



Ελληνική Δημοκρατία
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό
Ίδρυμα Ηπείρου

Γεωργικές και Θερμοκηπιακές κατασκευές (Εργαστήριο)

Ενότητα 8 : Υπολογισμός θερμικών αναγκών II
Δρ. Μενέλαος Θεοχάρης



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Υπολογισμός των θερμικών αναγκών των θερμοκηπίων με τη μέθοδο που χρησιμοποιείται στην οικοδομική

2.1. Γενικά

Οι απώλειες θερμότητας για τις περιπτώσεις που δεν απαιτείται ιδιαίτερη ακρίβεια, ιδιαίτερα για τον προσδιορισμό του μέγιστου ποσού θερμικών απωλειών, μια περισσότερο απλοποιημένη μέθοδος είναι συνήθως αρκετή.

Σε αυτή την περίπτωση το θερμοκήπιο θεωρείται ως ένα σώμα που αυξάνει την ενέργειά του με την ακτινοβολία που δέχεται από τον ήλιο και τη θερμότητα που απελευθερώνεται μέσα σ' αυτό από το σύστημα θέρμανσης και χάνει ενέργεια μέσω του καλύμματος και με τις διαφυγές του αέρα από το χώρο του.

Οι συνολικές απώλειες θερμότητας από το θερμοκήπιο μπορούν να εκφραστούν ανά μονάδα καλυμμένου εδάφους, από τη σχέση:

$$q = q_c + q_v \quad [\text{W}/\text{m}^2] \quad (2.1)$$

όπου:

q_c είναι όλες οι απώλειες ενέργειας (κυρίως με συναγωγή και ακτινοβολία) μέσω του καλύμματος σε W/m^2

q_v είναι οι απώλειες ενέργειας από τις διαρροές αέρα σε W/m^2

2.2. Απώλειες ενέργειας από το κάλυμμα

Οι απώλειες ενέργειας από το κάλυμμα με αρκετά καλή προσέγγιση, μπορούν να εκφραστούν από τη γραμμική σχέση:

$$q_c = \frac{A_c}{A_g} \times K_c \times (T_i - T_o) \quad [\text{W}/\text{m}^2] \quad (2.2)$$

όπου:

A_c είναι η επιφάνεια του καλύμματος του θερμοκηπίου σε m^2

A_g είναι η επιφάνεια του εδάφους του θερμοκηπίου σε m^2

T_i είναι η μέση επιθυμητή θερμοκρασία του εσωτερικού του θερμοκηπίου σε $^{\circ}\text{C}$

T_o είναι η μέση θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος σε $^{\circ}\text{C}$.

K_c είναι ο ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας από το κάλυμμα σε $\text{W}/\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{K}$

Η T_i εξαρτάται από το είδος της καλλιέργειας και οι τιμές της δίνονται στον πίνακα 1.1.

Η T_o αναζητείται στο διαδίκτυο. Υπάρχουν διάφορες ιστοσελίδες από τις οποίες προκύπτει η T_o , π.χ. η ιστοσελίδα της EMY: <http://www.hnms.gr/hnms/greek/climatology/> ή η ιστοσελίδα της meteo : www.meteo.gr/meteoplus/ClimaticDataGR.xls.

Στην οικοδομική, για τον υπολογισμό του ολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας των κατασκευών, έχει εισαχθεί η έννοια των συνθηκών επιφανείας, για να εκφραστεί η θερμότητα που μεταφέρεται στην εσωτερική ή την εξωτερική πλευρά ενός κατασκευαστικού στοιχείου με ακτινοβολία, συναγωγή και συμπύκνωση - εξάτμιση.

Ο ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας των κατασκευαστικών στοιχείων, όπως τοίχοι και οροφές, μπορεί να προσδιορισθεί αν συνδυασθούν οι θερμικές αντιστάσεις των υλικών από τα οποία αποτελείται το κάθε στοιχείο, με την κατάλληλη αντίσταση συνθηκών επιφανείας και δίνεται από τη σχέση:

$$K_c = \frac{1}{R_i + R_\lambda + R_{out}} \quad [\text{W}/\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{K}] \quad (2.3)$$

όπου:

R_i είναι η θερμική αντίσταση συνθηκών της εσωτερικής επιφανείας σε $\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{K}/\text{W}$

R_λ είναι η θερμική αντίσταση του υλικού σε $\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{K}/\text{W}$

R_{out} είναι η θερμική αντίσταση συνθηκών της εξωτερικής επιφάνειας σε $m^2 \text{ } ^\circ K/W$

2.2.1. Η θερμική αντίσταση συνθηκών της εσωτερικής επιφάνειας

Σε μια κατασκευή όπως το θερμοκήπιο, η θερμότητα που μεταφέρεται στην εσωτερική επιφάνεια του καλύμματος (με ακτινοβολία, συναγωγή και με τη λανθάνουσα θερμότητα όταν συμβαίνει συμπύκνωση), επηρεάζεται από τον τύπο και τη θέση του συστήματος θέρμανσης και επομένως ο συντελεστής συνθηκών επιφανείας της εσωτερικής πλευράς του καλύμματος είναι διαφορετικός στην κάθε περίπτωση.

