



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΠΕΝΤΣΙΟΥ Ι. ΒΑΣΙΛΕΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΖΩΝΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΒΑΘΜΟΗΜΕΡΩΝ
ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ-ΨΥΞΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ
ΚΤΙΡΙΩΝ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ: ΠΑΡΟΝ ΚΛΙΜΑ,
ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΒΟΛΕΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2023





ΠΕΝΤΣΙΟΥ Ι. ΒΑΣΙΛΕΙΑ

Μεταπτυχιακή Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας

ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΖΩΝΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΒΑΘΜΟΗΜΕΡΩΝ
ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ-ΨΥΞΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ
ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ: ΠΑΡΟΝ ΚΛΙΜΑ, ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΒΟΛΕΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας,
Εργαστήριο Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας

Επιβλέπουσα

Αναπληρώτρια καθηγήτρια: Τολίκα Κωνσταντία





© Πέντσιου Ι. Βασιλεία, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας, 2023

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

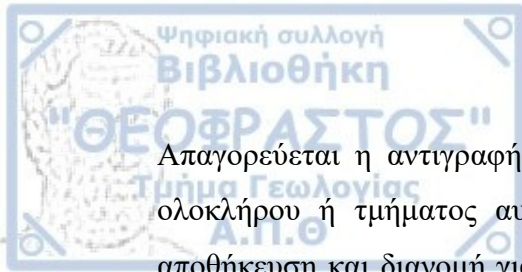
ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΖΩΝΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΒΑΘΜΟΗΜΕΡΩΝ
ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ-ΨΥΞΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ
ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ: ΠΑΡΟΝ ΚΛΙΜΑ, ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΒΟΛΕΣ –
Διπλωματική Εργασία

© Vasileia I. Pentsiou, School of Geology, Dept. of Meteorology and Climatology,
2023

All rights reserved.

ANALYSIS OF THE CLIMATE ZONES AND HEATING-COOLING DEGREE
DAYS FOR THE ENERGY PERFORMANCE OF BUILDINGS IN GREECE:
PRESENT CLIMATE, FUTURE PROJECTIONS– *Master Thesis*





Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.



Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όσους βοήθησαν και συνέβαλαν με τον τρόπο τους στην ολοκλήρωσή της.

Πρώτη απ' όλους ευχαριστώ θερμά την καθηγήτριά μου, κυρία Κωνσταντία Τολίκα, για την εμπιστοσύνη, την καθοδήγηση και την πολύτιμη βοήθειά της κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Ιδιαίτερα, θέλω να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην κυρία Χριστίνα Αναγνωστοπούλου και σε όλους τους καθηγητές του τομέα Μετεωρολογίας – Κλιματολογίας για τη συνεργασία και τη συνεχή ενθάρρυνση κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Ακόμη, ευχαριστώ την κυρία Κατερίνα Τσικαλουδάκη, για τις σημαντικές υποδείξεις και συμβουλές της που με κατεύθυναν σ' ένα σωστό - επιστημονικό τρόπο σκέψης.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένειά μου και τους φίλους μου, για τη διαρκή στήριξη και την κατανόησή τους, σε όλη τη διάρκεια της φοιτητικής ζωής μου.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας ειδίκευσης αποτελεί αρχικά ο έλεγχος και η επικαιροποίηση των κλιματικών ζωνών στην ελληνική περιοχή βάσει της τελευταίας αναθεώρησης των Τεχνικών Οδηγιών του Κ.Εν.Α.Κ. 2014. Οι κλιματικές ζώνες που θα προκύψουν θα βοηθήσουν ώστε να οριστούν οι κατάλληλες συνθήκες για τη βέλτιστη δυνατή ενεργειακή απόδοση κτιρίων στην περιοχή ενδιαφέροντος. Στη συνέχεια, θα γίνει προσπάθεια εκτίμησης των δυνητικών αλλαγών που θα προκύψουν στις υπάρχουσες κλιματικές ζώνες κάτω από συνθήκες κλιματικής αλλαγής λόγω αύξησης των θερμοκηπικών αερίων στην ατμόσφαιρα, ως το τέλος του 21^{ου} αιώνα.

Η προσέγγιση που θα ακολουθηθεί για την επίτευξη των παραπάνω στόχων είναι, με τη χρήση σημείων πλέγματος του κλιματικού μοντέλου RegCM4 που καλύπτουν ολόκληρο τον ελληνικό χώρο, και με τη βοήθεια κατάλληλων μαθηματικών μοντέλων, να υπολογιστούν οι βασικές παράμετροι που οδηγούν στην εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου: Βαθμοημέρες Θέρμανσης και Ψύξης. Μέσω της προτεινόμενης ημερήσιας υπολογιστικής προσέγγισης, δίνεται η δυνατότητα εκτίμησης των βαθμοημερών θέρμανσης και ψύξης κτιρίων με διαφορετικά χαρακτηριστικά, με θεωρητική εικοσιτετράωρη λειτουργία. Οι βαθμοημέρες θέρμανσης και ψύξης θα υπολογιστούν για δύο διαφορετικά κατώφλια θερμοκρασιών βάσης. Οι ενεργειακές ανάγκες των κτιρίων θα συγκριθούν ανάλογα με την κλιματική ζώνη στην οποία ανήκει η εκάστοτε περιοχή. Για την εκτίμηση των αλλαγών στην ενεργειακή απόδοση των κτιρίων στο μέλλον, θα χρησιμοποιηθούν κατ' αντιστοιχία, δεδομένα από ένα σύγχρονο περιοχικό κλιματικό μοντέλο τόσο για το παρόν κλίμα όσο και με τη χρήση των μελλοντικών προβολών του.

Η εξέλιξη των δύο δεικτών έχει αναλυθεί με βάση το περιοχικό μοντέλο RegCM4 υπό το σενάριο RCP4.5. Και οι δύο δείκτες HDD και CDD έχουν επικυρωθεί κατά την περίοδο 1980–2000 χρησιμοποιώντας ένα σύνολο δεδομένων που περιέχει 267 δεδομένα σημείων πλέγματος. Αναλύονται οι τάσεις του HDD και του CDD για τις τρεις περιόδους σε συνδυασμό με τις τάσεις των μέσων και μέγιστων θερμοκρασιών. Οι προσομοιώσεις προβλέπουν σημαντική μείωση για τον HDD, ειδικά στη Β. Ελλάδα και αύξηση του CDD, κυρίως στο νότιο μέρος της χώρας και στα νησιά.

Λέξεις-κλειδιά: Βαθμοημέρες θέρμανσης, βαθμοημέρες ψύξης, ενεργειακή απόδοση κτιρίων, κλιματικές ζώνες, κλιματική αλλαγή, μελλοντικές προβολές.



Abstract

The aim of this dissertation is to assess and update the classification of the climate zones in the Greek region based on the latest revision of the Technical Instructions of K.EN.AK. 2014. The resulting climate zones will help to define the appropriate conditions for the best possible energy performance of buildings in the area of interest. Then, an attempt will be made to estimate the potential changes that will occur in the existing climate zones under climate change conditions due to an increase in greenhouse gases in the atmosphere, until the end of the 21st century.

The approach that will be followed to achieve the above objectives is, with the use of grid points of the RegCM4 climate model covering the entire Greek area, and with the help of appropriate mathematical models, to calculate the basic parameters that lead to the estimation of the energy efficiency of a building: Heating and Cooling-degree days. Through the proposed daily calculation approach, it is possible to estimate the heating and cooling degree days of buildings with different characteristics, with a theoretical twenty-four-hour operation.

The heating and cooling degree days will be calculated for two different thresholds of base temperature. The energy needs of the buildings will be compared according to the climate zone to which each area belongs. Data from a modern regional climate model will be used, both for the current climate and using its future projections, so as to estimate changes in the energy performance of buildings in the future.

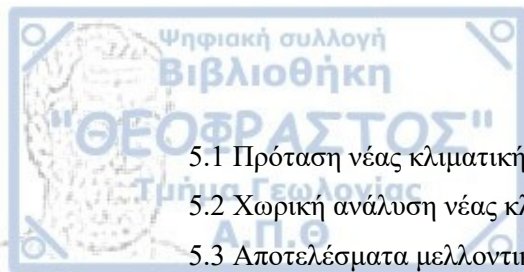
The evolution of both indicators has been analyzed based on the RegCM4 regional model under the RCP4.5 scenario. Both HDD and CDD have been validated over the period 1980-2000 using a dataset containing 267 grid point data. Trends in HDD and CDD for the three periods are analyzed together with trends in mean and maximum temperatures. The simulations predict a significant decrease for HDD, especially in northern Greece, and an increase in CDD, mainly in the southern part of the country and the islands.

Key words: Heating-degree days (HDD), Cooling-degree days (CDD), energy performance of buildings, climate zones, climate change, future projections.



Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	7
Περίληψη.....	8
Abstract	9
Εισαγωγή.....	12
1. Κλιματική αλλαγή και κτιριακός τομέας.....	13
1.1 Κλιματική αλλαγή και κτίρια	13
1.2 Κλιματικά σενάρια	14
1.3 Συνοπτική ανασκόπηση θεσμικού πλαισίου	15
1.4 Κατηγορίες κτιρίων σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ.	17
1.5 Παράγοντες που επηρεάζουν την ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων.....	19
1.6 Η έννοια του παθητικού κτιρίου.....	20
1.7 Κλιματική κατάταξη και κλιματικές ζώνες στην Ελλάδα	22
2. Μέθοδος βαθμομερών.....	24
2.1 Ορισμός βαθμομερών.....	26
2.2 Ορισμός της θερμοκρασίας βάσης	27
2.3 Εφαρμογή των βαθμομερών στις κτιριακές εγκαταστάσεις.....	28
2.4 Μέθοδοι υπολογισμού βαθμομερών θέρμανσης και ψύξης.....	30
2.4.1 Μέθοδος μέσων βαθμοωρών.....	31
2.4.2 Μέθοδος της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας, από την American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)	32
2.4.3 Μέθοδος της μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας, από τη Μετεωρολογική Υπηρεσία του Ηνωμένου Βασιλείου (UKMO)	33
2.4.4 Μοντέλο Erbs	35
2.4.5 Εξισώσεις Hitchin.....	35
2.4.6 Η μέθοδος της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας κατά Schoenau και Kehrigh (S-K) ..	36
3. Δεδομένα και Μεθοδολογία	37
3.1 Επιλογή θερμοκρασίας βάσης	39
3.2 Επιλογή της μεθόδου υπολογισμού βαθμομερών θέρμανσης και ψύξης.....	41
3.3 Μεθοδολογία Καθορισμού Κλιματικών Ζωνών	42
4. Αποτελέσματα μεθόδου Κ.Εν.Α.Κ.....	43
4.1 Ανάλυση των κλιματικών ζωνών βάσει της Τεχνικής Οδηγίας του Κ.Εν.Α.Κ.....	44
4.2 Χωρική σύγκριση HDD και CDD: Περίοδος αναφοράς – Μελλοντικές περίοδοι	49
4.3 Διαφορές των δεικτών HDD και CDD μεταξύ των περιόδων	53
4.4 Διερευνητική ανάλυση δεδομένων [exploratory data analysis (EDA)]	56
4.5 Ανάλυση τάσεων των HDD, CDD, T_{mean} , T_{max} από το 1980 έως το 2099.....	59
5. Αποτελέσματα νέας κλιματικής κατάταξης	67



5.1 Πρόταση νέας κλιματικής κατάταξης σύμφωνα με τους Tsikaloudaki et al [41].	68
5.2 Χωρική ανάλυση νέας κλιματικής κατάταξης.....	75
5.3 Αποτελέσματα μελλοντικών περιόδων νέας κλιματικής κατάταξης.....	77
6. Σύνοψη και συμπεράσματα	79
6.1 Κύρια ευρήματα μελλοντικών περιόδων (2040-2060 και 2080-2099)	81
6.2 Συμπεράσματα τάσεων.....	82
6.3 Συμπεράσματα νέας κλιματικής κατάταξης	83
6.4 Τελικά συμπεράσματα.....	84
Βιβλιογραφία.....	86

Εισαγωγή

Στις τελευταίες δεκαετίες του 20^{ου} και στις αρχές του 21^{ου} αιώνα έχει εντοπιστεί παγκόσμια αύξηση των θερμοκρασιών και των συχνотήτων εμφάνισης ακραίων κλιματικών φαινομένων [19]. Η θέρμανση αυτή είναι εμφανής και στην Ευρώπη, προκαλώντας αρκετές επιπτώσεις σε διάφορους τομείς. Η εκτιμώμενη θέρμανση του πλανήτη αναμένεται να συνεχιστεί μέχρι το τέλος αυτού του αιώνα. Επομένως, αποτελεί σημαντικό στοιχείο για τη διαχείριση μελλοντικών κλιματικών κινδύνων να προσδιοριστεί το ποιες επιπτώσεις που σχετίζονται με το κλίμα είναι πιθανό να αυξηθούν και κατά πόσο [36].

Η πιθανή κλιματική αλλαγή θα μεταβάλει διάφορες κλιματικές παραμέτρους, όπως η υγρασία και η θερμοκρασία με αποτέλεσμα τη μεταβολή του ανθρώπινου ισοζυγίου θερμότητας και την αλλαγή των συνθηκών θερμικής άνεσης του ανθρώπου. Το ενδεχόμενο αλλαγών στη συχνότητα, την ένταση και τη διάρκεια της θερμικής δυσφορίας θα οδηγήσει επομένως στην εύρεση μεθόδων εξασφάλισης της υγείας και άνεσης των ανθρώπων. Είναι λογικό ότι οι ψυχρότερες περιοχές θα εξοικονομήσουν ενέργεια σε κλιματισμό καθώς αναμένεται μείωση του ψυχρού στρες, λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου, ενώ οι πιο θερμές περιοχές θα χρειαστούν αύξηση του κλιματισμού. Σαφώς υπάρχουν και ενδιάμεσες καταστάσεις όπου πιθανώς να εξοικονομηθεί ενέργεια κατά την ψυχρή περίοδο, ωστόσο να απαιτηθεί ενέργεια κατά τη θερμή περίοδο [44].

Η κατανάλωση ενέργειας αυξάνεται συνεχώς με επιπτώσεις στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος, στην εξάντληση των φυσικών πόρων και κατά συνέπεια στην ποιότητα ζωής. Για την αντιμετώπιση αυτών των επιπτώσεων, η εκτίμηση του μελλοντικού κλίματος είναι υψίστης σημασίας. Η αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης αποτελεί σημαντικό βήμα στη διαδικασία σχεδιασμού νέων κτιρίων, όχι μόνο για να διασφαλιστεί η συμμόρφωση με τους κανονισμούς και τα πρότυπα, αλλά και για την προσέγγιση ενός βέλτιστου σχεδιασμού όσον αφορά τον κύκλο ζωής των κτιρίων [41].

Η εκτιμώμενη αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας συνδέεται με αύξηση των ενεργειακών απαιτήσεων για την ψύξη των κτιρίων κατά τη θερινή περίοδο και με μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων για τη θέρμανση των κτιρίων κατά τη χειμερινή περίοδο. Για την εκτίμηση των επιπτώσεων που σχετίζονται με τις καιρικές συνθήκες στην ενεργειακή ζήτηση των κτιρίων, χρησιμοποιούνται συνήθως δύο δείκτες: οι βαθμοημέρες θέρμανσης (HDD) [38, 32] και οι βαθμοημέρες ψύξης (CDD) [37, 12].

Στην παρούσα εργασία ερευνάται εάν η ζήτηση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη κτιρίων στην Ελλάδα αναμένεται να αυξηθεί ή να μειωθεί υπό συνθήκες κλιματικής αλλαγής.

1. Κλιματική αλλαγή και κτιριακός τομέας

1.1 Κλιματική αλλαγή και κτίρια

Η αλλαγή του κλίματος έχει σημαντικές συνέπειες στην κατανάλωση ενέργειας των κτιρίων. Συγκεκριμένα, στην Ευρώπη και ιδιαίτερα στις νότιες χώρες όπου ανήκει και η Ελλάδα, παρατηρείται αύξηση της μέσης θερμοκρασίας, τόσο κατά τους χειμερινούς όσο και κατά τους θερινούς μήνες έχοντας ως αποτέλεσμα τη μείωση των αναγκών για θέρμανση και την αύξηση των αναγκών για ψύξη.

Η κλιματική αλλαγή έχει επιπτώσεις και στις επιδόσεις των κτιρίων, καθώς τα κτίρια ευθύνονται για σημαντικό μέρος των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Ο σχεδιασμός, η κατασκευή και η λειτουργία των κτιρίων μπορούν να συμβάλουν στην κλιματική αλλαγή, αλλά μπορούν επίσης να αποτελέσουν μέρος της λύσης. Τα κτίρια καταναλώνουν το 20-40% της παγκόσμιας καταναλισκόμενης ενέργειας και το 41% της συνολικής ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση [25]. Συνεπώς επιβάλλεται η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση, ψύξη, κλιματισμό (ΘΨΚ), παραγωγή ζεστού νερού, φωτισμό και ταυτόχρονα η διασφάλιση συνθηκών θερμικής άνεσης στον εσωτερικό χώρο των κτιρίων. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει ως στόχο τη διασφάλιση της υψηλής ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, η οποία θα οδηγήσει στη μείωση των θερμοκηπικών αερίων σε ποσοστό 80%- 95% έως το 2050 έχοντας ως μέτρο σύγκρισης τις τιμές του έτους 1990 [23].

Καθώς το κλίμα αλλάζει, τα κτίρια θα υπόκεινται σε πιο ακραίες καιρικές συνθήκες, γεγονός που θα επηρεάσει την ενεργειακή τους απόδοση και τη συνολική ανθεκτικότητά τους. Για παράδειγμα, οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες θα αυξήσουν τη ζήτηση για κλιματισμό, ενώ οι συχνότερες και εντονότερες καταιγίδες μπορεί να προκαλέσουν ζημιές στο κέλυφος και τα μηχανολογικά συστήματα των κτιρίων.

Για το μετριασμό του αντίκτυπου των κτιρίων στην κλιματική αλλαγή, είναι απαραίτητες οι πρακτικές ενεργειακά αποδοτικού σχεδιασμού και κατασκευής. Αυτό περιλαμβάνει τη χρήση οικοδομικών υλικών και μόνωσης υψηλής απόδοσης, το σχεδιασμό για παθητικό ηλιακό κέρδος και φυσικό αερισμό και τη χρήση ενεργειακά αποδοτικού φωτισμού και συσκευών. Επιπλέον, η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως τα φωτοβολταϊκά, οι ανεμογεννήτριες και τα γεωθερμικά συστήματα στα κτίρια, μπορεί να μειώσει την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα [46].

1.2 Κλιματικά σενάρια

Τα σενάρια κλιματικής αλλαγής είναι υποθετικές αναπαραστάσεις των μελλοντικών συνθηκών στο κλιματικό σύστημα της Γης. Χρησιμοποιούνται για τη διερεύνηση των πιθανών επιπτώσεων των αλλαγών που προκαλούνται από τον άνθρωπο στο κλίμα, όπως οι αυξημένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

Με βάση τις εκτιμήσεις της Έκτης Έκθεσης Αξιολόγησης (Sixth Assessment Report- AR6) του IPCC, έχουν προταθεί τέσσερα κλιματικά σενάρια εκπομπών αερίων (Representative Concentration Pathways - RCPs) [20], τα οποία συνδέονται με χρονοσειρές συγκεντρώσεων εκλυόμενων αερίων του θερμοκηπίου, αιωρούμενων σωματιδίων και χημικά ενεργών αερίων στην ατμόσφαιρα, καθώς και με αλλαγές χρήσεων γης. Τα αποτελέσματα αυτών των σεναρίων χρησιμοποιούνται για την ενημέρωση των πολιτικών αποφάσεων, την αξιολόγηση των κινδύνων και των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και για να βοηθήσουν τις κοινότητες και τις επιχειρήσεις να προετοιμαστούν και να προσαρμοστούν στις συνέπειες ενός μεταβαλλόμενου κλίματος.

