

Εκτίμηση Βαθμομερών Ψύξης 50 Ελληνικών Πόλεων

Κ. ΠΑΠΑΚΩΣΤΑΣ

Λέκτορας ΑΠΘ

Γ. ΤΣΙΛΙΓΚΙΡΙΑΔΗΣ

Επίκουρος Καθηγητής ΑΠΘ

Ν. ΚΥΡΙΑΚΗΣ

Αναπληρωτής Καθηγητής ΑΠΘ

Περίληψη

Οι μέθοδοι των βαθμομερών είναι οι απλούστερες μεθοδολογίες για την εκτίμηση των ενεργειακών απαιτήσεων ενός κτιρίου για ψύξη. Τα απαιτούμενα “κλιματικά” δεδομένα είναι οι βαθμομέρες ψύξης σε διάφορες θερμοκρασίες βάσης. Για την Ελλάδα τα δεδομένα αυτά είναι ελλιπή, με αποτέλεσμα οι μηχανικοί συχνά να αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην εκτέλεση ενεργειακών υπολογισμών σε κτίρια. Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται οι βαθμομέρες ψύξης για 50 Ελληνικές πόλεις. Ο υπολογισμός των βαθμομερών για την Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη βασίστηκε στη στατιστική επεξεργασία ωριαίων μετρήσεων της εξωτερικής θερμοκρασίας ξηρού θερμομέτρου για την περίοδο 1983-1992, ενώ για τις υπόλοιπες πόλεις εφαρμόστηκε αξιόπιστο μοντέλο εκτίμησης, το οποίο απαιτεί ως μοναδικό δεδομένο τη μέση μηνιαία θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου του εξωτερικού αέρα, που υπολογίζεται από μετρήσεις πολλών ετών. Οι βαθμομέρες υπολογίστηκαν σε θερμοκρασίες βάσης από 20°C έως 28°C, με θερμοκρασιακό βήμα των 2°C και παρουσιάζονται σε πίνακες.

θερμοκρασία (με εξαίρεση φυσικά τα φορτία αερισμού). Ιδιαίτερα τα ηλιακά φορτία εξαρτώνται από το μέγεθος των ανοιγμάτων του κτιρίου, τον προσανατολισμό τους, την σκίαση κλπ, δηλαδή, από παράγοντες οι οποίοι μεταβάλλονται από κτίριο σε κτίριο. Επίσης, ένα σημαντικό ποσό ενέργειας καταναλώνεται για την αφύγρανση του αέρα αερισμού, που δεν λαμβάνεται υπόψη στη μέθοδο. Επομένως, η θεώρηση ότι ένα κτίριο απαιτεί ψύξη, όταν η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος είναι μεγαλύτερη από τους 18.3°C και ότι η κατανάλωση ενέργειας είναι ανάλογη της διαφοράς ανάμεσα στη μέση εξωτερική θερμοκρασία της ημέρας και αυτή των 18.3°C είναι απλουστευτική και απαιτείται να εξεταστούν και να ληφθούν υπόψη όλοι οι παράγοντες που συνεισφέρουν στο ψυκτικό φορτίο ενός κτιρίου.

Μεγαλύτερη ακρίβεια στην πρόβλεψη της ενεργειακής κατανάλωσης σε ένα κτίριο επιτυγχάνεται με τη μέθοδο βαθμομερών μεταβλητής βάσης (Variable base degree-day method) [2], [3]. Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε, όταν παρατηρήθηκε ότι η κατανάλωση ενέργειας σ' ένα κτίριο προσεγγίζεται καλύτερα, εάν χρησιμοποιηθούν βαθμομέρες με βάση μια θερμοκρασία, που εξαρτάται από το ίδιο το κτίριο, δηλαδή, την κατασκευή και τη χρήση του αντί της σταθερής τιμής των 18.3°C της κλασικής μεθόδου.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η βασική μέθοδος των βαθμομερών και οι παραλλαγές της είναι οι απλούστερες μεθοδολογίες για την εκτίμηση των ενεργειακών απαιτήσεων για ψύξη σε κτίρια. Οι μέθοδοι των βαθμομερών δίνουν απλά και γρήγορα μία εκτίμηση των μηνιαίων ή ετήσιων αναγκών σε ενέργεια για ψύξη, η εφαρμογή τους, όμως, προϋποθέτει ότι η ψύξη εφαρμόζεται σε όλο το κτίριο, η εσωτερική θερμοκρασία του κτιρίου διατηρείται σταθερή και το σύστημα θερινού κλιματισμού λειτουργεί για όλη τη θερινή περίοδο με ένα σταθερό “μέσο βαθμό απόδοσης”.

Η κλασική μέθοδος των βαθμομερών [1] θεωρεί ότι η κατανάλωση ενέργειας για ψύξη σε μία χρονική περίοδο είναι ανάλογη του αριθμού των βαθμομερών ψύξης με βάση τους 18.3°C, που αντιστοιχούν στην περίοδο αυτή. Η εμπειρία, όμως, από τη χρήση της και οι συγκρίσεις με πραγματικές μετρήσεις κατανάλωσης ενέργειας σε κτίρια έδειξαν ότι η μέθοδος δεν δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα. Αυτό οφείλεται στο ότι τα ψυκτικά φορτία εξαρτώνται περισσότερο από την ηλιακή ακτινοβολία και από τις εσωτερικές πηγές θερμότητας και λιγότερο από την εξωτερική

2. Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΒΑΘΜΟΜΕΡΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ ΒΑΣΗΣ

Η μέθοδος βαθμομερών μεταβλητής βάσης είναι μία γενίκευση της κλασικής μεθόδου των βαθμομερών. Διατηρεί τη γενική ιδέα των βαθμομερών, αλλά ο υπολογισμός τους στη περίπτωση αυτή γίνεται με βάση τη θερμοκρασία ισορροπίας (t_{bal}), που είναι η θερμοκρασία εκείνη του εξωτερικού περιβάλλοντος, στην οποία το κτίριο δεν χρειάζεται ούτε ψύξη ούτε θέρμανση. Η μέθοδος χρησιμοποιείται, κυρίως, για τον υπολογισμό των ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση, μπορεί, όμως, να χρησιμοποιηθεί και για έναν κατ' αρχή υπολογισμό της απαραίτητης ενέργειας για την ψύξη του κτιρίου.

Με βάση τον ορισμό της και αν (\dot{Q}_{gain}) τα συνολικά θερμικά κέρδη του κτιρίου (από ήλιο, ανθρώπους, φώτα και συσκευές, W), (t_i) η απαιτούμενη θερμοκρασία του κτιρίου (θερμοκρασία σχεδιασμού, °C) και (H) ο συνολικός συντελεστής θερμικών απωλειών του κτιρίου (W/K), τότε ισχύει:

$$H \cdot (t_i - t_{\text{bal}}) = \dot{Q}_{\text{gain}} \quad (2.1)$$

Η θερμοκρασία ισορροπίας του κτιρίου είναι

$$t_{\text{bal}} = t_i - \frac{\dot{Q}_{\text{gain}}}{H} \quad (2.2)$$

Ψύξη απαιτείται, όταν η (μεταβαλλόμενη) θερμοκρασία περιβάλλοντος $t_o(\tau)$ υπερβεί τη θερμοκρασία ισορροπίας. Ο ρυθμός κατανάλωσης ενέργειας του κτιρίου τότε είναι:

$$\dot{Q}_c = \frac{H}{\eta_c} \cdot [t_o(\tau) - t_{\text{bal}}] \quad \text{όταν } t_{\text{bal}} < t_o \quad (2.3)$$

όπου (τ) είναι ο χρόνος και (η_c) ο βαθμός απόδοσης του συστήματος θερινού κλιματισμού, ο οποίος εξαρτάται, κυρίως, από την εξωτερική θερμοκρασία, τις συνθήκες λειτουργίας (σταθερές ή μεταβαλλόμενες) και από την ποιότητα κατασκευής και συντήρησης της εγκατάστασης.

