

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα μελέτη έγινε σύμφωνα με την μεθοδολογία ASHRAE RTS, ακολουθώντας επίσης τις οδηγίες της 2425/86 ΤΟΤΕΕ και τα ακόλουθα βοηθήματα:

**α)** ASHRAE Handbook of Fundamentals

**β)** ASHRAE Handbook of Applications

**γ)** ASHRAE Handbook of Systems

**δ)** ASHRAE Handbook of Equipment

**ε)** ASHRAE Standards for Natural and Mechanical Ventilation

**στ)** ASHRAE Cooling and Heating Load Calculation Manual ASHRAE GRP 158

## 2. ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ & ΚΑΝΟΝΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ

Σύμφωνα με την ASHRAE, η διαδικασία υπολογισμού των ψυκτικών φορτίων για κάθε ένα από τα συνιστάμενα φορτία (φωτισμός, άτομα, τοίχοι, οροφές, ανοίγματα, συσκευές κ.τ.λ.) έχει ως ακολούθως:

1. Για κάθε στοιχείο υπολογίζουμε σε 24ώρη βάση το θερμικό κέρδος του για την ημέρα υπολογισμού. (Σε περίπτωση αγωγιμότητας, συνυπολογίζουμε την χρονική καθυστέρηση μετάδοσής της εφαρμόζοντας αρχικά την χρονική ακολουθία αγωγιμότητας.)
2. Χωρίζουμε τα θερμικά κέρδη σε ακτινοβολών και μεταγωγικό.
3. Εφαρμόζουμε την κατάλληλη χρονική ακολουθία ακτινοβολίας στο ακτινοβολών κομμάτι των θερμικών κερδών. Συνυπολογίζουμε έτσι, την χρονική καθυστέρηση της μετατροπής σε ψυκτικά φορτία.
4. Προσθέτουμε το μεταγωγικό και το χρονικά μετατοπισμένο (καθυστερημένο) ακτινοβολών κομμάτι των θερμικών κερδών ώστε να υπολογίσουμε το ψυκτικό φορτίο για κάθε ώρα και για κάθε ένα από τα συνιστάμενα ψυκτικά φορτία.

Πιο αναλυτικά για κάθε ένα από τα παραπάνω βήματα έχουμε:

### 1.α. Υπολογισμός θερμικού κέρδους για τοίχους και οροφές.

Ο υπολογισμός της αγωγιμότητας των τοίχων και οροφών προκύπτει με την χρήση της χρονικής ακολουθίας αγωγιμότητας (CTS). Το ποσό της θερμότητας λόγω αγωγιμότητας είναι ως γνωστόν:

$$q_{i,\theta-n} = UA(t_{e,\theta-n} - t_{rc}) \quad (1)$$

όπου:

**$q_{i,\theta-n}$ :** Θερμότητα λόγω αγωγιμότητας για την επιφάνεια **n** ώρες νωρίτερα.

**U:** Συνολικός συντελεστής θερμοπερατότητας επιφάνειας.

**A:** Εμβαδόν επιφάνειας.

**$t_{e,\theta-n}$ :** Ηλιακή θερμοκρασία αέρα **n** ώρες νωρίτερα.

**$t_{rc}$ :** Επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία δωματίου.

Ο υπολογισμός των θερμικών κερδών λόγω αγωγιμότητας και για κάθε ώρα γίνεται με την χρήση της χρονικής ακολουθίας αγωγιμότητας στα παραπάνω υπολογισμένα ποσά θερμότητας για τις προηγούμενες 23 ώρες:

$$q_{\theta} = c_0 q_{i,\theta} + c_1 q_{i,\theta-1} + c_2 q_{i,\theta-2} + c_3 q_{i,\theta-3} + \dots + c_{23} q_{i,\theta-23} \quad (2)$$

όπου:

**$q_{\theta}$ :** Ωριαίο θερμικό κέρδος επιφάνειας.

**$q_{i,\theta}$ :** Θερμότητα λόγω αγωγιμότητας για την ώρα υπολογισμού.

**$q_{i,\theta-n}$ :** Θερμότητα λόγω αγωγιμότητας για την επιφάνεια **n** ώρες νωρίτερα.

$C_0, C_1$ , κτλ: Συντελεστές ακολουθίας αγωγιμότητας.

