

Βαθμομέρες Θέρμανσης 50 Ελληνικών Πόλεων

Κ. ΠΑΠΑΚΩΣΤΑΣ

Λέκτορας Α.Π.Θ.

Γ. ΤΣΙΛΙΓΚΙΡΙΔΗΣ

Επίκουρος Καθηγητής Α.Π.Θ.

Ν. ΚΥΡΙΑΚΗΣ

Αναπληρωτής Καθηγητής Α.Π.Θ.

Περίληψη

Οι μέθοδοι των βαθμομερών είναι οι απλούστερες μεθοδολογίες για την εκτίμηση των ενεργειακών απαιτήσεων κτιρίων για θέρμανση και ψύξη, ιδιαίτερα εάν η χρήση των κτιρίων είναι συνεχής και ο βαθμός απόδοσης του εξοπλισμού θέρμανσης και θερινού κλιματισμού θεωρηθεί ως σταθερός. Τα απαιτούμενα «κλιματικά» δεδομένα είναι οι βαθμομέρες θέρμανσης και ψύξης σε διάφορες θερμοκρασίες βάσης. Για την Ελλάδα τα δεδομένα αυτά είναι ελλιπή και οι μηχανικοί συχνά αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην εκτέλεση ενεργειακών υπολογισμών σε κτίρια. Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται οι βαθμομέρες θέρμανσης 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 10°C έως 20°C, με θερμοκρασιακό βήμα των 2°C και παρουσιάζονται σε πίνακες.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η βασική μέθοδος των βαθμομερών και οι παραλλαγές της είναι οι απλούστερες μεθοδολογίες ενεργειακής ανάλυσης σε κτίρια. Η εφαρμογή τους προϋποθέτει ότι η εσωτερική θερμοκρασία του κτιρίου διατηρείται σταθερή και ότι το σύστημα θέρμανσης ή κλιματισμού λειτουργεί για όλη τη χειμερινή ή θερινή περίοδο με σταθερό βαθμό απόδοσης. Οι μέθοδοι των βαθμομερών δίνουν απλά και γρήγορα μία εκτίμηση των μηνιαίων ή ετήσιων αναγκών σε ενέργεια για θέρμανση ή ψύξη και συνιστώνται ιδιαίτερα σε κτίρια κατοικιών και μικρά εμπορικά κτίρια.

Αν και κατά τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί πολλά προγράμματα σε Η/Υ, τα οποία προσομοιώνουν δυναμικά την ενεργειακή συμπεριφορά κτιρίων και συστημάτων και υπολογίζουν αξιόπιστα την κατανάλωση ενέργειας ενός κτιρίου, οι μέθοδοι των βαθμομερών παραμένουν ακόμη πολύτιμα εργαλεία και δεν έχουν χάσει καθόλου τη σπουδαιότητά τους. Οι βαθμομέρες είναι ένα μέτρο της διακύμανσης της εξωτερικής θερμοκρασίας μιας περιοχής και ένας δείκτης για το πόσο δριμύ είναι το κλίμα της. Επομένως, με τη χρήση των βαθμομερών η εκτίμηση των ενεργειακών απαιτήσεων

ενός κτιρίου σχετίζεται με τη μεταβολή του κλίματος της περιοχής, στην οποία είναι εγκατεστημένο το κτίριο.

Η κλασική μέθοδος των βαθμομερών για την εκτίμηση των ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση βασίζεται στην υπόθεση ότι, σε μακρές χρονικές περιόδους, (π.χ. μήνας, έτος) τα ηλιακά θερμικά κέρδη, καθώς και τα εσωτερικά θερμικά κέρδη ενός κτιρίου, αντισταθμίζουν τις θερμικές του απώλειες, όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι 18.3°C ή υψηλότερη. Επίσης, ότι η κατανάλωση ενέργειας είναι ανάλογη της διαφοράς ανάμεσα στη μέση εξωτερική θερμοκρασία της ημέρας και αυτή των 18.3°C. Αυτή η βασική υπόθεση εκφράζεται μαθηματικά σε μία εξίσωση [1], στην οποία η κατανάλωση ενέργειας μίας χρονικής περιόδου είναι ανάλογη του αριθμού των βαθμομερών της περιόδου, οι οποίες υπολογίζονται με βάση τη θερμοκρασία των 18.3°C. Η εμπειρία, όμως, από τη χρήση της και οι συγκρίσεις με πραγματικές μετρήσεις κατανάλωσης ενέργειας σε κτίρια έδειξαν ότι η μέθοδος υπερεκτιμά τις ενεργειακές απαιτήσεις ενός κτιρίου για θέρμανση. Αυτό οφείλεται στο ότι η εφαρμογή της θερμομόνωσης, η εγκατάσταση στεγανών παραθύρων και θυρών, η συνεχώς αυξανόμενη χρήση ηλεκτρικών συσκευών και φωτισμού, καθώς και η ρύθμιση των θερμοστατών στις εγκαταστάσεις θέρμανσης σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, κάτω από την οποία τα κτίρια χρειάζονται θέρμανση, που στη συγκεκριμένη μέθοδο θεωρείται σταθερή και ίση με 18.3°C.

Για την αύξηση της ακρίβειας πρόβλεψης της ενεργειακής κατανάλωσης σε ένα κτίριο αναπτύχθηκε η μέθοδος βαθμομερών μεταβλητής βάσης (Variable base degree-day method) [2, 3], που διαφοροποιείται από την προηγούμενη ακριβώς κατά το ότι η βάση υπολογισμού των βαθμομερών δε θεωρείται σταθερή και ίση με 18.3°C, αλλά προσδιορίζεται από τα κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά του κτιρίου.

2. Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΒΑΘΜΟΜΕΡΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ ΒΑΣΗΣ

Η μέθοδος βαθμομερών μεταβλητής βάσης είναι στην ουσία γενίκευση της κλασικής μεθόδου των βαθμομε-

ρών. Διατηρεί τη γενική ιδέα των βαθμομερών, αλλά ο υπολογισμός τους στην περίπτωση αυτή γίνεται με βάση τη θερμοκρασία ισορροπίας (t_{bal}), που είναι η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος (t_o), στην οποία το κτίριο δε χρειάζεται ούτε ψύξη, ούτε θέρμανση, εκείνη, δηλαδή, η θερμοκρασία, στην οποία οι συνολικές θερμικές απώλειες είναι ίσες με τα θερμικά κέρδη. Η μέθοδος χρησιμοποιείται, κυρίως, για τον υπολογισμό των ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση, αλλά υπάρχουν και παραλλαγές της για τον 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, φάτα και συσκευές σε [W]), (t_i) η απαιτούμενη θερμοκρασία του κτιρίου (θερμοκρασία σχεδιασμού σε [°C]) και (H) ο συνολικός συντελεστής θερμικών απωλειών του κτιρίου σε [W/K], τότε ισχύει:

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

Η θερμοκρασία ισορροπίας του κτιρίου, επομένως, είναι:

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

Η τιμή της θερμοκρασίας ισορροπίας διαφέρει από κτίριο σε κτίριο λόγω των διαφορετικών χαρακτηριστικών (προσανατολισμός, ανοίγματα, θερμομόνωση) και των διαφορετικών εσωτερικών πηγών θερμότητας.

