



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

Σχεδίαση σε CAD θερμοκηπίου και μελέτη ενεργειακής απόδοσης με οικονομοτεχνική μελέτη και χρονοδιάγραμμα απόσβεσης

Συγγραφέας

ΠΑΠΑΣΤΑΜΟΥΛΟΣ ΑΝΤΩΝΗΣ

ΑΜ: 272017078

Επιβλέπων/ουσα:

ΚΑΝΕΤΑΚΗ ΖΩΗ, ΛΕΚΤΡΟΡΑΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ

ΠΡΟΕΣΤΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ, ΛΕΚΤΟΡΑΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

Αθήνα, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2023



UNIVERSITY OF WEST ATTICA SCHOOL

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

Diploma Thesis

Computer aided design (CAD) and energy efficiency study of greenhouse structure with technical and financial study of investment and amortisation schedule

Student name and surname:

ANTONIS PAPASTAMOYLOS

Registration Number: 272017078

Supervisor name and surname:

KANETAKI ZOI, LECTURER

EMMANUEL PROESTAKIS, APPLICATIONS LECTURER

Athens, FEBRUARY 2023



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Τίτλος εργασίας

Σχεδίαση σε CAD θερμοκηπίου και μελέτη ενεργειακής απόδοσης με οικονομοτεχνική μελέτη και χρονοδιάγραμμα απόσβεσης

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

Α/α	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	ΚΑΝΕΤΑΚΗ ΖΩΗ	ΛΕΚΤΟΡΑΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ	
2	ΠΡΟΕΣΤΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ	ΛΕΚΤΟΡΑΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ	
3	ΣΑΡΡΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ	ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/η κάτωθι υπογεγραμμένος/η ΠΑΠΑΣΤΑΜΟΥΛΟΣ ΑΝΤΩΝΗΣ του ΕΥΣΤΑΘΙΟΥ, με αριθμό μητρώου mec272017078 φοιτητής/τρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».



Ο/Η Δηλών/ούσα

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει στόχο τη μελέτη και αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας στην θέρμανση των θερμοκηπίων. Ακόμα γίνεται παρουσίαση διαφόρων ειδών θερμοκηπίων και νομοθεσίας περί αυτών, γίνεται θεωρητική μελέτη ενεργειακής απόδοσης θερμοκηπίου το οποίο εκμεταλλεύεται χαμηλής ενθαλπίας γεωθερμική ενέργεια, στην περιοχή της Β. Ευβοίας. Τέλος σκοπός είναι η ανάδειξη της οικονομίας που προσφέρουν στη θέρμανση θερμοκηπίων οι ανανεώσιμοι πόροι του πλανήτη μας ,όπως η γεωθερμία, και πόσο ανταγωνιστική μπορεί να γίνει η αυτή η μέθοδος θέρμανσης σε σχέση με άλλες συμβατικές μεθόδους θέρμανσης.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής και ιδιαίτερα τους επιβλέποντες καθηγητές της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας για την στήριξη και την καθοδήγηση που μου πρόσφεραν.

Περιεχόμενα

Πρόλογος	6
Περιεχόμενα	7
Περίληψη	9
Μεθοδολογία	10
Εισαγωγή	11
Γεωμετρία θερμοκηπίων	12
Υλικά κάλυψης	14
Προσανατολισμός	15
Ηλιακή ενέργεια	15
Σύστημα ελέγχου κλίματος	16
Μικροκλίμα θερμοκηπίων	17
Υγρασία	17
Θέρμανση	17
Ψύξη-Αερισμός	18
Συγκέντρωση C_{o2}	18
Εκμετάλλευση γεωθερμίας	19
Γεωλογική μελέτη Β. Ευβοίας	24
Χημική σύσταση υπόγειων υδάτων	24
Νομοθεσία αξιοποίησης γεωθερμίας στην Ελλάδα	27
Μελέτη περίπτωσης	28
Σχεδίαση θερμοκηπίου – Κατασκευαστικά στοιχεία	28
Επιβαλλόμενα φορτία στη κατασκευή	32
Φορτίο άνεμου Q_{k1}	33
Φορτίο χιονιού Q_{k2}	38
Φορτία φυτών Q_{k3}	40
Πρόγραμμα καλλιέργειας	40
Ισχύς συστήματος θέρμανσης	41
Γεωθερμική εγκατάσταση θέρμανσης με Γ/Α	43
Προστασία κατά των αλάτων	45
Υπολογισμός δικτύου θέρμανσης	45
Γεωθερμική εγκατάσταση θέρμανσης με επιδαπέδιους σωλήνες και λέβητα ξύλου	49

Αυτόματος έλεγχος κλίματος	51
Θέρμανση	51
Αερισμός.....	52
Ηλεκτρικές και θερμικές καταναλώσεις.....	52
Γεωθερμική αντλία και φωτοβολταϊκά	52
Επιδαπέδιοι σωλήνες PE με λέβητα ξύλου	63
Συμβατικά συστήματα θέρμανσης.....	65
Χρονοδιάγραμμα απόσβεσης και αξιολόγηση	66
Συμπεράσματα	73
Παράρτημα.....	75
Βιβλιογραφία.....	81

Περίληψη

Στη παρούσα διπλωματική εργασία αναλύονται δύο είδη συστημάτων θέρμανσης θερμοκηπίου με χρήση γεωθερμικού νερού στη περιοχή της Β. Ευβοίας. Στην αρχή γίνεται αναφορά στα είδη των θερμοκηπίων και τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν μέσα σε αυτά. Στη συνέχεια δίνονται πληροφορίες όσο αφορά τη γεωθερμία και τον τρόπο με τον οποίον μπορεί να αξιοποιηθεί για θέρμανση θερμοκηπίων. Έπειτα στο κομμάτι της μελέτης περίπτωσης συγκρίνεται η αξιοποίηση του νερού χαμηλής ενθαλπίας για δύο διαφορετικές περιπτώσεις θέρμανσης. Η πρώτη περίπτωση είναι η θέρμανση του θερμοκηπίου με γεωθερμική αντλία θερμότητας σε συνδυασμό με μία εγκατάσταση φωτοβολταϊκών προς την μερική κάλυψη της ηλεκτρικής κατανάλωσης. Η δεύτερη περίπτωση αφορά την θέρμανση του θερμοκηπίου με επιδαπέδιους σωλήνες θέρμανσης μέσα στους οποίους θα ρέει γεωθερμικό ρευστό, σε συνδυασμό με έναν λέβητα στερεών καυσίμων και αερόθερμα. Στο τέλος της εργασίας συγκρίνονται και οι δυο μέθοδοι και αξιολογούνται υπολογίζοντας τα ετήσια κόστη θέρμανσης και χρονοδιάγραμμα απόσβεσης της κάθε μεθόδου θέρμανσης.

Summary

This thesis analyzes two types of greenhouse heating systems that use geothermal water in the area of North Evia. The types of greenhouses and the climatic conditions prevailing within them are first discussed. Then information is provided regarding geothermal energy and how it can be utilized for greenhouse heating. In the case study section, the use of low-enthalpy water for two different heating methods is compared. The first case involves greenhouse heating with a geothermal heat pump in combination with a photovoltaic installation to partially cover the electric consumption. The second case involves greenhouse heating with heating pipes in the floor of greenhouse, through which geothermal fluid will flow, in combination with a solid fuel boiler and air heaters. In the end, both methods are compared and evaluated by calculating the annual heating costs and depreciation schedule of each heating method

Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την υλοποίηση της εργασίας είναι αρχικά η παρουσίαση κάποιων βασικών χαρακτηριστικών των θερμοκηπίων όσο αφορά την κατασκευή τους βάση κανονισμών και τις συνθήκες κλίματος που επικρατούν μέσα σε αυτά. Έπειτα ακολούθησε η έρευνα γύρω από τη γεωθερμία, την χρήση της για τη θέρμανση θερμοκηπίων σύμφωνα με παρόμοιες επιστημονικές μελέτες. Η έρευνα στο γεωθερμικό πεδίο της περιοχής ενδιαφέροντος κρίθηκε αναγκαία και έγινε με την χρήση στοιχείων από κρατικές γεωλογικές μελέτες. Στο κεφάλαιο της μελέτης περίπτωσης αρχικά σχεδιάστηκε σε το σχεδιαστικό πρόγραμμα INVENTOR, ο σκελετός του θερμοκηπίου και υπολογίστηκαν τα κυριότερα επιβαλλόμενα φορτία της κατασκευής βάση Ευροκωδίκων. Στη συνέχεια μελετήθηκαν τα ενεργειακά χαρακτηριστικά, όσο αφορά το κομμάτι της θέρμανσης και τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά δύο συστημάτων γεωθερμικής θέρμανσης. Τα γεωθερμικά συστήματα θέρμανσης σχεδιάστηκαν για δύο διαφορετικά υλικά επικάλυψης. Η κατασκευαστική ανάλυση των συστημάτων θέρμανσης έγινε για το ένα υλικό επικάλυψης ως παράδειγμα και αφορά την συνδεσμολογία της υδραυλικής εγκατάστασης και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των κυριότερων εξαρτημάτων. Για την ενεργειακή ανάλυση έγινε χρήση των μέσων θερμοκρασιών κάθε ημέρας. Οι απώλειες θερμότητας και κατά συνέπεια οι ημερήσιες θερμικές ανάγκες υπολογίστηκαν βάση αυτών των μέσων θερμοκρασιών. Ο υπολογισμός των θερμικών απωλειών περιλαμβάνει τις απώλειες θερμότητας από το υλικό επικάλυψης, τις απώλειες λόγω αερισμού και τις απώλειες λόγω ακτινοβολίας. Έπειτα αφού υπολογίστηκε το ενεργειακό προφίλ της καλλιεργητικής περιόδου υπολογίστηκαν τα μηνιαία έξοδα-έσοδα της καλλιέργειας για όλες τις περιπτώσεις θέρμανσης. Τα χρονοδιαγράμματα απόσβεσης έγιναν βάση των εσόδων - εξόδων και τέθηκε χρόνος ζωής της επένδυσης τα είκοσι χρόνια.

Εισαγωγή

Από το 1960 ο παγκόσμιος πληθυσμός έχει διπλασιαστεί και αναμένεται να ξεπεράσει τα 9,8 δις άτομα μέχρι το 2050 με αποτέλεσμα η επισιτιστική ασφάλεια να κατέχει μία από τις κυριότερες ανησυχίες των ανθρώπων. Ως εκ τούτου οι επενδύσεις στη γεωργία είναι ζωτικής σημασίας. Σύμφωνα με τον Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας (FAO), ως αειφόρος ανάπτυξη θεωρείται η βιώσιμη αύξηση της παραγωγικότητας και των κερδών σε συνδυασμό με την ευελιξία στην κλιματική αλλαγή και τον μετριασμό ή ακόμα την εξάλειψη του φαινομένου του θερμοκηπίου [1].

Η ολοένα αυξανόμενη ζήτηση των λαχανικών και όχι μόνο, σε περιόδους που είναι εκτός σεζόν για την καλλιέργεια τους, έχει οδηγήσει τους παραγωγούς στην κατασκευή θερμοκηπίων. Τα θερμοκήπια βοηθούν τους παραγωγούς να καλλιεργήσουν φυτά τα οποία σε υπαίθριες συνθήκες πολλές φορές θα ήταν αδύνατο να επιζήσουν. Για παράδειγμα παραγωγή τομάτας, αγγουριού, κολοκυθιού, κλπ. τον χειμώνα, τροπικά φυτά εκτός της φυσικής τους κλιματικής ζώνης. Ακόμα η δυνατότητα ρύθμισης του μικροκλίματος στο εσωτερικό των θερμοκηπίων με αισθητήρια όργανα και τον απαραίτητο μηχανολογικό εξοπλισμό αυξάνει στο μέγιστο την παραγωγή και την ποιότητα των προϊόντων. Στο μικροκλίμα των θερμοκηπίων περιλαμβάνεται κυρίως η ένταση και διάρκεια της ηλιακής ακτινοβολίας εσωτερική θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, η σκίαση, η συγκέντρωση CO₂.

Τα θερμοκήπια είναι κατασκευές, μεταλλικές ή ξύλινες, οι οποίες περιβάλλονται από υλικό με καλή διαπερατότητα της ηλιακής ενέργειας. Το υλικό του περιβλήματος είναι τέτοιο ώστε να απορροφά τα ηλιακά κέρδη και να αντανakλά μερικές από τις υπέρυθρες ακτινοβολίες εκτρέποντάς τις να βγουν έξω από τον χώρο του θερμοκηπίου και έτσι ο εσωτερικός χώρος έχει θερμοκρασία υψηλότερη από το εξωτερικό περιβάλλον. Τις περισσότερες φορές όμως αυτό δεν είναι αρκετό μίας και η ηλιακή ενέργεια του χειμώνα είναι σε χαμηλά επίπεδα και η αύξηση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό των θερμοκηπίων το χειμώνα δεν ξεπερνά τους 5°C [1]. για την κάλυψη των θερμικών αναγκών χρησιμοποιούνται αερόθερμα ζεστού νερού το οποίο παράγεται από λέβητα (πετρελαίου, βιομάζας, pellet, ελαιοπυρήνα, LPG, κλπ...). Κατά την διάρκεια του φθινοπώρου, του καλοκαιριού και της άνοιξης είναι αναγκαίος ο αερισμός των θερμοκηπίων όταν οι θερμοκρασίες στο εσωτερικό αυξάνονται πάνω από τα επιτρεπτά όρια.

Στη Νότια Ευρώπη η ετήσια ενεργειακή ζήτηση των θερμοκηπίων φτάνει έως και τα 320 MJ/m² καλλιεργήσιμης έκτασης ενώ στην Β. Ευρώπη φτάνει τα 3500 MJ/ m². Το ενεργειακό κόστος στα τυπικά θερμοκήπια φτάνει το 80% του κόστους παραγωγής, με το 65-85% αυτού να είναι η ζήτηση πρωτογενούς ενέργειας θέρμανση και ψύξη [2]. Έρευνες έδειξαν ότι η γεωθερμία μπορεί να μειώσει 30-50% την ενέργεια για θέρμανση [1]. Οι κορυφαίες χώρες σε ετήσια ενεργειακή χρήση γεωθερμίας (TJ/yr) είναι η Τουρκία, η Κίνα, η Ολλανδία, η Ρωσία και Ουγγαρία, που αντιπροσωπεύουν περίπου το 83% της συνολικής χρήσης παγκοσμίως [3]. Τα θερμοκήπια που τροφοδοτούνται με ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές, γνωστά και ως "θερμοκήπια καθαρής μηδενικής ενέργειας" (nZEG) πρωτοπορούν στην έρευνα τα τελευταία χρόνια προσπαθώντας να λύσουν αυτό το ενεργειακό πρόβλημα της θέρμανσης των θερμοκηπίων [1]. Τα τελευταία χρόνια ολοένα και περισσότεροι

ερευνητές ασχολούνται με τα θερμοκήπια προσπαθώντας να ελαχιστοποιήσουν το κόστος παραγωγής με αντίστοιχη μείωση της απαιτούμενης κατανάλωση ενέργειας και την σχεδίαση του βέλτιστου γεωμετρικού σχεδιασμού και την ποιότητα των υλικών. Τα τελευταία χρόνια γίνεται ολοένα και αυξανόμενη η κατασκευή “κλειστών” θερμοκηπίων ιδιαίτερα στις βορινές χώρες. Ονομάζεται κλειστό διότι ο εσωτερικός αέρας δεν έχει επαφή με τον εξωτερικό, δηλαδή οι εναλλαγές του αέρα είναι μηδενικές. Η φιλοσοφία γύρω από τα κλειστά θερμοκήπια είναι η βραχυπρόθεσμη αξιοποίηση των ηλιακής ενέργειας με τη χρήση μεγάλων δεξαμενών αποθήκευσης νερού [4].

Γεωμετρία θερμοκηπίων

Το μέγεθος και ο τύπος της καλλιέργειας, καθώς και ο τρόπος με τον οποίο θα ελέγχετε το μικροκλίμα του θερμοκηπίου είναι και αυτά που θα καθορίσουν την γεωμετρία του θερμοκηπίου. Υπόψη πρέπει να ληφθεί και η τοποθεσία του θερμοκηπίου καθώς στον βορά, σε περιοχές που η χειμερινή περίοδος απαρτίζεται από ισχυρές χιονοπτώσεις και δυνατούς ανέμους η κατασκευή των θερμοκηπίων γίνεται στιβαρότερη (βαρέου τύπου κατασκευή) για να αντέξει τις επιβαλλόμενες δυνάμεις, ενώ όσο κατευθυνόμαστε προς τον ισημερινό οι κατασκευές είναι πιο ελαφριές. Σε τροπικές περιοχές θα πρέπει να υπάρχει προστασία των καλλιεργειών από τη βροχή, τον άνεμο και την υπερβολική ακτινοβολία. Ο λόγος του όγκου της κατασκευής προς το εμβαδόν του καλυμμένου εδάφους θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερος, αυτό επιτυγχάνεται με την δημιουργία επάλληλων θερμοκηπίων και στις δύο κατευθύνσεις εξοικονομώντας έως και 20% λιγότερη ενέργεια για θέρμανση [2]. Μελέτες έχουν δείξει ότι τα θερμοκήπια με σχήμα θόλου έχουν τα χειρότερα ηλιακά κέρδη. Αντιθέτως τα αμφικλινή παρουσιάζουν αρκετά θετικά στοιχεία με αρκετά καλά θερμικά κέρδη [5]. Τα αμφικλινή με μεγάλο πλάτος πυραμίδας διευκολύνουν την εργασία και την διαχείριση της καλλιέργειας, ακόμα έχουν καλύτερη φωτεινότητα. Τα θερμοκήπια ταξινομούνται σε τύπου Α και Β. Του τύπου Α είναι αυτά τα οποία το σύστημα της επένδυσης τους δεν είναι ανεκτά σε μετατοπίσεις λόγω των επιβαλλόμενων φορτίων, ενώ του τύπου Β υποδηλώνουν το αντίθετο.

Πίνακας 1: Ελάχιστος προβλεπόμενος χρόνος ζωής θερμοκηπίων, (ΦΕΚ 2243/333582)

Τύπος Θερμοκηπίου	Ελάχιστος προβλεπόμενος χρόνος ζωής		
	15 ΧΡΟΝΙΑ	10 ΧΡΟΝΙΑ	5 ΧΡΟΝΙΑ
ΤΥΠΟΣ Α	A15	A10	
ΤΥΠΟΣ Β	B15	B10	B5

Η κατασκευή του σκελετού γίνεται από χάλυβα, αλουμίνιο ή και ξύλο. ο χάλυβας θα πρέπει να είναι γαλβανισμένος σύμφωνα με το πρότυπο του Ευρωκώδικα 3 (Υπολογισμός κατασκευών από χάλυβα). Στη περίπτωση χρήσης μη γαλβανισμένου χάλυβα προτείνεται η εν ψυχρό γαλβάνισμα. Το πάχος των διατομών των χαλύβων σε ανοιχτά προφίλ δεν θα πρέπει να είναι μικρότερο από 2 mm, ενώ για τα κλειστά προφίλ όχι μικρότερο από 1,5 mm. Για τις αλουμινοκατασκευές θα πρέπει το αλουμίνιο να είναι κατάλληλης διατομής και ποιότητας για να αντέξει τα επιβαλλόμενα φορτία, καθώς θα πρέπει να είναι και ανοδιωμένο. Ένα γίνει χρήση

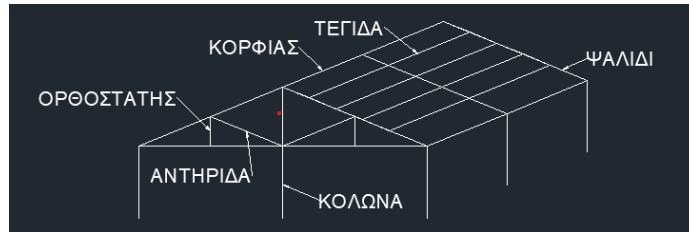
ξυλείας θα πρέπει τα ξύλα να είναι εμποτισμένα για την αύξηση της μακροζωίας τους και να συμφωνούν με τον Ευρωκώδικα 5 (Σχεδιασμός ξύλινων κατασκευών). Ακόμη ο σχεδιασμός θα πρέπει να συμφωνεί με τους Ευρωκώδικες 0,5,8,9. Εφικτός είναι και ο συνδυασμός και των τριών υλικών μαζί. Στη περίπτωση αυτή τα διαφορετικά υλικά δεν θα πρέπει να έρχονται σε άμεση επαφή και αυτό επιτυγχάνεται με χρήση διαχωριστικής μεμβράνης όπως το πισσόπανο. Οι διατομές όλων των υλικών θα πρέπει να αντέχουν τις επιβαλλόμενες φορτίσεις οι οποίες διακρίνονται στον Ευρωκώδικα 1 (Βασικές αρχές σχεδιασμού και δράσεις επί των κατασκευών) σε :

- Ίδιο φορτίο κατασκευής
- Βάρος αναρτημένου εξοπλισμού
- Φορτίσεις ανέμου
- Φορτίσεις χιονιού
- Φορτίσεις περιοδικών φορτίων
- Φορτίσεις σεισμού
- Φορτίσεις λόγω θερμοκρασιακών διαφορών

Ακόμη τα θερμοκήπια ταξινομούνται βάση το σχήμα τους σε τοξωτά, αμφικλινή και τροποποιημένα τοξωτά. Η βασική μονάδα επαναλαμβάνεται σε δύο κατευθύνσεις για την δημιουργία του επιθυμητού αποτελέσματος.

- Τα αμφικλινή θερμοκήπια έχουν κάθετες τις περιμετρικές τους πλευρές και η οροφή τους είναι τριγωνική. Μπορούν να γίνουν αρκετά ψηλά σε ύψος άρα και μεγαλύτερο όγκο μέσα στο θερμοκήπιο το οποίο συνεπάγεται καλύτερο μικροκλίμα.
- Τα τοξωτά έχουν μορφή τόξου ή τούνελ. Έχουν καλή συμπεριφορά στην ανεμοφόρτιση λόγο του ότι είναι χαμηλά, έχουν μικρό κόστος κατασκευής αλλά είναι δύσχρηστα ως προς την εργασία εντός τους.
- Τα τροποποιημένα τοξωτά είναι ένας συνδυασμός των δύο προηγούμενων με κάθετες τις περιμετρικές πλευρές και οροφή ημικυκλική.
- Τα θερμοκήπια τύπου Venlo, είναι παρόμοιας κατασκευής με τα αμφικλινή αλλά έχουν ως υλικό επικάλυψης μόνο το γυαλί. Είναι ακριβά στην κατασκευή και έχουν πολύ καλή αντοχή στον άνεμο και το χιόνι.
- Τα θερμοκήπια Γοτθικού τύπου είναι παρόμοια με τα τροποποιημένα τοξωτά, έχουν κάθετες τις περιμετρικές πλευρές τους ενώ η οροφή τους έχει καμπύλο σχήμα αλλά όχι καθαρά ημικυκλικό.

Οι συνδέσεις των φορέων στη περίπτωση χρήσης γαλβανιζμένων διατομών ή διατομών αλουμινίου, γίνεται με ειδικά ελάσματα διαμορφωμένα κατάλληλα ώστε να αγκαλιάζουν τις εκάστοτε διατομές και σφίγγοντας τες με κοχλίες και παξιμάδια, ενώ ακόμα μπορεί να γίνει και χρήση ηλεκτροσυγκόλλησης για τους γαλβανισμένους χάλυβες. Στη περίπτωση χρήσης ξύλινων φορέων οι συνδέσεις γίνονται με ηλώσεις ή βίδες ξύλου.



Εικόνα 1: Βασικά μέρη σκελετού θερμοκηπίου

Στην Ελλάδα κατασκευάζονται θερμοκήπια από πολλούς κατασκευαστές – εταιρίες με τις απαραίτητες πιστοποιήσεις. Ο ενδιαφερόμενος μπορεί να ανατρέξει στην ελληνική ιστοσελίδα του gov.gr όπου υπάρχουν αναρτημένοι οι πίνακες με όλα τα διαθέσιμα πιστοποιημένα θερμοκήπια ελληνικής κατασκευής με τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά [6].

Υλικά κάλυψης

Τα υλικά κάλυψης παίζουν και αυτά σημαντικό ρόλο στο μικροκλίμα. Το υλικό κάλυψης θα πρέπει να έχει καλή διαπερατότητα στην ηλιακή ακτινοβολία στα μήκη κύματος του ορατού φωτός αλλά ταυτόχρονα να εμποδίζουν την υπέρυθρη ακτινοβολία UV. Τα πιο συνηθισμένα χρησιμοποιούμενα υλικά είναι το γυαλί, τα ισχυρά πολυμερή όπως το πολυκαρβονικό, τα πλαστικά ενισχυμένα με υαλοβάμβακα, το πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας, το συμπολυμερές αιθυλενίου-οξικού βινυλίου, το PVC, το συμπολυμερές αιθυλενίου τετραφθοροαιθυλενίου κτλπ. Τα πολυκαρβονικά φίλα μειώνουν περισσότερο τις θερμικές απώλειες σε σχέση με τα φίλα πολυαιθυλενίου. Συγκεκριμένα για την παραγωγή τομάτας στην Ελλάδα η μεμβράνη οξικού αιθυλενίου-βινυλίου (EVA) είναι το υλικό κάλυψης που προσφέρει την καλύτερες συνθήκες για το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα κατά τη διάρκεια του έτους, ακολουθεί η μεμβράνη πολυαιθυλενίου (TPE) [5]. Για την μείωση των θερμικών απωλειών γίνεται χρήση διπλού φύλλου PE στην οροφή του θερμοκηπίου. Το ένα φύλλο με το άλλο έχει κενό 3-10 cm. Η απόσταση αυτή επιτυγχάνεται με την διοχέτευση αέρα υπό πίεση ανάμεσα στα δύο φύλλα. Με αυτόν τον τρόπο μειώνονται οι θερμικές απώλειες έως και 40%. Τα υλικά επικάλυψης στερεώνονται στον σκελετό με ειδικά κλιπ στην περίπτωση των φύλλων πλαστικού, ενώ τα πολυκαρβονικά φύλλα συνδέονται το ένα με το άλλο με ειδικές συνδέσεις κατάλληλης διατομής και στη συνέχεια βιδώνονται επάνω στις επιτεγίδες.

Πίνακας 2: Τεχνικά χαρακτηριστικά υλικών επικάλυψης, (Κοσμάς Καβαδίας, Υβριδικές εγκαταστάσεις ήπιων μορφών ενέργειας)

Υλικά επικάλυψης	U (W/m ² K)	Αλλαγές αέρα (/h)
Μονό γυαλί	5,8-6,3	1,5
Διπλό γυαλί	3	0,8
Μονό πλαστικό	6,3-6,8	0,8
Διπλό πλαστικό	2,9-4,5	0,7
Μονό πλαστικό με θερμοκουρτίνα	2,5	0,5
Μονό τζάμι με θερμοκουρτίνα	2,4-3	0,5

Υλικά επικάλυψης	Ποσοστό διέλευσης φωτεινής ακτινοβολίας (%)	
	Μονή κάλυψη	Διπλή κάλυψη
Πολυαιθυλένιο	89	80
Πολυαιθυλένιο U.V.	88	
Γυαλί	90	
P.V.C. (Haze)	90	83
Φύλλο πολυεστέρας (Mylar)	90	
Φύλλο πολυεστέρας με ίνες γυαλιού	78	64
Πολυκαρμπονικό	75	

Προσανατολισμός

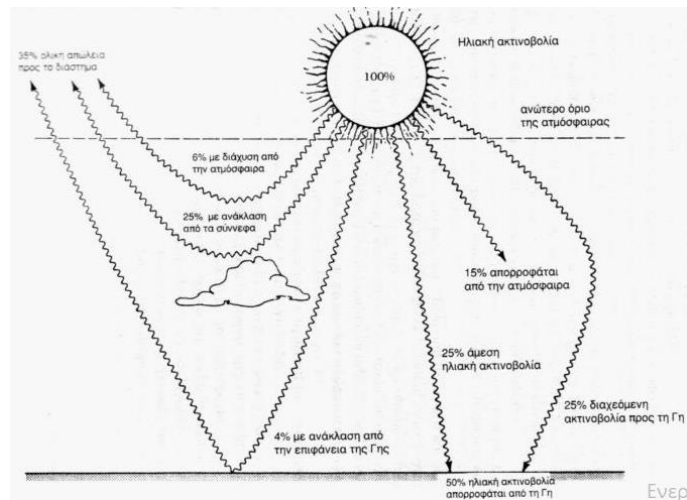
Αξιόλογο σχεδιασμού μπορεί να θεωρηθεί και ο προσανατολισμός του θερμοκηπίου. Ο προσανατολισμός των θερμοκηπίων υποδηλώνεται με την κατεύθυνση που έχει ο κορφιάς της κατασκευής. Οι απόψεις για το ποιος είναι ο βέλτιστος προσανατολισμός δίστανται. Μελέτες έχουν δείξει ότι ο προσανατολισμός B-N δίνει μέγιστα ηλιακά κέρδη, ενώ άλλες μελέτες έδειξαν ότι ο προσανατολισμός A-Δ δίνουν μέγιστα ηλιακά κέρδη σε όλα τα γεωγραφικά πλάτη λόγο του μεγάλου νότιου τοίχους τους, το οποίο όμως δημιουργεί πρόβλημα όταν τα εδάφη είναι αρκετά ξηρά επιδεινώνοντας το πρόβλημα. Το μόνο σίγουρο είναι ότι η εγκατάσταση θερμοκηπίων σε πεδινές εκτάσεις χωρίς φυσικά εμπόδια τα οποία μπορεί να μειώσουν την προσπίπτουσα ακτινοβολία του ήλιου είναι το επιδιωκόμενο.

Ηλιακή ενέργεια

Τα θερμοκήπια πρωτίστως, χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια για την αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας τους. Αξίζει να σημειωθεί ότι από τη συνολική ενέργεια του ήλιου μόνο τα 2 δισεκατομμυριοστά φτάνει στο ανώτερο όριο της ατμόσφαιρας. Η ηλιακή ακτινοβολία έχει μήκος κύματος από 0,2-4 μm με το 9% αυτής να είναι υπεριώδης, το 45% ορατή και το 46% υπέρυθρη ακτινοβολία. Τελικά, μετά από της απώλειες λόγο διάθλασης και απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα μόνο το 50% φτάνει στο έδαφος, με το 25% να είναι η άμεση ηλιακή ακτινοβολία και το 25% η διάχυτη ακτινοβολία [7]. Από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία επάνω στο θερμοκήπιο το 70-85% διαπερνά το κάλυμμα του και εισέρχεται στο εσωτερικό του [8]. Έπειτα μόνο το 30% περίπου μετατρέπεται σε αισθητή θερμότητα δηλαδή σε ηλιακό θερμικό κέρδος [9]. Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στο θερμοκήπιο εξαρτάτε από τον μήνα του έτους, την νεφοκάλυψη, τον προσανατολισμό του θερμοκηπίου, τη γεωγραφική θέση του, και την γωνία των επιφανειών του θερμοκηπίου ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Γενικά για τα ηλιακά κέρδη του θερμοκηπίου ισχύει :

$$Q_s = \sum A_i (F_D \cdot I_D + F_d \cdot I_d) \cdot (1 - \Gamma)$$

Όπου A_i το εμβαδόν της εκάστοτε επιφάνειας, I_D και I_d η ένταση της άμεσης και διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας αντίστοιχα, F_D και F_d ο συντελεστής διαπερατότητας του υλικού στα δύο είδη ακτινοβολιών και Γ συμβολίζεται η ανακλαστικότητα του εδάφους.



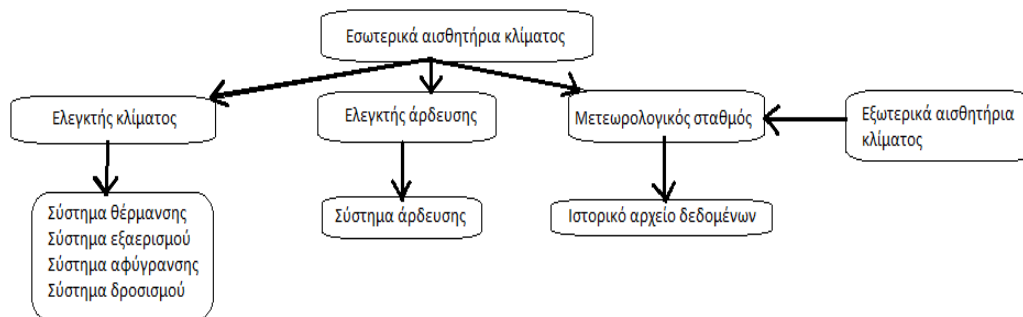
Εικόνα 2: Η πορεία της ηλιακής ακτινοβολίας από τον ήλιο μέχρι το έδαφος (<http://www.geo.auth.gr/>)

Σύστημα ελέγχου κλίματος

Με την βοήθεια έξυπνων προγραμματισμένων συστημάτων μέτρησης και διόρθωσης των ενδο-θερμοκηπιακών συνθηκών κλίματος, μπορεί ο παραγωγός εύκολα να παρακολουθήσει και να ρυθμίσει τις συνθήκες ανάπτυξης των φυτών του ώστε να είναι οι ιδανικές για μέγιστη παραγωγή. Αισθητήρες εξωτερικοί και εσωτερικοί καταγράφουν τα κλιματικά δεδομένα αδιάκοπα, στέλνοντας σήμα στον ψηφιακό ελεγκτή κλίματος ο οποίος με τις επιπρόσθετες πληροφορίες που μπορεί να παίρνει από παλαιά μετεωρολογικά δεδομένα στέλνει το ανάλογο σήμα στον μηχανολογικό εξοπλισμό για θέρμανση, ψύξη-σκίαση, δροσισμό, κλπ. Είναι πολύ σημαντικό οι αισθητήρες να χαρακτηρίζονται από αρκετά καλή ακρίβεια και ανταπόκριση για την άμεση διόρθωση του κλίματος σε περίπτωση υπέρβασης των ιδανικών συνθηκών. Οι ασύρματοι αισθητήρες είναι πιο ευέλικτοι με ευκολία στην επανατοποθέτηση τους σε αντίθεση με τους ενσύρματους. Μερικοί τύποι ασύρματων δικτύων παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 3: Τύποι ασύρματων δικτύων αυτόματου ελέγχου κλίματος θερμοκηπίων, [Πηγή: 5]

ΤΥΠΟΣ	ΣΥΝΔΕΣΗ	ΔΥΚΤΙΟ	ΣΥΧΝΩΤΗΤΑ	ΕΥΡΟΣ ΜΕΤΑΔΩΣΗΣ	ΚΟΣΤΟΣ
Wi-Fi	IEEE 802.11 a/c/b/d/g/n	WPAN	2.4 GHz-60GHz	100 m	υψηλό
Z-wave	Z-wave	Mesh	868.40-908.42MHz	100 m	μέτριο
Bluetooth	IEEE 802.15.1	WPAN	2400-2483.5 MHz	100 m	χαμηλό
6lowPAN	IEEE 802.15.4	WPAN	908.42 MHz	100 m	υψηλό



Εικόνα 3: Σχέδιο τυπικού αυτόματου ελέγχου κλίματος θερμοκηπίου, [Πηγή: 5]

Μικροκλίμα θερμοκηπίων

Υγρασία

Η διαπνοή των φυτών μαζί με την εξάτμιση της υγρασίας του εδάφους αυξάνουν την γενική υγρασία στον χώρο του θερμοκηπίου. Η αύξηση της υγρασίας ευνοεί την ανάπτυξη βλαβερών για τα φυτά μικροοργανισμών, ενώ η απότομη μείωση της υγρασίας μπορεί να προκαλέσει υδατικό στρες στα φυτά. Τα επίπεδα της σχετικής υγρασίας ανάλογα με την καλλιέργεια κυμαίνονται από 20-80%, ενώ μπορεί να φτάσει και το 100% σε φυτά με καλά ανεπτυγμένο ριζικό σύστημα [5], ενώ είναι σημαντικό ότι για την αύξηση ή μείωση της εσωτερικής θερμοκρασίας κατά έναν βαθμό η σχετική υγρασία μεταβάλετε κατά 5%. Έτσι όταν απαιτείται μείωση των επιπέδων υγρασίας ανοίγουμε το σύστημα του αερισμού ή του εξαερισμού. Η υγρασία αυξομειώνεται με:

- Τη χρήση του συστήματος ομίχλης ή αλλιώς υδρονέφωσης, (αύξηση της υγρασίας).
- Την αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας, (μείωση της υγρασίας).
- Τη χρήση αφυγραντήρων, (μείωση της υγρασίας).
- Τη χρήση αερισμού, (μείωση της υγρασίας).