### 1.β. Υπολογισμός θερμικού κέρδους για ανοίγματα.

Το θερμικό κέρδος των ανοιγμάτων χωρίζεται σε τρία μέρη.

$$q_{b,i} = A E_D SHGC(\theta) \quad (3.α)$$

$$q_{d,i} = A(E_d - E_r) <SHGC>_D \quad (3.β)$$

$$q_{c,i} = AU(t_{out} - t_{in}) \quad (3.γ)$$

όπου:

$q_{b,i}$ : το θερμικό κέρδος λόγω άμεσης ακτινοβολίας.  
A : Εμβαδόν επιφάνειας ανοίγματος  
 $E_D$  : Άμεση επιφανειακή ακτινοβολία  
SHGC( $\theta$ ) : Συντελεστής ηλιακού θερμικού κέρδους

$q_{d,i}$ : το θερμικό κέρδος λόγω διάχυσης.  
A : Εμβαδόν επιφάνειας ανοίγματος  
 $E_d$  : Ακτινοβολία διάχυσης  
 $E_r$  : Ακτινοβολία αντανάκλασης εδάφους  
<SHGC><sub>D</sub> : Συντελεστής ηλιακού θερμικού κέρδους έμμεσης ακτινοβολίας

$q_{c,i}$ : το θερμικό κέρδος λόγω αγωγιμότητας.  
A : Εμβαδόν επιφάνειας ανοίγματος  
U : Συντελεστής θερμοπερατότητας επιφάνειας  
 $t_{out}$  : Εξωτερική θερμοκρασία  
 $t_{in}$  : Επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία

Σε περίπτωση ύπαρξης εσωτερικής σκίασης, τα τρία παραπάνω μέρη αθροίζονται και μεταχειρίζονται στα επόμενα βήματα ως μία ποσότητα.

### 1.γ. Υπολογισμός υπολοίπων εσωτερικών θερμικών κερδών.

#### 1.γ.1. Φωτισμός

Τα θερμικά κέρδη λόγω φωτισμού υπολογίζονται από τον παρακάτω τύπο:

$$q_{tot} = q_{c,\theta} + q_{r,\theta} = (q_{t,\theta} \times C_p) + R_p \times (r_0 \times q_{r,\theta} + r_1 \times q_{r,\theta-1} + \dots + r_{23} \times q_{r,\theta-23})$$

όπου:

$q_{t,\theta}$ :  $q_\theta \times L_c \times H_{c,\theta}$   
 $q_{r,\theta}$ :  $q_{t,\theta} \times R_p$   
 $q_\theta$ : Φορτίο φωτισμού ανά ώρα  $\theta$   
 $L_c$ : Συντελεστής φωτισμού  
 $H_{c,\theta}$ : Ετεροχρονισμός ανά ώρα  $\theta$   
 $R_p, C_p$ : Ποσοστό ακτινοβολιών και μεταγωγικών θερμικών κερδών.  
 $r_0, r_1, \dots$ : Συντελεστές ακολουθίας ακτινοβολίας

#### 1.γ.2. Άτομα

Τα θερμικά κέρδη από τα άτομα διακρίνεται σε αισθητό και λανθάνον. Η σχέση υπολογισμού του αισθητού μέρους είναι:

$$q_{ai} = \sum_{j=1}^k F_{aj} \times N_{ji}$$

όπου:

$q_{ai}$ : Το αισθητό θερμικό κέρδος από τα άτομα την ώρα  $i$

$j$ : Ο τύπος βαθμού ενεργητικότητας των ατόμων σύμφωνα με τον πίνακα της Ashrae

$F_{aj}$ : Το αισθητό φορτίο ενός ατόμου βαθμού ενεργητικότητας  $j$  που εξαρτάται από την θερμοκρασία ξηρού βολβού του χώρου

$N_{ji}$ : Ο αριθμός των ατόμων βαθμού ενεργητικότητας  $j$  που βρίσκονται στο χώρο κατά την ώρα  $i$

### 1.γ.3. Συσκευές

Όπως τα θερμικά κέρδη από τα άτομα έτσι και στις συσκευές διακρίνεται σε αισθητό και λανθάνον. Η σχέση υπολογισμού του αισθητού μέρους είναι:

$$q_a = \left( \sum_{j=1}^k F_{aj} \times N_j \right) + q_i$$

όπου:

