

ΒΕΛΤΙΣΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΗΛΙΟ-ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Κοδοσάκης Δ., Γαροφαλάκης Ι., Βλάχου Δ., Καλδέλλης Ι.
Τμήμα Οργάνωσης & Διοίκησης Επιχειρήσεων, Πανεπ. Πειραιώς
Καραολή & Δημητρίου 80, 18534 Πειραιάς
Τηλ: 4170107-9619972, FAX: 4118026-5450962, e-mail: sealab@gdias.teipir.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εξωτερική παροχή θερμότητας σε συγκροτήματα θερμοκηπιακών καλλιεργειών επιβάλλεται είτε από λόγους επιβίωσης των προς καλλιέργεια φυτών είτε για λόγους ενίσχυσης του όγκου παραγωγής. Δεδομένου του πλούσιου γεωθερμικού δυναμικού της χώρας μας, διερευνάται η πιθανότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών ενός αγροτικού θερμοκηπίου με την αξιοποίηση γεωθερμικού ρευστού, ιδιαίτερα χαμηλής ενθαλπίας. Τα προκύπτοντα αποτελέσματα υπογραμμίζουν τις δυνατότητες εγχώριας παραγωγής γεωργικών προϊόντων σε ανταγωνιστικό κόστος, λόγω περιορισμένων ενεργειακών απαιτήσεων, προς όφελος της εθνικής οικονομίας.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η χρησιμοποίηση εξωτερικής παροχής θερμότητας σε συγκροτήματα θερμοκηπιακών καλλιεργειών επιβάλλεται είτε από λόγους επιβίωσης των προς καλλιέργεια φυτών για περιοχές της βόρειας ηπειρωτικής Ελλάδος, είτε για λόγους ενίσχυσης του όγκου παραγωγής για τις υπόλοιπες περιοχές της χώρας. Από τα διαθέσιμα στοιχεία {1} προκύπτει ότι το επιπλέον κόστος προσφερόμενης θερμότητας, που βασίζεται κατά κανόνα (90%) στην καύση πετρελαίου, καλύπτεται μόνο υπό ορισμένες προϋποθέσεις στρεμματικής απόδοσης.

Πίνακας 1: Γεωθερικά Πεδία Ιδιαίτερα Χαμηλής Ενθαλπίας

Περιοχή	Γεωτρ.	Θερμ.	Βάθος
ΗΡΑΚΛΕΙΑΣ	L1-2	32°C	318 m
ΛΕΩΝΙΔΑ	Θ.Π.	37°C	0 m
ΝΕΑ ΤΡΙΓΛΙΑ	ΓΠ1	33°C	80 m
ΝΙΓΡΙΤΑΣ-ΘΕΡΜΩΝ	κ-1	32°C	358 m
Ν. ΚΕΣΣΑΝΗΣ	Γ-2	38°C	294 m
ΣΙΔΗΡΟΚΑΣΤΡΟΥ	sd-4	32°C	160 m

Δεδομένου του πλούσιου γεωθερμικού δυναμικού χαμηλής ενθαλπίας {2} της χώρας μας διερευνάται η πιθανότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών ενός αγροτικού θερμοκηπίου με την αξιοποίηση γεωθερμικού ρευστού χαμηλής ενθαλπίας. Στην περίπτωση αυτή προτείνεται η υποκατάσταση της χρήσης (καύσης) πετρελαίου από το διαθέσιμο γεωθερμικό ρευστό, το οποίο δύσκολα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε άλλες εφαρμογές, λόγω της χαμηλής του θερμοκρασίας ($\leq 50^\circ\text{C}$), Πίνακας 1/.

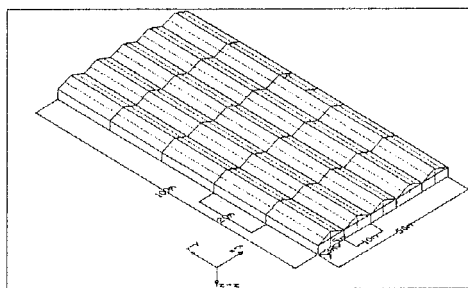
Επιπλέον, στα πλαίσια του γενικότερου περιορισμού της ενεργειακής κατανάλωσης μιας θερμοκηπιακής μονάδος, διερευνάται η συμβολή τυχόν υψηλότερης θερμοκρασίας εδάφους κατά το τέλος της θερινής περιόδου στη μείωση των θερμικών απαιτήσεων της εγκατάστασης. Η αυξημένη θερμοκρασία εδάφους είναι το αποτέλεσμα θερινής αγρανάπαυσης συνδυασμένης με ηλιακή απολύμανση του εδάφους.

Πέραν του προσδιορισμού των ενεργειακών απωλειών, ακολουθεί υπολογισμός του αρχικού κόστους εγκατάστασης και λειτουργίας του αγροτικού θερμοκηπίου, συμπεριλαμβανομένου και του κόστους της χρησιμοποιούμενης γεωθερμικής ενέργειας. Βάσει των ανωτέρω, καθορίζεται η απαιτούμενη ετήσια παραγωγή του θερμοκηπίου, ώστε να διασφαλίζεται η οικονομική βιωσιμότητα της προτεινόμενης λύσης. Η εργασία ολοκληρώνεται με την εφαρμογή της συνολικής μεθοδολογίας για επιλεγμένες περιπτώσεις του Ελλαδικού χώρου. Τα προκύπτοντα

αποτελέσματα υπογραμμίζουν τη δυνατότητα εγχώριας παραγωγής γεωργικών προϊόντων υψηλών προδιαγραφών, με στόχο την ενίσχυση της ανταγωνιστικότητάς τους προς όφελος της εθνικής οικονομίας.

2. ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ

Στα πλαίσια των προσπαθειών για βελτίωση και ανάπτυξη των θερμοκηπίων στη χώρα μας έχουν συνταχθεί με ευθύνη του Υπουργείου Γεωργίας, τεχνικές προδιαγραφές για τις θερμοκηπιακές κατασκευές. Οι προδιαγραφές αυτές αφενός βοηθούν τους κατασκευαστές να προσφέρουν στην αγορά ένα προϊόν ποιότητας, αφετέρου προστατεύουν τους καλλιεργητές, ώστε να αγοράζουν ένα εγγυημένο προϊόν. Τα τελευταία χρόνια η επιτροπή της Ε.Ε. πρότεινε την καθιέρωση ενός συνόλου εναρμονισμένων τεχνικών κανόνων, που αφορούν το σχεδιασμό κτιριακών κατασκευών, γνωστών με το όνομα "Ευρωκώδικες για Δομήματα", {3}. Συνεπώς κατά τα στάδια σχεδιασμού ενός θερμοκηπίου πρέπει να εφαρμόζονται οι προδιαγραφές του Υπουργείου Γεωργίας, οι περιορισμοί του Ευρωκώδικα-3 και ο ΝΕΑΚ (Νέος Αντισεισμικός Κανονισμός). Στο σχήμα 1/ παρουσιάζεται ένα τυποποιημένο αμφίρρικτο πολλαπλό θερμοκήπιο, που αποτελεί έναν από τους πλέον διαδεδομένους τύπους θερμοκηπίων.



Σχήμα 1: Τυπικό Αμφίρρικτο Θερμοκήπιο

Οι ισχύουσες προδιαγραφές καθορίζουν τις περιοχές τιμών των διαστάσεων της βασικής κατασκευαστικής μονάδας του θερμοκηπίου, τις ελάχιστες απαιτήσεις εξαερισμού και θέρμανσης, τον προσανατολισμό της εγκατάστασης, καθώς και το είδος του υλικού κάλυψης και των στοιχείων του σκελετού της κατασκευής. Αξίζει να σημειωθεί ότι στα φορτία που επιβαρύνουν το σκελετό του θερμοκηπίου περιλαμβάνεται το ίδιο βάρος της κατασκευής (μόνιμο φορτίο), το βάρος του χιονιού, το φορτίο λόγω ανεμοπίεσης, το βάρος τυχόν αναρτημένων φορτίων και το φορτίο θερμικών διαστολών (μεταβαλλόμενα φορτία) καθώς και "τυχηματικά" φορτία όπως τα φορτία λόγω σεισμού. Συνεπώς, κατά το σχεδιασμό μιας νέας θερμοκηπιακής εγκατάστασης είναι επιβεβλημένο, εκτός της προσπάθειας περιορισμού των ενεργειακών απαιτήσεων να πληρούνται και οι προαναφερθείσες προδιαγραφές ασφαλούς λειτουργίας της κατασκευής.

3. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Για την εκτίμηση των ενεργειακών αναγκών ενός αγροτικού θερμοκηπίου {4}, {5} λαμβάνονται σε πρώτη προσέγγιση υπόψιν οι ενεργειακές απώλειες λόγω μετάδοσης θερμότητας " Q_o " μεταξύ του θερμοκηπίου και του περιβάλλοντος, η απαιτούμενη ποσότητα ενέργειας " Q_v " για την ανύψωση της θερμοκρασίας του εισερχομένου στο χώρο αέρα περιβάλλοντος καθώς και η καταναλισκόμενη (απελευθερούμενη) λανθάνουσα θερμότητα " Q_r " ατμοποίησης (ή υγροποίησης), που συνδέεται με τη μεταβολή της υγρασίας του χώρου. Παράλληλα, είναι απαραίτητο να ληφθεί υπόψιν η απορροφούμενη εντός του θερμοκηπίου ηλιακή ενέργεια " Q_s ", οπότε ισχύει:

$$\Delta \dot{Q} = \dot{Q}_s - \dot{Q}_o - \dot{Q}_v - \dot{Q}_r \quad (1)$$

Εάν το " ΔQ " είναι θετικό, θα παρατηρηθεί ανύψωση της θερμοκρασίας του αέρα του θερμοκηπίου, με αποτέλεσμα σε οριακές περιπτώσεις να απαιτείται η αύξηση του αερισμού της εγκατάστασης. Στην αντίθετη περίπτωση απαιτείται πρόσδοση εξωτερικής θερμότητας, ώστε να διατηρηθεί σε ανεκτά επίπεδα η εσωτερική θερμοκρασία του θερμοκηπίου. Για την υλοποίηση των υπολογισμών απαιτείται η γνώση της ημερήσιας διανομής θερμοκρασίας περιβάλλοντος " $\theta_{\alpha}(t)$ " και εδάφους " $\theta_{\epsilon}(t)$ ", η γνώση της ημερήσιας διανομής ηλιακής ακτινοβολίας στα επίπεδα

των επιφανειών του θερμοκηπίου (συνήθως στο οριζόντιο και στο κατακόρυφο), ενώ πρέπει να προκαθορίζονται και τα απαραίτητα θερμοκρασιακά όρια βέλτιστης βλάστησης, ανάπτυξης και καλλιέργειας των φυτών, {6}.

