

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ  
ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ**

**ΚΥΡΙΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ (5312)**

**ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΑΛΟΓΗΡΟΥ Ι.Δ.**

**ΠΑΤΡΑ 2017**



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία με τίτλο « Μελέτη ενεργειακής διαχείρισης θερμοκηπίου» εκπονήθηκε στα πλαίσια της ολοκλήρωσης των σπουδών μου στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους όσους συνέβαλαν στην ολοκλήρωση της εργασίας αυτής. Καταρχάς, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή, κύριο Καλογήρου Ι.Δ., για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση αυτής της πτυχιακής εργασίας, για τη δυνατότητα που μου προσέφερε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα, για την πολύτιμη βοήθεια, καθώς και για τις υποδείξεις και τις διορθώσεις του.

Επίσης, θα ήθελα να απευθύνω τις ευχαριστίες μου στα μέλη της συμβουλευτικής – εξεταστικής επιτροπής, οι οποίοι δέχθηκαν να αξιολογήσουν την πτυχιακή μου εργασία.

Ολοκληρώνοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την υποστήριξη και τη συμπαράσταση που μου προσφέρει σε κάθε μου βήμα.

Κυριακόπουλος Παναγιώτης  
Σεπτέμβριος 2017

**Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστή:** Ο κάτωθι υπογεγραμμένος σπουδαστής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Ο σπουδαστής

Κυριακόπουλος Παναγιώτης

.....

(Υπογραφή)

---

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα θερμοκήπια κατασκευάζονται με κύριο σκοπό την παραγωγή αγροτικών προϊόντων εκτός εποχής. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με τη συνεχή αύξηση των εκτάσεων που καλύπτονται από θερμοκηπιακές καλλιέργειες, οδηγεί σε αυξημένη κατανάλωση ενέργειας. Η θέρμανση των θερμοκηπίων με συμβατικά καύσιμα αποτελεί τον κύριο παράγοντα του κόστους παραγωγής. Η ανάγκη εξοικονόμησης ενέργειας και το αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη μείωση του ενεργειακού κόστους στα θερμοκήπια, καθιστά αναγκαία την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Στο πλαίσιο αυτό, στην παρούσα πτυχιακή εργασία παρουσιάζονται και συγκρίνονται από οικονομικής άποψης δύο διαφορετικά συστήματα θέρμανσης ενός θερμοκηπίου, ένα συμβατικό σύστημα θέρμανσης με λέβητα πετρελαίου και ένα σύστημα θέρμανσης με καύση βιομάζας και συγκεκριμένα πυρηνόξυλου.

Πιο αναλυτικά, στο κεφάλαιο 2 γίνεται μία ενδελεχής παρουσίαση των θερμοκηπιακών καλλιεργειών, η οποία περιλαμβάνει: ιστορική αναδρομή, στατιστικά δεδομένα για τα θερμοκήπια σε παγκόσμιο και ελλαδικό επίπεδο, τα κατασκευαστικά στοιχεία και το εσωτερικό περιβάλλον ενός θερμοκηπίου, τη θέρμανση και το λοιπό εξοπλισμό που απαιτείται, καθώς και τρόπους εξοικονόμησης ενέργειας.

Στο κεφάλαιο 3 πραγματοποιείται παρουσίαση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), η οποία περιλαμβάνει ορισμό, μεθόδους αξιοποίησης, πλεονεκτήματα/μειονεκτήματα και εφαρμογές για κάθε μία εξ αυτών. Ακολούθως, στο κεφάλαιο 4 μελετώνται οι τρόποι αξιοποίησης τριών ΑΠΕ (της ηλιακής ενέργειας, της γεωθερμικής ενέργειας και της βιομάζας) για τη θέρμανση ενός θερμοκηπίου.

Τα κεφάλαια 5-6 αποτελούν το πρακτικό μέρος της πτυχιακής εργασίας. Αρχικά, στο 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο πραγματοποιείται περιγραφή της περιοχής μελέτης, του είδους καλλιέργειας που επιλέγεται καθώς και των χαρακτηριστικών και των θερμικών αναγκών του θερμοκηπίου που μελετάται. Στο κεφάλαιο 6 πραγματοποιείται η οικονομική ανάλυση και η σύγκριση των δύο συστημάτων θέρμανσης που εξετάζονται για το θερμοκήπιο, του συστήματος θέρμανσης με λέβητα πετρελαίου και του συστήματος θέρμανσης με καύση πυρηνόξυλου.

Τέλος, στο κεφάλαιο 7 γίνεται παρουσίαση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων και παράλληλα καταγράφονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

---

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ .....	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	ii
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	iii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ .....	vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ .....	viii
1. Εισαγωγή.....	1
1.1 Αντικείμενο και σκοπός της εργασίας .....	1
1.2 Μεθοδολογία εκπόνησης της εργασίας.....	2
1.3 Διάρθρωση της εργασίας.....	2
2. Οι θερμοκηπιακές καλλιέργειες .....	4
2.1 Ιστορική αναδρομή .....	4
2.2 Τα θερμοκήπια στον κόσμο και στην Ελλάδα .....	5
2.3 Τα κατασκευαστικά στοιχεία ενός θερμοκηπίου .....	7
2.3.1 Βασικοί τύποι θερμοκηπίων .....	7
2.3.2 Σκελετός θερμοκηπίων .....	10
2.3.3 Υλικά κάλυψης θερμοκηπίων.....	12
2.4 Το εσωτερικό περιβάλλον ενός θερμοκηπίου .....	17
2.4.1 Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος.....	17
2.4.2 Υγρασία εσωτερικού περιβάλλοντος.....	18
2.4.3 Εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία στο θερμοκήπιο .....	19
2.4.4 Διοξείδιο του άνθρακα.....	19
2.5 Θέρμανση θερμοκηπίων.....	21
2.5.1 Κατανάλωση ενέργειας σε θερμοκήπια .....	21
2.5.2 Μετάδοση θερμότητας σε ένα θερμοκήπιο .....	23
2.5.3 Μηχανισμοί μετάδοσης της θερμότητας .....	25
2.5.4 Υπολογισμός θερμικών απωλειών ενός θερμοκηπίου.....	30
2.5.5 Υπολογισμός θερμικών αναγκών ενός θερμοκηπίου .....	31
2.5.6 Σύστημα θέρμανσης θερμοκηπίου.....	32
2.5.7 Καύσιμα για τη θέρμανση ενός θερμοκηπίου.....	36
2.6 Λοιπός εξοπλισμός θερμοκηπίων .....	38

2.6.1	Σύστημα αερισμού και δροσισμού .....	38
2.6.2	Σύστημα σκίασης .....	39
2.6.3	Σύστημα άρδευσης – λίπανσης.....	41
2.6.4	Τεχνητός φωτισμός.....	41
2.7	Εξοικονόμηση ενέργειας σε θερμοκήπια .....	41
2.7.1	Κατασκευαστικό περιβάλλον του θερμοκηπίου .....	42
3.	Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) .....	43
3.1	Ηλιακή ενέργεια.....	44
3.1.1	Εφαρμογές ενεργητικών ηλιακών συστημάτων .....	46
3.2	Αιολική ενέργεια.....	46
3.2.1	Ανεμογεννήτριες και αιολικά πάρκα .....	48
3.2.2	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αιολικής ενέργειας.....	49
3.3	Γεωθερμική ενέργεια.....	49
3.3.1	Εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας .....	52
3.3.2	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της γεωθερμικής ενέργειας .....	54
3.4	Βιομάζα .....	55
3.4.1	Μέθοδοι αξιοποίησης της βιομάζας .....	56
3.4.2	Εφαρμογές της βιομάζας.....	57
3.4.3	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της βιομάζας.....	58
3.5	Υδροηλεκτρική ενέργεια.....	58
3.5.1	Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί .....	59
3.5.2	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της υδροηλεκτρικής ενέργειας.....	60
3.6	Παλιρροϊκή ενέργεια και ενέργεια από τα κύματα .....	61
3.6.1	Παλιρροϊκή ενέργεια.....	61
3.6.2	Ενέργεια από τα κύματα .....	63
4.	Αξιοποίηση των ΑΠΕ για τη θέρμανση ενός θερμοκηπίου .....	65
4.1	Χρήση ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση ενός θερμοκηπίου .....	65
4.2	Χρήση γεωθερμικής ενέργειας για τη θέρμανση ενός θερμοκηπίου .....	67
4.3	Χρήση βιομάζας για τη θέρμανση ενός θερμοκηπίου .....	68
5.	Μελέτη περίπτωσης – Περιγραφή του εξεταζόμενου θερμοκηπίου .....	70
5.1	Περιοχή μελέτης.....	70
5.1.1	Γενικά στοιχεία περιοχής μελέτης .....	70
5.1.2	Διοικητική διαίρεση .....	71

5.1.3	Δημογραφικά στοιχεία .....	71
5.1.4	Κλιματολογικά στοιχεία .....	72
5.1.5	Γεωμορφολογία – φυσικό περιβάλλον περιοχής .....	74
5.1.6	Οικονομική δραστηριότητα περιοχής .....	75
5.2	Είδος καλλιέργειας – τομάτα .....	75
5.2.1	Γενικά στοιχεία για τη τομάτα .....	75
5.2.2	Δημιουργία πολλαπλασιαστικού υλικού – σπορείο .....	76
5.2.3	Εδαφικές απαιτήσεις .....	77
5.2.4	Κλιματικές απαιτήσεις .....	78
5.2.5	Προετοιμασία του εδάφους του θερμοκηπίου .....	79
5.2.6	Μεταφύτευση στο θερμοκήπιο .....	79
5.3	Χαρακτηριστικά του θερμοκηπίου .....	80
5.3.1	Υπολογισμός απωλειών θερμοκηπίου .....	82
6.	Σύγκριση συστημάτων θέρμανσης του θερμοκηπίου .....	86
6.1	Αξιολόγηση επενδύσεων - Μέθοδος καθαρής παρούσας αξίας .....	86
6.2	Οικονομική ανάλυση .....	87
6.2.1	Σύστημα θέρμανσης με λέβητα πετρελαίου .....	87
6.2.2	Σύστημα θέρμανσης με καύση πυρηνόξυλου .....	88
6.2.3	Δεδομένα οικονομικής ανάλυσης .....	90
6.3	Αποτελέσματα - Σύγκριση .....	93
7.	Συμπεράσματα και προτάσεις .....	97
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	99
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ .....	105
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: Υπολογισμός γεωμετρικών χαρακτηριστικών θερμοκηπίου ...	105
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: Τεχνικά χαρακτηριστικά συστημάτων θέρμανσης .....	107
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3: Υπολογισμός επικρατούσας τιμής παραγωγού για τομάτα θερμοκηπίου .....	115

---

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

<b>Πίνακας 2.1:</b> Κατανομή θερμοκηπίων παγκοσμίως .....	6
<b>Πίνακας 2.2:</b> Κατανομή θερμοκηπίων στην Ευρώπη.....	6
<b>Πίνακας 2.3:</b> Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του ξύλου ως υλικό κατάσκευής θερμοκηπίων.....	11
<b>Πίνακας 2.4:</b> Ποσοστό διέλευσης ακτινοβολίας (φωτεινής και θερμικής) ανά υλικό κάλυψης θερμοκηπίου. ....	16
<b>Πίνακας 2.5:</b> Σύγκριση κόστους για διάφορα υλικά κάλυψης θερμοκηπίων.....	17
<b>Πίνακας 2.6:</b> Οι θερμοκρασιακές απαιτήσεις των κυριότερων θερμοκηπιακών καλλιιεργειών.....	18
<b>Πίνακας 2.7:</b> Βέλτιστα επίπεδα σχετικής υγρασίας για την ανάπτυξη των κυριότερων θερμοκηπιακών καλλιιεργειών .....	19
<b>Πίνακας 2.8:</b> Τιμές ολικού συντελεστή θερμοπερατότητας για διάφορα υλικά κάλυψης .....	32
<b>Πίνακας 2.9:</b> Τιμές συντελεστή $n$ ανάλογα με τον τύπο κατασκευής του θερμοκηπίου .....	32
<b>Πίνακας 2.10:</b> Οι τρόποι με τους οποίους η θερμότητα αποδίδεται στο χώρο στα συμβατικά συστήματα θέρμανσης (τοπικά και κεντρικά).....	34
<b>Πίνακας 2.11:</b> Διάφορα είδη καυσίμων για τη θέρμανση θερμοκηπίων .....	37
<b>Πίνακας 4.1:</b> Θερμογόνος ισχύς καυσίμων .....	69
<b>Πίνακας 5.1:</b> Πληθυσμός Περιφερειακής Ενότητας Ηλείας με βάση τα στοιχεία της απογραφής του 2011 .....	72
<b>Πίνακας 5.2:</b> Μηνιαία ελάχιστη, μέση και μέγιστη θερμοκρασία για την περιοχή του Πύργου, περίοδος δεδομένων: 1975-1997.....	72
<b>Πίνακας 5.3:</b> Μέση μηνιαία υγρασία για την περιοχή του Πύργου, περίοδος δεδομένων: 1975-1997.....	73
<b>Πίνακας 5.4:</b> Μέση μηνιαία διεύθυνση και ένταση ανέμου για την περιοχή του Πύργου, περίοδος δεδομένων: 1975-1997.....	74
<b>Πίνακας 5.5:</b> Κατασκευαστικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά θερμοκηπίου.....	80
<b>Πίνακας 5.6:</b> Παραδοχές θερμοκηπίου.....	81
<b>Πίνακας 5.7:</b> Υπολογισμός μηνιαίων απωλειών θερμικών αναγκών του θερμοκηπίου .....	83



<b>Πίνακας 5.8:</b> Υπολογισμός βαθμοημερών θέρμανσης για θερμοκρασία βάσης 15°C	84
<b>Πίνακας 5.9:</b> Υπολογισμός μηνιαίων και ετήσιας κατανάλωσης θερμότητας του θερμοκηπίου.....	84
<b>Πίνακας 6.1:</b> Αριθμός ελαιόδεντρων και παραγωγή σε τόνους στην Περιφέρεια Δυτικής Ελλάδας κατά το έτος 2014 .....	88
<b>Πίνακας 6.2:</b> Ετήσια απόδοση και έσοδα από την πώληση της τομάτας.....	90
<b>Πίνακας 6.3:</b> Δεδομένα οικονομικής ανάλυσης .....	93
<b>Πίνακας 6.4:</b> Υπολογισμός καθαρών ταμειακών ροών και ΚΠΑ ανά έτος λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης με λέβητα πετρελαίου.....	94
<b>Πίνακας 6.5:</b> Υπολογισμός καθαρών ταμειακών ροών και ΚΠΑ ανά έτος λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης με καύση πυρηνόξυλου .....	95
<b>Πίνακας 6.6:</b> ΚΠΑ μετά το πέρας της 15ετίας ανά σύστημα και σκοπιμότητα επένδυσης.....	96

---

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

<b>Σχήμα 2.1:</b> Ποσοστιαία κατανομή των θερμοκηπίων στην Ελλάδα .....	7
<b>Σχήμα 2.2:</b> (α) αμφίρρικτο, (β) αμφίρρικτο απλό, (γ) αμφίρρικτο πολλαπλό .....	8
<b>Σχήμα 2.3:</b> (α) Τοξωτό, (β) τοξωτό απλό .....	8
<b>Σχήμα 2.4:</b> (α) Τροποποιημένο τοξωτό, (β) τροποποιημένο τοξωτό απλό, (γ) τροποποιημένο τοξωτό πολλαπλό.....	9
<b>Σχήμα 2.5:</b> Επίδραση της συγκέντρωσης του CO <sub>2</sub> στην φωτοσύνθεση φύλλων αγγουριού σε θερμοκρασίες 20°C και 30°C .....	20
<b>Σχήμα 2.6:</b> Αγροκλιματικές ζώνες στην Ελλάδα.....	22
<b>Σχήμα 2.7:</b> Αναπαράσταση των τρόπων μετάδοσης της θερμότητας σε ένα θερμοκήπιο.....	24
<b>Σχήμα 2.8:</b> Αναπαράσταση του θερμικού ισοζυγίου ενός θερμοκηπίου.....	29
<b>Σχήμα 2.9:</b> Παραδείγματα δυναμικού εξαερισμού σε θερμοκήπια .....	39
<b>Σχήμα 2.10:</b> Παράδειγμα θερμοκουρτίνας με μηχανισμό κίνησης .....	40
<b>Σχήμα 3.1:</b> Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	43
<b>Σχήμα 3.2:</b> Το ηλιακό δυναμικό της Ελλάδας – ετήσιο άθροισμα ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο (kWh/m <sup>2</sup> ).....	44
<b>Σχήμα 3.3:</b> Το αιολικό δυναμικό στην Ελλάδα - Μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου (m/sec).....	47
<b>Σχήμα 3.4:</b> Ανεμογεννήτριες: (α) οριζόντιου και (β) κάθετου άξονα .....	48
<b>Σχήμα 3.5:</b> Το γεωθερμικό δυναμικό της Ελλάδας .....	51
<b>Σχήμα 3.6:</b> Εγκαταστάσεις θέρμανσης γεωθερμικών θερμοκηπίων με φυσική συναγωγή: (α) εναέριοι σωλήνες θέρμανσης, (β) θέρμανση πάγκων, (γ) σωλήνες θέρμανσης που είναι τοποθετημένοι χαμηλά, (δ) θέρμανση εδάφους.....	53
<b>Σχήμα 3.7:</b> Εγκαταστάσεις θέρμανσης γεωθερμικών θερμοκηπίων με εξαναγκασμένη συναγωγή: (α) πλευρική τοποθέτηση σωλήνων, (β) εναέρια αερόθερμα, (γ) αγωγοί τοποθετημένοι ψηλά, (δ) αγωγοί τοποθετημένοι χαμηλά.....	54
<b>Σχήμα 3.8:</b> Είδη βιομάζας.....	56
<b>Σχήμα 3.9:</b> Σχηματική απεικόνιση ενός υδροηλεκτρικού σταθμού .....	59
<b>Σχήμα 4.1:</b> Εξωτερικός ηλιακός συλλέκτης για τη συλλογή της ηλιακής ενέργειας .	66
<b>Σχήμα 5.1:</b> Χάρτης Νομού Ηλείας .....	70

<b>Σχήμα 5.2:</b> Στοιχεία θερμοκρασίας ανά μήνα για την περιοχή του Πύργου, περίοδος δεδομένων: 1975-1997.....	73
<b>Σχήμα 5.3:</b> Μηνιαία στοιχεία υγρασίας για την περιοχή του Πύργου, περίοδος δεδομένων: 1975-1997.....	73
<b>Σχήμα 5.4:</b> Γράφημα μηνιαίας έντασης ανέμου για την περιοχή του Πύργου, περίοδος δεδομένων: 1975-1997 .....	74
<b>Σχήμα 5.5:</b> Στάδια ωρίμανσης του καρπού της τομάτας .....	76
<b>Σχήμα 5.6:</b> Κάτοψη θερμοκηπίου .....	81
<b>Σχήμα 5.7:</b> Πρόσοψη θερμοκηπίου .....	81
<b>Σχήμα 5.8:</b> Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατασκευαστικής μονάδας του θερμοκηπίου.....	82
<b>Σχήμα 6.1:</b> Διάγραμμα NPV για το σύστημα θέρμανσης με λέβητα πετρελαίου .....	94
<b>Σχήμα 6.2:</b> Διάγραμμα NPV για το σύστημα θέρμανσης με καύση πυρηνόξυλου ....	95

---

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

---

## 1. Εισαγωγή

### 1.1 Αντικείμενο και σκοπός της εργασίας

Η παρούσα πτυχιακή εργασία με τίτλο « Μελέτη ενεργειακής διαχείρισης θερμοκηπίου» εκπονήθηκε στα πλαίσια της ολοκλήρωσης των σπουδών μου στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας και έχει ως αντικείμενο τη μελέτη της χρήσης εναλλακτικών μεθόδων και πηγών ενέργειας για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών ενός θερμοκηπίου και τη συγκριτική οικονομοτεχνική ανάλυση μεταξύ των εξεταζόμενων συστημάτων θέρμανσης.

Τα θερμοκήπια κατασκευάζονται με κύριο σκοπό την παραγωγή αγροτικών προϊόντων εκτός εποχής. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με τη συνεχή αύξηση των εκτάσεων που καλύπτονται από θερμοκηπιακές καλλιέργειες, οδηγεί σε αυξημένη κατανάλωση ενέργειας. Η θέρμανση των θερμοκηπίων με συμβατικά καύσιμα αποτελεί τον κύριο παράγοντα του κόστους παραγωγής. Η ανάγκη εξοικονόμησης ενέργειας και το αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη μείωση του ενεργειακού κόστους στα θερμοκήπια, καθιστά αναγκαία την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Πολυάριθμες μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα, οι οποίες στο συντριπτικό τους μέρος αφορούν στην αξιολόγηση συστημάτων θέρμανσης θερμοκηπίων με συμβατικά καύσιμα και με αξιοποίηση της γεωθερμικής και ηλιακής ενέργειας. Παράλληλα, στην Ελλάδα λόγω του μεσογειακού κλίματος και του υψηλού κόστους τα περισσότερα θερμοκήπια (και κυρίως τα θερμοκήπια της Κρήτης και της Πελοποννήσου) δε διαθέτουν συστήματα θέρμανσης. Επιπλέον, στα θερμοκήπια της Βόρειας Ελλάδας η θέρμανση τους πραγματοποιείται κυρίως με την αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας, καθώς η περιοχή διαθέτει πλούσιο γεωθερμικό δυναμικό.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να αξιολογήσει και να συγκρίνει διαφορετικά συστήματα θέρμανσης θερμοκηπίου. Για το λόγο αυτό μελετάται ένα θερμοκήπιο 3,2 στρεμμάτων σε παράκτια περιοχή κοντά στο Δήμο Πύργου του Νομού Ηλείας, στο οποίο καλλιεργείται τομάτα. Τέλος, αφού πρώτα παρουσιαστούν τα χαρακτηριστικά του θερμοκηπίου και υπολογιστούν οι θερμικές του ανάγκες, πραγματοποιείται οικονομική σύγκριση ενός συμβατικού συστήματος θέρμανσης με πετρέλαιο και ενός συστήματος θέρμανσης με καύση βιομάζας και συγκεκριμένα πυρηνόξυλου.

## 1.2 Μεθοδολογία εκπόνησης της εργασίας

Για την εκπόνηση της εργασίας ακολουθείται η παρακάτω μεθοδολογία:

- Πραγματοποιείται ενδελεχής βιβλιογραφική ανασκόπηση, με πληροφορίες που αντλούνται από ερευνητικές δημοσιεύσεις (διπλωματικές εργασίες, διεθνή και ελληνικά επιστημονικά περιοδικά, βιβλία, συνέδρια κλπ.), όσον αφορά στους βασικούς τομείς που πραγματεύεται η παρούσα εργασία, οι οποίοι είναι: οι θερμοκηπιακές καλλιέργειες, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τα συστήματα θέρμανσης των θερμοκηπίων.
- Στη συνέχεια, γίνεται πλήρης ανάλυση μελέτης περίπτωσης, η οποία αφορά στην οικονομοτεχνική ανάλυση και σύγκριση δύο συστημάτων θέρμανσης για το εξεταζόμενο θερμοκήπιο. Πιο αναλυτικά, πραγματοποιείται περιγραφή της περιοχής μελέτης, του είδους καλλιέργειας που επιλέγεται και των χαρακτηριστικών του θερμοκηπίου με ταυτόχρονο υπολογισμό των θερμικών απαιτήσεών του.
- Τέλος, γίνεται η παρουσίαση των δύο συστημάτων θέρμανσης, του συστήματος θέρμανσης με λέβητα πετρελαίου και του συστήματος θέρμανσης με καύση πυρηνόξυλου, και ακολουθεί η σύγκρισή τους με χρήση της μεθόδου καθαρής παρούσας αξίας.

## 1.3 Διάρθρωση της εργασίας

Η πτυχιακή εργασία περιλαμβάνει 7 κεφάλαια, τη βιβλιογραφία και το παράρτημα. Στο παρόν κεφάλαιο της εισαγωγής, πραγματοποιείται περιγραφή του αντικειμένου και του σκοπού της εργασίας, της μεθοδολογίας που ακολουθείται και της δομής της.

Στα κεφάλαια 2-4 παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο σχετικά με τα θέματα που διαπραγματεύεται η παρούσα έρευνα. Πιο συγκεκριμένα, στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο γίνεται μία ενδελεχής παρουσίαση των θερμοκηπιακών καλλιεργειών, η οποία περιλαμβάνει: ιστορική αναδρομή, στατιστικά δεδομένα για τα θερμοκήπια σε παγκόσμιο και ελλαδικό επίπεδο, τα κατασκευαστικά στοιχεία και το εσωτερικό περιβάλλον ενός θερμοκηπίου, τη θέρμανση και το λοιπό εξοπλισμό που απαιτείται και τρόπους εξοικονόμησης ενέργειας.

Στο κεφάλαιο 3 πραγματοποιείται παρουσίαση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, η οποία περιλαμβάνει ορισμό, μεθόδους αξιοποίησης, πλεονεκτήματα/μειονεκτήματα και εφαρμογές για κάθε μία εξ αυτών. Ακολούθως, στο κεφάλαιο 4 μελετώνται οι τρόποι αξιοποίησης τριών ΑΠΕ (της ηλιακής ενέργειας, της γεωθερμικής ενέργειας και της βιομάζας) για τη θέρμανση ενός θερμοκηπίου.

Τα κεφάλαια 5-6 αποτελούν το πρακτικό μέρος της πτυχιακής εργασίας. Αρχικά, στο 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο πραγματοποιείται περιγραφή της περιοχής μελέτης, του είδους καλλιέργειας που επιλέγεται καθώς και των χαρακτηριστικών και των θερμικών

αναγκών του θερμοκηπίου που μελετάται. Στο κεφάλαιο 6 περιέχεται η οικονομική ανάλυση και η σύγκριση των δύο συστημάτων θέρμανσης που εξετάζονται για το θερμοκήπιο, του συστήματος θέρμανσης με λέβητα πετρελαίου και του συστήματος θέρμανσης με καύση πυρηνόξυλου.

Στο κεφάλαιο 7 γίνεται παρουσίαση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων και παράλληλα καταγράφονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

Τέλος, μετά την παράθεση των βιβλιογραφικών πηγών, ακολουθεί το παράρτημα που περιλαμβάνει τον αναλυτικό υπολογισμό των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του θερμοκηπίου, τα τεχνικά χαρακτηριστικά των συστημάτων θέρμανσης (πετρελαίου και βιομάζας) που επιλέχθηκαν και τον υπολογισμό της επικρατούσας τιμής παραγωγού για τη τομάτα.

### 2. Οι θερμοκηπιακές καλλιέργειες

#### 2.1 Ιστορική αναδρομή

Η καλλιέργεια σε θερμοκήπιο δεν είναι κάτι που επινοήθηκε τους τελευταίους αιώνες. Οι κινέζοι ήταν εκείνοι που πριν από πολλές χιλιετίδες καλλιεργούσαν φυτά έξω από το φυσικό τους περιβάλλον. Πιο συγκεκριμένα, στην αρχαία Κίνα στη νότια πλευρά του τοίχου που κατασκευαζόταν από τούβλο (θερμαινόταν κατά τη διάρκεια της ημέρας από την ηλιακή ακτινοβολία), τοποθετούσαν υπό γωνία 30°-40° καλάμια επικαλυμμένα με λαδόχαρτο. Με τον τρόπο αυτό, στο χώρο μεταξύ του τοίχου και του λαδόχαρτου αναπτυσσόταν το φυτό, το οποίο κατά τη διάρκεια της νύχτας επωφελοούνταν από την αποθηκευμένη θερμότητα του τοίχου.

Επιπλέον, σύμφωνα με την ελληνική μυθολογία, οι γυναίκες θρηνούσαν τον Άδωνη και στόλιζαν τα σπίτια τους με σπάνια άνθη και φυτά, τα οποία καλλιεργούσαν σε κλειστούς χώρους (Γραφιαδέλλης Μ., 1987). Από την εποχή του Πλάτωνα υπάρχουν αναφορές ότι γίνονταν διάφορες εκδηλώσεις λατρείας μεταξύ των οποίων και οι λεγόμενοι «Κήποι του Άδωνη». Αυτοί ήταν ειδικά διαμορφωμένοι χώροι μέσα στους οποίους μεγάλωναν φυτά με πολύ γρήγορο ρυθμό σε αντίθεση με το εξωτερικό περιβάλλον.

Στην Περσία και την Αίγυπτο καλλιεργούσαν σε μεγάλα δοχεία λουλούδια που στόλιζαν τους πρίγκιπες και τους βασιλιάδες κατά τη διάρκεια μεγάλων γιορτών. Στην Πομπηία βρέθηκαν κατασκευές μεγάλων εκτάσεων, οι οποίες φαίνεται να καλύπτονταν από ένα είδος πρωτόγονου γυαλιού. Τα δοχεία με τα φυτά τοποθετούνταν σε τραπέζια με διάτρητη επιφάνεια κάτω από την οποία υπήρχαν αναμμένα κάρβουνα. Η θερμότητα που έβγαινε από τα κάρβουνα καθώς ανέβαινε προς τα πάνω θέρμαινε τα φυτά. Ο Θεόφραστος (372-287 π.Χ.) αναφέρει ότι η καλλιέργεια των εκτός εποχής φυτών γινόταν σε καρότσια μέσα στα οποία υπήρχαν δοχεία που τα μετέφεραν όταν έπεφτε η θερμοκρασία, κυρίως τη νύχτα, σε μέρος που ήταν σκεπασμένο για να τα προστατέψουν από το κρύο (Μαυρογιαννόπουλος, 2005).

Στην εποχή των Ρωμαίων έγιναν εντατικές προσπάθειες καλλιέργειας πρώιμων λαχανικών και ανθέων. Επί αυτοκράτορα Νέρωνα κατασκευάστηκε θερμαινόμενος χώρος χρησιμοποιώντας υλικά τάλκη και μίκα με την επίβλεψη γιατρού για την καλλιέργεια αγγουριού το χειμώνα (Γραφιαδέλλης Μ., 1987). Ο κηπουρός του Τιβέριου Καίσαρα για να του προσφέρει σαλάτα με αγγούρι καθημερινά, χρησιμοποιούσε μεγάλα δοχεία που τα γέμιζε με μισοχωνεμένη κοπριά. Τα δοχεία σκεπάζονταν με διαφανείς επιφάνειες ορυκτού μίκα που διατηρούσαν τη ζέστη που

προερχόταν από τη ζύμωση της κοπριάς και επέτρεπαν την είσοδο του φωτός στο χώρο του φυτού (Μαυρογιαννόπουλος, 2005).

Τα θερμοκήπια έκαναν ξανά την εμφάνισή τους το 17<sup>ο</sup> αιώνα μ.Χ. Κατά τη διάρκεια του μεσαίωνα δεν υπάρχουν αναφορές για χρήση θερμοκηπίων. Το 18<sup>ο</sup> αιώνα μ.Χ. είχαν αναγνωριστεί πλήρως τα οφέλη του καλού φωτισμού στην υγιή ανάπτυξη του φυτού. Στα θερμοκήπια της εποχής, τα οποία αποτελούνταν από ξύλινο σκελετό και υαλοπίνακες άρχισε να λαμβάνεται υπόψη ο υπολογισμός της γωνίας κλίσης των υαλοπινάκων, ώστε να επιτευχθεί ο μέγιστος φωτισμός στο χώρο του θερμοκηπίου. Το 19<sup>ο</sup> αιώνα μ.Χ. το θερμοκήπιο εξελίχθηκε αρκετά με αποτέλεσμα μερικοί νεωτερισμοί του όπως τα πολλαπλά θερμοκήπια να χρησιμοποιούνται μέχρι και σήμερα. Το 20<sup>ο</sup> αιώνα υπήρξε συνεχής εξέλιξη στα υλικά κατασκευής του θερμοκηπίου και στην ενεργειακή υποστήριξή του. Κατασκευάζονται θερμοκήπια από ξύλο, γαλβανισμένο χάλυβα και αλουμίνιο. Η αλλαγή όμως που οδήγησε στην εξάπλωσή τους είναι η δυνατότητα αντικατάστασης του γυαλιού με άλλα πιο οικονομικά υλικά κάλυψης όπως τα σκληρά και μαλακά πλαστικά (Μαυρογιαννόπουλος, 2005).

## **2.2 Τα θερμοκήπια στον κόσμο και στην Ελλάδα**

Η αγροτική παραγωγή είναι ένας σημαντικός τομέας που σε καιρούς ύφεσης και κρίσης δύναται να ενδυναμώσει την οικονομία μιας χώρας. Η παραγωγή προϊόντων σε θερμοκήπια έχει καθιερωθεί ως βιομηχανική παραγωγή, καθώς εξαρτάται από ρυθμιζόμενους παράγοντες σε αντίθεση με εκείνη στον ανοικτό αγρό. Τα σύγχρονα θερμοκήπια περιλαμβάνουν νέα υλικά κάλυψης, υποστρώματα για την εγκατάσταση υδροπονικών καλλιεργειών, εξελιγμένα συστήματα ελέγχου του εσωτερικού περιβάλλοντος και συνολική διαχείριση της παραγωγικής διαδικασίας με ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Με τον τρόπο αυτό, τα θερμοκήπια μπορούν να αποτελέσουν βασικό μοχλό για την ανάπτυξη της γεωργικής παραγωγής στην κατεύθυνση της αναδιάρθρωσης των καλλιεργειών και τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας.

Η βιομηχανία των θερμοκηπίων γνωρίζει σημαντική ανάπτυξη σε πολλές χώρες ανά τον κόσμο, ανεπτυγμένες ή και αναπτυσσόμενες. Σύμφωνα με στοιχεία του 2011 την πρώτη θέση σε εκτάσεις θερμοκηπίων παγκοσμίως κατέχει η Κίνα (2.760.000 ha) με μεγάλη διαφορά από τη δεύτερη Κορέα (57.444 ha) (Πίνακας 2.1). Στην Ευρώπη την πρώτη θέση κατέχει η Ισπανία με 52.170 ha και τη δεύτερη η Τουρκία με 33.515 ha. Η Ελλάδα παρά τις ευνοϊκές κλιματικές και εδαφικές συνθήκες που έχει βρίσκεται μόλις στην έβδομη θέση με έκταση 5.342 ha (Πίνακας 2.2).



**Πίνακας 2.1:** Κατανομή θερμοκηπίων παγκοσμίως (Πηγή: Δολάπτης, 2014)

<b>Χώρα</b>	<b>Έκταση (σε ha)</b>
Κίνα	2.760.000
Κορέα	57.444
Ισπανία	52.170
Ιαπωνία	49.049
Τουρκία	33.515
Ιταλία	26.500
Μεξικό	11.759
Ολλανδία	10.370
Γαλλία	9.620

**Πίνακας 2.2:** Κατανομή θερμοκηπίων στην Ευρώπη (Πηγή: Δολάπτης, 2014)

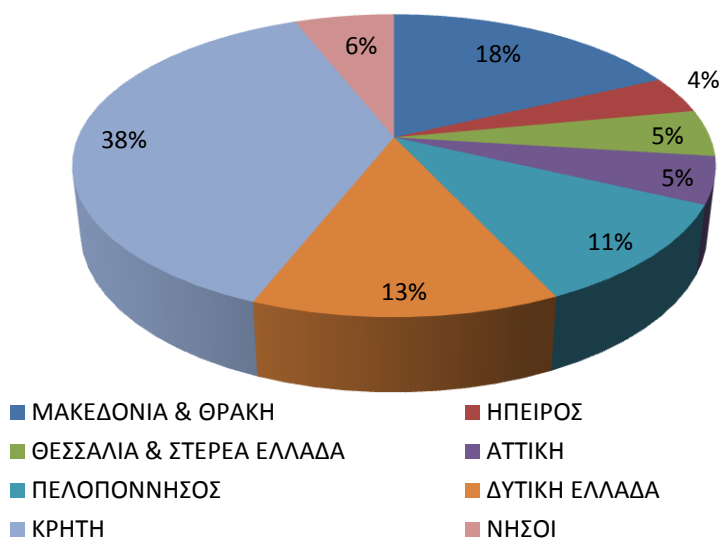
<b>Χώρα</b>	<b>Έκταση (σε ha)</b>
Ισπανία	52.170
Τουρκία	33.515
Ιταλία	26.500
Ολλανδία	10.370
Γαλλία	9.620
Πολωνία	7.560
Ελλάδα	5.342
Γερμανία	3.430

Στην Ελλάδα ο κλάδος των θερμοκηπίων παρουσιάζει ουσιαστικά στασιμότητα τα τελευταία 20 χρόνια, κυρίως εξαιτίας της έλλειψης αναπτυξιακής πολιτικής με στόχο τις επενδύσεις στον πρωτογενή τομέα. Επιπλέον, οι μικρές ατομικές θερμοκηπιακές εκμεταλλεύσεις (< 0.5ha) αποτελούν ανασταλτικό παράγοντα στην εισαγωγή νέων τεχνολογιών, τόσο στον τομέα των κατασκευών, όσο και στις νέες μεθόδους καλλιεργητικών τεχνικών. Τα παραπάνω έχουν ως συνέπεια η μέση παραγωγικότητα των ελληνικών θερμοκηπίων να βρίσκεται σε ιδιαίτερα χαμηλά επίπεδα σε σύγκριση με άλλες χώρες, ακόμα και στην περιοχή της Μεσογείου.

Από την άλλη πλευρά, οι θερμοκηπιακές καλλιέργειες λειτουργούν χωρίς τη βοήθεια οικονομικών ενισχύσεων και παράγουν την υψηλότερη προστιθέμενη αξία ανά

μονάδα καλλιεργούμενης επιφάνειας. Για να είναι βιώσιμες νέες επενδύσεις στον τομέα των θερμοκηπίων στην Ελλάδα, απαιτείται εκτός από το να δοθεί προσοχή στην ποιότητα των προϊόντων, να αντιμετωπιστεί και το καίριο ζήτημα του ενεργειακού κόστους. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί αν η ίδια η θερμοκηπιακή επιχείρηση περιλαμβάνει και τμήμα παραγωγής ενέργειας (π.χ. αξιοποίηση του φυσικού αερίου για την παραγωγή ενέργειας, η οποία θα χρησιμοποιείται για τη θέρμανση του θερμοκηπίου).

Έτσι, κατά την περίοδο 2007-2009 ο κλάδος των θερμοκηπίων στην Ελλάδα σημειώνει άνοδο της τάξης του 12%, φτάνοντας στο σύνολο τα 5500 ha (ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2010). Η έκταση που καταλαμβάνουν τα ελληνικά θερμοκήπια σε σχέση με τη συνολική έκταση παγκοσμίως αποτελεί το 0,7%, σε επίπεδο Ε.Ε. το 2,7%, ενώ στην περιοχή της Μεσογείου το ποσοστό είναι 4,2%. Σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΛ.ΣΤΑΤ. (2007), το 38% των θερμοκηπίων βρίσκονται στην Κρήτη και ακολουθεί η περιοχή της Μακεδονίας - Θράκης με 18% (Σχήμα 2.1). Τα λαχανοκομικά είδη καλλιεργούνται στο 92,72% των θερμοκηπίων (τα κυριότερα είδη είναι η τομάτα και το αγγούρι που καταλαμβάνουν ποσοστό 85%).



**Σχήμα 2.1:** Ποσοστιαία κατανομή των θερμοκηπίων στην Ελλάδα (Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2007)

## 2.3 Τα κατασκευαστικά στοιχεία ενός θερμοκηπίου

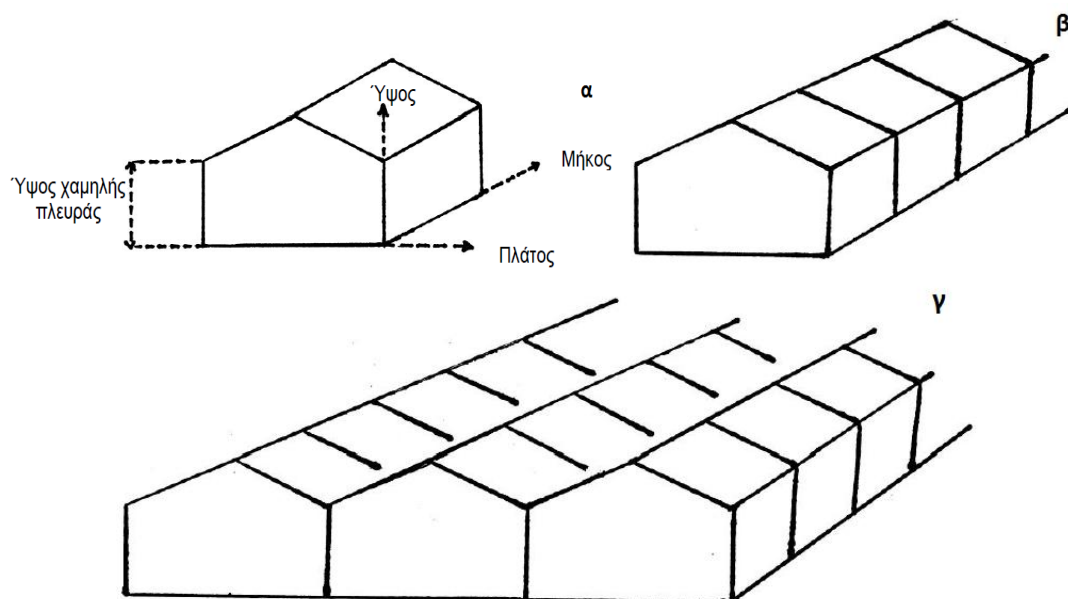
### 2.3.1 Βασικοί τύποι θερμοκηπίων

Τα θερμοκήπια διαφέρουν μεταξύ τους, από κατασκευαστικής πλευράς, στο σχήμα και στις διαστάσεις της βασικής τους μονάδας, καθώς και στα χρησιμοποιούμενα υλικά σκελετού και κάλυψης. Ως βασική κατασκευαστική μονάδα ενός θερμοκηπίου

ορίζεται το μικρότερο πλήρες τμήμα του, το οποίο επαναλαμβανόμενο κατά μήκος και κατά πλάτος σχηματίζει το σύνολο.

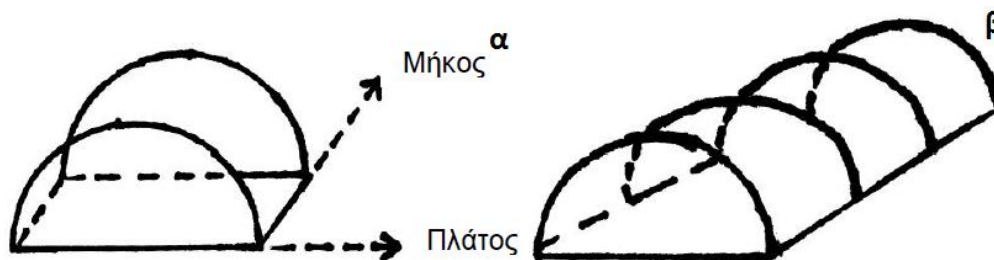
Ανάλογα με το σχήμα των θερμοκηπίων διακρίνονται οι ακόλουθοι τύποι (Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων, 1992):

1. Αμφίρρικτο (Σχήμα 2.2α)
  - a. Αμφίρρικτο απλό (Σχήμα 2.2β): σχηματίζεται με την κατά μήκος επανάληψη της κατασκευαστικής μονάδας.
  - b. Αμφίρρικτο πολλαπλό (Σχήμα 2.2γ): σχηματίζεται με την κατά μήκος και πλάτος επανάληψη της κατασκευαστικής μονάδας.



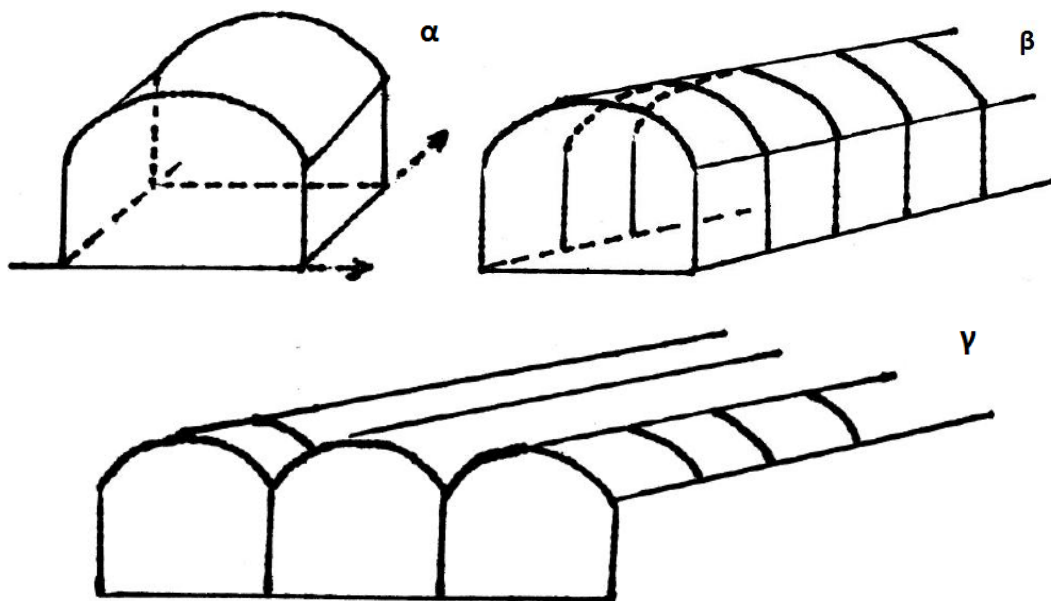
**Σχήμα 2.2:** (α) αμφίρρικτο, (β) αμφίρρικτο απλό, (γ) αμφίρρικτο πολλαπλό (Πηγή: Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων, 1992)

2. Τοξωτό (Σχήμα 2.3α): η απλή κατασκευαστική του μονάδα καθορίζεται από δύο συνεχόμενα τόξα.
  - a. Τοξωτό απλό (Σχήμα 2.3β): σχηματίζεται με την κατά μήκος επανάληψη της κατασκευαστικής μονάδας.



**Σχήμα 2.3:** (α) Τοξωτό, (β) τοξωτό απλό (Πηγή: Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων, 1992)

3. Τροποποιημένο τοξωτό (Σχήμα 2.4α): η απλή κατασκευαστική του μονάδα περιλαμβάνει ορθοστάτες και τοξωτή στέγη.
  - a. Τροποποιημένο τοξωτό απλό (Σχήμα 2.4β): σχηματίζεται με την κατά μήκος επανάληψη της κατασκευαστικής μονάδας.
  - b. Τροποποιημένο τοξωτό πολλαπλό (Σχήμα 2.4γ): σχηματίζεται με την κατά μήκος και πλάτος επανάληψη της κατασκευαστικής μονάδας.