Οι βασικές παράμετροι που καθορίζουν τα τέσσερα αυτά σενάρια είναι οι πηγές ενέργειας, ο ρυθμός αύξησης του πληθυσμού, οι οικονομικές δραστηριότητες, ο τρόπος ζωής, η τεχνολογική ανάπτυξη, οι μελλοντικές χρήσεις γης και η γενικότερη πολιτική απέναντι στις κλιματικές αλλαγές. Στα σενάρια αυτά περιλαμβάνονται ένα ήπιο σενάριο (RCP2.6), δύο ενδιάμεσα (RCP4.5 και RCP6.0) και ένα σενάριο με πολύ υψηλές συγκεντρώσεις εκλυόμενων αερίων του θερμοκηπίου (RCP8.5) [20].

Στη συγκεκριμένη εργασία, οι κλιματικές εκτιμήσεις έχουν βασιστεί στο μετριοπαθές σενάριο (RCP4.5), το οποίο περιγράφεται λεπτομερώς παρακάτω:

Το RCP4.5 σημαίνει "Representative Concentration Pathway 4.5" και πρόκειται για ένα σενάριο συγκέντρωσης αερίων του θερμοκηπίου που αναπτύχθηκε από τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC) στο πλαίσιο της 6^{ης} έκθεσης αξιολόγησης (AR6). Το RCP 4.5 υποθέτει μέτρια αύξηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, με κορύφωση και μείωση έως το 2100, και ακτινοβολία 4,5 W/m² το 2100. Το συγκεκριμένο σενάριο λαμβάνει υπόψη του ότι θα υλοποιηθούν προγράμματα αναδάσωσης και ότι θα πραγματοποιηθούν αλλαγές στις καλλιεργήσιμες εκτάσεις [20]. Επιπλέον, οι εκπομπές μεθανίου αναμένονται να είναι σταθερές, ενώ οι εκπομπές CO₂ να αυξηθούν με αργούς ρυθμούς έως το 2040 και να αρχίσουν να μειώνονται από τότε και μετά. Το RCP4.5 αντιπροσωπεύει γενική μείωση στην κατανάλωση ενέργειας και στη χρήση ορυκτών καυσίμων, ενώ υποθέτει αύξηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της χρήσης πυρηνικής ενέργειας [40].

1.3 Συνοπτική ανασκόπηση θεσμικού πλαισίου

Το θεσμικό πλαίσιο στην Ελλάδα, στο οποίο εμπίπτει ο ενεργειακός σχεδιασμός των κτιρίων αποτελείται από τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.), από Τεχνικές Οδηγίες (ΤΟΤΕΕ) τις οποίες εκδίδει το Τεχνικό Επιμελητήριο της Ελλάδας (ΤΕΕ) καθώς και από Κοινές Υπουργικές Αποφάσεις. Στην παράγραφο αυτή γίνεται αναφορά στον Κ.Εν.Α.Κ. και στην πιο πρόσφατη Τεχνική Οδηγία που βρίσκεται σε ισχύ και αφορά στον ενεργειακό σχεδιασμό για τον κτιριακό τομέα.

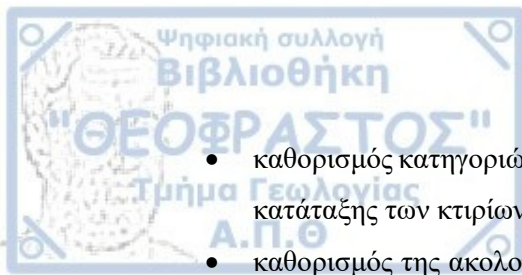
Ως μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ), η Ελλάδα, υποχρεώθηκε να θεσπίσει νομοθεσία σχετικά με την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων με την έκδοση της ευρωπαϊκής οδηγίας 91/2002/ΕΚ. Για το σκοπό αυτό θεσπίστηκε ο νόμος 3661/2008 (ΦΕΚ Α' 89) ο οποίος καθορίζει συγκεκριμένα μέτρα για την εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια. Τα μέτρα αυτά συμπεριλαμβάνονται στην πρώτη έκδοση του Κ.Εν.Α.Κ., ο οποίος αποτελείται από τεχνικές οδηγίες για την κατάταξη των κτιρίων σε κατηγορίες ενεργειακής απόδοσης, με σκοπό την πραγματοποίηση ενεργειακών μελετών και την επίτευξη εξοικονόμησης ενέργειας σε νέα και παλαιά ανακαινιζόμενα κτίρια. Ο κανονισμός προβλέπει ότι η ενεργειακή μελέτη γίνεται ανάλογα με την κάθε χρήση ενός κτιρίου, με βάση διάφορα πρότυπα του ΕΛΟΤ (Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης) χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία ημι-σταθερής κατάστασης μηνιαίου βήματος, η οποία εφαρμόζεται γύρω από τα νέα και ριζικά ανακαινιζόμενα κτίρια. Ο νόμος 4122/2013 (ΦΕΚ Α' 42) αντικατέστησε, με τροποποιήσεις, τον 3661/2008 και περιέχει όλα τα άρθρα σχετικά με την ενεργειακή απόδοση κτιρίων σύμφωνα με την οδηγία 2010/31/ΕΕ της ΕΕ.

Από το Νοέμβριο του 2017 ισχύει η αναθεωρημένη έκδοση του Κ.Εν.Α.Κ. με το ΦΕΚ Β' 4003/17.11.2017, με το οποίο εγκρίθηκαν οι νέες Τεχνικές Οδηγίες του Τεχνικού Επιμελητηρίου (ΤΟΤΕΕ) για την εφαρμογή του Κ.Εν.Α.Κ. 2017 [51].

Ο αναθεωρημένος κανονισμός περιλαμβάνει οδηγίες για την εκπόνηση ενεργειακής μελέτης κτιρίων και θεσπίζει την υποχρεωτική χρήση του νέου πληροφοριακού συστήματος για την έκδοση πιστοποιητικών ενεργειακής απόδοσης.

Ορισμένα σημεία κλειδιά του νέου Κ.Εν.Α.Κ. είναι:

- καθορισμός ελάχιστων ενεργειακών απαιτήσεων για νέα κτίρια και για παλιά ανακαινιζόμενα κτίρια (με διαχωρισμό σε κατηγορίες χρήσης) (άρθρο 7)
- καθορισμός ελάχιστων προδιαγραφών αναφορικά με τα δομικά χαρακτηριστικά και τις θερμοφυσικές τους ιδιότητες και τις ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις των κτιρίων (άρθρο 8)
- καθορισμός της μεθοδολογίας υπολογισμού των τεχνικών χαρακτηριστικών του κτιρίου αναφοράς και χρήση αυτών για την εκπόνηση της Μ.Ε.Α. (άρθρο 9)



- καθορισμός κατηγοριών ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων και περιγραφή του τρόπου κατάταξης των κτιρίων (συντελεστές T, PP και EP) σε αυτές (άρθρο 10)
- καθορισμός της ακολουθούμενης μεθοδολογίας για την εκπόνηση Μ.Ε.Α. (άρθρα 11 και 12)
- περιγραφή του τρόπου πιστοποίησης της ενεργειακής απόδοσης μέσω Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης (Π.Ε.Α.), τρόπου έκδοσης του ιδίου και πρόβλεψη για υποχρεωτική χρήση του πληροφοριακού συστήματος για την έκδοσή του (άρθρο 13)
- περιγραφή της ακολουθούμενης μεθοδολογίας για τη διενέργεια ενεργειακής επιθεώρησης σε κτίρια καθώς και σε εγκαταστάσεις θέρμανσης και κλιματισμού (άρθρα 14,15,16)

Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στην αναθεωρημένη έκδοση της TOTEE που περιγράφει τον τρόπο εκπόνησης ενεργειακής μελέτης και τις ελάχιστες απαιτήσεις ανά χρήση και ανά κατηγορία κτιρίου.

1.4 Κατηγορίες κτιρίων σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ.

Από το πεδίο εφαρμογής του Κ.Εν.Α.Κ., σύμφωνα με την παρ.7 του άρθρου 4 του ν. 4122/2013 εξαιρούνται οι ακόλουθες κατηγορίες κτιρίων:

- Μνημεία
- κτίρια προστατευόμενα ως μέρος συγκεκριμένου περιβάλλοντος ή λόγω της ιδιαίτερης αρχιτεκτονικής ή ιστορικής τους αξίας (π.χ. διατηρητέα ή κτίρια εντός παραδοσιακών οικισμών) καθώς η συμμόρφωση τους με τις απαιτήσεις του Κ.Εν.Α.Κ. θα επέφερε σημαντική αλλοίωση στον ιδιαίτερο τους αρχιτεκτονικό χαρακτήρα
- χώροι λατρείας
- βιομηχανικές εγκαταστάσεις, βιοτεχνίες και εργαστήρια
- κτίρια με διάρκεια χρήσης μικρότερη των δύο ετών, αποθήκες, χώροι στάθμευσης οχημάτων, πρατήρια υγρών καυσίμων, κτίρια αγροτικών χρήσεων που έχουν μικρές ενεργειακές ανάγκες ή τα οποία χρησιμοποιούνται σε αγροτικό τομέα για τον οποίο υπάρχει ειδική συμφωνία για την ενεργειακή τους απόδοση (εκτός αγροτικών κατοικιών)
- μεμονωμένα κτίρια (π.χ. όχι διαμερίσματα), με συνολική ωφέλιμη επιφάνεια μικρότερη από πενήντα τετραγωνικά μέτρα· για τα κτίρια αυτά ισχύουν μειωμένες απαιτήσεις αναφορικά μόνο με τα δομικά στοιχεία του κτιριακού κελύφους [46].

Ειδικότερα, εξαιρούνται κτίρια τα οποία έχουν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τα οποία θα αλλοιωνόταν εξαιτίας τυχόν παρεμβάσεων για βελτίωση της ενεργειακής τους απόδοσης.