Θέρμανση απαιτείται όταν η (μεταβαλλόμενη) θερμοκρασία περιβάλλοντος πέσει κάτω από τη θερμοκρασία ισορροπίας. Ο ρυθμός κατανάλωσης ενέργειας του κτιρίου τότε είναι:

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

όπου τ είναι ο χρόνος και η_h ο βαθμός απόδοσης του συστήματος θέρμανσης, ο οποίος εξαρτάται από τις συνθήκες λειτουργίας (σταθερές ή μεταβαλλόμενες), από την ποιότητα κατασκευής και συντήρησης της εγκατάστασης, από τη χρήση συσκευών εξοικονόμησης ενέργειας και από διάφορους άλλους παράγοντες.

Εάν θεωρηθεί ότι τα μεγέθη η_h και H είναι σταθερά, τότε η μηνιαία ενεργειακή κατανάλωση για τη θέρμανση του κτιρίου μπορεί να υπολογισθεί από τη σχέση:

$$\dot{Q}_{h,mo} = \frac{H}{\eta_h} \cdot \int [t_{bal} - t_o(\tau)]^+ \cdot d\tau \quad (2.4)$$

όπου το θετικό σύμβολο (+) σημαίνει ότι λαμβάνονται υπόψη μόνο οι θετικές τιμές. Το ολοκλήρωμα της θερμοκρασιακής διαφοράς πρακτικά μπορεί να προσεγγισθεί από ένα άθροισμα θερμοκρασιακών διαφορών σε μικρά χρονικά βήματα

(ημερήσια ή ωριαία) και το αποτέλεσμα είναι οι βαθμομέρες θέρμανσης $DD_h(t_{bal})$ με βάση τη θερμοκρασία (t_{bal}).

Είναι δηλαδή:

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

Επομένως, η μηνιαία κατανάλωση ενέργειας για τη θέρμανση του κτιρίου, βάσει των βαθμομερών θέρμανσης, μπορεί να προσδιορισθεί ως :

$$Q_{h,mo} = \frac{H}{\eta_h} \cdot DD_h(t_{bal}) \quad (2.6)$$

Η ετήσια ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση υπολογίζεται, αθροίζοντας τις μηνιαίες καταναλώσεις:

$$Q_{h,yr} = \sum_{mo=1}^j Q_{h,mo} \quad (2.7)$$

όπου j ο αριθμός μηνών της περιόδου θέρμανσης.

3. ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΒΑΘΜΟΜΕΡΩΝ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

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

Βαθμομέρες θέρμανσης με μεταβλητή βάση για 30 ελληνικές πόλεις έχουν υπολογισθεί και δημοσιευθεί και από άλλους ερευνητές [4]. Στην εργασία εκείνη, οι βαθμομέρες 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 βαθμομερών 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 βαθμομερών για τις 30 πόλεις της Ελλάδας ενσωματώθηκαν στην Τεχνική Οδηγία 2425/86 του Τεχνικού Επιμελητηρίου της Ελλάδας [5] και αποτελούν έκτοτε τα «επίσημα» δεδομένα για την εφαρμογή των μεθόδων βαθμομερών στην Ελλάδα.

Οι θερμοκρασίες βάσης, για τις οποίες δίνονται οι βαθ-

μοιμέρες των 30 ελληνικών πόλεων στις [4] και [5] είναι 10°C, 15°C, 18°C και 25°C, ενώ για ενδιάμεσες θερμοκρασίες θα πρέπει να γίνει η σχετική εκτίμηση.

Βαθμομέρες ξηρού θερμομέτρου θέρμανσης, με μεγαλύτερη διακριτότητα ως προς τις θερμοκρασίες βάσης, έχουν υπολογισθεί μόνο για τις πόλεις των Αθηνών και της Θεσσαλονίκης [6, 7]. Ο προσδιορισμός τους βασίστηκε σε στατιστική επεξεργασία ωριαίων μετρήσεων της εξωτερικής θερμοκρασίας ξηρού θερμομέτρου για την περίοδο 1983 έως 1992 [8, 9]. Για τις υπόλοιπες, όμως, ελληνικές πόλεις δεν υπάρχουν άλλα διαθέσιμα δεδομένα πέραν αυτών που δίνονται στις [4] ή [5] και η παρούσα εργασία φιλοδοξεί να καλύψει το κενό αυτό, παρουσιάζοντας βαθμομέρες ξηρού θερμομέτρου με βήμα θερμοκρασίας βάσης 2°C, αξιοποιώντας, ταυτόχρονα, τα νέα διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα.

Οι βαθμομέρες θέρμανσης, όπως ήδη αναφέρθηκε, μπορούν να υπολογισθούν 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 δύσεύρετα. 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 βαθμομερών, όταν δεν υπάρχουν επαρκή μετεωρολογικά στοιχεία για έναν ακριβή υπολογισμό. Ένα από τα μοντέλα που εκτιμούν με ακρίβεια βαθμομέρες ξηρού θερμομέτρου είναι αυτό των Erbs et al. [10].

4. ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΒΑΘΜΟΜΕΡΩΝ ΜΕ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΒΑΣΗ

Σύμφωνα με το μοντέλο των Erbs et al. [10], για τον υπολογισμό των βαθμομερών με τυχαία βάση απαιτείται μόνο η μέση τιμή μακρών χρονικών περιόδων της θερμοκρασίας ξηρού θερμομέτρου του περιβάλλοντος για κάθε μήνα του χρόνου ($\bar{t}_{o,m}$).

Από τις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες, μπορεί να υπολογισθεί 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:

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

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

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

Η σχέση υπολογισμού των βαθμομερών είναι:

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

όπου

$a = 1.698$,

$N =$ ο αριθμός των ημερών κάθε μήνα,

$\theta =$ 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:

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

Η αξιοπιστία του μοντέλου έχει ελεγχθεί για τις πόλεις των Αθηνών και της Θεσσαλονίκης και αποδείχθηκε ότι η απόκλιση των εκτιμώμενων τιμών των βαθμομερών θέρμανσης από αυτές που υπολογίζονται με βάση τις μετρήσεις της εξωτερικής θερμοκρασίας είναι μικρότερη του 5% για θερμοκρασίες βάσης μεγαλύτερες από 12.5°C. Για μικρότερες θερμοκρασίες βάσης, το σφάλμα μπορεί να φθάσει έως 10.5%. Δεδομένου ότι οι θερμοκρασίες βάσης σε κτίρια κατοικιών και μικρά εμπορικά κτίρια είναι συνήθως άνω των 14°C, η ακρίβεια του μοντέλου θεωρείται πολύ καλή [11].

