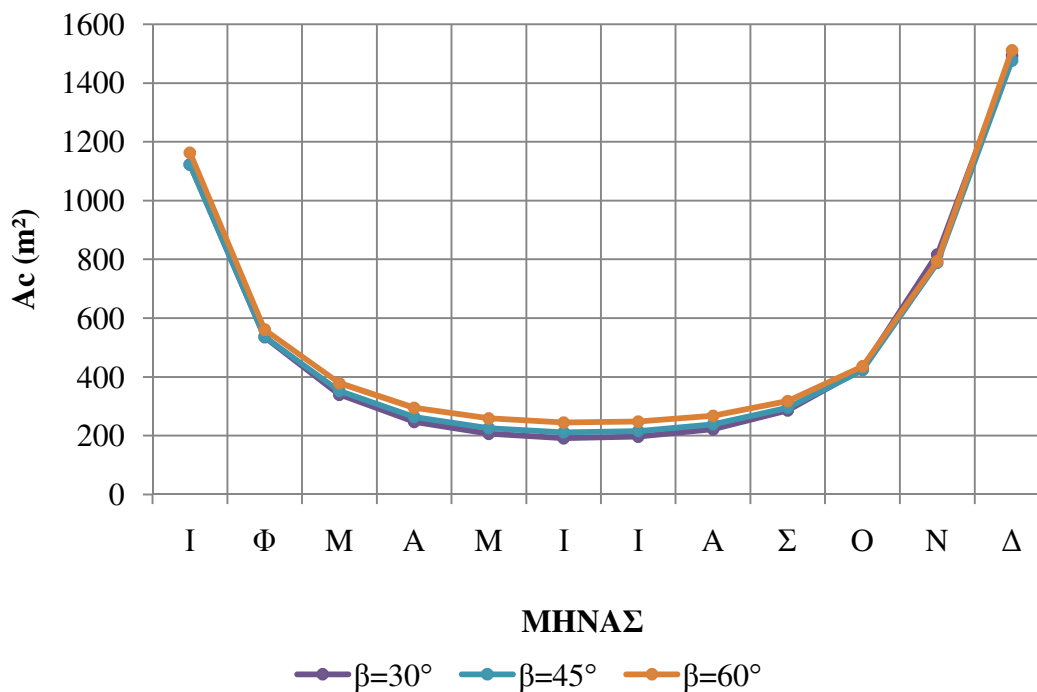


Σχήμα 9.19 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

2) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 60^{\circ}\text{C}$

Πίνακας 9.20 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

A_c (m^2)	$\beta=30^{\circ}$	$\beta=45^{\circ}$	$\beta=60^{\circ}$
ΙΑΝ	1123	1123	1163
ΦΕΒΡ	536	538	561
ΜΑΡΤ	340	352	379
ΑΠΡ	247	264	295
ΜΑΙ	207	226	259
ΙΟΥΝ	192	212	245
ΙΟΥΛ	197	216	248
ΑΥΓ	223	239	268
ΣΕΠΤ	287	296	318
ΟΚΤ	427	423	436
ΝΟΕ	817	788	793
ΔΕΚ	1493	1476	1511

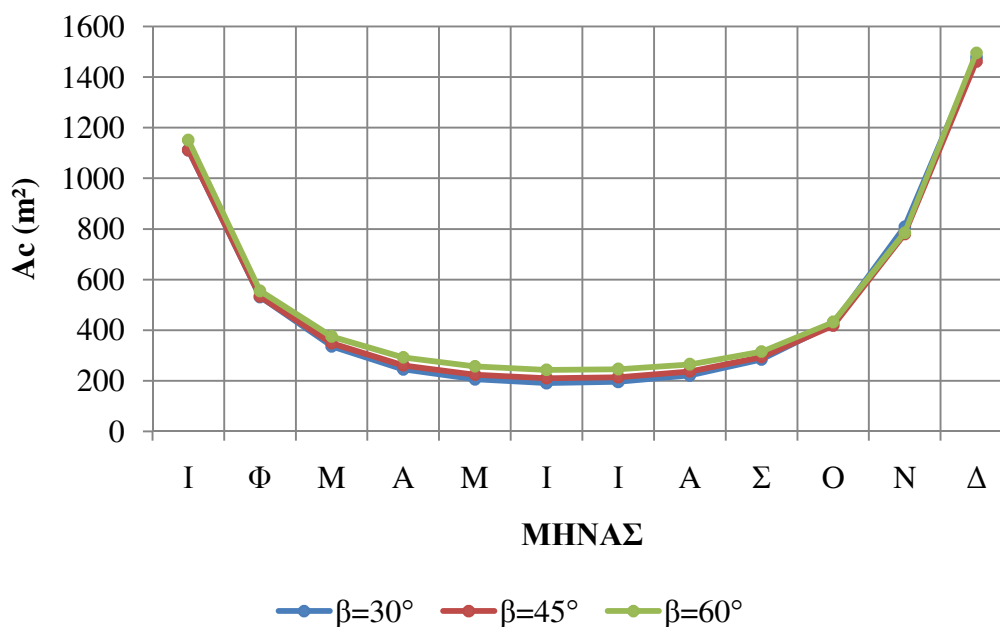


Σχήμα 9.20 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

3) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 70^{\circ}\text{C}$

Πίνακας 9.21 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

A_c (m^2)	$\beta=30^{\circ}$	$\beta=45^{\circ}$	$\beta=60^{\circ}$
ΙΑΝ	1112	1112	1151
ΦΕΒ	531	533	555
ΜΑΡΤ	336	348	375
ΑΠΡ	244	261	292
ΜΑΙ	205	224	257
ΙΟΥΝ	190	210	243
ΙΟΥΛ	195	214	246
ΑΥΓ	221	237	265
ΣΕΠΤ	284	293	315
ΟΚΤ	423	418	432
ΝΟΕ	809	780	785
ΔΕΚ	1478	1462	1496



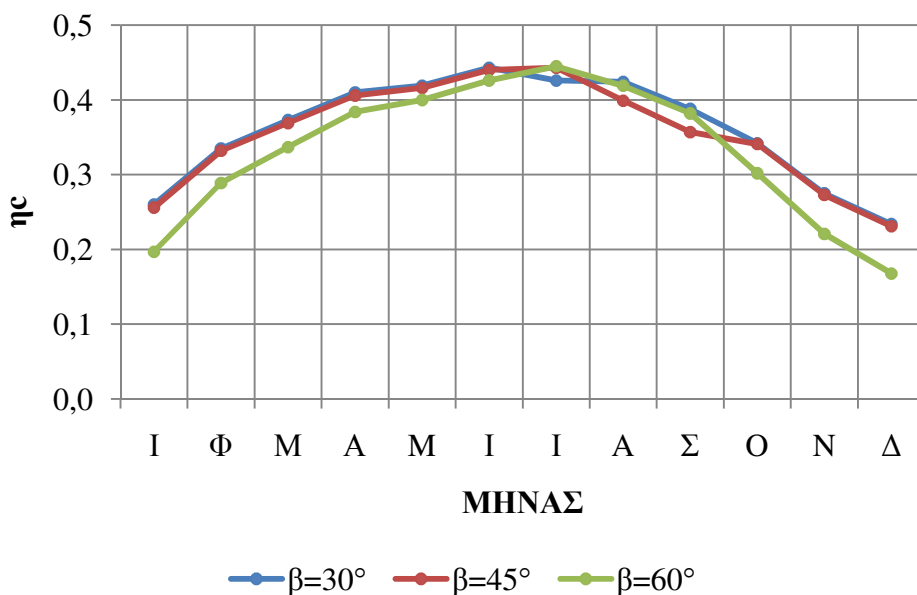
Σχήμα 9.21 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

9.4.2 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη η_c

1) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 50^\circ\text{C}$

Πίνακας 9.22 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

η_c	$\beta=30^\circ$	$\beta=45^\circ$	$\beta=60^\circ$
ΙΑΝ	0,260	0,256	0,197
ΦΕΒΡ	0,335	0,332	0,289
ΜΑΡΤ	0,373	0,369	0,337
ΑΠΡ	0,410	0,406	0,384
ΜΑΙ	0,419	0,416	0,400
ΙΟΥΝ	0,443	0,440	0,426
ΙΟΥΛ	0,426	0,443	0,445
ΑΥΓ	0,424	0,399	0,419
ΣΕΠΤ	0,388	0,357	0,382
ΟΚΤ	0,342	0,341	0,302
ΝΟΕ	0,275	0,273	0,221
ΔΕΚ	0,234	0,231	0,168

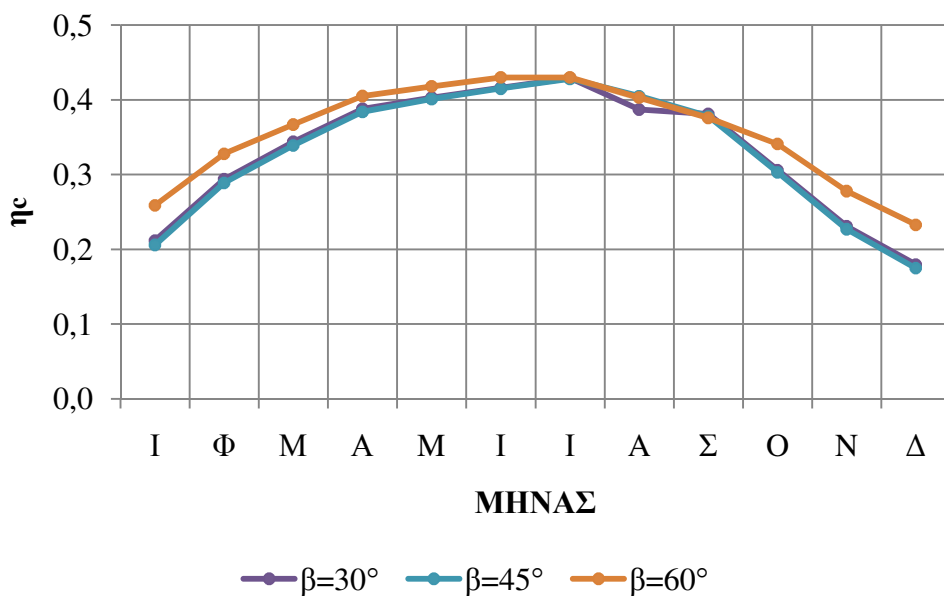


Σχήμα 9.22 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

2) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 60^{\circ}\text{C}$

Πίνακας 9.23 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

η_c	$\beta=30^{\circ}$	$\beta=45^{\circ}$	$\beta=60^{\circ}$
ΙΑΝ	0,212	0,206	0,259
ΦΕΒΡ	0,294	0,289	0,328
ΜΑΡΤ	0,344	0,339	0,367
ΑΠΡ	0,388	0,384	0,405
ΜΑΙ	0,403	0,401	0,418
ΙΟΥΝ	0,416	0,415	0,430
ΙΟΥΛ	0,429	0,428	0,430
ΑΥΓ	0,387	0,405	0,403
ΣΕΠΤ	0,381	0,378	0,376
ΟΚΤ	0,306	0,303	0,341
ΝΟΕ	0,231	0,227	0,278
ΔΕΚ	0,180	0,175	0,233

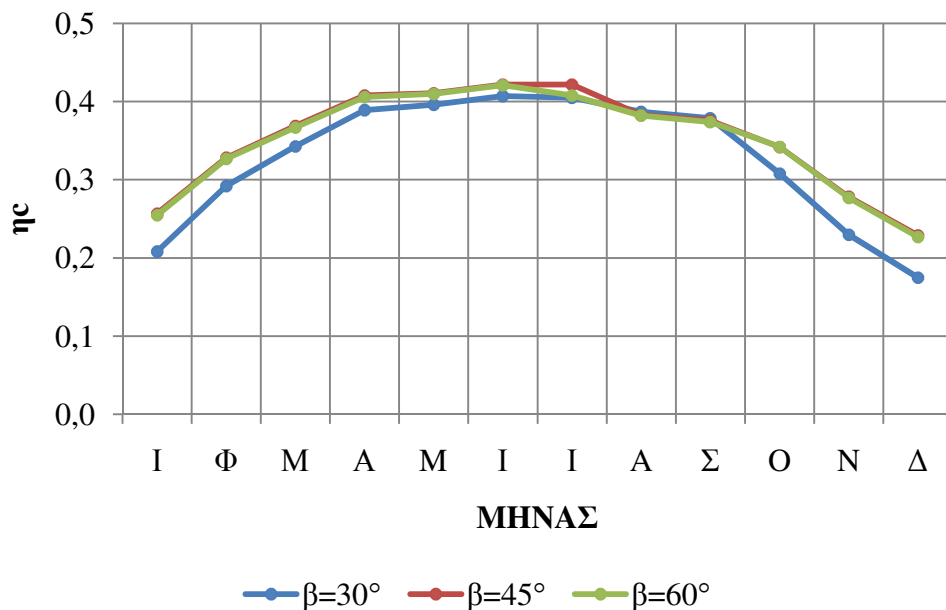


Σχήμα 9.23 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

3) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 70^{\circ}\text{C}$

Πίνακας 9.24 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

η_c	$\beta=30^{\circ}$	$\beta=45^{\circ}$	$\beta=60^{\circ}$
ΙΑΝ	0,208	0,257	0,255
ΦΕΒΡ	0,292	0,328	0,327
ΜΑΡΤ	0,343	0,369	0,367
ΑΠΡ	0,389	0,408	0,406
ΜΑΙ	0,396	0,411	0,410
ΙΟΥΝ	0,407	0,422	0,421
ΙΟΥΛ	0,405	0,422	0,408
ΑΥΓ	0,387	0,383	0,382
ΣΕΠΤ	0,379	0,376	0,374
ΟΚΤ	0,308	0,342	0,342
ΝΟΕ	0,230	0,278	0,277
ΔΕΚ	0,175	0,229	0,227



Σχήμα 9.24 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

10. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Β

10.1 Βάρος προϊόντος W=20 kg

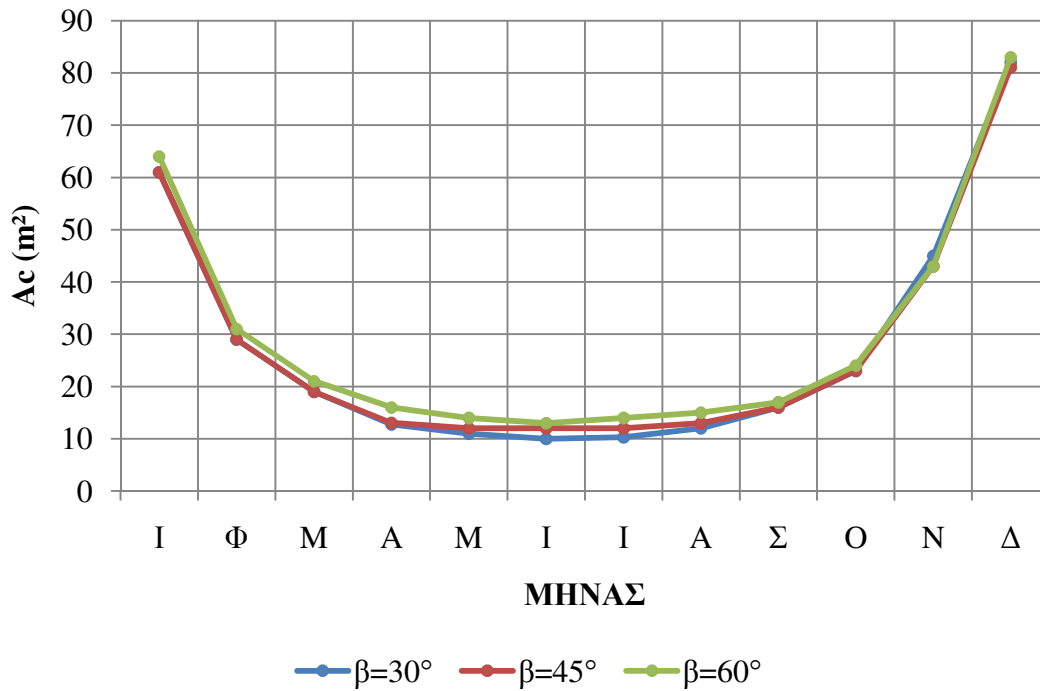
10.1.1 Επιφάνεια συλλέκτη Ac

Διακρίνονται και εδώ τρεις περιπτώσεις ανάλογα με τη θερμοκρασία εξόδου του αέρα από το συλλέκτη που αποτελεί και τη θερμοκρασία ξήρανσης T_{oc} .

4) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 50^{\circ}\text{C}$

Πίνακας 10.1 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και γωνία κλίσης β

Ac (m²)	$\beta=30^{\circ}$	$\beta=45^{\circ}$	$\beta=60^{\circ}$
ΙΑΝ	61	61	64
ΦΕΒΡ	29	29	31
ΜΑΡΤ	19	19	21
ΑΠΡ	13	13	16
ΜΑΙ	11	12	14
ΙΟΥΝ	10	12	13
ΙΟΥΛ	10	12	14
ΑΥΓ	12	13	15
ΣΕΠΤ	16	16	17
ΟΚΤ	23	23	24
ΝΟΕ	45	43	43
ΔΕΚ	82	81	83

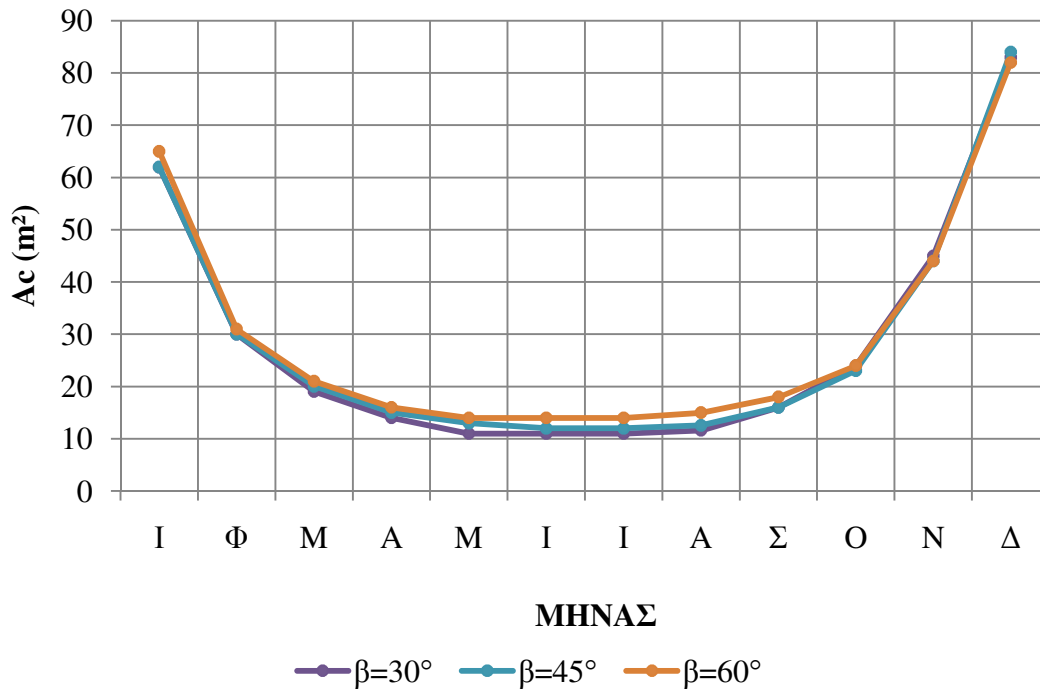


Σχήμα 10.1 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

5) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 60^{\circ}\text{C}$

Πίνακας 10.2 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και γωνία κλίσης β

A_c (m^2)	$\beta=30^{\circ}$	$\beta=45^{\circ}$	$\beta=60^{\circ}$
ΙΑΝ	62	62	65
ΦΕΒ	30	30	31
ΜΑΡΤ	19	20	21
ΑΠΡ	14	15	16
ΜΑΙ	11	13	14
ΙΟΥΝ	11	12	14
ΙΟΥΛ	11	12	14
ΑΥΓ	12	13	15
ΣΕΠΤ	16	16	18
ΟΚΤ	24	23	24
ΝΟΕ	45	44	44
ΔΕΚ	83	84	82

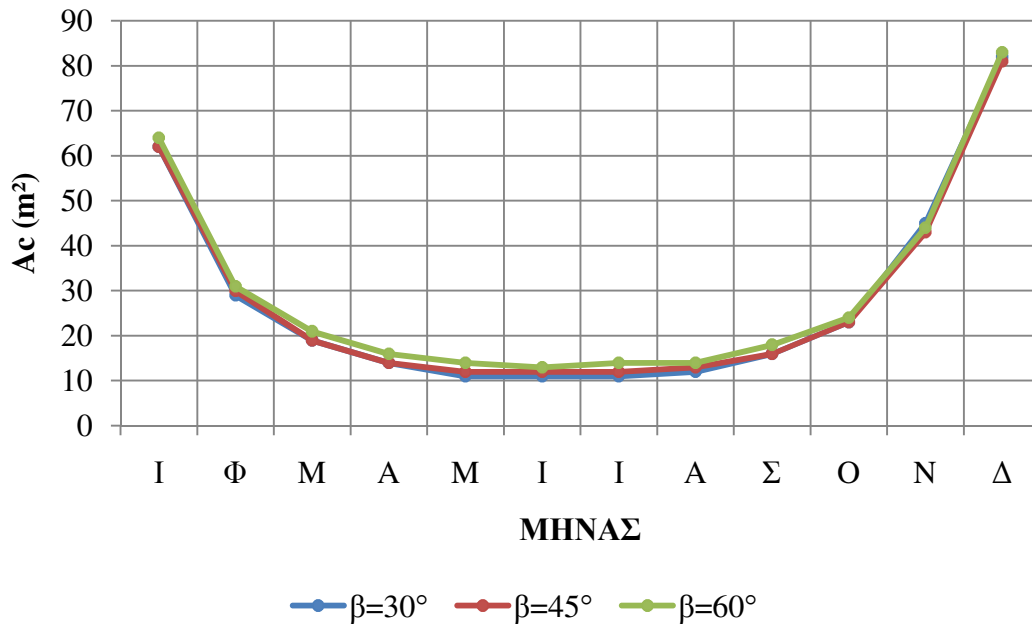


Σχήμα 10.2 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

6) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 70^{\circ}\text{C}$

Πίνακας 10.3 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και γωνία κλίσης β

Ac (m ²)	β=30°	β=45°	β=60°
ΙΑΝ	62	62	64
ΦΕΒΡ	29	30	31
ΜΑΡΤ	19	19	21
ΑΠΡ	14	14	16
ΜΑΙ	11	12	14
ΙΟΥΝ	11	12	13
ΙΟΥΛ	11	12	14
ΑΥΓ	12	13	14
ΣΕΠΤ	16	16	18
ΟΚΤ	23	23	24
ΝΟΕ	45	43	44
ΔΕΚ	82	81	83



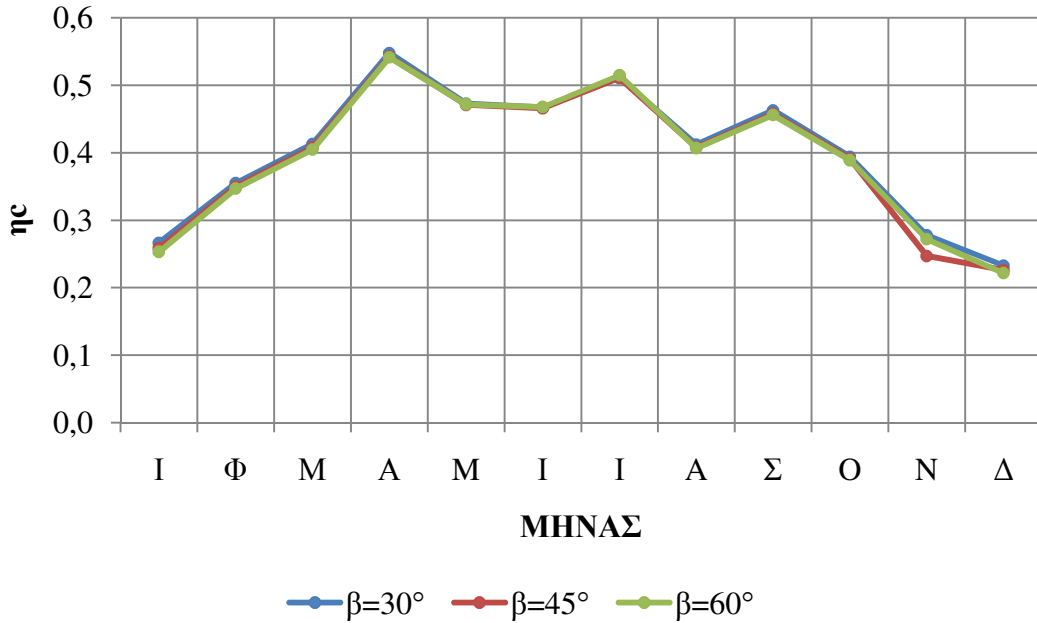
Σχήμα 10.3 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

10.1.2 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη η_c

1) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 50^\circ\text{C}$

Πίνακας 10.4 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και γωνία κλίσης β

η_c	$\beta=30^\circ$	$\beta=45^\circ$	$\beta=60^\circ$
ΙΑΝ	0,267	0,259	0,253
ΦΕΒ	0,355	0,350	0,347
ΜΑΡ	0,413	0,408	0,405
ΑΠΡ	0,548	0,543	0,542
ΜΑΙ	0,473	0,471	0,472
ΙΟΥΝ	0,467	0,466	0,468
ΙΟΥΛ	0,511	0,511	0,515
ΑΥΓ	0,412	0,408	0,407
ΣΕΠ	0,463	0,458	0,456
ΟΚΤ	0,394	0,391	0,389
ΝΟΕ	0,278	0,247	0,272
ΔΕΚ	0,233	0,226	0,222

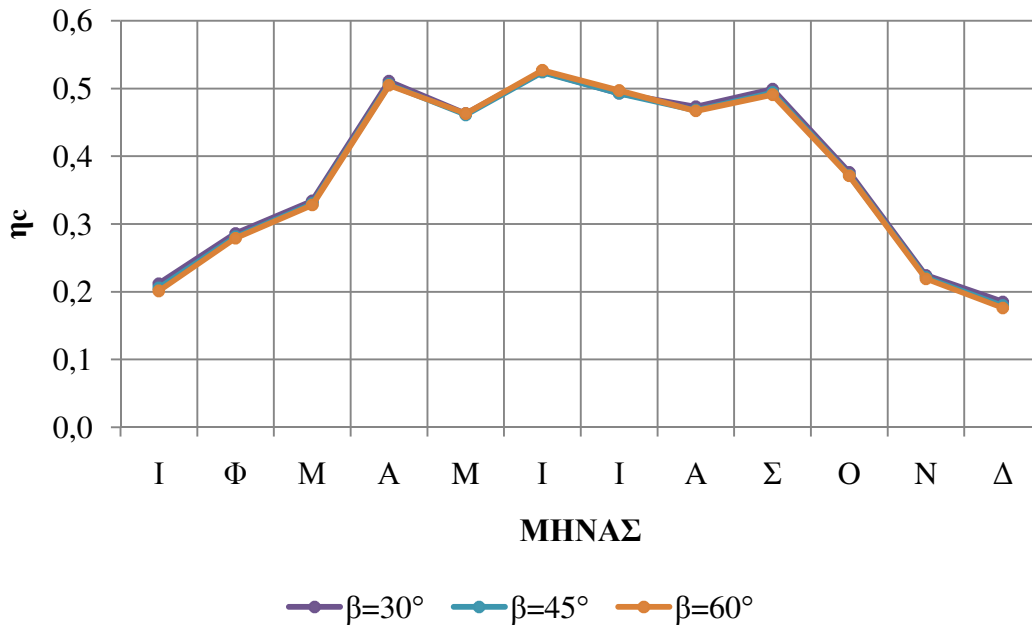


Σχήμα 10.4 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

2) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 60^{\circ}\text{C}$

Πίνακας 10.5 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και γωνία κλίσης β