Για πρακτικούς υπολογισμούς αρκετοί συγγραφείς {4}, {7} χρησιμοποιούν την απλοποιημένη σχέση μετάδοσης θερμότητας σύμφωνα με την οποία:

$$\dot{Q}_o = \sum_{i=1}^{imax} A_i \cdot U_i \cdot [\theta(t) - \theta_{\pi}(t)] + A_{E\Delta} \cdot U_{E\Delta} \cdot [\theta(t) - \theta_{E\Delta}(t)] \quad (2)$$

όπου με "U" συμβολίζεται ο ισοδύναμος συντελεστής μετάδοσης και με "A" η αντίστοιχη επιφάνεια του θερμοκηπίου. Ακολούθως, για τον υπολογισμό της απαραίτητης θερμότητας αερισμού θα ισχύει:

$$\dot{Q}_v = \dot{m} \cdot C_p \cdot [\theta(t) - \theta_{\pi}(t)] \quad (3)$$

όπου η παροχή αερισμού "m(t)" είναι κατά κανόνα ασυνεχής, καθώς ο αερισμός είναι εντονότερος τις θερμές ώρες της ημέρας. Για την εκτίμηση της λανθάνουσας θερμότητας αμμοποίησης απαιτείται αναλυτική γνώση των ιδιοτήτων των προς καλλιέργεια φυτών και ξεφευγει από τους σκοπούς της παρούσας εργασίας, {6}, {8}. Τέλος, το ύψος της απορροφούμενης ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται από τη γεωγραφική θέση της εγκατάστασης, την εποχή του έτους, το προσανατολισμό και τη γωνία ως προς το οριζόντιο επίπεδο των επιφανειών του θερμοκηπίου, τις ιδιότητες του υλικού κάλυψης αλλά και την ανακλαστικότητα του εδάφους. Γενικά μπορεί να γραφεί ότι:

$$\dot{Q}_s = \sum_{i=1}^{imax} A_i \cdot (F_{D_i} \cdot I_{D_i} + F_{d_i} \cdot I_{d_i}) \cdot (1 - \Gamma) \quad (4)$$

όπου με "I_D" συμβολίζεται η ένταση της άμεσης και με "I_d" η ένταση της διάχυτης ακτινοβολίας, ενώ με "F_D" και "F_d" συμβολίζονται οι αντίστοιχοι συντελεστές ισοδύναμης διαπερατότητας των παράπλευρων επιφανειών και με "Γ" η ανακλαστικότητα του περιεχομένου του θερμοκηπίου. Για λόγους ασφαλούς ανάπτυξης των προς καλλιέργεια φυτών πρέπει να ισχύει:

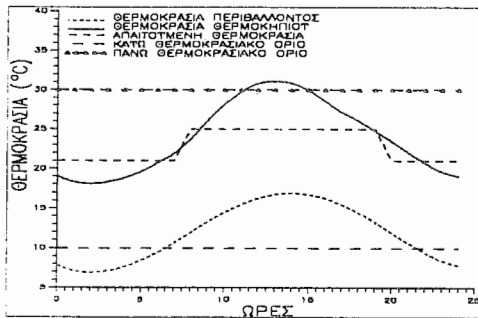
$$\theta_{\min} \leq \theta(t) \leq \theta_{\max} \quad (5)$$

4. ΣΥΜΒΟΛΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ ΣΤΗΝ ΚΑΛΥΨΗ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ

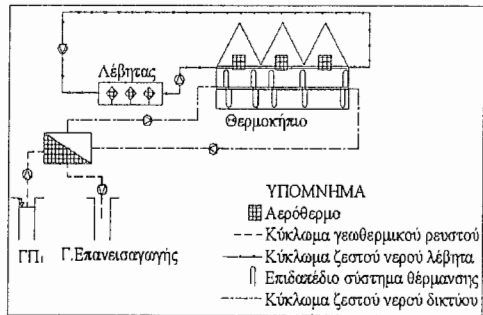
Έχοντας υπολογίσει τις θερμικές απαιτήσεις ενός αγροτικού θερμοκηπίου βάσει των εξισώσεων (1) έως (4) εκτιμάται (για ΔQ<0) η απαιτούμενη εξωτερικά προσδιδόμενη θερμότητα, η οποία καλύπτεται συνήθως με τη χρήση πετρελαίου ή και φυσικού αερίου, παροχής "m_f" βάσει της:

$$\dot{m}_f = \frac{\Delta \dot{Q}}{H_u \cdot \eta} \quad (6)$$

όπου "η" ο βαθμός απόδοσης του συστήματος θέρμανσης και "H_u" η θερμογόνος ικανότητα του καυσίμου. Όπως προκύπτει από το σχήμα /2/ η απαιτούμενη θερμοκρασία δεν ξεπερνά τους 30°C με αποτέλεσμα να θεωρείται (από εξεργειακής σκοπιάς - ποιότητας ενέργειας) μη ορθολογική η χρησιμοποίηση θερμότητας υψηλής θερμοκρασίας (καυσαέρια 500 °C) για την κάλυψη θερμικών φορτίων χαμηλής θερμοκρασίας. Στα πλαίσια συνεπώς της ορθολογικής διαχείρισης ενέργειας προτείνεται η αξιοποίηση των διαθέσιμων ανά την Ελλάδα γεωθερμικών πεδίων χαμηλής ενθαλπίας, για την κάλυψη των θερμικών αναγκών μιας αντίστοιχης εγκατάστασης, σχήμα /3/. Συνεπώς, η απαιτούμενη παροχή γεωθερμικού ρευστού χαμηλής ενθαλπίας δίνεται σαν:



Σχήμα 2: Τυπικές Διανόμες Θερμοκρασίας σε Αγροτικό Θ/Κ.