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας Ι) παρουσιάζονται οι διάφορες κατηγορίες κτιρίων βάσει χρήσης αυτών (πρωτογενής – δευτερογενής τομέας κ.ο.κ.). Τα κτίρια που ανήκουν στις παρακάτω κατηγορίες διαχωρίζονται σε επιπλέον κατηγορίες, όσον αφορά τους πολεοδομικούς κανονισμούς, ωστόσο η παρακάτω κατάταξη χρησιμοποιείται μόνο για τις ανάγκες του Κ.Εν.Α.Κ.:

Πίνακας Ι: Ταξινόμηση κτιρίων [46]

Βασικές κατηγορίες κτιρίων	Χρήσεις κτιρίων που περιλαμβάνονται στις κατηγορίες
Κατοικίας	Μονοκατοικία, πολυκατοικία
Προσωρινής διαμονής	Ξενοδοχείο, ξενώνας, οικότροφείο και κοιτώνας

Συνάθροισης κοινού	Χώρος συνεδρίων, χώρος εκθέσεων, μουσείο, χώρος συναυλιών, θέατρο, κινηματογράφος, αίθουσα δικαστηρίων, κλειστό γυμναστήριο, κλειστό κολυμβητήριο, εστιατόριο, ζαχαροπλαστείο, καφενείο, τράπεζα, αίθουσα πολλαπλών χρήσεων
Εκπαίδευσης	Νηπιαγωγείο, πρωτοβάθμια/ δευτεροβάθμια/ τριτοβάθμια εκπαίδευση, αίθουσα διδασκαλίας, φροντιστήριο
Υγείας και κοινωνικής πρόνοιας	Νοσοκομείο κλινική, αγροτικό ιατρείο, υγειονομικός σταθμός, κέντρο υγείας, ιατρείο, ψυχιατρείο, ίδρυμα ΑΜΕΑ, ίδρυμα χρονίως πασχόντων, οίκος ευγηρίας, βρεφοκομείο, βρεφικός σταθμός, παιδικός σταθμός.
Σωφρονισμού	Κρατητήριο, αναμορφωτήριο, φυλακή
Εμπορίου	Κατάστημα, εμπορικό κέντρο, φαρμακείο, κουρείο και κομμωτήριο, ινστιτούτο γυμναστικής
Γραφείων	Γραφείο, βιβλιοθήκη

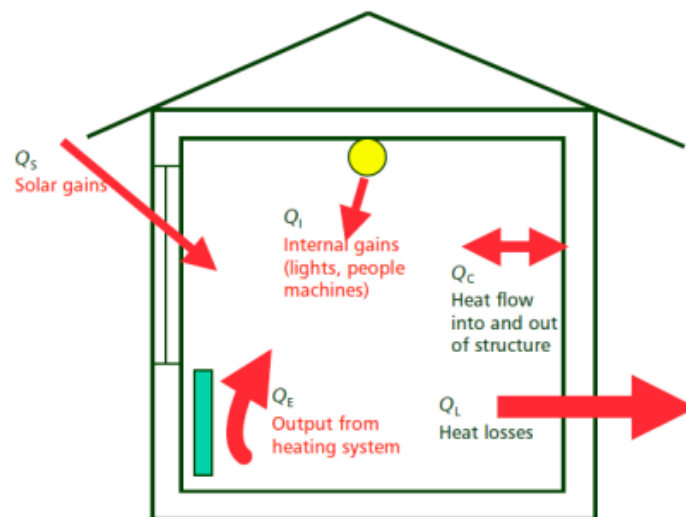
Σημειώνεται ότι:

- σε περιπτώσεις ενιαίας χρήσης κτιρίου επιλέγεται μια από τις παραπάνω κατηγορίες
- σε περίπτωση μεικτής χρήσης κτιρίου, όπου διαφορετικοί αυτοτελείς χώροι λειτουργούν με διαφορετικές χρήσεις (π.χ. πολυκατοικία με διαμερίσματα και εμπορικά καταστήματα στο ισόγειο) εκπονείται ξεχωριστή Μ.Ε.Α. και εκδίδεται ξεχωριστό Π.Ε.Α. για κάθε χρήση – αυτοτελή χώρο του κτιρίου
- αν η χρήση ενός κτιρίου δεν περιλαμβάνεται στον παραπάνω πίνακα, τότε εντάσσεται στην πλησιέστερη κατηγορία [46].

1.5 Παράγοντες που επηρεάζουν την ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων

- Το εξωτερικό περιβάλλον
- Ο προσανατολισμός του κτιρίου
- Τα υλικά κατασκευής και θερμομόνωσης
- Ο τρόπος αερισμού του κτιρίου
- Ο τρόπος σχεδιασμού, κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης
- Ο τρόπος σχεδιασμού ενός φυσικά ή τεχνητά αεριζόμενου κτιρίου
- Ο τύπος και ο αριθμός των ηλεκτρικών συσκευών που παράγουν θερμότητα
- Ο τρόπος λειτουργίας συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και αερισμού από τους χρήστες [45].

Ένα κτίριο, το οποίο θερμαίνεται κατά τη διάρκεια του χειμώνα, χάνει ένα ορισμένο ποσό της θερμότητας καθώς αυτή μεταφέρεται προς το περιβάλλον. Ένα μέρος αυτής της θερμότητας ανακτάται από το σύστημα θέρμανσης του κτιρίου και ένα άλλο μέρος ανακτάται από διάφορα θερμικά φορτία, όπως οι άνθρωποι, οι συσκευές και η ηλιακή ακτινοβολία. Ουσιαστικά, η χρήση ηλεκτρικών συσκευών, ο φωτισμός, η θερμομονωτική προστασία, κλπ μειώνουν τη θερμοκρασία του εσωτερικού περιβάλλοντος ενός κτιρίου μέσω των θερμικών κερδών που προσφέρουν, μειώνοντας την απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση [30]. Συνεπώς, υπερεκτιμάται η ενεργειακή ανάγκη για θέρμανση και ψύξη του κτιρίου και τελικά η θερμοκρασία βάσης (T_{base}) για το κτίριο αναφοράς είναι χαμηλότερη.



Σχήμα 1: Ενεργειακή ισορροπία ενός θερμαινόμενου κτιρίου [7]

1.6 Η έννοια του παθητικού κτιρίου

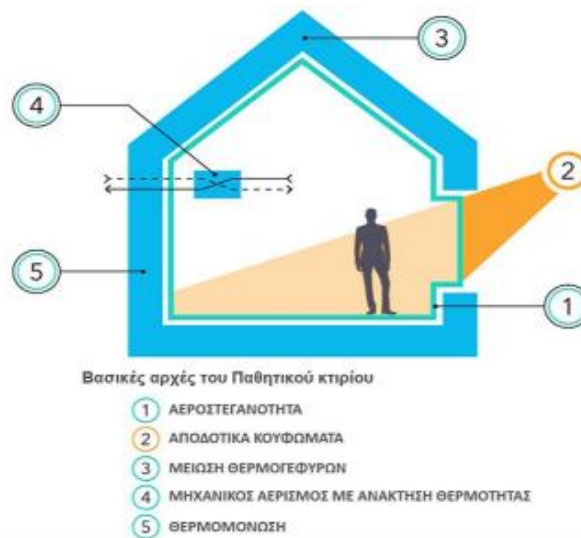
Τα παθητικά κτίρια βασίζονται στις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού, της φυσικής, της ροής θερμότητας και της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου. Μπορούν να διατηρούν ικανοποιητικές θερμοκρασίες καθ' όλη τη διάρκεια του έτους με ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας, ανεξάρτητα από το κλίμα ή την περιοχή στην οποία βρίσκονται. Στόχος είναι η δημιουργία ενός άνετου εσωτερικού περιβάλλοντος με ταυτόχρονη μείωση της ενεργειακής ζήτησης. Τα κτίρια αυτά θερμαίνονται με παθητικό τρόπο, ακόμη και το χειμώνα. Αυτό σημαίνει ότι ο ήλιος, οι εσωτερικές πηγές θερμότητας και η ανάκτηση θερμότητας χρησιμοποιούνται αποτελεσματικά, έτσι ώστε ακόμη και τις κρύες ημέρες του χειμώνα να μην είναι απαραίτητο ένα συμβατικό σύστημα θέρμανσης. Το καλοκαίρι, χρησιμοποιούνται παθητικές τεχνικές ψύξης, όπως ο κατάλληλος σχεδιασμός σκίασης και ο φυσικός αερισμός τη νύχτα, για να διατηρείται το κτίριο δροσερό και να αποφεύγεται η υπερθέρμανση. Και στις δύο περιπτώσεις, η άριστη ποιότητα και τεχνολογία των υλικών και ο προσεκτικός σχεδιασμός εξασφαλίζουν σταθερή και άνετη θερμοκρασία καθ' όλη τη διάρκεια του έτους [48].

Στην Κεντρική Ευρώπη, τα παθητικά κτίρια χρησιμοποιούν έως και 90% λιγότερη ενέργεια θέρμανσης και ψύξης από τα συμβατικά κτίρια. Ωστόσο, ακόμη και σε θερμότερες περιοχές όπου τα κτίρια χρειάζονται ψύξη, μπορεί να επιτευχθεί πολύ σημαντική εξοικονόμηση.

Τα παθητικά κτίρια διατηρούν παθητικά το περιεχόμενό τους σε μια επιθυμητή θερμοκρασία και ελαχιστοποιούν την ανάγκη για ενεργητική θέρμανση και ψύξη. Οι βασικές αρχές (Σχήμα 2) που πρέπει να ακολουθούνται κατά το σχεδιασμό κτιρίων σύμφωνα με αυτό το πρότυπο, το οποίο οδηγεί στη βέλτιστη ενεργειακή απόδοση, παρατίθενται παρακάτω [50].