Θέρμανση

Η θέρμανση των θερμοκηπίων είναι αρκετά κοστοβόρα [10]. Η εσωτερική θερμοκρασία ποικίλει ανά καλλιέργεια και από την φάση της ανάπτυξης του φυτού. Οι φάσεις ανάπτυξης είναι τρεις, φύτευμα σπόρου, ανάπτυξη σποριόφυτου και τελικό στάδιο ανάπτυξης φυτού και καρπού. Επίσης κατά την διάρκεια της νύχτας οι θερμοκρασίες αλλάζουν.[5]. Η εσωτερική θερμοκρασία εξαρτάται άμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία [11]. Σε ένα θερμοκήπιο το οποίο θερμαίνεται μόνο από την ηλιακή ενέργεια, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η εσωτερική θερμοκρασία του ήταν πάντοτε υψηλότερη από την εξωτερική εκτός από τις πρώτες πρωινές ώρες. Η ύπαρξη συννεφιάς ρίχνει την εσωτερική θερμοκρασία ασχέτως εάν υπάρχει αρκετή ένταση ηλιακής ακτινοβολίας. Ακόμα η τιμή της θερμοκρασίας του θερμοκηπίου μπορεί να επηρεάσει την ανάπτυξη της ρίζας, του βλαστού, του καρπού καθώς και τον ρυθμό παραγωγής των σακχάρων του φυτού και την συγκέντρωση CO₂. Η θέρμανση των θερμοκηπίων γίνεται με ποικίλους τρόπους.

- Χρήση λέβητα καυσίμου και αερόθερμα νερού-ατμού
- Χρήση επιδαπέδιων αερόθερμων οροκτών καυσίμων.
- Χρήση λέβητα καυσίμου και ενδοδαπέδια θέρμανση.
- Γεωθερμία σε συνδυασμό με τα ανωτέρω.
- Αντλία θερμότητας σε συνδυασμό με τα ανωτέρω.
- Η χρήση θερμοκουρτίνας μειώνει τις θερμικές απώλειες έως και 40%.

Η θέρμανση των θερμοκηπίων διακρίνεται σε μερική και ολική θέρμανση. Στη περίπτωση της μερικής θέρμανσης γίνεται χρήση των ηλιακών κερδών και ενός μικρού σε ισχύος συστήματος θέρμανσης το οποίο απλά δεν αφήνει να πέσει η θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου κάτω από την κατώτερη θερμοκρασία επιβίωσης των φυτών. Η ολική θέρμανση απευθύνεται σε ένα μεγάλο σε ισχύ και ακριβό σύστημα θέρμανσης το οποίο κρατά την θερμοκρασία του θερμοκηπίου σε σταθερά υψηλά επίπεδα όλο το έτος. Μπορούμε να πούμε ότι οι ανάγκες θέρμανσης του θερμοκηπίου είναι ίσες με τις θερμικές απώλειες μείων τα ηλιακά θερμικά κέρδη. Οι θερμικές απώλειες είναι το άθροισμα των απωλειών με αγωγή και συναγωγή από την επικάλυψη, απώλειες λόγω αερισμού, απώλειες από την επικάλυψη με τη μορφή ακτινοβολίας, απώλειες από το έδαφος.

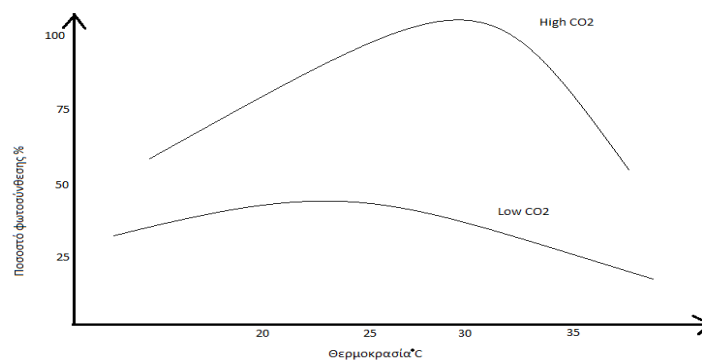
Ψύξη-Αερισμός

Τις ημέρες που η θερμοκρασία εντός του θερμοκηπίου ξεπερνά τις καθορισμένες τιμές σχεδιασμού της καλλιέργειας είναι απαραίτητο ένα σύστημα αερισμού-ψύξης του χώρου. Τέτοια συστήματα είναι τα εξής:

- Χρήση δυναμικού εξαερισμού με ανεμιστήρες και άνοιγμα των παραθύρων.
- Φυσικός αερισμός με άνοιγμα μόνο των παραθύρων.
- Χρήση θερμοκουρτίνας
- Χρήση πάνελ δροσισμού και ανεμιστήρων.
- Αντλία θερμότητας με ψυκτικές μονάδες.

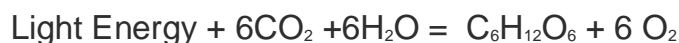
Συγκέντρωση CO₂

Στο επόμενο σχήμα απεικονίζεται η μεταβολή της φωτοσύνθεσης συναρτήσει της συγκέντρωσης CO₂ και εσωτερικής θερμοκρασίας [5].



Εικόνα 4: Μεταβολή της φωτοσύνθεσης συναρτήσει θερμοκρασίας και συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα, [Πηγή: 5]

Παρατηρούμε ότι όσο μεγαλύτερη η συγκέντρωση CO₂ τόσο μεγαλύτερο το ποσοστό της φωτοσύνθεσης. Η χημική αντίδραση της φωτοσύνθεσης είναι η αντίστροφη της καύσης της γλυκόζης.



Αν όμως υπάρχουν υψηλές συγκεντρώσεις CO₂ και εντάσεις ακτινοβολίας που είναι εκτός κάποιων ορίων, αυτές μπορούν να βλάψουν τα φυτά. Έχει αποδειχθεί ότι η αύξηση του CO₂ σε τιμές των 800-1300 ppm μπορεί να αυξήσει την ανάπτυξη των φυτών έως και 20%. [5]. Είναι βασικό να καταμετρείται συνεχώς η συγκέντρωση του CO₂ και να γίνεται ο απαραίτητος εμπλουτισμός του με τεχνητό τρόπο και με κλειστό τον εξαερισμό. Είναι προτιμότερη η αύξηση του CO₂ κατά την διάρκεια της ημέρας που οι συγκεντρώσεις του είναι σχετικά χαμηλές. Η αύξηση της συγκέντρωσης CO₂ γίνεται με:

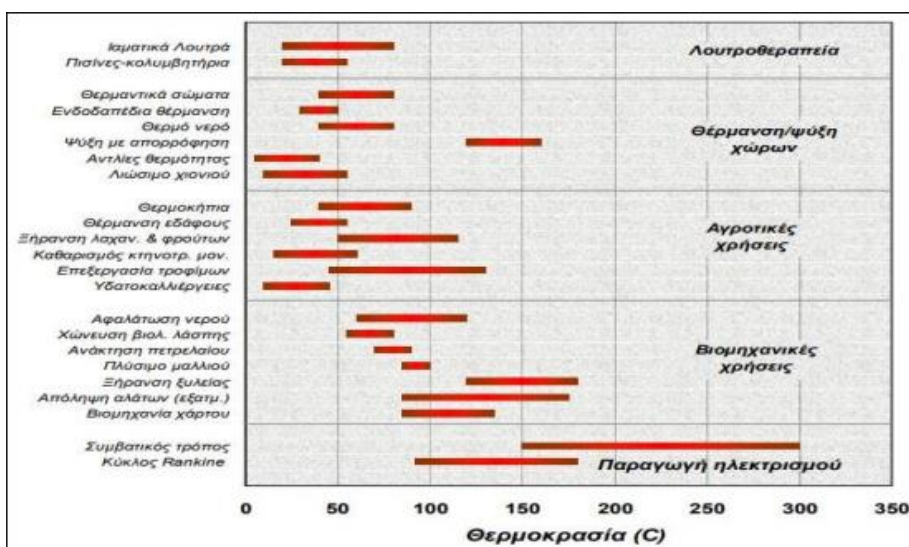
- Καύση υδρογονανθράκων με ειδικές συσκευές διάσπαρτες στο θερμοκήπιο.
- Χρήση καυσαερίων λέβητα καυσίμου.

Εκμετάλλευση γεωθερμίας

Σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο Γεωθερμικής Ενέργειας (2008), και την οδηγία της Ε.Ε. 2009/28/EC, γεωθερμική ενέργεια ορίζεται η ενέργεια υπό την μορφή θερμότητας κάτω από την επιφάνεια του στερεού φλοιού της Γής [12]. Γεωθερμία είναι η θερμική ενέργεια που υπάρχει στο εσωτερικό του πλανήτη μας και μπορούμε να την αξιοποιήσουμε και είναι ανανεώσιμη και πρακτικά ανεξάντλητη. Μέσω των γεωλογικών φαινομένων στο εσωτερικό της Γής η θερμότητα αυτή τείνει να βγει προς την επιφάνεια του φλοιού της Γής θερμαίνοντας τα υπόγεια νερά. Τα σημεία όπου η θερμική ενέργεια βγαίνει στο εξωτερικό περιβάλλον λέγονται γεωθερμικές πηγές. Ανάλογα με την ενθαλπία που έχει το γεωθερμικό ρευστό χαρακτηρίζεται υψηλής ή χαμηλής ενθαλπίας. Τα γεωθερμικές πηγές χαρακτηρίζονται από τη θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού ως πηγές υψηλής ενθαλπίας (>150°C), μέσης ενθαλπίας (90-150°C) και χαμηλής ενθαλπίας (<90°C) [13]. Η ελληνική νομοθεσία ταξινομεί τα γεωθερμικά πεδία ακόμα και με τον βαθμό γνώσης των ποιοτικών, ποσοτικών και γεωμετρικών χαρακτηριστικών τους, αλλά μπορούν να θεωρηθούν όλα τα βεβαιωμένα πεδία άνω των 25°C. Το 1970 το ΙΓΕΥ (ΙΓΜΕ) ξεκίνησε την έρευνα για τον εντοπισμό των γεωθερμικών πεδίων της χώρας μας και την ποιοτική και ποσοτική τους ανάλυση. Συνολικά έχουν εντοπιστεί 45 πεδία χαμηλής ενθαλπίας σε ολόκληρη τη χώρα τα οποία αξιοποιούνται από το 1980. Οι χρήσεις των γεωθερμικών πηγών ανάλογα με την ενθαλπίας τους παρουσιάζονται παρακάτω.



Εικόνα 5: Θέρμανση θερμοκηπίου με γεωθερμική πηγή, (<https://www.graithros.gr/>)

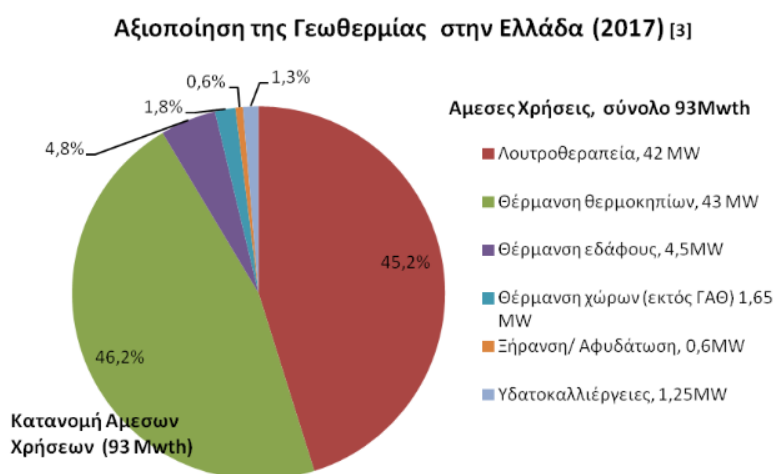


Εικόνα 6: Χρήσεις γεωθερμίας και θερμοκρασία νερού γεωθερμίας, (<https://nisyros.igme.gr/>)

Η θέρμανση αγροτικών εγκαταστάσεων απαιτεί το γεωθερμικό ρευστό να έχει θερμοκρασία από 50-120 °C. Για παράδειγμα στο πεδίο Νέου Ερασίου-Μγγάνων Ξάνθης χρησιμοποιείται γεωθερμία 60 °C για την κάλυψη των θερμικών αναγκών 140 στρεμμάτων θερμοκηπίου με την εξοικονόμηση των συνολικών δαπανών ξεπερνά το 60%! [13] ενώ στο Ερατεινό Χρυσούπολης έχουν εγκατασταθεί 40 στρέμματα θερμοκηπίων. Στον επόμενο πίνακα φαίνονται οι χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας στην Ελλάδα από το 2002 σε όλους τους τομείς [14].

Χρήση	Εγκατεστημένη ισχύς Mwt	Ετήσια χρήση ενέργειας TJ/year	Βαθμός λειτουργίας
ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΧΩΡΩΝ	1,5	17	0,37
ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ	29	288	0,32
ΙΧΘΥΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ	2	13	0,2
ΞΗΡΑΝΣΗ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ	0,3	2	0,2
ΛΟΥΤΡΟΘΕΡΑΠΙΑ	35	164	0,15
ΑΦΑΛ'ΑΤΩΣΗ ΝΕΡΟΥ	1,8	22	0,4
ΆΛΛΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ	0,4	4	0,32
ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	2	19	0,3

Εικόνα 7: Χρήσεις γεωθερμίας στην Ελλάδα κατά το έτος 2002, (<https://nisyros.igme.gr/>)



Εικόνα 8: Αξιοποίηση της Γεωθερμίας στην Ελλάδα κατά το έτος 2017, (<https://energypress.gr/>)

Η θέρμανση θερμοκηπίων με γεωθερμία ποικίλει ανάλογα με την διαθέσιμη θερμοκρασία και παροχή τη πηγής. Η θέρμανση με fan coils έχει αρκετά μεγάλο ποσοστό χρήσης, 23% και είναι καλή επιλογή θέρμανσης. Η θέρμανση με επιδαπέδιους σωλήνες πολυαιθυλενίου (PE) μεγάλης διαμέτρου θερμαίνοντας τον περιβάλλοντα αέρα με απλή συναγωγή και ακτινοβολία χωρίς βεβιασμένη κίνηση του αέρα αντιπροσωπεύουν το 22%. Η ενδοδαπέδια θέρμανση με σωλήνες πολυπροπυλενίου (PP) έχουν μεγάλο ποσοστό χρήσης που αγγίζει το 52%. Έπειτα υπάρχει η θέρμανση με εναλλάκτες νερού-αέρα [3] ,finned metallic tubes, λειτουργούν σαν θερμαντικά σώματα μέσα στον χώρο του θερμοκηπίου έχουν μικρό ποσοστό χρήσης, μόλις 3% [15]. Ακόμα για την αξιοποίηση μικρής ενθαλπίας νερών θα μπορούσε να γίνει χρήση γεωθερμικής αντλίας θερμότητας νερού-νερού η οποία να συνδέεται με αξονικά αερόθερμα [16].

Τύποι αντλιών θερμότητας :

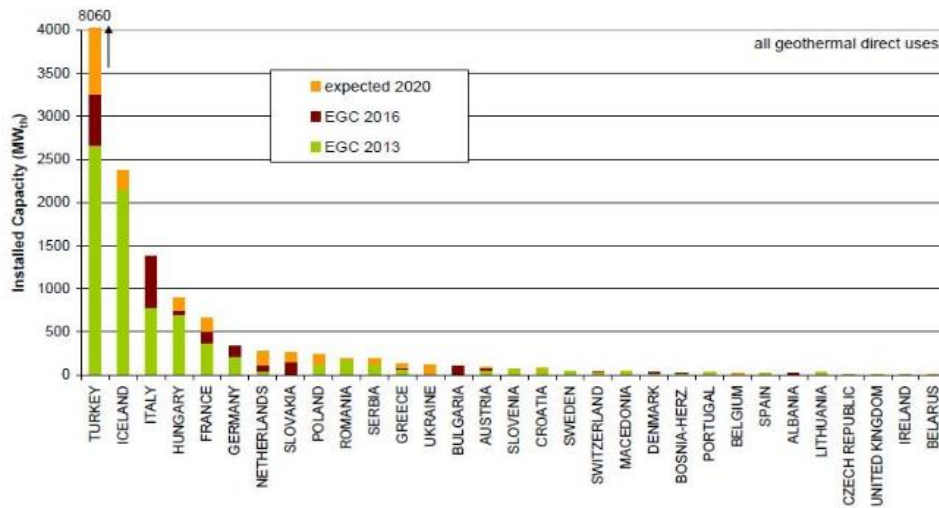
- Αντλίες θερμότητας αέρα-αέρα
- Αντλίες θερμότητας αέρα-νερού
- Αντλίες θερμότητας νερού-αέρα
- Αντλίες θερμότητας νερού-νερού

Τα γεωθερμικά συστήματα θέρμανσης [41] στα οποία μπορεί να γίνει χρήση της Γ/Α κατηγοριοποιούνται σε :

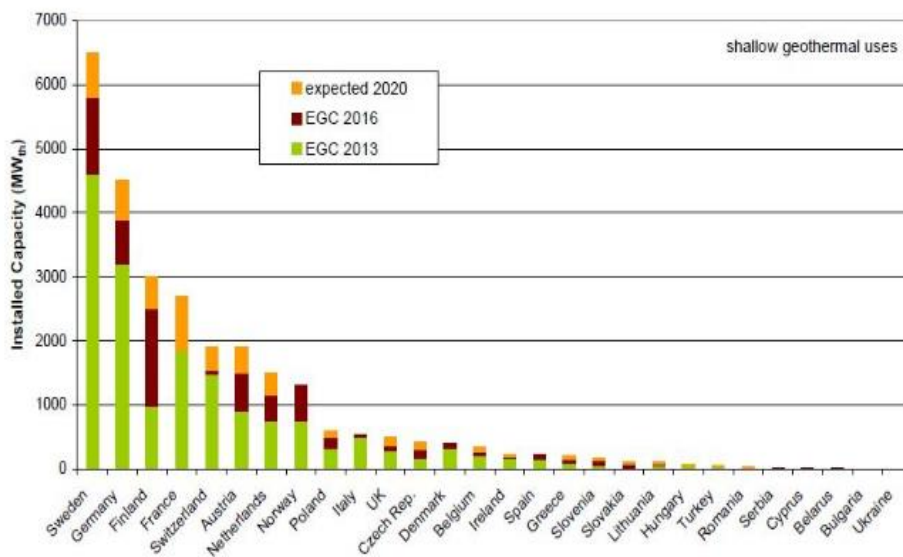
- Γεωθερμικά κλειστά συστήματα οριζόντια
- Γεωθερμικά κλειστά συστήματα κατακόρυφα
- Γεωθερμικά συστήματα ανοιχτά

Γενικά οι αντλίες θερμότητας χαρακτηρίζονται από τους συντελεστές COP και SCOP. Ο COP είναι ο συντελεστής απόδοσης θέρμανσης και παίρνει τιμές από 3-6. Αυτό σημαίνει ότι η αντλία θερμότητας καταναλώνει 3-6 φορές μικρότερη ηλεκτρική ενέργεια από την θερμική ενέργεια που παράγει και ορίζεται ως το πηλίκο της παραγόμενης θερμικής ενέργειας προς την ηλεκτρική κατανάλωση της μονάδας . Ο συντελεστής απόδοσης μεταβάλλεται με τις μεταβολές της εξωτερικής θερμοκρασίας, για τον λόγο αυτό για τον υπολογισμό της ετήσιας ηλεκτρικής κατανάλωσης κάνουμε χρήση του SCOP.Ο SCOP είναι ο εποχιακός συντελεστής απόδοσης και ορίζεται ως το πηλίκο της συνολικής ετήσιας απαίτησης για θέρμανση προς την ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση της μονάδας. Ο SCOP μας βοηθά να υπολογίζουμε την ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση της αντλίας θερμότητας.

Τα οριζόντια και κατακόρυφα συστήματα είναι κλειστά κυκλώματα τα οποία διαφέρουν μόνο στην διάταξη των σωλήνων μέσα στο έδαφος. Στη πραγματικότητα εκμεταλλεύονται τη σταθερή θερμοκρασία του εδάφους σε βάθος κάποιων μέτρων από την επιφάνειά του. Οι σωλήνες μέσα στο έδαφος λειτουργούν σαν εναλλάκτες θερμότητας παρέχοντας συνεχώς νερό συγκεκριμένης σταθερής θερμοκρασίας [8],[17],[18],[10]. Οι γεωθερμικές αντλίες (Γ/Α) θερμότητας «νερού - νερού» αξιοποιούν το κρύο νερό θερμαίνοντας το νερό χρήσης μέσω ψυκτικού κύκλου και εναλλακτών θερμότητας. Όσο υψηλότερη η θερμοκρασία εισαγωγής του γεωθερμικού νερού τόσο μεγαλύτερος ο συντελεστής απόδοσης (COP) της μονάδας ο οποίος κυμαίνεται από 3-5. Βέβαια οι αντλίες θερμότητας μπορούν να ζεστάνουν το νερό χρήσης έως τους 50-60°C οπότε απαιτούνται περισσότερα θερμοκρασιακά σώματα μεγαλύτερης ισχύος και παροχής νερού. Γενικά τα γεωθερμικά συστήματα ανοιχτού τύπου είναι τα πιο αποδοτικά με τον μεγαλύτερο COP και SCOP. Οι Γ/Α μπορούν να κάνουν και θέρμανση και ψύξη ενός χώρου ανάλογα το μοντέλο., στην ουσία αντιστρέφουν τον θερμοδυναμικό κύκλο του ψυκτικού υγρού αντιστρέφοντας την λειτουργία του «εξατμιστή» και του «συμπυκνωτή». Στις Γ/Α νερού-νερού είναι απαραίτητο το γεωθερμικό ρευστό να είναι κατάλληλο από πλευράς χημικής σύστασης για την προστασία της μονάδας. Ένα σύστημα θέρμανσης με γεωθερμική αντλία θερμότητας είναι ένα πολύ ακριβό σύστημα θέρμανσης όσο αφορά την αρχική επένδυση. Η επιλογή ενός τέτοιου συστήματος εξαρτάται άμεσα από τον τύπο της καλλιέργειας και την κερδοφορίας της [16]. Η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως για παράδειγμα η γεωθερμική ενέργεια, μπορεί να μειώσει σημαντικά τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και να μειώσει πάρα πολύ το κόστος παραγωγής της καλλιέργειας [16],[3],[8],[10].



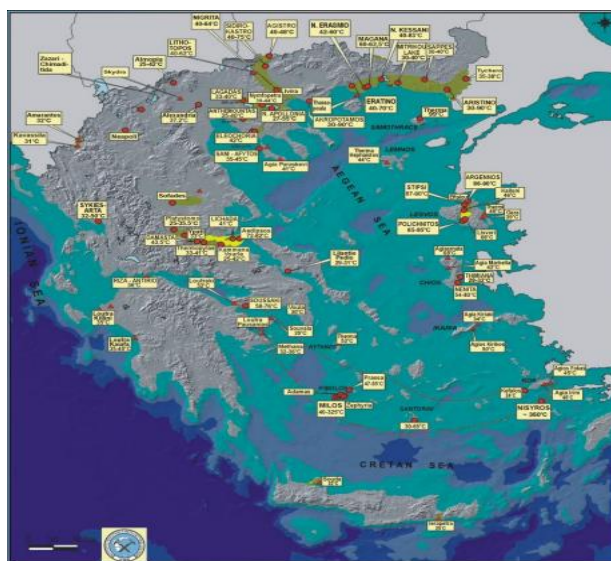
Εικόνα 9: Εγκατεστημένη ισχύς για άμεσες γεωθερμικές χρήσεις στην Ευρώπη, (<https://energypress.gr/>)



Εικόνα 10: Εγκατεστημένη ισχύς σε γεωθερμικές αντλίες θερμότητας στην Ευρώπη, (<https://energypress.gr/>)

Γεωλογική μελέτη Β. Ευβοίας

Όπως φαίνεται και στον παρακάτω χάρτη η κατανομή των γεωθερμικών πεδίων στην Ελλάδα είναι μεγάλη, με μικρής έως μεσαίας ενθαλπίας πηγές [19][12].



Εικόνα 11: Κατανομή γεωθερμικών πηγών στην Ελλάδα, Πηγή (Μιχ. Φυτίκας, Ομότιμος Καθηγητής Γεωθερμίας Α.Π.Θ.)

Σύμφωνα με την γεωλογική-γεωτρίκη μελέτη του υπουργείου ΙΓΜΕ [20] στην περιοχή της Β. Ευβοίας, οι πηγές με μεγάλη θερμοκρασία νερού είναι μόνο στα Λουτρά της Αιδηψού που η θερμοκρασία φτάνει τους 80°C (Παράρτημα Εικόνα 49). Αμέσως μετά την υψηλότερη θερμοκρασία την έχει η πηγή στο χωριό Ήλια, λίγα χιλιόμετρα μακριά από την Αιδηψό [21], με θερμοκρασία 62°C και στο χωριό Γιάλτρα με θερμοκρασία 35-42°C με γεωθερμική βαθμίδα που φτάνει τα 0,28°C/m (Παράρτημα Εικόνα 50,51,52). Συνολικά στην Β. Ευβοία για την συγκεκριμένη γεωλογική μελέτη ανοίχτηκαν πάνω από 60 ερευνητικές γεωτρήσεις μικρής διαμέτρου. Από όλες αυτές αξίες προς ενδιαφέρον για θέρμανση θερμοκηπίων με μόνη ενέργεια την γεωθερμία είναι οι πηγές της Αιδηψού, οι πηγές στα Ήλια και η γεωθερμικό πεδίο των Γιάλτρων. Στην Αιδηψό σύμφωνα με τις έρευνες για νερό θερμοκρασίας 80°C το βάθος του ταμιευτήρα είναι στα 350 μέτρα. Η χρήση νερού κάτω των 60-70 °C χρειάζεται μεγαλύτερο αριθμό θερμαντικών μονάδων και μεγαλύτερες παροχές γεωθερμικού νερού στη περίπτωση της θέρμανσης με αξονικά αερόθερμα. Στην Αιδηψό υπάρχουν αρκετά σημεία μέσα στην πόλη που αναβλύζει αβίαστα το γεωθερμικό νερό. Κάποιες πηγές είναι κρατικές ενώ οι άλλες ιδιωτικές. Τις πηγές τις χρησιμοποιούν υδροθεραπευτήρια και αρκετά ξενοδοχεία για θέρμανση ζεστού νερού χρήσης Spa και άλλες εφαρμογές. Το γεωθερμικό νερό αναβλύζει και ρέει προς εναλλάκτες θερμότητας και διανέμεται μετά στα ξενοδοχεία. Οι γεωτρήσεις εντός του υδροθεραπευτηρίου της ΕΤΑΔ ΑΕ, παρέχουν 30m³/h θερμού νερού [22].

Χημική σύσταση υπόγειων υδάτων

Τα υπόγεια νερά δεν είναι απόλυτα καθαρά αλλά απαρτίζονται από αιωρούμενα σωματίδια (λάσπη, πέτρες, χώμα, ίνες αμιάντου, θολότητα, σκουριά) , οργανικές ενώσεις που προσδίδουν δυσάρεστη γεύση και μοιράδια, ακόμα περιέχουν άλατα, μέταλλα και διαλυμένα αέρια όπως το διοξείδιο του άνθρακα, το υδροθείο και

διαλυμένο οξυγόνο. Πρόβλημα μπορεί να θεωρηθεί το ότι η χημική σύσταση των γεωθερμικών ρευστών έχει πολύ υψηλές συγκεντρώσεις μετάλλων (Ca, Mg, Na, K,) καθώς και υψηλές συγκεντρώσεις Cl και SiO₂, το οποίο δημιουργούν επικαθίσεις στον μηχανολογικό εξοπλισμό. Για την αποφυγή των επικαθίσεων θα πρέπει το γεωθερμικό ρευστό να περάσει από μια σειρά φίλτρων και μηχανημάτων αποσκλήρυνσης και αντίστροφης όσμωσης το οποίο είναι αρκετά δαπανηρό λόγω της υπερβολικής σκληρότητας, ολικά διαλυμένα σωματίδια, (TDS> 30.000 mg/l) [23]. Σε αυτό το σημείο μπορούμε να πούμε ότι οι υψηλές συγκεντρώσεις Na-Cl δηλώνει ότι το γεωθερμικό ρευστό αναμιγνύεται με το θαλασσινό νερό, ενώ οι συγκεντρώσεις μετάλλων οφείλεται στην επαφή του νερού με πετρώματα του εδάφους μέχρις ότου βγει στην επιφάνεια. Η διάμετρος αυτών των χημικών στοιχείων είναι μικρότερη των 0,001 micro, ενώ η διάμετρος των αιωρούμενων σωματιδίων που μπορεί να προκαλέσει βλάβη στον μηχανολογικό εξοπλισμό είναι μεγαλύτερη των 200 micro [24]. Στον επόμενο πίνακα αναγράφονται οι χημικές συστάσεις των τριών κυριότερων γεωθερμικών πηγών στα Λουτρά της Αιδηψού.

Πίνακας 4: Χημική ανάλυση κυριότερων γεωθερμικών πηγών Αιδηψού, (Ηλίας Μ. Πασιάνης, Αξιοποίηση των κυριότερων θερμομεταλλικών πηγών των Λουτρών Αιδηψού με χρήση θερμοεναλλακτών)

ΠΙΝΑΚΑΣ 15

ΠΕΡΙΟΧΗ ΘΕΣΗ	ΑΙΔΗΨΟΣ ΝΤΑΜΑΡΙΑ	ΑΙΔΗΨΟΣ ΚΟΜΠΟΓΙΑΝΝΗ	ΑΙΔΗΨΟΣ ΘΕΡΜΟΠΟΤΑΜΟΣ	ΒΟΡΕΙΟΣ ΕΥΒΟΪΚΟΣ ΘΑΛΑΣΣΑ
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΥΔΑΤΟΣ (°C)	74	75	74,5	
pH	6,2	6,3	6,5	
CO ₂ (mg/l)	1260	1082	1582	
H ₂ S (mg/l)	0,52	0,36	0,72	
ΟΛΙΚΗ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ ΣΕ CaCO ₃	5250	5260	5305	
ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ (Counts/sec)	317	319	320	
ΚΑΤΙΟΝΤΑ	ppm	ppm	ppm	ppm
K	458	435	440	509
Na	10064	10040	10149	13050
Ca	1589	1634	1593	515
Mg	325	317	321	1720
ΣΥΝΟΛΑ	12436	12426	12503	15794
ΑΝΙΟΝΤΑ	ppm	ppm	ppm	ppm
Cl	19050	18368	18839	23458
Br				67,3
J	0,125	0,175	0,75	0,088
HCO ₃	530	643	613	223
CO ₃				
SO ₄	1150	1158	1113	2723
ΣΥΝΟΛΑ	20730,125	20169,175	20565,75	26471,388

Για την υλοποίηση του στόχου της συγκεκριμένης μελέτης για θέρμανση θερμοκηπίου στην Β. Εύβοια θα ήταν ιδανική η ύπαρξη κάποιου είδους τηλεθέρμανσης το οποίο θα στέλνει το θερμό νερό έξω από την πόλη. Το γεωθερμικό ρευστό θα αναβλύζει από τις πηγές και θα κατευθύνεται προς τον

εναλλάκτη θερμότητας του γεωθερμικού σταθμού αφού πρώτα περάσει από φίλτρα σωματιδίων για την απομάκρυνση του χύματος και της λάσπης. Έπειτα θα διανέμεται στις αγροτικές περιοχές για χρήση. Το μειονέκτημα της γεωθερμίας της Αιδηψού είναι όπως προαναφέραμε οι πηγές είναι εντός της πόλης με τον ταμιευτήρα να βρίσκεται σε μεγάλο βάθος με το νερό να έχει πολύ υψηλές τιμές TDS που το καθιστά ακριβή και δύσκολη σε επεξεργασία και τη μεταφορά του.

Αντιθέτως το γεωθερμικό πεδίο των Γιάλτρων απαρτίζεται από πολύ χαμηλές τιμές TDS, μικρότερες θερμοκρασίες και το γεωθερμικό πεδίο εκτείνεται σε μία αρκετά μεγάλη αγροτική περιοχή. Υπάρχει η δυνατότητα διάνοιξης γεωτρήσεων σε αγροτικές περιοχές και δεν απαιτείται η ύπαρξη τηλεθέρμανσης. Οι γεωργοί μπορούν να εκμεταλλευτούν το γεωθερμικό νερό με ιδιωτικές γεωτρήσεις μικρού βάθους 60-100 μέτρων. Το νερό τόσο χαμηλής ενθαλπίας μπορεί να αξιοποιηθεί για την θέρμανση θερμοκηπίων με συμπαραγωγή Γ/Α με ενδοδαπέδια θέρμανση και λέβητα με αερόθερμα ή μόνο με Γ/Α και αερόθερμα.

Στον ελλαδικό χώρο υπάρχουν γεωθερμικά πεδία με πολύ χαμηλότερες τιμές TDS αλλά και χαμηλής θερμοκρασίας. Για παράδειγμα στις Σέρρες το νερό είναι χαμηλής ενθαλπίας (48°C) έχει 250 mg/l TDS, ενώ αρκετές είναι οι περιοχές που αγγίζουν τα 1000 mg/l TDS [14]., οι οποίες προσφέρουν μεγαλύτερη ζωή του μηχανολογικού εξοπλισμού. Γενικά ισχύει ότι όσο μεγαλύτερη θερμοκρασία έχει το γεωθερμικό νερό τόσο πιο βαθιά βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια της Γής, και επομένως αυξάνει και η σκληρότητα του.