Σχήμα 3: Τυπικό Ηλιο-Γεωθερμικό Θ/Κ.

$$\dot{m}_w = \frac{\Delta \dot{Q}}{C_{p_w} \cdot (\theta_{win} - \theta_{wex})} \quad (7)$$

με " θ_{win} " και " θ_{wex} " τη θερμοκρασία εισόδου και εξόδου του γεωθερμικού ρευστού στη θερμοκηπιακή εγκατάσταση. Παράλληλα, η απορροφούμενη ηλεκτρική ισχύς για την κίνηση των αντλιών μεταφοράς του ρευστού δίνεται σαν:

$$N_G = \frac{g \cdot H \cdot \dot{m}_w}{\eta_A} \quad (8)$$

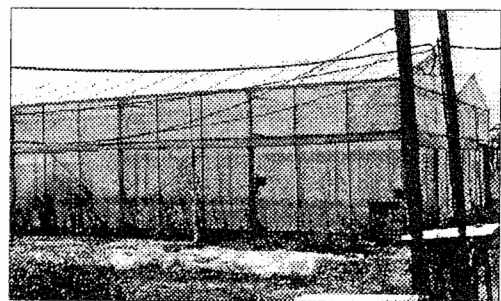
όπου "H" το ύψος λειτουργίας της αντλίας (περιλαμβάνει διαφορά υψομέτρου και απώλειες τριβών - συγκεντρωμένων αντιστάσεων) και " η_A " ο βαθμός απόδοσης του συστήματος αντλία - κινητήρα.

5. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗ ΘΕΡΙΝΗ ΗΛΙΟΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ

Για την επίτευξη υψηλότερων διανομών θερμοκρασίας σε βάθη από 0cm (επιφάνεια) μέχρι τα 30cm (συνήθισμένη κατάληξη ριζωμάτων των φυτών) αναφέρονται ποικίλοι τρόποι επεμβάσεων στο έδαφος του θερμοκηπίου. Η μελετηθείσα διαδικασία {9} έχει διπλή σκοπιμότητα και προοπτική, δηλαδή:

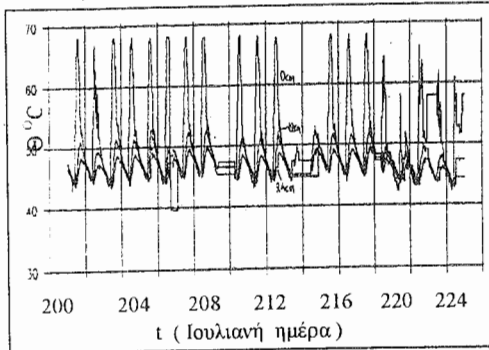
- Να αξιοποιηθεί η περίοδος της θερινής αγρανάπαυσης, οπότε απουσία βλάστησης από το χώρο του θερμοκηπίου οι οποιοσδήποτε επεμβάσεις έχουν ικανοποιητική ευελιξία και αποδοτικότητα.
- Να επιχειρηθεί η συστηματική μελέτη ηλιοαπολύμανσης και βιοαποδόμησης στο έδαφος του θερμοκηπίου.

Η συνολική πειραματική προσπάθεια είχε διάρκεια τριών (3) θερινών περιόδων, τρίμηνης διάρκειας, το μεγαλύτερο μέρος της οποίας έγινε στα πλαίσια του προγράμματος "Valopen-61204.4" με την ευθύνη και οικονομική διαχείριση του ΚΑΠΕ. Στο υπό μελέτη θερμοκήπιο του εργ. Γεωργ. Κατασκευών του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών (σχήμα /4) επιχειρήθηκαν ποικίλες επεμβάσεις για την αύξηση της θερμοκρασίας του εδάφους. Δημιουργήθηκαν για το σκοπό αυτό επτά περιοχές επηρεασμού με επιφανειακές διαστάσεις 2x2m² και βάθος 1m. Σε κεντρικό τμήμα κάθε περιοχής με

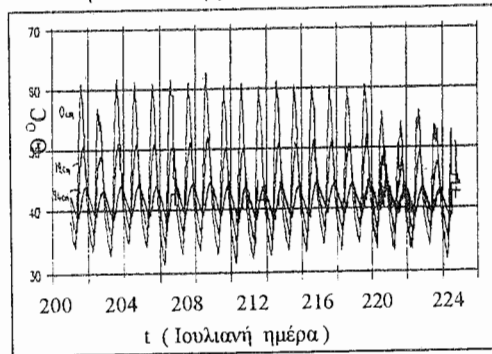


Σχήμα 4: Πειραματικό Θ/Κ Γ.Π.Α.

διαστάσεις $1 \times 1 \times 1 \text{ m}^3$ τοποθετήθηκαν θερμοζεύγη Cu-Constantan σε βάθος 0, 6, 12, 18, 24, 50 και 100cm. Εκτός από τις θερμοκρασίες στα παραπάνω βάθη, η συλλογή των μετρήσεων ανά πεντάλεπτο και σε 24ωρη βάση αφορούσε και τα μεγέθη της ολικής ηλιακής και "net" ακτινοβολίας, της σχετικής υγρασίας και της θερμοκρασίας του αέρα εντός και εκτός θερμοκηπίου. Η επεξεργασία και ανάλυση των μετρήσεων οδήγησε σε χρήσιμες διαπιστώσεις όσον αφορά την ενεργειακή και οικονομική αποδοτικότητα των επεμβάσεων.



