

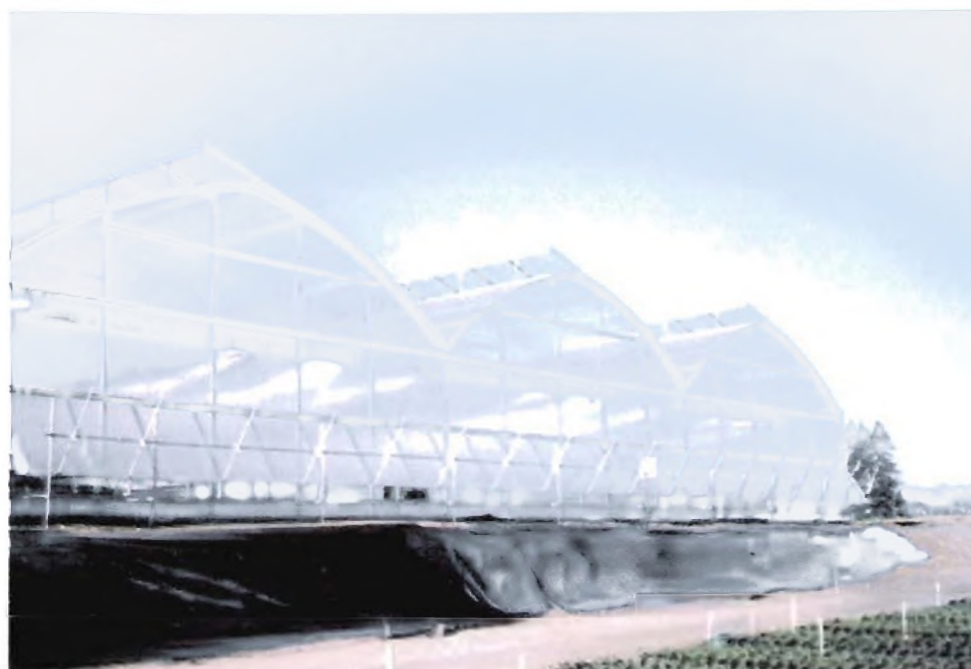


**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ**

Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας
Τμήμα Θερμοκηπιακών Καλλιεργειών Και Ανθοκομίας

Πτυχιακή Εργασία

**Εφαρμογές Της Ηλιακής Ενέργειας Στον
Αγροτικό Τομέα**



Εισηγητής:
Αλεξόπουλος Γεώργιος

Επιμέλεια:
Ψαρράς Κωνσταντίνος
Α.Μ. 7425

Μεσολόγγι 2005



Τ.Ε.Ι. ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ

Αριθμ. Εισαγωγής

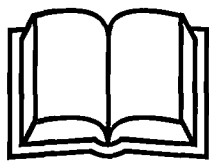
116



Κατά την διάρκεια της μελέτης και έρευνας για την εκπόνηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας συνηδητοποίησα ότι αυτή η προσπάθεια αποτελεί το τελευταίο έργο ως φοιτητής στο τμήμα Θεμοκηπιακών Καλλιεργείων και Ανθοκομίας. Έτσι λοιπόν αναλογιζόμενος την στήριξη που είχα από του γονείς μου, τους φίλους μου και ειδικότερα από την αρραβωνιαστικιά μου Λίζα τα τέσσερα αυτά χρόνια, ήθελα να τους την αφιερώσω.

Φυσικά αισθάνομαι την υποχρέωση, να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Αλεξόπουλο Γεώργιο και την κ. Καυγά Αγγελική για την εισήγηση του θέματος, την επίβλεψή τους και γενικότερα την ουσιαστική βοήθειά τους.

Τέλος, ευχαριστώ από τα βάθη της καρδιάς μου τις συναδέλφισσες μου Μπριλάκη Ελευθερία και Τσερπέλη Ιωάννα για την ουσιαστικότερη βοήθειά τους στην ολοκλήρωση της προσπάθειας μου.



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	1
Εισαγωγή	2
1. Ιστορική Αναδρομή.....	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ	
1. Θερμοκήπια.....	4
1.1 Εισαγωγή	4
1.2 Αιολική Ενέργεια	5
1.1.2 Φωτισμός.....	4
1.2.1 Φυσικός Φωτισμός.....	7
1.3 Σκίαση.....	10
1.4 Θέρμανση των Θερμοκηπίων.....	11
1.4.1 Συστήματα Θέρμανσης.....	13
1.4.1.1 Κλασσικά Συστήματα.....	13
Τοπικά Συστήματα Θέρμανσης... ..	14
1.5 Θέρμανση με Ανανεωμένες Πηγές Ενέργειας	21
1.5.1 Ηλιακή Ενέργεια.....	21
1.5.2 Περιβαλλοντική Ενέργεια.....	24
1.5.3 Ενέργεια Θερμικών Αποβλήτων.....	26
1.5.4 Γεωθερμική Ενέργεια.....	26
1.5.5 Βιομάζα	28
1.6 Συστήματα Θέρμανσης με Νερό Χαμηλής Θέρμανσης.....	30
1.7 Ψύξη Θερμοκηπίων.....	33
1.7.1 Εξαερισμός.....	34
1.7.1.1 Φυσικός Εξαερισμός.....	35
1.7.1.2 Δυναμικός Εξαερισμός.....	37
1.7.2 Δροσισμός.....	39
1.7.2.1 Cooling System.....	39
1.7.3 Υδρονέφωση.....	41
1.8 Δυνατότητα Ψύξης Με Σκίαση.....	42
1.9 Ηλιοαπολύμανση	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ	
2 Ξηραντήρια.....	
2.1 Εισαγωγή.....	47
2.2 Τρόποι Ηλιακής Ξήρανσης.....	47
2.3 Τύποι Ηλιακών Ξηραντηρίων.....	47
2.3.1 Φυσικά Ηλιακά Ξηραντήρια.....	48
2.3.2 Άμεσα Ηλιακά Ξηραντήρια.....	48
2.3.3 Έμμεσα Ηλιακά Ξηραντήρια.....	49
2.4 Παραδείγματα Κατασκευής Ξηραντηρίων.....	51
2.4.1 Ηλιακό Ξηραντήριο Για Προϊόντα Χύδην.....	51
2.4.2 Κελυφωτό Ξηραντήριο.....	51
2.4.3 Ξηραντήριο Φρούτων Και Λαχανικών.....	52
2.4.4 Μεικτό Ξηραντήριο Με Ανεμιστήρα.....	52
2.5 Διερεύνηση Της Χρήσης Ηλιακής Ενέργειας Για Την Κάλυψη Μέρους Θερμικών Αναγκών Κατά Την Μηχανική Ξήρανση Αγροτικών Προϊόντων	53
2.5.1 Εισαγωγή	53

2.5.2	Προσδιορισμός Θερμικών Απαιτήσεων Ενός Μηχανικού Ξηρατηρίου.....	57
2.5.3	Το Ηλιακό Σύστημα.....	59
2.5.4	Συμπεράσματα.....	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ.		
3.	Αφαλάτωση Νερού.....	62
3.1	Εισαγωγή.....	62
3.2	Φυσικό Νερό.....	63
3.2.1	Απόσταξη.....	64
α	Τι είναι και πως λειτουργεί.....	64
β	Εφαρμογές τις Απόσταξης για την Αφαλάτωση.....	64
γ	Απόσταξη με Ηλιακή Ενέργεια.....	66
δ	Απόσταξη με Γεωθερμική Ενέργεια.....	68
ε	Πυρηνική Ενέργεια και Αφαλάτωση.....	68
3.3	Αντίστροφη Όσμωση Και Ηλεκτροδιάλυση.....	69
3.3.1	Αντίστροφη Όσμωση.....	69
3.3.2	Ηλεκτροδιάλυση.....	70
3.3.2.1	Εφαρμογές της ηλεκτροδιάλυσης.....	70
3.3.3	Σύγκριση Αντίστροφης Όσμωσης Και Ηλεκτροδιάλυσης.....	71
3.4	Κρυστάλλωση.....	73
3.5	Χημική Μέθοδος.....	74
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ		
4.	Άντληση Νερού.....	76
4.1	Εισαγωγή.....	76
4.2	Αντλίες Ηλιακής Ενέργειας για την Παραγωγή Μηχανικής Ισχύος.....	76
4.3	Θερμικές Μηχανές.....	77
4.4	Διάδοση Συστημάτων Αντλιών με Ηλιακή Ενέργεια.....	77
	Βιβλιογραφία.....	79

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην σημερινή εποχή, εδώ και αρκετά χρόνια βέβαια, μεγάλος λόγος γίνεται, και όχι άδικα, για το μείζον θέμα της ενέργειας. Σε όλους μας είναι γνωστό ότι το πετρέλαιο αποτελεί την σημαντικότερη πηγή σήμερα. Όλα όμως δείχνουν ότι τα κοιτάσματα πετρελαίου ανά τον κόσμο συνεχώς και εξαντλούνται. Τίθενται λοιπόν τα παρακάτω ερωτήματα. Έως πότε θα υπάρχει πετρέλαιο; Μήπως πρέπει να στραφούμε σε άλλες πηγές ενέργειας για την ικανοποίηση των αναγκών στους διάφορους τομείς της σύγχρονης κοινωνίας.

Η παρούσα λοιπόν, διπλωματική εργασία αναφέρεται στην αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας στον αγροτικό τομέα και ειδικότερα στον τομέα των θερμοκηπίων για τον έλεγχο του φωτισμού και της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου προκειμένου να βελτιστοποιηθούν οι συνθήκες ανάπτυξης των Θερμοκηπιακών καλλιεργειών. Η κατάλληλη αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για την αποδοτική ανάπτυξη των καλλιεργειών σε ελεγχόμενες συνθήκες εντάσσεται στην κατεύθυνση της χρήσης εναλλακτικών ενεργειακών πηγών σε υποκατάσταση των συμβατικών πηγών για εξοικονόμηση ενέργειας και προστασία του περιβάλλοντος.

Στα πλαίσια της εργασίας, μελετήθηκε σχετική ελληνική και διεθνής βιβλιογραφία από Ελληνικά και Διεθνή περιοδικά, από πρακτικά συνεδρίων και από άλλες βιβλιογραφικές πηγές. Αναφέρονται οι εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας στον αγροτικό τομέα δίνοντας έμφαση στα θερμοκήπια. Μελετήθηκαν συμβατικά συστήματα, μέθοδοι και αποτελέσματα για τον έλεγχο του φωτισμού, της σκίασης, της θέρμανσης, της ψύξης και αερισμού (κεφάλαιο 1).

Στη συνέχεια, γίνεται αναφορά και ανάλυση για τους τρόπους ξήρανσης, όπως επίσης και τους συγκεκριμένους τύπους ξηραντηρίων που χρησιμοποιούνται σήμερα για τα σημαντικότερα αγροτικά προϊόντα (κεφάλαιο 2).

Στο κεφάλαιο 3 θα διερευνηθεί αναλυτικά ένα πολύ σημαντικό επίτευγμα για την ζωή του σύγχρονου ανθρώπου, που δεν είναι άλλο από την αφαλάτωση του νερού. Αναλύονται τρόποι και τεχνικές δίνοντας έμφαση στη μέθοδο της απόσταξης, της αντίστροφης όσμωσης και ηλεκτροδιάλυσης, της κρυστάλλωσης και της χημικής μεθόδου. Ως παράδειγμα αναφέρουμε τις μονάδες αφαλάτωσης που λειτουργούν, σήμερα, στη Δεκέλεια και τη Λάρνακα, συνολικής δυναμικότητας 90.000 m³ νερού την ημέρα, που συνέβαλαν στην ανεξάρτηση της παροχής πόσιμου νερού στα μεγάλα αστικά και τουριστικά κέντρα από τη βροχόπτωση.

Τέλος, μελετήθηκε και παρουσιάζεται η χρήση της ηλιακής ενέργειας για την άντληση νερού αναφέροντας τις σημαντικότερες τεχνικές .

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.2.1 Ιστορική Αναδρομή

Η αρχική εφαρμογή της ηλιακής ενέργειας ήταν με την μορφή της φωτιάς. Οι πρώτες γνωστές πρακτικές εφαρμογές ήταν στην ξήρανση για τη συντήρηση των τροφίμων. Η παλαιότερη εγκατάσταση που αφορούσε την ξήρανση των τροφίμων με την ηλιακή ακτινοβολία βρέθηκε στη νότια Γαλλία και χρονολογείται σε 8000 π.Χ.

Η παλιότερη σε μεγάλη κλίμακα πιθανή εφαρμογή, είναι η καύση του Ρωμαϊκού στόλου από τον Αρχιμήδη, τον Έλληνα μαθηματικό και φιλόσοφο (287-212 π.Χ.), ο οποίος χρησιμοποίησε επίπεδους καθρέπτες για την συγκέντρωση των ακτίνων του ηλίου σε ένα συγκεκριμένο σημείο επάνω στα πλοία. Πολλοί συγγραφείς, από το 100 π.Χ. μέχρι το 1100 μ.Χ., έκαναν αναφορές σε αυτό το γεγονός, το οποίο αργότερα χαρακτηρίστηκε ως μύθος διότι δεν υπήρχε η κατάλληλη τεχνολογία για να κατασκευαστούν καθρέπτες. Δεν είναι γνωστό, εάν το γεγονός έγινε πραγματικά, αλλά ο Αρχιμήδης είναι επίσης συγγραφέας ενός βιβλίου με τον τίτλο «Καθρέπτες», το οποίο δεν έχει διασωθεί, αλλά πολλοί συγγραφείς αρχαιοτήτων αναφέρονται σε αυτό. Αυτό το πείραμα επαναλήφθηκε από τον Πρόκλους κατά την διάρκεια της Βυζαντινής περιόδου όταν έκαψε τον πολεμικό στόλο των εχθρών που πολιορκούσαν το Βυζάντιο (Delyannis, 2003).

Η χρήση της ηλιακής ενέργειας επανελήφθη κατά τη διάρκεια του 18ου αιώνα πρώτα από το Γάλλο φυσιογνώστη Boufon το 1747 και το 1748, ο οποίος πειραματίστηκε με διάφορες ανακλώμενες συσκευές που αποκαλούντο από τον ίδιο "καυτοί καθρέπτες που καίνε σε μεγάλη απόσταση." Μια από τις πρώτες μεγάλης κλίμακας εφαρμογές ήταν ο ηλιακός φούρνος που χτίστηκε από το γνωστό Γάλλο φαρμακοποιό Lavoisier ο οποίος το 1774 κατασκεύασε ισχυρούς φακούς για να συγκεντρώσουν την ηλιακή ακτινοβολία. Αυτοί οι δύο επιστήμονες προώθησαν πολύ την έρευνα και την εφαρμογή της ηλιακής ενέργειας.

Η πραγματική όμως επανάσταση της ηλιακής ενέργειας ξεκίνησε στο μέσον του 19ου αιώνα. Στην Ευρώπη και στην Αμερική, διάφοροι ερευνητές πειραματίστηκαν με τις ηλιακές μηχανές που χρησιμοποιήθηκαν για συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η χρήση τους ήταν κυρίως στην άντληση νερού για άρδευση. Αυτοί ήταν οι πρώτοι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες και συγκεντρωτές με τον Schuman να φτιάχνει τον πρώτο επίπεδο συγκεντρωτή. Από το 1866 μέχρι το 1956 μικρές ηλιακές εγκαταστάσεις κατασκευάστηκαν και τέθηκαν σε λειτουργία. Μεταξύ 1866 και 1878 ο Γάλλος μηχανικός Mouchot, κατασκεύασε διάφορους συγκεντρωτικούς συλλέκτες στην Ευρώπη και τη βόρεια Αφρική. Οι προσπάθειες συνεχίστηκαν στις ΗΠΑ όπου ο John Ericsson, ανέπτυξε την πρώτη μηχανή ατμού, οδηγούμενη άμεσα από την ηλιακή ενέργεια (Belessiotis and Delyannis, 2000).

Στην αρχή του 20ού αιώνα, η δραματική αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας από τη βιομηχανία, αναζωπύρωσε το ενδιαφέρον για τη χρήση ηλιακής ενέργειας για μεγάλης κλίμακας πρακτικές εφαρμογές. Ο Eneas το 1901 κατασκεύασε έναν μεγάλο ηλιακό συγκεντρωτή στη Πασαντένα της Καλιφόρνια. Ήταν ένας κώλουρος κόνος που είχε μια ηλιακή έκταση συλλογής 59,64 m² και χρησιμοποίησε το νερό ως μέσο λειτουργίας. Το 1901 μια ομάδα μηχανικών κατασκεύασε έναν συγκεντρωτή παρόμοιο με αυτόν του Eneas που η εσωτερική πλευρά του επενδύθηκε με 1788 επίπεδους καθρέπτες και λειτουργούσε δεξιόστροφα για να επαναρυθμίζεται η εστίαση κάθε 20 min. Χρησιμοποιήθηκε για άντληση νερού για άρδευση. Εγκαταστάθηκε επίσης στη Πασαντένα, και ήταν γνωστός ως "μονάδα παραγωγής ηλιακής ενέργειας, Πασαντένα" (Belessiotis and Delyannis, 2000).

Το 1910 ο Harrington δημιούργησε την πρώτη ηλιακή συσκευή αποθήκευσης χωρητικότητας 19m^3 . Μια ηλιακά οδηγούμενη αντλία χρησιμοποιήθηκε για να αντλήσει το νερό σε μια δεξαμενή αποθήκευσης, η οποία ήταν 6 m υψηλότερα. Το 1913, ο Harrington συνεργάστηκε με τους Boys να εγκαταστήσει τις μεγαλύτερες μονάδες παραγωγής ηλιακής ενέργειας που έγιναν στο Meadi, στην Αίγυπτο. Το σύστημα χρησιμοποιήθηκε για άντληση νερού για άρδευση από τον ποταμό Νείλο. Αποτελείτο από κυλινδροπαραβολικά κάτοπτρα με προσανατολισμό βορρά-νότο που στρέφονταν αυτόματα κατά την διάρκεια της ημέρας και το σύστημα παρήγαγε 50 KW για να θέτουν σε κίνηση τις αντλίες. Το μέσον λειτουργίας ήταν ο ατμός. Οι επόμενες μεγάλες ηλιακές μονάδες δεν θα εγκαθίσταντο για τα επόμενα 63 έτη.

Μια από τις πρώτες μεγάλης κλίμακας πειραματικές μονάδες ηλιακής ενέργειας κατασκευάστηκε από τον Francia (Delyannis, 2003) και εγκαταστάθηκε κοντά στη Γένοβα. Οι συγκεντρωτές ήταν κυκλικοί με επεξεργασμένη επιφάνεια καθρέφτες ανακλώντας την ηλιακή ακτινοβολία πάνω σε έναν κεντρικό λέβητα, παραγωγής ατμού. Οι μονάδες αποτελούντο από 270 ηλιοστάτες με παραγωγή 50 kW. Βασισμένη στο ίδιο σχεδιασμό, πιλοτική ηλιακή μονάδα εγκαταστάθηκε το 1977 στο Τεχνολογικό Ινστιτούτο της Ατλάντα. Ο συλλέκτης αποτελείτο από έναν οκταγωνικό σχηματισμένο πεδίο καθρεπτών που περιείχε 550 γυάλινες επιφάνειες καθρεπτών. Το πεδίο ήταν εστιασμένο στο ηλιακό φως και η συνολική δύναμη μέσα στην εστιακή ζώνη ήταν περίπου 400 kW.

Σήμερα υπάρχουν πολλές μεγάλες μονάδες ηλιακής ενέργειας με παραγωγή στο εύρος του MW, αντί του kW, για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού. Οι πρώτες εμπορικές μονάδες ηλιακής ενέργειας εγκαταστάθηκαν στις ΗΠΑ, το 1979. Η πρώτη αποτελείτο από 220 ηλιοστάτες και είχε μια παραγωγή 5 MW ενώ η δεύτερη είχε συνολική θερμική παραγωγή 35 MW.

Οι περισσότερες από τις μονάδες ηλιακής ενέργειας εγκαταστάσεις παράγουν ηλεκτρική ενέργεια ή/και επεξεργάζονται το νερό για τη βιομηχανική χρήση και παρέχουν τον υπέρθερμο ατμό 673 K ($400\text{ }^\circ\text{C}$). Κατά συνέπεια, μπορούν να παρέχουν την ηλεκτρική ενέργεια ή/και τον ατμό για να κινήσουν π.χ μικρής απόδοσης συμβατικές εγκαταστάσεις αφαλάτωσης εξαρτώμενες από θερμική ή ηλεκτρική ενέργεια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

1. ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ

1.1 Εισαγωγή

Προσπάθειες να προσαρμοστεί το περιβάλλον στις ανάγκες της φυτικής παραγωγής μέσω προστατευτικών κατασκευών, παρατηρήθηκαν στην αρχαιότητα στην Κίνα, στην Αίγυπτο καθώς και μεταγενέστερα στην Ελλάδα και στη Ρώμη. Με το τέλος της Ρωμαϊκής αυτοκρατορίας οποιαδήποτε τεχνική για προστατευόμενη παραγωγή εξαφανίστηκε. Κατά το μεσαίωνα παρατηρούνται ελάχιστες εξελίξεις στην προστασία των φυτών.

Τα θερμοκήπια εμφανίστηκαν ξανά στο τέλος του 15^{ου} έως και τον 18^ο αιώνα στην Αγγλία, Γαλλία και Κάτω χώρες. Τον 18ο αιώνα εμφανίστηκε η καινοτομία της διάφανης αμφικλινούς στέγης, με τον βόρειο τοίχο να παραμένει κτιστός. Αυτές οι κατασκευές συνέχισαν να βελτιώνονται με την αύξηση των συνεχόμενων επιφανειών γυαλιού, με την χρήση νέων υλικών σκελετού όπως ο σίδηρος, την προσθήκη διαφόρων μηχανισμών όπως αυτών για το άνοιγμα των παραθύρων καθώς και διαφόρων εξελιγμένων συστημάτων θέρμανσης. Τον 19ο αιώνα συστηματοποιήθηκε η χρήση θερμοκηπίου για εμπορική παραγωγή και ο ενδιαφέρον νεωτερισμός κατασκευής πολλαπλών θερμοκηπίων. Στην προσπάθεια για περισσότερο φως αντικαταστάθηκε και ο βόρειος τοίχος από γυαλί. Ο εξαερισμός εκτός από τα παράθυρα γίνεται και με μηχανικούς εξαεριστές. Το 1816 χρησιμοποιήθηκε ο πρώτος αυτόματος μηχανικός θερμοστάτης για τον εξαερισμό θερμοκηπίου.

Τον 20ο αιώνα η καλλιέργεια σε θερμοκήπια γίνεται σχεδόν επαγγελματική υπόθεση με ραγδαία αύξηση μετά το 1945. Από τη δεκαετία του 70 άρχισε να εφαρμόζεται ευρεία ρύθμιση του περιβάλλοντος. Η χώρα με τη μεγαλύτερη έκταση θερμοκηπίων στον κόσμο είναι η Ιαπωνία ακολουθούν η Ιταλία, η Ισπανία και η Ολλανδία. Η Ελλάδα κατέχει την έβδομη θέση στην Ευρωπαϊκή Ένωση σε θερμοκηπιακή εδαφική κάλυψη με το 45% να βρίσκεται στην Κρήτη.

Τα θερμοκήπια είναι πολύπλοκες κατασκευές που στοχεύουν να παρέχουν προστασία των καλλιεργειών έναντι δυσμενών καιρικών συνθηκών και ικανοποιητικές συνθήκες για την ανάπτυξη και παραγωγή προϊόντων σε όλη την διάρκεια του χρόνου. Οι παράγοντες ανάπτυξης των φυτών φως, θερμοκρασία, υγρασία και CO₂, δύναται να παρέχονται εντός του θερμοκηπίου και να διατηρούνται σε βέλτιστα επίπεδα.

Με αναφορά το κλίμα, η Ευρώπη μπορεί να χωριστεί σε δυο ζώνες. Στην βόρεια και κεντρική Ευρώπη το κλίμα χαρακτηρίζεται από ψυχρούς χειμώνες και ήπια καλοκαιρία (εύκρατο κλίμα). Στην νοτιότερη Ευρώπη οι χειμώνες είναι ήπιου και τα καλοκαίρια θερμά (Μεσογειακό κλίμα). Η ηλιακή ακτινοβολία στις Μεσογειακές χώρες έχει δυο έως τρεις φορές μεγαλύτερη ένταση σε σχέση με τις βορειότερες περιοχές. Για αυτόν τον λόγο τα θερμοκήπια στην Ευρώπη διακρίνονται σε δυο κατηγορίες: θερμοκήπια που είναι σχεδιασμένα για εύκρατο κλίμα και θερμοκήπια που είναι σχεδιασμένα για Μεσογειακό κλίμα. Δεδομένου ότι η Ελλάδα βρίσκεται στην περιοχή της Μεσογείου το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στα δεύτερα, με τα κύρια προβλήματα των θερμοκηπίων της Μεσογειακής λεκάνης (Von Elsner et al, 2000a) να είναι:

-θερμοκρασίες κάτω από το βιολογικό βέλτιστο τις χειμωνιάτικες νύχτες που καθιστούν την θέρμανση απαραίτητη από 3 έως 6 μήνες και υψηλές θερμοκρασίες κατά την διάρκεια της ημέρας

- υψηλή σχετική υγρασία τη νύκτα

- χαμηλή ηλιακή ακτινοβολία το χειμώνα, σημαντικά φορτία ανέμου και μερικές φορές φορτία χιονιού και χαλάζι.

Επομένως τα θερμοκήπια στη Μεσογειακή λεκάνη πρέπει να έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

-Υψηλή διαπερατότητα ακτινοβολίας

-Καλή θερμική μόνωση και σύστημα θέρμανσης για αύξηση της ελάχιστης θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της νύκτας (κατά τη χειμωνιάτικη περίοδο)

-Αποτελεσματικός εξαερισμός από ρυθμισμένους ανεμιστήρες

-Υψηλή σταθερότητα σε σχέση με τον άνεμο και με τα φορτία χιονιού σε κάποιες περιοχές.

Όσον αφορά την χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) στα θερμοκήπια ως εναλλακτικοί τρόποι για την εξοικονόμηση συμβατικών ενεργειακών πηγών, έχουν χρησιμοποιηθεί με καλά αποτελέσματα η ηλιακή ενέργεια, η γεωθερμία και η βιομάζα. Η αιολική ενέργεια λόγω υψηλού κόστους εγκατάστασης και συντήρησης των μεγάλης ισχύος συστημάτων έχει χρησιμοποιηθεί λιγότερο για κάλυψη ενεργειακών αναγκών, ή έχει χρησιμοποιηθεί συμπληρωματικά σε συνδυασμό με κάποια από τις παραπάνω πηγές.

Η καύση βιομάζας, η χρήση διαφόρων τεχνικών συλλογής και αποθήκευσης θερμότητας την ημέρα για υποβοήθηση των θερμικών αναγκών την νύκτα, οι θερμοκουρτίνες οροφής και η γεωθερμία – όπου αυτή είναι διαθέσιμη – είναι ορισμένοι εναλλακτικοί τρόποι για την εξοικονόμηση συμβατικών ενεργειακών πηγών την περίοδο του χειμώνα. Για την θερινή περίοδο, οι υψηλές τιμές της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας και οι αυξημένες θερμοκρασίες αέρα αντιμετωπίζονται συνήθως με τεχνητή αποφυγή περίσσειας φωτισμού, περιορίζοντας την διαπερατότητα του διαφανούς καλύμματος, με πλήρη αερισμό του θερμοκηπίου και με διάφορους τρόπους δροσισμού. Κυρίως όμως η κατάλληλη αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για την αποδοτική ανάπτυξη των καλλιεργειών σε ελεγχόμενες συνθήκες εντάσσεται στην κατεύθυνση της χρήσης εναλλακτικών ενεργειακών πηγών σε υποκατάσταση των συμβατικών πηγών για εξοικονόμηση ενέργειας και προστασία του περιβάλλοντος (Bakker et al, 1995).

Αναφορικά με την παρεχόμενη ανανεώσιμη ενεργειακή πηγή που θα χρησιμοποιείται, ένα ολοκληρωμένο θερμοκηπιακό ενεργειακό σύστημα θα λαμβάνει πλήρως υπ όψιν τις κλιματολογικές συνθήκες και τα πρότυπα καλλιέργειας. Αναφορικά με την απαίτηση, η προσαρμοστικότητα και ευελιξία του συστήματος λειτουργίας θα το έκανε δυνατόν να ικανοποιεί μια ποικιλία πρότυπων ενεργειακών απαιτήσεων σε χαμηλό κόστος (Rozakis et al, 1997).

1.2 Φωτισμός.

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί την πηγή ενέργειας για τη φωτοσύνθεση των φυτών. Συγχρόνως αποτελεί και τη φυσική πηγή θερμότητας στο χώρο του θερμοκηπίου.

Η ποσότητα και η ποιότητα της παραγωγής των καλλιεργούμενων φυτών εξαρτώνται από το κληρονομικό δυναμικό που διαθέτουν (καλλιεργούμενη ποικιλία) και από το περιβάλλον στο οποίο καλλιεργούνται.

Πολλοί είναι οι παράγοντες στο περιβάλλον των φυτών που έχουν σημαντική επίδραση στην εμφάνιση, την ανάπτυξη και την παραγωγή (ακτινοβολία, θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, τα υποστρώματα καλλιέργειας , το νερό, τα λιπαντικά στοιχεία, το CO₂ (η περιεκτικότητά του στην ατμόσφαιρα) και οι ζώντες οργανισμοί.

Ο καλλιεργητής θα πρέπει να γνωρίζει το δυνατό καλύτερο συνδυασμό των παραγόντων , έχοντας συγχρόνως τα μέσα να δημιουργήσει τεχνητά το άριστο περιβάλλον με την μεγαλύτερη ακρίβεια και τον οικονομικότερο τρόπο.

Η ενέργεια που διατηρεί στη ζωή όλους σχεδόν τους ζωντανούς οργανισμούς επάνω στη γη, προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από την ενέργεια του ήλιου και γίνεται προσιτή μέσα από τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης.

Κατά τη φωτοσύνθεση η φωτεινή ενέργεια παραλαμβάνεται από τα φυτά και αποθηκεύεται με τη μορφή ενώσεων του άνθρακα, οι οποίες είναι διαθέσιμες σαν πηγές ενέργειας στα φυτά.

Η ένταση της φωτοσύνθεσης αυξάνει όσο περισσότερη είναι η φωτεινή ενέργεια που πέφτει επάνω στο φυτό. Επίσης, όσο μειώνεται η φωτεινή ενέργεια, τόσο χαμηλώνει η ένταση του φωτισμού και συγχρόνως μειώνεται και η φωτοσύνθεση, το φυτό φθάνει σε κάποιο οριακό σημείο, όπου στο σημείο αυτό η ανταλλαγή των αερίων από το φυτό είναι μηδενική (ανταλλαγή CO₂ και O₂)και χαρακτηρίζεται σαν Σημείο Εξισορρόπησης Φωτισμού.

Είναι φανερό ότι όταν ο φωτισμός είναι στο Σημείο Εξισορρόπησης Φωτισμού, το φυτό δεν αναπτύσσεται καθόλου και αν είναι χαμηλότερος αρχίζει να φθίνει, τα κατώτερα φύλλα κιτρινίζουν, τελικά πέφτουν και βαθμιαία το φυτό ξεραίνεται. Από το Σημείο Εξισορρόπησης, όσο αυξάνει η ένταση του φωτισμού αυξάνει και ο ρυθμός φωτοσύνθεσης μέχρι ένα άλλο σημείο που δεν αυξάνει άλλο, όσο και αν αυξάνεται η ένταση του φωτισμού. Το σημείο αυτό καλείται Σημείο Φωτοκορεσμού.

Ο σπουδαιότερος παράγοντας που επηρεάζει την ανάπτυξη των φυτών είναι τελικά το φως, διότι πέφτει στο υπέργειο τμήμα του φυτού και φθάνει στους ιστούς, επιδρώντας σε κάθε κύτταρο, ιστό, όργανο και σε κάθε φυσιολογική διαδικασία που λαμβάνει μέρος σ' αυτό.

Το φως μπορεί να διαφέρει εν τούτοις σε χαρακτηριστικά όπως είναι η ένταση, η διάρκεια, δηλαδή πόσο χρόνο φωτίζεται το φυτό στο εικοσιτετράωρο και τέλος η ποιότητα του φωτισμού, δηλαδή το χρώμα.

Η ένταση του φωτισμού αναφέρεται στην ποσότητα της φωτεινής ενέργειας που δέχεται το φυτό στη μονάδα του χρόνου.

Ο σκοπός σε μια καλλιέργεια , αν δεν υπάρχει περιορισμός από την αντοχή του φυτού, είναι να δώσουμε όσο το δυνατό περισσότερο φωτισμό. Η αντίδραση των φυτών στο σχετικό μήκος της ημέρας ή περισσότερο σωστά της νύκτας, καλείται φωτοπεριοδισμός. Το σχετικό μήκος της μέρας και της νύκτας, δηλαδή πόσες ώρες δέχονται τα φυτά φωτεινή ενέργεια και πόση όχι, στον ημερήσιο εικοσιτετράωρο κύκλο λέγεται φωτοπερίοδος. Κατ' αυτήν την αντίδραση τα φυτά χωρίζονται σε μικρής ή μεγάλης μέρας ή ουδέτερα στο φωτοπεριοδισμό και μάλιστα δεν έχει σημασία η απόλυτη διάρκεια της ημέρας όσο το να είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη από ένα ορισμένο όριο , διαφορετικό για κάθε φυτό, που λέγεται κριτική φωτοπερίοδος. Η ένταση του φωτισμού για το κλίμα της Ελλάδας είναι τους καλοκαιρινούς μήνες και το μεσημέρι από 10000 έως 1400 fc, ενώ το Δεκέμβριο τις ηλιόλουστες μέρες περίπου η μισή. Με συννεφιασμένο καιρό μπορεί να φθάσει τα 2000 fc ή και λιγότερο.

Κατά τη διάρκεια του χειμώνα η ένταση αλλά και η διάρκεια του φωτός είναι πολύ μικρή και ανεπαρκής για να υπάρξει το μέγιστο της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας στα λαχανοκομικά φυτά αλλά και κύριες ανθοκομικές καλλιέργειες υπό κάλυψη (τριανταφυλλιά, γαριφαλιά, χρυσάνθεμο).

Η μείωση της ταχύτητας αύξησης των φυτών αυτών κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ακόμα και στα πολύ καλά θερμαινόμενα θερμοκήπια , οφείλεται στην έλλειψη φωτισμού. Μια μείωση 1% της φωτεινής ακτινοβολίας μέσα στο θερμοκήπιο την εποχή αυτή, έχει σαν αποτέλεσμα μείωση κατά 2% της παραγωγής.

Για την αύξηση του φωτισμού κατά τη διάρκεια του χειμώνα στο χώρο του θερμοκηπίου μπορεί κανείς να επέμβει με 2 τρόπους:

- Μειώνοντας όσο είναι δυνατόν τα εμπόδια στην είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας εντός του θερμοκηπίου
- Με τη χρησιμοποίηση τεχνητού φωτισμού.

1.2.1 Φυσικός Φωτισμός

Η φωτεινότητα ενός θερμοκηπίου εξαρτάται όχι μόνο από τους μετεωρολογικούς παράγοντες, αλλά και από τα χαρακτηριστικά της κατασκευής. Παράγοντες που ευνοούν το φωτισμό στο θερμοκήπιο είναι οι εξής:

- Ο απλός σκελετός. Όσο απλούστερος είναι, τόσο περισσότερο φως περνάει στο θερμοκήπιο. Σκελετοί με χοντρές διατομές ή με πολλά στοιχεία μειώνουν κατά 4-12% το φωτισμό, ενώ τα δευτερεύοντα στοιχεία κατά 2-5%.
- Το υλικό κάλυψης. Το καθαρό τζάμι μειώνει κατά 10% το φωτισμό που περνάει στο θερμοκήπιο, ενώ το ακάθαρμο μέχρι και 70%. Η μείωση του φωτισμού στα πλαστικά φύλλα και στα σκληρά πλαστικά είναι κάπως μεγαλύτερη από του τζαμιού και επιπλέον μεγαλώνει με την πάροδο του χρόνου.
- Οι διάφορες εναέριες εγκαταστάσεις μειώνουν σημαντικά το φωτισμό στο χώρο του θερμοκηπίου. Γι 'αυτό , όπου είναι δυνατό, θα πρέπει να αποφεύγονται.
- Το απλό θερμοκήπιο είναι πιο φωτεινό από το πολλαπλό, γιατί δέχεται περισσότερο διάχυτο φωτισμό από τα πλευρικά του τοιχώματα. Στις περιπτώσεις που η αύξηση του φωτισμού ενδιαφέρει ιδιαίτερα, κατασκευάζονται απλά θερμοκήπια. Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι αυτά θερμοκήπια παρουσιάζουν μεγαλύτερες απώλειες ενέργειας και μικρότερη εκμετάλλευση εδάφους.
- Η πυκνότητα των φυτών στο χώρο του θερμοκηπίου, η οποία θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε το φως που φθάνει στα φυτά να καλύψει τις απαιτήσεις τους για τη λειτουργία της φωτοσύνθεσης. Σημειώνεται ότι για μια συγκεκριμένη πυκνότητα φυτών, σημαντικό ρόλο παίζει και η διεύθυνση των φυτών μεταξύ τους, π.χ. πλατύτεροι διάδρομοι με πυκνότερη φύτευση στις γραμμές, συχνά βελτιώνουν το φωτισμό.

Γενικά, μια αύξηση του φυσικού φωτισμού το χειμώνα έστω και 1%, αυξάνει το ύψος της παραγωγής κατά 2% περίπου, την περίοδο αυτή, μειώνοντας σημαντικά το χρόνο ανάπτυξης της καλλιέργειας. Έτσι, η κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση είναι μειωμένη.

1.2.2 Τεχνητός Φωτισμός

Τα διάφορα είδη φυτών και κυρίως τα ανθοκομικά έχουν διαφορετικές απαιτήσεις φωτισμού και ανάλογα, αντιδρούν θετικά όταν η διάρκεια της νύχτας είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη.

Σε ορισμένα καλλωπιστικά, καθώς και σπορεία λαχανικών, όταν δεν επαρκεί ο φυσικός φωτισμός, όπως π.χ. το χειμώνα που η διάρκεια της ημέρας είναι μικρότερη, χρησιμοποιείται συχνά συμπληρωματικός φωτισμός με λαμπτήρες. Ο τεχνητός φωτισμός κοστίζει πολύ (όχι μόνο η εγκατάσταση, αλλά και η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται), γι' αυτό χρησιμοποιείται μόνο, σε περιπτώσεις που οικονομικά αποδίδει, όπως π.χ. σε ανθοκομικές καλλιέργειες που απολαμβάνουν υψηλές τιμές το χειμώνα.

Οι λαμπτήρες ανάβουν μετά τη δύση του ηλίου και είναι αποδοτικότερο να ανάβουν αργά τη νύχτα. Υπάρχουν δύο τύποι λαμπτήρων:

- a) **Οι λαμπτήρες πυρακτώσεως.** Χρησιμοποιούνται μόνο για αύξηση του μήκους της ημέρας σε καλλιέργειες μεγάλης φωτοπεριόδου, γιατί αποδίδουν μεγάλη ποσότητα ενέργειας στην περιοχή του κόκκινου και υπέρυθρου φάσματος, που ενεργοποιεί το φυτόχρωμα. Δε χρησιμοποιούνται για την αύξηση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτών γιατί είναι ενεργοβόροι και μόνο το 7-12% της καταναλισκόμενης ενέργειας αποδίδεται σε ορατό φως (το 20% είναι υπέρυθρο).
- b) **Οι λαμπτήρες φθορισμού.** Διακρίνονται σε :
 - Κοινούς λαμπτήρες φθορισμού, με αποδοτικότητα 20% περίπου στο ορατό φως και μικρή ακτινοβολία στο υπέρυθρο. Χρησιμοποιούνται κυρίως για αύξηση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας σε νεαρά φυτά. Λόγω του ότι η ισχύς τους είναι μικρή, 60 W, πρέπει στο χώρο να χρησιμοποιείται αυξημένος αριθμός σε σχέση με τους ηλεκτρικούς λαμπτήρες υδραργύρου και νατρίου υψηλής πίεσεως. Τούτο έχει ως συνέπεια μεγαλύτερη δαπάνη και περισσότερη σκίαση στο θερμοκήπιο. Συχνά χρησιμοποιούνται σε θαλάμους αναπτύξεως φυτών (τη χειμερινή εποχή) για να επιταχυνθεί η ανάπτυξή τους ώστε σε μικρότερο χρονικό διάστημα να είναι έτοιμα για την οριστική θέση φύτευσής τους.
 - Gro Lux, ευρύτερου φάσματος από τους προηγούμενους. Χρησιμοποιούνται συνήθως σε κλειστούς θαλάμους ανάπτυξης φυτών, για φωτοσύνθεση και επιμήκυνση της φωτοπεριόδου.
 - Λαμπτήρες υδραργύρου υψηλής πίεσης (HID) με εσωτερικό ανακλαστήρα. Πολύ μεγαλύτερης ισχύος από τους προηγούμενους, χρησιμοποιούνται ευρέως για αύξηση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας στα θερμοκήπια (απόδοση σε φως 15% περίπου).
 - Λαμπτήρες υδραργύρου υψηλής πίεσης με πρόσθετα μεταλλο - αλογόνου (απόδοση σε φως 23% περίπου).
 - Λαμπτήρες υψηλής πίεσης νατρίου (HPS). Μεγάλης ισχύος, χρησιμοποιούνται ευρέως στα θερμοκήπια για αύξηση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας. Το φάσμα τους (εκτείνεται από 0,400-0,850μ.) έχει ένα μέγιστο στο κίτρινο (απόδοση σε φως 25-32%).
 - Λαμπτήρες χαμηλής πίεσης νατρίου (LPS), σε διάφορα μεγέθη (μέχρι 180 Watt). Οι πιο αποδοτικοί λαμπτήρες (το 27-36% της ηλεκτρικής ενέργειας μετατρέπεται σε ορατή ακτινοβολία). Μπορούν να τοποθετηθούν κοντά στα φυτά, χωρίς τον κίνδυνο υπερθέρμανσης.