**Σχήμα 2.4:** (α) Τροποποιημένο τοξωτό, (β) τροποποιημένο τοξωτό απλό, (γ) τροποποιημένο τοξωτό πολλαπλό (Πηγή: Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων, 1992)

Τα αμφίρρικτα θερμοκήπια είναι ακριβότερα από τα τοξωτά, αλλά προτιμώνται λόγω της ευρυχωρίας που προσφέρουν, της εύκολης τυποποίησης, της δυνατότητας κατασκευής καλού παθητικού συστήματος αερισμού και της δυνατότητας κάλυψής τους με υαλοπίνακες.

Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν τα τοξωτά θερμοκήπια είναι η ευκολία και το χαμηλό κόστος κατασκευής. Απο την άλλη πλευρά, μειονεκτούν σε σχέση με τα αμφίρρικτα στο ότι δεν προσφέρουν ευκολίες στην κατασκευή παθητικού εξαερισμού και στο ότι στις δύο άκρες του τόξου οι εργασίες πραγματοποιούνται με δυσκολία λόγω του χαμηλού τους ύψους.

Ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής των θερμοκηπίων καθορίζονται οι ακόλουθοι τύποι (Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων, 1992):

- ❖ Χωρικού τύπου: Πρόκειται για τα θερμοκήπια που κατασκευάζονται από τους ίδιους τους παραγωγούς.

- ❖ Τυποποιημένα: Είναι τα θερμοκήπια που κατασκευάζονται από βιοτεχνίες και βιομηχανίες σε μαζική παραγωγή.

Ανάλογα με τις διαστάσεις τους τα θερμοκήπια χωρίζονται σε (Δολαπτσής Κ., 2014):

- ❖ Θερμοκήπια χαμηλά: Η χαμηλή τους πλευρά είναι 1,8 έως 2,6m. Το πλεονέκτημά τους είναι οι μηδαμινές απώλειες ενέργειας, ενώ τα μειονέκτημά τους είναι ότι οι εργασίες στο εσωτερικό γίνονται με δυσκολία λόγω του χαμηλού ύψους και η αδυναμία των κηπευτικών να αναπτυχθούν σωστά λόγω ελλιπούς εξαερισμού.
- ❖ Θερμοκήπια ψηλά: Η χαμηλή τους πλευρά είναι τουλάχιστον 2,6m. Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν είναι η υψηλή φωτεινότητα στο εσωτερικό τους, ο καλός εξαερισμός και η ευκολία στην πραγματοποίηση των εργασιών.
- ❖ Θερμοκήπια μεγάλου πλάτους: Το πλάτος τους είναι μεγαλύτερο από 5m. Σε αυτά οι εργασίες πραγματοποιούνται πιο εύκολα και υπάρχει μεγάλη φωτεινότητα.
- ❖ Θερμοκήπια μικρού πλάτους: Το πλάτος τους είναι μέχρι 5m. Έχουν χαμηλότερο κόστος κατασκευής και καλύτερο αερισμό σε σχέση με αυτά του μεγάλου πλάτους.

Ανάλογα με το σύστημα εξαερισμού διακρίνονται σε (Μαυρογιαννόπουλος, 2005):

- ❖ Θερμοκήπια με φυσικό εξαερισμό (με ανοίγματα).
- ❖ Θερμοκήπια με δυναμικό εξαερισμό (με εξαεριστήρες).

### 2.3.2 Σκελετός θερμοκηπίων

Ο σκελετός του θερμοκηπίου περιλαμβάνει τα στοιχεία εκείνα που φέρουν την επικάλυψη και μεταβιβάζουν τα φορτία στο έδαφος. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του σκελετού είναι το ξύλο, το αλουμίνιο, ο χάλυβας ή συνδυασμός αυτών. Το ποιο υλικό θα επιλεγεί εξαρτάται από το κόστος των υλικών (που διαφέρει από περιοχή σε περιοχή), το επιθυμητό ελεύθερο πλάτος και το μηχανολογικό εξοπλισμό του που έχει στη διάθεσή του ο κατασκευαστής.

Το ξύλο είναι το πρώτο υλικό που χρησιμοποιήθηκε στην κατασκευή του σκελετού των θερμοκηπίων. Τα θερμοκήπια με ξύλινο σκελετό κατασκευάζονται από τους ίδιους τους παραγωγούς και έχουν χαμηλότερο κόστος κατασκευής, λόγω της σχετικά χαμηλής τιμής του ξύλου και της ευκολίας εξεύρεσης και κατεργασίας του. Για να είναι η ξυλεία κατάλληλη για τα θερμοκήπια, πρέπει να είναι ξερή χωρίς κόμβους, να μην παραμορφώνεται, να μη σαπίζει εύκολα και να μη δυσκολεύει στο κάρφωμα. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της χρήσης του ξύλου ως υλικό κατασκευής των θερμοκηπίων (Θεοχάρης, 2015).

**Πίνακας 2.3:** Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του ξύλου ως υλικό κατασκευής θερμοκηπίων (Πηγή: Θεοχάρης, 2015)

<b>Πλεονεκτήματα</b>	<b>Μειονεκτήματα</b>
Είναι ανανεώσιμη πρώτη ύλη	Έχει σχετικά μικρή αντοχή
Υπάρχει κοντά στις περιοχές που απαιτείται	Αποτελεί τροφή για μύκητες και έντομα
Η κατεργασία του είναι σχετικά εύκολη	Υφίσταται σήψη
Έχει μικρή θερμική αγωγιμότητα που συνεπάγεται μικρές απώλειες θερμότητας	Έχει ανισότροπη συμπεριφορά σε διόγκωση - συρρίκνωση
Έχει σχετικά μικρό κόστος	Έχει διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες ανάλογα με το είδος και την ποιότητά του
Δε δημιουργεί φθορές στο πλαστικό, γιατί δεν υπερθερμαίνεται	Απαιτεί μεγαλύτερες διατομές ξύλου για την ασφαλή μεταφορά των φορτίων

Η χρήση του αλουμινίου στα θερμοκήπια συνίσταται κυρίως στην κατασκευή των λεπτών σκελετικών στοιχείων και των υδρορροών. Ορισμένα από τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει έναντι του ξύλου και των άλλων μετάλλων είναι:

- ❖ Είναι ανθεκτικό στην επιφανειακή διάβρωση και έτσι δεν απαιτείται σχεδόν καθόλου η βαφή και η συντήρησή του.
- ❖ Τα διάφορα στοιχεία μπορούν να κατασκευαστούν σε πολύπλοκες διατομές, οι οποίες είναι ικανές να παρέχουν καλή στεγανότητα και αποκομιδή του νερού της συμπύκνωσης.
- ❖ Το μικρό ειδικό του βάρος και οι μικρότερες διατομές των διαφόρων στοιχείων δίνουν μια πολύ "ελαφριά" κατασκευή. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μειωμένη σκίαση του θερμοκηπίου και την επίτευξη μεγαλύτερων ανοιγμάτων από στύλο σε στύλο.
- ❖ Παρέχει ελαφρότερα και πιο λειτουργικά πλαίσια, και έτσι προσφέρεται για την κατασκευή των ανοιγμάτων εξαερισμού.

Στις συνήθεις περιπτώσεις των υαλόφρακτων θερμοκηπίων για οικονομικούς λόγους το αλουμίνιο χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τον χάλυβα. Έτσι, από αλουμίνιο κατασκευάζονται τα λεπτά στοιχεία του σκελετού, πάνω στα οποία τοποθετούνται οι υαλοπίνακες, ενώ από χάλυβα κατασκευάζονται τα στοιχεία που σχηματίζουν το βασικό σκελετό του.

Ο χάλυβας (σε σωλήνα ή σε διατομές διαφόρων σχημάτων) χρησιμοποιείται ευρέως στην κατασκευή των θερμοκηπίων. Λόγω της υψηλής αντοχής του, απαιτεί σχετικά μικρές διατομές για δεδομένο φορτίο. Το βασικότερο μειονέκτημά του είναι η επιφανειακή οξειδωση, η οποία ευνοείται από τις συνθήκες του θερμοκηπίου. Για να

ξεπεραστεί το πρόβλημα αυτό, ο συνηθέστερος τρόπος προστασίας του χάλυβα είναι το γαλβάνισμα. Τέλος, υπάρχουν θερμοκήπια που είναι ολόκληρα κατασκευασμένα από χάλυβα και θερμοκήπια που μόνο τα κύρια στοιχεία του σκελετού τους είναι από χάλυβα, ενώ τα υπόλοιπα είναι από αλουμίνιο ή ξύλο.

### 2.3.3 Υλικά κάλυψης θερμοκηπίων

Ιδιαίτερα σημαντική είναι η επιλογή του κατάλληλου υλικού με το οποίο θα καλυφθεί το θερμοκήπιο. Κατά την επιλογή αυτή λαμβάνονται υπόψη (Αντωνακούδη, 2014; Θεοχάρης, 2015):

- ✚ Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του κάθε προϊόντος κάλυψης: οι διαστάσεις - το μέγεθος της διαφανούς επιφάνειας που μπορεί να κατασκευαστεί, η μηχανική αντοχή (στη θραύση και στην επιμήκυνση), η περατότητα στο φως, στη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία και στην υπεριώδη ακτινοβολία, η θερμοπερατότητα, η διάρκεια ζωής - ευαισθησία στη γήρανση, η αντίσταση στο σκίσιμο και στα χτυπήματα από χαλάζι, η ευαισθησία στη συγκράτηση σκόνης και στις χημικές ουσίες, και ο τρόπος συμπίκνωσης της υγρασίας.
- ✚ Τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής: ηλιοφάνεια, ελάχιστη θερμοκρασία, διακύμανση θερμοκρασίας, βροχόπτωση.
- ✚ Τις απαιτούμενες καλλιεργητικές φροντίδες: άρδευση, κατεργασία εδάφους, ψεκασμοί, συγκομιδή.
- ✚ Τις ανάγκες της καλλιέργειας για φωτισμό
- ✚ Το φαινόμενο του θερμοκηπίου (συγκράτηση θερμότητας τις ψυχρές ώρες).

Το υλικό κάλυψης μπορεί να είναι γυαλί (υαλοπίνακες) ή πλαστικό. Τα πλαστικά υλικά κάλυψης διακρίνονται σε μαλακά και σκληρά.

#### Υαλοπίνακες

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα του γυαλιού, ως υλικό κάλυψης ενός θερμοκηπίου, είναι η διατήρηση των ιδιοτήτων του, συμπεριλαμβανομένης της περατότητάς του στο φως, με το πέρασμα του χρόνου. Πιθανή μείωση της φωτεινότητας του γυαλιού οφείλεται σε ακαθαρσίες, οι οποίες είναι δυνατό να απομακρυνθούν. Το γυαλί είναι αδιαπέρατο στα αέρια και τους υδρατμούς. Πιθανή εμφάνιση προβλημάτων στεγανότητας σε υαλόφρακτα θερμοκήπια προέρχεται από την κακή επαφή που παρουσιάζεται σταδιακά στα σημεία στήριξης του υαλοπίνακα με το σκελετό ή/και από το σπάσιμο των υαλοπινάκων (πχ. από χαλάζι ή απροσεξία λόγω του εύθραυστου που χαρακτηρίζει το γυαλί). Επιπλέον, ορισμένες ποιότητες γυαλιού με την πάροδο του χρόνου γίνονται πιο εύθραυστες (Θεοχάρης, 2015).

Το ειδικό βάρος του γυαλιού είναι  $25 \text{ KN/m}^3$ . Το υαλόφρακτο θερμοκήπιο απαιτεί φέρουσα κατασκευή ιδιαίτερης αντοχής και χωρίς να υφίσταται σημαντικές παραμορφώσεις από το βάρος των διαφόρων φορτίων, ενώ παράλληλα τα λεπτά

στοιχεία του σκελετού πρέπει να είναι κατασκευασμένα και τοποθετημένα με τέτοιο τρόπο, ώστε να επιτυγχάνεται καλή στεγανότητα στο νερό και τον αέρα.

Ο υαλοπίνακας μπορεί να είναι διαφανής, με τις δυο του επιφάνειες επίπεδες και λείες, ή διαφώτιστος, με τη μια επιφάνεια κυματοειδή ή φολιδωτή, ώστε να διευκολύνει τη διάχυση του φωτός. Συνήθως στην οροφή του θερμοκηπίου τοποθετούνται υαλοπίνακες με κυματοειδή ή φολιδωτή τη μια πλευρά για καλύτερη διάχυση του φωτός, ενώ στις πλευρές τοποθετούνται υαλοπίνακες με τις δυο τους επιφάνειες επίπεδες, γιατί το φως που εισέρχεται από πλάγια είναι στο μεγαλύτερο μέρος του διάχυτο (προερχόμενο κυρίως από ανακλάσεις στο έδαφος ή άλλα αντικείμενα). Η μη επίπεδη πλευρά του υαλοπίνακα της οροφής τοποθετείται προς το εσωτερικό του θερμοκηπίου, για να μην συγκρατείται η σκόνη. Το μέγιστο μέγεθος υαλοπίνακα που χρησιμοποιείται για την οροφή είναι 1,00m x 1,65m. (Θεοχάρης, 2015).

Το ποσοστό διέλευσης της μικρού μήκους κύματος ακτινοβολίας στους συνήθους πάχους υαλοπίνακες, είναι συγκριτικά από τα μεγαλύτερα (περίπου 90%) και επειδή η περατότητα αυτή είναι σχεδόν σταθερή στο χρόνο, ο υαλοπίνακας αποτελεί το μέτρο σύγκρισης όλων των άλλων διαφανών υλικών. Επιπλέον, με την πάροδο του χρόνου στα άλλα υλικά μειώνεται η περατότητα του φωτός ενώ στους υαλοπίνακες παραμένει η ίδια και το θερμοκήπιο καθίσταται σημαντικά φωτεινότερο. Η θερμική διαστολή του υαλοπίνακα εξαρτάται από την ποιότητα του γυαλιού και κυμαίνεται από  $5,6 \times 10^{-7}$  έως  $140 \times 10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ .

Τα τελευταία χρόνια κυκλοφορεί στο εμπόριο ο διπλός υαλοπίνακας με κενό χώρο μεταξύ των δύο επιφανειών του ή γεμάτος με  $\text{CO}_2$ , με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας. Ο διπλός υαλοπίνακας μειώνει το συντελεστή θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα περίπου στο μισό, αλλά μειονεκτεί στο ότι μειώνει την περατότητά του στο ορατό φως (Θεοχάρης, 2015).

#### Μαλακά πλαστικά υλικά κάλυψης

Κατασκευάζονται κυρίως από πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (LPDE ή PE), πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC), οξικό αιθυλ-βινυλεστέρα (EVA) και πολυεστέρα. Στην ίδια κατηγορία ανήκουν τα φύλλα πολυαμίδης, πολυστερίνης και πολυουρεθάνης, τα οποία όμως δεν προτιμώνται λόγω υψηλού κόστους, παρά τις καλές θερμικές και οπτικές ιδιότητές τους. Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν τα μαλακά πλαστικά φύλλα έναντι των άλλων υλικών κάλυψης είναι (Θεοχάρης, 2015):

- η χαμηλή τιμή τους,
- το μικρό τους βάρος,
- η ευκολία προσαρμογής τους σε διάφορα σχήματα του σκελετού,
- η δυνατότητα που παρέχουν για χρήση ελαφρότερου και φτηνότερου σκελετού και



- το χαμηλό κόστος αρχικής επένδυσης που επιτυγχάνεται στο σύνολο του θερμοκηπίου.

Το PE είναι το πιο διαδεδομένο υλικό για την κάλυψη των θερμοκηπίων κυρίως λόγω του χαμηλού κόστους αλλά και άλλων χαρακτηριστικών του όπως είναι η μεγάλη του ευλυγισία σε όλες τις θερμοκρασίες, οι καλές οπτικές ιδιότητές του, η με διαπερατότητα στο νερό και τους υδρατμούς, η δυνατότητα διαμόρφωσης των φύλλων σε μεγάλα πλάτη και η ευκολία προσαρμογής του σε φτηνές κατασκευές. Μειονεκτήματά του είναι οι μη επιθυμητές θερμικές του ιδιότητες και η μικρή διάρκεια ζωής του. Τέλος, το PE έχει την ιδιότητα να μη συγκρατεί την υπέρυθρη (θερμική) ακτινοβολία με αποτέλεσμα τη μεγάλη μείωση της θερμοκρασίας τις κρύες νύχτες, κάτι που διορθώνεται με προσθήκη ειδικών ουσιών και κατάλληλη επεξεργασία (Αντωνακούδη, 2014).

Το PVC, σε θερμοκρασίες άνω των 50°C αλλοιώνεται, ενώ σε χαμηλές θερμοκρασίες (-10°C) γίνεται εύθραυστο. Έτσι, στο PVC που χρησιμοποιείται για την κάλυψη θερμοκηπίων προστίθενται ουσίες, οι οποίες διευρύνουν τη ζώνη σταθερότητας του από 60°C έως -20°C, καθώς και πρόσθετα που του προσδίδουν μεγαλύτερη αντοχή στην υπεριώδη ακτινοβολία (Θεοχάρης, 2015). Τα φύλλα PVC χρησιμοποιούνται λιγότερο από τα PE εξαιτίας του υψηλότερου κόστους, αν και συγκεντρώνουν αρκετά πλεονεκτήματα. Έχουν πολύ καλές θερμικές ιδιότητες, παρουσιάζουν ανθεκτικότητα στην υπεριώδη ακτινοβολία, μεγάλη διαφάνεια στο ορατό φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας, παρέχουν καλύτερη θερμομόνωση του θερμοκηπίου και έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής (4-5 χρόνια). Ωστόσο, συγκεντρώνουν σκόνη στην επιφάνειά τους χάνοντας σταδιακά τη διαφάνειά τους και παρουσιάζουν μικρή μηχανική αντοχή (Αντωνακούδη, 2014).

Τα φύλλα EVA, αν και έχουν υψηλό κόστος, προσφέρονται στην αγορά με διάφορες μηχανικές και θερμικές ιδιότητες, καθώς και διαφορετική διάρκεια ζωής. Επιπλέον, χρησιμοποιούνται σε περιοχές με περιορισμένη ηλιοφάνεια, εξαιτίας της υψηλής διαφάνειάς τους και της αδιαπερατότητάς τους από τη θερμική ακτινοβολία (Αντωνακούδη, 2014).

Οι πολυεστέρες είναι προϊόντα πολυμερισμού της αιθυλικής αλκοόλης, της προπυλικής γλυκόζης και των μαλεϊκού και φουμαρικού οξέως. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των πολυεστερικών φύλλων είναι η μεγάλη διάρκεια ζωής, η έλλειψη στατικού ηλεκτρισμού, η οποία έχει ως αποτέλεσμα να μη συγκρατούν μεγάλη ποσότητα σκόνης στην επιφάνειά τους (όπως το PVC), καθώς και η περατότητά τους στο φως που πλησιάζει εκείνη του γυαλιού. Τέλος, σημαντικά μειονεκτήματά τους είναι ότι παράγονται σε μικρό πλάτος και έχουν αρκετά υψηλό κόστος (Θεοχάρης, 2015).

### Σκληρά πλαστικά υλικά κάλυψης

Τα σκληρά πλαστικά υλικά κάλυψης ενός θερμοκηπίου διατίθενται σε μορφή πλακών, επίπεδων, κυματοειδών, ενισχυμένων, με διπλά ή τριπλά τοιχώματα. Τα κύρια χαρακτηριστικά τους είναι το μικρότερο βάρος, η καλύτερη προσαρμογή τους στο σκελετό του θερμοκηπίου από το γυαλί και η μεγαλύτερη αντοχή στη θραύση, ενώ παράλληλα η αντικατάστασή τους απαιτείται λιγότερο συχνά από τα μαλακά φύλλα πλαστικού. Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα είναι οι πλάκες από πολυεστέρες ενισχυμένες με ίνες γυαλιού (fiberglass), οι πολυκαρβονικές επιφάνειες (PC), οι πλάκες από ενισχυμένο PVC και οι ακρυλικές πλάκες PMMA (πολυμεθακρυλικός μεθυλεστέρας) (Αντωνακούδη, 2014).

Οι πλάκες fiberglass προέρχονται από πολυεστέρα, στον οποίο έχει προστεθεί 20-34% ίνες γυαλιού με αποτέλεσμα την αυξημένη μηχανική αντοχή και την καλύτερη διάχυση του φωτός στο θερμοκήπιο. Άλλα πλεονεκτήματά τους είναι η αδιαπερατότητά τους στη θερμική ακτινοβολία και η ανθεκτικότητά τους στις χαλαζοπτώσεις. Τέλος, σημαντικό μειονέκτημά τους είναι η διάβρωση που υφίστανται με την πάροδο του χρόνου στην εξωτερική τους επιφάνεια, ενώ παράλληλα είναι αναγκαίος ο συχνός καθαρισμός και η συντήρησή τους λόγω της υποβάθμισης του υλικού κατά τη χρήση.

Οι PC κυκλοφορούν στο εμπόριο υπό μορφή απλών αυλακωτών επιφανειών και υπό μορφή διπλών τοιχωμάτων. Τα διπλά τοιχώματα χρησιμοποιούνται για την κάλυψη των θερμοκηπίων με στόχο τη μείωση των θερμικών απωλειών. Οι επιφάνειες αυτές αποτελούνται από δύο επίπεδα που συγκρατούνται από εγκάρσιες λωρίδες. Το κόστος ανά μονάδα επιφάνειας είναι ιδιαίτερα υψηλό, αλλά προσφέρει στο θερμοκήπιο σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας, η οποία είναι ανάλογη του πάχους της επιφάνειας. Σημαντικά μειονεκτήματά τους είναι η μείωση της περατότητάς τους στο φως με την πάροδο του χρόνου, η παρουσίαση κιτρινίσματος στο υλικό και η συμπύκνωση της υγρασίας που παρατηρείται μεταξύ των δύο επιφανειών, η οποία μειώνει ακόμα περισσότερο την περατότητα στο φως (Θεοχάρης, 2015).

Οι πλάκες στερεού PVC αποδομούνται σχετικά γρήγορα από την υπεριώδη ακτινοβολία, με αποτέλεσμα, στην αρχή να σκουραίνουν και να μειώνεται η περατότητα τους φωτός, ενώ αργότερα να γίνονται πιο εύθραυστα. Στα σημεία που έρχονται σε επαφή με το σκελετό του θερμοκηπίου υποβαθμίζεται γρηγορότερα και η μηχανική αντοχή τους. Η περατότητά τους στο φως εξαρτάται πολύ από τη μέθοδο που χρησιμοποιείται για τη σύνθεσή τους και από τα πρόσθετα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τους, γι' αυτό η ποιότητα ποικίλει πολύ μεταξύ των διαφόρων προϊόντων που διατίθενται στο εμπόριο. Τέλος, αν και έχουν χαμηλό κόστος, είναι πολύ μικρός ο χρόνος κατά τον οποίο διατηρούν τις ιδιότητές τους ως προς την περατότητα και την αντοχή, και παράλληλα η τοποθέτησή τους είναι αρκετά δύσκολη.

Οι ακρυλικές πλάκες PMMA έχουν πολύ καλό συντελεστή περατότητα στο φως με διάρκεια, παρουσιάζουν υψηλή μηχανική αντοχή και δεν παρουσιάζουν μεταβολή των χαρακτηριστικών τους σε ευρεία κλίμακα θερμοκρασιών. Ωστόσο, το κόστος τους είναι ιδιαίτερα υψηλό με αποτέλεσμα να μη βρίσκει γενική χρήση στα θερμοκήπια ως υλικό κάλυψης (Θεοχάρης, 2015).

Τέλος, ακολουθούν δύο συγκεντρωτικοί πίνακες (Πίνακες 2.4-2.5) στους οποίους παρουσιάζονται το ποσοστό διέλευσης ακτινοβολίας και το κόστος για ορισμένα υλικά κάλυψης θερμοκηπίων

**Πίνακας 2.4:** Ποσοστό διέλευσης ακτινοβολίας (φωτεινής και θερμικής) ανά υλικό κάλυψης θερμοκηπίου (Πηγή: Θεοχάρης, 2015)

Υλικό	Ποσοστό διέλευσης ακτινοβολίας (%)				
	Φωτεινής				Θερμικής
	Απλή κάλυψη		Διπλή κάλυψη		Απλή κάλυψη
	Απευθείας φως	Ολικό φως	Απευθείας φως	Ολικό φως	
Πολυαιθυλένιο διαφανές, καθαρό, χωρίς προσμίξεις	93	93	88	-	88
Πολυαιθυλένιο διαφανές, κοινό εμπορίου	76	89	-	80	71
Πολυαιθυλένιο UV	74	88	-	-	64
Γυαλί	86	90	75	-	1
PVC διαφανές	86	91	-	84	12
PVC «Haze»	-	89	-	82	12
Mylar	86	90	80	-	16
Πολυεστέρας ενισχυμένος με ίνες γυαλιού	68	78	-	64	1
Ακρυλικό διπλού επιπέδου	-	63-83	-	-	-
Polycarbonate διπλού επιπέδου	-	73-77	-	-	-

**Πίνακας 2.5:** Σύγκριση κόστους για διάφορα υλικά κάλυψης θερμοκηπίων (Πηγή: Θεοχάρης, 2015)

Υλικό	Αρχικό κόστος ανά $m^2$ υλικού	Διάρκεια ζωής (έτη)	Ετήσιο κόστος ανά $m^2$
Υαλοπίνακες	50	30+	2-2,5
Πολυαιθυλένιο (100-150m)	1-1,5	1	2,5-3,5
Πολυαιθυλένιο UV (100-150m)	2-2,5	2	2-2,5
PVC (200-300m)	6-9	4	2-3

## 2.4 Το εσωτερικό περιβάλλον ενός θερμοκηπίου

Αρχικά, ο όρος θερμοκήπιο χρησιμοποιήθηκε για την περιγραφή ενός χώρου καλυμμένου με διαφανή υλικά, στον οποίο καλλιεργούνται κηπευτικά, δρεπτά άνθη και διακοσμητικά φυτά. Το περιβάλλον του συγκεκριμένου χώρου ελεγχόταν χειροκίνητα έτσι ώστε να δημιουργούνται οι κατάλληλες συνθήκες για την επιμήκυνση της καλλιεργητικής περιόδου.

Η χρήση μεθόδων ελέγχου του εσωτερικού περιβάλλοντος του θερμοκηπίου, όπως τα κεντρικά συστήματα θέρμανσης, η διατήρηση της σχετικής υγρασίας σε ιδανικά επίπεδα, ο εμπλουτισμός με διοξείδιο του άνθρακα, ο μηχανικός αερισμός και ο συμπληρωματικός φωτισμός επέκτειναν την περίοδο χρήσης των θερμοκηπίων κατά τη διάρκεια όλου του έτους (ASHRAE, 1997).

Ο σωστός σχεδιασμός του θερμοκηπίου και ο έλεγχος του εσωτερικού περιβάλλοντος δίνουν τη δυνατότητα στον παραγωγό να ελέγχει την παραγωγική διαδικασία, ανεξάρτητα από τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες. Η βελτιστοποίηση του σχεδιασμού και του ελέγχου της παραγωγής στο θερμοκήπιο αποτελούν στρατηγικά και επιχειρησιακά θέματα διαχείρισης για τη βελτιστοποίηση της οικονομικής παραγωγής ειδικά στον κλάδο των οπωροκηπευτικών.

### 2.4.1 Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος

Η θερμοκρασία διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο στις βασικές λειτουργίες των καλλιεργούμενων φυτών, όπως η φωτοσύνθεση, η διαπνοή, η αναπνοή και ο μεταβολισμός. Οι περισσότερες πληροφορίες για τη συμπεριφορά των φυτών στις μεταβολές της θερμοκρασίας βασίζονται στη θερμοκρασία του αέρα, και όχι σε εκείνη των φυτών (ASHRAE, 1997). Όπως σε κάθε οργανισμό, έτσι και στα φυτά υπάρχει ένα εύρος θερμοκρασιών, που καλείται εύρος ή ζώνη άνεσης, μέσα στο οποίο τα φυτά μπορούν να αναπτυχθούν σωστά και να έχουν τη μέγιστη απόδοση (Νικήτα-

Μαρτζοπούλου, 1994). Ανάλογα με το είδος του φυτού, αλλά και το στάδιο ανάπτυξής του, οι ιδανικές θερμοκρασίες στο εσωτερικό ενός θερμοκηπίου ποικίλουν και σχετίζονται με την ηλιακή ακτινοβολία, την υγρασία, το CO<sub>2</sub> και τον αερισμό. Οι ιδανικές συνθήκες για την ανάπτυξη των περισσότερων θερμοκηπιακών καλλιεργειών κυμαίνονται μεταξύ των 10°C και 30°C. Τόσο η αύξηση, όσο και η ανάπτυξη πολλών φυτικών ειδών, επηρεάζεται σημαντικά από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της ημέρας και της νύχτας (Ντόγρας, 2001). Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται οι άριστες τιμές θερμοκρασίας για την ανάπτυξη των κυριότερων θερμοκηπιακών καλλιεργειών.

**Πίνακας 2.6:** Οι θερμοκρασιακές απαιτήσεις των κυριότερων θερμοκηπιακών καλλιεργειών (Ολυμπίου, 2001; Καυγά, 2010)

Καλλιέργεια	Θερμοκρασία ημέρας (°C)	Θερμοκρασία νύχτας (°C)
Τομάτα	21-27	14-16
Αγγούρι	19-24	16-19
Μαρούλι	17-21	14-16
Πιπεριά	22-24	16-19
Μελιτζάνα	21-27	16-18
Κολοκύθι	25-27	16-18
Καρπούζι	21-27	18-20
Τριαντάφυλλο	23	16-18
Χρυσάνθεμο	18-22	16-18

#### 2.4.2 Υγρασία εσωτερικού περιβάλλοντος

Η υγρασία αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν το εσωτερικό περιβάλλον ενός θερμοκηπίου, καθώς η περιεκτικότητα του εσωτερικού αέρα σε υδρατμούς επηρεάζει την ανάπτυξη των καλλιεργούμενων φυτών. Ειδικότερα, η σχετική υγρασία καθορίζει το ρυθμό με τον οποίο τα φυτά προσλαμβάνουν νερό, το ρυθμό μεταφοράς θερμότητας και την εμφάνιση ασθενειών στην καλλιέργεια (Πίνακας 2.7). Έτσι, στο εσωτερικό ενός θερμοκηπίου είναι απαραίτητος ο έλεγχος της υγρασίας με στόχο την επίτευξη συνδυασμού άριστης θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας, που έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγής, τη βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων, την εξοικονόμηση ενέργειας και κατά συνέπεια τη μείωση του κόστους παραγωγής.

**Πίνακας 2.7:** Βέλτιστα επίπεδα σχετικής υγρασίας για την ανάπτυξη των κυριότερων θερμοκηπιακών καλλιεργειών (Πηγή: Γραφιαδέλλης, 1987; Ντόγρας, 2001)

Καλλιέργεια	Σχετική υγρασία (%)
Τομάτα	60-75 (70 για τη γονιμοποίηση των ανθέων)
Αγγούρι	75-80 (65-70 για την περίοδο καρποφορίας)
Μαρούλι	65-80
Πιπεριά	70-80
Μελιτζάνα	70-80

#### 2.4.3 Εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία στο θερμοκήπιο

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι γνωστή ως ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος (0,3-3μm), όπου συμπεριλαμβάνεται το 98% της εκπεμπόμενης ηλιακής ενέργειας. Μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η ορατή ακτινοβολία - φως (0,38-0,78μm), η οποία χρησιμοποιείται από τα φυτά για τη φωτοσύνθεση, και για το λόγο αυτό καλείται και φωτοσυνθετικά ενεργός ακτινοβολία (photosynthetically active radiation - PAR). Σύμφωνα με τους Cockshull et al. (1992) αύξηση της PAR κατά 1% έχει ως αποτέλεσμα έως και 1% αύξηση στην απόδοση της τομάτας.

Ανάλογα με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας παρατηρούνται διαφοροποιήσεις στην ιδανική θερμοκρασία για τα φυτά. Αύξηση της έντασης, άρα και της θερμοκρασίας μέσα στο θερμοκήπιο, εντείνει το ρυθμό αναπνοής και διαπνοής των φυτών. Επιπλέον, η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας επηρεάζει και την απαιτούμενη διαφορά θερμοκρασίας ημέρας και νύχτας για την ταχύτερη ανάπτυξη των φυτών. Πιο συγκεκριμένα, τις ημέρες με ηλιοφάνεια προτιμάται διαφορά θερμοκρασίας ημέρας και νύχτας της τάξεως των 8°C, ενώ τις ημέρες με συννεφιά 3 έως 6°C (Ντόγρας, 2001).

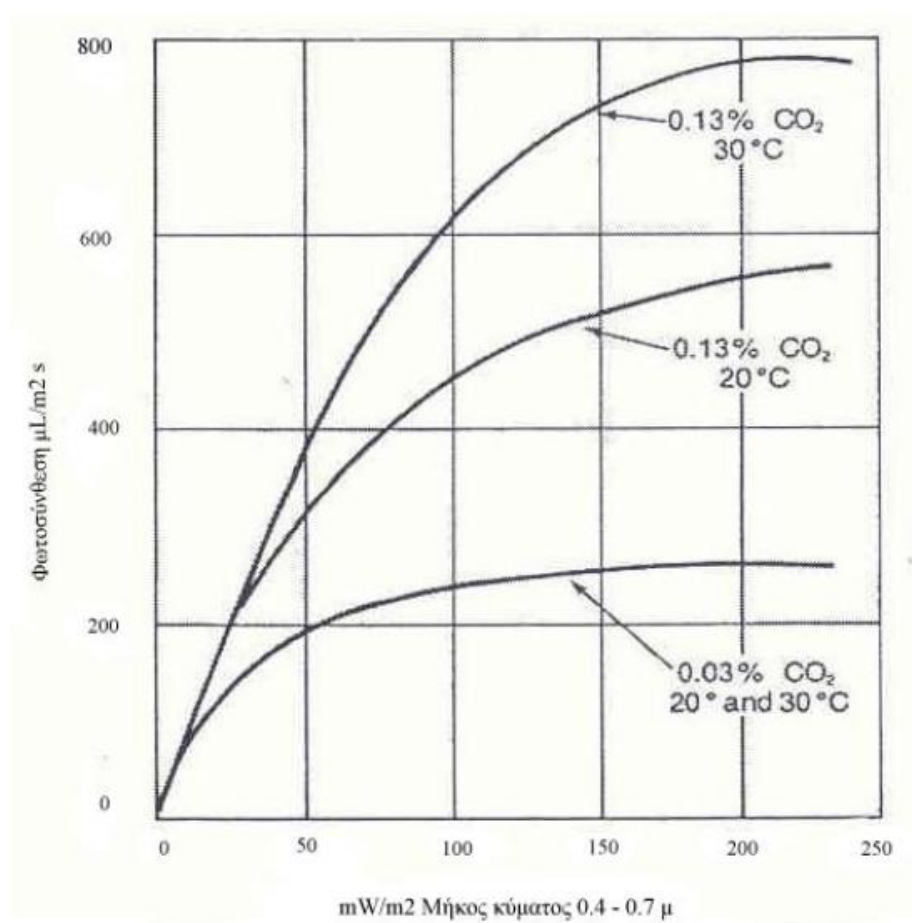
#### 2.4.4 Διοξείδιο του άνθρακα

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) της ατμόσφαιρας επηρεάζει άμεσα την ανάπτυξη των φυτών, καθώς αποτελεί απαραίτητο στοιχείο της φωτοσύνθεσης. Στο εξωτερικό περιβάλλον η συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα συγκέντρωσης από 300 έως 340 ppm (0,030-0,034%), ανάλογα με την περιοχή (αστική, αγροτική, βιομηχανική) χωρίς ιδιαίτερες διακυμάνσεις.

Η αυξομείωση της συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> στο εσωτερικό περιβάλλον του θερμοκηπίου επηρεάζεται από την ηλιακή ακτινοβολία, τη θερμοκρασία, τον αερισμό και το στάδιο ανάπτυξης των φυτών. Έτσι, ένταση ηλιακής ακτινοβολίας και επίπεδα θερμοκρασίας που αυξάνουν τη φωτοσύνθεση προκαλούν μείωση της συγκέντρωσης

του CO<sub>2</sub>. Αντίθετα, χαμηλή ένταση ηλιακής ακτινοβολίας και υψηλή θερμοκρασία εντείνουν το φαινόμενο της αναπνοής, με αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub>.

Το CO<sub>2</sub> αυξάνεται αισθητά όταν ανοίγουν τα παράθυρα, ενώ όσο μεγαλύτερα είναι τα φυτά, τόσο μεγαλύτερες είναι οι ανάγκες τους σε CO<sub>2</sub>. Η αύξηση της συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> στο εσωτερικό του θερμοκηπίου προκαλεί αύξηση του ρυθμού της φωτοσύνθεσης ως ένα σημείο. Ικανοποιητικά αποτελέσματα στην αύξηση της ανάπτυξης και της παραγωγής προκύπτουν όταν η συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> κυμαίνεται από 600 ως 900 ppm. Αν συγχρόνως αυξηθεί και η εσωτερική θερμοκρασία, τότε ο ρυθμός φωτοσύνθεσης αυξάνεται περισσότερο. Στο Σχήμα 2.5 παρουσιάζεται η επίδραση της συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> στην φωτοσύνθεση φύλλων αγγουριού σε θερμοκρασίες 20°C και 30°C.



**Σχήμα 2.5:** Επίδραση της συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> στην φωτοσύνθεση φύλλων αγγουριού σε θερμοκρασίες 20°C και 30°C (Πηγή: ASHRAE, 1997)

## **2.5 Θέρμανση θερμοκηπίων**

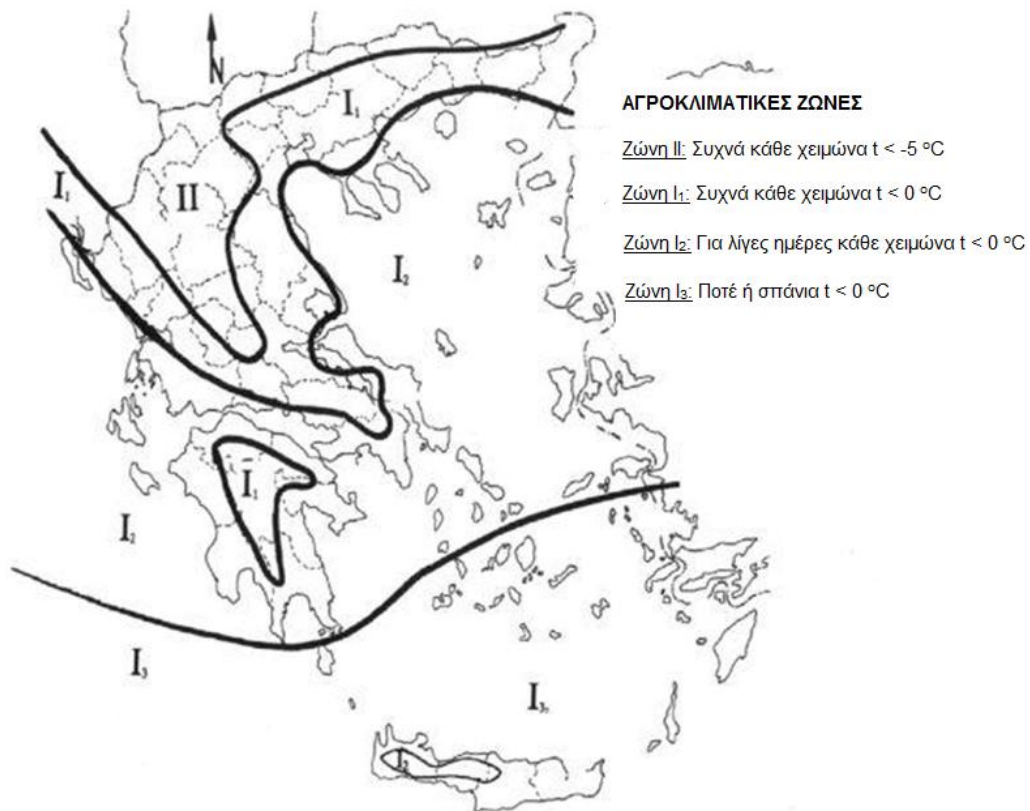
Η θερμότητα είναι μία μορφή ενέργειας και αποτελεί απαραίτητο συντελεστή στην ανάπτυξη των φυτών. Η θερμοκρασία του αέρα μπορεί να καθορίσει τη θερμική ενέργεια που υπάρχει σε ένα θερμοκήπιο, αν και αποτελεί δείκτη και όχι μέτρο του ποσού της θερμικής ενέργειας (Νικήτα-Μαρτζοπούλου, 1994). Ο πρωταρχικός στόχος στα εμπορικά θερμοκήπια είναι οι μέγιστες αποδόσεις προϊόντων στις εκτός εποχής καλλιέργειες, διατηρώντας τη βέλτιστη θερμοκρασία σε όλα τα στάδια της καλλιέργειας (Sethi and Sharma, 2008). Κατά τη διάρκεια όμως του χειμώνα η θερμοκρασία του αέρα μέσα σε μη θερμαινόμενα θερμοκήπια μπορεί να πέσει αρκετά χαμηλότερα από το άριστο εύρος των καλλιεργειών, ειδικά τη νύχτα. Απαραίτητη λοιπόν προϋπόθεση για τη βελτίωση της παραγωγής θερμοκηπιακών προϊόντων, τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά, είναι η ρύθμιση του περιβάλλοντος του θερμοκηπίου σε ιδανικές συνθήκες για την ανάπτυξη των φυτών μέσω ενός κατάλληλου συστήματος θέρμανσης.

### **2.5.1 Κατανάλωση ενέργειας σε θερμοκήπια**

Τα θερμοκήπια αποτελούν τον πιο ενεργοβόρο τομέα της γεωργικής παραγωγής. Η ανάγκη μείωσης του ενεργειακού κόστους έχει ιδιαίτερη σημασία, καθώς η ενέργεια αποτελεί μεγάλο μέρος του συνολικού κόστους παραγωγής. Η κατανάλωση ενέργειας καθορίζεται κυρίως από την επιθυμητή θερμοκρασία. Σε περιόδους που επικρατούν χαμηλές θερμοκρασίες, η κατανάλωση ενέργειας για την κάλυψη των θερμικών αναγκών των θερμοκηπίων παρουσιάζει σημαντική αύξηση.

Έτσι, η ανάπτυξη των ελληνικών θερμοκηπίων εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν (Σχήμα 2.6). Σε περιοχές όπου ο χειμώνας είναι ήπιος και δεν υπάρχουν παγετοί (Κρήτη, Αττική, Κυκλάδες, Νοτιοδυτική Πελοπόννησος, Χαλκιδική), ενδείκνυται η κατασκευή θερμοκηπίων, καθώς οι ανάγκες σε θέρμανση δεν είναι μεγάλες.





**Σχήμα 2.6:** Αγροκλιματικές ζώνες στην Ελλάδα (Πηγή: Κυρίτσης, 1989)

Για τη διατήρηση των επιθυμητών επιπέδων θερμοκρασίας εντός των θερμοκηπίων καταναλώνονται μεγάλες ποσότητες συμβατικών καυσίμων. Αποτέλεσμα του υψηλού κόστους που απαιτείται για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας τις χειμερινές περιόδους είναι πολλές φορές οι παραγωγοί να διακόπτουν τη λειτουργία των θερμοκηπίων, έως ότου επανέλθουν τα επιτρεπτά επίπεδα θερμοκρασίας για τη λειτουργία τους χωρίς τη χρήση συστημάτων θέρμανσης. Επιπλέον, το υψηλό λειτουργικό κόστος των θερμοκηπίων κατά τις περιόδους αυτές οδηγεί σε αύξηση των τελικών τιμών των προϊόντων σε σχέση με τις αντίστοιχες των καλοκαιρινών περιόδων.

Η κατάσταση αυτή ενισχύεται και από το γεγονός ότι η πλειονότητα των καλλιεργειών των θερμοκηπίων αναπτύσσονται από την άνοιξη και μετά, με συνέπεια οι παραγόμενες ποσότητες το χειμώνα να κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα. Έτσι, η ανεπάρκεια των προϊόντων καθιστά αναγκαία τη μεταφορά τους σε μεγάλες αποστάσεις εντός της χώρας, αυξάνοντας με τον τρόπο αυτό την τελική τιμή τους, ή έχει ως επακόλουθο την εισαγωγή τους από το εξωτερικό. Επομένως, βασικός στόχος των παραγωγών είναι η μείωση της κατανάλωσης των συμβατικών καυσίμων που χρησιμοποιούνται για την κάλυψη των θερμικών αναγκών και η βελτίωση των επιπέδων της θερμοκρασίας, της υγρασίας και της ηλιακής ακτινοβολίας.

Η εφαρμογή των συστημάτων θέρμανσης - αερισμού αποδεικνύεται μια καλή πρακτική, αλλά η λειτουργία τους στηρίζεται κατά κύριο λόγο στη ρύθμιση της

θερμοκρασίας, όπως και των περισσότερων συστημάτων εξοικονόμησης ενέργειας. Εκτός από ακραίες περιπτώσεις, η ρύθμιση και ο έλεγχος της θερμοκρασίας και της υγρασίας των θερμοκηπίων μπορεί να επιτευχθεί σε ικανοποιητικό βαθμό με τη χρήση συστημάτων θέρμανσης τα οποία λειτουργούν με μια κρίσιμη τιμή θερμοκρασίας σε συνδυασμό με συστήματα αερισμού τα οποία λειτουργούν με μια κρίσιμη τιμή υγρασίας, με αποτέλεσμα να μην παρατηρείται σημαντική επιβάρυνση του κόστους θέρμανσης.