Σχήμα 5α: Διανομή Θερμοκρασίας Εδάφους, Μέθοδος "Α"



Σχήμα 5β: Διανομή Αναφοράς Θερμοκρασίας Εδάφους

Συγκεκριμένα, ενδιαφέροντα από οικονομικής αλλά και από ενεργειακής πλευράς κρίνεται η κάλυψη του εδάφους με φύλλα θερμοφίλου πολυαιθυλενίου, πάχους 50 μm (μέθοδος "Α") καθώς και η νυκτερινή αυτόματη κάλυψη του εδάφους με φύλλα "dow" του εμπορίου για τον περιορισμό των νυκτερινών απωλειών της μεγάλης μήκους κύματος (γήινης) ακτινοβολίας (μέθοδος "F"). Παράλληλα μελετήθηκε και η τοποθέτηση σιδήρο-αγωγών ή αλουμινο-αγωγών με μορφή μανταριού και στελέχους μήκους 30cm, καθώς και συνδυασμοί των ανωτέρω μεθόδων, οι οποίες αποδεικνύονται ασύμφωρες οικονομικά, λόγω υψηλού αρχικού κόστους. Κατά τη σύγκριση των μεθόδων "Α" και "F" αποδεικνύεται η αισθητή υπεροχή της μεθόδου "Α". βλέπε σχήματα [5α],[5β], ενώ η οικονομική επιβάρυνση της εν λόγω μεθόδου είναι αρκετά μικρότερη, εφόσον δεν απαιτούνται αυτοματισμοί μετακίνησης του καλύμματος όταν μηδενίζεται η καθαρή ακτινοβολία, διαδικασία που έχει κυλιόμενη έναρξη και λήξη, ανάλογα με την ημερομηνία.

Ακολουθώντας, επιλέγοντας σαν μέθοδο υλοποίησης τη μέθοδο "Α" μελετήθηκε η ηλιοαπολύμανση του εδάφους από παθογόνους μικροοργανισμούς. Τα αποτελέσματα χαρακτηρίζονται ενθαρρυντικά, καθώς η παρουσία φύλλων θερμοφίλου πολυαιθυλενίου βελτιώνει σημαντικά τόσο την ενεργειακή συμπεριφορά της εγκατάστασης (για τις υπόλοιπες περίπου 25 ημέρες) όσο και την απόδοση της απολύμανσης. Ανάλογες πειραματικές μετρήσεις συνεχίζονται και σήμερα από τους συγγραφείς με στόχο την εφαρμογή της διερευνούμενης μεθόδου στην πράξη.

6. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΩΝ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ

Η βασική ιδέα του προτεινόμενου συστήματος επεμβάσεων περιλαμβάνει ορθολογική κατανομή του θερμοκρασιακού πεδίου του αγροτικού θερμοκηπίου με το χρόνο, ανύψωση της θερμοκρασίας έναρξης λειτουργίας του εδάφους μέσω της θερινής ηλιοαπολύμανσης και αντικατάσταση του συστήματος συμβατικής θέρμανσης (το οποίο διατηρείται σε εφεδρία) με σύστημα μεταφοράς και χρήσης γεωθερμικού ρευστού.

Η προτεινόμενη ανάλυση θα παρουσιασθεί ανά στρέμμα καλυπτόμενου εδάφους, αν και για μεγαλύτερες καλλιέργειες λειτουργούν ευνοϊκά φαινόμενα "οικονομίας κλίμακας". Τα συνολικά διαχρονικά έξοδα δημιουργίας και λειτουργίας της ηλιο-γεωθερμικής εγκατάστασης περιλαμβάνουν το αρχικό κόστος ίδρυσης του θερμοκηπίου "IC θ " καθώς και του αντίστοιχου

συστήματος θέρμανσης "IC_{Σθ}" (συμβατικό ή γεωθερμικής βάσης). Στο μέγεθος αυτό πρέπει να προστεθεί το κόστος ετήσιας λειτουργίας της εγκατάστασης, που αποτελείται από το κόστος καυσίμου "C_{ΘΕΡΜ}", από το κόστος διακίνησης του γεωθερμικού ρευστού "C_{ΓΘ}", από το κόστος εργασίας "C_{ΕΡΓ}" καθώς και από το μέρος του κόστους κάλυψης του εδάφους με φύλλα θερμόφιλου πολυαιθυλενίου "C_{ΚΑΛ}", που δεν αποδίδεται στην ηλιοαπολύμανση. Συνεπώς το διαχρονικό κόστος λειτουργίας της διερευνούμενης εγκατάστασης δίνεται {10} σαν:

$$C_n = \{(IC_\Theta + IC_{\Sigma\Theta}) + (C_{\Theta\text{ΕΡΜ}} + C_{\Gamma\Theta} + C_{\text{ΕΡΓ}} + C_{\text{ΚΑΛ}}) \cdot \sum_{j=1}^{j=n} \left[\frac{I+g}{I+i} \right]^j\} \cdot (I+i)^n \quad (9)$$