$q_a$ : Το συνολικό αισθητό θερμικό κέρδος από συσκευές

$j$ : Ο τύπος της συσκευής σύμφωνα με την ASHRAE

$F_{aj}$ : Το αισθητό φορτίο μιας συσκευής τύπου  $j$

$N_j$ : Ο αριθμός των συσκευών τύπου  $j$  που λειτουργούν στο χώρο

$q_i$ : Συνολικό αισθητό θερμικό κέρδος από συσκευές που δεν περιέχονται στους πίνακες

### 1.γ.4. Χαραμάδες

Τα θερμικά αυτά κέρδη λαμβάνονται υπόψη μόνο όταν δεν υπάρχουν στο χώρο εναλλαγές αέρα από κλιματιστικές συσκευές και υπολογίζονται από τον παρακάτω τύπο:

$$q_i = \left( \sum_{j=1}^n P_j \times a_j \times b \right) \times Dt_i$$

όπου:

$q_i$ : Το συνολικό θερμικό κέρδος από χαραμάδες την ώρα  $i$

$P_j$ : Η περίμετρος του ανοίγματος  $j$

$n$ : Ο αριθμός των ανοιγμάτων

$a_j$ : Ο συντελεστής διείσδυσης του αέρα για το άνοιγμα  $j$ . Εξαρτάται από τον τύπο του ανοίγματος

$b$ : Συντελεστής που εξαρτάται από την έκθεση του κτιρίου σε ανέμους, το λόγο της επιφάνειας των εξωτερικών ανοιγμάτων προς την επιφάνεια των εσωτερικών ανοιγμάτων και τη θέση του ανοιγμάτων. Η τιμή του κυμαίνεται από 0.24 έως 1.6

$Dt_i$ : Η διαφορά της εξωτερικής από την εσωτερική θερμοκρασία ξηρού βολβού κατά την ώρα  $i$

### 1.γ.5. Αερισμός

Ο υπολογισμός αυτός αφορά την εισαγωγή εξωτερικού αέρα για αερισμό των κλιματιζόμενων χώρων. Το φορτίο του αερισμού διακρίνεται σε αισθητό και σε λανθάνον, και υπολογίζεται από τους παρακάτω τύπους:

$$q_{a_i} = 0.29 \times V \times n \times Dt_i$$

όπου:

$q_{a_i}$ : Το αισθητό θερμικό κέρδος αερισμού την ώρα  $i$

$V$ : Ο όγκος του χώρου

$n$ : Ο αριθμός εναλλαγών αέρα ανά ώρα

$Dt_i$ : Η διαφορά της εξωτερικής από την εσωτερική θερμοκρασία ξηρού βολβού κατά την ώρα  $i$

### 2. Χωρισμός θερμικών κερδών σε ακτινοβολών και μεταγωγικό κομμάτι.

Τα θερμικά κέρδη του προηγούμενου βήματος χωρίζονται σε δύο μέρη, το ακτινοβολών και το μεταγωγικό κομμάτι. Ο διαχωρισμός γίνεται με χρήση του ενδεικτικού πίνακα της ASHRAE που ένα μέρος του φαίνεται και παρακάτω:

Ακτινοβολών (%) $R_p$	Μεταγωγικό $C_p$ (%)	
100	0	Εκπεμπόμενη ηλιακή ενέργεια χωρίς εσωτερική σκίαση
63	37	Ανοίγματα με εσωτερική σκίαση
63	37	Απορροφημένη ηλιακή ενέργεια (από εξωτερική σκίαση)
0	100	Προσαγωγή και απόρριψη αέρα
56	44	Άτομα καθισμένα σε θέατρο. Πολύ ελαφρά εργασία
52	48	Εργασία γραφείου, όρθιοι, ελαφρά εργασία, περπάτημα.
88	12	Υπολογιστής
63	37	Οθόνη
78	22	Αντιγραφικό

### 3. Εφαρμογή συντελεστών ακολουθίας ακτινοβολίας

Η μέθοδος RTS μετατρέπει το ακτινοβολών κομμάτι των θερμικών κερδών σε ψυκτικό φορτίο χρησιμοποιώντας τους συντελεστές ακολουθίας ακτινοβολίας. Έτσι, το ψυκτικό φορτίο που οφείλεται στην ακτινοβολία είναι:

$$Q_{r,\theta} = r_0 q_{r,\theta} + r_1 q_{r,\theta-1} + r_2 q_{r,\theta-2} + r_3 q_{r,\theta-3} + \dots + r_{23} q_{r,\theta-23} \quad (4)$$

όπου:

$Q_{r,\theta}$ : Ψυκτικό φορτίο ακτινοβολίας ( $Q_r$ ) για την τρέχουσα ώρα ( $\theta$ ).