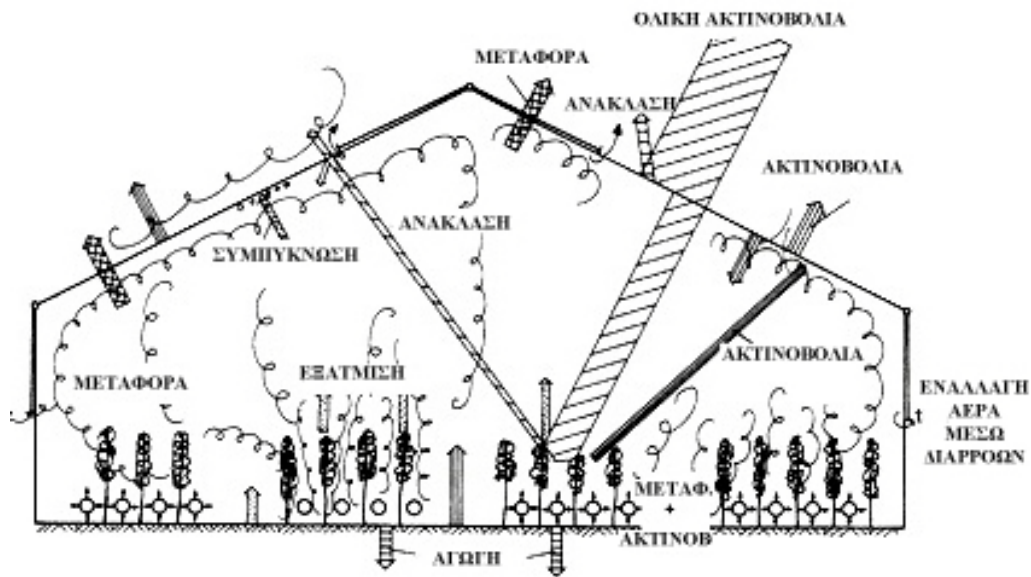
Με τη χρήση και τη σωστή διαχείριση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), καθώς και την εφαρμογή συστημάτων εξοικονόμησης ενέργειας είναι δυνατή η επίτευξη μείωσης του κόστους παραγωγής των θερμοκηπιακών καλλιεργειών. Η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας είναι ένας παράγοντας, ο οποίος μπορεί να συνεισφέρει προς αυτή την κατεύθυνση, αρκεί να χρησιμοποιούνται κατάλληλα συστήματα τα οποία να αξιοποιούν κατά το μέγιστο τα διαθέσιμα ποσά της ηλιακής ακτινοβολίας. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, η ηλιακή ακτινοβολία (ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος) είναι η κύρια πηγή θερμότητας των θερμοκηπίων, σε συνδυασμό με τη μεγάλη μήκους κύματος ακτινοβολία που εκπέμπεται από την ατμόσφαιρα. Άλλωστε, το θερμοκήπιο είναι από μόνο του ένας ηλιακός συλλέκτης. Έτσι, καθίσταται δυνατή η παραγωγή προϊόντων καλύπτοντας τη ζήτηση κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ενώ παράλληλα μειώνονται οι εισαγωγές προϊόντων διατηρώντας τις τιμές τους σε φυσιολογικά επίπεδα. Με αυτό τον τρόπο, εκτός από την κάλυψη των αναγκών των τοπικών αγορών μπορεί να επιτευχθεί και εξαγωγή των προϊόντων στην Ευρώπη.

### **2.5.2 Μετάδοση θερμότητας σε ένα θερμοκήπιο**

Η μετάδοση θερμότητας που λαμβάνει χώρα σε ένα θερμοκήπιο εξαρτάται από παράγοντες όπως:

- η ηλιακή ακτινοβολία,
- η εσωτερική θερμοκρασία,
- η υγρασία,
- η φυτική μάζα,
- το έδαφος και
- τα κατασκευαστικά στοιχεία του θερμοκηπίου.

Η ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται στο θερμοκήπιο, απορροφάται από τα διάφορα σώματα εντός του θερμοκηπίου (όπως τα φυτά, το έδαφος, τα κατασκευαστικά στοιχεία και το τυχόν εξοπλισμό του) και στη συνέχεια μεταδίδεται στον αέρα του θερμοκηπίου με αποτέλεσμα τη θέρμανση του. Στο Σχήμα 2.7 που ακολουθεί απεικονίζονται οι τρόποι μεταφοράς θερμότητας σε ένα θερμοκήπιο.



**Σχήμα 2.7:** Αναπαράσταση των τρόπων μετάδοσης της θερμότητας σε ένα θερμοκήπιο (Πηγή: Lange et al., 2002)

Πιο αναλυτικά, οι τρόποι μετάδοσης της θερμότητας που λαμβάνουν χώρα ώστε να επιτευχθεί η θέρμανση στο εσωτερικό του θερμοκηπίου είναι:

- ❖ Η ηλιακή ακτινοβολία φτάνει στην επιφάνεια της γης θερμαίνοντας την ατμόσφαιρα.
- ❖ Ο ατμοσφαιρικός αέρας ανταλλάσει θερμότητα με το υλικό κάλυψης του θερμοκηπίου με μεταφορά.
- ❖ Το υλικό κάλυψης ανταλλάσει θερμότητα με τον εσωτερικό αέρα του θερμοκηπίου.
- ❖ Το θερμοκήπιο ανταλλάσει θερμότητα με ακτινοβολία (thermal radiation), μεταφορά (convection) και αγωγή (conduction).
- ❖ Ο εσωτερικός αέρας ανταλλάσει θερμότητα με μεταφορά και λανθάνουσα θερμότητα (latent heat).
- ❖ Η φυτική μάζα ανταλλάσει θερμότητα με ακτινοβολία, μεταφορά και αγωγή με όλα τα περιεχόμενα σώματα εντός του θερμοκηπίου, καθώς και με το υλικό κάλυψης. Στην ανταλλαγή αυτή συμμετέχει και η διαδικασία της διαπνοής.
- ❖ Το έδαφος ανταλλάσει θερμότητα με ακτινοβολία, μεταφορά και αγωγή με όλα τα περιεχόμενα σώματα εντός του θερμοκηπίου, καθώς και με το υλικό κάλυψης. Στην ανταλλαγή αυτή συμμετέχει και η διαδικασία της εξάτμισης της περιεχόμενης σε αυτό υγρασίας.
- ❖ Το σύστημα θέρμανσης μεταδίδει θερμότητα προς το εσωτερικό περιβάλλον του θερμοκηπίου.
- ❖ Τέλος, η άρδευση συμβάλλει και αυτή στη μετάδοση της θερμότητας λόγω της μεταβολής της περιεχόμενης υγρασίας του εδάφους, καθώς και της μεταβολής της σχετικής υγρασίας του αέρα του θερμοκηπίου.

### 2.5.3 Μηχανισμοί μετάδοσης της θερμότητας

Η θερμότητα ορίζεται ως η ενέργεια που μεταφέρεται μεταξύ δύο συστημάτων ή ενός συστήματος και του περιβάλλοντος εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ τους. Η μετάδοση θερμότητας πραγματοποιείται πάντα από το σύστημα με την υψηλότερη θερμοκρασία προς αυτό με τη χαμηλότερη και διαρκεί για όσο τα δυο συστήματα διαφορετικής θερμοκρασίας βρίσκονται σε θερμική επαφή και έως ότου επέλθει θερμική ισορροπία. Μόλις τα δύο συστήματα αποκτήσουν την ίδια θερμοκρασία παύει η μετάδοση θερμότητας. Η ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ των σωμάτων μπορεί να γίνει με αγωγή, με μεταφορά (ή συναγωγή) και με ακτινοβολία (Νικήτα-Μαρτζοπούλου Χ., 2009β).

#### Αγωγή

Η μετάδοση της θερμότητας με αγωγή οφείλεται στη θερμική αλληλεπίδραση μεταξύ των γειτονικών σωματιδίων και πραγματοποιείται από τα σωματίδια με την υψηλότερη θερμική ενέργεια προς αυτά με τη χαμηλότερη. Η αγωγή παρατηρείται τόσο στα στερεά, όσο και στα υγρά και τα αέρια. Η μετάδοση θερμότητας με αγωγή, διέπεται από το νόμο του Fourier (Σελλούντος, Ντίνας):

$$Q = \lambda \frac{A}{l} \Delta T \quad (2.1)$$

όπου:

$Q$  = η ποσότητα της μεταφερόμενης θερμότητας (σε W),

$\lambda$  = η ειδική αγωγιμότητα ή συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας (σε kcal/mh<sup>o</sup>C ή W/mK),

$A$  = η κάθετη προς τη διεύθυνση μεταφοράς επιφάνεια (σε m<sup>2</sup>),

$l$  = το πάχος (σε m) και

$\Delta T$  = η διαφορά θερμοκρασίας μέσα - έξω (σε <sup>o</sup>C ή K).

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$  εκφράζει το ποσό της θερμότητας που διέρχεται σε 1sec από 1m<sup>2</sup> της επιφάνειας ενός σώματος, πάχους 1m, όταν μεταξύ των δύο επιφανειών του σώματος υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας 1<sup>o</sup>C. Η θερμική αγωγιμότητα αποτελεί τη χαρακτηριστική ιδιότητα των υλικών, η οποία εκφράζει την ευκολία ή τη δυσκολία με την οποία η θερμότητα διαπερνά τη μάζα των υλικών. Η αντίσταση ( $R$ ) που προβάλλει ένα σώμα στη διέλευση της θερμότητας είναι ανάλογη με το πάχος και αντιστρόφως ανάλογη με την αγωγιμότητα του ( $R = 1/\lambda$ ). Ανάλογα με την τιμή  $\lambda$  τα υλικά διακρίνονται σε μονωτικά, ημιπερατά, ελαφρώς ημιπερατά, περατά, λίαν περατά, ημιαγωγοί και αγωγοί.

### Μεταφορά ή Συναγωγή

Η μετάδοση της θερμότητας με μεταφορά (ή συναγωγή) μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους. Στον πρώτο, η θερμότητα μεταδίδεται με διάχυση ενέργειας μέσω των σωματιδιακών αλληλεπιδράσεων, ενώ ο δεύτερος τρόπος έχει σχέση με τη μακροσκοπική κίνηση του ρευστού κατά τη διάρκεια της οποίας τα στοιχειώδη σωματίδια μαζί με τη μάζα μεταφέρουν και θερμική ενέργεια, η οποία σχετίζεται με την τυχαία κίνησή τους, την εσωτερική περιστροφή τους και την ταλάντωσή τους. Προκύπτει, λοιπόν, πως γρηγορότερη κίνηση του ρευστού συνεπάγεται μεγαλύτερη μετάδοση θερμότητας. Έτσι, για τον υπολογισμό της μετάδοσης θερμικής ενέργειας με μεταφορά, θα πρέπει να συνυπολογιστεί η μετάδοση λόγω συγκρούσεων των σωματιδίων (διάχυση) και η μετάδοση λόγω της μεταφοράς της θερμικής ενέργειας των σωματιδίων μέσω της κίνησης του ρευστού.

Κατά τη μετάδοση της θερμότητας με μεταφορά, μεταφέρονται ποσότητες θερμότητας από τα θερμότερα προς τα ψυχρότερα τμήματα του ρευστού με τη μετακίνηση μαζών του ρευστού. Ο νόμος που διέπει τη μετάδοση της θερμότητας με μεταφορά είναι ο νόμος του Newton:

$$Q = \alpha \Delta T \quad (2.2)$$

όπου:

$\alpha$  = ο συντελεστής θερμικής μεταφοράς ή συντελεστής συναγωγής (σε kcal/m<sup>2</sup>h°C ή W/m<sup>2</sup>K).

Ο συντελεστής θερμικής μεταφοράς  $\alpha$  εκφράζει το ποσό της θερμότητας που μεταδίδεται με μεταφορά σε χρόνο 1sec από μία επιφάνεια εμβαδού 1m<sup>2</sup> στον επαπτόμενο με αυτήν αέρα (και αντίστροφα) και όταν μεταξύ της επιφάνειας και του αέρα υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας 1°C. Τέλος, εξαρτάται από τις μεταβλητές που επηρεάζουν τη μεταφορά, όπως, η γεωμετρία της επιφάνειας, οι ιδιότητες του ρευστού, η φύση της κίνησης του ρευστού και η ταχύτητα στην κύρια μάζα.

Η μετάδοση της θερμότητας με μεταφορά διακρίνεται σε φυσική και εξαναγκασμένη μεταφορά. Η φυσική μεταφορά είναι αποτέλεσμα της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ των σωμάτων – επιφανειών και του περιβάλλοντος αέρα. Από την άλλη πλευρά, η εξαναγκασμένη μεταφορά θερμότητας είναι αποτέλεσμα της κίνησης του αέρα από τη λειτουργία ανεμιστήρα ή αντλίας.

### Ακτινοβολία

Οποιοδήποτε σώμα με θερμοκρασία μεγαλύτερη του απόλυτου μηδενός (0 K ή -273 °C) εκπέμπει θερμική ακτινοβολία με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Η μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία μπορεί να πραγματοποιηθεί στο κενό χωρίς να

απαιτείται η παρουσία υλικού μέσου. Η ενέργεια που εκπέμπεται από μια επιφάνεια δίνεται από το νόμο των Stefan-Boltzman:

$$Q = cAT^4 \quad (2.3)$$

όπου:

$c$  = η σταθερά Stefan - Boltzmann ( $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$  ή  $4,9 \cdot 10^{-8} \text{ kcal}/(\text{m}^2\text{hK}^4)$ ),

$T$  = η απόλυτη θερμοκρασία (σε K ή °C).

Η εξίσωση (2.3) ισχύει για τα σώματα που χαρακτηρίζονται ως "μέλανα". Ως "μέλαν σώμα" χαρακτηρίζεται η ιδανική επιφάνεια που απορροφάει όλη την προσπίπτουσα σε αυτή ακτινοβολία, αλλά ταυτόχρονα εκπέμπει ακτινοβολία με το μέγιστο ρυθμό, ενώ η ακτινοβολία που εκπέμπεται από ένα τέτοιο σώμα ονομάζεται ακτινοβολία μέλανος σώματος. Στην πραγματικότητα, σε όλα τα σώματα η ακτινοβολία που εκπέμπεται από τις επιφάνειές τους είναι μικρότερη από την ακτινοβολία του μέλανος σώματος (ASHRAE, 1997). Για το λόγο αυτό στην εξίσωση Stefan-Boltzman προστίθεται ο όρος  $\epsilon$  και η εξίσωση (2.3) παίρνει τη μορφή:

$$Q = \epsilon cAT^4 \quad (2.4)$$

όπου:

$\epsilon$  = η ικανότητα εκπομπής ή εκπεμπτικότητα (αδιάστατο μέγεθος).

Η ικανότητα εκπομπής εκφράζει το κατά πόσο μία πραγματική επιφάνεια προσεγγίζει το μέλαν σώμα ή αλλιώς είναι ο λόγος της ικανότητας εκπομπής του πραγματικού σώματος προς την ικανότητα του μέλανος σώματος. Η τιμή της κυμαίνεται μεταξύ 0-1 και εξαρτάται από το υλικό και τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας.

Όταν η ακτινοβολία προσπίπτει σε μία επιφάνεια ένα μέρος της απορροφάται, ένα άλλο ανακλάται και το υπόλοιπο διαπερνά την επιφάνεια. Από τον πρώτο νόμο της θερμοδυναμικής προκύπτει ότι:

$$a + t + r = 1 \quad (2.5)$$

όπου:

$a$  = το ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που απορροφάται, δηλαδή η απορροφητικότητα (%),

$t$  = το ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που διαπερνά το υλικό, δηλαδή η διαπερατότητα (%),

$r$  = το ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που ανακλάται, δηλαδή η ανάκλαση (%)

Για τα αδιαφανή υλικά ισχύει:  $t = 0$  και  $a + r = 1$ , ενώ για τα μελανά σώματα ισχύει:  $a = 1$  και  $t, r = 0$ .

Η απορροφητικότητα  $a$ , δηλαδή η ικανότητα απορρόφησης ορίζει το ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που απορροφά μία επιφάνεια, παίρνει τιμές μεταξύ 0-1 και εξαρτάται από το υλικό της επιφάνειας αλλά και από το είδος της ακτινοβολίας. Από τα παραπάνω προκύπτει το συμπέρασμα, ότι η εκπεμπτικότητα ( $\epsilon$ ) και η απορροφητικότητα ( $a$ ) μίας επιφάνειας εξαρτώνται από τη θερμοκρασία και από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας και είναι αριθμητικά ίσες.

### Ολική μετάδοση θερμότητας

Κατά τη μετάδοση της θερμότητας, στις περισσότερες περιπτώσεις, συμβάλλουν περισσότεροι από ένας τρόποι μετάδοσης. Για το λόγο αυτό, οι συντελεστές μετάδοσης θερμότητας συνδυάζονται, ώστε να προκύψει ένας ολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας. Στην περίπτωση αυτή, η ολική μετάδοση θερμότητας υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη τις θερμοκρασίες που έχουν τα άκρα της διαδρομής της θερμότητας με την ακόλουθη σχέση:

$$Q = AU\Delta T \quad (2.6)$$

όπου:

$U$  = ο ολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας ή θερμοπερατότητας (σε  $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ ).

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας εκφράζει το ποσό της θερμότητας που περνάει με αγωγή και μεταφορά από μία επιφάνεια  $1m^2$  σε  $1sec$  όταν στις δύο παρειές της επιφάνειας υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας  $1^\circ C$ . Τέλος, είναι το αντίστροφο της θερμικής αντίστασης, δηλαδή  $U = 1/R$ .

### Ισοζύγιο ενέργειας θερμοκηπίων

Το θερμικό ισοζύγιο ενός θερμοκηπίου (Σχήμα 2.8) είναι μια πολυδιάστατη ποσότητα που περιγράφεται από την ακόλουθη εξίσωση (Hellickson and Walker, 1983; Νικήτα - Μαρτζοπούλου, 2009α):

$$Q_I + Q_e + Q_f + Q_r = \pm(Q_{cd} + Q_g) + Q_v + Q_i + Q_t + Q_p \quad (2.7)$$

όπου:

$Q_I$  = ροή θερμότητας από την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία,

$Q_e$  = ροή θερμότητας από εξοπλισμούς (είναι συνεχής όταν οι εξοπλισμοί βρίσκονται σε λειτουργία),

$Q_f$  = θερμική ενέργεια από το σύστημα θέρμανσης (λαμβάνεται υπόψη μόνο όταν απαιτείται θέρμανση),

$Q_r$  = ροή θερμότητας κατά τη διάρκεια αναπνοής των φυτών (συνήθως εκτιμάται ως πολύ μικρή),

$Q_{cd}$  = απώλεια ή κέρδος θερμότητας με αγωγή,

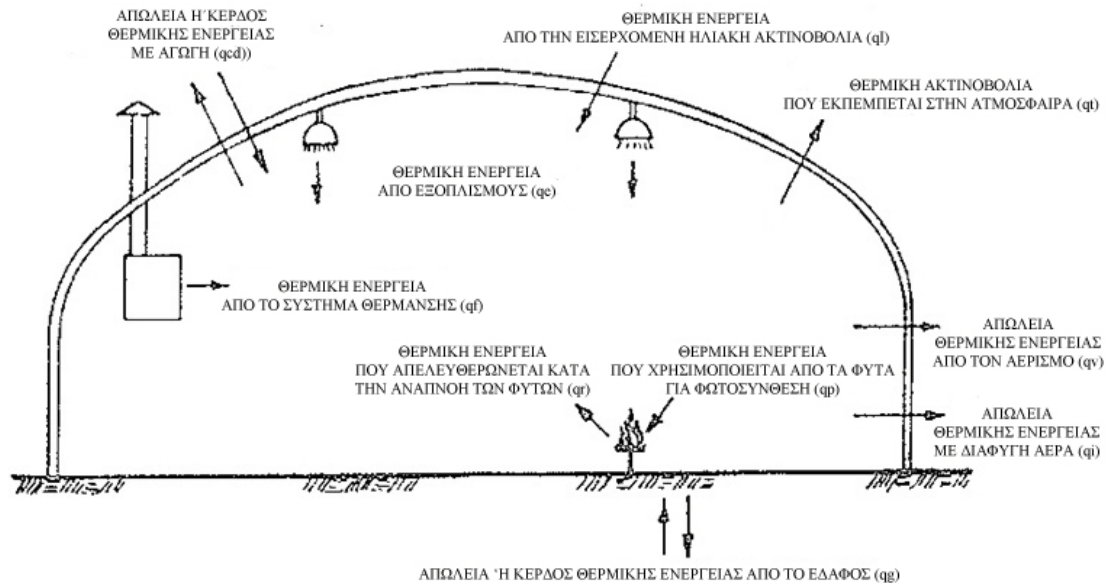
$Q_g$  = απώλεια ή κέρδος θερμότητας προς ή από το έδαφος (θεωρείται αμελητέα καθώς πολλές φορές το έδαφος είναι μονωμένο με εδαφοκάλυμμα),

$Q_v$  = απώλεια θερμότητας από τον αερισμό,

$Q_i$  = απώλεια θερμότητας με διαφυγή αέρα,

$Q_t$  = θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα,

$Q_p$  = απώλεια θερμότητας κατά τη φωτοσύνθεση των φυτών (συνήθως εκτιμάται ως πολύ μικρή).



**Σχήμα 2.8:** Αναπαράσταση του θερμικού ισοζυγίου ενός θερμοκηπίου (Πηγή: Helleckson and Walker, 1983)

Οι παράγοντες  $Q_i$ ,  $Q_{cd}$ ,  $Q_v$  και  $Q_t$  υπολογίζονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$Q_i = tI A_g \quad (2.8)$$

όπου:

$I$  = η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας (σε  $W m^{-2}$ ),

$A_g$  = η επιφάνεια του εδάφους του θερμοκηπίου (σε  $m^2$ ).

$$Q_{cd} = UA(T_i - T_o) \quad (2.9)$$



$$Q_v = Q_{sv} + Q_{iv} \quad (2.10)$$

όπου:

$Q_{sv}$  = η αισθητή ροή θερμότητας (σε  $\text{KJs}^{-1}$ ),

$Q_{iv}$  = η λανθάνουσα ροή θερμότητας (σε  $\text{KJs}^{-1}$ ).

$$Q_t = \varepsilon_s t_t A_g \sigma (T_i^4 - \varepsilon_a T_o^4) \quad (2.11)$$

όπου:

$\varepsilon_s$  = η μέση ικανότητα ακτινοβολίας των εσωτερικών επιφανειών,

$t_t$  = η διαπερατότητα στη θερμική ακτινοβολία,

$\varepsilon_a$  = η φαινομενική ατμοσφαιρική εκπεμπτικότητα.

Όσον αφορά στους υπόλοιπους παράγοντες που υπεισέρχονται στην εξίσωση του θερμικού ισοζυγίου, αυτοί μπορούν να θεωρηθούν αμελητέοι και να παραληφθούν.

#### 2.5.4 Υπολογισμός θερμικών απωλειών ενός θερμοκηπίου

Ως θερμική απώλεια ορίζεται το ποσό της θερμότητας που πρέπει να προστεθεί σε ένα χώρο ώστε να διατηρείται η επιθυμητή θερμοκρασία στο εσωτερικό του, όταν στο εξωτερικό περιβάλλον επικρατούν οι συνθήκες σχεδιασμού χειμώνα. Ο υπολογισμός του ενεργειακού του ισοζυγίου σε ένα θερμοκήπιο, είναι απαραίτητος για την επιλογή των συστημάτων θέρμανσης, αερισμού και δροσισμού. Οι θερμικές απώλειες που λαμβάνονται υπόψη κατά βάση είναι οι απώλειες με ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος, με αγωγή, με μεταφορά, με διαφυγή αέρα από ανοίγματα της θερμοκηπιακής κατασκευής καθώς και με εξάτμιση νερού, οι οποίες οφείλονται, κυρίως, στην πίεση του αέρα αλλά και στη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του αέρα εντός του θερμοκηπίου και του εξωτερικού αέρα (Ντίνας, 2007; Παπαδόπουλος, 2013).

##### Θερμικές απώλειες κατά τη διάρκεια της νύχτας

Οι θερμικές απώλειες ενός θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της νύχτας δίνονται από τη σχέση (Νικήτα - Μαρτζοπούλου, 1994):

$$Q = AU(T_i - T_o) \quad (2.12)$$

όπου:

$Q$  = η ένταση του θερμικού ρεύματος (σε  $W$ ),

$T_i$  = η θερμοκρασία αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου (σε  $^{\circ}C$ ),

$T_o$  = η θερμοκρασία αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος (σε  $^{\circ}C$ ).

### Θερμικές απώλειες κατά τη διάρκεια της ημέρας

Οι θερμικές απώλειες ενός θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της ημέρας είναι (Νικήτα - Μαρτζοπούλου, 1994):

$$Q_H = A/A_g U(T_i - T_o)ID_s n_s \quad (2.13)$$

όπου:

$Q_H$  = η ένταση του θερμικού ρεύματος που καταναλώνεται από το σύστημα θέρμανσης (σε  $Wm^{-2}$ ),

$A_g$  = η επιφάνεια του εδάφους του θερμοκηπίου (σε  $m^2$ ),

$D_s$  = η διείσδυση της ακτινοβολίας στο θερμοκήπιο,

$n_s$  = ο συντελεστής μετατροπής της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμική ενέργεια μέσα στο θερμοκήπιο.

### **2.5.5 Υπολογισμός θερμικών αναγκών ενός θερμοκηπίου**

Οι θερμικές ανάγκες είναι ιδιότητα του χώρου και εξαρτώνται από το μέγεθός του, τον τρόπο κατασκευής, το υλικό των τοιχωμάτων, τον αερισμό και από άλλους παράγοντες. Επιπλέον, είναι ανεξάρτητες από το σύστημα θέρμανσης που θα εγκατασταθεί. Πολλοί ερευνητές έχουν ασχοληθεί με το θέμα του υπολογισμού των θερμικών αναγκών των θερμοκηπίων εφαρμόζοντας διαφορετικές τεχνικές, ώστε να προσδιορίσουν με όσο το δυνατό μεγαλύτερη ακρίβεια το ποσό της θερμικής ενέργειας που απαιτείται για τη δημιουργία ιδανικού περιβάλλοντος εντός του θερμοκηπίου.

Για τον υπολογισμό των θερμικών αναγκών προτείνεται ενιαίος τρόπος σε συνδυασμό με τους μετεωρολογικούς πίνακες που υπάρχουν για την Ελλάδα. Χρησιμοποιείται ο ακόλουθος τύπος (Αντωνακούδη, 2014):

$$Q = 1,20(KADt + 0,36VnDt) \quad (2.14)$$

όπου:

$K$  = ο ολικός συντελεστής θερμοπερατότητας του υλικού κάλυψης (σε  $W/m^2\text{ }^\circ\text{C}$ ) (Πίνακας 2.8),

$A$  = η επιφάνεια κάλυψης (σε  $m^2$ ),

$Dt$  = η θερμοκρασιακή διαφορά (σε  $^\circ\text{C}$ ) μεταξύ της εσωτερικής θερμοκρασίας του θερμοκηπίου (λαμβάνεται υπόψη η επιθυμητή νυχτερινή θερμοκρασία για την υπόψη καλλιέργεια) και της εξωτερικής θερμοκρασίας (λαμβάνεται υπόψη η ελάχιστη θερμοκρασία που εμφανίζεται στην περιοχή με συχνότητα τριετίας),

$V$  = ο όγκος του θερμοκηπίου (σε  $m^3$ ) και

$n$  = ο αριθμός αλλαγών αέρα από διαφυγές με κλειστά παράθυρα ανά ώρα (Πίνακας 2.9).

**Πίνακας 2.8:** Τιμές ολικού συντελεστή θερμοπερατότητας για διάφορα υλικά κάλυψης

Υλικό κάλυψης θερμοκηπίου	K (W/m <sup>2</sup> °C)
Απλό τζάμι	5,8
Απλό φύλλο πολυαιθυλενίου	6,3
Fiberglass	4,0
Διπλό τζάμι	2,9
Διπλό φύλλο πολυαιθυλενίου	2,9
Πλαστικό φύλλο και τζάμι	2,9
Απλό τζάμι και θερμοκουρτίνα	2,4

**Πίνακας 2.9:** Τιμές συντελεστή  $n$  ανάλογα με τον τύπο κατασκευής του θερμοκηπίου

Τύπος κατασκευής θερμοκηπίου	$n$ (αλλαγές ανά ώρα)
Νέα κατασκευή υαλόφρακτο	0,8-1,8
Νέα κατασκευή με απλό φύλλο πολυαιθυλενίου	0,8-2,5
Νέα κατασκευή με διπλό φύλλο πολυαιθυλενίου	0,5-1,2
Παλιά κατασκευή υαλόφρακτου με καλή συντήρηση	1,5
Παλιά κατασκευή υαλόφρακτου με κακή συντήρηση	2,5

### 2.5.6 Σύστημα θέρμανσης θερμοκηπίου

Από τη στιγμή που μπορούν να υπολογιστούν οι απώλειες θερμότητας από το θερμοκήπιο, το επόμενο στάδιο είναι η επιλογή του κατάλληλου συστήματος θέρμανσης. Γενικά μια εγκατάσταση θέρμανσης πρέπει (Σελλούντος, 2002):

- 1) Να εξασφαλίζει ικανοποιητική και κατά το δυνατόν ομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας μέσα στο θερμοκήπιο.
- 2) Να μην επηρεάζει δυσμενώς την καθαρότητα του αέρα και την περιεκτικότητά του σε οξυγόνο.
- 3) Να είναι απλή στη χρήση της, να επιδέχεται ρύθμιση βάσει των αναγκών και να μην παρουσιάζει δυσκολίες στη συντήρησή της.

- 4) Να επιτυγχάνει τις επιδιωκόμενες συνθήκες με χαμηλό κατασκευαστικό και λειτουργικό κόστος.
- 5) Ο εξοπλισμός της να έχει ικανοποιητική διάρκεια ζωής.
- 6) Να έχει μικρές απαιτήσεις σε χώρο.
- 7) Η κατασκευή της να αποκλείει κάθε μορφής κίνδυνο για τη ζωή, την ακεραιότητα και την υγεία των ανθρώπων.

Ανάλογα με τον τρόπο μεταφοράς της θερμότητας, τα συστήματα θέρμανσης των θερμοκηπίων διακρίνονται σε (Μαυρογιαννόπουλος, 2005):

- Συστήματα που αποδίδουν το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας με μεταφορά: Σε αυτά τα συστήματα ο αέρας του θερμοκηπίου οδηγείται στο θερμαντικό σώμα και αφού θερμανθεί διανέμεται στο χώρο του θερμοκηπίου (π.χ. αερόθερμα). Η μεταφορά θερμότητας στον αέρα του θερμοκηπίου γίνεται με εξαναγκασμένη μεταφορά. Επιπλέον, ένα πολύ μικρό μέρος της ενέργειας αποδίδεται με ακτινοβολία από τη θερμή επιφάνεια των αερόθερμων.
- Συστήματα που αποδίδουν το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας με αγωγή: Σε αυτά τα συστήματα περιλαμβάνονται τα συστήματα θέρμανσης δαπέδου ή τραπεζιών καλλιέργειας. Η θερμότητα μεταφέρεται με αγωγή στο δάπεδο θερμαίνοντάς το και εν συνεχεία με αγωγή από το δάπεδο θερμαίνονται οι γλάστρες και η ρίζα των φυτών. Επίσης, τα φυτά δέχονται και αρκετή θερμική ενέργεια με ακτινοβολία και μεταφορά από τις ακάλυπτες περιοχές.
- Συστήματα που αποδίδουν το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας με συνδυασμό φυσικής μεταφοράς και ακτινοβολίας: Σε αυτά τα συστήματα η κατανομή της θερμότητας στο χώρο γίνεται με εναέριους σωλήνες ζεστού νερού. Το ποσό της θερμότητας που αποδίδεται με μεταφορά και ακτινοβολία είναι συναρτήσσει της θερμότητας του ρευστού και της διαμέτρου του σωλήνα.
- Συστήματα που αποδίδουν θερμότητα με συνδυασμό αγωγής, μεταφοράς και ακτινοβολίας: Σε αυτά τα συστήματα περιλαμβάνονται τα συστήματα θέρμανσης με χαμηλή θερμοκρασία νερού, το οποίο κυκλοφορεί σε μεγάλης επιφάνειας σωλήνες (συνήθως πλαστικούς), τοποθετημένους στο δάπεδο του θερμοκηπίου. Η θερμότητα μεταφέρεται με φυσική μεταφορά στον αέρα, με θερμική ακτινοβολία στα φύλλα των φυτών και με αγωγή στο έδαφος.

#### **2.5.6.1 Τύποι συμβατικών συστημάτων θέρμανσης**

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 2.10) παρουσιάζονται οι τρόποι με τους οποίους η θερμότητα αποδίδεται στο χώρο στα συμβατικά συστήματα θέρμανσης (τοπικά και κεντρικά).

**Πίνακας 2.10:** Οι τρόποι με τους οποίους η θερμότητα αποδίδεται στο χώρο στα συμβατικά συστήματα θέρμανσης (τοπικά και κεντρικά)

Τοπικά συστήματα θέρμανσης	Κεντρικά συστήματα θέρμανσης
α) αερόθερμα (ηλεκτρικά, υγραερίου, πετρελαίου, στερεών καυσίμων)	α) λέβητες παραγωγής θερμού αέρα
β) θερμάστρες παραφίνης	
γ) θερμάστρες πετρελαίου	β) λέβητες παραγωγής θερμού νερού
δ) θερμάστρες υγραερίου	
ε) θερμάστρες ξύλου ή ξυλανθράκων	γ) λέβητες παραγωγής ατμού
στ) ηλεκτρικές θερμάστρες	

 *Θέρμανση θερμοκηπίων με συστήματα όπου το θερμικό μέσο είναι ο αέρας*

Στα θερμοκήπια χρησιμοποιείται ευρέως η θέρμανση με αερόθερμα, καθώς η αρχική εγκατάσταση έχει χαμηλότερο κόστος από την αντίστοιχη της θέρμανσης με θερμό νερό. Επιπλέον, χαρακτηρίζεται από υψηλή αποδοτικότητα και εύκολη αυτοματοποίηση, ενώ παράλληλα δεν παρουσιάζει αδράνεια στην αύξηση της θερμοκρασίας χώρου.

Ο αέρας του θερμοκηπίου θερμαίνεται πολύ γρήγορα από τη στιγμή που ο θερμοστάτης δίνει εντολή στο αερόθερμο να λειτουργήσει, ωστόσο ψύχεται το ίδιο γρήγορα όταν σταματήσει η λειτουργία του. Ένα από τα μειονεκτήματα των συστημάτων θέρμανσης με αερόθερμα είναι το γεγονός ότι σε ψυχρά κλίματα, σε περίπτωση που προκληθεί κάποια βλάβη στο σύστημα, το θερμοκήπιο ψύχεται γρήγορα. Ένα ακόμα μειονέκτημα αυτών των συστημάτων είναι ότι δε θερμαίνεται ικανοποιητικά το έδαφος.

Τα αερόθερμα ανάλογα με την πηγή ενέργειας που χρησιμοποιείται διακρίνονται σε:

- Ηλεκτρικά αερόθερμα: Αποτελούνται από ηλεκτρικές αντιστάσεις και από έναν ηλεκτρικό ανεμιστήρα. Ο αέρας του θερμοκηπίου περνά μέσα από τις ηλεκτρικές αντιστάσεις με τη βοήθεια του ανεμιστήρα και στη συνέχεια επανέρχεται στο θερμοκήπιο. Το κύριο μειονέκτημα αυτού του συστήματος είναι το υψηλό κόστος λειτουργίας, λόγω του υψηλού κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ στα πλεονεκτήματά του συγκαταλέγονται η δυνατότητα ρύθμισης της θερμοκρασίας του χώρου με ακρίβεια, η εύκολη αυτοματοποίησή του και η μη παραγωγή επικίνδυνων αερίων για τα φυτά.
- Αερόθερμα ατμού ή θερμού νερού: το μέσο θέρμανσης προέρχεται από ένα λέβητα παραγωγής ατμού ή θερμού νερού και κυκλοφορεί εντός συστήματος σωλήνων μεγάλης επιφάνειας, όπου ένας ηλεκτροκίνητος ανεμιστήρας ωθεί τον αέρα του θερμοκηπίου στο να περάσει ανάμεσά τους με αποτέλεσμα να θερμανθεί. Συνήθως αυτά τα αερόθερμα χρησιμοποιούνται συμπληρωματικά

σε συστήματα κεντρικής θέρμανσης που αποτελούνται από σωλήνες θερμού νερού.

- Αερόθερμα αερίου, πετρελαίου ή στερεών καυσίμων: Διαθέτουν ενσωματωμένο καυστήρα, ο οποίος μπορεί να έχει είτε κλειστό είτε ανοικτό θάλαμο καύσης (με φλόγιστρα). Εάν ο θάλαμος καύσης είναι ανοικτός, ο αέρας που χρησιμοποιείται για την καύση του καυσίμου προέρχεται από τον αέρα του θερμοκηπίου και τα καυσαέρια απελευθερώνονται πάλι στο θερμοκήπιο, κάτι που είναι αρκετά ευνοϊκό για τα φυτά καθώς επωφελούνται από το CO<sub>2</sub> που απελευθερώνεται στο χώρο. Το σύστημα αποτελείται από τρία λειτουργικά μέρη: το δοχείο καύσης, το μεταλλάκτη θερμότητας και τον ανεμιστήρα κυκλοφορίας του αέρα του θερμοκηπίου. Η θερμότητα παράγεται από την καύση του καυσίμου στο δοχείο καύσης και στη συνέχεια μεταφέρεται με τα αέρια της καύσης. Αυτά ανεβαίνουν από ένα σύστημα πολλών σωλήνων με λεπτά τοιχώματα (αποτελεί το μεταλλάκτη του αερόθερμου), οι οποίοι καταλήγουν στην καπνοδόχο. Ο αέρας του θερμοκηπίου ωθείται στο μεταλλάκτη από έναν ηλεκτροκίνητο ανεμιστήρα, ο οποίος είναι τοποθετημένος στο πίσω μέρος του αερόθερμου, ώστε να πάρει τη θερμότητα και να επιστρέψει στο χώρο του θερμοκηπίου.

Στα θερμοκήπια μικρής έκτασης ο ζεστός αέρας του αερόθερμου κατανέμεται εντός του θερμοκηπίου απευθείας κατά την έξοδό του. Από την άλλη πλευρά, στα μεγάλης έκτασης θερμοκήπια για την ομοιόμορφη διανομή του αέρα τοποθετείται κατά μήκος του θερμοκηπίου λεπτός, διαφανής σωλήνας πολυαιθυλενίου, που συνδέεται με την έξοδο του θερμού αέρα του αερόθερμου, ενώ το άλλο άκρο του είναι κλειστό και κατά μήκος έχει στρογγυλές οπές. Ο θερμός αέρας εξέρχεται με ταχύτητα από το αερόθερμο μέσω των οπών και ανακατεύεται με τον περιβάλλοντα αέρα.

#### *Θέρμανση θερμοκηπίων με συστήματα όπου το θερμικό μέσο είναι το νερό*

Τα συγκεκριμένα συστήματα αποτελούνται από το τμήμα παραγωγής της θερμότητας (καυστήρας, λέβητας, δεξαμενή καυσίμων, κυκλοφορητής νερού κ.α.) και το τμήμα διανομής της εντός του θερμοκηπίου (σωλήνες κυκλοφορίας νερού, θερμοστάτες). Τα συστήματα αυτά είναι αξιόπιστα, ρυθμίζονται αυτόματα, δεν αφήνουν καυσαέρια εντός του θερμοκηπίου και μπορούν να θερμάνουν ικανοποιητικά τον αέρα και το έδαφος του θερμοκηπίου. Μειονέκτημα τους αποτελεί το γεγονός ότι παρουσιάζουν μεγάλη αδράνεια, δηλαδή από τη στιγμή που θα λάβουν εντολή να ξεκινήσει ή να σταματήσει η λειτουργία τους μεσολαβεί κάποιο μεγάλο χρονικό διάστημα (Μαυρογιαννόπουλος, 2005).

Στα συστήματα κεντρικής θέρμανσης την καύσιμη ύλη αποτελούν, συνήθως, το πετρέλαιο, το υγραέριο, το μαζούτ, το κάρβουνο, το φυσικό αέριο και η βιομάζα. Η κεντρική θέρμανση συνιστάται στα υαλόφρακτα θερμοκήπια και όχι στα θερμοκήπια τα οποία καλύπτονται από πλαστικό, καθώς το πολυαιθυλένιο παρουσιάζει μεγάλη

διαπερατότητα στην ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος γεγονός που συντελεί στην αύξηση των απωλειών θερμότητας.

Η θέρμανση του νερού πραγματοποιείται στο λέβητα. Στα μεταλλικά τοιχώματα που περιβάλλουν το χώρο καύσης υπάρχουν χώροι στους οποίους κυκλοφορεί το νερό, το οποίο αφού θερμανθεί διανέμεται στο θερμοκήπιο μέσω των σωληνώσεων. Το νερό που χρησιμοποιείται στους λέβητες πρέπει να είναι επεξεργασμένο προκειμένου να αποφευχθεί η συσσώρευση αλάτων στα τοιχώματα του λέβητα, γεγονός που μειώνει τη θερμική αγωγιμότητά του.

Η θερμότητα σε αυτό το είδος θέρμανσης πραγματοποιείται με τη διαδικασία της μεταφοράς και της ακτινοβολίας και μάλιστα σε ισόποσο ποσοστό. Ο αέρας του θερμοκηπίου θερμαίνεται με μεταφορά και λόγω διαφοράς στην πυκνότητά του ανέρχεται στο πάνω μέρος του θερμοκηπίου όπου και ψύχεται όταν έρθει σε επαφή με το υλικό κάλυψης. Έτσι, αυξάνοντας το ειδικό του βάρος κατέρχεται χαμηλά όπου και αναθερμαίνεται ακολουθώντας την ίδια διαδικασία.

### **2.5.7 Καύσιμα για τη θέρμανση ενός θερμοκηπίου**

Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση θερμοκηπίων πρέπει να έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- ✓ χαμηλό κόστος,
- ✓ μεγάλη θερμική απόδοση,
- ✓ αυτόματη ρύθμιση κατανάλωσης,
- ✓ αφθονία παραγωγής,
- ✓ ευκολία μεταφοράς,
- ✓ μη τοξικά για τα φυτά και
- ✓ ασφαλή κατά τη χρήση.

Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται στη θέρμανση των θερμοκηπίων αποτελούνται από άνθρακα, υδρογόνο και προσμίξεις νερού, αζώτου, θείου κ.α. Η θερμότητα από-τελεί αποτέλεσμα της καύσης των υδρογονανθράκων, οπότε ο άνθρακας και το υδρογόνο ενώνονται χημικά με το οξυγόνο. Οι προσμίξεις δεν παράγουν σημαντικά ποσά θερμότητας, αντιθέτως, το θείο κατά την καύση του δημιουργεί προβλήματα τόσο στα μέσα θέρμανσης, όσο και στις καλλιέργειες λόγω της παραγωγής διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>) που προκύπτει από την ένωση του με το οξυγόνο. Όταν το SO<sub>2</sub> διαλυθεί στο νερό παράγειθειικό οξύ και οξειδώνει τα μέταλλα και κατά επέκταση τους σωλήνες, τους καυστήρες κ.α. Για το λόγο αυτό, τα διυλιστήρια πετρελαίου διατηρούν την περιεκτικότητα του πετρελαίου σε θείο σε χαμηλά επίπεδα. Τα καύσιμα ανάλογα με τη μορφή τους διακρίνονται σε:

- Στερεά καύσιμα: Τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα στερεά καύσιμα είναι ο ξυλάνθρακας, το κωκ και ο ανθρακίτης. Η καύση αυτών των καυσίμων πραγματοποιείται είτε σε λεβητοστάσια θερμαίνοντας το νερό που

κυκλοφορεί μέσω των σωληνώσεων στα θερμοκήπια είτε σε ατομικές θερμάστρες θερμαίνοντας απευθείας το χώρο. Μειονέκτημά τους αποτελεί η ρύθμιση της θερμοκρασίας.

- Υγρά καύσιμα: Σε αυτά συγκαταλέγονται τα διάφορα είδη πετρελαιοειδών, τα οποία προκύπτουν από το ακατέργαστο πετρέλαιο με κλασματική απόσταξη.
- Αέρια καύσιμα: Διακρίνονται σε φυσικά και τεχνητά ανάλογα με την προέλευσή τους. Τα φυσικά αέρια χρησιμοποιούνται απευθείας μετά την εξαγωγή τους χωρίς να υποστούν κάποιο είδος επεξεργασίας. Αποτελούνται από μίγμα αέριων μεθανίου, αιθανίου και προπανίου, καθώς και σε μικρότερη συγκέντρωση από προσμίξεις θείου, διοξειδίου του άνθρακα κτλ. Όταν αποτελούν μίγμα μεθανίου και αιθανίου καλούνται ξηρά, ενώ όταν περιέχουν διοξείδιο του άνθρακα, υδροθείο και άζωτο καλούνται υγρά αέρια. Τα τεχνητά αέρια αποτελούν υποπροϊόντα βιομηχανιών άχυρου, ξύλου, ξυλανθράκων, διωλιστηρίων πετρελαίου και περιέχουν μεθάνιο, προπάνιο, διοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο, άζωτο κ.α.
- Ηλεκτρισμός: Ένας άλλος τρόπος παραγωγής θερμότητας για τη θέρμανση των θερμοκηπίων είναι και ο ηλεκτρισμός, ο οποίος ωστόσο αποτελεί έναν από τους πιο δαπανηρούς τρόπους θέρμανσης.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα διάφορα καύσιμα που χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση θερμοκηπίων καθώς και χρήσιμες πληροφορίες για αυτά, όπως είναι η περιεκτικότητά τους σε θερμίδες, η απόδοση θερμότητας και τελικά η χρήσιμη θερμότητα.

**Πίνακας 2.11:** Διάφορα είδη καυσίμων για τη θέρμανση θερμοκηπίων (Πηγή: Γραφιαδέλλης, 1987)

Είδος καυσίμου	Περιεκτικότητα σε θερμίδες	Απόδοση θερμότητας (%)	Χρήσιμη θερμότητα (kcal)
Πετρέλαιο ντίζελ	9.800 kcal/l	80	7.840
Πετρέλαιο μαζούτ	10.000 kcal/l	80	8.000
Υγραέριο (φιάλη 30kg)	11.100 kcal/kg	90	9.990
Κάρβουνο (λιγνίτης)	3.500 kcal/kg	65	2.275
Ηλεκτρισμός	853 kcal/kWh	100	853



## 2.6 Λοιπός εξοπλισμός θερμοκηπίων

### 2.6.1 Σύστημα αερισμού και δροσισμού

Ο εξαερισμός είναι ένα μέσο μείωσης της θερμοκρασίας, της σχετικής υγρασίας και της συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> μέσα στο θερμοκήπιο. Οι έντονες ανάγκες για εξαερισμό στην Ελλάδα ξεκινούν νωρίς την άνοιξη και τελειώνουν αργά το φθινόπωρο. Ο εξαερισμός διακρίνεται σε φυσικό και δυναμικό.