Εικόνα 1. Χρήση τεχνητού φωτισμού σε καλλιέργεια χρυσανθέμων.

Η χρησιμοποίηση τεχνητού φωτισμού για την αύξηση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας μεγάλων φυτών , θεωρείται οικονομικά ασύμφορη. Για πειραματικούς όμως σκοπούς χρησιμοποιούνται συχνά θάλαμοι, οι οποίοι διαθέτουν μόνο τεχνητό φωτισμό (80% λαμπτήρες φθορισμού και 20% λαμπτήρες πυρακτώσεως). Η ανάπτυξη των φυτών μέσα σ' αυτούς τους θαλάμους , χωρίς καθόλου φυσικό φωτισμό, δεν παρουσιάζει προβλήματα.

Όταν η ένταση του φωτισμού είναι χαμηλή, ο ρυθμός που φωτοσυνθέτει, αναπτύσσεται, βλαστάνει το φυτό είναι επίσης χαμηλές , με συνέπεια και η ποιότητα των προϊόντων να είναι χαμηλή.

Με χαμηλή ένταση φωτισμού τα φυτά αναπτύσσουν μακρύς βλαστούς με μεγάλα μεσογονάτια διαστήματα, τα στελέχη είναι αδύνατα και πολλές φορές δεν μπορούν στηρίζουν τα άνθη. Στα φυτά φυλλώματος τα νέα φύλλα είναι διαρκώς μικρότερα και όσα φυτά καλλιεργούνται για τα άνθη τους δεν ανθίζουν ή η άνθιση είναι όψιμη.

Τα φυτά επηρεάζονται και όταν ο φωτισμός είναι επαρκής από τη μια πλευρά τους. Επί παραδείγματι τα φυτά που βρίσκονται κοντά σε παράθυρα έχουν τη τάση να γέρνουν προς το μέρος από το οποίο έρχεται το φως (φωτοτροπισμός). Για τα ανωτέρω συμπτώματα , τα οποία εμφανίζονται λόγω της μειωμένης έντασης φωτισμού, κρίνεται απαραίτητη η μερική ή και ειδική χρήση τεχνητού φωτισμού.

Ο τεχνητός φωτισμός για την αύξηση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας μπορεί να είναι συνεχής αλλά και κυκλικός, με μετακινούμενες σειρές λαμπτήρων που η κάθε σειρά περιλαμβάνει 4,6,8 ή 10 λαμπτήρες που κρέμονται από τους σωλήνες θέρμανσης. Η ταχύτητα μετακίνησης είναι συνήθως 1m/min. Με τον τρόπο αυτόν επιτυγχάνεται μικρότερο κόστος εγκατάστασης , περίπου το 40% αυτής με συνεχή φωτισμό.

Ο χρόνος λειτουργίας του φωτισμού θεωρείται ότι είναι αποτελεσματικότερος όπου γίνεται από τις 12 τη νύχτα και μετά, παρά όταν γίνεται

τις βραδινές ώρες μέχρι τα μεσάνυχτα, διότι η τάση του δικτύου είναι πιο σταθεροποιημένη και η απόδοση σε φως των λαμπτήρων είναι καλύτερη.

1.3 Σκίαση

Τα περισσότερα γλαστρικά ανθοφόρα φυτά αναπτύσσονται καλύτερα όταν καλλιεργούνται σε θερμοκήπιο με σκίαση 40%, την περίοδο από τα μέσα της άνοιξης μέχρι τα μέσα του φθινοπώρου.



Εικόνα 2 Θερμοκουρτίνα για εξοικονόμηση ενέργειας, αλλά και για σκίαση του θερμοκηπίου. Διακρίνεται ο κινητήρας που τον κινεί.

Για μείωση της έντασης του φωτισμού στο θερμοκήπιο χρησιμοποιούνται συνήθως ειδικές κουρτίνες και ειδικές άσπρες βαφές που απομακρύνονται εύκολα με τη βαφή. Δε συνιστάται η χρησιμοποίηση του ασβέστη, γιατί φθείρει το αλουμίνιο και τα λάστιχα που συγκρατούν τα τζάμια. Η συνηθέστερα χρησιμοποιούμενη βαφή αποτελείται από στόκο με νερό και πολύ λίγο λινέλαιο. Χρησιμοποιούνται επίσης και πλαστικά χρώματα, αραιωμένα με νερό. Μια άλλη βαφή αποτελείται από 1kg άσπρου βασικού χρώματος ψευδαργύρου (ή τιτανίου), 2kg στόκο, 20 cm³ λινέλαιο και 8lt βενζίνη ή νάφθα χρωμάτων. Τα παραπάνω ψεκάζονται στο κάλυμμα του θερμοκηπίου. το χειμώνα, όταν δε χρειάζεται σκίαση, θα πρέπει να πλένεται το κάλυμμα για να απομακρυνθούν οι βαφές.

Η βαφή του καλύμματος του θερμοκηπίου νωρίς την άνοιξη δε θα πρέπει να γίνεται με πυκνό διάλυμα, γιατί μειώνει την ένταση του φωτισμού στο χώρο του θερμοκηπίου κάτω από τα επιθυμητά επίπεδα. Είναι προτιμότερο να γίνεται βαφή με αραιό διάλυμα στην αρχή και να επαναλαμβάνεται στο τέλος της άνοιξης, ώστε να μειωθεί ακόμα περισσότερο η περατότητα του φωτισμού την εποχή όπου η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι πολύ μεγαλύτερη.

Ο καλύτερος τρόπος για να μειωθεί η ένταση του φωτισμού είναι οι κουρτίνες αραιής ύφανσης, που κλείνουν ή ανοίγουν ανάλογα με την ένταση του φωτισμού. Έτσι, νωρίς το πρωί και αργά το απόγευμα, η ήδη μειωμένη ένταση του φωτισμού στο χώρο του θερμοκηπίου δε μειώνεται ακόμα παραπάνω, όπως γίνεται με τις βαφές. Με τις κουρτίνες αυτές, όταν επιδιώκουμε και μείωση της θερμοκρασίας, θα πρέπει να έχουμε υπόψη μας ότι δε μειώνεται σημαντικά η θερμοκρασία του αέρα στο θερμοκήπιο, γιατί η ηλιακή ενέργεια εξακολουθεί να μπαίνει στο χώρο του θερμοκηπίου. η θερμοκρασία όμως των φυτών που σκιάζονται μ' αυτό τον τρόπο

είναι 5°C περίπου μικρότερη από αυτήν των φυτών που βρίσκονται σε μη σκιαζόμενη περιοχή.

Το καλοκαίρι, σε ορισμένες καλλιέργειες, απαιτείται αύξηση της διάρκειας της νύχτας. Αυτό πετυχαίνεται με σκούρες κουρτίνες, που συνήθως κλείνουν από τις 7 το απόγευμα ως τις 7 ή και αργότερα το πρωί. Η κουρτίνα που χρησιμοποιείται είναι από μαύρο πανί ή μαύρο πλαστικό. Το άνοιγμα και το κλείσιμο μπορεί να γίνεται με τα χέρια ή αυτόματα. Συνήθως τέτοιες κουρτίνες τοποθετούνται με ειδική κατασκευή πάνω από τις λεκάνες και τα τραπέζια καλλιέργειας και σε μεγάλες εξειδικευμένες μονάδες σ' όλο το θερμοκήπιο.

Υπάρχουν επίσης κουρτίνες, κατασκευασμένες από ειδικά υλικά, οι οποίες την ημέρα χρησιμοποιούνται για σκίαση και τη νύχτα σαν θερμοκουρτίνες, δηλαδή για συγκράτηση της θερμότητας μέσα στο θερμοκήπιο τις κρύες νύχτες του χειμώνα.

1.4 Θέρμανση Των Θερμοκηπίων

Στα περισσότερα θερμοκήπια στη χώρα μας δε χρησιμοποιείται κανενός είδους τεχνητή θέρμανση, αλλά οι καλλιεργητές αποβλέπουν κυρίως στην προστασία των φυτών από αντίξοες καιρικές συνθήκες, όπως ισχυρούς ανέμους και υπερβολικές βροχοπτώσεις, καθώς και στην εκμετάλλευση της υψηλότερης ημερήσιας θερμοκρασίας που δημιουργείται συνήθως στο χώρο του θερμοκηπίου.

Κατά τη διάρκεια της ημέρας, τις ηλιόλουστες ημέρες, το θερμοκήπιο παγιδεύει θερμότητα από τον ήλιο κι έτσι η θερμοκρασία της ημέρας στο χώρο του, χωρίς καμία θέρμανση, είναι υψηλότερη από την εξωτερική. Αυτό όμως δεν συμβαίνει όταν επικρατεί πολύ πυκνή συννεφιά, όπως και κατά τη διάρκεια της νύχτας. Η νυχτερινή θερμοκρασία δεν μπορεί να είναι ελάχιστα υψηλότερη ή, όπως συνήθως συμβαίνει ίση και συχνά (μερικές ξάστερες βραδιές με χαμηλή σχετική υγρασία), στα θερμοκήπια με πλαστική κάλυψη, μικρότερη από την εξωτερική θερμοκρασία. Γι' αυτό μέσα στα μη θερμαινόμενα θερμοκήπια το χειμώνα, η θερμοκρασία μπορεί να πέσει σε πολύ χαμηλά επίπεδα, ακόμη και σε αρνητικές θερμοκρασίες, με δυσμενή αποτελέσματα (μερικές φορές καταστροφικά) για τα φυτά.

Γενικά τα μη θερμαινόμενα θερμοκήπια παρέχουν προστασία των φυτών από τον άνεμο, τη βροχή και το χιόνι, καθώς και πρωϊμση της παραγωγής, σε σχέση με τις υπαίθριες καλλιέργειες. Παρουσιάζουν όμως πολλά προβλήματα φυτασθeneιών, ενώ δεν προστατεύουν από τον κίνδυνο ολοκληρωτικής καταστροφής κατά τη διάρκεια ενός παγετού.

Τα μη θερμαινόμενα θερμοκήπια χρησιμοποιούνται κυρίως στη Νότια Ελλάδα όπου οι συνθήκες το χειμώνα είναι ηπιότερες.

Σε ορισμένα θερμοκήπια εφαρμόζεται τεχνητή θέρμανση μόνο για να προστατευτεί η καλλιέργεια από τον παγετό ή να περιοριστεί η συμπύκνωση της υγρασίας πάνω στα φυτά και επομένως οι αρρώστιες των φυτών. Σ' αυτές τις περιπτώσεις δεν απαιτείται πολυσύνθετο και ακριβό σύστημα θέρμανσης. Ένα απλό αερόθερμο ή θερμάστρες υγραερίου συχνά είναι αρκετά. Η απλή αυτή θέρμανση στα θερμοκήπια αυξάνει τις δυνατότητες χρήσης του κοινού θερμοκηπίου, γιατί:

- a) Επιτρέπει την καλλιέργεια σ' όλη τη διάρκεια του χειμώνα, ακόμα και σε περιοχές με πιθανότητα παγετού.

- b) Συχνά επιτυγχάνεται πρωιμότερη παραγωγή στις χειμερινές καλλιέργειες, επειδή τα φυτά αναπτύσσονται γρηγορότερα απ' ό,τι στο μη θερμαινόμενο θερμοκήπιο.
- c) Μειώνεται ο κίνδυνος απωλειών που οφείλονται σε μυκητολογικές ασθένειες, οι οποίες αναπτύσσονται σε συνθήκες υπερβολικής υγρασίας, όπως για παράδειγμα ο βοτρυτής.

Σε περιπτώσεις, τέλος, που κρίνεται οικονομικά ωφέλιμη η πλήρης ρύθμιση της θερμοκρασίας του χώρου στα επιθυμητά επίπεδα, χρησιμοποιείται πιο σύνθετο και ακριβό σύστημα θέρμανσης. Θα πρέπει δηλαδή το οικονομικό όφελος από την αύξηση της παραγωγής και τη βελτίωση της ποιότητας να είναι μεγαλύτερο από την οικονομική επιβάρυνση που προκύπτει από το επιπλέον απασχολούμενο κεφάλαιο, την κατανάλωση των καυσίμων, τη συντήρηση και τις επιδιορθώσεις του συστήματος θέρμανσης.

Το σύστημα μπαίνει σε λειτουργία όταν η ηλιακή ακτινοβολία είναι περιορισμένη και η θερμοκρασία του χώρου πέσει κάτω από τα επιθυμητά επίπεδα και βέβαια κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Τα πλήρως θερμαινόμενα θερμοκήπια λοιπόν όπως χαρακτηριστικά λέγονται:

- Παρέχουν τη δυνατότητα καλλιέργειας περισσότερων ειδών φυτών, καθώς και τη δυνατότητα προγραμματισμού της παραγωγής καθ' όλη τη διάρκεια του έτους,
- μειώνουν σημαντικά τον κίνδυνο απωλειών που οφείλονται μυκητολογικές ή βακτηριολογικές ασθένειες, οι οποίες αναπτύσσονται υπό συνθήκες υπερβολικής υγρασίας και χαμηλών θερμοκρασιών, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η ποσότητα και να βελτιώνεται η ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων.

Θερμότητα. Είναι η ενέργεια που μεταβιβάζεται μεταξύ δύο σωμάτων ή ενός σώματος και του περιβάλλοντός του ή μεταξύ δύο σημείων του ίδιου σώματος, ως αποτέλεσμα της διαφοράς θερμοκρασίας τους. Μονάδα μέτρησης της θερμότητας είναι η θερμίδα (cal) που ορίζεται ως η ποσότητα θερμότητας που απαιτείται για την ανύψωση κατά 1°C της θερμοκρασίας 1 Kg νερού. Για τους υπολογισμούς στα θερμοκήπια χρησιμοποιείται η χιλιοθερμίδα (kcal) η οποία είναι ίση με 1000 cal.

Θερμοκρασία. Είναι χαρακτηριστικό μέγεθος της θερμικής κατάστασης ενός σώματος. Η θερμοκρασία μετριέται σε βαθμούς Κελσίου.

Από την εξέταση της απόλυτης ελάχιστης και απόλυτης μέγιστης θερμοκρασίας καθώς και των ημερών παγετού σε μια περιοχή μπορούμε να υπολογίσουμε την απαιτούμενη δυναμικότητα των μέσων θέρμανσης του θερμοκηπίου. Έτσι, εάν είναι διαθέσιμα αυτά τα στοιχεία, μπορεί να βρεθεί εάν το θερμοκήπιο θα πρέπει να είναι ελαφρά ή καθόλου θερμαινόμενο ή πλήρως θερμαινόμενο και ποιες είναι οι ανάγκες σε θέρμανση. Ο υπολογισμός της απαιτούμενης θερμότητας μπορεί να προσδιοριστεί από μια σχέση που αφορά το σύνολο των απωλειών του θερμοκηπίου σε ενέργεια:

$$Q = A_s \times U \times (t_i - t_e)$$

Η απαιτούμενη θερμότητα ανά τετραγωνικό μέτρο θερμοκηπίου θα είναι:

$$Q = (A_s/A_f) \times U \times (t_i - t_e) \text{ όπου}$$

Q: η μέγιστη απαίτηση θερμότητας σε Watt,

U: ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας σε $W/m^2 \cdot ^\circ C$,

A_f: η επιφάνεια του καλυμμένου εδάφους σε m^2 ,

As: η επιφάνεια του καλύμματος σε m^2 ,

ti: η επιθυμητή θερμοκρασία μέσα στο θερμοκήπιο,

te: η μέση ελάχιστη εξωτερική θερμοκρασία του δυσμενέστερου μήνα.

Η τιμή του U για κάθε υλικό κάλυψης δίνεται από τον κατασκευαστή.

Η πραγματική ισχύς του συστήματος θέρμανσης θα πρέπει να είναι ίση με την απαιτούμενη θερμότητα..

1.4.1 Συστήματα θέρμανσης

Κατά την εγκατάσταση ενός συστήματος θέρμανσης θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και τα παρακάτω:

- ✓ η μείωση του φυσικού φωτισμού που προκαλείται στο χώρο του θερμοκηπίου θα πρέπει να είναι η μικρότερη δυνατή.
- ✓ Ο χώρος που καταλαμβάνει το σύστημα θέρμανσης δε θα πρέπει να είναι σε βάρος του χώρου καλλιέργειας.
- ✓ Η θέση όπου τοποθετείται δε θα πρέπει να δυσχεραίνει τις καλλιεργητικές εργασίες ή την απόδοση εργασίας (εμπόδια στους διαδρόμους, υψηλός θόρυβος κ.λ.π.).
- ✓ Μια πιθανή αύξηση της ταχύτητας του αέρα δε θα πρέπει να προκαλεί τοπικούς κραδασμούς ή τοπικές αφυδατώσεις των φυτών.
- ✓ Να μην αυξάνεται υπερβολικά ο ολικός συντελεστής απωλειών του θερμοκηπίου. Πολύ μεγάλες ταχύτητες του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο ή πολύ μεγάλες επιφάνειες θερμαντικών στοιχείων, αυξάνουν τις απώλειες ενέργειας.
- ✓ Η κατανομή της θερμότητας στο χώρο θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν ομοιόμορφη, ώστε να αποφευχθούν διακυμάνσεις της θερμοκρασίας τοπικά και επομένως ανομοιομορφία κατανάλωσης νερού και ρυθμού αύξησης των φυτών.
- ✓ Το σύστημα θέρμανσης θα πρέπει να μειώνει αποτελεσματικά και τη συμπύκνωση υδρατμών επάνω στα φυτά.
- ✓ Θα πρέπει να υπάρχει κατάλληλο σύστημα ελέγχου, ώστε το σύστημα θέρμανσης να αντιδρά γρήγορα στις μεταβολές των κλιματικών παραμέτρων.
- ✓ Η καπνοδόχος του κεντρικού συστήματος θέρμανσης πρέπει να τοποθετείται αρκετά ψηλά, ώστε να μην επιστρέφουν με τον αέρα οι καπνοί μέσα στο θερμοκήπιο και σε τέτοια θέση, που να μη σκιάζει τις καλλιέργειες.
- ✓ Σημαντικό επίσης στοιχείο είναι η ασφάλεια και αξιοπιστία στη λειτουργία του, καθώς και το μικρό κόστος συντήρησης.
- ✓ Τέλος το σύστημα θέρμανσης πρέπει να είναι εγγυημένης κατασκευής για να μην κινδυνεύουν από πιθανή βλάβη του οι καλλιέργειες .

1.4.1.1 Κλασικά συστήματα

Ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο δίνεται η θερμότητα στο χώρο του θερμοκηπίου, τα κλασικά συστήματα θέρμανσης διακρίνονται στα τοπικά, στα οποία χρησιμοποιούνται αερόθερμα ή θερμάστες (παραφίνης, επαγωγής, υπέρυθρης

ακτινοβολίας) και στα κεντρικά συστήματα θέρμανσης όπου ένας καυστήρας παράγει θερμό νερό ή ατμό, που κυκλοφορούν σε σωληνώσεις μέσα στο θερμοκήπιο.

Τα συστήματα που μεταδίδουν τη θερμότητα με ακτινοβολία, μεταφορά και αγωγιμότητα μέσω μιας θερμαινόμενης επιφάνειας (μεταλλικοί ή πλαστικοί σωλήνες) λέγονται στατικά συστήματα, ενώ όσα μεταδίδουν τη θερμότητα με μεταφορά και αγωγιμότητα μέσω του θερμού αέρα που παράγεται με γεννήτριες θερμού αέρα ή αερόθερμα κατατάσσονται στα θερμοδυναμικά συστήματα.

Τα πρώτα έχουν μεγάλο κόστος εγκατάστασης και συντήρησης και δύσκολη ρύθμιση της λειτουργίας, αλλά ελάχιστα προβλήματα από καυσαέρια, ενώ πετυχαίνουν καλή ομοιογένεια θέρμανσης, ικανοποιητικό επίπεδο σχετικής υγρασίας και θέρμανσης του εδάφους και του αέρα. Ακόμη, σε περίπτωση βλάβης του συστήματος, η πτώση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου γίνεται βαθμιαία.

Τα θερμοδυναμικά συστήματα έχουν χαμηλό κόστος εγκατάστασης και συντήρησης, εύκολη ρύθμιση της λειτουργίας και πετυχαίνουν καλή ομοιομορφία θέρμανσης, γρήγορη θέρμανση των φυτών και μείωση της συμπύκνωσης των υδρατμών στην εσωτερική επιφάνεια του υλικού κάλυψης λόγω των ρευμάτων αέρα. Τέλος, με τα συστήματα αυτά υπάρχει μεγαλύτερη ευχέρεια κίνησης στο θερμοκήπιο, αφού καταλαμβάνουν μικρό όγκο.

Όμως έχουν και σημαντικά μειονεκτήματα, όπως το γεγονός ότι δε θερμαίνεται το έδαφος, μειώνεται η σχετική υγρασία του αέρα του θερμοκηπίου, σε περίπτωση βλάβης του συστήματος μειώνεται απότομα η θερμοκρασία και όταν οι συσκευές είναι τοποθετημένες στο εσωτερικό υπάρχει κίνδυνος να ζημιωθούν τα φυτά από τα καυσαέρια.

Κατά την επιλογή του κατάλληλου συστήματος θέρμανσης θα πρέπει να εξετάζεται:

- ❖ Αν μπορεί να εξασφαλίσει τη θερμοκρασία που χρειάζεται η καλλιέργεια,
- ❖ Αν διανέμει ομοιόμορφα τη θερμότητα, έτσι ώστε να υπάρχει ομοιογένεια θέρμανσης στο θερμοκήπιο,
- ❖ Αν τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται είναι σχετικά φτηνά και βρίσκονται εύκολα στην περιοχή,
- ❖ Αν είναι εύκολη η συντήρηση και επισκευή του,
- ❖ Αν υπάρχει κίνδυνος να ζημιωθούν τα φυτά από καυσαέρια κ.λπ.

I. Τοπικά συστήματα θέρμανσης

Στα τοπικά συστήματα θέρμανσης ανήκουν:

1. Αερόθερμα (ηλεκτρικά, υγραερίου, πετρελαίου, στερεών καυσίμων),
2. Θερμάστρες,
3. Συσκευές υπέρυθρης ακτινοβολίας.

Από τα τοπικά συστήματα θέρμανσης περισσότερο χρησιμοποιούνται τα αερόθερμα, γιατί η εγκατάσταση στοιχίζει φθηνότερα απ' ό,τι στη θέρμανση με ζεστό νερό, έχει υψηλή αποδοτικότητα, αυτοματοποιείτε εύκολα και δεν παρουσιάζει αδράνεια στη μεταβολή της θερμοκρασίας χώρου (ο αέρας του θερμοκηπίου θερμαίνεται πολύ γρήγορα, αφότου ο θερμοστάτης δώσει την εντολή στο αερόθερμο να λειτουργήσει). Αντίθετα, στα κεντρικά συστήματα θέρμανσης που χρησιμοποιούν ζεστό νερό για τη μεταφορά της θερμότητας, η χρονική διάρκεια είναι αρκετά μεγάλη. Το σημαντικότερο πρόβλημα των αερόθερμων είναι ότι δε θερμαίνεται

ικανοποιητικά το έδαφος και σε καλλιέργειες, όπως το αγγούρι, με απαιτήσεις υψηλής θερμοκρασίας στις ρίζες παρουσιάζονται προβλήματα. Τέλος, με τη σχετική έντονη κυκλοφορία του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο, οι απώλειες του θερμοκηπίου είναι μεγαλύτερες.

Στα θερμοκήπια χρησιμοποιούνται κυρίως αερόθερμα πετρελαίου, αερίων ή στερεών καυσίμων και αερόθερμα ατμού ή ζεστού νερού. Υπάρχουν βέβαια και τα ηλεκτρικά αερόθερμα, όμως χρησιμοποιούνται μόνο σε ερασιτεχνικά και πειραματικά θερμοκήπια. Παρά το υψηλό κόστος λειτουργίας τους, προτιμούνται γιατί ρυθμίζουν με ακρίβεια και αυτόματα τη θερμοκρασία του χώρου.

Τα ηλεκτρικά αερόθερμα αποτελούνται από έναν ηλεκτρικό ανεμιστήρα και ηλεκτρικές αντιστάσεις. Ο ανεμιστήρας ωθεί τον αέρα του θερμοκηπίου να περάσει μέσα από τις ηλεκτρικές αντιστάσεις και επιστρέφει στον χώρο του θερμοκηπίου θερμαίνοντάς τον.

Τα αερόθερμα πετρελαίου, αερίου ή στερεών καυσίμων αποτελούνται από μεταλλάκτη θερμότητας, ανεμιστήρα και δοχείο καύσης. Η λειτουργία του αερόθερμου ρυθμίζεται από έναν θερμοστάτη που είναι τοποθετημένος σε κατάλληλη θέση μέσα στο θερμοκήπιο.

Τα θερμά αέρια της καύσης ανεβαίνουν από ένα σύστημα πολλών σωλήνων με λεπτά τοιχώματα (που αποτελεί το μεταλλάκτη) και καταλήγουν στην καπνοδόχο. Στο πίσω μέρος του αερόθερμου ένας ηλεκτροκίνητος ανεμιστήρας σπρώχνει τον αέρα του θερμοκηπίου στο μεταλλάκτη, ώστε να πάρει τη θερμότητα και να επιστρέψει στο χώρο του θερμοκηπίου.

Στα αερόθερμα ατμού, ζεστού νερού, ο ατμός ή το ζεστό νερό προέρχονται από ένα κεντρικό σύστημα και κυκλοφορούν σ' ένα σύστημα σωλήνων μεγάλης επιφάνειας, μέσα στους οποίους ένας ηλεκτροκίνητος ανεμιστήρας σπρώχνει τον αέρα του θερμοκηπίου να περάσει και να θερμανθεί.

Τα αερόθερμα ανάλογα με το πως κατευθύνουν τον αέρα μέσα στο θερμοκήπιο διακρίνονται σε αερόθερμα κατακόρυφης ή οριζόντιας μετακίνησης του αέρα. Τα αερόθερμα κατακόρυφης κίνησης τοποθετούνται στην κορυφή του θερμοκηπίου και κατευθύνουν τον αέρα από πάνω προς τα κάτω. Η δράση τους είναι τέτοια που να καλύπτει απόσταση ίση με το πλάτος της κατασκευαστικής μονάδας του θερμοκηπίου και συνήθως αυτή είναι και η απόσταση που τοποθετούνται μέσα στο θερμοκήπιο. Το μειονέκτημα τους είναι ότι παρατηρείται ανομοιομορφία στη θέρμανση του χώρου και συνήθως το έδαφος κάτω από το αερόθερμο στεγνώνει περισσότερο με αποτέλεσμα ανομοιομορφία και στην ανάπτυξη της καλλιέργειας. Το πρόβλημα λύνεται με τη χρήση αερόθερμων οριζόντιας μετακίνησης τα οποία έχουν μεγαλύτερο φάσμα δράσης άρα χρειάζονται λιγότερα αερόθερμα κατά μήκος του θερμοκηπίου, έτσι το αρχικό κόστος αγοράς και εγκατάστασης μειώνεται. Αυτό το σύστημα θέρμανσης προσαρμόζεται εύκολα σε ολοκληρωμένο σύστημα θέρμανσης και ψύξης.

Για την κατανομή της θερμότητας στο θερμοκήπιο, τοποθετείται στην έξοδο του αερόθερμου ένας λεπτός, διαφανής σωλήνας πολυαιθυλενίου, κλειστός στο άλλο άκρο του, με στρογγυλές τρύπες, διαμέτρου 5-7,5 cm σε όλο το μήκος του, οι οποίες ανοίγονται κατά ζεύγη. Ο ζεστός αέρας από το αερόθερμο βγαίνει από τις τρύπες με μεγάλη ταχύτητα και ανακατεύεται γρήγορα με τον αέρα. Οι σωλήνες μπορεί να βρίσκονται στο επίπεδο του εδάφους ή να κρέμονται πάνω από το ύψος των φυτών.

Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται στα μεγάλης έκτασης θερμοκήπια (στα μικρά ο ζεστός αέρας του αερόθερμου διαχέεται στο χώρο του θερμοκηπίου απευθείας από την έξοδό του), εξασφαλίζοντας ομοιόμορφη κατανομή της θερμότητας από τη μια άκρη του θερμοκηπίου στην άλλη.

Στα πλευρικά τοιχώματα, τοποθετούνται μία ή δύο γραμμές σωλήνων ζεστού νερού, που εξισορροπούν τις εκεί απώλειες, οι οποίες στα ψυχρά κλίματα είναι σημαντικές (περίπου το 1/3 των συνολικών), ώστε να μην υποφέρουν τα φυτά που βρίσκονται σ' αυτές τις θέσεις.

1. Οι σωλήνες κατανομής του θερμού αέρα μέσα στο θερμοκήπιο που τοποθετούνται στο επίπεδο του εδάφους, σε ίσες αποστάσεις κατά μήκος του θερμοκηπίου, έχουν διάμετρο 15-20 cm και οι οπές εξόδου του θερμού αέρα ανοίγονται σε ίσα διαστήματα ανά 15-60 cm.

Η δυσκολία ομοιόμορφης κατανομής της θερμότητας σ' όλο το χώρο του θερμοκηπίου, ιδίως σε μεγάλα θερμοκήπια είναι το σημαντικότερο μειονέκτημα του συστήματος αυτού. Επιπλέον, ο θερμός αέρας που εξέρχεται από τις οπές, πέφτει κατευθείαν πάνω στα φυτά που βρίσκονται κοντά, πριν προλάβει να αναμιχθεί με τον κρύο αέρα και προκαλεί ζημιές.

Σε θερμοκήπια με μήκος μικρότερο από 18 m, η κατανομή μπορεί να γίνει από τη μία άκρη, αλλά σε μεγαλύτερα γίνεται από το μέσο του θερμοκηπίου προς τις δύο άκρες.

2. Οι πλαστικοί, διαφανείς, διάτρητοι σωλήνες που τοποθετούνται κατά μήκος του επάνω μέρους του θερμοκηπίου, συγκεντρώνουν σημαντικά πλεονεκτήματα. Αν το θερμοκήπιο έχει πλάτος μικρότερο από 9 m τοποθετείται μόνο ένας σωλήνας κατά μήκος του κέντρου του θερμοκηπίου, ενώ σε θερμοκήπια μεγαλύτερου πλάτους, χρησιμοποιούνται παραπάνω σωλήνες. Όταν δεν υπάρχει ανάγκη για θέρμανση, λειτουργεί μόνο ο ανεμιστήρας, κυκλοφορώντας τον αέρα του θερμοκηπίου (αποφυγή στρωμάτωσης), με αποτέλεσμα πιο ομοιόμορφη κατανομή της θερμότητας και μείωση της σχετικής υγρασίας και των ασθeneιών από συμπυκνώσεις στην επιφάνεια των φύλλων. Επίσης επιτυγχάνεται και αναπλήρωση του CO₂ στο χώρο γύρω από τα φύλλα.



Εικόνα 3. Διαφανείς σωλήνες από λεπτό εύκαμπτο πλαστικό κατανέμουν το ζεστό ατμό από το αερόθερμα σε όλο το θερμοκήπιο.

Εκτός από τον εξαερισμό, ο ίδιος σωλήνας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμη και για την ομοιόμορφη κατανομή στο χώρο του θερμοκηπίου πτητικών φυτοφαρμάκων. Η παροχή των ανεμιστήρων στα αερόθερμα πρέπει να είναι από 3/8 έως 1/2 m³/min του όγκου του θερμοκηπίου και από 3/4 έως μια φορά του όγκου του θερμοκηπίου όταν χρησιμοποιούνται και για εξαερισμό.

Στα μικτά συστήματα, που χρησιμοποιούνται και για θέρμανση και για ψύξη με εξαερισμό, θα πρέπει γενικά να δοθεί προσοχή, ώστε:

- Να υπάρχει θερμοστάτης για να διατηρεί την επιθυμητή ελάχιστη θερμοκρασία, ενώ ο θερμοστάτης θέρμανσης πρέπει να συνδέεται με το θερμοστάτη αερισμού, ώστε να μη λειτουργεί συγχρόνως η θέρμανση και ο εξαερισμός.
- Σε θερμό καιρό, οπότε χρειάζεται κάποιος εξαερισμός, ο εξαεριστήρας στην πρώτη βαθμίδα παροχής (για εξαεριστήρα δύο ταχυτήτων), πρέπει να λειτουργήσει συγχρόνως με το μηχανικό φράκτη, που είναι πίσω από τον αεριστήρα του διάτρητου σωλήνα, ώστε να εισέλθει ο εξωτερικός αέρας για αερισμό. Η παροχή του ανεμιστήρα σ' αυτό το στάδιο πρέπει να είναι 10-20% μικρότερη από την παροχή του ανεμιστήρα, όταν πρόκειται για θέρμανση.
- Όταν ο καιρός γίνεται θερμότερος, λειτουργεί στη δεύτερη βαθμίδα παροχής και όταν γίνει ακόμα θερμότερος (μεσημέρι κ.λπ.) λειτουργούν πρόσθετοι εξαεριστήρες, τοποθετημένοι στην απέναντι πλευρά του θερμοκηπίου. Ταυτόχρονα, ανοίγουν και αλλά ανοίγματα εισόδου του αέρα που έχουν μηχανικούς φράκτες. Ο ανεμιστήρας μπορεί να σταματήσει με διακόπτη χειρός ή αυτόματα με ένα θερμοστάτη υψηλής θερμοκρασίας και να λειτουργούν μόνο οι πρόσθετοι εξαεριστήρες.

Θερμάστρες. Οι θερμάστρες παραφίνης χρησιμοποιούνται μόνο για αντιπαγετική προστασία. Το μειονέκτημά τους είναι η μη ακριβής ρύθμιση της θερμοκρασίας του χώρου και τα αέρια της καύσης που παράγονται σε περίπτωση μη καθαρότητας της παραφίνης, τα οποία παραμένουν μέσα στο θερμοκήπιο βλάπτοντας τα φυτά.

Επιπλέον χρησιμοποιούνται και θερμάστρες πετρελαίου, ξύλου, αερίου και ηλεκτρικές. Με τις θερμάστρες πετρελαίου και ξύλου υπάρχει επίσης το πρόβλημα της απομάκρυνσης των καυσαερίων και αερίων που βλάπτουν τις καλλιέργειες. Για την αποφυγή αυτού του προβλήματος τοποθετείται εξαεριστήρας που τα απομακρύνει.

Υπέρυθρη ακτινοβολία. Στηρίζεται στην παραγωγή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων τα οποία στέλνονται από την πηγή απευθείας στην επιφάνεια των φυτών και του εδάφους με αποτέλεσμα την θέρμανσή τους. Ο αέρας θερμαίνεται εξ' επαγωγής από τα φυτά και το έδαφος. Ως πηγή υπέρυθρης ακτινοβολίας χρησιμοποιούνται σωλήνες μέσα στους οποίους κυκλοφορεί ρευστό υψηλής θερμοκρασίας. Οι σωλήνες αυτοί τοποθετούνται ψηλά κατά μήκος του θερμοκηπίου. Το πλεονέκτημα αυτού του συστήματος είναι η εξοικονόμηση ενέργειας και οι ελάχιστες θερμικές απώλειες. Μειονέκτημα είναι η ανομοιομορφία θέρμανσης στα σκιασμένα μέρη.

A. Κεντρικό Σύστημα

Στα περισσότερα όχι μεγάλης έκτασης θερμοκήπια, η θέρμανση γίνεται με ζεστό νερό που παράγεται από λέβητα ζεστού νερού. Στα μεγάλης έκτασης θερμοκήπια (π.χ. άνω των 30 στρ.), προτιμάται ο λέβητας παραγωγής ατμού. Ο λέβητας τοποθετείται σε μόνιμη θέση μέσα ή έξω από το θερμοκήπιο και το θερμό νερό ή ο ατμός οδηγείται στο θερμοκήπιο με σωληνώσεις. Με το σύστημα αυτό θερμαίνεται ικανοποιητικά και ο αέρας και το έδαφος του θερμοκηπίου, έχει όμως μεγάλη αδράνεια, δηλαδή από τη στιγμή που θα δεχθεί την εντολή να θερμαίνει το χώρο ή να σταματήσει τη θέρμανση, μέχρι αυτό να πραγματοποιηθεί, μεσολαβεί

μεγάλο χρονικό διάστημα. Είναι το καταλληλότερο σύστημα για υαλόφρακτα θερμοκήπια μεγάλης έκτασης, γιατί η λειτουργία και συντήρησή του, συγκριτικά με τη χρησιμοποίηση πολλών αερόθερμων, στοιχίζει φθηνότερα.



Εικόνα 4. Λεβητοστάσιο με κεντρικό σύστημα θέρμανσης με θερμό νερό.

Για να αποφεύγονται οι απώλειες ενέργειας από τα τοιχώματα του λέβητα και τους σωλήνες μεταφοράς, ο λέβητας σήμερα τοποθετείται συνήθως στους χώρους εργασίας ή μέσα στο θερμοκήπιο και όχι σε ξεχωριστό δωμάτιο, όπως παλαιότερα. Ωστόσο, συχνά παρουσιάζεται πρόωγη φθορά από διάβρωσή του, λόγω της υγρασίας και της σκόνης που υπάρχουν μέσα στο θερμοκήπιο.

Οι λέβητες ατμού πλεονεκτούν σε σύγκριση με τους λέβητες νερού, αφού είναι πιο αποδοτικοί και έχουν μεγαλύτερο χρόνο ζωής. Επίσης ο ατμός, εκτός από τη θέρμανση του θερμοκηπίου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στην απολύμανση του εδάφους και των εδαφικών μιγμάτων. Οπωσδήποτε όμως είναι πιο ακριβοί από τους καυστήρες θερμού νερού και απαιτούν συντήρηση από ειδικευμένο άτομο.

Η επιλογή του καταλληλότερου καυσίμου, που μπορεί να είναι στερεό (π.χ. γαιάνθρακες), υγρό (π.χ. μαζούτ) ή αέριο(π.χ. υγραέριο), εξαρτάται από τη διαθεσιμότητά του σε μια περιοχή, την τιμή κτήσης του και τη μόλυνση που προκαλεί στο περιβάλλον.

Προτιμότερο είναι το γαιαέριο, όπου βέβαια υπάρχει, γιατί καίγεται με πολύ μεγάλη απόδοση, με αποτέλεσμα να χρειάζεται λιγότερη εργασία για συντήρηση του καυστήρα, αυτοματοποιείτε εύκολα η λειτουργία του συστήματος θέρμανσης, η εγκατάσταση έχει μικρότερο αρχικό κόστος και δε χρειάζονται δοχεία αποθήκευσης. Τα ίδια πλεονεκτήματα έχουν και το προπάνιο και το βουτάνιο, αλλά είναι ακριβότερα. Ακολουθούν το πετρέλαιο και το μαζούτ, με τα οποία το σύστημα θέρμανσης μπορεί να αυτοματοποιηθεί εύκολα, αλλά απαιτείται συχνή συντήρηση του καυστήρα (περίπου κάθε δεκαήμερο).

Οι καυστήρες γαιάνθρακα και ξύλου στις περισσότερες περιπτώσεις μπορούν να αυτοματοποιηθούν, αλλά χρειάζονται μεγάλες αποθήκες για τα καύσιμα και περισσότερη εργασία συντήρησης και αποκομιδής της στάχτης. Το ίδιο ισχύει και για τα άλλα στερεά καύσιμα, φυτικά υπολείμματα ή υποπροϊόντα γεωργικών βιομηχανιών ή μονάδων επεξεργασίας ξύλου, όπως είναι το πυρηνόξυλο, θρυμματισμένα κουκούτσια ή φλοιοί καρπών, άχυρο, στελέχη καλαμποκιού, βαμβακιού, καπνού, κλαδιά, κληματόβεργες, απόβλητα κονσερβοποιείων φρούτων ή μονάδων επεξεργασίας ξερών καρπών, πριονίδια κ.ά.

Η *διανομή θερμότητας* στο χώρο του θερμοκηπίου μπορεί να γίνει με σωληνώσεις ατμού, ζεστού νερού μέσω μεταλλάκτη ή με θερμό αέρα μέσω μεταλλάκτη.

I. Σωληνώσεις θερμού νερού. Στην περίπτωση αυτή, το νερό θερμαίνεται από έναν καυστήρα και προωθείται με κυκλοφορητή στις σωληνώσεις μέσα στο χώρο του θερμοκηπίου ή θερμαίνεται σ' ένα μεταλλάκτη ατμού-νερού και προωθείται με κυκλοφορητή στις σωληνώσεις. Συνήθως χρησιμοποιείται μαύρος σιδηροσωλήνας 2", ενώ όταν χρησιμοποιείται ατμός (διέρχεται με θερμοκρασία 102 °C) οι σωλήνες έχουν μικρότερη διάμετρο (1 1/2" ή 1 1/4"), αφού η αντίσταση στη διέλευση του ατμού είναι μικρότερη. Ο αριθμός των σωλήνων προσδιορίζεται από τις απαιτούμενες θερμίδες και την απόδοση των σωλήνων. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν και πτερυγιοφόροι σωλήνες, οι οποίοι εξασφαλίζουν τετραπλάσια ή και μεγαλύτερη μεταφορά θερμότητας στο χώρο, ανά μονάδα μήκους.