όπου "i" το κόστος του χρήματος και "g" ο μέσος σταθμισμένος ετήσιος πληθωρισμός του πετρελαίου θέρμανσης, της ηλεκτρικής ενέργειας, της αμοιβής εργασίας και του υλικού κάλυψης του εδάφους. Τα αντίστοιχα έσοδα της μελετούμενης εγκατάστασης προέρχονται από την ετήσια παραγωγή και πώληση "R_n" των προς καλλιέργεια αγροτικών προϊόντων, οπότε ισχύει:

$$R_n = R_o \cdot (I+i)^n \cdot \sum_{j=1}^{j=n} \left[\frac{I+e}{I+i} \right]^j \quad (10)$$

όπου "e" ο μέσος ετήσιος ρυθμός αναπροσαρμογής της τιμής των καλλιεργούμενων αγροτικών προϊόντων. Ο χρόνος απόσβεσης "n*" της εγκατάστασης υπολογίζεται από την απαίτηση:

$$C_n - R_n = 0 \text{ για } n = n^* \quad (11)$$

Επλύοντας την εξίσωση (11) αντίστροφα, δηλαδή θέτοντας μια προκαθορισμένη τιμή στο χρόνο απόσβεσης (π.χ. n*=3 έτη), είναι δυνατός ο υπολογισμός της απαιτούμενης αντίστοιχης ετήσιας στρεμματικής απόδοσης του θερμοκηπίου από την εξίσωση (12) που ακολουθεί:

$$R_n = \frac{(IC_\Theta + IC_{\Sigma\Theta}) + (C_{\Theta\text{ΕΡΜ}} + C_{\Gamma\Theta} + C_{\text{ΕΡΓ}} + C_{\text{ΚΑΛ}}) \cdot \sum_{j=1}^{j=n} \left[\frac{I+g}{I+i} \right]^j}{\sum_{j=1}^{j=n} \left[\frac{I+e}{I+i} \right]^j} \quad (12)$$

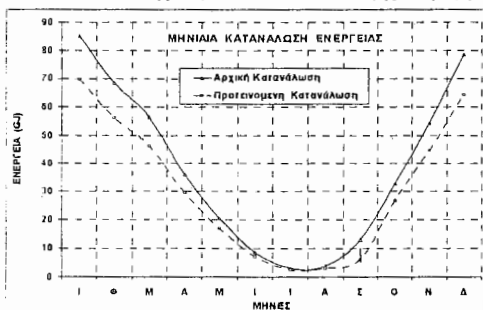
Στην περίπτωση αυτή προσμετράται ή όχι και το αντίστοιχο (ανά στρέμμα) ετήσιο κόστος εργασίας του παραγωγού. Τέλος, στην περίπτωση δωρεάν χρηματοδότησης της εγκατάστασης από υφιστάμενους εθνικούς ή ευρωπαϊκούς φορείς, τα εμφανιζόμενα μεγέθη της εξίσωσης (9) αναφέρονται στην ίδια συμμετοχή του παραγωγού.

7. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

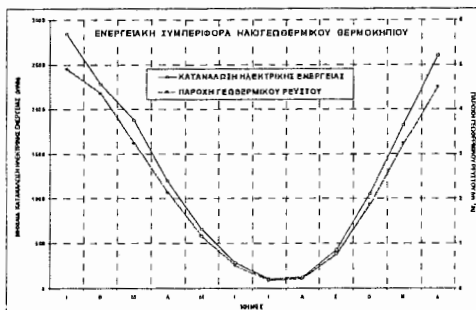
Για τη διερεύνηση της εφαρμογής των προτεινομένων επεμβάσεων επιλέγεται αρχικά η περιοχή της Νέας Τριγλίας Χαλκιδικής, όπου η κοινότητα της περιοχής έχει υπό τη διαχείρισή της τις γεωθερμικές εγκαταστάσεις ΓΠ₁ και ΓΠ₂, με θερμοκρασία 33°C και παροχή αντίστοιχα 120m³/h και 80m³/h. Σε προηγούμενες αναλύσεις {11}, {12} εξετάστηκε η συμπεριφορά ηλιογεωθερμικών θερμοκηπίων σε απόσταση 150m από το σημείο γεώτρησης με καλλιέργεια τομάτας, γαρύφαλλου και φράουλας. Στην παρούσα περίπτωση εξετάζεται αρχικά η περίπτωση καλλιέργειας τομάτας (δύο καλλιέργειες ανά έτος) με διάφορα υλικά κάλυψης, στην ίδια περίπτωση τοποθεσία.

Τα χαρακτηριστικά του δικτύου μεταφοράς της γεωθερμικής ενέργειας παρουσιάζονται στην εργασία {12} και περιλαμβάνουν πλαστικούς σωλήνες πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας (HDPE) εξωτερικής διαμέτρου 160mm και πάχους τοιχώματος 9.1mm, με πάχος μόνωσης 30mm (πολυουρεθάνη) τοποθετημένους σε όρυγμα βάθους 1.1m και πλάτους 0.4m. Το ανά στρέμμα αρχικό κόστος της γεωθερμικής εγκατάστασης (κόστος αντλιοστασίου, δικτύου γεωθερμικού ρευστού, εναλλακτών, θερμοανταλλάκτων) εκτιμάται σε 1.5 εκατ. δρχ./στρέμμα, ενώ το πρόσθετο κόστος συμβατικού συστήματος θέρμανσης εκτιμάται σε 0.8 εκατ. δρχ./στρέμμα.