Ο φυσικός εξαερισμός επιτυγχάνεται με τη διαφορά πίεσης που δημιουργείται από τον άνεμο, ο οποίος μπαίνει από την πλευρά των ανοιγμάτων με τη μεγαλύτερη πίεση και βγαίνει από τα ανοίγματα της απέναντι πλευράς με τη μικρότερη πίεση. Επιπλέον, όταν υπάρχει θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος, ο θερμός αέρας του θερμοκηπίου που είναι ελαφρύτερος ανεβαίνει προς τα επάνω και εξέρχεται από την οροφή. Με τον τρόπο αυτό, δημιουργείται υποπίεση και ο ψυχρότερος εξωτερικός αέρας εισέρχεται από τα πλευρικά ανοίγματα. Η λειτουργία των ανοιγμάτων ρυθμίζεται μέσω ηλεκτρικού κυκλώματος, ο οποίος συνδέεται με θερμοστάτη και ανεμόμετρο.

Το καλοκαίρι τα ανοίγματα δεν επαρκούν για τη μείωση της θερμοκρασίας, οπότε είναι απαραίτητη η εφαρμογή δυναμικού αερισμού σε συνδυασμό πολλές φορές με σύστημα δροσισμού. Το φθινόπωρο και την άνοιξη χρησιμοποιούνται στην αρχή της ημέρας τα ανοίγματα οροφής και έπειτα τα πλευρικά, ενώ σύμφωνα με υπολογισμούς που έχουν γίνει απαιτούνται 40 αλλαγές του αέρα του θερμοκηπίου την ώρα. Τέλος, το χειμώνα χρησιμοποιούνται τα ανοίγματα της οροφής ώστε να προφυλάσσονται τα φυτά από τους ψυχρούς ανέμους.

Ο δυναμικός εξαερισμός επιτυγχάνεται με τη χρήση ανεμιστήρων ή εξαεριστήρων (Σχήμα 2.9), οι οποίοι μπορούν να ανανεώνουν τον αέρα του θερμοκηπίου ανεξάρτητα από τις εξωτερικές συνθήκες. Επιβάλλεται όταν απαιτείται η επίτευξη μεγάλης διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής, καθώς και σε συνθήκες άπνοιας ή σε περιοχές με ισχυρούς ανέμους. Ωστόσο, οι μεγάλες ταχύτητες εντός του θερμοκηπίου θα πρέπει να αποφεύγονται, καθώς προκαλούν έντονη διαπνοή και ακολούθως μάρανση των φυτών (Αντωνακούδη, 2014).

Οι εξαεριστήρες μπορούν να διοχετεύουν αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον στο εσωτερικό του θερμοκηπίου δημιουργώντας υπερπίεση και απωθώντας τον αέρα που πρέπει να ανανεωθεί. Συνήθως, όμως, απομακρύνουν τον εσωτερικό αέρα προς τα έξω δημιουργώντας υποπίεση ώστε να εισέλθει φρέσκος αέρας από τα ανοίγματα που βρίσκονται στην απέναντι πλευρά. Η ισχύς και ο αριθμός των εξαεριστήρων θα πρέπει να εξασφαλίζουν τουλάχιστον 45-60 ανανεώσεις αέρα ανά ώρα.



**Σχήμα 2.9:** Παραδείγματα δυναμικού εξαερισμού σε θερμοκήπια (Πηγή: <http://geotherm.gr>, <http://www.yraithros.gr>)

Σε περίπτωση που χρειάζεται μεγαλύτερη μείωση της θερμοκρασίας, απαιτείται η εφαρμογή συστήματος δροσισμού. Το νερό κατά την εξάτμιση του απορροφά ενέργεια από το περιβάλλον και μειώνει τη θερμοκρασία του χώρου. Η περιττή υγρασία δύναται να απομακρυνθεί με τη χρήση δυναμικού εξαερισμού. Τα συστήματα δροσισμού με εξάτμιση διακρίνονται σε (Αντωνακούδη, 2014):

- ❖ Σύστημα ομίχλης: Αποτελείται από αντλίες, σωλήνες και ακροφύσια, τα οποία είναι τοποθετημένα πάνω από τα φυτά στο ύψος περίπου των ανοιγμάτων. Η εκτόξευση του νερού γίνεται υπό υψηλή πίεση σχηματίζοντας πολύ λεπτές σταγόνες. Μπορεί να μειώσει τη θερμοκρασία του χώρου 6-8 °C.
- ❖ Σύστημα υδρονέφωσης: Λειτουργεί όπως το σύστημα ομίχλης με τη διαφορά ότι η εκτόξευση του νερού γίνεται υπό χαμηλότερη πίεση, οπότε σχηματίζονται σταγόνες μεγαλύτερης διαμέτρου. Μπορεί να μειώσει τη θερμοκρασία του χώρου κατά 2,5 °C περίπου.
- ❖ Σύστημα υγρών πετασμάτων ή «εξατμιστικής ψύξης»: Εφαρμόζεται σε περιοχές και περιόδους με υψηλή θερμοκρασία και χαμηλή υγρασία. Αποτελείται από φίλτρο πάχους 5-15cm, του οποίου το υλικό έχει μεγάλη επιφάνεια εξάτμισης. Το φίλτρο τοποθετείται κάθετα, σε ύψος 60cm από το έδαφος και σε όλο το μήκος της πλευράς σε πλάτος 1,2m. Η λειτουργία του βασίζεται είτε στη δημιουργία υποπίεσης (τις περισσότερες φορές), είτε στη δημιουργία υπερπίεσης.

### 2.6.2 Σύστημα σκίασης

Ο σκοπός της χρήσης συστημάτων σκίασης είναι η μείωση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας, καθώς και της θερμοκρασίας στο χώρο του θερμοκηπίου. Τα χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει ένα κατάλληλο υλικό σκίασης είναι τα ακόλουθα (Αντωνακούδη, 2014):

- Να έχει την ικανότητα να επιλέγει και να συγκρατεί τη θερμική ακτινοβολία και όχι την ορατή, η οποία είναι απαραίτητη στα φυτά για τη φωτοσύνθεση.

- Να απορροφά όσο το δυνατό λιγότερη ακτινοβολία και να αντανακλά όσο γίνεται περισσότερη υπέρυθη ακτινοβολία (το καλοκαίρι), ώστε να αποφεύγεται το φαινόμενο του θερμοκηπίου.
- Να μην είναι χρωματισμένο, ώστε να αποτρέπεται η είσοδος του αρατού φάσματος, το οποίο επιδρά αρνητικά στη διαδικασία της φωτοσύνθεσης.
- Να επιτρέπει τη ρύθμιση του ποσοστού σκίασης.
- Να επιτρέπει τον αερισμό του θερμοκηπίου.
- Να μετακινείται, ώστε να χρησιμοποιείται όταν απαιτείται.

Στην πράξη χρησιμοποιούνται ειδικές βαφές και κουρτίνες. Οι βαφές συνήθως αποτελούνται από στόκο, νερό και λινέλαιο και είναι άσπρες, ώστε να αντανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία. Επιπλέον, χρησιμοποιούνται πλαστικά χρώματα αραιωμένα με νερό και άλλα μίγματα. Η βαφή την άνοιξη, που η ακτινοβολία δεν έχει πολύ μεγάλη ένταση, πρέπει να είναι αραιή και να επαναλαμβάνεται στο τέλος της εποχής, με στόχο να μειωθεί η περατότητα στο φως για το καλοκαίρι. Απο την άλλη πλευρά, το χειμώνα οι βαφές πρέπει να απομακρύνονται, κάτι που επιτυγχάνεται με πλύσιμο του καλύμματος.

Όσον αφορά στις κουρτίνες, ο καλύτερος τρόπος για τη ρύθμιση της έντασης της ακτινοβολίας είναι οι κουρτίνες αραιής ύφανσης που ανοιγοκλείνουν ανάλογα με την ένταση του φωτισμού. Ωστόσο, σημαντικό μειονέκτημα τους είναι ότι επιτρέπουν την είσοδο μέρους της ηλιακής ενέργειας, με αποτέλεσμα να μη μειώνουν σημαντικά τη θερμοκρασία (περίπου 5 °C). Η πιο σύγχρονη εφαρμογή τους είναι οι θερμοκουρτίνες (Σχήμα 2.10). Αυτές αποτελούνται από φύλλα ή λωρίδες αλουμινίου που αντανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία και ευνοούν τη διάχυση του φωτός. Με τον τρόπο αυτό, αν και σκιάζουν το χώρο επιτρέπουν την είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στα φυτά και έτσι δεν παρεμποδίζεται η φωτοσύνθεση. Επίσης, χρησιμοποιούνται για τη διατήρηση της θερμοκρασίας τις κρύες νύχτες του χειμώνα εγκλωβίζοντας την υπέρυθη (θερμική) ακτινοβολία (Αντωνακούδη, 2014).



**Σχήμα 2.10:** Παράδειγμα θερμοκουρτίνας με μηχανισμό κίνησης (Πηγή: <http://geotherm.gr>)

### **2.6.3 Σύστημα άρδευσης – λίπανσης**

Το σύστημα παροχής νερού και θρεπτικών συστατικών στην καλλιέργεια αποτελεί βασικό εξοπλισμό ενός θερμοκηπίου. Το νερό που χρησιμοποιείται θα πρέπει να έχει ελεγχθεί ως προς την αγωγιμότητά του, η οποία παρέχει πληροφορίες για τη συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων του νερού, και κατ' επέκταση για το πόσο κατάλληλο είναι για άρδευση. Επιπλέον, η λίπανση πρέπει να πραγματοποιείται με μεγάλη προσοχή ώστε να μη διαταράσσεται η εδαφική ισορροπία και να μη δημιουργούνται προβλήματα στην απορρόφηση του νερού και των παρεχόμενων θρεπτικών συστατικών από το ριζικό σύστημα των φυτών. Τέλος, η άρδευση των καλλιεργειών στο έδαφος με τη μέθοδο στάγδην θεωρείται ο πιο ενδεδειγμένος τρόπος από άποψη εξοικονόμησης νερού και μείωσης των καλλιεργητικών εργασιών (Αντωνακούδη, 2014).

### **2.6.4 Τεχνητός φωτισμός**

Όταν δεν επαρκεί ο φυσικός φωτισμός, όπως συμβαίνει κατά τη διάρκεια του χειμώνα που η διάρκεια της ημέρα είναι μικρή, χρησιμοποιείται συχνά τεχνητός φωτισμός με λαμπτήρες. Στόχος του είναι η αύξηση της παραγωγής της διεργασίας της φωτοσύνθεσης και εφαρμόζεται κυρίως σε καλλωπιστικά φυτά και σε σπορεία κηπευτικών φυτών. Τέλος, η αποτελεσματικότητα ενός λαμπτήρα που χρησιμοποιείται στο θερμοκήπιο προσδιορίζεται από το ποσοστό ηλεκτρικής ενέργειας που μετατρέπει σε φωτεινή ακτινοβολία και από την κατανομή του εκπεμπόμενου φάσματος (Ελ-Λατίφ, 2013).

## **2.7 Εξοικονόμηση ενέργειας σε θερμοκήπια**

Η εξοικονόμηση ενέργειας στα θερμοκήπια μπορεί να επιτευχθεί είτε με βελτιώσεις στο χώρο του θερμοκηπίου είτε με την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας - ΑΠΕ (εκτενής παρουσίαση γίνεται στο Κεφάλαιο 4 της παρούσας πτυχιακής). Οι βελτιώσεις στο χώρο του θερμοκηπίου αφορούν:

- ❖ στα στοιχεία που αποτελούν το κατασκευαστικό περιβάλλον του θερμοκηπίου,
- ❖ στην ορθότερη λειτουργία των συστημάτων θέρμανσης,
- ❖ στον κατάλληλο έλεγχο του εσωτερικού περιβάλλοντος του θερμοκηπίου και
- ❖ στην προσαρμογή των συστημάτων καλλιέργειας στην εξοικονόμηση ενέργειας (π.χ. βελτιωμένη άρδευση, καλύτερη θρέψη, αποτελεσματικός έλεγχος εντόμων και ασθενειών κ.α.).

### 2.7.1 Κατασκευαστικό περιβάλλον του θερμοκηπίου

Η βελτίωση των κατασκευαστικών στοιχείων του θερμοκηπίου, και κυρίως του υλικού κάλυψής του, έχει ως σκοπό τη μείωση των απωλειών ενέργειας. Οι ιδιότητες των διαφόρων υλικών κάλυψης, ιδιαίτερα του πλαστικού, αποτέλεσαν αντικείμενο έρευνας πολλών ερευνητών. Μέσω των μελετών αυτών κατέστη δυνατή η διερεύνηση και η βελτιστοποίηση των ιδιοτήτων των υλικών κάλυψης, τόσο ως προς το συντελεστή θερμικής μεταφοράς, όσο και ως προς τη διαπερατότητα τους στην ηλιακή ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος. Το πλαστικό έχει καθιερωθεί ως το επικρατέστερο υλικό κάλυψης, ειδικά στις Μεσογειακές χώρες, λόγω των βελτιωμένων ιδιοτήτων του, της ανθεκτικότητας του, της οπτικής του διαπερατότητας και του χαμηλού του κόστους (Νικήτα-Μαρτζοπούλου, 1994).

Αύξηση της μόνωσης, η οποία συνεπάγεται μείωση της θερμοπερατότητας των θερμοκηπίων και περιορισμό των απωλειών ενέργειας, είναι δυνατό να επιτευχθεί με διπλή ή τριπλή κάλυψη. Έρευνα του Landgren (1985) καταλήγει στο συμπέρασμα ότι σε θερμοκήπιο το οποίο είναι διπλά καλυμμένο παρατηρείται εξοικονόμηση θερμότητας της τάξεως του 35-40% ενώ σύμφωνα με τον Mielsch (1985) είναι δυνατό να επιτευχθεί εξοικονόμηση ενέργειας περίπου 38% χρησιμοποιώντας διπλά τζάμια. Τέλος, το 1988 οι Gonzales and Hanan καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι, υπό κανονικές συνθήκες τη νύχτα, με τη χρήση διπλού και όχι μονού καλύμματος, μειώνεται η κατανάλωση φυσικού αερίου κατά 40%.

Η χρήση θερμοκουρτίνας αποτελεί μία από τις αποτελεσματικότερες πρακτικές για τη διατήρηση της θερμοκρασίας εντός του θερμοκηπίου. Ο Pirard (1994) αναφέρει ότι με τη χρήση θερμοκουρτίνων κατά τη διάρκεια της νύχτας επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας κατά τουλάχιστον 20%. Οι Gupta and Chandra (2002) καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η χρήση θερμοκουρτίνας με υψηλή θερμική ανακλαστικότητα, κάτω από το κάλυμμα του θερμοκηπίου, μειώνει τις απαιτήσεις θέρμανσης κατά 70,8%, κατά τη διάρκεια της νύχτας, ενώ οι ημερήσιες ανάγκες θέρμανσης μειώνονται κατά 60,6%.

Τέλος, ένα πρόσθετο σύστημα εξοικονόμησης ενέργειας είναι τα χαμηλά σκέπαστρα, τα οποία αποτελούν κατασκευές που καλύπτουν κατά μήκος τις σειρές των φυτών. Το σύστημα αυτό αποτελείται από μεταλλικούς δακτυλίους τοποθετημένους στο έδαφος, πάνω στους οποίους προσαρμόζεται πλαστικό φύλλο πολυαιθυλενίου σχηματίζοντας έτσι ένα είδος χαμηλού σκέπαστρου (tunnel). Κατά τη διάρκεια της ημέρας το πλαστικό τυλίγεται σε ειδική ράβδο επιτρέποντας την άμεση επαφή των φυτών με την ηλιακή ακτινοβολία, ενώ το βράδυ ξετυλίγεται εγκλωβίζοντας την ενέργεια που εκπέμπεται από τα φυτά κάτω από τα σκέπαστρα.

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

---

### 3. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ)

Οι κλιματικές αλλαγές σε συνδυασμό με τη σταδιακή εξάντληση των ενεργειακών αποθεμάτων των συμβατικών καυσίμων (αργό πετρέλαιο, λιθάνθρακας, φυσικό αέριο) και την αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας, οδηγούν τις σύγχρονες κοινωνίες αφενός στην ανεύρεση τεχνικών εξοικονόμησης και ορθολογικής χρήσης της ενέργειας, αφετέρου στην αξιοποίηση των ήπιων ή Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας - ΑΠΕ (Renewable Energy Sources - RES) (Τσαγγάρης, 2013).

Ως ΑΠΕ ορίζονται οι ενεργειακές πηγές (ο ήλιος, ο άνεμος, το νερό κ.α.), οι οποίες υπάρχουν σε αφθονία στη φύση (πρακτικά είναι ανεξάντλητες), αναπληρώνονται μέσω των φυσικών κύκλων και η χρήση τους δεν επιβαρύνει το περιβάλλον. Η μετατροπή των παραπάνω πηγών σε χρησιμοποιήσιμες μορφές ενέργειας (θερμική, μηχανική ή/ και ηλεκτρική) δεν απαιτεί καύση, η οποία αποτελεί την κύρια πηγή παραγωγής ρύπων και έκλυσης θερμότητας. Εξάίρεση αποτελεί η ενέργεια από βιομάζα, η οποία είναι μεν ανανεώσιμη αλλά η μετατροπή απαιτεί καύση και επομένως παρουσιάζει ορισμένα κοινά χαρακτηριστικά με τις συμβατικές μορφές ενέργειας. Οι ΑΠΕ μπορούν να διακριθούν στις ακόλουθες κατηγορίες (Σχήμα 3.1):

1. Ηλιακή ενέργεια
2. Αιολική ενέργεια
3. Γεωθερμική ενέργεια
4. Βιομάζα
5. Υδροηλεκτρική ενέργεια
6. Παλιρροϊκή ενέργεια και ενέργεια από τα κύματα



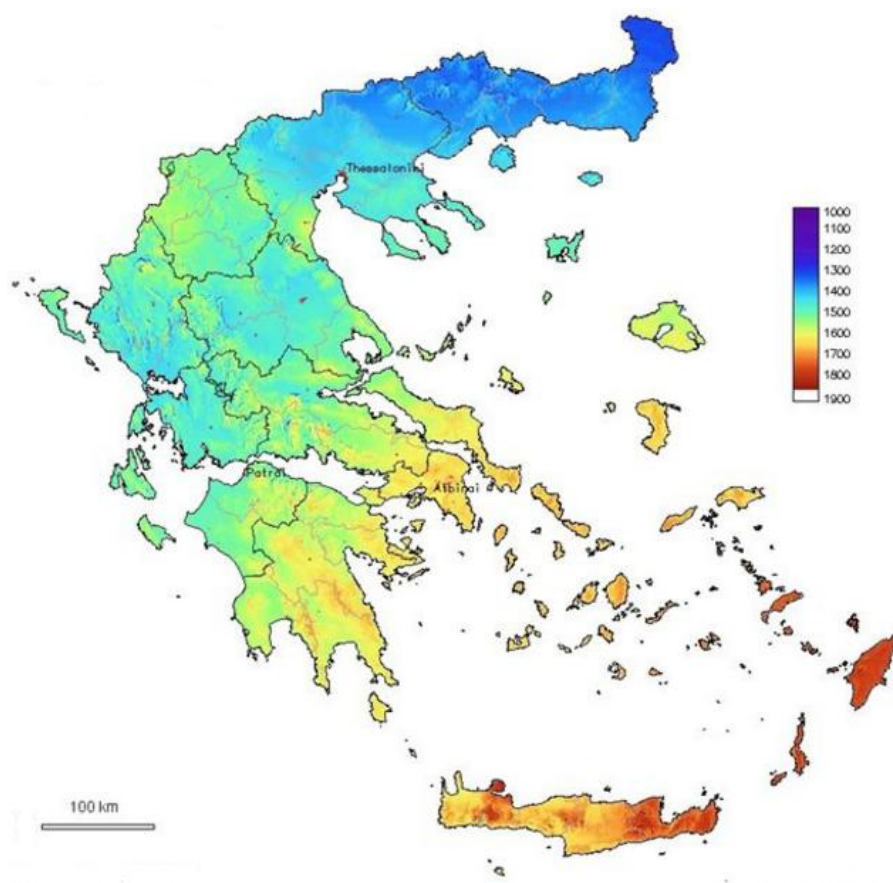
**Σχήμα 3.1:** Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Πηγή: <http://lifefreenergy.com>)



### 3.1 Ηλιακή ενέργεια

Ηλιακή ενέργεια είναι η ενέργεια που μεταφέρεται στη γη από τον ήλιο. Υπάρχει άμεση ηλιακή ενέργεια και έμμεση, με τη μορφή βιομάζας, ανέμων, θερμότητας των ωκεανών κλπ. Η ενέργεια του ήλιου οφείλεται στις αντιδράσεις πυρηνικής σύντηξης, οι οποίες πραγματοποιούνται στη μάζα του ήλιου, μετατρέποντας το υδρογόνο σε ήλιο με ρυθμό 4 εκατ. τόνους το δευτερόλεπτο. Η ανώτερη ατμόσφαιρα της γης δέχεται ετησίως  $1,5 \times 10^{18}$  kWh ηλιακής ακτινοβολίας (ενέργεια μεγαλύτερη κατά 23.000 φορές από την ενέργεια που καταναλώνει ο πλανήτης), ωστόσο η ηλιακή ακτινοβολία (άμεση και έμμεση από σύννεφα, σκόνη κλπ.) που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης είναι μειωμένη κατά 60% περίπου (Ανδρίτσος, 2015).

Η Ελλάδα είναι σχετικά ευνοημένη σε σχέση με την ηλιακή ενέργεια, η οποία μπορεί να υποκαταστήσει ένα σημαντικό ποσοστό των αναγκών της σε ενέργεια. Η μέση ημερήσια ενέργεια που παρέχεται από τον ήλιο (ένταση ηλιακής ενέργειας) στην Ελλάδα υπερβαίνει σε κάποια σημεία τα  $1650 \text{ kWh/m}^2$ . Στο χάρτη του Σχήματος 3.2 παρουσιάζεται η κατανομή της μέσης ετήσιας έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στον ελλαδικό χώρο.



**Σχήμα 3.2:** Το ηλιακό δυναμικό της Ελλάδας – ετήσιο άθροισμα ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο ( $\text{kWh/m}^2$ ) (Πηγή: [www.cres.gr/kape/index.htm](http://www.cres.gr/kape/index.htm))

Σύμφωνα με το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας εφαρμόζονται τα ακόλουθα συστήματα: τα ενεργειακά ηλιακά συστήματα, τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα υβριδικά ηλιακά συστήματα και τα φωτοβολταϊκά συστήματα.

Ενεργητικά ηλιακά ονομάζονται τα συστήματα θέρμανσης που συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία και τη μεταφέρουν με τη μορφή θερμότητας σε νερό, αέρα ή κάποιο άλλο ρευστό και για τη διάδοσή της χρησιμοποιούνται συστήματα που καταναλώνουν ενέργεια (π.χ. αντλίες νερού, εξαεριστήρες κλπ.). Πρόκειται για τα πιο διαδεδομένα συστήματα εξαιτίας της απλής εφαρμογής τους. Τα ενεργητικά συστήματα αποτελούνται από τρία βασικά μέρη (Γραφιαδέλλης, 1987; Ντίνας, 2012):

1. Το συλλέκτη: αποτελεί το μηχανισμό στον οποίο συγκεντρώνεται η θερμότητα από την ηλιακή ενέργεια, η οποία στη συνέχεια μεταφέρεται μέσω του νερού ή του αέρα στην αποθήκη. Οι επίπεδοι εξωτερικοί συλλέκτες αποτελούνται από μια μεταλλική ή πλαστική μαυρισμένη επιφάνεια επάνω στην οποία κυκλοφορεί νερό ή αέρας με στόχο τη δέσμευση της ηλιακής ενέργειας. Εξωτερικά καλύπτονται από διαφανές υλικό. Για τη μέγιστη απόδοση του συλλέκτη θα πρέπει η τοποθέτησή του να γίνεται με προσανατολισμό προς το νότο και η κλίση του να καθιστά δυνατή την κάθετη πρόσπτωση των ηλιακών ακτινών επάνω του. Τέλος, η επιφάνεια του συλλέκτη είναι συνάρτηση του μεγέθους του θερμοκηπίου.

2. Την αποθήκη θερμότητας: Η θερμική ενέργεια που απορροφάται από το συλλέκτη, αποθηκεύεται σε δεξαμενή με νερό, σε δεξαμενή με χαλίκια, σε πάγκους ή σε διαδρόμους. Η αποθήκη θερμότητας πρέπει να καθιστά δυνατή τη θέρμανση του χώρου για τουλάχιστον 2-3 νύχτες.

3. Το διανομέα θερμότητας: Οι τρόποι διανομής της θερμότητας εντός του θερμοκηπίου περιλαμβάνουν τη μεταφορά θερμότητας από τα χαλίκια μέσω του αέρα στο χώρο του θερμοκηπίου, την κυκλοφορία νερού σε μαύρες σακούλες πολυαιθυλενίου και την κυκλοφορία νερού σε κατακόρυφο παραπέτασμα πλαστικής σακούλας. Το σύστημα ολοκληρώνουν και άλλοι μηχανισμοί πώς: οι αντλίες νερού, οι θερμοστάτες, οι εξαεριστήρες, οι σωλήνες μεταφοράς και διανομής νερού και οι ηλεκτρικοί πίνακες.

Παθητικά ηλιακά ονομάζονται τα συστήματα θέρμανσης, στα οποία η ροή της θερμικής ενέργειας συντελείται με ακτινοβολία, αγωγή ή φυσική μεταφορά. Τα συστήματα αυτά λειτουργούν χωρίς τη χρησιμοποίηση συμβατικών καυσίμων ή μηχανολογικού εξοπλισμού και η θέρμανση και ο δροσισμός γίνονται με φυσικό τρόπο. Έχουν ιδιαίτερη απήχηση καθώς είναι απλά, ελάχιστου κόστους και λειτουργούν χωρίς να απαιτείται η χρήση εξωτερικών πηγών ενέργειας.

Υβριδικά ονομάζονται τα συστήματα θέρμανσης που αποτελούν συνδυασμό παθητικών συστημάτων με στοιχεία ενεργητικών. Με τον τρόπο αυτό, παράλληλα με το παθητικό σύστημα συλλογής ηλιακής ενέργειας χρησιμοποιείται και κάποιο βοηθητικό σύστημα, το οποίο λειτουργεί με τη χρήση μικρών ποσοτήτων συμβατικής ενέργειας.



Τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι εκείνα που έχουν τη δυνατότητα άμεσης μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική ως αποτέλεσμα του φωτοβολταϊκού φαινομένου, το οποίο εμφανίζεται σε ημιαγώγιμα υλικά όταν εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία.

Το βασικό τμήμα ενός τυπικού φωτοβολταϊκού συστήματος είναι η φωτοβολταϊκή γεννήτρια που αποτελείται από τα φωτοβολταϊκά ηλιακά στοιχεία. Αυτά, όταν δέχονται ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνειά τους, εκδηλώνουν μια διαφορά δυναμικού ανάμεσα στην μπροστά και στην πίσω όψη τους, οι οποίες αποτελούνται από στοιχεία πυριτίου θετικά και αρνητικά. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία τοποθετούνται ανά 10 έως 50 σε ενιαίο πλαίσιο με κοινή ηλεκτρική έξοδο. Τα πλαίσια συνδέονται μεταξύ τους σε μορφή συστοιχιών για την περαιτέρω αύξηση της ηλεκτρικής τους ισχύος (Αραβαντινός κ.α., 1999).

Τέλος, τα φωτοβολταϊκά συστήματα παρουσιάζουν ιδιαίτερα σημαντικά πλεονεκτήματα όπως είναι: η αθόρυβη λειτουργία και οι μηδενικές εκπομπές ρύπων, η δυνατότητα αυτόνομης λειτουργίας, η μεγάλη διάρκεια ζωής, η εύκολη εγκατάσταση και η δυνατότητα συνδυασμού με άλλες πηγές ενέργειας (Αντωνακούδη, 2014).

### **3.1.1 Εφαρμογές ενεργητικών ηλιακών συστημάτων**

Οι κυριότερες εφαρμογές των ενεργητικών ηλιακών συστημάτων είναι (Αραβαντινός κ.α., 1999):

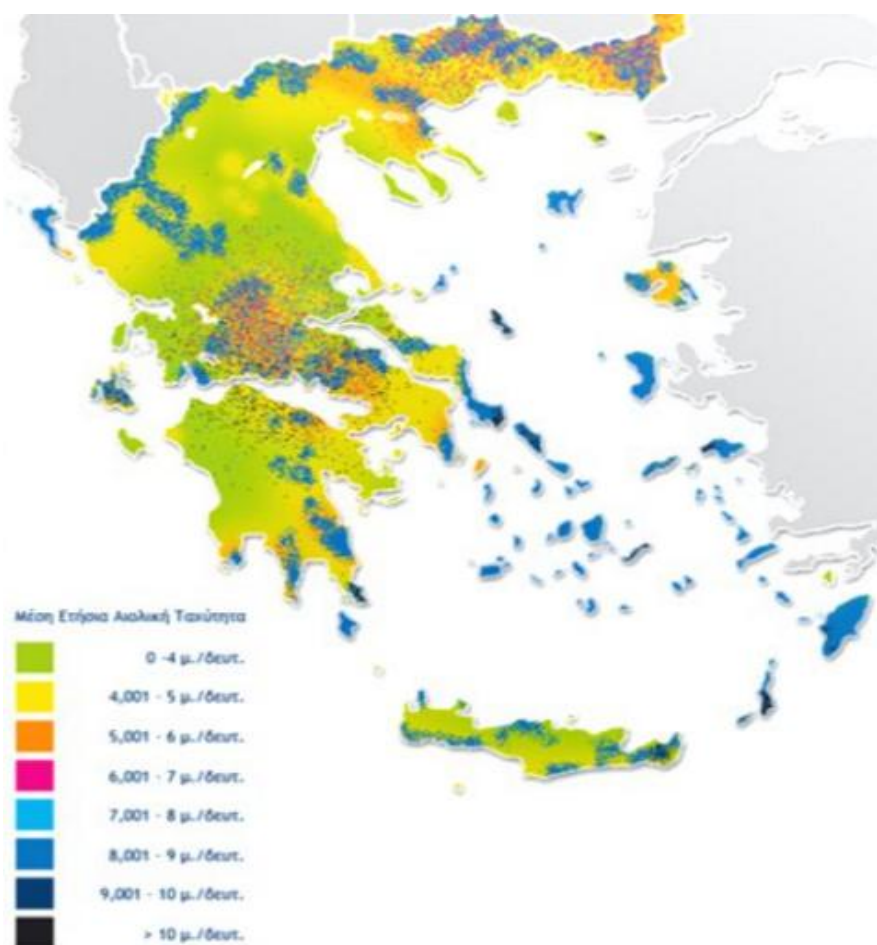
- ❖ Η παραγωγή ζεστού νερού (ηλιακός θερμοσίφωνας): Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες τοποθετούνται στην οροφή του κτιρίου με νότιο προσανατολισμό και κλίση  $30^{\circ}$ - $60^{\circ}$  ως προς τον ορίζοντα με στόχο τη μεγιστοποίηση του ποσού της ακτινοβολίας που συλλέγεται.
- ❖ Η θέρμανση χώρων.
- ❖ Η θέρμανση κολυμβητηρίων.
- ❖ Ο κλιματισμός χώρων.
- ❖ Η ηλεκτροπαραγωγή που πραγματοποιείται με τη χρήση παραβολοειδών κατόπτρων.

## **3.2 Αιολική ενέργεια**

Η αιολική ενέργεια δημιουργείται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία, καθώς η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης και της θάλασσας προκαλεί τη μετακίνηση μεγάλων αέριων μαζών από τη μία περιοχή στην άλλη, δημιουργώντας τους ανέμους. Είναι από τις πρώτες πηγές ενέργειας που αξιοποίησε ο άνθρωπος για τις καθημερινές του ανάγκες, όπως για παράδειγμα στα ιστιοφόρα πλοία, για την άλεση δημητριακών και για πολλές εφαρμογές μηχανικής ενέργειας.

Τα τελευταία χρόνια η αιολική ενέργεια αποτελεί μια «ώριμη» ενεργειακή πηγή, με σχετικά χαμηλό κόστος, η οποία μπορεί να παράσχει σημαντικές ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς τα περιβαλλοντικά προβλήματα που προκαλούνται από την καύση των ορυκτών καυσίμων. Σήμερα υπάρχουν περισσότεροι από 1.000.000 ανεμόμυλοι για την άντληση νερού, αλλά και για τη φόρτιση μπαταριών. Οι σύγχρονοι «ανεμόμυλοι», οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ονομάζονται ανεμογεννήτριες ή ανεμοκινητήρες (wind generators, wind turbines) ή συστήματα μετατροπής της αιολικής ενέργειας (wind energy conversion systems) (Ανδρίτσος, 2015).

Οι ταχύτητες του ανέμου διαφέρουν ανάλογα με το ανάγλυφο μιας περιοχής και ποικίλλουν σημαντικά με την εποχή και την ημέρα. Μια περιοχή θεωρείται κατάλληλη για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας όταν η μέση ταχύτητα του ανέμου (μετρούμενη 10m από το έδαφος της γης) είναι μεγαλύτερη από 4 m/s, καθώς για χαμηλότερες ταχύτητες η παραγόμενη ενέργεια είναι μικρότερη από τις απώλειες του συστήματος. Στο Σχήμα 3.3 παρουσιάζεται η μέση ετήσια ταχύτητα των ανέμων σε όλες τις περιοχές της Ελλάδας.

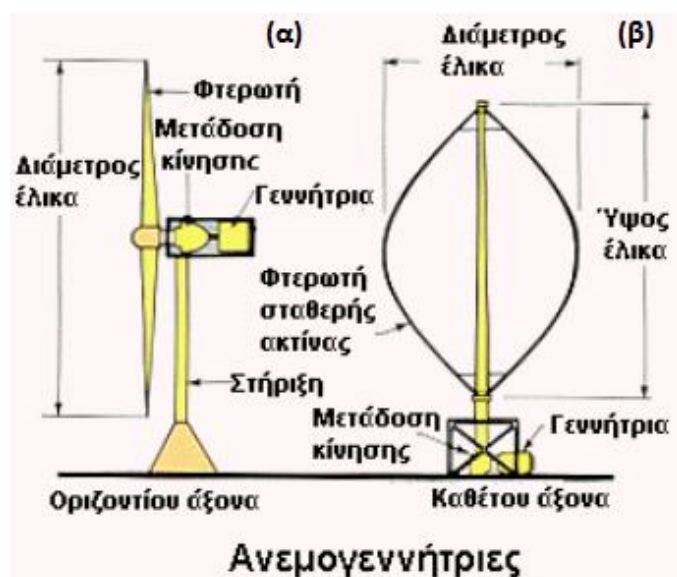


**Σχήμα 3.3:** Το αιολικό δυναμικό στην Ελλάδα - Μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου (m/sec) (Πηγή: [www.cres.gr/kape/index.htm](http://www.cres.gr/kape/index.htm))

### 3.2.1 Ανεμογεννήτριες και αιολικά πάρκα

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, σήμερα, η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας γίνεται σχεδόν αποκλειστικά με ανεμογεννήτριες, οι οποίες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου αρχικά σε μηχανική και τελικά σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι ανεμογεννήτριες κατατάσσονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

1. Τις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα, όπου ο δρομέας είναι τύπου έλικας και ο άξονας μπορεί να περιστρέφεται συνεχώς παράλληλα προς την κατεύθυνση του ανέμου και του εδάφους (Σχήμα 3.4α). Αυτές έχουν συνήθως 2 ή 3 πτερύγια σε αντίθεση με τους κλασικούς ανεμόμυλους που έχουν πολλά πτερύγια.
2. Τις ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα, ο οποίος παραμένει σταθερός και είναι κάθετος προς την επιφάνεια του εδάφους (Σχήμα 3.4β). Σε αυτές το παραγόμενο μηχανικό έργο μεταφέρεται, μέσω του κατακόρυφου άξονα, στο έδαφος όπου εγκαθίσταται η γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι μηχανές κατακόρυφου άξονα έχουν πρόβλημα κατά την εκκίνηση και για το λόγω αυτό απαιτείται εξωτερική επέμβαση. Επιπλέον, ένα άλλο πρόβλημα σχετίζεται με τις δυσκολίες κατασκευής, μεταφοράς και εγκατάστασης των μακρόστενων πτερυγίων.



**Σχήμα 3.4:** Ανεμογεννήτριες: (α) οριζόντιου και (β) κάθετου άξονα (Πηγή: <http://portal.tee.gr>)

Αν και οι ανεμογεννήτριες μεμονωμένες μπορούν να ικανοποιήσουν χρήστες εκτός δικτύου, το μοντέλο αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας εστιάζει κυρίως στη σύνδεση της παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος από τα «αιολικά πάρκα», δηλαδή από

ομάδα ανεμογεννητριών. Τα τυπικά χαρακτηριστικά ενός αιολικού πάρκου είναι (Ανδρίτσος, 2015):

1. Χωροθέτηση του πάρκου σε απομακρυσμένη τοποθεσία.
2. Ομάδα αποτελούμενη από 10-100 ανεμογεννήτριες.
3. Απόσταση ανάμεσα σε γειτονικές ανεμογεννήτριες της τάξεως των 5-10 διαμέτρων δρομέα (ή 18 ανεμογεννήτριες ανά km<sup>2</sup>).
4. Ύπαρξη κοινού μετασχηματιστή για τη μεταφορά της ηλεκτρικής ισχύος.

### 3.2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αιολικής ενέργειας

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα από την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας είναι:

- Μειώνεται η εξάρτηση από εισαγόμενη συμβατική ενέργεια.
- Συμβάλλει σημαντικά στη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, καθώς οι ανεμογεννήτριες δεν εκπέμπουν αέριους ρύπους και δεν παράγουν στερεά, υγρά ή ραδιενεργά απόβλητα.
- Δεν καταναλώνεται νερό κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Εξυπηρετούνται νησιωτικές και απομακρυσμένες περιοχές, οι οποίες δεν είναι διασυνδεδεμένες στο δίκτυο για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, άντληση νερού, τηλεπικοινωνίες κλπ.

Από την άλλη πλευρά, τα ενδεχόμενα εμπόδια για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας είναι:

- Ο θόρυβος από τη λειτουργία των ανεμογεννητριών, ο οποίος διακρίνεται σε αεροδυναμικό (από τη ροή του αέρα πάνω από τα κινούμενα πτερύγια) και σε μηχανικό θόρυβο (από τα κινούμενα μέρη της συσκευής όπως το κιβώτιο ταχυτήτων).
- Η ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές στην τηλεόραση, το ραδιόφωνο και τις τηλεπικοινωνίες λόγω ανάκλασης των σημάτων.
- Οι διαταραχές στη συμπεριφορά των πουλιών από τη φυσική παρουσία των ανεμογεννητριών και οι θάνατοί τους από συγκρούσεις στα πτερύγια.
- Τα πιθανά προβλήματα αισθητικής ρύπανσης.

### 3.3 Γεωθερμική ενέργεια

Ως γεωθερμική ενέργεια καλείται η θερμική ενέργεια που παράγεται από τα βαθύτερα στρώματα του υπεδάφους και εμπεριέχεται σε φυσικούς ατμούς και σε θερμά νερά (επιφανειακά ή υπόγεια). Τα μέσα με τα οποία η ενέργεια αυτή μεταφέρεται και φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους είναι ορισμένα ρευστά (όπως το νερό), τα οποία είτε βρίσκουν φυσική διέξοδο από τα βάθη της γης προς την επιφάνεια, είτε οδηγούνται προς αυτήν μέσω γεωτρήσεων (Βαφειάδης, 2008; Ντίνας, 2012).

Ένα γεωθερμικό σύστημα αποτελείται από τρία κύρια συστατικά (Ανδρίτσος, 2015):

1. Μια πηγή θερμότητας, η οποία μπορεί να είναι είτε μια μαγματική διείδυση (με θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 600 °C) που έφτασε σε σχετικά μικρά βάθη (5-10 km) είτε η κανονική αύξηση της θερμοκρασίας με το βάθος.
2. Ο ταμιευτήρας που είναι ουσιαστικά ένα σύστημα θερμών διαπερατών πετρωμάτων από τα οποία τα κυκλοφορούντα ρευστά απάγουν θερμότητα.
3. Το γεωθερμικό ρευστό που είναι ο φορέας της θερμότητας. Είναι νερό, μετεωρολογικής προέλευσης τις περισσότερες φορές, σε υγρή ή αέρια φάση, κάτι που εξαρτάται από τη θερμοκρασία και την πίεση. Επιπλέον, περιέχει σημαντικές ποσότητες διαλυμένων στερεών ουσιών και αερίων (π.χ. διοξείδιο του άνθρακα και υδρόθειο).

Ανάλογα με το ενεργειακό περιεχόμενο του γεωθερμικού ρευστού διακρίνονται τρεις κατηγορίες γεωθερμικών πεδίων (Κορωναίος, 2012):

1. Γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας: Ως υψηλής ενθαλπίας χαρακτηρίζονται τα ρευστά με θερμοκρασία μεγαλύτερη των 150 °C που είναι είτε υπέρθερμοι ατμοί, είτε υγροί ατμοί. Η ενέργειά των πεδίων αυτών προέρχεται από ηφαιστειακή ή υποφαιστειακή δράση, σχηματίζονται σε θύλακες βάθους έως 3 χλμ και χρησιμοποιούνται συνήθως για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
2. Γεωθερμικά πεδία μέσης ενθαλπίας: Ως μέσης ενθαλπίας χαρακτηρίζονται τα ρευστά θερμοκρασίας μεταξύ 100 και 150 °C, τα οποία χρησιμοποιούνται για ηλεκτροπαραγωγή αλλά και για μη ηλεκτρικές χρήσεις.
3. Γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας: Ως χαμηλής ενθαλπίας χαρακτηρίζονται τα ρευστά με θερμοκρασία μεταξύ 25 και 100 °C, τα οποία χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση οικισμών, ιχθυοκαλλιεργειών, θερμοκηπίων κλπ. Είναι άφθονα σε πολλές περιοχές της γης και σε οικονομικά βάθη αρκεί να υπάρχει ικανοποιητικός υπόγειο υδροφορέας σε κατάλληλο βάθος. Τέλος, τα πεδία χαμηλής ενθαλπίας βρίσκονται σε ιζηματογενείς λεκάνες ή τεκτονικά βυθίσματα και έχουν την ικανότητα αποθήκευσης μεγάλων ποσοτήτων θερμών νερών υπό πίεση.

Ένα τυπικό γεωθερμικό σύστημα χαμηλής ενθαλπίας, ανεξάρτητα από το είδος της εφαρμογής αποτελείται συνήθως από τα ακόλουθα τέσσερα υποσυστήματα (Αντωνακούδη, 2014):

1. Το σύστημα παραγωγής, το οποίο περιλαμβάνει την παραγωγική γεώτρηση, την αντλία παραγωγής και τις συσκευές στην κεφαλή της γεώτρησης.
2. Το σύστημα μεταφοράς των γεωθερμικών ρευστών από την κεφαλή της γεώτρησης μέχρι το σύστημα εναλλαγής της θερμότητας.
3. Το σύστημα εναλλαγής της θερμότητας μαζί με το σύστημα διανομής της γεωθερμικής ενέργειας, το οποίο περιλαμβάνει τους κυκλοφορητές, το σύστημα ρύθμισης, τις σωληνώσεις κλπ.
4. Το σύστημα διάθεσης των ρευστών μετά τη χρήση.

Η Ελλάδα, εξαιτίας κατάλληλων γεωλογικών συνθηκών, είναι από τις γεωθερμικά ευνοημένες χώρες και διαθέτει σημαντικές γεωθερμικές πηγές και των τριών κατηγοριών σε οικονομικά βάθη (100-1500 m). Πιο αναλυτικά, στην Ελλάδα οι περιοχές που διαθέτουν γεωθερμικό πεδίο είναι κυρίως τα ηφαιστειακά νησιά του Αιγαίου (Μήλος, Νίσυρος, Σαντορίνη, Σαμοθράκη, Λέσβος κ.α.) και πολλές περιοχές στη Μακεδονία και τη Θράκη (Νιγρίτα, Νέο Εράσμιο, Σιδηρόκαστρο, Νέα Κεσσάνη κ.α.). Στο Σχήμα 3.5 παρουσιάζονται τα γεωθερμικά πεδία που βρίσκονται στον ελληνικό χώρο.



**Σχήμα 3.5:** Το γεωθερμικό δυναμικό της Ελλάδας (Πηγή: Ι.Γ.Μ.Ε.)

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι σήμερα η εκμετάλλευση της γεωθερμίας έχει επεκταθεί με τη δυνατότητα αξιοποίησης της λεγόμενης αβαθούς γεωθερμικής ενέργειας με θερμοκρασίες υπόγειων πετρωμάτων και ρευστών μικρότερες των 25 °C. Σε βάθη έως 100m η αποθηκευμένη θερμική ενέργεια προέρχεται και ανανεώνεται συνεχώς από δύο πηγές: τη ροή θερμότητας από το εσωτερικό της γης και την ηλιακή ακτινοβολία. Αυτή η θερμική ενέργεια εκφράζεται στην Ελλάδα σε



θερμοκρασίες των 15-20 °C που είναι αρκετά ευνοϊκές για τη χρήση και την απόδοση των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας.

Τέλος, όσον αφορά στο κόστος εκμετάλλευσης, η γεωθερμική ενέργεια ανταγωνίζεται ικανοποιητικά το πετρέλαιο και τον άνθρακα. Συνήθως η εκμετάλλευσή της χαρακτηρίζεται από υψηλό κόστος κεφαλαίου (δηλαδή κόστος έρευνας και ανάπτυξης πεδίων), ενώ το κόστος λειτουργίας και συντήρησης είναι περιορισμένο.