Όταν δεν υπάρχει ανάγκη θέρμανσης του θερμοκηπίου, το νερό κυκλοφορεί μέσα στις σωληνώσεις με τον κυκλοφορητή, χωρίς να διέρχεται από τον καυστήρα ή το μεταλλάκτη. Όταν όμως απαιτείται θερμότητα, ο θερμοστάτης ανοίγει μια τρίοδο βαλβίδα για να περάσει το νερό των σωληνώσεων από τον καυστήρα ή το μεταλλάκτη, όπου θερμαίνεται πριν ξανακυκλοφορήσει στις σωληνώσεις θέρμανσης. Ένας άλλος θερμοστάτης που είναι τοποθετημένος στον καυστήρα, ευαισθητοποιείται με τη θερμοκρασία του νερού και αυτόματα αναβοσβήνει τη φωτιά, έτσι ώστε η θερμοκρασία του νερού να διατηρείται σταθερή.

Η θέρμανση με ζεστό νερό προτιμάται στην Ευρώπη (ακόμα και σε μεγάλα θερμοκήπια) από τη θέρμανση με ατμό, εφαρμόζεται όμως σύστημα υψηλής πίεσης που επιτρέπει υψηλότερες θερμοκρασίες (95 °C) στο νερό και επομένως μεγαλύτερη θερμική απόδοση, σε σχέση με τα συστήματα χαμηλής πίεσης (θερμοκρασία νερού: 85 °C). Με τη χρήση σωληνώσεων θερμού νερού, είναι δυνατό να γίνει και κάποια εξοικονόμηση ενέργειας, με την ανοχή μικρότερων θερμοκρασιών στα υψηλότερα στρώματα του θερμοκηπίου.

Η θέση τοποθέτησης των σωληνώσεων διανομής είναι πολύ σημαντική για την ομοιόμορφη κατανομή της θερμότητας μέσα στα θερμοκήπια. Οι περισσότεροι σωλήνες θα πρέπει να κατευθύνονται παράλληλα προς τις γραμμές των φυτών. Οι κεντρικές σωληνώσεις, που φέρνουν το νερό από το λέβητα και οι σωληνώσεις επιστροφής που μαζεύουν το νερό και το οδηγούν στον καυστήρα, τοποθετούνται στην περιφέρεια του θερμοκηπίου.

Οι μισές ή το 1/3 των σωληνώσεων τοποθετούνται στο εσωτερικό, στην οροφή του θερμοκηπίου ή ένα μέρος στην οροφή και το άλλο χαμηλά μεταξύ των φυτών. Οι σωλήνες πρέπει να βρίσκονται 15-30 cm πάνω από τα φυτά και 30 cm κάτω από το κάλυμμα της οροφής.

Οι υπόλοιπες σωληνώσεις τοποθετούνται χαμηλά στα περιμετρικά τοιχώματα και μπαίνουν σε σειρές, ο ένας σωλήνας πάνω στον άλλο, σε αποστάσεις μεγαλύτερες από 5 cm, ώστε να κυκλοφορεί ελεύθερα ο αέρας ανάμεσά τους (αν τοποθετηθούν πολλοί σωλήνες σε σειρές, ο ένας πάνω από τον άλλο, μειώνεται η απόδοση σε θερμότητα ανά μέτρο του κάθε σωλήνα).

Οι σωλήνες συνδέονται μεταξύ τους στις σειρές συνήθως με το σύστημα του ορθογωνίου, με το οποίο μειώνονται οι αντιστάσεις στην κυκλοφορία του ζεστού νερού. Οι σωλήνες οροφής μπαίνουν σε διάταξη τρομπονιού, όμως μπαίνουν δύο τρομπόνια, για να μειωθούν οι αντιστάσεις. Το σύστημα τρομπονιού χρησιμοποιείται κυρίως στη θέρμανση με ατμό.

Ο τύπος του θερμοκηπίου και η καλλιέργεια καθορίζουν τη θέση των σωλήνων θέρμανσης:

- Όταν το θερμοκήπιο έχει μικρό πλάτος κατασκευαστικού στοιχείου και προσανατολισμό Βορρά-Νότου, οι σωληνώσεις θέρμανσης τοποθετούνται κατά μήκος των στύλων, αφήνοντας το έδαφος ελεύθερο για την καλλιέργεια.
- Στα πολύρρικτα θερμοκήπια και μάλιστα όταν βρίσκονται σε περιοχή που συσσωρεύεται αρκετό χιόνι κατά τη διάρκεια του χειμώνα, τοποθετούνται μερικοί σωλήνες ψηλά, έτσι ώστε να λιώνει γρηγορότερα το χιόνι και να προστατεύεται το θερμοκήπιο από τον κίνδυνο κατάρρευσης.
- Όταν οι σωλήνες θέρμανσης τοποθετούνται στην επιφάνεια του εδάφους, επιτυγχάνεται πολύ καλή θέρμανση του εδάφους και του ριζικού συστήματος των φυτών.

Οι σωλήνες τοποθετούνται ανάμεσα στις σειρές των φυτών και μπορούν να μετακινούνται προς τα επάνω ή και να λύνονται για να μην εμποδίζουν τις καλλιεργητικές φροντίδες πριν και κατά τη φύτευση.

- Σε καλλιέργειας τομάτας και αγγουριού που φυτεύονται σε δίδυμες γραμμές τοποθετούνται συνήθως σωληνώσεις 2,5 cm περιμετρικά για κάθε δίδυμη γραμμή των φυτών, έτσι ώστε να θερμαίνονται και το έδαφος και τα φυτά, αλλά και ο γύρω αέρας, επιτυγχάνοντας σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας.
- Όταν καλλιεργούνται φυτά για κομμένα λουλούδια, θα πρέπει να τοποθετούνται μερικοί σωλήνες θέρμανσης ψηλά στο θερμοκήπιο, έτσι ώστε να κρατούν τον αέρα στεγνό για να αποφεύγονται προσβολές από ασθένειες στα άνθη. Αν όμως τα φυτά καλλιεργούνται σε λεκάνες (γαρίφαλα, τριαντάφυλλα ή χρυσάνθεμα) ο σωλήνας θέρμανσης τοποθετείται περιμετρικά στο χείλος της λεκάνης.
- Εφόσον χρησιμοποιούνται τραπέζια καλλιέργειας (για τα γλαστρικά φυτά ή τον πολλαπλασιασμό φυτών), οι σωλήνες θέρμανσης τοποθετούνται κάτω από το τραπέζι.

II. Σωλήνες ατμού. Στην περίπτωση αυτή παράγεται ατμός από τον καυστήρα και μεταφέρεται στο θερμοκήπιο μέσω των κυρίων σωληνώσεων. Μια ηλεκτρική βαλβίδα ρυθμίζει τη ροή του ατμού από τις κύριες σωληνώσεις μέσα στις σωληνώσεις θέρμανσης που διατρέχουν το θερμοκήπιο.

Αυτό το σύστημα θέρμανσης συγκεντρώνει αρκετά μειονεκτήματα (καψίματα στα φυτά και σε εργαζόμενους που ακουμπούν στους σωλήνες, μικρή κλίση των σωληνώσεων, απότομη μείωση της θερμοκρασίας του θερμοκηπίου σε περίπτωση διακοπής της λειτουργίας του από κάποια ζημιά). Προτιμάται όμως σε μεγάλα θερμοκήπια, επειδή χρησιμοποιούνται λιγότερες και μικρότερης διαμέτρου σωληνώσεις. Συνηθίζεται πάντως και η εγκατάσταση μεικτών συστημάτων θέρμανσης, γιατί ο καυστήρας ατμού πλεονεκτεί σε αρκετά σημεία από τον καυστήρα ζεστού νερού.

Επειδή ο θερμός αέρας συγκεντρώνεται στην οροφή των θερμοκηπίων που θερμαίνονται με σωληνώσεις θερμού νερού ή ατμού, όπου δημιουργείται κάθετη μεταβολή της θερμοκρασίας 1,5 °C, για κάθε μέτρο ύψους, χρησιμοποιούνται στην οροφή ανεμιστήρες κάθετης λειτουργίας, οι οποίοι σπρώχνουν τον θερμό αέρα της οροφής με μια μικρή γωνία προς τα κάτω, στα φυτά.

B. Θερμοστάτες

Η λειτουργία όλων σχεδόν των συστημάτων θέρμανσης (με εξαίρεση μόνο τις απλές θερμάστρες) ελέγχεται από έναν ή περισσότερους θερμοστάτες. Καθώς η θερμοκρασία του χώρου πέφτει κάτω από ένα προκαθορισμένο όριο, ο θερμοστάτης κλείνει ένα ηλεκτρικό κύκλωμα και ενεργοποιείται ή κυκλοφορία του καυσίμου, η

ανάφλεξή του, το άνοιγμα των βαλβίδων κυκλοφορίας του ζεστού νερού ή του ατμού ή , στην περίπτωση του αερόθερμου, η ανάφλεξη και ο ανεμιστήρας του αερόθερμου (σε όσες περιπτώσεις δεν λειτουργεί συνεχώς).

Μόλις η θερμοκρασία ανέβει πάνω από το επιθυμητό επίπεδο, ο θερμοστάτης ανοίγει το ηλεκτρικό κύκλωμα και σταματά η παραγωγή και διανομή της θερμότητας. Ο θερμοστάτης τοποθετείται συνήθως στο κέντρο το θερμοκηπίου, στο ύψος του φυλλώματος. Στις καλλιέργειες γλαστρικών τοποθετείται 15-30 cm πάνω από το χείλος της γλάστρας, ενώ σε λαχανικά και κομμένα λουλούδια το αισθητήριο του θερμοστάτη (που πρέπει να προστατεύεται από την άμεση ηλιακή ακτινοβολία) μετακινείται προς τα κάτω, παράλληλα με την ανάπτυξη των φυτών.

Λίγο χαμηλότερα από το αισθητήριο, είναι καλό να τοποθετείται δεύτερος θερμοστάτης, συνδεδεμένος με σύστημα συναγερμού (που λειτουργεί με μπαταρία), για να προειδοποιεί σε περίπτωση που δε λειτουργήσει το σύστημα θέρμανσης και κινδυνεύει η καλλιέργεια. Καλό είναι επίσης να υπάρχει και ένα υδραγυρικό θερμόμετρο, με βάση το οποίο να ρυθμίζονται οι θερμοστάτες, γιατί αυτοί δεν είναι πάντα μεγάλης ακρίβειας.

Τέλος, στα μεγάλα θερμοκήπια, καθώς και στα μικρότερα που βρίσκονται σε περιοχές με πολλές χιονοπτώσεις ή ισχυρούς παγετούς ή έχουν μόνο δυναμικό εξαερισμό, είναι απαραίτητο να συνδεθεί στο ηλεκτρικό δίκτυό τους μια εφεδρική γεννήτρια, που να μπαίνει αυτόματα σε λειτουργία σε περίπτωση διακοπής του ηλεκτρικού ρεύματος, ενεργοποιώντας το σύστημα θέρμανσης και αερισμού.

1.5 Θέρμανση με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Η ηλιακή και η γεωθερμική ενέργεια, η ενέργεια από θερμικά απόβλητα, η βιομάζα αλλά και η διάχυτη ενέργεια που βρίσκεται στο περιβάλλον μπορούν να αξιοποιηθούν στη θέρμανση του θερμοκηπίου, συμβάλλοντας στη εξοικονόμηση ενέργειας, στη μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος και στον περιορισμό της εξάρτησης από το (εισαγόμενο) πετρέλαιο.

Στην πράξη εκτεταμένη εφαρμογή στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες έχουν βρει η ηλιακή ενέργεια, για θέρμανση και για απολύμανση του εδάφους, καθώς και η βιομάζα και η γεωθερμία για θέρμανση.

1.5.1 Ηλιακή Ενέργεια

Το θερμοκήπιο από την ίδια του την κατασκευή αποτελεί ένα παθητικό σύστημα συλλογής ηλιακής ενέργειας. Μάλιστα, αυτή που δέχεται στο εσωτερικό του κατά τη διάρκεια της ημέρας, για τη μεγαλύτερη διάρκεια του έτους, είναι μεγαλύτερη από εκείνη που απαιτείται για να αποκτήσει την επιθυμητή θερμοκρασία στο χώρο του, την ίδια περίοδο. Μερικές όμως ημέρες του χειμώνα, όταν η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα είναι σημαντικά χαμηλότερη από την επιθυμητή θερμοκρασία του αέρα του θερμοκηπίου, συχνά συμβαίνει η ηλιακή ενέργεια που φθάνει στο εσωτερικό του θερμοκηπίου να μην αρκεί για να καλύψει πλήρως τις απώλειες.

Έτσι, πρέπει να προστεθεί μια ποσότητα θερμότητας, ώστε να διατηρηθεί η επιθυμητή θερμοκρασία. Το ίδιο ισχύει και τη νύχτα, οπότε δεν υπάρχει καθόλου ηλιακή ακτινοβολία, και όλη η θερμότητα που απαιτείται για να διατηρηθεί η

θερμοκρασία στο χώρο του θερμοκηπίου στα επιθυμητά επίπεδα προέρχεται από κάποιο σύστημα θέρμανσης.

Κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος θέρμανσης με ηλιακή ενέργεια, πρέπει να εξεταστεί τόσο το αρχικό κόστος εγκατάστασης του συστήματος όσο και το κόστος συντήρησής του, ώστε να υπολογιστεί αν τελικά συμφέρει οικονομικά η εφαρμογή του. Γενικά πρέπει να αποφεύγονται πολυδάπανες κατασκευές και να γίνεται προσπάθεια το σύστημα να έχει τη μεγαλύτερη δυνατή αποτελεσματικότητα, με το μικρότερο δυνατό κόστος.

Για τη συγκράτηση της ηλιακής ενέργειας και την απόδοσή της τη νύχτα, ακολουθείται η εξής διαδικασία:

1. Συλλογή της ηλιακής ενέργειας (μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμότητα).
2. Αποθήκευση της θερμικής ενέργειας, ώστε να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια της νύχτας.
3. Απόδοση της θερμότητας στο χώρο του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της νύχτας. Για το σκοπό αυτό πρέπει να εγκατασταθεί κατάλληλο σύστημα διανομής της θερμότητας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, δηλαδή σωλήνες καταναμημένοι σ' όλο το χώρο, από πολυπροπυλένιο, πολυαιθυλένιο, αλουμίνιο ή σίδηρο, ή αερόθερμα.

Τα μέσα που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή της ηλιακής ενέργειας είναι:

- Ξεχωριστοί ηλιακοί συλλέκτες (αέρα ή νερού) που τοποθετούνται έξω από το θερμοκήπιο.
- Ηλιακός συλλέκτης που αποτελεί στοιχείο της κατασκευής του θερμοκηπίου, όπως π.χ. θερμοκήπιο με διπλά τοιχώματα όπου κυκλοφορεί διάλυμα που απορροφά την υπέρυθρη μόνο ακτινοβολία.
- Το ίδιο το θερμοκήπιο με τη χρησιμοποίηση της περίσσειας θερμότητας από τον ίδιο το χώρο του κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Για την αποθήκευση της θερμικής ενέργειας χρησιμοποιούνται συνήθως νερό σε δεξαμενές, ηλιακές λίμνες, πέτρες και χαλίκια, έδαφος, υλικά αλλαγής φάσης. Οι πέτρες και τα χαλίκια είναι ταυτόχρονα και στοιχεία αποθήκευσης και εναλλάκτες θερμότητας, είναι όμως οπωσδήποτε ογκώδη υλικά.

Οι συνήθεις εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας είναι:

1. Με τη χρησιμοποίηση εξωτερικού ηλιακού συλλέκτη ζεστού νερού και αποθήκης νερού κάτω από το έδαφος. Τη νύχτα το ζεστό νερό κυκλοφορεί στο θερμοκήπιο και αποδίδει τη θερμότητά του σ' αυτό. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί εξωτερικός ηλιακός συλλέκτης ζεστού αέρα και αποθήκη θερμότητας σε χαλίκια που βρίσκονται κάτω από τα τραπέζια καλλιέργειας ή κάτω από το έδαφος του θερμοκηπίου. Τη νύχτα ο αέρας του θερμοκηπίου κυκλοφορεί από τα χαλίκια και ζεσταίνεται.

Ένα στοιχείο που επιβαρύνει το κόστος αυτού του συστήματος, επειδή η αξία της γης γύρω από το θερμοκήπιο είναι υψηλή, είναι το γεγονός ότι για την εγκατάσταση του συλλέκτη απαιτείται έκταση περίπου 30% επιπλέον αυτής του θερμοκηπίου. Το σύστημα, του οποίου η απόδοση εξαρτάται από τη θέση και την εποχή του έτους, αποτελείται από τα εξής μέρη:

- a) Συλλέκτης της ηλιακής ακτινοβολίας, που είναι κατασκευασμένος: 1. Από την απορροφούσα μαύρη επιφάνεια (μέταλλο, μεμβράνη πλαστικού ή άλλο υλικό), πάνω στην οποία περνά το νερό ή ο αέρας, ανάλογα με το να πρόκειται για συλλέκτη που θερμαίνει νερό ή αέρα, 2. από το διαφανές υλικό

(τζάμι ή πλαστικό), που καλύπτει το συλλέκτη από τη νότια πλευρά, και 3. από τη μόνωση που βρίσκεται στη βορινή πλευρά.

- b) Αποθήκη θερμότητας, που γίνεται συνήθως με εκσκαφή στο έδαφος. Είναι δεξαμενή στην οποία αποθηκεύεται το ζεστό νερό στην περίπτωση που θερμαίνεται ζεστό νερό ή στην περίπτωση του συλλέκτη ζεστού αέρα τοποθετούνται χαλίκια τα οποία συγκρατούν τη θερμότητα από το ζεστό αέρα.
- c) Σύστημα απόδοσης της θερμότητας στο χώρο του θερμοκηπίου που μπορεί να αποτελείται από απλούς σωλήνες πλαστικούς ή μεταλλικούς ή από αερόθερμα ζεστού νερού.
- d) Διάφορους σωλήνες, αντλίες νερού, ή ανεμιστήρες.
- e) Όργανα αυτοματισμού για τη λειτουργία του συστήματος, που συνήθως αποτελούνται από διαφορετικούς θερμοστάτες και χρονοδιακόπτες, οι οποίοι δίνουν εντολή σε αντλίες.
- f) Συμπληρωματική θέρμανση, που λειτουργεί με σύνηθες καύσιμο για τις περιόδους εκείνες κατά τις οποίες δεν επαρκεί η ενέργεια που έχει συλλεγεί.

2. Με τη χρησιμοποίηση διαφανών σωλήνων, μεγάλης διαμέτρου (0,5-0,75m), λεπτών τοιχωμάτων, γεμάτων νερό, που ενεργούν ως παθητικό σύστημα θέρμανσης. Κάτω από τους σωλήνες, που τοποθετούνται ανάμεσα στις γραμμές των φυτών υπάρχει μαύρο φύλλο πολυαιθυλενίου που συλλέγει τη φωτεινή ηλιακή ακτινοβολία, τη μετατρέπει σε ενέργεια και τη δίνει στο νερό. Οι σωλήνες του νερού τη μέρα συλλέγουν το 20% περίπου της ηλιακής ενέργειας που μπαίνει στα θερμοκήπια. Τις ψυχρές ώρες το ζεστό νερό ελκύει θερμότητα προς το χώρο του θερμοκηπίου.

Από διάφορες έρευνες που έγιναν βρέθηκε ότι με το ηλιακό αυτό σύστημα ανυψώνεται κατά 3-5° C η ελάχιστη θερμοκρασία του αέρα, των φυτών και του εδάφους του θερμοκηπίου, μειώνεται κατά 10-12% η σχετική υγρασία του αέρα του θερμοκηπίου και η απόθεση σταγόνων πάνω στα φυτά και αυξάνεται κατά 10-15% τις μεσημεριανές ώρες της ημέρας η ένταση του φωτός και πολύ περισσότερο τις πρωινές ώρες. Επίσης μειώνεται κατά 3-4° C η μέγιστη θερμοκρασία. Όλα αυτά έχουν σαν συνέπεια να προωμίζει κατά 10-15 ημέρες η παραγωγή των κηπευτικών, να βελτιώνεται η ποιότητα και να αυξάνεται κατά 20-40% η απόδοση.

Το παθητικό ηλιακό σύστημα έχει εφαρμοστεί σε αρκετές εκτάσεις (800στρ. περίπου) κυρίως στη Β. Ελλάδα και συνιστάται ιδιαίτερα σε καλλιέργειες μικρού ύψους. Στα θερμοκήπια με καλλιέργειες ανθοκομικών, για εξοικονόμηση χώρου, οι σωλήνες μπορούν να τοποθετηθούν κάθετα, αξιοποιώντας ακόμη πιο αποδοτικά την ηλιακή ενέργεια.

3. Με τη χρησιμοποίηση εναλλάκτη εδάφους-αέρα.

Στο υπέδαφος του θερμοκηπίου και σε βάθος 1-2 m εγκαθίσταται εναλλάκτης θερμότητας εδάφους- αέρα που αποτελείται συνήθως από πλαστικούς σωλήνες μικρού πάχους και διαμέτρου 0,2-0,4 m.

Η θερμοκρασία του χώρου του θερμοκηπίου ρυθμίζεται με κυκλοφορία του αέρα του θερμοκηπίου σε κλειστό κύκλωμα, μέσα από το σύστημα του εναλλάκτη. Η κυκλοφορία του αέρα γίνεται με τη λειτουργία ανεμιστήρων οποτεδήποτε η θερμοκρασία του χώρου πέσει κάτω από την ελάχιστη επιθυμητή θερμοκρασία ή υπερβεί τη μέγιστη επιθυμητή. Επειδή η θερμοκρασία του υπεδάφους μεταβάλλεται πολύ λίγο και με χρονική υστέρηση κατά τη διάρκεια του 24ώρου και είναι συνήθως υψηλότερη από την ελάχιστη επιθυμητή και χαμηλότερη από τη μέγιστη επιθυμητή ου αέρα του θερμοκηπίου, ο αέρας που κυκλοφορεί στον εναλλάκτη όταν έχει χαμηλή θερμοκρασία αποσπά ενέργεια από το υπέδαφος. Κατ' αυτό τον τρόπο το υπέδαφος χρησιμοποιείται ως φθηνή αποθήκη ενέργειας που ταυτόχρονα αποθηκεύει

και με φυσικό τρόπο ενέργεια από το καλοκαίρι μέχρι και το χειμώνα. Οπωσδήποτε το ύψος της ελάχιστης θερμοκρασίας που μπορεί να διατηρηθεί στο χώρο του θερμοκηπίου του χειμώνα για τις συνθήκες της χώρας μας, δεν είναι συνήθως μεγαλύτερο των 12° C. Επίσης το σύστημα αυτό δε συνδυάζεται εύκολα με άλλα συστήματα θέρμανσης, γιατί μειώνεται σημαντικά η αποτελεσματικότητά του.

Προς το παρόν, τα ηλιακά συστήματα στο θερμοκήπιο έχουν εφαρμοστεί εμπορικά σε λίγες μόνο περιπτώσεις με πλήρη επιτυχία, γιατί εμφανίζουν μεγάλο κόστος εγκατάστασης και συντήρησης. Με τη συνεχή όμως βελτίωσή τους και την αύξηση της τιμής των καυσίμων, δεν αποκλείεται σύντομα να εφαρμοστούν με θετικό οικονομικό αποτέλεσμα σε μεγάλη έκταση.

Με τα σημερινά δεδομένα η ηλιακή ενέργεια δεν μπορεί να καλύψει οικονομικά, το 100% των αναγκών του θερμοκηπίου. Υπολογίζεται ότι το άριστο που μπορεί να τροφοδοτήσει η ηλιακή ενέργεια κυμαίνεται από 60-70% μέχρι 5-6%. Η σημαντική αυτή διαφορά οφείλεται στις υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις του θερμοκηπίου όταν η θερμοκρασία είναι χαμηλή.

Το αποτέλεσμα είναι να αυξάνεται το μέγεθος του συλλέκτη και του συστήματος αποθήκευσης και να εξαρτάται βασικά από τις ενεργειακές ανάγκες μερικών μόνο ψυχρών και συννεφιασμένων ημερών, όταν δεν είναι διαθέσιμη η ηλιακή πηγή κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Αναλύοντας το κόστος των συστημάτων αυτών, μπορεί κανείς να προτείνει ένα βοηθητικό σύστημα θέρμανσης, το οποίο θα καλύπτει τις απαιτήσεις σε θερμότητα τις συννεφιασμένες περιόδους. Είναι ευνόητο ότι η ηλιακή ενέργεια γίνεται πιο αποδοτική όταν συνδυάζεται με συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας που μπορούν να μειώσουν σημαντικά τις ανάγκες θέρμανσης.

1.5.2 Περιβαλλοντική Ενέργεια.

Η ενέργεια που υπάρχει διάχυτη στο περιβάλλον δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί στις συνηθισμένες θερμικές εφαρμογές, γιατί είναι υποβαθμισμένη. Με την αντλία θερμότητας όμως, μια κλιματιστική συσκευή που παρέχει τη δυνατότητα αξιοποίησης της περιβαλλοντικής ενέργειας, επιτυγχάνεται όχι μόνο θέρμανση, αλλά και ψύξη του χώρου, ανάλογα με τις ανάγκες, με αντιστροφή του κύκλου ψύξης.

Οι κυριότερες πηγές άντλησης της θερμότητας είναι ο αέρας, το νερό, το έδαφος και ο ήλιος. Πρακτικά λοιπόν, η αντλία θερμότητας προσλαμβάνει από κάποια πηγή μια θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας (Q) και με κατανάλωση ενός μηχανικού έργου (W) την αποδίδει στο χώρο σαν θερμότητα μεγαλύτερης θερμοκρασίας (Q+W).

Χαρακτηριστικό μέγεθος της αντλίας θερμότητας είναι ο συντελεστής απόδοσης COP (coefficient of performance) που δίνεται ως ο λόγος της αποδιδόμενης χρήσιμης θερμικής ενέργειας (Q+W) προς τη μηχανική ενέργεια (W) που καταναλώνεται και που πληρώνουμε για τη λειτουργία της αντλίας.

Δηλαδή ισχύει η σχέση : $COP = (Q+W)/W$.

Είναι αυτονόητο ότι η τιμή του COP πρέπει να είναι μεγαλύτερη του 1.

Η αποτελεσματικότερη λειτουργία της αντλίας θερμότητας γίνεται όταν η μεταφερόμενη θερμότητα Q είναι η μεγαλύτερη δυνατή και η καταναλισκόμενη ενέργεια η μικρότερη δυνατή.

Στο θερμοκήπιο η αντλία θερμότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για θέρμανση ή μόνο για ψύξη, για θέρμανση και ψύξη, για αφύγρανση μόνο, για αφύγρανση σε συνδυασμό με θέρμανση ή για αφύγρανση σε συνδυασμό με ψύξη.

Σχετικά με την πηγή θερμότητας που χρησιμοποιούν και το μέσο διανομής της θερμότητας στο χώρο του θερμοκηπίου, οι αντλίες θερμότητας διακρίνονται σε:

- a) Νερού-νερού. Στην περίπτωση που η πηγή έχει σταθερή θερμοκρασία και η διαφορά θερμοκρασίας εξατμιστή και συμπυκνωτή δεν είναι μεγάλη, η μέγιστη απόδοση είναι $COP = 5$, η μέση τιμή του COP είναι 3,5 και η ελάχιστη τιμή του είναι 2,5-3.
- b) Αέρα-νερού. Μέγιστο COP 3-4 και μέσο COP 2,5 και μικρότερο.
- c) Αέρα-αέρα. Μέσο COP 2 και μικρότερο.

Για την επιλογή της αντλίας θερμότητας ως σύστημα θέρμανσης στο θερμοκήπιο θα πρέπει να ληφθούν υπόψη η διαθέσιμη πηγή θερμότητας, το κόστος του ηλεκτρικού ρεύματος ή του συμβατικού καυσίμου, το αρχικό κόστος εγκατάστασης και οι δαπάνες συντήρησης, που δε φαίνεται να είναι ευκαταφρόνητες.

- Η συνηθέστερη πηγή θερμότητας είναι ο αέρας, γιατί βρίσκεται σε μεγάλη αφθονία στη φύση. Οι αντλίες αέρα είναι σχετικά μικρού μεγέθους και χαμηλού κόστους εγκατάστασης και λειτουργίας, έχουν όμως το μειονέκτημα ότι μεταβάλλεται συνεχώς η θερμοκρασία του αέρα. Ιδιαίτερα το χειμώνα η θερμοκρασία πέφτει τόσο χαμηλά, ώστε είναι αδύνατη η λειτουργία της αντλίας θερμότητας. Τότε φυσικά είναι απαραίτητη η ύπαρξη εφεδρικού συστήματος θέρμανσης.
- Το νερό χρησιμοποιείται ευρέως, γιατί βρίσκεται διαθέσιμο σε πολλές περιοχές, από θάλασσες, λίμνες, ποτάμια, πηγές ή από γεωτρήσεις. Σημαντικά πλεονεκτήματά του είναι οι μικρές μεταβολές της θερμοκρασίας του σε σχέση με τον αέρα, το γεγονός ότι δεν απαιτείται κανένα σύστημα απόψυξης και ότι είναι αρκετά μεγάλος ο βαθμός απόδοσης (COP), με αποτέλεσμα με μια εγκατάσταση ορισμένης ιπποδύναμης να εξυπηρετούνται περισσότερες ανάγκες. Απαιτούνται, όμως, αρκετές δαπάνες λειτουργίας, όπως η συντήρηση των αντλιών των γεωτρήσεων (υπόγειο νερό) ή ειδικές προφυλάξεις στην υδροληψία στην περίπτωση άντλησης του θαλασσινού νερού (άμμος, μικροοργανισμοί κ.λπ.). Επίσης, στην περίπτωση των γεωτρήσεων, είναι πιθανή η εξάντληση των αποθεμάτων του υπόγειου υδάτινου ορίζοντα, λόγω της συνεχούς άντλησης το χειμώνα, με αποτέλεσμα έλλειψη αρδευτικού νερού το καλοκαίρι ή την είσοδο θαλασσινού νερού στον υπόγειο ταμιευτήρα. Για πρόληψη αυτού του ενδεχομένου, πρέπει να ανοίγονται κοντά στα φρεάτια άντλησης, φρεάτια επιστροφής του νερού στο έδαφος.
- Το έδαφος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πηγή θερμότητας, λόγω της σταθερής θερμοκρασίας του, απαιτεί όμως υψηλό κόστος εγκατάστασης και μεγάλη έκταση εδάφους για την παραλαβή της θερμότητας όπου θα εγκατασταθούν οι υπόγειοι σωλήνες, ενώ η διάβρωση του συστήματος και οι διαρροές έχουν σαν αποτέλεσμα υψηλό κόστος συντήρησης.
- Ενδιαφέρον παρουσιάζει ο συνδυασμός ηλιακών συλλεκτών με αντλίες θερμότητας:
 1. Ένα σύστημα συλλογής και εναποθήκευσης της ηλιακής ενέργειας ζεσταίνει νερό, το οποίο χρησιμοποιεί για θέρμανση του χώρου. Όταν η θερμοκρασία του ελαττωθεί σημαντικά, ώστε να μην μπορεί πλέον να θερμάνει ($35-40^{\circ}C$), αρχίζει να λειτουργεί αντλία θερμότητας, αξιοποιώντας αυτό το νερό χαμηλής θερμοκρασίας.

2. Αν η απόδοση των ηλιακών συλλεκτών δεν είναι επαρκής, ξεκινά η λειτουργία της αντλίας θερμότητας. Το σύστημα διαθέτει μια δεξαμενή αποθήκευσης της ηλιακής ενέργειας, από τον Απρίλιο μέχρι το Σεπτέμβριο μέσω των ηλιακών συλλεκτών. Στο τέλος της περιόδου αυτής, η θερμοκρασία του νερού μέσα στη δεξαμενή φτάνει στη μέγιστη τιμή της, οπότε αρχίζει η περίοδος κατανάλωσης της αποθηκευμένης ενέργειας (από Σεπτέμβριο μέχρι Απρίλιο). Έτσι σταδιακά η θερμοκρασία πέφτει και, όταν φτάσει μια ελάχιστη τιμή, αρχίζει η λειτουργία της αντλίας θερμότητας, που ζεσταίνει το νερό μέχρι το τέλος της περιόδου κ.ο.κ.

Σημειώνεται ότι με τα σημερινά δεδομένα οι συνδυασμοί αντλίας θερμότητας με ηλιακού συλλέκτης δεν έχουν δώσει πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα.

- Άλλες πηγές θερμότητας μπορεί να είναι *θερμικά απόβλητα* βιομηχανιών ή ηλεκτρικών σταθμών, εφόσον βέβαια βρίσκονται σε μικρή απόσταση από το θερμοκήπιο.

Η αντλία θερμότητας μπορεί να συνδυαστεί και με συμβατικά συστήματα θέρμανσης, εφόσον αυτό είδη υπάρχει. Τότε η αντλία χρησιμοποιείται για να καλύψει διαφορές θερμοκρασίας μικρότερες από 10 °C, ενώ αν οι απαιτήσεις γίνουν μεγαλύτερες καλύπτονται από το συμβατικό σύστημα θέρμανσης. Με τον τρόπο αυτό απαιτείται αντλία μικρότερης ισχύος, με μικρότερο κόστος εγκατάστασης φυσικά, και παράλληλα το συμβατικό σύστημα λειτουργεί πολύ μικρότερο χρονικό διάστημα, με αποτέλεσμα σημαντική εξοικονόμηση καυσίμων.

1.5.3 Ενέργεια Θερμικών Αποβλήτων

Σημαντικές ποσότητες θερμότητας χαμηλής σχετικά θερμοκρασίας απορρίπτονται από τις βιομηχανίες και από τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος σαν άχρηστες για παραπέρα παραγωγή έργου, τόσο στη χώρα μας όσο και στην υπόλοιπη Ευρώπη. Η ενέργεια αυτή, πολύ χαμηλού ή μηδενικού κόστους, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη των θερμικών αναγκών των Θερμοκηπιακών καλλιεργειών, υπό τον όρο ότι θα σχεδιαστεί και θα εφαρμοστεί η πλέον κατάλληλη και ικανοποιητική λύση για κάθε περίπτωση.

Το συνολικό μέγεθος των θερμικών αποβλήτων της χώρας μας, δεν έχει εκτιμηθεί, προκειμένου να υπάρχει μια σαφής εικόνα αυτού του ενεργειακού δυναμικού.

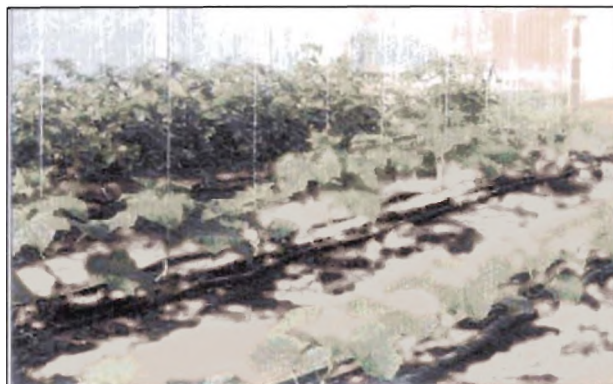
Φαίνεται όμως ότι βασικά το ενδιαφέρον θα πρέπει να επικεντρωθεί στην εκμετάλλευση των θερμικών αποβλήτων των θερμοηλεκτρικών σταθμών της ΔΕΗ.

1.5.4 Γεωθερμική Ενέργεια

Πρόκειται για την ενέργεια που παράγεται στο υπέδαφος και μεταφέρεται στην επιφάνεια του εδάφους μέσω διαφόρων ρευστών (κυρίως του νερού), τα οποία βρίσκουν φυσική διέξοδο από τα βάθη της γης προς την επιφάνεια ή ανεβαίνουν με ειδικές γεωτρήσεις.

Οι παράγοντες οι οποίοι προσδιορίζουν το κόστος της εκμετάλλευσης, σε συνδυασμό με τα φυσικά, χημικά και περιβαλλοντολογικά προβλήματα που μπορεί να προκύψουν κατά την παραγωγή και τη χρήση της, είναι η θερμοκρασία, το βάθος,

η διαθεσιμότητα και η περιεκτικότητα ή ανάμειξη διαφόρων χημικών ουσιών και αλάτων στο νερό (θερμικό φορέα).



Εικόνα 5. Θέρμανση της καλλιέργειας με γεωθερμικό νερό που κυκλοφορεί σε πλαστικούς σωλήνες πάνω στο έδαφος, δίπλα στα φυτά.

Η γεωθερμία χαμηλής ενθαλπίας ($\Theta < 100 \text{ }^\circ\text{C}$) που εντοπίζεται μακριά από κατοικημένες περιοχές, προσφέρεται αποκλειστικά για γεωργικές χρήσεις, ενώ η γεωθερμία υψηλής ενθαλπίας ($\Theta = 150\text{-}300 \text{ }^\circ\text{C}$) συμφέρει για παραγωγή ηλεκτρισμού.

Η Ελλάδα διαθέτει ένα μεγάλο αριθμό πηγών υψηλής, μέσης και χαμηλής ενθαλπίας και μάλιστα σε μικρά βάθη (50-400 m, έναντι 2.800-3.200 m στην Ουγγαρία π.χ.). Προς το παρόν όμως η χρήση γεωθερμικών νερών εντοπίζεται κυρίως στη Βόρεια Ελλάδα, για τη θέρμανση περίπου 200 στρ. θερμοκηπίων. Κι αυτό γιατί η χρήση της γεωθερμίας παρουσιάζει αρκετά προβλήματα, σ' ότι αφορά τόσο τη διανομή της ενέργειας στα θερμοκήπια όσο και την ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών, με αποτέλεσμα τη σχετικά περιορισμένη εφαρμογή της. Το σημαντικότερο πρόβλημα δημιουργείται από την υψηλή αλατότητα του γεωθερμικού νερού, το οποίο συχνά περιέχει άλατα διαβρωτικά για τα κοινά μέταλλα και απαιτεί τη χρησιμοποίηση ακριβότερων μετάλλων στους εναλλάκτες. Ακόμη όμως και αν δεν είναι διαβρωτικά, συχνά τα άλατα καθιζάνουν στα τοιχώματα των σωλήνων που πολύ γρήγορα κλείνουν. Η χρησιμοποίηση κατάλληλων πλαστικών υλικών είναι μια καλή και οικονομική λύση.

Μια γεώτρηση που φθάνει στο βάθος του γεωθερμικού ορίζοντα, μπορεί να αντικαταστήσει την εγκατάσταση ενός κλασικού συστήματος θέρμανσης σ' ένα θερμοκήπιο. Στο σύστημα μεταφοράς της θερμότητας υπάρχει μια αντλία υπολογισμένη να δίνει την παροχή και πίεση που απαιτεί το σύστημα θέρμανσης και η ανάγκες του χώρου.

Σε ότι αφορά το σύστημα διανομής της θερμότητας στο χώρο, μπορεί να υπάρχουν :

- Συστήματα θέρμανσης του εδάφους (υπεδάφια εγκατάσταση) με πλαστικούς σωλήνες.
- Συστήματα θέρμανσης εδάφους-αέρα (εγκατάσταση πάνω στο έδαφος) και συστήματα για θέρμανση αέρα με φυσική μεταφορά θερμότητας (σωλήνες από φιλμ πολυαιθυλενίου, σωλήνες πλαστικοί, λείοι ή σπирάλ, ή χαλύβδινοι, πτερνυιοφόροι ή μη, διαμέτρου 20-65 cm, που τοποθετούνται πάνω ή σε κάποια απόσταση από το έδαφος, καθώς και εναλλάκτες θερμότητας από πλάκες πολυπροπυλενίου ή πολλαπλούς σωλήνες EPDM ή στρώμα ακτινοβολίας που τοποθετούνται πάνω στο έδαφος).
- Συστήματα για θέρμανση αέρα με βεβιασμένη μεταφορά θερμότητας (αερόθερμο

με ενσωματωμένο εναλλάκτη θερμότητας από πλαστικό, απλής και φτηνής κατασκευής, ή αερόθερμα με σωλήνες διανομής του ζεστού αέρα, τοποθετημένους σε διάφορες θέσεις).

- Συνδυασμός δυο ή περισσότερων από τα παραπάνω συστήματα (π.χ. θερμοκήπιο με διπλό μεταλλικό σκελετό σε σχήμα τόξου και διπλή κάλυψη με φιλμ πολυαιθυλενίου, ανάμεσα στα οποία ψεκάζεται γεωθερμικό νερό, ή συνδυασμός γεωθερμικού αερόθερμου και σωλήνων που βρίσκονται πάνω ή μέσα στο έδαφος).

Τέλος, επειδή κάποιες από αυτές τις λύσεις παρουσιάζουν προβλήματα εφαρμογής ή είναι πολυδάπανες, το Κέντρο Γεωργικής Έρευνας Μακεδονίας-Θράκης προτείνει τα εξής απλά συστήματα διανομής:

- Στο πρώτο σύστημα τα υπόγεια ζεστά νερά έτσι όπως βγαίνουν από τη γη κυκλοφορούν στα θερμοκήπια σε εύκαμπτους σωλήνες διαφανούς πολυαιθυλενίου περιμέτρου 50-60 cm και ελευθερώνουν τη θερμότητα προς το έδαφος και τον αέρα. Το σύστημα αυτό είναι πολύ απλό, πολύ αποτελεσματικό στη διανομή της γεωθερμικής ενέργειας και έχει πού μικρό κόστος.
- Το δεύτερο σύστημα είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας νερού-αέρα, στον οποίο το ζεστό νερό κυκλοφορεί σε διαφανείς σωλήνες πολυαιθυλενίου περιμέτρου 50-60cm είτε σε μαύρους σωλήνες πολυπροπυλενίου διαμέτρου 2,5 cm, που τοποθετούνται μέσα σε δεύτερο σωλήνα περιμέτρου 160cm, στον οποίο κινείται ο αέρας με έναν εξαεριστήρα. Καθώς ο αέρας του περιβάλλοντος έρχεται σε επαφή με το ζεστό νερό, θερμαίνεται και διανέμεται στο θερμοκήπιο. Ο κυριότερος σκοπός της κατασκευής του συστήματος αυτού είναι η μείωση της σχετικής υγρασίας στα θερμοκήπια ιδίως τους χειμερινούς μήνες που η θερμοκρασία του αέρα του περιβάλλοντος πέφτει σε πολύ χαμηλά επίπεδα και είναι αδύνατο να εφαρμοστεί ο φυσικός εξαερισμός για την απομάκρυνση των υδρατμών.