Εάν θεωρηθεί ότι τα μεγέθη (η_c) και (H) είναι σταθερά, τότε η ενεργειακή κατανάλωση για την ψύξη του κτιρίου μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$\dot{Q}_c = \frac{H}{\eta_c} \cdot \int [t_o(\tau) - t_{\text{bal}}]^+ dt \quad (2.4)$$

όπου το θετικό σύμβολο (+) σημαίνει ότι λαμβάνονται υπόψη μόνο οι θετικές τιμές. Το ολοκλήρωμα της θερμοκρασιακής διαφοράς δείχνει ουσιαστικά την επίδραση της εξωτερικής θερμοκρασίας στο κτίριο. Πρακτικά μπορεί να προσεγγιστεί από ένα άθροισμα θερμοκρασιακών διαφορών σε μικρά χρονικά βήματα (ημερήσια ή ωριαία) και το αποτέλεσμα είναι οι βαθμοημέρες ψύξης $DD_c(t_{\text{bal}})$ με βάση τη θερμοκρασία (t_{bal}).

Είναι δηλαδή

$$DD_c(t_{\text{bal}}) = \int [t_o(\tau) - t_{\text{bal}}]^+ \cdot dt \quad (2.5)$$

Η μηνιαία ενεργειακή κατανάλωση για την ψύξη του αέρα του κτιρίου (αισθητό φορτίο) βάσει των μηνιαίων βαθμοημερών ψύξης $DD_c(t_{\text{bal}})$, δίδεται από τη σχέση :

$$Q_{c,\text{mo}} = \frac{H}{\eta_c} \cdot DD_c(t_{\text{bal}}) \quad (2.6)$$

Εκτός, όμως, από το αισθητό φορτίο το λανθάνον φορτίο του αερισμού δημιουργεί κατά τη θερινή περίοδο ένα σημαντικό κέρδος θερμότητας σ' ένα κτίριο, το οποίο μπορεί να εκτιμηθεί με τη μέθοδο των βαθμοημερών σε μηνιαία βάση σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:

$$Q_{\text{lat},\text{mo}} = \dot{m} \cdot h_{\text{fg}} (W_o - W_i) \quad (2.7)$$

όπου

\dot{m} = η συνολική μηνιαία ανανέωση του αέρα του κτιρίου, [$\text{kg}_{\text{αέρα}}$]

W_i = η μέση μηνιαία περιεκτικότητα σε νερό του αέρα του χώρου [$\text{kgH}_2\text{O}/\text{kg}_{\text{ξηρού αέρα}}$]

W_o = η μέση μηνιαία περιεκτικότητα σε νερό του εξωτερικού αέρα [$\text{kgH}_2\text{O}/\text{kg}_{\text{ξηρού αέρα}}$] [4]

h_{fg} = η ενθαλπία εξάτμισης του νερού [2500 kJ/kg]

Η ετήσια ενεργειακή κατανάλωση για ψύξη υπολογίζεται αθροίζοντας τις μηνιαίες καταναλώσεις (σε συμβατές μονάδες):

$$Q_{c,\text{yr}} = \sum_{m=1}^j (Q_{c,\text{mo}} + Q_{\text{lat},\text{mo}}) \quad (2.8)$$

όπου j ο αριθμός των μηνών της περιόδου ψύξης.

Και η θεώρηση, όμως, η οποία περιγράφηκε παραπάνω, δηλαδή η σταθερότητα της τιμής της θερμοκρασίας ισορροπίας του κτιρίου (t_{bal}), δεν αντιπροσωπεύει συνήθως την πραγματικότητα. Τα συστήματα θερινού κλιματισμού στις περισσότερες περιπτώσεις δεν λειτουργούν κατά τη διάρκεια όλης της θερινής περιόδου ούτε όλο το 24ωρο. Επίσης, η συμπεριφορά των ενοίκων όσον αφορά στο άνοιγμα των παραθύρων εφόσον τα ανοίγματα του κτιρίου δεν είναι συνεχώς κλειστά (όπως π.χ. σε κτίρια με κεντρικά συστήματα κλιματισμού), δεν είναι δυνατόν να προβλεφτεί ποτέ με ακρίβεια. Ιδιαίτερα τις νυχτερινές ώρες πολύ συχνά η εξωτερική θερμοκρασία είναι αρκετά χαμηλή, ώστε η ψύξη των χώρων του κτιρίου επιτυγχάνεται με απλό αερισμό χωρίς να απαιτείται η λειτουργία της εγκατάστασης κλιματισμού. Επίσης, σε πολλά κτίρια και ιδιαίτερα στα κτίρια κατοικιών δεν υπάρχουν εγκατεστημένες συσκευές κλιματισμού σε όλους τους χώρους, με αποτέλεσμα η εσωτερική θερμοκρασία του κτιρίου να μην είναι ομοιόμορφη. Τέλος, ο βαθμός απόδοσης των συσκευών θερινού κλιματισμού δεν είναι σταθερός, αλλά μεταβάλλεται ανάλογα με την εξωτερική θερμοκρασία. Όλοι οι παραπάνω λόγοι επηρεάζουν την ακρίβεια της μεθόδου των βαθμοημερών μεταβλητής βάσης για τον υπολογισμό της ετήσιας κατανάλωσης ενός κτιρίου για ψύξη. Βέβαια, όσο ακριβέστερα καθορίζονται οι συνθήκες που επικρατούν, τόσο πιο αξιόπιστα είναι τα αποτελέσματα. Καλύτερη ακρίβεια μπορεί να επιτευχθεί, εάν αντί των βαθμοημερών χρησιμοποιηθούν βαθμοώρες ψύξης για τις ώρες λειτουργίας των συστημάτων ή συσκευών κλιματισμού, αλλά αυτή η προσέγγιση του προβλήματος απαιτεί ιδιαίτερη ανάλυση της εξωτερικής θερμοκρασίας.

Η διακύμανση του βαθμού απόδοσης (η_c) των κλιματιστικών συσκευών, που λειτουργούν σε ψύξη, μπορεί να εκτιμηθεί με μία σχέση, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο πλαίσιο της μεθόδου των βαθμοημερών με μεταβλητή βάση.

Σύμφωνα με τη σχέση αυτή η ενεργειακή κατανάλωση για την ψύξη του κτιρίου δεν υπολογίζεται με σταθερό βαθμό απόδοσης (η_c) αλλά με έναν εποχικό βαθμό απόδοσης ($\bar{\eta}$), για τον οποίο ισχύει:

$$\bar{\eta} = \eta_{\text{ss}} CF_p \quad (2.9)$$

όπου

η_{ss} = ο ονομαστικός βαθμός απόδοσης (βαθμός απόδοσης σταθερής λειτουργίας)

CF_p = ο συντελεστής λειτουργίας της κλιματιστικής συσκευής υπό μερικό φορτίο
Για τον συντελεστή CF_p ισχύει [4]:

$$CF_p = 1.04 - 0.0182 \cdot RLC - 0.0233 \cdot CDD + 0.062 \cdot HUM \quad (2.10)$$

όπου

RLC = ο λόγος της ονομαστικής ισχύος της συσκευής προς το ψυκτικό φορτίο σχεδιασμού

CDD =(βαθμοημέρες ψύξης με βάση την t_{bal})/1000

HUM =(η μέση μηνιαία περιεκτικότητα σε νερό του εξωτερικού αέρα) x 100 [5]

3. ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΒΑΘΜΟΗΜΕΡΩΝ ΨΥΞΗΣ

Η εφαρμογή της μεθόδου βαθμοημερών μεταβλητής βάσης για την αξιόπιστη εκτίμηση της κατανάλωσης ενέργειας για ψύξη απαιτεί τη διαθεσιμότητα βαθμοημερών ψύξης σε διάφορες θερμοκρασίες βάσης, ώστε τα αποτελέσματα που προκύπτουν να είναι όσο το δυνατόν πιο ακριβή.