### 3.3.1 Εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας

Η γεωθερμική ενέργεια είναι μια σχετικά ήπια μορφή ενέργειας, η οποία με τα σημερινά τεχνολογικά δεδομένα μπορεί να καλύψει σημαντικό μέρος των αναγκών σε ενέργεια. Οι εφαρμογές της διακρίνονται σε ηλεκτρικές και σε άμεσες, δηλαδή χρήσεις στις οποίες γίνεται εκμετάλλευση της θερμότητας των ρευστών χωρίς να παραχθεί ενδιάμεση ηλεκτρική ενέργεια. Η περιοχή των θερμοκρασιών των θερμών νερών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν εκτείνεται από τους 20 έως τους 280 °C. Παράλληλα, αρκετά γεωθερμικά ρευστά εκτός από τη θερμότητα τους περιέχουν και αξιοποιήσιμες διαλυμένες ποσότητες στερεών ή αέριων ουσιών (π.χ. κοινό αλάτι, πολύτιμα μέταλλα, διοξείδιο του άνθρακα) που δύναται να ανακτηθούν με οικονομικό τρόπο.

Οι σημαντικότερες από τις εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας είναι (Lund et al., 2011; Φιρφιρης, 2013; Αντωνακούδη, 2014; Ανδρίτσος, 2015):

✓ Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας: Ο τύπος της μονάδας που χρησιμοποιείται για τη μετατροπή της γεωθερμικής ενέργειας σε ηλεκτρική καθορίζεται συνήθως από το είδος του πεδίου και από τη σύσταση των γεωθερμικών ρευστών. Οι κυριότεροι τύποι μονάδων που χρησιμοποιούνται είναι: (α) απευθείας χρησιμοποίηση του ατμού, (β) εκτόνωση διαφασικού ρευστού, (γ) χρησιμοποίηση δευτερεύοντος ρευστού (ονομάζεται και κύκλος Rankine με οργανικό ρευστό) και (δ) εκτόνωση της συνολικής ροής).

✓ Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (ΓΑΘ): Οι ΓΑΘ είναι αντλίες θερμότητας, οι οποίες χρησιμοποιούν ως πηγή θερμότητας το έδαφος και το νερό (επιφανειακό ή υπόγειο) για τη μεταφορά της θερμότητας σε ένα θερμότερο μέσο όπως νερό ή αέρας (που θα χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση κατοικίας ή θερμοκηπίου). Γενικά, οι αντλίες θερμότητας έχουν συντελεστή απόδοσης από 1,5 μέχρι και 6, ενώ όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του τόσο οικονομικότερη είναι η χρήση της αντλίας. Η πιο συνηθισμένη πηγή ενέργειας για τις αντλίες θερμότητας είναι ο ατμοσφαιρικός αέρας, αν και το σύστημα σε αυτή την περίπτωση δε λειτουργεί αποδοτικά για θερμοκρασίες μικρότερες από 5 °C. Αντίθετα, οι ΓΑΘ δεν παρουσιάζουν τέτοια προβλήματα καθώς τα υπόγεια νερά και το έδαφος διατηρούν σταθερή θερμοκρασία σχεδόν όλο το χρόνο. Τέλος, τα συστήματα των ΓΑΘ αποτελούνται από τρία μέρη: α) το γεωεναλλάκτη, ο οποίος τοποθετείται μέσα στο έδαφος, β) την αντλία θερμότητας

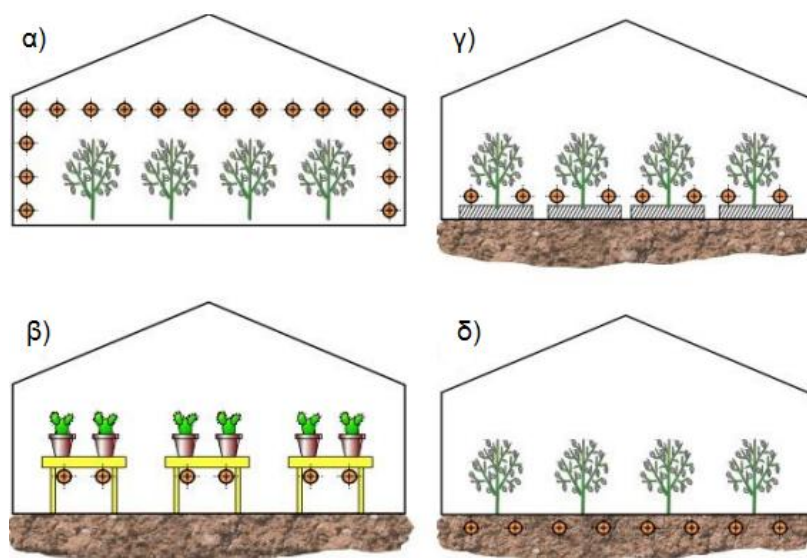
που αυξάνει ή μειώνει τη θερμοκρασία ανάλογα με τις ανάγκες θέρμανσης ή ψύξης και γ) το σύστημα διανομής της θερμότητας (π.χ. αεραγωγοί, επιδαπέδια θέρμανση κλπ.).

✓ Απευθείας θέρμανση χώρων: Πραγματοποιείται με τη διέλευση γεωθερμικού νερού (ή του υγρού που θερμάνθηκε από γεωθερμικό ρευστό) μέσω των εναλλακτών αέρα – υγρού, κάτι που γίνεται και με τα συμβατικά συστήματα θέρμανσης. Χρησιμοποιούνται κυρίως τρεις τύποι τέτοιων εναλλακτών, αυτοί που λειτουργούν (α) με εξαναγκασμένη ροή, (β) με φυσική συναγωγή και (γ) με ακτινοβολία (ενδοδαπέδιοι σωλήνες, σε τοίχους ή στην οροφή).

✓ Αγροτικές εφαρμογές: Περιλαμβάνουν τη θέρμανση θερμοκηπίων (Σχήματα 3.6-3.7), την ξήρανση καρπών και αγροτικών προϊόντων (σιτηρών, λαχανικών, φρούτων κλπ.), τη θέρμανση υδατοκαλλιεργειών και τη θέρμανση του εδάφους.

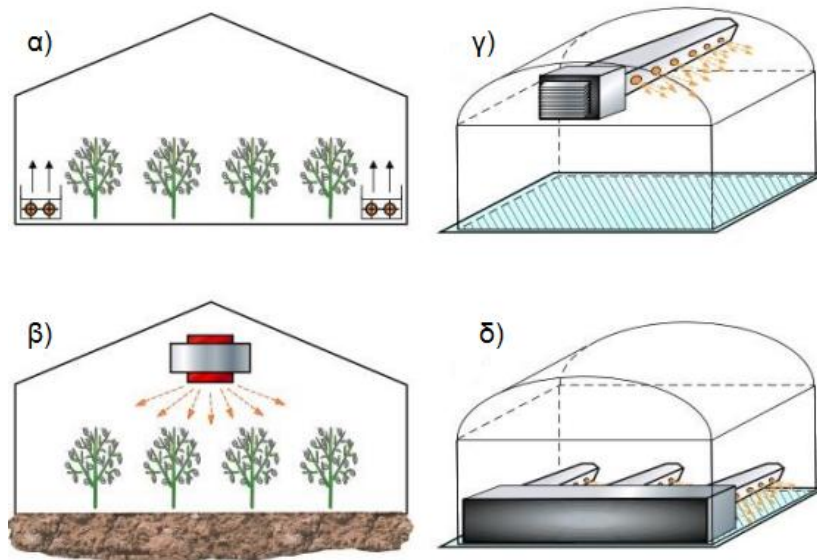
✓ Βιομηχανικές εφαρμογές θέρμανσης : π.χ. στην τσιμεντοβιομηχανία, σε εμφιαλωτήρια, χαρτοβιομηχανία, αφαλατώσεις κλπ.).

✓ Άλλες χρήσεις όπως: Θερμά νερά και ιαματικά λουτρά, αντιπαγετικά έργα σε δρόμους και πεζοδρόμια, παραγωγή αποσταγμένου νερού, κτηνοτροφικές εφαρμογές, χώνευση λυμάτων με προσθήκη γεωθερμικών ρευστών και επανέγχυση των επεξεργασμένων λυμάτων σε γεωθερμικούς ταμιευτήρες, από-στείρωση μπουκαλιών, εμπλουτισμός υπόγειων υδροφόρων οριζόντων, χρήση ρευστών στην εξόρυξη ουρανίου (στο Τέξας), στην επεξεργασία χαλκού (στο Ν. Μεξικό), στο διαχωρισμό χρυσού (στη Νεβάδα) και σε ορυχεία (στη Σιβηρία).



**Σχήμα 3.6:** Εγκαταστάσεις θέρμανσης γεωθερμικών θερμοκηπίων με φυσική συναγωγή: (α) εναέριοι σωλήνες θέρμανσης, (β) θέρμανση πάγκων, (γ) σωλήνες θέρμανσης που είναι τοποθετημένοι χαμηλά, (δ) θέρμανση εδάφους (Πηγή: Ανδρίτσος, 2015)





**Σχήμα 3.7:** Εγκαταστάσεις θέρμανσης γεωθερμικών θερμοκηπίων με εξαναγκασμένη συναγωγή: (α) πλευρική τοποθέτηση σωλήνων, (β) εναέρια αερόθερμα, (γ) αγωγοί τοποθετημένοι ψηλά, (δ) αγωγοί τοποθετημένοι χαμηλά (Πηγή: Ανδρίτσος, 2015)

### 3.3.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της γεωθερμικής ενέργειας

Ορισμένα από τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η χρήση γεωθερμικών πεδίων χαμηλής, μέσης και υψηλής ενθαλπίας είναι τα ακόλουθα (Φιρφυρης, 2013):

- Οδηγεί σε περιορισμό της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων, παρέχοντας ενεργειακή ανεξαρτησία, εξοικονόμηση κόστους και προστασία του περιβάλλοντος.
- Το λειτουργικό κόστος των εφαρμογών της γεωθερμίας εξασφαλίζει εξοικονόμηση σε σχέση με τη χρήση ορυκτών καυσίμων (έως και 80%), καθώς δεν απαιτείται ούτε αγορά καυσίμου, αλλά ούτε και ενδιάμεσες διαδικασίες παραγωγής. Παράλληλα, απουσιάζουν τα κόστη μεταφοράς, αποθήκευσης και καθαρισμού των εγκαταστάσεων.
- Επηρεάζει σε μικρό βαθμό τον περιβάλλοντα χώρο της εγκατάστασης, καθώς απαιτείται μικρή έκταση και παράλληλα δε χρειάζεται αποψίλωση δασικών εκτάσεων ή εκτροπή και/ή χρήση ποταμών ως δεξαμενές.
- Συμβάλλει στην προστασία του περιβάλλοντος καθώς δεν είναι ρυπογόνος, δεν εκλύει αέρια του θερμοκηπίου (τα οποία συμβάλλουν στο φαινόμενο της υπερθέρμανσης), ενώ παράλληλα τα αέρια που ενδεχομένως εκλύονται από τις γεωτρήσεις δεν είναι επιβλαβή.
- Είναι δυνατή η άμεση χρήση του πεδίου, η εγκατάσταση που απαιτείται δεν είναι πολύπλοκη και το λειτουργικό κόστος είναι χαμηλό. Ωστόσο, απαιτείται σχετικά υψηλό αρχικό κεφάλαιο, το οποίο ωστόσο μακροπρόθεσμα καθίσταται αποσβέσιμο.

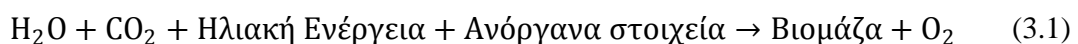
- Συμβάλλει στη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας, ενώ πολλές φορές οδηγεί και στην επίτευξη οικονομικής ανάπτυξης σε τοπικό επίπεδο ανάλογα με τη χρήση του πεδίου.
- Με κατάλληλη αξιοποίηση της γεώτρησης και του ρευστού που προέρχεται από αυτή είναι δυνατή η χρησιμοποίησή του για διαφορετικές εφαρμογές, καθώς το ρευστό μπορεί να βρεθεί σε διάφορες θερμοκρασίες κατά την εξόρυξη του ή ακόμη και μετά την αξιοποίησή του.

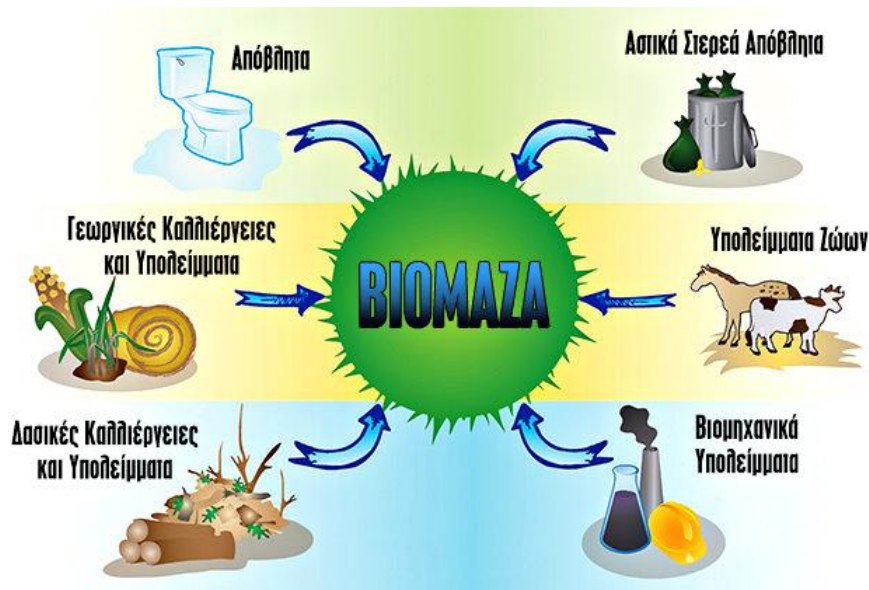
Από την άλλη πλευρά, η εφαρμογή τεχνολογιών γεωθερμίας συγκεντρώνει και ορισμένα μειονεκτήματα τα κυριότερα εκ των οποίων είναι (Φιρφιρής, 2013):

- Η αρχική επένδυση είναι αρκετά υψηλή.
- Τα γεωθερμικά πεδία δύνανται να αξιοποιηθούν μόνο στην περιοχή που υπάρχουν, καθώς το μέσο που χρησιμοποιείται είναι το ρευστό εξόρυξης, το οποίο δεν μπορεί να μεταφερθεί σε μεγάλες αποστάσεις.
- Η ανάγκη για εξειδικευμένο προσωπικό και εξοπλισμό, καθώς απαιτούνται σωστές γεωλογικές έρευνες, γεωτρήσεις παραγωγής και συστήματα αξιοποίησης των ρευστών που βρίσκονται στα πεδία αφού αυτά εξορυχτούν.
- Η πιθανότητα τα αέρια που εκλύονται από μια γεωθερμική γεώτρηση να είναι τοξικά και επιβλαβή για τον άνθρωπο, αν και δεν είναι ρυπογόνα για το περιβάλλον.
- Σε περίπτωση που η γεωλογική έρευνα δεν είναι ορθή, είναι πιθανό το γεωθερμικό ρευστό να ψυχθεί μετά από παρατεταμένη χρήση ή ακόμα και να στερέψει η δεξαμενή από την οποία αντλείται.
- Η πιθανότητα πρόκλησης φθορών στους σωλήνες ή στα υλικά, τα οποία χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά και την αξιοποίηση των γεωθερμικών ρευστών λόγω της σύστασής τους.

### 3.4 Βιομάζα

Η βιομάζα (Σχήμα 3.8) είναι «το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα προϊόντων, αποβλήτων και καταλοίπων που προέρχονται από τις γεωργικές, συμπεριλαμβανομένων φυτικών και ζωικών ουσιών, τις δασοκομικές και τις συναφείς βιομηχανικές δραστηριότητες, καθώς και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα βιομηχανικών αποβλήτων και αστικών λυμάτων και απορριμμάτων», όπως ορίζεται στο άρθρο 2 του Νόμου 3468/2006 (ΦΕΚ 129/Α/27-6-2006) και σχηματίζεται από τη φωτοσυνθετική μετατροπή της ηλιακής ενέργειας. Οι βασικές πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται είναι το νερό και ο άνθρακας, τα οποία υπάρχουν σε αφθονία στη φύση, και η διεργασία που πραγματοποιείται δίνεται από την εξίσωση:





Σχήμα 3.8: Είδη βιομάζας (Πηγή: <http://www.hellenic-college.gr>)

### 3.4.1 Μέθοδοι αξιοποίησης της βιομάζας

Υπάρχουν αρκετοί τρόποι αξιοποίησης της βιομάζας για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών (παραγωγή θερμότητας, ηλεκτρισμού, ψύξης κλπ.), είτε με απευθείας καύση είτε με μετατροπή της σε αέρια, υγρά ή/και στερεά καύσιμα μέσω βιοχημικών ή θερμοχημικών μεθόδων. Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου εξαρτάται από χαρακτηριστικά, όπως είναι η αναλογία άνθρακα/αζώτου (C/N) και η περιεχόμενη υγρασία των υπολειμμάτων κατά τη διάρκεια της συλλογής τους. Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι (Ανδριόπουλος, 2011; Μπουσδέκης, 2012):

1. Βιοχημικές μέθοδοι (υγρές):
  - a. Αναερόβια χώνευση (anaerobic digestion): Πρόκειται για τη βιοχημική διεργασία κατά την οποία σύνθετα οργανικά υλικά αποσυντίθενται απουσία οξυγόνου, με τη βοήθεια αναερόβιων μικροοργανισμών. Τα κύρια προϊόντα της είναι το βιοαέριο και το χωνεμένο υπόλειμμα.
  - b. Αερόβια χώνευση ή κομποστοποίηση (composting): Είναι η διαδικασία αποδόμησης και σταθεροποίησης οργανικών υλικών με τη βοήθεια αερόβιων μικροοργανισμών υπό ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας, υγρασίας και αερισμού, από την οποία παράγεται ένα άοσμο και μικρής περιεκτικότητας σε υγρασία χουμικό προϊόν, γνωστό ως κομπόστ.
  - c. Αλκοολική ζύμωση: Πρόκειται για τη διαδικασία διάσπασης της γλυκόζης παρουσία ζαχαρομυκήτων προς παραγωγή βιοαιθανόλης, η οποία διαχωρίζεται από τα υπόλοιπα συστατικά με απόσταξη.

2. Θερμοχημικές μέθοδοι (ξηρές):
- a. Απευθείας καύση (direct combustion): Η απευθείας καύση, δηλαδή η μετατροπή της χημικής ενέργειας της βιομάζας σε θερμότητα, αποτελεί την απλούστερη και πιο διαδεδομένη μέθοδο ενεργειακής αξιοποίησής της. Λαμβάνει χώρα σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες και πραγματοποιείται με προεπεξεργασία της βιομάζας (τεμαχισμός, ξήρανση, συμπίεση κ.α.) ή και χωρίς. Για την επίτευξη της βέλτιστης απόδοσης κατά την καύση είναι επιθυμητό η περιεκτικότητα της βιομάζας σε υγρασία να είναι χαμηλή (συνήθως κάτω από 20%).
  - b. Αεριοποίηση (gasification): Στη μέθοδο αυτή περιλαμβάνεται η μερική καύση της βιομάζας σε κατάλληλους αντιδραστήρες, με αναλογία αέρα μικρότερη από τη στοιχειομετρική, για την παραγωγή μίγματος αερίων, χαμηλής και μέσης θερμοαντικής αξίας. Το μίγμα αυτό μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο σε μηχανές εσωτερικής καύσης (MEK) ή τουρμπίνες.
  - c. Πυρόλυση (pyrolysis): Κατά τη διάρκεια αυτής της μεθόδου, η βιομάζα αποσυντίθεται απουσία οξυγόνου και τα προϊόντα που παράγονται είναι αέρια, πυρολιγνικά υγρά και βιοάνθρακας (κάρβουνο). Λαμβάνει χώρα σε κλειστά δοχεία σε θερμοκρασίες 500-600 °C και για την πραγματοποίησή της απαιτούνται μικρές ποσότητες θερμότητας.
  - d. Ανθρακοποίηση: Πρόκειται για τη διεργασία κατά την οποία το ξύλο θερμαίνεται παρουσία αέρα σε αναλογία μικρότερη από τη στοιχειομετρική και σαν προϊόν παράγεται κάρβουνο, καθώς και υγρά και αέρια παραπροϊόντα.

### 3.4.2 Εφαρμογές της βιομάζας

Στην υποενότητα αυτή, γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση των κύριων εφαρμογών της γεωθερμίας ως ανανεώσιμης πηγής ενέργειας. Οι εφαρμογές αυτές είναι:

- ✓ Θέρμανση κτιρίων με καύση βιομάζας σε ατομικούς / κεντρικούς λέβητες.
- ✓ Θέρμανση θερμοκηπίων.
- ✓ Παραγωγή ενέργειας σε γεωργικές βιομηχανίες (π.χ. σε ελαιοτριβεία, βιοτεχνίες κονσερβοποίησης, πυρηνελαιουργεία κλπ.).
- ✓ Παραγωγή ενέργειας σε βιομηχανίες ξύλου.
- ✓ Παραγωγή ενέργειας από βιοαέριο.
- ✓ Τηλεθέρμανση, δηλαδή μεταφορά θερμότητας και θερμού νερού χρήσης μέσω προ-μονωμένου δικτύου αγωγών από έναν κεντρικό σταθμό προς τους θερμαινόμενους χώρους.
- ✓ Παραγωγή βιοκαυσίμων και χρήση τους σε οχήματα.

### 3.4.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της βιομάζας

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα από την αξιοποίηση της βιομάζας ως πηγή ενέργειας είναι τα ακόλουθα (Σταυρόπουλος, 2015):

- Είναι ΑΠΕ και παρέχει ενέργεια αποθηκευμένη σε χημική μορφή. Παράλληλα αξιοποιείται μέσω της μετατροπής της σε μια ποικιλία προϊόντων, με διάφορες μεθόδους και χρήση σχετικά απλής τεχνολογίας.
- Συμβάλλει στον περιορισμό των εκπομπών του διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>) στην ατμόσφαιρα, το οποίο είναι υπεύθυνο για την όξινη βροχή, καθώς η ύπαρξη θείου στη βιομάζα είναι μηδαμινή.
- Δε συνεισφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, καθώς οι ποσότητες του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) που απελευθερώνονται κατά την καύση της δεσμεύονται ξανά από τα φυτά για τη δημιουργία νέας βιομάζας.
- Η χρήση της ως καύσιμο συμβάλλει σε μεγάλο βαθμό στη μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενα καύσιμα, τη βελτίωση του εμπορικού ισοζυγίου και την εξασφάλιση ενεργειακού εφοδιασμού.
- Η αξιοποίησή της αυξάνει τις θέσεις εργασίας σε αγροτοκτηνοτροφικές περιοχές, συμβάλλοντας με αυτό τον τρόπο στην κοινωνικο-οικονομική ανάπτυξή τους.

Από την άλλη πλευρά, η χρήση της βιομάζας ως πηγή ενέργειας παρουσιάζει και ορισμένα μειονεκτήματα, όπως είναι (Σταυρόπουλος, 2015):

- Η εποχιακή παραγωγή και η μεγάλη διασπορά της που δυσκολεύουν την τροφοδοσία με πρώτη ύλη των μονάδων ενεργειακής αξιοποίησής της.
- Εξαιτίας της πολυμορφίας που χαρακτηρίζει τη βιομάζα ως πηγή ενέργειας παρουσιάζονται δυσκολίες κατά τη συλλογή, τη μεταφορά και την αποθήκευσή της, αυξάνοντας το κόστος αξιοποίησής της.
- Η χαμηλή πυκνότητα και η υψηλή περιεκτικότητά της σε υγρασία, σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα, δυσχεραίνουν την ενεργειακή αξιοποίησή της.
- Οι σύγχρονες και βελτιωμένες τεχνολογίες μετατροπής της βιομάζας απαιτούν δαπανηρές εγκαταστάσεις και εξοπλισμό, συγκρινόμενες με αυτές των συμβατικών καυσίμων.

## 3.5 Υδροηλεκτρική ενέργεια

Υδροηλεκτρική ενέργεια (ή υδροϊσχύς) είναι η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από την πτώση του νερού ποταμών ή λιμνών με τη βοήθεια υδροστροβίλων και ηλεκτρογεννητριών, και όπως και πολλές άλλες ΑΠΕ αποτελεί έμμεση ηλιακή ενέργεια.

Η ισχύς μιας υδατόπτωσης δίνεται από τη σχέση (Κορωναίος, 2012):

$$N = n Q \rho g h \text{ (kW)} \quad (3.2)$$

όπου:

$n$  = ο βαθμός απόδοσης μηχανικής εκμετάλλευσης της υδατόπτωσης, ο οποίος κυμαίνεται από 0,8 έως 0,95,

$Q$  = η ογκομετρική παροχή του νερού (σε  $\text{m}^3/\text{s}$ ),

$\rho$  = η πυκνότητα του νερού (σε  $\text{kg}/\text{m}^3$ ),

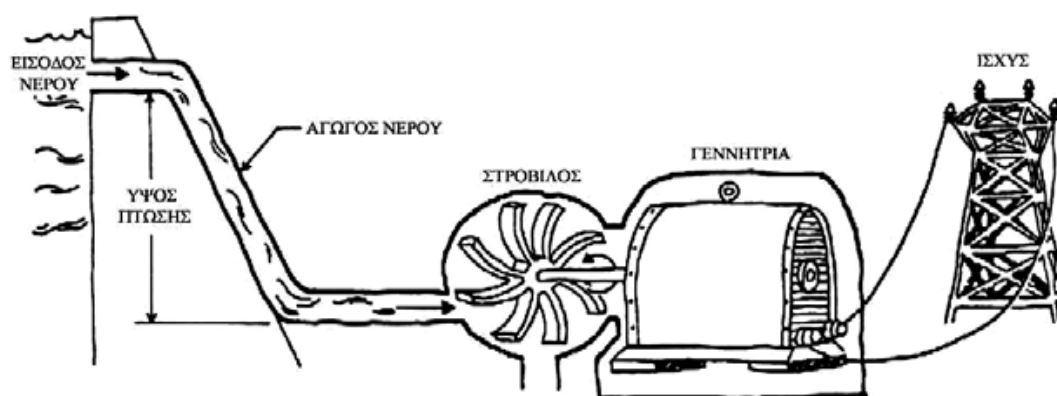
$g$  = η επιτάχυνση της βαρύτητας, η οποία ισούται με  $9,81 \text{ m}/\text{s}^2$  και

$h$  = το καθαρό ύψος της υδατόπτωσης (σε  $\text{m}$ ).

### 3.5.1 Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί

Στα βασικά μέρη ενός υδροηλεκτρικού σταθμού (Σχήμα 3.9) περιλαμβάνονται (Κορωναίος, 2012):

- ✓ Το φράγμα ή υδατοφράκτης που αυξάνει το ύψος πτώσης και δημιουργεί τον ταμιευτήρα νερού.
- ✓ Το σύστημα προσαγωγής του νερού, το οποίο περιλαμβάνει τη σήραγγα ή/και τη σωλήνωση.
- ✓ Το εργοστάσιο με τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό (π.χ. στρόβιλοι, εναλλακτήρες, κτίρια, βοηθητικός εξοπλισμός κλπ.)/
- ✓ Η διώρυγα φυγής του νερού από το εργοστάσιο στον ποταμό.
- ✓ Οι γραμμές μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας.



**Σχήμα 3.9:** Σχηματική απεικόνιση ενός υδροηλεκτρικού σταθμού (Πηγή: Κορωναίος, 2012)

Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί κατατάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες (Κορωναίος, 2012; Ανδρίτσος, 2015):

- 1) Ανάλογα με την ενεργό υψομετρική διαφορά του νερού δηλαδή το ύψος της υδατόπτωσης  $H$  σε:
  - Μικρή:  $H < 15\text{m}$
  - Ενδιάμεση:  $15\text{m} < H < 50\text{m}$
  - Μεγάλη:  $H > 50\text{m}$
- 2) Ανάλογα με την εγκατεστημένη ισχύ σε:
  - Μικροσταθμοί (micro) με ισχύ μέχρι 500 kW
  - Μεσαίου δυναμικού (mini) με ισχύ 500 kW – 1 MW
  - Μικρά Υ/Η (small) με ισχύ 1 – 10 MW
  - Μεγάλα Υ/Η με ισχύ μεγαλύτερη από 10 MW
- 3) Ανάλογα με το τύπο του υδροστροβίλου: Οι υδροστροβίλοι σήμερα παρουσιάζουν ποικιλία σχημάτων και μεγέθους, καθώς η διάμετρός τους ποικίλλει από 0,3 έως 20m. Ο συνηθέστεροι τύποι που χρησιμοποιούνται στους υδροηλεκτρικούς σταθμούς είναι οι:
  - Στρόβιλοι Francis: Χρησιμοποιούνται όταν η ροή του νερού είναι μεγάλη και το ύψος από το οποίο ξεκινά το νερό είναι σχετικά μεγάλο (5-200m). Η ταχύτητα του στροβίλου είναι σχεδόν ίση με την ταχύτητα του νερού και ο στρόβιλος είναι πάντοτε βυθισμένος στο νερό.
  - Στρόβιλοι Kaplan: Χρησιμοποιούνται για μικρή υψομετρική διαφορά (2-20m) και είναι κυρίως κατάλληλοι για μεγάλες παροχές νερού. Η ταχύτητα του στροβίλου είναι πάντα μεγαλύτερη από την ταχύτητα του νερού.
  - «Τροχοί» Pelton: Χρησιμοποιούνται όταν η ροή του νερού είναι μικρή, αλλά το νερό πέφτει από μεγάλο ύψος (συνήθως μεγαλύτερο από 250m).
- 4) Ανάλογα με τον τύπο του φράγματος σε:
  - Σταθμούς φράγματος, οι οποίοι περιλαμβάνουν το ανάντη φράγμα, τη διώρυγα τροφοδοσίας και τον αγωγό πίεσης.
  - Σταθμούς ποτάμιας στάθμης, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από μικρά ύψη και μεγάλες παροχές, ενώ το φράγμα που απαιτείται δεν είναι σημαντικό.
  - Σταθμούς αντλιών.

### 3.5.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της υδροηλεκτρικής ενέργειας

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από την αξιοποίηση της υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι τα ακόλουθα (Κορωναίος, 2012; Ανδρίτσος, 2015):

- ❖ Είναι πολύ αποδοτική (το ποσοστό απόδοσής της είναι μεγαλύτερο από 85%).
- ❖ Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και η απόδοσή τους δε μεταβάλλεται με την ηλικία τους, με την προϋπόθεση ότι πραγματοποιούνται οι απαραίτητες συντηρήσεις.

- ❖ Είναι διαθέσιμη όλο το χρόνο, δεν απαιτούνται πολλά μηχανήματα για την αξιοποίησή της και γενικά δεν έχει μεγάλη επίδραση στο περιβάλλον (δεν εκπέμπονται ρύποι και θερμικά απόβλητα), εκτός από τη μεταβολή του τοπικού μικροκλίματος.
- ❖ Υπάρχει ευκολία και απλότητα χειρισμών, καθώς οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί ξεκινούν ή σταματούν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια πολύ γρήγορα. Επιπλέον, απαιτείται ελάχιστο προσωπικό.

Από την άλλη πλευρά η αξιοποίηση της υδροηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζει και ορισμένα μειονεκτήματα – περιορισμούς, τα σημαντικότερα εκ των οποίων είναι:

- ❖ Η χρονική διακύμανση της υδραυλικότητας (δηλαδή της συχνότητας των βροχοπτώσεων και των χιονοπτώσεων σε ένα χρόνο) μεταξύ υγρής και ξηρής περιόδου και κατ' επέκταση η διακύμανση της παραγόμενης ισχύος εποχιακά.
- ❖ Η οπτική ρύπανση, αν και σε σχετικά μικρές κατασκευές το φράγμα μπορεί να γίνει με υλικό της περιοχής.
- ❖ Η ανάγκη κατασκευής μεγάλων εγκαταστάσεων επεξεργασίας και αποθήκευσης νερού (π.χ. φράγματα, υδαταγωγοί κ.α.) εξαιτίας της περιορισμένης ειδικής ενεργειακής πυκνότητας του νερού.
- ❖ Η πιθανότητα αστοχίας στην κατασκευή (καταστροφή φράγματος), ιδιαίτερα σε σεισμογενείς περιοχές.

### **3.6 Παλιρροϊκή ενέργεια και ενέργεια από τα κύματα**

Η θάλασσα αποτελεί μια τεράστια πηγή ενέργειας. Οι κυριότερες μορφές ενέργειας που μπορούν να αξιοποιηθούν από την πηγή αυτή είναι η παλιρροϊκή ενέργεια και η ενέργεια από τα κύματα.

#### **3.6.1 Παλιρροϊκή ενέργεια**

Η παλιρροϊκή ενέργεια αξιοποιεί τη μεταβολή του επιπέδου της θάλασσας που συμβαίνει σχεδόν δύο φορές ημερησίως και οφείλεται στη βαρυτική επίδραση κυρίως της σελήνης και δευτερευόντως του ήλιου. Παλίρροιες δημιουργούνται και από την περιστροφική κίνηση της γης. Μεγαλύτερη παλίρροια συμβαίνει όταν ήλιος και σελήνη βρίσκονται στην ίδια ευθεία και μικρότερη όταν βρίσκονται σε ορθή γωνία.

Η μέση τιμή της παλίρροιας (στο μέσο του ωκεανού) ανέρχεται σε περίπου 0,5m. Ωστόσο, η παλίρροια ενισχύεται από τις τοπικές τοπογραφικές συνθήκες (π.χ. σε ρηγά νερά κοντά στις ακτές, σε εκβολές ποταμών ή και από φαινόμενα συντονισμού), με αποτέλεσμα, καθώς πλησιάζει προς τις ακτές και το βάθος του νερού μειώνεται, η ροή της να ενισχύεται με αύξηση του ύψους του νερού, το οποίο μπορεί να φτάσει τα 3m (Ανδρίτσος, 2015).



### 3.6.1.1 Αξιοποίηση της παλιρροϊκής ενέργειας

Η ιδέα της αξιοποίησης των παλιρροϊών δεν είναι καινούργια. Από τον 11<sup>ο</sup> μ.Χ. αιώνα υπήρχαν σε λειτουργία «παλιρροϊκοί» μύλοι σε Αγγλία, Βέλγιο, Γαλλία και Ισπανία, ενώ η ιδέα για παραγωγή μηχανικής ενέργειας από τις παλίρροιες αναπτύχθηκε στις αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα (Το 1920 για πρώτη φορά αναφέρεται η ιδέα της παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος στη Μεγάλη Βρετανία). Σήμερα εκτιμάται ότι το παγκόσμιο δυναμικό των παλιρροϊών ανέρχεται σε 3x10<sup>6</sup> MWe. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι πρακτικά για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας απαιτείται τουλάχιστον 5-7m διαφορά μεταξύ υψηλής και χαμηλής παλίρροιας.

Η αξιοποίηση της παλιρροϊκής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρισμού γίνεται με (Ανδρίτσος, 2015):

- ❖ Παλιρροϊκά φράγματα: Ο συνηθέστερος τρόπος είναι η παγίδευση του νερού με τη βοήθεια φράγματος σε κόλπους ή σε εκβολές ποταμών. Η δυναμική ενέργεια λόγω της υψομετρικής διαφοράς του νερού μετατρέπεται σε κινητική και ακολούθως μέσω των πτερυγίων του στροβίλου σε περιστροφική κινητική ενέργεια. Κατά την άμπωτη και την απομάκρυνση του νερού, αυτό περνά μέσα από μια σειρά υδροστροβίλων.
- ❖ Παλιρροϊκοί φράκτες: Έχουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μη κλειστές λεκάνες (π.χ. ανάμεσα σε δύο νησιά).
- ❖ Παλιρροϊκοί στρόβιλοι: Μοιάζουν με τις ανεμογεννήτριες και παρουσιάζουν ορισμένα πλεονεκτήματα σε σχέση με τα φράγματα και τους φράκτες όσον αφορά στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Τέλος, παρόμοιοι υδροστρόβιλοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιοποίηση των θαλάσσιων ρευμάτων.

### 3.6.1.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της παλιρροϊκής ενέργειας

Η παλιρροϊκή ενέργεια, όπως και πολλές άλλες ΑΠΕ, είναι μια ενέργεια σχετικά φιλική προς το περιβάλλον, η οποία χαρακτηρίζεται από υψηλό κόστος κεφαλαίου. Το φράγμα προσφέρει τη δυνατότητα σύνδεσης των ακτών ενός κόλπου με δρόμο. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι η μεγάλη αναμενόμενη ζωή των συστημάτων που μπορεί να ξεπεράσει και τα 100 χρόνια.

Από την άλλη πλευρά υπάρχουν και ορισμένα μειονεκτήματα αυτών των συστημάτων που αναπόφευκτα επηρεάζουν το τοπικό οικοσύστημα. Ορισμένα από τα μειονεκτήματα αυτά είναι: η αύξηση του ύψους του νερού μέσα στο φράγμα με κίνδυνο εκδήλωσης πλημμυρών στη γύρω περιοχή, η παρεμπόδιση της ναυσιπλοΐας στον κόλπο, η αύξηση της θολερότητας του νερού και η δημιουργία «κόκκινης παλίρροιας» (αύξηση του μικροοργανισμού *Gonyalaux excavata*). Λόγω του περιορισμέ-νου αριθμού των εφαρμογών είναι αδύνατη η εξαγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων σχετικά με τις επιπτώσεις στα θαλάσσια φυτά και ζώα μέσα στο φράγμα. Τέλος, παρόλο που το παλιρροϊκό δυναμικό είναι τεράστιο στον κόσμο,

στην πράξη η ηλεκτρική ενέργεια δύναται να παραχθεί μόνο σε περιοχές με εξαιρετικά υψηλές παλίρροιες (Ανδρίτσος, 2015).

### **3.6.2 Ενέργεια από τα κύματα**

Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια της θάλασσας μπορεί να μετατραπεί σε κύματα μέσω των ανέμων με επίπεδα ισχύος πάνω από 100 W/m της κορυφής των κυμάτων.

Οι πρώτες προσπάθειες για την αξιοποίηση της ενέργειας των κυμάτων έγιναν πριν από περίπου 100 χρόνια, αλλά η πραγματική ώθηση στην ανάπτυξη βιώσιμης τεχνολογίας για την αξιοποίησή της δόθηκε μετά την «ενεργειακή κρίση» του 1973. Οι πρωτοπόρες χώρες σε αυτή την κατεύθυνση ήταν το Ηνωμένο Βασίλειο και η Ιαπωνία. Άλλες χώρες που έχουν προχωρήσει σε μικρά έργα είναι η Νορβηγία, η Σουηδία, η Δανία, η Ιρλανδία και η Ινδία. Οι εκτιμήσεις για το παγκόσμιο δυναμικό ανέρχονται σε 2 TW/έτος, αν και το οικονομικά αξιοποιήσιμο είναι αρκετά μικρότερο. Τέλος, οι διαρροές τεράστιων ποσοτήτων πετρελαίου στη θάλασσα τα τελευταία 30 χρόνια έχουν μειώσει το δυναμικό της ενέργειας από τα κύματα, εξαιτίας της αλλαγής των χαρακτηριστικών της διεπιφάνειας νερό – αέρα από τη λεπτή στιβάδα του πετρελαίου (Ανδρίτσος, 2015).

#### **3.6.2.1 Συστήματα αξιοποίησης της ενέργειας των κυμάτων**

Για την αξιοποίηση της ενέργειας των κυμάτων έχουν προταθεί διάφορα συστήματα, επιφανειακά ή κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας, σταθερά ή επιπλέοντα, μέσα στη θάλασσα ή κοντά στην ακτή. Ορισμένα από τα συστήματα αυτά είναι (Ανδρίτσος, 2015):

- 1) Σταθερά συστήματα
  - a) Σύστημα ταλαντευόμενης στήλης νερού: αποτελείται από ένα μεγάλο μεταλλικό χώρο που καταλήγει σε μια κλειστή κάθετη στήλη, όπου είναι τοποθετημένος ένας αεροστρόβιλος μαζί με την ηλεκτρογεννήτρια. Η περιστροφή του στροβίλου γίνεται και κατά τη συμπίεση του αέρα και κατά την αποσυμπίεσή του. Τέλος, χαρακτηριστικό του στροβίλου είναι ότι περιστρέφεται πάντοτε προς μία κατεύθυνση, ασχέτως με το αν ο αέρας εξέρχεται ή εισέρχεται στο χώρο.
  - b) Το TAPCHAN: συνίσταται από κανάλι τύπου «χοάνης», το οποίο τοποθετείται δίπλα στη ξηρά, με μέγιστο ύψος πλευρών 7m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Λόγω της μείωσης της διατομής τα κύματα αυξάνουν σε ύψος και το νερό οδηγείται σε τεχνητό υδάτινο ταμιευτήρα. Από εκεί το νερό επιστρέφει στη θάλασσα αφού περάσει από έναν υδροστρόβιλο τύπου Kaplan.

- c) Συσκευή «εκκρεμές»: αποτελείται από μια παραλληλεπίπεδη δεξαμενή, ανοικτή από μια πλευρά προς τη θάλασσα. Σε αυτή την πλευρά τοποθετείται «θυρίδα» που ανοιγοκλείνει με τη ροή του νερού και παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα από την παλινδρομική κίνηση της θυρίδας με τη βοήθεια υδραυλικού συστήματος.
- 2) Επιπλέοντα συστήματα

### 3.6.2.2 Πλεονεκτήματα της ενέργειας των κυμάτων

Η ενέργεια των κυμάτων συγκαταλέγεται μεταξύ των ηπιότερων περιβαλλοντικά ενεργειακών τεχνολογιών καθώς (Ανδρίτσος, 2015):

- ❖ Δε χρησιμοποιούν καύσιμα και τοξικά χημικά και κατ' επέκταση δεν προκαλούν χημική ρύπανση.
- ❖ Δε θέτουν σε κίνδυνο τη ναυσιπλοΐα (με τη χρήση κατάλληλης σήμανσης), καθώς και τη μετανάστευση των ψαριών.
- ❖ Ο θόρυβος που προκαλείται από τη λειτουργία των συστημάτων αυτών είναι λιγότερος από το θόρυβο των ίδιων των κυμάτων.
- ❖ Δεν προκαλούν οπτική – αισθητική ρύπανση, εκτός από τα συστήματα που βρίσκονται επάνω στην ακτογραμμή.

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

---

### 4. Αξιοποίηση των ΑΠΕ για τη θέρμανση ενός θερμοκηπίου

Η χρήση συστημάτων θέρμανσης και κατ' επέκταση η κατανάλωση συμβατικών καυσίμων είναι ο κύριος οικονομικός παράγοντας που αυξάνει το κόστος παραγωγής ενός θερμοκηπίου. Το υψηλό κόστος και η αβεβαιότητα της διαθεσιμότητας των συμβατικών καυσίμων, καθιστούν αναγκαία την αξιοποίηση των ΑΠΕ. Τα πλεονεκτήματα των ΑΠΕ είναι (Ντίνας, 2012):

- ✚ Είναι πρακτικά ανεξάντλητες και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησής από τους συμβατικούς ενεργειακούς πόρους.
- ✚ Έχουν (συνήθως) χαμηλό λειτουργικό κόστος που δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων.
- ✚ Είναι φιλικές προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο.

Από την άλλη πλευρά οι ΑΠΕ παρουσιάζουν και ορισμένα μειονεκτήματα όπως είναι:

- ✚ Οι διακυμάνσεις στη διαθεσιμότητά τους, οι οποίες μπορεί να είναι μεγάλης διάρκειας απαιτώντας δαπανηρές μεθόδους αποθήκευσης ή / και την εφεδρεία άλλων ενεργειακών πηγών.
- ✚ Ο χαμηλός συντελεστής χρησιμοποίησης των εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης των ΑΠΕ, αποτέλεσμα της χαμηλής διαθεσιμότητάς τους.

Οι περισσότερες εφαρμογές που έχουν δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα σχετίζονται με την ηλιακή και τη γεωθερμική ενέργεια και δευτερευόντως με την καύση της βιομάζας. Η αιολική ενέργεια δε χρησιμοποιείται για την κάλυψη των αναγκών θέρμανση των θερμοκηπίων, αφενός λόγω του υψηλού κόστους εγκατάστασης των ανεμογεννητριών και αφετέρου του γεγονότος ότι η κατασκευή των θερμοκηπίων γίνεται σε περιοχές, στις οποίες δεν επικρατούν ισχυροί άνεμοι.

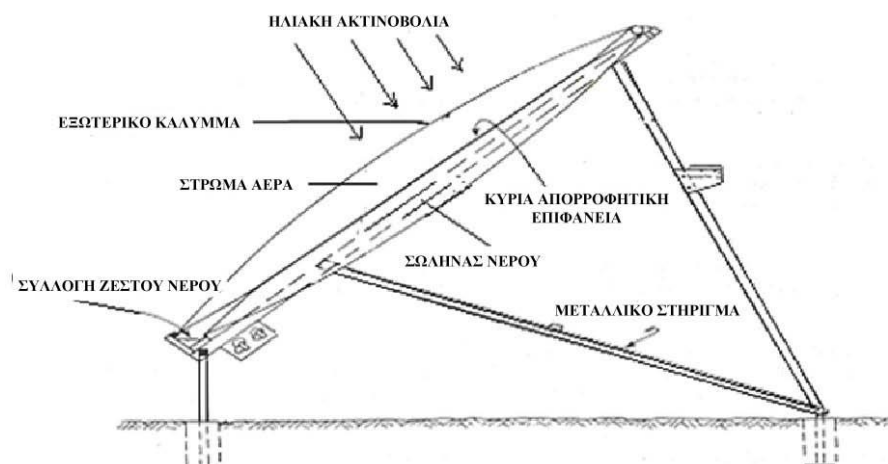
#### 4.1 Χρήση ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση ενός θερμοκηπίου

Το θερμοκήπιο από μόνο του, λόγω του τρόπου κατασκευής του, αποτελεί ένα παθητικό σύστημα αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας. Ο βαθμός απόδοσής του ως παθητικός ηλιακός συλλέκτης εξαρτάται από τον τρόπο κατασκευής και τα υλικά κάλυψης του. Παρ' όλα αυτά, απαιτούνται συμπληρωματικά μέτρα διατήρησης της

θερμοκρασίας στο εσωτερικό του τις κρύες μέρες του χειμώνα και κατά τη διάρκεια της νύχτας που δεν υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία.