Τιμές θερμικών αντιστάσεων συνθηκών του εσωτερικού της επιφάνειας του καλύμματος δίδονται στον παρακάτω πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1. Αντιστάσεις συνθηκών του εσωτερικού της επιφανείας καλύμματος (von Zabeltitz, 1986)

Σύστημα θέρμανσης	Θερμική αντίσταση των συνθηκών της εσωτερικής επιφάνειας R_i , [$m^2 \text{ } ^\circ K/W$]
Σωλήνες ψηλά	0,09
Σωλήνες στα τοιχώματα και στους ενδιάμεσους στύλους	0,09
Σωλήνες κάτω από τραπέζια της καλλιέργειας	0,10
Σωλήνες στο έδαφος	0,12
Αερόθερμα ελεύθερα	0,09
Αερόθερμα με αγωγούς αέρα	0,10
Μικτό σύστημα θέρμανσης με σωλήνες και αερόθερμα	0,10

2.2.2. Η θερμική αντίσταση του υλικού

Η θερμική αντίσταση του υλικού του καλύμματος του θερμοκηπίου είναι:

$$R_\lambda = 1/\lambda \quad [m^2 \text{ } ^\circ K/W] \quad (2.4)$$

όπου λ είναι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού. Τιμές του R_λ για συνήθη υλικά κάλυψης θερμοκηπίου δίδονται στον πίνακα 2.2. Εάν το κάλυμμα του θερμοκηπίου αποτελείται από περισσότερες από μία στρώσεις, όπως διπλό ή τριπλό κάλυμμα, η συνολική θερμική αντίσταση είναι το άθροισμα των αντιστάσεων των διαφόρων στρώσεων, δηλαδή:

$$R_\lambda = \sum R_j \quad [m^2 \text{ } ^\circ K/W] \quad (2.5)$$

όπου R_j η θερμική αντίσταση μίας στρώσης.

Πίνακας 2.2. Θερμική αντίσταση υλικών κάλυψης θερμοκηπίων, R_λ , (von Zabeltitz, 1986).

Υλικό κάλυψης	Θερμική αντίσταση του υλικού R_λ [$m^2 \text{ } ^\circ K/W$]
Απλός υαλοπίνακας	0,01
Απλή επιφάνεια σκληρού πλαστικού, κυματοειδής πάχους 1mm	0,01
Διπλή επιφάνεια σκληρού πλαστικού με κενό αέρος 15mm	0,24
Διπλή επιφάνεια σκληρού πλαστικού με κενό αέρος 12mm	0,11
Διπλή επιφάνεια σκληρού πλαστικού με κενό αέρος 6mm	0,09
Απλό φύλλο πλαστικού PE, PVC	0,01
Διπλό φύλλο πλαστικού με κενό αέρος 12mm	0,15
Διπλό φύλλο πλαστικού με κενό αέρος 5mm	0,15

Αν ένα τμήμα του θερμοκηπίου είναι κατασκευασμένο με κτιστό τοίχο, η απώλεια ενέργειας μέσω αυτού υπολογίζεται από τον ίδιο τύπο, αφού ληφθεί υπόψη η θερμική αντίσταση που

παρουσιάζει ο τοίχος (πίνακας 2.3.) και η έκταση της επιφάνειας για τον υπολογισμό του ολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας.

Πίνακας 2.3. Θερμική αγωγιμότητα, λ, των υλικών τοιχοποιίας (IHVE, 1971).

Υλικό	Θερμική αγωγιμότητα του υλικού, λ, W /m ² °K
Οπτόπλινθοι (τούβλα)	0,84
Τσιμεντόπλιθοι	0,15 – 0,30
Τοίχος σκυροδέματος	1,4
Ξύλο μαλακό	0,13
Ξύλο σκληρό	0,15
Διογκωμένη πολυστερίνη	0,03
Πολυουρεθάνη, άκαμπτες επιφάνειες	0,02

Τα διαφανή καλύμματα επειδή έχουν μικρό πάχος (πλαστικό ή γυαλί) έχουν μικρή θερμική αντίσταση και σε χαμηλές εξωτερικές θερμοκρασίες η ροή ενέργειας προς τα έξω είναι μεγάλη.

Όσο η διάρκεια της νύχτας γίνεται μεγαλύτερη (λιγότερη ενέργεια από τον ήλιο στο θερμοκήπιο και έξω από αυτό), τόσο οι απαιτήσεις για θέρμανση στο θερμοκήπιο είναι μεγαλύτερες.

Μερικά μονωμένα θερμοκήπια, όπου χρησιμοποιείται τεχνητός φωτισμός, απαιτούν 80 % λιγότερη θέρμανση σε σχέση με τα διαφανή (Chandra P. and Albright L., 1980).

2.2.3. Η θερμική αντίσταση συνθηκών της εξωτερικής επιφάνειας

Από την εξωτερική πλευρά του καλύμματος του θερμοκηπίου η θερμότητα μεταφέρεται με βεβιασμένη συναγωγή και θερμική ακτινοβολία. Η τιμή της θερμικής αντίστασης των συνθηκών του εξωτερικού της επιφάνειας, επηρεάζεται επομένως από τον άνεμο, τη βροχή και την ακτινοβολία του ουρανού. Τιμές της θερμικής αντίστασης των συνθηκών του εξωτερικού της επιφάνειας δίδονται στον επόμενο πίνακα 2.4.

Πίνακας 2.4. Αντιστάσεις των συνθηκών του εξωτερικού της επιφάνειας καλύμματος του θερμοκηπίου (IHVE, 1971).

Έκθεση στον άνεμο	Θερμική αντίσταση πλευρών m ² °K/W	Θερμική αντίσταση οροφής m ² °K/W
Υπήνεμη	0,080	0,070
Κανονική	0,055	0,045
Προσήνεμη	0,030	0,020

2.3. Απώλειες από διαφυγές του αέρα

Αφορούν την ενέργεια που ανταλλάσσεται με την είσοδο και έξοδο του αέρα στο θερμοκήπιο. Ο ρυθμός ανταλλαγών αέρα εξαρτάται από το σχήμα του θερμοκηπίου, το υλικό κάλυψης, τον τρόπο προσαρμογής του υλικού κάλυψης, τη θέση των παραθύρων εξαερισμού και την ταχύτητα και κατεύθυνση του ανέμου.