$q_{r,\theta}$ : Θερμικό κέρδος ακτινοβολίας για την τρέχουσα ώρα.

$q_{r,\theta-n}$ : Θερμικό κέρδος ακτινοβολίας για  $n$  ώρες νωρίτερα.

$r_0, r_1$ , κτλ: Συντελεστές ακολουθίας ακτινοβολίας.

### 4. Ψυκτικά φορτία

Το συνολικό ψυκτικό φορτίο είναι το άθροισμα του ψυκτικού φορτίου ακτινοβολίας (βήμα 3) και του μεταγωγικού κομματιού (βήμα 2).

### 3. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται συγκεντρωτικά και αναλυτικά για όλες τις ώρες από 8 πμ μέχρι 6 μμ. Στα φύλλα υπολογισμών ανά χώρο τα αποτελέσματα πινακοποιούνται στις παρακάτω ομάδες:

#### 1. Πίνακας Δομικών Στοιχείων, οι στήλες του οποίου είναι οι εξής:

- Είδος Επιφάνειας (πχ. T= Τοίχος κλπ)
- Προσανατολισμός
- Μήκος (m)
- Πλάτος (m)
- Επιφάνεια ( $m^2$ )
- Αριθμός Όμοιων Επιφανειών
- Συνολική Επιφάνεια ( $m^2$ )
- Αφαιρούμενη Επιφάνεια ( $m^2$ )
- Επιφάνεια Υπολογισμού ( $m^2$ )
- Συντελεστής Εσωτερικής Σκίασης
- Ύπαρξη Εξωτερικής Σκίασης

#### 2. Φορτία του παραπάνω πίνακα ανά επιφάνεια και ώρα (btu/h, w, ή kcal/h)

#### 3. Πρόσθετα Φορτία ανά ώρα (btu/h, w, ή kcal/h)

- Φωτισμού
- Ατόμων
- Συσκευών

#### 4. Συνολικά Φορτία Χώρου ανά ώρα (Mbtu/h, Mw, ή Mcal/h)

#### 5. Φορτία Αερισμού ανά ώρα (και μέγιστο) (Mbtu/h, Mw, ή Mcal/h)

α) Στην πρώτη ομάδα περιλαμβάνονται οι γεωμετρικές διαστάσεις των στοιχείων, καθώς επίσης και ενδείξεις σχετικές με πιθανές σκιάσεις σε αυτά.

β) Στην δεύτερη ομάδα παρουσιάζονται τα ψυκτικά φορτία όπως υπολογίστηκαν για κάθε στοιχείο, σύμφωνα με τους παραπάνω κανόνες υπολογισμών 1-5.

γ) Η τρίτη ομάδα περιέχει τα φορτία που οφείλονται σε πρόσθετες αιτίες, δηλαδή στον φωτισμό, τα άτομα, συσκευές και χαραμάδες (κανόνες 6-9), και αναλύονται σε αισθητό, λανθάνον και συνολικό φορτίο.

δ) Στην τελευταία ομάδα παρουσιάζονται τα σύνολα των φορτίων ανά ώρα, και ξεχωριστά για αισθητό και λανθάνον, αλλά και συνολικά, καθώς επίσης και τα φορτία αερισμού.

Ανάλογη παρουσίαση έχουν και τα φύλλα υπολογισμών συστημάτων, στα οποία συγκεντρώνονται τα φορτία των χώρων που αντιστοιχούν στο σύστημα, αναλυόμενα στις διάφορες αιτίες. Στα φύλλα αυτά εμφανίζεται και ο αερισμός. Τέλος, οι συντελεστές σκίασης παρουσιάζονται σε ξεχωριστά φύλλα.

—