Τα θερμοκήπια με παθητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης ανάλογα με το μέσο αποθήκευσης της θερμικής ενέργειας κατηγοριοποιούνται σε (Κούγιας, 2007):

1. Θερμοκήπια όπου το μέσο αποθήκευσης της θερμότητας είναι το νερό και μπορεί να τοποθετηθεί είτε εσωτερικά είτε εξωτερικά του θερμοκηπίου. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα παθητικά ηλιακά συστήματα με πλαστικές σωλήνες με νερό ή με χρήση δοχείων κατά μήκος της βόρειας πλευράς του θερμοκηπίου. Τέλος, στην κατηγορία αυτή ανήκει και το σύστημα που χρησιμοποιεί εξωτερικό ηλιακό συλλέκτη ζεστού νερού σε συνδυασμό με υπόγεια αποθήκη θερμότητας νερού (Σχήμα 4.1). Ο εξωτερικός ηλιακός συλλέκτης αποτελείται από μια σκουρόχρωμη πλάκα για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας, καθώς και από ένα πλαστικό ή γυάλινο κάλυμμα, το οποίο παγιδεύει τη διερχόμενη από αυτό ηλιακή ακτινοβολία.



**Σχήμα 4.1:** Εξωτερικός ηλιακός συλλέκτης για τη συλλογή της ηλιακής ενέργειας (Πηγή: Ντίνας, 2012)

2. Θερμοκήπια όπου το μέσο αποθήκευσης είναι υλικά αλλαγής φάσης. Τα υλικά αλλαγής φάσης είναι ανόργανα, ένυδρα άλατα και τοποθετούνται συνήθως εντός του θερμοκηπίου υπογείως σε καλά μονωμένες ειδικές κατασκευές ή στη βορινή πλευρά του θερμοκηπίου. Οι κατασκευές αυτές διαθέτουν δύο ανοίγματα, από το ένα γίνεται η είσοδος του θερμού αέρα από τον ηλιακό συλλέκτη και από το άλλο διοχετεύεται η θερμότητα στο χώρο του θερμοκηπίου.

3. Θερμοκήπια όπου το μέσο αποθήκευσης είναι ένα στρώμα από χαλίκια. Στο σύστημα αυτό χρησιμοποιούνται χαλίκια διαμέτρου 20-100mm, τα οποία τοποθετούνται υπογείως σε βάθος μεταξύ 40-50cm. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, η περίσσεια θερμότητας μεταφέρεται από το εσωτερικό του θερμοκηπίου στην υπόγεια αποθήκη με τη χρήση ανεμιστήρα, ενώ τη νύχτα πραγματοποιείται η αντίστροφη διαδικασία.

4. Θερμοκήπια όπου το μέσο αποθήκευσης είναι ένας υπόγειο εναλλάκτης θερμότητας εδάφους – αέρα. Στο σύστημα αυτό οι σωλήνες τοποθετούνται κατά μήκος του θερμοκηπίου με σημεία εισόδου και εξόδου του αέρα σε διαφορετικές πλευρές. Την ημέρα ο θερμός αέρας που είναι εγκλωβισμένος στα υψηλότερα μέρη του θερμοκηπίου μεταφέρεται μέσω των σωλήνων κάτω από το έδαφος με αποτέλεσμα τη θέρμανση του υπεδάφους. Τη νύχτα, ο ψυχρός αέρας από το εσωτερικό κυκλοφορεί ξανά μέσω των σωλήνων από το θερμό υπεδάφος με αποτέλεσμα την απόδοση ενέργειας στο ψυχρό ρεύμα αέρα.

5. Θερμοκήπια όπου το μέσο αποθήκευσης μπορεί να είναι άλλου τύπου. Το σύστημα αυτό βασίζεται στην τοποθέτηση μονωτικού υλικού μαύρου χρώματος στις πλευρές του θερμοκηπίου, με στόχο τη μείωση των απωλειών θερμότητας.

Στα παραπάνω συστήματα η περίσσεια θερμότητας μεταφέρεται κατά τη διάρκεια της ημέρας στην περιοχή αποθήκευσης και αποδίδεται κατά τη νύχτα ή τις επόμενες ημέρες ώστε να ικανοποιούνται οι ανάγκες θέρμανσης του θερμοκηπίου. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι η λειτουργία των συστημάτων επηρεάζεται από παραμέτρους όπως είναι: το μέγεθος του θερμοκηπίου, η θέση και ο προσανατολισμός του, το υλικό κάλυψης και ο τύπος της καλλιέργειας.

Όσον αφορά στα υβριδικά ηλιακά συστήματα, τα σημαντικότερα εξ αυτών με τα οποία πραγματοποιείται η θέρμανση των θερμοκηπίων είναι (Κούγιας, 2007):

1. Ηλιακοί συλλέκτες, οι οποίοι ενσωματώνονται στην εγκατάσταση του θερμοκηπίου, με ή χωρίς αποθήκη θερμότητας.
2. Εξωτερικός ηλιακός συλλέκτης ζεστού νερού και υπόγεια αποθήκη θερμότητας νερού.
3. Εξωτερικός ηλιακός συλλέκτης ζεστού αέρα και αποθήκη θερμότητας με πετρώδη υλικά ή υλικά αλλαγής φάσης.
4. Σύστημα υπόγειου εναλλάκτη θερμότητας εδάφους – αέρα.

## **4.2 Χρήση γεωθερμικής ενέργειας για τη θέρμανση ενός θερμοκηπίου**

Για τη θέρμανση των θερμοκηπίων χρησιμοποιούνται τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας. Το γεωθερμικό ρευστό αντλείται και με τη βοήθεια αγωγών κατευθύνεται προς το χώρο του θερμοκηπίου. Σύμφωνα με τον Popovski (1988) η χρήση αυτή είναι συμφέρουσα για τους ακόλουθους λόγους:

- Η χρήση γεωθερμικών πεδίων χαμηλής ενθαλπίας για τη θέρμανση θερμοκηπίων αποτελεί έναν από τους καλύτερους τρόπους εκμετάλλευσής τους.
- Υπάρχει καλή συσχέτιση μεταξύ των περιοχών όπου υπάρχουν γεωθερμικά πεδία και των περιοχών που μπορούν να κατασκευαστούν θερμοκηπιακές μονάδες.

- Τα συστήματα που χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση των θερμοκηπίων είναι σχετικά απλά στην εφαρμογή τους και έχουν χαμηλό κόστος.
- Τα γεωθερμικά θερμοκήπια αποτελούν από οικονομική άποψη ανταγωνιστικά καλλιεργητικά συστήματα, ειδικά σε περιοχές με ψυχρό κλίμα.

Τα γεωθερμικά ρευστά χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση του θερμοκηπίου είτε άμεσα είτε έμμεσα. Η άμεση χρήση προτιμάται όταν το ρευστό είναι σχετικά καθαρό από χημικές προσμίξεις και πραγματοποιείται με την κυκλοφορία του μέσα σε ειδικούς πλαστικούς σωλήνες που είναι τοποθετημένοι πάνω ή μέσα στο έδαφος. Στην περίπτωση της έμμεσης χρήσης χρησιμοποιείται εναλλάκτης, ο οποίος μεταφέρει τη θερμότητα του ρευστού είτε σε νερό είτε σε αέρα που με τη σειρά τους χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση του χώρου μέσω σωλήνων ή ανεμιστήρων αντίστοιχα.

Επιπλέον, για τη θέρμανση των θερμοκηπίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι ΓΑΘ μέσω της ανύψωσης της θερμοκρασίας του ρευστού που χρησιμοποιείται στο σύστημα θέρμανσης κατά 5-10 °C, αξιοποιώντας τις θερμοκρασίες της αβαθούς γεωθερμίας. Το σύστημα του γεωεναλλάκτη αποδίδει θερμότητα στη ΓΑΘ, η οποία ακολούθως τη μεταφέρει στο ρευστό που κυκλοφορεί στο σύστημα διανομής της θερμότητας (μπορεί να είναι αεραγωγοί, επιδαπέδιοι σωλήνες κλπ.). Τα συστήματα αυτά είναι σχεδιασμένα να λειτουργούν με θερμοκρασίες μικρότερες από 60 °C (Αντωνακούδη, 2014).

### 4.3 Χρήση βιομάζας για τη θέρμανση ενός θερμοκηπίου

Από τις διάφορες μεθόδους αξιοποίησης της βιομάζας για την παραγωγή ενέργειας αυτή που εφαρμόζεται κυρίως στη θέρμανση των θερμοκηπίων είναι η άμεση καύση και σε μικρότερο βαθμό η αεριοποίηση της φυτικής βιομάζας.

Κατά την καύση καλή απόδοση έχουν υλικά με χαμηλή περιεκτικότητα σε υγρασία και πλούσια σε λιγνίτη και κυτταρίνη (π.χ. το ξύλο, τα υπολείμματα συγκομιδής σιτηρών, ελαιωδών, ινωδών φυτών, τα υπολείμματα κλαδέματος οπωροφόρων, δασικών δέντρων ή αμπελιού κ.α.). Η δυνατότητα χρησιμοποίησής τους για τη θέρμανση των θερμοκηπίων εξαρτάται από (Βαφειάδης, 2008):

- το κόστος συλλογής τους,
- το κόστος μεταφοράς, αποθήκευσης και επεξεργασίας τους,
- το κόστος συντήρησης του καυστήρα και
- την ευκολία τροφοδοσίας του καυστήρα με το καύσιμο.

Οι ενεργειακές καλλιέργειες (π.χ. ελαιοκράμβη, ηλίανθος κ.α.) αποτελούν την πιο πλούσια πηγή παραγωγής βιομάζας, αλλά καθώς το κόστος παραγωγής τους είναι αρκετά υψηλό, η χρήση τους στη θέρμανση θερμοκηπίων είναι περιορισμένη.

Η βιομάζα χαρακτηρίζεται από χαμηλό ενεργειακό περιεχόμενο σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα (Πίνακας 4.1), με αποτέλεσμα να απαιτούνται αρκετά μεγαλύτερες ποσότητες για τη θέρμανση θερμοκηπίων. Για το λόγο αυτό, είναι επιθυμητό τα θερμοκήπια να κατασκευάζονται κοντά στις περιοχές παραγωγής της βιομάζας, ώστε να ελαχιστοποιείται με τον τρόπο αυτό το κόστος μεταφοράς της.

**Πίνακας 4.1:** Θερμογόνος ισχύς καυσίμων (Νικολάου κ.α., 2003; Βαφειάδης, 2008)

Καύσιμη ύλη	Θερμογόνος ισχύς (MJ/kg)
Πετρέλαιο	42,70
Ξύλο ροδακινιάς	19,26
Ξύλο ελιάς	18,84
Άχυρο σιταριού	18,42
Ελαιοπυρηνόξυλο	15,91

Στην Ελλάδα, η κύρια μορφή βιομάζας που χρησιμοποιείται για τη θέρμανση των θερμοκηπίων είναι το ελαιοπυρηνόξυλο, το οποίο αποτελεί παραπροϊόν της πυρηνελαιουργίας, και βρίσκεται σε αφθονία και σε αρκετά προσιτή τιμή, ιδίως στις ελαιοπαραγωγικές περιοχές όπου υπάρχουν πολλά ελαιουργεία. Μειονέκτημα της χρήσης πυρηνόξυλου είναι η αναγκαιότητα για χώρο αποθήκευσης και συστήματος προώθησης στον καυστήρα. Επιπλέον, η δυσοσμία κατά τη διάρκεια της καύσης μπορεί να προκαλέσει οχλήσεις (Βουρδουμπάς, 2000; Αντωνακούδη, 2014).

Τέλος, όσον αφορά στα προϊόντα που παράγονται από την αεριοποίηση της φυτικής βιομάζας ή την αναερόβια χώνευση των κτηνοτροφικών λυμάτων σε ελάχιστες περιπτώσεις στον ελλαδικό χώρο χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση των θερμοκηπίων, ενώ περιορισμένη εφαρμογή βρίσκουν και τα προϊόντα της πυρόλυσης (π.χ. το ξυλοκάρβουνο) (Βαφειάδης, 2008).



---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

---

### 5. Μελέτη περίπτωσης – Περιγραφή του εξεταζόμενου θερμοκηπίου

#### 5.1 Περιοχή μελέτης

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας εξετάζεται η σκοπιμότητα εγκατάστασης δυο συστημάτων θέρμανσης σε θερμοκήπιο παραγωγής τομάτας στην περιοχή του Νομού Ηλείας, και πιο συγκεκριμένα σε παράκτια περιοχή του Δήμου Πύργου.

##### 5.1.1 Γενικά στοιχεία περιοχής μελέτης

Ο Νομός Ηλείας (Σχήμα 5.1) καταλαμβάνει το βορειοδυτικό τμήμα της Πελοποννήσου και έχει συνολική έκταση 2.681km<sup>2</sup>, εκ των οποίων το 35% είναι δασικές εκτάσεις. Διοικητικά υπάγεται στην Περιφέρεια Δυτικής Ελλάδας, μαζί με την Αχαΐα και την Αιτωλοακαρνανία, και κατέχει την τελευταία θέση μεταξύ αυτών σε έκταση, καθώς και σε πληθυσμό.



Σχήμα 5.1: Χάρτης Νομού Ηλείας (Πηγή: <http://1dimzacharo.weebly.com/>)

Συνορεύει στα βορειοανατολικά με το Νομό Αχαΐας, στα ανατολικά με το Νομό Αρκαδίας, νότια με το Νομό Μεσσηνίας, ενώ δυτικά βρέχεται από το Ιόνιο Πέλαγος. Πρωτεύουσά του είναι ο Πύργος, ο οποίος είναι χτισμένος σε μικρό ύψωμα μέσα σε κατάφυτη περιοχή από ελιές, αμπέλια και εσπεριδοειδή. Τέλος, διασχίζεται από τους ποταμούς Αλφειό, Πηνειό, Ερύμανθο και τους παραποτάμους τους και χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη παράλιων υδροβιότοπων (Κοτύχι, Καϊάφα).

### **5.1.2 Διοικητική διαίρεση**

Ο Νομός Ηλείας συνίσταται από τους ακόλουθους Καλλικρατικούς δήμους, σύμφωνα με το άρθρο 1 του Νόμου 3852/2010 ΦΕΚ τεύχος Α 87 «Νέα Αρχιτεκτονική της Αυτοδιοίκησης και της Αποκεντρωμένης Διοίκησης – Πρόγραμμα Καλλικράτης (Πηγή: <http://www.kallikratis.org/>):

- 1) Δήμος Ζαχάρως με έδρα τη Ζαχάρω αποτελούμενος από τους πρώην δήμους Ζαχάρως και Φιγαλείας.
- 2) Δήμος Ανδρίτσαινας – Κρεστένων με έδρα τα Κρέστενα και ιστορική έδρα την Ανδρίτσαινα αποτελούμενος από τους πρώην δήμους Σκιλλούντος, Ανδριτσαίνης και Αλιφείρας.
- 3) Δήμος Πύργου με έδρα τον Πύργο αποτελούμενος από τους πρώην δήμους Πύργου, Ωλένης, Ιορδανού και Βόλακος.
- 4) Δήμος Ήλιδας με έδρα την Αμαλιάδα αποτελούμενος από τους πρώην δήμους Αμαλιάδας και Πηνειάς.
- 5) Δήμος Αρχαίας Ολυμπίας με έδρα την Αρχαία Ολυμπία αποτελούμενος από τους πρώην δήμους Αρχαίας Ολυμπίας, Λασιώνος, Φολόης και Λαμπείας.
- 6) Δήμος Ανδραβίδας – Κυλλήνης με έδρα τα Λεχαινά και ιστορική Έδρα τη Βάρδα αποτελούμενος από τους πρώην δήμους Λεχαιών, Ανδραβίδας, Κάστρου – Κυλλήνης και Βουπρασίας.
- 7) Δήμος Πηνειού με έδρα τη Γαστούνη αποτελούμενος από τους πρώην δήμους Γαστούνης, Βαρθολομιού και Τραγανού.

### **5.1.3 Δημογραφικά στοιχεία**

Ο πληθυσμός του Νομού Ηλείας και των 7 επιμέρους δήμων του, όπως προέκυψε από την απογραφή του 2011, παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.1.

**Πίνακας 5.1:** Πληθυσμός Περιφερειακής Ενότητας Ηλείας με βάση τα στοιχεία της απογραφής του 2011 (Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ.)

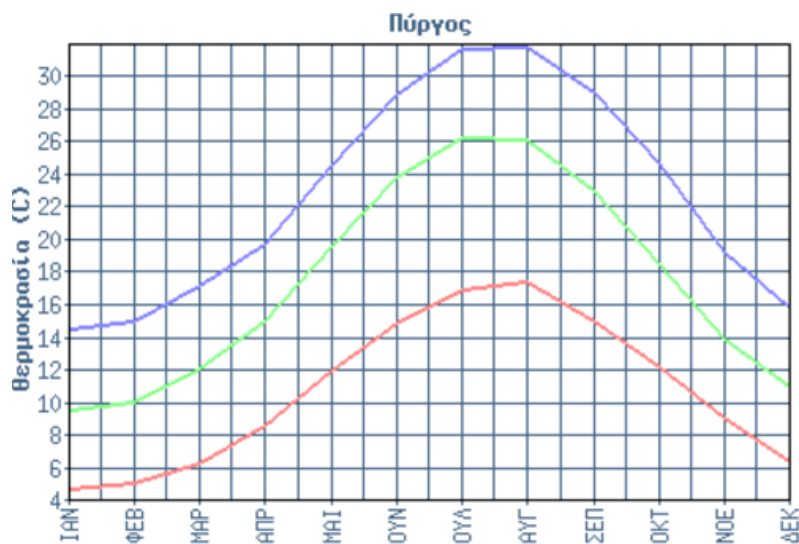
Περιοχή	Μόνιμος πληθυσμός	Νόμιμος πληθυσμός	Πραγματικός πληθυσμός
Περιφερειακή Ενότητα Ηλείας	159.300	182.463	161.226
Δήμος Ανδραβίδας - Κυλλήνης	21.581	22.079	22.689
Δήμος Ανδρίτσαινας-Κρεστένων	14.109	17.976	14.268
Δήμος Αρχαίας Ολυμπίας	13.409	19.534	13.901
Δήμος Ζαχάρως	8.953	11.776	9.076
Δήμος Ήλιδας	32.219	36.442	32.235
Δήμος Πηνειού	21.034	20.944	21.255
Δήμος Πύργου	47.995	53.712	47.802

#### 5.1.4 Κλιματολογικά στοιχεία

Το κλίμα του Νομού Ηλείας είναι μεσογειακό και θερμό, με σχετικά υψηλά ποσοστά βροχοπτώσεων και διακυμάνσεις της θερμοκρασίας. Ακολουθούν (Πίνακες 5.2 – 5.4 και Σχήματα 5.2 – 5.4) δεδομένα σχετικά με τη θερμοκρασία, την υγρασία και τους ανέμους για την περιοχή του Πύργου. Τα δεδομένα αυτά προέρχονται από το μετεωρολογικό σταθμό του Πύργου, ο οποίος έχει γεωγραφικό πλάτος 37°40', γεωγραφικό μήκος 21°18' και βρίσκεται σε υψόμετρο 12m, και αφορούν την περίοδο 1975-1997.

**Πίνακας 5.2:** Μηνιαία ελάχιστη, μέση και μέγιστη θερμοκρασία για την περιοχή του Πύργου, περίοδος δεδομένων: 1975-1997 (Πηγή: <http://www.hnms.gr/>)

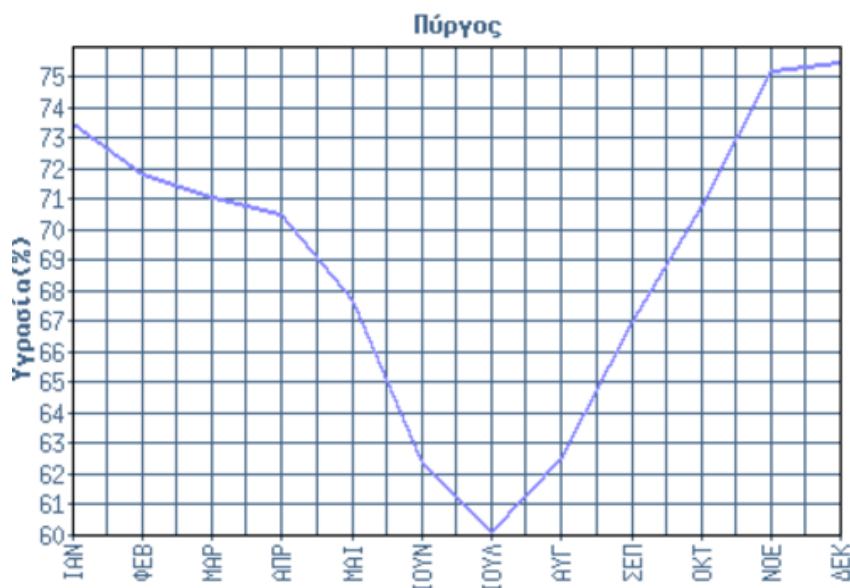
1 <sup>ο</sup> εξάμηνο	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ
Ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία (°C)	4,8	5,1	6,3	8,6	12,0	14,9
Μέση μηνιαία θερμοκρασία (°C)	9,6	10,1	12,2	15,0	19,6	23,8
Μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία (°C)	14,6	15,0	17,2	19,8	24,6	28,9
2 <sup>ο</sup> εξάμηνο	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία (°C)	17,0	17,4	15,1	12,3	9,1	6,5
Μέση μηνιαία θερμοκρασία (°C)	26,3	26,1	23,0	18,5	13,9	11,0
Μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία (°C)	31,7	31,8	29,1	24,7	19,3	15,9



**Σχήμα 5.2:** Στοιχεία θερμοκρασίας ανά μήνα για την περιοχή του Πύργου, περίοδος δεδομένων: 1975-1997 (Πηγή: <http://www.hnms.gr/>)

**Πίνακας 5.3:** Μέση μηνιαία υγρασία για την περιοχή του Πύργου, περίοδος δεδομένων: 1975-1997 (Πηγή: <http://www.hnms.gr/>)

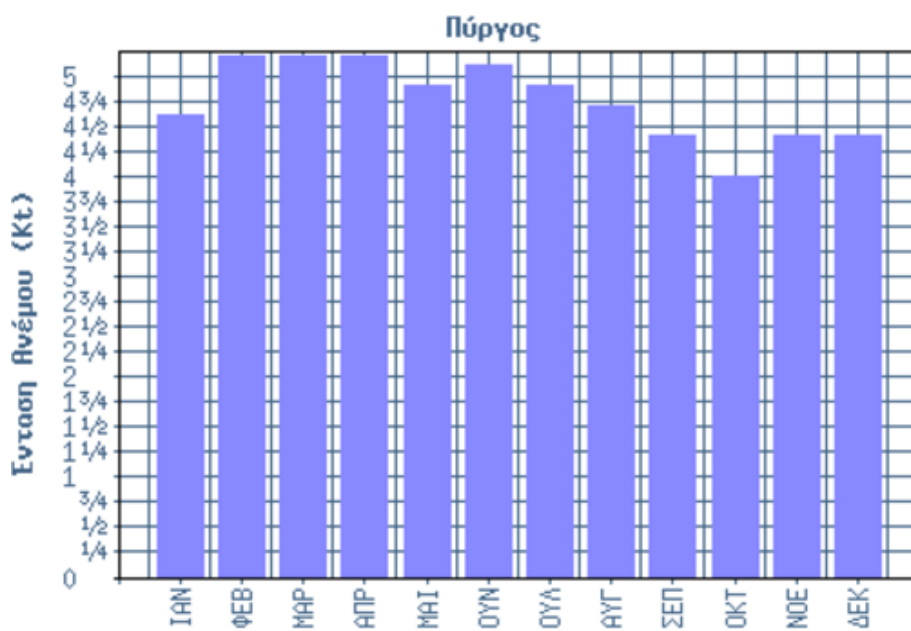
1 <sup>ο</sup> εξάμηνο	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ
Μέση μηνιαία υγρασία (%)	73,5	71,8	71,1	70,5	67,7	62,4
2 <sup>ο</sup> εξάμηνο	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Μέση μηνιαία υγρασία (%)	60,1	62,5	67,0	70,8	75,2	75,5



**Σχήμα 5.3:** Μηνιαία στοιχεία υγρασίας για την περιοχή του Πύργου, περίοδος δεδομένων: 1975-1997 (Πηγή: <http://www.hnms.gr/>)

**Πίνακας 5.4:** Μέση μηνιαία διεύθυνση και ένταση ανέμου για την περιοχή του Πύργου, περίοδος δεδομένων: 1975-1997 (Πηγή: <http://www.hnms.gr/>)

1 <sup>ο</sup> εξάμηνο	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ
Μέση μηνιαία διεύθυνση ανέμων	ΒΔ	ΒΔ	ΒΔ	ΒΔ	ΒΔ	ΒΔ
Μέση μηνιαία ένταση ανέμων (Κt)	4,6	5,2	5,2	5,2	4,9	5,1
2 <sup>ο</sup> εξάμηνο	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Μέση μηνιαία διεύθυνση ανέμων	ΒΔ	ΒΔ	ΒΔ	ΒΔ	ΒΔ	ΒΔ
Μέση μηνιαία ένταση ανέμων (Κt)	4,9	4,7	4,4	4,0	4,4	4,4



**Σχήμα 5.4:** Γράφημα μηνιαίας έντασης ανέμου για την περιοχή του Πύργου, περίοδος δεδομένων: 1975-1997 (Πηγή: <http://www.hnms.gr/>)

### 5.1.5 Γεωμορφολογία – φυσικό περιβάλλον περιοχής

Η γεωμορφολογία του εδάφους του νομού προσδιορίζεται κυρίως από πεδινές εκτάσεις. Σύμφωνα με στοιχεία της ΕΛ.ΣΤΑΤ. το 57% της συνολικής έκτασης είναι πεδινό, το 20,2% ημιορεινό και το 22,8% ορεινό. Το φυσικό περιβάλλον χαρακτηρίζεται από πλούσια πανίδα και χλωρίδα και υπάρχει αρκετή δασοκάλυψη (κυρίως πεύκα και δρυς).

### 5.1.6 Οικονομική δραστηριότητα περιοχής

Πυρήνα της οικονομικής δραστηριότητας του Νομού Ηλείας αποτελεί η αγροτική παραγωγή. Ο Πύργος και η Αμαλιάδα είναι τα δύο μεγαλύτερα αγροτικά κέντρα με ελάχιστη βιομηχανία και βιοτεχνία. Οι γεωργικές καλλιέργειες είναι κυρίως τομάτες, δημητριακά, όσπρια, πατάτες, πεπονοειδή και βιομηχανικά φυτά. Μεγάλες εκτάσεις καταλαμβάνουν και οι δεντροκαλλιέργειες, κυρίως οι ελιές και τα εσπεριδοειδή. Τέλος, η κτηνοτροφία του Νομού Ηλείας είναι εξ' ίσου αναπτυγμένη και περιλαμβάνει κυρίως την εκτροφή μικρών ζώων, πουλερικών και αλόγων.

## 5.2 Είδος καλλιέργειας – τομάτα

### 5.2.1 Γενικά στοιχεία για τη τομάτα

Η τομάτα – *Solanum lycopersicum* L. ή *Lycopersicon esculentum* Miller ή *Solanum lycopersicum* var. *esculentum* Hay. – ανήκει στην οικογένεια των σολανιδών (*Solanaceae*). Το όνομα τομάτα προέρχεται από το τομάτλ με το οποίο ονόμαζαν το φυτό οι ιθαγενείς του Μεξικού. Αρχικά, επικρατούσε η άποψη ότι χώρα καταγωγής της τομάτας είναι το Περού, σήμερα όμως γίνεται δεκτό ότι κατάγεται από την περιοχή Vera Cruz-Puebla του Μεξικού. Στο συμπέρασμα αυτό συνέβαλαν οι πληροφορίες (ιστορικές, αρχαιολογικές και εθνοβοτανικές) που καταγράφηκαν από τους Jenkins (1948) και Esquinas-Alcazar (1981).

Στην Ευρώπη η τομάτα μεταφέρθηκε τον 16<sup>ο</sup> αιώνα, αλλά και μέχρι τον 19<sup>ο</sup> αιώνα χρησιμοποιούταν ως καλλωπιστικό φυτό, καθώς οι Ευρωπαίοι θεωρούσαν ότι ο καρπός της περιείχε τοξικές ουσίες, ανάλογες των δηλητηριωδών γλυκοζιτών που υπάρχουν στα φύλλα ή στους καρπούς άλλων ειδών της ίδιας οικογένειας. Στην Ελλάδα η τομάτα εισήχθη αρχικά στην Αθήνα το 1818 (Κανάκης, 1997).

Αν και ανήκει στην κατηγορία των φρούτων, λόγω του τρόπου που χρησιμοποιείται στις διατροφικές συνήθειες των ανθρώπων έχει καθιερωθεί ως λαχανικό (όπως συμβαίνει με το κολοκύθι, τη μελιτζάνα, το αγγούρι και την πιπεριά). Η τομάτα (Σχήμα 5.5) καλλιεργείται σε ολόκληρο τον κόσμο, είτε στην ύπαιθρο (καλλιέργεια εποχής) είτε σε θερμοκήπια (εκτός εποχής καλλιέργεια) υπό κάλυψη. Κατέχει διεθνώς την τρίτη σε έκταση θέση μετά την πατάτα και τη γλυκοπατάτα, ενώ στην Ελλάδα η καλλιέργειά της καταλαμβάνει τη δεύτερη σε έκταση θέση μετά την πατάτα (Γρινιεζάκη, 2013).

Καλλιεργείται για τον καρπό της, ο οποίος καταναλώνεται ώριμος ως ακέραιος (νωπός, αποξηραμένος ή σε άλμη), ως πολτός ή ως πάστα. Ακόμη και οι άωροι καρποί της συντηρούνται σε άλμη ή ξύδι και καταναλώνονται ως τουρσί (πίκλες). Τέλος, η προτίμηση των καταναλωτών προς την τομάτα οφείλεται κυρίως στο ότι ο

καρπός της περιέχει πολλά θρεπτικά συστατικά, έχει ελκυστικό χρώμα, ιδιαίτερο άρωμα και καλές οργανοληπτικές ιδιότητες (Κανάκης, 1997).



**Σχήμα 5.5:** Στάδια ωρίμανσης του καρπού της τομάτας (Πηγή: <http://www.eclass.teipel.gr/eclass2/modules/document/file.php/TTG158/>)

### 5.2.2 Δημιουργία πολλαπλασιαστικού υλικού – σπορείο

Η τομάτα πολλαπλασιάζεται εγγενώς με σπόρο, είτε με απευθείας σπορά στο χωράφι (σπανίως), είτε με σπορά σε σπορείο (συνήθης πρακτική). Το σπορείο είναι χώρος κατάλληλα διαμορφωμένος (χωριστά από το θερμοκήπιο) που προορίζεται αποκλειστικά για την παραγωγή πολλαπλασιαστικού υλικού. Η έκταση του υπολογίζεται σε 8-10% της έκτασης του θερμοκηπίου. Υπάρχουν δύο είδη σπορειών:

1. Τα θερμά σπορεία (χρησιμοποιείται μια τεχνητή πηγή θερμότητας) και
2. τα ψυχρά σπορεία.

Συνήθως εφαρμόζονται δύο τρόποι σποράς. Στον πρώτο, η σπορά πραγματοποιείται σε κιβώτια και στη συνέχεια τα φυτά μεταφυτεύονται σε πλαστικά κύπελλα ή ομαδικά μέσα σποράς. Στο δεύτερο, η σπορά γίνεται απευθείας στα πλαστικά κύπελλα. Συνήθως κάθε κιβώτιο σποράς έχει διαστάσεις 45-50cm (μήκος) x 30-35cm (πλάτος) x 6-7cm (ύψος) και περιλαμβάνει περίπου 300 σπόρους.

Η ομοιομορφία του βάθους σποράς είναι απαραίτητη προϋπόθεση για το ομοιόμορφο φύτρωμα και την παραγωγή ομοιόμορφων φυταρίων. Όταν ολοκληρωθεί η σπορά, τα κιβώτια καλύπτονται με τζάμι ή φύλλο πλαστικού και πάνω του τοποθετείται χαρτί. Τοποθετούνται πάνω στους πάγκους του σπορείου και ρυθμίζεται η θερμοκρασία του χώρου για να βλαστήσουν οι σπόροι, ενώ παράλληλα καθημερινά πραγματοποιούνται έλεγχοι για τυχόν έλλειψη υγρασίας, έναρξη φυτώματος. Τέλος, μετά το φύτρωμα απομακρύνονται τα υλικά κάλυψης (Γρινιεζάκη, 2013).

### 5.2.3 Εδαφικές απαιτήσεις

Πρόκειται για έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες για την επιτυχία των θερμοκηπιακών καλλιεργειών γι' αυτό και απαιτείται να γίνεται ανάλυση δείγματος εδάφους πριν από την εγκατάσταση μίας καλλιέργειας στο θερμοκήπιο, ώστε να υπάρχει μια εικόνα τυχόν έλλειψης ή περίσσειας θρεπτικών στοιχείων.

Η τομάτα ευδοκίμει σε ποικιλία εδαφών, αλλά αναπτύσσεται και αποδίδει καλύτερα σε μέτριας σύστασης, βαθιά, γόνιμα, στραγγερά, καλά αεριζόμενα, πλούσια σε οργανική ύλη και μεγάλης υδατοχωρητικότητας εδάφη. Τέτοια εδάφη είναι κυρίως τα αμμοπηλώδη και τα αμμοαργιλώδη. Όσον αφορά στις χημικές ιδιότητες του εδάφους, η πιο κατάλληλη αντίδραση για την καλλιέργεια της τομάτας θεωρείται η περιοχή μεταξύ  $\text{pH} = 6 - 6,5$  αν και  $\text{pH}$  μέχρι 7,5 έχει καλά αποτελέσματα. Τέλος, το ριζικό σύστημα της τομάτας αναπτύσσεται μέχρι το βάθος των 75cm και στην περίπτωση που η φυσική στράγγιση του εδάφους δεν είναι ικανοποιητική, πρέπει να προβλέπεται η εγκατάσταση συστήματος στράγγισης στο θερμοκήπιο (Γρινιεζάκη, 2013).

Για τη βελτίωση της δομής και των ιδιοτήτων του εδάφους στο θερμοκήπιο είναι απαραίτητη η προσθήκη υψηλών ποσοτήτων οργανικής ύλης. Η αποσύνθεση της οργανικής ύλης σε συνθήκες θερμοκηπίου πραγματοποιείται με ταχύ ρυθμό και ως εκ τούτου επιβάλλεται η προσθήκη οργανικής ουσίας σε αρκετές ποσότητες τουλάχιστον μία φορά το χρόνο. Παράλληλα, επειδή στα θερμοκήπια ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ δύο διαδοχικών καλλιεργειών είναι πολύ σύντομος, η οργανική ουσία πρέπει να προστίθεται χωνεμένη προκειμένου να διασφαλιστούν όλα τα πλεονεκτήματά της (Κανάκης, 1997).

Η οργανική ύλη προστίθεται στο έδαφος με:

- Κοπριά: Προέρχεται από διάφορα είδη ζώων (συνήθως βοοειδών, αιγοπροβάτων και πουλερικών) βιολογικής εκτροφής. Αυξάνει την οργανική ουσία, εμπλουτίζει το έδαφος με θρεπτικά στοιχεία, διευκολύνει την απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων από το φυτό, εμπλουτίζει το έδαφος με ωφέλιμους μικροοργανισμούς και βελτιώνει την υφή του εδάφους.
- Κομπόστ: Αποτελεί όχι μόνο μια πρώτης ποιότητας πηγή θρεπτικών στοιχείων, αλλά παράλληλα προσθέτει στο έδαφος μικροοργανισμούς και πολύτιμες ουσίες σε μικρές ποσότητες, οι οποίες προστατεύουν τα φυτά, καθιστώντας τα πιο ανθεκτικά σε διάφορες προσβολές.
- Χλωρή λίπανση: Πρόκειται για την ενσωμάτωση στο έδαφος της χλωρής φυτικής μάζας που αναπτύσσει μια καλλιέργεια, η οποία σπέρνεται σε μια επιθυμητή πυκνότητα για το σκοπό αυτό. Η χλωρή λίπανση εφοδιάζει το έδαφος με οργανική ουσία, η οποία αποσυντίθεται, με αποτέλεσμα την τροφοδότηση του εδάφους με τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία για τα φυτά και τη βελτίωση της δομής του εδάφους.
- Αμειψισπορά: Είναι η συστηματική εναλλαγή καλλιεργουμένων ειδών σε μία συγκεκριμένη γεωργική έκταση, στα πλαίσια ενός οργανωμένου



προγράμματος διάρκειας μερικών ετών. Η εναλλαγή του φυτικού είδους που καλλιεργείται σε ένα χωράφι πραγματοποιείται με κριτήριο ότι το φυτικό είδος που ακολουθεί δεν πρέπει να ανήκει στην ίδια οικογένεια με το προηγούμενο, να μην έχει κοινούς εχθρούς και ασθένειες και να μην έχει τις ίδιες απαιτήσεις σε θρεπτικά συστατικά. Τέλος, η αμειψισπορά συμβάλλει στη βελτίωση της γονιμότητας του εδάφους και κατ' επέκταση στην αύξηση της απόδοσης και τον περιορισμό των παρασίτων.

#### 5.2.4 Κλιματικές απαιτήσεις

Η ανάπτυξη και η παραγωγή της τομάτας εξαρτώνται από: τη θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία και το φωτισμό. Για τη μεγαλύτερη απόδοση του φυτού και την καλύτερη ποιότητα του προϊόντος θα πρέπει οι παραπάνω παράγοντες να βρίσκονται στα άριστα επίπεδα των αναγκών του.

Η θερμοκρασία είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για τα θερμοκήπια καθώς το χειμώνα βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα και το καλοκαίρι σε υψηλά. Και στις δύο περιπτώσεις απαιτούνται πολλά έξοδα και ειδικοί χειρισμοί για τη διατήρηση της θερμοκρασίας των θερμοκηπίων σε ανεκτά επίπεδα. Οι απαιτήσεις της τομάτας σε θερμοκρασία είναι οι ακόλουθες (Γρινιεζάκη, 2013):

- ✓ Θανατηφόρος θερμοκρασία: 0-2 °C ελάχιστη και μέγιστη 48-50 °C μέγιστη. Όταν η θερμοκρασία παραμείνει για μεγάλο χρονικό διάστημα κάτω από την ελάχιστη ή πάνω από τη μέγιστη το φυτό εξασθενεί ή καταστρέφεται.
- ✓ Βιολογική θερμοκρασία: 8-10 °C ελάχιστη και 30-35 °C μέγιστη. Μικρότερες ή μεγαλύτερες αντίστοιχα θερμοκρασίες από αυτές για μεγάλο χρονικό διάστημα δημιουργούν διαταραχές στο φυτό χωρίς να το καταστρέφουν.
- ✓ Θερμοκρασία φυτρώματος: 9-10 °C ελάχιστη, 20-30 °C άριστη και 35-40 °C μέγιστη. Όσο απομακρύνεται από τα άριστα επίπεδα, τόσο καθυστερεί το φύτευμα και αυξάνει το ποσοστό των σπόρων που δε φυτρώνουν.
- ✓ Θερμοκρασία ανάπτυξης και καρπόδεσης: 20-28 °C την ημέρα και 13-18 °C τη νύχτα. Τα παραπάνω είναι τα ιδανικά επίπεδα για την καλή ανάπτυξη των φυτών. Όσο απομακρύνεται από αυτά, τόσο αυξάνουν τα προβλήματα στην ανάπτυξη των φυτών, στη γονιμοποίηση και καρπόδεση και στην ανάπτυξη των καρπών.
- ✓ Θερμοκρασία εδάφους: 13-14 °C ελάχιστη και 18-22 °C μέγιστη. Μικρότερες ή μεγαλύτερες θερμοκρασίες δυσχεραίνουν την ανάπτυξη των φυτών, την απορρόφηση νερού και θρεπτικών στοιχείων, καθώς και την ανανέωση του ριζικού συστήματος.

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι οι παραπάνω απαιτήσεις της τομάτας σε θερμοκρασία αυξάνονται με την ηλικία του φυτού. Για την ανάπτυξη απαιτούνται υψηλότερες θερμοκρασίες απ' ό,τι για την άνθηση.

Η σχετική υγρασία είναι ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας που επιδρά στο φυτό και στην παραγωγή, με τα φυσιολογικά επίπεδα να κυμαίνονται μεταξύ 55% και 70%. Υψηλότερη σχετική υγρασία στο χώρο του θερμοκηπίου, δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη και εξάπλωση πολλών ασθενειών και τη μη απελευθέρωση της γύρης από τους ανθήρες. Από την άλλη πλευρά με χαμηλή σχετική υγρασία ξηραίνεται το στίγμα, ενώ όταν η χαμηλή σχετική υγρασία συνοδεύεται από υψηλές θερμοκρασίες και κακή κυκλοφορία του αέρα, ξηραίνεται η γύρη και δεν μπορεί να βλαστήσει.

Τέλος, ο φωτισμός είναι και αυτός ένας παράγοντας αποφασιστικής σημασίας για την ομαλή ανάπτυξη και παραγωγή της τομάτας, καθώς λαμβάνει μέρος και καθορίζει τις περισσότερες και σπουδαιότερες λειτουργίες της. Η έλλειψη ή η ανεπάρκεια φωτισμού, έστω και αν οι υπόλοιποι παράγοντες βρίσκονται σε άριστα επίπεδα, συντελεί στη μη φυσιολογική ανάπτυξη του φυτού.

### **5.2.5 Προετοιμασία του εδάφους του θερμοκηπίου**

Το έδαφος προκειμένου να είναι έτοιμο να δεχτεί το φυτό πρέπει να προετοιμαστεί έγκαιρα και κατάλληλα. Οι κυριότερες εργασίες που πρέπει να πραγματοποιηθούν περιλαμβάνουν (Γρινιεζάκη, 2013):

- ❖ Την προσεκτική απομάκρυνση των υπολειμμάτων της προηγούμενης καλλιέργειας.
- ❖ Την επαρκή άρδευση με μπεκ υδρονέφωσης.
- ❖ Το φρεζάρισμα και την ισοπέδωση του εδάφους.
- ❖ Την ενσωμάτωση της κοπριάς ή του κομπόστ στο έδαφος.
- ❖ Την ηλιοαπολύμανση, δηλαδή την κάλυψη της επιφάνειας του εδάφους για 4-6 βδομάδες με ειδικό φύλλο πλαστικού, το οποίο εγκλωβίζει την ηλιακή ενέργεια).
- ❖ Τη βασική λίπανση στις γραμμές φύτευσης με προσθήκη οργανικών και ανόργανων λιπασμάτων.
- ❖ Την προσθήκη ωφέλιμων μικροοργανισμών και νηματωδοκτόνων.
- ❖ Το φρεζάρισμα και το άνοιγμα αυλακιών.

### **5.2.6 Μεταφύτευση στο θερμοκήπιο**

Η μεταφύτευση στο θερμοκήπιο πραγματοποιείται 25-40 ημέρες μετά τη μεταφύτευση στα κύπελλα ή στα ομαδικά μέσα σποράς. Οι αποστάσεις φύτευσης καθορίζονται από διάφορους παράγοντες όπως είναι: ο τύπος του θερμοκηπίου, η εποχή φύτευσης, το σύστημα άρδευσης, η ποικιλία της καλλιέργειας κλπ. Συνήθως για φυτεύσεις (Γρινιεζάκη, 2013):

- Καλοκαιρινές ή φθινοπωρινές επικρατούν αποστάσεις 110-120cm μεταξύ των διπλών γραμμών, 90cm μεταξύ των γραμμών και 30-50cm μεταξύ των φυτών πάνω στη γραμμή (δηλαδή 2.300-2.600 φυτά ανά στρέμμα).
- Στο τέλος του χειμώνα οι αποστάσεις μεταξύ των διπλών γραμμών και μεταξύ των γραμμών δύναται να είναι μικρότερες ώστε να χωρέσουν περισσότερα φυτά ανά στρέμμα και να αυξηθεί η πρώιμη παραγωγή.

### 5.3 Χαρακτηριστικά του θερμοκηπίου

Τα κατασκευαστικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά του εξεταζόμενου θερμοκηπίου, για το οποίο θα γίνουν οι υπολογισμοί των θερμικών αναγκών και στη συνέχεια η σύγκριση μεταξύ δύο διαφορετικών συστημάτων θέρμανσης, δίνονται στον Πίνακα 5.5. Οι υπολογισμοί της επιφάνειας του θερμοκηπίου, της επιφάνειας του υλικού κάλυψης και του όγκου του θερμοκηπίου παρουσιάζονται αναλυτικά στο Παράρτημα 1.

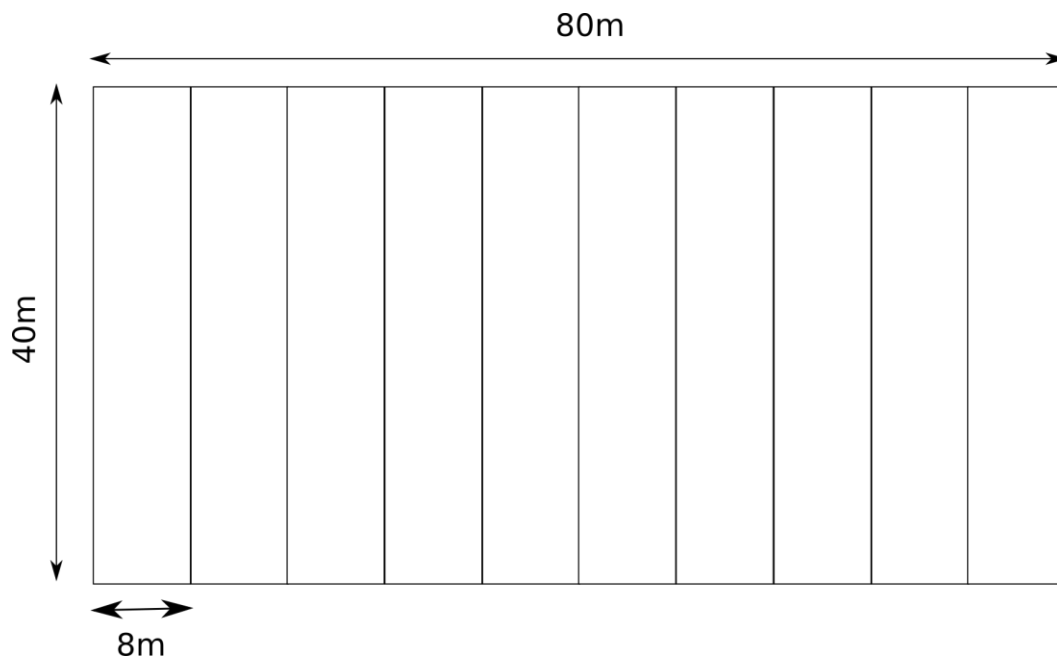
**Πίνακας 5.5:** Κατασκευαστικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά θερμοκηπίου

Τύπος	Τροποποιημένο τοξωτό πολλαπλό
Υλικό κάλυψης	Πολυαιθυλένιο (PE)
Υλικό σκελετού	Γαλβανισμένος χάλυβας
Μήκος (m)	40
Πλάτος (m)	80
Πλάτος κατασκευαστικής μονάδας (m)	8
Ύψος υδρορροής (m)	4
Ύψος κορφιά (m)	5,9
Αριθμός τόξων	10
Επιφάνεια (m <sup>2</sup> )	3.200
Όγκος (m <sup>3</sup> )	17.575
Επιφάνεια υλικού κάλυψης (m <sup>2</sup> )	5.024

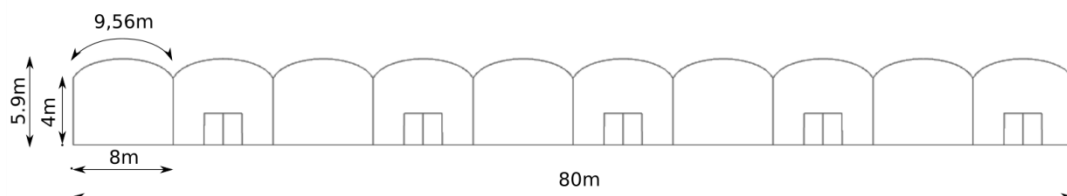
Στον Πίνακα 5.6 παρουσιάζονται οι παραδοχές που έχουν γίνει για το θερμοκήπιο, ενώ στα Σχήματα 5.6-5.8 απεικονίζεται το θερμοκήπιο (κάτοψη – πρόσοψη – τρισδιάστατη απεικόνιση).