Για τον προσδιορισμό της ανταλασσόμενης ενέργειας από τις διαρροές του αέρα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η επόμενη σχέση:

$$q_v = C_p \times \rho \times \frac{V_0}{A_g} \times R \times (T_i - T_0) \quad (2.6)$$

όπου:

V_0 είναι ο όγκος του θερμοκηπίου σε m^3
 R είναι ο αριθμός των ανανεώσεων του αέρα ανά ώρα
 C_p είναι η ειδική θερμότητα του αέρα για σταθερή πίεση σε $J / Kg ^0K$
 ρ είναι η πυκνότητα του αέρα σε Kg/m^3
 R είναι οι ανανεώσεις του αέρα την ώρα σε $1/h$. Το R υπολογίζεται από τις σχέσεις (1.12) και (1.18) . Από τη σχέση (1.18) είναι $R=0,7 + 0,5 \times u$ και από τη σχέση (1.12) $u = 0,85 \times u_{10}$ (1.12) .

Επομένως :

$$R = 0,7 + 0,5 \times u = 0,7 + 0,5 \times 0,85 u_{10} = 0,7 + 0,425 u_{10}$$

Για μέσες συνθήκες ισχύει: $C_p = 1012 J / Kg ^0K$ και $\rho = 1,25 Kg/m^3$, οπότε

$$C_p \times \rho = 1265 J / m^3 ^0K = 0,35 Wh / m^3 ^0K.$$

Άρα:

$$q_v = 0,35 \times \frac{V_0}{A_g} \times R \times (T_i - T_0) \quad [W/m^2] \quad (2.7)$$

2.4. Υπολογισμός των συνολικών απωλειών

Οι συνολικές απώλειες θερμότητας από το θερμοκήπιο στη μονάδα χρόνου και ανά μονάδα καλυμμένου εδάφους, υπολογίζονται από τη σχέση:

$$q = q_c + q_v \quad [W/m^2] \quad (2.1)$$

Οι μηνιαίες απώλειες ανά μονάδα καλυμμένου εδάφους, υπολογίζονται από τη σχέση:

$$q_M = q \times D_N = (q_c + q_v) \times D_N \quad [kWh/m^2 \text{ μήνα}] \quad (2.8)$$

Οι συνολικές μηνιαίες απώλειες από το θερμοκήπιο υπολογίζονται από τη σχέση:

$$q_{TM} = q_M \times A_g \quad [kWh/\text{μήνα}] \quad (2.9)$$

Στη σχέση (2.8) D_N είναι η μέση μηνιαία διάρκεια της νύχτας η οποία υπολογίζεται από τη σχέση:

$$D_N = NL \times \mu \quad (2.10)$$

όπου :

NL είναι η διάρκεια της νύχτας της αντιπροσωπευτικής ημέρας του μήνα σε ώρες και μ είναι ο αριθμός ημερών του μήνα.

Η NL υπολογίζεται είτε από τον πίνακα 2.5 , είτε από τη σχέση:

$$NL = 24 - DL \quad (2.11)$$

Όπου DL είναι η διάρκεια της ημέρας σε h , που υπολογίζεται είτε από τον πίνακα 2.5 , είτε

από τη σχέση (1.6): $DL = \frac{2}{15} \times \text{συν}^{-1}(-\epsilon\phi\phi \times \epsilon\phi\delta)$.

Πίνακας 2.5. Μέση διάρκεια της ημέρας , DL , κατά μήνα και γεωγραφικό πλάτος.

Μήνας	I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ
Αντιπροσωπευτική ημέρα (I)	17	47	75	105	135	162	198	228	258	288	318	344
Απόκλιση της γης , δ , ($^\circ$)	-	-	-2,42	9,41	18,79	23,09	21,18	13,45	2,22	-9,60	-	-
Γεωγραφικό πλάτος , ϕ , ($^\circ$)	Διάρκεια της ημέρας, DL , (h)											
35,00	9,93	10,76	11,77	12,89	13,84	14,32	14,10	13,29	12,21	11,09	10,15	9,69
35,20	9,91	10,75	11,77	12,90	13,85	14,33	14,12	13,30	12,21	11,09	10,14	9,67
35,40	9,90	10,75	11,77	12,90	13,87	14,35	14,13	13,31	12,21	11,08	10,12	9,65
35,60	9,88	10,74	11,77	12,91	13,88	14,37	14,15	13,32	12,21	11,07	10,11	9,64
35,80	9,87	10,73	11,77	12,92	13,89	14,39	14,16	13,32	12,21	11,07	10,09	9,62
36,00	9,85	10,72	11,77	12,92	13,91	14,41	14,18	13,33	12,21	11,06	10,08	9,60
36,20	9,83	10,71	11,76	12,93	13,92	14,42	14,20	13,34	12,22	11,05	10,06	9,58
36,40	9,82	10,70	11,76	12,94	13,94	14,44	14,21	13,35	12,22	11,04	10,05	9,56
36,60	9,80	10,69	11,76	12,94	13,95	14,46	14,23	13,36	12,22	11,04	10,03	9,54
36,80	9,78	10,68	11,76	12,95	13,97	14,48	14,25	13,37	12,22	11,03	10,02	9,53