1. Αεροστεγανότητα: Τα παθητικά κτίρια σχεδιάζονται έτσι ώστε να αποτρέπουν τη διαρροή αέρα από σημεία του κτιριακού κελύφους, όπως ρωγμές, χαραμάδες, ενώσεις και μικρές οπές. Ο αέρας εισέρχεται και εξέρχεται από το κτίριο μέσω αυτών των σημείων, με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι θερμικές απώλειες, λόγω μη ελεγχόμενου αερισμού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να εμφανίζονται ρεύματα αέρα και φθορές λόγω της υγρασίας.
2. Κουφώματα: Η επιλογή, ο σχεδιασμός και η τοποθέτηση των κουφωμάτων παίζουν σημαντικό ρόλο, αφού μέσω αυτών αξιοποιούνται τα ηλιακά θερμικά κέρδη ενός κτιρίου κατά το χειμώνα.
3. Απουσία θερμογεφυρών: Η ελαχιστοποίηση των θερμογεφυρών κατά το στάδιο του σχεδιασμού ενός κτιρίου και ο έλεγχος των αδύναμων σημείων του κτιριακού κελύφους, στα οποία οι απώλειες θερμότητας είναι αυξημένες σε σχέση με γειτονικά σημεία, ενισχύει την επίτευξη σταθερών θερμοκρασιών και προστατεύει από τη δημιουργία μούχλας λόγω υγρασίας στα σημεία αυτά.

4. Μηχανικός αερισμός με ανάκτηση θερμότητας: Τα συστήματα μηχανικού αερισμού με ανάκτηση θερμότητας παρέχουν στο κτίριο τον απαιτούμενο φρέσκο αέρα χωρίς σκόνη, γύρη και μικροσωματίδια λόγω της ύπαρξης φίλτρων, με τη μέγιστη ενεργειακή απόδοση εξαιτίας της ανάκτησης θερμότητας. Ο αέρας περιβάλλοντος φιλτράρεται και αφού ανακτήσει μεγάλο μέρος της θερμότητας από το ρεύμα του απορριπτόμενου αέρα, προσάγεται στους κατάλληλους χώρους του κτιρίου. Με αυτόν τον τρόπο πραγματοποιείται ο απαιτούμενος αερισμός του κτιρίου με τις ελάχιστες δυνατές θερμικές απώλειες και ελέγχονται τα επίπεδα υγρασίας στο χώρο.
5. Μόνωση: Το θερμικό περίβλημα ενός κτιρίου περιβάλλεται από ένα συνεχές μονωτικό στρώμα σχεδόν σταθερού πάχους. Ένα σωστά μονωμένο κέλυφος κτιρίου διατηρεί τη θερμότητα στο εσωτερικό του το χειμώνα και εμποδίζει τη διείσδυση της θερμότητας το καλοκαίρι.



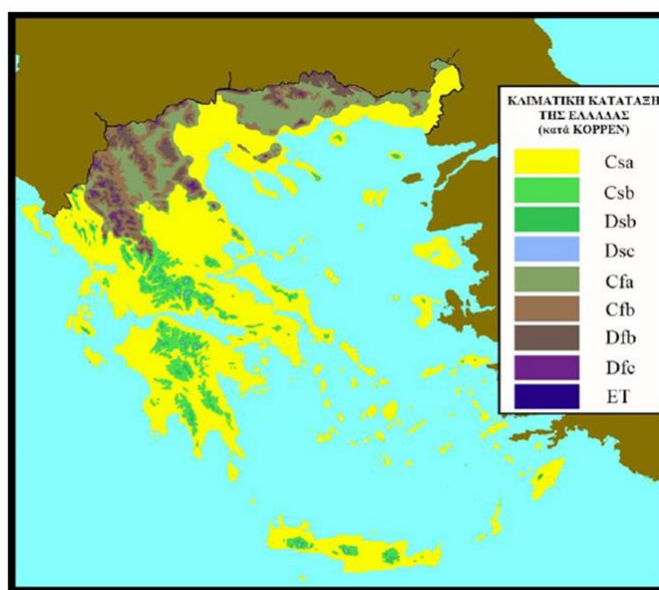
Σχήμα 2: Οι βασικές αρχές του Παθητικού Κτιρίου [50]

Τέτοιοι σχεδιασμοί οδηγούν σε κτίρια που είναι άνετα, υγιεινά και ενεργειακά αποδοτικά, με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και χαμηλές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Τα παθητικά κτίρια γίνονται όλο και πιο δημοφιλή ως τρόπος μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας και θεωρούνται ένας από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους μείωσης του αποτυπώματος άνθρακα του δομημένου περιβάλλοντος [50].

Συνοπτικά, τα παθητικά κτίρια είναι εξαιρετικά αποδοτικά κτίρια που χρησιμοποιούν ελάχιστη ενέργεια για τη διατήρηση ενός άνετου εσωτερικού περιβάλλοντος, μειώνοντας παράλληλα τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους.

1.7 Κλιματική κατάταξη και κλιματικές ζώνες στην Ελλάδα

Το κλίμα της Ελλάδας εμφανίζει χαρακτηριστικά θαλάσσιου και ηπειρωτικού κλίματος, σύμφωνα με την κατάταξη Köppen (Σχήμα 3). Μεταξύ των δύο επικρατεί το θαλάσσιο κλίμα (τύπου C), καθώς η μέση θερμοκρασία του ψυχρότερου μήνα κυμαίνεται μεταξύ 0°C και 18°C. Το ηπειρωτικό (τύπου D), παρατηρείται κυρίως στην κεντρική και βόρεια χώρα και σε περιοχές με μεγάλο υψόμετρο. Τέλος, στις πολύ ορεινές περιοχές της χώρας εντοπίζεται το αλπικό κλίμα. Το κλίμα της Ελλάδας επηρεάζεται από τη διαφορετική γεωγραφία και το γεωγραφικό πλάτος, με τις διάφορες περιοχές της χώρας να παρουσιάζουν διαφορετικούς τύπους κλίματος.



Σχήμα 3: Κλιματική κατάταξη της Ελλάδας κατά Köppen [4]

Από την άλλη μεριά, η ταξινόμηση του κλίματος με βάση τις βαθμοημέρες θέρμανσης (HDD) και ψύξης (CDD) είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για τη σύγκριση του κλίματος των περιοχών της Ελλάδας και για την κατανόηση των αναγκών θέρμανσης και ψύξης των κτιρίων σε αυτές τις περιοχές.

Σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ [47] η ελληνική επικράτεια διαιρείται σε τέσσερις κλιματικές ζώνες σύμφωνα με τις βαθμοημέρες θέρμανσης. Στον πίνακα II προσδιορίζονται οι νομοί που υπάγονται στις τέσσερις κλιματικές ζώνες, με σειρά από τη θερμότερη στην ψυχρότερη, και ακολουθεί η σχηματική απεικόνισή τους (Σχήμα 4). Σε κάθε νομό οι περιοχές που βρίσκονται σε υψόμετρο μεγαλύτερο των 500 μέτρων εντάσσονται στην επόμενη ψυχρότερη κλιματική ζώνη από εκείνη που ανήκουν σύμφωνα με τα παραπάνω. Για τη ζώνη Δ όλες οι περιοχές περιλαμβάνονται σε αυτή ανεξαρτήτως υψομέτρου. Στο νομό Αρκαδίας, ο οποίος εντάσσεται στην κλιματική ζώνη Γ και στο νομό Σερρών (ΒΑ τμήμα) που εντάσσεται στην κλιματική ζώνη Δ, περιλαμβάνονται όλες οι περιοχές που βρίσκονται σε υψόμετρο μεγαλύτερο των 500 μέτρων.

Πίνακας II: Νομοί ελληνικής επικράτειας ανά κλιματική ζώνη [47]

Κλιματική Ζώνη	Νομοί
Ζώνη Α	Ηρακλείου, Χανίων, Ρεθύμνου, Λασιθίου, Κυκλάδων, Δωδεκανήσου, Σάμου, Μεσσηνίας, Λακωνίας, Αργολίδας, Ζακύνθου, Κεφαλληνίας & Ιθάκης, Κύθηρα & νησιά Σαρωνικού (Αττικής), Αρκαδίας (πεδινή)
Ζώνη Β	Αττικής (εκτός Κυθήρων & νησιών Σαρωνικού), Κορινθίας, Ηλείας, Αχαΐας, Αιτωλοακαρνανίας, Φθιώτιδας, Φωκίδας, Βοιωτίας, Ευβοίας, Μαγνησίας, Λέσβου, Χίου, Κέρκυρας, Λευκάδας, Θεσπρωτίας, Πρέβεζας, Άρτας
Ζώνη Γ	Αττικής (εκτός Κυθήρων & νησιών Σαρωνικού), Κορινθίας, Ηλείας, Αχαΐας, Αιτωλοακαρνανίας, Φθιώτιδας, Φωκίδας, Βοιωτίας, Ευβοίας, Μαγνησίας, Λέσβου, Χίου, Κέρκυρας, Λευκάδας, Θεσπρωτίας, Πρέβεζας, Άρτας
Ζώνη Δ	Γρεβενών, Κοζάνης, Καστοριάς, Φλώρινας, Σερρών (ΒΑ τμήμα), Δράμας



Σχήμα 4: Κλιματική κατάταξη νομών Ελλάδας [47]

2. Μέθοδος βαθμοημερών

Ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα για τους επιστήμονες σήμερα είναι η σχέση μεταξύ της κλιματικής αλλαγής και της ενεργειακής κρίσης. Για το λόγο αυτό, είναι αναγκαίο να μελετηθούν οι κλιματικές ζώνες του παρόντος, αλλά και του μέλλοντος και να ερευνηθεί ο τρόπος με τον οποίο οι κλιματικές ζώνες σχετίζονται με τις ενεργειακές ανάγκες κάθε περιοχής του ελληνικού χώρου. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για τον υπολογισμό των ενεργειακών απαιτήσεων για τη θέρμανση και την ψύξη των κτιρίων, αλλά διαφέρουν ως προς την πολυπλοκότητα των δεδομένων που χρησιμοποιούν και τον απαιτούμενο χρόνο εφαρμογής. Η πιο απλοποιημένη μέθοδος είναι αυτή των βαθμοημερών και παρέχει αποτελέσματα για απλά συστήματα και εφαρμογές. Με την εφαρμογή τους συσχετίζεται η ενεργειακή κατανάλωση με τη γεωγραφική περιοχή του κτιρίου για ορισμένες χρονικές περιόδους [30]. Συνεπώς, οι βαθμοημέρες χρησιμοποιούνται με στόχο τη μέτρηση της επίδρασης των μεταβαλλόμενων καιρικών συνθηκών στις ενεργειακές ανάγκες των κτιρίων για τη ρύθμιση του μικροκλίματος τους. Τις τελευταίες δεκαετίες και λόγω της απλότητας της, η μέθοδος αυτή βρίσκει ευρεία εφαρμογή για τη μελέτη των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στις ενεργειακές απαιτήσεις των κτιρίων.