Βαθμοημέρες ψύξης με μεταβλητή βάση για 30 Ελληνικές πόλεις έχουν υπολογιστεί και δημοσιευτεί και από άλλους ερευνητές [6]. Στην εργασία εκείνη οι βαθμοημέρες για την πόλη της Αθήνας υπολογίστηκαν από ωριαίες μετρήσεις της εξωτερικής θερμοκρασίας ξηρού θερμομέτρου της περιόδου 1956-1973 του Μετεωρολογικού Σταθμού (Μ.Σ.) Ελληνικού. Αντίστοιχα, για την πόλη της Λάρισας χρησιμοποιήθηκαν ωριαίες μετρήσεις της εξωτερικής θερμοκρασίας ξηρού θερμομέτρου της περιόδου 1962-1976. Για τον υπολογισμό των βαθμοημερών στις υπόλοιπες ελληνικές πόλεις υιοθετήθηκαν εμπειρικές σχέσεις που χρησιμοποιούν ημερήσιες μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες από τους μετεωρολογικούς σταθμούς των πόλεων. Οι συντελεστές των εμπειρικών σχέσεων υπολογίστηκαν από παρατηρήσεις 18 ετών (1956-1973) του Μ.Σ. του Ελληνικού και από παρατηρήσεις των λοιπών σταθμών, που ήταν γενικά περιόδου 13 ετών (1961-1973).

Οι τιμές των βαθμοημερών για τις 30 πόλεις της Ελλάδας ενσωματώθηκαν στην Τεχνική Οδηγία 2425/86 του Τεχνικού Επιμελητηρίου της Ελλάδας [7] και αποτελούν έκτοτε τα «επίσημα» δεδομένα για την εφαρμογή των μεθόδων βαθμοημερών στην Ελλάδα.

Η θερμοκρασία βάσης για την οποία δίνονται οι βαθμοημέρες ψύξης των 30 ελληνικών πόλεων στις [6] και [7] είναι αυτή των 25°C, ενώ για άλλες θερμοκρασίες βάσης δεν υπάρχουν υπολογισμένες τιμές.

Βαθμοημέρες ξηρού θερμομέτρου ψύξης με μεγαλύτερη διακρίτοτητα ως προς τις θερμοκρασίες βάσης έχουν υπολογιστεί μόνο για τις πόλεις των Αθηνών και της Θεσσαλονίκης [8, 9]. Ο προσδιορισμός τους βασίστηκε σε στατιστική επεξεργασία ωριαίων μετρήσεων της εξωτερικής θερμοκρα-

σίας ξηρού θερμομέτρου για την περίοδο 1983 έως 1992 [10, 11]. Σχέσεις υπολογισμού βαθμοωρών ψύξης για την πόλη των Αθηνών (ΕΑΑ), οι οποίες προέκυψαν από στατιστική ανάλυση μακράς σειράς ετών δίδονται και στην [12]. Για τις υπόλοιπες, όμως, ελληνικές πόλεις δεν υπάρχουν άλλα διαθέσιμα δεδομένα πέραν αυτών που δίνονται στις [6] ή [7], και η παρούσα εργασία φιλοδοξεί να καλύψει το κενό αυτό, παρουσιάζοντας βαθμοημέρες ξηρού θερμομέτρου με βήμα θερμοκρασίας βάσης 2°C, αξιοποιώντας ταυτόχρονα τα νέα διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα.

Οι βαθμοημέρες ψύξης, όπως, ήδη, αναφέρθηκε, μπορούν να υπολογιστούν από στατιστική επεξεργασία ωριαίων καταγραφών θερμοκρασιακών δεδομένων μακρών χρονικών περιόδων. Δυστυχώς, όμως, στην Ελλάδα οι μετεωρολογικοί σταθμοί που μετρούν συστηματικά σε ωριαία βάση είναι ελάχιστοι και τα στοιχεία τους δυσεύρετα. Τα απαραίτητα, επομένως, δεδομένα για ενεργειακούς υπολογισμούς σε κτίρια είναι γενικά ελλιπή και καθίσταται αναγκαία η χρήση αξιόπιστων μοντέλων για την εκτίμησή τους. Πολλοί ερευνητές έχουν προτείνει διάφορες μαθηματικές σχέσεις για την εκτίμηση βαθμοημερών, όταν δεν υπάρχουν επαρκή μετεωρολογικά στοιχεία για έναν ακριβή υπολογισμό. Ένα από τα μοντέλα που εκτιμούν με ακρίβεια βαθμοημέρες ξηρού θερμομέτρου είναι αυτό των Erbs et al. [13].

4. ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΒΑΘΜΟΗΜΕΡΩΝ ΜΕ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΒΑΣΗ

Σύμφωνα με το μοντέλο των Erbs et al. [13], για τον υπολογισμό των βαθμοημερών με τυχαία βάση απαιτείται μόνο η μέση τιμή μακρών χρονικών περιόδων της θερμοκρασίας ξηρού θερμομέτρου του περιβάλλοντος για κάθε μήνα του χρόνου ($t_{o,m}$).

Από τις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες μπορεί να υπολογιστεί η τυπική απόκλιση των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών από τη μέση ετήσια (σ_{yr}) και η τυπική απόκλιση των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών από τη μέση μηνιαία θερμοκρασία (σ_m), σύμφωνα με τις σχέσεις:

$$\sigma_{yr} = \sqrt{\frac{1}{12} \sum_{n=1}^{12} (\bar{t}_{o,m} - \bar{t}_{o,yr})^2} \quad (4.1)$$

$$\sigma_m = 1.45 - 0.0290 \bar{t}_{o,m} + 0.0664 \sigma_{yr} \quad (4.2)$$

όπου $\bar{t}_{o,yr}$ = η μέση ετήσια θερμοκρασία, [°C].

Η σχέση υπολογισμού των βαθμοημερών είναι:

$$DD_h(t_{bal}) = \sigma_m N^{3/2} \left[\frac{\theta}{2} + \frac{\ln(e^{-\alpha} + e^{\alpha\theta})}{2\alpha} \right] \quad (4.3)$$

όπου

$$\alpha = 1.698$$

N = ο αριθμός των ημερών κάθε μήνα

θ = θερμοκρασιακή μεταβλητή

Η μεταβλητή θ εξομαλύνει τις μεταβολές στην κατανομή της εξωτερικής θερμοκρασίας από μήνα σε μήνα και από περιοχή σε περιοχή και δίνεται από τη σχέση:

$$\theta = \frac{\bar{t}_{o,m} - t_{bal}}{\sigma_m \sqrt{N}} \quad (4.4)$$

Η αξιοπιστία του μοντέλου έχει ελεγχθεί για τις πόλεις των Αθηνών και της Θεσσαλονίκης [14] και αποδείχθηκε ότι η απόκλιση των εκτιμώμενων τιμών των βαθμομερών ψύξης από αυτές που υπολογίζονται με βάση τις μετρήσεις της εξωτερικής θερμοκρασίας κυμαίνεται από 0.1% έως 11%. Για τις περισσότερες θερμοκρασίες βάσης το σφάλμα είναι μικρότερο του 9% και η ακρίβεια του μοντέλου μπορεί να θεωρηθεί καλή για την παραγωγή βαθμομερών ψύξης.