37,00	9,77	10,67	11,76	12,96	13,98	14,50	14,26	13,38	12,22	11,02	10,01	9,51
37,20	9,75	10,66	11,76	12,96	14,00	14,52	14,28	13,40	12,22	11,02	9,99	9,49
37,40	9,73	10,65	11,75	12,97	14,01	14,54	14,30	13,41	12,23	11,01	9,98	9,47
37,60	9,72	10,64	11,75	12,98	14,03	14,56	14,32	13,42	12,23	11,00	9,96	9,45
37,80	9,70	10,63	11,75	12,99	14,04	14,57	14,33	13,43	12,23	10,99	9,95	9,43
38,00	9,68	10,62	11,75	12,99	14,06	14,59	14,35	13,44	12,23	10,99	9,93	9,41
38,20	9,67	10,61	11,75	13,00	14,07	14,61	14,37	13,45	12,23	10,98	9,91	9,39
38,40	9,65	10,60	11,74	13,01	14,09	14,63	14,39	13,46	12,23	10,97	9,90	9,37
38,60	9,63	10,59	11,74	13,01	14,10	14,65	14,40	13,47	12,24	10,97	9,88	9,35
38,80	9,61	10,58	11,74	13,02	14,12	14,67	14,42	13,48	12,24	10,96	9,87	9,33
39,00	9,60	10,57	11,74	13,03	14,13	14,69	14,44	13,49	12,24	10,95	9,85	9,31
39,20	9,58	10,56	11,74	13,04	14,15	14,71	14,46	13,50	12,24	10,94	9,84	9,29
39,40	9,56	10,55	11,73	13,04	14,16	14,73	14,47	13,51	12,24	10,94	9,82	9,27
39,60	9,54	10,54	11,73	13,05	14,18	14,75	14,49	13,52	12,24	10,93	9,80	9,25
39,80	9,52	10,53	11,73	13,06	14,20	14,77	14,51	13,53	12,25	10,92	9,79	9,23
40,00	9,51	10,52	11,73	13,07	14,21	14,79	14,53	13,54	12,25	10,91	9,77	9,21
40,20	9,49	10,51	11,73	13,07	14,23	14,82	14,55	13,56	12,25	10,90	9,76	9,19
40,40	9,47	10,49	11,73	13,08	14,24	14,84	14,57	13,57	12,25	10,90	9,74	9,17
40,60	9,45	10,48	11,72	13,09	14,26	14,86	14,59	13,58	12,25	10,89	9,72	9,15
40,80	9,43	10,47	11,72	13,10	14,28	14,88	14,61	13,59	12,26	10,88	9,71	9,13
41,00	9,41	10,46	11,72	13,11	14,29	14,90	14,62	13,60	12,26	10,87	9,69	9,11
41,50	9,36	10,43	11,71	13,12	14,34	14,95	14,67	13,63	12,26	10,85	9,65	9,05
42,00	9,32	10,41	11,71	13,14	14,38	15,01	14,72	13,66	12,27	10,83	9,60	9,00

2.5. Άσκηση 5

Να γίνει ο υπολογισμός των θερμικών αναγκών ενός θερμοκηπίου που είναι εγκατεστημένο στη Θεσσαλονίκη για το μήνα Ιανουάριο σύμφωνα με την απλοποιημένη μέθοδο της οικοδομικής. Το θερμοκήπιο είναι απλό τοξωτό ενός ανοίγματος έχει πλάτος $s = 6,00 \text{ m}$ και μήκος $L = 40,00 \text{ m}$. Έχει κάλυψη από απλό φύλλο πολυαιθυλενίου, θερμαίνεται με αερόθερμο και είναι τοποθετημένο σε περιοχή προστατευμένη από τον άνεμο. Στο θερμοκήπιο καλλιεργούνται τριαντάφυλλα.

Λύση

2.5.1. Υπολογισμός γεωμετρικών και κλιματολογικών παραμέτρων

$$A_g = s \cdot L = 6,00 \text{ m} \cdot 40,00 \text{ m} = 240,00 \text{ m}^2$$

$$A_c = \frac{\pi \cdot s}{2} \cdot L + 0,5 \cdot \frac{\pi \cdot s^2}{4} \cdot 2 = \frac{3,14 \cdot 6,00 \text{ m}}{2} \cdot 40,00 \text{ m} + 0,5 \cdot \frac{3,14 \cdot 6,00^2 \text{ m}^2}{4} \cdot 2 = 405,27 \text{ m}^2$$

$$V_0 = \frac{\pi \cdot s^2}{4} \cdot L = 0,5 \cdot \frac{3,14 \cdot 6,00^2 \text{ m}^2}{4} \cdot 40,00 \text{ m} = 565,49 \text{ m}^3$$

$$\varphi = 40^\circ 45' = 40^\circ + \left(\frac{45}{60}\right)^\circ = 40^\circ + 0,75^\circ = 40,75^\circ$$

Αντιπροσωπευτική ημέρα του Ιανουαρίου: $I = 17$

Η θέρμανση είναι αναγκαία όταν για τη μέση θερμοκρασία νυκτός ισχύει η σχέση: $T_0 < T_i$.

Η T_0 σύμφωνα με την ιστοσελίδα της EMY: <http://www.hnms.gr/hnms/greek/climatology/> και την ιστοσελίδα της Meteo: www.meteo.gr/meteoplus/ClimaticDataGR.xls, για τη Θεσσαλονίκη έχει τις τιμές του επόμενου πίνακα 2.10.

Πίνακας 2.10. Μέση θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος στη Θεσσαλονίκη σε °C σύμφωνα με την ΕΜΥ και τη Meteo.

Μήνας		Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
T ₀ (°C)	E.M.Y	5,2	6,7	9,7	14,2	19,6	24,4	26,6	26,0	21,8	16,2	11,0	6,9
	Meteo	5,0	6,7	9,6	14,2	19,5	24,2	26,5	25,8	21,8	16,8	10,9	6,7

Από τον πίνακα 2.10 προκύπτει για το μήνα Ιανουάριο $T_0 = 5,0$ °C.