Πίνακας 5: Χαρακτηριστικά Ελληνικών γεωθερμικών πηγών, (<https://nisyros.igme.gr>)

Χαρακτηριστικά γεωθερμικών πεδίων χαμηλής ενθαλπίας με θερμοκρασία ρευστών μεγαλύτερη από 40°C						
Περιοχή	Έκταση (km ²)	Θερμοκρασία (°C)	Βεβαιωμένο δυναμικό (m ³ /h)	Πιθανό δυναμικό (m ³ /h)	TDS (g/L)	Κύρια συστατικά νερών
ΘΡΑΚΗ						
Αρίστινο Έβρου	30	80-92	400	1000	12	Na, Cl, Ca, SO ₄
Θερμά Σαμοθράκης	1	80-100	100	400	28,5	Cl, Na, HCO ₃ , Ca
N. Εράσιο-Μάγνανα	15	56-65	400	1000	1	Na, Cl, Ca, SO ₄
N. Κεσσάνη Ξάνθης	15	45-81	250-400	1000	4,5	Cl, Na, HCO ₃ , Ca
Νότια Κομοτηνής	30	40	450	1000	12	Na, Cl, Ca, SO ₄
Τραϊνούπολη Έβρου	>2	42-52	150	500	8,6	Cl, Na, Ca, SO ₄
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ						
Αγιότρο Σερρών	5	48	300	1000	0,26	HCO ₃ , Na, Ca
Ελαιούρια Χαλκ.	30	33-42	1000	2000	1,5	
Ηράκλεια Σερρών	16	40-60	400	1000	3,5	HCO ₃ , Na, Ca,
Λιανκάδας Θεσ.	6	33-40	300	1000	1,1	Na, SO ₄ , HCO ₃
N. Απολλωνία Θεσ.	4	40-56	400	600	1,0	Na, SO ₄ , HCO ₃
Νιγρίτα Σερρών	10	40-63	400	1000	1,0-2,4	HCO ₃ , Na, Ca, Mg
Νιμφόπετρα Θεσ.	2	39-46	200	500	1,2	Na, SO ₄ , HCO ₃
Σιδηρόκαστρο Σερρών	10	35-75	200	1000	1,0-1,2	HCO ₃ , Na, Ca, SO ₄
Τράνιλος Σερρών	30	40-60	300	1000	1,0-	HCO ₃ , Na, Ca
Χρυσούπολη - Ερσεινό	40	70-90	400	2000	6-8	Na, Cl, SO ₄
ΝΗΣΙΑ ΑΙΓΑΙΟΥ κ.ά.						
Αργενός Λέσβου	-	86	800	1500	12	Na, Cl, Ca, SO ₄ , K
Κίμωλος	4	25-70	200	500	40	Na, Cl, SO ₄
Μήλος	50	40-100	>300	2000	10-50	Na, Cl, SO ₄
Νένητα Χίου	5	25-80	150	500	4-5	Na, Cl, SO ₄
Νίσυρος	-	25-95	100	500	30	Na, Cl, SO ₄
Πολιχνίτος Λέσβου	10	67-92	400	1000	10	Na, Cl, Ca, HCO ₃ , SO ₄
Σαντορίνη	10	25-70	-	500	5-30	Na, Cl, SO ₄
Στύψη/Καλλονή Λέσβου	10	42-95	200	2000	1-5	Na, Cl, Ca, SO ₄
Σουσακι Κορινθίας	8	60-76	450	1000	45-49	Na, Cl, Ca, SO ₄

Η ποιότητα του νερού σε TDS κατηγοριοποιείται χονδρικά ως ακολούθως [25] :

- 0-20 ppm = απιονισμένο νερό
- 0-70 ppm = πολύ μαλακό νερό

- 70-150 ppm = μαλακό νερό, πόσιμο
- 150-250 ppm = κάπως σκληρό νερό, εμφιαλωμένα νερά, πόσιμο
- 250-320 ppm = αρκετά σκληρό νερό,
- 320-440 ppm = σκληρό νερό,
- 440-1200 ppm = πολύ σκληρό νερό, όχι πόσιμο, κατάλληλο για άρδευση
- <10.000 ppm = υφάλμυρα νερά γεωτρήσεων
- 10.000-100.000 ppm = αλμυρό θαλασσινό νερό
- >100.000 ppm = πολύ αλμυρό θαλασσινό νερό

Για την χρήση υδάτων με υψηλές τιμές TDS απαιτείται η χρήση ειδικών σωλήνων που είναι αντιδιαβρωτικοί και αποτρέπουν τις επικαθήσεις CaCO_3 εάν τα νερά είναι πολύ σκληρά. Οι σωλήνες πολυεστέρα - fiberglass (FRP), και οι σωλήνες θερμοσκληρυνόμενου πολυεστέρα ενισχυμένου με υαλοίνες (GRP) είναι από τις πιο σύνηθες επιλογές.

Νομοθεσία αξιοποίησης γεωθερμίας στην Ελλάδα

Παρά το αξιόλογο γεωθερμικό δυναμικό της Ελλάδας μέχρι πριν λίγα χρόνια ήταν αναξιοποίητο και γινόταν χρήση μόνο λουτροθεραπείας. Το 2003 ψηφίστηκε ο νόμος ΥΠ'Αριθμό 3175 ο οποίος αφορά την αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού για τηλεθέρμανση και άλλες εφαρμογές με την ανάλογη εκμίσθωση στη Περιφέρεια.. Η παράνομη χρήση χωρίς εκμίσθωση και τα απαραίτητα δικαιολογητικά αποφέρει σημαντικές κυρώσεις [26]. Το 2005 δημοσιεύτηκε η νομοθεσία σχετικά με τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας Γ/Α και από τότε μέχρι σήμερα έχουν εγκατασταθεί περίπου 3000 μονάδες. Ειδικότερα για την εγκατάσταση συστημάτων θέρμανσης / ψύξης χώρων προβλέπονται τα ακόλουθα φύλλα της κυβερνήσεως Φ.Ε.Κ. [27] :

- ΦΕΚ 207/ Α: Ν3175/03 «Αξιοποίηση του Γεωθερμικού Δυναμικού, τηλεθέρμανση και άλλες διατάξεις» , Αρθ. 11
- ΦΕΚ 1595/Β: Άδειες εγκατάστασης για ίδια χρήση ενεργειακών συστημάτων θέρμανσης ή ψύξης χώρων μέσω της εκμετάλλευσης της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών και των νερών, επιφανειακών και υπόγειων, που δεν χαρακτηρίζονται γεωθερμικό δυναμικό. (Δ9Β,Δ/Φ166/οικ18508/5552/207/19-10-04)
- ΦΕΚ 1249 Β: Άδειες εγκατάστασης για ίδια χρήση ενεργειακών συστημάτων θέρμανσης - ψύξης χώρων μέσω εκμετάλλευσης της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών και των νερών, επιφανειακών και υπόγειων, που δεν χαρακτηρίζονται γεωθερμικό δυναμικό.
- ΦΕΚ 1058 Β: Χαρακτηρισμός και υπαγωγή σε κατηγορία Γεωθερμικών Πεδίων.
- ΦΕΚ 1946 Β: Χαρακτηρισμός και υπαγωγή σε κατηγορία Γεωθερμικών Πεδίων (2).
- ΦΕΚ 1228 Β: Θεσμοθέτηση χρηματικού αντισταθμίματος (παραβόλου) για τη χορήγηση οποιασδήποτε άδειας ή έγκρισης ή δικαιώματος που προβλέπονται από τη Μεταλλευτική και Λατομική Νομοθεσία

Μελέτη περίπτωσης

Σχεδίαση θερμοκηπίου – Κατασκευαστικά στοιχεία

Θερμοκήπιο τύπου B5, 1000 m², (\approx 1στρέμα) , 36m x 30m = 1080 m² με προσανατολισμό Α-Δ. Η σιδηροκατασκευή σχεδιάστηκε σε σχεδιαστικό πρόγραμμα (INVENTOR PROFESSIONAL 2020) και αποτελείται από μια βασική κατασκευή (BKM) η οποία επαναλαμβάνεται προς δύο κατευθύνσεις. Οι διαστάσεις δεν ξεπερνούν τα όρια του αντίστοιχου κανονισμού ΦΕΚ για αμφικλινή θερμοκήπια [28].

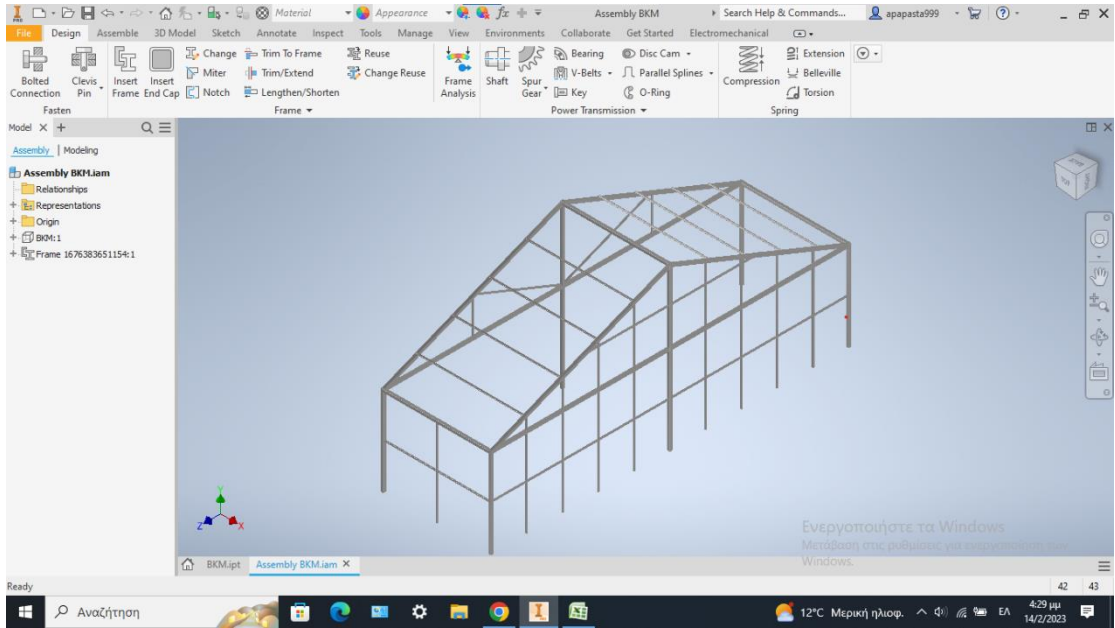
Στην αρχή έγινε ένα 3D Sketch στο πεδίο Part, με το σχήμα και τις διαστάσεις της βασικής κατασκευής. Έπειτα στο πεδίο του Assemble, έγινε η μορφοποίηση της βασικής κατασκευής με την επιλογή των διατομών, την περεταίρω μορφοποίηση της κατασκευής καθώς και τη δημιουργία της ολικής κατασκευής με τον πολλαπλασιασμό της αρχικής σε δύο κατευθύνσεις. Σύνολο έγιναν 3 σειρές από 12 BKM η κάθε μία. Στις περιμετρικές κατακόρυφες πλευρές τοποθετήθηκαν επιπλέον φορείς κάθετοι και οριζόντιοι για ενίσχυση από τις εφαρμοζόμενες ανεμοπιέσεις. Επιπλέον έγινε μια τυπική ενίσχυση των ψαλιδιών της στέγης με φορείς σχήματος (N).

Διαπιστώθηκε ότι σε μια τετράγωνη έκταση η περίμετρος αυτής είναι η ελάχιστη δυνατή σε σχέση με μία αντίστοιχη έκταση σχήματος ορθογώνιου. Επομένως για αυτό και έγινε το θερμοκήπιο 36m x 30m (σχεδόν τετράγωνο) για να χρησιμοποιήσουμε το ελάχιστο δυνατόν υλικό κάλυψης.

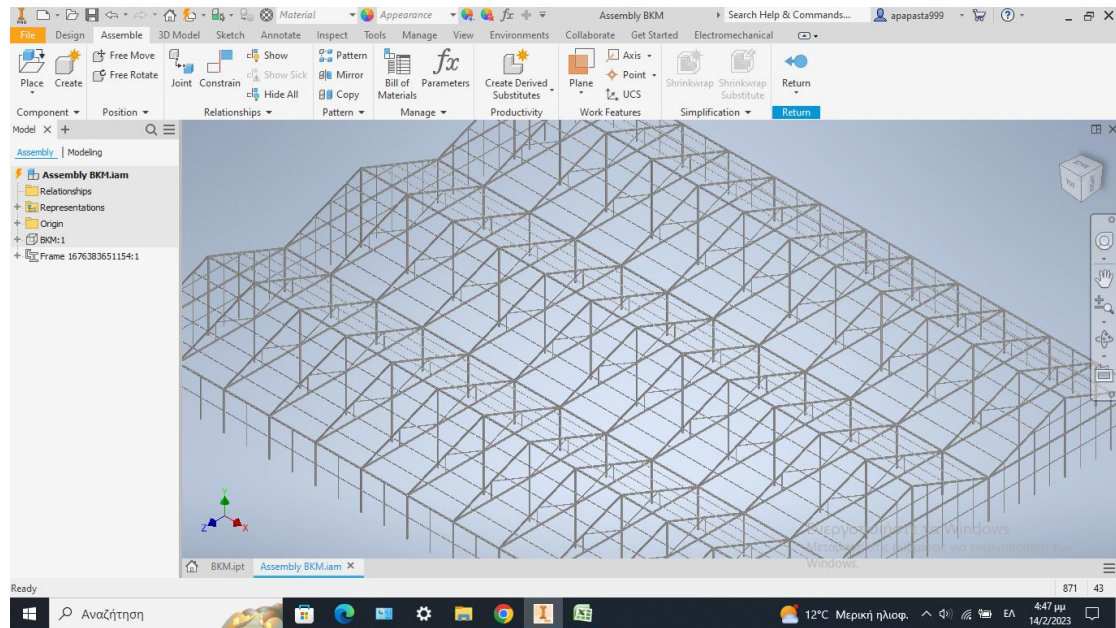
Ο σκελετός του θερμοκηπίου σχεδιάστηκε από γαλβανισμένο χάλυβα σε μορφή κοιλοδοκού, με διαστάσεις σε χιλιοστά 80X80X5,6 και 40X40X4.

Πίνακας 6: Κύριες διαστάσεις θερμοκηπίου υπό μελέτης

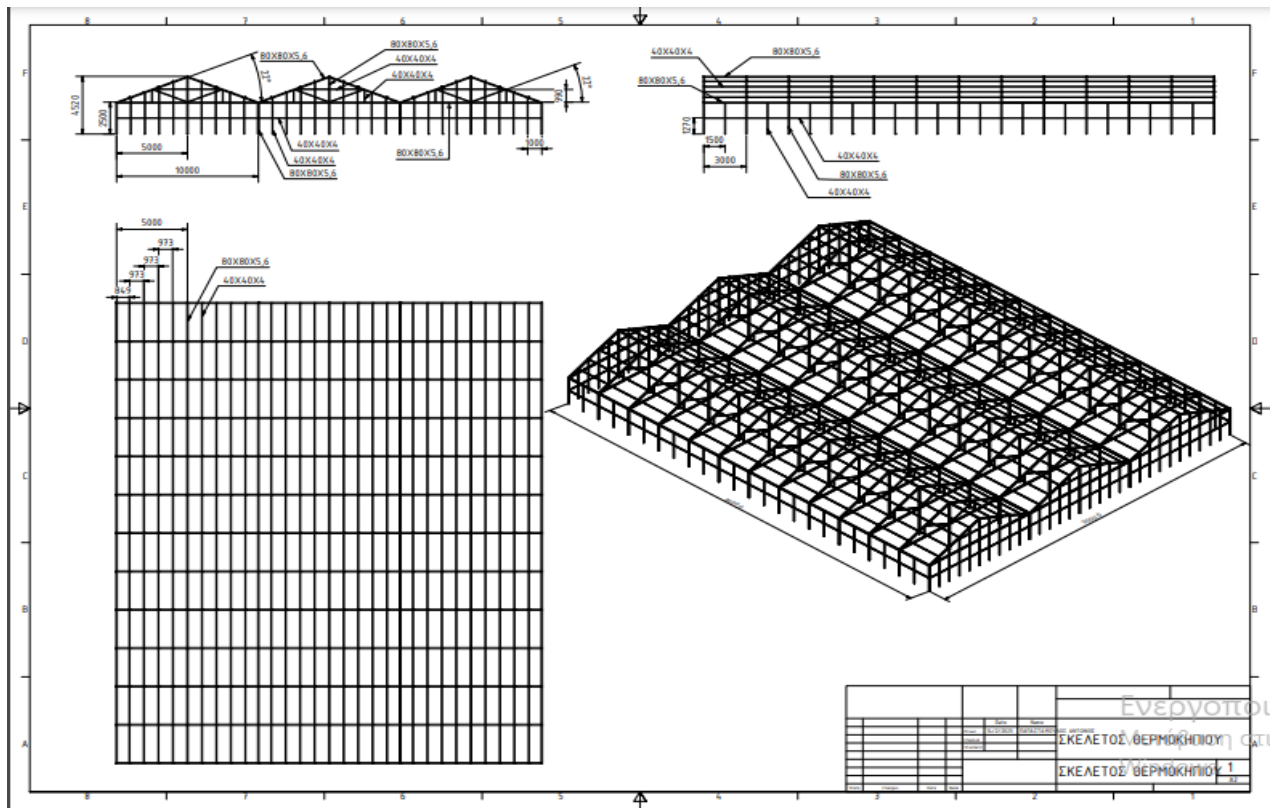
Μήκος	36 m
Πλάτος	30 m
Ύψος υδρορροής	2.5 m
Ύψος κορφιά	4.52 m
Κλίση στέγης	22°
Ανοίγματα	270 m ²
Όγκος	3791 m ³
Εμβαδόν καλύμματος	1440 m ²
Εμβαδόν εδάφους	1080 m ²



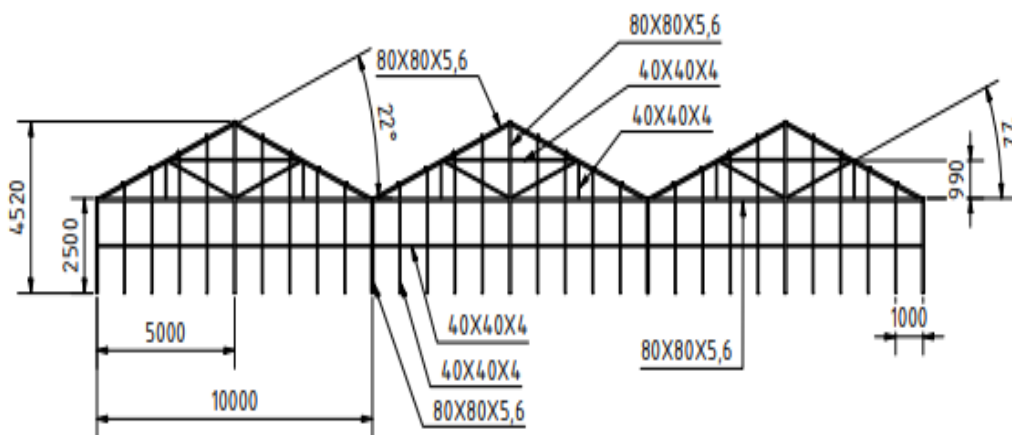
Εικόνα 12: Μορφή ΒΚΜ



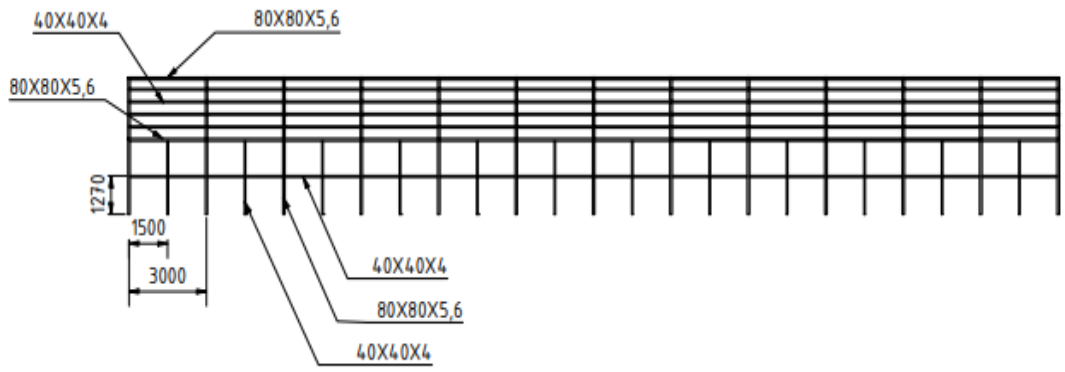
Εικόνα 13: Πολλαπλασιασμός της ΒΚΜ σε δύο κατευθύνσεις



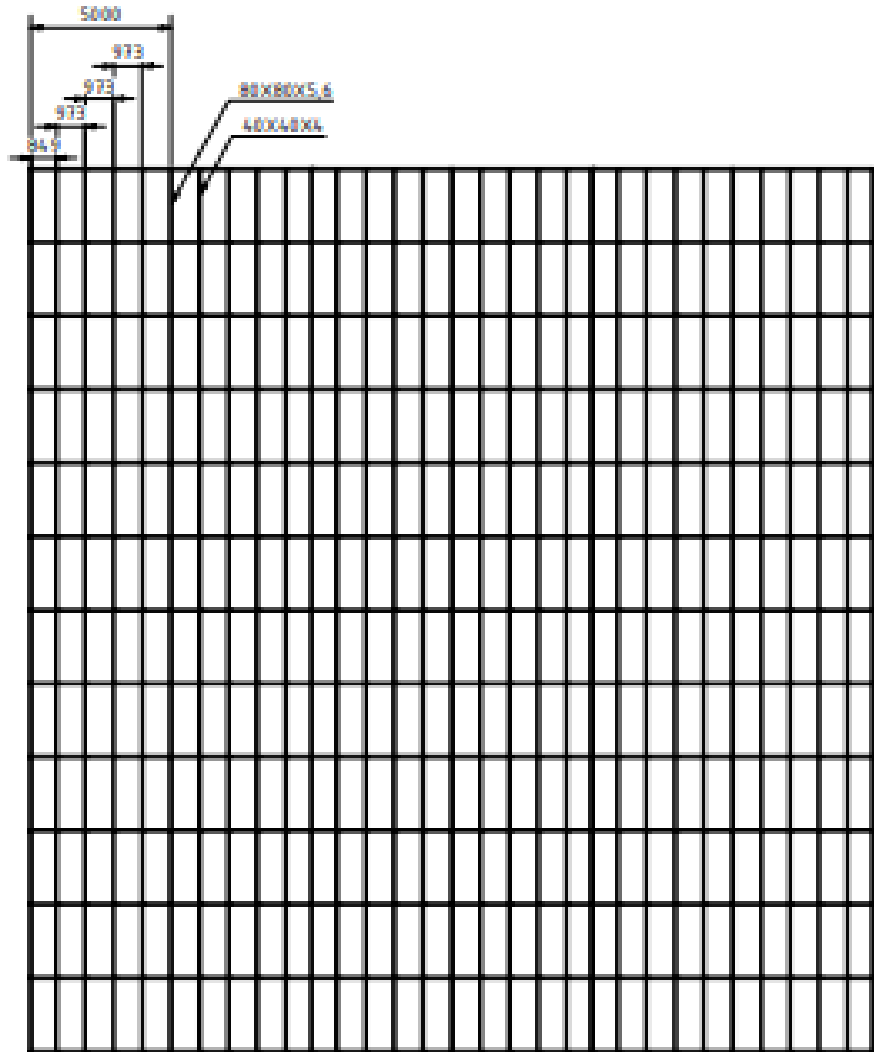
Εικόνα 14: Διαστάσεις θερμοκηπίου υπό μελέτη, διαστάσεις σε χιλιοστά.



Εικόνα 15: Διαστάσεις θερμοκηπίου υπό μελέτη, πρόσοψη διαστάσεις σε χιλιοστά.



Εικόνα 16: Διαστάσεις θερμοκηπίου υπό μελέτης, πλάγια όψη διαστάσεις σε χιλιοστά.



Εικόνα 17: Διαστάσεις θερμοκηπίου υπό μελέτης, κάτοψη διαστάσεις σε χιλιοστά.

Οι συνδέσεις των φορέων μεταξύ τους μπορεί να γίνει με ειδικούς συνδέσμους για κοιλοδοκούς όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα. Οι σύνδεσμοι αυτοί δεν αντικαθιστούν σε καμία περίπτωση την σύνδεση με ηλεκτροσυγκόλληση, αλλά είναι αρκετά αξιόπιστη μέθοδος σύνδεσης στα θερμοκήπια και σε παρόμοιες κατασκευές. Οι σύνδεσμοι αυτοί διατίθενται στο εμπόριο για συνδέσεις των 90° και 45°. για γωνίες μεγαλύτερες ή ενδιάμεσες των τιμών αυτών γίνεται χρήση συνδέσεων με κοχλίες και ειδικών διατομών σωλήνων ή κοιλοδοκών που είναι ειδικά διαμορφωμένοι στα άκρα τους ώστε να γίνεται η σύνδεση με κοχλίες.

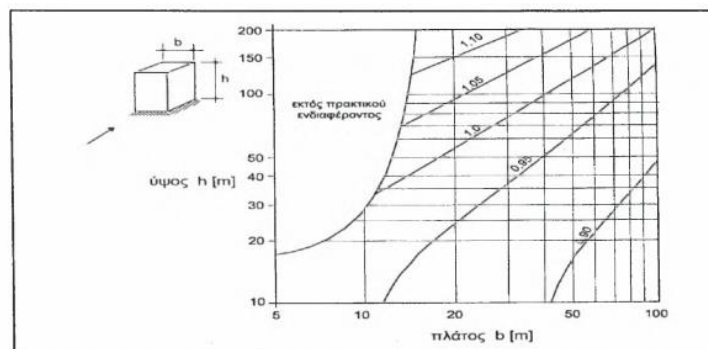
Επιβαλλόμενα φορτία στη κατασκευή

Ο υπολογισμός των φορτίων ανέμου στις επιφάνειες του θερμοκηπίου θα γίνει βάση του Ευρωκώδικα 1 (ENV 1991-2-4-1995) ο οποίος δίνει αναλυτικές οδηγίες και μεθόδους υπολογισμού για κάθε περίπτωση.[30] Σύμφωνα με αυτόν τα φορτία της κατασκευής μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής.

- Φορτία τύπου G_{k1} , θεωρούνται τα μόνιμα ή σταθερά φορτία της κατασκευής όπως το ίδιο βάρος της κατασκευής.
- Φορτία τύπου G_{k2} ,είναι τα φορτία λόγω μόνιμης παρουσίας επιπρόσθετων εγκαταστάσεων.
- Φορτία τύπου Q_{k1} , είναι τα φορτία του ανέμου.
- Φορτία τύπου Q_{k2} , είναι τα φορτία του χιονιού.
- Φορτία τύπου Q_{k3} , είναι τα φορτία του βάρους των φυτών, στη περίπτωση "κρεμαστής" καλλιέργειας.
- Τα σεισμικά, θερμικά και συγκεντρωμένα φορτία δεν είναι απαραίτητο να συνυπολογιστούν.

Φορτίο ανέμου Q_{k1}

Τα φορτία ανέμου είναι αποτέλεσμα δυνάμεων πίεσης και θεωρούνται μεταβλητές ελεύθερες φορτίσεις [30]. Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 1 για τα φορτία ανέμου προτείνεται η χρήση της απλής μεθόδου υπολογισμού, όταν ο συντελεστής C_d είναι μικρότερος του ένα . Όπως φαίνεται και στο επόμενο σχήμα σε κάθε περίπτωση ο συντελεστής C_d είναι μικρότερος του ένα, με το ύψος του θερμοκηπίου να μην ξεπερνά τα 10m σε καμία περίπτωση.



Εικόνα 18: Συντελεστής C_d συναρτήσει διαστάσεων κτηρίου (Ευρωκώδικας 1)

Η τελική πίεση του ανέμου είναι αποτέλεσμα της διαφοράς της εξωτερικής και της εσωτερικής πίεσης. Ως εξωτερική θεωρούμε την πίεση η οποία έχει κατεύθυνση προς την επιφάνεια , ενώ εσωτερική θεωρούμε την πίεση που απομακρύνεται από την επιφάνεια.

Γενικά ισχύει ότι η πίεση ανέμου λόγω πίεσης σε μια επιφάνεια είναι :

$$\text{Εξωτερική πίεση} \rightarrow W_i = q_{ref} * C_e(z_e) * C_{p(i)} \quad [\text{KN/m}^2]$$

$$\text{Εσωτερική πίεση} \rightarrow W_e = q_{ref} * C_e(z_e) * C_{p(e)} \quad [\text{KN/m}^2]$$

$$\text{Τελική πίεση} \rightarrow W = W_i - W_e \quad [\text{KN/m}^2]$$

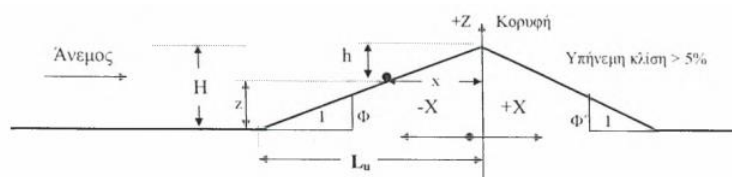
- q_{ref} = Πίεση αναφοράς [KN/m^2] στην Ελλάδα.
- $C_e(z_e)$ = συντελεστής εκθέσεως της κατασκευής στον άνεμο. Επηρεάζεται από την τραχύτητα του εδάφους, το τοπικό ανάγλυφο και την ταχύτητα του ανέμου στο μέσο ύψος της κατασκευής.
- C_p = συντελεστής εξωτερικής – εσωτερικής πίεσης.
- A_{ref} = Η πληττόμενη από τον άνεμο επιφάνεια [m^2], κάθετη προβολή στην διεύθυνση του ανέμου.

Από τον επόμενο πίνακα επιλέγουμε πίεση αναφοράς 810 N/m^2 για ταχύτητα ανέμου τα 36 m/s με πιθανότητα υπερβάσεως 2% . Η τιμή αυτή αντιστοιχεί για κατασκευές οι οποίες βρίσκονται έως 10 km από την θάλασσα. Επιπλέον σύμφωνα με το αρχείο μετεωρολογικού σταθμού της ευρύτερης περιοχής [31], η μέγιστη ταχύτητα του ανέμου τα τελευταία 10 χρόνια στην περιοχή είναι τα 82 Km/h που αντιστοιχεί σε $22\text{-}23 \text{ m/s}$. Επομένως η επιλεγθείσα τιμή της πίεσης αναφοράς υπερκαλύπτει την κατασκευή.

Πίνακας 7: Πίεση αναφοράς και ταχύτητα ανέμου για Ελληνικά δεδομένα (Ευρωκώδικας 1)

Συχνότητα επανεμφάνισης της ταχύτητας αναφοράς	Νησιά και παράκτιες ζώνες, που απέχουν μέχρι 10 Km από τη θάλασσα		Εσωτερικό της χώρας	
	V_{ref} (m/sec)	q_{ref} (N/m^2)	V_{ref} (m/sec)	q_{ref} (N/m^2)
0.2	30.76	591.44	25.64	410.72
0.1	32.49	659.72	27.07	458.14
0.07	33.31	693.65	27.76	481.70
0.02	36	810	30	562.50
0.01	37.39	873.53	31.15	606.62
0.005	38.72	936.83	32.26	650.58
0.001	41.64	1083.5	34.70	752.40
0.0001	45.48	1293.00	37.90	897.93

Για τον υπολογισμό του $C_e(z_e)$ θεωρούμε το ακόλουθο γεωγραφικό ανάγλυφο έξαρσης του εδάφους από το σημείο της θάλασσας μέχρι την κορυφή, το οποίο αναπαριστά χονδρικά το ανάγλυφο του σημείου ενδιαφέροντος.



Εικόνα 19: Σκαρίφημα γεωλογικού ανάγλυφου (Ευρωκώδικας 1)

- $H = 100 \text{ m}$
- $h = 20 \text{ m}$
- $L_u = 600 \text{ m}$
- $Z = 80 \text{ m}$
- $\Phi = 100/600 = 0.167$

Ο συντελεστής εκθέσεως υπολογίζεται ως εξής :

$$C_e(z_e) = c_t^2 * c_r^2 * (1 + 2 * g * L_u)$$

- g = συντελεστής ανεμορριπής και είναι ίσος με 3,5.
- L_v = ένταση τριβής ανέμου

$$L_v = \frac{KT}{cr * ct}$$

Πίνακας 8: κατηγορίες εδάφους και αντίστοιχες παράμετροι, (Ευρωκώδικας 1)

Κατηγορία εδάφους		k_T	z_0 [m]	z_{min} [m]
I	Τρικυμώδης ανοικτή θάλασσα, λίμνες με μήκος αναπτύξεως κυματισμού τουλάχιστον 5 km και λεία επίπεδα εδάφη χωρίς εμπόδια	0.17	0.01	2
II	Αγροτικές εκτάσεις χωρίς περιφράξεις, με σποραδικά κτίρια και δένδρα	0.19	0.05	4
III	Περίχωρα ή βιομηχανικές περιοχές και δάση	0.22	0.30	8
IV	Αστικές περιοχές με κάλυψη τουλάχιστον 15% με κτίρια ύψους άνω των 15m	0.24	1.00	16

- c_r = συντελεστής τραχύτητας.
- $c_r = KT * \ln \frac{z_e}{z_0}$
- C_i = συντελεστής αναγλύφου.

Το z_e είναι το ύψος αναφοράς του ανέμου και εξαρτάτε από την γεωμετρία της κατασκευής. Για τα αμφικλινή θερμοκήπια ισούται με το ύψος υδροροής συν το ύψος μέχρι το μεσοδιάστημα της στέγης. Στη περίπτωση μας είναι ίσο με 3,51 m.