η_c	$\beta=30^{\circ}$	$\beta=45^{\circ}$	$\beta=60^{\circ}$
ΙΑΝ	0,237	0,233	0,234
ΦΕΒΡ	0,313	0,307	0,299
ΜΑΡΤ	0,369	0,361	0,366
ΑΠΡ	0,583	0,567	0,574
ΜΑΙ	0,517	0,501	0,492
ΙΟΥΝ	0,583	0,578	0,573
ΙΟΥΛ	0,558	0,544	0,54
ΑΥΓ	0,559	0,55	0,545
ΣΕΠΤ	0,612	0,602	0,603
ΟΚΤ	0,464	0,462	0,447
ΝΟΕ	0,253	0,248	0,251
ΔΕΚ	0,219	0,216	0,217

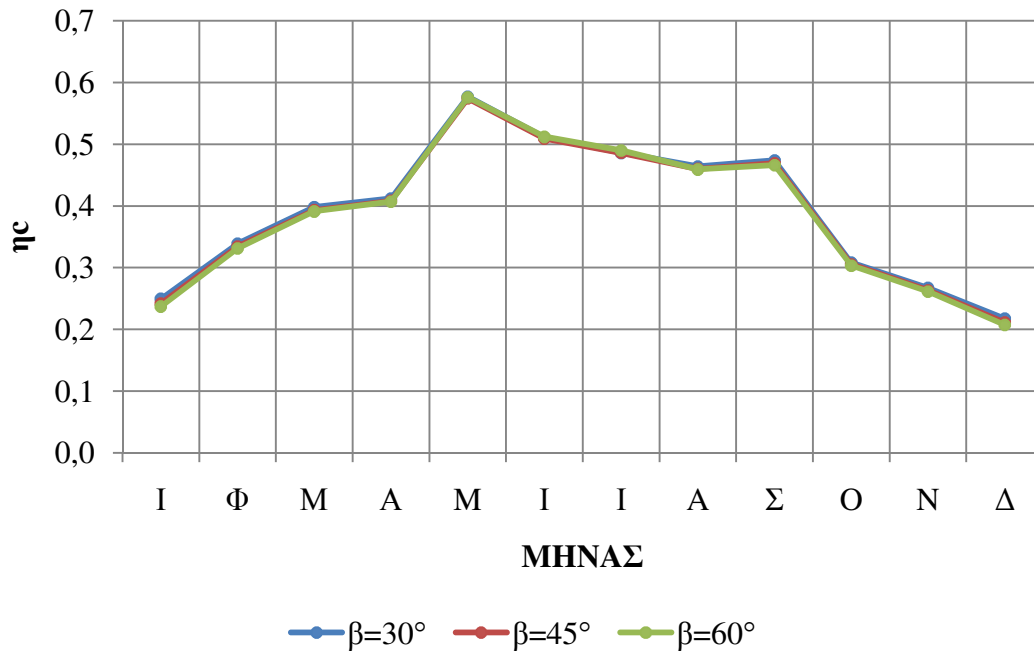


Σχήμα 10.5 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

3) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 70^{\circ}\text{C}$

Πίνακας 10.6 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και γωνία κλίσης β

η_c	$\beta=30^{\circ}$	$\beta=45^{\circ}$	$\beta=60^{\circ}$
ΙΑΝ	0,279	0,275	0,276
ΦΕΒ	0,372	0,364	0,356
ΜΑΡ	0,44	0,43	0,436
ΑΠΡ	0,47	0,457	0,464
ΜΑΙ	0,644	0,625	0,614
ΙΟΥΝ	0,568	0,563	0,558
ΙΟΥΛ	0,551	0,537	0,533
ΑΥΓ	0,55	0,542	0,537
ΣΕΠ	0,582	0,573	0,574
ΟΚΤ	0,38	0,378	0,366
ΝΟΕ	0,301	0,296	0,298
ΔΕΚ	0,258	0,255	0,255



Σχήμα 10.6 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

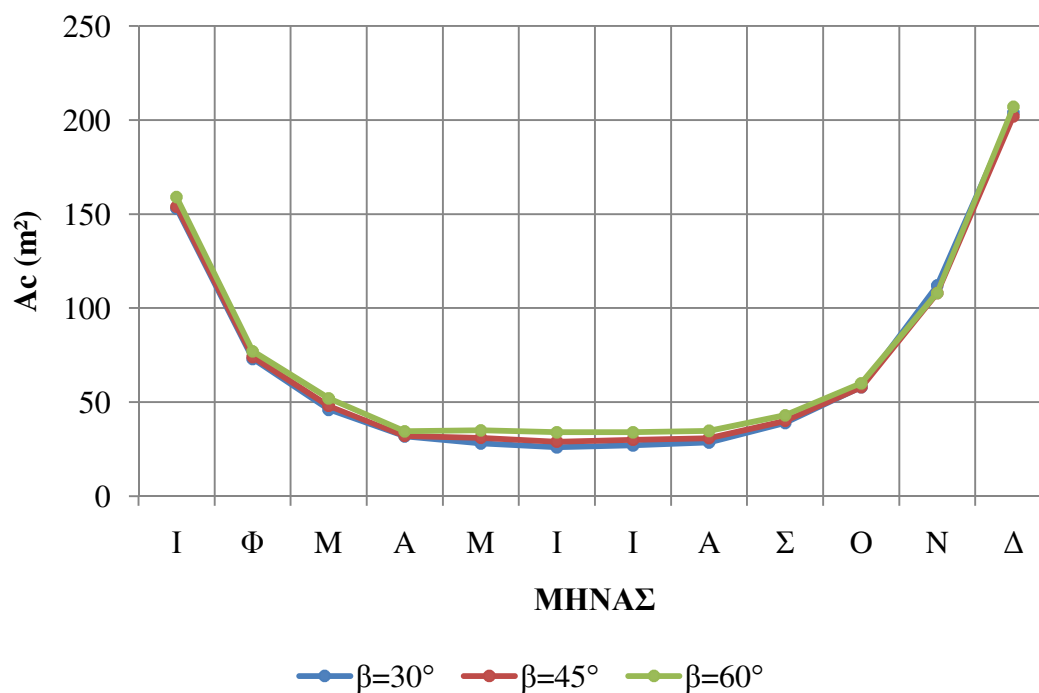
10.2 Βάρος προϊόντος $W=50$ kg

10.2.1 Επιφάνεια συλλέκτη A_c

1) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 50^\circ\text{C}$

Πίνακας 10.7 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και γωνία κλίσης β

A_c (m^2)	$\beta=30^\circ$	$\beta=45^\circ$	$\beta=60^\circ$
ΙΑΝ	153	154	159
ΦΕΒ	73	74	77
ΜΑΡΤ	46	48	52
ΑΠΡ	32	32	34
ΜΑΙ	28	31	35
ΙΟΥΝ	26	29	34
ΙΟΥΛ	27	30	34
ΑΥΓ	29	31	35
ΣΕΠΤ	39	40	43
ΟΚΤ	58	58	60
ΝΟΕ	112	108	108
ΔΕΚ	204	202	207

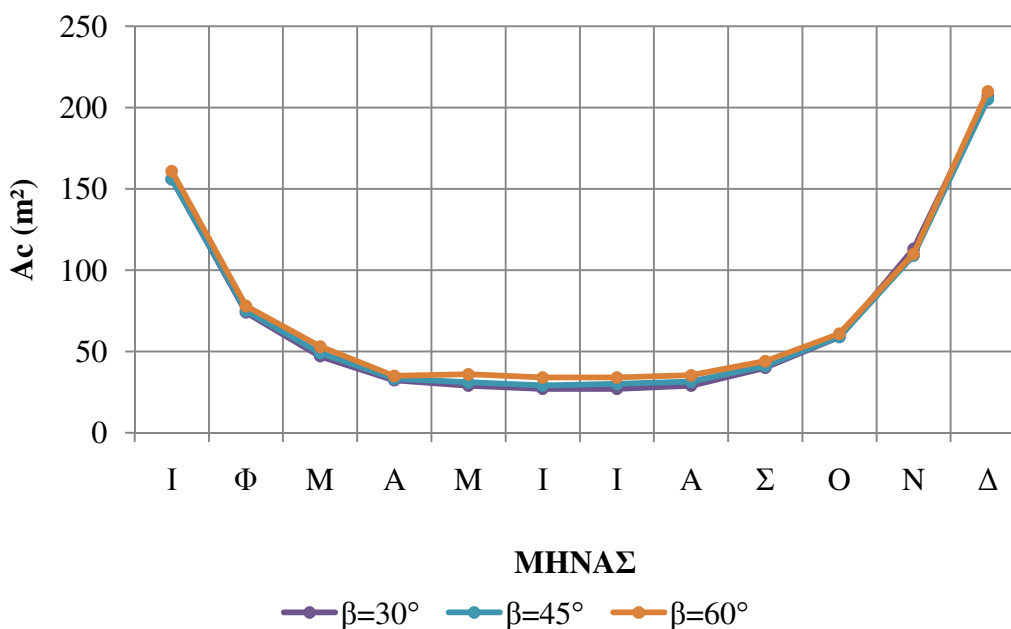


Σχήμα 10.7 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

2) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 60^{\circ}\text{C}$

Πίνακας 10.8 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και γωνία κλίσης β

A_c (m^2)	$\beta=30^{\circ}$	$\beta=45^{\circ}$	$\beta=60^{\circ}$
ΙΑΝ	156	156	161
ΦΕΒΡ	74	75	78
ΜΑΡΤ	47	49	53
ΑΠΡ	32	33	35
ΜΑΙ	29	31	36
ΙΟΥΝ	27	29	34
ΙΟΥΛ	27	30	34
ΑΥΓ	29	31	35
ΣΕΠΤ	40	41	44
ΟΚΤ	59	59	61
ΝΟΕ	113	109	110
ΔΕΚ	207	205	210

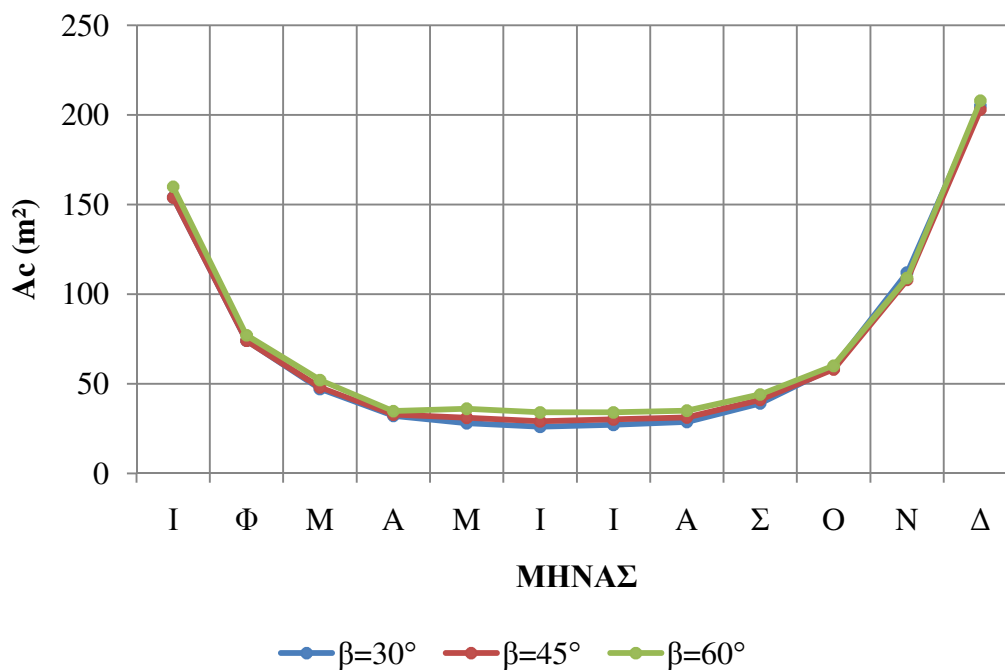


Σχήμα 10.8 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

3) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 70^{\circ}\text{C}$

Πίνακας 10.9 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και γωνία κλίσης β

A_c (m^2)	$\beta=30^{\circ}$	$\beta=45^{\circ}$	$\beta=60^{\circ}$
ΙΑΝ	154	154	160
ΦΕΒ	74	74	77
ΜΑΡ	47	48	52
ΑΠΡ	32	33	35
ΜΑΙ	28	31	36
ΙΟΥΝ	26	29	34
ΙΟΥΛ	27	30	34
ΑΥΓ	29	31	35
ΣΕΠ	39	41	44
ΟΚΤ	59	58	60
ΝΟΕ	112	108	109
ΔΕΚ	205	203	208



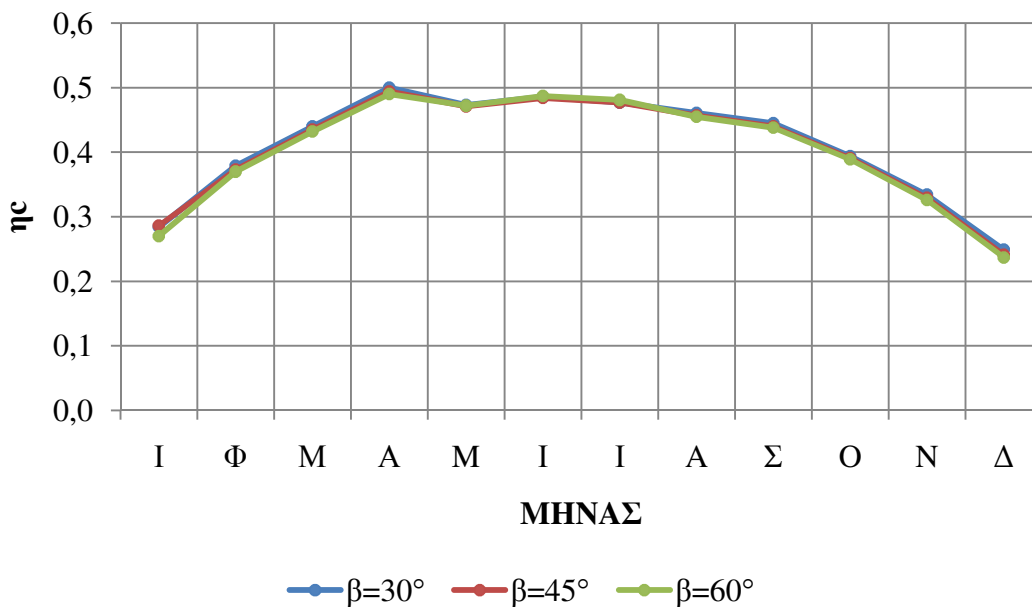
Σχήμα 10.9 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

10.2.2 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη η_c

1) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 50^\circ\text{C}$

Πίνακας 10.8 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και γωνία κλίσης β

η_c	$\beta=30^\circ$	$\beta=45^\circ$	$\beta=60^\circ$
ΙΑΝ	0,284	0,286	0,270
ΦΕΒΡ	0,379	0,373	0,370
ΜΑΡΤ	0,440	0,435	0,432
ΑΠΡ	0,500	0,494	0,490
ΜΑΙ	0,473	0,471	0,472
ΙΟΥΝ	0,486	0,484	0,487
ΙΟΥΛ	0,477	0,477	0,481
ΑΥΓ	0,461	0,457	0,455
ΣΕΠΤ	0,445	0,440	0,438
ΟΚΤ	0,394	0,391	0,389
ΝΟΕ	0,334	0,329	0,326
ΔΕΚ	0,249	0,241	0,237

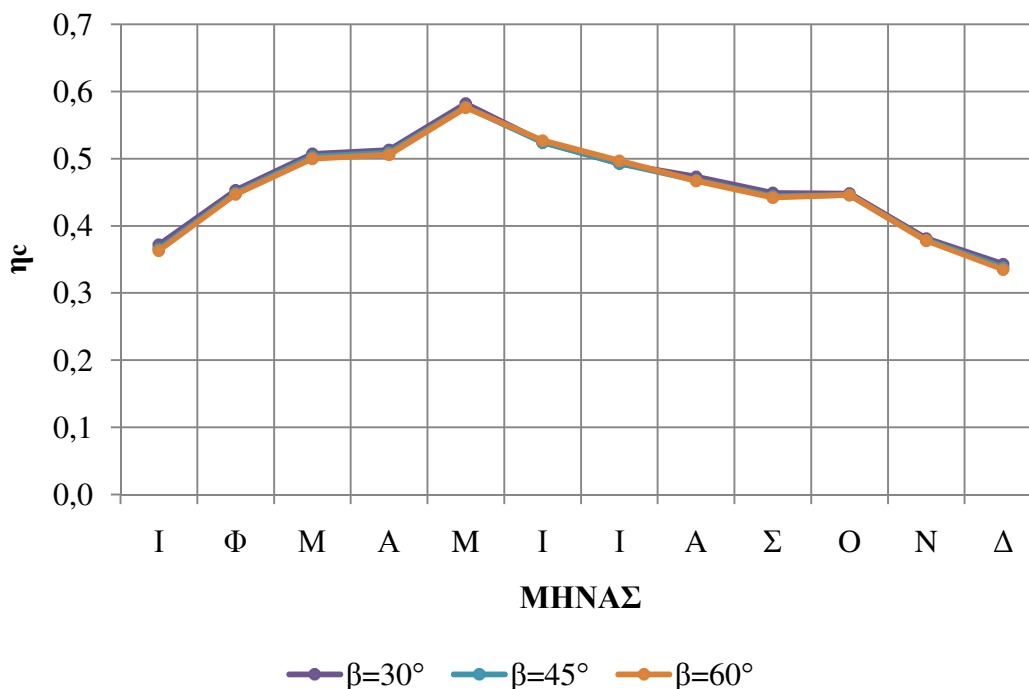


Σχήμα 10.10 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

2) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 60^{\circ}\text{C}$

Πίνακας 10.11 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και γωνία κλίσης β

η_c	$\beta=30^{\circ}$	$\beta=45^{\circ}$	$\beta=60^{\circ}$
ΙΑΝ	0,372	0,366	0,363
ΦΕΒΡ	0,453	0,449	0,447
ΜΑΡΤ	0,507	0,503	0,500
ΑΠΡ	0,513	0,509	0,506
ΜΑΙ	0,582	0,577	0,576
ΙΟΥΝ	0,525	0,524	0,527
ΙΟΥΛ	0,493	0,493	0,497
ΑΥΓ	0,473	0,468	0,467
ΣΕΠΤ	0,449	0,444	0,442
ΟΚΤ	0,448	0,446	0,446
ΝΟΕ	0,381	0,379	0,378
ΔΕΚ	0,343	0,338	0,335

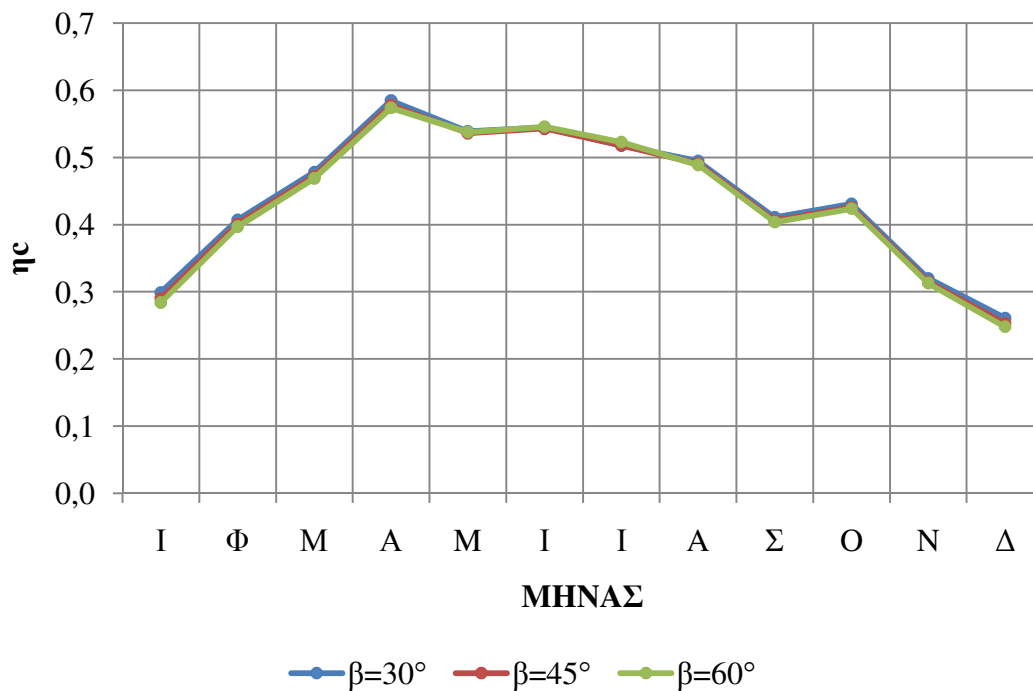


Σχήμα 10.11 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

3) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 70^{\circ}\text{C}$

Πίνακας 10.12 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

η_c	$\beta=30^{\circ}$	$\beta=45^{\circ}$	$\beta=60^{\circ}$
ΙΑΝ	0,299	0,290	0,284
ΦΕΒΡ	0,407	0,401	0,397
ΜΑΡΤ	0,478	0,472	0,469
ΑΠΡ	0,585	0,578	0,574
ΜΑΙ	0,539	0,536	0,538
ΙΟΥΝ	0,545	0,543	0,546
ΙΟΥΛ	0,518	0,518	0,523
ΑΥΓ	0,495	0,491	0,489
ΣΕΠΤ	0,411	0,406	0,404
ΟΚΤ	0,431	0,426	0,424
ΝΟΕ	0,320	0,315	0,313
ΔΕΚ	0,261	0,253	0,248



Σχήμα 10.12 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

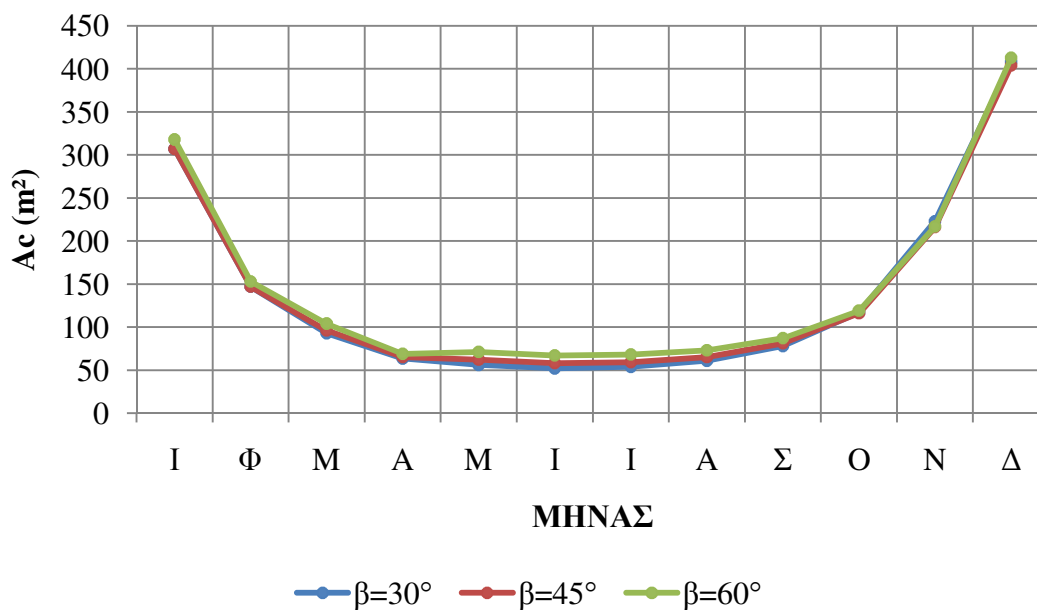
10.3 Βάρος προϊόντος $W=100$ kg

10.3.1 Επιφάνεια συλλέκτη A_c

1) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 50^\circ\text{C}$

Πίνακας 10.13 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

A_c (m^2)	$\beta=30^\circ$	$\beta=45^\circ$	$\beta=60^\circ$
ΙΑΝ	307	307	318
ΦΕΒ	147	147	153
ΜΑΡΤ	93	96	104
ΑΠΡ	64	65	69
ΜΑΙ	56	62	71
ΙΟΥΝ	52	58	67
ΙΟΥΛ	54	59	68
ΑΥΓ	61	65	73
ΣΕΠΤ	78	81	87
ΟΚΤ	117	116	119
ΝΟΕ	223	216	217
ΔΕΚ	408	404	413

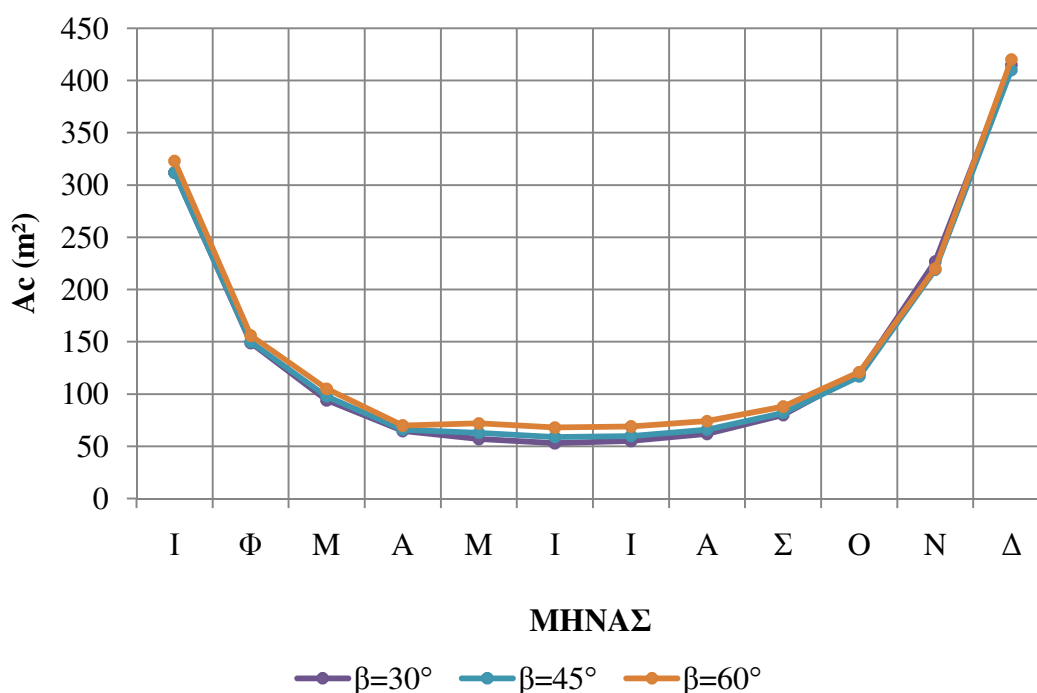


Σχήμα 10.13 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

2) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 60^{\circ}\text{C}$

Πίνακας 10.14 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

A_c (m^2)	$\beta=30^{\circ}$	$\beta=45^{\circ}$	$\beta=60^{\circ}$
ΙΑΝ	312	312	323
ΦΕΒ	149	150	156
ΜΑΡΤ	94	98	105
ΑΠΡ	65	66	70
ΜΑΙ	57	63	72
ΙΟΥΝ	53	59	68
ΙΟΥΛ	55	60	69
ΑΥΓ	62	66	74
ΣΕΠΤ	80	82	88
ΟΚΤ	119	117	121
ΝΟΕ	227	219	220
ΔΕΚ	415	410	420