Ήδη το πρώτο σύστημα βρήκε αρκετές εφαρμογές στους νομούς Θεσσαλονίκης και Σερρών, ενώ δοκιμάστηκε με επιτυχία στο Ισραήλ και στην Τυνησία και αποδείχτηκε ιδιαίτερα κατάλληλο για αξιοποίηση των χαμηλών θερμοκρασιών των υπόγειων ζεστών νερών (Γραφιαδέλλης, 1995).

1.5.5 Βιομάζα

Η ενέργεια που χάνεται από τα ζωικά και φυτικά υπολείμματα ή απόβλητα μπορεί να αξιοποιηθεί, με την εφαρμογή της κατάλληλης τεχνολογίας. Η βιομάζα, όπως λέγεται το σύνολο αυτών των οργανικών υλικών (άχυρα, στελέχη, κελύφη καρπών, κουκούτσια, κλαδιά, υποπροϊόντα γεωργικών βιομηχανιών και μονάδων επεξεργασίας ξύλου κ.ά.), αποδίδει ενέργεια με διάφορες μεθόδους, οι κυριότερες από τις οποίες είναι :

- Η άμεση καύση, που είναι η πιο απλή και παλιά μέθοδος. Μια τέλεια καύση, ενός κιλού ξερής βιομάζας (10% υγρασία) δίνει περίπου 3.900 kcal.

Γενικά χρησιμοποιούνται λέβητες που αποτελούνται από το χώρο καύσης με επένδυση από πυρίμαχα υλικά, το σύστημα μεταφοράς της θερμότητας με αγωγή και με ακτινοβολία, το σύστημα τροφοδοσίας του καυσίμου και το σύστημα εξόδου των καυσαερίων. Υπάρχουν επίσης συσκευές ασφαλείας, ελέγχου και ρυθμίσεων, καθώς και συστήματα κίνησης ή και αποθήκευσης του ρευστού που θερμαίνεται.

Καλή απόδοση κατά την καύση έχουν υλικά με περιεκτικότητα σε νερό έως 350 gr/κιλό και πλούσια σε κυτταρίνη και λιγνίνη, όπως είναι τα ξύλα, υπολείμματα συγκομιδής σιτηρών, ξερών οσπρίων, ελαιωδών και ινωδών φυτών (βαμβάκι κ.ά.), υπολείμματα κλαδέματος οπωροφόρων και δασικών δέντρων και θάμνων ή αμπελιού,

καλάμια υποπροϊόντα γεωργικών βιομηχανιών κ.λπ. Το είδος του καυσίμου επηρεάζει τη λειτουργία, την τροφοδοσία και την απόδοση του λέβητα.

Η δυνατότητα χρησιμοποίησης των υλικών αυτών στη θέρμανση των θερμοκηπίων εξαρτάται από το κόστος συλλογής τους, το κόστος μεταφοράς, αποθήκευσης ή επεξεργασίας τους, το κόστος απομάκρυνσης της στάχτης και συντήρησης του καυστήρα, καθώς και από το πόσο εύκολη είναι η τροφοδοσία του καυστήρα με το καύσιμο.

Περισσότερο διαδεδομένη είναι η χρήση του πυρηνόξυλου παραπροϊόντος της πυρηνελαιουργίας, το οποίο βρίσκεται σε αφθονία στην Ελλάδα και σε προσιτή τιμή, ιδίως στις ελαιοκομικές περιοχές (Κρήτη, Λακωνία κ.ά.). Οι πυρηνολέβητες διαθέτουν συνήθως ένα μεγάλο χώρο καύσης, ώστε να γίνεται καλή καύση του πυρηνόξυλου. Τα καυσαέρια ακολουθούν μια διαδρομή που εγκλωβίζει τη φωτιά στο λέβητα και επιτρέπει μεγαλύτερη αξιοποίηση της θερμότητας. Επίσης με ανάλογη διαμόρφωση και κάθετη τοποθέτηση των φλόγαυλων, ελαχιστοποιείται η επικάθηση στάχτης. Ένα σημαντικό πρόβλημα, η απομάκρυνση της στάχτης, μπορεί να αντιμετωπιστεί αποτελεσματικά με την κατάλληλη κατασκευή του συγκροτήματος και το καθάρισμα να μη γίνεται καθημερινά, αλλά ανά δεκαπενθήμερο. Τέλος, είναι δυνατό να υπάρχει θέση για προσαρμογή καυστήρα μαζούτ ή ελαφρού πετρελαίου ή αέριου καυσίμου, για την αντιμετώπιση έκτακτων αναγκών. Ιδιαίτερη σημασία έχει επίσης η κατασκευή του σιλό αποθήκευσης του ακυσίμου, της καπνοδόχου και του λεβητοστάσιου, ώστε το όλο συγκρότημα να λειτουργεί αποδοτικά και χωρίς προβλήματα.

Σημειώνεται ότι 1 κιλό πυρηνόξυλο έχει θερμογόνο δύναμη 3.800 kcal, έναντι 10.200 kcal ανά κιλό του πετρελαίου (δηλαδή 1κιλό πετρέλαιο ισοδυναμεί με 2,7 κιλά πυρηνόξυλο). Επίσης, το κόστος κατασκευής ενός λεβητοστάσιου με πυρηνόξυλο είναι αυξημένο, αλλά αν υπολογίσει κανείς τη σημαντική οικονομία από τη διαφορά τιμής του καυσίμου και την έλλειψη αδράνειας στη θέρμανση, η οποία παρατηρείται στα κλασικά συστήματα (επειδή δε συμφέρει οικονομικά η συνεχής λειτουργία τους), το όφελος που προκύπτει ετησίως είναι μεγαλύτερο.

- Η αεριοποίηση της φυτικής βιομάζας, που γίνεται με θερμοχημικές μεθόδους ή με βιοχημικές μετατροπές.
 - a) Κατά τη θερμοχημική μέθοδο, που χρησιμοποιήθηκε παλαιότερα σε περιόδους έλλειψης υγρών καυσίμων, η θερμότητα δρα στα δομικά μόρια του υλικού, είτε με απουσία αέρα (πυρόλυση) είτε με αυστηρά ελεγχόμενη παρουσία αέρα (ανθρακοποίηση-αεριοποίηση), οπότε παράγεται αέριο μικρότερης θερμογόνου δύναμης απ' ό,τι με την πυρόλυση. Η μέθοδος αυτή, πάντως, δε φαίνεται να έχει μέλλον στη θέρμανση θερμοκηπίων.
 - b) Με τη βιομηχανική μέθοδο, η οποία έχει αναπτυχθεί αρκετά τα τελευταία χρόνια, η χλωρή φυτική βιομάζα αποσυντίθεται με τη βοήθεια μικροοργανισμών και παράγεται καύσιμο βιοαέριο, το οποίο αποτελείται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό από μεθάνιο και το υπόλοιπο από διοξείδιο του άνθρακα κυρίως. Το υποπροϊόν αυτής της βιομηχανικής διεργασίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν λίπασμα, αφού το άζωτο της πρώτης ύλης ανοργανοποιείται. Η απόδοση σε βιοαέριο των συστημάτων αυτών κυμαίνεται μεταξύ 300 και 800 λίτρα/κιλό, ανάλογα με τη μέθοδο και την πρώτη ύλη. Η περιεκτικότητα του βιοαερίου σε μεθάνιο είναι 50-65% και με την καύση αποδίδει 13,4 MJ/κιλό, έως 20,3 MJ/κιλό, αντίστοιχα.
- Η αναερόβια ζύμωση των κτηνοτροφικών αποβλήτων, που γίνεται με διάφορα συστήματα, ανάλογα με τον τύπο των αποβλήτων (υγρά ή στερεά) και το είδος των εκτρεφόμενων ζώων. Τα συστήματα διαφέρουν μεταξύ τους κυρίως σ' ό,τι

αφορά την προετοιμασία των αποβλήτων, ώστε οι συνθήκες ζύμωσης να είναι οι καλύτερες δυνατές. Τα απόβλητα θα πρέπει να έχουν ομοιόμορφη δομή και να μην υπάρχουν μεγάλα κομμάτια, η τροφοδοσία να είναι συνεχής και η θερμοκρασία κατάλληλη.

Τα διάφορα συστήματα αξιολογούνται ανάλογα με την ποσότητα βιοαερίου που παράγουν και την περιεκτικότητά του σε μεθάνιο. Γενικά από ένα σύστημα αναερόβιας ζύμωσης των αποβλήτων κτηνοτροφικής μονάδας παράγονται μέχρι 0,6 m³ βιοαέριο ανά ζώο και ημέρα, προκειμένου για αγελάδες και αντίστοιχα με την καύση αυτού του βιοαερίου αποδίδεται από κάθε ζώο ενέργεια 12,96 MJ/ημέρα.

Το σημαντικότερο πρόβλημα στα συστήματα αναερόβιας ζύμωσης είναι το μεγάλο κόστος αποθήκευσης του παραγόμενου βιοαερίου, γεγονός που εμποδίζει και την ευρύτερη χρήση της μεθόδου αυτής για τη θέρμανση των θερμοκηπίων.

1.6 Συστήματα θέρμανσης με νερό χαμηλής θερμοκρασίας

Τα συστήματα ήπιων μορφών ενέργειας συνήθως έχουν μεγάλο αρχικό κόστος και δεδομένου ότι οι ποσότητες ενέργειας για θέρμανση του θερμοκηπίου είναι πολύ μεγάλες, σχετικά με άλλες κατασκευές (κτίρια κλπ), συνεπάγεται ότι απαιτούνται συστήματα θέρμανσης μεγάλης ισχύος, ενώ παράλληλα πρέπει να γίνεται προσπάθεια εξοικονόμησης ενέργειας με οποιοδήποτε τρόπο.

Στα συστήματα ανανεώσιμων μορφών ενέργειας, εκτός της βιομάζας, η διανομή της θερμότητας στο χώρο του θερμοκηπίου γίνεται με τη χρησιμοποίηση νερού θερμοκρασίας 20-60 °C.

Τα συστήματα αυτά διαφέρουν αρκετά από τα κλασικά συστήματα, όπου το νερό έχει υψηλή θερμοκρασία. Πράγματι, προκειμένου να αποδοθεί η ίδια ποσότητα θερμότητας στο χώρο του θερμοκηπίου θα πρέπει η επιφάνεια των θερμαντικών στοιχείων να είναι μεγαλύτερη, ή να είναι μεγαλύτερος ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας από το θερμαντικό στοιχείο στον αέρα θερμοκηπίου. Επίσης, επειδή το νερό εισόδου στο θερμαντικό στοιχείο έχει σχετικά χαμηλή θερμοκρασία, η πτώση της θερμοκρασίας μέχρι την έξοδο είναι πού μικρότερη απ' ότι στα συμβατικά συστήματα. Κατά συνέπεια, πρέπει να περάσει μεγαλύτερη μάζα νερού, για να αποδώσει την ίδια ποσότητα θερμότητας και επομένως απαιτούνται σωλήνες μεγαλύτερης διαμέτρου ή πρέπει να χρησιμοποιηθούν αντλίες μεγαλύτερης ισχύος, με αποτέλεσμα μεγαλύτερη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος, κατά τη χρήση αερόθερμων απαιτείται μεγαλύτερη ταχύτητα αέρα για να αποσπαστεί η ίδια ποσότητα θερμότητας, με αποτέλεσμα αυξημένη ηλεκτρική κατανάλωση.

Επειδή το νερό ή ο αέρας έχουν χαμηλή θερμοκρασία και απαιτούνται υψηλές παροχές τους, είναι ανάγκη να γίνεται επισταμένος έλεγχος του περιβάλλοντος του θερμοκηπίου, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος για τη θέρμανσή του. Παράλληλα, θα πρέπει να γίνεται η μεγαλύτερη δυνατή εξοικονόμηση θερμότητας (π.χ. με θερμοκουρτίνες), ώστε να μειωθεί το κόστος επένδυσης και λειτουργίας.

Στα συστήματα θέρμανσης με νερό χαμηλών θερμοκρασιών οι σωλήνες μπορούν να τοποθετηθούν κοντά στις καλλιέργειες, χωρίς τον κίνδυνο καταστροφής των φυτών. Έτσι το περιβάλλον κοντά στην καλλιέργεια μπορεί να ελέγχεται καλύτερα και περιορίζονται οι προσβολές από μυκητολογικές και βακτηριακές αρρώστιες.

Όταν τα συστήματα βρίσκονται κάτω ή μέσα στην καλλιέργεια, μειώνονται οι απώλειες θερμότητας στην οροφή από ακτινοβολία. Στην περίπτωση που υπάρχουν δυο ξεχωριστά συστήματα θέρμανσης, τότε είναι δυνατή η ανεξάρτητη θέρμανση της ριζόσφαιρας ή του υποστρώματος και του αέρα του θερμοκηπίου. Τέλος, σημαντικό πλεονέκτημα είναι το γεγονός ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σωλήνες από φτηνό πλαστικό υλικό (π.χ. πολυαιθυλένιο), αντί για σωλήνες από αλουμίνιο ή χάλυβα.

Υπάρχουν διάφορα συστήματα θέρμανσης με νερό χαμηλής θερμοκρασίας, ανάλογα με τη θέση που έχουν οι αποδοτές θερμότητας και το σημείο που θερμαίνονται:

1. θέρμανση εδάφους ή δαπέδου, π.χ. με θαμμένους σωλήνες ή θερμαινόμενα τσιμεντένια δάπεδα.

Φυσικά, αν το έδαφος καλλιεργείται, η θερμοκρασία της ριζόσφαιρας δε θα πρέπει να ξεπερνά τους 25°C , ενώ άριστες είναι θερμοκρασίες από 15 μέχρι 22°C ανάλογα με την καλλιέργεια. Πολύ συχνά, η χρήση αυτών των συστημάτων θέρμανσης δίνει άριστες συνθήκες θέρμανσης εδάφους, αλλά όχι και θέρμανσης χώρου, επειδή η θερμότητα είναι περιορισμένη έξω από το έδαφος ή το δάπεδο και η θερμοχωρητικότητα είναι ευθέως ανάλογη της θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ εδάφους και αέρα.

- Τοποθέτηση σωλήνων μέσα στο έδαφος. Χρησιμοποιούνται συνήθως σωλήνες από πολυαιθυλένιο, με διάμετρο 2-10cm και τοποθετούνται σε βάθος 5-50cm και σε απόσταση 2-80cm ο ένας από τον άλλο. Η θερμοκρασία του νερού θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 25 και 35°C με μέγιστο τους 40°C . Επειδή η ισχύς της θερμότητας διασκορπίζεται στους θαμμένους σωλήνες, η θερμοκρασιακή διαφορά δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερη από 5°C μεταξύ, μέσα και έξω από το θερμοκήπιο. Γι' αυτό, το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με ένα σύστημα θέρμανσης του αέρα του χώρου.
- Θερμαινόμενο τσιμεντένιο δάπεδο. Πρόκειται για ένα ενισχυμένο τσιμεντένιο πάτωμα πάχους 95-105 mm, με ενσωματωμένους σωλήνες πολυαιθυλενίου, διαμέτρου 16-20 mm, τοποθετημένους σε διαστήματα 300 mm. Κάτω από το δάπεδο βρίσκεται ένας πολυστερινικός αφρός, πάχους 50mm, που προφυλάσσει το σύστημα από πολύ μεγάλες απώλειες θερμότητας. Το δάπεδο κατασκευάζεται με κλίση, για να επιτρέπει την απομάκρυνση των συγκεντρωμένων νερών του αυτόματου συστήματος άρδευσης με κατάκλιση.

Το σύστημα αυτό που σήμερα χρησιμοποιείται κυρίως στην Ολλανδία, είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα θέρμανσης, άρδευσης και καθαρής επιφάνειας για γλαστρικά φυτά. Η θερμοχωρητικότητα εξαρτάται από τη θερμοκρασία λειτουργίας και είναι περίπου $40-80\text{W}/\text{m}^2$. Η θερμοκρασία θέρμανσης είναι 40°C .

Μια παραλλαγή του είναι το πορώδες τσιμεντένιο δάπεδο, που αποτελείται από μια στρώση χαλίκι πάχους 20cm με ενσωματωμένους τους σωλήνες αποστράγγισης και ένα κάλυμμα από πορώδες τσιμέντο πάχους 8 cm. Κάτω από το χαλίκι υπάρχει μια στρώση PVC, για υγρομόνωση του φυσικού εδάφους. Ανάμεσα στα διάκενα του δαπέδου υπάρχει νερό, ενώ μερικοί σωλήνες στράγγισης εξασφαλίζουν την κατανομή του νερού και παρέχουν ομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας.

Οι συντελεστές για πορώδη τσιμεντένια δάπεδα είναι $8,8\text{W}/\text{m}^2$ για γυμνό δάπεδο και $5,1\text{W}/\text{m}^2$ για ένα δάπεδο εξολοκλήρου καλυμμένο με καλλιέργεια γλαστρικών φυτών. Σε αυτούς τους αριθμούς αναφέρεται θερμοκρασιακή διαφορά ελεύθερου νερού, δαπέδου και αέρα θερμοκηπίου.

Το σύστημα αυτό αποτελεί μια τεράστια θερμική μάζα, γερά συνδεδεμένη, που σταθεροποιεί τις θερμοκρασίες σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, ενώ η κατανομή

της θερμοκρασία στην επιφάνεια του εδάφους είναι περισσότερο ομοιόμορφη, συγκρινόμενη με αυτήν των συστημάτων με θαμμένους σωλήνες. Επομένως είναι μεγαλύτερη η ισχύς θερμότητας. Το μειονέκτημα όμως είναι ότι παρατηρείται εντυπωσιακή εξάτμιση από το πορώδες δάπεδο, αυξάνεται αρκετά η υγρασία του αέρα και προκαλείται έντονη συμπύκνωση στις εξωτερικές πλευρές. Στις ΗΠΑ όπου προτιμάται το σύστημα αυτό, μερικοί καλλιεργητές τομάτας καλύπτουν την επιφάνεια του δαπέδου με λευκά πλαστικά φιλμ για να περιορίσουν τα προβλήματα αυτά.

▪ Θερμαινόμενοι πάγκοι. Υπάρχουν διάφοροι σχεδιασμοί των θερμαινόμενων πάγκων, όπου οι σωλήνες θέρμανσης είναι συνδεδεμένοι με τον πυθμένα που είναι καλός αγωγός της θερμότητας. Οι θερμοκρασίες των γλαστρών αυξάνονται ανάλογα με το είδος του εξοπλισμού και τη θερμοκρασία του νερού. Η θερμοκρασία λειτουργίας ποικίλλει ($30-40^{\circ}\text{C}$), καθώς και οι συντελεστές εξερχόμενης θερμότητας ($1,3-5,6\text{W}/\text{m}^2$), ανάλογα με την κατασκευή.

2. Θέρμανση εδάφους-αέρα. Χρησιμοποιούνται κυρίως συστήματα θέρμανσης με σωλήνα στα οποία περιλαμβάνονται όλα τα συστήματα που αποτελούνται από ένα μεγάλο αριθμό πλαστικών σωλήνων μικρής διαμέτρου ($6-60\text{mm}$), που είτε τοποθετούνται μόνοι με διαστήματα μεταξύ τους ή σε συνδυασμένες δέσμες που ομαδοποιούνται όταν απλώνονται μεταξύ των φυτών. Στην πρώτη περίπτωση πολύ συχνά χρησιμοποιούνται πλαστικοί σωλήνες, αυλακωτοί ή τραχεία επιφάνεια, με διάμετρο 20mm . Ο συντελεστής απόδοσης της θερμότητας κυμαίνεται από $0,67\text{W}/\text{mk}$ μέχρι $1,6\text{W}/\text{mk}$.

Υπάρχει επίσης ένα ομαδοποιημένο «πολυσωλήνιο» σύστημα που συνίσταται από 8 μονούς σωλήνες συνδεδεμένους σε ένα άμορφο σχήμα ή σε μια δέσμη, πλάτους 15cm , η οποία διαθέτει εξερχόμενη θερμότητα από $15,3 \pm 4\text{W}/\text{m}^2/\text{k}$.

Στην κατηγορία αυτή ανήκει κι ένα άλλο σύστημα, το στρώμα ακτινοβολίας, το οποίο όμως δε χρησιμοποιείται ευρέως από τους καλλιεργητές, γιατί είναι πολύ ευαίσθητο στις διαρροές του νερού και δεν παρέχει μεγάλη ασφάλεια κατά τη χρήση του.

3. Θέρμανση με εναέριους σωλήνες. Τα συστήματα αυτά αποτελούνται από σωλήνες προσαρμοσμένους σε διαφορετικά επίπεδα πάνω από το έδαφος ή μέσα στην καλλιέργεια. Το έδαφος ή το υπέδαφος δε θερμαίνονται άμεσα, αλλά με ακτινοβολία από τους σωλήνες.

Οι σωλήνες που τοποθετούνται σε ορισμένη θέση, ανάλογα με το είδος της καλλιέργειας, είναι του ίδιου τύπου με αυτούς που περιγράφηκαν στα συστήματα θέρμανσης εδάφους-αέρα.

4. Θέρμανση με μονάδες θερμού αέρα (θερμαντικά σώματα με ανεμιστήρα που εκπέμπουν ζεστό αέρα στο θερμοκήπιο). Αυτά τα συστήματα συγκεντρώνουν μεγάλες επιφάνειες απόδοσης της θερμότητας σε μικρό όγκο (συμπαγής εναλλάκτης θερμότητας νερού-αέρα) και η μεταφορά θερμότητας βελτιώνεται με βεβιασμένη επαγωγή (ανεμιστήρας). Συχνά τοποθετούνται στο έδαφος, μεταξύ των σειρών των φυτών, διάτρητοι αγωγοί αέρα από πολυαιθυλένιο, οι οποίοι συνδέονται με τις μονάδες και κατανέμουν ο ζεστό αέρα σε όλο το χώρο του θερμοκηπίου. Οι ειδικά σχεδιασμένες θερμαντικές μονάδες χρησιμοποιούνται για την επίτευξη μιας ορισμένης θερμοκρασίας, ανάλογη με το φορτίο θερμότητας του κάθε θερμοκηπίου.

Τα συστήματα θέρμανσης με μονάδες θερμού αέρα χρησιμοποιούνται στα συνδυασμένα συστήματα, για την κάλυψη φορτίου αιχμής και όχι του βασικού

φορτίου θέρμανσης, γιατί τότε η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας είναι της τάξης των 20-30KWh, οπότε αυξάνεται σημαντικά το κόστος της λειτουργίας.

5. Θέρμανση οροφής. Στα συστήματα αυτά ζεστό νερό παρέχεται στην κορυφή της οροφής ή μέσω διπλής οροφής. Σε χώρες όπου έχουν γίνει προσπάθειες εφαρμογής αυτών των συστημάτων, χρησιμοποιήθηκε νερό από σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, το οποίο διοχετεύθηκε σε άφθονη ποσότητα πάνω σε θερμοκήπια με μικρές γωνίες κλίσης. Όμως, υπήρξαν προβλήματα εξαιτίας διαρροών από τις κατασκευές, ενώ αναπτύσσονταν άλγη στην οροφή που δημιουργούσαν προβλήματα φωτισμού και υγρασίας μέσα στο θερμοκήπιο. Μετά από κάποιες βελτιώσεις, διαπιστώθηκε ότι η τεχνική αυτή μπορεί να κρατήσει σ' ένα ικανοποιητικό επίπεδο τη θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα, όμως παραμένει το πρόβλημα της μείωσης του φωτός (μέχρι πάνω από 15% μέσα σε μια περίοδο ενός μηνός) με την ανάπτυξη των αλγών στο τζάμι.

Τα συστήματα θέρμανση με νερό χαμηλής θερμοκρασίας θα πρέπει να σχεδιάζονται προσεκτικά, έτσι ώστε να δημιουργούνται πολύ καλές συνθήκες μικροκλίματος, τόσο στο εναέριο όσο και στο ριζικό σύστημα των φυτών, να βελτιώνεται η ανάπτυξη και εμφάνιση της καλλιέργειας και να μειώνονται οι ζημιές από αρρώστιες και παθογόνα. Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται όταν χρησιμοποιούνται συστήματα θέρμανσης στο έδαφος ή στην επιφάνεια, ώστε η θερμοκρασία εδάφους να παραμένει σταθερά στα ιδανικά επίπεδα για κάθε φυτό. Σημαντικό πρόβλημα επίσης είναι το υψηλό ποσοστό εξάτμισης από το έδαφος, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται υψηλά επίπεδα υγρασίας κατά τη διάρκεια της νύχτας και των πρωινών ωρών σε στεγανά θερμοκήπια. Στη περίπτωση αυτή είναι χρήσιμο να συνδυάζεται το σύστημα και με ένα αερόθερμο, γιατί υπάρχει δυνατότητα αύξησης της θερμοκρασίας του αέρα, βελτιώνονται οι εναλλαγές του με την αναταραχή του και διατηρείται ένα έλλειμμα μέχρι το σημείο κορεσμού μεταξύ φυτών και του αέρα του περιβάλλοντος χώρου.

Γενικά είναι δυνατό να γίνεται συνδυασμός δύο συστημάτων, από τα οποία το ένα δίνει το βασικό φορτίο θέρμανσης (π.χ. θέρμανση εδάφους, εδάφους-αέρα ή εναέριοι σωλήνες) και το δεύτερο δίνει το φορτίο αιχμής (κλασικό σύστημα θέρμανσης ή χαμηλής θερμοκρασίας).

1.7 Ψύξη Των Θερμοκηπίων

Το θερμοκήπιο είναι ένα αγροτικό κτίριο που επιτρέπει την απομόνωση ενός καλλιεργημένου τμήματος γης, με την βοήθεια ενός διαφανούς στην ηλιακή ακτινοβολία υλικού κάλυψης. Εκ κατασκευής λοιπόν το θερμοκήπιο αποτελεί ένα ηλιακό συλλέκτη ο οποίος με τον συνδυασμό της παγίδευσης της ηλιακής ακτινοβολίας και του περιορισμού των ανταλλαγών θερμότητας με συναγωγή οδηγεί σε θερμοκρασιακές ανυψώσεις στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Οι θερμοκρασίες αυτές γίνονται υπερβολικές όταν η ηλιακή ακτινοβολία είναι έντονη και ο έλεγχος της θερμοκρασίας καθίσταται απαραίτητος.

Ο κλιματισμός των θερμοκηπίων κατά τη θερινή περίοδο είναι πρόβλημα που γίνεται όλο και πιο σοβαρό σε ζώνες μεσογειακού κλίματος όπως η Ελλάδα, Ιταλία, Νότια Γαλλία, Ισπανία και οι χώρες της Βόρειας Αφρικής. Οι περιοχές αυτές τον τελευταίο καιρό γνώρισαν μεγάλη ανάπτυξη στον τομέα των θερμοκηπιακών καλλιεργειών, χάρη στις κλιματολογικές συνθήκες του χειμώνα, οι οποίες είναι πολύ πιο ευνοϊκές από αυτές που επικρατούν στις βόρειες χώρες, όπως η Ολλανδία.

Το πρόβλημα έγκειται στη συμπεριφορά αυτών των θερμοκηπίων κατά τις περιόδους μεγάλης ζέστης καθόσον οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες που

παρατηρούνται, συνδυαζόμενες συχνά με ανεπαρκή υγρασία, αναγκάζουν πολλούς από τους καλλιεργητές να σταματούν τις καλλιέργειες από τις πρώτες κιόλας ζέστες, ή να τις συνεχίζουν με συνθήκες, όμως, που δεν ευνοούν την παραγωγή προϊόντων ποιότητας. Ένας καλός κλιματισμός κατά την θερινή περίοδο είναι λοιπόν απαραίτητος, αλλά απαιτεί επενδύσεις μικρότερες ή μεγαλύτερες ανάλογα με την ποιότητα που επιθυμεί ο καλλιεργητής. Είναι προφανές ότι είναι πολύ πιο δύσκολο να ψυχθεί ένα θερμοκήπιο το καλοκαίρι από το να θερμανθεί τον χειμώνα. Η καθαρή ακτινοβολία στο θερμοκήπιο το καλοκαίρι φτάνει, στη μέγιστη τιμή, τα 500 -600 Wm⁻² από τα οποία, αν θέλουμε να έχουμε θερμοκρασίες ανάλογες με τις εξωτερικές, πρέπει να αφαιρεθούν 200-250 Wm⁻² αισθητής θερμότητας. Η εξάλειψη αυτής της πλεονάζουσας ενέργειας δεν μπορεί να γίνει με κλασικά ψυκτικά μηχανήματα που είναι πολύ ακριβά, αλλά πρέπει να γίνει με μεθόδους όσο το δυνατόν λιγότερο δαπανηρές όπως ο αερισμός, το Cooling, η τεχνική ομίχλη, η σκίαση ή συνδυασμός περιπτώσεων του ενός από αυτά τα συστήματα.

1.7.1 Εξαερισμός

Ο όρος «αερισμός» του θερμοκηπίου περιλαμβάνει δύο έννοιες:

1. Την **ανάδευση του εσωτερικού αέρα του θερμοκηπίου**, με σκοπό τη δημιουργία ομοιόμορφων συνθηκών σ' όλη την έκταση του, και
2. την **ανταλλαγή του θερμού αέρα του θερμοκηπίου με τον εξωτερικό αέρα**, που ονομάζεται ειδικότερα **εξαερισμός**. Στόχος του εξαερισμού είναι η ρύθμιση της θερμοκρασίας στο θερμοκήπιο τη θερμή περίοδο και η ρύθμιση της συγκέντρωσης των αερίων συστατικών του αέρα (διοξείδιο του άνθρακα κ.α.) του θερμοκηπίου. Ο εξαερισμός των θερμοκηπίων επιτυγχάνει όχι μόνο περιορισμό της αύξησης της θερμοκρασίας, αλλά και μείωση της σχετικής υγρασίας και της συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αερίων.

Στις ελληνικές κλιματικές συνθήκες, οι ανάγκες για εξαερισμό είναι μεγάλες, από νωρίς την άνοιξη έως αργά το φθινόπωρο. Ακόμα και το χειμώνα, που, με απλή ανάδευση του αέρα, επιδιώκεται βασικά η ομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας στο θερμοκήπιο, υπάρχουν περιπτώσεις που απαιτείται εξαερισμός για μείωση της θερμοκρασίας, ιδιαίτερα στις νότιες περιοχές, τις ηλιόλουστες ώρες.

Ένα αποτελεσματικό σύστημα εξαερισμού πρέπει:

- να έχει ικανοποιητική ισχύ, ώστε να μπορεί, αλλάζοντας τον αέρα του θερμοκηπίου, να περιορίζει στο ελάχιστο την αύξηση της θερμοκρασίας, κατά τις θερμές ώρες της ημέρας.
- Να δημιουργεί ομοιόμορφες συνθήκες,
- Να έχει μικρές απαιτήσεις συντήρησης,
- Να είναι απλό και αξιόπιστο και να διαθέτει αυτοματισμούς, να έχει χαμηλό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας.

Διακρίνουμε δύο τύπους εξαερισμού:

- a) Φυσικό ή στατικό, όταν ο αέρας κινείται λόγω των διαφορών πίεσης που δημιουργούνται από τις φυσικές συνθήκες (άνεμοι, διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικού-εξωτερικού χώρου και συνδυασμός τους).
- b) Δυναμικό, όταν οι διαφορές πίεσης που κινούν τον αέρα δημιουργούνται από ανεμιστήρες.

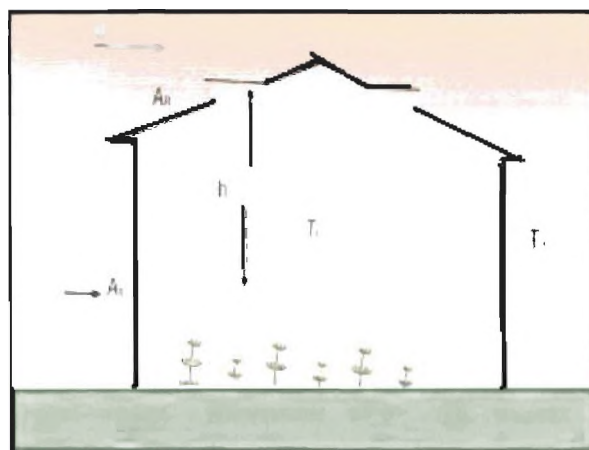
Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τις ανάγκες σε εξαερισμό είναι:

- Η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα.
- Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.
- Η μέγιστη ανεκτή θερμοκρασία μέσα στο θερμοκήπιο που εξαρτάται από το είδος του φυτού.
- Το μέγεθος και τα υλικά κατασκευής του θερμοκηπίου.
- Ο αριθμός εξατμισοδιαπνοής στο χώρο του θερμοκηπίου.

1.7.1.1 Φυσικός Εξαερισμός

Οι ανταλλαγές αέρα μεταξύ του εσωτερικού ενός θερμοκηπίου και του εξωτερικού περιβάλλοντος συνιστούν μια διαδικασία που επηρεάζει σημαντικά το κλίμα του θερμοκηπίου. Η ανανέωση του αέρα επιδρά όχι μόνο στο ενεργειακό ισοζύγιο και κατά συνέπεια στην θερμοκρασία και υγρασία του αέρα του θερμοκηπίου αλλά και στην συγκέντρωση του CO₂ και άλλων αερίων που ίσως υπάρχουν.

Γενικά χαρακτηρίζουμε τον αερισμό ενός θερμοκηπίου με βάση τον ρυθμό ωριαίας ανανέωσης N, δηλ. το πόσες φορές ο όγκος του θερμοκηπίου ανανεώνεται σε μια ώρα.(h⁻¹). Από συγκριτική άποψη είναι προτιμότερο να εκφράζεται ο αερισμός ως ροή όγκου αέρος η μάζα αέρος που αντιστοιχεί στην επιφάνεια του ανοίγματος η στην επιφάνεια του θερμοκηπίου. Η μονάδα που χρησιμοποιείται θα είναι λοιπόν το m³.m².s⁻¹ ή το Kg. m².s⁻¹.



Εικόνα 6. Ανοίγματα φυσικού αερισμού θερμοκηπίου

Σ' ένα θερμοκήπιο που διαθέτει ανοίγματα οροφής και πλαϊνά (βλ. εικόνα 6) ο φυσικός αερισμός δηλ. η ροή αέρα μέσω ενός ανοίγματος προκαλείται από τον συνδυασμό των διαφορών πίεσης που δημιουργούνται:

1. λόγω των δυνάμεων άνωσης που οφείλονται σε διαφορές θερμοκρασίας (φαινόμενο καμινάδας) μεταξύ εξωτερικού περιβάλλοντος και εσωτερικού χώρου, καθώς ο θερμός αέρας μέσα στο θερμοκήπιο, επειδή είναι ελαφρύτερος, ανεβαίνει προς τα πάνω και βγαίνει από τα ανοίγματα της οροφής. Έτσι δημιουργείται υποπίεση και από τα πλευρικά ανοίγματα εισέρχεται στο θερμοκήπιο ψυχρός αέρας, ο οποίος επειδή είναι βαρύτερος παραμένει χαμηλά μέχρι να ζεσταθεί, οπότε ανεβαίνει μέχρι την οροφή κ.ο.κ.

2. λόγω της ταχύτητας του ανέμου, αφού ο αέρας μπαίνει από τα παράθυρα της πλευράς με τη μεγαλύτερη πίεση και βγαίνει από εκείνα της απέναντι πλευράς που έχει μικρότερη πίεση. (Κίττας, Παπαδάκης, Μπαρτζάνας.)

Τα ανοίγματα πρέπει να καλύπτουν μια επιφάνεια ίση με το 25-30% της επιφάνειας του εδάφους, ώστε ο ρυθμός ανανέωσης του αέρα να είναι ικανοποιητικός. Συνήθως ο φυσικός αερισμός γίνεται με παράθυρα στις πλευρές και τα μέτωπα, που ανοιγοκλείνουν με χειροκίνητο τρόπο ή και αυτοματοποιημένο (με ηλεκτροκινητήρες ή θερμοστάτες). Η έκταση και το γεωμετρικό σχήμα των ανοιγμάτων (παραθύρων) του θερμοκηπίου επηρεάζει σημαντικά την αντίσταση της ροής και επομένως το ρυθμό αερισμού. Τα παράθυρα της υπήνεμης πλευράς, που βρίσκονται σε αρνητική πίεση σε σχέση με τη βαρομετρική, είναι ασφαλέστερο ν' ανοίγουν πρώτα.

Αν το θερμοκήπιο είναι στενόμακρο, με πλάτος έως 10 m ο εξαερισμός μπορεί να γίνεται μόνο με πλευρικά ανοίγματα, αν και αυτό δεν επαρκεί πάντα, ιδίως όταν τα καλλιεργούμενα φυτά είναι υψηλά. Τα θερμοκήπια αυτά στοιχίζουν φθηνότερα, αλλά εάν το πλάτος τους υπερβαίνει τα 16 m δεν εξαερίζονται ικανοποιητικά, ιδιαίτερα σε χαμηλές ταχύτητες ανέμου. Αντίθετα, τα θερμοκήπια με ανοίγματα πλευρικά και οροφής στοιχίζουν ακριβότερα, αλλά έχουν πολύ καλύτερο εξαερισμό από τα προηγούμενα.

Ο καλύτερος τρόπος φυσικού εξαερισμού είναι ο συνδυασμός πλευρικών ανοιγμάτων με παράθυρα οροφής, σε διάφορες διαστάσεις (1,70 x 1,60 m έως 2,10 x 2,50 m) ή συνεχή, σ' όλο το μήκος του θερμοκηπίου. Χρησιμοποιούνται συνήθως στα πλαστικά τοξωτά θερμοκήπια και στα υαλόφρακτα.

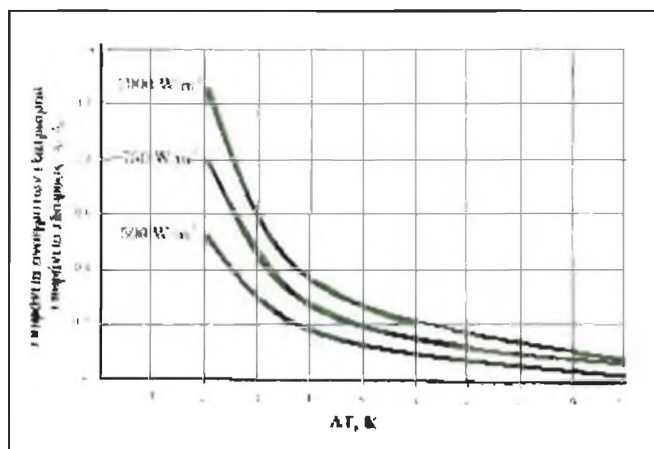
Τα ανοίγματα λειτουργούν αυτόματα με οδοντωτές βραχίονες και κινούνται με ηλεκτροκινητήρες, μειωτήρες και άξονες μετάδοσης κίνησης. Όταν ανέβει η θερμοκρασία, θερμοστάτες χώρου κλείνουν το ηλεκτρικό κύκλωμα ενεργοποιώντας ηλεκτροκινητήρες που ανοίγουν τα παράθυρα. Το μειονέκτημα είναι ότι το σύστημα λειτουργεί με βάση μόνο τη θερμοκρασία του χώρου, χωρίς να παίρνει υπόψη τους ανέμους. Ένας ισχυρός άνεμος, όμως, μπορεί να προκαλέσει υπερβολική μείωση της θερμοκρασίας ή και προβλήματα στην ίδια την κατασκευή. Καλό είναι λοιπόν, εκτός από το θερμοστάτη να υπάρχει και ανεμόμετρο, ώστε να λαμβάνεται υπόψη και η ταχύτητα του αέρα.

Η ελάχιστη σχετική επιφάνεια των ανοιγμάτων εξαερισμού σ' ένα θερμοκήπιο εξαρτάται από τις κλιματικές συνθήκες τις περιοχής, καθώς και από το είδος των φυτών που θα καλλιεργηθούν. Το χειμώνα η θερμοκρασία πρέπει να ρυθμίζεται μόνο από τα ανοίγματα της οροφής, ώστε να προφυλάσσονται τα φυτά από τα ψυχρά ρεύματα. Την άνοιξη και το φθινόπωρο υπολογίζεται ότι στις ελληνικές συνθήκες απαιτούνται περίπου 40 αλλαγές του αέρα του θερμοκηπίου, την ώρα. Το καλοκαίρι όμως, συχνά δεν επαρκούν τα ανοίγματα για τη μείωση της υψηλής θερμοκρασίας, οπότε είναι απαραίτητη η εφαρμογή δυναμικού εξαερισμού, σε συνδυασμό ίσως και με σύστημα δροσισμού.