Το μοντέλο των Erbs et al. [10] χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή βαθμομερών θέρμανσης και 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 [12, 13].

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

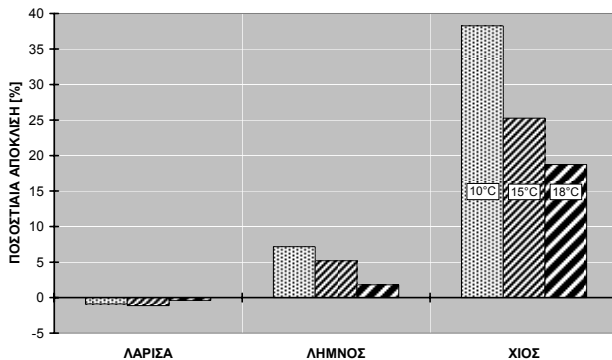
Οι τιμές των βαθμομερών θέρμανσης για πενήντα ελληνικές πόλεις δίνονται σε πίνακα στο τέλος της παρούσας εργασίας. Για τις πόλεις Αθηνών και Θεσσαλονίκης, οι τιμές των βαθμομερών ελήφθησαν από τις [8, 9] και προέκυψαν από τη στατιστική επεξεργασία ωριαίων μετρήσεων της εξωτερικής θερμοκρασίας ξηρού θερμομέτρου για την περίοδο 1983 έως 1992. Για τις υπόλοιπες ελληνικές πόλεις, οι τιμές υπολογίστηκαν, στο πλαίσιο της παρούσας ερευνητικής εργασίας, από το θεωρητικό μοντέλο που αναφέρθηκε [10], με βάση τις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες μακρών χρονικών περιόδων (13 έως 43 έτη, ανάλογα με τη διαθεσιμότητα δεδομένων) [12, 13, 14].

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών δίνονται σε πίνακες για θερμοκρασίες βάσης 10, 12, 14, 16, 18 και 20 °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 [4] και [5] εντοπίζεται στα εξής: (α) αυξάνεται σημαντικά ο αριθμός των πόλεων για τις οποίες διατίθενται αναλυτικά δεδομένα, (β) πέραν του συνολικού αριθμού βαθμοημερών ανά πόλη της [5], δίνονται πλέον και οι αντίστοιχες μηνιαίες.

Από τη σύγκριση των δεδομένων του Πίνακα με τα αντίστοιχα των [4] και [5] για τις είκοσι κοινές πόλεις, προκύπτει ότι σε δέκα από αυτές η απόκλιση είναι μικρότερη από 5%, σε τρεις μικρότερη από 10% και στις υπόλοιπες επτά μεγαλύτερη από 10%. Οι μεγαλύτερες αποκλίσεις παρατηρούνται για τη θερμοκρασία βάσης των 10°C, η οποία όμως είναι μάλλον απίθανο να εμφανισθεί ως θερμοκρασία ισορροπίας σε ένα κτίριο. Ενδεικτικά, στην Εικόνα 1 φαίνονται οι αποκλίσεις των τιμών (%) για τρεις πόλεις και για τις θερμοκρασίες βάσης των 10°C, 15°C και 18°C και συγκεκριμένα για τη Λάρισα, όπου οι αποκλίσεις είναι μικρότερες του 1%, για τη Λήμνο, με αποκλίσεις που δεν υπερβαίνουν το 7% και τη Χίο, όπου εμφανίζονται οι μεγαλύτερες και προσεγγίζουν το 40%. Οι διαφορές αυτές πρέπει να αποδοθούν, τόσο στο διαφορετικό τρόπο του υπολογισμού, όσο και στη διαφορετική βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε.



Εικόνα 1: Αποκλίσεις εκτιμώμενων βαθμοημερών από [4,5].
Figure 1: Estimated degree-days deviation from [4,5].

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Προσδιορίστηκαν και παρουσιάζονται οι βαθμοημέρες θέρμανσης για πενήντα πόλεις της Ελληνικής Επικράτειας, για θερμοκρασίες βάσης 10 – 20°C με βήμα 2°C, εμπλουτίζοντας, έτσι, την υφιστάμενη στην Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας 2425/86 βάση δεδομένων.

Για τον προσδιορισμό των βαθμοημερών θέρμανσης αξιοποιήθηκαν οι διαθέσιμες ωριαίες μετρήσεις θερμοκρασίας

περιβάλλοντος.

Για τις πόλεις, για τις οποίες δεν υπήρχαν ωριαίες μετρήσεις, ο υπολογισμός των βαθμοημερών 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 5%, ενώ για το 35% των πόλεων οι διαφορές υπερβαίνουν το 10%, φθάνοντας και σε αποκλίσεις της τάξης του 40%.

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 νεώτερη βάση δεδομένων θερμοκρασιών περιβάλλοντος που αξιοποιήθηκε.

6. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παραγωγή των δεδομένων που παρουσιάζονται στην παρούσα δημοσίευση έγινε στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος «Ενταξη 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, στα ευρύτερα πλαίσια 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.
- Παπακόστας Κ.Τ. (1999), Εκτίμηση της κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση κατοικιών με τη μέθοδο βαθμοημερών μεταβλητής βάσης, **πρακ. 6ου Εθνικού Συνεδρίου για τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας**, τόμος Α, Ινστιτούτο Ηλιακής Τεχνικής, Βόλος.
- Ανδρέακος Κ., Ξηράκης Π. (1982), Η διανομή της αθροιστικής θερμοκρασίας στην Ελλάδα, **Μελέτη Αριθ. Ε.Μ.Υ. 9**, Αθήνα.
- Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας 2425/86** (1987), Εγκαταστάσεις σε κτίρια: Στοιχεία υπολογισμού φορτίων κλιματισμού κτιριακών χώρων. ΥΠΕΧΩΔΕ-ΤΕΕ.
- Παπακόστας Κ.Τ. (1999), Μοντέλο υπολογισμού βαθμοημερών θέρμανσης και ψύξης με τυχαία βάση. Βαθμοημέρες Αθηνών-Θεσσαλονίκης, **πρακ. 6ου Εθνικού Συνεδρίου για τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας**, τόμος Α, Ινστιτούτο Ηλιακής Τεχνικής, Βόλος.

7. Papakostas K., Kyriakis N. (2005), Heating and cooling degree-hours for Athens and Thessaloniki, Greece, **Renewable Energy**, 30, pp. 1873-1880.

8. **Climatological Bulletin** (1983-1992), National Observatory of Athens, Institute of Meteorology and Physics of the Atmospheric Environment.

9. Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, Ωριαίες μετρήσεις της θερμοκρασίας ξηρού θερμομέτρου του εξωτερικού αέρα στη Θεσσαλονίκη, (1983-1992), Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

10. 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.

11. 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.

12. **Ε.Σ.Υ.Ε.** (1966-1998), Μηνιαία Στατιστικά Δελτία “Κλιματολογικά στοιχεία”.