**Πίνακας 5.6:** Παραδοχές θερμοκηπίου

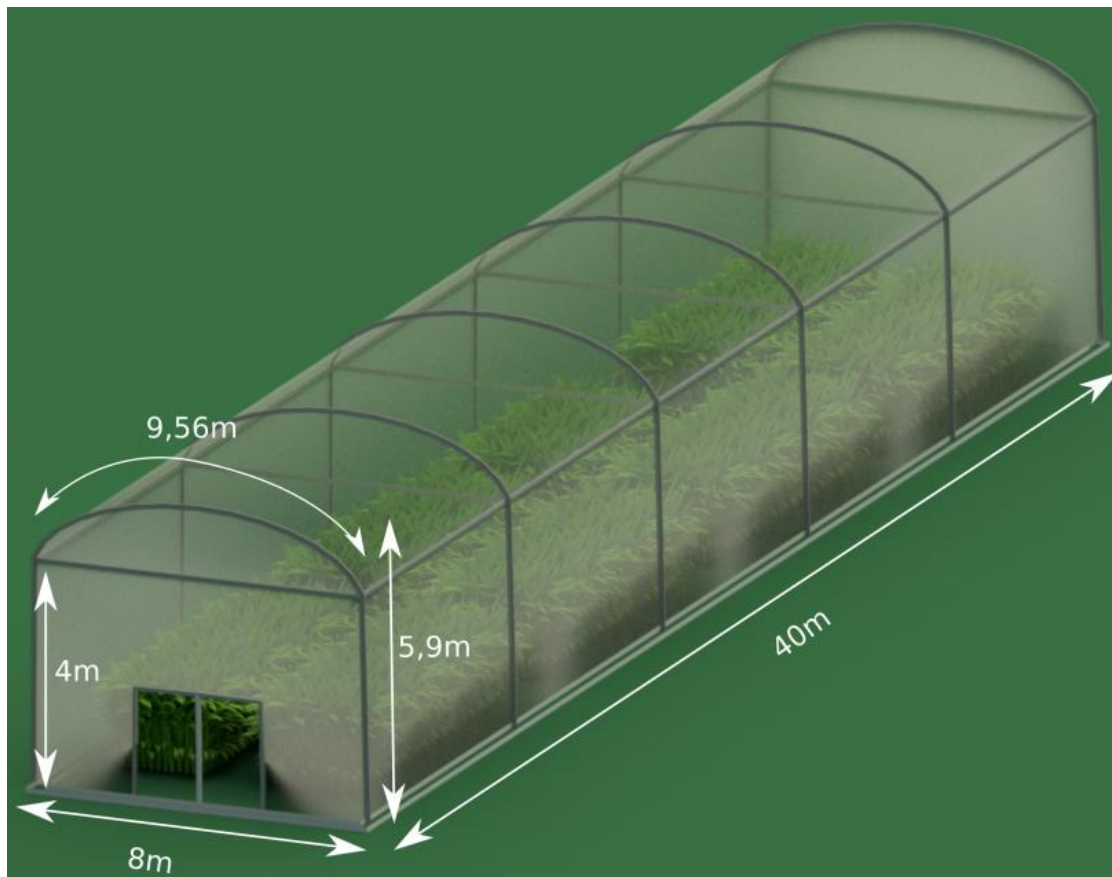
<b>Περιοχή</b>	παράκτια, κοντά στον Πύργο Ηλείας
<b>Έκταση (σε στρέμματα)</b>	3,2
<b>Καλλιέργεια</b>	τομάτα
<b>Διάρκεια θέρμανσης (μήνες - χρονική περίοδος)</b>	Οκτώβριος – Μάιος (8 μήνες)
<b>Βέλτιστη θερμοκρασία καλλιέργειας</b>	15 °C
<b>Κατώτατη μέση θερμοκρασία</b>	9,6 °C



**Σχήμα 5.6:** Κάτοψη θερμοκηπίου



**Σχήμα 5.7:** Πρόσοψη θερμοκηπίου



**Σχήμα 5.8:** Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατασκευαστικής μονάδας του θερμοκηπίου

Η πρόσοψη του θερμοκηπίου έχει νότιο προσανατολισμό, ενώ οι πλευρές του έχουν προσανατολισμό κατά τον άξονα ανατολή – δύση. Ο προσανατολισμός αυτός εξασφαλίζει τη μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολία ακόμα και το χειμώνα που ο ήλιος είναι χαμηλά στον ορίζοντα και για λιγότερες ώρες την ημέρα.

### 5.3.1 Υπολογισμός απωλειών θερμοκηπίου

Για τον υπολογισμό των θερμικών αναγκών του θερμοκηπίου θα χρησιμοποιηθεί η εξίσωση (2.14) με:  $K = 6,3 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $A = 5.024 \text{ m}^2$ ,  $V = 17.575 \text{ m}^3$ ,  $T_i = 15 \text{ }^\circ\text{C}$  (η νυχτερινή θερμοκρασία που απαιτείται για την καλλιέργεια τομάτας),  $T_o =$  η ελάχιστη μέση μηνιαία θερμοκρασία της περιοχής, και  $n=1$ . Τα αποτελέσματα ανά μήνα παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.7.

**Πίνακας 5.7:** Υπολογισμός μηνιαίων απωλειών θερμικών αναγκών του θερμοκηπίου

Μήνας	T <sub>i</sub> (°C)	T <sub>o</sub> (°C)	T <sub>i</sub> -T <sub>o</sub> (°C)	Q <sub>1</sub> (kcal/h)
Ιανουάριος	15	4,8	10,2	464.853,2
Φεβρουάριος	15	5,1	9,9	451.181,0
Μάρτιος	15	6,3	8,7	396.492,4
Απρίλιος	15	8,6	6,4	291.672,6
Μάιος	15	12	3	136.721,5
Ιούνιος	15	14,9	0,1	4.557,4
Ιούλιος	15	17	-2	0
Αύγουστος	15	17,4	-2,4	0
Σεπτέμβριος	15	15,1	-0,1	0
Οκτώβριος	15	12,3	2,7	123.049,4
Νοέμβριος	15	9,1	5,9	268.885,7
Δεκέμβριος	15	6,5	8,5	387.377,6

Προκύπτει ότι για το συγκεκριμένο θερμοκήπιο οι μέγιστες ανάγκες φτάνουν τα 464.853,2 kcal/h, τα οποία ισοδυναμούν με 540,62 kW. Το συνολικό ποσό ενέργειας που απαιτείται για όλους του μήνες λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης του θερμοκηπίου, με δεδομένα ότι εντός καλλιεργείται τομάτα και η επιθυμητή ελάχιστη θερμοκρασία είναι 15°C, υπολογίζονται με τη μέθοδο των βαθμοημερών θέρμανσης (Παπακώστας κ.α., 2005). Καθώς οι τιμές των βαθμοημερών θέρμανσης (είναι το γινόμενο του αριθμού των ημερών (μηνιαίως) για τις οποίες η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία βάσης, επί τη διαφορά μεταξύ των δύο θερμοκρασιών) για τον Πύργο δίνονται για θερμοκρασίες βάσης 10, 12, 14, 16, 18 και 20°C, ο υπολογισμός των βαθμοημερών για θερμοκρασία 15°C γίνεται χρησιμοποιώντας τον τύπο της γραμμικής παρεμβολής (για θερμοκρασίες 14, 16 °C):

$$y(x) = f(x_1) + \frac{f(x_1) - f(x_2)}{x_1 - x_2} (x - x_1) \quad (5.1)$$

Τα μηνιαία αποτελέσματα των βαθμοημερών θέρμανσης για θερμοκρασία βάσης 15°C δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

**Πίνακας 5.8:** Υπολογισμός βαθμομερών θέρμανσης για θερμοκρασία βάσης 15°C

Μήνας	Βαθμομέρες θέρμανσης για 14°C	Βαθμομέρες θέρμανσης για 16°C	Βαθμομέρες θέρμανσης για 15°C
Ιανουάριος	126	179	152,5
Φεβρουάριος	101	148	124,5
Μάρτιος	77	122	99,5
Απρίλιος	25	50	37,5
Μάιος	17	29	23
Οκτώβριος	4	11	7,5
Νοέμβριος	29	57	43
Δεκέμβριος	92	140	116

Η μηνιαία κατανάλωση θερμότητας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$Q = \frac{Q_1}{\Delta T} \times 24 \times \text{Βαθμομέρες (σε kcal)} \quad (5.2)$$

Στον Πίνακα 5.9 υπολογίζονται οι μηνιαίες καταναλώσεις, το άθροισμα των οποίων δίνει τη συνολική ετήσια κατανάλωση θερμότητας του θερμοκηπίου.

**Πίνακας 5.9:** Υπολογισμός μηνιαίων και ετήσιας κατανάλωσης θερμότητας του θερμοκηπίου

Μήνας	T <sub>i</sub> -T <sub>o</sub> (°C)	Βαθμομέρες	Q <sub>1</sub> (kcal/h)	Q Κατανάλωση (kcal)
Ιανουάριος	10,2	152,5	464.853,2	166.800.254
Φεβρουάριος	9,9	124,5	451.181,0	136.174.634
Μάρτιος	8,7	99,5	396.492,4	108.830.330
Απρίλιος	6,4	37,5	291.672,6	41.016.456
Μάιος	3	23	136.721,5	25.156.760
Ιούνιος	0,1		0	0
Ιούλιος	-2		0	0
Αύγουστος	-2,4		0	0
Σεπτέμβριος	-0,1		0	0
Οκτώβριος	2,7	7,5	123.049,4	8.203.291
Νοέμβριος	5,9	43	268.885,7	47.032.203
Δεκέμβριος	8,5	116	387.377,6	126.877.571
<b>Συνολική ετήσια κατανάλωση θερμότητας:</b>				<b>660.091.499</b>

Συνεπώς, για τη θέρμανση του θερμοκηπίου απαιτούνται συνολικά για όλο το χρόνο 660.091.499 kcal ή 767.686 kWh.



### 6. Σύγκριση συστημάτων θέρμανσης του θερμοκηπίου

#### 6.1 Αξιολόγηση επενδύσεων - Μέθοδος καθαρής παρούσας αξίας

Η αξία μιας επένδυσης ορίζεται ως το αναγόμενο ποσό σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή που αντιπροσωπεύει το σύνολο της μελλοντικής καθαρής απόδοσής της. Η αξιολόγηση επενδύσεων είναι μια αρκετά σύνθετη διαδικασία που από τη φύση της εμπεριέχει σημαντικό βαθμό ρίσκου και αβεβαιότητας. Η χρηματοοικονομική αξιολόγηση αποτελεί ένα μέρος της όλης διαδικασίας και βασίζεται σε πολλές οικονομικές, παραγωγικές και εμπορικές παραδοχές. Περιλαμβάνει δύο βασικές διαδικασίες (Μιχαηλίδου, 2013):

1. Τον εντοπισμό όλων των εισροών (εσόδων) και εκροών (εξόδων) που σχετίζονται με τη σχεδιαζόμενη επένδυση.
2. Τη χρήση μεθόδων και κριτηρίων βάσει των οποίων οι παραπάνω εισροές και εκροές μπορούν να αξιολογούνται.

Η μέθοδος της Καθαρής Παρούσας Αξίας - ΚΠΑ (Net Present Value - NPV) είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος αξιολόγησης των επενδύσεων. Βασίζεται στις καθαρές ταμειακές ροές που έχουν ως κύριο χαρακτηριστικό τους ότι όλες οι μελλοντικές ταμειακές ροές ανάγονται στην παρούσα χρονική στιγμή για να ληφθεί με τον τρόπο αυτό μια παρούσα αξία. Το επιτόκιο αναγωγής που χρησιμοποιείται είναι προσαρμοσμένο ως προς τον κίνδυνο που αφορά την αβεβαιότητα των μελλοντικών ταμειακών ροών.

Η ΚΠΑ εκφράζει την αξία που προκύπτει από την προεξόφληση όλων των ετήσιων καθαρών χρηματοροών που προβλέπονται για ολόκληρο το χρονικό ορίζοντα ζωής μιας επένδυσης και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$NPV = -C_0 + \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t} \quad (6.1)$$

όπου:

NPV = η καθαρή παρούσα αξία,

$C_0$  = το αρχικό κόστος επένδυσης (σε €),

$CF_t$  = οι καθαρές ταμειακές ροές (έσοδα - έξοδα) για το οικονομικό έτος  $t$  (σε €),

$i$  = το προεξοφλητικό επιτόκιο (%) και

$n$  = η χρονική διάρκεια της επένδυσης (σε έτη).

Η παραπάνω τεχνική μετατρέπει όλες τις εκροές και τις εισροές της επένδυσης σε σημερινές αξίες, δηλαδή εκφράζει το καθαρό όφελος ή κόστος τη χρονική στιγμή που λαμβάνεται η απόφαση. Αν  $NPV > 0$ , η πρόταση γίνεται αποδεκτή καθώς η ΚΠΑ της επένδυσης είναι μεγαλύτερη από το κεφάλαιο επένδυσης. Στην περίπτωση που  $NPV < 0$ , η επένδυση δε γίνεται αποδεκτή καθώς η ΚΠΑ είναι μικρότερη από το κόστος επένδυσης. Τέλος, σε περίπτωση που  $NPV = 0$ , η επένδυση θεωρείται οριακή καθώς τα έσοδα αποπληρώνουν την αρχική επένδυση, χωρίς όφελος ή ζημία για τον επενδυτή.

## 6.2 Οικονομική ανάλυση

Η επιλογή του κατάλληλου συστήματος θέρμανσης αποτελεί σημείο ιδιαίτερου ενδιαφέροντος για τη λειτουργία ενός θερμοκηπίου. Για το λόγο αυτό είναι αναγκαία η εύρεση ενός αποδοτικού από τεχνικοοικονομικής άποψης συστήματος, το οποίο να μπορεί να παρέχει ομοιόμορφη κατανομή θερμοκρασίας. Στην παρούσα εργασία τα συστήματα που επιλέχθηκαν να αξιολογηθούν είναι: (α) ένα συμβατικό σύστημα θέρμανσης με λέβητα πετρελαίου και (β) ένα σύστημα θέρμανσης με καύση βιομάζας και πιο συγκεκριμένα πυρηνόξυλο.

### 6.2.1 Σύστημα θέρμανσης με λέβητα πετρελαίου

Το πρώτο από τα δύο εξεταζόμενα συστήματα θέρμανσης είναι ένα σύστημα κεντρικής θέρμανσης (Κεφάλαιο 2.5.6.1) με κυκλοφορία ζεστού νερού και καύση πετρελαίου. Το σύστημα αποτελείται από το λέβητα Enersave Thermostahl EN500, τον καυστήρα Bentone BEO 45 AL-2, τον κυκλοφορητή, το σύστημα σωληνώσεων που είναι τοποθετημένοι στο έδαφος, τις διατάξεις ασφαλείας, τη δεξαμενή καυσίμων και την καπνοδόχο (αναλυτικά τα χαρακτηριστικά του επιλεγμένου λέβητα και του καυστήρα δίνονται στο Παράρτημα 2).

Συνοπτικά η λειτουργία του συστήματος είναι η ακόλουθη. Ο λέβητας αποτελείται από το θάλαμο καύσης μέσα στον οποίο καίγεται το πετρέλαιο, τα μεταλλικά τοιχώματα που περιβάλλουν το θάλαμο καύσης, στα οποία υπάρχουν χώροι κυκλοφορίας νερού και τον καυστήρα που τροφοδοτεί και αναφλέγει το πετρέλαιο. Η θερμότητα από την καύση περνά μέσω των τοιχωμάτων του θαλάμου καύσης στο νερό και το θερμαίνει. Τέλος, το νερό μεταφέρεται με κυκλοφορητή στις σωληνώσεις που είναι εγκατεστημένες στο χώρο του θερμοκηπίου.

## 6.2.2 Σύστημα θέρμανσης με καύση πυρηνόξυλου

### 6.2.2.1 Το πυρηνόξυλο

Η ελιά είναι η πρώτη σε σπουδαιότητα δενδρώδης καλλιέργεια στην Ελλάδα καθώς καταλαμβάνει σε έκταση περίπου το 15% της καλλιεργούμενης γης και το 75% των εκτάσεων που είναι φυτεμένες με δένδρα. Η Ελλάδα είναι η Τρίτη χώρα στον κόσμο, μετά την Ισπανία και την Ιταλία, στην παραγωγή ελαιόλαδου. Μεγαλύτερη συγκέντρωση ελαιόδεντρων για την παραγωγή λαδιού παρατηρείται στις θερμότερες και ξηρότερες περιοχές της χώρας (π.χ. στην Κρήτη, την Πελοπόννησο, τα νησιά του Αιγαίου και του Ιονίου κ.α.) (Δελής, 2013). Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται ο αριθμός των ελαιόδεντρων και η παραγωγή τους για την Περιφέρεια Δυτικής Ελλάδας κατά το έτος 2014.

**Πίνακας 6.1:** Αριθμός ελαιόδεντρων και παραγωγή σε τόνους στην Περιφέρεια Δυτικής Ελλάδας κατά το έτος 2014 (Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ.)

Περιοχή	1	2	3α	3β
Σύνολο Ελλάδας	150.180.299	142.049.064	386.604.659	2.204.083.052
Περιφέρεια Δυτικής Ελλάδας	16.070.143	13.934.242	46.644.897	271.401.265
Νομός Αχαΐας	2.953.219	2.436.224	1.159.770	119.984.020
Νομός Αιτωλ/νανίας	5.950.123	4.590.834	37.265.430	24.217.885
Νομός Ηλείας	7.166.801	6.907.184	8.219.697	127.199.360

\* 1 = συνολικός αριθμός δένδρων, 2 = δένδρα κανονικών δενδρώνων, 3 = παραγωγή όλων των δένδρων σε τόνους (3α βρώσιμων ελιών, 3β για ελαιοποίηση)

Οι δύο κυριότεροι τύποι αποβλήτων από την επεξεργασία του ελαιοκαρπού και την εξαγωγή του ελαιόλαδου είναι τα υγρά απόβλητα (κατσίγαρος) και τα στερεά απόβλητα (ελαιοπυρήνας). Ανάλογα με τη μέθοδο επεξεργασίας του ελαιόλαδου (παραδοσιακή, τριφασική ή διφασική) τα στερεά απόβλητα κυμαίνονται μεταξύ 330-800 κιλά ανά τόνο καρπού, ενώ τα υγρά απόβλητα μεταξύ 250-600 λίτρων ανά τόνο καρπού.

Ο ελαιοπυρήνας, ένα μίγμα πυρηνέλαιου (~5%), πυρηνόξυλου (~45%) και νερού (~50%), παράγεται σαν υποπροϊόν στα ελαιοτριβεία κατά την επεξεργασία των ελιών για την παραλαβή του ελαιόλαδου. Η διφασική μέθοδος επεξεργασίας παράγει ελαιοπυρήνα υγρασίας 64-68%, ενώ η τριφασική υγρασίας 48-54%. Και στις δύο περιπτώσεις ο ελαιοπυρήνας περιέχει ακόμη ελαιόλαδο, το οποίο δεν παραλήφθηκε από την φυγοκέντριση.

Στη συνέχεια, ο ελαιοπυρήνας μεταφέρεται στα πυρηνελαιουργεία για να γίνει η παραλαβή του παραμένου ελαιολάδου με τη μέθοδο της εκχύλισης. Πιο αναλυτικά η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής: στα τμήματα ξήρανσης των πυρηνελαιουργείων γίνεται η ξήρανση του ελαιοπυρήνα ώστε να κατέλθει η υγρασία του στο 8-10%. Η ξήρανση γίνεται σε ξηραντήρια (δηλαδή σε περιστρεφόμενους κλίβανους), στα οποία με τη βοήθεια μεταλλικών πτερυγίων «λικνίζεται» και έρχεται σε επαφή με θερμό ρεύμα αέρα που παράγεται από την ανάμιξη μιας εστίας καύσης πυρηνόξυλου με αέρα περιβάλλοντος. Ακολούθως, στα τμήματα εκχύλισης πραγματοποιείται η εκχύλιση του ξηρού πια ελαιοπυρήνα για την παραλαβή του πυρηνελαίου. Στο τέλος της διαδικασίας παραλαμβάνεται ο ξηρός εκχυλισμένος ελαιοπυρήνας ή αλλιώς το πυρηνόξυλο το οποίο αποτελείται από (Στροφύλας Αριστείδης):

- ❖ Τον πυρήνα της ελιάς, ο οποίος είναι ξυλώδης και κατακερματισμένος.
- ❖ Το σαρκώδες μέρος – ψίχα της ελιάς (αποξηραμένη) σε μορφή σκόνης.
- ❖ Τη φλούδα του καρπού, επίσης σε μορφή σκόνης.

Πλεονέκτημα αυτού του τύπου βιομάζας είναι το μεγάλο ειδικό βάρος ( $720-750 \text{ kg/m}^3$ ), γεγονός που επιτρέπει την αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων σε μικρούς σχετικά χώρους.

Από περιβαλλοντική άποψη είναι σημαντική η πολύ χαμηλή έως αμελητέα περιεκτικότητα του σε θείο και ότι το πυρηνόξυλο δεν περιέχει τοξικές ενώσεις ή βαρέα μέταλλα. Ένα επιπλέον σημαντικό στοιχείο είναι ότι η τέφρα του είναι της τάξεως του 3,5% με 4,5%.

#### **6.2.2.2 Περιγραφή συστήματος θέρμανσης**

Βασικά τμήματα του συστήματος θέρμανσης με καύση πυρηνόξυλου είναι ο λέβητας Bioplex HL, ο οποίος περιλαμβάνει και τον πυρηνοκαυστήρα και το σύστημα καπναερίων. Το πυρηνόξυλο μέσω κατάλληλων σιλό μεταφέρεται στον καυστήρα / λέβητα ενώ με έναν ανεμιστήρα διοχετεύεται αέρας στον καυστήρα για να διευκολύνεται η καύση και παράγεται θερμό νερό, το οποίο κυκλοφορεί στο επιδαπέδιο σύστημα σωληνώσεων που βρίσκεται εντός του θερμοκηπίου και θερμαίνει το χώρο.

Τα καπναέρια αποβάλλονται από την καμινάδα χωρίς τη χρήση φίλτρου. Πρόβλημα ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα καπναέρια καύσης του πυρηνόξυλου δεν υφίσταται, καθώς οι ποσότητες του  $\text{CO}_2$  που παράγονται είναι μειωμένες κατά 35% σε σχέση με την καύση του πετρελαίου. Πέραν αυτού το πυρηνόξυλο θεωρείται λιγότερο ρυπογόνο σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα όπως το πετρέλαιο καθώς η χρήση της σύγχρονης τεχνολογίας καυστήρα με λέβητα επιτρέπει την ελαχιστοποίηση της απόθεσης σκόνης.

### 6.2.3 Δεδομένα οικονομικής ανάλυσης

#### Υπολογισμός εσόδων

Όσον αφορά στην προβλεπόμενη παραγωγή τομάτας και την κλιμάκωση αυτής κατά τη διάρκεια λειτουργίας του θερμοκηπίου (συνολικά 15 έτη), ισχύουν οι παρακάτω εκτιμήσεις:

- ✓ Η μέγιστη δυναμικότητα του θερμοκηπίου ισούται με:

$$2 \text{ καλλιέργειες /έτος} \times 3,2 \text{ στρέμματα} \times 10.000 \text{ κιλά/στρέμμα} = 64.000 \text{ κιλά/έτος}$$

✓ Κατά το 1<sup>ο</sup> έτος λειτουργίας του θερμοκηπίου προβλέπεται ότι η παραγωγή θα είναι ίση με το 90% της μέγιστης δυναμικότητας. Για τα επόμενα έτη λειτουργίας του λαμβάνεται μια αύξηση της τάξεως του 2,5% κατ' έτος μέχρι την επίτευξη της μέγιστης δυναμικότητας. Η αύξηση αυτή θεωρείται ρεαλιστική εξαιτίας της αποκτηθείσας εμπειρίας και της γνώσης των εδαφολογικών συνθηκών καθώς και της χρησιμοποίησης των πιο αποδοτικών σποριοφυτών, λιπασμάτων και της τεχνικής καλλιέργειας.

✓ Για τον προσδιορισμό των προβλεπόμενων εσόδων, λαμβάνονται υπόψη οι προβλεπόμενες παραγόμενες ποσότητες ανά έτος με τιμή πώλησης σταθερή και ίση με 0,65 €/κιλό (Πηγή: <http://www.okaa.gr>, αναλυτικά ο υπολογισμός της επικρατούσας τιμής παραγωγού για τομάτα θερμοκηπίου με βάση τιμές της τριετίας 2015-2017 παρουσιάζεται στο Παράρτημα 3). Προκύπτει, τελικά, ο συγκεντρωτικός Πίνακας 6.2 στον οποίο δίνονται η δυναμικότητα και τα αντίστοιχα έσοδα από την πώληση των προϊόντων ανά έτος.

**Πίνακας 6.2:** Ετήσια απόδοση και έσοδα από την πώληση της τομάτας

Έτος	Απόδοση (kg)	Έσοδα (€)	Έτος	Απόδοση (kg)	Έσοδα (€)
0 <sup>ο</sup> έτος	–	–	8 <sup>ο</sup> έτος	64.000	41.600
1 <sup>ο</sup> έτος	57.600	37.440	9 <sup>ο</sup> έτος	64.000	41.600
2 <sup>ο</sup> έτος	59.200	38.480	10 <sup>ο</sup> έτος	64.000	41.600
3 <sup>ο</sup> έτος	60.800	39.520	11 <sup>ο</sup> έτος	64.000	41.600
4 <sup>ο</sup> έτος	62.400	40.560	12 <sup>ο</sup> έτος	64.000	41.600
5 <sup>ο</sup> έτος	64.000	41.600	13 <sup>ο</sup> έτος	64.000	41.600
6 <sup>ο</sup> έτος	64.000	41.600	14 <sup>ο</sup> έτος	64.000	41.600
7 <sup>ο</sup> έτος	64.000	41.600	15 <sup>ο</sup> έτος	64.000	41.600

### Υπολογισμός κόστους εγκατάστασης

Για το σύστημα θέρμανσης με λέβητα πετρελαίου, το κόστος αυτό υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{Συνολικό κόστος} = \text{Κόστος λέβητα} + \text{Κόστος καυστήρα} + \text{Πρόσθετα κόστη}$$

όπου:

$$\text{Κόστος λέβητα} = \text{τιμή αγοράς Enesarve EN 500} = 2.890\text{€},$$

$$\text{κόστος καυστήρα} = \text{τιμή αγοράς Bentone 45 AL-2} = 1.545\text{€},$$

$$\text{πρόσθετα κόστη} = \text{κόστος καπνοδόχου, συστήματος σωληνώσεων κλπ.} = 1.000\text{€}.$$

Σύμφωνα με τα παραπάνω, προκύπτει ότι το συνολικό κόστος του συστήματος θέρμανσης με λέβητα πετρελαίου ανέρχεται σε:

$$\text{Κόστος συστήματος με πετρέλαιο} = 2.890 + 1.545 + 1.000 = 5.435\text{€}$$

Για το σύστημα θέρμανσης με καύση πυρηνόξυλου, το κόστος εγκατάστασης είναι:

$$\text{Συνολικό κόστος} = \text{Κόστος συστήματος λεβητα – καυστήρα} + \text{Πρόσθετα κόστη}$$

όπου:

$$\text{Κόστος συστήματος λέβητα – καυστήρα} = \text{τιμή αγοράς Bioplex HL-580} = 17.350\text{€},$$

$$\text{πρόσθετα κόστη} = \text{κόστος καπνοδόχου, συστήματος σωληνώσεων, χώρου αποθήκευσης πυρηνόξυλου κλπ.} = 4.000\text{€}.$$

Το κόστος μεταφοράς του πυρηνόξυλου στο θερμοκήπιο θεωρείται αμελητέο λόγω της ύπαρξης πυρηνελαιουργείου σε κοντινή απόσταση από το θερμοκήπιο.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, προκύπτει ότι το συνολικό κόστος του συστήματος θέρμανσης με λέβητα πετρελαίου ανέρχεται σε:

$$\text{Κόστος συστήματος με πυρηνόξυλο} = 17.350 + 4.000 = 21.350\text{€}$$

### Υπολογισμός εξόδων λειτουργίας

Το μεγαλύτερο ποσοστό των λειτουργικών εξόδων αποτελείται από τα καύσιμα που απαιτούνται για τη θέρμανση του εσωτερικού χώρου του θερμοκηπίου.

Για το σύστημα θέρμανσης με λέβητα πετρελαίου, το κόστος αυτό υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{Ετήσιο κόστος πετρελαίου} = 64,7\text{ton} \times 890 \text{€}/\text{ton} = 57.583\text{€}$$

Για το σύστημα θέρμανσης με καύση πυρηνόξυλου, το αντίστοιχο ετήσιο κόστος είναι:

$$\text{Ετήσιο κόστος πυρηνόξυλου} = 165\text{ton} \times 75 \text{ €/ton} = 12.377\text{€}$$

Στην παρούσα μελέτη, όσον αφορά στα λειτουργικά έξοδα εκτός από τα καύσιμα λαμβάνονται υπόψη τα κόστη για την αγορά των πρώτων και των βοηθητικών υλών. Αναλυτικότερα, υπολογίζονται τα ακόλουθα:

- Σπόροι τομάτας: Απαιτούνται περίπου 1.500 σπόροι ανά στρέμμα, οπότε ο ετήσιος απαιτούμενος αριθμός σπόρων για το εξεταζόμενο θερμοκήπιο είναι 9.600 σπόροι. Με δεδομένο ότι η τιμή μονάδας ανέρχεται κατά μέσο όρο σε 0,40€ το συνολικό ετήσιο κόστος για την αγορά των σπόρων είναι 3.840€.
- Νερό: Υπολογίζεται ότι απαιτούνται περίπου 3 m<sup>3</sup> νερό ανά στρέμμα ημερησίως, οπότε η ετήσια απαιτούμενη ποσότητα είναι: 3 m<sup>3</sup> νερό/στρέμμα X 3,2 στρέμματα X 365 ημέρες λειτουργίας = 3.504 m<sup>3</sup> νερό. Με δεδομένο ότι για νερό αγροτικής χρήσης η τιμή πώλησής του ανά κυβικό μέτρο είναι 0,15€ το συνολικό ετήσιο κόστος για νερό είναι 526€.
- Λιπάσματα: Για την ανάπτυξη της τομάτας θερμοκηπίου χρησιμοποιούνται λιπάσματα αζώτου, φωσφόρου, καλίου και μαγνησίου. Η μέση ετήσια απαιτούμενη ποσότητα είναι 135 kg/στρέμμα (432kg συνολικά για το θερμοκήπιο που μελετάται στην παρούσα εργασία). Προκύπτει συνολικό ετήσιο κόστος 1296€ (θεωρώντας τιμή λιπάσματος 3 €/kg).
- Φυτοφάρμακα: Για την προστασία των φυτών απαιτείται η ακόλουθη ποσότητα φυτοφαρμάκων (μυκητοκτόνων, εντομοκτόνων και ζιζανιοκτόνων): 3 ψεκασμοί/μήνα/στρέμμα X 10 μήνες X 300 gr φυτοφαρμάκων/ψεκασμό X 3,2 στρέμματα = 28.800 gr φυτοφαρμάκων = 28,8 kg φυτοφαρμάκων. Για τιμή 30€/kg προκύπτει συνολικό ετήσιο κόστος φυτοφαρμάκων 864€.
- Απολύμανση εδάφους: Για την απολύμανση του εδάφους στο τέλος κάθε καλλιέργειας απαιτούνται περίπου 20 lt φάρμακο/στρέμμα (128lt για το συγκεκριμένο θερμοκήπιο. Επομένως, το συνολικό ετήσιο κόστος ανέρχεται σε 1920€ (με τιμή 15€/lt).

Τελικά, το συνολικό ετήσιο κόστος για την αγορά των πρώτων και των βοηθητικών υλών ισούται με:

$$\begin{aligned} \text{Κόστος υλών} &= \text{σπόροι} + \text{νερό} + \text{λιπάσματα} + \text{φυτοφάρμακα} + \text{απολύμανση} \\ &= 3.840 + 526 + 1.296 + 864 + 1.920 = 8.446\text{€} \end{aligned}$$

Τέλος, στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα δεδομένα της οικονομικής ανάλυσης.

**Πίνακας 6.3:** Δεδομένα οικονομικής ανάλυσης

Έκταση θερμοκηπίου (m <sup>2</sup> )	3.200
Ετήσια κατανάλωση θερμότητας (kWh)	767.686
Μέγιστο θερμαντικό φορτίο (kcal/h)	464.853,2
Ισχύς λέβητα βιομάζας (kW)	581
Κόστος συστήματος θέρμανσης με βιομάζα (€)	21.350
Κόστος πυρηνόξυλου (€/ton)	75
Ετήσια κατανάλωση πυρηνόξυλου (tons)	165
Ετήσιο κόστος ελαιοπυρηνόξυλου (€)	12.377
Ισχύς λέβητα πετρελαίου (kW)	581
Κόστος συστήματος θέρμανσης με πετρέλαιο (€)	5.435
Κόστος πετρελαίου (€/ton)	890
Ετήσια κατανάλωση πετρελαίου (tons)	64,7
Ετήσιο κόστος πετρελαίου (€)	57.583
Ετήσιο κέρδος από την πώληση προϊόντων (€)	37.440 – 41.600
Περίοδος λειτουργίας (έτη)	15
Προεξοφλητικό επιτόκιο (%)	5

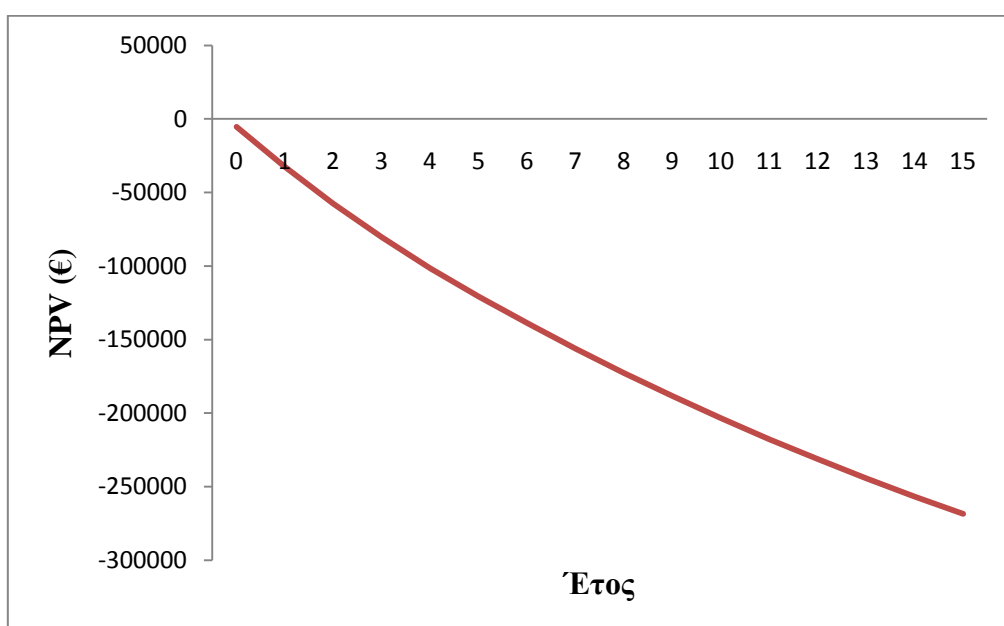
### 6.3 Αποτελέσματα - Σύγκριση

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται αναλυτικά ο υπολογισμός των καθαρών ταμειακών ροών και της καθαρής παρούσας αξίας ανά έτος λειτουργίας για τα δύο εξεταζόμενα συστήματα θέρμανσης του θερμοκηπίου (Πίνακας 6.4-6.5 και Σχήματα 6.1-6.2).



**Πίνακας 6.4:** Υπολογισμός καθαρών ταμειακών ροών και ΚΠΑ ανά έτος λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης με λέβητα πετρελαίου

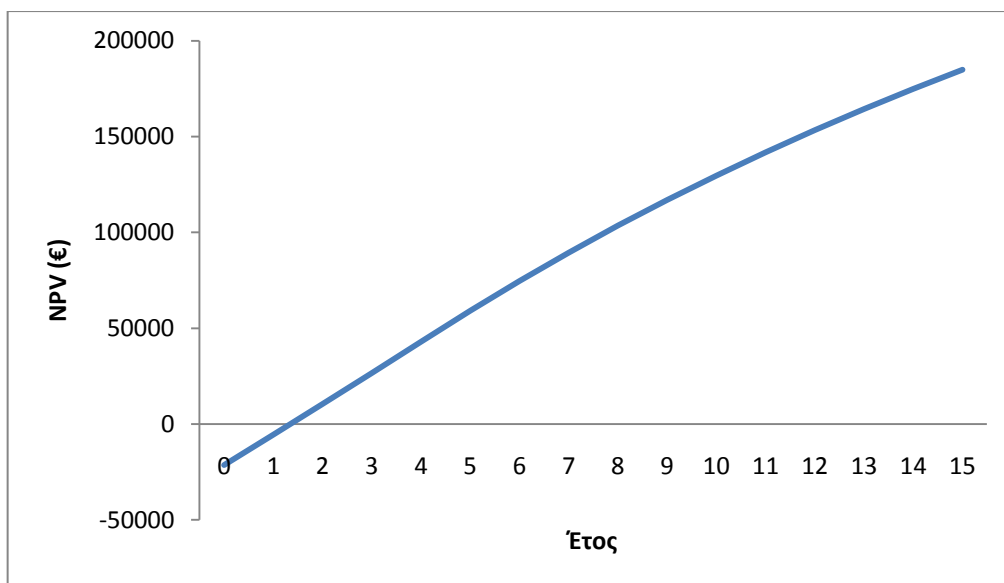
Έτος	Έσοδα (€)	Έξοδα (€)	Έσοδα-Έξοδα (€)	NPV (€)
0	—	5.435	-5.435	-5.435
1	37.440	66029	-28589	-32663
2	38.480	66029	-27549	-57650
3	39.520	66029	-26509	-80550
4	40.560	66029	-25469	-101503
5	41.600	66029	-24429	-120644
6	41.600	66029	-24429	-138873
7	41.600	66029	-24429	-156235
8	41.600	66029	-24429	-172769
9	41.600	66029	-24429	-188516
10	41.600	66029	-24429	-203513
11	41.600	66029	-24429	-217797
12	41.600	66029	-24429	-231400
13	41.600	66029	-24429	-244355
14	41.600	66029	-24429	-256693
15	41.600	66029	-24429	-268444



**Σχήμα 6.1:** Διάγραμμα NPV για το σύστημα θέρμανσης με λέβητα πετρελαίου

**Πίνακας 6.5:** Υπολογισμός καθαρών ταμειακών ροών και ΚΠΑ ανά έτος λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης με καύση πυρηνόξυλου

Έτος	Έσοδα (€)	Έξοδα (€)	Έσοδα-Έξοδα (€)	NPV (€)
0	—	21.350	-21.350	-21.350
1	37.440	20.823	16.617	-5.524
2	38.480	20.823	17.657	10.491
3	39.520	20.823	18.697	26.642
4	40.560	20.823	19.737	42.880
5	41.600	20.823	20.777	59.159
6	41.600	20.823	20.777	74.663
7	41.600	20.823	20.777	89.429
8	41.600	20.823	20.777	103.492
9	41.600	20.823	20.777	116.885
10	41.600	20.823	20.777	129.640
11	41.600	20.823	20.777	141.788
12	41.600	20.823	20.777	153.358
13	41.600	20.823	20.777	164.376
14	41.600	20.823	20.777	174.870
15	41.600	20.823	20.777	184.864



**Σχήμα 6.2:** Διάγραμμα NPV για το σύστημα θέρμανσης με καύση πυρηνόξυλου

Από τους παραπάνω πίνακες και τα αντίστοιχα διαγράμματα, προκύπτει μια ξεκάθαρη εικόνα για το ποιο σύστημα είναι συμφέρει τον παραγωγό από οικονομικής άποψης και ποιο είναι ζημιογόνο.

Στην πρώτη περίπτωση, αυτή του συστήματος που λειτουργεί με λέβητα πετρελαίου, φαίνεται πως αν και το κόστος εγκατάστασης είναι μικρότερο από το αντίστοιχο του άλλου εξεταζόμενου συστήματος, τα έσοδα δεν ξεπερνούν ποτέ τα έξοδα. Έτσι, η καθαρή παρούσα αξία δε γίνεται ποτέ θετική, γεγονός που σημαίνει ότι ποτέ δεν πραγματοποιείται απόσβεση του αρχικού κεφαλαίου, και επομένως η επένδυση δεν είναι συμφέρουσα.

Στη δεύτερη περίπτωση, αυτή του συστήματος που λειτουργεί με πυρηνόξυλο, αν και το κόστος επένδυσης είναι μεγαλύτερο από του πρώτου συστήματος, τα έσοδα είναι από το πρώτο ήδη έτος υψηλότερα από τα έξοδα και κάθε χρόνο παρατηρείται αύξηση της καθαρής παρούσας αξίας. Μάλιστα, από το δεύτερο έτος και μετά η καθαρή παρούσα αξία είναι θετική, γεγονός που σημαίνει ότι γίνεται και απόσβεση του αρχικού κεφαλαίου. Πρόκειται, λοιπόν, για μια συμφέρουσα και αρκετά αποδοτική επένδυση.

Τέλος, στο πίνακα που ακολουθεί συνοψίζονται τα αποτελέσματα για τα δύο εξεταζόμενα συστήματα θέρμανσης του θερμοκηπίου, με παρουσίαση της τελικής καθαρής παρούσας αξίας μετά το πέρας των 15 ετών λειτουργίας του θερμοκηπίου και της σκοπιμότητας για κάθε επένδυση.

**Πίνακας 6.6:** ΚΠΑ μετά το πέρας της 15ετίας ανά σύστημα και σκοπιμότητα επένδυσης

Σύστημα	NPV στο πέρας 15ετίας (€)	Σκοπιμότητα επένδυσης
Θέρμανση με λέβητα πετρελαίου	-268.444	OXI
Θέρμανση με καύση πυρηνόξυλου	184.864	NAI

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

---

### 7. Συμπεράσματα και προτάσεις

Τα θερμοκήπια κατασκευάζονται με κύριο σκοπό την παραγωγή αγροτικών προϊόντων εκτός εποχής. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με τη συνεχή αύξηση των εκτάσεων που καλύπτονται από θερμοκηπιακές καλλιέργειες, οδηγεί σε αυξημένη κατανάλωση ενέργειας. Η θέρμανση των θερμοκηπίων με συμβατικά καύσιμα αποτελεί τον κύριο παράγοντα του κόστους παραγωγής. Η ανάγκη εξοικονόμησης ενέργειας και το αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη μείωση του ενεργειακού κόστους στα θερμοκήπια, καθιστά αναγκαία την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Στο πλαίσιο αυτό, στην παρούσα πτυχιακή εργασία μελετήθηκε ένα θερμοκήπιο 3,2 στρεμμάτων σε παράκτια περιοχή κοντά στο Δήμο Πύργου του Νομού Ηλείας, στο οποίο καλλιεργείται τομάτα. Αφού, πρώτα παρουσιάστηκαν τα χαρακτηριστικά του θερμοκηπίου και υπολογίστηκαν οι θερμικές του ανάγκες, πραγματοποιήθηκε οικονομική σύγκριση ενός συμβατικού συστήματος θέρμανσης με πετρέλαιο και ενός συστήματος θέρμανσης με καύση πυρηνόξυλου.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι πολλά και ενδιαφέρονται. Εν συντομία αναφέρονται τα ακόλουθα:

- ❖ Η πλήρης περιγραφή των χαρακτηριστικών και των θερμικών αναγκών του θερμοκηπίου θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως χρήσιμο υλικό για κάθε παραγωγό που διαθέτει ή θα ήθελε να κατασκευάσει ένα θερμοκήπιο αντίστοιχου μεγέθους με το εξεταζόμενο στην περιοχή της Ηλείας και στο οποίο θα καλλιεργεί τομάτα ή λαχανικά παρόμοιων αναγκών.
- ❖ Ο Δήμος Πύργου και γενικότερα ο Νομός Ηλείας είναι μια περιοχή με ικανό δυναμικό σε πυρηνόξυλο, λόγω της σημαντικής ελαιουργίας της, που θα μπορούσε να αξιοποιηθεί στη θέρμανση των θερμοκηπίων.
- ❖ Αν και το κόστος αρχικής επένδυσης για το σύστημα θέρμανσης με καύση πυρηνόξυλου είναι μεγαλύτερο σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα, τα έσοδα από το πρώτο κιόλας χρόνο λειτουργίας του θερμοκηπίου είναι υψηλότερα από τα έξοδα και κάθε χρόνο παρατηρείται αύξηση της καθαρής παρούσας αξίας. Μάλιστα, από το δεύτερο έτος και μετά η καθαρή παρούσα αξία είναι θετική, γεγονός που σημαίνει ότι γίνεται και απόσβεση του αρχικού κεφαλαίου. Πρόκειται, λοιπόν, για μια συμφέρουσα και αρκετά αποδοτική επένδυση.
- ❖ Αντιθέτως, στο σύστημα θέρμανσης με λέβητα πετρελαίου αν και το κόστος εγκατάστασης είναι μικρότερο από το αντίστοιχο του άλλου εξεταζόμενου συστήματος, τα έσοδα δεν ξεπερνούν ποτέ τα έξοδα. Έτσι, η καθαρή παρούσα αξία δε γίνεται ποτέ θετική, γεγονός που σημαίνει ότι ποτέ δεν

πραγματοποιείται απόσβεση του αρχικού κεφαλαίου, και επομένως η επένδυση δεν είναι συμφέρουσα.