Για κατηγορία εδάφους (II) :

$$c_r = 0.19 * \ln \frac{3.51}{0.05} = 0.808$$

Ο επόμενος πίνακας αφορά τη γεωμετρία της έξαρσης ανάγλυφου που επιλέξαμε. Για Φ ίσο με 0,167 και $h/H = 0,5$, η τιμή του συντελεστή ανάγλυφου σύμφωνα με τον Πίνακα 10 για την προσήνεμη πλευρά του λόφου είναι :

$$C_i = 1.185.$$

$$L_v = \frac{0.19}{0.808 * 1.185} = 0,198$$

Πίνακας 9: Συντελεστής εκθέσεως τοπικού ανάγλυφου, (Ευρωκώδικας 1)

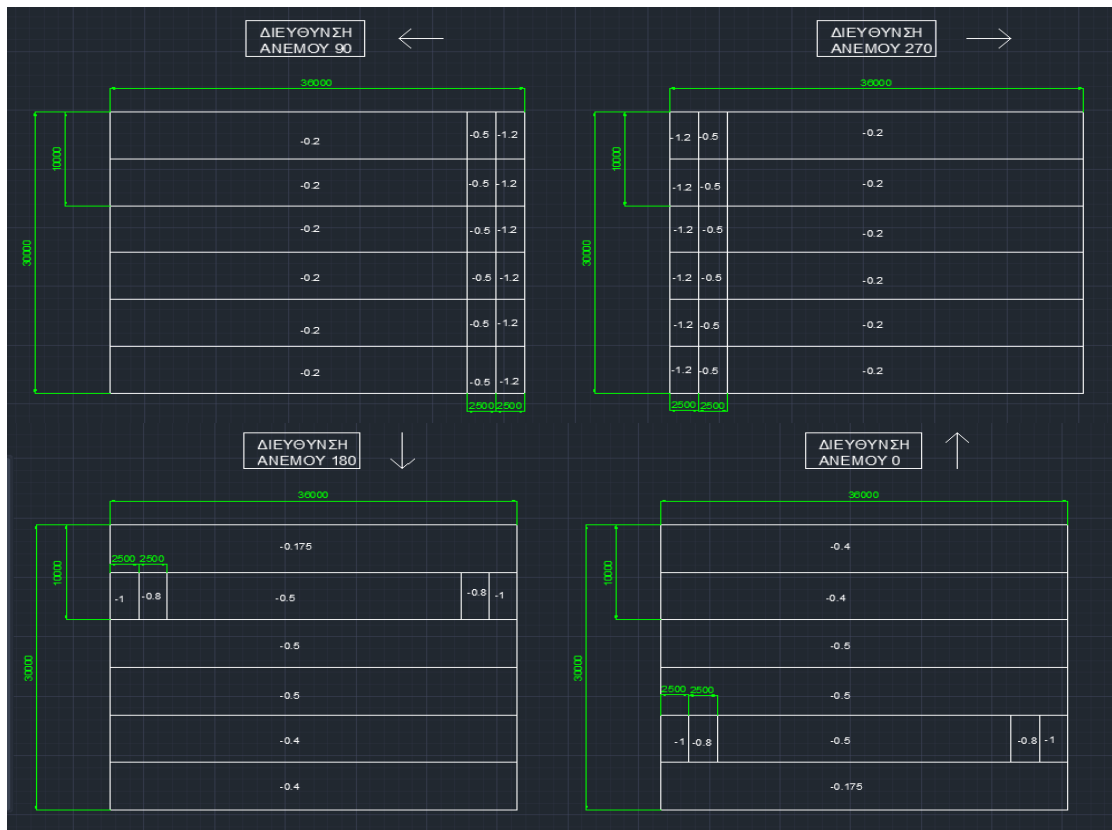
		Προσήνεμη πλευρά										Υπήνεμη πλευρά					
h/H ↓	Φ →	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05	0	h/H →		0,50	0,25	0
													Φ	Φ'			
0,05		1,03	1,04	1,04	1,05	1,05	1,06	1,07	1,07	1,08	1,08	1,09	0,1	0,10	1,03	1,10	1,18
0,06		1,04	1,04	1,05	1,06	1,06	1,07	1,08	1,09	1,09	1,10	1,11		0,15	1,04	1,11	1,18
0,07		1,04	1,05	1,06	1,07	1,08	1,08	1,09	1,10	1,11	1,12	1,13		0,20	1,07	1,13	1,18
0,08		1,05	1,06	1,07	1,08	1,09	1,10	1,11	1,12	1,12	1,13	1,14		0,25	1,08	1,13	1,18
0,09		1,05	1,06	1,08	1,09	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16		0,30	1,10	1,14	1,18
0,10		1,06	1,07	1,08	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,16	1,17	1,18	0,2	0,10	1,03	1,15	1,26
0,11		1,07	1,08	1,09	1,10	1,12	1,13	1,14	1,15	1,17	1,18	1,19		0,15	1,05	1,16	1,26
0,12		1,07	1,09	1,10	1,11	1,12	1,14	1,15	1,16	1,18	1,19	1,20		0,20	1,07	1,17	1,26
0,13		1,08	1,09	1,11	1,12	1,13	1,15	1,16	1,17	1,19	1,20	1,21		0,25	1,10	1,18	1,26
0,14		1,08	1,10	1,11	1,13	1,14	1,15	1,17	1,18	1,20	1,21	1,22		0,30	1,12	1,19	1,26
0,15		1,09	1,10	1,12	1,13	1,15	1,16	1,18	1,19	1,20	1,22	1,23	0,3	0,10	1,06	1,19	1,31
0,16		1,10	1,11	1,12	1,14	1,15	1,17	1,18	1,20	1,21	1,23	1,24		0,15	1,10	1,21	1,31
0,17		1,10	1,12	1,13	1,15	1,16	1,17	1,19	1,20	1,22	1,23	1,25		0,20	1,14	1,22	1,31
0,18		1,11	1,12	1,14	1,15	1,17	1,18	1,19	1,21	1,22	1,24	1,25		0,25	1,20	1,26	1,31
0,19		1,11	1,13	1,14	1,16	1,17	1,19	1,20	1,21	1,23	1,24	1,26		0,30	1,24	1,28	1,31
0,20		1,12	1,13	1,15	1,16	1,18	1,19	1,20	1,22	1,23	1,25	1,26					
0,22		1,13	1,14	1,16	1,17	1,19	1,20	1,22	1,23	1,24	1,26	1,27					
0,24		1,13	1,15	1,16	1,18	1,19	1,21	1,22	1,24	1,25	1,27	1,29					
0,25		1,14	1,15	1,17	1,18	1,20	1,21	1,23	1,24	1,26	1,27	1,29					
0,26		1,14	1,16	1,17	1,19	1,20	1,22	1,23	1,25	1,26	1,28	1,29					
0,28		1,15	1,16	1,18	1,19	1,21	1,22	1,24	1,25	1,27	1,29	1,30					
0,30		1,15	1,17	1,18	1,20	1,21	1,23	1,24	1,26	1,27	1,29	1,31					
0,35		1,21	1,22	1,23	1,23	1,24	1,25	1,26	1,26	1,27	1,28	1,29					
0,40		1,24	1,24	1,24	1,25	1,25	1,25	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26					

Άρα ο συντελεστής εκθέσεως της κατασκευής θα είναι :

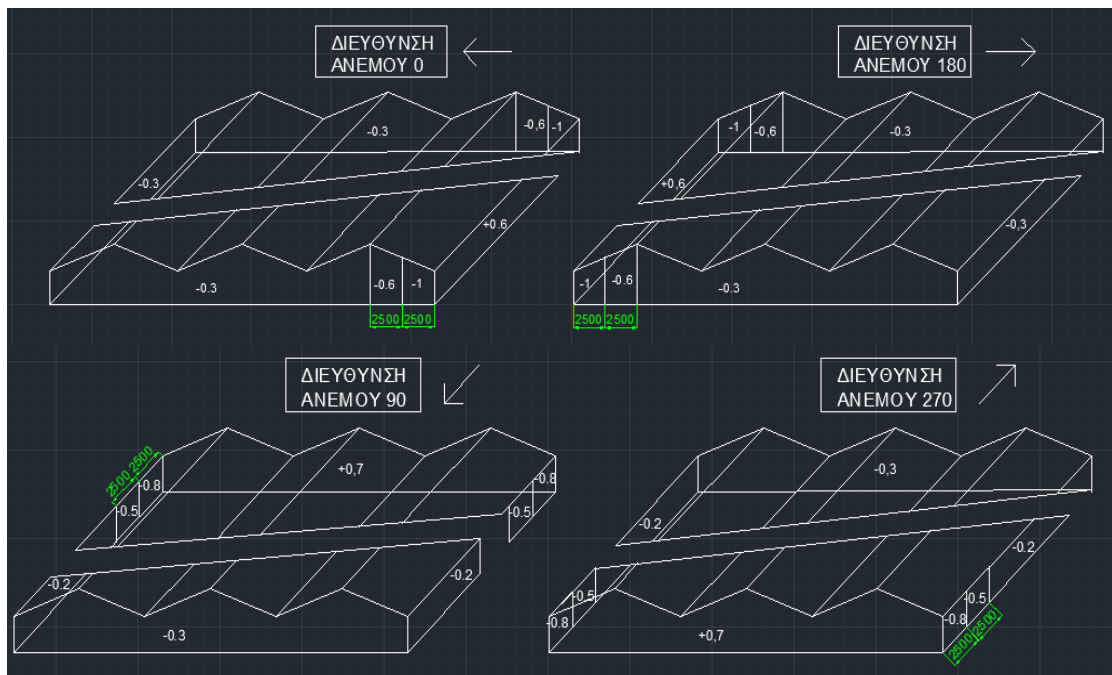
$$C_e(z_e) = 1,185^2 * 0,808^2 * (1 + 2*3,5*0,198)$$

$$C_e(z_e) = 2,189$$

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 1 οι συντελεστές τοπικής εξωτερικής πίεσης $C_{p(e)}$ ταξινομούνται στις επιφάνειες του συγκεκριμένου θερμοκηπίου για διευθύνσεις ανέμου $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$ ως εξής:



Εικόνα 20: Συντελεστές εξωτερικής πίεσης C_{pe} οροφής θερμοκηπίου (κάτωψη)



Εικόνα 21: Συντελεστές εξωτερικής πίεσης C_{pe} κατακόρυφων περιμετρικών πλευρών θερμοκηπίου

Οι τιμές της εσωτερικής πίεσης $C_{p(i)}$ είναι 0,2 και -0,3. Λαμβάνονται υπόψη και οι δύο τιμές. Οι υπολογισμοί επαναλαμβάνονται και για τις δύο τιμές. Επομένως η τιμή της εσωτερικής πίεσης έχει δύο σταθερές τιμές:

$$W_e = q_{ref} * C_e(z_e) * C_{p(e)} \quad [\text{KN/m}^2]$$

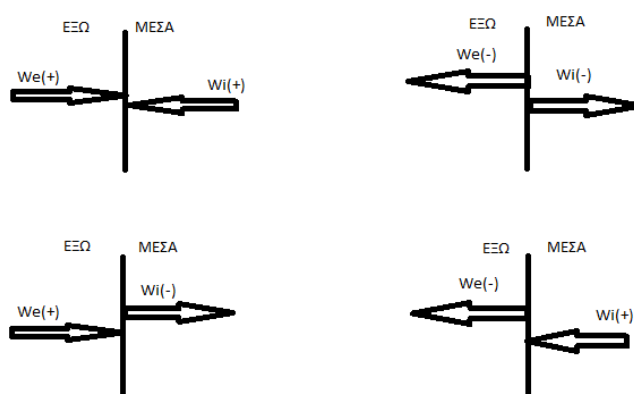
$$W_{i(1)} = 0,810 * 2,189 * 0,2 = \underline{0,354} \quad [\text{KN/m}^2]$$

$$W_{i(2)} = 0,810 * 2,189 * (-0,3) = \underline{-0,532} \quad [\text{KN/m}^2]$$

Υπολογίζοντας την εξωτερική πίεση για κάθε συντελεστή εξωτερικής πίεσης που υπάρχει στα προηγούμενα σκαριφήματα των όψεων, υπολογίζεται η τελική πίεση των επιφανειών. Η τελική πίεση θα έχει και αυτή δύο τιμές $W_{(1)}, W_{(2)}$. [30].

Πίνακας 10: Ολική ανεμοπίεση θερμοκηπίου για κάθε συντελεστή C_{pe}

$C_{p(e)}$	$C_{p(i)(1)}$	$C_{p(i)(2)}$	$W_{(e)}$ N/m ²	$W_{(i)(1)}$ N/m ²	$W_{(i)(2)}$ N/m ²	$W_{(1)}$ N/m ²	$W_{(2)}$ N/m ²
-0,175	0,2	-0,3	-310	355	-532	-665	222
-0,2	0,2	-0,3	-355	355	-532	-709	177
-0,3	0,2	-0,3	-532	355	-532	-887	0
-0,4	0,2	-0,3	-709	355	-532	-1064	-177
-0,5	0,2	-0,3	-887	355	-532	-1241	-355
-0,6	0,2	-0,3	-1064	355	-532	-1419	-532
-0,8	0,2	-0,3	-1419	355	-532	-1773	-887
-1	0,2	-0,3	-1773	355	-532	-2128	-1241
-1,2	0,2	-0,3	-2128	355	-532	-2483	-1596
0,6	0,2	-0,3	1064	355	-532	709	1596
0,7	0,2	-0,3	1241	355	-532	887	1773



Εικόνα 22: Κατεύθυνση ανεμοπίεσης ανάλογα το πρόσημο της

Φορτίο χιονιού Q_{k2}

Το φορτίο χιονιού στην στέγη του θερμοκηπίου υπολογίζεται ως εξής:

$$S = \mu_i * C_e * C_t * S_k \quad [\text{KN/m}^2]$$

- μ_i = Συντελεστής που αφορά την μορφή του χιονιού στη στέγη. Για επαναλαμβανόμενες στέγες με κλίση $0 < \varphi < 30$, $\mu_i = 0,8$.
- C_e = Συντελεστής έκθεσης του θερμοκηπίου στις καιρικές συνθήκες, συνήθως ισούται 1.
- C_t = Θερμικός συντελεστής για θερμαινόμενα ή μη θερμοκήπια.
- S_k = η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού στο επίπεδο έδαφος.

Ο θερμικός συντελεστής λαμβάνεται από τον επόμενο πίνακα για απλά πλαστικά φύλλα (νάιλον), και για θερμαινόμενο θερμοκήπιο είναι ίσος με $C_t = 0,6$.

Η τιμή του φορτίου χιονιού στο επίπεδο έδαφος δίνεται ακριβέστερα με την εξής εξίσωση:

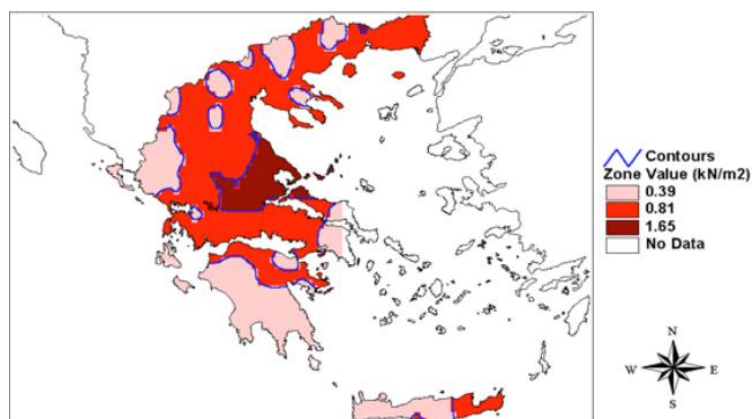
$$S_k = [0.420 * Z - 0.03] * [1 + (A/917)^2] \quad [\text{KN/m}^2]$$

- Z = Συντελεστής γεωγραφικής ζώνης χιονιού.
- A = το υψόμετρο την κατασκευής από το επίπεδο της θάλασσας.
-

Πίνακας 11: Θερμικός συντελεστής C_t θερμοκηπίων, (Μενέλαος Θεοχάρης, Η εφαρμογή των Ευρωκωδίκων στη μελέτη των Ελληνικών θερμοκηπίων)

Υλικό κάλυψης	Θερμικός συντελεστής C_t	
	Θερμαινόμενα θερμοκήπια	Μη θερμαινόμενα θερμοκήπια
Απλά φύλλα γυαλιού	0,6	1,0
Διπλά φύλλα γυαλιού	0,7	1,0
Απλά πλαστικά φύλλα	0,6	1,0
Κυματοειδή πλαστικά φύλλα	0,7	1,0
Τοξωτές οροφές με απλά πλαστικά φύλλα	0,6	1,0
Διπλά πλαστικά φύλλα (φουσκωμένα)	0,9	1,0

Τα θερμοκήπια θεωρούνται θερμαινόμενα μόνο στις περιπτώσεις που υπάρχει εξοπλισμός θέρμανσης συνδεδεμένος με αυτόματο μηχανισμό ανοιγκλεισίματος. Στις άλλες περιπτώσεις τα θερμοκήπια θεωρούνται μη θερμαινόμενα.



Εικόνα 23: Ζώνες χιονιού Ελλάδα, (Ευρωκώδικας 1)

Η κατασκευή βρίσκεται στα 80 m από το επίπεδο της θάλασσας, και επιλέγοντας συντελεστή $Z=0,81$, βρίσκουμε $S_k = 0,31$. Επομένως το συνολικό φορτίο χιονιού στη στέγη του θερμοκηπίου θα είναι :

$$S = 0,8 * 1 * 0,6 * 0,31 = 0,15 \quad [\text{KN/m}^2]$$

Φορτία φυτών Q_{k3}

Τα φορτία των φυτών συνυπολογίζονται όταν ο τύπος της καλλιέργειας είναι τέτοιος ώστε να υπάρχει στήριξη των φυτών από το δικτύωμα της κατασκευής με κατάλληλα σχοινιά. Εάν δεν υπάρχουν λεπτομερές πληροφορίες για το συγκεκριμένα φορτία προτείνεται η επιλογή της τιμής του φορτίου των φυτών να γίνει από τον επόμενο πίνακα. Επομένως στη περίπτωση της τομάτας, $Q_{k3} = 0,15 \text{ KN/m}^2$

Πίνακας 12: Τυπικά φορτία παραγωγής, (Μενέλαος Θεοχάρης, Η εφαρμογή των Ευρωκωδίκων στη μελέτη των Ελληνικών θερμοκηπίων)

Παραγωγή	Χαρακτηριστικά φορτία παραγωγής Q_{k3} σε KN/m^2
Παραγωγές σαν τις ντομάτες και τα αγγούρια	0,15
Παραγωγές σε ελαφρά δοχεία, όπως οι φράουλες	0,30
Παραγωγές σε βαριά δοχεία, όπως οι γλάστρες	1,00

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 1 θα πρέπει να γίνει στατική ανάλυση της κατασκευής όχι μόνο στα μεμονωμένα φορτία $G_{k1}, G_{k2}, Q_{k1}, Q_{k2}, Q_{k3} \dots$ κλπ, αλλά και συνδυασμοί αυτών όπως προβλέπεται στον κανονισμό. Ακόμα η μετατροπή της ανεμοπίεσης και του φορτίου χινιού είναι εκφρασμένα σε KN/m^2 όπως υπολογίστηκαν παραπάνω. Για γίνει μελέτη αντοχής της κατασκευής σε αυτά τα φορτία θα πρέπει να γίνει αναγωγή της πίεσης σε κατανεμημένο φορτίο σε κάθε στοιχείο του σκελετού της κατασκευής το οποίο είναι εξαιρετικά δύσκολο και χρονοβόρο από τη μεριά του μελετητή να γίνει με συμβατούς υπολογισμούς. Είναι απαραίτητη η χρήση ειδικών προγραμμάτων, συνήθως software πολιτικού μηχανικού, τα οποία είναι εξειδικευμένα για αυτή τη χρήση. Ακόμα για την ολοκληρωμένη στατική μελέτη είναι απαραίτητη η διαστασιολόγηση και των βάσεων από σκυρόδεμα και του οπλισμού της βάσεων στήριξης της κατασκευής. Η χρήση του μηχανολογικού προγράμματος INVENTOR δεν προτείνεται για αυτή τη χρήση. Η στατική μελέτη μπορεί να γίνει με προγράμματα όπως το ΡΑΦ, CONSTEEL, FESPAM και άλλα.

Πρόγραμμα καλλιέργειας

Επιλέχθηκε η καλλιέργεια πιπεριάς που είναι μια αρκετά απαιτητική καλλιέργεια όσο αφορά την εσωτερική θερμοκρασία. Το πρόγραμμα της καλλιέργειας της πιπεριάς φαίνεται στον παρακάτω πίνακα [32].

Πίνακας 13: Τυπικό πρόγραμμα καλλιέργειας, (Κοσμάς Α. Καβαδαίας Υβριδικές εγκαταστάσεις ήπιων μορφών ενέργειας)

Περίοδοι καλλιέργειας	Ημερες	Φάση καλλιέργειας	T°C ideal	T°C ideal night
1/9/2021-10/9/2021	10	φύτευμα σπορου	29	29
11/9/2021-15/11/2021	35	αναπτυξη σποροφυτου	14	14
16/11/2021-25/12/2021	40	αναπτυξη φυτου	24	16
26/12/2021-15/6/2021	172	συγκομιδη	24	16
1/7/2021-31/8/2021	108	νεκρη περιοδος		

Όπως παρατηρούμε η κάθε φάση της καλλιέργειας απαιτεί διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασίας για την ομαλή και βέλτιστη ανάπτυξη των φυτών από το στάδιο του σπόρου έως και την συγκομιδή. Από τα μέσα Ιουνίου μέχρι και τα τέλη Αυγούστου η καλλιέργεια στα θερμοκήπια θεωρείται ανούσια στον Ελλαδικό χώρο λόγω του μεγάλου κόστους για ψύξη και αερισμό του χώρου ενώ υπάρχει η δυνατότητα καλλιέργειας στην ύπαιθρο. Ο Σεπτέμβρης δείχνει να είναι ιδανικός μήνας για το φύτευμα του σπόρου με αρκετά καλά επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας και με συνδυασμό με το σύστημα θέρμανσης το θερμοκήπιο θα φτάσει εύκολα τα επίπεδα των 29°C που απαιτούνται. Η ανάπτυξη του σποριόφυτου χρειάζεται μέτρια θερμοκρασία των 14 °C μέρα-νύχτα, θερμοκρασία που είναι αρκετά κοντά με την εξωτερική μέση θερμοκρασία του Σεπτέμβρη και Οκτώβρη [32].

Ισχύς συστήματος θέρμανσης

Για τον υπολογισμό της απαιτούμενης ισχύος θέρμανσης θα ακολουθήσουμε τον Κανονισμό Θερμοκηπίων [28].

$$Q = (U \cdot A \cdot \Delta T + 0.36 \cdot V \cdot n \cdot \Delta T^*) \cdot 1.20$$

Όπου :

- Q : Η απαιτούμενη ισχύς θερμαντικών σωμάτων σε Watt
- U : Ο ολικός συντελεστής θερμοπερατότητας σε W/m²°C
- A : Η ολική επιφάνεια του καλύμματος σε m²
- DT : Η διαφορά θερμοκρασίας μέσα-έξω σε °C . Ως εσωτερική θερμοκρασία, λαμβάνεται η ιδανική νυχτερινή θερμοκρασία για την απαιτητικότερη καλλιέργεια που δηλώνεται πρόθεση να καλλιεργηθεί και ως εξωτερική θερμοκρασία λαμβάνεται η μέση ελάχιστη θερμοκρασία της περιοχής εγκατάστασης, με συχνότητα πενταετίας.
- V : Ο όγκος του θερμοκηπίου σε m³
- n : Οι εναλλαγές αέρα ανά ώρα με κλειστά παράθυρα

Η εξίσωση πολλαπλασιάζεται με τον συντελεστή 1,2 λόγω του ότι μελέτες έχουν αποδείξει ότι η απώλειες με τη μορφή ακτινοβολίας από το κάλυμμα του θερμοκηπίου είναι μικρότερες ή ίσες του 20% του συνόλου [10].

Πίνακας 14: Αλλαγές αέρα ανά ώρα, (ΦΕΚ 2243/333582)

Χαρακτηριστικά κατασκευής	Αλλαγές ανά ώρα (n)
Νέα κατασκευή (1-3 έτη) υαλόφρακτο	0,8 - 1,8
Νέα κατασκευή (1-3 έτη) με απλό φύλλο πολυαιθυλενίου	0,8 - 2,5
Νέα κατασκευή (1-3 έτη) με διπλό φύλλο πολυαιθυλενίου	0,5 - 1,2
Παλαιά κατασκευή (4-10 έτη) υαλόφρακτου με καλή συντήρηση	1,5
Παλαιά κατασκευή (4-10 έτη) υαλόφρακτου και κακή συντήρηση	2,5

Στην περίπτωση που το υλικό κάλυψης θα είναι φίλο πολυαιθυλενίου με $U = 6,3 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Η επιφάνεια του καλύμματος είναι $A = 1440 \text{ m}^2$

Ο όγκος είναι $V = 3791 \text{ m}^3$

Εναλλαγές αέρα για νέα κατασκευή με φύλλο πολυαιθυλενίου $n = 1 \text{ h}^{-1}$

Την ιδανική νυχτερινή θερμοκρασία για την καλλιέργεια τομάτας θα την λάβουμε ίση με $16 \text{ }^\circ\text{C}$

Η μέση ελάχιστη θερμοκρασία της περιοχής με συχνότητα 5ετίας υπολογίστηκε με τη βοήθεια αρχείου μετεωρολογικού σταθμού [31] γειτονικής περιοχής με παρόμοιο κλίμα για τους πιο κρύους μήνες, Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο και είναι οι ακόλουθες :

Πίνακας 15: Μέση ελάχιστη θερμοκρασία πενταετίας

5ετίες	MEAN MIN (Temp.)
2009-2013	-1,6
2010-2014	-1,6
2011-2015	-1,6
2012-2016	-1,6
2013-2017	-1,2
2014-2018	-1,2
2015-2019	-1,2
2016-2020	-1,2
2017-2021	-1,2

Για τον υπολογισμό της ισχύς θέρμανσης θα επιλέξουμε την μικρότερη μέση ελάχιστη θερμοκρασία σε συχνότητα 5ετίας από το 2009 έως το 2021 που είναι ίση με $-1,6 \text{ }^\circ\text{C}$, και DT ίσο με $16 - (-1,6) = 17,6 \text{ }^\circ\text{C}$

Άρα :

$$Q = (6,3 \cdot 1440 \cdot 17,6 + 0,36 \cdot 3791 \cdot 1 \cdot 17,6 \cdot 1,20) \text{ Watt}$$

$$Q = 188 \text{ KW}$$

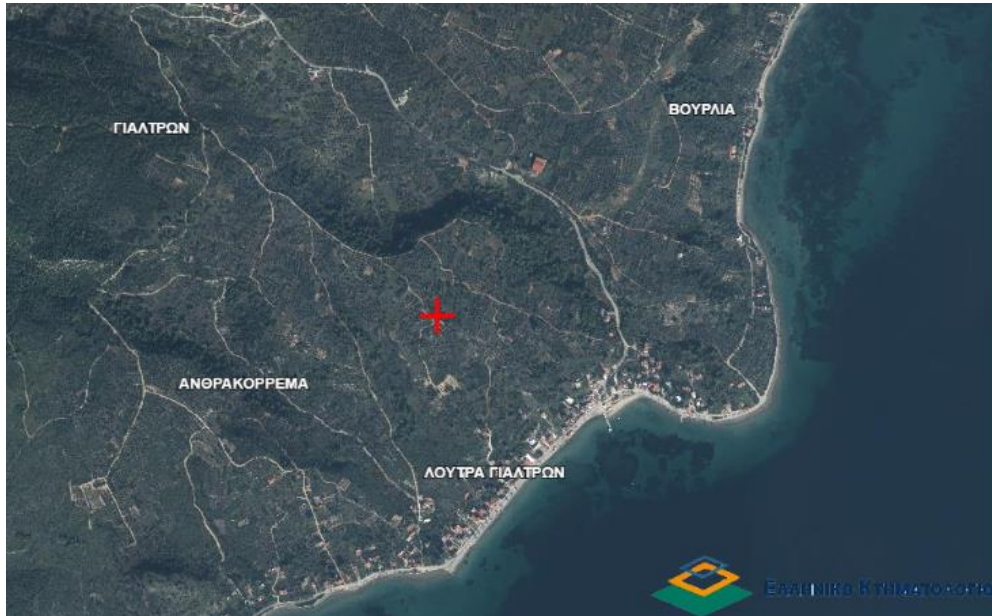
Ενώ για $U = 6,3 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ είναι :

$$Q = 100 \text{ KW}$$

Επομένως στην περίπτωση της γεωθερμικής αντλίας και αξονικών αερόθερμων ζεστού νερού η συνολική ισχύς τους πρέπει να είναι 188 KW ή 100KW αντίστοιχα.

Γεωθερμική εγκατάσταση θέρμανσης με Γ/Α

Συντεταγμένες περιοχής ενδιαφέροντος : Χ: 411614 ,Υ: 4300605



Εικόνα 24: Γιάλτρα - Σημείο ενδιαφέροντος

Οι γεωτρήσεις στη συγκεκριμένη τοποθεσία χαρακτηρίζεται από μεγάλη γεωθερμική βαθμίδα της τάξης των $0,28^{\circ}\text{C}/\text{m}$, με νερό 36°C σε βάθος μόλις 66m και δυναμικό περίπου στα $100 \text{ m}^3/\text{h}$. [20]

Η χημική σύσταση σε (ppm) της συγκεκριμένης ερευνητικής γεώτρησης είναι η ακόλουθη:

Πίνακας 16: Γεωλογική μελέτη ΙΓΜΕ [Πηγή: 20]

PH	TDS	Hardness	Ca	Mg	Na	K	Li	Fe	Sr
7.6	625	304	75.4	52.3	68.1	6.3	0.156	2	1.29
Ba	NH4	HCO3	CL	SO4	NO3	SIO2	B	AL	AS
0.092	0.26	366	88.6	144	3.1	29	1.1	1.6	0.029

Για την θέρμανση του θερμοκηπίου θα χρησιμοποιήσουμε μία γεωθερμική αντλία θερμότητας νερού-νερού. Η ισχύς HC της θέρμανσης της Γ/Α θα είναι τουλάχιστον 188 KW όπως υπολογίστηκε παραπάνω. Ο COP και η HC εξαρτώνται άμεσα από την παροχή και θερμοκρασία του νερού εισαγωγής της γεώτρησης, από την παροχή και θερμοκρασία εισόδου του νερού του κυκλώματος θέρμανσης. Επιλέχθηκε μία Γ/Α μάρκας WATERFURNACE ENVISION² NK 150 [33]. Όπως φαίνεται στον επόμενο πίνακα των τεχνικών χαρακτηριστικών της συγκεκριμένης γεωθερμικής αντλίας, η διαφορά θερμοκρασίας του νερού φορτίου αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας εισόδου νερού πηγής. Θα μπορούσε να γίνει επιλογή δύο ή και περισσότερων Γ/Α μικρότερης θερμαντικής ισχύος που να δουλεύουν αθροιστικά για την κάλυψη της απαιτούμενης θερμαντικής ισχύος. Οι μικρότερες Γ/Α δεν μπορούν να αυξήσουν την θερμοκρασία του νερού φορτίου αρκετά για να γίνει αξιοποιήσιμο από

τα αξονικά αερόθερμα. Ακόμα η αγορά δύο μεσαίων σε ισχύ Γ/Α είναι πιο κοστοβόρα από την αγορά μίας μεγάλης. Οπότε αναγκαστικά θα επιλέξουμε το μοντέλο NK150. Στις αντλίες θερμότητας γίνεται χρήση των ακόλουθων αρκτικόλεξα :

- EST = θερμοκρασία εισαγωγής νερού πηγής
- LST = θερμοκρασία εξαγωγής νερού πηγής
- ELT = θερμοκρασία εισαγωγής νερού χρήσης
- LLT = θερμοκρασία εξαγωγής νερού χρήσης
- HC = ισχύς θέρμανσης
- HE = ισχύς ψύξης
- Power = Ηλεκτρική κατανάλωση μονάδας Γ/Α
- COP = συντελεστής απόδοσης.

Για θερμοκρασία 30°C νερού γεώτρησης και παροχής 6,3 l/s ήτοι 22680 m³/h και θερμοκρασία νερού εισόδου χρήσης 40°C αποδίδει 216 KW θερμαντική ισχύ, ενώ λειτουργεί με συντελεστή απόδοσης 4,5. Το νερό χρήσης θα θερμαίνεται έως τους 48 °C (Παράρτημα Εικόνα 54).

Θεωρούμε ότι η θέρμανση του χώρου του θερμοκηπίου θα είναι αδιάκοπη από την αρχή της σεζόν και δεν θα πέσει σε καμία περίπτωση κάτω από την ελάχιστη θερμοκρασία σχεδιασμού. Τα αερόθερμα θα ανακυκλώνουν τον εσωτερικό αέρα του θερμοκηπίου ζεσταίνοντας τον. Εφόσον η ελάχιστη θερμοκρασία σχεδιασμού της καλλιέργειας είναι η θερμοκρασία της νύχτας των 16°C και η μέγιστη της ημέρας των 26°C. Θα θεωρήσουμε ότι ο εισερχόμενος προς θέρμανση αέρας στα αξονικά αερόθερμα δεν θα έχει θερμοκρασία μικρότερη των 16°C και όχι μεγαλύτερη των 25-26°C.

Η ισχύς των αξονικών αερόθερμων εξαρτάτε από :

- Τη θερμοκρασία του νερού εισόδου και εξόδου από την μονάδα
- Τις στροφές που δουλεύει ο ανεμιστήρας της μονάδας
- Της θερμοκρασίας εισόδου του αέρα προς θέρμανση.

Στα αξονικά αερόθερμα, η θερμαντική ισχύς τους αυξάνεται με την μείωση της θερμοκρασίας αέρα εισόδου και με την αύξηση των στροφών του ανεμιστήρα. Βέβαια η αύξηση των στροφών του ανεμιστήρα και η μείωση της εισαγόμενης θερμοκρασίας προϋποθέτει και αύξηση της παροχής ζεστού νερού. Τα αερόθερμα θα υπολογιστούν για θερμοκρασία αέρα εισαγωγής 25°C και μέγιστο στάδιο στροφών ανεμιστήρα.

Θα γίνει χρήση 12 αξονικών αερόθερμων μάρκας Flowair και μοντέλο LEO XL2 [34] για καλύτερη κατανομή του ζεστού αέρα στο χώρο (Παράρτημα Εικόνα 53).

Πίνακας 17: Τεχνικά χαρακτηριστικά αξονικών αερόθερμων [Πηγή: 34]

LEO XL2	Inlet water (°C)	Outlet water (°C)	Inlet air (°C)	Outlet air (°C)	Heating Capacity (KW)	Water Flow Rate (l/h)	Water pressure drop (kPa)	Stage Air Flow
	48	40	25	33.5	15.8	1719	11.4	STAGE III
	48	40	25	34.5	13.7	1485	8.8	STAGE II
	48	40	25	36	10	1091	5.1	SATGE I
	48	40	16	29.5	24.4	2652	25	STAGE III
	48	40	16	30.5	21	2288	19.1	STAGE II
	48	40	16	33	15.4	1676	10.9	STAGE I

Με αυτόν τον τρόπο θα καλυφθεί η απαιτούμενη θερμαντική ισχύς του χώρου στην χείριστη περίπτωση όπου ο αέρας εισαγωγής θα είναι 25°C , (12 * 15.8 KW = 190 KW). Κατά την διάρκεια της νύχτας που η θερμοκρασία του αέρα θα είναι 16 °C οι συσκευές θα υπερκαλύπτουν το απαιτούμενο θερμαντικό φορτίο, (12 * 24,4 KW = 293 KW), όμως η Γ/Α δεν μπορεί να υποστηρίξει την απαιτούμενη παροχή νερού (12 * 2652 = 31,8 m³/h) . Σε αυτό το σημείο θα χρειαστεί κάποιο σύστημα αυτόματης αυξομείωσης των στροφών των αερόθερμων ανάλογα με την εσωτερική θερμοκρασία το οποίο θα αναλυθεί στη παράγραφο του ελέγχου του κλίματος του θερμοκηπίου. Κατά την διάρκεια της νύχτας τα αερόθερμα θα λειτουργούν μόνο στο STAGE I, αποδίδοντας (12 * 15,4 = 185 KW) με απαιτούμενη παροχή νερού τα (12 * 1676 = 20112 m³/h) το οποίο μπορεί να υποστηριχθεί από την Γ/Α.

Προστασία κατά των αλάτων

Όπως αναφέραμε στην ενότητα της γεωθερμίας, λόγω της υψηλής σκληρότητας του νερού η απευθείας σύνδεση του με τη Γ/Α μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφικά αποτελέσματα του μηχανολογικού εξοπλισμού σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα. Για την αύξηση αυτού του χρόνου ζωής το αλμυρό μεταλικό υπόγειο νερό πρέπει να είναι συμβατό με τα πρότυπα του κατασκευαστή της Γ/Α. Στην περίπτωση μας ο κατασκευαστής της WATERFURNACE Envision² NKW 150 δίνει αναλυτική χημική σύσταση του νερού και τα όρια για τα οποία οι συγκεντρώσεις των χημικών στοιχείων δεν θα πρέπει να ξεπεράσουν (Παράρτημα Εικόνα 55). Παρατηρούμε ότι τα περισσότερα χημικά στοιχεία είναι εντός ορίων του κατασκευαστή καθώς και η τιμή των TDS. Η ολική σκληρότητα CaCO₃ της υποτιθέμενης γέωτρησης ανέρχεται στα 304 ppm και είναι λίγο πάνω από το όριο του κατασκευαστή. Αυτό σημαίνει ότι η Γ/Α μπορεί να δημιουργήσει μικρές επικαθίσεις αλάτων και CaCO₃ στον εναλλάκτη νερού που υπάρχει στο εσωτερικό της. Αυτό μπορεί να καταπολεμηθεί με έναν χημικό καθαρισμό ,με όξινα αφαλατικά, της μονάδας στην αρχή ή στο τέλος της καλλιεργητικής σεζόν. Ακόμα για την προστασία από τις επικαθίσεις αλάτων θα τοποθετηθεί κάποια συσκευή καθοδικής προστασίας ανοδίου. Το δευτερεύον κύκλωμα των αερόθερμων δεν χρειάζεται κάποια ιδιαίτερη προστασία από διάβρωση ή επικαθίσεις, το νερό κυκλοφορίας θα είναι από το δίκτιο. Θα τοποθετηθούν μόνο τα απαραίτητα φίλτρα νερού δικτύων γενικής χρήσης.

Υπολογισμός δικτύου θέρμανσης

Ο παρακάτω υπολογισμός αντιπροσωπεύει το δίκτυο θέρμανσης για υλικό επικάλυψης U=6.3 W/m²K.

Επιλέγεται δισωλήνιο σύστημα θέρμανσης για να παρέχεται η ίδια θερμοκρασία νερού σε όλα τα αερόθερμα. Επίσης με αυτόν τον τρόπο είναι ευκολότερη η διαστασιολόγηση τους. Τα συνολικά 12 θερμαντικά αξονικά αερόθερμα ομαδοποιούνται σε 3 κλάδους από 4 αερόθερμα ο καθένας. Οι κλάδοι συνδέονται με την κεντρική παροχή θέρμανσης με τη χρήση κολεκτέρ. Θα γίνει χρήση σωλήνων πολυπροπυλενίου με υαλόνημα (PPR SDR 7.4) της Aquarplus [35].