Τα θερμοκήπια φυσικού εξαερισμού έχουν τη δυνατότητα να τοποθετηθούν οπουδήποτε και δεν απαιτούν ενέργεια για τη λειτουργία τους. Επίσης οποιαδήποτε βλάβη στο σύστημα μπορεί να αντιμετωπιστεί από τον ίδιο τον καλλιεργητή. Το μειονέκτημα του συστήματος αυτού είναι ότι με τη λειτουργία του δεν μπορεί να επιτευχθούν πολύ χαμηλές θερμοκρασίες στο χώρο του θερμοκηπίου, ιδιαίτερα τις ημέρες με άπνοια (η θερμοκρασία μέσα στο θερμοκήπιο είναι συνήθως μεγαλύτερη από την εξωτερική κατά 6°C και πάνω). Ακόμη, για να λειτουργήσει σωστά απαιτούνται κατασκευές θερμοκηπίου μεγάλου ύψους και δυνατότητα κατασκευής στεγανών παραθύρων οροφής που να αυτοματοποιούνται εύκολα.

1.7.1.2 Δυναμικός Εξαερισμός

Με τον δυναμικό αερισμό είναι δυνατόν να πετύχουμε ρυθμούς ανανέωσης του αέρα μεγαλύτερους των 40 h^{-1} κάτι που δεν επιτυγχάνεται με τα συστήματα φυσικού αερισμού. Προς τούτο γίνεται χρήση ανεμιστήρων που τοποθετούνται στο τοίχωμα του θερμοκηπίου. Ιδιαίτερα στις θερμές περιοχές, όταν η ηλιακή ακτινοβολία είναι υψηλή, για να επιτευχθεί μια διαφορά θερμοκρασιών μέσα-έξω 6°C , απαιτούνται 60 αλλαγές του αέρα την ώρα. Κάτι τέτοιο μπορεί να επιτευχθεί μόνο με μηχανικά μέσα, δεδομένου ότι συχνά επικρατούν και χαμηλές ταχύτητες ανέμων. Από το σχήμα 1 φαίνεται ότι όταν το ποσοστό ανοιγμάτων φυσικού αερισμού ξεπερνά το 30% η επίδραση του αερισμού στο ΔT καθίσταται αμελητέα.



Σχήμα 1. Ανοίγματα αερισμού ανά μονάδα καλυμμένου εδάφους ως συνάρτηση της διαφοράς μεταξύ θερμοκρασίας εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος (ΔT) για διάφορες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας στο εξωτερικό του θερμοκηπίου (μηδενική ταχύτητα εξωτερικού ανέμου και $h = 1$)

Με την τοποθέτηση ηλεκτροκίνητων ανεμιστήρων ή εξαεριστήρων, ο αέρας του θερμοκηπίου μπορεί ανανεώνεται ανεξάρτητα από τις συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος. Οι εξαεριστήρες απορροφούν αέρα από το περιβάλλον εκτός του θερμοκηπίου και τον διοχετεύουν στον εσωτερικό, απωθώντας τον αέρα που πρέπει να ανανεωθεί (εξαερισμός με υπερπίεση). Συνηθέστερα όμως απομακρύνουν τον αέρα από το εσωτερικό του θερμοκηπίου προς το εξωτερικό, δημιουργώντας υποπίεση, οπότε φρέσκος αέρας εισέρχεται από τα παράθυρα που βρίσκονται στην απέναντι πλευρά.

Στον εξαερισμό με υπερπίεση χρησιμοποιούνται πολύστροφοι ανεμιστήρες, τοποθετημένοι στο ύψος των υδρορροών, που επιτυγχάνουν ταχύτητα αέρα 3-4 m/sec. Αντίθετα οι εξαεριστήρες που δημιουργούν υποπίεση είναι αξονικοί, με λίγες στροφές, χαμηλότερης ισχύος, με παροχή 30.000 m^3 περίπου. Οποσδήποτε όμως η ισχύς και ο αριθμός των εξαεριστήρων πρέπει να εξασφαλίζουν 45-60 ανανεώσεις του αέρα σε μια ώρα. Περισσότερες από 60αλλαγές θεωρούνται αντιοικονομικές, γι' αυτό αν χρειάζεται μεγαλύτερη μείωση της θερμοκρασίας πρέπει να σκιάζεται το θερμοκήπιο ή να τοποθετείται σύστημα δροσισμού με εξάτμιση νερού.

Ο εξωτερικός αέρας, που είναι ζεστός και ξηρός, δεν πρέπει να πέφτει κατευθείαν πάνω στα φυτά, αλλά να διοχετεύεται ομοιόμορφα σε όλο το χώρο. Για να είναι ομοιογενής η κατανομή του αέρα χρησιμοποιούνται συχνά σωλήνες πολυαιθυλενίου, διαφανείς και διάτρητοι, που τοποθετούνται κατά μήκος της

οροφής και ξεκινούν από τα σημεία εισόδου του αέρα, ενώ το άλλο άκρο τους είναι κλειστό. Έτσι ο αέρας εξέρχεται από τις τρύπες του σωλήνα, που υπάρχουν κατά μήκος σε κανονικά διαστήματα. Όταν δε λειτουργεί το σύστημα ο σωλήνας ξεφουσκώνει και κρέμεται από την οροφή, σκιάζοντας ελάχιστα το χώρο.

Στα πολλαπλά δίκριτα ή τοξωτά θερμοκήπια, οι εξαεριστήρες τοποθετούνται στις πλευρές, σε αποστάσεις 6-10 m μεταξύ τους, ενώ η απέναντι πλευρά με τα παράθυρα δεν πρέπει να απέχει περισσότερο από 40m.

Αντίθετα, στα απλά θερμοκήπια μικρού μήκους η είσοδος του αέρα γίνεται από τα μέτωπα και η έξοδος από τις πλευρές. Γενικά τα παράθυρα είναι συνήθως διπλάσια σε αριθμό από τους εξαεριστήρες ή το άνοιγμα είναι συνεχές.

Μια τυπική εγκατάσταση δυναμικού εξαερισμού απαιτεί ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας 15-50 MJm² κι ισχύ 5-15 W/m², ανάλογα με τον τύπο του εξαεριστήρα. Οι απαιτήσεις σε εξαερισμό, για τον έλεγχο της θερμοκρασίας, επηρεάζονται από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, τη μέγιστη ανεκτή θερμοκρασία μέσα στο θερμοκήπιο και το μέγεθος του θερμοκηπίου. Ο ρυθμός εξαερισμού, για να επιτευχθεί μια συγκεκριμένη θερμοκρασία εξαρτάται από την προσπίπτουσα ακτινοβολία, από την εξωτερική θερμοκρασία του αέρα, την εξατμισοδιαπνοή, στο χώρο του θερμοκηπίου και από τα χαρακτηριστικά της κατασκευής.

Ανάλογα με την εποχή του έτους διαφέρει ο ρυθμός και ο τρόπος εξαερισμού. Το χειμώνα, για παράδειγμα, χρειάζεται προσοχή, ώστε ο ψυχρός αέρας, που εισέρχεται στο θερμοκήπιο, να αναμειγνύεται με τον εσωτερικό ζεστότερο αέρα, πριν να έλθει σε επαφή με τα φυτά, για να μη δημιουργηθούν προβλήματα κακής ανάπτυξης. Γι' αυτό αν το θερμοκήπιο διαθέτει μόνο παθητικό σύστημα εξαερισμού, πρέπει να λειτουργούν μόνο τα παράθυρα οροφής, ενώ αν έχει δυναμικό σύστημα η είσοδος του αέρα πρέπει να γίνεται από τα ανοίγματα που βρίσκονται στα υψηλότερα σημεία. Σε περιοχές λοιπόν, όπου απαιτείται εξαερισμός και κάποιες ηλιόλουστες μέρες του χειμώνα, το σύστημα εξαερισμού, πρέπει να έχει την ικανότητα να εισάγει μικρές ποσότητες αέρα, πολύ μικρότερες από τη μέγιστη ικανότητά του (λ.χ. 10 έως 20% της μέγιστης παροχής).

Κατά την άνοιξη και το φθινόπωρο, οπότε είναι συνεχείς οι εναλλαγές περιόδων με υψηλές θερμοκρασίες και περιόδων με σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες, εναλλάσσονται, αντίστοιχα και οι απαιτήσεις σε εξαερισμό ή ανάδευση μόνο του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο. Έτσι, αν υπάρχει δυναμικός εξαερισμός, στην αρχή της ημέρας μπαίνει σε λειτουργία ένα μέρος μόνο των εξαεριστήρων στη πρώτη βαθμίδα λειτουργίας τους και η είσοδος του αέρα γίνεται από ψηλά, ενώ αργότερα η λειτουργία των ανεμιστήρων εξαρτάται από το θερμικό φορτίο και η είσοδος του αέρα γίνεται από το συνεχόμενο άνοιγμα. Αντίστοιχα, στον παθητικό εξαερισμό χρησιμοποιούνται στην αρχή της ημέρας τα παράθυρα οροφής και αργότερα προστίθενται τα πλευρικά.

Το καλοκαίρι επιδιώκεται συνήθως η μείωση της υψηλής θερμοκρασίας που αναπτύσσεται μέσα στο χώρο από την αυξημένη ακτινοβολία του ήλιου. Στα παθητικά συστήματα εξαερισμού, αυτήν την εποχή χρησιμοποιούνται και τα πλευρικά και τα παράθυρα οροφής, ενώ στα δυναμικά συστήματα χρησιμοποιείται το συνεχόμενο άνοιγμα που βρίσκεται στην πλευρά απέναντι από τους εξαεριστήρες στο μέσο περίπου του ύψους του θερμοκηπίου. Σε κάθε περίπτωση, η ταχύτητα του αέρα στην κόμη των φυτών δεν πρέπει να είναι πολύ υψηλή, γιατί μπορεί να προκαλέσει έντονη διαπνοή, με αποτέλεσμα πρόσκαιρη μάρανση, πρέπει όμως ο αέρας να μετακινείται μέσα από τα φυτά για να μπορεί να τα ψύχει. Ο δυναμικός εξαερισμός είναι η καλύτερη λύση για περιοχές με ισχυρούς ανέμους.

Ιδιαίτερα σε καλοκαιρινές καλλιέργειες, θα πρέπει να συνδυάζεται με σύστημα δροσισμού.

Τα θερμοκήπια με δυναμικό εξαερισμού παρέχουν ικανοποιητική ανανέωση του αέρα στο χώρο του θερμοκηπίου, ακόμα και σε περιπτώσεις άπνοιας, και είναι η μόνη λύση σε θερμοκήπια όπου είναι τεχνικά και οικονομικά δύσκολη η κατασκευή σωστού συστήματος παθητικού εξαερισμού. Επίσης, επειδή απαιτούν θερμοκήπια μικρότερου όγκου, οι απώλειες ενέργειας κατά τη διάρκεια της θέρμανσης μικρότερες.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα είναι επίσης το γεγονός ότι με μικρές προσθήκες μπορεί να λειτουργήσει σύστημα δροσισμού, με αποτέλεσμα η θερμοκρασία του χώρου να μπορεί να μειωθεί σε επίπεδα και κάτω της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα. Το βασικό του μειονέκτημα είναι ότι καταναλώνει σημαντική ποσότητα ενέργειας το καλοκαίρι και φυσικά ότι το θερμοκήπιο πρέπει να βρίσκεται σε περιοχή με παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Ένας σημαντικός κίνδυνος είναι και το ενδεχόμενο να καταστραφεί η φυτεία, αν το σύστημα υποστεί μια ξαφνική βλάβη που δεν μπορεί να επισκευαστεί εύκολα.

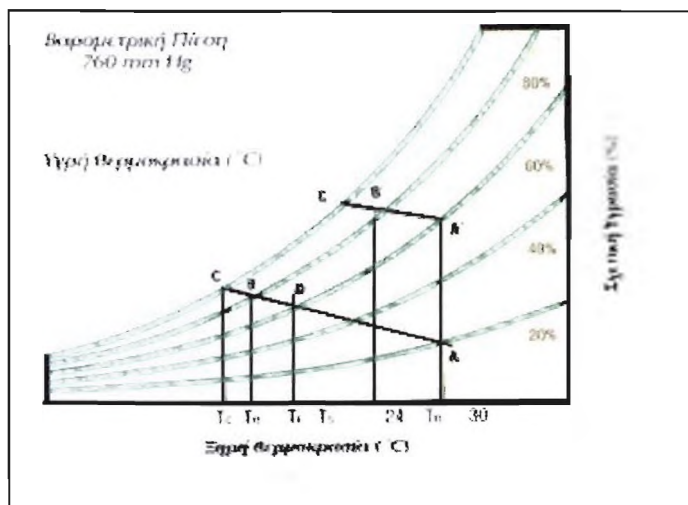
1.7.2 Δροσισμός

Άλλες μέθοδοι εκτός του φυσικού ή δυναμικού αερισμού επιτρέπουν την μείωση της θερμοκρασίας του αέρος του θερμοκηπίου:

1. Ψύξη του θερμοκηπίου αέρος πριν την είσοδο του στο θερμοκήπιο. Είναι η περίπτωση του συστήματος δυναμικού αερισμού με υγρή παρειά (Cooling system).
2. Μετατροπή σε λανθάνουσα θερμότητα της ενέργειας ακτινοβολίας μέσα στο θερμοκήπιο, ώστε να μειωθεί το φορτίο αισθητής θερμότητας. Ο όρος λανθάνουσα θερμότητα αντιπροσωπεύεται από το $a.R_n$, στην εξίσωση του ενεργειακού ισοζυγίου του θερμοκηπίου, πρέπει λοιπόν να αυξηθεί το a . Πρόκειται για το σύστημα υδρονέφωσης με χαμηλή πίεση και υδρονέφωση με υψηλή πίεση (Fog system).

1.7.2.1 Cooling System

Η αρχή αυτού του συστήματος βασίζεται κυρίως στην ψύξη λόγω κορεσμού σε υγρασία του εξωτερικού αέρος που εισέρχεται στο θερμοκήπιο. Αυτό πραγματοποιείται με την διέλευση, με μικρή ταχύτητα, του αέρα από μία υγρή παρειά που ονομάζεται "PAD".



Σχήμα 2. Διάγραμμα υγρού αέρα. Περίπτωση Cooling System.

Το σχήμα 2 παρουσιάζει την αρχή ψύξης πάνω στο διάγραμμα Mollier.

Ο εξωτερικός αέρας (σημείο A) σε ξηρή θερμοκρασία T_o θα ψυχθεί με αδιαβατικό τρόπο μέχρι το σημείο B (σε ξηρή θερμοκρασία T_e) που είναι πολύ κοντά στον κορεσμό. Αν η απόδοση της υγρής παρειάς ήταν 100% το σημείο ψύξης θα ήταν το C. Η απόδοση του PAD καθορίζεται από τη σχέση:

$$E = (T_o - T_e) / (T_o - T_c)$$

όπου :

E = συντελεστής απόδοσης του PAD (αδιάστατος).

T_e = θερμοκρασία εξόδου από το PAD ($^{\circ}\text{C}$).

T_c = υγρή θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα ($^{\circ}\text{C}$).

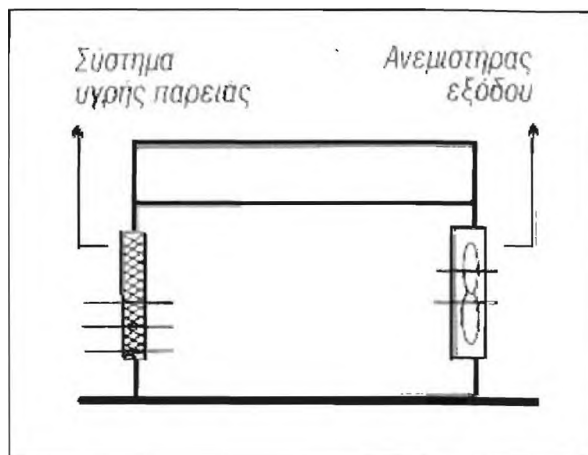
Ο συντελεστής απόδοσης E πλησιάζει το 80 με 90% για την πλειονότητα των συστημάτων που υπάρχουν στο εμπόριο. Στο παράδειγμα του σχήματος 3, πρόκειται για μια υγρή παρειά με απόδοση $E = 90\%$. Έτσι ο αέρας εισέρχεται στην παρειά (στο σημείο A) στους 28°C και με 20% HR (σχετική υγρασία), και εξέρχεται της παρειάς (στο σημείο B) στους 16°C και 80% HR. Ενώ αν εισερχόταν στους 28°C και σε 60% HR (σημείο A') θα έμπαινε στο θερμοκήπιο με θερμοκρασία 23°C και 95% HR (σημείο B'). Όταν βρεθεί στο θερμοκήπιο, ο αέρας αυτός θερμαίνεται και υγραίνεται και θα εξέλθει του θερμοκηπίου σε θερμοκρασία T_s και σε ειδική υγρασία q_s σχήμα 2.

Ο εσωτερικός αέρας του θερμοκηπίου (σημείο D) ισούται με τον μέσο όρο των θερμοκρασιών του αέρα εισόδου T_e και εξόδου T_s . Το ίδιο συμβαίνει και με τις ειδικές υγρασίες q_i .

$$T_i = (T_e + T_s) / 2$$

$$q_i = (q_e + q_s) / 2$$

Το σημείο D θα βρίσκεται τότε μεταξύ B και E στο σχήμα 2. Βλέπουμε ότι περιοριστικός παράγων είναι η υγρή θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα που μπαίνει στο θερμοκήπιο. Η ψύξη θα είναι τόσο μεγαλύτερη όσο πιο ξηρός είναι ο εξωτερικός αέρας. Το Cooling system είναι λοιπόν ένα σύστημα όχι πολύ αποδοτικό στα υγρά κλίματα, αλλά αντίθετα, αποδοτικό στα ζεστά και ξηρά κλίματα. Ο συνηθέστερος τύπος Cooling system είναι το σύστημα με υποπίεση (σχήμα 3).



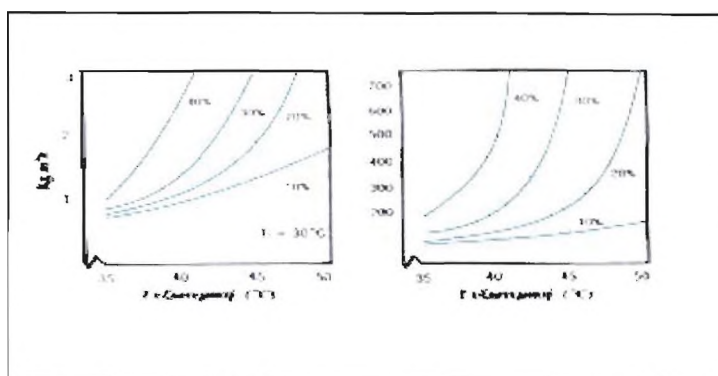
Σχήμα 3. Cooling system με υποπίεση

Για την αποτελεσματικότητα του συστήματος απαιτείται θερμοκήπιο ιδιαίτερα στεγανό, αλλιώς η αποτελεσματικότητα του Cooling μειώνεται σημαντικά από την είσοδο του αέρος που δεν έχει ψυχθεί.

Το υλικό από το οποίο αποτελείται η παρειά είναι συνήθως από ειδικά φύλλα άσηπτης κυβελικής κυτταρίνης.

Στο επάνω μέρος των PAD, υπάρχουν σωληνώσεις ύγρανσης με μια υδρορροή διανομής. Στο κάτω μέρος, μια υδρορροή επανακλήσεως παίρνει το νερό που δεν έχει εξατμιστεί και το ανακυκλώνει με την βοήθεια μιας εμβαπτιζόμενης αντλίας.

Για τον υπολογισμό του Cooling system χρησιμοποιούνται τα δύο παρακάτω σχεδιαγράμματα. (σχήμα 4).



Σχήμα 4. Υπολογισμός του Cooling system .

1.7.3 Υδρονέφωση

Η αρχή της ψύξης με την τεχνική της υδρονέφωσης βασίζεται στη μετατροπή της προσπίπτουσας ενέργειας ακτινοβολίας σε λανθάνουσα θερμότητα με εξατμισμό των σταγονιδίων νερού που ψεκάζονται από τις συσκευές υδρονέφωσης χαμηλής και υψηλής πίεσης Fog system.

Προκειμένου για υδρονέφωση χαμηλής πίεσης τα σταγονίδια νερού είναι μεγέθους μεγαλύτερου των 200 μm, τα οποία και πέφτουν κατά ένα μέρος στο

έδαφος και στα φυτά, απ' όπου εξατμίζονται ανάλογα με την θερμοκρασία αυτών των επιφανειών και με τις συνθήκες του περιβάλλοντος.

Προκειμένου όμως για το Fog system ή υδρονέφωση υψηλής πίεσης, τα σταγονίδια του νερού είναι της τάξης μερικών δεκάδων μm και παραμένουν αιωρούμενα μέχρι την πλήρη εξάτμιση.

Στην περίπτωση εφαρμογής του συστήματος της υδρονέφωσης έχουμε συμφέρον να εναλλάσσουμε τις περιόδους παραγωγής τεχνητής ομίχλης με περιόδους αερισμού, ή ακόμα να ανοίγουμε ελαφρά το θερμοκήπιο κατά τη παραγωγή τεχνητής ομίχλης έτσι ώστε μέρος της πλεονάζουσας ενθαλπίας να απομακρύνεται (τόσο περισσότερο, όσο ο αέρας θα είναι κοντά στον κορεσμό). Αυτή η διαχείριση απαιτεί προσοχή, γιατί αν ανοίξουμε πολύ το θερμοκήπιο, τα σταγονίδια νερού μπορεί να βγουν κατευθείαν στο εξωτερικό περιβάλλον χωρίς προηγουμένως να έχουν ψύξει το θερμοκήπιο. Πρέπει λοιπόν να βρεθεί το καλύτερο άνοιγμα που να ταιριάζει με τη χρήση αυτών των συστημάτων.

Στην περίπτωση του συστήματος υδρονέφωσης με χαμηλή πίεση χρησιμοποιούνται κλασικοί εκτοξευτές (Sprinklers) ή μικροεκτοξευτές (Mini sprinklers).

Εξ' αιτίας του μεγέθους των σταγόνων (περίπου 200 μm) η ποσότητα του εξατμιζόμενου νερού στον αέρα είναι σχετικά μικρή (20% με 30% κατά του Timmons and Baughman, 1983).

Στην περίπτωση υδρονέφωσης υψηλής πίεσης (Fog system) το υλικό που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ομίχλης αποτελούμενης από πολύ ψηλά σταγονίδια τα οποία στην συνέχεια παραμένουν αιωρούμενα στον αέρα, είναι δύο ειδών:

- Είτε σωλήνες διανομής, όπου στέλνεται το νερό υπό μεγάλη πίεση (30 έως 40 bar).
- Είτε δίσκοι, όπου περιστρεφόμενα πτερύγια κινούνται με μεγάλη ταχύτητα διανέμοντας το νερό που πέφτει στο δίσκο.

Αυτά τα μικρά σταγονίδια εξατμίζονται στον αέρα κατά μεγάλο μέρος, βρέχοντας ελάχιστα τα όργανα (άνθη, καρποί, φύλλα) αποφεύγοντας έτσι τα προβλήματα που δημιουργούνται από την χρήση ψεκασμού με χαμηλή πίεση (στίγματα στα φύλλα, καψίματα από το φαινόμενο του φακού από τα σταγονίδια, μηχανικές βλάβες στα ευαίσθητα όργανα κ.λ.π.).

Οι επιδόσεις αυτών των συστημάτων είναι γενικά πολύ ικανοποιητικές, υπό τον όρο ότι γίνεται ταυτόχρονα καλή διαχείριση του αερισμού και υπό την προϋπόθεση της ύπαρξης πολύ καλής ποιότητας νερού και χρήσης συστημάτων αποιονισμού του νερού για την αποφυγή της απόφραξης των μικροεκτοξευτήρων.

1.8 Δυνατότητα Ψύξης Με Σκίαση

Η Τρίτη δυνατότητα ψύξης ενός θερμοκηπίου είναι η μείωση του ποσοστού ενέργειας ακτινοβολίας που εισέρχεται στο θερμοκήπιο.

ΔΙΑΦΟΡΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΚΙΑΣΗΣ

Διακρίνουμε δύο κύριους τύπους σκιάσεως:

- Τη διαρκή σκίαση. Γίνεται με λεύκανση των τοιχωμάτων ή με σκίαστρο, σε σταθερή θέση (σκίαστρο τοποθετημένο στο εξωτερικό ή στο εσωτερικό του θερμοκηπίου).

- Την προσωρινή σκίαση. Γίνεται με ένα ύφασμα κουρτίνα το οποίο ξεδιπλώνεται είτε με το χέρι είτε αυτόματα, όταν η ηλιακή ακτινοβολία και η θερμοκρασία είναι πολύ υψηλές.
- **Λεύκανση:** Χάρη στο χαμηλό κόστος της, είναι μια πρακτική που χρησιμοποιείται αρκετά συχνά, κυρίως σε περιπτώσεις θερμοκηπίων για άνθη ή καλλωπιστικά φυτά. Τα τοιχώματα είναι περασμένα με ένα αρκετά παχύ στρώμα προϊόντος που έχει βάση τον ασβέστη και την κιμωλία. Κύριο χαρακτηριστικό αυτού του τρόπου σκίασης αποτελεί το γεγονός ότι δεν είναι εκλεκτικό στην ηλιακή ακτινοβολία. Παρουσιάζει την ίδια διαπερατότητα σε όλο το ηλιακό φάσμα και απορροφά την ίδια ακτινοβολία τόσο στο φωτοσυνθετικά ενεργό τμήμα PAR (400-700 nm) όσο και στο υπόλοιπο φάσμα. Μερικά προϊόντα απορροφούν μάλιστα περισσότερη ακτινοβολία στο PAR παρά στο υπόλοιπο του φάσματος.

Οι οπτικές ιδιότητες της λεύκανσης εξαρτώνται από τα συστατικά του μίγματος και του χρησιμοποιούμενου συγκολλητικού. Ο καλλιεργητής θερμοκηπίων συχνά δεν έχει σαφή ιδέα της μείωσης του φωτός στο θερμοκήπιο. Εξάλλου, η τοποθέτηση του επιχρίσματος στα τοιχώματα δεν είναι ποτέ ομαλή και παρατηρούμε μια μεγάλη ετερογένεια στο χώρο, και κατά συνέπεια και στη διέλευση της ακτινοβολίας.

Μια άλλη ιδιότητα των προϊόντων αυτών, αρκετά ευνοϊκή σε αγρονομικό επίπεδο, είναι ότι η διαπερατότητα είναι μεγαλύτερη όταν το προϊόν είναι υγρό παρά όταν είναι ξηρό. Η διαπερατότητα είναι λοιπόν ελαφρώς βελτιωμένη σε συνθήκες ακτινοβολίας μη ευνοϊκές (βροχή ή πολύ υγρός καιρός, συννεφιά), κάτι που αποτελεί θετικό στοιχείο.

Δημιουργήθηκαν και άλλα μίγματα που περιέχουν υδροσκοπικά άλατα και τα οποία παρουσιάζουν το πλεονέκτημα να δημιουργούν μια σκίαση που είναι συνάρτηση της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται (π.χ. Varishade).

Στον πίνακα 1 δίνονται οι τιμές διαπερατότητας του PAR για διάφορους τύπους λεύκανσης, καθώς και η αύξηση της διαπερατότητας όταν τα προϊόντα αυτά είναι υγρά.

Τύπος λεύκανσης	Συγκέντρωση (g m ⁻²)	Διαπερατότητα (%)	Διαπερατότητα σε υγρή κατάσταση (%)
Varishade	27,00	52,7	69,7
Varishade	13,50	62,7	65,5
Ασβέστης	13,50	50,5	40,9
Ασβέστης	6,75	62,0	45,7
Nixol	27,00	64,1	28,9

Πίνακας 1. Διαπερατότητα της φωτοσυνθετικά ενεργού ακτινοβολίας (PAR, 400-700 nm) διάφορων υλικών λεύκανσης σε PE μεγάλης διάρκειας.

Σκίαστρα: Την τελευταία δεκαετία εμφανίστηκε στο εμπόριο μεγάλος αριθμός υφασμάτων (από ακρυλικό, πολυπροπυλένιο, πολυεστέρα, πολυαμίδιο) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως σκίαστρα. Διαθέτουμε λοιπόν μεγάλη ποικιλία αεροπερατότητας και διαπερατότητας στην ηλιακή ακτινοβολία. Ο πίνακας 4 δίνει παραδείγματα οπτικών χαρακτηριστικών στο ορατό φάσμα, για διάφορους τύπους σκίαστρων.

Τύπος σκιάστρου	Διαπερασιότητα (%)	Ανακλιση (%)
Canobrelle 60 (polypropylene, polyamide)	60 - 65	53
Floratex 60 (polyester)	55-60	47
Floratex 60 (polyester)	40-45	56
Reemay 2016 (polyester)	50-65	29
Acryl W40 (acrylique)	50-55	47
Acryl W65 (acrylique)	45-50	53
Fibortex	25-30	50
Kval. 300854 (polyester 67%, acrylique 33%)	40	-
Kval. 330968 (polyester)	50	-
Kval. 3601002 (polyester)	65	-

Πίνακας 2. Οπτικά χαρακτηριστικά σκιάστρων στο PAR (400-700 nm)

Σήμερα υπάρχουν σκιάστρα με λεπτό στρώμα αλουμινίου, που ανακλούν μεγάλο μέρος της ακτινοβολίας στο εξωτερικό περιβάλλον και τα οποία μπορούν ακόμα να χρησιμοποιηθούν ως θερμομονωτικές κουρτίνες για τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμων για θέρμανση τον χειμώνα. Πιο δαπανηρά, έχουν σημαντικές επιδόσεις τόσο στο επίπεδο της σκίασης όσο και στο επίπεδο της θερμικής μόνωσης.

1.9 Ηλιοαπολύμανση

Με την συνεχή καλλιέργεια του εδάφους του θερμοκηπίου ευνοείται ο πολλαπλασιασμός εχθρών και ασθενειών που προσβάλλουν το ριζικό σύστημα και την βάση των φυτών.

Τα κυριότερα εδαφογενή παθογόνα που προκαλούν προβλήματα στη χώρα μας είναι μύκητες ανδρομυκώσεων, οι μύκητες που προκαλούν σηψηριζίες και οι φυκομύκητες.

Έτσι γίνεται απαραίτητη κάθε 2 – 3 χρόνια η απολύμανση του εδάφους με κατάλληλο μέσο για την μείωση των εδαφογενών προβλημάτων. Το βρωμιούχο μεθύλιο είναι αυτό που χρησιμοποιείται ευρύτατα για την απολύμανση του εδάφους, με εξαιρετική αποτελεσματικότητα στην καταπολέμηση των εδαφογενών ασθενειών, των νηματωδών, των εντόμων και των ζιζανίων. Σιγά σιγά άρχισε όμως, να περιορίζεται η χρήση του βρωμιούχου μεθυλίου και επιτρέπεται μόνο για ορισμένες κρίσιμες χρήσεις (π.χ. για επεμβάσεις καραντίνας). Έτσι η απομάκρυνση του βρωμιούχου μεθυλίου θα φέρει στην επικαιρότητα την πληρέστερη και ευρύτερη αξιοποίηση των δυνατοτήτων της ηλιοαπολύμανσης.

Η ηλιοαπαλύμανση είναι μια νέα σχετική μέθοδος που αναπτύχθηκε την τελευταία δεκαετία και περιλαμβάνει την κάλυψη του εδάφους με διαφανές πλαστικό φύλλο πολυαιθυλαίνιου το καλοκαίρι, μετά από καλή κατεργασία και πότισμα. Το κυριότερο πλεονέκτημά της είναι ότι αποτελεί την πιο οικολογική και βιολογική απολύμανση. Με σωστή εφαρμογή μπορεί να καταπολεμήσει πολύ αποτελεσματικά δύσκολους μύκητες και ζιζάνια.

Περισσότερα από τα μισά θερμοκήπια της Ελλάδας θεωρητικά είναι διαθέσιμα για να δεχτούν την μέθοδο. Σε σύνολο 40.000 στρεμμάτων, τα θερμοκήπια

της Κρήτης, που αποτελούν το 50% του συνόλου, θεωρητικά είναι διαθέσιμα το καλοκαίρι για να ηλιοαπολυμανθούν. Επίσης τουλάχιστον 20 – 30% ακόμη, δηλαδή θερμοκήπια της Πελοποννήσου, της Πρέβεζας, των νησιών του Αιγαίου είναι έτοιμα να δεχτούν ηλιοαπολύμανση. Γενικές αρχές για την ορθή εφαρμογή της είναι οι εξής:

- Εκμετάλλευση της θερμότερης περιόδου του χρόνου (Ιούνιος – Αύγουστος). Συνίσταται η ηλιοαπολύμανση να εφαρμόζεται αμέσως μετά το καθάρισμα της παλιάς καλλιέργειας, όποτε οι παθογόνοι μικροοργανισμοί βρίσκονται σε πλήρη δραστηριότητα. Ειδικά όταν πρόκειται να εφαρμοστεί σε συνδυασμό με άλλα απολυμαντικά για την καταπολέμηση νηματωδών, όποτε οι νηματώδεις δεν έχουν αποσυρθεί σε κατώτερα στρώματα του εδάφους και δεν έχουν δημιουργήσει κύστες.

- Απαιτείται περίσσεια υγρασίας. Πρέπει να ξεχάσουμε την έννοια του «ρώγου», που ήταν η ιδανική κατάσταση για την εφαρμογή του βρωμιούχου μεθύλιου και να περάσουμε στην λογική σχεδόν του λασπώδους χωραφιού. Κι αυτό γιατί το νερό έχει πολύ μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα από τον αέρα που υπάρχει στο έδαφος. Έτσι περίσσεια υγρασίας διευκολύνει την διείσδυση και την μετάδοση της θερμότητας στο έδαφος. Επί πλέον η παρουσία υγρασίας διευκολύνει την δραστηριοποίηση μολυσμάτων των παθογόνων μικροοργανισμών και την βλάστηση ζιζανίων. Τέλος ξεκινώντας με υψηλά επίπεδα υγρασίας δεν κινδυνεύουμε να ξεραθεί το χώμα μέχρι το τέλος της εφαρμογής. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι πρέπει να φέρουμε το χωράφι σε κατάσταση ρώγου για να μπορεί να καλλιεργηθεί, και μετά το φρεζάρισμα και ψιλοχωμάτισμα του εδάφους πρέπει να ακολουθήσει πλούσιο πότισμα που φέρει το χωράφι σε ιδιαίτερα υγρή κατάσταση. Συνιστάται το βραδινό πότισμα και πρωινή κάλυψη.

- Στη συνέχεια το έδαφος καλύπτεται με το πλαστικό φύλλο. Έχει πολύ μεγάλη σημασία το πλαστικό να είναι «αδιαπέρατο» για να εκμεταλλευτούμε πλήρως όσα λέχθηκαν προωότερα για τη βιολογική και βιοχημική δράση της ηλιοαπολύμανσης, αλλά και για να συντομεύσουμε το χρόνο της, που σε πολλές περιπτώσεις είναι δύσκολο να εξευρεθεί χρόνος 6-8 εβδομάδων. Το έδαφος πρέπει να καλύπτεται ερμητικά και σε όλη την επιφάνεια και όχι μόνο σε λωρίδες (αλίες, αλιτάνες), γιατί το ακάλυπτο μέρος που δεν ηλιοαπολυμαίνεται θα είναι φορέας πλήθους μικροβίων στην καλλιέργεια. Για τον ίδιο λόγο, δεν πρέπει να αφήνονται περιμετρικά λωρίδες με χώμα, αλλά το πλαστικό να σκεπάζει σαν «φάκελος» όλο το έδαφος.

- Εφόσον προστεθεί οργανική ουσία στο έδαφος(κοπριά ή άλλα οργανικά υποστρώματα), η προσθήκη πρέπει να γίνεται πριν το φρεζάρισμα και την κάλυψη με πλαστικό, ώστε να απολυμαίνεται και να παράγει τα ασφυκτικά για τους παθογόνους μικροοργανισμούς βιοαέρια.

- Διάρκεια ηλιοαπολύμανσης: Όπως αναφέρθηκε πριν, ο χρόνος εξαρτάται βασικά από τη χρήση του απλού ή του «αδιαπέρατου πλαστικού». Αν χρησιμοποιηθεί το κοινό πλαστικό ο ελάχιστος χρόνος είναι 6-8 εβδομάδες. Αντίθετα τα «αδιαπέρατα πλαστικά» προσφέρουν το μεγάλο πλεονέκτημα της συντόμευσης του χρόνου. Έτσι με τη χρήση αυτών των πλαστικών 3-4 εβδομάδες είναι αρκετές για αποτελεσματική ηλιοαπολύμανση. Στις εξαιρετικές περιπτώσεις για τις ελληνικές συνθήκες, με πολύ δροσερό ή βροχερό καλοκαίρι, οι ανωτέρω χρόνοι ηλιοαπολύμανσης πρέπει να παρατείνονται για ικανοποιητικό αποτέλεσμα.

- Το πότισμα στα ενδιάμεσα της εφαρμογής δεν ενδείκνυται. Ο λόγος είναι ότι το κρύο νερό που διοχετεύουμε επιβραδύνει τις θερμικές και βιολογικές διεργασίες που αναπτύχθηκαν προηγουμένως. Υπολογίζεται ότι ένα ενδιάμεσο

πότισμα φέρνει πίσω τη λειτουργία της ηλιοαπολύμανσης τουλάχιστον μία εβδομάδα. Η αρνητική αυτή συνέπεια είναι ένας πρόσθετος λόγος για να ξεκινά η ηλιοαπολύμανση σε σχεδόν λασπώδες έδαφος.

- Η θερμότητα εισέρχεται μέσα στο έδαφος καλύτερα σε ακάλυπτο θερμοκήπιο, παρά σε καλυμμένο. Είναι προφανές ότι το πλαστικό οροφής απορροφά μεγάλο μέρος της θερμότητας. Επομένως την χρονιά αλλαγής του πλαστικού οροφής συνιστάται να απομακρύνουμε το παλιό πλαστικό πριν από την έναρξη της ηλιοαπολύμανσης και να καλύπτουμε με το νέο μετά το τέλος της. Συνιστάται, για την μείωση του κινδύνου παλαιώσης του υπάρχοντος πλαστικού οροφής, τα παράθυρα του θερμοκηπίου να είναι ανοικτά και όπου είναι δυνατόν να δροσίζεται το περιβάλλον κατά διαστήματα, με λίγα λεπτά υδρονέφωσης. Επίσης πρέπει να γνωρίζουμε ότι τα νέα πλαστικά δροσισμού ή πολύ υψηλής διάχυσης μειώνουν την διείσδυση της θερμότητας στο έδαφος.

- Όταν η ηλιοαπολύμανση συνδυάζεται με άλλα απολυμαντικά πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν οι οδηγίες και τυχόν ειδικοί χειρισμοί που συνιστά ο παραγωγός του απολυμαντικού.

Μειονεκτήματα της μεθόδου είναι η αδυναμία αποτελεσματικής καταπολέμησης νηματωδών του γένους *Meloidogyne* και εντόμων εδάφους, καθώς και η εποχή και η διάρκεια εφαρμογής. Συγκεκριμένα η μέθοδος θα πρέπει να εφαρμόζεται την θερμότερη εποχή του χρόνου (Ιούνιος – Αύγουστος), οπότε πολλά θερμοκήπια δεν έχουν το περιθώριο να χρησιμοποιηθούν για δυο καλλιέργειες όταν η μέθοδος παραδοσιακά απαιτεί τουλάχιστον 6 – 8 εβδομάδες για να δράσει.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

2. ΞΗΡΑΝΤΗΡΙΑ

2.1 Εισαγωγή

Η ξήρανση (Drying) ή αφύγρανση (dehydration), είναι μια επιστημονικά αποδεκτή μέθοδος μικροβιακής και χημικής σταθεροποίησης των προϊόντων με την αφαίρεση μέρους της περιεχόμενης υγρασίας, επιτυγχάνοντας την παραγωγή νέων προϊόντων διαφορετικής θρεπτικής και οικονομικής αξίας. Η μηχανική ξήρανση αγροτικών προϊόντων αποτελεί την πλέον ενδιαφέρουσα, εναλλακτική της παραδοσιακής μεθόδου (φυσική ηλιακή ξήρανση) δυνατότητα με μεγάλο οικονομικό ενδιαφέρον. Η βελτίωση της ποιότητας των αποξηραμένων προϊόντων και η ελαχιστοποίηση των απωλειών που επιτυγχάνεται με την μηχανική ξήρανση έχουν ως αποτέλεσμα την μείωση κόστους παραγωγής και την υψηλότερη διαθεσιμότητα προϊόντων υψηλής ποιότητας. Το πρόβλημα όμως είναι ότι μεγάλες ποσότητες συμβατικών καυσίμων καταναλώνονται για την ξήρανση των αγροτικών προϊόντων. Πρέπει να αναφερθεί ότι για τα περισσότερα από τα αγροτικά προϊόντα που ξηραίνονται, η συγκομιδή τους γίνεται κατά την διάρκεια του καλοκαιριού που η ηλιακή ακτινοβολία είναι ιδιαίτερα υψηλή. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει το δυναμικό της ηλιακής ενέργειας στις εφαρμογές της ξήρανσης.

2.2 Τρόποι Ηλιακής Ξήρανσης

Διακρίνουμε τρεις τρόπους ηλιακής ξήρανσης :

- Την ηλιακή ξήρανση σε ελεύθερο αέρα
- Την άμεσο ηλιακή ξήρανση
- Την έμμεσο ηλιακή ξήρανση

Στον πρώτο τρόπο τοποθετούμε το προϊόν να ξεραθεί στον ήλιο. Η ηλιακή ακτινοβολία αυξάνει τη θερμοκρασία του προϊόντος. Η κίνηση του αέρα και του ανέμου παίρνουν το νερό του προϊόντος που είναι στην επιφάνειά του. Ο τρόπος αυτός της ξήρανσης ονομάζεται επίσης ξήρανση στον ήλιο.