Το αντίστοιχο κόστος ίδρυσης του θερμοκηπίου σε περίπτωση χρήσης γυαλιού 4mm σαν υλικό κάλυψης εκτιμάται στα 14 εκατ. δρχ. (εκ των οποίων τα 9 εκατ. δρχ. αναφέρονται στο κόστος σκελετού και θεμελίωσης της εγκατάστασης), {13}, ενώ ο θεωρητικός χρόνος ζωής της εγκατάστασης ξεπερνά κατά πολύ τα δέκα έτη λειτουργίας. Αντίστοιχα, για την περίπτωση χρήσης πολυαιθυλενίου σαν υλικό κάλυψης το αρχικό κόστος εκτιμάται στα 11 εκατ. δρχ./στρέμμα με ανάγκη αντικατάστασης του υλικού κάλυψης ανά δύο έως τρία έτη και κόστος αντικατάστασης περίπου 0.6 εκατ. δρχ./στρέμμα.

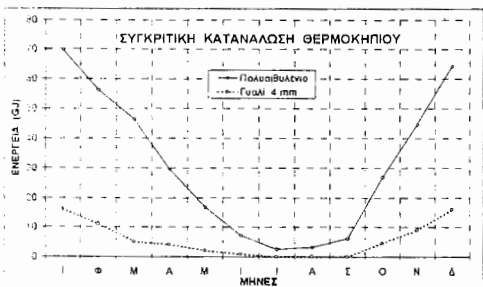


Σχήμα 6: Θερμικές Απαιτήσεις Θ/Κ

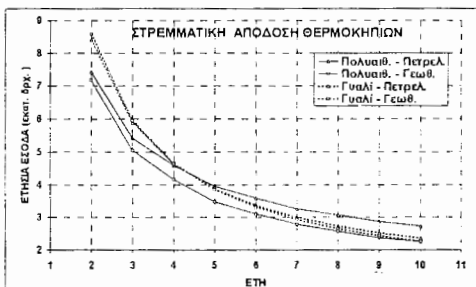


Σχήμα 7: Απαιτήσεις Θ/Κ σε Γεωθερμικό Ρευστό

Χρησιμοποιώντας τον υπολογιστικό κώδικα "ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ-97" {14} δίνονται στο σχήμα /6/ οι ενεργειακές απαιτήσεις της υπό μελέτη εγκατάστασης, λαμβάνοντας υπόψιν και τις προτεινόμενες επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας, για την περίπτωση χρήσης πολυαιθυλενίου ως υλικό κάλυψης. Η απαιτούμενη ετήσια κατανάλωση πετρελαίου εκτιμάται τελικά σε 9,000kg/στρέμμα σε σχέση με τα 10,800kg/στρέμμα που αρχικά υπολογίστηκαν {12}. Στο επόμενο σχήμα /7/ παρουσιάζεται η ποσότητα του απαιτούμενου γεωθερμικού ρευστού για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της εγκατάστασης (μέση μηνιαία παροχή) σε συνδυασμό με την απαιτούμενη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας των αντλιών διακίνησης του γεωθερμικού ρευστού. Τέλος, στο σχήμα /8/ συγκρίνονται οι ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις του εν λόγω θερμοκηπίου για υλικό κάλυψης πολυαιθυλένιο και γυαλί 4mm. Όπως είναι αναμενόμενο η χρήση γυαλιού οδηγεί σε εξοικονόμηση πετρελαίου 7,300kg/στρέμμα.



Σχήμα 8: Θερμικές Απαιτήσεις Θ/Κ



Σχήμα 9: Οικονομική Απόδοση Θ/Κ

Για την ολοκλήρωση του παραδείγματος παρουσιάζονται στο σχήμα /9/ οι ελάχιστες ετήσιες στρεμματικές αποδόσεις των δύο θερμοκηπίων για διάρκεια ζωής των εγκαταστάσεων από 2 έως 10 έτη, για τις περιπτώσεις χρήσης πετρελαίου και γεωθερμικού ρευστού, για την κάλυψη των θερμικών απαιτήσεων της εγκατάστασης. Για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων το κόστος του πετρελαίου ελήφθη ίσο με 80,000δρχ/μετρ. τόνο, το κόστος του γεωθερμικού ρευστού υπολογίστηκε βάσει της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας του σχήματος /7/ συν το ετήσιο κόστος συντήρησης της εγκατάστασης, το κόστος κάλυψης του εδάφους τη θερινή περίοδο αποδόθηκε αποκλειστικά στη διαδικασία ηλιοαπολύμανσης, ενώ το ετήσιο κόστος εργασίας εκτιμάται στα 0.3 εκατ. δρχ./στρέμμα. Παράλληλα, το ετήσιο κόστος του χρήματος ελήφθη ίσο

με $i=10\%$, ο ετήσιος μέσος πληθωρισμός θεωρήθηκε ίσος με $g=3\%$ και η ετήσια αναπροσαρμογή της τιμής του προϊόντος ορίσθηκε ίση με $e=5\%$. Όπως προκύπτει από το σχήμα 19/ η βιωσιμότητα της εγκατάστασης ενισχύεται σημαντικά από τη χρήση του γεωθερμικού ρευστού χαμηλής ενθαλπίας για την περίπτωση χρήσης πολυαιθυλενίου, οπότε και η απαιτούμενη στρεμματική απόδοση της καλλιέργειας δεν ξεπερνά το ποσόν των 2.5÷4.0 εκατ. δρχ./στρέμμα. Αντίστοιχα, η χρήση γεωθερμικού ρευστού σε εγκαταστάσεις με γυαλί δεν επηρεάζει σημαντικά την οικονομική συμπεριφορά της επένδυσης, λόγω της περιορισμένης συμμετοχής του κόστους ενέργειας στο συνολικό κόστος της επένδυσης.