13. **Ε.Σ.Υ.Ε.** (1966-1998), Στατιστικές Επετηρίδες της Ελλάδας, “Θερμοκρασίες αέρα, °C”.

14. 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: Βαθμοημέρες θέρμανσης 50 Ελληνικών πόλεων σε διάφορες θερμοκρασίες βάσης.
Table 1: Heating degree-days in 50 Greek cities for various temperature bases.

ΠΟΛΗ	t _{bal} (°C)	ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ								ΕΤΗΣΙΕΣ ΤΙΜΕΣ
		ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	
Αθήνα (1983-1992) Γ.Π. 37°58' Γ.Μ. 23°43' Υψόμ. 107 m	20	328	299	265	137	53	83	186	306	1657
	18	266	243	206	90	26	47	131	244	1253
	16	204	189	150	50	10	22	84	184	893
	14	146	137	100	23	3	9	46	128	592
	12	95	92	60	8	1	2	21	80	359
	10	54	56	32	2	0	0	7	44	195
	t̄ _{o,m}	9.4	9.3	11.5	15.8	19.9	18.3	13.9	10.1	17.5
Αργίνιο (1960-1999) Γ.Π. 38°38' Γ.Μ. 21°25' Υψόμ. 46 m	20	367	306	263	155	42	86	214	327	1761
	18	306	251	205	105	20	48	159	267	1361
	16	246	198	149	64	8	24	109	208	1007
	14	189	147	101	34	3	11	68	153	707
	12	136	101	61	17	1	5	38	105	464
	10	91	63	34	8	1	2	19	65	282
	t̄ _{o,m}	8.2	9.1	11.6	15.1	20.3	18.0	13.0	9.5	17.2
Αλεξανδρούπολη (1966-1998) Γ.Π. 40°51' Γ.Μ. 25°52' Υψόμ. 2.5 m	20	469	395	364	209	79	148	287	413	2364
	18	407	340	303	154	44	98	229	352	1928
	16	346	285	244	105	22	59	174	292	1527
	14	286	231	187	65	10	32	124	233	1167
	12	228	179	135	36	4	16	81	177	856
	10	173	131	90	19	2	7	48	127	596
	t̄ _{o,m}	4.9	5.9	8.3	13.2	18.4	15.6	10.5	6.7	14.9
Αλιάρτος (1955-1997) Γ.Π. 38°23' Γ.Μ. 23°06' Υψόμ. 110 m	20	343	337	285	170	52	137	232	340	1896
	18	282	282	226	119	31	90	176	279	1485
	16	224	228	170	75	18	52	125	221	1113
	14	168	176	119	43	10	28	81	165	790
	12	118	127	76	22	6	13	48	116	526
	10	76	85	45	11	3	6	26	75	327
	t̄ _{o,m}	9.0	8.0	10.9	14.6	21.3	16.0	12.4	9.1	17.3
Αραξος (1948-1975) Γ.Π. 38°09' Γ.Μ. 21°25' Υψόμ. 11 m	20	302	262	245	144	75	59	154	254	1495
	18	242	208	187	94	48	30	104	195	1108
	16	185	155	132	55	29	13	62	140	771
	14	131	108	86	28	17	5	33	92	500
	12	85	67	50	13	10	2	16	55	298
	10	50	37	26	6	6	1	7	29	162
	t̄ _{o,m}	10.3	10.7	12.2	15.5	19.9	19.2	15.1	11.9	18.0

Πίνακας 1 (συνέχεια): Βαθμομέρες θέρμανσης 50 Ελληνικών πόλεων σε διάφορες θερμοκρασίες βάσης.
 Table 1 (continued): Heating degree-days in 50 Greek cities for various temperature bases

ΠΟΛΗ	t_{bal} (°C)	ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ								ΕΤΗΣΙΕΣ ΤΙΜΕΣ
		ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	
Αργοστόλι (1948-1975) Γ.Π. 38°11' Γ.Μ. 20°29' Υψόμ. 5 m	20	266	237	217	145	85	46	137	229	1362
	18	206	183	160	95	55	21	88	171	979
	16	150	132	108	55	34	9	50	118	656
	14	100	86	65	28	21	3	24	73	400
	12	60	50	35	12	12	1	11	40	221
	10	32	26	17	5	7	0	4	20	111
	$\bar{t}_{o,m}$	11.5	11.6	13.1	15.4	19.3	19.8	15.7	12.7	18.1
Αρτα (1961-1995) Γ.Π. 39°10' Γ.Μ. 21°00' Υψόμ. 39 m	20	351	298	254	152	73	79	200	315	1722
	18	291	243	196	102	46	43	145	255	1321
	16	231	190	141	61	28	21	97	197	966
	14	175	139	93	32	16	9	58	142	664
	12	123	94	56	16	9	4	31	95	428
	10	80	57	30	7	5	2	15	58	254
	$\bar{t}_{o,m}$	8.7	9.4	11.9	15.2	19.9	18.3	13.5	9.9	17.2
Βόλος (1976-1988) Γ.Π. 39°22' Γ.Μ. 22°57' Υψόμ. 3 m	20	370	309	257	155	53	93	231	327	1797
	18	309	254	199	105	27	54	175	267	1390
	16	249	200	144	64	12	27	124	208	1029
	14	192	149	96	34	5	13	79	153	723
	12	139	103	58	17	2	6	46	105	475
	10	93	65	32	8	1	2	24	65	290
	$\bar{t}_{o,m}$	8.1	9.0	11.8	15.1	19.6	17.7	12.4	9.5	17.1
Ζάκυνθος (1976-1999) Γ.Π. 37°47' Γ.Μ. 20°54' Υψόμ. 6.5 m	20	290	256	242	157	57	55	154	245	1457
	18	230	202	184	106	28	27	104	187	1068
	16	173	150	130	64	12	12	62	132	735
	14	121	103	83	34	5	5	33	85	468
	12	77	63	48	16	2	2	15	49	273
	10	14	35	25	7	1	1	7	26	145
	$\bar{t}_{o,m}$	10.7	10.9	12.3	15.0	19.3	19.4	15.1	12.2	18.0
Ηράκλειο (1955-1997) Γ.Π. 35°20' Γ.Μ. 25°11' Υψόμ. 38.5 m	20	244	212	197	108	63	38	101	194	1157
	18	186	159	141	64	39	17	58	138	802
	16	131	110	91	33	24	7	29	89	514
	14	84	68	52	15	14	2	13	50	298
	12	48	37	26	6	8	1	5	25	156
	10	24	18	12	2	5	0	2	12	75
	$\bar{t}_{o,m}$	12.2	12.5	13.8	16.8	20.8	20.3	17.1	13.9	19.1
Θεσσαλονίκη (1983-1992) Γ.Π. 40°37' Γ.Μ. 22°57' Υψόμ. 31 m	20	430	368	316	169	76	135	274	416	2184
	18	368	312	256	118	43	90	215	354	1756
	16	306	257	198	74	20	53	159	292	1359
	14	245	203	143	39	8	28	108	231	1005
	12	186	152	95	16	2	12	67	171	701
	10	130	106	57	5	0	4	37	117	456
	$\bar{t}_{o,m}$	6.1	6.9	9.8	14.6	19.0	16.2	10.9	6.6	15.6