Αν και η μέθοδος των βαθμοημερών είναι απλή στην εφαρμογή της, είναι απαραίτητο να πληρούνται συγκεκριμένες προϋποθέσεις προκειμένου τα αποτελέσματα της να είναι έγκυρα και όσο το δυνατόν πιο ακριβή [29]. Ένας παράγοντας που καθορίζει την ακρίβεια της μεθόδου αυτής είναι η θερμική αδράνεια του κτιρίου, όπως αυτή επηρεάζεται από τυχόν εσωτερικές πηγές ενέργειας καθώς και από τυχόν αύξηση της θερμοκρασίας λόγω της ηλιοφάνειας ή μείωσης της θερμοκρασίας λόγω παραθύρων τα οποία δεν παραμένουν κλειστά. Ως εκ τούτου, η μέθοδος των βαθμοημερών βρίσκει κυρίως εφαρμογή σε κτίρια με υψηλή θερμική αδράνεια, προκειμένου να μπορεί να εκφράσει την επίδραση της εξωτερικής θερμοκρασίας του αέρα στην εσωτερική θερμοκρασία των κτιρίων.

Ενδεικτικά, η μέθοδος των βαθμοημερών δεν παράγει ακριβή αποτελέσματα σε κτίρια τα οποία είναι σχεδιασμένα να θερμαίνονται παθητικά από τον ήλιο, καθώς σε αυτή την περίπτωση οι βαθμοημέρες θέρμανσης αλλοιώνονται διότι ένα μεγάλο μέρος των αναγκών θέρμανσης καλύπτεται από την ηλιακή ενέργεια που δέχεται. Αντίστοιχα, η μέθοδος των βαθμοημερών δεν παράγει ακριβή αποτελέσματα σε κτίρια τα οποία είναι σχεδιασμένα προκειμένου να ψύχονται με την εναλλαγή της κατάστασης ανοιχτό – κλειστό των ανοιγμάτων ή την κίνηση κάθε είδους σκιάστρου, επειδή στην περίπτωση αυτή ένα μεγάλο μέρος των αναγκών ψύξης καλύπτεται από τον φυσικό αερισμό και σκιασμό του κτιρίου.

Αξίζει όμως να σημειωθεί ότι η μέθοδος των βαθμοημερών παράγει ακριβή αποτελέσματα υπό την προϋπόθεση της χρήσης ενός κοινού συστήματος ψύξης και ενός κοινού συστήματος

θέρμανσης για όλο το κτίριο. Γίνεται, όμως, η παραδοχή ότι τα συστήματα αυτά λειτουργούν διαρκώς μέχρι να επιτευχθούν οι συνθήκες θερμικής άνεσης καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου.

Ο υπολογισμός των βαθμοημερών γίνεται με χρήση μιας θερμοκρασίας βάσης στην οποία ένα κτίριο δε σημειώνει ανάγκες θέρμανσης ή ψύξης. Αυτό συμβαίνει όταν οι θερμικές απώλειες ενός κτιρίου είναι ίσες με τα θερμικά κέρδη του. Τα συστήματα θέρμανσης λειτουργούν όταν η εσωτερική θερμοκρασία είναι χαμηλότερη από την επιθυμητή, ενώ, αντίθετα, τα συστήματα ψύξης όταν η εσωτερική θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από την επιθυμητή. Στη θεωρία αυτή στηρίζεται η μέθοδος των βαθμοημερών, καθώς οι ανάγκες θέρμανσης και ψύξης οφείλονται στη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού ενός κτιρίου. Εντούτοις, σημειώνονται ανάγκες θέρμανσης, άρα και υπολογίζονται βαθμοημέρες θέρμανσης όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι χαμηλότερη από την ορισμένη θερμοκρασία βάσης και αντίστροφα σημειώνονται ανάγκες ψύξης, άρα και υπολογίζονται βαθμοημέρες ψύξης όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία βάσης [27].

Εκτός από τις παραπάνω προϋποθέσεις, σύμφωνα με τις οποίες μπορεί να βρει εφαρμογή η μέθοδος των βαθμοημερών, είναι πολύ σημαντικός ο ορισμός μιας ορθής θερμοκρασίας βάσης, η οποία εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά κάθε μελετώμενου κτιρίου, καθώς κάθε κτίριο εμφανίζει διαφορετικές θερμικές απώλειες. Για το λόγο αυτό, ιδίως στο εξωτερικό, εντοπίζονται έτοιμα δεδομένα βαθμοημερών θέρμανσης ή/και ψύξης συναρτήσει της ενεργειακής κλάσης των κτιρίων για κάθε κλιματική ζώνη [29].

Οι ενεργειακές ανάγκες των κτιρίων μεταβάλλονται από κτίριο σε κτίριο ακόμη και στην ίδια κλιματική ζώνη, καθώς μεταβάλλονται τα θερμικά κέρδη των κτιρίων λόγω της θέσης των ανοιγμάτων, του προσανατολισμού των κτιρίων, των συστημάτων αερισμού και σκίασης, αλλά και λόγω των θερμικών χαρακτηριστικών των δομικών υλικών και των υλικών των ανοιγμάτων των κτιρίων. Συνεπώς, για τον υπολογισμό των βαθμοημερών πρέπει να εξετάζεται για κάθε κτίριο ξεχωριστά, βάσει των παραπάνω συνιστωσών.

Σύμφωνα με την Τεχνική Οδηγία του Κ.Εν.Α.Κ. [47] χρησιμοποιήθηκαν οι βαθμοημέρες θέρμανσης με σκοπό την κατάταξη της Ελλάδας σε κλιματικές ζώνες. Γενικά, οι βαθμοημέρες χρησιμοποιούνται ως μέτρο διακύμανσης της εξωτερικής θερμοκρασίας μιας περιοχής και αποτελούν δείκτη εκτίμησης της δριμύτητας ενός κλίματος. Συνεπώς, με τη χρήση των βαθμοημερών, η εκτίμηση των κτιριακών ενεργειακών απαιτήσεων σχετίζεται με τη μεταβολή του κλίματος μιας περιοχής, στην οποία βρίσκεται το κτίριο.

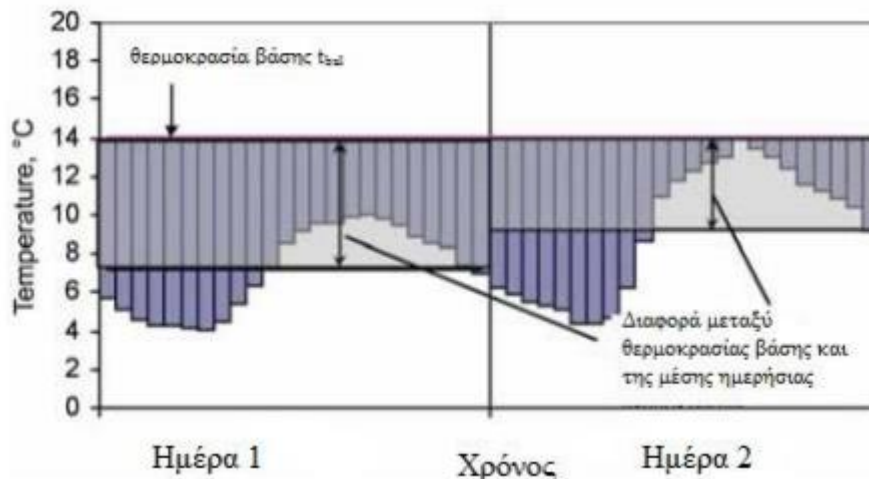
2.1 Ορισμός βαθμοημερών

Ως βαθμοημέρες θέρμανσης ή ψύξης ορίζονται ποσοτικοί δείκτες οι οποίοι χαρακτηρίζουν το κλίμα αναφορικά με την ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για μεγέθη που εκφράζουν την αθροιστική θερμοκρασία του περιβάλλοντος και ερμηνεύουν ποιοτικά την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων [43]. Οι βαθμοημέρες είναι ένα μέτρο της διακύμανσης της εξωτερικής θερμοκρασίας μιας περιοχής και ένας κλιματικός δείκτης που αποτυπώνει τη «δριμύτητα» και τη διάρκεια του ψυχρού ή θερμού κλίματος μιας περιοχής [39, 7].

Οι βαθμοημέρες θέρμανσης (heating degree-days, HDD) ορίζονται ως το άθροισμα της διαφοράς μεταξύ της θερμοκρασίας βάσης και της εξωτερικής θερμοκρασίας, λαμβάνοντας υπόψη μόνο τις θετικές τιμές [28]. Αυτό σημαίνει ότι αθροίζονται μόνο οι βαθμοημέρες για τις οποίες η εξωτερική θερμοκρασία είναι μικρότερη από την θερμοκρασία βάσης. Οι υπολογισμοί επαναλαμβάνονται με ίδιο τρόπο και για τους 12 μήνες του χρόνου. Αντίστοιχα, οι βαθμοημέρες ψύξης (cooling degree-days, CDD) είναι το άθροισμα της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ της μέσης ημερήσιας και της θερμοκρασίας βάσης, όμως στην περίπτωση αυτή λαμβάνονται υπόψη μόνο οι διαφορές θερμοκρασίας στις οποίες η εξωτερική θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από την θερμοκρασία βάσης [8, 9].

Οι βαθμοημέρες αποτελούν το άθροισμα της θερμοκρασιακής διαφοράς στο χρόνο εμπεριέχοντας την ένταση και τη διάρκεια των εξωτερικών θερμοκρασιών. Πρόκειται, δηλαδή, για ένα μέτρο ποσοτικοποίησης των βαθμών και της περιόδου κατά τη διάρκεια της οποίας η εξωτερική θερμοκρασία είναι χαμηλότερη ή υψηλότερη από τη θερμοκρασία κατωφλιού που έχει οριστεί. Η θερμοκρασιακή αυτή διαφορά είναι μεταξύ της θερμοκρασίας βάσης και της εξωτερικής θερμοκρασίας. Όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία βάσης τότε το σύστημα θέρμανσης τίθεται σε λειτουργία για να προσφέρει θερμότητα στο κτίριο. Με αντίστοιχο τρόπο λειτουργούν τα συστήματα κλιματισμού, όταν δηλαδή η εξωτερική θερμοκρασία είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία βάσης.