Στην άμεσο ηλιακή ξήρανση το προϊόν τοποθετείται κάτω από ένα σκέπασμα (τζάμι, φύλλο πλαστικό). Η διάταξη είναι εξιδανίκευση της προηγούμενης περίπτωσης αλλά ο αέρας και το προϊόν είναι πιο ζεστά λόγω του 'φαινομένου του θερμοκηπίου' και των χαμηλών κινήσεων του αέρα στον περιβάλλοντα χώρο της ξήρανσης. Αν αυτές οι κινήσεις είναι πολύ μικρές δεν υπάρχει ξήρανση γιατί το νερό δεν εκκενώνεται, τότε λέμε ότι: έχουμε ψήσιμο. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται συνήθως κακά υπολογισμένα και κατασκευασμένα όπου είναι προνομιούχος η θερμοκρασία χωρίς να διευκολύνεται η κίνηση του αέρα.

2.3 Τύποι Ηλιακών Ξηραντηρίων

Ανάλογα με τον τρόπο που χρησιμοποιούν την ηλιακή ακτινοβολία διακρίνουμε τα ξηραντήρια σε τρεις τύπους, κάτι αντίστοιχο δηλαδή με τα 3 είδη ηλιακής ξήρανσης:

- Φυσικά ηλιακά ξηραντήρια
- Άμεσα ηλιακά ξηραντήρια
- Έμμεσα ηλιακά ξηραντήρια

2.3.1 Φυσικά ηλιακά ξηραντήρια

Σ' αυτά χρησιμοποιείται κατευθείαν η ηλιακή ακτινοβολία και ο αέρας των οποίων όμως η ενέργεια δεν ενοείται ιδιαίτερα ούτε και ελέγχεται. Το προϊόν τοποθετείται επάνω σε δίσκους ή ψάθες ή αβαθείς άβακες που τοποθετούνται ακόμα και πάνω στο έδαφος. Τα παραπάνω αντικείμενα τοποθετούνται προσανατολισμένα στους επικρατούντες ανέμους.

Είναι πολύ φθηνές κατασκευές αλλά προϋποθέτουν ανθρώπινη επίβλεψη και προστασία σε περίπτωση βροχής, συχνή μάλαξη για να αποφεύγουμε υπερθερμάνσεις των άνω επιφανειών και για την ομογενοποίηση του προϊόντος. Ο τύπος αυτός του ξηραντηρίου είναι ο παραδοσιακός τύπος και συναντάται και σήμερα στις αγροτικές περιοχές.

Τα μειονεκτήματά του είναι:

- ❖ Απώλειες των προϊόντων που άσχημα ξηραίνονται ή σπαταλώνονται με τις μετακινήσεις
- ❖ καταστροφή των βιταμινών κυρίως Α και C με την κατευθείαν έκθεσή τους στον ήλιο
- ❖ υποβάθμιση του προϊόντος από την κακοκαιρία και τις επιδράσεις των εντόμων, σκόνης κ.λ.π.

Έτσι στην ξήρανση των ψαριών στην άμμο μπορεί οι απώλειες να φθάσουν και μέχρι 50%.

2.3.2 Άμεσα Ηλιακά Ξηραντήρια

Σ' αυτά οι ακτίνες του ήλιου πέφτουν κατ' ευθείαν επάνω στα προϊόντα που είναι τοποθετημένα μέσα στα ξηραντήρια.

Είναι απλές και γεωργικές κατασκευές που αποτελούνται από ένα πλαίσιο τζαμωτό κάτω από το οποίο τοποθετούνται τα προς ξήρανση προϊόντα τοποθετημένα πάνω σε δίσκους. Η κυκλοφορία του αέρα γίνεται κατά μήκος της συσκευής με φυσικό ελκυσμό που οφείλεται στη θέρμανση (φαινόμενο καμινάδας) ή με την ενέργεια του ανέμου επάνω στα ανοίγματα και πολύ σπάνια με την βοήθεια ενός ανεμιστήρα.

Ο τύπος αυτός του ξηραντηρίου έχει δύο πλεονεκτήματα:

- i. Τα προϊόντα προστατεύονται καλύτερα από την προβολή των μυγών και των άλλων εντόμων.
- ii. Τίθενται υπό το φαινόμενο του θερμοκηπίου όπως και ένας επίπεδος απορροφητής, εξ ου και έχουμε μια βελτίωση του φορτίου ακτινοβολίας και μια ανύψωση της θερμοκρασίας του προς ξήρανση προϊόντος, πράγμα που επιτρέπει να ελαττώσουμε πολύ τον χρόνο ξήρανσης σε σχέση με τα παραδοσιακά συστήματα.

Μεταξύ των μειονεκτημάτων σημειώνουμε την καταστροφή μερικών βιταμινών και την φωτοξύδωση του προϊόντος που οφείλεται στις υπεριώδεις ακτίνες που μεταδίδονται από το σκέπασμα και στους κινδύνους να ξεπεράσει η θερμοκρασία την μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή και που οφείλεται συχνά στην κακή κυκλοφορία του αέρα, που είναι συχνή στα συστήματα αυτά.

Υπάρχει μια ποικίλη κλίμακα κατασκευής τέτοιων ξηραντηρίων. Οι τεχνικές και τα υλικά που χρησιμοποιούνται πρέπει να συμβιβάζονται με τον ζεστό αέρα, την υγρασία και τα προς ξήρανση προϊόντα. Η παραγωγή τους είναι αρκετά χαμηλή της τάξης 5-10 kg νωπού υλικού ανά m² δίσκου. Η διάρκεια έκθεσης των προϊόντων εξαρτάται από τις τοπικές μετεωρολογικές συνθήκες και τα προς διεργασία προϊόντα.

Ένας τύπος τέτοιου άμεσου ξηραντηρίου είναι τα λεγόμενα κιβώτια ξήρασης που είναι μικρές μονάδες, μεταφερόμενες που θεωρούνται πιο συχνά σαν οικιακού τύπου για την διατήρηση των προϊόντων αγροτικών οικογενειών. Υπερθερμάνσεις παρατηρούνται λόγω του μικρού όγκου της συσκευής και της μικρής παροχής του αέρα που τις διατρέχει με φυσική ροή. Άλλος τύπος είναι τα λεγόμενα ξηραντήρια θερμοκηπίου. Πρόκειται για ξηραντήρια μεγαλύτερης κλίμακας και χρησιμοποιούνται για ξήρανση μεγάλης ποσότητας ναπών προϊόντων. Για να είναι δραστικά οι επιφάνειες ξήρασης πρέπει να είναι περιορισμένες σε μερικά τετραγωνικά μέτρα.

2.3.3 Έμμεσα Ηλιακά Ξηραντήρια

Τα προς ξήρανση προϊόντα δεν εκτίθενται κατ' ευθείαν στην ηλιακή ακτινοβολία. Τοποθετούνται σε δίσκους στο εσωτερικό περιφράγματος ή ενός χώρου σε σχέση με την ποσότητα του προς ξήρανση προϊόντος.

Ο νέος αέρας μπαίνει μέσα στο χώρο αφού προηγουμένως περάσει από συλλέκτες αέρα ή άλλους προθερμαντήρες που τον ζεσταίνουν σε συνάρτηση με την χρησιμοποιούμενη περιοχή.

Η μεταφορά του αέρα μπορεί να γίνει με μηχανικά μέσα (ανεμιστήρα) αλλά συχνά είναι δυνατόν να επικαλεσθούμε τον φυσικό ελκυσμό με μία ηλιακή καπνοδόχο.

Ο τύπος αυτός της συσκευής είναι συχνά πιο περίπλοκος και πιο δαπανηρός στην κατασκευή από τα άμεσα ξηραντήρια. Μπορεί να κατασκευαστεί σε διαφορετικές κλίμακες και να χρησιμοποιείται κυρίως για προϊόντα πιο ευαίσθητα στην ηλιακή ακτινοβολία και των οποίων η θερμοκρασία τους θα πρέπει να ελέγχεται (θέρμανση για ξήρανση προϊόντων που προορίζονται για σπόρους αναπαραγωγής και προϊόντα με χαμηλή μέγιστη θερμοκρασία). Ταιριάζουν επίσης και για ξήρανση τροφίμων. Η διάρκεια ξήρασης είναι πολύ μεταβλητή και μπορεί να είναι μεγαλύτερη από εκείνη της άμεσης ξήρασης. Κατά την διάρκεια της ξήρασης πολλές φορές προβλέπεται μετάθεση των συρταριών με τα προϊόντα γιατί έχει παρατηρηθεί ότι προϊόντα που τοποθετούνται στα επάνω συρτάρια ξηραίνονται λιγότερο από αυτά που είναι στα κάτω.

✓ Μικτά Ηλιακά Ξηραντήρια

Στα ξηραντήρια αυτά η απαραίτητη θέρμανση ξήρασης δίδεται με ένα τρόπο που συνδυάζει την ηλιακή ακτινοβολία που προσβάλλει κατ' ευθείαν τα προϊόντα και από ένα αέρα προθερμασμένο στους συλλέκτες.

Οι μεταφορές θερμότητας και του ατμού του νερού είναι πολύπλοκοι και δεν είναι σχεδόν καθόλου γνωστές.

✓ Υβριδικά Ξηραντήρια

Αυτά χρησιμοποιούν επιπλέον από την ηλιακή ενέργεια, μια συμπληρωματική ενέργεια (πετρέλαιο, ηλεκτρισμό, ξύλα κ.λ.π.) για να εξασφαλίσουμε ένα υψηλό βαθμό θέρμανσης του αέρα ή για να εξασφαλίσουμε τον αερισμό. Συχνά χρησιμοποιείται η ηλιακή ενέργεια για την προθέρμανση του αέρα. Τα συστήματα αυτά είναι πιο δαπανηρά, χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας ή σε

εμπορικές εφαρμογές για τις οποίες η ποιότητα και η παροχή του τελικού προϊόντος δεν μπορεί να εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες.

Ένας άλλος διαχωρισμός των ξηραντηρίων ανάλογα με την μορφολογία τους είναι να τα διαχωρίσουμε σε ξηραντήρια τύπου θερμοκηπίου και ξηραντήρια με ηλιακούς συλλέκτες. Στα δεύτερα έχουμε οπωσδήποτε έμμεσο ξήρανση.

✓ **Ξηραντήρια Τύπου Θερμοκηπίου**

Στον τύπο αυτό ο χώρος του ξηραντηρίου αξιοποιείται για τη δέσμευση της ηλιακής ενέργειας και ο αέρας αποτελεί το μοναδικό μέσο μετάδοσης της θερμότητας. Τα ξηραντήρια αυτά είναι απλές κατασκευές με οριζόντια ή συνηθέστερα κεικλιμένη στέγη και προσανατολίζονται ώστε ο άξονάς τους να είναι Ανατολή – Δύση. Η είσοδος συνήθως τοποθετείται στη βόρεια πλευρά που θερμικά μονώνεται. Οι νότιες επιφάνειες καλύπτονται με διαφανές υλικό (γυαλί ή πλαστικό κ.λ.π.) σε μία ή δύο στρώσεις ώστε μεταξύ τους να έχουμε χώρο με αέρα. Το δάπεδο επιστρώνεται με σκυρόδερμα ή πέτρες. Το εσωτερικό της κατασκευής βάφεται μαύρο ή σε ορισμένες θέσεις τοποθετούνται μαύρα μεταλλικά φύλλα. Τα ξηραντήρια αυτά είναι πιο γνωστά σαν ξηραντήρια ξύλου.

Έτσι τα προϊόντα (ξύλα) στοιβάζονται κανονικά με διαχωριστικούς πήχεις ανάμεσά τους. Η κυκλοφορία του αέρα στο εσωτερικό του ξηραντηρίου γίνεται με ηλεκτρικούς ανεμιστήρες μικρής ισχύος κατάλληλα τοποθετημένους που συνήθως βρίσκονται ανατολικές και δυτικές πλευρές της κατασκευής. Η μείωση της σχετικής υγρασίας γίνεται με θυρίδες εξαερισμού (ή εξαεριστήρες). Η παρακολούθηση της μεταβολής της υγρασίας της ξυλείας γίνεται με δείγματα που ζυγίζονται περιοδικά.

✓ **Ξηραντήρια Με Ηλιακό Συλλέκτη**

Στα ξηραντήρια αυτά υπάρχει ηλιακός συλλέκτης που τοποθετείται έξω από το θάλαμο ξήρανσης και ένα ρευστό (νερό ή αέρας) χρησιμοποιείται για τη δέσμευση και μετάδοση της θερμότητας. Ο ηλιακός συλλέκτης έχει κλίση προς το νότο και μεταβιβάζει τη θερμότητα που δεσμεύει στο χώρο του ξηραντηρίου με κυκλοφορητή αέρα ή νερού. Σε ορισμένους τύπους ξηραντηρίων η θερμότητα αποθηκεύεται σε δεξαμενές με νερό. Τα ξηραντήρια αυτά είναι πιο πολύπλοκα και δαπανηρότερα σε σχέση με τα προηγούμενα γιατί απαιτείται επιμελημένη κατασκευή, να έχουμε καλή θερμική μόνωση, επίσης τοποθέτηση ηλιακού συλλέκτη και εγκαταστάσεων διακίνησης ή αποθήκευσης της θερμότητας ή και ελέγχου των συνθηκών. Έτσι αν π.χ. έχουμε να ξηράνουμε ξύλα, τότε η στοίβαση της ξυλείας, η κυκλοφορία του αέρα του χώρου του ξηραντηρίου, ο εξαερισμός και η παρακολούθηση της υγρασίας του ξύλου γίνεται όπως και στην προηγούμενη περίπτωση.

Στα ηλιακά ξηραντήρια η ξήρανση είναι πιο γρήγορη από ότι στη φυσική ξήρανση αλλά βραδύτερη σε σύγκριση με τη συνηθισμένη τεχνική ξήρανση με τεχνικά θερμό και υγρό αέρα. Τα ηλιακά ξηραντήρια πλεονεκτούν σε σύγκριση με τα ξηραντήρια τεχνητής ξήρανσης γιατί το κόστος εγκατάστασης είναι μικρό (ιδίως στον πρώτο τύπο) και η λειτουργία απλούστερη και οικονομικότερη. Η υγρασία της ξυλείας γενικά μπορεί να κατέβει σε χαμηλότερα επίπεδα σε σύγκριση με τη φυσική ξήρανση, πράγμα που έχει σημασία ιδίως σε περιοχές με μεγάλο γεωγραφικό πλάτος (γενικά σε ψυχρές και υγρές περιοχές και όταν η ξήρανση γίνεται το φθινόπωρο και το χειμώνα).

Η αποδοτικότητα των ηλιακών ξηραντηρίων (σχέση ηλιακής ενέργειας που φθάνει στο ξηραντήριο προς το ποσοστό που αξιοποιείται για την ξήρανση της ξυλείας) επηρεάζεται από τον τύπο, την επιμέλεια της κατασκευής (θερμική μόνωση) και την εποχή του έτους. Από σχετικές έρευνες έχει βρεθεί ότι κυμαίνεται από 8%-45%.

Ξήρανση με ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί προπαρασκευαστικά πριν από την τελική ξήρανση ή σαν ξηραντήρια αφύγρανσης και συμπύκνωσης της υγρασίας “dehumidifiers” οπότε η ξήρανση είναι πολύ ταχύτερη και εξαρτάται λιγότερο από το περιβάλλον.

Τα ηλιακά ξηραντήρια παρουσιάζουν ενδιαφέρον κυρίως για βιοτεχνίες ή μικρά εργοστάσια ξύλου (επιπλοποιία κ.λ.π.). Τελευταία προσφέρονται και στην Ελληνική αγορά. Η χρήση τους αξίζει να μελετηθεί με βάση τα πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν προηγουμένως δηλαδή ταχύτερη ξήρανση και χαμηλότερη υγρασία σε σύγκριση με τη φυσική ξήρανση και οικονομικότερη εξυπηρέτηση σε σχέση με την τεχνητή ξήρανση. Πρέπει να σημειωθεί ότι λόγω του κλίματος, ορισμένες περιοχές της χώρας μας, κατά τους θερινούς μήνες η φυσική ξήρανση μπορεί επίσης να είναι ικανοποιητική αλλά τα ηλιακά ξηραντήρια δεν έχουν έντονους τοπικούς ή εποχιακούς περιορισμούς.

2.4 Παραδείγματα Κατασκευής Ξηραντηρίων

Θα αναφέρουμε τους τύπους εκείνους από τα ηλιακά ξηραντήρια που προσαρμόζονται καλύτερα στις κλιματολογικές συνθήκες της χώρας μας.

2.4.1 Ηλιακό Ξηραντήριο Για Προϊόντα Χύδην.

Η ξήρανση είναι άμεση. Κατασκευάζεται ξύλινο με επιφάνεια ξήρανσης m^2 . Η ροή αέρος διασχίζει υποχρεωτικά τη μάζα του προς ξήρανση προϊόντος. Ο ελκυσμός με φυσική μεταφορά πραγματοποιείται από μια ηλιακή καμινάδα μεταλλική βαμμένη μαύρη. Η κλίση του ξηραντηρίου είναι μεταβλητή από 10-30° ανάλογα με την εποχή και την περιοχή που θα χρησιμοποιηθεί.

Χαρακτηριστικά:

- 1) Οι δίσκοι τοποθέτησης προϊόντων είναι μεταλλικοί διάτρητοι πάχους 1,5mm
- 2) Διαφανές κάλυμμα από πολυαιθυλένιο
- 3) Τα υπόλοιπα στοιχεία ξύλινα

Το κόστος είναι χαμηλό αλλά χρειάζεται αντικατάσταση της διαφανής επιφάνειας κάθε χρόνο. Ο χρόνος ξήρανσης είναι από 10-30 ώρες ηλιασμού. Μέγιστη θερμοκρασία μέσα στο ξηραντήριο είναι 60° C. Η ενέργεια της καπνοδόχου έχει πρωταρχική σημασία για τη διεξαγωγή του αέρα. Μέγιστη κλίση 30° για να μην ξεπεραστεί η γωνία επικάθησης των σπόρων του προϊόντος (ταιριάζει για τη χώρα μας για προϊόντα που ωριμάζουν τους θερινούς μήνες). Υπάρχει δυνατότητα τοποθέτησης ανεμιστήρα.

2.4.2 Κελυφωτό Ξηραντήριο.

Η ξήρανση είναι έμμεση. Το ξηραντήριο αυτό που κατασκευάστηκε από λαμαρίνα βαμμένη μαύρη παρουσιάζει μια επιφάνεια 0,25 m^2 . Λειτουργεί με φυσική μεταφορά χωρίς κατά προτίμηση προσανατολισμό. Είναι φορητό.

Αναφορικά μπορούμε να συναντήσουμε τους παρακάτω τύπους ξηραντηρίων:

- **Ξηραντήριο που μελετήθηκε από το πανεπιστήμιο του Poitier**
- **Ξηραντήριο του πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης**
- **Ξηραντήρια με συλλέκτη και χωρίς συλλέκτη**
- **Ξηραντήρια που επινοήθηκαν από Σοβιετικούς επιστήμονες**
- **Άμεσο ηλιακό πολυδύναμο ξηραντήριο.**
- **Πολυδύναμο έμμεσο ηλιακό ξηραντήριο**
- **Ξηραντήριο καφέ ημβιομηχανικού τύπου σε κιβώτια.**
- **Ξηραντήρια ξύλου.**
- **Ηλιακά ξηραντήρια σπόρων για ξηρές και υγρές περιοχές.**

2.5 Διερεύνηση Της Χρήσης Ηλιακής Ενέργειας Για Την Κάλυψη Μέρους Των Θερμικών Αναγκών Κατά Την Μηχανική Ξήρανση Αγροτικών Προϊόντων

Στην παρούσα παράγραφο παρουσιάζεται μία μεθοδολογία για τον υπολογισμό του ποσοστού κάλυψης των θερμικών απαιτήσεων ενός μηχανικού ξηραντηρίου θερμού αέρα υποβοηθούμενο ενεργειακά από σύστημα ηλιακών συλλεκτών.(Σ. Μπαμπαλής κ.λ.π)

2.5.1 Εισαγωγή

Κύριο πλεονέκτημα της φυσικής παραδοσιακής ξήρανσης στο ύπαιθρο είναι η εκμετάλλευση της παρεχόμενης ηλιακής ενέργειας η οποία είναι, τουλάχιστον στη χώρα μας, διαθέσιμη κατά το μεγαλύτερο διάστημα του έτους, ενώ δεν υπόκειται σε οικονομικούς ή άλλους περιορισμούς. Κατά την μηχανική ξήρανση αντίθετα, αποσυνδέοντας την φυσική επαφή του προϊόντος με το περιβάλλον, η απαιτούμενη για την διεργασία της ξήρανσης ενέργεια είναι δυνατόν να παρασχεθεί είτε από συμβατικά υγρά ή αέρια καύσιμα είτε από εναλλακτικές πηγές ενέργειας όπως η ηλιακή. Στην περίπτωση της χρήσης ηλιακών συστημάτων και σε συνδυασμό με το κόστος τους, είναι απαραίτητη η διερεύνηση υβριδικών πηγών, δηλαδή η χρήση και συμβατικών πηγών για την αναπλήρωση του ποσοστού της θερμότητας που δεν καλύπτεται από αυτήν.

Το ποσοστό των θερμικών φορτίων του ξηραντηρίου που καλύπτονται από την ηλιακή ενέργεια κατά την διάρκεια της ημέρας εξαρτάται από διάφορους παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την απόδοση του ηλιακού συστήματος. Σημειώνεται ότι το ηλιακό σύστημα είναι δυνατόν να μην χρησιμοποιείται αποκλειστικά και μόνο για μία συγκεκριμένη χρήση. Όταν δε χρησιμοποιείται για να παρέχει ζεστό νερό χρήσης υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιείται σαν μέσο παροχής ενέργειας στο ξηραντήριο βελτιώνοντας έτσι την ανταποδοτικότητά του. Η επιλογή του ποσοστού κάλυψης των ενεργειακών αναγκών του ξηραντηρίου από το ηλιακό σύστημα αποτελεί τον παράγοντα που επιτρέπει την διαστασιολόγηση του ηλιακού συστήματος.

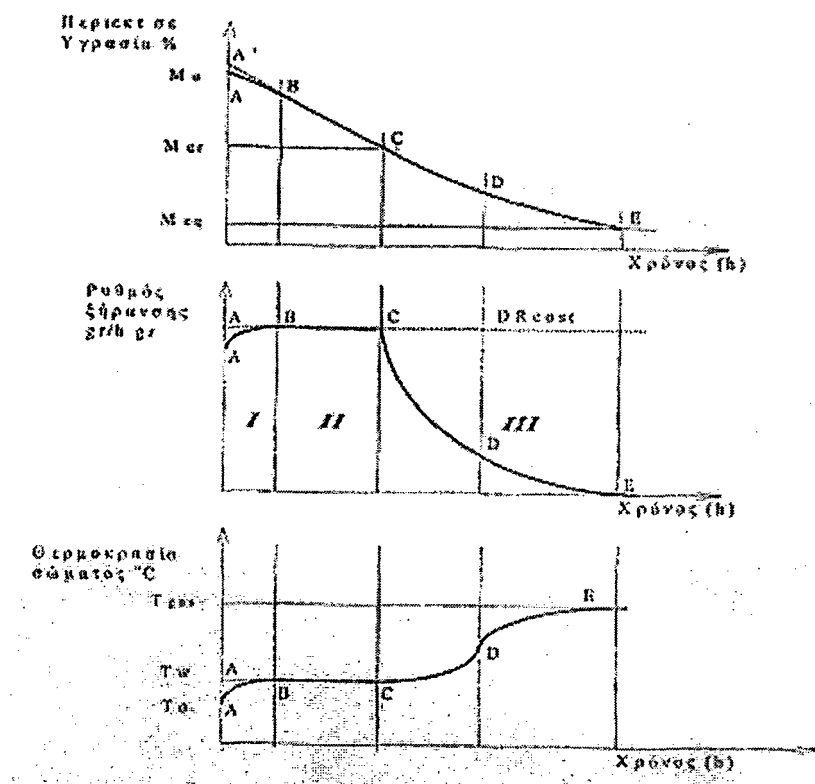
2.5.2 Προσδιορισμός Θερμικών Απαιτήσεων Ενός Μηχανικού Ξηραντηρίου

- **Η Διεργασία Της Ξήρανσης Από Ενεργειακή Αποψη**

Η ξήρανση ως διεργασία αφαίρεσης της περιεχόμενης υγρασίας από ένα προϊόν με θερμικές μεθόδους είναι μία σύνθετη διεργασία που συνδυάζει τα φαινόμενα α) της μεταφοράς θερμότητας από το περιβάλλον προς το σώμα για την εξάτμιση της υγρασίας και την θέρμανση του στερεού και β) την μεταφορά της εσωτερικής υγρασίας, από το εσωτερικό προς την επιφάνεια του σώματος και από την διεπιφάνεια στερεού – αερίου προς τον θερμό αέρα.

Ο ρυθμός ξήρανσης ενός προϊόντος δεν είναι σταθερός κατά τη διάρκεια της ξήρανσης. Στην αρχή παρατηρείται μία φάση με αυξητικό ρυθμό ξήρανσης, γνωστή και σαν περίοδος θέρμανσης, η οποία όμως είναι συνήθως μικρής διάρκειας ή και ενδεχομένως είναι ανύπαρκτη. Στη συνέχεια όπου η ταχύτητα ξήρανσης είναι σχεδόν σταθερή, η υγρασία που εξέρχεται από τους πόρους του στερεού προς την επιφάνεια είναι αυτή που εξατμίζεται από την επιφάνεια του προϊόντος και συνεπώς η θερμοκρασία του προϊόντος παραμένει σταθερή. Στη φάση αυτή εξατμίζεται το ελεύθερο νερό. Τέλος ο ρυθμός ξήρανσης μειώνεται προοδευτικά και η υγρασία που αφαιρείται είναι σε ποσότητα μικρότερη από αυτήν που μπορεί να εξατμιστεί από την παρεχόμενη θερμότητα. Η θερμοκρασία του προϊόντος σε αυτή την φάση αυξάνεται και τείνει προς τη θερμοκρασία του αέρα ξήρανσης. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η θερμότητα μεταφέρεται εκ των έξω προς τα μέσα, το εξωτερικό μέρος που ξηραίνεται ταχύτερα συνήθως παρουσιάζει και μεγαλύτερη θερμική αντίσταση καθυστερώντας την μεταφορά της θερμότητας προς το υγρό εσωτερικό. Επιπλέον οι διαλελυμένες στο νερό ουσίες μεταφερόμενες στην επιφάνεια φράζουν με την πάροδο του χρόνου τα τριχοειδή αγγεία του στερεού καθυστερώντας με αυτό τον τρόπο την διάχυση της υγρασίας. Αποτέλεσμα όλων των ανωτέρω είναι να επιμηκύνεται η διάρκεια ξήρανσης καθιστώντας την φάση αυτή πολύ μεγαλύτερη σε διάρκεια από τις άλλες δύο.

Η φάση III, μειούμενου ρυθμού ξήρανσης, παρουσιάζει μεγάλο ενεργειακό ενδιαφέρον διότι είναι αυτή στην οποία εξατμίζεται το νερό που είναι συνδεδεμένο με το στερεό. Όσο μειώνεται η περιεκτικότητα του στερεού σε υγρασία η ενέργεια προσρόφησης του νερού (water bonding energy) αυξάνεται με αποτέλεσμα σε αυτήν την περίοδο να απαιτούνται ποσότητες θερμότητας μεγαλύτερες από αυτές που απαιτούνται κατά τις πρώτες φάσεις και κατά συνέπεια η ενεργειακή κατανάλωση να είναι σημαντική. Συνεπώς η επίδραση της θερμοκρασίας γίνεται αποφασιστική στην τελική αυτή φάση (εξάτμιση του συνδεδεμένου νερού) ενώ αντίθετα η επίδραση της ταχύτητας του αέρα ξήρανσης στην διεργασία είναι μεγαλύτερη κατά τις πρώτες φάσεις (εξάτμιση και απαγωγή της μεγαλύτερης ποσότητας του ελεύθερου νερού).



Σχήμα 1. Τυπικά διαγράμματα ξήρανσης (καμπύλες ξήρανσης).

Από τα προαναφερθέντα γίνεται εμφανής η ισχυρή επίδραση που ασκούν οι συνθήκες ξήρανσης (θερμοκρασία, ταχύτητα και υγρασία αέρα) επί των ενεργειακών απαιτήσεων αναδεικνύοντας την σημασία του προσδιορισμού της ενεργειακής κατανάλωσης και των βέλτιστων συνθηκών για τα συγκεκριμένα προϊόντα και για τις συγκεκριμένες συνθήκες που επιλέγονται. Η γνώση της επίδρασης των συνθηκών αυτών οδηγεί στη βελτιστοποίηση των παραμέτρων σχεδιασμού του ξηρατηρίου που σχετίζονται άμεσα με το μέγεθος των ενεργειακών απαιτήσεων και την εξοικονόμηση ενέργειας κατά τη λειτουργία.

Μια ανάλυση των ενεργειακών απαιτήσεων της διεργασίας της ξήρανσης πρέπει να λαμβάνει οποσδήποτε υπόψη τον τρόπο με τον οποίο διεξάγονται οι διεργασίες της εναλλαγής μάζας και θερμότητας προϋποθέτοντας την γνώση των καμπύλων ξήρανσης για τα συγκεκριμένα προϊόντα. Ο ρυθμός ξήρανσης είναι όμως άμεσα συνδεδεμένος και εξαρτώμενος από τις συνθήκες ξήρανσης. Η κατανομή του ποσού του εξατμιζόμενου νερού στην διάρκεια της ξήρανσης είναι σημαντική για μια επακριβή ενεργειακή ανάλυση. Για τις ανάγκες της παρούσας ενεργειακής ανάλυσης ο ρυθμός εξάτμισης θεωρήθηκε ομοιόμορφος (υπόθεση σταθερού ρυθμού ξήρανσης). Γενικότερα είναι δυνατόν να θεωρηθεί σταθερός ο ρυθμός ξήρανσης λαμβάνοντας υπόψη και την ύπαρξη της δεξαμενής αποθήκευσης του ηλιακού συστήματος, η οποία επιτρέπει την εξομάλυνση των διακυμάνσεων του φορτίου.

Το ίδιο πρόβλημα προκύπτει και με την κατανομή του ρυθμού μεταβολής της θερμοκρασίας του προϊόντος κατά την διάρκεια ξήρανσης. Για τις ανάγκες της παρούσας απλουστευμένης ενεργειακής ανάλυσης υποθέτουμε ότι α) η ενέργεια προσρόφησης του συνδεδεμένου νερού είναι σταθερή και ίση με την λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του ελεύθερου νερού οπότε το ενεργειακό φορτίο που απαιτείται για την θέρμανση του προϊόντος είναι ομοιόμορφα κατανεμημένο στην

διάρκεια της ξήρανσης και β) ότι η θερμοκρασία του προϊόντος παραμένει σταθερή και ίση με τη θερμοκρασία του αέρα καθ' όλη τη διάρκεια της ξήρανσης.

Στην παρούσα μελέτη επιλέχθηκαν δύο παραδοσιακά προϊόντα (σύκα και σταφύλια) για τα οποία, για τα οποία, από πειραματικά αποτελέσματα, υπάρχουν οι καμπύλες ξήρανσης. Η διάρκεια ξήρανσης των σταφυλιών συναρτήσει της θερμοκρασίας, λαμβάνοντας ταχύτητα του αέρα, παράλληλα με την επιφάνεια του προϊόντος, σταθερή και ίση με 2 m/s, έχει τις ακόλουθες τιμές :

T αέρα =	50°C	60 °C	70 °C
Διάρκεια ξήρανσης	54h	33h	12h

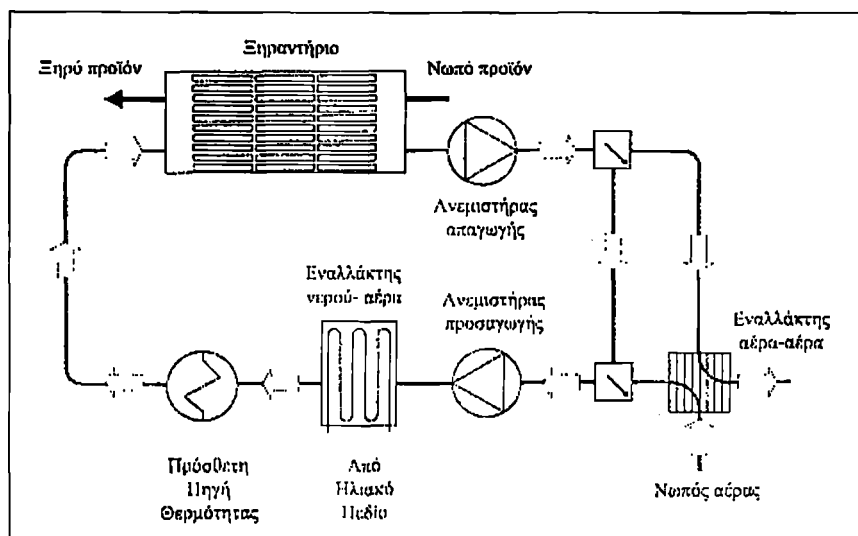
Αντίστοιχα η διάρκεια ξήρανσης των σύκων συναρτήσει της θερμοκρασίας, για την ίδια ταχύτητα αέρα είναι:

T αέρα =	55°C	65 °C	75 °C
Διάρκεια ξήρανσης	26h	16h	12h

• Το Τυπικό Μηχανικό Ξηραντήριο

Η ανάλυση των θερμικών απαιτήσεων του μηχανικού ξηραντηρίου βασίστηκε στο ξηραντήριο ικανότητας 300kg νωπού προϊόντος τύπου σύραγγος που έχει αναπτυχθεί και λειτουργεί στο ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος». Αυτή η διάταξη μηχανικής ξήρανσης γεωργικών προϊόντων είναι τύπου σταθερά κλίνης, όπου το προϊόν τοποθετείται σε ειδικά τοποθετημένα σταθερά πλαίσια καταλλήλων διαστάσεων (ανάλογα με το προϊόν) και ξηραίνεται από ρεύμα προθερμασμένου αέρα. Η βασική διάταξη των μερών του τυπικού μηχανικού ξηραντηρίου αγροτικών προϊόντων προσδιορίζεται από τα κάτωθι μέρη.

- Θάλαμος ξήρανσης , αποτελούμενος, κατά κανόνα, από ένα στεγανό και θερμικά μονωμένο θάλαμο με σύστημα υποδοχής του νωπού προϊόντος (τελάρια). Τα τελάρια συνήθως ευρίσκονται τοποθετημένα σε στήλες, ο αριθμός και το μέγεθος των οποίων καθορίζει και την ικανότητα του ξηραντηρίου.
- Σύστημα διακίνησης και διανομής αέρα, αποτελούμενο από έναν ή περισσότερους ανεμιστήρες (ανάλογα με τον σχεδιασμό), καθώς και το σύστημα αεραγωγών και κατανεμητών αέρα.
- Σύστημα θέρμανσης του αέρα ξήρανσης, αποτελούμενο από το κύριο και το βοηθητικό σύστημα θέρμανσης καθώς και σύστημα προθέρμανσης του αέρα (εναλλάκτης αέρα-αέρα) για την εξοικονόμηση ενέργειας μέσω της ανάκτησης μέρους της θερμότητας του απορριπτόμενου αέρα.
- Σύστημα αυτομάτου ελέγχου και μέτρησης για τον προσδιορισμό των θερμοδυναμικών μεγεθών και της μεταβολής του βάρους του προϊόντος.



Σχήμα 2. Σχηματικό διάγραμμα τυπικού μηχανικού ξηραντηρίου αγροτικών προϊόντων

Πέραν του θαλάμου ξήρανσης όλα τα μέρη εντός των οποίων διακινείται θερμός αέρας είναι θερμικά μονωμένα με ειδικό θερμομονωτικό υλικό του οποίου η θερμομονωτική ικανότητα συμβάλλει σε μεγάλο βαθμό στις απαιτήσεις σε ενέργεια του ξηραντηρίου.

Για την θέρμανση του αέρα ξήρανσης θεωρείται σαν κύρια πηγή ενέργειας αυτή που προσφέρεται μέσω του εναλλάκτη νερού-αέρα από νερό που θερμαίνεται σύμφωνα με την διαθεσιμότητα της εναλλακτικής πηγής ενέργειας (ηλιακή). Η συμπληρωματική ενέργεια λαμβάνεται από την συμβατική πηγή που καλύπτει τις πρόσθετες ενεργειακές ανάγκες οι οποίες δεν είναι δυνατόν να καλυφθούν από την ηλιακή ενέργεια.

Στην εξεταζόμενη διάταξη λαμβάνεται υπόψη σύστημα μερικής ανακύκλωσης του θερμού αέρα ξήρανσης. Το σύστημα ανακύκλωσης αποτελείται από ένα σύστημα by-pass το οποίο μέσω μηχανισμού ρυθμιζόμενων περσίδων επιτρέπει την απόρριψη μέρους του αέρα ξήρανσης αναρροφώντας νωπό αέρα από το περιβάλλον. Στην συγκεκριμένη περίπτωση το μέσο ποσοστό ανακύκλωσης θεωρήθηκε 90%.

Ο αναρροφώμενος νωπός αέρας προθερμαίνεται από τον απορριπτόμενο θερμό αέρα διερχόμενος μέσω του εναλλάκτη αέρα-αέρα με απόδοση ~65%.

• Προσδιορισμός Θερμικών Απαιτήσεων

Οι θερμικές απαιτήσεις για την λειτουργία του ξηραντηρίου υπολογίζονται από το άθροισμα των ποσών θερμότητας που δαπανώνται για την θέρμανση των επιμέρους συντελεστών της διεργασίας και για την αναπλήρωση των διαφόρων απωλειών του συστήματος.

Για την θέρμανση του προϊόντος μάζας $M_{πρ}$ από την θερμοκρασία περιβάλλοντος, στην οποία υποθέτουμε ότι αρχικά ευρίσκεται, έως την θερμοκρασία ξήρανσης απαιτείται θερμότητα:

$$Q_{πρ} = M_{πρ} \cdot C_{pπρ} \cdot (T_{ξηρ} - T_{περιβ}) \quad (1)$$

Η ειδική θερμότητα του προϊόντος συναρτήσει της περιεχόμενης υγρασίας δίνεται από τη σχέση : [4]

$$C_{pπρ} = 1.4 + 2.97 \cdot mc_{νωπρ.πρ.} \quad (2)$$

Στη σχέση αυτή λαμβάνεται υπόψη η θερμότητα για την θέρμανση του νερού εντός του προϊόντος και της ξηρής μάζας αυτού. Η αρχική θερμοκρασία του προϊόντος λαμβάνεται ίση με αυτή του περιβάλλοντος. Η θερμοκρασία του προϊόντος κατά την διάρκεια της ξήρανσης δεν είναι ίση με την θερμοκρασία του αέρα ξήρανσης παρά μόνον κατά το τέλος της διεργασίας.

Η θερμότητα για την εξάτμιση της ποσότητας νερού που αφαιρείται κατά την ξήρανση, και η οποία αποτελεί σημαντικό ποσοστό του θερμικού φορτίου, λαμβάνεται ίση με:

$$Q_{εξ.νερό} = M_{εξ.νερού} \cdot L_{νερού} \quad (3)$$

Ενώ η ποσότητα νερού που εξατμίζεται κατά την ξήρανση δίνεται από την σχέση :

$$M_{εξ.νερού} = M_{πρ} \cdot (mc_{νωπρ.πρ.} - mc_{ξηρ.πρ.}) \quad (4)$$

Αντικαθιστώντας την (4) στην (3) έχουμε ότι:

$$Q_{εξ.νερό} = M_{πρ} \cdot (mc_{νωπρ.πρ.} - mc_{ξηρ.πρ.}) \cdot L_{νερού} \quad (5)$$

Η ποσότητα αυτή του νερού θεωρείται, για λόγους υπολογιστικούς, ότι εξατμίζεται με σταθερό ρυθμό καθ' όλη τη διάρκεια της ξήρανσης.

Η θερμότητα για την αναθέρμανση του νερού αέρα που αναρροφάτε λόγω της απόρριψης ποσότητας αέρα κατά την ανακύκλωση, υπολογίζεται για ανακύκλωση του αέρα ξήρανσης κατά $R = 90\%$ και είναι ίση με :

$$Q_{νωπού\ αέρα} = \eta \cdot (1-R) \cdot M_{αέρα} \cdot C_{pαέρα} \cdot (T_{ξηρ} - T_{περιβ})$$

ενώ η απόδοση του συγκεκριμένου εναλλάκτη αέρα-αέρα λαμβάνεται ίση με $\eta = 65\%$.

Οι απώλειες θερμότητας της κατασκευής συνοψίζονται στις απώλειες μέσω των τοιχωμάτων και στις απώλειες από τις διαρροές αέρα. Οι θερμικές απώλειες που οφείλονται στην αρχική θέρμανση όλης της μάζας του ξηραντηρίου, κατά την μεταβατική κατάσταση, δεν συνυπολογίζονται θεωρώντας ότι το ξηραντήριο βρίσκεται σε κατάσταση συνεχούς λειτουργίας και σε σταθερές συνθήκες.