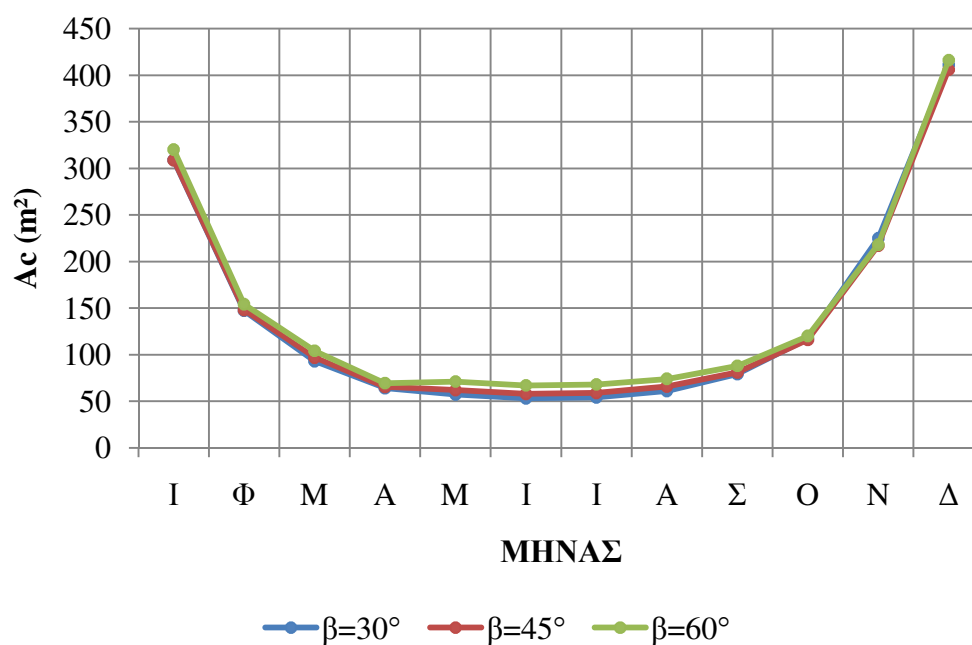


Σχήμα 10.14 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

3) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 70^{\circ}\text{C}$

Πίνακας 10.15 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

A_c (m^2)	$\beta=30^{\circ}$	$\beta=45^{\circ}$	$\beta=60^{\circ}$
ΙΑΝ	309	309	320
ΦΕΒ	147	148	154
ΜΑΡΤ	93	97	104
ΑΠΡ	64	65	69
ΜΑΙ	57	62	71
ΙΟΥΝ	53	58	67
ΙΟΥΛ	54	59	68
ΑΥΓ	61	66	74
ΣΕΠΤ	79	81	88
ΟΚΤ	117	116	120
ΝΟΕ	225	217	218
ΔΕΚ	411	406	416



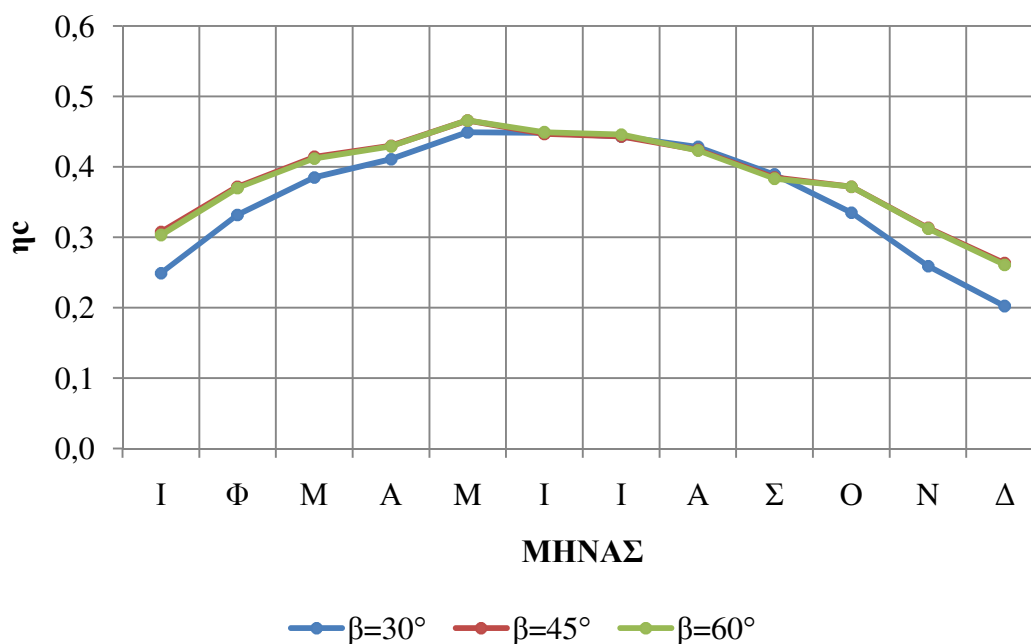
Σχήμα 10.15 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

10.3.2 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη η_c

1) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 50^\circ\text{C}$

Πίνακας 10.16 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

η_c	$\beta=30^\circ$	$\beta=45^\circ$	$\beta=60^\circ$
ΙΑΝ	0,249	0,307	0,303
ΦΕΒ	0,332	0,372	0,370
ΜΑΡΤ	0,385	0,414	0,412
ΑΠΡ	0,411	0,430	0,429
ΜΑΙ	0,449	0,466	0,466
ΙΟΥΝ	0,448	0,447	0,449
ΙΟΥΛ	0,443	0,443	0,446
ΑΥΓ	0,428	0,424	0,423
ΣΕΠΤ	0,389	0,385	0,383
ΟΚΤ	0,335	0,372	0,372
ΝΟΕ	0,259	0,313	0,312
ΔΕΚ	0,202	0,263	0,261

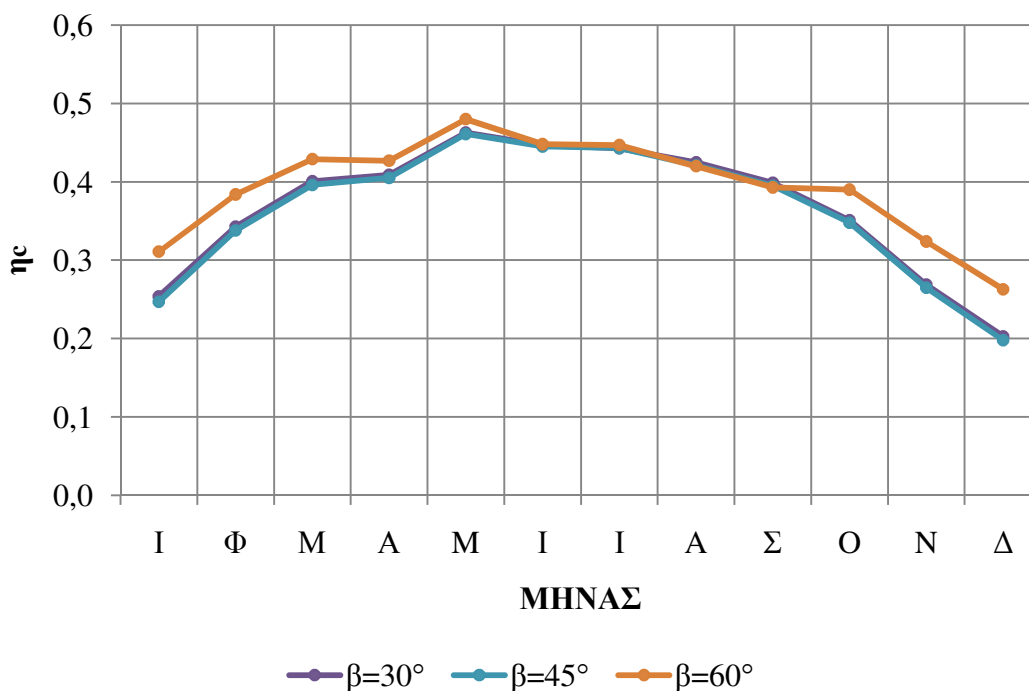


Σχήμα 10.16 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

2) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 60^{\circ}\text{C}$

Πίνακας 10.17 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

η_c	$\beta=30^{\circ}$	$\beta=45^{\circ}$	$\beta=60^{\circ}$
ΙΑΝ	0,254	0,247	0,311
ΦΕΒΡ	0,343	0,338	0,384
ΜΑΡΤ	0,401	0,396	0,429
ΑΠΡ	0,409	0,405	0,427
ΜΑΙ	0,463	0,461	0,480
ΙΟΥΝ	0,447	0,445	0,448
ΙΟΥΛ	0,443	0,443	0,447
ΑΥΓ	0,425	0,421	0,420
ΣΕΠΤ	0,399	0,395	0,393
ΟΚΤ	0,351	0,348	0,390
ΝΟΕ	0,269	0,265	0,324
ΔΕΚ	0,203	0,198	0,263

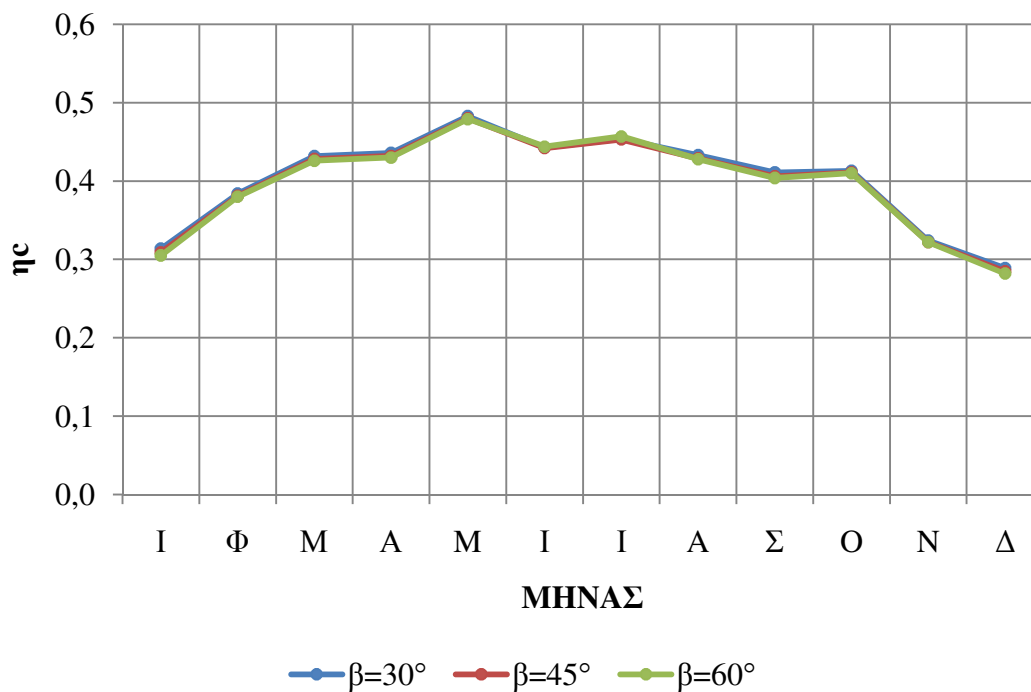


Σχήμα 10.17 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

3) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 70^{\circ}\text{C}$

Πίνακας 10.18 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

η_c	$\beta=30^{\circ}$	$\beta=45^{\circ}$	$\beta=60^{\circ}$
ΙΑΝ	0,314	0,309	0,305
ΦΕΒΡ	0,384	0,381	0,380
ΜΑΡΤ	0,432	0,428	0,426
ΑΠΡ	0,436	0,432	0,430
ΜΑΙ	0,483	0,480	0,479
ΙΟΥΝ	0,443	0,442	0,444
ΙΟΥΛ	0,454	0,453	0,457
ΑΥΓ	0,433	0,429	0,428
ΣΕΠΤ	0,411	0,406	0,404
ΟΚΤ	0,413	0,411	0,410
ΝΟΕ	0,324	0,322	0,322
ΔΕΚ	0,289	0,285	0,282



Σχήμα 10.18 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

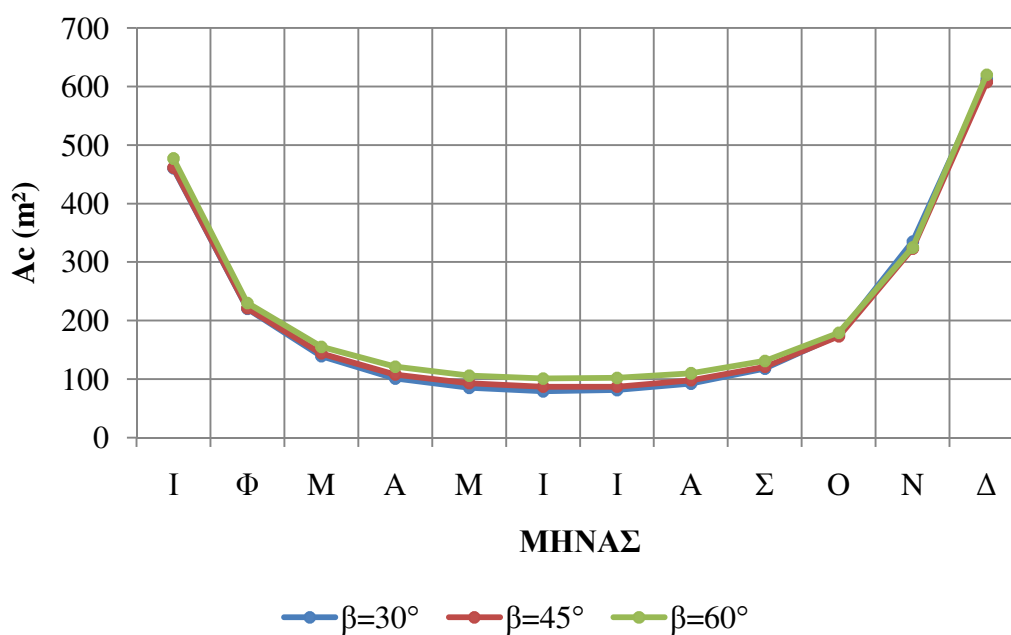
10.4 Βάρος προϊόντος $W=150$ kg

10.4.1 Επιφάνεια συλλέκτη A_c

1) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 50^\circ\text{C}$

Πίνακας 10.19 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

A_c (m^2)	$\beta=30^\circ$	$\beta=45^\circ$	$\beta=60^\circ$
ΙΑΝ	460	461	477
ΦΕΒ	220	221	230
ΜΑΡΤ	139	144	155
ΑΠΡ	101	108	121
ΜΑΙ	85	93	106
ΙΟΥΝ	79	87	101
ΙΟΥΛ	81	87	102
ΑΥΓ	92	98	110
ΣΕΠΤ	118	121	131
ΟΚΤ	175	173	179
ΝΟΕ	335	323	325
ΔΕΚ	612	607	620

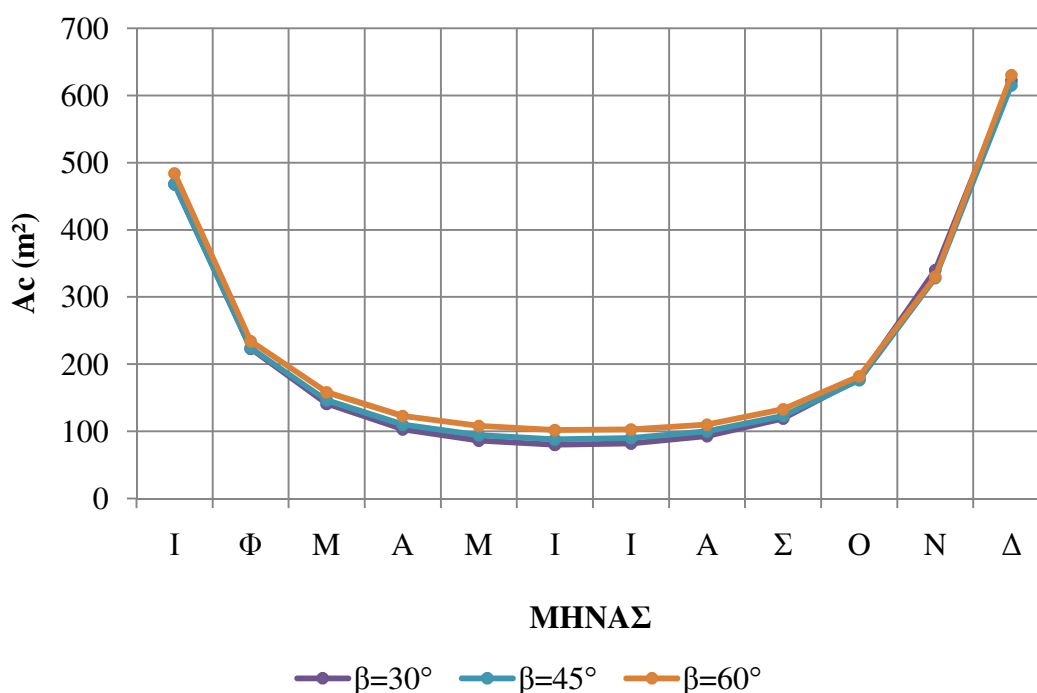


Σχήμα 10.19 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

2) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 60^{\circ}\text{C}$

Πίνακας 10.20 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

A_c (m^2)	$\beta=30^{\circ}$	$\beta=45^{\circ}$	$\beta=60^{\circ}$
ΙΑΝ	468	468	484
ΦΕΒ	223	224	234
ΜΑΡΤ	141	146	158
ΑΠΡ	103	110	123
ΜΑΙ	86	94	108
ΙΟΥΝ	80	88	102
ΙΟΥΛ	82	90	103
ΑΥΓ	93	100	110
ΣΕΠΤ	119	123	133
ΟΚΤ	178	176	182
ΝΟΕ	340	328	330
ΔΕΚ	622	615	630

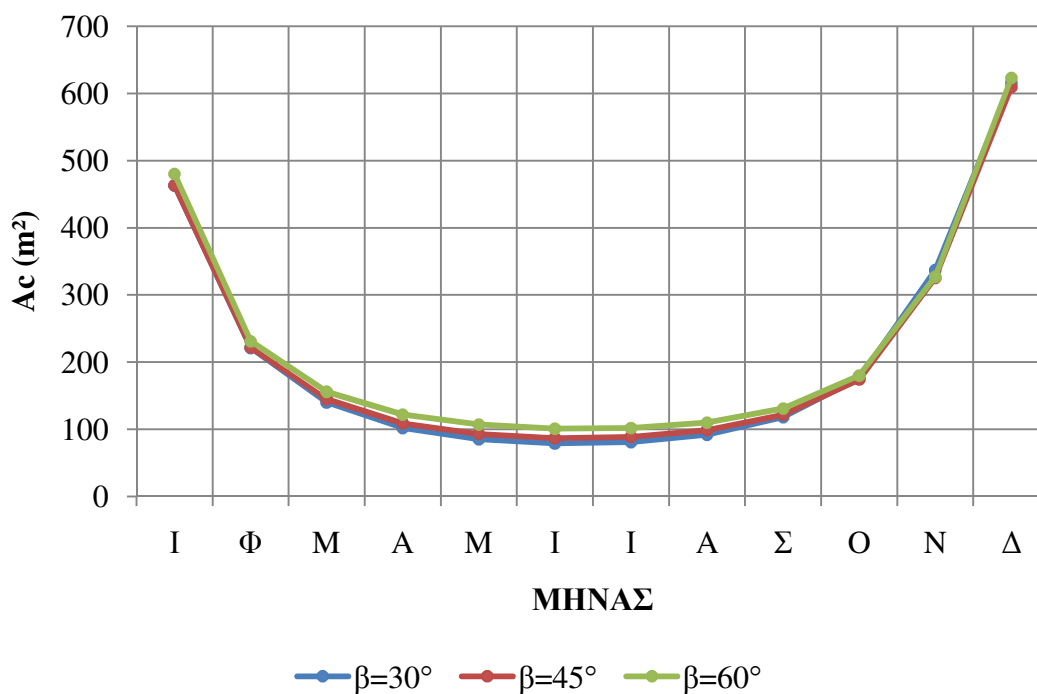


Σχήμα 10.20 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

3) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 70^{\circ}\text{C}$

Πίνακας 10.21 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

A_c (m^2)	$\beta=30^{\circ}$	$\beta=45^{\circ}$	$\beta=60^{\circ}$
ΙΑΝ	463	463	480
ΦΕΒΡ	221	222	231
ΜΑΡΤ	140	145	156
ΑΠΡ	102	109	122
ΜΑΙ	85	93	107
ΙΟΥΝ	79	87	101
ΙΟΥΛ	81	89	102
ΑΥΓ	92	99	110
ΣΕΠΤ	118	122	131
ΟΚΤ	176	174	180
ΝΟΕ	337	325	327
ΔΕΚ	616	609	623



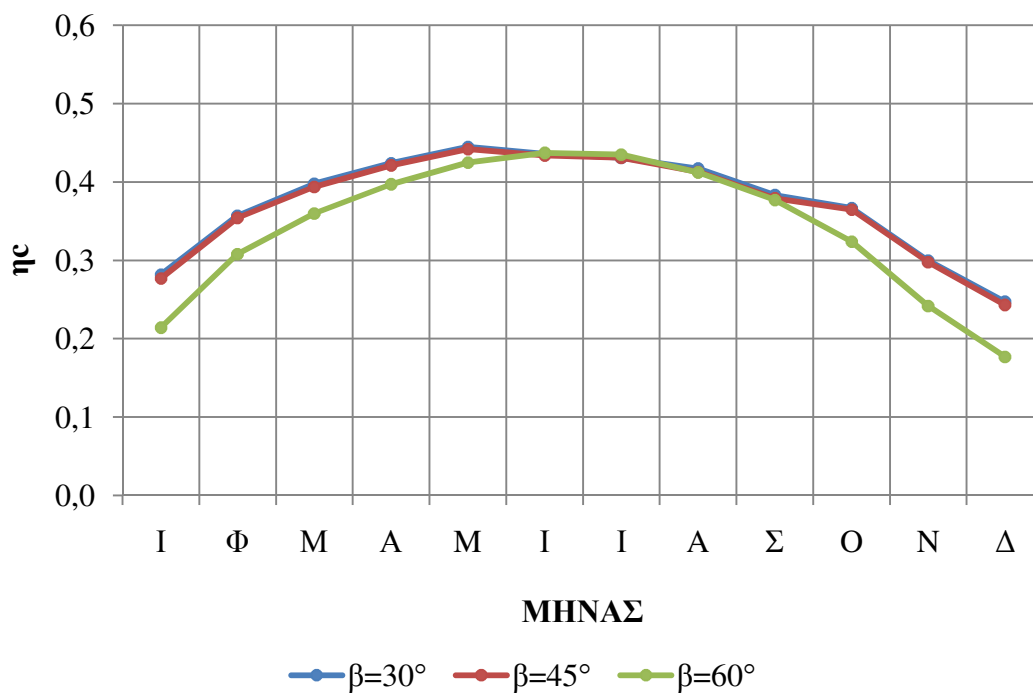
Σχήμα 10.21 Επιφάνεια συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

10.4.2 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη η_c

1) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 50^\circ\text{C}$

Πίνακας 10.22 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

η_c	$\beta=30^\circ$	$\beta=45^\circ$	$\beta=60^\circ$
ΙΑΝ	0,282	0,277	0,214
ΦΕΒΡ	0,357	0,354	0,308
ΜΑΡΤ	0,398	0,394	0,360
ΑΠΡ	0,424	0,421	0,397
ΜΑΙ	0,445	0,442	0,425
ΙΟΥΝ	0,436	0,434	0,437
ΙΟΥΛ	0,431	0,431	0,435
ΑΥΓ	0,417	0,413	0,412
ΣΕΠΤ	0,383	0,379	0,377
ΟΚΤ	0,367	0,365	0,324
ΝΟΕ	0,300	0,298	0,242
ΔΕΚ	0,247	0,243	0,177

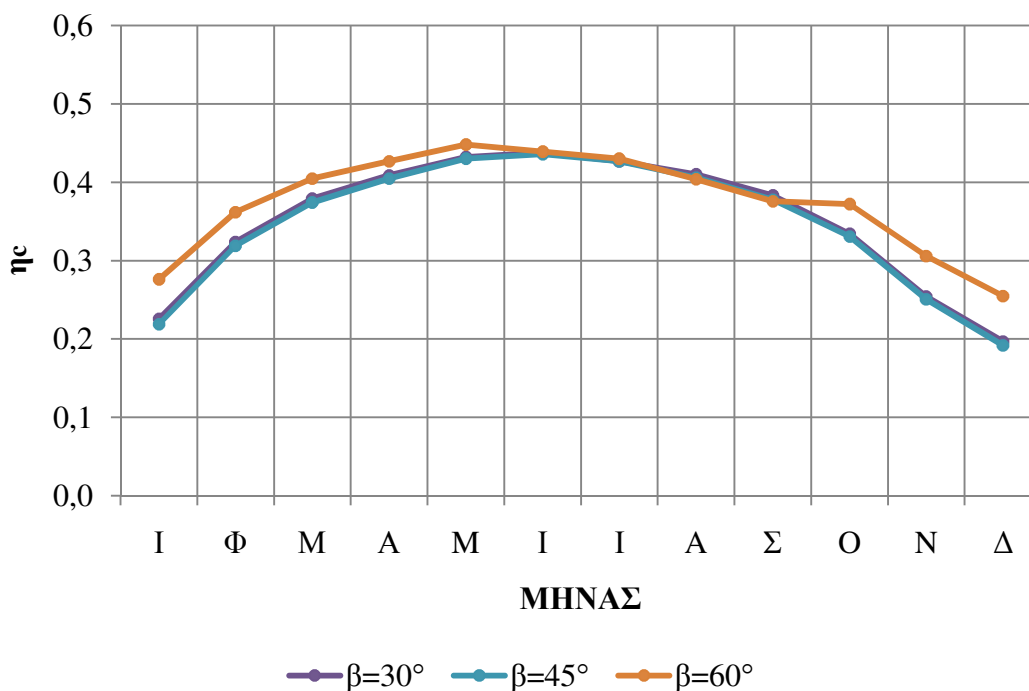


Σχήμα 10.22 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

2) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 60^{\circ}\text{C}$

Πίνακας 10.23 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

η_c	$\beta=30^{\circ}$	$\beta=45^{\circ}$	$\beta=60^{\circ}$
ΙΑΝ	0,226	0,219	0,276
ΦΕΒΡ	0,324	0,319	0,362
ΜΑΡΤ	0,379	0,374	0,405
ΑΠΡ	0,409	0,405	0,427
ΜΑΙ	0,432	0,430	0,448
ΙΟΥΝ	0,438	0,436	0,439
ΙΟΥΛ	0,427	0,427	0,430
ΑΥΓ	0,410	0,406	0,404
ΣΕΠΤ	0,383	0,378	0,376
ΟΚΤ	0,334	0,331	0,372
ΝΟΕ	0,254	0,251	0,306
ΔΕΚ	0,197	0,192	0,255

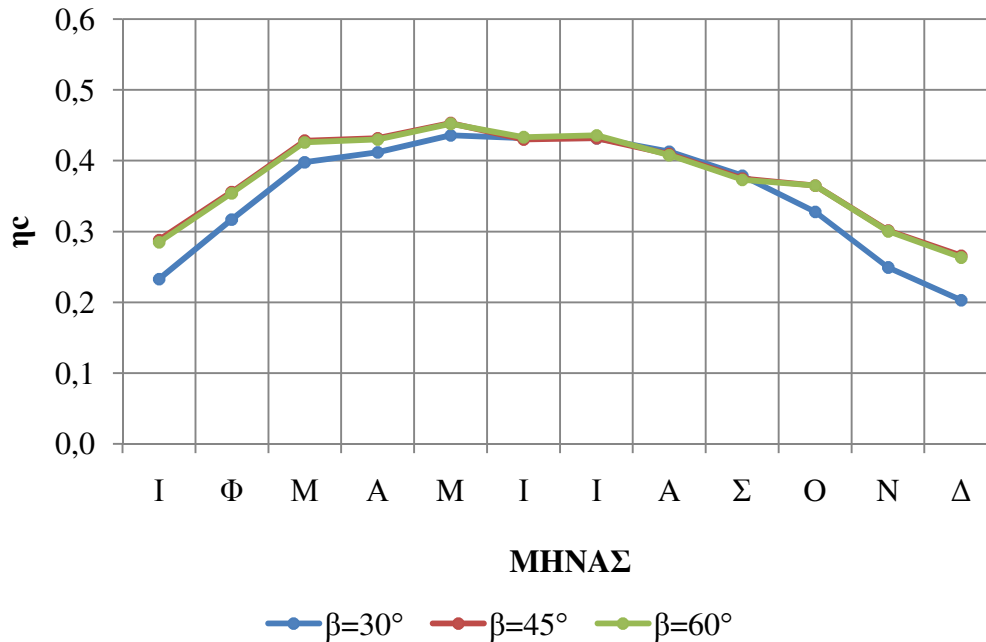


Σχήμα 10.23 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

3) Για θερμοκρασία ξήρανσης $T_{oc} = 70^{\circ}\text{C}$

Πίνακας 10.24 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

η_c	$\beta=30^{\circ}$	$\beta=45^{\circ}$	$\beta=60^{\circ}$
ΙΑΝ	0,233	0,288	0,285
ΦΕΒΡ	0,317	0,356	0,354
ΜΑΡΤ	0,398	0,428	0,426
ΑΠΡ	0,412	0,432	0,430
ΜΑΙ	0,436	0,453	0,452
ΙΟΥΝ	0,432	0,430	0,433
ΙΟΥΛ	0,432	0,432	0,436
ΑΥΓ	0,413	0,409	0,408
ΣΕΠΤ	0,379	0,375	0,373
ΟΚΤ	0,328	0,365	0,365
ΝΟΕ	0,249	0,301	0,300
ΔΕΚ	0,203	0,266	0,263