Πίνακας 1 (συνέχεια): Βαθμοημέρες θέρμανσης 50 Ελληνικών πόλεων σε διάφορες θερμοκρασίες βάσης.
 Table 1 (continued): Heating degree-days in 50 Greek cities for various temperature bases

ΠΟΛΗ	t_{bal} (°C)	ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ								ΕΤΗΣΙΕΣ ΤΙΜΕΣ
		ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	
Θήρα (1960-1999) Γ.Π. 36°25' Γ.Μ. 25°26' Υψόμ. 208 m	20	275	245	235	145	57	55	137	223	1373
	18	215	191	177	95	28	26	88	166	986
	16	158	139	123	55	12	11	49	113	661
	14	107	93	77	27	5	4	24	69	406
	12	65	55	43	12	2	2	11	37	226
	10	35	29	21	5	1	1	4	18	114
	$\bar{t}_{o,m}$	11.2	11.3	12.5	15.4	19.2	19.3	15.7	12.9	17.8
Ιεράπετρα (1956-1997) Γ.Π. 35°00' Γ.Μ. 25°45' Υψόμ. 13 m	20	224	193	171	97	62	22	78	174	1021
	18	166	141	117	55	39	9	42	120	689
	16	113	94	72	27	24	3	19	74	426
	14	70	55	39	12	14	1	8	40	239
	12	38	29	19	5	8	0	3	20	122
	10	19	13	8	2	5	0	1	9	57
	$\bar{t}_{o,m}$	12.9	13.2	14.7	17.3	21.0	21.6	18.1	14.6	20.0
Ιωάννινα (1956-1997) Γ.Π. 39°40' Γ.Μ. 20°51' Υψόμ. 483 m	20	475	390	349	232	115	167	311	438	2477
	18	413	334	288	176	76	115	252	376	2030
	16	352	279	229	124	47	71	196	316	1614
	14	292	225	173	80	28	40	143	256	1237
	12	233	173	122	47	16	20	97	199	907
	10	178	125	79	25	8	9	60	146	630
	$\bar{t}_{o,m}$	4.7	6.1	8.8	12.4	17.4	14.9	9.7	5.9	14.3
Καβάλα (1960-1984) Γ.Π. 40°56' Γ.Μ. 24°24' Υψόμ. 62 m	20	493	390	352	209	80	159	302	450	2434
	18	432	334	291	154	45	108	244	389	1996
	16	371	279	232	105	22	66	188	328	1591
	14	310	225	176	65	10	36	136	268	1226
	12	251	174	125	36	4	18	91	211	909
	10	195	126	82	18	2	8	55	157	642
	$\bar{t}_{o,m}$	4.1	6.1	8.7	13.2	18.3	15.2	10.0	5.5	14.4
Καλαμάτα (1956-1997) Γ.Π. 37°04' Γ.Μ. 22°06' Υψόμ. 4.5 m	20	305	264	242	152	77	65	163	260	1528
	18	245	210	184	101	49	33	111	201	1134
	16	187	158	130	60	30	15	68	146	794
	14	134	110	83	31	18	6	36	97	515
	12	87	69	48	15	10	2	17	58	306
	10	51	38	25	6	6	1	8	31	166
	$\bar{t}_{o,m}$	10.2	10.6	12.3	15.2	19.7	18.9	14.8	11.7	17.8
Κέρκυρα (1931-1973) Γ.Π. 39°37' Γ.Μ. 19°55' Υψόμ. 2 m	20	309	270	248	149	77	69	160	281	1563
	18	248	216	189	99	49	36	109	222	1168
	16	190	163	135	58	30	17	66	165	824
	14	136	114	88	30	18	7	35	113	541
	12	90	73	51	14	10	3	17	71	329
	10	53	41	27	6	6	1	8	40	182
	$\bar{t}_{o,m}$	10.1	10.4	12.1	15.3	19.7	18.7	14.9	11.0	17.7

Πίνακας 1 (συνέχεια): Βαθμομέρες θέρμανσης 50 Ελληνικών πόλεων σε διάφορες θερμοκρασίες βάσης.
 Table 1 (continued): Heating degree-days in 50 Greek cities for various temperature bases.

ΠΟΛΗ	t_{bal} (°C)	ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ								ΕΤΗΣΙΕΣ ΤΙΜΕΣ
		ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	
Κοζάνη (1966-1998) Γ.Π. 40°18' Γ.Μ. 21°47' Υψόμ. 625 m	20	549	451	404	249	117	216	373	512	2872
	18	487	395	343	193	73	161	314	450	2416
	16	426	340	283	140	41	110	256	389	1985
	14	365	285	225	94	21	69	200	328	1587
	12	305	232	170	57	10	39	148	269	1230
	10	246	180	120	32	4	21	102	212	918
	$\bar{t}_{o,m}$	2.3	3.9	7.0	11.8	16.8	13.2	7.6	3.5	12.9
Κομοτηνή (1938-1973) Γ.Π. 41°07' Γ.Μ. 25°24' Υψόμ. 30 m	20	456	392	364	203	92	148	272	395	2322
	18	395	337	303	149	59	98	215	334	1890
	16	334	282	244	101	35	59	161	274	1490
	14	274	228	187	62	20	32	112	216	1131
	12	216	176	135	34	11	16	71	161	820
	10	162	128	90	17	6	7	41	112	563
	$\bar{t}_{o,m}$	5.3	6.0	8.3	13.4	18.6	15.6	11.0	7.3	15.1
Κόνιτσα (1932-1940, 1955-1975) Γ.Π. 40°30' Γ.Μ. 20°45' Υψόμ. 542 m	20	459	384	349	217	120	150	272	404	2355
	18	398	329	288	162	81	100	215	343	1916
	16	337	274	229	111	51	59	160	282	1503
	14	277	220	173	70	30	31	111	224	1136
	12	219	168	121	39	17	15	69	168	816
	10	164	120	79	20	9	7	39	118	556
	$\bar{t}_{o,m}$	5.2	6.3	8.8	12.9	17.2	15.5	11.0	7.0	14.6
Κόρινθος (1937-1940, 1947-1974) Γ.Π. 37°56' Γ.Μ. 22°57' Υψόμ. 14.5 m	20	312	262	248	136	64	60	158	260	1500
	18	252	208	190	88	40	30	107	201	1116
	16	194	156	136	51	24	14	65	146	786
	14	140	108	89	26	14	6	35	98	516
	12	93	68	52	12	8	2	17	59	311
	10	56	38	28	5	5	1	8	32	173
	$\bar{t}_{o,m}$	10.0	10.7	12.1	15.8	20.6	19.2	15.0	11.7	18.3
Κύθηρα (1955-1997) Γ.Π. 36°08' Γ.Μ. 23°00' Υψόμ. 166 m	20	284	256	254	168	92	60	135	230	1479
	18	224	202	195	115	60	29	86	172	1083
	16	167	150	140	71	38	13	48	119	746
	14	115	102	91	38	22	5	24	74	471
	12	72	62	53	18	13	2	11	41	272
	10	40	34	28	8	7	1	4	20	142
	$\bar{t}_{o,m}$	10.9	10.9	11.9	14.6	18.9	19.1	15.8	12.7	17.7
Κύμη (1960-1990) Γ.Π. 38°38' Γ.Μ. 24°06' Υψόμ. 221 m	20	376	325	312	188	76	119	217	312	1924
	18	315	270	251	134	40	73	161	251	1497
	16	255	216	193	87	19	39	110	193	1113
	14	197	164	139	50	8	19	68	139	784
	12	143	116	92	26	3	8	37	92	517
	10	96	74	55	12	1	4	18	55	316
	$\bar{t}_{o,m}$	7.9	8.4	10	13.9	18.4	16.6	12.9	10.0	15.9