Έγινε υπολογισμός των διαμέτρων της σωλήνωσης κάθε κλάδου και υπολογίστηκαν οι τιμές της παροχής [Q], της ταχύτητας του νερού[u], της πτώσης πίεσης [mmΣΥ/m], σύμφωνα με τους πίνακες και τα διαγράμματα της εταιρίας για το STAGE III των αερόθερμων που αντιπροσωπεύει και την μέγιστη παροχή στο δίκτυο. Τα αποτελέσματα είναι τα ακόλουθα :

Πίνακας 18: Διαστασιολόγηση κλάδων

Δισωλήνιο (SATGE III)	Σωλήνα	L (m) Φ160	L (m) Φ110	L (m) Φ90	L (m) Φ75	L (m) Φ63	L (m) Φ50	L (m) Φ32
Κλάδος 1	AQUA-PLUS-FIBERGLASS SDR 7.4			26	32	34	22	0,2
Κλάδος 2	AQUA-PLUS-FIBERGLASS SDR 7.4			24	26	30	30	0,2
Κλάδος 3	AQUA-PLUS-FIBERGLASS SDR 7.4			50		4		0,2
Κεντρικός αγωγός	AQUA-PLUS-FIBERGLASS SDR 7.4	30	2		1			
Δισωλήνιο (SATGE III)	Σωλήνα	Q (L/s) Φ160	Q (L/s) Φ110	Q (L/s) Φ90	Q (L/s) Φ75	Q (L/s) Φ63	Q (L/s) Φ50	Q (L/s) Φ32
Κλάδος 1	AQUA-PLUS-FIBERGLASS SDR 7.4			1,91	1,43	0,96	0,48	0,48
Κλάδος 2	AQUA-PLUS-FIBERGLASS SDR 7.4			1,91	1,43	0,96	0,48	0,48
Κλάδος 3	AQUA-PLUS-FIBERGLASS SDR 7.4			1,91		0,96		0,48
Κεντρικός αγωγός	AQUA-PLUS-FIBERGLASS SDR 7.4	5,73	5,73		5,4			
Δισωλήνιο (SATGE III)	Σωλήνα	u (m/s) Φ160	u (m/s) Φ110	u (m/s) Φ90	u (m/s) Φ75	u (m/s) Φ63	u (m/s) Φ50	u (m/s) Φ32
Κλάδος 1	AQUA-PLUS-FIBERGLASS SDR 7.4			0,568	0,594	0,579	0,463	1,29
Κλάδος 2	AQUA-PLUS-FIBERGLASS SDR 7.4			0,569	0,594	0,579	0,463	1,29
Κλάδος 3	AQUA-PLUS-FIBERGLASS SDR 7.4			0,568		0,579		1,29
Κεντρικός αγωγός	AQUA-PLUS-FIBERGLASS SDR 7.4	0,54	1,145		2,24			
Δισωλήνιο (SATGE III)	Σωλήνα	mmHO2/m Φ160	mmHO2/m Φ110	mmHO2/m Φ90	mmHO2/m Φ75	mmHO2/m Φ63	mmHO2/m Φ50	mmHO2/m Φ32
Κλάδος 1	AQUA-PLUS-FIBERGLASS SDR 7.4			4,5	6	10	7	60
Κλάδος 2	AQUA-PLUS-FIBERGLASS SDR 7.4			4,5	6	10	7	60
Κλάδος 3	AQUA-PLUS-FIBERGLASS SDR 7.4			4,5		10		60
Κεντρικός αγωγός	AQUA-PLUS-FIBERGLASS SDR 7.4	5	16		80			

Δισωλήνιο (SATGE III)	Hf (m)	Hgeo (m)
Κλάδος 1	0,82	2,5
Κλάδος 2	0,79	2,5
Κλάδος 3	0,28	2,5
Κεντρικός αγωγός	0,26	

Ο κατασκευαστής προτείνει την τοποθέτηση των αερόθερμων σε απόσταση τουλάχιστον 2,5m από το έδαφος. Επομένως θα έχουμε Hgeo = 2.5m. Οι διάμετροι των σωλήνων επιλέχθηκαν τέτοιοι ώστε η ταχύτητα του νερού να μην υπερβαίνει τα 0,6 m/s. Θα υπάρξουν κάποια μικρά σε μήκος τμήματα σωλήνωσης Φ32 τα οποία θα ενώνουν τις σωλήνες των Φ50 με τις τερματικές μονάδες. Οι τερματικές μονάδες απαιτούν ρακόρ 3/4", οπότε θα γίνει χρήση σωλήνων Φ32 και η ταχύτητα θα φτάνει το 1,29 m/s με πτώση πίεσης 60 mmΣΥ/m, αλλά λόγω του πολύ μικρού μήκους τους δεν επηρεάζουν σημαντικά τη συνολική πτώση πίεσης του κλάδου. Στην είσοδο και στην έξοδο κάθε αερόθερμου θα υπάρχει μία βάνια διακοπής ροής. Ακόμη στον κεντρικό αγωγό η Γ/Θ απαιτεί ρακόρ σύνδεσης 2" με σωλήνα Φ75. Οπότε θα γίνει χρήση συστολών 160/90 & 90/75 και μικρών τμημάτων σωλήνωσης Φ110 και Φ75 για να φτάσουμε στην επιθυμητή διάμετρο. Στον κεντρικό αγωγό υπολογίζεται ότι θα υπάρχουν βάνες διακοπής ροής και φίλτρο τύπου Strainer όπως προβλέπει ο κατασκευαστής της Γ/Α.

Οι συνολικές απώλειες κάθε κλάδου υπολογίζονται ως το άθροισμα των γραμμικών απωλειών Hf, των τοπικών απωλειών Ht των υδραυλικών εξαρτημάτων και το γεωδαιτικό ύψος του κλάδου Hgeo.

Οι γραμμικές απώλειες Hf υπολογίστηκαν ως ακολούθως:

$$H_f = [L * \text{mm}\Sigma Y/m] / 1000 \text{ (m)}$$

Οι τοπικές απώλειες H_t των εξαρτημάτων υπολογίστηκαν ως ακολούθως:

$$\Sigma H_t = \Sigma (\zeta * u^2 / 2 * g) \text{ (m)}$$

Όπου $[\zeta]$ ο συντελεστής τοπικών απωλειών του κάθε εξαρτήματος σύμφωνα με την εταιρία. Θεωρούμε τους ακόλουθους αριθμούς γωνιών, συστολών, ταφ διακλάδωσης και μουφών και λοιπών εξαρτημάτων κάθε κλάδου όπως απεικονίζονται παρακάτω.

Πίνακας 19: Διαστασιολόγηση κλάδων

Τοπικές απώλειες	ζ	Κλαδος 1		Κλαδος 2		Κλαδος 3		Κεντρ. Αγ	
		Αρ.	Ht (i) (m)	Αρ.	Ht (i) (m)	Αρ.	Ht (i) (m)	Αρ.	Ht (i) (m)
STAGE III									
Γωνίες Φ160	0,9							6	0,080
Γωνίες Φ90	0,9	6	0,089	6	0,089	4	0,059		
Γωνίες Φ75	0,9			2	0,032				
Γωνίες Φ63	0,9	2	0,031						
Γωνίες Φ32	0,9	10	0,459	10	0,459	10	0,459		
Μούφες Φ90	0,25	2	0,008	2	0,007	2	0,007		
Μούφες Φ75	0,25	2	0,009	2	0,009				
Μούφες Φ63	0,25	4	0,017	4	0,015				
Μούφες Φ50	0,25	2	0,005	2	0,004				
Ταφ συστολικά 90/63/90	1,7	2	0,058	2	0,052	4	0,104		
Ταφ συστολικά 75/50/75	1,7	2	0,037	2	0,028				
Ταφ συστολικά 63/32/63	1,75	2	0,297	2	0,178				
Συστολές 160/110	0,55							2	0,056
Συστολές 110/75	0,55							2	0,350
Συστολές 90/63	0,55					4	0,038		
Συστολές 63/32	0,55	4	0,187	4	0,112	8	0,224		
Συστολές 50/32	0,5	4	0,170	4	0,102				
Ρακόρ Φ32	0,5	8	0,339	8	0,204	8	0,204		
Ρακόρ Φ160									
Βανα διακοπής Φ32	1	8	0,679	8	0,408	8	0,408		
Βανα διακοπής Φ160	1							6	0,089
Φίλτρο νερού Strainer	3							1	0,956
SUM Ht (m)			2,38		1,70		1,50		1,53

Πίνακας 20: Μανομετρικό κλάδων

Διαωληνιο	Hf (m)	Ht (m)	Hgeo (m)	ΔΡ Αερόθερμων (m)	ΔΡ Α/Γ (m)	H total (m)
Βρονχος 1	0,82	2,38	2,5	4,65		10,35
Βρονχος 2	0,79	1,7	2,5	4,65		9,64
Βρονχος 3	0,28	1,5	2,5	4,65		8,93
Κεντρικός αγωγός	0,26	1,53			1,57	3,36

Η διαστασιολόγηση του κυκλοφορητή θα γίνει βάση το μανομετρικό του δυσμενέστερου κλάδου και το μανομετρικό του κεντρικού αγωγού για το STAGE III των αερόθερμων. Δυσμενέστερος κλάδος είναι ο κλάδος 1.

Επομένως το μέγιστο μανομετρικό και η μέγιστη παροχή το κλαδου 1 θα είναι :

$$H_{\max} = 10,35 + 3,36 = 13,7 \text{ m.}$$

$$Q_{\max} = 20,63 \text{ m}^3/\text{h} \quad \text{ή} \quad 5,73 \text{ l/s}$$

Ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία για το STAGE I των αξονικών αερόθερμων και θερμοκρασία εισερχόμενου αέρα 25°C. Τα αποτελέσματα ήταν :

$$H_{p_{\min}} = 8,0 \text{ m.}$$

$$Q_{\min} = 13,09 \text{ m}^3/\text{h.}$$

Κατά την διάρκεια της νύχτας όπως προείπαμε, τα αξονικά αερόθερμα θα λειτουργούν μόνο στο STAGE I με θερμοκρασία εισερχόμενου αέρα 16°C και παροχή μεγαλύτερη του STAGE I των 25°C. Επομένως το ελάχιστο μανομετρικό του

συστήματος είναι το $H_{p_{min}} = 8m$. Είναι απαραίτητη η χρήση κυκλοφορητή τύπου INVERTER για αυξομείωση του θερμικού φορτίου των αξονικών αερόθερμων. Η περιοχή λειτουργίας του κυκλοφορητή θα είναι οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές παροχής και μανομετρικού που υπολογίστηκαν παραπάνω. Στο μέγιστο μανομετρικό των 13,7 m θα γίνει μια προσαύξηση 5% για τυχών υδραυλικά εξαρτήματα που δεν υπολογίστηκαν.

Επομένως το μέγιστο μανομετρικό θα πάρει την τιμή των $13,7 + 13,7 \cdot 0,05 = 14,4$ m

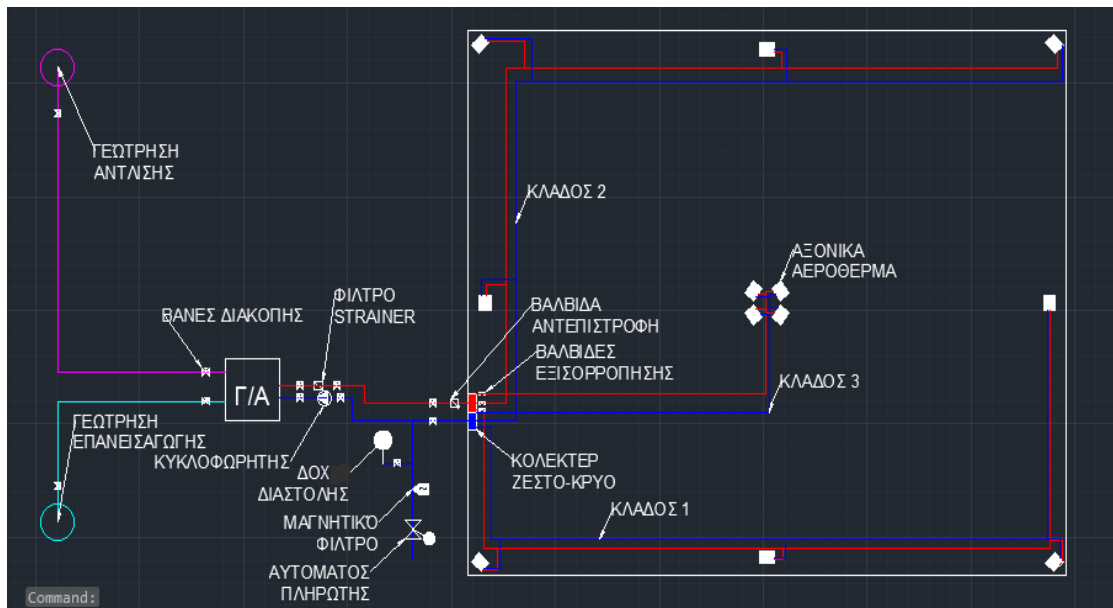
$$H_{p_{max}} = 14,4 \text{ m} , Q_{p_{max}} = 20.63 \text{ m}^3/\text{h}$$

Επιλέγουμε τον κυκλοφορητή της Wilo Stratos GIGA B 32/1-35/3,0 [36] με τα εξής χαρακτηριστικά (Παράρτημα Εικόνα 56,57), όπου το A1 ορίζει το μέγιστο σημείο λειτουργίας $H_{p_{max}} = 14.4 \text{ m}$, $Q_{p_{max}} = 20.63 \text{ m}^3/\text{h}$. Στο σημείο αυτό ο κυκλοφορητής θα δουλεύει με υδραυλικό βαθμό απόδοσης 73.7%. Το ελάχιστο σημείο λειτουργίας θα είναι $H_{p_{min}} = 8.0 \text{ m}$, $Q_{p_{min}} = 13.09 \text{ m}^3/\text{h}$ με υδραυλικό βαθμό απόδοσης 70%.

Τέλος πρέπει να γίνει εξισορρόπηση των κλάδων για την σωστή διανομή του νερού στα αξονικά αερόθερμα. Αυτό θα επιτευχθεί με την τοποθέτηση τριών βαλβίδων εξισορρόπησης στην αρχή του κάθε κλάδου αμέσως μετά τα κολλεκτερ. Λόγο του ότι η παροχή δεν θα είναι σταθερή αλλά θα αυξομειώνεται αναλόγως τις απαιτήσεις θα τοποθετηθούν αυτόματες – δυναμικές βαλβίδες εξισορρόπησης.

Η Γ/Α παράγει νερό 48°C για μέγιστη παροχή φορτίου 22,68 m³/h. Η μέγιστη παροχή του συγκεκριμένου συστήματος όπως υπολογίστηκε ανέρχεται στα 20,63 m³/h. Επομένως η θερμοκρασία εξαγωγής του νερού θα είναι αμείωτη και σταθερή για σταθερή παροχή και θερμοκρασία γεωθερμικού νερού.

Η διαστασιολόγηση του ανοιχτού συστήματος παροχής γεωθερμικού νερού χρειάζεται ακριβή στοιχεία της γεωμετρίας της γεώτρησης καθώς και το βάθος στο οποίο θα τοποθετηθεί η υποβρύχια αντλία. Το πάχος του υδροφόρου στρώματος παίζει σημαντικό ρόλο στο ύψος τοποθέτησης της αντλίας. Το κομμάτι λοιπών της διαστασιολόγησης του ανοιχτού συστήματος από τις γεωμετρικές διαστάσεις της γεώτρησης εισαγωγής και επαν-εισαγωγής μέχρι την σωλήνωση που θα οδηγή στην Γ/Α, προτείνεται γίνει σε συνεργασία με την εταιρία γεωτρήσεων.



Εικόνα 25: Σκαρίφημα δικτύου θέρμανσης με γεωθερμική αντλία θερμότητας και αξονικά αερόθερμα

Προφανώς εάν επιλεγεί υλικό επικάλυψης με $U=3 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ θα ακολουθηθεί η ίδια διαδικασία με λιγότερους κλάδους ή αερόθερμα μικρότερης ισχύος και μικρότερη γεωθερμική αντλία.

Γεωθερμική εγκατάσταση θέρμανσης με επιδαπέδιους σωλήνες και λέβητα ξύλου

Η θέρμανση με επιδαπέδιους σωλήνες πολυαιθυλενίου χρησιμοποιούνται ευρέως στην θέρμανση θερμοκηπίων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση θα γίνει χρήση του γεωθερμικού νερού των Γιάλτρων θερμοκρασίας 35°C , από την γεώτρηση, και θα ρέει σε αγωγούς- σωλήνες πολυαιθυλενίου διαμέτρου $\Phi 28 \text{ mm}$. Η θέρμανση επιτυγχάνεται με ακτινοβολία και συναγωγή της θερμότητας του σωλήνα με τον περιβάλλον του θερμοκηπίου. Τις ημέρες που η θερμικές απαιτήσεις θα ξεπερνούν την δυνατότητα θέρμανσης των επιδαπέδιων σωλήνων θα ενεργοποιείτε η συμπληρωματική θέρμανση με λέβητα ξύλων συνδεδεμένο με αξονικά αερόθερμα.



Εικόνα 26: Επιδαπέδιοι σωλήνες θέρμανσης PE [Πηγή: 37]

Έχει διευκρινιστεί ότι τα φυτά θα φυτευτούν με απόσταση 1m σειρά με σειρά. Επομένως αν το πλάτος του θερμοκηπίου είναι 30m, θα δημιουργηθούν 28 σειρές των 36m η κάθε μία. Σε κάθε σειρά θα υπάρχει ένας βρόγχος με εισαγωγή-επιστροφή με αποτέλεσμα να δημιουργούνται 28 βρόγχοι των 36m ο καθένας. Οι σωλήνες είναι μάρκας GEOPAL [37] και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους είναι στον επόμενο πίνακα και τα αντίστοιχα διαγράμματα σύμφωνα με τον κατασκευαστή (Παράρτημα Εικόνα 58,59).

Πίνακας 21: Τεχνικά χαρακτηριστικά δικτύου θέρμανσης επιδαπέδιων σωλήνων PE [Πηγή: 37]

ΣΥΣΤΗΜΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΜΕ ΕΠΙΔΑΠΕΔΙΟΥΣ ΣΩΛΗΝΕΣ		
Εξωτερική διάμετρος σωλήνων	28	mm
Πίεση λειτουργίας	2,5-6	bar
Μέγιστη θερμοκρασία. λειτουργίας	70	°C
Πάχος τοιχώματος	0,09	mm
Βάρος	123	gr/m
Εξωτερικό εμβαδόν	0,1314	m ² /m
Συσκευασία	100	m
Κλάδοι	28	
Μηκος κλάδου	72	m
Παροχή κλάδου	0,5	m ³ /h
Συνολική παροχή	14,0	m ³ /h
Πτώση πίεσης	10	mm ΣΥ/m
Συνολική πτώση πίεσης	20160	mm ΣΥ/m
Βάθος γεώτρησης	80	m
Μανομετρικό αντλίας	100	m
Μετάδοση θερμότητας	30	W/m
Συνολική μετάδοση θερμότητας	60480	W

Σύμφωνα με τον κατασκευαστή για νερό θερμοκρασίας 30°C η σωλήνα αποδίδει 30 W/m (Παράρτημα Εικόνα 58), και συνολικά όλο το σύστημα θα αποδώσει 60,5 KW θέρμανσης. Επιλέχθηκε παροχή 500 lt/h για να ελαχιστοποιήσουμε τις απώλειες τριβής και μείωση του συνολικού μανομετρικού. Θα γίνει χρήση υποβρύχιας αντλίας η οποία πρέπει να έχει μανομετρικό ίσο με το βάθος της γεώτρησης συν τις γραμμικές απώλειες της σωλήνωσης.

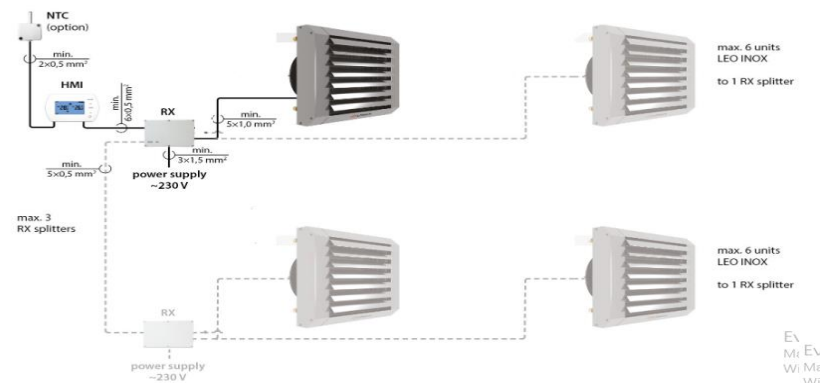
Ακολουθήθηκε η ίδια μέθοδος για τον προσδιορισμό των θερμικών απωλειών κάθε ημέρα της καλλιεργητική σεζόν. Το κύριο σύστημα θέρμανσης θα είναι το επιδαπέδιο. Εφόσον βάση προαναφερθέντος τύπου για υλικό κάλυψης με $U=6.3 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ η ισχύς του συστήματος θέρμανσης θα πρέπει αν είναι 188KW, τότε θα χρειαστεί ένα σύστημα λέβητα ξύλου 130KW μιας και τα 60,5 KW θα καλύπτονται από τη γεωθερμική ενέργεια. Αντίστοιχα στη περίπτωση όπου $U=3 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, η ισχύς του συστήματος θέρμανσης θα πρέπει αν είναι 100KW, τότε θα χρειαστεί ένα σύστημα λέβητα ξύλου 40KW. Η συνδεσμολογία του λέβητα με τα αξονικά αερόθερμα θα έχει την μορφή του συστήματος που παρουσιάστηκε στη περίπτωση της γεωθερμικής αντλίας. ο λέβητας ξύλου παρέχει υψηλότερες θερμοκρασίες στο

νερό με αποτέλεσμα την χρήση λιγότερων αξονικών αερόθερμων στο δίκτυο θέρμανσης.

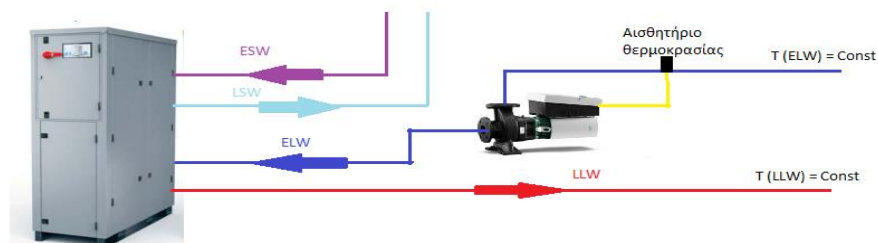
Αυτόματος έλεγχος κλίματος

Θέρμανση

Η πλειονότητα των αξονικών αερόθερμων συνοδεύονται από kit χειροκίνητου ή αυτόματου ελέγχου. Στη λειτουργία του αυτόματου ελέγχου τα αερόθερμα συνδέονται ηλεκτρικά με μία κεντρική μονάδα HMI και έναν αισθητήρα θερμοκρασίας. Ο αισθητήρας ανιχνεύει την πτώση ή την αύξηση της θερμοκρασίας και προσαρμόζει αυτόματα τις στροφές που θα δουλεύουν τα αερόθερμα. Στον χειροκίνητο έλεγχο η ρύθμιση των στροφών γίνεται απο τον επιβλέπον διαχειριστή του συστήματος. Ο αυτόματος και ο χειροκίνητος έλεγχος μπορεί να μεταβάλλει μόνο τις στροφές των αερόθερμων. Την μεταβολή της παροχής νερού την αναλαμβάνει ο inverter κυκλοφορητής ο οποίος θα είναι προγραμματισμένος να ελέγχει τη θερμοκρασία του νερού εισαγωγής ή επιστροφής με τη βοήθεια αισθητηρίου θερμοκρασίας νερού. Τα αερόθερμα έχουν υπολογιστεί να αποδίδουν συγκεκριμένη ισχύ για συγκεκριμένη τιμή θερμοκρασίας νερού εισόδου-εξόδου (48°C-40°C). Με την μεταβολή των στροφών η θερμοκρασία του νερού εισαγωγής, εξαγωγής θα διαφοροποιηθεί. Ο κυκλοφορητής θα μεταβάλει τις στροφές του προσπαθώντας να εξισορροπήσει το σύστημα στο σημείο σχεδιασμού.



Εικόνα 27: Αυτόματος έλεγχος αξονικών αερόθερμων, (<https://www.orfejas.com/>)



Εικόνα 28: Αυτόματος έλεγχος παροχής νερού στα αξονικά αερόθερμα

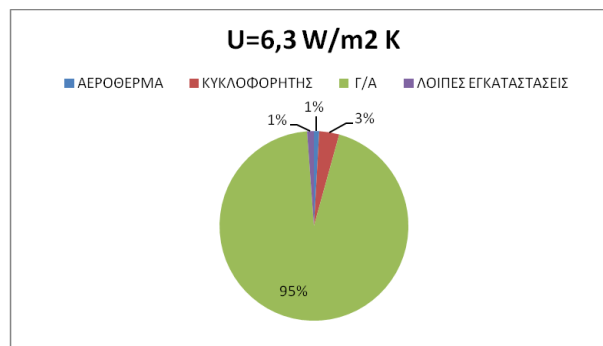
Αερισμός

Για τον αερισμό του θερμοκηπίου επιλέγεται το σύστημα του φυσικού αερισμού. Για θερμοκήπια με πλάτος άνω των 15m, το απαιτούμενο εμβαδόν των συνολικών ανοιγμάτων θα πρέπει να αντιπροσωπεύει το 25% της καλυπτόμενης επιφάνειας του εδάφους [28]. Στη συγκεκριμένη περίπτωση $S = 0.25 \cdot 1080 \text{ m}^2 = 270 \text{ m}^2$. Αυτή η απαιτούμενη επιφάνεια αντιπροσωπεύει την πραγματική επιφάνεια των ανοιγμάτων συνυπολογίζοντας την κλίση των παραθύρων στα οποία το άνοιγμα τους είναι περιορισμένο. Ακόμα ο ελάχιστος πλευρικός εξαερισμός θα πρέπει να αντιστοιχεί στο 2% του εμβαδού του θερμοκηπίου, ενώ ο εξαερισμός της οροφής αντιστοιχεί στο 20%. Τα ποσοστά αυτά θα αυξάνονται μέχρι να επιτευχθεί το ποσοστό του 25% ήτοι 270 m^2 . Επομένως θα έχουμε πλευρικό αερισμό 5% που αντιστοιχεί σε 54 m^2 , και αερισμό οροφής 20% που αντιστοιχεί σε 216 m^2 .

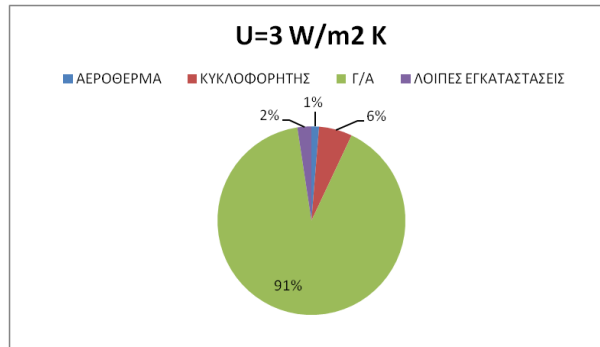
Ηλεκτρικές και θερμικές καταναλώσεις

Γεωθερμική αντλία και φωτοβολταϊκά

Η συγκεκριμένη εφαρμογή θερμοκηπίου με εκμετάλλευση γεωθερμίας, χαρακτηρίζεται από πολύ υψηλές απαιτήσεις ενεργειακής κατανάλωσης ηλεκτρισμού με το μεγαλύτερο ποσοστό κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας να έχει η αντλία θερμότητας. Τα επίπεδα κατανάλωσης θα ήταν πολύ πιο χαμηλά εάν γινόταν εκμετάλλευση γεωθερμίας με κάποιο σύστημα τηλεθέρμανσης και υψηλότερης θερμοκρασίας γλιτώνοντας έτσι την υψηλή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας της αντλίας θερμότητας. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή όπου η θερμοκρασία του γεωθερμικού νερού είναι χαμηλή, θα διερευνηθεί η αποδοτικότητα της επένδυσης του θερμοκηπίου σε συνδυασμό με φωτοβολταϊκή μονάδα για την μερική κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Οι υπολογισμοί θα γίνουν για υλικό επικάλυψης με $U=6.3 \text{ W/m}^2\text{K}$ (μονό φύλλο PE) και $U=3 \text{ W/m}^2\text{K}$ για τη περίπτωση επικάλυψης με διπλό φύλλο PE πολυαιθυλενίου και θερμοκουρτίνα τα οποία εξοικονομούν θεωρητικά έως και 40% τις απαιτήσεις θέρμανσης, άρα και ηλεκτρικής κατανάλωσης. Η κατανομή της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας H/E, στα κυριότερα συστήματα του θερμοκηπίου παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα.



Εικόνα 29: Κατανομή ηλεκτρικής κατανάλωσης



Εικόνα 30: Κατανομή ηλεκτρικής κατανάλωσης

Στα κυριότερα στοιχεία κατανάλωσης Η/Ε επιλέχθηκαν τα στοιχεία τα οποία θα λειτουργούν της περισσότερες ώρες της σεζόν καλλιέργειας τα οποία είναι η αντλία θερμότητας που καταναλώνει το 86% της συνολικής ετήσιας Η/Ε, ενώ η κατανάλωση των υπόλοιπων στοιχείων είναι σχεδόν αμελητέα.

Για τον υπολογισμό της καταναλισκόμενης Η/Ε προσεγγιστικά έγινε χρήση δεδομένων του πλησιέστερου μετεωρολογικού σταθμού [31], χρησιμοποιώντας την μέση θερμοκρασία ημέρας για όλη την καλλιεργητική σεζόν. Με τον ακόλουθο τύπο υπολογίστηκε η θερμική απαίτηση για θέρμανση του χώρου. Εφόσον χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες τιμές θερμοκρασίας της ημέρας θα γίνει χρήση και της μέσης θερμοκρασίας για το εσωτερικό του θερμοκηπίου. Όπως έχει προαναφερθεί επιθυμητή θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου κατά την διάρκεια της ημέρας είναι 25° ενώ για το βράδυ 16°. Οπότε η μέση θερμοκρασία θα είναι 20,5°.

$$Q = (U \cdot A \cdot DT + 0.36 \cdot V \cdot n \cdot DT \cdot 1.20)$$

Όπου :

- Q : Η απαιτούμενη ισχύς θερμαντικών σωμάτων σε Watt
- U : Ο ολικός συντελεστής θερμοπερατότητας σε W/m²C
- A : Η ολική επιφάνεια του καλύμματος σε m²
- DT : Η διαφορά θερμοκρασίας μέσα-έξω σε °C . Ως εσωτερική θερμοκρασία, λαμβάνεται η μέση εσωτερική θερμοκρασία και ως εξωτερική θερμοκρασία λαμβάνεται η μέση εξωτερική θερμοκρασία
- V : Ο όγκος του θερμοκηπίου σε m³
- n : Οι εναλλαγές αέρα ανά ώρα με κλειστά παράθυρα

Στη συνέχεια υπολογίστηκαν τα ηλιακά κέρδη κάθε μήνα ξεχωριστά τα οποία συνεισφέρουν σημαντικά στην θέρμανση του θερμοκηπίου. Για τον υπολογισμό τους έγινε χρήση της τεχνικής οδηγίας Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-3/2010 [38], Παράρτημα Β, Μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένες επιφάνειες με νότιο και τυχαίο προσανατολισμό για ελληνικές περιοχές. Ακόμα για ακριβέστερο υπολογισμό της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο 22 μοιρών που είναι η οροφή στο συγκεκριμένο θερμοκήπιο έγινε χρήση του λογισμικού RETSCREEN. Έπειτα οι τιμές πολλαπλασιάστηκαν με το εμβαδόν της κάθε επιφάνειας. Θεωρήθηκε ακόμα ότι η επικάλυψη του υλικού επικάλυψης έχει διαπερατότητα 87% και ότι από την ολική ηλιακή ενέργεια που διαπερνά το κάλυμμα του θερμοκηπίου μόνο το 30% μετατρέπεται σε αισθητή θερμότητα δηλαδή ηλιακό κέρδος. Τα μηνιαία

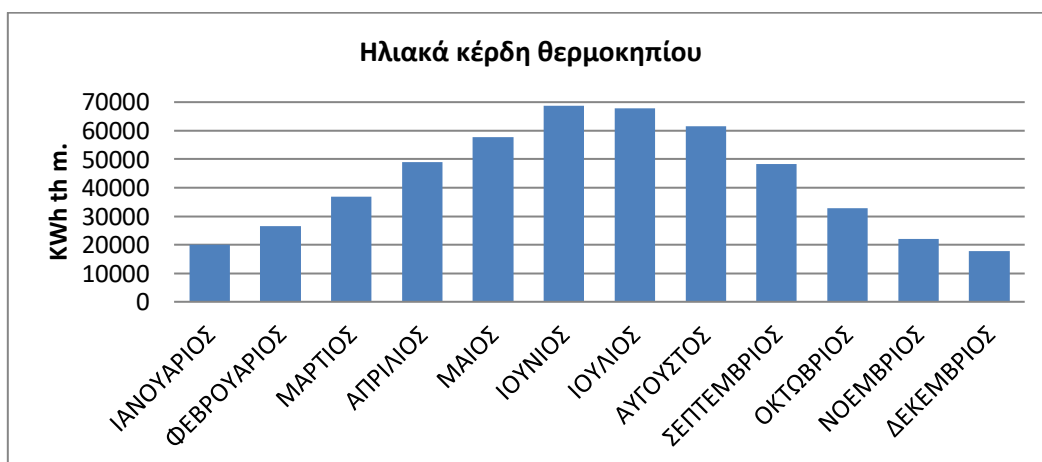
ηλιακά κέρδη διαιρέθηκαν με τις ώρες ηλιοφάνειας κάθε μήνα για να υπολογιστεί το μέσο ημερήσιο ηλιακό φορτίο (KW/day) κάθε ημέρας του μήνα όπως απεικονίζεται στον πίνακα. Αναγκαστικά θεωρήθηκε ότι οι ημέρες κάθε μήνα θα έχουν το ίδιο ηλιακό φορτίο. Το ημερήσιο αυτό ηλιακή ισχύς θα αφαιρεθεί από τις θερμικές απώλειες κάθε ημέρας.