Σχήμα 10.24 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και κλίση β

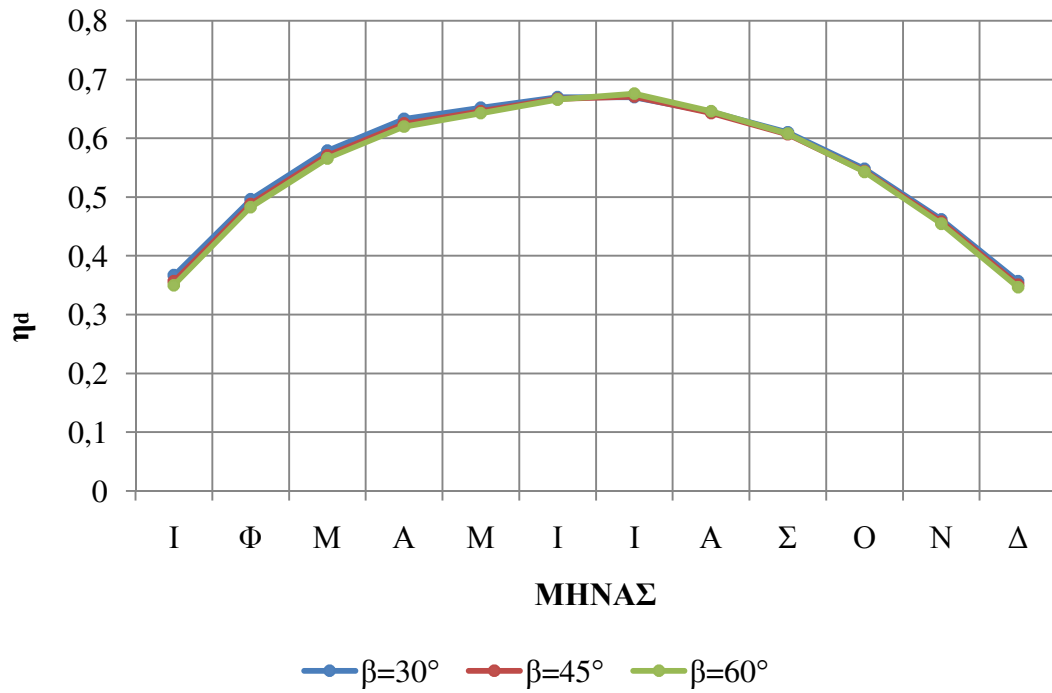
10.5 Βαθμός απόδοσης θαλάμου ξήρανσης η_d

Ο βαθμός απόδοσης της ξήρανσης όπως φαίνεται και από τη σχέση βάσει της οποίας υπολογίζεται, είναι ανεξάρτητος της θερμοκρασίας εξόδου του αέρα από το συλλέκτη T_{oc} . Αυτό φαίνεται και στους πίνακες που θα ακολουθήσουν με τις τιμές του, όπου παραμένει σταθερός για διαφορετική τιμή του T_{oc} ενώ μεταβάλλεται για κάθε διαφορετική γωνία β .

Επιπλέον, παραμένει σταθερός και με τη μεταβολή του βάρους W του προς ξήρανση υλικού καθώς όταν αυτό αλλάζει, αλλάζει και η απαιτούμενη επιφάνεια του ηλιακού συλλέκτη A_c . Στη συνέχεια δίνονται οι τιμές που βρέθηκαν και η γραφική παράστασή του μηνιαίου βαθμού απόδοσης η_d .

Πίνακας 10.25 Βαθμός απόδοσης θαλάμου ξήρανσης ανά μήνα και κλίση β

η_d	$\beta=30^\circ$	$\beta=45^\circ$	$\beta=60^\circ$
ΙΑΝ	0,367	0,357	0,35
ΦΕΒΡ	0,496	0,488	0,483
ΜΑΡΤ	0,579	0,571	0,566
ΑΠΡ	0,633	0,625	0,62
ΜΑΙ	0,652	0,646	0,643
ΙΟΥΝ	0,67	0,667	0,666
ΙΟΥΛ	0,67	0,671	0,676
ΑΥΓ	0,645	0,643	0,646
ΣΕΠΤ	0,61	0,607	0,608
ΟΚΤ	0,548	0,544	0,543
ΝΟΕ	0,462	0,458	0,455
ΔΕΚ	0,357	0,351	0,347



Σχήμα 10.25 Βαθμός απόδοσης θαλάμου ξήρανσης ανά μήνα και κλίση β

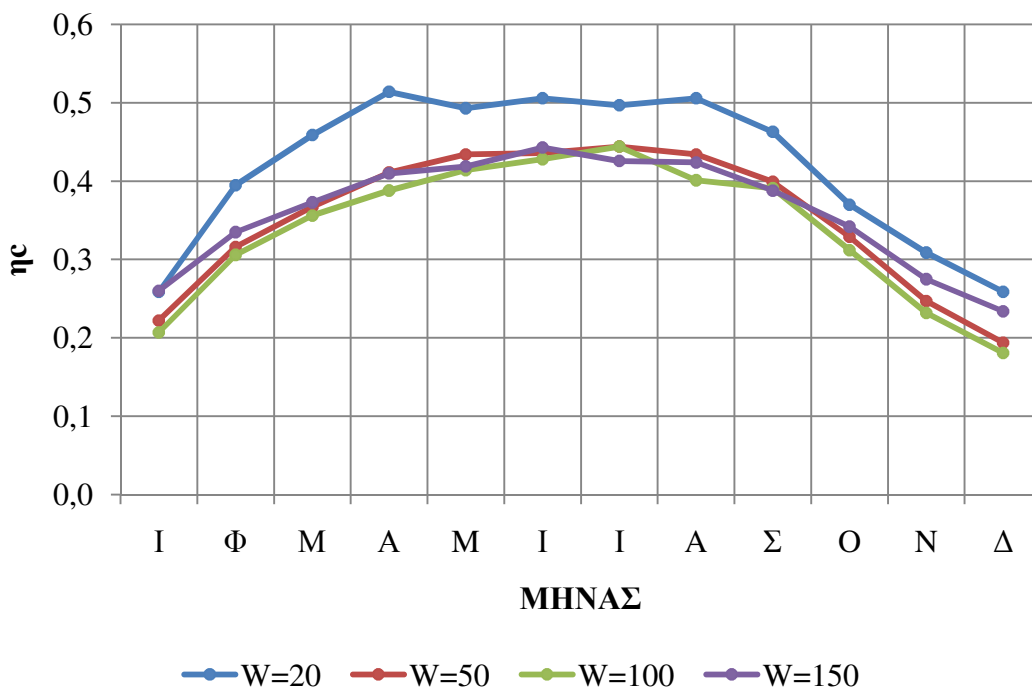
11. ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΔΥΟ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ

11.1 Σύγκριση για την περίπτωση Α

Για την περίπτωση Α αυτό που μας ενδιαφέρει κυρίως είναι να δούμε πως διαμορφώνεται ο βαθμός απόδοσης του ηλιακού συλλέκτη η_c για διαφορετικό βάρος του προς ξήρανση υλικού W .

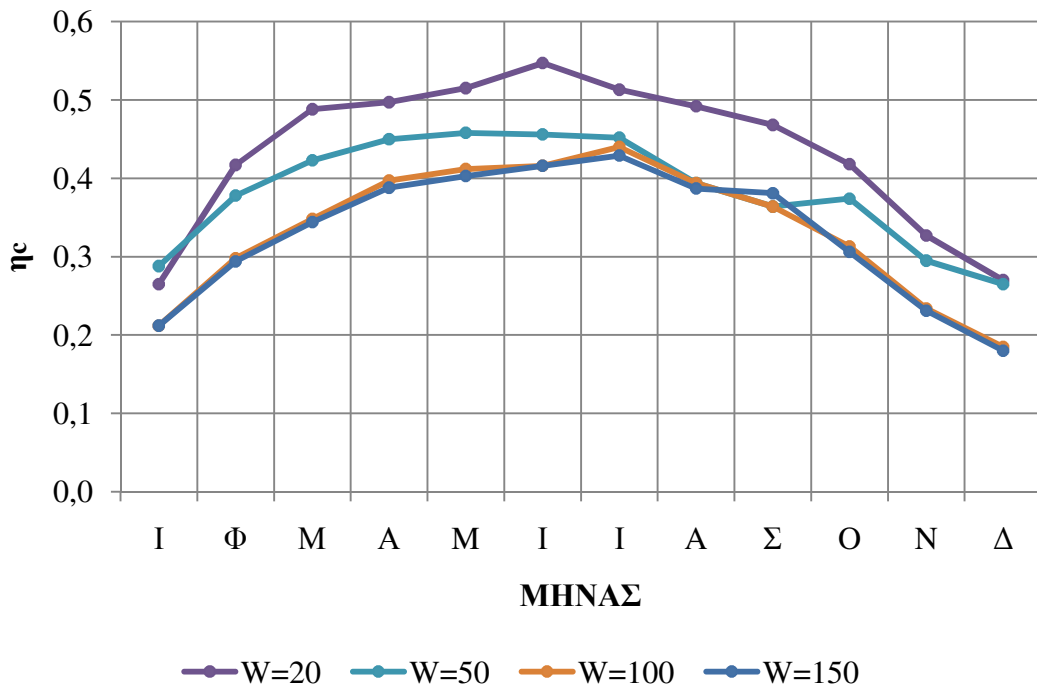
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα διαγράμματα του βαθμού απόδοσης ανά μήνα με παράμετρο το βάρος για γωνία κλίσης του συλλέκτη $\beta=30^\circ$ (τα αποτελέσματα είναι παρόμοια και για τις άλλες δύο γωνίες $\beta=45^\circ$ και $\beta=60^\circ$ γι' αυτό και παραλήφθηκαν).

1) Βαθμός απόδοσης για $T=50^\circ\text{C}$



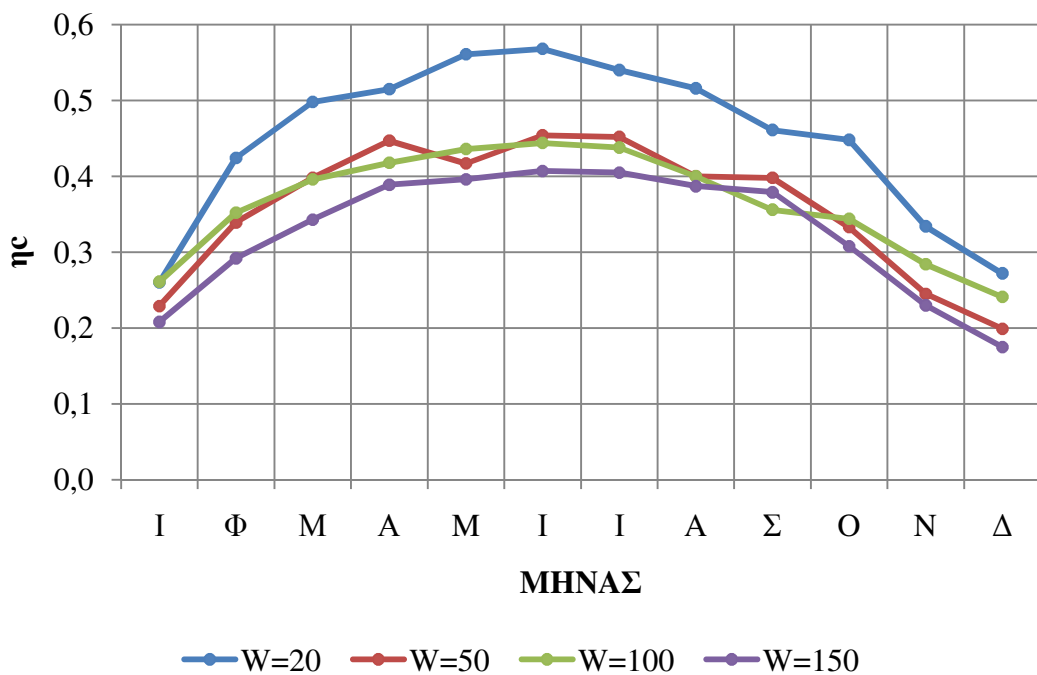
Σχήμα 11.1 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και βάρος

2) Βαθμός απόδοσης για $T=60^{\circ}\text{C}$



Σχήμα 11.2 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και βάρος

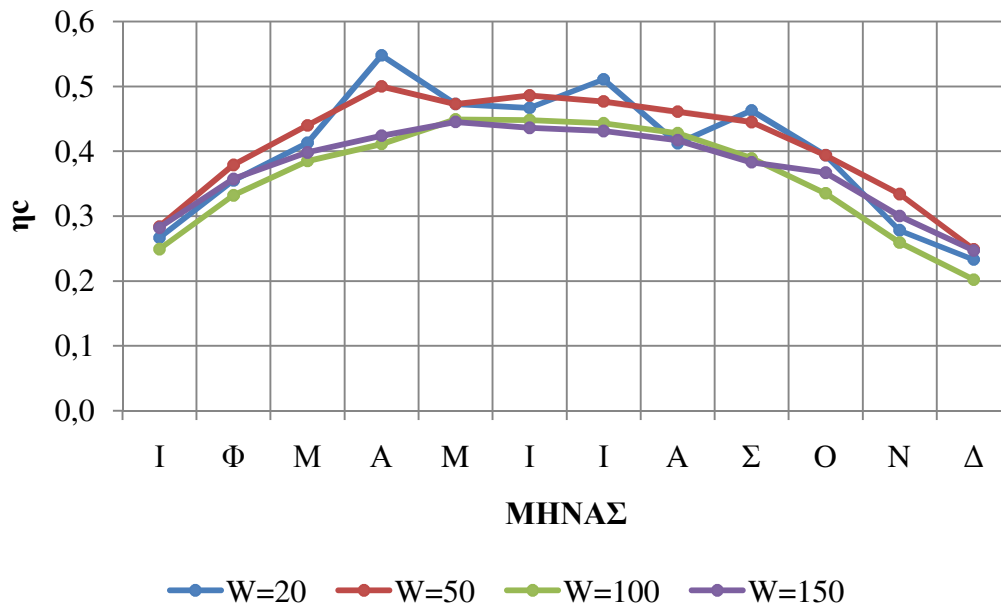
3) Βαθμός απόδοσης για $T=70^{\circ}\text{C}$



Σχήμα 11.3 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και βάρος

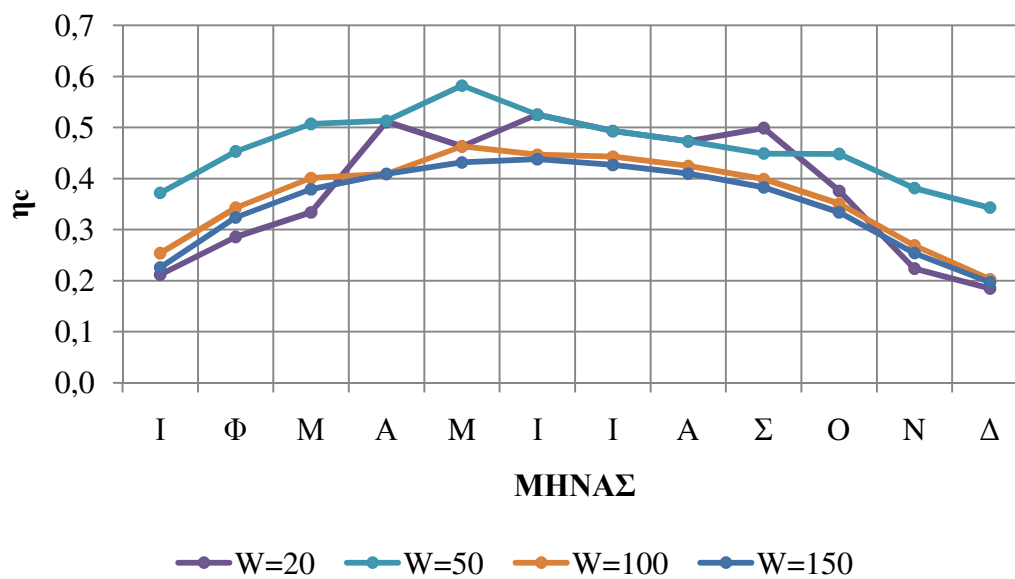
11.2 Σύγκριση για την περίπτωση Β

1) Βαθμός απόδοσης για $T=50^{\circ}\text{C}$



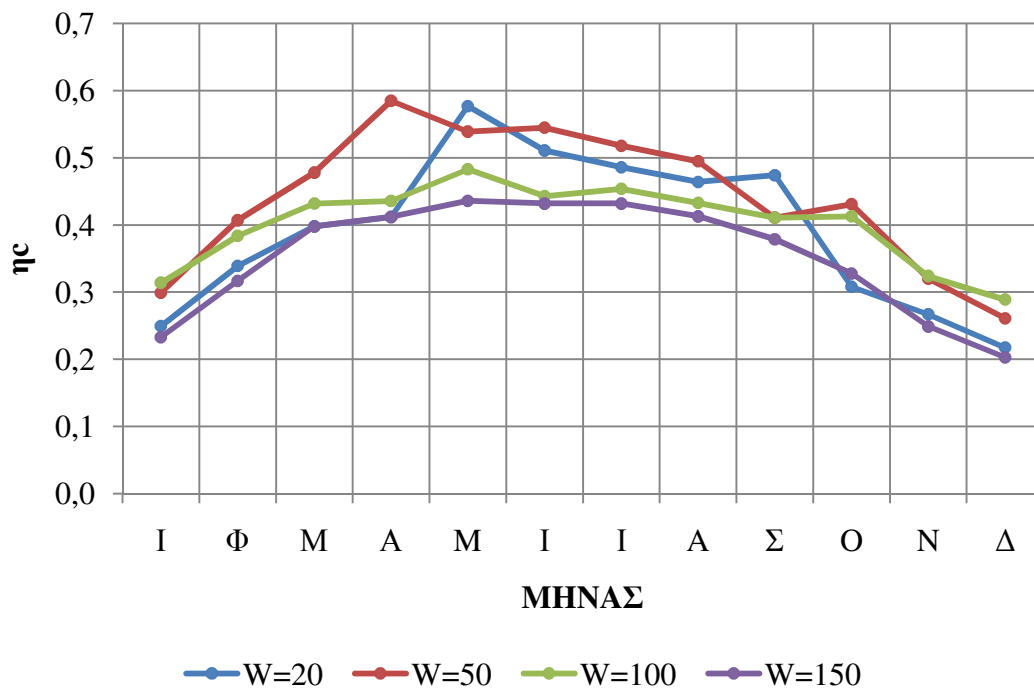
Σχήμα 11.4 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και βάρος

2) Βαθμός απόδοσης για $T=60^{\circ}\text{C}$



Σχήμα 11.5 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και βάρος

3) Βαθμός απόδοσης για $T=70^{\circ}\text{C}$



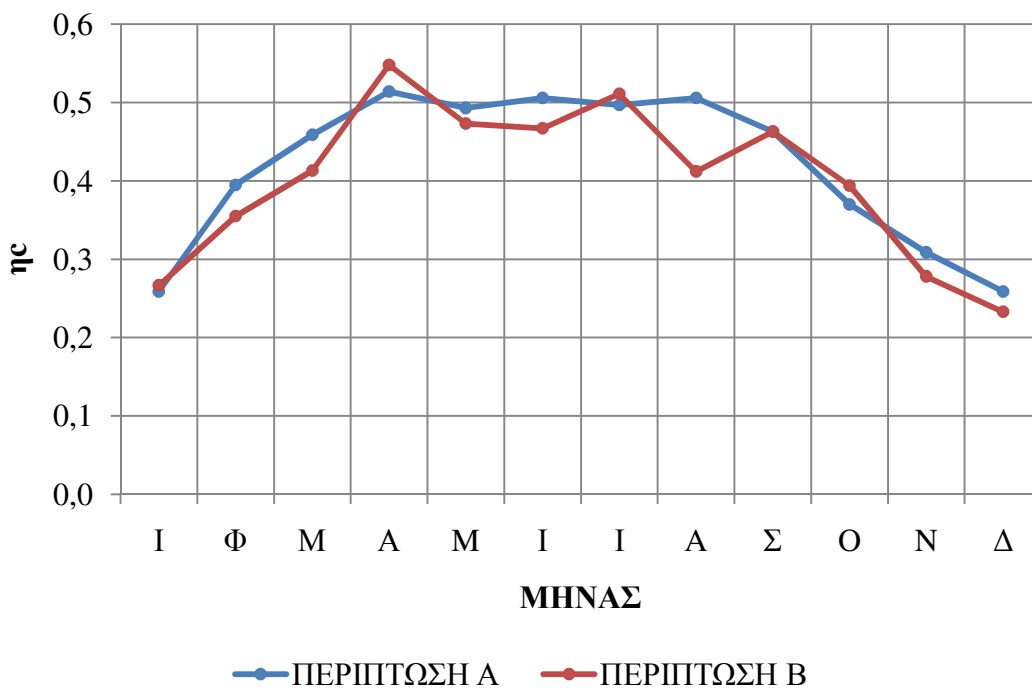
Σχήμα 11.6 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα και βάρος

11.3 Σύγκριση μεταξύ των δύο περιπτώσεων

11.3.1 Σύγκριση για βάρος $W=20\text{ kg}$

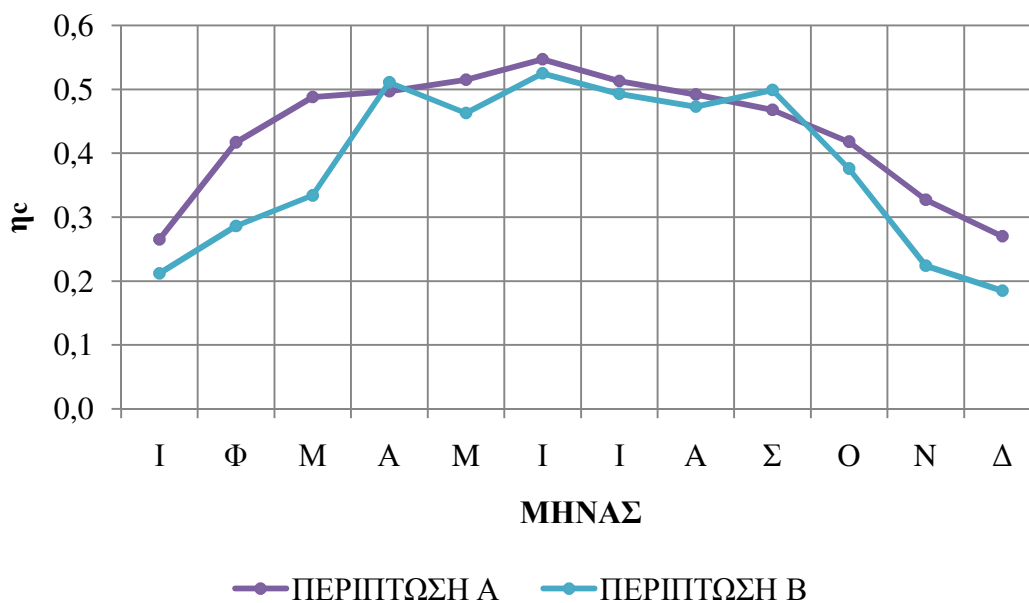
Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι γραφικές παραστάσεις του βαθμού απόδοσης ανά μήνα για κάθε θερμοκρασία T . Και πάλι επιλέχθηκαν οι τιμές που αντιστοιχούν σε γωνία κλίσης του συλλέκτη $\beta=30^\circ$.