Οι απώλειες θερμότητας μέσω των τοιχωμάτων εξαρτώνται από το υλικό κατασκευής του ξηραντηρίου και την μόνωση. Η συγκεκριμένη κατασκευή ξηραντηρίου που ελήφθη υπόψη, αποτελείται από εσωτερικό χαλυβδόφυλλο πάχους $s_1 = 0,8$ mm με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $\lambda = 55$ W/m °C, επενδεδυμένο με φύλλο υαλοβάμβακα πάχους $s_{μον} = 50$ mm και $\lambda_{μόνωσης} = 0,03$ W/m °C και εξωτερική επένδυση από φύλλο αλουμινίου πάχους $s_1 = 0,5$ mm και $\lambda = 200$ W/m °C. Συνεπώς οι απώλειες θερμότητας μέσω των τοιχωμάτων εκφράζονται από την σχέση:

$$Q_{τοιχ} = U_{ολ} \cdot A \cdot (T_{ξηρ} - T_{περιβ})$$

Τέλος οι απώλειες θερμότητας οι οποίες οφείλονται στις διαρροές αέρα λόγω ατελούς στεγνότητας της κατασκευής υπολογίζονται υποθέτοντας ότι διαρρέει στο περιβάλλον περίπου το 10% της παροχής του αέρα που κυκλοφορεί στο ξηραντήριο.

Όλες οι θερμικές απαιτήσεις εκφράζονται ανά βαθμό και ώρα ενώ το φορτίο θέρμανσης λόγω εξάτμισης του περιεχομένου στο προϊόν νερού υπολογίζεται ανά ώρα λειτουργίας του ξηραντηρίου. Τελικά οι θερμικές απαιτήσεις που αναφέρονται ανωτέρω εκφράζονται τελικά ανά ημέρα λειτουργίας του ξηραντηρίου. Οι προκύπτουσες τιμές για το συνολικό θερμικό φορτίο επιβεβαιώνονται και από πειραματικές μετρήσεις που έγιναν στο ξηραντήριο του Εργαστηρίου Ηλιακών.

2.5.3 Το Ηλιακό Σύστημα

Για τον υπολογισμό της κάλυψης του θερμικού φορτίου από το σύστημα ηλιακής ενέργειας εφαρμόσθηκε η μέθοδος καμπύλων f . Το σχηματικό διάγραμμα του συστήματος θέρμανσης που χρησιμοποιήθηκε φαίνεται στο σχήμα 3 και αποτελείται από τα κάτωθι μέρη:

- Πεδίο Ηλιακών Συλλεκτών, αποτελούμενο από ηλιακούς συλλέκτες με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

$$F_R U_L = 4,5 \text{ W/}^\circ\text{C m}^2 \quad \text{και} \quad F_R (\tau\alpha)_n = 0,8$$

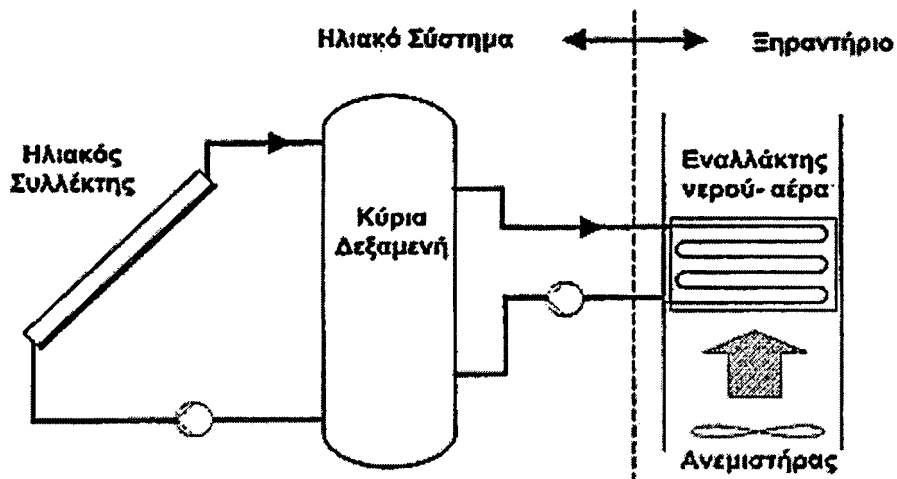
Συνδεδεμένους υδραυλικά μεταξύ τους. Τα χαρακτηριστικά αυτά ανήκουν σε έναν τυπικό ηλιακό συλλέκτη επιλεκτικής βαφής

- Εναλλάκτη πεδίου συλλεκτών – δεξαμενής, ο οποίος για τους υπολογισμούς που υπεισέρχονται στην μέθοδο έχει ληφθεί με διορθωτικό συντελεστή

$$F'_R / F_R = 0,95$$

- Κύρια δεξαμενή νερού για την αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας με χωρητικότητα 75 λίτρα ανά τετραγωνικό μέτρο συλλεκτικής επιφάνειας.

Το θερμό νερό από την κύρια δεξαμενή αποθήκευσης κυκλοφορεί μέσω αντλίας σε έναν εναλλάκτη νερού-αέρα και αποδίδει θερμότητα στον αέρα ξήρανσης μέρος του οποίου ανακυκλώνεται συνεχώς εντός του ξηραντηρίου. Η πρόσθετη ενέργεια που απαιτείται για να συμπληρώσει τα θερμικά φορτία που δεν καλύπτονται από την ηλιακή ενέργεια παρέχεται από συμβατικό άλλο καύσιμο. Τα φορτία ανά βαθμωρά θέρμανσης για τις απώλειες υπολογίζονται σε περιβαλλοντικές συνθήκες της περιοχής των Αθηνών. Η διερεύνηση αφορά τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες λειτουργίας του ξηραντηρίου (θερμοκρασία ξήρανσης) και για δύο τυπικά προϊόντα όπως είναι τα σταφύλια και τα σύκα. Από τον υπολογισμό, εξάγεται το μηνιαίο θερμικό φορτίο του ξηραντηρίου και στην συνέχεια το ημερήσιο για μια μέση ημέρα του Αυγούστου εφ' όσον δεν είναι δυνατόν να προβλεφθεί κάποιο προφίλ χρησιμοποίησης του ξηραντηρίου σε μεγαλύτερη χρονική διάρκεια.



Σχήμα 3. Σχηματικό διάγραμμα ηλιακού συστήματος θέρμανσης νερού

2.5.4 Συμπεράσματα

Ακολουθώντας την προταθείσα μέθοδο συμπεραίνεται ότι είναι δυνατή η χρήση συστημάτων ηλιακής ενέργειας στο ενεργειακό μέρος ξηραντηρίων θερμού αέρα με γνώμονα την εξοικονόμηση ενέργειας και την βελτιστοποίηση της ποιότητας των ξηραίνόμενων προϊόντων. Η διερεύνηση φανερώνει ότι η ολοκλήρωση του συμβατικού ηλιακού συστήματος για την παραγωγή θερμού νερού χρήσης με την κατάλληλη υποδομή έτσι ώστε να χρησιμοποιείται και για την θέρμανση του αέρα σε ξηραντήρια αγροτικών προϊόντων είναι απόλυτα εφικτή και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη από τους μελετητές κατά τη διαστασιολόγηση τέτοιων συστημάτων σε συνδυασμό με την πολλαπλότητα χρήσης του μηχανικού ξηραντηρίου (διαφορετικά προϊόντα σε διαφορετικές εποχές).

Πίνακας συμβόλων

A	Εμβαδόν συνολικής παραπλεύρου επιφάνειας ξηραντηρίου	m^2
$C_{p,πρ}$	Ειδική θερμότητα προς ξήρανση προϊόντος	$kJ/kg K$
$C_{p,αέρα}$	Ειδική θερμότητα του αέρα ξήρανσης	$kJ/kg K$
h_0, h_1	Συντελεστές μεταφοράς θερμότητας συναγωγής προϊόντος	$W/m^2 K$
$L_{νερού}$	Λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του νερού (~2300)	kJ/kg
$M_{πρ.}$	Μάζα του νωπού προς ξήρανση προϊόντος	kg
$M_{εξ. νερό}$	Μάζα νερού που εξατμίζεται κατά την ξήρανση	kg
$M_{αέρα}$	Μάζα του αέρα ξήρανσης	kg
$m_{c \text{ νωπ. πρ}}$	Περιεκτικότητα υγρασίας νωπού προϊόντος (υγρή βάση)	
$m_{c \text{ ξηρ. πρ}}$	Περιεκτικότητα υγρασίας αποξηραμένου προϊόντος (υγρή βάση)	
$Q_{πρ}$	Θερμότητα που απαιτείται για την θέρμανση του προϊόντος	kJ
$Q_{εξ. νερού}$	Θερμότητα που απαιτείται για την εξάτμιση του νερού εντός του προϊόντος	kJ
$Q_{νωπ.αέρα}$	Θερμότητα που απαιτείται για την θέρμανση του νωπο αέρα που αναρροφάται λόγω της απόρριψης ποσότητας αέρα κατά την ανακύκλωση	
$Q_{τοιχ.}$	Απώλειες θερμότητας από τα τοιχώματα	kJ
R	Ποσοστό του αέρα ξήρανσης που ανακυκλώνεται	%
$T_{περιβ.}$	Θερμοκρασία περιβάλλοντος	$^{\circ}C$
$T_{ξηρ.}$	Θερμοκρασία του αέρα ξήρανσης	$^{\circ}C$
$U_{ολ.}$	Ολικός συντελεστής θερμικών απωλειών	$W/m^2 K$
η	Απόδοση του εναλλάκτη αέρα – αέρα του ξηραντηρίου	%

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

3. ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΝΕΡΟΥ

3.1 Εισαγωγή

Το πρόβλημα του νερού θεωρείται από πολλούς σαν μια από τις σοβαρότερες αιτίες των μελλοντικών συγκρούσεων. Οι νέες πιέσεις που προκαλούνται από τις ολοένα και μεγαλύτερες γεωργικές, οικιακές, τουριστικές και βιομηχανικές απαιτήσεις για γλυκό νερό θα έχουν πολύ σοβαρές επιπτώσεις πάνω στα υδατικά αποθέματα. Υπολογίζεται ότι μέχρι το 2025 ο μισός πληθυσμός της γης θα αντιμετωπίζει σοβαρά προβλήματα από την έλλειψη καθαρού πόσιμου νερού.

Το νερό είναι βασικός παράγοντας που καθορίζει τα επίπεδα ευημερίας και ανάπτυξης μιας χώρας. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για την πατρίδα μας, μια χώρα με θερμό ξηρό κλίμα που ταλαιπωρείται από τακτικές και επαναλαμβανόμενες ανομβρίες. Η καταστροφή, η ρύπανση και η μόλυνση του περιβάλλοντος έχει άμεσες αρνητικές επιπτώσεις πάνω στον υδάτινο πλούτο.

Στην μακράιωνη ιστορία της, η χώρα μας μαστίζεται από παρατεταμένες ανομβρίες. Το πρόβλημα επιτείνεται συνεχώς, λόγω της αυξανόμενης ζήτησης νερού και της πτωτικής τάσης της βροχόπτωσης εξαιτίας των γνωστών, πλέον, κλιματικών αλλαγών, ειδικά του φαινομένου του θερμοκηπίου. Επιπρόσθετα, το πρόβλημα γίνεται οξύτερο λόγω της ολοένα αυξανόμενης ρύπανσης των νερών από διάφορες δραστηριότητες του ανθρώπου.

Ο προγραμματισμός, η ανάπτυξη, η διαχείριση, η εξοικονόμηση και η διαφύλαξη αυτού του στρατηγικού φυσικού πόρου, αποτελεί την πρώτη προτεραιότητα της κυβερνητικής πολιτικής.

Η τελευταία, εστιάζεται στην ανάπτυξη όλων των επιφανειακών πηγών νερού που έχουν απομείνει και την αξιοποίηση των μη παραδοσιακών πηγών νερού, όπως είναι τα επεξεργασμένα λύματα και, ιδιαίτερα, η **αφαλάτωση**. Τα επεξεργασμένα λύματα χρησιμοποιούνται για άρδευση γεωργικών καλλιεργειών και για εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων. Η αφαλάτωση χρησιμοποιείται για παραγωγή νερού για τις οικιακές, τουριστικές, βιομηχανικές και εμπορικές ανάγκες. Οι δυο μονάδες αφαλάτωσης που λειτουργούν, σήμερα, στη Δεκέλεια και τη Λάρνακα, συνολικής δυναμικότητας 90.000 κυβικών μέτρων νερού την ημέρα, συνέβαλαν στην απεξάρτηση της παροχής πόσιμου νερού στα μεγάλα αστικά και τουριστικά κέντρα από τη βροχόπτωση.

Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για αυτό το σκοπό ανήκουν σε μια εφαρμοσμένη τεχνολογία υψηλού επιπέδου. Φέρουν τον τίτλο '**αφαλάτωση του θαλασσινού νερού**'. Οι μέθοδοι αφαλάτωσης έχουν αρχίσει να κάνουν την εμφάνισή τους στα μέσα του 20^{ου} αιώνα.

Χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι οι οποίες διακρίνονται και κατατάσσονται σε κατηγορίες, ανάλογα με την αρχή στην οποία στηρίζεται η καθεμία. Η εργασία αυτή έχει ως σκοπό να παρουσιάσει αυτές τις μεθόδους.

3.2 Φυσικό Νερό

Γενικά

Λόγω της μεγάλης διαλυτικής ικανότητάς του, το νερό περιέχει ποσότητες πολλών μετάλλων υπό μορφή ιόντων και μορίων. Μερικά από αυτά έχουν μεγάλη σημασία για ορισμένες βιομηχανικές εφαρμογές, όπως για παράδειγμα στη βιομηχανία τροφίμων, τη βιομηχανία υφάνσιμων υλών, φαρμάκων, στη γεωργία και αλλού. Το πόσιμο νερό επίσης ακολουθεί αυστηρές προδιαγραφές για την παρουσία σε αυτό ορισμένων ουσιών και μετάλλων, οι οποίες χαρακτηρίζονται επιβλαβείς και τοξικές.

Το θαλασσινό νερό περιέχει επίσης μεγάλο πλήθος αλάτων και μετάλλων υπό μορφή ιόντων (και για αυτό είναι ακατάλληλο για οποιαδήποτε χρήση-πόση, άρδευση, βιομηχανία κ.λ.π.). Μεταξύ άλλων ουσιών, εκείνη που βρίσκεται με τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε αυτό, είναι το χλωριούχο νάτριο (NaCl). Αυτό περιέχεται στη θάλασσα σε ποσοστό περίπου 3.5%. Αυτή η ποσότητα είναι αρκετά μεγάλη. Επίσης, το NaCl βρίσκεται στα υφάλμυρα νερά εκείνων των πηγαδιών που είναι κοντά στη θάλασσα.

Ανάλογα με την περιοχή, την περιεκτικότητα των διαλυμένων ουσιών καθώς και το είδος τους, το νερό χαρακτηρίζεται κατάλληλο ή όχι, για τους οργανισμούς και γενικότερα για τις ανθρώπινες ανάγκες, τη γεωργία και τη βιομηχανία.

Όλες οι θάλασσες δεν έχουν την ίδια περιεκτικότητα σε χλωριούχο νάτριο. Κλειστές θάλασσες με μικρή εξάτμιση, λόγω μικρής ηλιοφάνειας και επειδή δέχονται γλυκά νερά ποταμών, έχουν μικρή ποσότητα NaCl, όπως για παράδειγμα είναι : η Βόρεια θάλασσα, η οποία έχει χλωριούχο νάτριο 2.8%, η Βαλτική 1.5%, η Αζοφική 1%, ο Εύξεινος Πόντος 1-1.5%. Αντίθετα όμως, η Ερυθρά θάλασσα περιέχει 4%, η Μεσόγειος έως και 4%, η θάλασσα του Σουέζ 7.8%.

Εκτός από το NaCl περιέχονται στο θαλασσινό νερό και άλλες χημικές ενώσεις σε πολύ μικρότερο ποσοστό. Επίσης υπάρχουν διαλελυμένα όλα σχεδόν τα μέταλλα σε πολύ μικρές ποσότητες, της τάξης του εκατομμυριοστού και του δισεκατομμυριοστού του γραμμαρίου. Υπάρχουν ακόμη και σπάνια μέταλλα τα οποία είναι : πλατίνα, ουράνιο, τιτάνιο, χρυσός, ασήμι κ.α.

Οι μέθοδοι αφαλάτωσης διακρίνονται σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες. Η πρώτη και η πιο παλιά από όλες, είναι η απόσταξη.

Η κατηγορία αυτή έχει να επιδείξει πολλές παραλλαγές συστημάτων με εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας. Στην ίδια κατηγορία ανήκουν επίσης και οι διατάξεις που λειτουργούν με ηλιακή ενέργεια.

Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι μέθοδοι που χρησιμοποιούν την τεχνολογία των μεμβρανών και οι οποίες έχουν σημειώσει αξιόλογη εμπορική επιτυχία. Πρόκειται για την ηλεκτρόλυση και την αντιστρεπτή ώσμωση.

Η τρίτη κατηγορία έχει σαν βασική αρχή την κρυστάλλωση. Στηρίζεται στο γνωστό φυσικό φαινόμενο που επιτρέπει, όταν ψυχθεί ένα υδατικό διάλυμα μέχρι το σημείο πήξεώς του (μέχρι να γίνει πάγος), να αποβάλλονται καθαροί κρύσταλλοι νερού.

Τέλος, η τέταρτη κατηγορία περιλαμβάνει τη χημική μέθοδο. Εδώ εφαρμόζεται η τεχνική της ιονεναλλαγής.

Οι διαθέσιμες ποσότητες νερού παρουσιάζουν μια άνιση κατανομή στις διάφορες περιοχές της γης. Έχει υπολογιστεί ότι η απαιτούμενη ποσότητα νερού για γεωργική χρήση είναι 1.3m³ νερό για κάθε τετραγωνικό μέτρο καλλιεργήσιμου εδάφους, ενώ για οικιακή χρήση σε αναπτυγμένες χώρες χρειάζεται περίπου 550 λίτρα το χρόνο για κάθε άτομο.

3.2.1 Απόσταξη

α. Τι είναι και πώς λειτουργεί

Η απόσταξη πραγματοποιείται με ειδικές συσκευές από χαλαζία (είδος ύαλου), τις αποστακτικές. Χρησιμοποιείται πολύ συχνά σε εργαστήρια χημείας για τον καθαρισμό του νερού από άλλα υγρά ή για την απομάκρυνση άλλων στερεών ουσιών διαλυμένων σε αυτό. Το αποσταγμένο νερό παραλαμβάνεται από το φυσικό νερό και χρησιμοποιείται στα χημικά εργαστήρια για έρευνα, αναλύσεις κ.λ.π. Στη φαρμακευτική παρασκευή ορών συνήθως λαμβάνεται από αλληπάλληλες αποστάξεις έως ότου επιτευχθεί η χημική καθαρότητά του. Στην ιατρική χρησιμοποιείται στα εργαστήρια αιμοκάθαρσης κ.α.

Στις μεθόδους αφαλάτωσης, η απόσταξη κατέχει την πρώτη θέση. Είναι από τις πιο παλιές μεθόδους λήψης καθαρού νερού από τη θάλασσα, και συγχρόνως είναι και η πιο δημοφιλής. Καταλαμβάνει το μεγαλύτερο όγκο εγκαταστάσεων αυτής της κατηγορίας, λόγω αποτελεσματικότητας, μεγάλου όγκου παραγωγής, απλής εφαρμογής και εύκολης σχετικά τεχνολογίας.

Στην αρχική της μορφή, η μέθοδος περιλαμβάνει ένα σύστημα βραστήρα στον οποίο βράζει το θαλασσινό νερό και ένα σύστημα συμπίκνωσης για ψύξη των ατμών και παραλαβής στη συνέχεια του καθαρού νερού. Για να πραγματοποιηθεί όλη αυτή η διαδικασία, χρειάζεται η προσφορά θερμικής ενέργειας. Αυτή κυρίως επιτυγχάνεται με καυστήρες πετρελαίου ή φυσικού αερίου, με ηλεκτρικό ρεύμα, ηλιακή ενέργεια ή ακόμη και με πυρηνική ενέργεια.

Συγχρόνως συναγωνίζεται αυτή της αντιστρεπτής όσμωσης που όλο και περισσότερο κατακτά οπαδούς, όσο εξελίσσεται η παραγωγή μεμβρανών σε καλύτερο στάδιο.

β. Εφαρμογές της απόσταξης για την αφαλάτωση

Η μέθοδος αυτή της αφαλάτωσης έχει γνωρίσει διάφορες τεχνικές, ανάλογα με τον τρόπο που προσφέρεται η θερμική ενέργεια, ανάλογα με τις επινοήσεις για την όσο το δυνατόν αποτελεσματικότερη διαδικασία παραλαβής περισσότερης ποσότητας γλυκού νερού, καθώς και της καλύτερης εξοικονόμησης χρησιμοποιούμενου καυσίμου.

Όλες αυτές οι κατασκευές περιλαμβάνουν τα εξής στάδια :

1. Τη θέρμανση του θαλασσινού νερού.
2. Την απομάκρυνση του ατμού από το υγρό που προήλθε και συγχρόνως τη μεταφορά του σε άλλο χώρο.
3. Τη συμπίκνωση του ατμού, χαμηλώνοντας τη θερμοκρασία του, φέρνοντάς τον σε επαφή με ψυχρές επιφάνειες. Εκεί, πλέον, μετατρέπεται πάλι σε υγρό.
4. Τη μεταφορά και φύλαξη σε δεξαμενές του παραγόμενου, αποσταγμένου νερού.

Το νερό που παράγεται με απόσταξη δεν περιέχει άλατα ή άλλες ουσίες, επειδή αυτά δεν αποστάζουν.

Οι διατάξεις αφαλάτωσης με τη μέθοδο της απόσταξης, έχουν γνωρίσει μεγάλη επιτυχία σε παγκόσμια κλίμακα. Στην Ελλάδα, μια τέτοια μονάδα που χρησιμοποιεί πολλούς αποστακτικούς θαλάμους και στην οποία το θαλασσινό νερό, μετά από τη θέρμανση με πετρέλαιο, κινείται από τον τελευταίο θάλαμο προς τον πρώτο, έχει εγκατασταθεί εδώ και πολλά χρόνια στη νήσο Σύρο. Χρησιμοποιείται δε

σε παράλληλη σύνδεση με το τοπικό δίκτυο ύδρευσης. Ολόκληρος ο σχετικός εξοπλισμός της μονάδας (αποστακτήρες κ.λ.π.) έχει κατασκευαστεί σε ελληνικές βιομηχανίες.

Κατά τη σχεδίαση μιας εγκατάστασης αφαλάτωσης λαμβάνεται υπόψη τόσο η συνολική παραγωγικότητα υψηλής ποιότητας νερού, όσο και η πρόβλεψη του ύψους των δαπανών για την παραγωγή αυτή. Πάντως ο παράγοντας που συνήθως εμποδίζει την κατασκευή τέτοιων μονάδων είναι ο οικονομικός.

Συνεχώς νέες ανάγκες προστίθενται έτσι ώστε, οι μηχανικοί, προσαρμοσμένοι, κατασκευάζουν τις εγκαταστάσεις εναρμονισμένες με το περιβάλλον, χωρίς να εμποδίζουν τη συγκοινωνία, τη ναυσιπλοΐα, ή να προξενούν αλλαγές στο τοπίο. Επίσης λαμβάνεται πρόνοια για την αποφυγή μόλυνσης και ρύπανσης του περιβάλλοντος, ιδίως στην περίπτωση που χρησιμοποιείται πυρηνική ενέργεια για την παραγόμενη θέρμανση.

Εξέλιξη στον τομέα της απόσταξης αποτελούν οι πλωτές κατασκευές οι οποίες είτε αγκυροβολούνται σε κάποια απόσταση από την ακτή, είτε μεταφέρονται μονίμως από τόπο σε τόπο, κατά περίπτωση των τοπικών αναγκών. Σε αυτές, όλο το συγκρότημα των αποστακτήρων και των συστημάτων θερμικής ενέργειας βρίσκεται σε ειδικά κατασκευασμένο πλωτό σκάφος. Οι ποσότητες πόσιμου νερού μεταφέρονται μέσω εύκαμπτων σωληνώσεων στην ακτή, για αποθήκευση και κατανάλωση.

Ένα σημαντικό μειονέκτημα που παρουσιάζεται στις εγκαταστάσεις αφαλάτωσης με απόσταξη, είναι η διάβρωση των μεταλλικών τμημάτων των συσκευών και ο σχηματισμός αποθέσεων αλάτων στις σωληνώσεις και στους θαλάμους απόσταξης. Οι ανεπιθύμητες αυτές δημιουργούνται πρώτον από τη χημική σύσταση του θαλασσινού νερού και, δεύτερον, από το είδος των χρησιμοποιούμενων μετάλλων στις διάφορες κατασκευές. Από τη φύση του το θαλασσινό νερό, περιέχοντας πλήθος διαλυμένων αλάτων και μετάλλων, καθίσταται ένα υλικό που προκαλεί από μόνο του φαινόμενα ηλεκτρόλυσης και διάβρωσης κατά την επαφή του με τα μέταλλα. Όσο καλές και αν είναι οι κατασκευές από πλευράς αντοχής απέναντι στη σκουριά ή και σε οποιαδήποτε μορφή διάβρωσης, παρουσιάζουν πρόβλημα μετά από παρέλευση ορισμένων μηνών λειτουργίας. Τα πλέον ανοξειδωτα υλικά έχουν δοκιμαστεί για αυτό το σκοπό, αλλά και πάλι παρουσίασαν δείγματα εμφανούς φθοράς μετά από παρέλευση ενός έτους λειτουργίας.

Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με την κατασκευή όσο το δυνατόν καλύτερων υλικών, με εσωτερική επένδυση των επιφανειών που έρχονται σε επαφή με το θαλασσινό νερό, όπως μικτά ανθεκτικά υλικά από κεραμικό, μέταλλο και πλαστικό. Η άλλη αντιμετώπιση αφορά την κατεργασία του νερού πριν μπει στη μονάδα αφαλάτωσης, με σκοπό να το καταστήσει όσο το δυνατόν πιο αδρανές και λιγότερο οξειδωτικά βλαπτικό για τις εγκαταστάσεις.

Πρωτίστως το θαλασσινό νερό απαλλάσσεται από τις οργανικές ενώσεις που φέρει μέσα του. Αυτό επιτυγχάνεται με αρχική διήθηση του νερού. Το νερό διέρχεται μέσα από σειρά φίλτρων και καθαρίζεται από πάσης φύσεως στερεά αιωρήματα και μικροοργανισμούς. Στη συνέχεια, χλωριώνεται. Προστίθεται μια μικρή ποσότητα αερίου χλωρίου, αλλά αρκετή για να αδρανοποιήσει τους μικροοργανισμούς : περίπου 0.5 χιλιοστά του γραμμαρίου για κάθε λίτρο νερό.

Οι αποθέσεις στερεών καταλοίπων οφείλονται κυρίως στα άλατα ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3), υδροξειδίου του μαγνησίου (Mg(OH)_2) και σε ενυδατώσεις του θεικού ασβεστίου (CaSO_4).

Από αυτά τα άλατα γίνεται προσπάθεια το ανθρακικό ασβέστιο και το υδροξείδιο του μαγνησίου να παραμείνουν με χημικό τρόπο στο νερό διαλυμένα και

να συγκρατηθούν σε αυτό, για να μην κατακαθίσουν στις επιφάνειες της συσκευής. Ελέγχεται η διαλυτότητά τους με την προσθήκη χημικών ουσιών, για τη συγκράτηση της ισορροπίας τους στο νερό. Αυτές οι προστιθέμενες ουσίες ρυθμίζουν κυρίως το pH του νερού και το κρατούν σε τέτοια επίπεδα ώστε να μην αποβάλλονται αυτά τα άλατα και επικάθονται ως στερεά. Οι χημικές αυτές ουσίες που δρουν σαν προσθετικά συστατικά είναι διάφορες πολυφωσφορικές ενώσεις και τα οξέα υπό ελαφρά μορφή-θειικό και κιτρικό οξύ.

Μια άλλη μέθοδος η οποία χρησιμοποιείται σε πολλές περιπτώσεις, όχι μόνο στην αφαλάτωση αλλά και εκεί όπου έχουμε συσκευές που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί βραστό νερό για κάποια επεξεργασία, είναι η ακόλουθη.

Πριν το θαλασσινό νερό εισέλθει στη μονάδα απόσταξης, υφίσταται κατεργασία σε δύο στάδια. Στο πρώτο προστίθεται ανθρακικό μαγνήσιο ($MgCO_3$). Με την ένωση αυτή, το ασβέστιο καταβυθίζεται σαν ανθρακικό ασβέστιο. Συνδέεται το ασβέστιο στη θέση του μαγνησίου (γίνεται μια ανταλλαγή) και έτσι το νέο συστατικό που προκύπτει, το ανθρακικό ασβέστιο, παρουσιάζεται ως στερεό συστατικό αδιάλυτο στο νερό, με αποτέλεσμα να διαχωριστεί από αυτό και να πέσει σαν στερεό κατάλοιπο.

Στο δεύτερο στάδιο προστίθεται υδροξείδιο του ασβεστίου ($Ca(OH)_2$) πάλι για τον ίδιο λόγο. Για άλλη μια φορά, ενώνεται το υπόλοιπο ασβέστιο στη νέα αυτή ένωση. Όσο δηλαδή ασβέστιο παρέμεινε διαλυμένο μέσα στο νερό, γίνεται πάλι στερεό ανθρακικό ασβέστιο και διαχωρίζεται από το νερό.

Αυτές οι διαδικασίες γίνονται στο νερό πριν αυτό περάσει στη συσκευή αφαλάτωσης. Έτσι, το θαλασσινό νερό έχει απαλλαγεί από το ασβέστιο που είναι το βασικό συστατικό για τη δημιουργία στερεών αποθέσεων.

Μια άλλη διαδικασία που υφίσταται το θαλασσινό νερό πριν περάσει στη συσκευή απόσταξης, είναι η **απαέρωση**. Το θαλασσινό νερό, όπως και όλα τα νερά στη φύση, περιέχουν μια ποσότητα διαλυμένου αερίου οξυγόνου. Η ποσότητα αυτή του οξυγόνου στο νερό, είναι είτε φυσικά διαλυμένη ως μίγμα που έχει υποστεί ανάμιξη μηχανική (οξυγόνο συν νερό), είτε είναι χημική ανάμιξη που έχει προέλθει από οξυγονούχες ουσίες, οι οποίες έχουν διαλυθεί στο νερό. Ωστόσο, η κυρίως πηγή του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό είναι ο ατμοσφαιρικός αέρας. Εξάλλου, η ανάπτυξη μορφών ζωής που υπάρχουν σε κάθε είδους νερό, τόσο στη θάλασσα όσο και στις λίμνες και τα ποτάμια, οφείλεται εκτός των όλων άλλων παραγόντων και στην ύπαρξη του οξυγόνου σε αυτό.

Το οξυγόνο όμως, στην περίπτωση της επεξεργασίας για αφαλάτωση με απόσταξη, είναι ανεπιθύμητο στο θαλασσινό νερό λόγω του υψηλού βαθμού οξειδωσης που προκαλεί στα μέταλλα, και μάλιστα κατά τη διαδικασία της θέρμανσης, όπου τα φαινόμενα αντίδρασης με οξυγόνο είναι πολύ έντονα.

Η απομάκρυνση του οξυγόνου από το νερό λέγεται απαέρωση και περιλαμβάνει ένα στάδιο επεξεργασίας του θαλασσινού νερού άκρως απαραίτητα και σημαντικό, πριν το νερό οδηγηθεί για αφαλάτωση. Η απαέρωση γίνεται με την είσοδο στο νερό ενός άλλου αδρανούς αερίου. Συνήθως γίνεται με τον ατμό, που παράγεται στην εγκατάσταση. Έτσι το θαλασσινό νερό προθερμαίνεται πριν ακολουθήσει η κυρίως διαδικασία. Στις διατάξεις υπάρχουν ορισμένες οι οποίες χρησιμοποιούν διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) για απαέρωση. Το αέριο ή ο ατμός διοχετεύεται στο θαλασσινό νερό (εντός κατακόρυφης κυλινδρικής δεξαμενής).

Αφήνεται να διασχίσει το μεγαλύτερο μέρος της μάζας του νερού σε ελεύθερη ροή (από κάτω προς τα πάνω) και οι φυσαλίδες του αερίου διώχνουν προς τα έξω ή παρασύρουν έξω το διαλυμένο οξυγόνο από το νερό.

γ. Απόσταση με ηλιακή ενέργεια

Στην κατηγορία των μεθόδων αφαλάτωσης με απόσταξη-στις θερμικές μεθόδους- ανήκει η μέθοδος που αξιοποιεί την ηλιακή ενέργεια. Από κατασκευαστικής πλευράς, οι διατάξεις των συσκευών αυτών είναι απλές σε σύγκριση με τις άλλες αποστακτικές μονάδες.

Η μόνη δυσκολία που προβάλλεται είναι ότι οι εγκαταστάσεις αυτού του είδους καταλαμβάνουν μεγάλες εκτάσεις εδάφους. Το παραγόμενο νερό είναι πολύ λιγότερο σε σύγκριση με το αντίστοιχο παραγόμενο των άλλων αποστακτικών συσκευών. Το μεγάλο πλεονέκτημά τους, όμως, είναι ότι δεν χρησιμοποιούν κανενός είδους καύσιμο και ως εκ τούτου δεν ρυπαίνουν καθόλου το περιβάλλον. Από πλευράς ενεργειακού κόστους, είναι ανέξοδες.

Οι εγκαταστάσεις αυτές δίνουν την εντύπωση πως θα μπορούσαν να εργάζονται συνέχεια και για μεγάλα χρονικά διαστήματα, χωρίς καμιά επίβλεψη. Όμως αυτό δεν ισχύει, γιατί οι ηλιακοί συλλέκτες από τους οποίους διέρχεται η ηλιακή ακτινοβολία δε διατηρούνται εύκολα διαφανείς. Έτσι είναι απαραίτητος ο εντατικός καθαρισμός, όπως π.χ. απομάκρυνση σκόνης κ.λ.π., ώστε οι επιφάνειες να είναι πάντα με τον ίδιο βαθμό διαπερατές από την ηλιακή ακτινοβολία.

Σε αρκετές περιπτώσεις η ηλιακή ενέργεια εφαρμόζεται σε συνδυασμό με κατάλληλα προσαρμοσμένες τεχνικά συσκευές, οι οποίες εκμεταλλεύονται στο μεγαλύτερο βαθμό τη θερμική ενέργεια από τον ήλιο και πολλαπλασιάζουν το φαινόμενο της απόσταξης με μεγαλύτερη απόδοση έργου. Τέτοιες συσκευές χρησιμοποιούν παράλληλα και ήπιας μορφής ενεργειακές πηγές, όπως είναι η θερμογόνος δύναμη που προέρχεται από τις γεωθερμίες ή από την καύση των σκουπιδιών ή την αντλία θερμότητας (την εκμετάλλευση της θερμοκρασίας του ατμοσφαιρικού αέρα).

Οι ηλιακοί αφαλατωτές αποτελούνται από έναν κλειστό χώρο που καλύπτεται με ένα διαφανές σκέπασμα. Το κάλυμμα αυτό είναι κατασκευασμένο από γυαλί στις περισσότερες περιπτώσεις ή από πλαστική ύλη καλής ποιότητας, η οποία μένει ανέπαφη από πλευράς διαύγειας, δεν αλλοιώνεται (θολώνει) κατά τη διάρκεια της έκθεσής της στον ήλιο και δεν παραμορφώνεται με τη θερμοκρασία. Ο πυθμένας της συσκευής είναι μαύρου χρώματος, και απορροφά τις ακτίνες. Στο εσωτερικό και πάνω στον πυθμένα, λιμνάζει το θαλασσινό νερό.

Επειδή ο χώρος είναι κλειστός, η θερμοκρασία ανεβαίνει γρήγορα και το νερό εξατμίζεται. Η ατμόσφαιρα εσωτερικά πλημμυρίζει από ατμούς. Η εξάτμιση πραγματοποιείται εδώ με χαμηλή ταχύτητα, έτσι ώστε η θερμοκρασία και η παραγωγή υδρατμών να παραμένουν σταθερά ελεγχόμενες και σε χαμηλά όρια ποσοστών. Επισημαίνεται ότι οι υδρατμοί αυξάνουν εσωτερικά την πίεση και δεν επιτρέπουν μεγάλη αύξηση παραγωγής ατμών για πολύ (δημιουργείται, έτσι, σε σύντομο χρονικό διάστημα, ατμόσφαιρα σε υδρατμούς). Η παραγωγή πόσιμου νερού από μια μονάδα διαστάσεων 1.3m^2 επιφάνειας αποστακτήρα κατά τη διάρκεια των θερινών ημερών ηλιοφάνειας, είναι 1 γαλόνι ή 3.3lt την ημέρα.

Οι ατμοί του θαλασσινού νερού έρχονται σε επαφή με τις διαφανείς επιφάνειες της συσκευής και εκεί συμπυκνώνονται. Δημιουργούνται σταγόνες οι οποίες ρέουν προς τα κάτω, κολλώντας εσωτερικά στη λεία επιφάνεια, έως ότου συγκεντρωθούν σε ειδικές υποδοχές, από όπου και συλλέγονται. Ακολούθως, το συσσωρευμένο νερό οδηγείται έξω από τη συσκευή.

Η μελέτη τέτοιων κατασκευών αποβλέπει στον τρόπο σχεδιασμού της διαφανούς επιφάνειας ώστε να εκπληρώνονται δύο βασικές προϋποθέσεις για να λειτουργήσει σωστά η διάταξη.

Πρώτον, επειδή έχουμε μεταβολή της θέσης του ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας και κατά την αλλαγή των εποχών, λαμβάνεται πρόνοια ώστε να έχουμε όσο το δυνατόν καλύτερη διείσδυση των ακτίνων από το κάλυμμα κατά το μεγαλύτερο διάστημα της ημέρας, και λιγότερες ανακλάσεις από αυτό.

Δεύτερον, οι εκτεθειμένες διαφανείς επιφάνειες να έχουν τέτοια κλίση ώστε να ευνοείται παράλληλα και η ψύξη τους από τον άνεμο και η συλλογή σταγόνων κατά το μηχανισμό ροής προς τα κάτω, σε κάποιο συγκεντρωτικό χώρο εντός της συσκευής.

Έχουν μελετηθεί πολλά μοντέλα, τα οποία αξιοποιούν όσο το δυνατόν καλύτερα την πρόσπτωση των ηλιακών ακτινών. Οι συσκευές προσανατολίζονται έτσι ώστε να αποδίδουν το μέγιστο της θερμικής ενέργειας από την απορρόφηση των ακτινών.

Μια άλλη κατηγορία ερευνών αφορά την επικάλυψη της απορροφητικής επιφάνειας. Σε αυτή την περίπτωση η ακτινοβολία διαπερνά τη διαφανή επιφάνεια για να απορροφηθεί από τον πυθμένα του συλλέκτη, ο οποίος έχει καλυφθεί για το σκοπό αυτό με μια ειδική επικάλυψη χρώματος μελανού, ή κατά προτίμηση φαιού. Το χρώμα αυτό, ειδικά το φαιό, ως γνωστό απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία, με αποτέλεσμα το σώμα αυτού του χρώματος να θερμαίνεται.

Το θαλασσινό νερό καλύπτει τον πυθμένα μέχρι ενός σημείου. Κατά συνέπεια, η μάζα του νερού θερμαίνεται και αυτή, από την επαφή της με το θερμό πυθμένα του δοχείου.

δ. Απόσταση με γεωθερμική ενέργεια

Η γεωθερμική πηγή προσφέρεται για την παραγωγή καθαρού νερού. Η γεωθερμία είναι μια φυσική πηγή ενέργειας η οποία προέρχεται από τις θερμές πηγές που βρίσκονται μέσα στα έγκατα της γης. Από ορισμένες κοιλότητες του εδάφους εξέρχονται θερμά αέρια, κυρίως όμως ατμός, μαζί με θερμό νερό. Αυτά προέρχονται από κατάλοιπα σβησμένων ηφαιστειών που υπήρξαν κάποτε ενεργά, πριν από χιλιάδες χρόνια.

Η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται εδώ για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η γεωθερμική ενέργεια προέρχεται από θερμό ατμό, ο οποίος τροφοδοτεί σύστημα κίνησης με αμοστρόβιλο για τη γεννήτρια της παραγωγής ηλεκτρισμού. Μετά από την απόδοση του έργου του ατμού στην κίνηση των μηχανών, έχει μελετηθεί ένα τέτοιο σύστημα, ώστε ο ατμός που Δε χρησιμοποιήθηκε να περνά από κατάλληλη διάταξη συμπυκνωτήρα και στη συνέχεια να υγροποιείται ώστε να παραλαμβάνεται ποσότητα καθαρού νερού.

ε. Πυρηνική ενέργεια και αφαλάτωση

Σε χώρες όπου έχει εφαρμοστεί η πυρηνική ενέργεια για την παραγωγή ηλεκτρισμού, όπως είναι οι Ηνωμένες Πολιτείες και η Ιαπωνία, έχουν γίνει μελέτες και για την παράλληλη εκμετάλλευση της παραγόμενης με τον τρόπο αυτό θερμικής ενέργειας στην αφαλάτωση.

Ο παραγόμενος ατμός στον πυρηνικό αντιδραστήρα, αφού περάσει στον αμοστρόβιλο, οδηγείται σε σειρά αποστακτήρων για συμπύκνωση. Έχουν κατασκευαστεί αρκετές τέτοιες εγκαταστάσεις, ιδιαίτερα στις Η.Π.Α., οι οποίες παρουσιάζουν τεχνολογικό ενδιαφέρον, όχι μόνο στον τρόπο που γίνεται η μετατροπή

του ατμού σε νερό στον αποστακτήρα, αλλά και στον τρόπο κατασκευής του εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρισμού.