Πίνακας 1 (συνέχεια): Βαθμοημέρες θέρμανσης 50 Ελληνικών πόλεων σε διάφορες θερμοκρασίες βάσης.
 Table 1 (continued): Heating degree-days in 50 Greek cities for various temperature bases.

ΠΟΛΗ	t_{bal} (°C)	ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ								ΕΤΗΣΙΕΣ ΤΙΜΕΣ
		ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	
Λαμία (1931-1940, 1956-1973) Γ.Π. 38°54' Γ.Μ. 22°24' Υψόμ. 143 m	20	385	315	276	137	62	87	194	333	1789
	18	324	260	217	89	38	49	141	273	1391
	16	265	206	161	52	23	25	93	214	1039
	14	207	155	111	27	13	11	56	159	739
	12	153	108	70	13	7	5	30	110	496
	10	105	69	40	6	4	2	15	70	311
	$\bar{t}_{o,m}$	7.6	8.8	11.2	15.8	20.6	18.0	13.7	9.3	17.4
Λάρισα (1955-1997) Γ.Π. 39°08' Γ.Μ. 22°25' Υψόμ. 73 m	20	459	370	330	192	72	132	279	429	2263
	18	398	315	270	139	45	86	221	367	1841
	16	337	260	212	93	26	50	167	307	1452
	14	277	207	158	56	15	26	117	248	1104
	12	220	157	109	30	8	13	75	192	804
	10	166	111	70	15	4	6	44	140	556
	$\bar{t}_{o,m}$	5.2	6.8	9.4	13.8	19.7	16.2	10.8	6.2	15.7
Λήμνος (1932-1972) Γ.Π. 39°53' Γ.Μ. 25°04' Υψόμ. 12 m	20	358	306	296	166	84	92	185	296	1783
	18	297	251	237	114	54	53	132	237	1375
	16	237	198	179	71	33	26	85	179	1008
	14	180	146	127	39	19	12	49	127	699
	12	128	100	82	19	11	5	25	82	452
	10	84	62	48	9	6	2	12	48	271
	$\bar{t}_{o,m}$	8.5	9.1	10.5	14.7	19.2	17.7	14.0	10.5	16.9
Μεθώνη (1955-1997) Γ.Π. 36°50' Γ.Μ. 21°43' Υψόμ. 33 m	20	272	239	223	145	90	46	129	223	1367
	18	212	186	166	95	59	21	81	166	986
	16	155	134	113	55	37	9	44	113	660
	14	105	88	69	27	22	3	21	69	404
	12	63	51	37	12	13	1	9	37	223
	10	34	26	18	5	7	0	4	18	112
	$\bar{t}_{o,m}$	11.3	11.5	12.9	15.4	19.0	19.8	16.0	12.9	18.0
Μήλος (1955-1997) Γ.Π. 36°45' Γ.Μ. 24°27' Υψόμ. 182 m	20	290	259	254	157	82	66	148	238	1494
	18	230	204	195	105	53	33	98	180	1098
	16	173	152	139	63	32	15	57	126	757
	14	120	104	91	33	19	6	29	80	482
	12	75	64	53	15	11	2	13	45	278
	10	43	35	28	7	6	1	6	23	149
	$\bar{t}_{o,m}$	10.7	10.8	11.9	15.0	19.4	18.8	15.3	12.4	17.5
Μυτιλήνη (1955-1996) Γ.Π. 39°06' Γ.Μ. 24°03' Υψόμ. 3 m	20	325	311	286	148	86	89	187	278	1710
	18	265	256	226	98	55	50	133	219	1302
	16	206	202	169	57	34	24	86	162	940
	14	151	151	117	30	20	11	49	111	640
	12	102	104	74	14	11	5	25	69	404
	10	62	65	42	6	6	2	12	39	234
	$\bar{t}_{o,m}$	9.6	8.9	10.9	15.4	19.1	17.8	13.9	11.1	17.0

Πίνακας 1 (συνέχεια): Βαθμομέρες θέρμανσης 50 Ελληνικών πόλεων σε διάφορες θερμοκρασίες βάσης.
 Table 1 (continued): Heating degree-days in 50 Greek cities for various temperature bases.

ΠΟΛΗ	t _{bal} (°C)	ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ								ΕΤΗΣΙΕΣ ΤΙΜΕΣ
		ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	
Νάξος (1955-1997) Γ.Π. 37°06' Γ.Μ. 25°23' Υψόμ. 9 m	20	247	220	211	129	82	50	121	199	1259
	18	188	167	154	80	53	23	74	143	882
	16	133	116	102	43	33	9	39	92	567
	14	85	73	60	20	19	4	18	53	332
	12	48	40	31	9	11	1	7	27	174
	10	24	19	15	3	6	0	3	12	82
	t̄ _{o,m}	12.1	12.2	13.3	16.0	19.5	19.5	16.3	13.7	18.2
Ορεστιάδα (1960-1981) Γ.Π. 41°30' Γ.Μ. 26°31' Υψόμ. 43 m	20	540	412	358	192	67	159	293	456	2478
	18	478	356	297	139	36	109	235	395	2047
	16	417	301	238	93	17	67	180	334	1648
	14	356	247	182	56	8	37	129	275	1290
	12	296	195	131	30	3	19	85	217	977
	10	238	145	87	15	1	9	52	163	711
	t̄ _{o,m}	2.6	5.3	8.5	13.8	19.0	15.2	10.3	5.3	17.8
Πάρος (1955-1997) Γ.Π. 37°05' Γ.Μ. 25°09' Υψόμ. 1 m	20	271	221	223	128	86	60	116	211	1316
	18	211	167	165	80	56	29	70	153	931
	16	155	117	112	43	35	12	36	102	612
	14	103	73	68	20	21	5	16	60	366
	12	62	40	36	8	12	2	7	31	198
	10	33	19	17	3	7	1	3	14	97
	t̄ _{o,m}	11.3	12.2	12.9	16.0	19.2	19.0	16.5	13.3	17.8
Πάτρα (1955-1997) Γ.Π. 38°15' Γ.Μ. 21°44' Υψόμ. 1 m	20	312	265	236	141	71	63	171	269	1528
	18	251	210	178	92	45	32	119	210	1137
	16	193	158	125	53	27	14	74	154	798
	14	139	110	79	27	16	6	41	104	522
	12	92	69	45	12	9	2	20	63	312
	10	55	39	23	5	5	1	9	35	172
	t̄ _{o,m}	10.0	10.6	12.5	15.6	20.1	19.0	14.5	11.4	17.9
Πόργος (1932-1941, 1943-1975) Γ.Π. 37°67' Γ.Μ. 22°43' Υψόμ. 132 m	20	296	253	233	136	75	51	146	254	1444
	18	236	199	175	87	48	25	97	195	1062
	16	179	148	122	50	29	11	57	140	736
	14	126	101	77	25	17	4	29	92	471
	12	81	62	43	11	10	2	14	54	277
	10	47	34	22	5	6	1	6	29	150
	t̄ _{o,m}	10.5	11.0	12.6	15.8	19.9	19.6	15.4	11.9	18.2
Ρέθυμνο (1957-1975) Γ.Π. 35°21' Γ.Μ. 24°31' Υψόμ. 16 m	20	223	196	179	103	65	29	82	165	1042
	18	166	143	124	60	42	12	44	111	702
	16	113	96	77	30	26	5	20	67	434
	14	69	56	42	13	15	2	8	35	240
	12	37	29	20	5	9	1	3	16	120
	10	18	13	9	2	5	0	1	7	55
	t̄ _{o,m}	12.9	13.1	14.4	17.0	20.7	20.9	17.9	14.9	19.6