1) Βαθμός απόδοσης για $T=50^\circ\text{ C}$



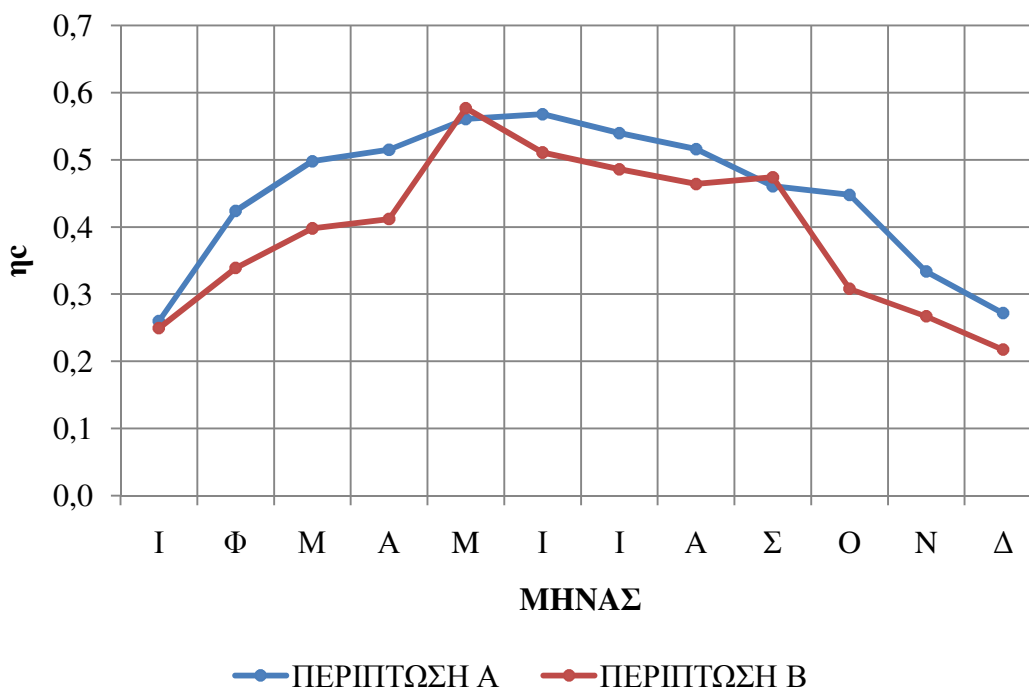
Σχήμα 11.7 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα για κάθε περίπτωση

2) Βαθμός απόδοσης για $T=60^{\circ}\text{C}$



Σχήμα 11.8 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα για κάθε περίπτωση

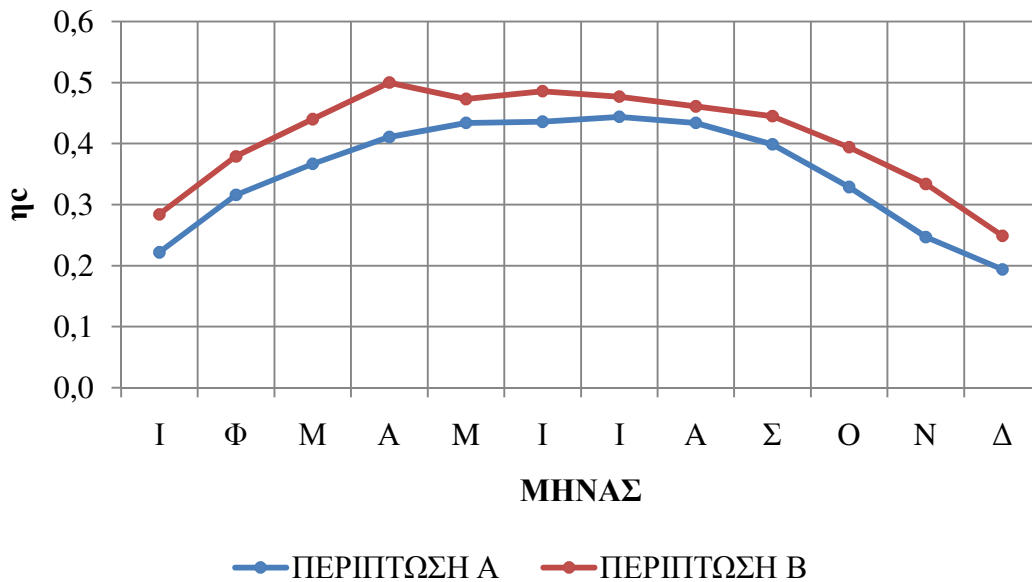
3) Βαθμός απόδοσης για $T=70^{\circ}\text{C}$



Σχήμα 11.9 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα για κάθε περίπτωση

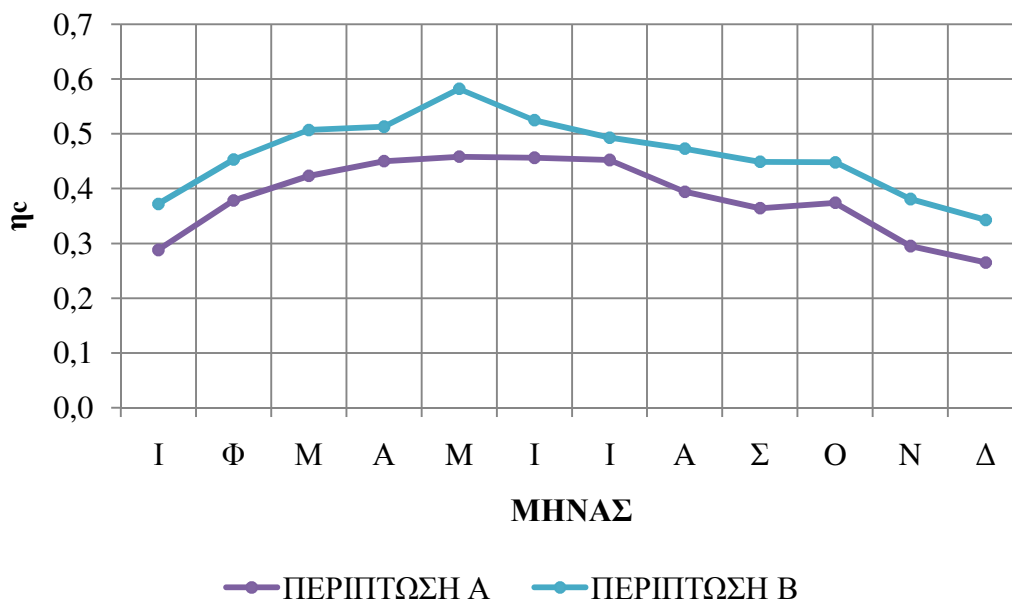
11.3.2 Σύγκριση για βάρος $W=50\text{ kg}$

1) Βαθμός απόδοσης για $T=50^\circ\text{C}$



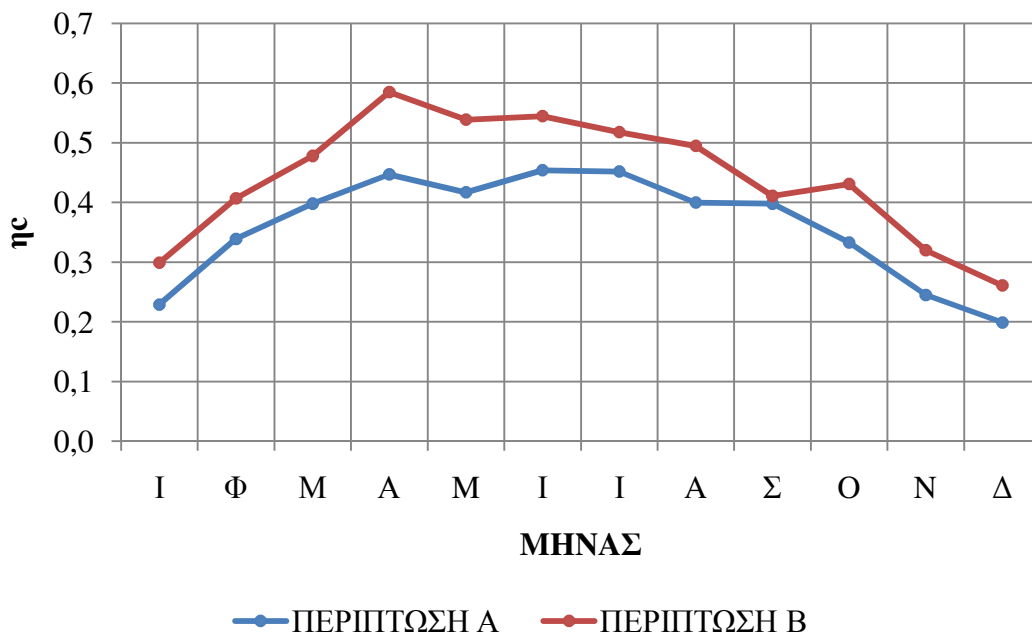
Σχήμα 11.10 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα για κάθε περίπτωση

2) Βαθμός απόδοσης για $T=60^\circ\text{C}$



Σχήμα 11.11 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα για κάθε περίπτωση

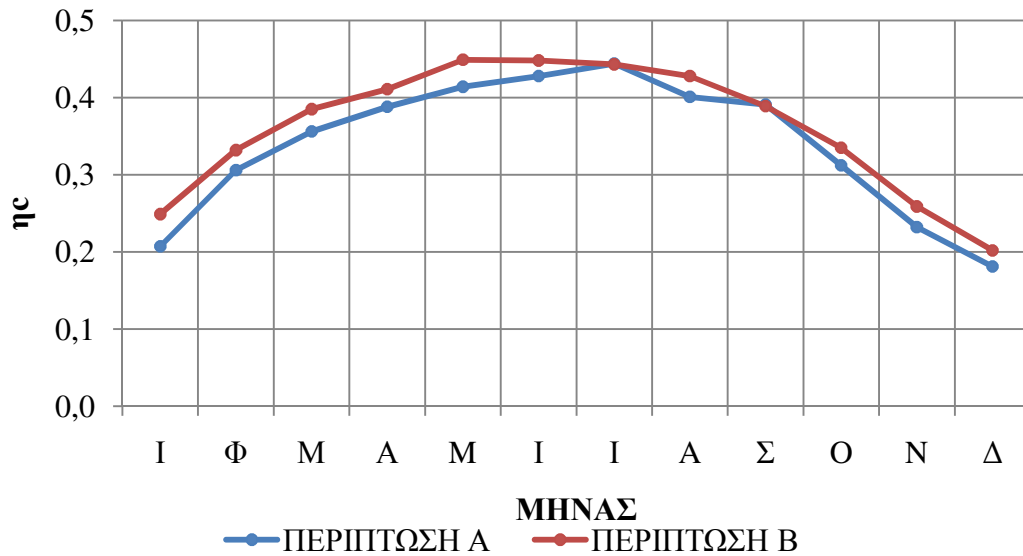
3) Βαθμός απόδοσης για $T=70^{\circ}\text{C}$



Σχήμα 11.12 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα για κάθε περίπτωση

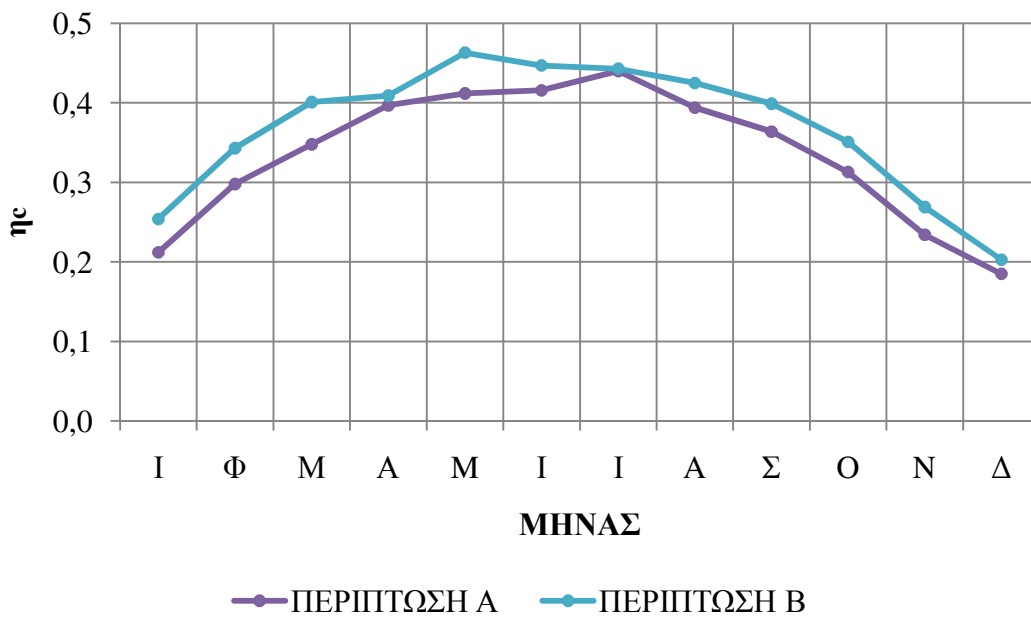
11.3.3 Σύγκριση για βάρος $W=100\text{ kg}$

1) Βαθμός απόδοσης για $T=50^\circ\text{ C}$



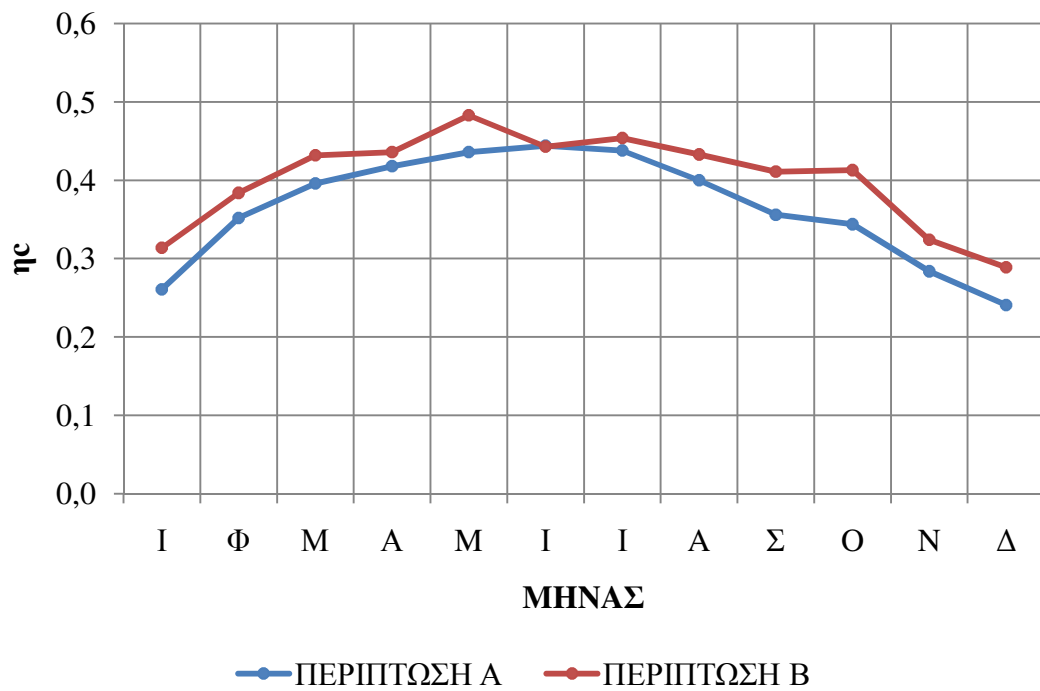
Σχήμα 11.13 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα για κάθε περίπτωση

2) Βαθμός απόδοσης για $T=60^\circ\text{ C}$



Σχήμα 11.14 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα για κάθε περίπτωση

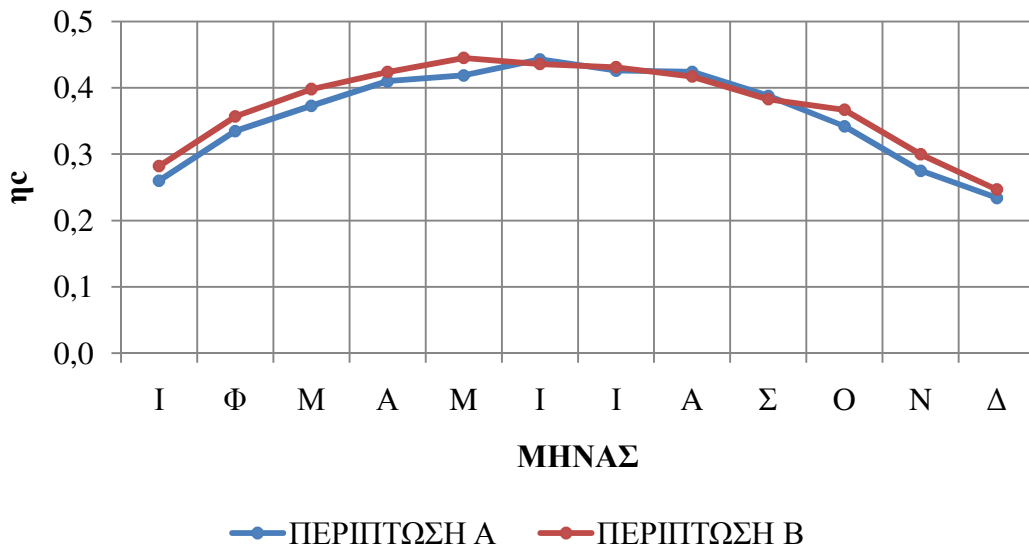
3) Βαθμός απόδοσης για $T=70^{\circ}\text{C}$



Σχήμα 11.15 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα για κάθε περίπτωση

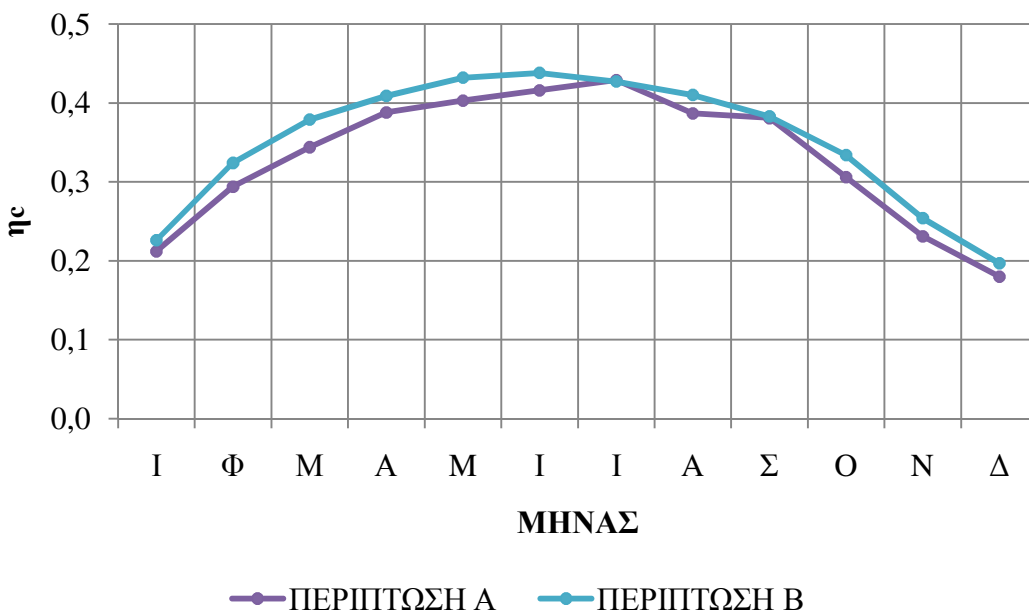
11.3.4 Σύγκριση για βάρος $W=150\text{ kg}$

1) Βαθμός απόδοσης για $T=50^\circ\text{ C}$



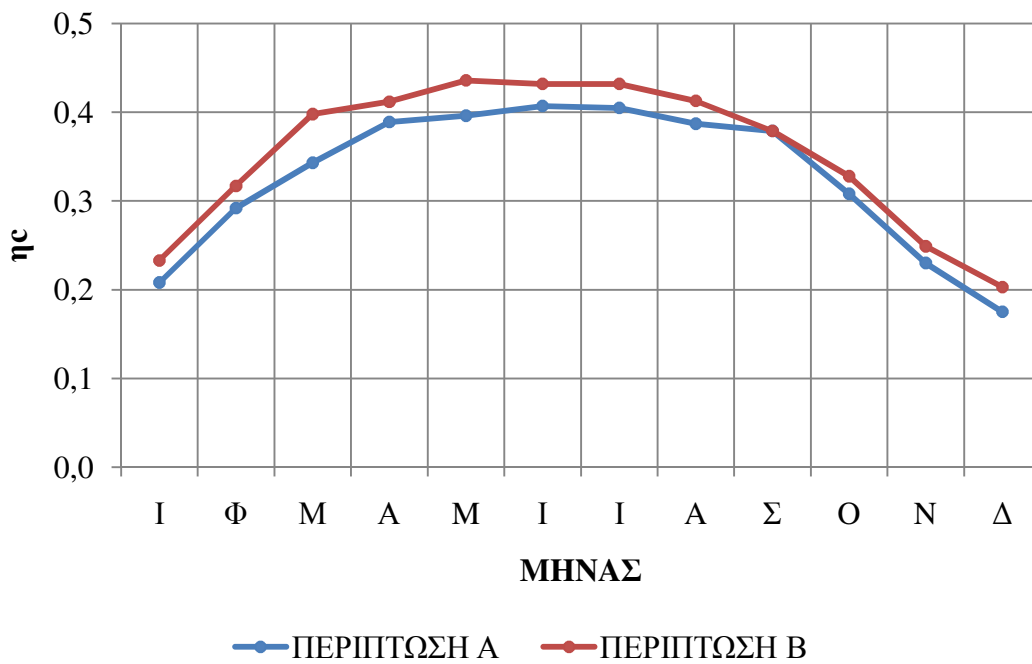
Σχήμα 11.16 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα για κάθε περίπτωση

2) Βαθμός απόδοσης για $T=60^\circ\text{ C}$



Σχήμα 11.17 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα για κάθε περίπτωση

3) Βαθμός απόδοσης για $T=70^{\circ}\text{C}$



Σχήμα 11.18 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ανά μήνα για κάθε περίπτωση

12. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

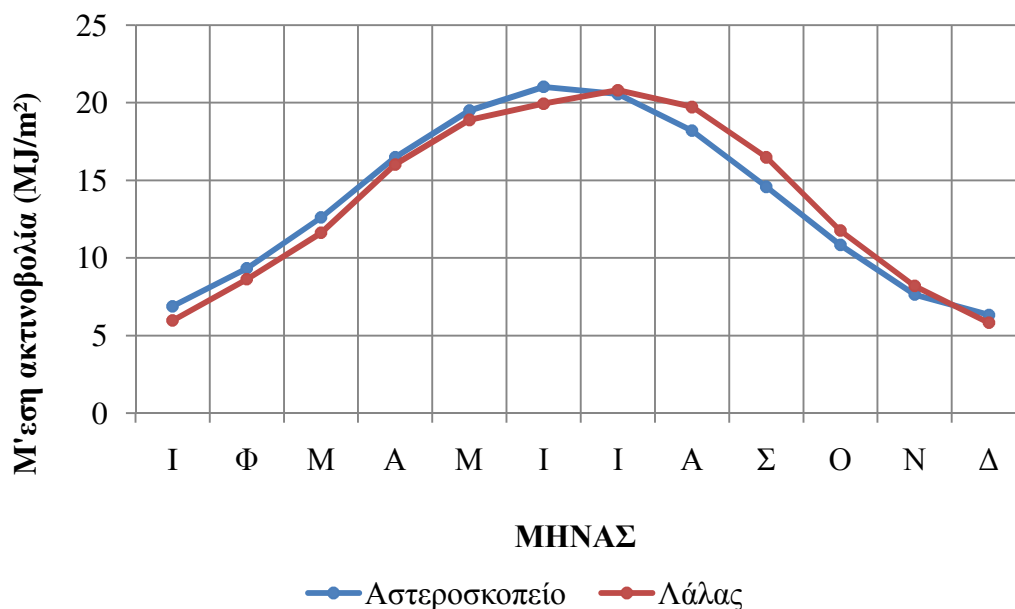
Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται σύγκριση των τιμών της ηλιακής ακτινοβολίας που χρησιμοποιήθηκαν με τις τιμές των Λάλα, Πισιμάνη και Νοταρίδου που είχαν υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τα ηλιακά μοντέλα των Bird και Barbado [6]. Επιπλέον, για λόγους πληρότητας γίνονται και συγκρίσεις για επιλεγμένες περιπτώσεις της επιφάνειας και του βαθμού απόδοσης του συλλέκτη, καθώς και το βαθμό απόδοσης του θαλάμου ξήρανσης.

Τα αναλυτικά διαγράμματα των μέσων τιμών της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας ανά μήνα δίνονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1.

12.1 Σύγκριση των τιμών ηλιακής ακτινοβολίας

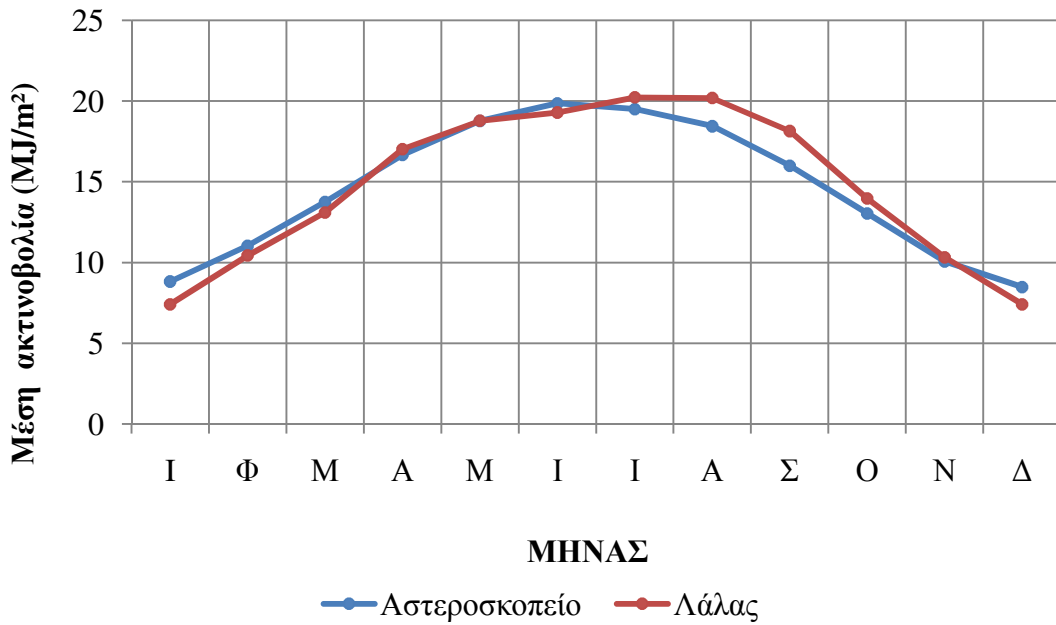
Στη συνέχεια δίνονται τα διαγράμματα των μέσων τιμών της ηλιακής ακτινοβολίας ανά μήνα τόσο σε οριζόντιο όσο και σε κεκλιμένο επίπεδο, για τις γωνίες κλίσης που έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί.