Πίνακας 22: Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στις επιφάνειες του θερμοκηπίου

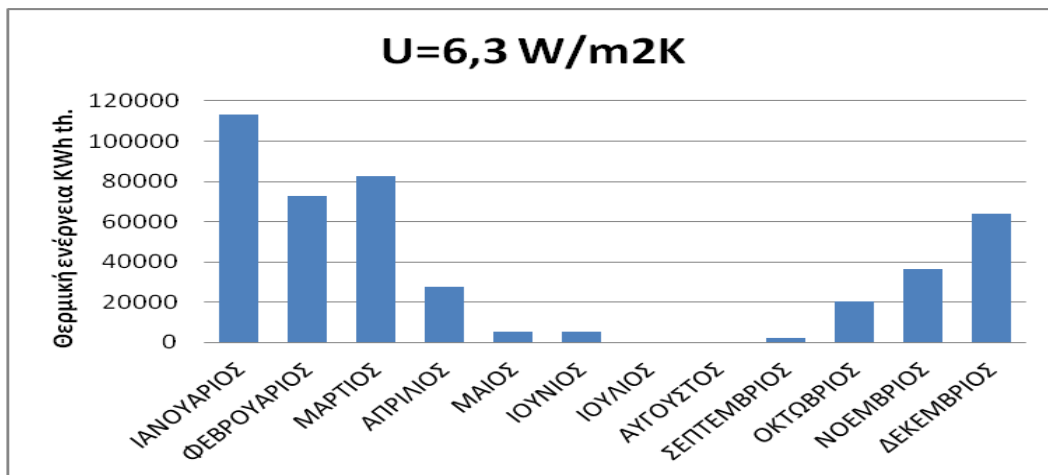
	Ηλιακή ακτινοβολία KWh/m ² m.						Εμβαδον m ²					
	B 90	N 90	A 90	Δ 90	N 22	B 22	B90	N90	A90	Δ90	B22	N22
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	18	92	41	41	73	33	90	90	105	105	540	540
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	23	82	45	45	100	53	90	90	105	105	540	540
ΜΑΡΤΙΟΣ	36	94	69	69	127	86	90	90	105	105	540	540
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	50	89	90	90	160	129	90	90	105	105	540	540
ΜΑΙΟΣ	68	87	107	107	178	164	90	90	105	105	540	540
ΙΟΥΝΙΟΣ	77	86	117	117	211	204	90	90	105	105	540	540
ΙΟΥΛΙΟΣ	76	91	120	120	209	197	90	90	105	105	540	540
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	62	101	114	114	198	166	90	90	105	105	540	540
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	42	107	87	87	168	116	90	90	105	105	540	540
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	29	105	61	61	119	68	90	90	105	105	540	540
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	19	97	45	45	82	37	90	90	105	105	540	540
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	16	90	38	38	66	28	90	90	105	105	540	540

Πίνακας 23: Ηλιακά κέρδη θερμοκηπίου

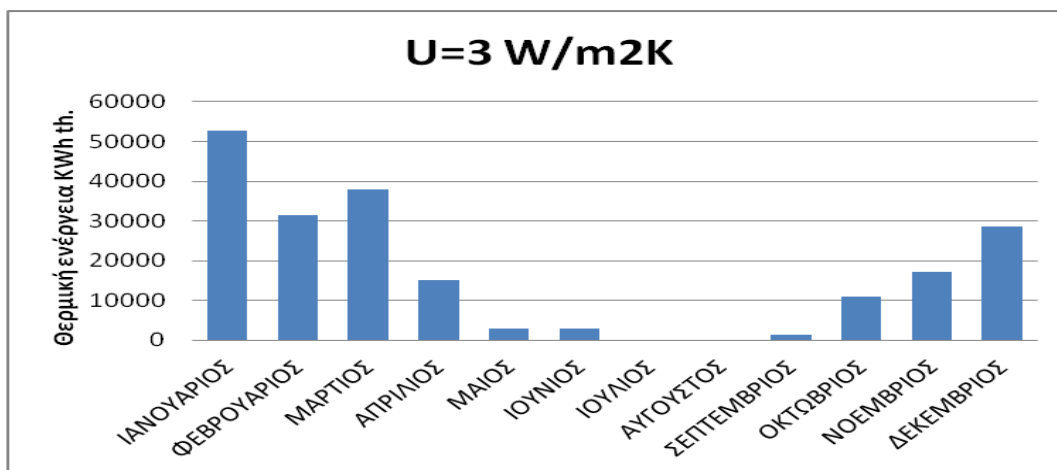
Ηλιακά κερδη	KWh th	KW day
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	19905	64
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	26560	86
ΜΑΡΤΙΟΣ	36895	119
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	48918	158
ΜΑΙΟΣ	57697	186
ΙΟΥΝΙΟΣ	68788	222
ΙΟΥΛΙΟΣ	67823	219
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	61502	198
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	48290	156
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	32750	106
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	22056	71
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	17855	58



Εικόνα 31: Ηλιακά κέρδη θερμοκηπίου

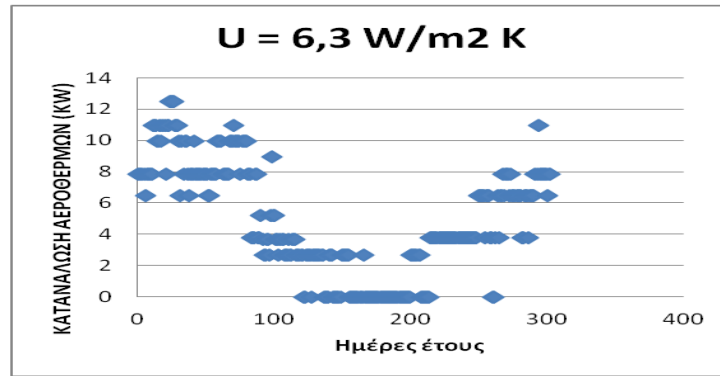


Εικόνα 32: Θερμικές ανάγκες θερμοκηπίου

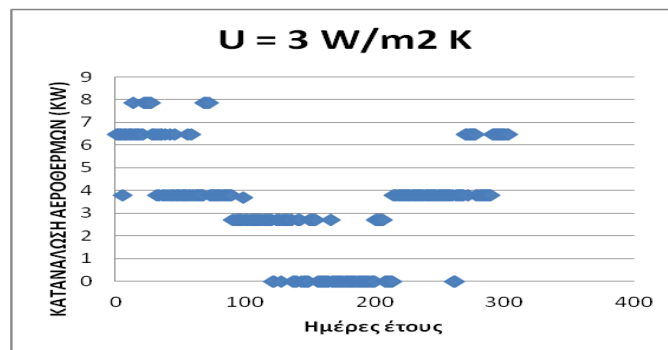


Εικόνα 33: Θερμικές ανάγκες θερμοκηπίου

Για τον ακριβέστερο υπολογισμό της ηλεκτρικής κατανάλωσης των αξονικών αερόθερμων υπολογίστηκαν και τα τρία διαφορετικά στάδια λειτουργίας τους (STAGE III,II,I) ανάλογα με τις θερμικές απαιτήσεις. Η κατανάλωση ενέργειας των αξονικών αερόθερμων για δεδομένη παροχή και θερμοκρασία νερού, εξαρτάτε από την επιθυμητή θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου και τις θερμικές απαιτήσεις θέρμανσης. Αυτοματοποιώντας το σύστημα θέρμανσης να μεταβάλλεται αναλόγως τις απαιτήσεις επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας. Οι ηλεκτρικές καταναλώσεις απεικονίζονται παρακάτω για δύο υλικά επικάλυψης.



Εικόνα 34: Κατανομή ετήσιας ηλεκτρικής κατανάλωσης αξονικών αερόθερμων



Εικόνα 35: Κατανομή ετήσιας ηλεκτρικής κατανάλωσης αξονικών αερόθερμων

Για τον υπολογισμό της κατανάλωσης της Γ/Α έγινε χρήση του εποχιακού συντέλεση απόδοσης SCOP ο οποίος αντιπροσωπεύει μόνο τη λειτουργία της θέρμανσης και είναι ίσος με τον λόγο της συνολικής καταναλισκόμενης θερμικής ενέργειας προς την αναρροφούμενη ενέργεια από τον συμπιεστή της Γ/Α. Σύμφωνα με την TOTEE-20701-1-2017 [39], για αντλίες θερμότητας με θερμαινόμενο μέσο το νερό ο SCOP υπολογίζεται ως εξής:

$$SCOP = 2.75 * (\eta_{s 55^\circ} + 3\%)$$

Για την συγκεκριμένη εφαρμογή η ενεργειακή απόδοση θέρμανσης χώρου $\eta_{s 55^\circ}$, για νερό 44° θα ληφθεί ίση με 130%. Επομένως ο SCOP θα είναι ίσος με 3,54.

Επομένως με αυτόν τον τρόπο προσδιορίστηκαν οι ακόλουθες ηλεκτρικές καταναλώσεις της Γ/Α, των αξονικών αερόθερμων, του κυκλοφορητή. Επιπλέον προστέθηκαν αυθαίρετα κάποιες καταναλώσεις για λοιπές εγκαταστάσεις για τις οποίες δεν υπάρχουν στοιχεία λειτουργίας ή λειτουργούν για πολύ μικρό χρονικό διάστημα και δεν επηρεάζουν τη συνολική κατανάλωση, πχ μοτέρ ανοίγματος παραθύρων, μοτέρ θερμοκουρτίνας κλπ.

Πίνακας 24: Μηνιαίες ηλεκτρικές καταναλώσεις

U = 6,3 W/m ² K	ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ (KWh m.)	ΑΛΩΣΗ Η/Ε (KWh m.)				
ΜΗΝΑΣ		ΑΕΡΟΘΕΡΜΑ	ΚΥΚΛΟΦΟΡΗΤΗΣ	Γ/Α	ΛΟΙΠΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ	ΣΥΝΟΛΟ
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	113221	304	893	31978	150	33324
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	72976	226	806	20611	150	21793
ΜΑΡΤΙΟΣ	82613	256	833	23333	150	24572
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	27816	109	377	7856	150	8492
ΜΑΙΟΣ	5122	49	216	1447	150	1861
ΙΟΥΝΙΟΣ	5122	14	60	1447	150	1670
ΙΟΥΛΙΟΣ	0	0	0	0	0	0
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	0	0	0	0	0	0
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	2254	19	84	637	150	890
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	20286	106	470	5730	150	6456
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	36403	155	662	10281	150	11249
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	64127	213	857	18112	150	19331
SUM (KWh an.)	429941	1145	4366	121431	1500	129638

Πίνακας 25: Μηνιαίες ηλεκτρικές καταναλώσεις

U = 3 W/m ² K	ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ (KWh m.)	ΑΛΩΣΗ Η/Ε (KWh m.)				
ΜΗΝΑΣ		ΑΕΡΟΘΕΡΜΑ	ΚΥΚΛΟΦΟΡΗΤΗΣ	Γ/Α	ΛΟΙΠΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ	ΣΥΝΟΛΟ
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	52798	209	881	14912	150	16152
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	31445	127	566	8881	150	9725
ΜΑΡΤΙΟΣ	37958	134	569	10721	150	11573
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	15055	82	360	4252	150	4844
ΜΑΙΟΣ	2790	49	216	788	150	1203
ΙΟΥΝΙΟΣ	2790	14	60	788	150	1012
ΙΟΥΛΙΟΣ	0	0	0	0	0	0
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	0	0	0	0	0	0
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	1228	19	84	347	150	600
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	11050	106	470	3121	150	3847
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	17184	111	494	4853	150	5609
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	28527	168	749	8057	150	9124
SUM (KWh an.)	200824	810	3569	56720	1500	63689

Για $U=6.3 \text{ W/m}^2\text{K}$ οι καταναλώσεις ετησίως είναι κοντά στις 129.638 KWh, το οποίο αντιστοιχεί σε 19.445€ ετησίως ηλεκτρικό ρεύμα με τιμή 0,15€/KWh από τον πάρωρο Η/Ε, ενώ για $U=3 \text{ W/m}^2\text{K}$ ανέρχονται στις 63.689 KWh που αντιστοιχεί σε 9.553€. και στις δύο περιπτώσεις το κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας είναι πολύ υψηλό και ασύμφορο για τον αγρότη-επενδυτή.

Για τον λόγο είναι αναγκαία η εγκατάσταση φωτοβολταϊκής μονάδας για την κάλυψη μερικών αναγκών ηλεκτρικής ενέργειας. Παρακάτω θα διερευνηθεί η βέλτιστη κλίση των Φ/Β για τη συγκεκριμένη περιοχή και το ποσοστό συνεισφοράς των Φ/Β στη μηνιαία κατανάλωση, καθώς και τη διερεύνηση του ενδεχόμενου εξολοκλήρου πώλησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά για την επίτευξη του μέγιστου ετήσιου κέρδους.

Για τους υπολογισμούς επιλέχθηκαν Φ/Β με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά [40].

Πίνακας 26: Τεχνικά χαρακτηριστικά Φ/Β πάνελ [Πηγή: 40]

Τύπος Φ/Β	Μάρκα	Μοντέλο	W _{pi} (Watt)	Απόδοση (%)	A _i (m ²)
Μονοκρυσταλικό	SHARP	NU-JD550	412,5	20	2,583

Θα επιλεγθεί ένα Φ/Β σύστημα περίπου 150 KW. Επομένως θα γίνει χρήση 364 φωτοβολταϊκών πάνελ, και συνολικής επιφάνειας 940 m².

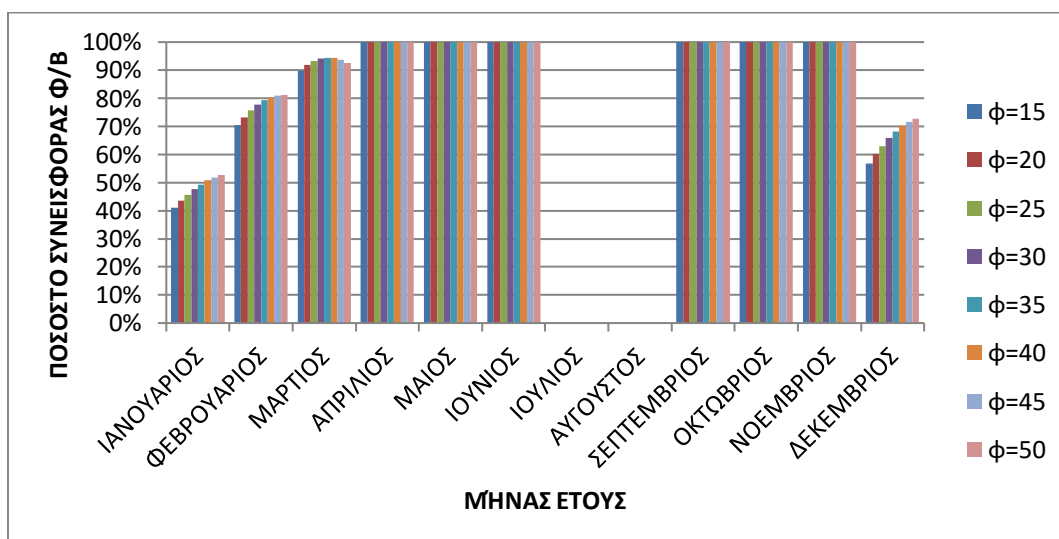
Για τον υπολογισμό της ηλιακής ενέργειας στο κεκλιμένο επίπεδο έγινε χρήση του λογισμικού RETScreen. Σύμφωνα με την TOTEE-20701-3, μπορούν να χρησιμοποιηθούν κλιματολογικά δεδομένα από άλλες πόλεις της Ελλάδος με την προϋπόθεση να βρίσκονται σε κοντινό γεωγραφικό πλάτος. Έτσι επιλέχθηκαν κλιματολογικά δεδομένα της Λαμίας. Για διάφορες κλίσεις Φ/Β η προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια για κάθε μήνα φαίνεται παρακάτω.

Πίνακας 27: Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στο κεκλιμένο επίπεδο

ΚΛΙΣΗ Φ/Β	ΠΡΟΣΠΙΠΤΟΥΣΑ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΟ ΚΕΚΛΙΜΕΝΟ ΕΠΙΠΕΔΟ (KWh/m ² d.)							
	15	20	25	30	35	40	45	50
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	2,47	2,62	2,75	2,87	2,97	3,06	3,12	3,17
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	3,07	3,19	3,3	3,39	3,46	3,5	3,53	3,54
ΜΑΡΤΙΟΣ	3,99	4,08	4,14	4,18	4,19	4,19	4,16	4,11
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	5,12	5,15	5,14	5,11	5,05	4,97	4,86	4,72
ΜΑΙΟΣ	5,82	5,77	5,7	5,6	5,417	5,31	5,12	4,91
ΙΟΥΝΙΟΣ	6,98	6,87	6,73	6,57	6,37	6,14	5,87	5,58
ΙΟΥΛΙΟΣ	6,89	6,79	6,69	6,54	6,36	6,15	5,9	5,62
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	6,4	6,4	6,37	6,3	6,2	6,06	5,89	5,69
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	5,28	5,38	5,44	5,47	5,47	5,44	5,38	5,28
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	3,66	3,78	3,89	3,97	4,03	4,07	4,08	4,07
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	2,48	2,61	2,73	2,83	2,91	2,98	3,03	3,06
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	1,98	2,1	2,2	2,3	2,38	2,45	2,5	2,54

Είναι γνωστό ότι οι χειμερινοί μήνες ευνοούνται από τις υψηλές κλίσεις, οι καλοκαιρινοί μήνες από μικρές κλίσεις ενώ για ετήσια λειτουργία είναι προτιμότερες οι μεσαίες κλίσεις. Αυτό όμως δεν είναι αρκετό για τον προσδιορισμό της βέλτιστης κλίσης.

Δοκιμάζοντας διάφορες κλίσεις διαπιστώθηκε ότι η μέγιστη συνεισφορά των Φ/Β στην ηλεκτρική κατανάλωση στους χειμερινούς μήνες είναι η κλίση των 50°, ενώ για τους μήνες της άνοιξης και του φθινοπώρου η συνεισφορά τους είναι ίδια ανεξαρτήτως της κλίσης τους λόγω του ότι η ηλεκτρική κατανάλωση αυτούς τους μήνες είναι μειωμένη για επικάλυψη με $U = 6.3 \text{ W/m}^2\text{K}$.



Εικόνα 36: Ποσοστό συνεισφοράς Φ/Β στο σύστημα θέρμανσης σε διάφορες κλίσεις

Τους μήνες που η συνεισφορά των Φ/Β είναι μικρότερη από 100%, η ενέργεια θα καλύπτεται από τον πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ τους μήνες που η συνεισφορά των Φ/Β καλύπτει πλήρως τις καταναλώσεις του θερμοκηπίου η

πλεονάζουσα ενέργεια θα πωλείται. Έτσι για υλικό επικάλυψης του θερμοκηπίου με $U=6.3 \text{ W/m}^2\text{K}$, έχουμε τις ακόλουθες περιπτώσεις :

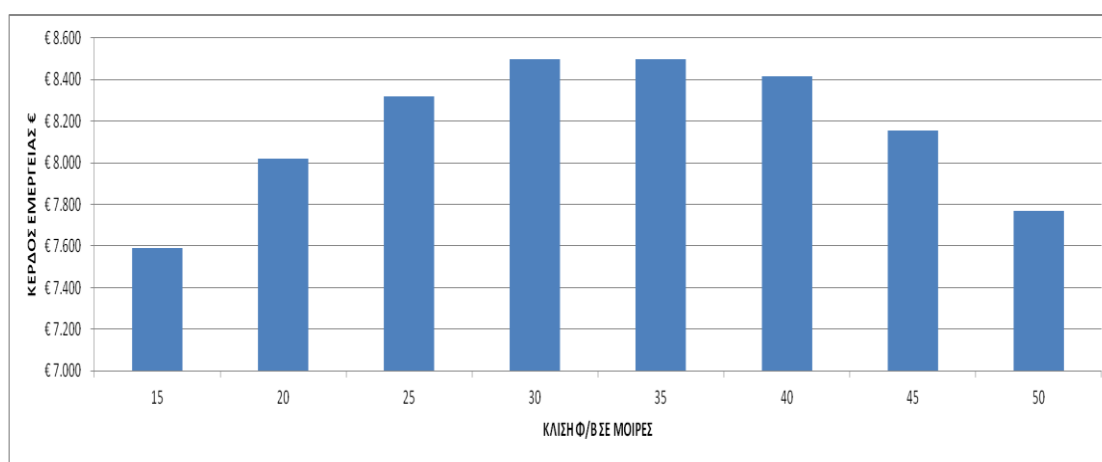
Πίνακας 28: Κέρδη ηλεκτρικής ενέργειας σε διάφορες κλίσεις Φ/Β

ΚΛΙΣΗ Φ/Β	15	20	25	30	35	40	45	50
ΕΣΟΔΑ Φ/Β	€ 13.126	€ 13.167	€ 13.145	€ 13.038	€ 12.830	€ 12.586	€ 12.234	€ 11.808
ΚΟΣΤΟΣ ΞΕΤΡΑ Η/Ε	€ 5.538	€ 5.149	€ 4.825	€ 4.542	€ 4.331	€ 4.168	€ 4.079	€ 4.039
ΚΕΡΔΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	€ 7.588	€ 8.018	€ 8.320	€ 8.496	€ 8.499	€ 8.418	€ 8.155	€ 7.769

Για τον υπολογισμό των ετήσιων κερδών υπολογίστηκαν τα έσοδα από την πώληση της περισσευούμενης ηλεκτρικής ενέργειας και αφαιρέθηκε το κόστος της έξτρα ηλεκτρικής ενέργειας από τον πάροχο Η/Ε. Επιλέχθηκε τιμή πώλησης Η/Ε 0,065 €/KWh, ενώ τιμή αγοράς Η/Ε από τον πάροχο 0,15 €/KWh.

Παρατηρούμε ότι τα Φ/Β με κλίση 35 μοίρες μας αποδίδουν το μέγιστο ετήσιο κέρδος ηλεκτρικής ενέργειας ίσο με 8.499 €. Επομένως αν και η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια των Φ/Β με κλίση 50° συνεισφέρει στο μεγαλύτερο ποσοστό της ηλεκτρικής κατανάλωσης του θερμοκηπίου, η κλίση αυτή μειονεκτεί στην συνολική ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια με απότοκο μειωμένα ετήσια έσοδα από την πώληση ρεύματος. Αντίθετα η κλίση των 30 μοιρών αποφέρει μέγιστα κέρδη ενέργειας και μέγιστη ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Η συνεισφορά της στη συνολική ηλεκτρική κατανάλωση του θερμοκηπίου είναι ελαφρός μικρότερη.

Πίνακας 29: Κέρδη ηλεκτρικής ενέργειας σε διάφορες κλίσεις Φ/Β



Επιλέγεται κλίση Φ/Β 35°. Η κατανομή των καταναλώσεων και της παραγωγής των Φ/Β για τον εκάστοτε μήνα του έτους φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα. Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στο κεκλιμένο επίπεδο πολλαπλασιάστηκε με το εμβαδόν των Φ/Β, με την απόδοση των Φ/Β $\eta_p=20\%$, και με την απόδοση του μετατροπέα Inverter $\eta_{inv}=98\%$.

Πίνακας 30: Μηνιαία παραγωγή Φ/Β

Κλίση [35]	ΜΗΝΑΣ	Ημερες	Στο κεκλιμένο επίπεδο		
			KWh/m2.d	KWh/m2.m	KWh m.
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	31	2,97	92	86574	
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	28	3,46	97	91097	
ΜΑΡΤΙΟΣ	31	4,19	130	122136	
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	30	5,05	152	142456	
ΜΑΙΟΣ	31	5,417	168	157902	
ΙΟΥΝΙΟΣ	30	6,37	191	179692	
ΙΟΥΛΙΟΣ	31	6,36	197	185390	
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	31	6,2	192	180726	
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	30	5,47	164	154304	
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	31	4,03	125	117472	
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	30	2,91	87	82089	
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	31	2,38	74	69376	
SUM (KWh an.)				1569214	

Πίνακας 31: Μηνιαίες καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας U=6.3 W/m²K

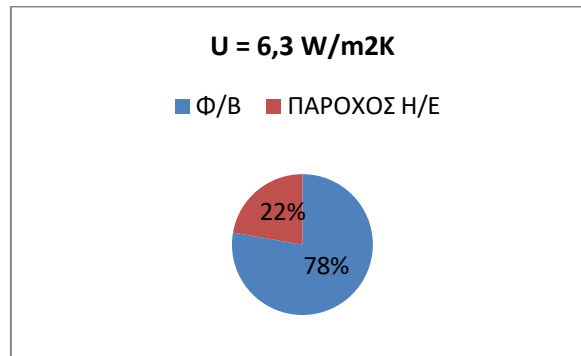
Κλίση [35]	Παραγωγή	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	ΠΕΡΙΣΣΕΙΑ-ΕΛΛΕΙΜΜΑ KWh.m	Καταν. θερμ. KWh m.	Καταν. θερμ. KWh m.	ΈΣΟΔΑ Φ/Β	ΚΟΣΤΟΣ ΕΣΤΡΑ Η/Ε
ΜΗΝΑΣ	KWh m.	KWh m.	KWh m.	Από Π.Η.Ε.	Από Φ/Β		
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	16449	33324	-16875	16875	16449	€ -	€ 2.531
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	17308	21793	-4485	4485	17308	€ -	€ 673
ΜΑΡΤΙΟΣ	23206	24572	-1366	1366	23206	€ -	€ 205
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	27067	8492	18574	0	8492	€ 1.207	€ -
ΜΑΙΟΣ	30001	1861	28140	0	1861	€ 1.829	€ -
ΙΟΥΝΙΟΣ	34141	1670	32471	0	1670	€ 2.111	€ -
ΙΟΥΛΙΟΣ	35224	0	35224	0	0	€ 2.290	€ -
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	34338	0	34338	0	0	€ 2.232	€ -
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	29318	890	28428	0	890	€ 1.848	€ -
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	22320	6456	15864	0	6456	€ 1.031	€ -
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	15597	11249	4348	0	11249	€ 283	€ -
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	13181	19331	-6150	6150	13181	€ -	€ 922
SUM	298151	129638		28876	100762	€ 12.830	€ 4.331

Πίνακας 32: Μηνιαίες καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας U=3 W/m²K

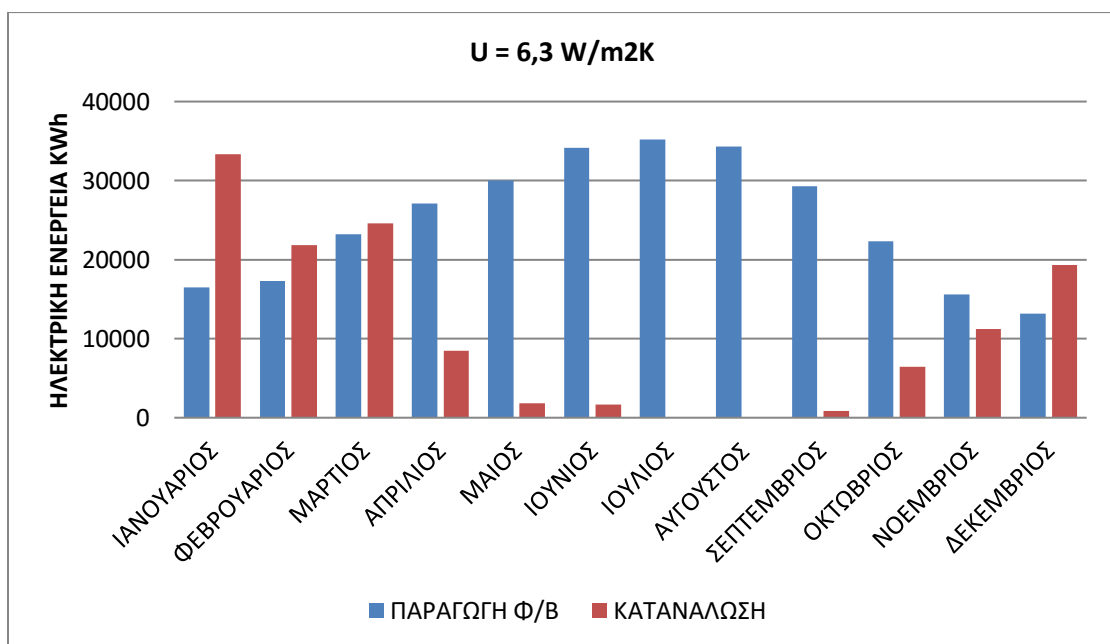
Κλίση [35]	Παραγωγή	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	ΠΕΡΙΣΣΕΙΑ-ΕΛΛΕΙΜΜΑ KWh.m	KWh m.	KWh m.	ΈΣΟΔΑ Φ/Β	ΚΟΣΤΟΣ ΕΣΤΡΑ Η/Ε
ΜΗΝΑΣ	KWh m.	KWh m.	KWh m.	Από Π.Η.Ε.	Από Φ/Β		
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	16449	16152	297	0	16152	19€	0€
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	17308	9725	7583	0	9725	493€	0€
ΜΑΡΤΙΟΣ	23206	11573	11633	0	11573	756€	0€
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	27067	4844	22222	0	4844	1.444€	0€
ΜΑΙΟΣ	30001	1203	28799	0	1203	1.872€	0€
ΙΟΥΝΙΟΣ	34141	1012	33130	0	1012	2.153€	0€
ΙΟΥΛΙΟΣ	35224	0	35224	0	0	2.290€	0€
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	34338	0	34338	0	0	2.232€	0€
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	29318	600	28718	0	600	1.867€	0€
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	22320	3847	18473	0	3847	1.201€	0€
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	15597	5609	9988	0	5609	649€	0€
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	13181	9124	4057	0	9124	264€	0€
SUM	298151	63689		0	63689	15.240€	0€

Επομένως με τη συγκεκριμένη εγκατάσταση Φ/Β και υλικού επικάλυψης με U=6.3 W/m²K, καλύπτονται οι ετήσιες καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας του θερμοκηπίου σε ποσοστό 78% ενώ το υπόλοιπο 22% από τον πάροχο ηλεκτρισμού. Τα ετήσια ακαθάριστα έσοδα από την πώληση Η/Ε των ανέρχονται στα 12.830€, τα ετήσια κόστη Η/Ε προς τον πάροχο ηλεκτρισμού είναι 4.331€.

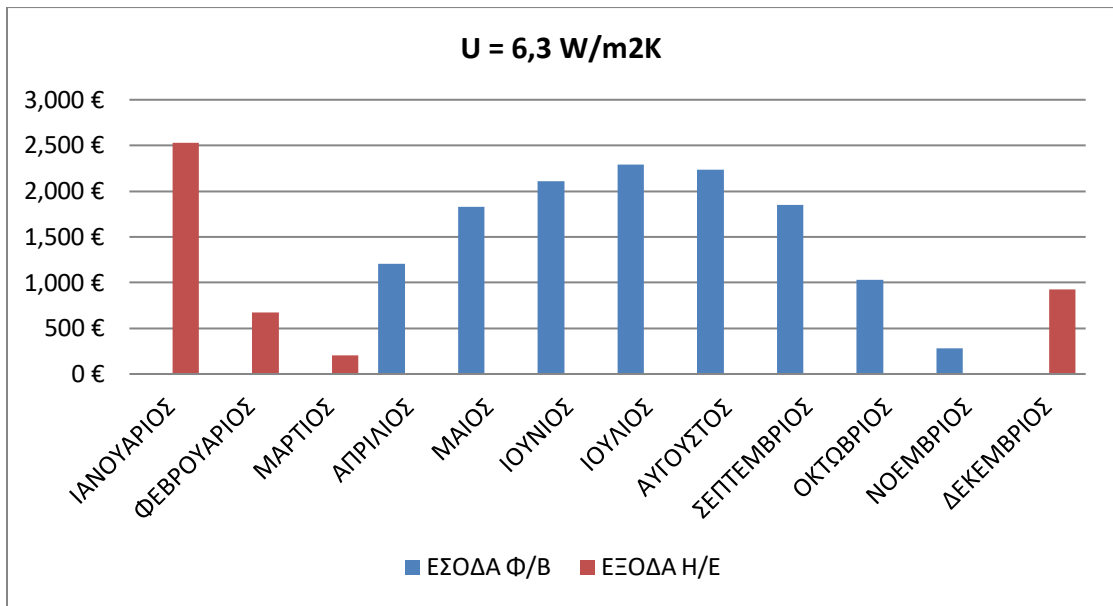
Για υλικό επικάλυψης με $U=3 \text{ W/m}^2\text{K}$, καλύπτονται οι ετήσιες καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας του θερμοκηπίου σε ποσοστό 100%, τα ετήσια έσοδα από την πώληση Η/Ε των ανέρχονται στα 15.240€, τα ετήσια κόστη Η/Ε προς τον πάροχο ηλεκτρισμού είναι μηδενικά.