Το μοντέλο των Erbs et al. [13] χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή βαθμομερών ψύξης σε 48 ελληνικές πόλεις. Οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες μακρών χρονικών περιόδων υπολογίστηκαν από καταγραφές της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας, οι οποίες δημοσιεύονται στα Μηνιαία Στατιστικά Δελτία και στις Στατιστικές Επετηρίδες της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας [15, 16].

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Οι τιμές των βαθμομερών ψύξης για 50 ελληνικές πόλεις δίνονται σε πίνακα στο τέλος της παρούσας εργασίας. Για τις πόλεις Αθηνών και Θεσσαλονίκης οι τιμές των βαθμομερών προέκυψαν από τη στατιστική επεξεργασία ωριαίων μετρήσεων της εξωτερικής θερμοκρασίας ξηρού θερμομέτρου για την περίοδο 1983 έως 2002 [10,11]. Για τις υπόλοιπες ελληνικές πόλεις οι τιμές υπολογίστηκαν στο πλαίσιο της παρούσας ερευνητικής εργασίας από το θεωρητικό μοντέλο που αναφέρθηκε [13] με βάση τις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες μακρών χρονικών περιόδων (13 έως 43 έτη, ανάλογα με τη διαθεσιμότητα δεδομένων) [15, 16, 17].

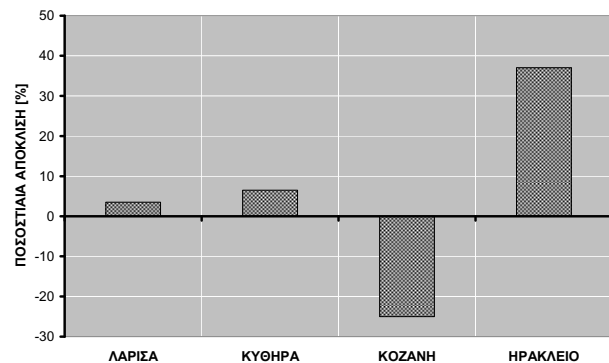
Τα αποτελέσματα των υπολογισμών δίνονται σε πίνακες για θερμοκρασίες βάσης 20, 22, 24, 26 και 28 °C. Για ενδιάμεσες τιμές θερμοκρασιών βάσης μπορεί να γίνει γραμμική παρεμβολή, δεδομένου του σχετικά μικρού βήματος μεταβολής.

Στον ίδιο πίνακα δίδονται, επίσης, οι γεωγραφικές συντεταγμένες της κάθε πόλης, το υψόμετρό της, η μέση μηνιαία θερμοκρασία του κάθε μήνα της χειμερινής περιόδου, καθώς και η μέση ετήσια θερμοκρασία.

Τα στοιχεία του πίνακα πιστεύεται ότι καλύπτουν ένα κενό των δεδομένων που απαιτούνται για την ενεργειακή ανάλυση κτιρίων με απλές μεθόδους στις διάφορες πόλεις της Ελλάδας. Η βελτίωση των δεδομένων σε σχέση με τα

αντίστοιχα των [6] και [7] εντοπίζεται στα εξής: (α) αυξάνεται σημαντικά ο αριθμός των πόλεων για τις οποίες διατίθενται αναλυτικά δεδομένα, (β) δίδονται βαθμομέρες ψύξης σε περισσότερες θερμοκρασίες βάσης και (γ) πέραν του συνολικού αριθμού βαθμομερών ανά πόλη της [7] δίνονται πλέον και οι αντίστοιχες μηνιαίες.

Από τη σύγκριση των δεδομένων του Πίνακα με τα αντίστοιχα των [6] και [7] για τις 20 κοινές πόλεις προκύπτει ότι σε 10 από αυτές η απόκλιση είναι μικρότερη από 10%, σε 3 μεταξύ 10% και 20% και στις υπόλοιπες 7 μεγαλύτερη από 20%. Η σύγκριση έγινε για τη θερμοκρασία βάσης των 25°C, διότι για άλλες θερμοκρασίες βάσης δεν υπάρχουν υπολογισμένες τιμές. Οι διαφορές αυτές πρέπει να αποδοθούν τόσο στο διαφορετικό τρόπο του υπολογισμού, όσο και στη διαφορετική βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε. Πάντως το δείγμα δεν είναι αντιπροσωπευτικό για να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα. Αξίζει να σημειωθεί ότι η τιμή των βαθμομερών ψύξης για την πόλη της Λάρισας που υπολογίστηκε στην [6] από ωριαίες μετρήσεις της εξωτερικής θερμοκρασίας ξηρού θερμομέτρου, αποκλίνει από την τιμή του μοντέλου μόνο 3.5%.



Εικόνα 1: Απόκλισεις εκτιμώμενων βαθμομερών από [6,7]
Figure 1 Estimated degree-days deviation from [6,7]

Ενδεικτικά στην Εικόνα 1 φαίνονται οι αποκλίσεις των τιμών (%) για 4 πόλεις και συγκεκριμένα για τη Λάρισα, όπου η απόκλιση είναι 3.5%, για τα Κύθηρα με απόκλιση 6.5%, για την Κοζάνη, όπου εμφανίζεται απόκλιση 25% και για το Ηράκλειο, όπου η απόκλιση υπερβαίνει το 30%.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Προσδιορίστηκαν και παρουσιάζονται οι βαθμομέρες ψύξης για 50 πόλεις της Ελληνικής Επικράτειας, για θερμοκρασίες βάσης 20 – 28°C με βήμα 2°C, εμπλουτίζοντας έτσι την υφιστάμενη στην Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος 2425/86 βάση δεδομένων.

Για τον προσδιορισμό των βαθμομερών ψύξης αξιοποιήθηκαν οι διαθέσιμες ωριαίες μετρήσεις θερμοκρασίας περιβάλλοντος.

Για τις πόλεις για τις οποίες δεν υπήρχαν ωριαίες μετρήσεις, ο υπολογισμός των βαθμομερών θέρμανσης έγινε με βάση τη μέση μηνιαία θερμοκρασία της περιοχής χρησιμοποιώντας το μοντέλο Erbs et al.

Από τη σύγκριση των τιμών που προσδιορίστηκαν με τις αναφερόμενες στην TOTEE 2425/86, προκύπτει ότι για το 50% των κοινών στις δύο προσεγγίσεις πόλεων οι διαφορές είναι μικρότερες του 10%, ενώ για το υπόλοιπο 50% των πόλεων οι διαφορές υπερβαίνουν το 10%, φτάνοντας και σε αποκλίσεις της τάξης του 55% (με μοναδική εξαίρεση τη Σάμο για την οποία παρατηρείται απόκλιση τιμών 100%).

Οι παρατηρούμενες αποκλίσεις αποδίδονται αφενός στη διαφορετική μεθοδολογία προσέγγισης που χρησιμοποιήθηκε για τις περιοχές για τις οποίες δεν υφίστανται αναλυτικές καταγραφές θερμοκρασίας περιβάλλοντος και αφετέρου στην ευρύτερη και νεότερη βάση δεδομένων θερμοκρασιών περιβάλλοντος που αξιοποιήθηκε. Για τον δεύτερο λόγο πιστεύεται ότι τα δεδομένα που παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία είναι περισσότερο αξιόπιστα.

6. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παραγωγή των δεδομένων που παρουσιάζονται στην παρούσα δημοσίευση έγινε στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος «Ένταξη θερμικών ηλιακών σε κτίρια – Νέοι ηλιακοί συλλέκτες υψηλής απόδοσης – Ηλιακός κλιματισμός, εποχιακή αποθήκευση θερμότητας – Βέλτιστος ενεργειακός σχεδιασμός & ολοκληρωμένη ενεργειακή διαχείριση», που χρηματοδοτείται από τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας στο ευρύτερο πλαίσιο του Προγράμματος Ανταγωνιστικότητα του Υπουργείου Ανάπτυξης. Συντονιστής του προγράμματος είναι η εταιρεία SOL ENERGY HELLAS A.E. και φορείς εκτέλεσης, εκτός του συντονιστή, το ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος» – Εργαστήριο Ηλιακών και Ενεργειακών Συστημάτων και το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης – Εργαστήριο Κατασκευής Συσκευών Διεργασιών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ASHRAE (1985), *Fundamentals*, American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, USA.
- ASHRAE (1993), *Fundamentals*, American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, USA.
- Παπακώστας Κ.Τ. (1999), Εκτίμηση της κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση κατοικιών με τη μέθοδο βαθμομερών μεταβλητής βάσης, *πρακ. βου Εθνικού Συνεδρίου για τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας*, τόμος Α, σσ. 67-76, Ινστιτούτο Ηλιακής Τεχνικής, Βόλος.
- Kusuda T., Alereza T. and Hovander (1982), Development of equipment seasonal performance models for simplified analysis methods, *ASHRAE Transactions*, 88(2), pp. 249-262.
- Πελεκάνος Α. και Παπαχριστόπουλος Κ. (1982), *Σύνταξη πινάκων μετεωρολογικών στοιχείων για ηλιακές εφαρμογές των κυριότερων πόλεων της Ελλάδος*, Πρακ. 1ου Εθνικού Συνεδρίου για τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας, Τόμος Α, Ινστιτούτο Ηλιακής Τεχνικής, Θεσσαλονίκη.
- Ανδρέακος Κ., Ξηράκης Π. (1982), Η διανομή της αθροιστικής θερμοκρασίας στην Ελλάδα, *Μελέτη Αριθ. Ε.Μ.Υ. 9*, Αθήνα.
- Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος 2425/86* (1987), Εγκαταστάσεις σε κτίρια: Στοιχεία υπολογισμού φορτίων κλιματισμού κτιριακών χώρων. ΥΠΕΧΩΔΕ-ΤΕΕ.
- Παπακώστας Κ.Τ. (1999), Μοντέλο υπολογισμού βαθμομερών θέρμανσης και ψύξης με τυχαία βάση. Βαθμομέρες Αθηνών-Θεσσαλονίκης, *πρακ. βου Εθνικού Συνεδρίου για τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας*, τόμος Α, σσ. 23-30, Ινστιτούτο Ηλιακής Τεχνικής, Βόλος.
- Papakostas K., Kyriakis N. (2005), Heating and cooling degree-hours for Athens and Thessaloniki, Greece, *Renewable Energy*, 30, pp. 1873-1880.
- Climatological Bulletin* (1983-2002), National Observatory of Athens, Institute of Meteorology and Physics of the Atmospheric Environment.
- Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, Ωριαίες μετρήσεις της θερμοκρασίας ξηρού θερμομέτρου του εξωτερικού αέρα στη Θεσσαλονίκη, (1983-2002), Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Tselepidaki I., Santamouris M. and Melotsiotis D. (1993), Analysis of the summer ambient temperatures for cooling purposes, *Solar Energy*, Vol. 50, pp. 197-204.
- Erbs D., Klein S. and Beckman W. (1983), Estimation of Degree-Days and Ambient Temperature Bin Data from Monthly-Average Temperatures, *ASHRAE Journal* 25(6):60.
- Papakostas K., Kyriakis N. (2005), Estimation of variable-base heating and cooling degree-day data from monthly average temperatures. Validation of the methodology in two Greek cities, *Proceedings of the 36th International HVAC&R Congress*, Belgrade, Serbia and Montenegro.
- Ε.Σ.Υ.Ε.* (1966-1998), Μηνιαία Στατιστικά Δελτία “Κλιματολογικά στοιχεία”.
- Ε.Σ.Υ.Ε.* (1966-1998), Στατιστικές Επετηρίδες της Ελλάδας, “Θερμοκρασίες αέρα, IC”.
- Κάτσιος Π., Επιφανίδης Κ. (2004), Συγκρότηση βάσης κλιματικών στοιχείων σταθμών μέτρησης Ελλάδας, *Διπλωματική Εργασία*, Εργαστήριο Κατασκευής Συσκευών Διεργασιών, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Α.Π.Θ.

Πίνακας 1: Βαθμομημέρες ψύξης 50 Ελληνικών πόλεων σε διάφορες θερμοκρασίες βάσης.
Table 1: Cooling degree-days in 50 Greek cities for various temperature bases.

ΠΟΛΗ	t_{bal} (°C)	ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ				ΕΤΗΣΙΕΣ ΤΙΜΕΣ
		ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	
Αθήνα (1983-2002)	28	22	52	44	10	129
	26	43	86	76	23	228
	24	73	132	119	44	368
Γ.Π. 37°58'	22	114	187	174	77	552
Γ.Μ. 23°43'	20	165	247	234	122	768
Υψόμ. 107 m	$\bar{t}_{o,m}$	25.4	27.9	27.5	23.8	18.0
Αγρίνιο (1960-1999)	28	9	26	23	5	63
	26	23	57	51	12	144
	24	51	103	96	28	278
Γ.Π. 38°38'	22	93	159	150	58	460
Γ.Μ. 21°25'	20	146	218	209	102	675
Υψόμ. 46 m	$\bar{t}_{o,m}$	24.7	27.0	26.7	23.0	17.2
Αλεξανδρούπολη (1966-1998)	28	5	16	13	2	38
	26	13	38	31	6	88
	24	31	74	64	14	183
Γ.Π. 40°51'	22	61	123	118	31	326
Γ.Μ. 25°52'	20	105	180	166	61	512
Υψόμ. 2.5 m	$\bar{t}_{o,m}$	23.1	25.7	25.2	21.0	14.9
Αλιάρτος (1955-1997)	28	21	71	30	6	128
	26	48	121	62	14	245
	24	89	179	109	32	409
Γ.Π. 38°23'	22	140	239	165	63	607
Γ.Μ. 23°06'	20	197	301	225	108	831
Υψόμ. 110 m	$\bar{t}_{o,m}$	26.5	29.7	27.2	23.2	17.3
Άραξος (1948-1975)	28	6	21	25	6	58
	26	17	50	57	15	139
	24	40	94	105	36	275
Γ.Π. 38°09'	22	79	149	161	72	461
Γ.Μ. 21°25'	20	129	209	221	121	680
Υψόμ. 11 m	$\bar{t}_{o,m}$	24.1	26.7	27.1	23.8	18.0
Αργοστόλι (1948-1975)	28	4	11	13	4	32
	26	11	30	34	12	87
	24	27	65	72	30	194
Γ.Π. 38°11'	22	59	115	123	64	361
Γ.Μ. 20°29'	20	105	173	182	112	572
Υψόμ. 2 m	$\bar{t}_{o,m}$	23.2	25.5	25.8	23.5	18.1
Άρτα (1961-1995)	28	7	20	20	5	52
	26	17	47	47	12	123
	24	40	90	90	29	249
Γ.Π. 39°10'	22	77	144	144	59	424
Γ.Μ. 21°00'	20	127	203	203	104	637
Υψόμ. 39 m	$\bar{t}_{o,m}$	24.0	26.5	26.5	23.1	17.2