Στο σχήμα 5 παρουσιάζεται ένα γράφημα με το οποίο επεξηγείται ο τρόπος υπολογισμού των βαθμοημερών χρησιμοποιώντας ωριαίες θερμοκρασίες. Το παράδειγμα αναφέρεται σε δύο συνεχόμενες ημέρες όπου υπολογίζονται οι βαθμοημέρες με θερμοκρασία βάσης 14°C. Κάθε ωριαία θερμοκρασία αφαιρείται από τη θερμοκρασία βάσης, ώστε να προκύψει θερμοκρασιακή διαφορά. Σημειώνεται ότι λαμβάνονται υπόψη μόνο οι θετικές διαφορές, οι οποίες στη συνέχεια αθροίζονται και αφού διαιρεθούν με το 24 υπολογίζεται η τιμή των βαθμοημερών.



Σχήμα 5: Ορισμός των βαθμοημερών ως η διαφορά της θερμοκρασίας βάσης και της μέσης ημερήσιας εξωτερικής θερμοκρασίας [7].

2.2 Ορισμός της θερμοκρασίας βάσης

Η θερμοκρασία βάσης (T_{base}) είναι το σημείο ισορροπίας, δηλαδή η θερμοκρασία πάνω ή κάτω από την οποία απαιτείται θέρμανση ή ψύξη για τη διατήρηση της εσωτερικής άνεσης των κτιρίων και εξαρτάται από τις κατασκευαστικές προδιαγραφές του κτιρίου. Για θέρμανση, η συνήθης θερμοκρασία βάσης που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των βαθμοημερών είναι οι 18°C [5]. Η τιμή αυτή προέκυψε από ένα συνδυασμό θεωρίας και εμπειρικών παρατηρήσεων και υποθέτει ότι, σε μακροπρόθεσμο μέσο όρο, τα ηλιακά και εσωτερικά κέρδη θα αντισταθμίσουν την απώλεια θερμότητας όταν η μέση ημερήσια εξωτερική θερμοκρασία είναι 18°C και ότι η κατανάλωση ενέργειας θα είναι ανάλογη με τη διαφορά μεταξύ της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας και της θερμοκρασίας βάσης [3, 13, 26]. Ωστόσο, για τον υπολογισμό των βαθμοημερών ψύξης φαίνεται η θερμοκρασία των 23°C να είναι περισσότερο αντιπροσωπευτική για τα κτίρια στη Νότια Ευρώπη, τα οποία είναι πιο εκτεθειμένα στις κλιματικές συνθήκες λόγω της έλλειψης θερμομόνωσης [41]. Από την άλλη μεριά, πιθανώς να είναι καταλληλότερο να χρησιμοποιηθεί χαμηλότερη τιμή για τις βαθμοημέρες ψύξης για τα βορειότερα κλίματα, όπου η θερμική προστασία και η αεροστεγανότητα του κελύφους των κτιρίων είναι αυξημένες, επιτρέποντας λιγότερες ροές θερμότητας μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού περιβάλλοντος [3, 6, 42].

Για την παρούσα εργασία, η οποία αναφέρεται στην ελληνική περιοχή, χρησιμοποιήθηκε η τιμή 18°C για τον υπολογισμό των βαθμοημερών θέρμανσης και 23°C για τον υπολογισμό των βαθμοημερών ψύξης.

2.3 Εφαρμογή των βαθμομερών στις κτιριακές εγκαταστάσεις

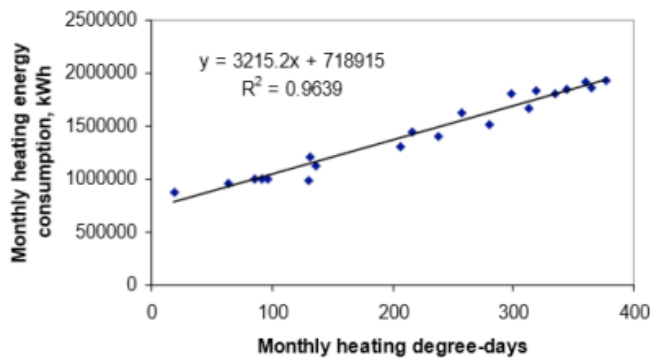
Οι βαθμομέρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις κτιριακές εγκαταστάσεις για την εκτίμηση των απωλειών θερμότητας, οι οποίες οφείλονται στις απώλειες αγωγιμότητας και αερισμού [24, 21]. Οι βαθμομέρες σε συνδυασμό με τις συνολικές θερμικές απώλειες μπορούν να δώσουν μια πλήρη εικόνα για τις θερμικές ανάγκες ενός κτιρίου. Με τη χρήση των βαθμομερών μπορεί να γίνει ενεργειακή αξιολόγηση απόδοσης των κτιρίων με σκοπό τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, μειώνοντας της εκπομπές CO₂ [10]. Επιπροσθέτως, οι βαθμομέρες εφαρμόζονται στην αξιολόγηση των μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας, για παράδειγμα, στη θερμομόνωση κτιρίων όπου μελετώνται οι θερμικές απώλειες. Στη συνέχεια, εφαρμόζοντας τους υπολογισμούς των βαθμομερών μπορεί να εντοπιστεί η διαφορά στην κατανάλωση ενέργειας. Μια ακόμη εφαρμογή των βαθμομερών αναφορικά με τα παραπάνω είναι η διαχείριση της ενέργειας των κτιρίων.

Οι βασικότεροι λόγοι της χρήσης της μεθόδου των βαθμομερών στις κτιριακές εγκαταστάσεις είναι:

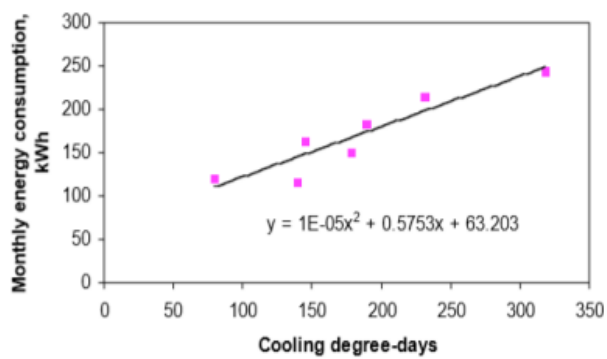
1. Η αποτίμηση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κατά τη θέρμανση ή ψύξη νέων κτιρίων ή προς ανακαίνιση κτιρίων.
2. Η καταγραφή, η ανάλυση και η σύγκριση των ενεργειακών δαπανών των ήδη υπαρχόντων κτιρίων με ιστορικά δεδομένα.

Αναφορικά με τον πρώτο λόγο, μέσω της χρήσης των βαθμομερών μπορεί να προσδιοριστεί έμμεσα ο ενεργειακός προϋπολογισμός και να ελεγχθεί η απόδοση των κτιρίων. Σύμφωνα με το δεύτερο, η μέθοδος των βαθμομερών συμβάλλει στην αξιολόγηση της απόδοσης των κτιρίων και στην αναζήτηση τροποποιήσεων στα πρότυπα ενεργειακής κατανάλωσης για τη μείωση των ενεργειακών δαπανών.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται πως η ενεργειακή κατανάλωση ποικίλλει ανάλογα με μια μέση μηνιαία θερμοκρασία συγκρίνοντας τη με τα δεδομένα των προηγούμενων μηνών έτσι ώστε να μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για την ενεργειακή κατανάλωση. Στην περίπτωση που τα σημεία του γραφήματος είναι πάνω από την ευθεία, τότε συμπεραίνεται ότι η ενεργειακή κατανάλωση είναι μεγαλύτερη από αυτή που χρειάζεται. Αντίστοιχα, όταν τα σημεία βρίσκονται κάτω από την ευθεία, μεταφράζεται σε χαμηλότερη ενεργειακή κατανάλωση από την απαιτούμενη. Η ιδανική περίπτωση είναι όταν τα σημεία βρίσκονται πάνω στην ευθεία ή όταν είναι πολύ κοντά σε αυτήν. [10]



Σχήμα 6: Καμπύλη μηνιαίας ενεργειακής κατανάλωσης για θέρμανση-HDD [10]



Σχήμα 7: Καμπύλη μηνιαίας ενεργειακής κατανάλωσης για ψύξη-CDD [10]

Και στις δύο καμπύλες στον άξονα x βρίσκονται οι βαθμοημέρες θέρμανσης και ψύξης ενώ στον άξονα y βρίσκεται η μηνιαία κατανάλωση για θέρμανση και ψύξη αντίστοιχα.

2.4 Μέθοδοι υπολογισμού βαθμομερών θέρμανσης και ψύξης

Η μέθοδος των βαθμομερών είναι ένα μέσο εκτίμησης της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Η μέθοδος αυτή θεωρείται απλή και γρήγορη, καθώς απαιτεί λίγα δεδομένα και μέσω αυτής εξάγονται γρήγορα συμπεράσματα για την αξιολόγηση της ενεργειακής κατανάλωσης ενός κτιρίου.

Οι βαθμομέρες θέρμανσης και ψύξης υπολογίζονται είτε από τη μέση ημερήσια θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου του εξωτερικού περιβάλλοντος είτε από τις μέσες ωριαίες θερμοκρασίες είτε από τη μέση τιμή μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας. Για τον υπολογισμό των βαθμομερών που ικανοποιούν τις παραπάνω περιπτώσεις χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες μέθοδοι με σκοπό τον υπολογισμό των θερμικών και ψυκτικών φορτίων [10]:

1. Η μέθοδος των μέσων βαθμοωρών, υπολογιζόμενες από ωριαίες καταγραφές θερμοκρασίας
2. Η μέθοδος της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας, από την American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)
3. Η μέθοδος της μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας, από τη Μετεωρολογική Υπηρεσία της Αγγλίας (UKMO)
4. Το μοντέλο των Erbs et al. (1983)
5. Οι εξισώσεις Hitchin
6. Η μέθοδος της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας, κατά Schoenau και Kehrig

Ανάλογα με τα διαθέσιμα δεδομένα θερμοκρασίας εξωτερικού αέρα που διατίθενται χρησιμοποιούνται διαφορετικές μέθοδοι υπολογισμού των δεικτών HDD και CDD. Η πιο ακριβείς εκτιμήσεις προέρχονται από τη μέθοδο που χρησιμοποιεί ωριαία δεδομένα. Ωστόσο, η μέθοδος αυτή δεν είναι εφικτό να εφαρμόζεται πάντα, λόγω της έλλειψης ωριαίων χρονοσειρών θερμοκρασίας για πολλές περιοχές.