Από τον πίνακα 1.1 (σελ. 2) προκύπτει η επιθυμητή θερμοκρασία εσωτερικού χώρου: $T_i = 15$ °C. Οι συνολικές απώλειες θερμότητας από το θερμοκήπιο μπορεί να εκφρασθούν ανά μονάδα καλυμμένου εδάφους, από τη σχέση (2.1):

$$q = q_c + q_v \text{ [W/m}^2 \text{]}$$

όπου:

q_c είναι όλες οι απώλειες ενέργειας (κυρίως με συναγωγή και ακτινοβολία) μέσω του καλύμματος σε W/m^2

q_v είναι οι απώλειες ενέργειας από τις διαρροές αέρα σε W/m^2

2.5.2. Απώλειες ενέργειας από το κάλυμμα

Οι απώλειες ενέργειας από το κάλυμμα υπολογίζονται από τη γραμμική σχέση (2.2):

$$q_c = \frac{A_c}{A_g} \times K_c \times (T_i - T_0) \text{ [W/m}^2 \text{]}$$

Θεωρείται ότι η θέρμανση του θερμοκηπίου θα γίνει είτε με σωλήνες ψηλά, στα τοιχώματα και στους ενδιάμεσους στύλους είτε με ελεύθερα αερόθερμα, οπότε από τον πίνακα 2.1 προκύπτει η θερμική αντίσταση συνθηκών της εσωτερικής επιφάνειας:

$$R_i = 0,09 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{K/W}$$

Επειδή η κάλυψη είναι απλό φύλλο PE προκύπτει, από τον πίνακα 2.2, η θερμική αντίσταση του υλικού:

$$R_\lambda = 0,01 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{K/W}$$

Τέλος με την παραδοχή ότι η κατασκευή είναι εγκατεστημένη σε υπήνεμη περιοχή και επειδή στο τοξωτό θερμοκήπιο θεωρείται ότι υπάρχει μόνο στέγη και όχι πλαϊνοί τοίχοι προκύπτει, από τον πίνακα 2.3, η θερμική αντίσταση συνθηκών της εξωτερικής επιφάνειας:

$$R_{out} = 0,07 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{K/W}$$

Επομένως :

$$K_c = \frac{1}{0,09 + 0,01 + 0,07} = 5,56 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$$

οπότε:

$$q_c = \frac{405,27 \text{ m}^2}{240 \text{ m}^2} \times 5,56 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K} \times (15,0 - 5,0) \text{ }^\circ\text{K} = 93,89 \text{ W/m}^2$$

2.5.3. Απώλειες από διαφυγές του αέρα

Οι απώλειες ενέργειας από διαφυγές του αέρα υπολογίζονται από τη σχέση (2.7) :

$$q_v = 0,35 \times \frac{V_o}{A_g} \times R \times (T_i - T_0) \text{ [W/m}^2 \text{]}$$

Ο αριθμός των ανανεώσεων του αέρα ανά ώρα είναι:

$$R = 0,7 + 0,425 u_{10} \quad [\text{h}^{-1}]$$

Το u_{10} εκφράζεται σε m/s και παίρνεται είτε από τον πίνακα 1.5 (σελ. 9), είτε από ιστοσελίδες όπως π.χ. την ιστοσελίδα της EMY: <http://www.hnms.gr/hnms/greek/climatology/> ή την ιστοσελίδα της meteo: www.meteo.gr/meteoplus/ClimaticDataGR.xls.

Στην προκειμένη περίπτωση από τον πίνακα 1.6 προκύπτει $u_{10} = 2,98 \text{ m/s}$.

$$\text{Άρα } R = 0,7 + 0,425 u_{10} = 0,7 + 0,425 \times 2,98 = 1,97 \text{ h}^{-1}$$

Με αντικατάσταση των δεδομένων προκύπτει:

$$q_v = 0,35 \text{ Wh m}^{-3} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1} \cdot \frac{565,49 \text{ m}^3}{240 \text{ m}^2} \cdot 1,97 \text{ h}^{-1} \cdot 10,00 \text{ } ^\circ\text{K} = 16,25 \text{ W/m}^2$$

2.5.4. Υπολογισμός των συνολικών απωλειών

Οι συνολικές απώλειες θερμότητας από το θερμοκήπιο στη μονάδα χρόνου και ανά μονάδα καλυμμένου εδάφους, υπολογίζονται από τη σχέση:

$$q = q_c + q_v \quad [\text{W/m}^2] = 93,89 \text{ W/m}^2 + 16,25 \text{ W/m}^2 = 110,14 \text{ W/m}^2$$

Οι μηνιαίες απώλειες ανά μονάδα καλυμμένου εδάφους, υπολογίζονται από τη σχέση:

$$q_M = q \cdot D_N \quad \text{kWh / m}^2 / \text{μήνα}$$

Το D_N , όπως υπολογίζεται με γραμμική παρεμβολή από τον πίνακα 2.5 για $\varphi = 40,75^\circ$ και για το μήνα Ιανουάριο είναι:

$$D_N = (24 - 9,435) \text{ h/d} \cdot 31 \text{ d/μήνα} = 14,565 \text{ h/d} \cdot 31 \text{ d/μήνα} = 451,515 \text{ h/μήνα}$$

Επομένως :

$$q_M = 110,14 \text{ W/m}^2 \cdot 451,515 \text{ h/μήνα} = 49729,86 \text{ Wh/m}^2 / \text{μήνα}$$

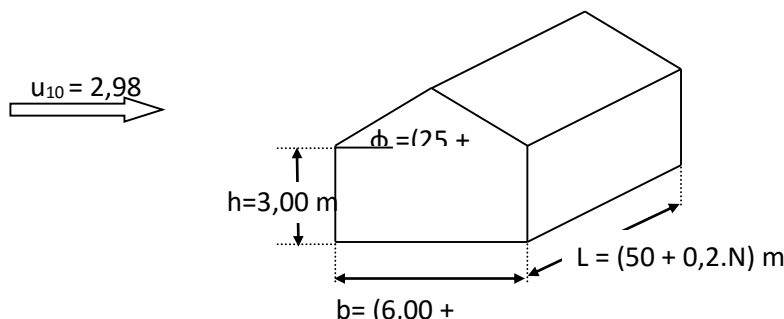
$$q_{TM} = q_M \cdot A_g = 49729,86 \text{ Wh/m}^2 / \text{μήνα} \cdot 240,00 \text{ m}^2 = 11935166,90 \text{ Wh/μήνα} = 11935,167 \text{ kWh/μήνα}$$