ΠΟΛΗ	t_{bal} (°C)	ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ				ΕΤΗΣΙΕΣ ΤΙΜΕΣ
		ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	
7Βόλος (1976-1988)	28	10	29	19	5	63
	26	24	63	43	14	144
	24	53	111	84	33	280
Γ.Π. 39°22'	22	96	167	136	66	465
Γ.Μ. 22°57'	20	148	227	194	112	682
Υψόμ. 3 m	$\bar{t}_{o,m}$	24.8	27.3	26.2	23.4	17.1
Ζάκυνθος (1976-1999)	28	7	24	22	5	58
	26	19	55	51	13	138
	24	44	102	97	31	274
Γ.Π. 37°47'	22	85	158	152	64	459
Γ.Μ. 20°54'	20	137	218	212	111	677
Υψόμ. 6.5 m	$\bar{t}_{o,m}$	24.4	27.0	26.8	23.4	18.0
Ηράκλειο (1955-1997)	28	6	17	16	5	44
	26	18	43	41	13	115
	24	43	86	83	33	245
Γ.Π. 35°20'	22	84	140	137	68	429
Γ.Μ. 25°11'	20	136	200	197	117	650
Υψόμ. 38.5 m	$\bar{t}_{o,m}$	24.4	26.4	26.3	23.7	19.1
Θεσσαλονίκη (1983-2002)	28	12	31	26	5	74
	26	26	58	50	12	135
	24	50	94	84	27	254
Γ.Π. 40°37'	22	83	140	129	49	401
Γ.Μ. 22°57'	20	125	196	184	82	586
Υψόμ. 31 m	$\bar{t}_{o,m}$	23.8	26.2	25.9	21.8	15.6
Θήρα (1960-1999)	28	4	10	9	3	26
	26	12	27	24	8	71
	24	30	61	55	20	167
Γ.Π. 36°25'	22	64	110	102	46	322
Γ.Μ. 25°26'	20	112	167	158	88	524
Υψόμ. 208 m	$\bar{t}_{o,m}$	23.5	25.3	25.0	22.5	17.8
Ιεράπετρα (1956-1997)	28	12	37	35	9	93
	26	31	77	75	25	208
	24	67	131	128	55	381
Γ.Π. 35°00'	22	117	190	187	101	595
Γ.Μ. 25°45'	20	173	251	248	156	828
Υψόμ. 13 m	$\bar{t}_{o,m}$	25.7	28.1	28.0	25.1	20.0
Ιωάννινα (1956-1997)	28	3	11	9	2	25
	26	8	26	22	4	60
	24	19	56	48	10	133
Γ.Π. 39°40'	22	42	100	88	22	252
Γ.Μ. 20°51'	20	78	154	140	46	418
Υψόμ. 483 m	$\bar{t}_{o,m}$	21.9	24.8	24.3	20.1	14.3
Καβάλα (1960-1984)	28	4	10	8	2	25
	26	10	25	21	5	61
	24	24	53	45	12	134
Γ.Π. 40°56'	22	51	95	84	27	257

ΠΟΛΗ	t_{bal} (°C)	ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ				ΕΤΗΣΙΕΣ ΤΙΜΕΣ
		ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	
Γ.Μ. 24°24'	20	91	148	135	54	429
Υψόμ. 62 m	$\bar{t}_{o,m}$	22.5	24.6	24.1	20.6	14.4
Καλαμάτα (1956-1997)	28	6	18	18	4	46
	26	17	44	43	11	115
	24	40	87	84	28	239
Γ.Π. 37°04'	22	78	141	138	60	417
Γ.Μ. 22°06'	20	129	200	197	105	631
Υψόμ. 4.5 m	$\bar{t}_{o,m}$	24.1	26.4	26.3	23.2	17.8
Κέρκυρα (1931-1973)	28	6	20	20	4	50
	26	16	48	46	10	120
	24	39	92	89	26	246
Γ.Π. 39°37'	22	76	146	144	55	421
Γ.Μ. 19°55'	20	126	206	203	98	633
Υψόμ. 2 m	$\bar{t}_{o,m}$	24.0	26.6	26.5	22.9	17.7
Κοζάνη (1966-1998)	28	3	9	7	1	21
	26	8	22	17	4	51
	24	19	46	38	8	111
Γ.Π. 40°18'	22	40	85	72	19	217
Γ.Μ. 21°47'	20	75	135	120	39	369
Υψόμ. 625 m	$\bar{t}_{o,m}$	21.7	24.1	23.5	19.4	12.9
Κομοτηνή (1938-1973)	28	5	19	17	3	44
	26	13	43	39	6	101
	24	31	83	76	15	205
Γ.Π. 41°07'	22	61	134	126	34	355
Γ.Μ. 25°24'	20	105	192	183	65	545
Υψόμ. 30 m	$\bar{t}_{o,m}$	23.1	26.1	25.8	21.2	15.1
Κόνιτσα (1932-1940, 1955-1975)	28	2	10	9	2	23
	26	6	24	23	4	57
	24	15	52	50	11	128
Γ.Π. 40°30'	22	35	95	92	25	247
Γ.Μ. 20°45'	20	67	148	145	52	412
Υψόμ. 542 m	$\bar{t}_{o,m}$	21.4	24.6	24.5	20.5	14.6
Κόρινθος (1937-1940, 1947-1974)	28	10	35	35	7	87
	26	26	72	72	19	189
	24	56	124	124	42	346
Γ.Π. 37°56'	22	100	182	182	81	545
Γ.Μ. 22°57'	20	154	242	242	132	770
Υψόμ. 14.5 m	$\bar{t}_{o,m}$	25.0	27.8	27.8	24.2	18.3
Κύθηρα (1955-1997)	28	4	13	13	3	33
	26	11	33	33	10	87
	24	27	70	70	24	191
Γ.Π. 36°08'	22	59	121	121	54	355
Γ.Μ. 23°00'	20	105	179	179	97	560
Υψόμ. 166 m	$\bar{t}_{o,m}$	23.2	25.7	25.7	22.9	17.7

ΠΟΛΗ	t_{bal} (°C)	ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ				ΕΤΗΣΙΕΣ ΤΙΜΕΣ
		ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	
Κύμη (1960-1990)	28	4	9	8	2	22
	26	9	23	21	5	58
	24	24	52	47	13	135
Γ.Π. 38°38'	22	51	96	89	29	265
Γ.Μ. 24°06'	20	94	150	142	60	446
Υψόμ. 221 m	$\bar{t}_{o,m}$	22.7	24.7	24.4	21.1	15.9
Λαμία (1931-1940, 1956-1973)	28	12	36	32	5	85
	26	29	74	67	12	182
	24	61	124	116	29	330
Γ.Π. 38°54'	22	106	182	173	59	520
Γ.Μ. 22°24'	20	160	243	233	102	738
Υψόμ. 143 m	$\bar{t}_{o,m}$	25.2	27.8	27.5	23.0	17.4
Λάρισα (1955-1997)	28	12	30	21	4	67
	26	29	63	46	9	147
	24	59	110	86	20	275
Γ.Π. 39°08'	22	102	165	137	42	446
Γ.Μ. 22°25'	20	155	225	195	77	652
Υψόμ. 73 m	$\bar{t}_{o,m}$	25.0	27.2	26.2	21.8	15.7
Λήμνος (1961-1999)	28	5	13	11	2	32
	26	13	33	28	6	80
	24	32	68	60	16	175
Γ.Π. 39°53'	22	65	117	106	36	324
Γ.Μ. 25°04'	20	111	173	162	70	517
Υψόμ. 12 m	$\bar{t}_{o,m}$	23.4	25.5	25.1	21.6	16.2
Μεθώνη (1955-1997)	28	3	8	12	4	27
	26	8	22	32	12	74
	24	21	51	69	31	172
Γ.Π. 36°50'	22	48	97	120	66	331
Γ.Μ. 21°43'	20	90	152	179	115	536
Υψόμ. 33 m	$\bar{t}_{o,m}$	22.6	24.8	25.7	23.6	18.0
Μήλος (1955-1997)	28	5	10	9	3	27
	26	13	27	24	7	71
	24	32	59	54	19	164
Γ.Π. 36°45'	22	67	107	100	43	317
Γ.Μ. 24°27'	20	115	164	155	83	517
Υψόμ. 182 m	$\bar{t}_{o,m}$	23.6	25.2	24.9	22.3	17.5
Μυτιλήνη (1955-1996)	28	5	13	10	3	31
	26	14	32	27	9	82
	24	34	68	58	22	182
Γ.Π. 39°06'	22	69	118	105	48	340
Γ.Μ. 24°03'	20	117	175	160	88	540
Υψόμ. 3 m	$\bar{t}_{o,m}$	23.7	25.6	25.1	22.5	17.0
Νάξος (1955-1997)	28	3	8	7	3	21
	26	10	21	20	8	59
	24	27	51	49	21	148
Γ.Π. 37°06'	22	59	96	94	48	297