Το τεχνολογικό επίτευγμα είναι ότι πολλές από αυτές αποτελούν ένα πλωτό τεχνητό νησί-με όλον τον εξοπλισμό επάνω του- που είναι μόνιμα αγκυροβολημένο σε κάποια ακτή για την οποία προορίζονται και ο ηλεκτρισμός και το πόσιμο νερό. Επειδή στην περίπτωση της πυρηνικής ενέργειας δεν υπάρχει ενεργειακό πρόβλημα (καύσιμο κ.λ.π.) για την παραγωγή ατμού, το ενεργειακό δυναμικό προσφέρεται άφθονο και για αυτό και η επιλογή του τύπου της βασικής διάταξης της αφαλάτωσης δεν ενδιαφέρει και πολύ τους κατασκευαστές.

Τα πυρηνικά εργοστάσια απαιτούν πολύ μεγάλη προσοχή στη λειτουργία τους. Η αφαλάτωση που επιτελείται με τη βοήθεια της πυρηνικής ενέργειας γίνεται κυρίως ως δευτερεύουσα διεργασία, αφού πρωτίστως το πυρηνικό εργοστάσιο υπάρχει και έχει κατασκευαστεί για έναν άλλο σκοπό : την επίλυση του ενεργειακού προβλήματος ενός τόπου ή μιας χώρας.

3.3 Αντίστροφη Όσμωση Και Ηλεκτροδιάλυση

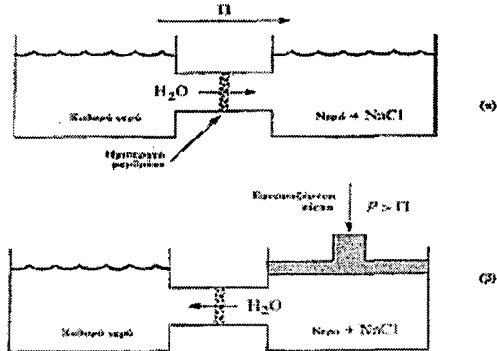
Η αντίστροφη όσμωση και η ηλεκτροδιάλυση είναι δύο διεργασίες διαχωρισμού , με τη βοήθεια μεμβρανών ,των διαλυτών συστατικών του νερού. Από τις μεθόδους αφαλάτωσης, η αντιστρεπτή όσμωση κατέχει μια εξέχουσα θέση στις εφαρμογές. Η τεχνική αυτή παρουσιάζει μια αξιοθαύμαστη ευελιξία. Επιτρέπει την κατασκευή διατάξεων και συστημάτων από την πιο μεγάλη εγκατάσταση για την ύδρευση μιας κοινότητας ή μιας μικρής πόλης 20.000 κατοίκων, έως την κατασκευή της πιο μικρής συσκευής. Αυτή η δυνατότητα που παρουσιάζει η μέθοδος, την κάνει να ξεχωρίζει από την ανταγωνιστική της , αυτή της απόσταξης, και την κατατάσσει στην κορυφή των μεθοδολογιών ως την οικονομικότερη για την παραγωγή μικρών ποσοτήτων γλυκού νερού. Η αντίστροφη όσμωση είναι μια διεργασία με κινητήρια δύναμη την πίεση ,η οποία επιτρέπει το διαχωρισμό των διαλυτών συστατικών από το νερό. Η εφαρμοζόμενη πίεση υπερβαίνει την οσμωτική πίεση του υδατικού διαλύματος έναντι μιας ημιπερατής μεμβράνης , με αποτέλεσμα να εξαναγκάζει τη διέλευση διαμέσου της μεμβράνης καθαρού νερού , το οποίο εγκαταλείπει πίσω του τα διαλυτά συστατικά του. Η ηλεκτροδιάλυση είναι μια διεργασία κατά την οποία τα ιόντα μεταφέρονται διαμέσου μεμβρανών από μικρότερης σε μεγαλύτερης συγκέντρωσης διαλύματα με τη βοήθεια ηλεκτρικού ρεύματος. Το νερό ρέει εφαπτόμενο στις μεμβράνες , ενώ η κίνηση των ιόντων είναι κάθετη στις μεμβράνες.

3.3.1 Αντίστροφη Όσμωση

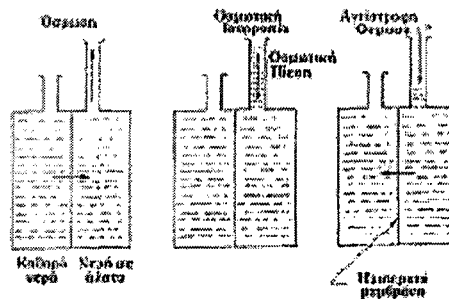
Όταν διαλύματα διαφορετικής συγκέντρωσης διαχωρίζονται από μια ημιπερατή μεμβράνη , τότε καθαρό νερό από το διάλυμα μικρότερης συγκέντρωσης (A) διέρχεται διαμέσου της μεμβράνης προς το διάλυμα μεγαλύτερης συγκέντρωσης (B) . Η οσμωτική ροή συνεχίζεται μέχρι να επιτευχθεί μία κατάσταση ισορροπίας , η οποία χαρακτηρίζεται από την υψηλότερη στάθμη του διαλύματος μεγαλύτερης συγκέντρωσης (B) η κατάσταση αυτή ισορροπίας είναι γνωστή ως οσμωτική και η διαφορά της στάθμης των διαλυμάτων αντιστοιχεί στην οσμωτική πίεση του συστήματος των δύο διαλυμάτων. Εάν στο διάλυμα (B) εφαρμοστεί εξωτερική πίεση μεγαλύτερη από την οσμωτική , τότε διέρχεται διαμέσου της μεμβράνης καθαρό νερό προς το διάλυμα (A) . Η διεργασία αυτή ονομάζεται αντίστροφη όσμωση.

Η αντίστροφη όσμωση είναι μια μέθοδος αντίστροφης της φυσικοχημικής διεργασίας που καλείται όσμωση. Είναι μια διεργασία μεμβράνης, κατά την οποία η μεμβράνη δρα σαν μοριακό φίλτρο που συγκρατεί τα διαλυμένα συστατικά ενός υδατικού διαλύματος.

Σχήμα 1. (α) Λειτουργία όσμωσης. (β) Λειτουργία αντίστροφης όσμωσης.



Σχήμα 2. Σχηματική αρχή λειτουργίας της αντίστροφης όσμωσης.



3.3.2 Ηλεκτροδιάλυση

Η ηλεκτροδιάλυση είναι μια ηλεκτροχημική μέθοδος διαχωρισμού με τη βοήθεια μεμβρανών ηλεκτροδιάλυσης των διαλυτών συστατικών του νερού υπό την επίδραση ενός ηλεκτρικού πεδίου. Όταν το νερό με υψηλή συγκέντρωση ιόντων εκτεθεί σε ένα ηλεκτρικό πεδίο, τότε παρατηρείται κίνηση των κατιόντων (θετικά φορτισμένων ιόντων) προς την κάθοδο (αρνητικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο) και των ανιόντων (αρνητικά φορτισμένων ιόντων) προς την άνοδο (θετικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο). Εάν ανάμεσα στα ηλεκτρόδια τοποθετηθεί με παράλληλη εναλλαγή μία σειρά ειδικών μεμβρανών ηλεκτροδιάλυσης, από τις οποίες οι μισές είναι διαπερατές σε ανιόντα και οι υπόλοιπες σε κατιόντα, τότε δημιουργούνται εναλλακτικά διαμερίσματα με μεγαλύτερη και μικρότερη της αρχικής συγκέντρωσης αλάτων.

3.3.2.1 Εφαρμογές της ηλεκτροδιάλυσης:

Η ηλεκτροδιάλυση χρησιμοποιείται κυρίως για αφαλάτωση υφάλμυρων νερών και για την προσυγκέντρωση του θαλασσινού νερού για παραγωγή αλατιού. Στην Κέρκυρα είναι εγκατεστημένη μία από τις μεγαλύτερες μονάδες αφαλάτωσης υφάλμυρου νερού με ηλεκτροδιάλυση, η οποία παράγει 14800 m³/d πόσιμο νερό.

3.3.3 Σύγκριση Αντίστροφης Όσμωσης Και Ηλεκτροδιάλυσης.

Η αντίστροφη όσμωση απαιτεί μικρότερη κατανάλωση ενέργειας από την ηλεκτροδιάλυση για συγκέντρωση αλάτων στο νερό τροφοδοσίας μεγαλύτερη από 3 g/L. Σε συνδυασμό δε με το γεγονός ότι η διεργασία της αντίστροφης όσμωσης είναι σαφώς απλούστερη της ηλεκτροδιάλυσης είναι εύκολο να καταλήξει κανείς στο συμπέρασμα ότι η ηλεκτροδιάλυση δεν είναι ανταγωνιστική στην αφαλάτωση υφάλμυρου και θαλασσινού νερού.

Η ηλεκτροδιάλυση φαίνεται να υπερέχει αντίστροφης όσμωσης για συγκέντρωση αλάτων στο νερό τροφοδοσίας μικρότερη των 3 g/L.

Μονάδα Αφαλάτωσης Λάρνακας



Μεταφορά σωλήνων από τη Νορβηγία



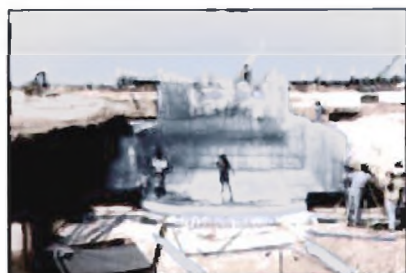
Κατασκευή σωμάτων αγκύρωσης θαλασσίωv αγωγών



Κατασκευή θεμελίων στην Μονάδα Αφαλάτωσης Λάρνακας



Κατασκευή αντλιοστασίου θαλάσσιου νερού



Τοποθέτηση οπλισμού με εποξική επάλειψη



Σωλήνες φιλτραρισμένου νερού



Κατασκευαστικές εργασίες



Εγκατάσταση σωλήνων (Fiber Glass) μεταφοράς θαλάσσιου νερού



Κυκλική δεξαμενή αποθήκευσης αφαλατωμένου νερού



Αντλίες φιλτραρισμένου νερού



Υποβρύχια κατασκευή απορρόφησης θαλάσσιου νερού



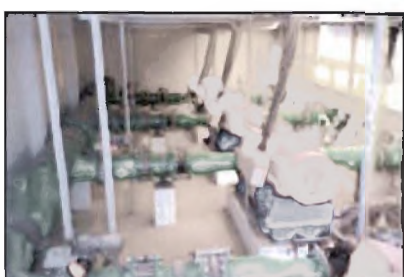
Μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης



Στάδιο αντίστροφης όσμωσης



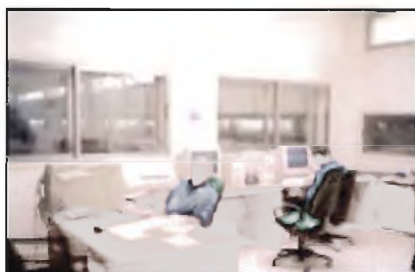
Υποθαλάσσιοι αγωγοί
έτοιμοι να συνδεθούν με το
αντλιοστάσιο



Αντλίες φιλτραρισμένου νερού



Τελικό στάδιο επεξεργασίας



Δωμάτιο ελέγχου



Επιστροφή αλμυρού νερού
στη θάλασσα

3.4 Κρυστάλλωση

Η τρίτη κατηγορία μεθόδων αφαλάτωσης βασίζεται στο φαινόμενο της κρυστάλλωσης. Η αρχή αυτή στηρίζεται στην ακόλουθη φυσικοχημική ιδιότητα των υγρών : όταν ένα υδατικό διάλυμα άλατος ψυχθεί μέχρι του σημείου πήξεώς του , αποβάλλονται σε ορισμένες περιπτώσεις καθαροί κρύσταλλοι νερού, καθώς και της ουσίας που έχει προστεθεί σε αυτό.

Αυτές οι μέθοδοι προσφέρουν ορισμένα πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τις μεθόδους που χρησιμοποιούν την αρχή της απόσταξης, κατά την οποία μετατρέπεται η φάση του υγρού από στερεή σε αέρια.

Τα πλεονεκτήματα αυτά αναφέρονται αφενός στους μειωμένους κινδύνους διάβρωσης από το αλμυρό νερό, αφού οι θερμοκρασίες είναι χαμηλές, αφετέρου στις μικρότερες ενεργειακές δαπάνες, αφού δεν απαιτείται εξαέρωση του νερού.

Προς το παρόν, υπάρχουν δυο τεχνικές αφαλάτωσης με κρυστάλλωση. Η πρώτη ονομάζεται 'μέθοδος παγοποίησης' και η άλλη 'μέθοδος παγοποίησης με χημικό πρόσθετο'.

Τα είδη ψυκτικών μέσων που χρησιμοποιούνται είναι :

❖ *Ξηρός πάγος.*

Ο ξηρός πάγος είναι το στερεοποιημένο αέριο διοξείδιο του άνθρακα (CO₂). Παρασκευάζεται πολύ εύκολα από μια φιάλη διοξειδίου του άνθρακα. Η θερμοκρασία που επιτυγχάνεται είναι πολύ χαμηλή : φτάνει τους -75°C και αν αναμιχθεί με χλωροφόρμιο ή ακετόνη πλησιάζει τους -85°C.

❖ *Υγρό άζωτο.*

Το υγρό άζωτο είναι από τα πιο χαμηλής θερμοκρασίας υλικά. Παρασκευάζεται από την υγροποίηση του αέρα και μόνο από ειδική συσκευή. Η θερμοκρασία του φτάνει στους -170°C. Η υγροποίηση του αέρα επιτυγχάνεται με αλληπάλληλες εκτονώσεις (κενό) του αέρα σε κλειστούς χώρους και με σειρά συμπιέσεων (υψηλές πιέσεις), σε χώρους με χαμηλή θερμοκρασία.

3.5 Χημική Μέθοδος

Η μέθοδος αυτή βασίζεται σε μια χημική διαδικασία που είναι γνωστή σαν ιονεναλλαγή. Πρόκειται για μια τεχνική εφαρμογής των γνωστών χημικών ουσιών, των ρητινών, οι οποίες έχουν την ιδιότητα να ανταλλάσσουν τα ιόντα των μετάλλων του νερού με υδρογόνο ή υδροξείλιο (H⁺, OH⁻), που βρίσκονται στη ρητίνη.

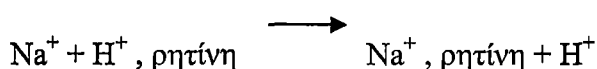
Οι ρητίνες αποσκλήρυνσης έχουν γνωρίσει μεγάλη επιτυχία και χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε πάρα πολλές εφαρμογές για την αποσκλήρυνση των νερών. Το νερό όμως που προορίζεται για αποσκλήρυνση μέσω των ρητινών, είναι σχετικά μαλακό. Οι ρητίνες δρουν αποτελεσματικά, μόνο όταν το νερό έχει μικρή περιεκτικότητα σε άλατα, όπως συμβαίνει στο δίκτυο ύδρευσης ή στα βιομηχανικά απόβλητα ή στα υφάλμυρα νερά.

Για το θαλασσινό νερό, προς το παρόν, η χημική μέθοδος συναντά κάποια αδυναμία εφαρμογής, λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας αλάτων. Χρειάζονται μεγάλες ποσότητες ρητινών για τη δέσμευση ιόντων μικρής (λίγα λίτρα) ποσότητας θαλασσινού νερού.

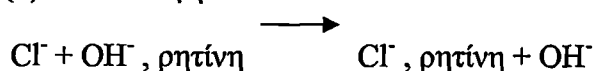
Οι ιονεναλλακτικές ρητίνες είναι οργανικές ενώσεις μεγάλου μοριακού βάρους. Χωρίζονται σε κατιονικές και ανιονικές, ανάλογα με την ιδιότητά τους να δεσμεύουν τα ανιόντα ή τα κατιόντα.

Με τις ιονεναλλακτικές ρητίνες επιτυγχάνεται η ανταλλαγή των ιόντων μεταξύ ενός στερεού (ρητίνη) και ενός υγρού (νερό), κατά την οποία δεν επέρχεται ουσιώδης μεταβολή στη δομή του στερεού. Αυτό σημαίνει ότι πάντοτε, ένα ιόν παραμένει προσκολλημένο στο στερεό και δεν απομακρύνεται με το διάλυμα. Έτσι, αν ένα υδατικό διάλυμα χλωριούχου νατρίου διέλθει από μια στήλη με ιονεναλλακτική κατιόντων και ανιόντων, θα έχουμε το εξής αποτέλεσμα.

(a) Ανταλλαγή κατιόντων :



(b) Ανταλλαγή ανιόντων :



Συνεπώς , τα ιόντα του νατρίου και του χλωρίου, αντικαθίστανται από τα υδρογονοκατιόντα και υδροξυλιόντα. Το διάλυμα αυτό υφίσταται αφαλάτωση. Το ποσοστό της αφαλάτωσης εξαρτάται από την ποσότητα της ρητίνης που έρχεται σε επαφή με το νερό.

Βασική ιδιότητα της ρητίνης πρέπει να είναι η τέλεια αδιαλυτότητα στο νερό, το οινόπνευμα και τα άλλα διαλυτικά μέσα. Η αδιαλυτότητά της επιτυγχάνεται με διακλαδώσεις μορίων εντός του πλέγματος δομής της ρητίνης. Οι περισσότερες ρητίνες που βρίσκονται στο εμπόριο, προέρχονται από πολυμερισμό στυρενίου και διβινυλοβενζολίου, ή από πολυμερισμό φαινόλης-φορμαλδεΐδης. Ο μεγαλύτερος αριθμός διακλαδώσεων επιτυγχάνει μικρότερη διόγκωση των ρητινών. Η δυναμικότητά της αυξάνει με την αύξηση του αριθμού των ενεργών ομάδων που έχουν συνδεθεί με το μοριακό πλέγμα.

Η διαδικασία της αφαλάτωσης του νερού, αφορά την εξής τεχνική : το νερό διέρχεται μέσα από μια στήλη στην οποία υπάρχει η ρητίνη. Εισέρχεται από το άνω μέρος και καθώς διασχίζει όλο το μήκος της στήλης έως ότου φτάσει στο κάτω άκρο της, έρχεται σε επαφή με όλη τη μάζα της ιονενελλακτικής ουσίας.

Όσο χρόνο το νερό βρίσκεται στη συσκευή, τα ιόντα νατρίου που περιέχει έρχονται σε επαφή με τη ρητίνη και δεσμεύονται από αυτήν, με ταυτόχρονη απελευθέρωση ιόντων υδρογόνου. Έτσι, το αρχικό διάλυμα άλατος μετατρέπεται σε διάλυμα υδροχλωρικού οξέος. Το οξύ διέρχεται κατόπιν από την ανιονική ρητίνη, οπότε τα ιόντα του χλωρίου δεσμεύονται κατά τον ίδιο τρόπο από αυτήν, με ταυτόχρονη απελευθέρωση ιόντων υδροξειλίου. Στη συνέχεια, ενώνονται τα ιόντα υδρογόνου με το υδροξείλιο για την παραγωγή καθαρού νερού.

Καθώς προχωρεί η διαδικασία, οι ρητίνες φτάνουν κάποτε σε κατάσταση κορεσμού, οπότε χάνουν την ικανότητά τους να κατακρατούν τα ιόντα νατρίου ή χλωρίου. Τότε πρέπει να υποστούν την κατεργασία της αναγέννησης με οξέα ή βάσεις, για την αποκατάσταση των αρχικών ιδιοτήτων τους.

Το νερό όμως που παράγεται από ένα τέτοιο σύστημα, είναι ακατάλληλο για πόση καθώς και για οποιαδήποτε άλλη χρήση που προορίζεται έμμεσα για τον ανθρώπινο οργανισμό, όπως είναι για παράδειγμα οι βιομηχανίες τροφίμων, ποτών ή για ιατρική χρήση (αιμοκάθαρση κ.λ.π.).

Το νερό περνώντας μέσα από μια τέτοια ρητίνη, αποσπά τμήματα των άκρων του μορίου της με μηχανικό ή χημικό τρόπο. Αυτές οι οργανικές ενώσεις είναι βλαβερές για τον ανθρώπινο οργανισμό.

Για το λόγο αυτό , όταν υπάρχει ανάγκη χρησιμοποίησης απιονισμένου νερού για τις χρήσεις που αναφέραμε, παρεμβάλλεται απαραίτητως μια διάταξη η οποία φέρει ειδικά φίλτρα ηθμών με συνδυασμό ενεργού άνθρακα και μεμβράνες για τη συγκράτηση των οργανικών καταλοίπων.

Για την αποσκλήρυνση πόσιμου νερού, όταν πρόκειται για νερό με υψηλή σκληρότητα (άνω των 25 γερμανικών βαθμών), υπάρχουν ειδικές ρητίνες για οικιακή χρήση. Οι συσκευές που επιτυγχάνουν την αποσκλήρυνση τέτοιων νερών συνδέονται στην αρχή της παροχής του δικτύου μιας οικίας, όπου και ρυθμίζουν αυτόματα τη σωστή περιεκτικότητα των αλάτων στο νερό, κάνοντας την αναγέννηση της ρητίνης μόνες τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

4. Αντληση Νερού

4.1 Εισαγωγή

Η αύξηση του πληθυσμού συνεπάγεται αύξηση των καλλιεργειών για την κάλυψη της αυξανόμενης ανάγκης σε τροφή και για αυτό το νερό είναι απαραίτητο συστατικό. Στις αναπτυσσόμενες χώρες όπου το 40 με 50 % του Α.Ε.Π. (Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν) προέρχεται από τον αγροτικό τομέα, απαιτείται περισσότερη ενέργεια για την άντληση νερού για άρδευση. Στις αγροτικές περιοχές γίνονται προσπάθειες για την παροχή ηλεκτρισμού, όμως η σύνδεση απομακρυσμένων και διασκορπισμένων χωριών με ένα κεντρικό σύστημα ηλεκτροδότησης είναι δύσκολη και πολυδάπανη. Συνεπώς, αποκεντρωμένα ενεργειακά συστήματα όπως αντλίες άρδευσης ηλιακής ενέργειας αποδεικνύονται καταλληλότερα.

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι μεγαλύτερη κατά τους καλοκαιρινούς μήνες όπως και η ανάγκη άρδευσης. Επίσης η περιοδική φύση της ηλιακής ενέργειας οδηγεί σε περιοδική άντληση νερού το οποίο μπορεί να αποθηκεύεται σε μεγάλους νερόλακκους ή δεξαμενές. Η ανάπτυξη μια μικρής αντλίας ηλιακής ενέργειας για αρδευτικούς σκοπούς με δυνατότητα 2 ως 5 KW μπορεί να διευκολύνει κατά πολύ την παραγωγική διαδικασία. Η ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιείται για άντληση με δύο τρόπους.

- Στην άμεση μετατροπή σε ηλεκτρισμό με τη χρήση φωτοβολταϊκών στοιχείων τα οποία παράγουν ηλεκτρισμό ο οποίος είτε αποθηκεύεται σε μπαταρίες ή χρησιμοποιείται άμεσα σε κινητήρες και χρησιμοποιείται σε συμβατικές αντλίες (Αντλίες ηλιακής φωτοβολταϊκής ενέργειας).
- Στη θερμοδυναμική μετατροπή όπου η ηλιακή ενέργεια μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια που χρησιμοποιείται για την άντληση νερού με αντλίες ηλιακής ενέργειας

Το κόστος της αντλίας ηλιακής ενέργειας είναι πολύ υψηλό εξαιτίας της μικρής δυνατότητας μετατροπής της ηλιακής σε μηχανική ενέργεια και του αργού ρυθμού παραγωγής. Το ανανεωμένο ενδιαφέρον για τα φωτοβολταϊκά υλικά και την ανάπτυξη του εξοπλισμού δίνει ελπίδες ότι οι αντλίες ηλιακής ενέργειας θα έχουν ανταγωνιστικό κόστος με τις συμβατικές.

Αντλίες ηλιακής φωτοβολταϊκής ενέργειας λειτουργούν σε πολλά μέρη του κόσμου από το 1968. Δεν γνωρίζουμε τον αριθμό των αντλιών που έχουν εγκατασταθεί και τους κατασκευαστές τους. Η μεγαλύτερη κατασκευάστηκε πρώτη φορά στις Η.Π.Α. αλλά πλέον αντλίες τέτοιου τύπου υπάρχουν σε πολλές χώρες. Ορισμένες γαλλικές εταιρίες έχουν κάνει εγκαταστάσεις σε πολλές χώρες της Αφρικής, στην Σαουδική Αραβία και την Κορσική, ενώ πολλές αντλίες λειτουργούν και στην Ινδία. Στην παρούσα εργασία εντοπίζουμε το ενδιαφέρον μας περιληπτικά στις αντλίες ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή μηχανικής ισχύος.

4.2 Αντλίες Ηλιακής Ενέργειας για την Παραγωγή Μηχανικής Ισχύος

Η χρήση της ηλιακής ενέργειας για την άντληση νερού δεν είναι καινούρια ιδέα. Πολλές προσπάθειες έχουν γίνει στο παρελθόν για την μετατροπή της ηλιακής θερμότητας σε μηχανική ισχύ. Την πρώτη προσπάθεια άντλησης με ηλιακή ενέργεια

έκανε ο Γάλλος μηχανικός Salomon de Caux. Από το 1974 ως το 1990 η Γαλλική εταιρία θερμικών μελετών και μελετών ηλιακής ενέργειας SOFRETES εγκατέστησε αντλίες άρδευσης ηλιακής ενέργειας σε πολλές χώρες του κόσμου.

Για την παραγωγή μηχανικής ισχύος χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι ηλιακών συλλεκτών. Συνήθως χρησιμοποιούνται επίπεδοι συλλέκτες και συλλέκτες με σωλήνα κενού. Προτιμώνται οι επίπεδοι συλλέκτες υγρού τύπου εξαιτίας της απλότητάς τους και χρησιμοποιούνται σε αντλίες ηλιακής ενέργειας. Οι συλλέκτες σωλήνα κενού που παρέχουν υγρό σε θερμοκρασία από 100 ως 150 °C χρησιμοποιούνται επίσης στις μονάδες άντλησης ηλιακής ενέργειας. Αυτοί οι συλλέκτες παράγονται σε πολλές χώρες.

Γενικά στις μονάδες άντλησης νερού με ηλιακή ενέργεια, η θερμική ενέργεια δεν αποθηκεύεται. Εντούτοις, κατά την διάρκεια των μη αρδευτικών περιόδων ή όταν οι ρυθμοί εξαγωγής από τα αρδευτικά πηγάδια είναι περιορισμένοι, το νερό που έχει αντληθεί αποθηκεύεται σε μια ανυψωμένη δεξαμενή από όπου διανέμεται στα χωράφια με την ροή της βαρύτητας. Το νερό μπορεί να αποθηκευτεί για μεγάλες περιόδους σε νερόλακκους και για μικρές σε δεξαμενές.

Αν οι ρυθμοί εξαγωγής του νερού από το πηγάδι είναι περιορισμένοι, τότε το περίσσειμα ηλιακής ενέργειας πρέπει να αποθηκεύεται για μετέπειτα χρήση. Αν παράγεται ηλεκτρισμός με την χρήση συνδυασμού τουρμπίνας και εναλλασσόμενου ρεύματος, τότε αυτός πρέπει να αποθηκεύεται σε μπαταρίες. Αν πρέπει να αποθηκευτεί θερμική ενέργεια αυτό πρέπει να γίνει σε μορφή ευαίσθητης θερμότητας με την χρήση νερού ή υγρών υψηλής θερμοκρασίας.

4.3 Θερμικές Μηχανές

Οι θερμικές μηχανές χρησιμοποιούνται για την μετατροπή της ηλιακής θερμικής ενέργειας σε μηχανική ισχύ που θέτει σε λειτουργία την αντλία ηλιακής ενέργειας. Οι κύκλοι ενεργειακής μετατροπής που χρησιμοποιούνται σε γενικές γραμμές είναι: ο κύκλος Rankin, ο κύκλος Sterling και ο κύκλος Braiton. Οι δύο τελευταίοι λειτουργούν με ένα αέριο (ατμό) σε θερμοκρασία μεγαλύτερη των 400°C, ενώ ο κύκλος Rankin λειτουργεί και στην υγρή και στην αέρια φάση του υγρού καυσίμου. Επίσης σε φάσμα θερμοκρασιών που ενυπάρχουν γενικά στον επίπεδο δίσκο των συλλεκτών ηλιακής ενέργειας δηλαδή στους 60 με 250°C. Οι ανάγκες των αντλιών ηλιακής ενέργειας σε ισχύ είναι μικρότερες των 50 KW. Για την κάλυψη τους προτιμώνται οι τουρμπίνες εξαιτίας του μικρού μεγέθους τους, της υψηλής αποδοτικότητας των τουρμπίνων με μεγάλες δυνατότητες, της μικρής ανάγκης τους για συντήρηση και της αξιοπιστίας. Ως υγρό καύσιμο στον κύκλο του Rankin χρησιμοποιούνται δύο υγρά. Για λειτουργίες σε χαμηλή θερμοκρασία χρησιμοποιείται νερό σαν αρχικό υγρό αλλά για λειτουργία σε υψηλή θερμοκρασία χρησιμοποιούνται υγρά που είναι σταθερά στις υψηλές θερμοκρασίες όπως το Caloria HT-43. Ο ατμός χρησιμοποιείται ευρέως σαν υγρό καύσιμο στις μηχανές θερμότητας εξαιτίας του χαμηλού του κόστους, της υψηλής χημικής του σταθερότητας, της γενικότερης διαθεσιμότητας, και της καλύτερης αποδοτικότητάς του στον κύκλο.

4.4 Διάδοση Συστημάτων Αντλιών με Ηλιακή Ενέργεια

Κατά την διάρκεια των τελευταίων είκοσι ετών κατασκευάστηκαν διάφορες αντλίες άρδευσης ηλιακής ενέργειας από 1 W ως 200KW σε πολλές χώρες. Επίσης κατασκευάστηκαν φωτοβολταϊκές αντλίες ηλιακής ενέργειας φάσματος από 200 W

ως 5 KW, οι οποίες είναι πιο επιτυχημένες μέχρι σήμερα αφού η λειτουργία τους βασίζεται στον θερμοδυναμικό τύπο των αντλιών ηλιακής ενέργειας. Χαρακτηριστικές αντλίες άρδευσης ηλιακής ενέργειας είναι:

Αντλία Άρδευσης Ηλιακής Ενέργειας Gila Bend, Φοίνιξ, Αριζόνα

Πρόκειται για αντλία άρδευσης ηλιακής ενέργειας 37 KW. Το σύστημα αποτελούνταν από μία σειρά ηλιακών συλλεκτών παραβολικού απλού άξονα (564 m²) μια μονάδα κύκλου Rankin. Οι παραβολικοί κοίλοι συλλέκτες είχαν προσανατολισμό Β-Ν με αυτόματη ανίχνευση κατά την διάρκεια της ημέρας προς την κατεύθυνση Α-Δ.

Αντλία Ηλιακής Ενέργειας Sofretes

Σε αυτήν την αντλία χρησιμοποιούνται πολλοί επίπεδοι συλλέκτες οι οποίοι θερμαίνουν το νερό μέχρι και τους 70°C, λειτουργώντας σαν θερμοσίφωνες. Χρησιμοποιούν θερμικούς μετατροπείς και τέσσερις αντλίες και συνεπώς η συνολική τους αποδοτικότητα είναι πολύ χαμηλή, περίπου της τάξης του 1%.

Ειδικές Αντλίες Ηλιακής Ενέργειας:

Σε αυτές τις αντλίες χρησιμοποιείται στην ουσία η αρχή της εξάτμισης υγρού και της συμπύκνωσης. Όταν ένα υγρό εξατμίζεται, ο όγκος του αυξάνεται κι έτσι μετακινεί έναν όγκο νερού προς ένα υψηλότερο επίπεδο και όταν αυτό το υγρό συμπυκνώνεται, ο όγκος του μειώνεται με αποτέλεσμα να γίνεται αναρρόφηση νερού από ένα βάθος. Ο όγκος νερού που αντλείται ισούται με την αλλαγή του όγκου του υγρού στην αλλαγή φάσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξένη Βιβλιογραφία

- Bennamoun L., Belhamri A., 2003. Design and simulation of a solar dryer for agriculture products. *Journal of Food Engineering*. Vol. 59, pp. 259-266.
- Bouckekima B., 2002. A solar desalination plant for domestic water needs in arid areas of South Algeria. *Desalination*. Vol. 153, pp. 65-69.
- Chafik E., 2003. A new type of seawater desalination plants using solar energy. *Desalination*. Vol. 156, pp. 333-348.
- Chaibi M. T., 2000. An overview of solar desalination for domestic and agriculture water needs in remote arid areas. *Desalination*. Vol. 127, pp.119-133.
- Dai Y. J., Wang R. Z. Zhang H. F., 2002. Parametric analysis to improve the performance of a solar desalination unit humidification and dehumidification. *Desalination*. Vol. 142, pp. 107-118.
- Debashis Das, M. Ram Gopal, 2004. Studies on a metal hydride based solar water pump. *International Journal of Hydrogen Energy*. Vol. 29, pp.103-112.
- Farkas I., Seres I., Meszaros Cs., 1999. Analytical and experimental study of modular solar dryer. *Renewable Energy*. Vol. 16. pp. 773-778.
- Hachemi A., Abed B., Asnoun A., 1998. Theoretical and experimental study of solar dryer. *Renewable Energy*. Vol. 13, No.4, pp. 439-451.
- Hallak H., Hilal J., Rahhal R, 1995. The staircase solar dryer: design and characteristics. *Renewable Energy*. Vol.7, No. 2, pp.177-183.
- Ian de Villiers, Divwatt Ltd, 1999. Ensuring a bright future for solar powered water pumps. *World Pumps*.
- Kalogirou S., 1996. Survey of solar desalination systems and system selection. *Energy*. Vol. 22, No. 1, pp. 69-81.
- Kalogirou S., 1997. Economic analysis of a solar assisted desalination system. *Renewable Energy*. Vol. 12, No. 4, pp. 351-367.
- Khiari B., Mihoubi D., Mabrouk S. Ben., Sassi M., 2004. Experimental and numerical investigation on water behaviour in solar tunnel drier. *Desalination*. Vol. 168. pp. 117-124.
- Mumba J., 1995. Economic analysis of a photovoltaic, forced- convection, solar grain drier. *Energy Conversion and Management*. Vol. 20, pp. 923-928.
- Nafey A. S., Fath H. E. S., El-Helaby S. O, Soliman A. 2004. Solar desalination using humidification- dehumidification processes. Part II. An experimental investigation. *Energy Conversion and Management*. Vol. 45, pp. 1263-1277.
- Nafey A. S., Fath H. E. S., El-Helaby S. O, Soliman A. M., 2004. Solar desalination using humidification- dehumidification processes. Part I. A numerical investigation. *Energy Conversion and Management*. Vol. 45, pp. 1243-1261.
- Ong K. S., 1999. Solar dryers in the Asia- Pacific Region. *Renewable Energy*. Vol. 16. pp. 779-784.

- Pangavhane D. R., Sawhney R. L., 2002. Review of research and development work on solar dryers for grape drying. *Energy Conversion and Management*. Vol. 43, pp. 45-61.
- Rahim N. H. A., 2003. New method to store heat energy in horizontal solar desalination still. *Renewable Energy*. Vol. 28, pp. 419-433.
- Riffat S. B., 1994. Solar absorption system for water desalination. *Renewable Energy*. Vol.6, No.2, pp.101-106.
- Said Al-Hallaj, Mohammed Mehdi Farid, Abdul Rahman Tamimi, 1998. Solar desalination with a humidification- dehumidification cycle: performance of the unit. *Desalination*. Vol. 120, pp.273-280.
- Sen Z., 2004. Solar energy in progress and future research trends. *Progress in Energy and Combustion Science*. Vol. 30, pp. 367-416.
- Short T. D., Burton J. D., 2003. The benefits of induced flow solar powered water pumps. *Solar Energy*. Vol. 74, pp. 77-84.
- Spindler K., Chandwalker K., Hahne E. 1996. Small solar (thermal) water-pumping system. *Solar Energy*. Vol. 57, No. 1, pp. 69-76.
- Sumathy K., 1999. Experimental studies on a solar thermal water pump. *Applied Thermal Engineering*. Vol. 19, pp.449-459.
- Sumathy K., Venkatesh A., Spiramulu V., 1995. The importance of the condenser in a solar water pump. *Energy Conversion and Management*. Vol. 36, , No. 16, pp. 1167-1173
- Sumathy K., Venkatesh A., Spiramulu V., 1996. Thermodynamic analysis of a solar thermal water pump. *Solar Energy*. Vol.57, No.2, pp.155-161.
- Tiris C., Tiris M., Dincer I., 1994. Investigation of the thermal efficiencies of a solar dryer. *Energy Conversion and Management*. Vol. 36, pp. 205-212.
- Wahidi R., Ali Afkhami Rohani, 1996. The benefits of solar dryers in Iran. *Wrec*. pp. 700-702.
- Weiner D., Fisher D., Moses E. J., Katz B., Meron G., 2001. Operation experience of a solar- and wind- powered desalination demonstration plant. *Desalination*. Vol. 137, pp. 7-13.
- Wong Y. W., Sumathy K., 2001. Thermodynamic analysis and optimization of a solar thermal water pump. *Applied Thermal Engineering* Vol. 21, pp. 613-627.
- Yahya H. N., Sambo A. S., 1995. Design and installation of solar photovoltaic powered water pumping system at Usmanu Danfodiyo University, Sokoto. *Renewable Energy*. Vol. 6, No. 3, pp. 311-312.
- A.W.VEEANMAN, Delf University of Technology, Delf (The Netherlands). 'A review of New Developments in Desalination by Distillation Processes' *Desalination* (1988)
- J.M.Coulson and J.F.Richardson, *Chemical Engineering, Volume II*, Pergamon, Oxford (1996)
- H.H.SEPHTON, *New developments in vertical tube evaporation of seawater*(1996)
- H.K.Lonsdale, in *Desalination by Reverse Osmosis*, ed. U. Merten, MIT Press, Cambridge, Mass., 1986
- W.E.KATZ 'The Electrodialysis Reversal (EDR) Process' *Desalination* (1997)

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Αλεξιάκης Σ. Α., *Αφαλάτωση*, Εκδόσεις Σιδέρη Μ., 1993
- Ασημακόπουλος Δ., (2001). Αφαλάτωση και ΑΠΕ, Δυνατότητες Ανάπτυξης Συστημάτων στο Νότιο Αιγαίο.
- Γεωργία και Κτηνοτροφία, 1999, τεύχος 9, Εκδόσεις Αγρότυπος
- Γιαννούλης Π., *Νέες Πηγές Ενέργειας*, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 2001
- Γραφιαδέλλης Μ., *Σύγχρονα Θερμοκήπια*, Εκδόσεις Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη 1987
- Θερμοκήπια 1996, Εκδόσεις Γεωργική Τεχνολογία
- Καπλάνης Σ., *Συναρμολόγηση, Κατασκευή και Έλεγχος Λειτουργίας Ηλιακών Συλλεκτών*, ΤΕΙ Πατρών, 1985
- Καραταγλής Σ., *Φυσιολογία Φυτών*, Εκδόσεις Γραφικές Τέχνες, 1994
- Κοπιδάκης Μ., *Ήπιες-Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Πρακτικές Εφαρμογές της Ηλικής Ενέργειας στην Αγροτική Οικονομία-Θερμοκήπια*, ΤΕΙ Ηρακλείου, 1990.
- Κουτεπάς Ν, Ταμβάκης Ν., *Ανθοκομία*, Αθήνα, 2000
- Μαυρογιαννόπουλος Γ., (1992). Θέρμανση Θερμοκηπίου και Ταυτόχρονη Παραγωγή Νερού Άρδευσης από Αλατούχο Γεωθερμικό Νερό Χαμηλής Ενθαλπίας. Πρακτικά 4^{ου} Εθνικού Συνεδρίου για τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας, Οκτώβριος 1992, ΓΕΩ, pp.80-87
- Μαυρογιαννόπουλος Ν. Γ., *Θερμοκήπια, Περιβάλλον-Υλικά-Κατασκευή-Εξοπλισμός*, Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε, Αθήνα 2001
- Μπαμπαλής Σ., Μαθιουλάκης Ε., Μπελεσιώτης Β., Σωτηρόπουλος Β., (1999). Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Παραμέτρων σε Ξηραντήρια Αγροτικών Προϊόντων. 6^ο Εθνικό Συνέδριο ΙΗΤ, Βόλος 6-8 Νοεμβρίου 1999, τόμος Β', 21-28
- Μπαμπαλής Σ., Μαθιουλάκης Ε. και Μπελεσιώτης Β., (2002). Διερεύνηση της χρήσης ηλιακής ενέργειας για την κάλυψη μέρους των θερμικών αναγκών κατά την μηχανική ξήρανση αγροτικών προϊόντων. 7^ο Εθνικό Συνέδριο ΙΗΤ, Πάτρα 6-8 Νοεμβρίου 2002, τόμος Β', 259-268
- Μπελεσιώτης Β. και Δελιγιάννη Ε., *Μέθοδοι και Συστήματα Ξήρανσης – Αρχές Διεργασιών Ξήρανσης*, 2002

- Ολύμπιος Χ., Τεχνική της Κκαλλιέργειας των Κκηπευτικών στο Θερμοκήπιο, Αθηνά, 1994
- Τρυπαναγνωστόπουλος Ι., *Εργαστηριακές Ασκήσεις Περιβαλλοντικής Φυσικής*, Πανεπιστήμιο Πατρών 2000
- Χαρόνης Π., *Ηλιακά Ξηραντήρια*. Εκδόσεις Ίων, 1989