Πίνακας 1 (συνέχεια): Βαθμοημέρες θέρμανσης 50 Ελληνικών πόλεων σε διάφορες θερμοκρασίες βάσης.
 Table 1 (continued): Heating degree-days in 50 Greek cities for various temperature bases.

ΠΟΛΗ	t_{bal} (°C)	ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ								ΕΤΗΣΙΕΣ ΤΙΜΕΣ
		ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	
Ρόδος (1955-1997) Γ.Π. 36°23' Γ.Μ. 28°07' Υψόμ. 35 m	20	254	223	203	114	67	32	117	209	1219
	18	195	170	147	69	43	14	71	152	861
	16	140	120	97	36	26	5	38	101	563
	14	91	76	57	17	15	2	18	60	336
	12	53	43	30	7	9	1	8	32	183
	10	28	21	14	3	5	0	3	15	89
	$\bar{t}_{o,m}$	11.9	12.1	13.6	16.6	20.5	20.8	16.5	13.4	19.1
Σάμος (1978-1997) Γ.Π. 37°42' Γ.Μ. 26°55' Υψόμ. 48.5 m	20	303	281	248	134	64	57	172	254	1513
	18	243	227	190	86	40	28	120	196	1130
	16	185	174	136	49	24	13	75	141	797
	14	132	125	89	25	14	5	42	93	525
	12	87	82	53	12	8	2	21	56	321
	10	51	48	28	5	5	1	10	30	178
	$\bar{t}_{o,m}$	10.3	10.0	12.1	15.9	20.6	19.4	14.5	11.9	18.4
Σέρρες (1971-1997) Γ.Π. 41°04' Γ.Μ. 23°34' Υψόμ. 32 m	20	500	387	324	181	73	151	326	466	2408
	18	438	332	265	129	45	102	267	404	1982
	16	377	277	207	84	26	62	211	343	1587
	14	316	223	153	49	14	34	157	284	1230
	12	258	172	105	26	8	17	110	226	922
	10	201	124	66	13	4	8	70	171	657
	$\bar{t}_{o,m}$	3.9	6.2	9.6	14.2	19.6	15.5	9.2	5.0	15.1
Σητεία (1935-1943, 1946-1975) Γ.Π. 35°12' Γ.Μ. 26°06' Υψόμ. 25 m	20	226	198	188	101	62	29	84	176	1064
	18	168	146	132	58	39	12	45	122	722
	16	115	98	84	29	24	5	21	75	451
	14	71	58	47	13	14	2	9	41	255
	12	38	30	23	5	8	1	3	20	128
	10	19	14	10	2	5	0	1	9	60
	$\bar{t}_{o,m}$	12.8	13.0	14.1	17.1	20.9	20.9	17.8	14.5	19.4
Σκύρος (1932-1971) Γ.Π. 38°54' Γ.Μ. 24°33' Υψόμ. 4 m	20	315	273	269	157	81	73	157	263	1588
	18	254	218	210	106	52	38	106	204	1188
	16	196	165	153	63	32	17	63	148	837
	14	141	116	103	33	19	7	33	98	550
	12	93	74	62	16	11	3	16	59	334
	10	56	42	34	7	6	1	7	32	185
	$\bar{t}_{o,m}$	9.9	10.3	11.4	15.0	19.4	18.5	15.0	11.6	17.3
Σούδα (1959-1975) Γ.Π. 35°50' Γ.Μ. 24°10' Υψόμ. 151 m	20	287	251	230	138	71	62	132	227	1398
	18	227	196	172	89	45	31	84	169	1013
	16	170	145	119	50	28	14	47	116	689
	14	118	98	74	25	16	6	23	72	432
	12	74	59	41	11	9	2	10	40	246
	10	42	32	20	5	5	1	4	20	129
	$\bar{t}_{o,m}$	10.8	11.1	12.7	15.7	20.1	19.0	15.9	12.8	18.1

Πίνακας 1 (συνέχεια): Βαθμοημέρες θέρμανσης 50 Ελληνικών πόλεων σε διάφορες θερμοκρασίες βάσης.
 Table 1 (continued): Heating degree-days in 50 Greek cities for various temperature bases.