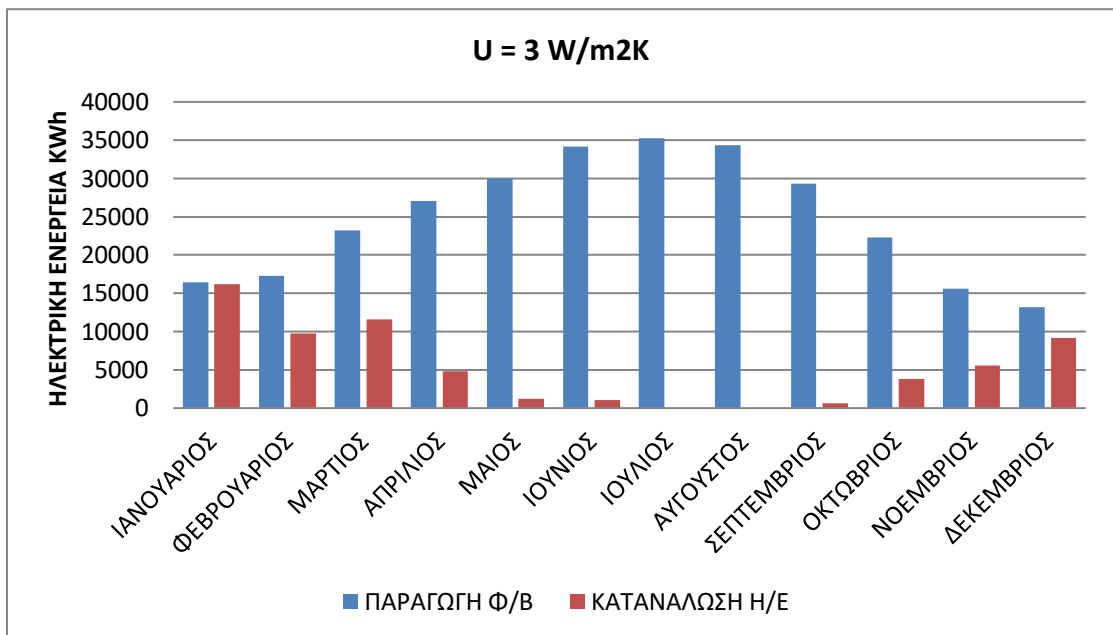
Εικόνα 37: Συνεισφορά Φ/Β στις καταναλώσεις



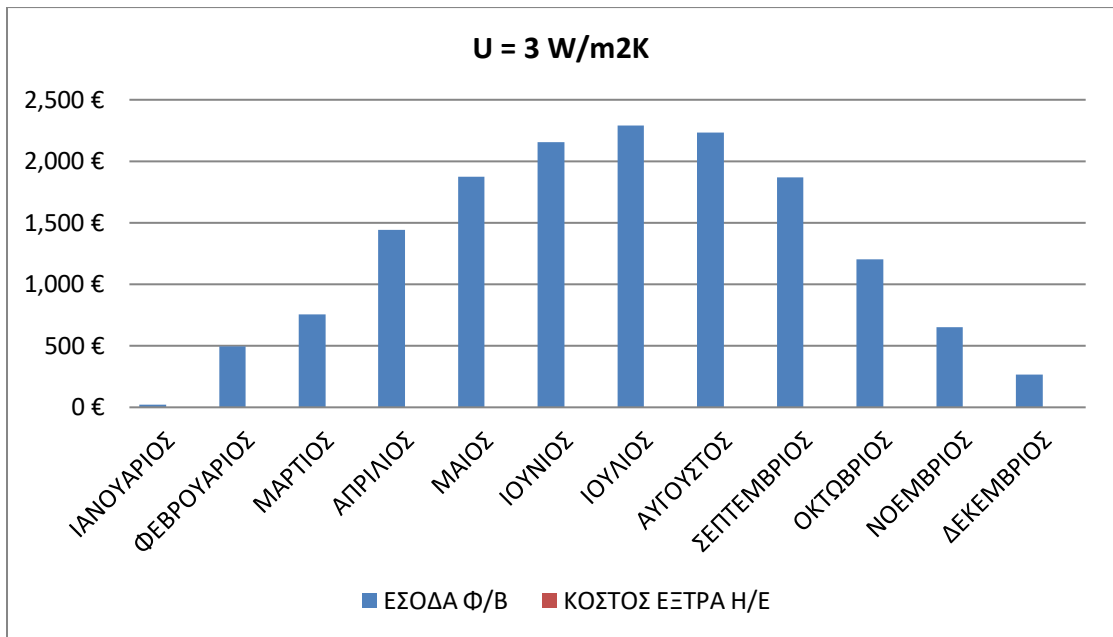
Εικόνα 38: Μηνιαία κατανομή ηλεκτρικής ενέργειας



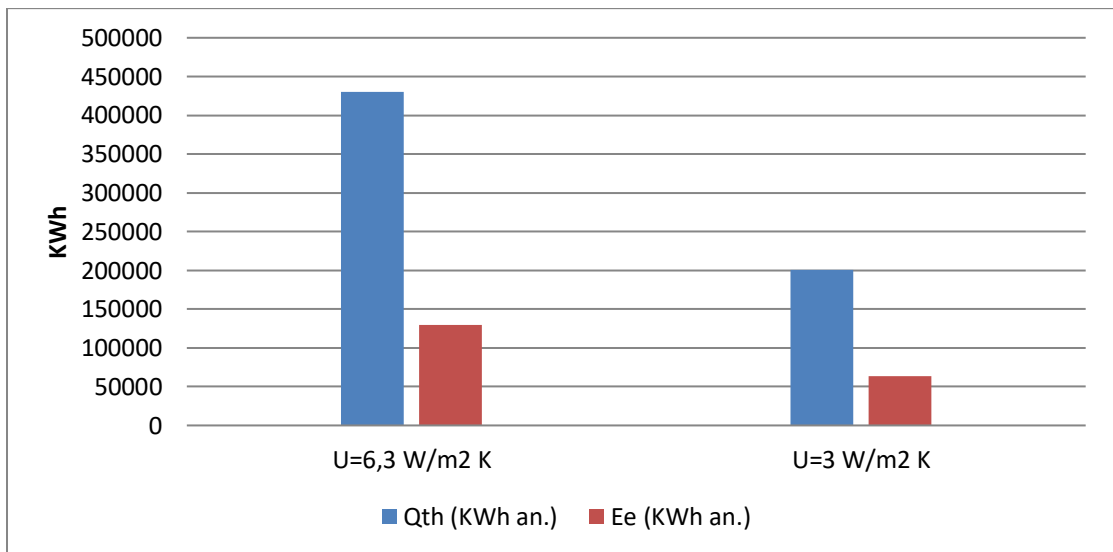
Εικόνα 39: Μηνιαία έξοδα και έσοδα ηλεκτρικής ενέργειας



Εικόνα 40: Μηνιαία κατανομή ηλεκτρικής ενέργειας



Εικόνα 41: Μηνιαία έξοδα και έσοδα ηλεκτρικής ενέργειας



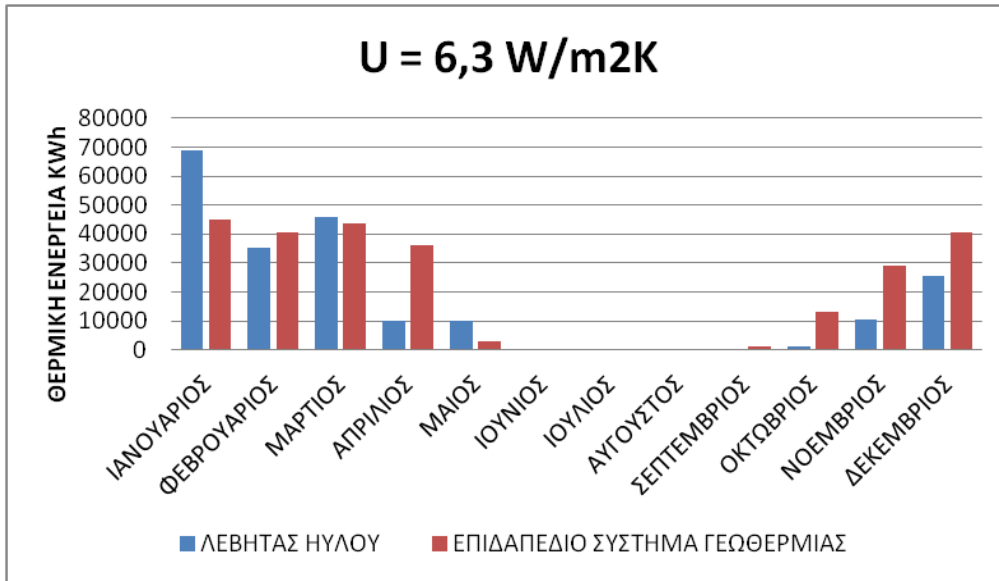
Εικόνα 42: Θερμικές και ηλεκτρικές ανάγκες θερμοκηπίου

Από το τελευταίο γράφημα διακρίνεται καθαρά η μείωση της ετήσιας ανάγκης για θέρμανση χάρις των μειωμένων θερμικών απωλειών του θερμοκηπίου που έχει ως απότοκο την ετήσια μείωση της ηλεκτρικής κατανάλωσης. Η ετήσια μείωση αυτών των δύο μεγεθών υπερβαίνει το 50%.

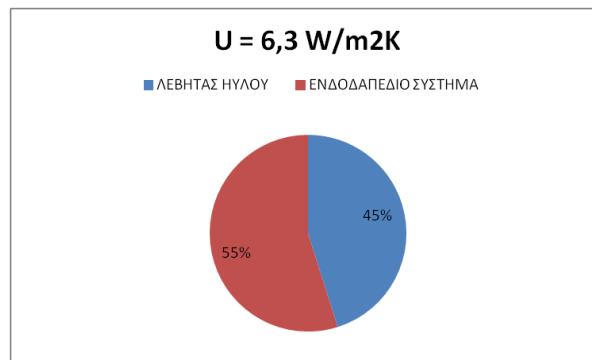
Επιδαπέδιοι σωλήνες PE με λέβητα ξύλου

Ακολουθήθηκε η ίδια μεθοδολογία για τον προσδιορισμό των θερμικών αναγκών στη περίπτωση του συστήματος θέρμανσης με επιδαπέδιους σωλήνες PE σε συνδυασμό με λέβητα ξύλου. Στα επόμενα γραφήματα παρουσιάζονται τα μηνιαία

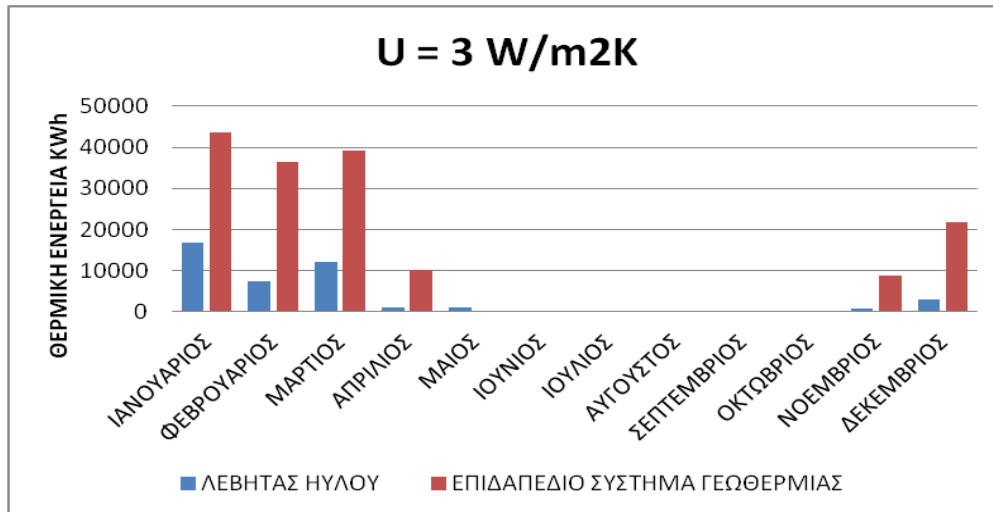
θερμικά φορτία που πρέπει να καλύψουν τα δύο αυτά συστήματα θέρμανσης καθώς και το ποσοστό συνεισφοράς τους στη συνολική απαίτηση για θέρμανση.



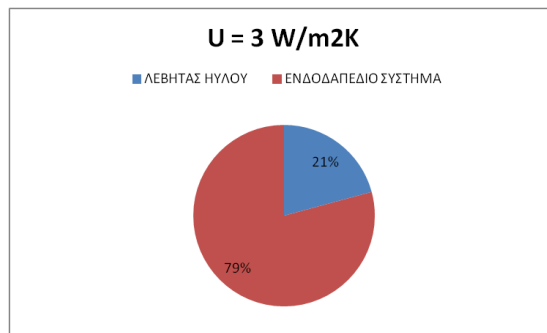
Εικόνα 43: Κατανομή θερμικής ενέργειας



Εικόνα 44: Συνεισφορά επιδαπέδιου συστήματος στη θέρμανση του θερμοκηπίου



Εικόνα 45: Κατανομή θερμικής ενέργειας



Εικόνα 46: Συνεισφορά επιδαπέδιου συστήματος στη θέρμανση του θερμοκηπίου

Ο λέβητας ξύλου συνεισφέρει σε μικρότερο ποσοστό όταν γίνεται χρήση υλικού επικάλυψης με μικρότερη θερμική διαπερατότητα το οποίο είναι και αναμενόμενο. Η μηνιαία θερμική κατανάλωση του επιδαπέδιου συστήματος είναι πάντα υψηλότερη του λέβητα λόγω του ότι θεωρήθηκε πρωτεύον σύστημα θέρμανσης.

Σε αυτό το σύστημα οι ηλεκτρικές καταναλώσεις θα είναι πολύ μικρές σε σχέση με το σύστημα της γεωθερμικής αντλίας και θα απευθύνονται στις καταναλώσεις του κυκλοφορητή, της αντλίας αναρρόφησης του γεωθερμικού ρευστού από την πηγή, των αξονικών αερόθερμων και άλλων μηχανισμών που δουλεύουν για μικρά χρονικά διαστήματα και είναι θεωρητικά ασήμαντη η κατανάλωσή τους. Οι ηλεκτρικές καταναλώσεις σε αυτό το σύστημα θα θεωρηθούν ότι είναι ίσες με 6.000 kWh για υλικό επικάλυψης με $U = 6.3\text{W/m}^2\text{K}$, ενώ 3.000 για υλικό επικάλυψης με $U = 3\text{W/m}^2\text{K}$. Για τον υπολογισμό του ετήσιου κόστους των ξύλων προς κατανάλωση του λέβητα θεωρήθηκε τιμή αγοράς ξύλων 120€/ton, η θερμογόνο δύναμη των ξύλων ίση με 21,6 MJ/Kg, που οδηγούν σε κόστος θερμικής ενέργειας ίσο με 0,02€/KWh_{th}.

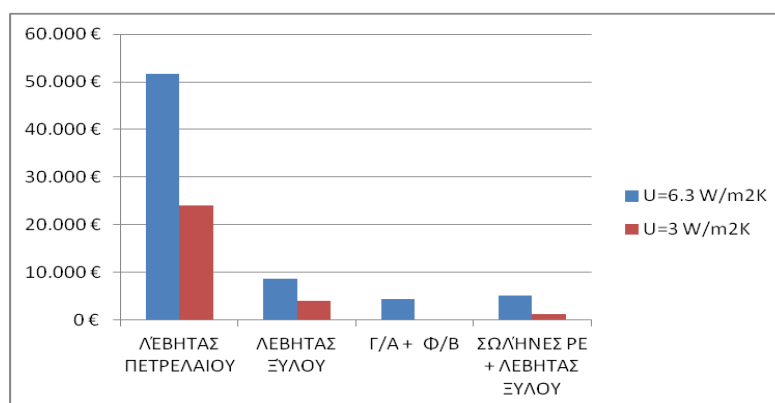
Συμβατικά συστήματα θέρμανσης

Για την καλύτερη σύγκριση των δύο συστημάτων θέρμανσης με τη χρήση της γεωθερμίας είναι αναγκαίος ο υπολογισμός του ετήσιου κόστους θέρμανσης με συμβατικούς τρόπους όπως ο λέβητας πετρελαίου ή λέβητας ξύλου. Η τιμή αγοράς

πετρελαίου θέρμανσης θεωρήθηκε ίση με 1,3€/L με τη θερμογόνο δύναμη του πετρελαίου να είναι 43,1 MJ/Kg που οδηγεί σε κόστος θερμικής ενέργειας ίσο με 0,12€/KWh_{th}. Τα αποτελέσματα είναι τα εξής:

Πίνακας 33: Σύγκριση μεθόδων θέρμανσης θερμοκηπίου υπό μελέτης

ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΜΕΘΟΔΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ	ΥΛΙΚΑ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ	
	U = 6,3 W/m ² K	U = 3 W/m ² K
ΛΕΒΗΤΑΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ	51.593 €	24.099 €
ΛΕΒΗΤΑΣ ΞΥΛΟΥ	8.599 €	4.016 €
Γ/Α + Φ/Β	4.331 €	0 €
ΣΩΛΗΝΕΣ ΡΕ + ΛΕΒΗΤΑΣ ΞΥΛΟΥ	5.056 €	1.288 €



Εικόνα 47: Σύγκριση ετήσιου κόστους θέρμανσης θερμοκηπίου υπό μελέτης

Τα αποτελέσματα αυτά αντιπροσωπεύουν το συγκεκριμένο υπό μελέτη θερμοκήπιο και Φ/Β σύστημα. Η επίδραση της γεωθερμίας στη μείωση του ετήσιου κόστους είναι φανερή.

Χρονοδιάγραμμα απόσβεσης και αξιολόγηση

Για τη δημιουργία του χρονοδιαγράμματος της απόσβεσης είναι αναγκαία η κοστολόγηση του ύψους της αρχικής δαπάνης καθώς και των ετήσιων εξόδων και εσόδων. Το χρονοδιάγραμμα απόσβεσης θα δηλώνει τον χρόνο αποπληρωμής της επένδυσης με τα αντίστοιχα ετήσια κόστη και έσοδα.

Για την επένδυση αξιοποίησης της γεωθερμίας με χρήση γεωθερμικής αντλίας θέρμανσης σε συνδυασμό με φωτοβολταϊκά υπολογίστηκαν τα ακόλουθα κόστη αρχικής επένδυσης καθώς και τα ετήσια κόστη της καλλιέργειας και συντήρησης των Φ/Β. Για την εγκατάσταση των Φ/Β θεωρήθηκε ποσοστό κρατικής επιδότησης ίσο με 60%, πράγμα καθόλου παράλογο μιας και υπάρχουν προγράμματα επιδότησης για τους αγρότες που προωθούν την εγκατάσταση Φ/Β. τα αποτελέσματα είναι τα εξής:

Πίνακας 34: Αρχικά κόστη και ετήσια έξοδα Φ/Β

ΑΡΧΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ Φ/Β	Φ/Β 150 KW
ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	75.000 €
ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ	1.000 €
ΜΕΛΕΤΗ ΜΗΧ/ΜΗΧ	500 €
ΣΥΝΔΕΣΗ ΣΤΟ ΔΥΚΤΙΟ	10.000 €
ΚΡΑΤΙΚΗ ΕΠΙΔΟΤΗΣΗ	60%
ΙΔΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΑ	34.600 €

ΕΤΗΣΙΑ ΕΞΟΔΑ Φ/Β	Φ/Β 150 KW
ΕΞΟΔΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	200 €

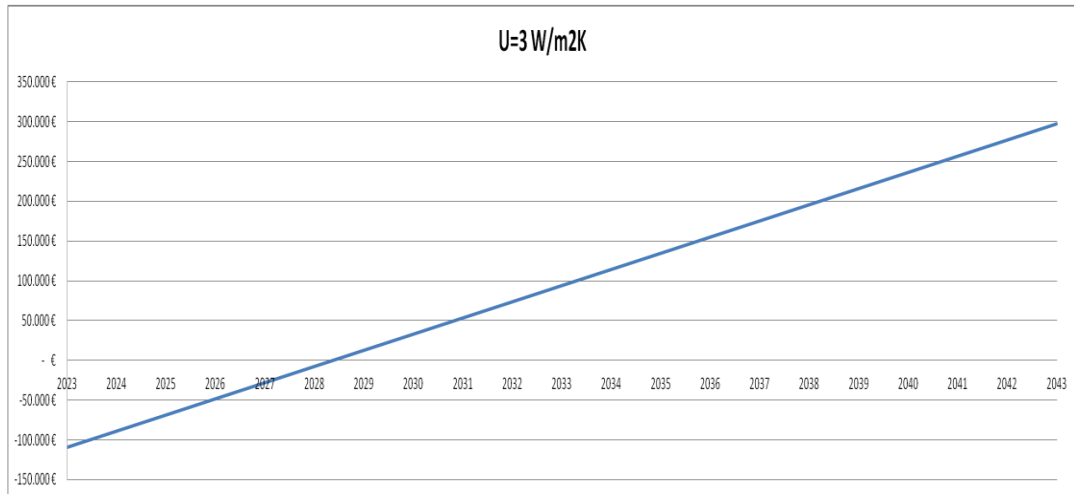
Πίνακας 35: Αρχικά κόστη και ετήσια έξοδα θερμοκηπίου U=6.3 W/m²K

ΑΡΧΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	ΘΕΡΜ. U = 6,3 W/m ² K
ΚΟΣΤΟΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	20.000,00 €
ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ	1.000,00 €
ΚΟΣΤΟΣ Γ/Α	35.000,00 €
ΚΟΣΤΟΣ ΑΕΡΟΘΕΡΜΩΝ	7.200,00 €
ΚΟΣΤΟΣ ΥΔΡ. ΕΞΑΡΤ. ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ	2.000,00 €
ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ	800,00 €
ΚΟΣΤΟΣ ΘΕΡΜΟΚΟΥΡΤΙΝΑΣ	500,00 €
ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΟΤΙΣΜΑΤΟΣ	2.500,00 €
ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΘ.	1.000,00 €
ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ	500,00 €
ΜΕΛΕΤΗ ΜΗΧ/ΜΗΧ	1.000,00 €
ΑΝΤΛΙΑ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ	1.000,00 €
ΚΟΣΤΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ	19.200,00 €
ΙΔΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΑ	91.700,00 €

ΕΤΗΣΙΑ ΕΞΟΔΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	U=6,3 W/m ² K
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	4.331 €
ΕΡΓΑΤΙΚΑ ΕΞΟΔΑ	2.000 €
ΕΞΟΔΑ ΚΑΛΛΗΡΕΓΙΑΣ	2.000 €
ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΞΟΔΑ	8.331 €

Πίνακας 36: Αρχικά κόστη και ετήσια έξοδα θερμοκηπίου U= 3W/m²K

ΑΡΧΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	ΘΕΡΜ. U = 3 W/m ² K
ΚΟΣΤΟΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	20.000,00 €
ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ	1.000,00 €
ΚΟΣΤΟΣ Γ/Α	20.000,00 €
ΚΟΣΤΟΣ ΑΕΡΟΘΕΡΜΩΝ	4.800,00 €
ΚΟΣΤΟΣ ΥΔΡ. ΕΞΑΡΤ. ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ	2.000,00 €
ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ	1.500,00 €
ΚΟΣΤΟΣ ΘΕΡΜΟΚΟΥΡΤΙΝΑΣ	500,00 €
ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΟΤΙΣΜΑΤΟΣ	2.500,00 €
ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΘ.	1.000,00 €
ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ	500,00 €
ΜΕΛΕΤΗ ΜΗΧ/ΜΗΧ	1.000,00 €
ΑΝΤΛΙΑ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ	1.000,00 €
ΚΟΣΤΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ	19.200,00 €
ΙΔΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΑ	75.000,00 €



Εικόνα 49: Χρονοδιάγραμμα απόσβεσης Γ/Α +Φ/Β

Το θερμοκήπιο με υλικό επικάλυψης $U=6.3W/m^2K$ σε συνδυασμό με φωτοβολταϊκή μονάδα, αποσβένει το κόστος του σε σχεδόν 9 χρόνια ενώ το ίδιο θερμοκήπιο με υλικό επικάλυψης $U=3W/m^2K$ σε συνδυασμό με φωτοβολταϊκή μονάδα αποσβένει σε σχεδόν 5,5χρόνια. Η διαφορά αυτή οφείλεται στην μειωμένη θερμική απώλεια του υλικού επικάλυψης η οποία οδηγεί σε μικρότερης ισχύς γεωθερμική αντλία και με σαφώς μικρότερες ηλεκτρικές καταναλώσεις. Η ποσότητα της πωλούμενης ηλεκτρικής ενέργειας είναι μεγαλύτερη στην δεύτερη περίπτωση. Το κόστος αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας από τον πάροχο θεωρήθηκε ίση με 0,15€/KWh (αγροτικό τιμολόγιο) ενώ η τιμή πώλησης της ενέργειας των Φ/Β ίση με 0,065€/KWh. Επιλέχθηκε η καλλιέργεια της πιπεριάς η οποία σε συνθήκες βέλτιστου κλίματος θερμοκηπίου αποδίδει 8 τόνους εμπορεύσιμου προϊόντος με τιμή πώλησης 1,8€/Kg. Τέλος συμπεριλήφθηκε στους υπολογισμούς και ο αγροτικός φόρος επί των κερδών ίσος με 14% ενώ ο φόρος επί των κερδών στη πώληση ηλεκτρικής ενέργειας από τα Φ/Β ίσος με 24%.

Η περίπτωση της θέρμανσης με επιδαπέδιους σωλήνες PE σε συνδυασμό με λέβητα ξύλου είναι μια πολύ πιο φθηνή λύση θέρμανσης με μικρότερο αρχικό κεφάλαιο λόγω της ανυπαρξίας της αντλίας θερμότητας που είναι αρκετά κοστοβόρα. Ακλουθώντας την ίδια διαδικασία υπολογίστηκαν τα εξής :

Πίνακας 39: Αρχικά και ετήσια κόσθη U=6.3 W/m²K

ΑΡΧΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	ΘΕΡΜ. U = 6,3W/m ² K
ΚΟΣΤΟΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	20.000 €
ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ	1.000 €
ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΒΗΤΑ ΞΥΛΟΥ	2.500 €
ΚΟΣΤΟΣ ΑΕΡΟΘΕΡΜΩΝ	4.800 €
ΚΟΣΤΟΣ ΥΔΡ. ΕΞΑΡΤ. ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ	2.000 €
ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ	800 €
ΚΟΣΤΟΣ ΘΕΡΜΟΚΟΥΡΤΙΝΑΣ	500 €
ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΟΤΙΣΜΑΤΟΣ	2.500 €
ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΘ.	1.000 €
ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ	500 €
ΜΕΛΕΤΗ ΜΗΧ/ΜΗΧ	1.000 €
ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΙΔΑΠΕΔΙΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ	1.300 €
ΑΝΤΛΙΑ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ	1.000 €
ΚΟΣΤΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ	19.200,00 €
ΙΔΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΑ	58.100 €

ΕΤΗΣΙΑ ΕΞΟΔΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	U=6,3 W/m ² K
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	900 €
ΚΟΣΤΟΣ ΞΥΛΩΝ	4.156 €
ΕΡΓΑΤΙΚΑ ΕΞΟΔΑ	2.000 €
ΕΞΟΔΑ ΚΑΛΛΗΡΕΓΕΙΑΣ	2.000 €
ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΞΟΔΑ	9.056 €

Πίνακας 40: Αρχικά και ετήσια κόσθη U=3 W/m²K

ΑΡΧΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	ΘΕΡΜ. U = 3W/m ² K
ΚΟΣΤΟΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	20.000 €
ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ	1.000 €
ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΒΗΤΑ ΞΥΛΟΥ	1.500 €
ΚΟΣΤΟΣ ΑΕΡΟΘΕΡΜΩΝ	4.800 €
ΚΟΣΤΟΣ ΥΔΡ. ΕΞΑΡΤ. ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ	2.000 €
ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ	1.500 €
ΚΟΣΤΟΣ ΘΕΡΜΟΚΟΥΡΤΙΝΑΣ	500 €
ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΟΤΙΣΜΑΤΟΣ	2.500 €
ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΘ.	1.000 €
ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ	500 €
ΜΕΛΕΤΗ ΜΗΧ/ΜΗΧ	1.000 €
ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΙΔΑΠΕΔΙΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ	1.300 €
ΑΝΤΛΙΑ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ	1.000 €
ΚΟΣΤΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ	19.200,00 €
ΙΔΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΑ	57.800 €

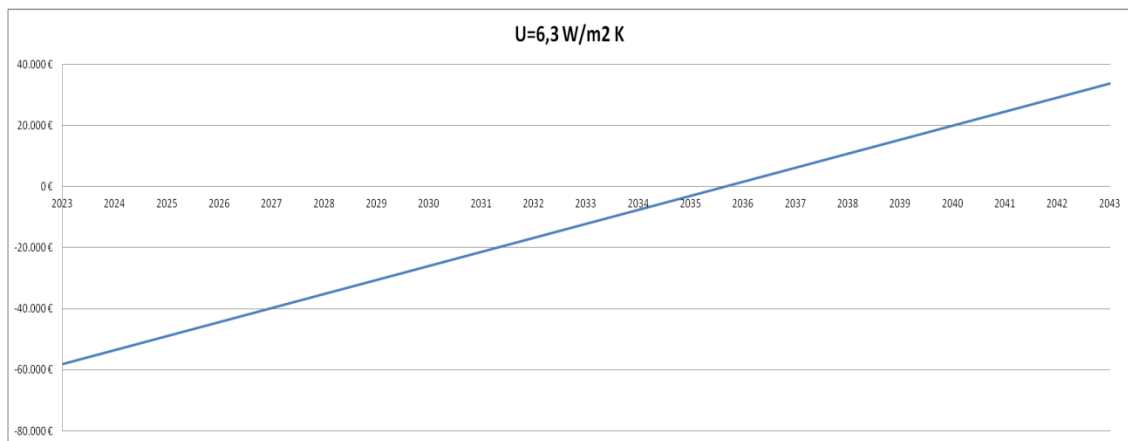
ΕΤΗΣΙΑ ΕΞΟΔΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	U=3 W/m ² K
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	450 €
ΚΟΣΤΟΣ ΞΥΛΩΝ	838 €
ΕΡΓΑΤΙΚΑ ΕΞΟΔΑ	2.000 €
ΕΞΟΔΑ ΚΑΛΛΗΡΕΓΕΙΑΣ	2.000 €
ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΞΟΔΑ	5.288 €

Πίνακας 41: Ετήσιες χρηματοροές U=6.3 W/m²K

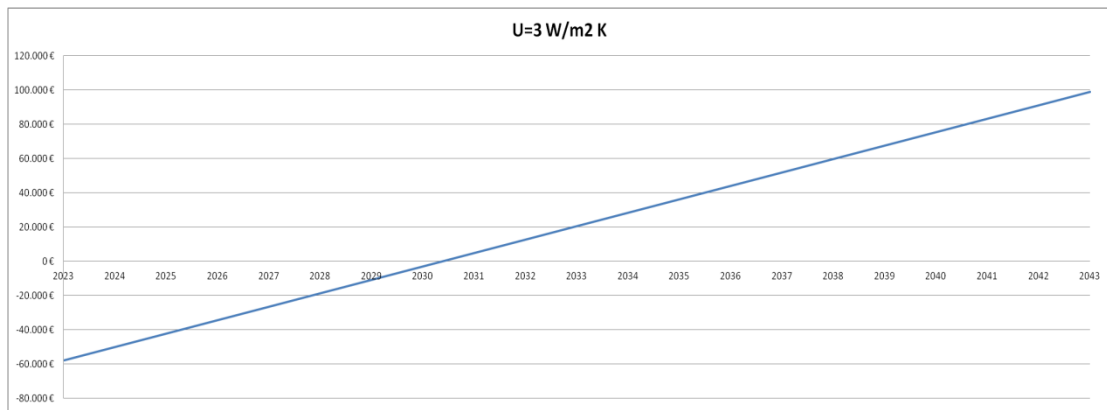
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΕΛΕΥΣΗΣ	U=6.3 W/m ² K	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΕΛΕΥΣΗΣ	€	-8.100 €	-53.304 €	-48.908 €	-44.932 €	-39.777 €	-35.121 €	-30.525 €	-25.929 €	-21.333 €	-16.737 €	-12.141 €	-7.546 €	-2.950 €	1.646 €	6.242 €	10.838 €	15.434 €	20.029 €	24.625 €	29.221 €	33.817 €	
ΚΟΣΤΟΣ Η/Ε ΠΑΡΟΧΟΥ	€/kWh	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150
ΠΛΗΤΟΦΩΝΕΣ ΠΙΠΕΡΑΣ	€/kg	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
ΕΤΗΣΙΑ ΠΑΡΑΚΟΛΗ ΠΙΠΕΡΑΣ	Ton	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
ΕΤΗΣΙΑ ΕΞΟΔΑ ΚΑΛΛΗΡΕΓ. ΠΙΠΕΡΑΣ	€	9.056 €	9.056 €	9.056 €	9.056 €	9.056 €	9.056 €	9.056 €	9.056 €	9.056 €	9.056 €	9.056 €	9.056 €	9.056 €	9.056 €	9.056 €	9.056 €	9.056 €	9.056 €	9.056 €	9.056 €	9.056 €	9.056 €
ΚΑΘΑΡΑ ΣΣΔΑ ΚΑΛΛΗΡΕΓ. ΠΙΠΕΡΑΣ	€	14.400 €	14.400 €	14.400 €	14.400 €	14.400 €	14.400 €	14.400 €	14.400 €	14.400 €	14.400 €	14.400 €	14.400 €	14.400 €	14.400 €	14.400 €	14.400 €	14.400 €	14.400 €	14.400 €	14.400 €	14.400 €	14.400 €
ΑΠΡΟΤΙΜΟΣ ΦΟΡΟΣ ΒΕΛΟΝΙΑΤΟΣ	%	740 €	740 €	740 €	740 €	740 €	740 €	740 €	740 €	740 €	740 €	740 €	740 €	740 €	740 €	740 €	740 €	740 €	740 €	740 €	740 €	740 €	740 €
ΚΑΘΑΡΑ ΣΣΔΑ ΚΑΛΛΗΡΕΓ. ΠΙΠΕΡΑΣ	€	4.596 €	4.596 €	4.596 €	4.596 €	4.596 €	4.596 €	4.596 €	4.596 €	4.596 €	4.596 €	4.596 €	4.596 €	4.596 €	4.596 €	4.596 €	4.596 €	4.596 €	4.596 €	4.596 €	4.596 €	4.596 €	

Πίνακας 42: Ετήσιες χρηματοροές U=3 W/m²K

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΕΛΕΥΣΗΣ	U=3 W/m ² K	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΕΛΕΥΣΗΣ	€	-57.800 €	-48.964 €	-42.127 €	-34.291 €	-26.455 €	-18.619 €	-10.783 €	-2.946 €	4.891 €	12.727 €	20.563 €	28.400 €	36.236 €	44.072 €	51.908 €	59.745 €	67.581 €	75.417 €	83.254 €	91.090 €	98.926 €	
ΚΟΣΤΟΣ Η/Ε ΠΑΡΟΧΟΥ	€/kWh	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	
ΠΛΗΤΟΦΩΝΕΣ ΠΙΠΕΡΑΣ	€/kg	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	
ΕΤΗΣΙΑ ΠΑΡΑΚΟΛΗ ΠΙΠΕΡΑΣ	Ton	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
ΕΤΗΣΙΑ ΕΞΟΔΑ ΚΑΛΛΗΡΕΓ. ΠΙΠΕΡΑΣ	€	5.288 €	5.288 €	5.288 €	5.288 €	5.288 €	5.288 €	5.288 €	5.288 €	5.288 €	5.288 €	5.288 €	5.288 €	5.288 €	5.288 €	5.288 €	5.288 €	5.288 €	5.288 €	5.288 €	5.288 €	5.288 €	
ΚΑΘΑΡΑ ΣΣΔΑ ΚΑΛΛΗΡΕΓ. ΠΙΠΕΡΑΣ	€	14.400 €	14.400 €	14.400 €	14.400 €	14.400 €	14.400 €	14.400 €	14.400 €	14.400 €	14.400 €	14.400 €	14.400 €	14.400 €	14.400 €	14.400 €	14.400 €	14.400 €	14.400 €	14.400 €	14.400 €	14.400 €	
ΑΠΡΟΤΙΜΟΣ ΦΟΡΟΣ ΒΕΛΟΝΙΑΤΟΣ	%	1.276 €	1.276 €	1.276 €	1.276 €	1.276 €	1.276 €	1.276 €	1.276 €	1.276 €	1.276 €	1.276 €	1.276 €	1.276 €	1.276 €	1.276 €	1.276 €	1.276 €	1.276 €	1.276 €	1.276 €	1.276 €	
ΚΑΘΑΡΑ ΣΣΔΑ ΚΑΛΛΗΡΕΓ. ΠΙΠΕΡΑΣ	€	7.856 €	7.856 €	7.856 €	7.856 €	7.856 €	7.856 €	7.856 €	7.856 €	7.856 €	7.856 €	7.856 €	7.856 €	7.856 €	7.856 €	7.856 €	7.856 €	7.856 €	7.856 €	7.856 €	7.856 €	7.856 €	



Εικόνα 50: Χρονοδιάγραμμα απόσβεσης



Εικόνα 51: Χρονοδιάγραμμα απόσβεσης

Το επιδαπέδιο σύστημα θέρμανσης σε συνδυασμό με λέβητα ξύλου παρουσιάζει σημείο αποπληρωμής τα 12,5 έτη στη περίπτωση του υλικού επικάλυψης με $U=6,3W/m^2K$, ενώ για $U=3W/m^2K$ η απόσβεση γίνεται σχεδόν στα 7,5 έτη.

Συμπεράσματα

Τα θερμοκήπια είναι σχετικά ακριβές κατασκευές οι οποίες μπορούν με τον κατάλληλο εξοπλισμό να παρέχουν στα φυτά το κατάλληλο κλίμα για την μέγιστη αποδοτικότητά τους όλο τον χρόνο. Η θέρμανση των θερμοκηπίων είναι μια δαπανηρή διαδικασία ιδικά όταν η θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου είναι σταθερή και ίση με τη βέλτιστη για όλη τη σεζόν.

Η κατασκευή των σκελετών των θερμοκηπίων υπάγεται σε μια σειρά από κανόνες και πρότυπα με τα οποία ο σχεδιαστής θα πρέπει να σχεδιάσει βάση αυτών δημιουργώντας μία κατασκευή η οποία θα είναι ανεκτή στα επιβαλλόμενα φορτία ανέμου, χιονιού, και ίδιων φορτίων. Μια ολοκληρωμένη στατική μελέτη κατασκευής θερμοκηπίου απαιτεί γνώσεις πολιτικού μηχανικού καθώς αφορά θεμελιώσεις από σκυρόδεμα και μελέτη επιβαλλόμενων φορτίων τα οποία είναι συνδυαστικά μεταξύ τους. Ακόμα είναι η μετατροπή των πιέσεων (KN/m^2), ανέμου και χιονιού, σε καταναμεημένα φορτία (KN/m) επάνω στις τεγίδες ή επιτεγίδες της κατασκευής είναι μια περίπλοκη διαδικασία η οποία απαιτεί χρήση κατάλληλου λογισμικού.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε μία ενεργειακή και οικονομική ανάλυση δύο διαφορετικών τρόπων χρήσης γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας για τη θέρμανση θερμοκηπίου στη περιοχή της Β. Ευβοίας. Το γεωθερμικό πεδίο της περιοχής έχει μεγάλη έκταση με τις θερμοκρασίες του να κυμαίνονται από 30°C - 80°C , ανάλογα την περιοχή. Η αξιοποίηση των πηγών της Αιδηψού, όπου και συναντάται και η μέγιστη θερμοκρασία του νερού, μπορεί να θεωρηθεί μία συνηθισμένη διαδικασία εκμετάλλευσης της γεωθερμίας με σίγουρα αποτελέσματα στη θέρμανση των θερμοκηπίων με την προϋπόθεση ότι υπάρχουν οι απαραίτητες εγκαταστάσεις τηλεθέρμανσης μιας και οι πηγές βρίσκονται εντός της πόλης. Η διερεύνηση αξιοποίησης γεωθερμίας χαμηλότερης θερμοκρασίας που συναντάται σε παρακείμενες περιοχές, όπως η περιοχή των Γιάλτρων, είναι άξια προς μελέτη για τον προσδιορισμό της αποδοτικότητας της στη θέρμανση θερμοκηπίων.