ΠΟΛΗ	t_{bal} (°C)	ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ				ΕΤΗΣΙΕΣ ΤΙΜΕΣ
		ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	
Γ.Μ. 25°23'	20	106	152	149	92	499
Υψόμ. 9 m	$\bar{t}_{o,m}$	23.3	24.8	24.7	22.7	18.2
Ορεστιάδα (1960-1981)	28	6	16	12	2	37
	26	16	36	28	6	86
	24	35	71	58	13	177
Γ.Π. 41°30'	22	68	119	101	29	317
Γ.Μ. 26°31'	20	113	174	155	57	499
Υψόμ. 43 m	$\bar{t}_{o,m}$	23.4	25.5	24.8	20.7	14.5
Πάρος (1955-1997)	28	2	6	6	2	16
	26	7	16	17	6	46
	24	19	40	43	18	120
Γ.Π. 37°05'	22	45	80	85	42	252
Γ.Μ. 25°09'	20	87	134	139	82	442
Υψόμ. 1 m	$\bar{t}_{o,m}$	22.5	24.2	24.4	22.3	17.8
Πάτρα (1955-1997)	28	6	19	21	5	51
	26	17	45	50	13	125
	24	40	87	94	32	253
Γ.Π. 38°15'	22	79	141	149	66	435
Γ.Μ. 21°44'	20	129	200	209	113	651
Υψόμ. 1 m	$\bar{t}_{o,m}$	24.1	26.4	26.7	23.5	17.9
Πύργος (1932-1941, 1943-1975)	28	7	23	25	6	61
	26	18	53	57	16	144
	24	41	99	104	39	283
Γ.Π. 37°67'	22	81	155	161	76	473
Γ.Μ. 22°43'	20	131	215	221	126	693
Υψόμ. 132 m	$\bar{t}_{o,m}$	24.2	26.9	27.1	24.0	18.2
Ρέθυμνο (1957-1975)	28	8	20	21	6	55
	26	22	49	51	17	139
	24	51	95	98	41	285
Γ.Π. 35°21'	22	96	152	154	81	483
Γ.Μ. 24°31'	20	150	212	215	133	710
Υψόμ. 16 m	$\bar{t}_{o,m}$	24.9	26.8	26.9	24.3	19.6
Ρόδος (1955-1997)	28	8	22	24	7	61
	26	21	52	56	20	149
	24	48	99	104	47	298
Γ.Π. 36°23'	22	92	155	161	89	497
Γ.Μ. 28°07'	20	145	215	221	142	723
Υψόμ. 35 m	$\bar{t}_{o,m}$	24.7	26.9	27.1	24.6	19.1
Σάμος (1978-1997)	28	9	25	22	5	62
	26	23	57	52	14	146
	24	51	105	97	35	287
Γ.Π. 37°42'	22	95	161	152	70	478
Γ.Μ. 26°55'	20	148	221	212	118	699
Υψόμ. 48.5 m	$\bar{t}_{o,m}$	24.8	27.1	26.8	23.7	18.4

ΠΟΛΗ	t_{bal} (°C)	ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ				ΕΤΗΣΙΕΣ ΤΙΜΕΣ
		ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	
Σέρρες (1971-1997)	28	9	22	15	3	49
	26	22	48	34	8	112
	24	47	88	67	19	221
Γ.Π. 41°04'	22	86	140	114	39	379
Γ.Μ. 23°34'	20	136	198	169	74	577
Υψόμ. 32 m	$\bar{t}_{o,m}$	24.3	26.3	25.3	21.6	15.1
Σητεία (1935-1943, 1946-1975)	28	7	17	18	6	48
	26	19	42	44	16	121
	24	46	85	88	39	258
Γ.Π. 35°12'	22	88	140	143	79	450
Γ.Μ. 26°06'	20	141	199	203	130	673
Υψόμ. 25 m	$\bar{t}_{o,m}$	24.6	26.4	26.5	24.2	19.4
Σκύρος (1932-1971)	28	5	13	11	2	31
	26	13	32	29	7	81
	24	31	68	62	17	178
Γ.Π. 38°54'	22	65	118	110	40	333
Γ.Μ. 24°33'	20	113	176	167	77	533
Υψόμ. 4 m	$\bar{t}_{o,m}$	23.5	25.6	25.3	22.0	17.3
Σούδα (1959-1975)	28	6	17	15	3	41
	26	18	42	37	10	107
	24	42	84	77	25	228
Γ.Π. 35°50'	22	82	138	129	54	403
Γ.Μ. 24°10'	20	134	197	188	98	617
Υψόμ. 151 m	$\bar{t}_{o,m}$	24.3	26.3	26.0	22.9	18.1
Σουφλί (1989-1999)	28	7	18	17	2	44
	26	18	40	37	6	101
	24	39	77	73	14	203
Γ.Π. 41°12'	22	74	127	121	30	352
Γ.Μ. 26°18'	20	121	183	177	59	540
Υψόμ. 15 m	$\bar{t}_{o,m}$	23.7	25.8	25.6	20.8	14.6
Σύρος (1931-1944, 1963-1971)	28	6	18	16	4	44
	26	17	45	40	12	114
	24	40	88	81	31	240
Γ.Π. 37°27'	22	80	143	135	65	423
Γ.Μ. 24°57'	20	131	203	194	112	640
Υψόμ. 25 m	$\bar{t}_{o,m}$	24.2	26.5	26.2	23.5	18.5
Τρίκαλα (1976-1999)	28	14	33	22	5	73
	26	33	67	47	11	158
	24	66	115	88	26	294
Γ.Π. 39°33'	22	112	171	140	52	475
Γ.Μ. 21°46'	20	166	231	198	92	686
Υψόμ. 116 m	$\bar{t}_{o,m}$	25.4	27.4	26.3	22.5	16.1
Τρίπολη (1960-1999)	28	3	9	7	2	21
	26	9	22	19	4	54
	24	21	49	41	9	120
Γ.Π. 37°31'	22	46	90	79	21	236