(για τον μήνα Ιανουάριο)

2.6. Άσκηση 6

Δίνεται ένα αμφικλινές θερμοκήπιο με κάλυψη από απλό υαλοπίνακα που είναι εγκατεστημένο στη Θεσσαλονίκη. Έχει πλάτος $b = (6,00 + 0,02 \cdot N) \text{ m}$, ύψος υδροροής $h = 3,00 \text{ m}$, κλίση στέγης $\varphi = (25 + 0,02 \cdot N)^\circ$ και μήκος $L = (50 + 0,2 \cdot N) \text{ m}$. Ο άνεμος πνέει με διεύθυνση κάθετη στη μεγάλη παρειά του, προβλέπεται σύστημα θέρμανσης με σωλήνες στο έδαφος και πρόκειται να εγκατασταθεί καλλιέργεια μελιτζάνας.

Ζητείται να υπολογιστεί η απαιτούμενη συνολική ενέργεια θέρμανσης για το μήνα Ιανουάριο με τη μέθοδο που χρησιμοποιείται στην οικοδομική. Δίδεται $N = 3$.



Λύση

Δεδομένα: $b = (6,00 + 0,02 \times 3N) = 6,03 \text{ m}$, $h = 3,00 \text{ m}$, $\varphi = (25 + 0,02 \times 3)^\circ = 25,60^\circ$ και $L = (50 + 0,2 \times 3) = 50,60 \text{ m}$.

2.6.1. Υπολογισμός γεωμετρικών και κλιματολογικών παραμέτρων

$$A_g = b \cdot L = 6,03 \cdot 50,60 = 306,64 \text{ m}^2$$

$$A_c = 2\left(h + \frac{b}{2 \sin \varphi}\right) \cdot L + 2\left(b \cdot h + \frac{1}{2} \cdot b \cdot \frac{b}{2} \cdot \varepsilon \varphi\right) = \left(2 \cdot h + \frac{b}{\sin \varphi}\right) \cdot L + 2 \cdot b \cdot h + \frac{b^2}{2} \cdot \varepsilon \varphi$$

$$= \left(2 \cdot 3,00 + \frac{6,06}{\sin(25,06^\circ)}\right) \cdot 50,60 + 2 \cdot 6,06 \cdot 3,00 + \frac{6,06^2}{2} \cdot \varepsilon \varphi(25,06^\circ) = 687,05 \text{ m}^2$$

$$V_0 = \left(b \cdot h + \frac{b^2}{4} \cdot \varepsilon \varphi\right) \cdot L = \left(6,06 \cdot 3,00 + \frac{6,06^2}{4} \cdot \varepsilon \varphi(25,06^\circ)\right) \cdot 50,60 = 1137,13 \text{ m}^3$$

$$\varphi = 40^\circ 45' = 40^\circ + \left(\frac{45}{60}\right)^\circ = 40^\circ + 0,75^\circ = 40,75^\circ$$

Αντιπροσωπευτική ημέρα του Ιανουαρίου: $I = 17$

Από τον πίνακα 2.10 (σελ. 20) προκύπτει για το μήνα Ιανουάριο $T_0 = 5,0 \text{ }^\circ\text{C}$.

Από τον πίνακα 1.1 (σελ. 2) προκύπτει η επιθυμητή θερμοκρασία εσωτερικού χώρου: $T_i = 15 \text{ }^\circ\text{C}$.

Οι συνολικές απώλειες θερμότητας από το θερμοκήπιο μπορούν να εκφραστούν ανά μονάδα καλυμμένου εδάφους, από τη σχέση:

$$q = q_c + q_v \text{ [W /m}^2 \text{]} \quad (2.1)$$

όπου:

q_c είναι όλες οι απώλειες ενέργειας (κυρίως με συναγωγή και ακτινοβολία) μέσω του καλύμματος σε W /m^2

q_v είναι οι απώλειες ενέργειας από τις διαρροές αέρα σε W /m^2

2.6.2. Απώλειες ενέργειας από το κάλυμμα

Οι απώλειες ενέργειας από το κάλυμμα υπολογίζονται από τη γραμμική σχέση:

$$q_c = \frac{A_c}{A_g} \times K_c \times (T_i - T_0) \text{ [W/m}^2 \text{]} \quad (2.2)$$

Επειδή η θέρμανση του θερμοκηπίου θα γίνει είτε με σωλήνες στο έδαφος, από τον πίνακα 2.1 προκύπτει η θερμική αντίσταση συνθηκών της εσωτερικής επιφανείας:

$$R_i = 0,12 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{K/W}$$

Επειδή η κάλυψη είναι απλός υαλοπίνακας προκύπτει, από τον πίνακα 2.2, η θερμική αντίσταση του υλικού:

$$R_\lambda = 0,01 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{K/W}$$

Τέλος η θερμική αντίσταση συνθηκών της εξωτερικής επιφανείας προκύπτει από τη σχέση :

$$R_{out} = \frac{A_{\text{προσ. τοίχου}} R_{out \text{ προσ. τοίχου}} + A_{\text{υπήν. τοίχου}} R_{out \text{ υπήν. τοίχου}}}{A_c} + \frac{A_{\text{προσ. οροφ.}} R_{out \text{ προσ. οροφ.}} + A_{\text{υπήν. οροφ.}} R_{out \text{ υπήν. οροφ.}}}{A_c} + \frac{A_{\text{όψεων}} R_{out \text{ υπήν. τοίχου}}}{A_c}$$