Τέλος, τα αποτελέσματα της εργασίας θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν σε περαιτέρω έρευνες, όπως για παράδειγμα:

- ❖ Εξέταση επιπλέον συστημάτων θέρμανσης (συμβατικών καυσίμων και αξιοποίησης άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας) για το εξεταζόμενο θερμοκήπιο και σύγκριση όλων των συστημάτων.
- ❖ Διεξαγωγή παρόμοιων μελετών για θερμοκήπια μεγαλύτερου μεγέθους στο Νομό Ηλείας και διαφορετικών καλλιεργειών.
- ❖ Εξέταση ενός παρόμοιου θερμοκηπίου (σε μέγεθος και καλλιέργεια) σε διαφορετική περιοχή της χώρας (π.χ στη Βόρεια Ελλάδα όπου το γεωθερμικό δυναμικό είναι πλούσιο) και με διαφορετικά συστήματα θέρμανσης και σύγκριση των αποτελεσμάτων.
- ❖ Ανάπτυξη λεπτομερέστερης οικονομικής μελέτης που θα λαμβάνει υπόψη περισσότερους παράγοντες για την εξαγωγή ασφαλέστερων αποτελεσμάτων και υπολογισμό περισσότερων οικονομικών δεικτών.

---

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική

- [1] Ανδριόπουλος Π. (2011), *"Παραγωγή βιοαερίου και λιπάσματος από τα απορρίμματα κοτόπουλων - Σχεδιασμός, ενεργειακή και περιβαλλοντική ανάλυση - Η περίπτωση του Δήμου Μεγάρων"*, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Διεπιστημονικό Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών "Περιβάλλον και Ανάπτυξη", Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- [2] Ανδρίτσος Ν. (2015), *"Ενέργεια και Περιβάλλον"*, Σημειώσεις Μαθήματος, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.
- [3] Αντωνακούδη Ο. (2014), *"Εφαρμογή των βιοκλιματικών αρχών σχεδιασμού και διερεύνηση χρήσης ΑΠΕ σε θερμοκήπια"*, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Περιβαλλοντικός Σχεδιασμός Πόλεων και Κτιρίων, Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Θεσσαλονίκη.
- [4] Αραβαντινός Α., Βλαστός Θ., Εμμανουήλ Δ., Μαρίνος-Κουρής Δ., Μέμος Κ., Σκίκος Γ., Σμπονιάς Κ., Τσουττός Θ. (1999), *"Το Ανθρωπογενές Περιβάλλον"*, Διδακτικό Υλικό, Τόμος Β<sub>1</sub>, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα.
- [5] Βαφειάδης Δ. (2008), *"Εξοικονόμηση ενέργειας σε θερμοκήπια με εμπλουτισμό CO<sub>2</sub>"*, Διδακτορική Διατριβή, Ειδίκευση Γεωργικής Μηχανικής και Υδατικών Πόρων, Γεωπονική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
- [6] Βουρδουμπάς Γ. (2000), *"Χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τεχνολογιών εξοικονόμησης ενέργειας στη θέρμανση θερμοκηπίων"*, Εκδόσεις ΣΕΛΚΑ, Χανιά.
- [7] Γραφιαδέλλης Μ. (1987), *"Σύγχρονα Θερμοκήπια"*, Β' Έκδοση, σελ. 328, Εκδόσεις Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη.
- [8] Γρινιεζάκη Ελπινίκη (2013), *"Βιολογική καλλιέργεια τομάτας υπό κάλυψη"*, Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Φυτικής Παραγωγής, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, ΤΕΙ Κρήτης, Ηράκλειο.
- [9] Δελής Αχιλλέας (2013), *"Αξιοποίηση αποβλήτων ελαιουργίας (ελαιοπυρήνα) για παραγωγή ζωοτροφών"*, Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Τεχνολογίας Γεωργικών Προϊόντων, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, ΤΕΙ Καλαμάτας, Καλαμάτα.
- [10] Δολαπτσής Κ. (2014), *"Προοπτικές ανάπτυξης και δυνατότητα επένδυσης στα ελληνικά θερμοκήπια"*, Διπλωματική Εργασία, Τομέας Βιομηχανικής

Διοίκησης, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.

- [11] Ελ-Λατίφ Αικατερινή (2013), *"Φωτισμός θερμοκηπίων"*, Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Φυτικής Παραγωγής, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, ΤΕΙ Καλαμάτας, Καλαμάτα.
- [12] Θεοχάρης Μενέλαος (2015), *"Γεωργικές και Θερμοκηπιακές Κατασκευές (Θεωρία)"*, Σημειώσεις Μαθήματος, Τμήμα Τεχνολόγων Γεωπόνων, ΤΕΙ Ηπείρου, Διαθέσιμο από: <http://eclass.teiep.gr/courses/TEXG 109/>.
- [13] Κανάκης Ανδρέας (1997), *"Θερμοκηπιακή καλλιέργεια τομάτας"*, Σημειώσεις Μαθήματος Λαχανοκομίας II, Τμήμα Τεχνολόγων Γεωπόνων, ΤΕΙ Πελοποννήσου, Καλαμάτα.
- [14] Καυγά Α. (2010), *"Ενεργειακή βελτιστοποίηση θερμοκηπίου με χρήση συστήματος θέρμανσης με υπέρυθρη ακτινοβολία - Θεώρηση της μικρού μήκους κύματος ακτινοβολίας (NIR)"*, Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών, Τομέας Ενέργειας Περιβάλλοντος και Αεροναυτικής, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.
- [15] Κορωναίος Ι. Χριστοφής (2012), *"Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας"*, Διδακτικές Σημειώσεις, Διεπιστημονικό – Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Περιβάλλον και Ανάπτυξη», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- [16] Κούγιας Παναγιώτης (2007), *"Εξοικονόμηση ενέργειας σε θερμοκήπια με ηλιακό παθητικό σύστημα θέρμανσης συνδυασμένο με υδρορροή υδροπονίας"*, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Ειδίκευσης Γεωργικής Μηχανικής και Υδατικών Πόρων, Γεωπονική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
- [17] Κυρίτσης Σπ. (1987), *"Δυνατότητες εισαγωγής της ηλιακής ενέργειας στους διάφορους τομείς της ελληνικής γεωργίας"*, Τεχνικά Χρονικά, Έκδοση Οκτ. - Νοεμ. - Δεκ., σελ. 81-91, ΤΕΕ.
- [18] Μαυρογιαννόπουλος Ν. Γ. (2005), *"Θερμοκήπια, Περιβάλλον - Υλικά - Κατασκευή - Εξοπλισμός"*, Δ' Έκδοση, Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε., Αθήνα.
- [19] Μιχαηλίδου Α. (2013), *"Εφαρμογή της μεθόδου των δικαιωμάτων προαίρεσης σε υβριδικά μοντέλα ανοιχτού κώδικα"*, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Πληροφορική και Διοίκηση» Τμημάτων Πληροφορικής και Οικονομικών Επιστημών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
- [20] Μπουσδέκης Α. (2012), *"Αξιοποίηση βιομάζας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε ελληνικά νησιά"*, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

- [21] Νικήτα-Μαρτζοπούλου Χ. (1994), *"Θερμοκήπια"*, Έκδοση Υπηρεσία Δημοσιευμάτων ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.
- [22] Νικήτα-Μαρτζοπούλου Χ. (2009α), *"Έλεγχος - ρύθμιση περιβάλλοντος κτηνοτροφικών κατασκευών και θερμοκηπίων"*, Διδακτικές Σημειώσεις, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.
- [23] Νικήτα-Μαρτζοπούλου Χ. (2009β), *"Εφαρμοσμένη θερμοδυναμική"*, Διδακτικές Σημειώσεις, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.
- [24] Νικολάου Α., Παπαμιχαήλ Ι., Λυχαράς Β., Πανούτσου Κ. (2003), *"Δυναμικό γεωργικών υπολειμμάτων για παραγωγή ενέργειας στην Ελλάδα"*, Πρακτικά 3<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, σελ. 457-464, Θεσσαλονίκη.
- [25] Ντίνας Γ. (2012), *"Πειραματική και υπολογιστική διερεύνηση υβριδικού ηλιακού συστήματος εξοικονόμησης ενέργειας και στήριξης υδροπονικής καλλιέργειας σε θερμοκήπιο"*, Διδακτορική Διατριβή, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Ειδικευση Γεωργικής Μηχανικής και Υδατικών Πόρων, Γεωπονική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
- [26] Ντόγρας Κ. (2001), *"Καλλιέργεια λαχανικών στο θερμοκήπιο"*, Μέρος Α', Τμήμα Εκδόσεων, Πανεπιστημιακό Τυπογραφείο, Θεσσαλονίκη.
- [27] Ολυμπίου Χ.Μ. (2001), *"Η τεχνική της καλλιέργειας των κηπευτικών στα θερμοκήπια"*, Εκδόσεις Σταμούλη ΑΕ, σελ. 772.
- [28] Παπαδόπουλος Δ. (2013), *"Θέρμανση θερμοκηπίου με τη χρήση συστήματος αβαθούς γεωθερμίας"*, Διπλωματική Εργασία, Εργαστήριο Κατασκευής Συσκευών Διεργασιών, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
- [29] Παπακώστας Κ., Τσιλιγκιρίδης Γ., Κυριακής Ν. (2005), *"Βαθμονημέρες θέρμανσης 50 ελληνικών πόλεων"*, Τεχν. Χρον. Επιστ. Εκδ. ΤΕΕ, IV, Τεύχος 1-2, σελ. 51-65.
- [30] Σελλούντος Β. Η. (2002), *"Θέρμανση • Κλιματισμός"*, Τόμος Α, Γ' Έκδοση, Εκδόσεις "ΤεΚΔΟΤΙΚΗ" "ΣΕΛΚΑ - 4Μ" ΕΠΕ.
- [31] Σταυρόπουλος Κ. (2015), *"Ενεργειακή αξιοποίηση ληγμένων γαλακτοκομικών προϊόντων μέσω αναερόβιας συγχώνευσης με αγροτοκτηνοτροφικά απόβλητα και παραγωγή εδαφοβελτιωτικού υψηλής προστιθέμενης αξίας με χρήση γαιοσκωλήκων"*, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.
- [32] Τσαγγάρης Η. (2013), *"Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας - Βιομάζα"*, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Οικονομικής Επιστήμης, Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.



- [33] Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων (1992), "*Τεχνικές Προδιαγραφές Θερμοκηπίων*", σελ. 12.
- [34] Φιρφιρης Β. (2013), "*Σχεδιασμός και απόδοση ηλιακά υποβοηθούμενου συστήματος θέρμανσης θερμοκηπίου με αβαθή γεωθερμία*", Μεταπτυχιακή Διατριβή, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Γεωργικής Μηχανικής & Υδατικών Πόρων, Γεωπονική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.

#### Ξενόγλωσση

- [35] ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (1997), "*Handbook of Fundamentals*", SI Edition, Atlanta.
- [36] Cockshull K.E., Graves C.J., Cave Carol R.J. (1992), "*The influence of shading on yield of glasshouse tomatoes*", Journal of Horticultural Science, Vol. 67, Issue 1, pp. 11-24.
- [37] Gupta M. J., Chandra P. (2002), "*Effect of greenhouse design parameters on conservation of energy of greenhouse environmental control*", Energy, Vol. 27, Issue 8, pp. 777-794.
- [38] Hellickson M. A., Walker J. N. (1983), "*Ventilation of agricultural structures*", ASAE monograph, St. Joseph, Mich.: American Society of Agricultural Engineers, pp. 372, USA.
- [39] Lange D., Hack G., Belker N., Brockmann M., Domke O., Krusche S., Viehweg F. - J., Sennekamp W. (2002), "*Rationelle Energienutzung im Gartenbau*", Leitfaden für die betriebliche Praxis.
- [40] Lund J.W., Freeston D.H., Boyd T.L. (2010), "*Direct utilization of geothermal energy 2010 worldwide review*", Proceedings World Geothermal Congress 2010, pp. 1-23, Bali, Indonesia.
- [41] Popovski K. (1998), "*Geothermally heated greenhouses in the world*", Proceedings of the Workshop: Heating Greenhouses with Geothermal Energy, International Summer School, pp. 425-430, Ponta Delgada, Azores.
- [42] Sethi V.P., Sharma S.K. (2008), "*Survey and evaluation of heating technologies for worldwide agricultural greenhouse applications*", Solar Energy, Vol. 82, Issue 9, pp. 832-859.
- [43] Vourdoubas J. (2015), "*Economic and Environmental Assessment of the Use of Renewable Energies in Greenhouses: A Case Study in Crete - Greece*", Journal of Agricultural Science, Vol. 7, No. 10, Published by Canadian Center of Science and Education, pp. 48-57.

## Διαδίκτυο

- [44] Γεωθερμική: <http://geotherm.gr/equipment/fans/>, <http://geotherm.gr/equipment/thermal-curtains/> (Ανάκτηση την 20/04/17).
- [45] Δημοτικό Σχολείο Ζαχάρως: <http://1dimzacharo.weebly.com/> (Ανάκτηση την 14/05/17).
- [46] Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία - EMY: [http://www.hnms.gr/hnms/greek/climatology/climatology\\_region\\_diagrams\\_html?dr\\_city=Pyrgos](http://www.hnms.gr/hnms/greek/climatology/climatology_region_diagrams_html?dr_city=Pyrgos) (Ανάκτηση την 14/05/17).
- [47] Εκπαιδευτικός Οργανισμός Ελληνικό Κολλέγιο Θεσ/νίκης: <http://www.hellenic-college.gr/works/energy-sources/biomaza.htm> (Ανάκτηση την 04/05/17).
- [48] Ελληνική Στατιστική Αρχή – ΕΛΣΤΑΤ: <http://www.statistics.gr/el/2011-census-pop-hous> (Ανάκτηση την 14/05/17).
- [49] Θερμοστάτ Σόλαρ: [http://www.thermostahlsolar.com/images/PDFS/Manuals/BIOPLEX\\_manual\\_gr\\_small.pdf](http://www.thermostahlsolar.com/images/PDFS/Manuals/BIOPLEX_manual_gr_small.pdf) (Ανάκτηση την 17/05/17).
- [50] Ινστιτούτο Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών – Ι.Γ.Μ.Ε.: <http://www.igme.gr/index.php/erevnitika-antikeimena/geothermia> (Ανάκτηση την 20/04/17).
- [51] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας – ΚΑΠΕ: <http://www.cres.gr/kape/index.htm>.
- [52] Οργανισμός Κεντρικών Αγορών & Αλιείας Α.Ε. – ΟΚΑΑ: <http://www.okaa.gr/> (Ανάκτηση την 25/07/17).
- [53] Πρόγραμμα Καλλικράτης: <http://www.kallikratis.org/dimoi-systasi-dimon-nomos-ileias/> (Ανάκτηση την 10/05/17).
- [54] Στροφύλας Αριστείδης – Το πυρηνόξυλο σαν καύσιμο: <https://sites.google.com/site/pyrhnoxylo/pyrenelaiourgeia-1/to-pyrenoxylo-san-kausimo> (Ανάκτηση την 17/05/17).
- [55] Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας – ΤΕΕ, Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας: [http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teetkm/DRASTHRIOTHTES/OMADES\\_ERGASIAS\\_2010-12/OI\\_PROOPTIKES\\_TWN\\_APE\\_STHN\\_ELLADA/](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teetkm/DRASTHRIOTHTES/OMADES_ERGASIAS_2010-12/OI_PROOPTIKES_TWN_APE_STHN_ELLADA/), (Ανάκτηση την 02/05/17).
- [56] Energy Thermostahl: Λέβητές συμπύκνωσης – Ειδικές κατασκευές: [http://www.thermostahl.gr/misc/Manual%20EN\\_gr%20v1.2.pdf](http://www.thermostahl.gr/misc/Manual%20EN_gr%20v1.2.pdf) (Ανάκτηση την 17/05/17).
- [57] Life Free Energy: <http://lifefreeenergy.com/w/which-is-a-renewable-energy-source.html> (Ανάκτηση την 03/05/17).

- [58] Thernovent: <http://www.thermovent.gr/kaystires/petrelaioy/bentone-beo30-beo45> (Ανάκτηση την 17/05/17).
- [59] Yraithros.gr Εφημερίδα για την αγροτική ανάπτυξη: <http://www.yraithros.gr/to-kostos-h-diadikasia-kai-oi-ekselikseis-stin-kataskeui-thermokipion/> (Ανάκτηση την 20/04/17).

---

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

### ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: Υπολογισμός γεωμετρικών χαρακτηριστικών θερμοκηπίου

Για τον υπολογισμό διαφόρων χρήσιμων μεγεθών που αφορούν στον ενεργειακό σχεδιασμό του θερμοκηπίου, απαιτείται ο υπολογισμός των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του όπως είναι: η συνολική επιφάνεια που καταλαμβάνει (έκταση), η επιφάνεια του υλικού κάλυψης και ο όγκος του αέρα στο εσωτερικό της κατασκευής.

#### Συνολική επιφάνεια θερμοκηπίου

Ο υπολογισμός της συνολικής επιφάνειας του θερμοκηπίου είναι αρκετά εύκολος, καθώς η κάτοψη του είναι ένα ορθογώνιο και απαιτείται απλά ο πολλαπλασιασμός του μήκους ( $l = 40m$ ) με το πλάτος ( $w = 80m$ ) της κατασκευής. Έτσι, προκύπτει ότι η έκταση της θερμοκηπιακής εγκατάστασης είναι:

$$A = l \times w = 40m \times 80m = 3.200m^2 = 3,2 \text{ στρέμματα}$$

#### Επιφάνεια υλικού κάλυψης θερμοκηπίου

Ο υπολογισμός της επιφάνειας του υλικού κάλυψης γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τον τύπο της κατασκευής του θερμοκηπίου. Στην παρούσα εργασία, το εξεταζόμενο θερμοκήπιο είναι πολλαπλό τροποποιημένο τοξωτό. Απαραίτητα για τον υπολογισμό είναι η εύρεση της περιμέτρου της έλλειψης, η οποία δίνεται από τη σχέση:

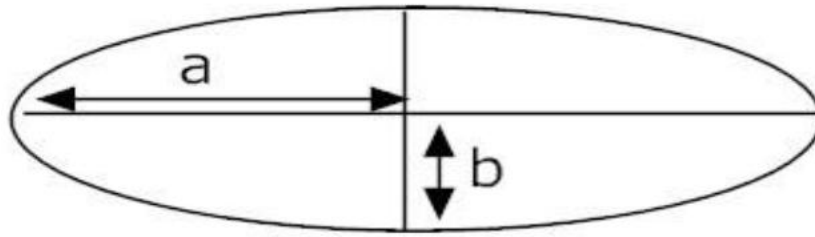
$$C = 4a \int_0^{\pi/2} \sqrt{1 - e^2 \sin^2 \theta} d\theta \text{ (m)} \quad (\text{Π1.1})$$

και του εμβαδού της έλλειψης που δίνεται από τον τύπο:

$$A_{el} = ab\pi \text{ (m}^2\text{)} \quad (\text{Π1.2})$$

$a, b$  = οι ημιάξονες της έλλειψης (Σχήμα Π.1) και

$e = \sqrt{1 - b^2/a^2}$  = η εκκεντρότητα.



**Σχήμα Π.1:** Ορισμός ημιαξόνων έλλειψης (Πηγή: Φιρφυρής, 2013)

Τελικά προκύπτουν οι τιμές:

$a = 4\text{m}$  (δηλαδή, το μισό του πλάτους της κατασκευαστικής μονάδας),

$b = 1,9\text{m}$  (δηλαδή η διαφορά του συνολικού ύψους μέχρι την κορυφή με το ύψος της υδρορροής,

$C = 19,1272\text{m}$  και

$A_{el} = 23,8761\text{m}^2$ .

Στο σημείο αυτό υπολογίζονται οι επιμέρους επιφάνειες: επιφάνεια πρόσοψης και πίσω όψης ( $A_1$ ), πλευρικές επιφάνειες ( $A_2$ ) και επιφάνεια οροφής ( $A_3$ ), το άθροισμα των οποίων δίνει την επιφάνεια του υλικού κάλυψης.

$$A_1 = (10 \times 4 \times 8 + 10 \times (23,8761/2)) \times 2 = 878,761\text{m}^2$$

$$A_2 = 40 \times 4 \times 2 = 320\text{m}^2$$

$$A_3 = 10 \times 40 \times (19,1272/2) = 3.825,44\text{m}^2$$

Από τα προηγούμενα προκύπτει ότι η επιφάνεια του υλικού κάλυψης ισούται με:

$$A_c = A_1 + A_2 + A_3 = 5.024,201\text{m}^2 \cong 5.024\text{m}^2$$

#### Όγκος θερμοκηπίου

Ο συνολικός όγκος του θερμοκηπίου ισούται με:

$$V = (A_1/2) \times w = 17.575,22\text{m}^3 \cong 17.575\text{m}^3$$

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: Τεχνικά χαρακτηριστικά συστημάτων θέρμανσης

### ✚ ΣΥΣΤΗΜΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΜΕ ΛΕΒΗΤΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ

Χαλύβδινος λέβητας Enersave Thermostahl EN500 500000 Kcal/h (Πηγή: <http://www.thermostahl.gr>)

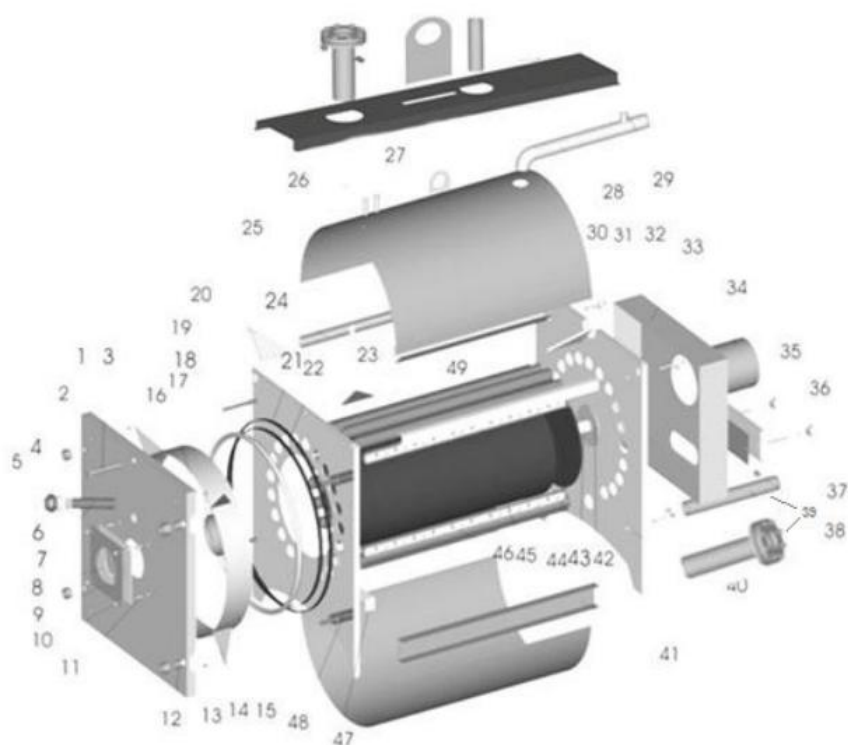


**Σχήμα Π.2:** Λέβητας πετρελαίου Enersave Thermostahl (Πηγή: <http://www.thermostahl.gr>)

**Περιγραφή:** Χαλύβδινος λέβητας pressurized, με επιστρεφόμενη φλόγα. Κατάλληλος για καύση υγρών και αέριων καυσίμων. Οικονομική σειρά με σπειροειδείς στροβιλιστές καυσαερίων. Ανταγωνιστική τιμή, εγγυημένη απόδοση και λειτουργία. Υψηλός βαθμός απόδοσης που εξασφαλίζει οικονομία στα καύσιμα και ελαχιστοποιεί τους ρύπους. Διατίθεται μαζί με μεταλλικά καλύμματα και ηλεκτρικό πίνακα οργάνων.

Ο χάλυβας προσφέρει πολυάριθμα πλεονεκτήματα, τα οποία είναι ιδιαίτερης σημασίας στις σύγχρονες τεχνικές θέρμανσης. Μερικά από τα πλεονεκτήματά του είναι: οι ιδανικές μηχανικές ιδιότητες, οι τεράστιες δυνατότητες μορφοποίησης, οι λείες επιφάνειες και το χαμηλό βάρος.

Τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα του λέβητα THERMOSTAHL είναι η μεγάλη χωρητικότητα νερού, που επιτρέπει την ακριβή ρύθμιση της θερμοκρασίας του χωρίς ειδικές απαιτήσεις. Η εσωτερική ενέργεια του λέβητα συνεισφέρει σημαντικά στην προστασία του περιβάλλοντος διότι ο μεγάλος όγκος του νερού αυξάνει τη δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας, μειώνοντας τον αριθμό έναρξης καύσης του καυστήρα.



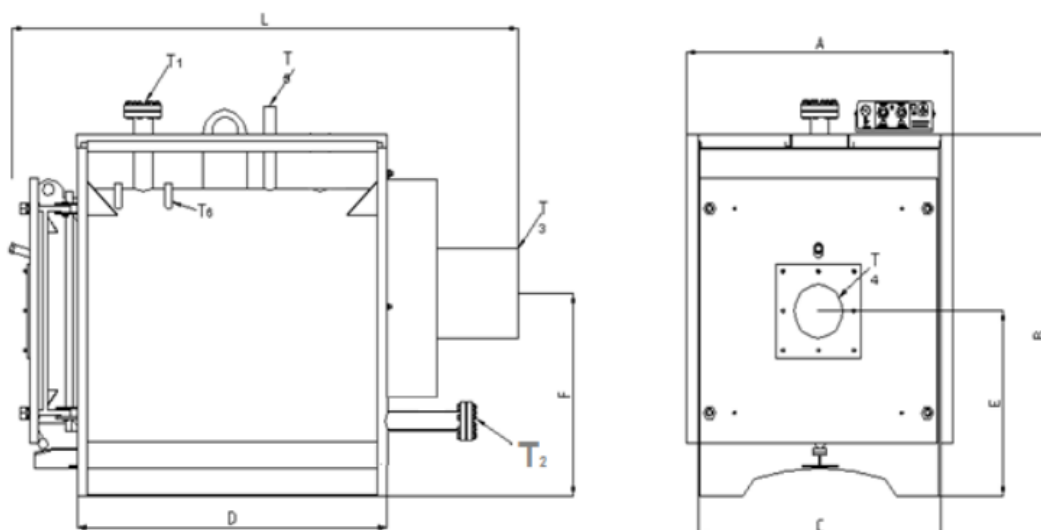
#### Υπόμνημα

- |                                    |                                  |
|------------------------------------|----------------------------------|
| 1. Κορμός πόρτας                   | 26. Κυάθιο                       |
| 2. Περικόχλιο πόρτας               | 27. Σωλήνας                      |
| 3. Οπή                             | 28. Μαστός προσαγωγής            |
| 4. Στεγανοποιητικό                 | 29. Μούφα                        |
| 5. Περικόχλιο θυρίδας επιθεώρησης  | 30. Βίδα καπνοσυλλέκτη           |
| 6. Τζάμι επιθεώρησης               | 31. Αυτάκι στήριξης              |
| 7. Μαστός επιθεώρησης              | 32. Παξιμάδι καπνοσυλλέκτη       |
| 8. Κεραμικό στεγανοποίησης         | 33. Καπνοσυλλέκτης               |
| 9. Φλάντζα τοποθέτησης καυστήρα    | 34. Καπνοδόχος                   |
| 10. Παξιμάδι φλάντζας              | 35. Πεταλούδα                    |
| 11. Κοχλίας φλάντζας               | 36. Ελατήριο                     |
| 12. Δακτύλιος στήριξης             | 37. Βίδα σχάρας καθαρισμού       |
| 13. Παξιμάδι                       | 38. Μαστός εκκένωσης             |
| 14. Γωνιακό στήριγμα στεφάνης      | 39. Μαστός επιστροφής            |
| 15. Στεφάνη πόρτας                 | 40. Οπίσθια αυλοφόρος πλάκα      |
| 16. Λαιμός οπής πόρτας             | 41. Πόδι                         |
| 17. Υαλοκόρδονο στεγανοποίησης     | 42. Οπίσθια πλάκα στήριξης αυλών |
| 18. Κοχλίας σύσφιξης πόρτας        | 43. Σωλήνας                      |
| 19. Εμπρόσθια αυλοφόρος πλάκα      | 44. Οπίσθια πλάκα φλογοθαλάμου   |
| 20. Γωνιακό στήριγμα               | 45. Φλογοθάλαμος                 |
| 21. Εξωτερική στεφάνη υαλοκόρδονου | 46. Στροβιλιστής καυσαερίων      |
| 22. Εσωτερική στεφάνη υαλοκόρδονου | 47. Κομβοέλασμα                  |
| 23. Φλογαυλοί                      | 48. Μεντεσές πόρτας              |
| 24. Δοκός ένωσης                   | 49. Προφίλα ανακλαστήρα          |
| 25. Υδροθάλαμος                    |                                  |

**Σχήμα Π.3:** Ανάπτυγμα λέβητα Enersave Thermostahl (Πηγή: <http://www.thermostahl.gr>)

### Τεχνικά χαρακτηριστικά:

Τύπος	EN 500
Ονομαστική ισχύς (Mcal/h)	500
Ονομαστική ισχύς (kW)	581
Περιοχή ισχύος (Mcal/h)	450 - 500
Αντίθλιψη (mm H <sub>2</sub> O)	20 - 30
Όγκος φλογοθαλάμου (lt)	518
Θερμ. επιφάνεια (m <sup>2</sup> )	13,2
Εσωτερική πτώση πίεσης (Δt = 15°C)	230
Περιεκτικότητα νερού (lt)	704
Μέγιστη πίεση λειτουργίας (bar)	4



**Σχήμα Π.4:** Σχεδιάγραμμα διαστάσεων λέβητα Enersave Thermostahl (Πηγή: <http://www.thermostahl.gr>)

### Διαστάσεις:

A (mm)	1290	L (mm)	2300
B (mm)	1545	T1-T2 (inch)	DN 100
C (mm)	1170	T3 (inch)	343
D (mm)	1590	T4 (inch)	260
E (mm)	750	T5 (inch)	1 1/4"
F (mm)	980		



**Διβάθμιος καυστήρας πετρελαίου με υδραυλικό διάφραγμα Bentone BEO 45 AL-2** (Πηγή: <http://www.thermovent.gr/>)



**Σχήμα Π.5:** Καυστήρας πετρελαίου Bentone (Πηγή: <http://www.thermovent.gr/>)

**Περιγραφή:** Πρόκειται για καυστήρες πετρελαίου που χρησιμοποιούνται σε συστήματα θέρμανσης οικιακών και επαγγελματικών χώρων, καθώς επίσης και για βιομηχανικές θερμικές εφαρμογές. Στα κύρια χαρακτηριστικά τους περιλαμβάνονται ότι είναι: οικονομικοί στην κατανάλωση πετρελαίου, φιλικό προς το περιβάλλον, αθόρυβοι και μικρών διαστάσεων, καθώς και εύκολοι στη ρύθμιση και τη συντήρηση.

**Τεχνικά χαρακτηριστικά:**

Τύπος	BEO 45AL-2
Παροχή πετρελαίου (kg/h)	8,5 - 45,5
Ονομαστική ισχύς (Mcal/h)	86,7 - 464,1
Ονομαστική ισχύς (kW)	101 - 540
Τάση (V/Hz)	1X230/50
Μήκος μπούκας (Mm)	338
Ισχύς κινητήρα (W)	750
Βάρος (kg)	50

**Χαλύβδινος λέβητας βιομάζας – pellets – ξύλου Bioplex HL 580 – Thermostahl Solar** (Πηγή: <http://www.thermostahlsolar.com>)



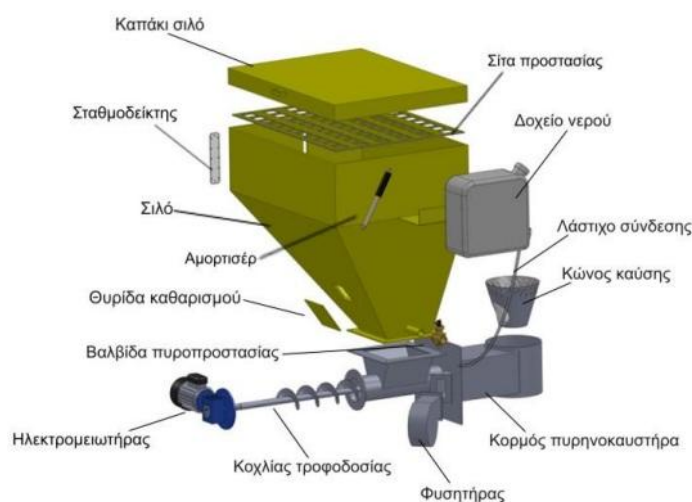
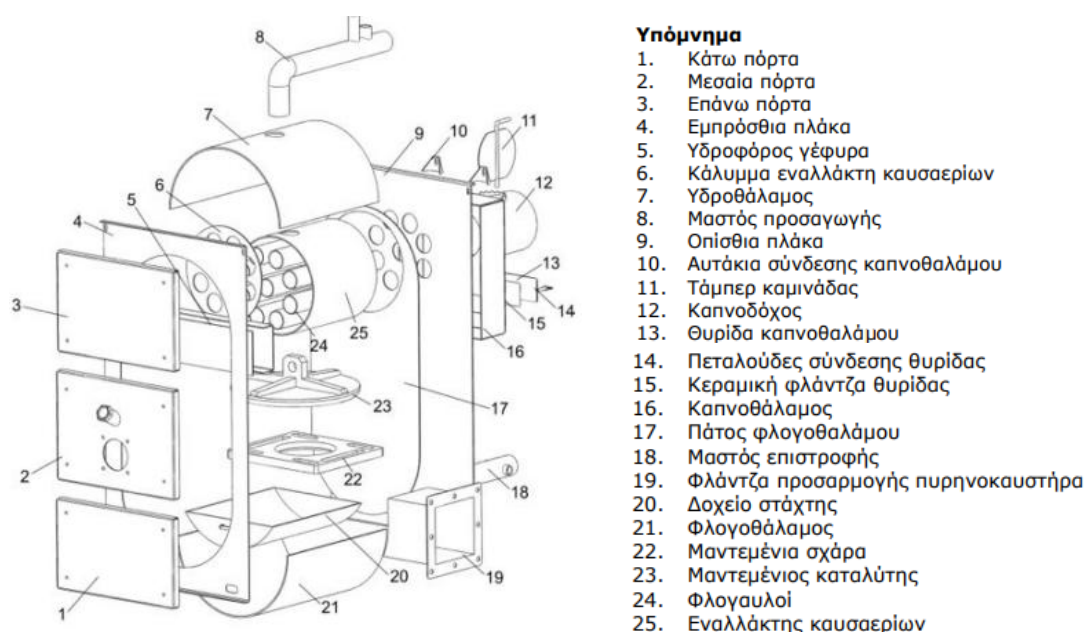
**Σχήμα Π.6:** Λέβητας Bioplex HL (Πηγή: <http://www.thermostahlsolar.com>)

**Περιγραφή:** Πρόκειται για ένα ολοκληρωμένο σύστημα λέβητα – καυστήρα – σιλό για την καύση ξύλων, πέλλετ, ελαιοπυρήνων, καλαμποκιού, σιταριού, φλοιών, ξηρών καρπών σε κόκκους 3-25mm. Στο σύστημα περιλαμβάνονται:

- ✓ Χαλύβδινος λέβητας HL με κυλινδρικό εναλλάκτη.
- ✓ Σύστημα καύσης με εστία INOX.
- ✓ Σύστημα τροφοδοσίας με ηλεκτροκινητήρα.
- ✓ Σύστημα αποθήκευσης καυσίμου (σιλό).
- ✓ Σύστημα αντιπυρικής προστασίας.
- ✓ Συλλέκτης ασφαλείας 3 bar.
- ✓ Πίνακας οργάνων με χρονικό.
- ✓ Χυτοσίδηρη σχάρα και καταλύτης.
- ✓ Στροβιλιστές καυσαερίων INOX.

Ο λέβητας Bioplex HL είναι χαλύβδινος και προορίζεται για την παραγωγή ζεστού νερού θερμοκρασίας έως και 90 °C. Η λειτουργία του βασίζεται στον φυσικό ελκυσμό με ελεύθερη ροή των καυσαερίων μέσω της καπνοδόχου. Η έκδοση HL 580 διαθέτει τρεις πόρτες, η επάνω είναι για καθαρισμό των αυλών, η μεσαία για

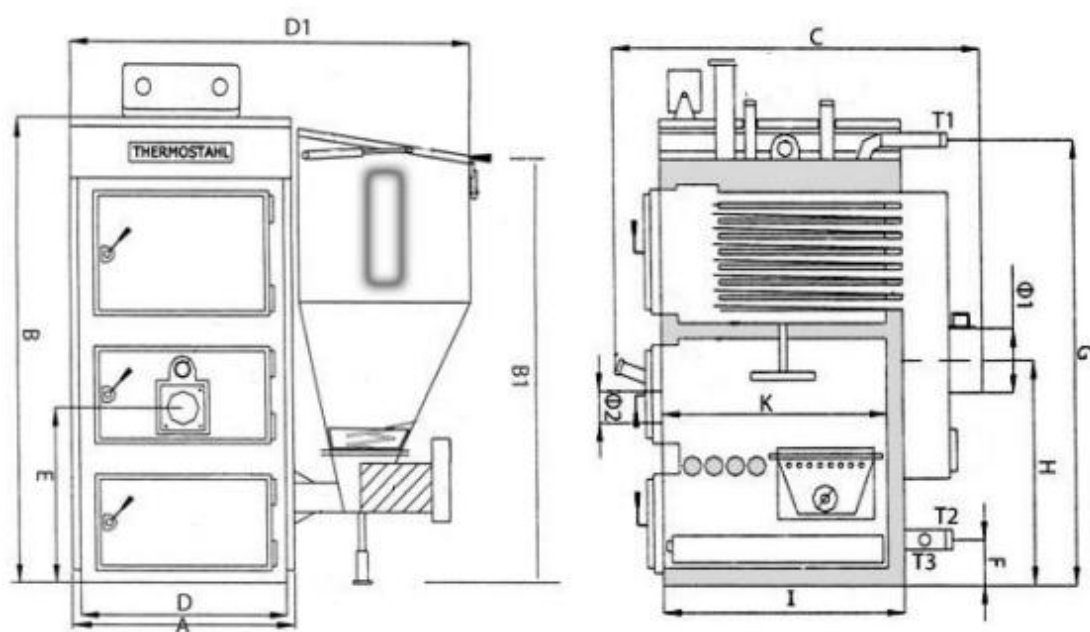
χειροκίνητη τροφοδοσία, έναυση και επιθεώρηση και η κάτω για περισυλλογή και απομάκρυνση της στάχτης. Η τροφοδοσία του καυσίμου γίνεται μέσω κοχλία που κινείται από κατάλληλα προσαρμοσμένο ηλεκτρομειωτήρα, και η παροχή του αέρα από φυσητήρα κατευθείαν στην εστία καύσης. Η ρύθμιση του κοχλία και του φυσητήρα γίνεται από τον πίνακα ελέγχου. Η καύση πραγματοποιείται στην εστία καύσης, η φλόγα διαχέεται σε όλο το φλογοθάλαμο, και εν συνεχεία τα καυσαέρια εξέρχονται μέσω των αυλών και καταλήγουν στον καπνοσυλλέκτη και τελικά στην καμινάδα. Επιπλέον, ο λέβητας είναι σχεδιασμένος έτσι ώστε όλα τα τμήματα που έρχονται σε επαφή με τη φλόγα να ψύχονται από το περιβάλλον νερό. Ο σχεδιασμός αυτός του λέβητα επιτυγχάνει υψηλή απόδοση (βαθμός απόδοσης 87%) και αποτελεσματική καύση.



**Σχήμα Π.7:** Αναλυτική περιγραφή των τμημάτων του συστήματος (Πηγή: <http://www.thermostahlsolar.com>)

### Τεχνικά χαρακτηριστικά:

Τύπος	HL 580
Ονομαστική ισχύς (Mcal/h)	500
Ονομαστική ισχύς (kW)	581
Θερμ. επιφάνεια (m <sup>2</sup> )	33,0
Περιεκτικότητα νερού (lt)	1020
Μέγιστη πίεση λειτουργίας (bar)	3
Βάρος (kg)	2430
Όγκος σιλό (lt)	950
Μοτέρ (kW-ph)	0,37 – 3
Βεντιλατέρ (kW-ph)	0,37 – 3
Βεντιλατέρ (m <sup>3</sup> /h)	1400



**Σχήμα Π. 8:** Σχεδιάγραμμα διαστάσεων λέβητα Bioplex HL (Πηγή: <http://www.thermostahlsolar.com>)

### Διαστάσεις:

A (mm)	1100
B (mm)	2000
B1 (mm)	2000
C (mm)	2840
D (mm)	1000
D1 (mm)	2250
E (mm)	830
F (mm)	150
G (mm)	2160
H (mm)	1085
I (mm)	2010
K (mm)	2150
Φ1 (mm)	395
Φ2 (mm)	185
T1-T2 (inch)	4"
T3 (inch)	1 1/4"
Πόρτα τροφοδοσίας	860 x 490

Τέλος, ο πυρηνοκαυστήρας, ο οποίος προορίζεται για την τροφοδοσία του καυσίμου εντός του λέβητα και την αποδοτική καύση του, αποτελείται από τον κορμό, την εστία καύσης, τον κοχλία τροφοδοσίας, τον ηλεκτρομειωτήρα και το φουσητήρα.



**Σχήμα Π. 9:** Απεικόνιση του καυστήρα του συστήματος (Πηγή: <http://www.thermostahlsolar.com>)

### ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3: Υπολογισμός επικρατούσας τιμής παραγωγού για τομάτα θερμοκηπίου

Τιμές παραγωγού για τομάτα θερμοκηπίου, 2015 (Πηγή: <http://www.okaa.gr/>)

Έτος	Μήνας	Τιμή ανά κιλό		
		Μέγιστη	Ελάχιστη	Επικρατούσα
2015	ΙΑΝ	0,91 €	0,61 €	0,84 €
	ΦΕΒ	0,70 €	0,46 €	0,67 €
	ΜΑΡ	0,79 €	0,55 €	0,75 €
	ΑΠΡ	0,93 €	0,62 €	0,88 €
	ΜΑΙ	0,73 €	0,54 €	0,68 €
	ΙΟΥΝ	0,55 €	0,34 €	0,50 €
	ΙΟΥΛ	0,54 €	0,34 €	0,50 €
	ΑΥΓ	0,56 €	0,35 €	0,52 €
	ΣΕΠ	0,71 €	0,43 €	0,68 €
	ΟΚΤ	0,69 €	0,46 €	0,64 €
	ΝΟΕ	0,79 €	0,52 €	0,76 €
	ΔΕΚ	0,82 €	0,56 €	0,77 €
<b>Μέσες τιμές 2015:</b>		<b>0,73 €</b>	<b>0,48 €</b>	<b>0,68 €</b>

Τιμές παραγωγού για τομάτα θερμοκηπίου, 2016 (Πηγή: <http://www.okaa.gr/>)

Έτος	Μήνας	Τιμή ανά κιλό		
		Μέγιστη	Ελάχιστη	Επικρατούσα
2016	ΙΑΝ	0,73 €	0,45 €	0,65 €
	ΦΕΒ	0,57 €	0,36 €	0,53 €
	ΜΑΡ	0,62 €	0,41 €	0,57 €
	ΑΠΡ	0,77 €	0,50 €	0,72 €
	ΜΑΙ	0,61 €	0,40 €	0,56 €
	ΙΟΥΝ	0,62 €	0,42 €	0,58 €
	ΙΟΥΛ	0,71 €	0,51 €	0,67 €
	ΑΥΓ	0,79 €	0,49 €	0,73 €
	ΣΕΠ	0,63 €	0,39 €	0,60 €
	ΟΚΤ	0,59 €	0,34 €	0,56 €
	ΝΟΕ	0,62 €	0,41 €	0,58 €
	ΔΕΚ	0,68 €	0,41 €	0,64 €
<b>Μέσες τιμές 2016:</b>		<b>0,66 €</b>	<b>0,42 €</b>	<b>0,62 €</b>

Τιμές παραγωγού για τομάτα θερμοκηπίου, 2017 (Πηγή: <http://www.okaa.gr/>)

Έτος	Μήνας	Τιμή ανά κιλό		
		Μέγιστη	Ελάχιστη	Επικρατούσα
2017	ΙΑΝ	0,78 €	0,54 €	0,72 €
	ΦΕΒ	0,54 €	0,34 €	0,50 €
	ΜΑΡ	0,73 €	0,58 €	0,69 €
	ΑΠΡ	1,00 €	0,79 €	0,95 €
	ΜΑΙ	0,68 €	0,43 €	0,63 €
	ΙΟΥΝ	0,50 €	0,30 €	0,47 €
	ΙΟΥΛ	0,56 €	0,35 €	0,51 €
	ΑΥΓ	–	–	–
	ΣΕΠ	–	–	–
	ΟΚΤ	–	–	–
	ΝΟΕ	–	–	–
	ΔΕΚ	–	–	–
<b>Μέσες τιμές 2017:</b>		<b>0,68 €</b>	<b>0,48 €</b>	<b>0,64 €</b>

Υπολογισμός μέσων τιμών παραγωγού για τομάτα θερμοκηπίου, χρονική περίοδος 1/1/2015 έως 31/7/2017:

Χρονική περίοδος	Τιμή ανά κιλό		
	Μέγιστη	Ελάχιστη	Επικρατούσα
<b>Μέσες τιμές από 1/1/2015 έως 31/7/2017</b>	0,69 €	0,46 €	<b>0,65 €</b>