Και στις δύο περιπτώσεις αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας αποδείχθηκε πολύ σημαντική η επιλογή του υλικού επικάλυψης. Η χαμηλότερες τιμές θερμικής διαπερατότητας οδηγούν σε σημαντικά μειωμένες θερμικές ανάγκες και ηλεκτρικής κατανάλωσης.

Ο πρώτος τρόπος θέρμανσης του θερμοκηπίου με γεωθερμική αντλία θερμότητας νερού-νερού με αξονικά αερόθερμα είναι ασύμφορος λόγω της υψηλού ετήσιου κόστους ηλεκτρικού ρεύματος που φτάνει τα 19.445€ για υλικό επικάλυψης θερμοκηπίου με $U=6.3 \text{ W/m}^2\text{K}$, και 9.553€ για επικάλυψης θερμοκηπίου με $U=3 \text{ W/m}^2\text{K}$, όταν ο ετήσιος τζίρος από την πώληση της πιπεριάς δεν ξεπερνά τα 14.400€ . Έτσι είναι αναγκαία η εγκατάσταση ενός Φ/Β συστήματος για την μερική ή ολόκληρη κάλυψη της ηλεκτρικής ενέργειας με τη περισσευούμενη ενέργεια να πωλείται και να συνεισφέρει στην ολική απόσβεση της επένδυσης. Τα χρονοδιαγράμματα των αποσβέσεων παρουσιάστηκαν στην εργασία, όπου φαίνεται να έχει γρηγορότερη απόσβεση το θερμοκήπιο το οποίο έχει υλικό επικάλυψης με χαμηλή θερμική διαπερατότητα και αποφέρει μεγαλύτερα διαχρονικά κέρδη. Το θερμοκήπιο με υλικό επικάλυψης $U=6.3\text{W/m}^2\text{K}$ σε συνδυασμό με φωτοβολταϊκή μονάδα, αποσβένει το κόστος του σε σχεδόν 9 χρόνια ενώ το ίδιο θερμοκήπιο με υλικό επικάλυψης $U=3\text{W/m}^2\text{K}$ σε συνδυασμό με φωτοβολταϊκή μονάδα αποσβένει σε

σχεδόν 5,5 χρόνια. Μειονέκτημα αυτής της επένδυσης είναι η πολυπλοκότητα και το υψηλό αρχικό κόστος. Στη παρούσα περίπτωση η εγκατάσταση μόνο των Φ/Β χωρίς το θερμοκήπιο θα απέφερε μεγαλύτερα κέρδη. Αυτό όμως είναι σχετικό, λόγω του ότι θα μπορούσε να επιλεγεί μία άλλη καλλιέργεια η οποία θα μπορούσε να αντιστρέψει αυτό το γεγονός.

Ο δεύτερος τρόπος θέρμανσης με επιδαπέδιους σωλήνες PE σε συνδυασμό με λέβητα ξύλου, είναι η πιο φθηνή λύση αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας. Το επιδαπέδιο σύστημα θέρμανσης σε συνδυασμό με λέβητα ξύλου παρουσιάζει σημείο αποπληρωμής τα 12,5 έτη στη περίπτωση του υλικού επικάλυψης με $U=6,3W/m^2K$, ενώ για $U=3W/m^2K$ η απόσβεση γίνεται σχεδόν στα 7,5 έτη. Η απόσβεση αργεί σχετικά και τα διαχρονικά κέρδη περιορίζονται στην πώληση των προϊόντων παραγωγής του θερμοκηπίου.

Και οι δύο περιπτώσεις θέρμανσης είναι εφικτές και αποδεκτές και εξαρτώνται άμεσα από τις οικονομικές δυνατότητες του επενδυτή-αγρότη και τη κερδοφορία της καλλιέργειας που υπάρχει πρόθεση να καλλιεργηθεί. Ο μόνος περιορισμός που τίθεται είναι η επιλογή υλικού επικάλυψης με χαμηλή θερμική διαπερατότητα.

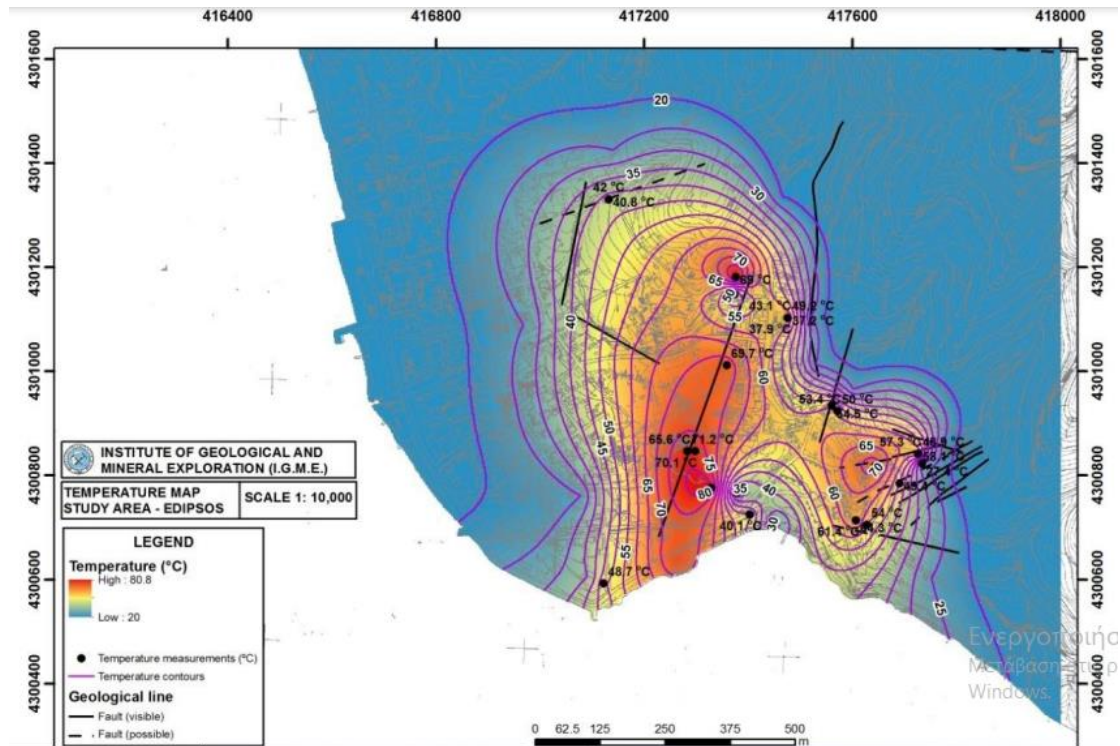
Συμπερασματικά, η χρήση γεωθερμικών πηγών πολύ χαμηλής ενθαλπίας προς θέρμανση θερμοκηπίων είναι εφικτή, αλλά δεν είναι αρκετή να καλύψει όλες τις θερμικές ανάγκες όταν το σύστημα θέρμανσης είναι με επιδαπέδιους σωλήνες θέρμανσης, όπου εκεί είναι αναγκαία η λειτουργία ενός δευτερεύοντος συστήματος θέρμανσης. Αντίθετα ένα σύστημα θέρμανσης με γεωθερμική αντλία θερμότητας που εκμεταλλεύεται το ίδιο γεωθερμικό νερό μπορεί να καλύψει τις θερμικές ανάγκες χωρίς την υποβοήθηση από δευτερεύοντος σύστημα θέρμανσης.

Και στις δύο περιπτώσεις θέρμανσης θεωρήθηκε ότι η θερμοκρασία εντός του θερμοκηπίου θα είναι πάντα η βέλτιστη. Αυτό όμως ανεβάζει αρκετά το κόστος θέρμανσης. Η μείωση την επιθυμητής θερμοκρασίας εντός του θερμοκηπίου κατά 2-3 βαθμούς θα επιφέρει αρκετά μεγάλες μειώσεις στο κόστος της θέρμανσης ενώ η παραγωγή των φυτών δεν θα επηρεαστεί πολύ. Ιδανικά θα πρέπει να βρεθεί η βέλτιστη χαμηλότερη θερμοκρασία εντός του θερμοκηπίου για την οποία το κόστος θέρμανσης θα μειωθεί κατά το ελάχιστο χωρίς να επηρεαστεί σημαντικά η παραγωγή των φυτών.

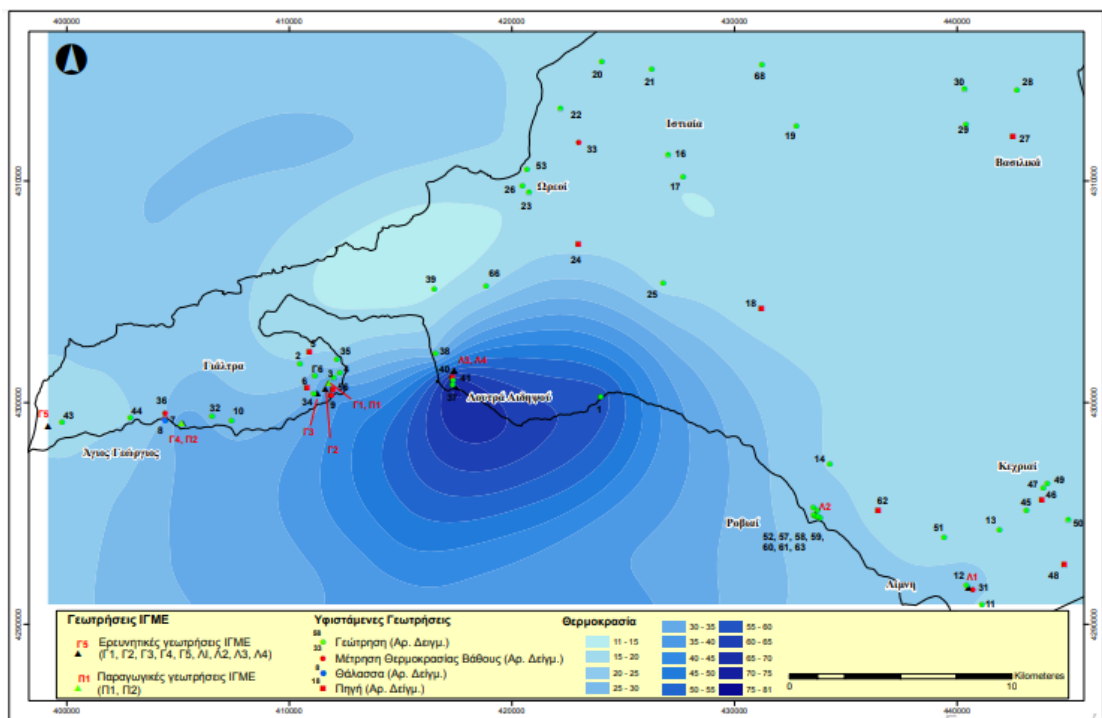
Η μέθοδος αυτή που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των ετήσιων θερμικών αναγκών με τη χρήση των μέσων θερμοκρασιών της ημέρας δεν είναι αρκετά ακριβής αλλά μπορεί να δώσει αξιοπρεπή αποτελέσματα. Για ακριβέστερα αποτελέσματα θα έπρεπε να γίνει χρήση ωριαίων κλιματικών δεδομένων.

Τέλος η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ΑΠΕ, συνεισφέρουν αρκετά στη μείωση του ετήσιου κόστους θέρμανσης των θερμοκηπίων με τη γεωθερμία να είναι μια πολύ ανταγωνιστική μέθοδος θέρμανσης ακόμα και με γεωθερμικές πηγές χαμηλής ενθαλπίας.

Παράρτημα



Εικόνα 52: Γεωλογική έρευνα Ι.Γ.Μ.Ε, Τοποθεσίες γεωθερμικών πηγών Αιδηψού (<https://www.eagme.gr/>)



Εικόνα 53: Γεωλογική έρευνα Ι.Γ.Μ.Ε, Έκταση γεωθερμικού πεδίου Β. Ευβοίας (<https://www.eagme.gr/>)

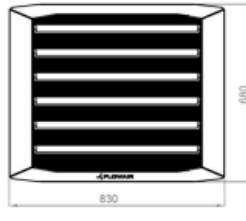
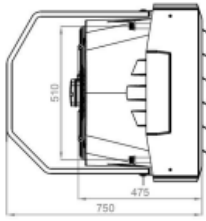
Γεώτρηση : Γ2															
Περιοχή : Γιάλτρα															
Συντεταγμένες : Χ=411614 Υ = 4300605 Ζ = 78															
Στάθμη (m)	61.20	61.20	61.00	61.50	61.20										
Ημερ.	27.6.05	28.6.05	1.7.05	03.08.05	19.10.06										
Βάθ. (m)	Θερ. °C	Θερ. °C	Θερ. °C	Θερ. °C	Θερ. °C	Θερ. °C	Θερ. °C	Θερ. °C	Θερ. °C	Θερ. °C	Θερ. °C	Θερ. °C	Θερ. °C	Θερ. °C	Θερ. °C
10	25				21.4										
20	25.5					22.1									
30	25.7				27.2	26.5									
40	26.9				27.7	30.6									
50	30	31	27.3	28.7	33										
60	32.5	33.5	29.3	29.8	35.1										
62	33.4	34.2	32.3												
64	35.5	35.5	34.8												
66	36.8	35.9	36.4		36.9										
68	38		37.7	37.8											

Εικόνα 54: Χαρακτηριστικά γεώτρησης ενδιαφέροντος (<https://www.eagme.gr/>)

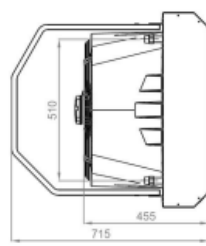
ΕΡΓΟ : Γ'ΚΠΣ . ΜΕΛΕΤΗ-ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ-ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ Γ/Θ ΠΕΔΙΩΝ ΤΗΣ ΧΩΡΑΣ						Χ=411614 Ψ=4300605 Ζ=78		
ΠΕΡΙΟΧΗ : Γιάλτρα , Β . Εύβοια								
ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑ : 02/06 -- 28/6/2005								
ΕΙΚΟΝΑ 24: ΤΟΜΗ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ Γ-2								
ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ (ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ ΤΟΜΗ)			ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ		ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ			
Βάθος (m)	Συμβολήσις	Είδος πετρώματος	Υδροφόρο Στρώμα	Υδροστατική στάθμη	Θερμοκρασία (°C)	Διάτρηση	Σωλήνωση (m)	Τσιμεντώση
10-20		0-24 . Αργιλοιλύδες με ψηφίδες ,γκρί			25--			
20-30		24-38 . Ιλύες με ψηφ. αμμούχος κ.τ.θ. άργιλος με ενστρώσεις λιγνίτη			25.5--	5 5/8"		
30-40		38-45 . Κροκαλοπαγές έντονα τεκτ.	—		25.7--		Φ 2"	
40-50					26.9--			
50-60			—		30--			
60-72		45-72 . Ασβεστόλιθος έντονα τεκτ. κατακερματισμένος, ρηγματ.	—		32.5--	3 1/8"		
					38--	2 7/8"		

Εικόνα 55: Χαρακτηριστικά γεώτρησης ενδιαφέροντος (<https://www.eagme.gr/>)

LEO XL2 | XL3 / BMS



LEO XL2 INOX / ST | XL3 INOX / ST

Εικόνα 56: Αξονικά αερόθερμα (<https://www.flowair.com/en/>)

150 - Heating Capacity Data

Source		Load Flow - 6.3 L/s							
EST °C	Flow L/s	ELT °C	LLT °C	HC kW	Power kW	HE kW	COP	LST °C	
0	9.5	15	20.2	137.4	25.1	112.4	5.5	-2.8	
		25	29.9	128.9	32.0	96.9	4.0	-2.4	
		40	44.6	120.4	38.9	81.5	3.1	-2.0	
		50	54.2	111.9	45.9	66.0	2.4	-1.7	
	12.6	15	20.5	144.5	25.9	118.6	5.6	-2.2	
		25	30.1	134.6	32.7	102.0	4.1	-1.9	
		40	44.7	124.8	39.4	85.4	3.2	-1.6	
		50	54.3	115.0	46.2	68.8	2.5	-1.3	
	10	6.3	15	21.2	163.0	27.5	135.5	5.9	4.9
			25	30.9	156.1	34.6	121.6	4.5	5.4
			40	45.6	149.3	41.7	107.6	3.6	5.9
			50	55.4	142.5	48.8	93.7	2.9	6.5
9.5		15	21.4	170.5	28.4	142.1	6.0	6.4	
		25	31.1	162.5	35.4	127.1	4.6	6.8	
		40	45.8	154.4	42.4	112.0	3.6	7.2	
		50	55.5	146.4	49.4	97.0	3.0	7.6	
12.6		15	21.7	178.1	29.4	148.7	6.1	7.2	
		25	31.4	168.8	36.3	132.6	4.7	7.5	
		40	46.0	159.5	43.1	116.4	3.7	7.8	
		50	55.7	150.3	50.0	100.2	3.0	8.1	
20	6.3	15	22.4	195.6	30.7	164.8	6.4	13.8	
		25	32.1	189.1	37.8	151.2	5.0	14.3	
		40	46.9	182.6	44.9	137.7	4.1	14.8	
		50	56.7	176.1	52.1	124.1	3.4	15.3	
	9.5	15	22.7	203.6	31.8	171.8	6.4	15.7	
		25	32.4	196.0	38.9	157.2	5.0	16.1	
		40	47.1	188.4	45.9	142.6	4.1	16.4	
		50	56.8	180.9	53.0	127.9	3.4	16.8	
	12.6	15	23.0	211.7	32.9	178.9	6.4	16.6	
		25	32.7	203.0	39.9	163.1	5.1	16.9	
		40	47.3	194.3	46.9	147.4	4.1	17.2	
		50	57.0	185.6	53.9	131.7	3.4	17.5	
30	6.3	15	23.6	228.1	34.0	194.1	6.7	22.7	
		25	33.4	222.0	41.1	180.9	5.4	23.2	
		40	48.2	215.9	48.2	167.7	4.5	23.7	
		50							
	9.5	15	23.9	236.7	35.2	201.6	6.7	24.9	
		25	33.7	229.6	42.3	187.3	5.4	25.3	
		40	48.4	222.5	49.4	173.1	4.5	25.7	
		50							

Εικόνα 57: Τεχνικά χαρακτηριστικά γεωθερμικής αντλίας ENVISION NK 150 (<https://www.eneroots.gr/el/>)

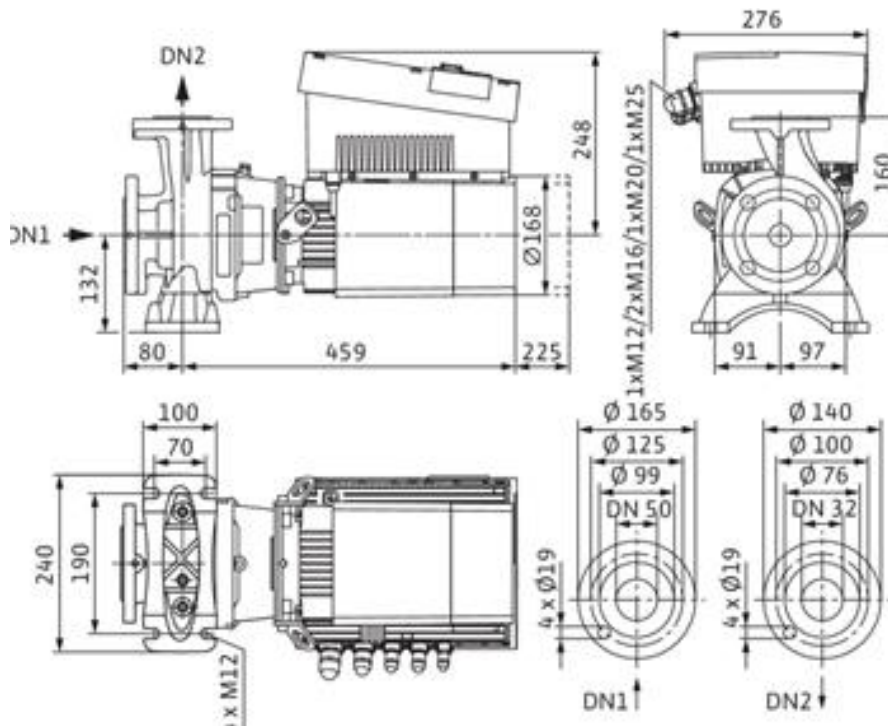
Water Quality Guidelines

Material		316 Stainless Steel
pH	Acidity/Alkalinity	7 - 9
Scaling	Calcium and Magnesium Carbonate	(Total Hardness) less than 350 ppm
Corrosion	Hydrogen Sulfide	Less than 1 ppm
	Sulfates	Less than 200 ppm
	Chlorine	Less than 0.5 ppm
	Chlorides	Less than 300 ppm
	Carbon Dioxide	10 - 50 ppm
	Ammonia	Less than 20 ppm
	Ammonia Chloride	Less than 0.5 ppm
	Ammonia Nitrate	Less than 0.5 ppm
	Ammonia Hydroxide	Less than 0.5 ppm
	Ammonia Sulfate	Less than 0.5 ppm
	Total Dissolved Solids (TDS)	1000 - 1500 ppm
	LSI Index	+0.5 to -0.5
Iron Fouling (Biological Growth)	Iron, FE ²⁺ (Ferrous) Bacterial Iron Potential	< 0.2 ppm
	Iron Oxide	Less than 1 ppm, above this level deposition will occur
Erosion	Suspended Solids	Less than 10 ppm and filtered for max. of 600 micron size
	Threshold Velocity (Fresh Water)	< 1.8 m/sec

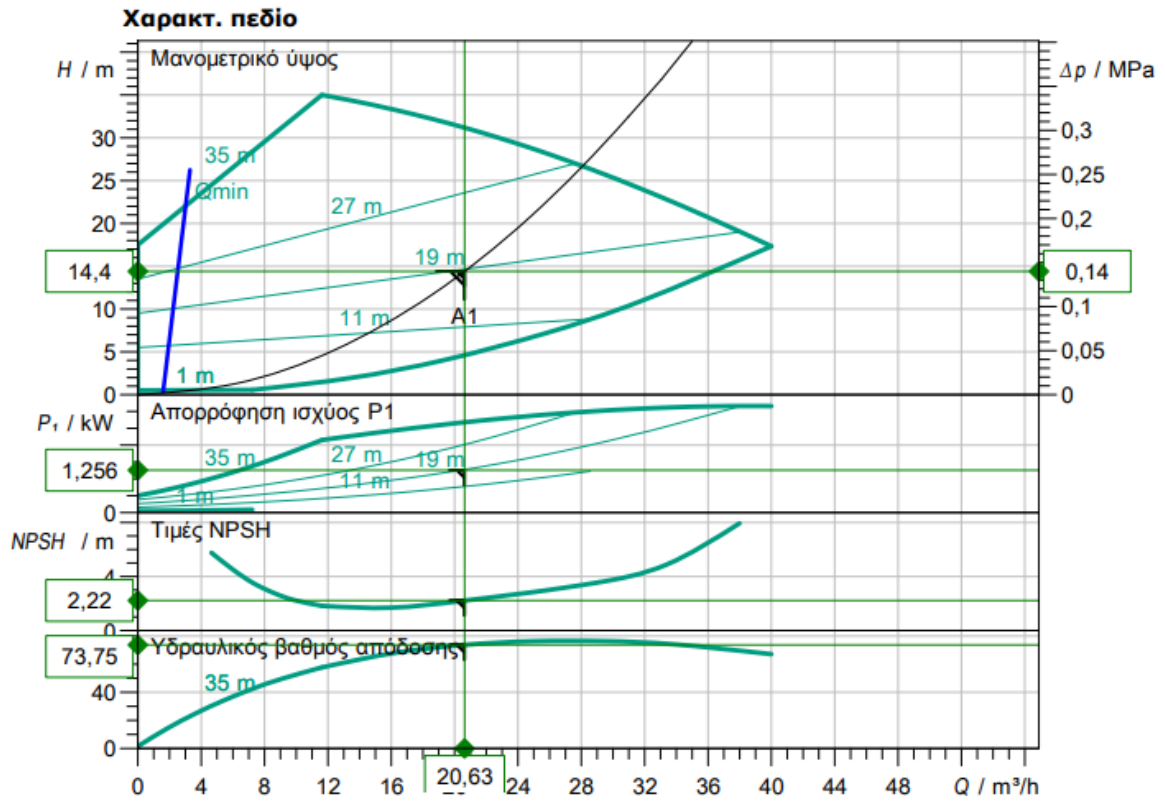
NOTES: Grains = ppm divided by 17
ma/L is equivalent to ppm

10/07/14

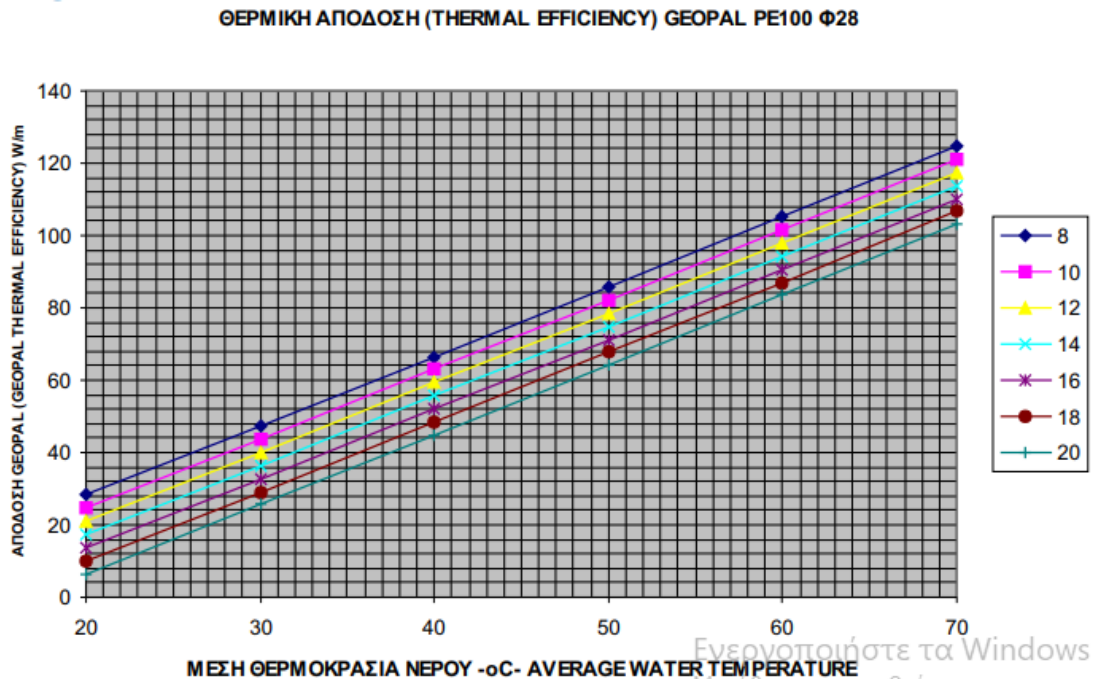
Εικόνα 58: Τεχνικά χαρακτηριστικά γεωθερμικής αντλίας ENVISION NK 150 (<https://www.eneroots.gr/el/>)



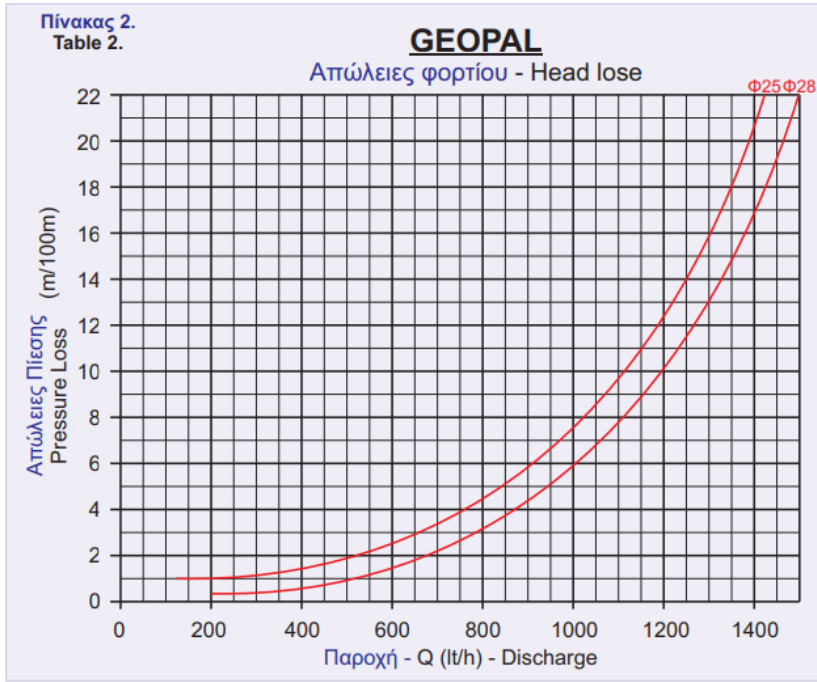
Εικόνα 59: Τεχνικά χαρακτηριστικά κυκλοφορητή WIL0 Stratos GIGA B 32/1-35/3,0 (<https://wilo.com/gr/el/>)



Εικόνα 60: Τεχνικά χαρακτηριστικά κυκλοφορητή WILO Stratos GIGA B 32/1-35/3,0 (<https://wilo.com/gr/el/>)



Εικόνα 61: Θερμική απόδοση σωλήνων PE GEOPAL (<https://palaplast.com/>)



Εικόνα 62: Πτώση πίεσης σωλήνων PE GEOPAL (<https://palaplast.com/>)

Βιβλιογραφία

- 1) Shiva Gorjian, Recent advances in net-zero energy greenhouses and adapted thermal energy storage systems [2021].
- 2) Scott Sanford, Reducing greenhouse energy consumption
- 3) Mariana de P.S. Zuquim , Nursery greenhouses heated with geothermal energy – A case study from Rotorua New Zealand [2021].
- 4) P.J.M.van Beveren, Optimal utilization of energy equipment in a semi-closed greenhouse [2020].
- 5) A.Badji, A.Benseddik, H.Bensaha, A.Boukhelifa, I.Hasrane, Design, technology, and management of greenhouse [2022].
- 6) Gov.gr, ΕΓΚΡΙΣΕΙΣ ΝΕΩΝ ΤΥΠΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ (ΠΙΝΑΚΕΣ).
- 7) Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., <http://www.geo.auth.gr/>
- 8) A.Barbaresia, Application of basket geothermal heat exchangers for sustainable reenhouse cultivation [2020].
- 9) Κοσμάς Καββαδίας, Υβριδικές εγκαταστάσεις ήπιων μορφών ενέργειας, ΠΑ.Δ.Α. Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών.
- 10) E.Kondili, J.K.Kaldellis, Optimal design of geothermal–solar greenhouses for the minimisation of fossil fuel consumption, [2006].
- 11) Sara Baddad, Salwa Bouadila, Wahid Ghorbel, Amen Allah Guizani, Autonomous greenhouse microclimate through hydroponic design and refurbished thermal energy by phase change material [2019].
- 12) Γιώργος Χατζηγιάννης MSc, Το γεωθερμικό δυναμικό της Ελλάδας.
- 13) Ypethros.gr
- 14) nisyros.igme.gr
- 15) Αρβανίτης Απόστολος, Geologist PhD in Geothermal Energy Member of the EFG Panel of Expertson Geothermal Energy, Exploitation of Low Enthalpy Geothermal Resources in Greece.
- 16) Gonzalo Chiriboga, Harnessing of geothermal energy for a greenhouse in Ecuador employing a heat pump: design, construction, and feasibility assessment [2021].
- 17) Anh Tuan Le, Liang Wang, Yang Wang, Daoliang Li, Measurement investigation on the feasibility of shallow geothermal energy for heating and cooling applied in agricultural greenhouses of Shouguang City: Ground temperature profiles and geothermal potential [2021].
- 18) .
- 19) ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ ΗΜΕΡΙΔΑ «Κλιματική Αλλαγή, Ενέργεια και Ελληνικό περιβάλλον» Αθήνα, 28 Ιανουαρίου 2020
- 20) Μ. Χατζή, Θ. Καβουρίδη, Π. Βακαλόπουλο, Μ. Ξενάκη, ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ & ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ, ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ ΣΤΗ ΒΟΡΕΙΑ ΕΥΒΟΙΑ, Ι.Γ.Μ.Ε.
- 21) Μπαμπανιώτης Γεώργιος, Διπλωματική εργασία, Συγκριτική μελέτη θερμομεταλλικών πηγών υψηλής και χαμηλής θερμοκρασίας. Παραδείγματα από Κρήτη και τον υπόλοιπο Ελλαδικό χώρο [2019].
- 22) Ε.Α.Γ.Μ.Ε., Αυτοψία Κλιμακίου Επιστημόνων της Ε.Α.Γ.Μ.Ε. στις Θερμές Πηγές Αιδηψού

- 23) Διδακτορική διατριβή, Ηλίας Μ. Πατσιάνης, Αξιοποίηση των κυριότερων θερμομεταλλικών πηγών των Λουτρών Αιδηψού με χρήση θερμοεναλλακτών.
- 24) Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Τεχνολογία πόσιμου νερού.
- 25) Ποιότητα νερού, <http://wateria.gr/>
- 26) Μπαμπανιώτης Γεώργιος, Συγκριτική μελέτη θερμομεταλλικών πηγών υψηλής και χαμηλής θερμοκρασίας. Παραδείγματα από Κρήτη και τον υπόλοιπο Ελλαδικό χώρο
- 27) Τράπεζα πληροφοριών νομοθεσίας, Νόμος 3175/2003 - ΦΕΚ Α/ 207/ 29-8-2003.
- 28) Εφημερίδα της κυβερνήσεως, Αριθμ. 2243/333582, Καθορισμός των τύπων και των τεχνικών προδιαγραφών κατασκευής θερμοκηπίων και θαλάμων καλλιέργειας μανιταριών καθώς και θερμοκηπίων και θαλάμων θερμοκηπιακού τύπου φαρμακευτικής κάνναβης και διαδικασία έγκρισης και ελέγχου αυτών [2020].
- 29) Sofias, K.; Kanetaki, Z.; Stergiou, C.; Jacques, S. Combining CAD Modeling and Simulation of Energy Performance Data for the Retrofit of Public Buildings. *Sustainability* 2023, 15, 2211. <https://doi.org/10.3390/su15032211>
- 30) Μεταπτυχιακή Διατριβή, Μενέλαος Θεοχάρης, Η εφαρμογή των Ευρωκωδίκων στη μελέτη των Ελληνικών θερμοκηπίων.
- 31) Istiaia-weather.gr, Μετεωρολογικός σταθμός Ιστιαίας.
- 32) «Γενική Λαχανοκομία» Σάββας [2016].
- 33) Γεωθερμική αντλία θερμότητας Water Furnace, <https://www.eneroots.gr/el/>
- 34) Αξονικά αερόθερμα LEO XL2, <https://www.orfejas.com>
- 35) Σωλήνες PPR AQUAPLUS, http://exarhopoulos.gr/wp-content/uploads/2016/03/aquaplus2013_gr.pdf
- 36) Κυκλοφορητές κλειστών συστημάτων θέρμανσης <https://wilo.com/gr/el/>
- 37) Επιδαπέδιοι σωλήνες θέρμανσης θερμοκηπίων GEOPAL, <https://palaplast.gr>
- 38) Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010
- 39) Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017
- 40) Solaire.gr
- 41) <https://www.idealklima.gr/wp-content/uploads/2015/10/Geothermikes-Antlies.pdf>