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται μια ολοκληρωμένη οικονομικοτεχνική ανάλυση ενεργειακής συμπεριφοράς ηλιο-γεωθερμικών αγροτικών θερμοκηπίων στον Ελλαδικό χώρο. Στα πλαίσια αυτά, εξετάζεται αρχικά η ενεργειακή και θερμοκρασιακή συμπεριφορά αντίστοιχων εγκαταστάσεων και προτείνονται παράλληλα τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας χαμηλού κόστους. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη χρήση γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας για κάλυψη των θερμικών απαιτήσεων αγροτικών θερμοκηπίων σε αντικατάσταση χρήσης πετρελαίου. Η προτεινόμενη επέμβαση αποδεικνύεται εν γένει οικονομικά βιώσιμη και ελκυστική, ενώ συμβάλλει στη γενικότερη εθνική προσπάθεια εξοικονόμησης ενέργειας και προστασίας περιβάλλοντος.

9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Κοτσάκης Δ., Μαυρογιαννόπουλος Γ., 1994, "Μελέτη για τη Διερεύνηση των Προϊκθεσέων Εκσυγχρονισμού των Ελληνικών Θερμοκηπίων", Ινστιτούτο Ανάπτυξης και Διαχείρισης Φυσικών Πόρων, Πειραιάς.
- [2] Καλδέλλης Ι., 1994, "Εισαγωγή στην Αξιοποίηση της Γεωθερμίας", Διδακτικές Σημειώσεις, Τμήμα Μηχανολογίας, ΤΕΙ Πειραιά.
- [3] Σφηνιάς Εμ, Καλδέλλης Ι., 1999, "Μελέτη - Σχεδιασμός - Ανάλυση Λειτουργίας Αγροτικών Θερμοκηπίων", D-30, Πτυχιακή Εργασία, Εργ. ΗΜΕ & ΠΡΟΠΕ, ΤΕΙ Πειραιά.
- [4] Santamouris M., Balaras C., Daskalaki E., Vallindras M., Gountelas G., 1992, "A Classification and Evaluation of Technologies and Systems in Solar Agricultural Greenhouses in Southern Europe", European Seminar - A Thermie Programme Action, Crete.
- [5] Καλδέλλης Ι., 1997, "Εφαρμογές των ΗΜΕ: Τεύχος Γ', Γεωθερμία Χαμηλής Ενθαλπίας - Αγροτικά Θερμοκήπια", Διδακτικές Σημειώσεις, Τμήμα Μηχανολογίας, ΤΕΙ Πειραιά.
- [6] Μαυρογιαννόπουλος Γ., 1990, "Θερμοκήπια, Περιβάλλον - Υλικά - Κατασκευή - Εξασλισμός", Εκδ. Α. Σταμούλης, Πειραιάς.
- [7] Χαρώνης Π., 1988, "Ηλιακά Παθητικά Θερμοκήπια", Εκδ. "Ιων", Πειραιάς.
- [8] Φραγκαυδάκης Α., Κυρίτσης Σ., Γαραφαλάκης Ι., 1991, "Μελέτη Μετάδοσης Θερμότητας στο Έδαφος Θ/Κ με τη Μέθοδο Πεπερασμένων Στοιχείων", Τεχνικό Σεμινάριο του Γ.Π.Α.
- [9] Γαραφαλάκης Ι., Φραγκαυδάκης Α., 1993, "Συμβολή στην Αποθήκευση Ενέργειας και την Ηλιοαπολύμανση Εδάφους σε Θερμοκήπιο με Χρήση Πλαστικών και Μεταλλικών Αγωγών", Τελική Έκθεση για το Πρόγραμμα VALOREN 61204.4 (έργο 6), Αθήνα.
- [10] Καλδέλλης Ι., 1992, "Οικονομική Βιωσιμότητα Αναανεώσιμων Πηγών Ενέργειας", Εκδ. ΠΤΕ/ΕΛΚΕΠΙΑ, Αθήνα.
- [11] ΚΑΠΕ, 1993, "Οριστική Μελέτη Τεχνοοικονομικής Σκοπιμότητας για την Ανάπτυξη Γεωθερμικών Θερμοκηπίων στις Περιοχές: Λεκάνη Σπερχειού-Ελαιοχώρια-Ν. Τρίγλια Χαλκιδικής-Πολύχνητο-Στύμη Λέσβου", Αθήνα.
- [12] Σχορετσάντης Κ., Καλδέλλης Ι., 1996, "Εφαρμογές Αξιοποίησης Γεωθερμικής Ενέργειας Χαμηλής Ενθαλπίας στην Ελλάδα", S-166, Εργ. Ήπιων Μορφών Ενέργειας, ΤΕΙ Πειραιά.
- [13] Περιβολάρης Κ., Καλδέλλης Ι., 1997, "Αγροτικά Θερμοκήπια - Η Ελληνική Πραγματικότητα", S-205, Εργαστήριο Ήπιων Μορφών Ενέργειας, ΤΕΙ Πειραιά.
- [14] Κοντογιάννης Ι., Καλδέλλης Ι., 1997, "Πρόγραμμα Η/Υ για τον Υπολογισμό των Ενεργειακών Απαιτήσεων Θερμοκηπίου", S-266, Εργ. Ήπιων Μορφών Ενέργειας, ΤΕΙ Πειραιά.