1) Γωνία κλίσης συλλέκτη $\beta=0^\circ$



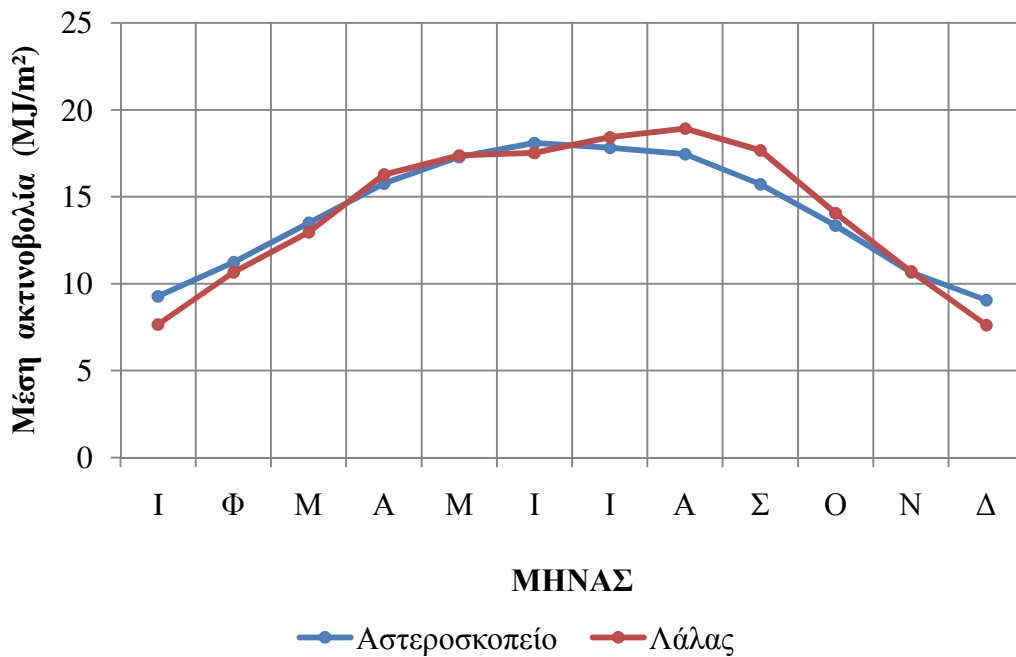
Σχήμα 12.1 Ηλιακή ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου

2) Γωνία κλίσης συλλέκτη $\beta=30^\circ$



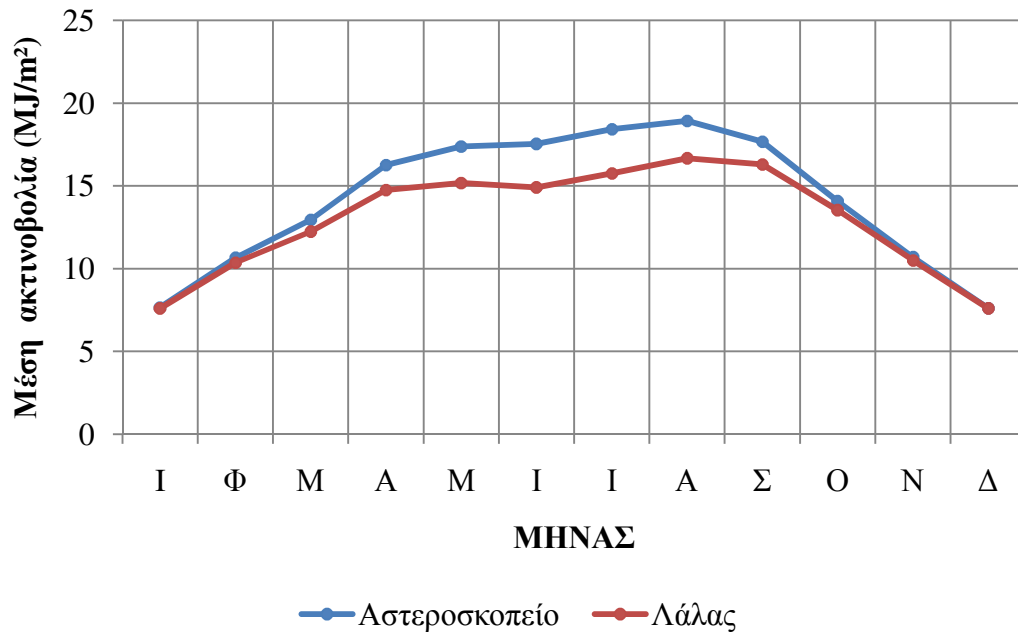
Σχήμα 12.2 Ηλιακή ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου

3) Γωνία κλίσης συλλέκτη $\beta=45^\circ$



Σχήμα 12.3 Ηλιακή ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου

4) Γωνία κλίσης συλλέκτη $\beta=60^\circ$

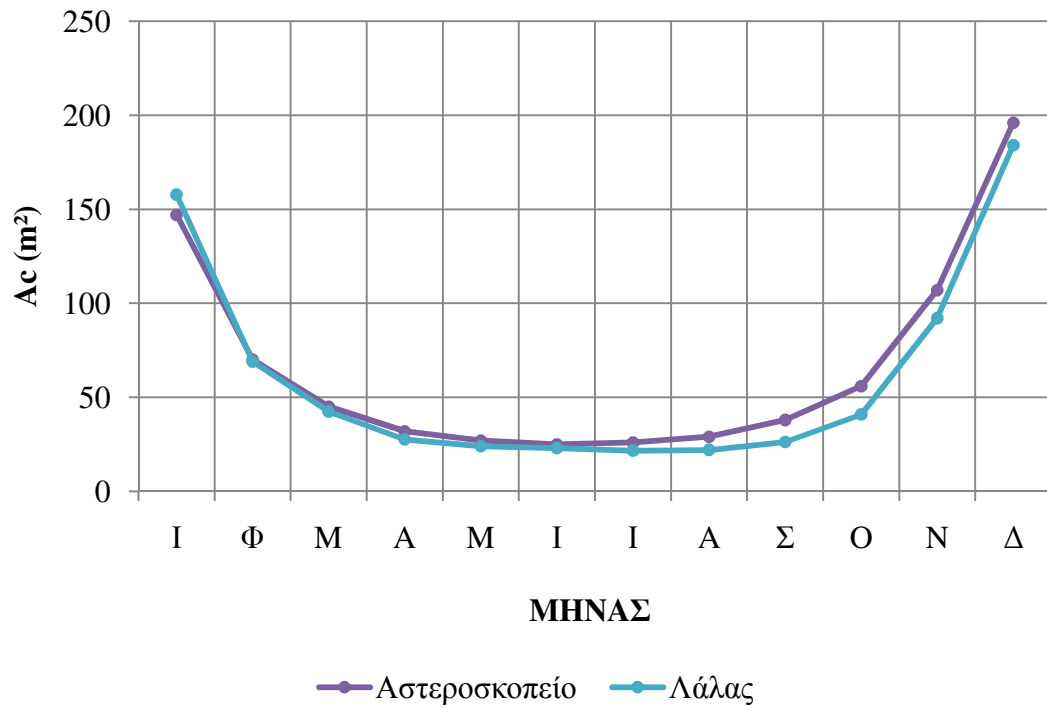


Σχήμα 12.4 Ηλιακή ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου

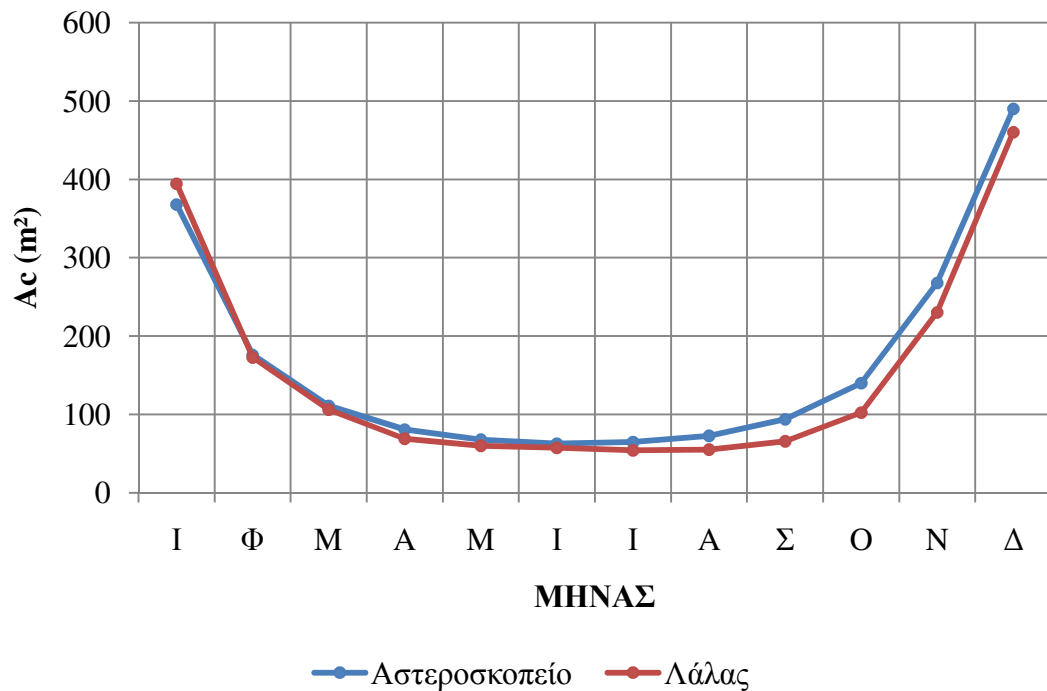
12.2 Σύγκριση των τιμών επιφάνειας του συλλέκτη

Για τα διαγράμματα που ακολουθούν έχει επιλεγεί η θερμοκρασία εξόδου του συλλέκτη $T_{oc}=50^\circ \text{C}$ και η γωνία κλίσης $\beta=30^\circ$. Επιπλέον στη σύγκριση δεν συμπεριλήφθηκε το βάρος $W=150 \text{ kg}$.

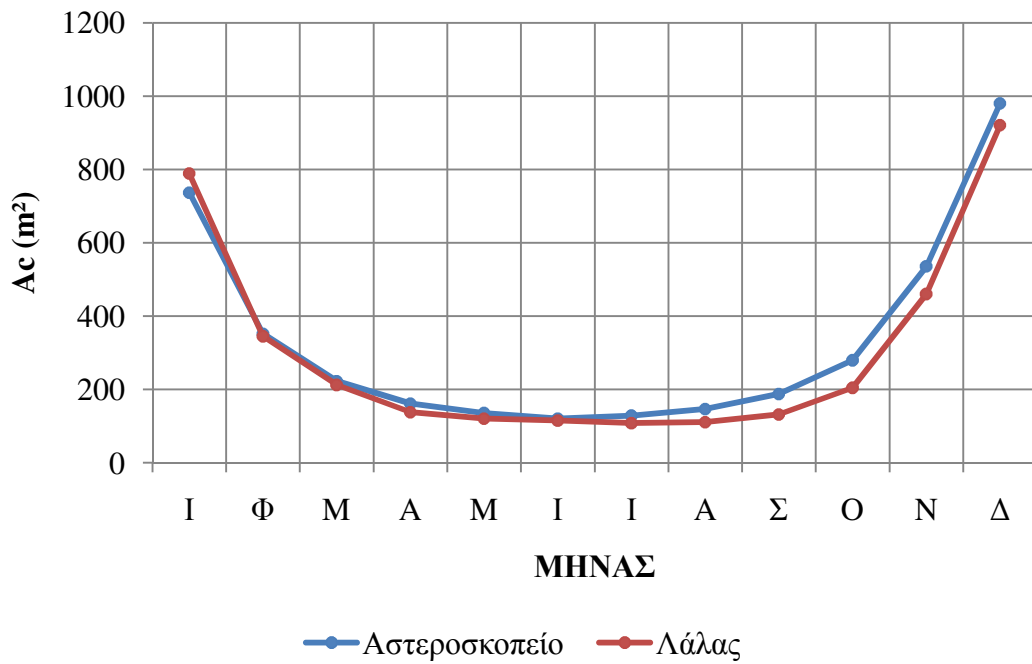
1) Για την περίπτωση A



Σχήμα 12.5 Επιφάνεια συλλέκτη για W=20 kg

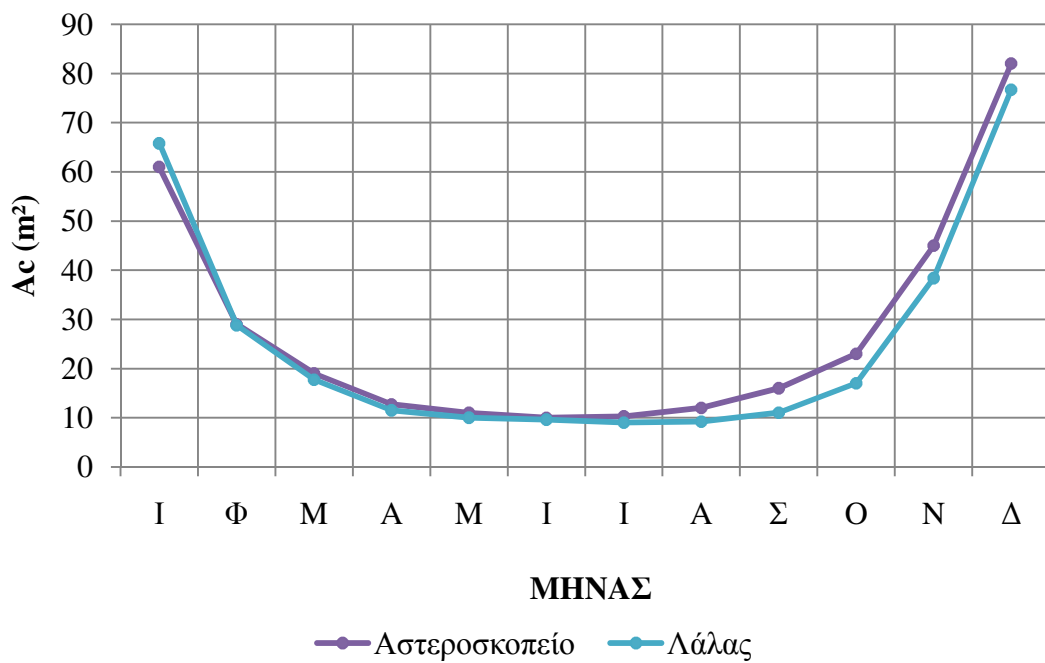


Σχήμα 12.6 Επιφάνεια συλλέκτη για W=50 kg

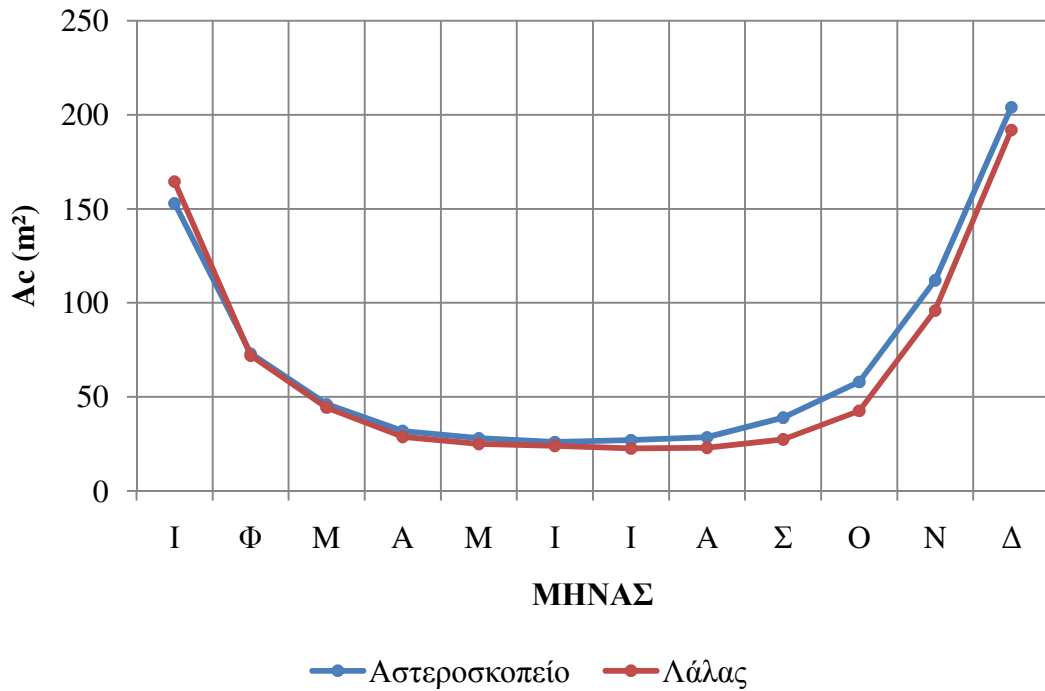


Σχήμα 12.7 Επιφάνεια συλλέκτη για W=100 kg

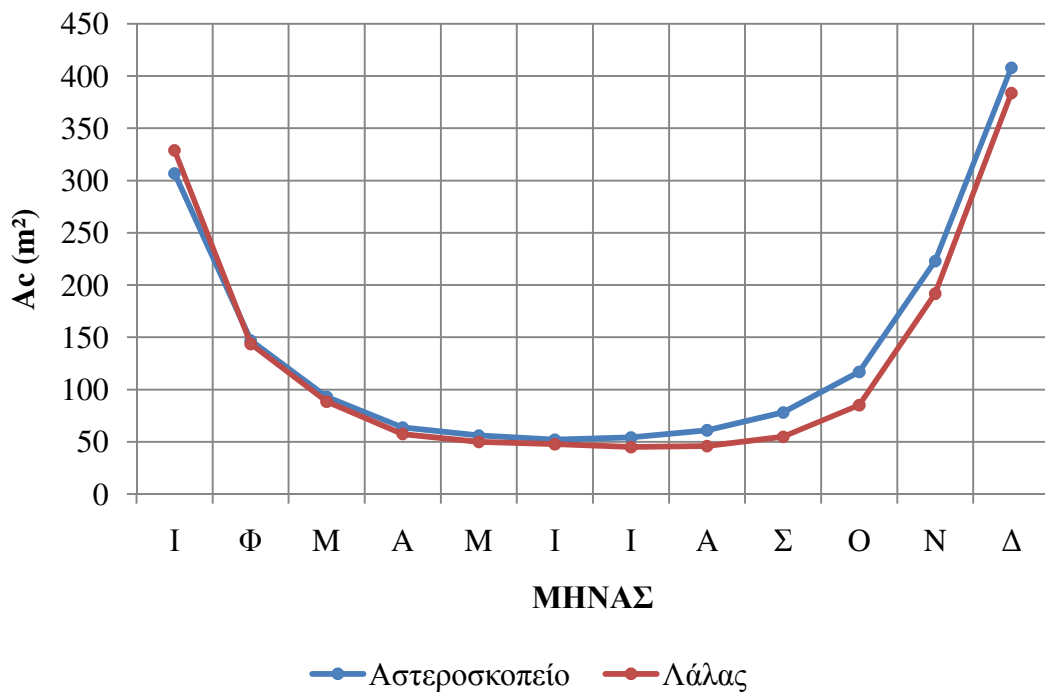
2) Για την περίπτωση Β



Σχήμα 12.8 Επιφάνεια συλλέκτη για W=20 kg



Σχήμα 12.9 Επιφάνεια συλλέκτη για W=50 kg

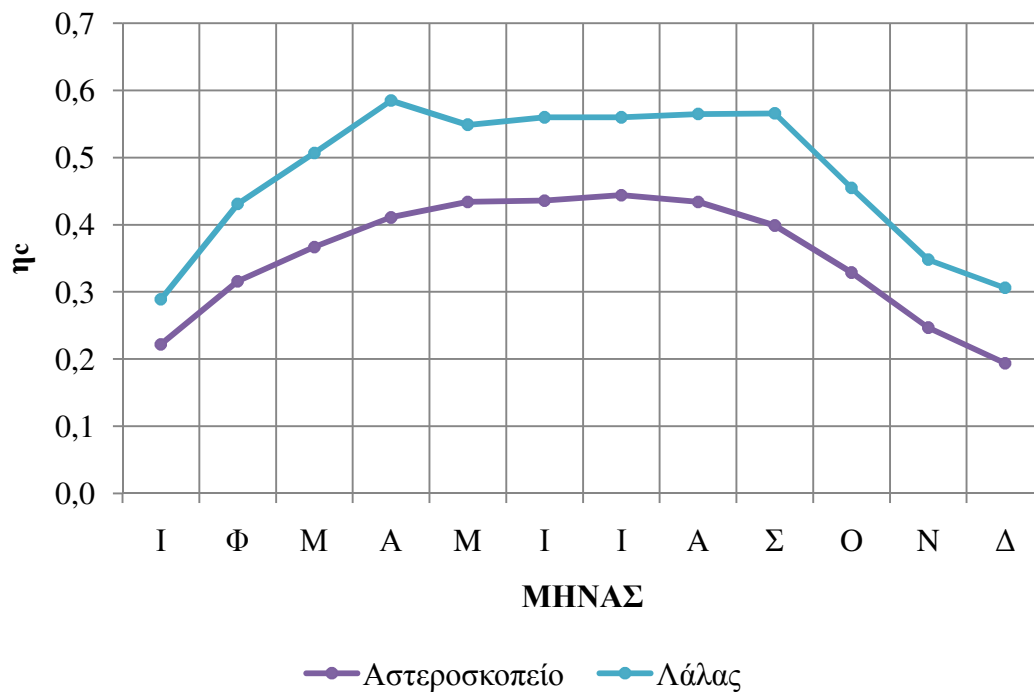


Σχήμα 12.10 Επιφάνεια συλλέκτη για W=100 kg

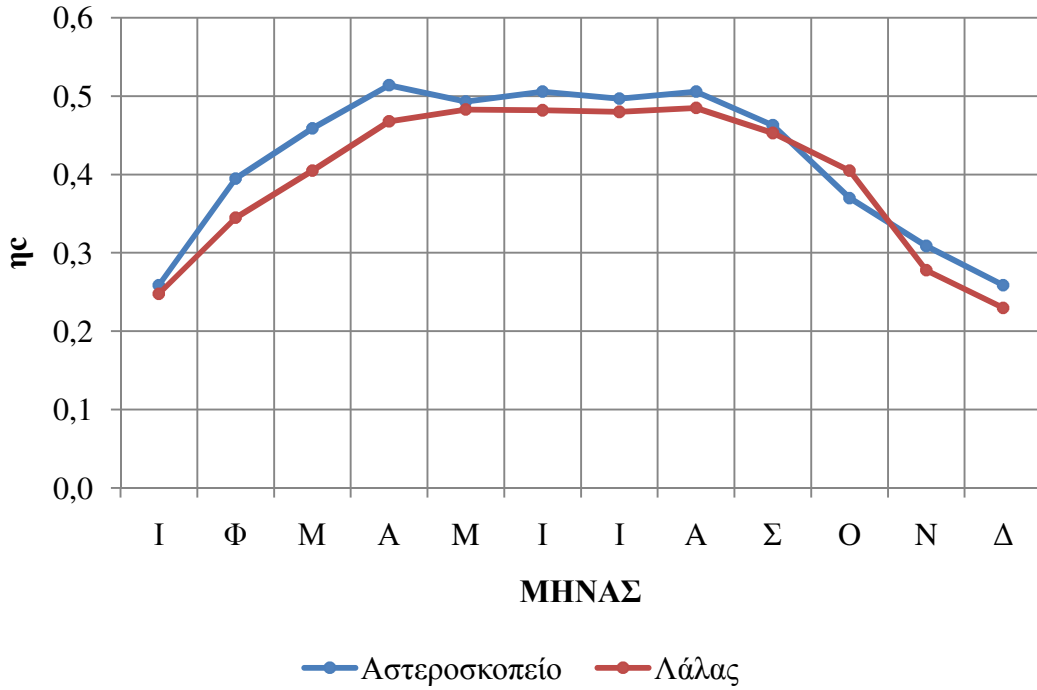
12.3 Σύγκριση των βαθμών απόδοσης του συλλέκτη

Όπως και στην προηγούμενη ενότητα, τα διαγράμματα που ακολουθούν αναφέρονται σε θερμοκρασία εξόδου του συλλέκτη $T_{oc}=50^{\circ}\text{C}$ και γωνία κλίσης $\beta=30^{\circ}$. Επιπλέον, όπως και πριν, στη σύγκριση δεν συμπεριλήφθηκε το βάρος $W=150\text{ kg}$.

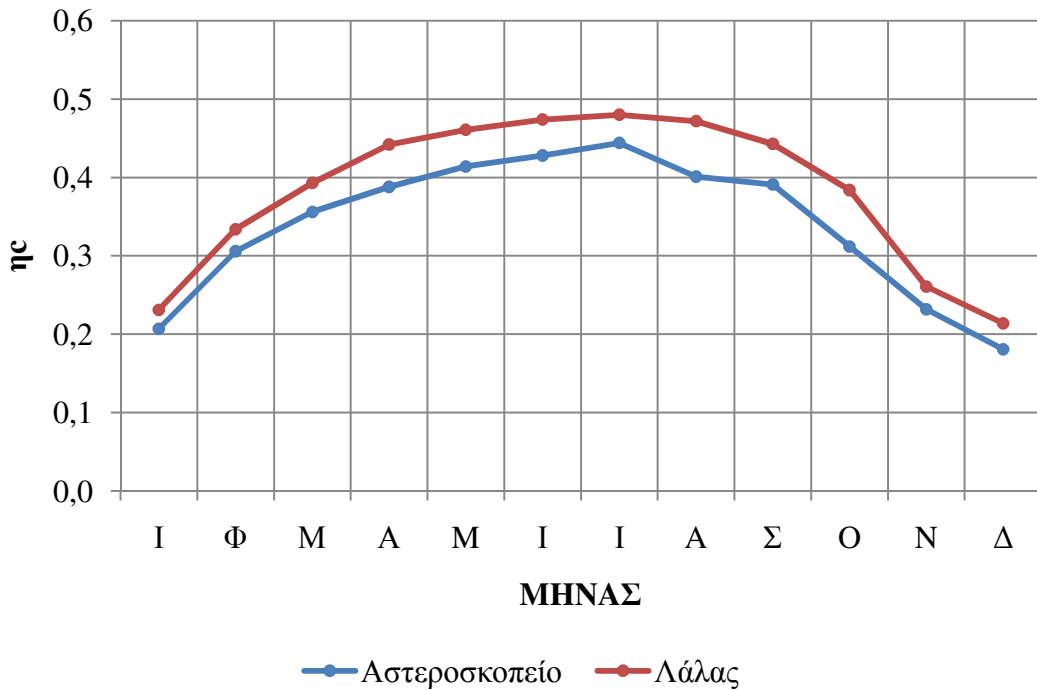
1) Για την περίπτωση Α



Σχήμα 12.11 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη για $W=20\text{ kg}$