ΠΟΛΗ	t_{bal} (°C)	ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ				ΕΤΗΣΙΕΣ ΤΙΜΕΣ
		ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	
Γ.Μ. 22°22'	20	84	143	129	45	401
Υψόμ. 661 m	$\bar{t}_{o,m}$	22.2	24.4	23.9	20.0	14.1
Τυμπάκι (1961-1979)	28	9	30	27	7	73
	26	24	67	60	18	169
	24	54	117	109	42	322
Γ.Π. 35°00'	22	99	175	167	82	523
Γ.Μ. 24°45'	20	153	236	227	134	750
Υψόμ. 7 m	$\bar{t}_{o,m}$	25.0	27.6	27.3	24.3	19.1
Φλώρινα (1960-1999)	28	3	7	5	1	16
	26	7	17	13	3	40
	24	15	37	28	6	86
Γ.Π. 40°47'	22	33	71	56	13	173
Γ.Μ. 21°24'	20	63	118	98	28	307
Υψόμ. 661 m	$\bar{t}_{o,m}$	21.0	23.4	22.6	18.4	12.1
Χαλκίδα (1960-1975, 1980-1994)	28	14	33	32	8	87
	26	33	69	67	19	188
	24	68	119	116	43	346
Γ.Π. 38°28'	22	116	176	173	82	547
Γ.Μ. 23°36'	20	171	236	233	132	772
Υψόμ. 4 m	$\bar{t}_{o,m}$	25.6	27.6	27.5	24.2	18.1
Χανιά (1961-1994)	28	7	18	15	4	44
	26	19	45	39	11	114
	24	45	88	79	28	240
Γ.Π. 35°30'	22	87	143	132	61	423
Γ.Μ. 24°02'	20	139	203	191	107	640
Υψόμ. 62 m	$\bar{t}_{o,m}$	24.5	26.5	26.1	23.3	18.5
Χίος (1955-1997)	28	6	19	15	4	44
	26	17	45	37	10	109
	24	40	87	76	24	227
Γ.Π. 38°20'	22	79	141	127	52	399
Γ.Μ. 26°08'	20	129	200	185	94	608
Υψόμ. 60 m	$\bar{t}_{o,m}$	24.1	26.4	25.9	22.7	17.3

Κωνσταντίνος Παπακόστας

Λέκτορας ΑΠΘ, Εργαστήριο Κατασκευής Συσκευών Διεργασιών, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΑΠΘ, ΤΘ 487, 541 24 Θεσσαλονίκη, dinpar@eng.auth.gr.

Γεώργιος Τσιλιγκιρίδης

Επίκουρος Καθηγητής ΑΠΘ, Εργαστήριο Κατασκευής Συσκευών Διεργασιών, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΑΠΘ, ΤΘ 487, 541 24 Θεσσαλονίκη, tsil@eng.auth.gr

Νικόλαος Κυριάκης

Αναπληρωτής Καθηγητής ΑΠΘ, Εργαστήριο Κατασκευής Συσκευών Διεργασιών, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΑΠΘ, ΤΘ 487, 541 24 Θεσσαλονίκη, nkyr@auth.gr.

Extended summary

Cooling Degree-Days for 50 Greek Cities

K. PAPAKOSTAS

Lecturer AUTH

G. TSILINGIRIDIS

Assistant Professor AUTH

N. KYRIAKIS

Associate Professor AUTH

Abstract

The purpose of this study is to determine and present cooling degree-day data, for various base temperatures and for 50 Greek cities. The degree-day data for Athens and Thessaloniki were calculated with the use of hourly dry bulb temperature records from the meteorological stations of the National Observatory of Athens and of the Aristotle University of Thessaloniki. Due to the lack of hourly or daily temperature data for the other 48 cities, a reliable model was adopted for the estimation of the cooling degree days for them. The degree-day data were calculated for every month of the heating period and for base temperature from 20°C to 28°C step 2°C. The results are presented in tabular form and can be used for the estimation of the required cooling energy of buildings, according to the variable base degree-day method.

1. INTRODUCTION

Degree-day methods are the simplest procedures for energy analysis of buildings. They are appropriate in cases where the building use and the efficiency of the HVAC equipment can be assumed as relatively constant.

The degree-day methods are capable to provide simple and quick estimations of the heating and cooling requirements, on a monthly or seasonal base, especially in residential and light commercial use buildings. Furthermore degree-days are useful in studying quickly optimal design of a building and in comparing energy requirements from one location to another. To the same aim, specialized and expensive computer programs can be used, requiring however significantly more detailed data, usually not available. Degree-day methods thus continue to be of importance.

The traditional degree-day method is based on a combination of theory and empirical observations and assumes that, on a long-term average, solar and internal gains will offset the heat losses of a building, when the mean daily outdoor temperature is 18.3°C. In such a case, the energy consumption will be proportional to the difference between the mean daily temperature and 18.3°C. However, experience has indicated that the so calculated energy requirements were overestimated.

Submitted: Apr. 2, 2007 Accepted: July 20, 2007

The variable base degree-base method results in more accurate estimations of the cooling energy required.

2. THE VARIABLE BASE DEGREE-DAY METHOD

This method is a generalization of the traditional degree-day method. The concept remains the same but it counts degree-days based on the balance-point temperature, which is defined as the outdoor temperature at which the building requires neither heating nor cooling. The balance point temperature is calculated by taking into account the indoor design air temperature of the building, the total heat gains (occupants, lights, equipment, sun) and the total heat-loss coefficient of the building.

For cooling purposes the method recognizes that the total heat gains provide heat down to the balance-point temperature, which may vary from one building to another and from one location to another. Above this temperature the energy consumption for sensible cooling is proportional to the cooling degree-days with a base equal to the balance-point temperature.

Except the energy consumption for sensible cooling, the energy consumption due to the latent load of the outside air should be calculated. This is achieved by taken into account the monthly humidity ratio of the outside air and the total monthly air exchange of the building.

3. AVAILABILITY OF DEGREE-DAY DATA IN GREECE

Cooling degree-days for various base temperatures have been published for 30 Greek cities. They have been calculated only for the base temperature of 25°C. The calculations were based on hourly temperature data for the cities of Athens (period 1956-1973) and Larisa (period 1962-1976) and on correlation techniques for the rest of the towns, due to the

lack of hourly data. These values of degree-days have been incorporated in the Greek technical regulations and they are used by the engineers for energy calculations.

Commenting on the quality of these data, it should be mentioned that: (a) they are outdated, since they are based on temperature measurements up to 1976, (b) they are calculated only for one base temperature and (c) they are not calculated on a monthly basis.

Aim of this paper is to provide degree-day data for 50 cities, based on the most recent dry bulb temperature available data and with a step of 2°C.

4. A MODEL FOR ESTIMATING VARIABLE -BASE DEGREE-DAY DATA

Several researchers have proposed formulas for estimating degree days relative to an arbitrary base, when detailed data are missing. Among them Erbs et al. have developed a model based only on the long-term average temperature for each month of the year.

In this paper the Erbs methodology was adopted for the estimation of monthly cooling degree-days for 48 Greek cities. The necessary data were taken from records of the Hellenic National Meteorological Service which are published in the Monthly Statistical Books of the Hellenic National Statistical Service. These data were averaged over the years available for each city with 10 or more years of data

records for the purpose of estimating cooling degree-days.

The degree-day data for Athens and Thessaloniki were calculated with the use of hourly dry bulb temperature records from the meteorological stations of the National Observatory of Athens and of the Aristotle University of Thessaloniki (period 1983-1992).

These data were also used for the verification of the reliability of the model and it was found that the estimation results are of a good quality.

5. RESULTS

Variable-base cooling degree-day data for 50 Greek cities are presented in this paper. The degree-day data were calculated for every month of the heating period and for temperature bases from 20°C to 28°C, using a temperature step of 2°C. The results are presented in tabular form and serve for the estimation of the required cooling energy of buildings, according to the variable base degree-day method.

It is hoped that the availability of these data will fill the gap in information needed by building designers and engineers for simplified cooling energy calculations for buildings in Greece. The wide range of cities covered in this analysis will also help conducting energy analysis and evaluating different design alternatives for the respective locations.

Konstantinos Papakostas

Lecturer AUTH, Process Equipment Design Laboratory, Mechanical Engineering Department, POB 487, 541 24 Thessaloniki, dinpap@eng.auth.gr

Georgios Tsilingiridis

Assistant Professor AUTH, Process Equipment Design Laboratory, Mechanical Engineering Department, POB 487, 541 24 Thessaloniki, tsil@auth.gr

Nikolas Kyriakis

Associate Professor AUTH, Process Equipment Design Laboratory, Mechanical Engineering Department, POB 487, 541 24 Thessaloniki, nkyr@auth.gr