όπου:

$$A_c = A_{\text{προσ. τοίχου}} + A_{\text{υπήν. τοίχου}} + A_{\text{προσ. οροφ.}} + A_{\text{υπήν. οροφ.}} + A_{\text{όψεων}}$$

$$A_{\text{προσ. τοίχου}} = A_{\text{υπιν. τοίχου}} = h \cdot L = 3,00 \text{ m} \cdot 50,60 \text{ m} = 151,80 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{προσ. οροφ.}} = A_{\text{υπιν. οροφ.}} = \frac{b}{2 \cdot \sin \varphi} \cdot L = \frac{6,06}{2 \cdot \sin(25,06^\circ)} \cdot 50,60 = 169,25 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{οψευων}} = 2(b \cdot h + \frac{1}{2} \cdot b \cdot \frac{b}{2} \varepsilon\varphi\varphi) = 2(6,06 \cdot 3,00 + \frac{1}{2} \cdot 6,06 \cdot \frac{6,06}{2} \varepsilon\varphi(25,06^\circ)) = 44,95 \text{ m}^2$$

και από τον πίνακα 2.4.

$$R_{\text{out προσ. τοίχου}} = 0,030 \text{ m}^2 \text{ K} / \text{W}$$

$$R_{\text{out υπήν. τοίχου}} = 0,080 \text{ m}^2 \text{ K} / \text{W}$$

$$R_{\text{out προσ. οροφ.}} = 0,020 \text{ m}^2 \text{ K} / \text{W}$$

$$R_{\text{out υπήν. οροφ.}} = 0,070 \text{ m}^2 \text{ K} / \text{W}$$

$$R_{\text{out}} = \frac{151,80 \cdot 0,030 + 151,80 \cdot 0,080 + 169,25 \cdot 0,02 + 169,25 \cdot 0,07 + 44,95 \cdot 0,07}{687,05} = 0,051 \text{ m}^2 \text{ K} / \text{W}$$

Επομένως :

$$K_c = \frac{1}{0,12 + 0,01 + 0,051} = 5,523 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$$

οπότε:

$$q_c = \frac{687,05 \text{ m}^2}{306,64 \text{ m}^2} \times 5,523 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K} \times (15,0 - 5,0)^\circ\text{K} = 123,747 \text{ W/m}^2$$

2.6.3. Απώλειες από διαφυγές του αέρα q_v

Οι απώλειες ενέργειας από διαφυγές του αέρα υπολογίζονται από τη σχέση (2.7) :

$$q_v = 0,35 \times \frac{V}{A_g} \times R \times (T_i - T_0) \quad [\text{W/m}^2]$$

Ο αριθμός των ανανεώσεων του αέρα ανά ώρα είναι:

$$R = 0,7 + 0,425 u_{10} \quad [\text{h}^{-1}]$$

Το u_{10} εκφράζεται σε m/s και παίρνεται είτε από τον πίνακα 1.6 (σελ. 7), είτε από ιστοσελίδες όπως π.χ. την ιστοσελίδα της EMY: <http://www.hnms.gr/hnms/greek/climatology/> ή την ιστοσελίδα της Meteo : www.meteo.gr/meteoplus/ClimaticDataGR.xls .

Στην προκειμένη περίπτωση από τον πίνακα 1.6 προκύπτει $u_{10} = 2,98 \text{ m/s}$.

$$\text{Άρα } R = 0,7 + 0,425 u_{10} = 0,7 + 0,425 \times 2,98 = 1,97 \text{ h}^{-1}$$

Με αντικατάσταση των δεδομένων προκύπτει:

$$q_v = 0,35 \text{ Wh m}^{-3} \text{ }^\circ\text{K}^{-1} \cdot \frac{1137,13 \text{ m}^3}{306,64 \text{ m}^2} \cdot 1,97 \text{ h}^{-1} \cdot 10,00 \text{ }^\circ\text{K} = 25,57 \text{ W/m}^2$$

2.6.4. Υπολογισμός των συνολικών απωλειών

Οι συνολικές απώλειες θερμότητας από το θερμοκήπιο στη μονάδα χρόνου και ανά μονάδα καλυμμένου εδάφους, υπολογίζονται από τη σχέση:

$$q = q_c + q_v \quad [\text{W/m}^2] = 123,747 \text{ W/m}^2 + 25,57 \text{ W/m}^2 = 149,317 \text{ W/m}^2$$

Οι μηνιαίες απώλειες ανά μονάδα καλυμμένου εδάφους, υπολογίζονται από τη σχέση:

$$q_M = q \cdot D_N \text{ kWh} / \text{m}^2 / \text{μήνα}$$

Το D_N , όπως υπολογίζεται με γραμμική παρεμβολή από τον πίνακα 2.5 για $\varphi = 40,75^\circ$ και για το μήνα Ιανουάριο είναι:

$$D_N = (24 - 9,435) \text{ h/d} \cdot 31 \text{ d/μήνα} = 14,565 \text{ h/d} \cdot 31 \text{ d/μήνα} = 451,515 \text{ h/μήνα}$$

Επομένως :

$$q_M = 149,317 \text{ W/m}^2 \cdot 451,515 \text{ h/μήνα} = 67403,92 \text{ Wh/m}^2/\text{μήνα}$$

$$q_{TM} = q_M \cdot A_g = 67403,92 \text{ Wh/m}^2/\text{μήνα} \cdot 306,64 \text{ m}^2 = 20668738,31 \text{ Wh//μήνα} = 20668,74 \text{ kWh/μήνα}$$

(για τον μήνα Ιανουάριο)

2.7. Άσκηση 7

Υπολογισμός των θερμικών αναγκών απλού τοξωτού θερμοκηπίου με την μέθοδο της οικοδομικής.