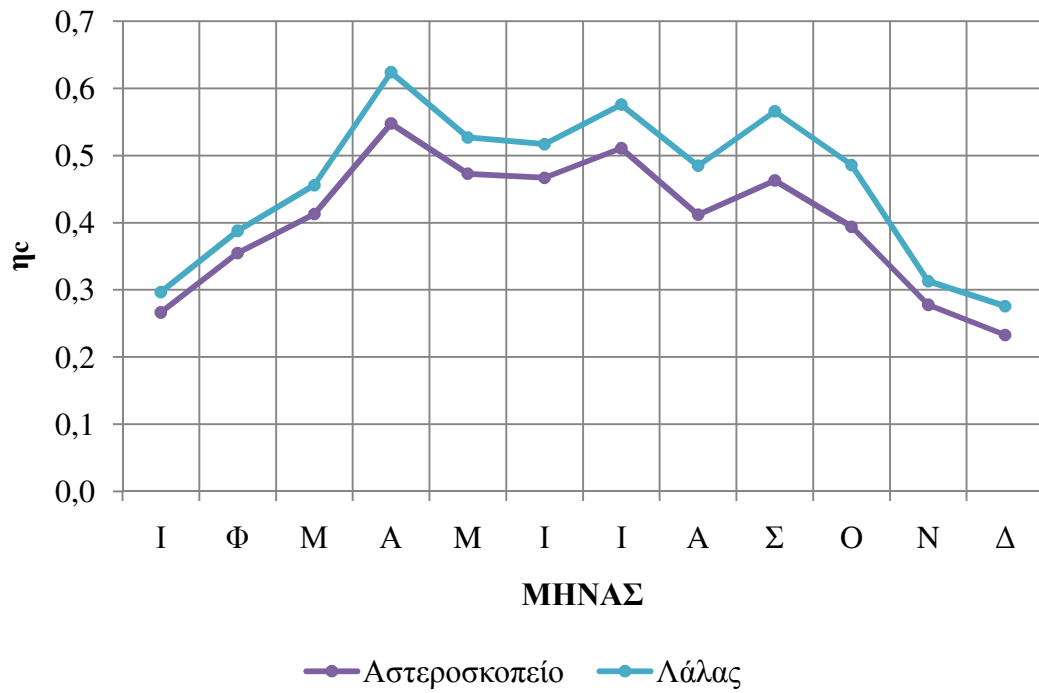


Σχήμα 12.12 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη για W=50 kg

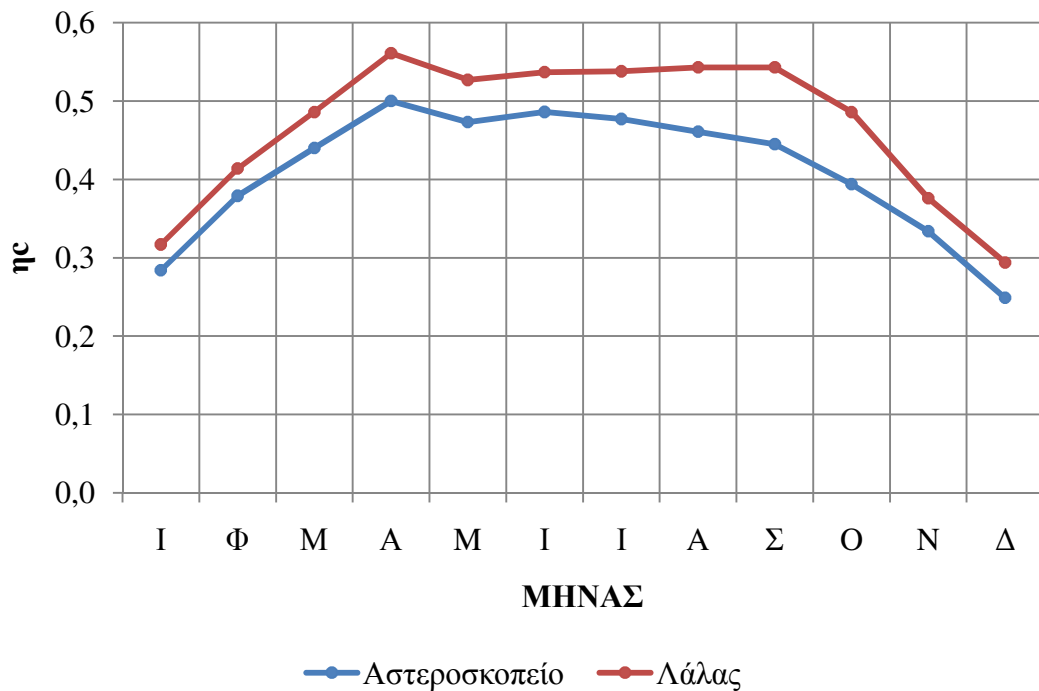


Σχήμα 12.13 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη για W=100 kg

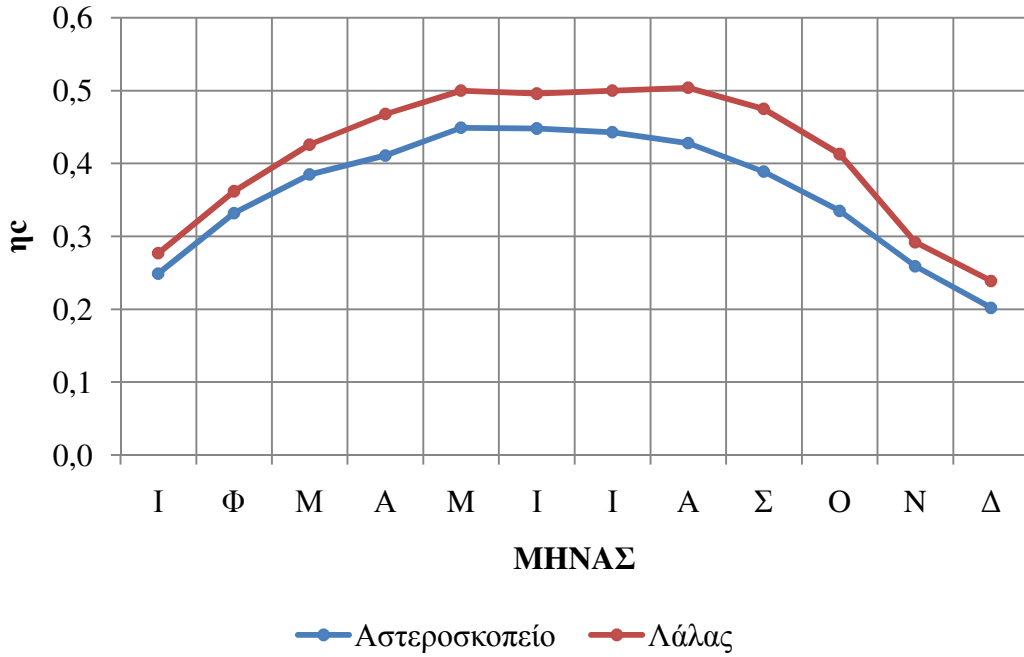
2) Για την περίπτωση Β



Σχήμα 12.14 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη για W=20 kg



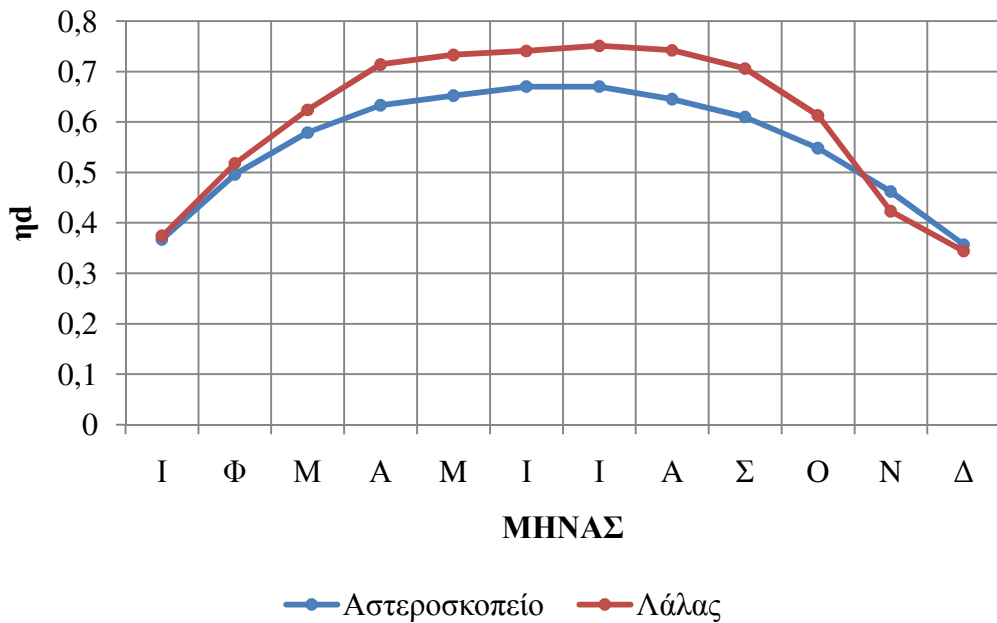
Σχήμα 12.15 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη για W=50 kg



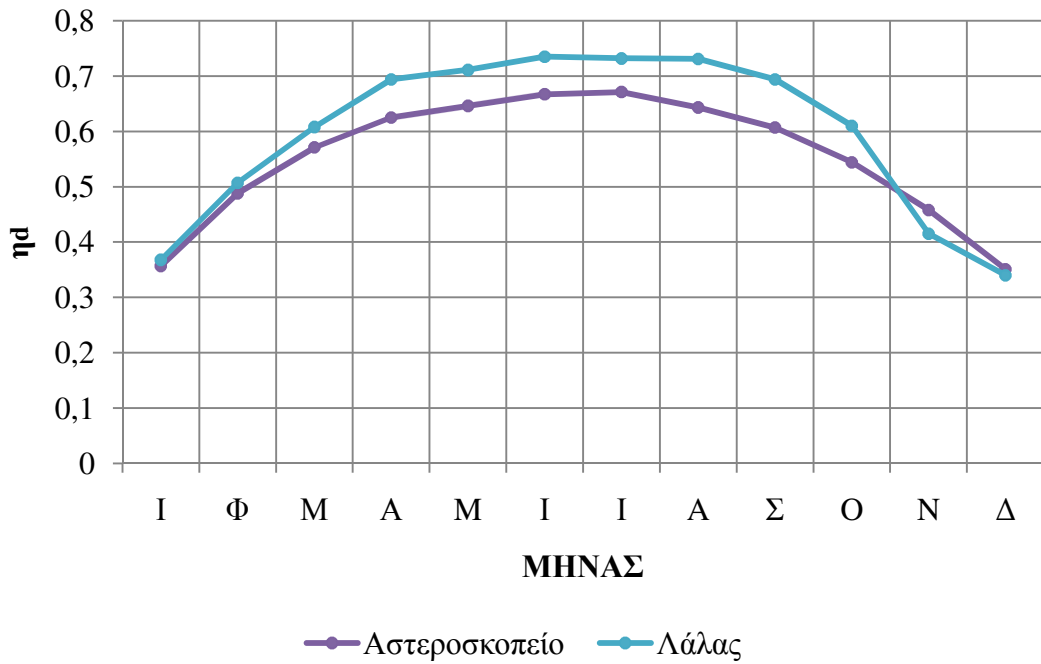
Σχήμα 12.16 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη για $W=100$ kg

12.4 Σύγκριση των βαθμών απόδοσης του θαλάμου ξήρανσης

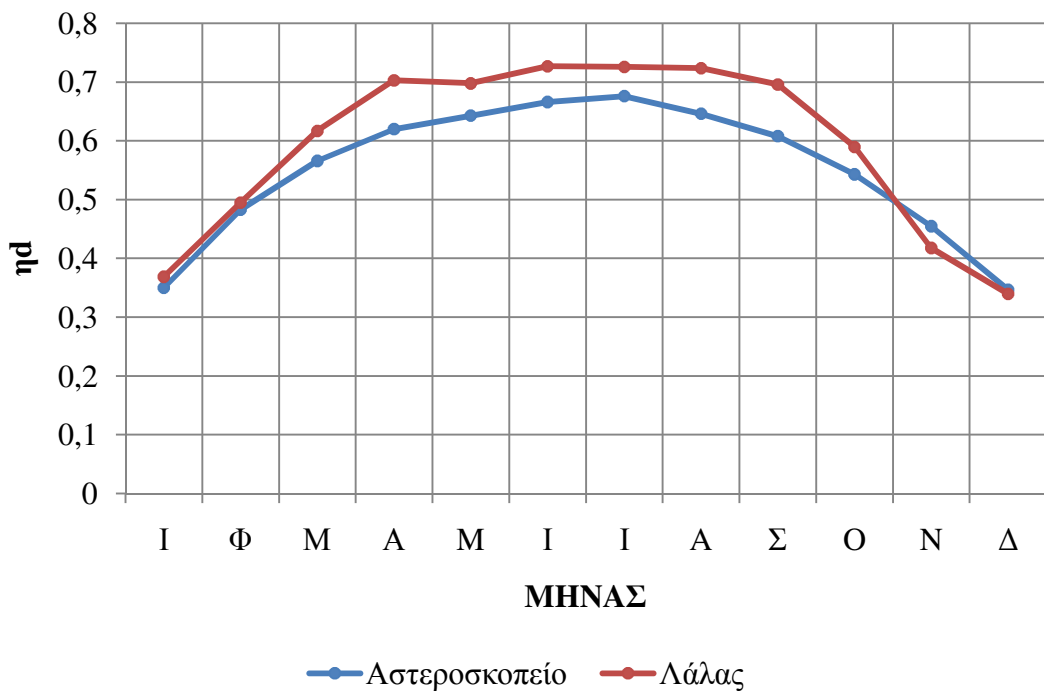
Τα διαγράμματα που ακολουθούν αναφέρονται και στις δύο περιπτώσεις Α και Β σε θερμοκρασία εξόδου του συλλέκτη $T_{oc}=50^{\circ}$ C.



Σχήμα 12.17 Βαθμός απόδοσης θαλάμου ξήρανσης για $\beta=30^{\circ}$



Σχήμα 12.18 Βαθμός απόδοσης θαλάμου ξήρανσης για $\beta=45^\circ$



Σχήμα 12.19 Βαθμός απόδοσης θαλάμου ξήρανσης για $\beta=60^\circ$

13. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

13.1 Αποτελέσματα για τις περιπτώσεις Α και Β

1. Επιφάνεια του ηλ. συλλέκτη

▪ Και στις δύο περιπτώσεις και ανεξαρτήτως της γωνίας κλίσης β° και της θερμοκρασίας T_{oc} είναι εμφανές ότι η επιφάνεια του ηλιακού συλλέκτη είναι σημαντικά μικρότερη κατά τους μήνες Απρίλιο-Σεπτέμβριο. Μάλιστα σε περιπτώσεις όπως για $W=100$ kg και $W=150$ kg ειδικά τους μήνες Ιανουάριο και Δεκέμβριο παρατηρήθηκαν τιμές που καθιστούν την ηλιακή ξήρανση εντελώς αδύνατη.

Από τα παραπάνω γίνεται εμφανές ότι η ηλιακή ξήρανση είναι ιδανική για τους μήνες Απρίλιο-Σεπτέμβριο, και το γεγονός ότι η περίοδος ξήρανσης των γεωργικών προϊόντων είναι εντός αυτών των μηνών, ενθαρρύνει περαιτέρω την επιλογή του ηλιακού ξηραντηρίου.

Σε περίπτωση που το ηλιακό ξηραντήριο έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί καθόλη τη διάρκεια του χρόνου, είναι προτιμότερο κατά την περίοδο των μηνών με χαμηλή ηλιακή ακτινοβολία (Οκτώβριο-Μάρτιο) να χρησιμοποιείται μία βοηθητική πηγή ενέργειας ώστε να διατηρείται η σωστή λειτουργία του.

▪ Όσον αφορά την επιφάνεια του συλλέκτη για κάθε μία περίπτωση (Α και Β), παρατηρήθηκε όπως ήταν αναμενόμενο, ότι για την ξήρανση της περίπτωσης Α η συλλεκτική επιφάνεια που απαιτείται, ακόμα και υπό τις ίδιες συνθήκες β , T_{oc} και W , είναι πολύ μεγαλύτερη της περίπτωσης Β. Αυτό οφείλεται στη διαφορά περιεκτικότητας σε υγρασία των προϊόντων, μεταξύ των δύο περιπτώσεων.

Το γεγονός αυτό πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τον σχεδιασμό του ηλιακού ξηραντηρίου (μπορεί το ξηραντήριο να χρησιμοποιείται για την ξήρανση είτε ενός μόνο είδους προϊόντος, είτε προϊόντων παρόμοιων τιμών αρχικής και τελικής περιεκτικότητας σε υγρασία). Επιπλέον, για τη μείωση της επιφάνειας του συλλέκτη θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και κάποια άλλη μέθοδος ξήρανσης (π.χ. βιομηχανική) ως μέθοδος προξήρανσης (κάτι που θα είχε και ως επιπλέον αποτέλεσμα τη μείωση του χρόνου ξήρανσης).

▪ Σε σχέση με τη γωνία κλίσης του συλλέκτη β και για τις δύο περιπτώσεις τα αποτελέσματα ήταν περίπου τα ίδια για τις γωνίες $\beta=30^\circ$ και $\beta=45^\circ$ ενώ για τη γωνία $\beta=60^\circ$ η επιφάνεια ήταν μεγαλύτερη, με τη διαφορά να γίνεται πιο εμφανής όσο αυξανόταν το βάρος W . Από τα παραπάνω γίνεται εμφανές ότι προτιμώνται οι γωνίες $\beta=30^\circ$ και $\beta=45^\circ$. Σε συνδυασμό με το γεγονός ότι έχει χρησιμοποιηθεί γωνία $\varphi=38^\circ$ και

για μέγιστη ενέργεια θέρους ισχύει $\beta^\circ = \varphi^\circ - 15$ [1], μεταξύ των δύο γωνιών η $\beta = 30^\circ$ είναι προτιμώτερη, ειδικά αν το ηλιακό ξηραντήριο λειτουργεί αποκλειστικά τους καλοκαιρινούς μήνες.

- Σε σχέση με τη θερμοκρασία ξήρανσης T_{oc} δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στην επιφάνεια του συλλέκτη από την αλλαγή της θερμοκρασίας.
- Σε σχέση με το βάρος του ξηρού προϊόντος W , παρατηρήθηκε ότι η συλλεκτική επιφάνεια και στις δύο περιπτώσεις αυξανόταν με την αύξηση του βάρους, κάτι που ήταν αναμενόμενο καθώς η δυναμικότητα του ηλιακού ξηραντηρίου αυξανόταν.

2. Βαθμός απόδοσης του ηλ. συλλέκτη

- Σε σχέση με τους μήνες και για τις δύο περιπτώσεις ο βαθμός απόδοσης ήταν μεγαλύτερος κατά τους μήνες Απρίλιο-Σεπτέμβριο.
- Όσον αφορά το βαθμό απόδοσης του συλλέκτη για κάθε μία περίπτωση, για βάρος $W=20$ kg οι τιμές και των δύο περιπτώσεων Α και Β ήταν παρόμοιες, ενώ για $W=50$ kg, $W=100$ kg και $W=150$ kg ο βαθμός απόδοσης ήταν λίγο μεγαλύτερος στην περίπτωση Β, χωρίς οι διαφορές να είναι μεγάλες.
- Σε σχέση με τη γωνία κλίσης του συλλέκτη β , στην περίπτωση Α υπάρχουν μικρές διαφορές και για τις τέσσερις τιμές του βάρους W , ενώ στην περίπτωση Β για $W=20$ kg και $W=50$ kg οι τιμές ταυτίζονταν σχεδόν πλήρως ενώ για $W=100$ kg και $W=150$ kg υπήρχε μικρή διαφορά.
- Σε σχέση με τη θερμοκρασία T_{oc} οι διαφορές είναι πολύ μικρές.
- Σε σχέση με το βάρος W , και στις δύο περιπτώσεις υπήρξε μικρή μείωση στο βαθμό απόδοσης με την αύξηση του βάρους.

3. Βαθμός απόδοσης του θαλάμου ξήρανσης

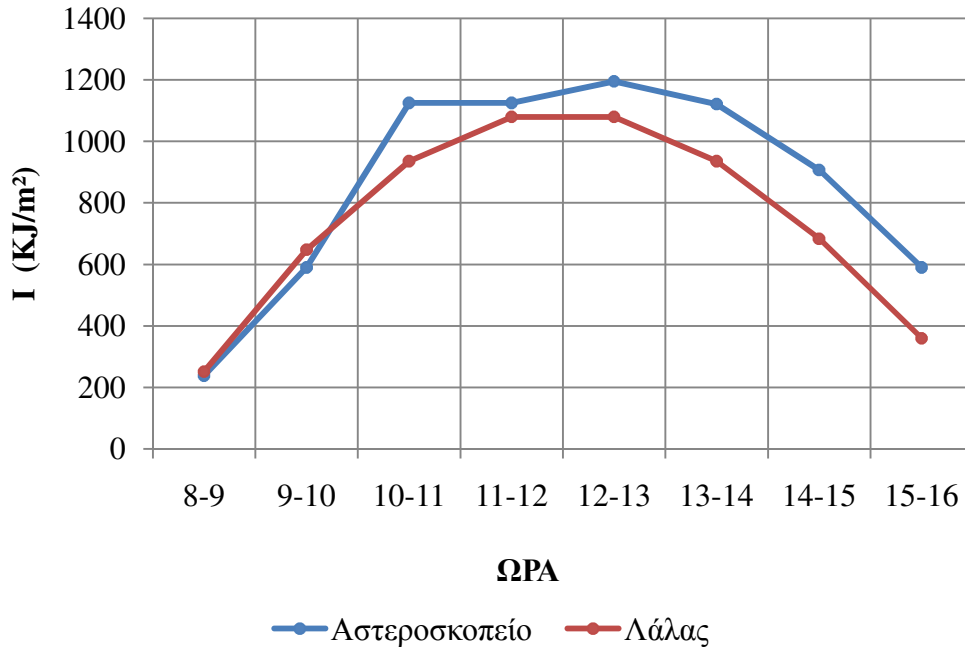
Για το βαθμό απόδοσης του θαλάμου ξήρανσης έχει γίνει αναλυτικότερη αναφορά στην ενότητα 10.5. Από τη γραφική παράσταση γίνεται εμφανές ότι αυξάνεται κατά τους θερινούς μήνες φτάνοντας στη μέγιστη απόδοση τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο.

13.2 Σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών τιμών της ηλιακής ακτινοβολίας

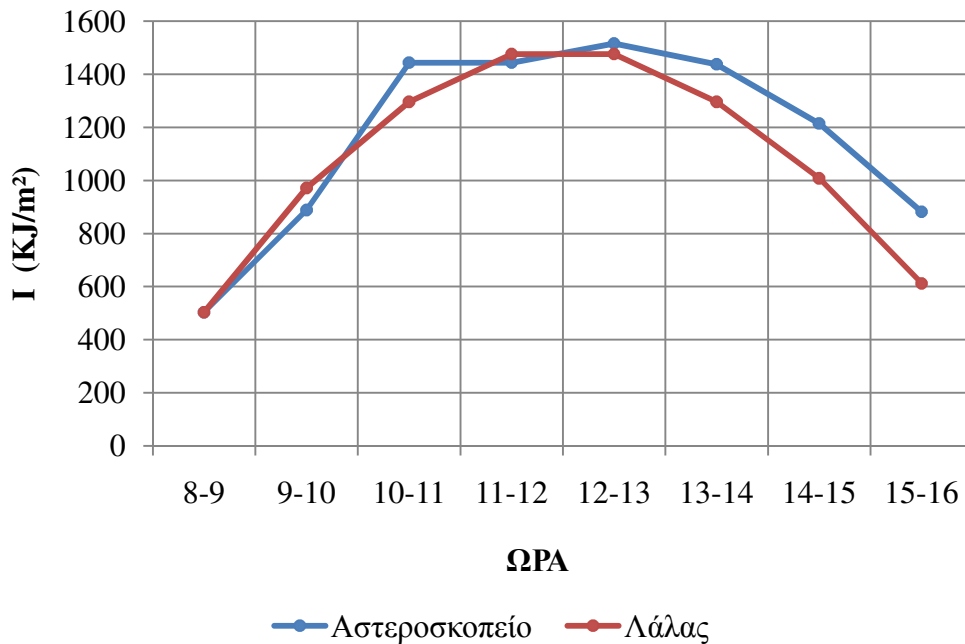
Όπως φάνηκε από το κεφάλαιο 12 υπάρχει διαφορά ανάμεσα στις τιμές των Λάλα, Πισιμάνη και Νοταρίδου και του Αστεροσκοπείου Αθηνών, κάτι που δεν επηρέασε ιδιαίτερα τις τιμές της επιφάνειας του ηλιακού συλλέκτη, αλλά είναι εμφανής στους βαθμούς απόδοσης τόσο του ηλιακού συλλέκτη όσο και του θαλάμου ξήρανσης, με τις τιμές του υπολογιστικού μοντέλου να είναι μεγαλύτερες.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

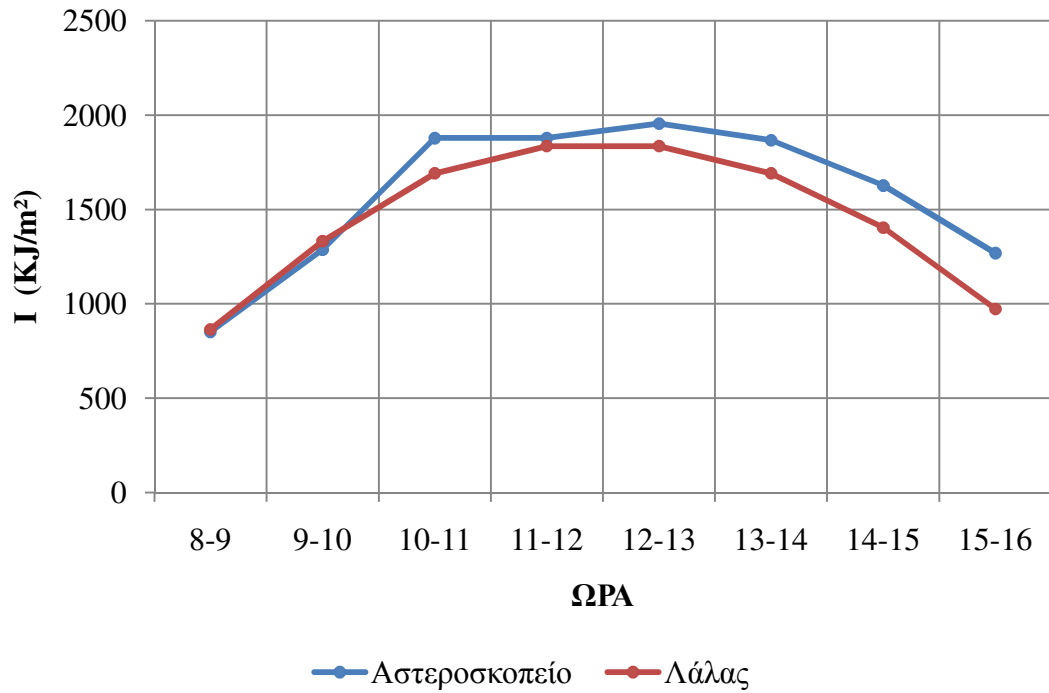
Στη συνέχεια ακολουθούν οι γραφικές παραστάσεις στις οποίες γίνεται η σύγκριση των ωριαίων τιμών της ηλιακής ακτινοβολίας ανά μήνα, που βασίζονται στις μετρήσεις του Αστεροσκοπείου Αθηνών και στο υπολογιστικό πρόγραμμα των Λάλα, Πισιμάνη και Νοταρίδου.



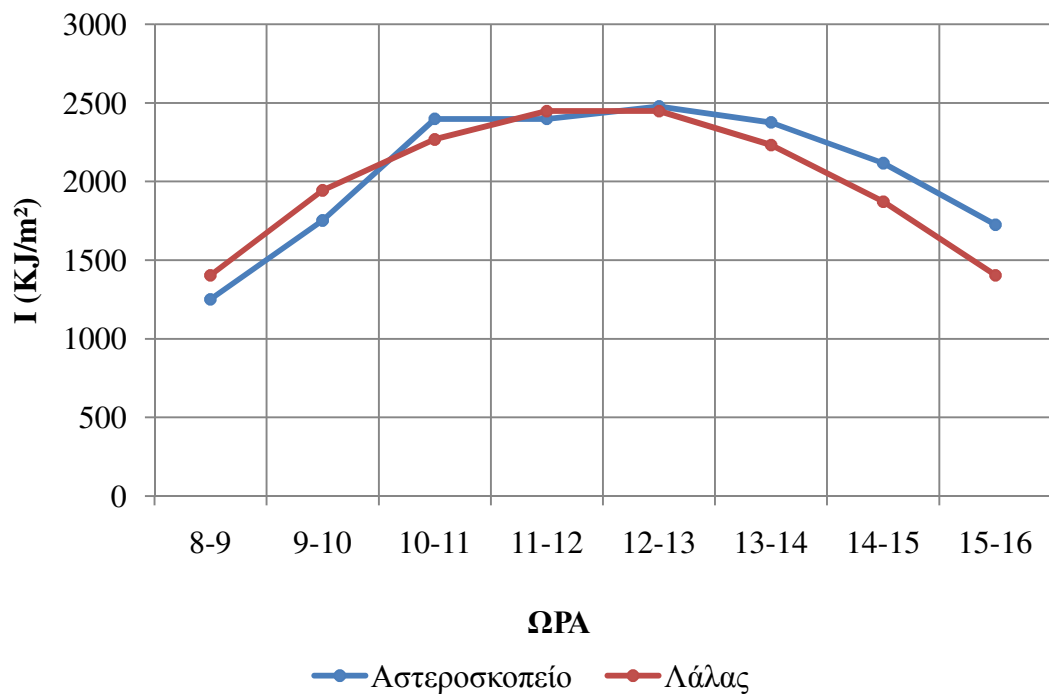
Σχήμα Π1 Ωριαία ηλιακή ακτινοβολία I για τον Ιανουάριο



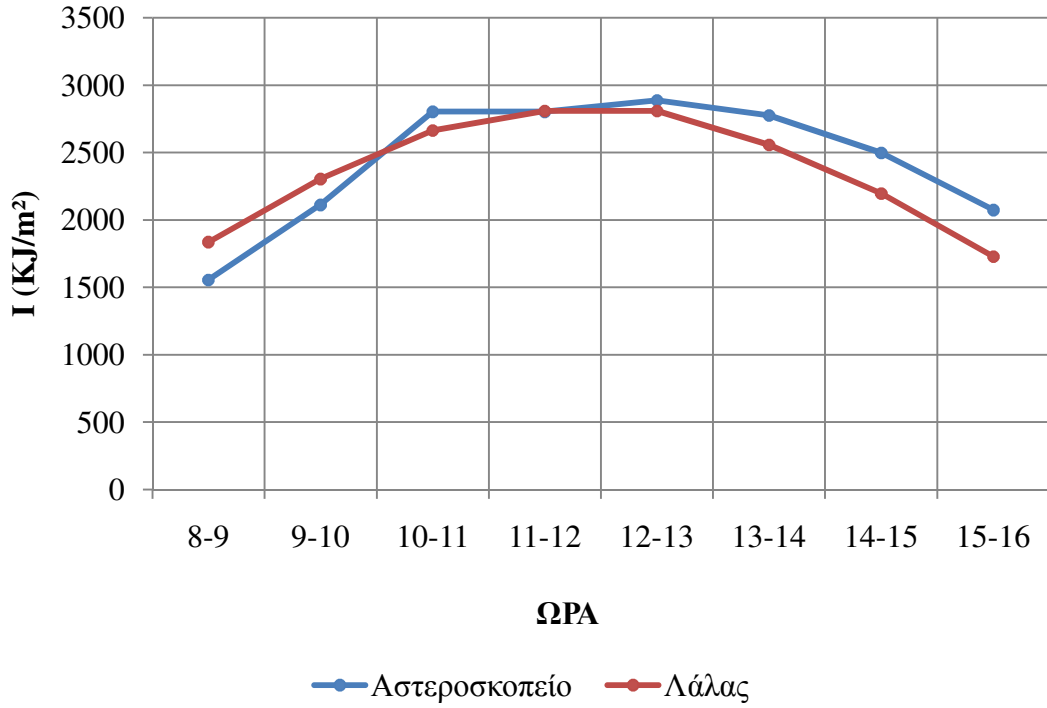
Σχήμα Π2 Ωριαία ηλιακή ακτινοβολία I για το Φεβρουάριο