ΠΟΛΗ	t_{bal} (°C)	ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ								ΕΤΗΣΙΕΣ ΤΙΜΕΣ
		ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	
Σουφλί (1989-1999) Γ.Π. 41°12' Γ.Μ. 26°18' Υψόμ. 15 m	20	496	409	370	201	71	151	329	450	2478
	18	435	354	310	147	39	102	270	389	2045
	16	374	299	250	99	19	62	213	328	1645
	14	313	244	193	61	9	34	160	269	1283
	12	255	192	141	34	4	17	112	211	965
	10	198	143	95	17	2	8	72	158	693
	$\bar{t}_{o,m}$	4.0	5.4	8.1	13.5	18.8	15.5	9.1	5.5	14.6
Σύρος (1931-1944, 1963-1971) Γ.Π. 37°27' Γ.Μ. 24°57' Υψόμ. 25 m	20	266	229	227	130	81	43	119	215	1310
	18	206	175	169	82	52	20	73	158	935
	16	150	125	116	45	32	8	39	106	621
	14	100	80	72	22	19	3	18	64	378
	12	60	46	39	10	11	1	8	34	209
	10	32	23	19	4	6	0	3	16	103
	$\bar{t}_{o,m}$	11.5	11.9	12.8	16.0	19.6	20.0	16.4	13.2	18.5
Τρίκαλα (1976-1999) Γ.Π. 39°33' Γ.Μ. 21°46' Υψόμ. 116 m	20	447	362	300	154	41	125	296	419	2144
	18	386	307	241	105	20	79	238	358	1733
	16	325	252	184	64	9	45	183	298	1360
	14	266	199	132	35	4	23	132	239	1030
	12	208	149	87	18	2	11	88	183	746
	10	155	104	53	8	1	5	53	132	512
	$\bar{t}_{o,m}$	5.6	7.1	10.4	15.2	20.5	16.5	10.2	6.5	16.1
Τρίπολη (1960-1999) Γ.Π. 37°31' Γ.Μ. 22°22' Υψόμ. 661 m	20	459	390	376	246	108	181	311	419	2490
	18	398	334	315	189	65	127	252	358	2039
	16	337	279	256	137	35	81	196	297	1618
	14	277	225	198	90	17	47	143	238	1235
	12	219	173	144	54	8	24	96	182	901
	10	164	125	98	29	3	12	59	131	621
	$\bar{t}_{o,m}$	5.2	6.1	7.9	11.9	17.1	14.4	9.7	6.5	14.1
Τυμπάκι (1961-1979) Γ.Π. 35°00' Γ.Μ. 24°45' Υψόμ. 7 m	20	257	220	200	114	64	42	117	209	1223
	18	198	167	144	69	41	19	71	152	861
	16	143	118	94	37	25	8	38	101	564
	14	94	74	55	17	15	3	18	60	336
	12	55	42	29	7	8	1	8	32	182
	10	29	21	14	3	5	0	3	15	90
	$\bar{t}_{o,m}$	11.8	12.2	13.7	16.6	20.7	20.1	16.5	13.4	19.1
Φλώρινα (1960-1999) Γ.Π. 40°47' Γ.Μ. 21°24' Υψόμ. 661 m	20	611	482	407	252	117	231	391	549	3041
	18	549	426	346	196	73	175	332	487	2584
	16	487	371	286	143	41	123	274	426	2151
	14	426	315	228	97	21	79	217	365	1748
	12	365	261	173	60	10	47	164	305	1384
	10	306	209	123	33	5	25	116	247	1062
	$\bar{t}_{o,m}$	0.3	2.8	6.9	11.7	16.8	12.7	7.0	2.3	12.1

Πίνακας 1 (συνέχεια): Βαθμοημέρες θέρμανσης 50 Ελληνικών πόλεων σε διάφορες θερμοκρασίες βάσης.
 Table 1 (continued): Heating degree-days in 50 Greek cities for various temperature bases.

ΠΟΛΗ	t_{bal} (°C)	ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ								ΕΤΗΣΙΕΣ ΤΙΜΕΣ
		ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΙΑ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	
Χαλκίδα (1960-1975, 1980-1994) Γ.Π. 38°28' Γ.Μ. 23°36' Υψόμ. 4 m	20	342	295	257	129	33	57	169	281	1564
	18	282	240	199	82	15	29	117	222	1186
	16	223	187	144	46	6	13	73	166	859
	14	167	137	96	23	2	6	41	115	587
	12	117	92	58	11	1	2	21	73	374
	10	75	56	32	5	0	1	10	42	220
	$\bar{t}_{o,m}$	9.0	9.5	11.8	16.1	20.9	19.4	14.6	11.0	18.1
Χανιά (1961-1994) Γ.Π. 35°30' Γ.Μ. 24°02' Υψόμ. 62 m	20	263	231	215	122	72	54	127	218	1302
	18	203	178	157	75	46	26	79	160	924
	16	148	127	106	40	28	11	43	108	611
	14	98	82	64	19	17	4	21	66	371
	12	58	47	34	8	10	2	9	35	203
	10	31	24	16	3	5	1	4	17	101
	$\bar{t}_{o,m}$	11.6	11.8	13.2	16.3	20.1	19.4	16.1	13.1	18.5
Χίος (1955-1997) Γ.Π. 38°20' Γ.Μ. 26°08' Υψόμ. 60 m	20	324	289	263	155	78	83	197	278	1667
	18	263	235	204	104	50	45	142	219	1262
	16	205	181	149	62	30	22	94	162	905
	14	150	131	99	33	18	10	55	111	607
	12	101	87	60	16	10	4	29	69	376
	10	62	52	33	7	6	2	14	39	215
	$\bar{t}_{o,m}$	9.6	9.7	11.6	15.1	19.6	18.1	13.6	11.1	17.3

Κωνσταντίνος Παπακόστας

Λέκτορας Α.Π.Θ., Εργαστήριο Κατασκευής Συσκευών Διεργασιών, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Α.Π.Θ., ΤΘ 487, 541 24 Θεσσαλονίκη, diprap@eng.auth.gr.

Γεώργιος Τσιλιγκιρίδης

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

Νικόλαος Κυριάκης

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

Extended summary

Heating 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 was to determine and present heating degree-day data, for various base temperatures and for 50 Greek cities. The degree-day data for Athens and Thessaloniki were calculated based on hourly dry bulb temperature records from the meteorological stations of the National Observatory of Athens and the Aristotle University of Thessaloniki. Since hourly or daily temperature data were lacking for the other 48 cities, a reliable model was adopted for the estimation of their heating degree-days. The degree-day data were calculated for every month of the heating period and for base temperatures from 10°C to 20°C in 2°C steps. The results are presented in tabular form and can be used for the estimation of the required heating 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 able 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 for quickly studying the optimal design of a building and comparing energy requirements from one location to another. Specialized and expensive computer programs can be used for the same purpose, but require significantly more detailed data that are 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 energy requirements so calculated were overestimated. This is due to the fact that the increased use of thermal insulation, the installation of

well fitted windows and doors, the substantial increase in the use of electric appliances and lighting and the lower set-point of room temperature controllers decrease the ambient temperature below which a building needs heating.

The variable base degree-base method results in more accurate estimates of the heating 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 heating 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. Below this temperature the energy consumption for heating is proportional to the heating degree-days with a base equal to the balance-point temperature.

3. AVAILABILITY OF DEGREE-DAY DATA IN GREECE

Heating degree-days for various base temperatures have been published for 30 Greek cities. They have been calculated for four base temperatures of 10°C, 15°C, 18°C and 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 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) the base temperature step is rather large.

The aim of this paper is to provide degree-day data for 50 cities instead of 30, based on recent temperature measurements 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 heating 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 heating degree-days.

The degree-day data for Athens and Thessaloniki were calculated based on 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 high quality.

5. RESULTS

Variable-base heating 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 10°C to 20°C, using a temperature step of 2°C. The results are presented in tabular form and serve for the estimation of the required heating 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 heating energy calculations for buildings in Greece. The wide range of cities covered in this analysis will also help in conducting energy analysis and evaluating different design alternatives for the respective locations.

Konstantinos Papakostas

Lecturer AUT, 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