Ημερομηνία:

Όνοματεπώνυμο σπουδαστή: Εξάμηνο:

Να γίνει ο υπολογισμός των θερμικών αναγκών ενός θερμοκηπίου που είναι εγκατεστημένο στ⁽¹⁾ για το μήνα Ιανουάριο σύμφωνα με την απλοποιημένη μέθοδο της οικοδομικής. Το θερμοκήπιο είναι απλό τοξωτό ενός ανοίγματος έχει πλάτος $s = (5,00 + 0,05 \cdot N)$ m και μήκος $L = (40,00 + 0,6 \cdot N)$ m. Έχει κάλυψη από απλό φύλλο πολυαιθυλενίου, θερμαίνεται με αερόθερμο και είναι τοποθετημένο σε περιοχή προστατευμένη από τον άνεμο. Στο θερμοκήπιο καλλιεργούνται⁽²⁾.

2.8. Άσκηση 8

Υπολογισμός των θερμικών αναγκών απλού τοξωτού θερμοκηπίου με την μέθοδο της οικοδομικής.

Ημερομηνία:

Όνοματεπώνυμο σπουδαστή: Εξάμηνο:

Δίνεται ένα αμφικλινές θερμοκήπιο με κάλυψη από απλό υαλοπίνακα που είναι εγκατεστημένο στ⁽¹⁾. Έχει πλάτος $b = (6,00 + 0,02 \cdot N)$ m, ύψος υδροροής $h = 3,00$ m, κλίση στέγης $\varphi = (25 + 0,02 \cdot N)^\circ$ και μήκος $L = (50 + 0,2 \cdot N)$ m. Ο άνεμος πνέει με διεύθυνση κάθετη στη μεγάλη παρειά του, προβλέπεται σύστημα θέρμανσης με σωλήνες στο έδαφος και πρόκειται να εγκατασταθεί καλλιέργεια⁽²⁾. Ζητείται να υπολογιστεί η απαιτούμενη συνολική ενέργεια θέρμανσης για το μήνα Ιανουάριο με τη μέθοδο που χρησιμοποιείται στην οικοδομική.

(1) : Ο τόπος καταγωγής του σπουδαστή.

(2) : Η δεσπόζουσα καλλιέργεια στην περιοχή.

Προτεινόμενη Βιβλιογραφία

1. EN13031-1. Greenhouses-Design and construction - Part 1: Commercial production Greenhouses, CEN/TC284, December 2001.
2. EN 1990. Eurocode 0 – Basis of structural design, CEN, April 2002.
3. EN 1991. Eurocode 1: Actions on structures, General actions. Part 1-1: Densities, self-weight, imposed loads for buildings, CEN, April 2002, Part 1-3: Snow loads, CEN, July 2003, Part 1-4: Wind actions, CEN, April 2005, Part 1-5: Thermal actions, CEN, Nov. 2003.
4. Θεοχάρης, Μ., 2000. Η εφαρμογή των Ευρωκώδικων στη μελέτη των Ελληνικών θερμοκηπίων, Μεταπτ. Διατρ., Τμ. Γεωπ. Φυτ. και Ζωικ. Παρ/γής Παν/μίου Θεσσαλίας, Βόλος, Μάρτ. 2000, σελ. 215.
5. Θεοχάρης, Μ., 2000. Η ανεμοφόρτιση των θερμοκηπιακών κατασκευών σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες, Πρακτ. 2ου Πανελλ. Συν. Γεωργ. Μηχαν., σελ. 406-414, Βόλος, Σεπτ. 2000.
6. Θεοχάρης, Μ., 2003. Η Χιονοφόρτιση των θερμοκηπιακών κατασκευών σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες, Πρακτ. 3ου Πανελλ. Συν. Γεωργ. Μηχαν., σελ.337-344, Θεσ/νίκη, Μαΐος 2003.
7. Θεοχάρης Μ.: " Γεωργικές Κατασκευές", Άρτα 2000
8. Θεοχάρης Μ.: " Γεωργικές Κατασκευές, Εργαστηριακές Ασκήσεις", Άρτα 2000
9. Θεοχάρης Μ.: " Θερμοκηπιακές Κατασκευές", Άρτα 2000
10. Ιωαννίδης Π. " Οι στέγες στην Οικοδομή " , Αθήνα 1986
11. Αναστασόπουλος Α.: "Γεωργικές Κατασκευές" Αθήνα 1993
12. Beton Kalender 1984: Τόμοι 1 και 2. Μετάφραση στα Ελληνικά , Εκδότης Μ. Γκιούρδας.
13. Βαγιανός Ι. : "Πρακτική των Θερμοκηπίων και των Σηράγγων "
14. Γεωργακάκης Δ. : "Στοιχεία Ρύθμισης Περιβάλλοντος και Σχεδιασμού Αγροτικών Κατασκευών " , Αθήνα 1992
15. Γραφιαδέλλης Μ : "Σύγχρονα Θερμοκήπια" Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 1980.
16. Δεϊμέζης Α : " Γενική Δομική " , Τόμοι Ι , ΙΙ , Αθήνα 1992
17. Δούκας Σ. : " Οικοδομική", Αθήνα 1994
18. Ευσταθιάδης Α. : " Θερμοκήπια Στοιχεία Κατασκευής, Λειτουργίας και Καλλιέργειας"
19. Μαυρογιαννόπουλος Γ. : " Θερμοκήπια " , Εκδοση Γ' , Αθήνα 2001
- Μπουρνιά Ε. : "Αγροτικά Κτίρια " , Έκδοση Ο.Ε.Δ.Β. , Αθήνα 1995

Σημείωμα Αναφοράς

Θεοχάρης Μενέλαος, (2015). Γεωργικές και Θερμοκηπιακές Κατασκευές (Εργαστήριο). ΤΕΙ Ηπείρου. Διαθέσιμο από:

<http://eclass.teiep.gr/courses/TEXG113/>

Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά Δημιουργού-Μη Εμπορική Χρήση-Όχι Παράγωγα Έργα 4.0 Διεθνές [1] ή μεταγενέστερη. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, Διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.el>



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Επεξεργασία: Δημήτριος Κατέρης

Άρτα, 2015



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