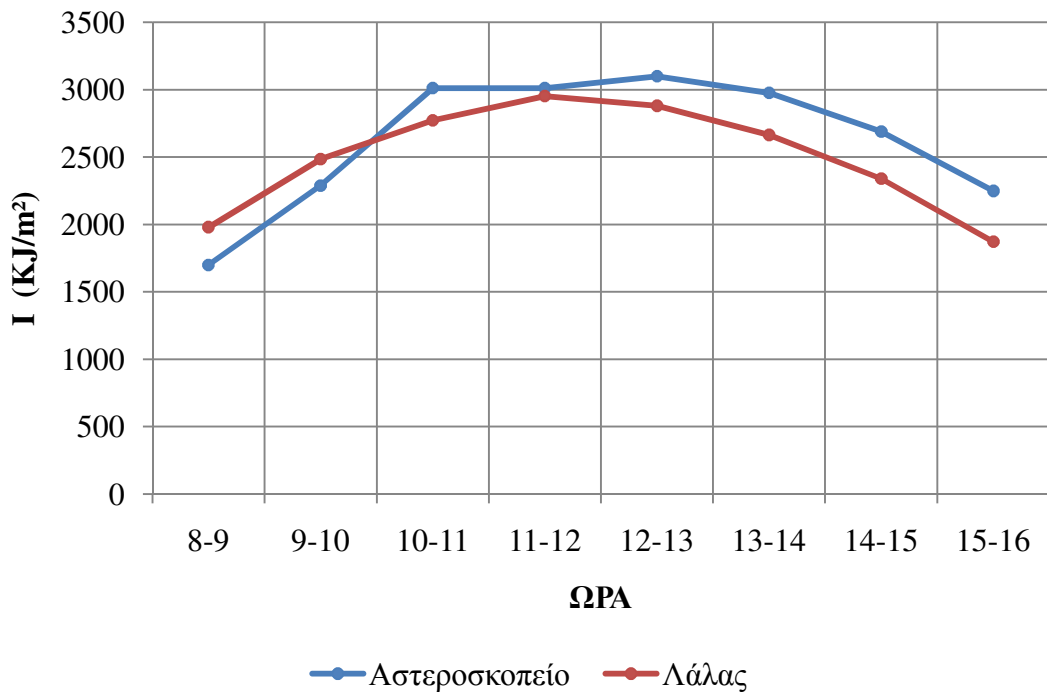
Σχήμα Π3 Ωριαία ηλιακή ακτινοβολία I για το Μάρτιο



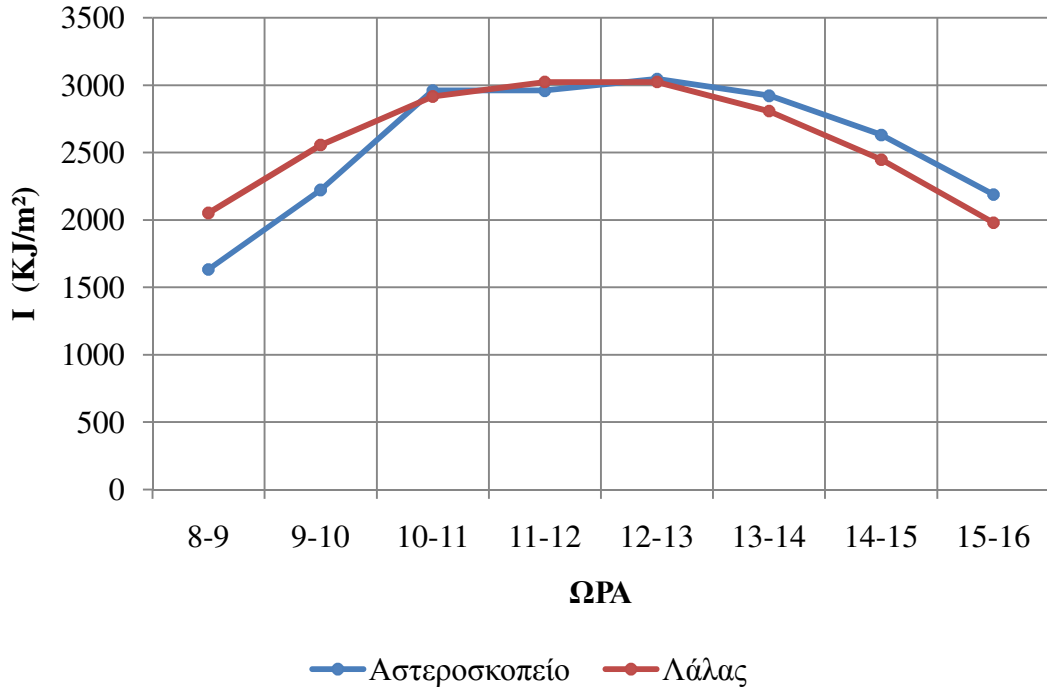
Σχήμα Π4 Ωριαία ηλιακή ακτινοβολία I για τον Απρίλιο



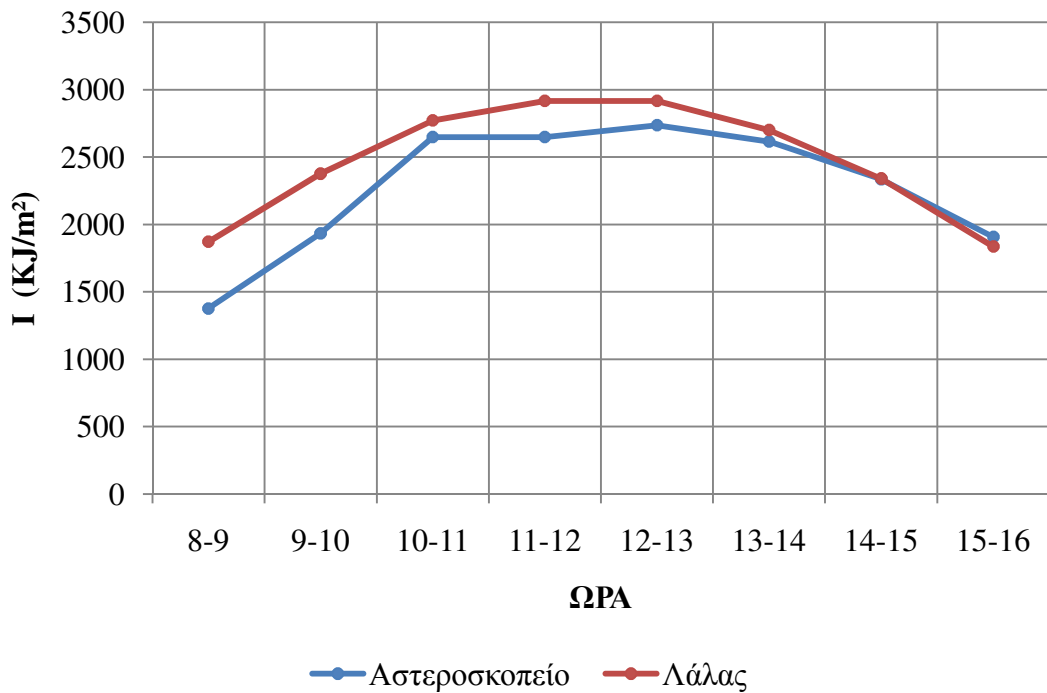
Σχήμα Π5 Ωριαία ηλιακή ακτινοβολία I για το Μάιο



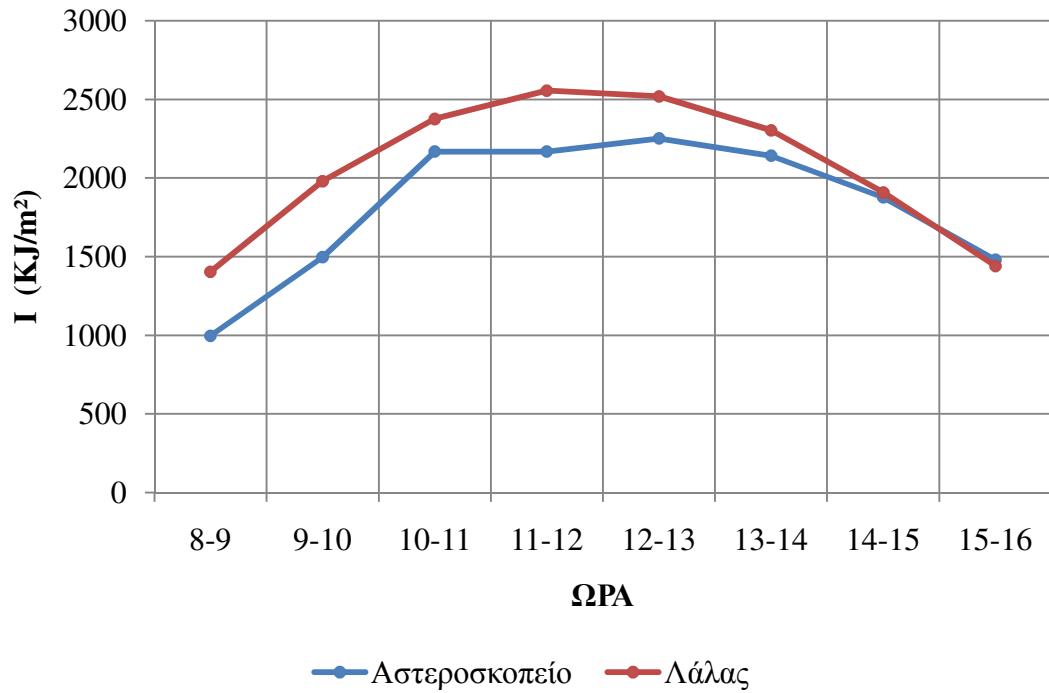
Σχήμα Π6 Ωριαία ηλιακή ακτινοβολία I για τον Ιούνιο



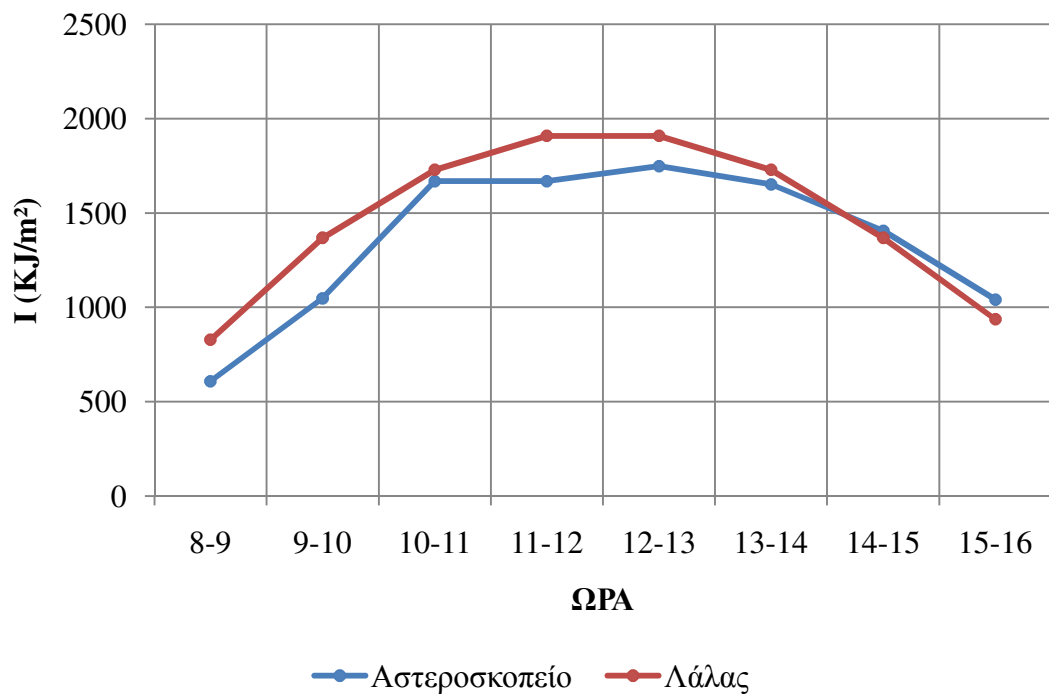
Σχήμα Π7 Ωριαία ηλιακή ακτινοβολία I για τον Ιούλιο



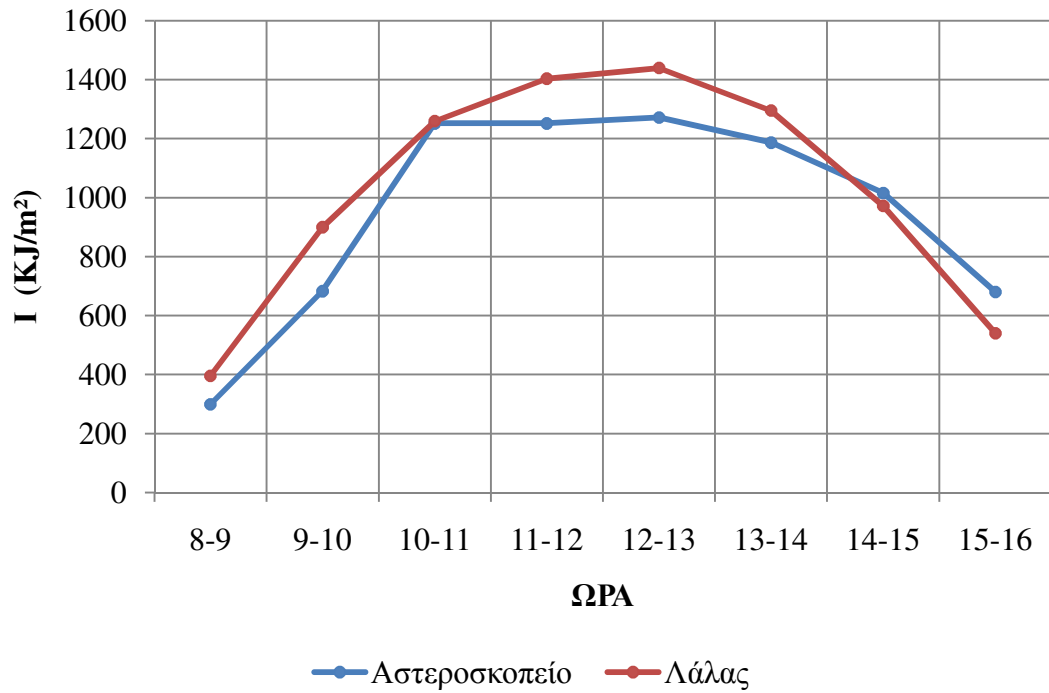
Σχήμα Π8 Ωριαία ηλιακή ακτινοβολία I για τον Αύγουστο



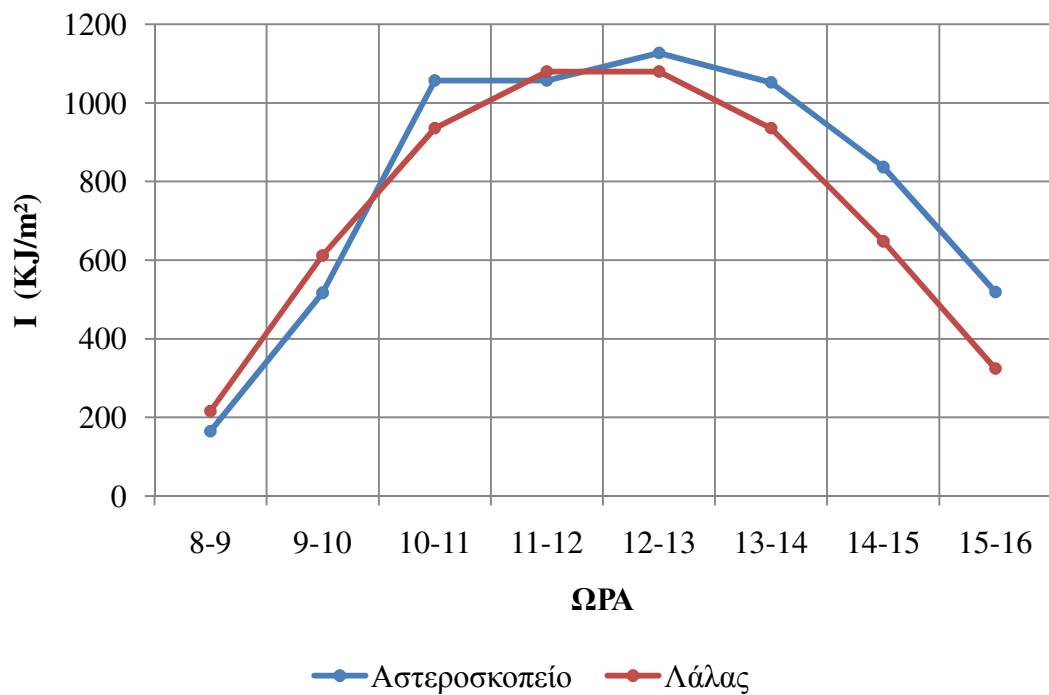
Σχήμα Π9 Ωριαία ηλιακή ακτινοβολία I για το Σεπτέμβριο



Σχήμα Π10 Ωριαία ηλιακή ακτινοβολία I για τον Οκτώβριο



Σχήμα Π11 Ωριαία ηλιακή ακτινοβολία I για το Νοέμβριο



Σχήμα Π12 Ωριαία ηλιακή ακτινοβολία I για το Δεκέμβριο

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Θερμικά-ηλιακά συστήματα, Μέρος πρώτο, Κίμωνος Α. Αντωνόπουλου, Καθηγητού Ε. Μ. Πολυτεχνείου, Αθήνα 2004
2. Κλιματισμός, Μέρος πρώτο, Κίμωνος Α. Αντωνόπουλου, Καθηγητού Ε. Μ. Πολυτεχνείου, Αθήνα 2004
3. Συσκευές και εγκαταστάσεις θερμικών διεργασιών, Δρ. Αθηνά Στέγγου-Σαγιά Καθηγήτρια Ε. Μ. Πολυτεχνείου, Αθήνα 2006
4. Ηλιακά ξηραντήρια, Π. Χαρώνη, Εκδόσεις ΙΩΝ
5. Τεχνική θερμικών διεργασιών, Γ. Δ. Σαραβάκος, εκδ. ΕΜΠ, Αθήνα 1979
6. Ηλιακή ενέργεια:συνιστώσες της θερμικής διαδικασίας, Ανδρέας Ε. Μοσχάτος, Έκδοση Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος
7. Συστημική μεθοδολογία και τεχνική οικονομική, Δημήτριος Χ. Παναγιωτακόπουλος, Εκδ. Ζυγός
8. Solar engineering of thermal processes, John A. Duffie, William A. Beckman
9. Handbook of industrial drying, Arun S. Mujumdar
10. Mechanical Engineer's Handbook, Third Edition 2006, Myer Kutz
11. Perry's Chemical Engineers Handbook, Mc Graw-Hill edition 1999
12. Solar drying systems, B. K. Bala
13. New perspectives for Energy savings in Agriculture: Current Progress in Solar Technologies, V. Goedseels, Kluwer Academic Publishers
14. Drying and storage of grains and oilseeds, Donald B. Brooker, Fred W. Bakker-Arkema, Carl W. Hall
15. Handbook of Heating ventilation and air conditioning, Jan. F. Kreider
16. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, Antonio Luque, Steven Hegedus, Wiley 2002
17. Σημειώσεις ΑΠΕ Ι Δρ. Π. Αξαόπουλος
18. Ξήρανση πριστής ξυλείας με αξιοποίηση ηλιακής ενέργειας, Διδακτορική διατριβή Μ. Σκαρβέλη
19. Ξήρανση ιλύος αστικών και βιομηχανικών αποβλήτων με τη βοήθεια της ηλιακής ενέργειας, Διπλωματική εργασία Κ. Κατσιμάντου Α.Π.Θ

20. Μελέτη, κατασκευή και λειτουργία έμμεσου ηλιακού ξηραντηρίου για την αποξήρανση κορινθιακής σταφίδας στην περιοχή του Αιγίου, Διπλωματική εργασία Β. Σταματόπουλου, Παν. Πατρών
21. Διερεύνηση της συμπεριφοράς ενός παθητικού ηλιακού ξηραντηρίου στα Χανιά Κρήτης, Πτυχιακή εργασία Καρλάκη Β. , Νούκα Α.
22. Steinmann D.E. 1989, Solar Drying of Wood, Ph.D. Thesis, Faculty of Forestry, University of Stellenbosch, S. Africa
23. Thesis Modelisation du sechage solaire sous serre des boues de stations d' epuration urbaines, Amadou H., Université Louis Pasteur-Strasbourg I
24. Πάπυρος Larousse Britannica

PAPERS

25. E. A. Arinze, S. Sokhansanj, G. J. Schoenau, B. Crerar, A. Opoku, Design, experimental and economic evaluation of a commercial-type solar dryer for production of high-quality hay, *Drying Technologie* 16 (3-5), pp. 597-626
26. Czesław Strumiłło, Perspectives on developments in drying, *Drying Technology* 24 (2006), pp. 1059-1068
27. M. Tsamparlis, Solar drying for real applications, *Drying Technology* 8(2), pp. 261-285
28. Μ. Τσαμπαρλής, Μ. Μαρούσης, Υβριδικό ηλιακό ξηραντήριο αγροτικών προϊόντων, 'Ηπιες μορφές ενέργειας (3ο: 1988: Θεσσαλονίκη) τ.2
29. C. Ratti, A. S. Mujumdar, Solar drying of foods: modeling and numerical simulation, *Solar Energy* Vol. 60 Nos. 3/4, pp. 151-157
30. C. Rosselo, A. Berna, A. Mulet, Solar drying of fruits in a Mediterranean climate, *Drying Technologie* 8(2), pp. 305-321
31. Χρ. Θ. Κυρανούδης, Ζ. Β. Μαρούλης, Δ. Μαρίνος-Κουρής, Ενεργητικά συστήματα ξήρανσης γεωργικών προϊόντων με ηλιακή ενέργεια, 'Ηπιες μορφές ενέργειας (3ο:1988:Θεσσαλονίκη) τ.2
32. P. Purohit, A. Kumar, T. Kandpal, Solar drying vs. open sun drying: a framework for financial evaluation, *Solar Energy* 80 (2006), pp. 1568-1579
33. M. A. Karim, M. N. A. Hawlader, Development of solar air collectors for drying applications, *Energy Conversion and Management* 45 (2004), pp. 329-344
34. L. Imre, C. Palaniappan, Development of solar drying, *Drying Technology* 14(6), pp. 1381-1388

- 35.K. Lutz, W. Mühlbauer, Solar tunnel dryer with integrated collector, *Drying Technology* 4(4), pp. 583-603
- 36.The Hohenheim solar tunnel dryer –20 years of success, Oliver Hensel, Albert Esper, *ITDG Food Chain* 31
- 37.Chen P.Y.S., W.A. Helmer, H.N. Rosen, Experimental studies of Solar and Solar-Dehumidification lumber drying, *Journal of Energy*, vol. 5(3), 1981, pp. 130
- 38.Renewables 2007, Global Status Report
- 39.Z. Pakowski, The role of drying technology in sustainable development, *Drying Technology* Vol. 21 No. 1, pp. 175-181
- 40.W. Senadeera, I.S. Kalugalage, Performance evaluation of an affordable solar dryer for drying crops, In *Proceedings Biennial Conference of the Society of Engineers in Agriculture 2004*, Dubbo, Australia
- 41.E. Gallestey, A. D. B. Paice, Mathematical modeling and optimal control of solar dryers, *Mathematical Modelling of Systems* Vol. 1 No. 1 (1996), pp. 000-111
- 42.Δημήτριος Χασάπης, Σχεδιασμός και βελτιστοποίηση αεραγωγού φυσικού ελκυσμού με χρήση ηλιακής ενέργειας, *Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Σερρών*
- 43.A. Madhlopa , G. Ngwalo, Solar dryer with thermal storage and biomass-backup heater, *Solar Energy* 81 (2007), pp. 449–462
- 44.J. Hirunlabh, T. Paraboon, R. Pairintra, A new type of modular dryer combining solar energy and producer gas, *Drying Technology*, 15(3&4), 1997, pp. 1203-1211
- 45.Fundamental Principles of Drying, Arun S. Mujumdar and Sakamon Devahastin
- 46.Factors in drying and storing farm crops, *ASHRAE 1997 Fundamentals*
- 47.A. Steinfeld and I. Segal, A simulation model for solar thin-layer drying process, *Drying Technology* 4(4), pp. 535-554
- 48.The drying curve, Darren A. Traub
- 49.Θοδωρής Καραπάντσιος Ξήρανση
- 50.Industrial drying systems, *ASHRAE 1999 HVAC Applications*
- 51.Solar Energy Use, *ASHRAE 1999 HVAC Applications*
- 52.Drying and storing selected farm crops, *ASHRAE 1999 HVAC Applications*
- 53.B. M. Santos, M. R. Queiroz, T. P. F. Borges, A solar collector design procedure for crop drying, *Brazilian Journal of Chemical Engineering* Vol. 22 No. 02, pp. 277-284
- 54.P. Biondi, L. Cicala, G. Farina, Performance analysis of solar air heaters of conventional design, *Solar Energy* Vol. 41 No. 1, pp. 101-107

55. Rolf Henriksson, Practical applications of using solar collectors for drying purposes in agriculture, *Drying Technology* 4(4), pp. 513-533
56. Chen P.Y.S., W.A. Helmer, Design and tests of a solar-dehumidifier kiln with heat storage and heat recovery systems, *Forest Products Journal* 37(5), pp. 26-30
57. Fans, ASHRAE 2000 HVAC Systems and Equipment
58. Σ. Μπαμπαλής, Ρ. Μαθιουλάκης, Β. Μπελεσιώτης, Διερεύνηση της χρήσης ηλιακής ενέργειας για την κάλυψη μέρους των θερμικών αναγκών κατά τη μηχανική ξήρανση αγροτικών προϊόντων, 'Ηπιες μορφές ενέργειας, (7ο:, 6-8 Νοεμβρίου, 2002: Πάτρα) τ.2
59. N. A. Vlachos, T. D. Karapantsios, A. I. Balouktsis and D. Chassapis, Design and testing of a new solar dryer, *Drying Technology* 20:6, pp. 1243-1271
60. L. Imre, Technical and economical evaluation of solar drying, *Drying Technology*, 4(4) (1986) pp. 503
61. K. W. Böer, Payback of solar systems, *Solar Energy* Vol. 20, pp. 225-232
62. J.S. Vaishya, S. Subrahmaniyam, V.G. Bhide, Economic design of flat plate solar absorber, *Solar Energy*, Volume 26, Issue 4, 1981, pp. 367-369
63. M. Kovarik, Optimal distribution of heat conducting material in the finned pipe solar energy collector, *Solar Energy*, Volume 21, Issue 6, 1978, pp. 477-484
64. L. Imre, Technical and economical evaluation of solar drying, *Drying Technology*, 4(4) (1986) pp. 503

INTERNET SITES

65. http://www.gsrt.gr/default.asp?V_ITEM_ID=2041
66. http://practicalactionpublishing.org/practicalanswers/product_info.php?products_id=383
67. <http://www.cres.gr>
68. <http://www.ecogreens.gr>
69. http://www.energytraining4europe.org/greek/training/guide_res/solar_thermal_08.htm
70. <http://www.parkson.com/>
71. <http://www.rosegum.com.au/>
72. <http://solarwall.com/gr>
73. <http://solarairheating.org/pages/solar-heating-options.php>
74. <http://www.retscreen.net>

75. [http://www.canren.gc.ca/tech_appl/index.asp?CaId=5&PgId=282#
Air based solar collectors](http://www.canren.gc.ca/tech_appl/index.asp?CaId=5&PgId=282#Air_based_solar_collectors)
76. <http://www.fao.org/docrep/T1838E/T1838E0t.htm#Introduction>
77. <http://www.iea-shc.org/task29/index.html>
78. [http://www.rep.com.np/Document_Uploads/Downloads/20080730
0532231.pdf](http://www.rep.com.np/Document_Uploads/Downloads/200807300532231.pdf)