2.4.1 Μέθοδος μέσων βαθμοωρών

Η συγκεκριμένη μέθοδος υπολογισμού των βαθμοημερών θέρμανσης και ψύξης είναι η πιο ακριβής, καθώς οι υπολογισμοί γίνονται με βάση τις ωριαίες θερμοκρασίες και συνεπώς το αποτέλεσμα προσεγγίζει περισσότερο την πραγματικότητα [28]. Παρόλα αυτά, η εύρεση και η διαθεσιμότητα των ωριαίων τιμών εξωτερικής θερμοκρασίας σε μια συνεχή χρονοσειρά δημιουργούν δυσκολία στον ερευνητή.

Ο υπολογισμός των βαθμοημερών ψύξης και θέρμανσης μέσω ωριαίων τιμών εξωτερικής θερμοκρασίας γίνεται με τις παρακάτω εξισώσεις [28]:

$$HDD_d = \frac{\sum_{i=1}^{24} (T_{base} - T_i)^+}{24}$$

$$CDD_d = \frac{\sum_{i=1}^{24} (T_i - T_{base})^+}{24}$$

Όπου:

HDD_d , οι βαθμοώρες θέρμανσης,

CDD_d , οι βαθμοώρες ψύξης,

T_{base} , η θερμοκρασία βάσης

T_i , η εξωτερική θερμοκρασία αέρα σε °C τη δεδομένη ώρα i

Με τις δύο παραπάνω σχέσεις υπολογίζονται οι ημερήσιες τιμές των βαθμοωρών θέρμανσης (HDD_d) και ψύξης (CDD_d) αντίστοιχα, μετά από διαίρεση του αθροίσματος των θερμοκρασιακών διαφορών μεταξύ της θερμοκρασίας βάσης και της μέσης ωριαίας θερμοκρασίας με το 24, δηλαδή με τον αριθμό ωρών μίας ημέρας. Για τον προσδιορισμό των μηνιαίων βαθμοημερών προστίθενται οι ημερήσιες βαθμοημέρες για κάθε μέρα του μήνα. Αντίστοιχα, για τον προσδιορισμό των ετήσιων βαθμοημερών προστίθενται οι μηνιαίες βαθμοημέρες για κάθε μήνα του έτους ή κάθε εποχή. Στην περίπτωση που οι μέση ωριαία εξωτερική θερμοκρασία του αέρα υπερβεί την καθορισμένη θερμοκρασία βάσης την περίοδο θέρμανσης, τότε οι βαθμοημέρες θέρμανσης είναι μηδενικές. Γι' αυτό το λόγο λαμβάνεται υπόψη η θετική τιμή της θερμοκρασιακής διαφοράς. Ομοίως, εάν η μέση ωριαία εξωτερική θερμοκρασία του αέρα είναι μικρότερη της καθορισμένης θερμοκρασίας βάσης για την περίοδο ψύξης, τότε οι βαθμοημέρες ψύξης είναι μηδενικές.

2.4.2 Μέθοδος της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας, από την American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σε χώρες όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής (ASHRAE 2001) και η Γερμανία (German Standard VDI 2007), όπου οι βαθμοημέρες υπολογίζονται με τη χρήση της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας. Σε αυτή τη μέθοδο γίνεται η παραδοχή ότι τα συστήματα θέρμανσης δε λειτουργούν τις ημέρες κατά τις οποίες οι μέσες εξωτερικές θερμοκρασίες δεν υπερβαίνουν τη θερμοκρασία βάσης και τα συστήματα ψύξης δε λειτουργούν τις ημέρες κατά τις οποίες η θερμοκρασία βάσης υπερβαίνει τις μέσες εξωτερικές θερμοκρασίες.

Στη μέθοδο ASHRAE, μία βαθμοημέρα είναι η διαφορά μεταξύ της ημερήσιας μέσης θερμοκρασίας (T_m) και της θερμοκρασίας βάσης (T_b). [2]

Οι ημερήσιες βαθμοημέρες θέρμανσης και ψύξης μπορούν να εκτιμηθούν χρησιμοποιώντας τις παρακάτω εξισώσεις:

$$HDD_x = (T_b - T_m)^+$$

$$CDD_x = (T_m - T_b)^+$$

Το «x» αντιπροσωπεύει τη θερμοκρασία βάσης και το + στον εκθέτη υποδεικνύει τις θετικές τιμές.

Η μέση ημερήσια θερμοκρασία είναι ο μέσος όρος της ημερήσιας μέγιστης (T_{max}) και ημερήσιας ελάχιστης θερμοκρασία (T_{min}) και δίνεται από την εξίσωση:

$$T_m = \frac{(T_{max} + T_{min})}{2}$$

Ο παραπάνω τρόπος υπολογισμού των βαθμοημερών ψύξης και θέρμανσης αποτελεί την πιο απλή μέθοδο υπολογισμού των βαθμοημερών και γι' αυτό το λόγο προτιμάται από τους ερευνητές. [1, 14, 33, 21, 34]

2.4.3 Μέθοδος της μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας, από τη Μετεωρολογική Υπηρεσία του Ηνωμένου Βασιλείου (UKMO)

Παρόμοια με τη μέθοδο ASHRAE, η μέθοδος UKMO βασίζεται επίσης στη διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας βάσης και της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας για την εκτίμηση των βαθμοημερών. Χρησιμοποιεί οκτώ πιθανά σενάρια για να ληφθεί υπόψη η ασυμμετρία μεταξύ της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας και της ημερήσιας διακύμανσης της θερμοκρασίας, βελτιώνοντας έτσι τη μέθοδο ASHRAE [10]. Στους πίνακες III και IV φαίνεται πως υπάρχουν τέσσερις πιθανές περιπτώσεις μεταξύ της θερμοκρασίας βάσης και της ημερήσιας διακύμανσης της θερμοκρασίας. Συνεπώς, προκύπτουν τέσσερα πιθανά σενάρια για τον υπολογισμό του HDD και CDD αντίστοιχα. Ανάλογα με τα τέσσερα διαφορετικά σενάρια προκύπτει ο υπολογισμός των HDD και CDD μέσω της θερμοκρασίας βάσης (T_{base}) και των ημερήσιων μέγιστων (T_{max}) και ελάχιστων (T_{min}) θερμοκρασιών αντίστοιχα. Οι σχέσεις που συνδέουν αυτά τα δεδομένα είναι οι εξής:

1. Η θερμοκρασία βάσης πρέπει να είναι μεγαλύτερη της μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας $T_{base} \geq T_{max}$, όπως φαίνεται την πρώτη ημέρα.
2. $(T_{max} - T_{base}) < (T_{base} - T_{min})$, δηλαδή η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία υπερβαίνει τη θερμοκρασία βάσης λιγότερο από ότι η θερμοκρασία βάσης υπερβαίνει την ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία, όπως φαίνεται τη δεύτερη μέρα.
3. $(T_{max} - T_{base}) > (T_{base} - T_{min})$, δηλαδή η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία υπερβαίνει τη θερμοκρασία βάσης περισσότερο από ότι η θερμοκρασία βάσης υπερβαίνει την ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία, όπως φαίνεται την τρίτη μέρα.
4. $T_{min} \geq T_{base}$, δηλαδή η ελάχιστη θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία βάσης και οι βαθμοημέρες είναι μηδέν, όπως φαίνεται στην τέταρτη ημέρα.

Οι εξισώσεις για τον υπολογισμό των ημερήσιων βαθμοημερών θέρμανσης (HDD_d) και ψύξης (CDD_d) παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες και βασίζονται στις παραπάνω περιπτώσεις:

Πίνακας III: Εξισώσεις υπολογισμού ημερήσιων βαθμομερών θέρμανσης [10]

Περίπτωση	Συνθήκη	HDDd
1	$T_{base} \geq T_{max}$	$T_{base} - \frac{1}{2}(T_{max} + T_{min})$
2	$T_{base} > T_{min}$ και $(T_{max} - T_{base}) < (T_{base} - T_{min})$	$\frac{1}{2}(T_{base} - T_{min}) - \frac{1}{4}(T_{max} - T_{base})$
3	$T_{base} < T_{max}$ και $(T_{max} - T_{base}) > (T_{base} - T_{min})$	$\frac{1}{4}(T_{base} - T_{min})$
4	$T_{min} \geq T_{base}$	0

Πίνακας IV: Εξισώσεις υπολογισμού ημερήσιων βαθμομερών θέρμανσης [10]

Περίπτωση	Συνθήκη	CDDd
1	$T_{min} \geq T_{base}$	$\frac{1}{2}(T_{max} + T_{min}) - T_{base}$
2	$T_{base} < T_{max}$ και $(T_{max} - T_{base}) > (T_{base} - T_{min})$	$\frac{1}{2}(T_{max} - T_{base}) - \frac{1}{4}(T_{base} - T_{min})$
3	$T_{base} > T_{min}$ και $(T_{max} - T_{base}) < (T_{base} - T_{min})$	$\frac{1}{4}(T_{max} - T_{base})$
4	$T_{max} \leq T_{base}$	0

2.4.4 Μοντέλο Erbs

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, ο υπολογισμός των βαθμοημερών θέρμανσης μπορεί να γίνει από στατιστική επεξεργασία ωριαίων θερμοκρασιών από μεγάλες χρονοσειρές δεδομένων. Ωστόσο, συχνά τα ωριαία δεδομένα μετεωρολογικών σταθμών δεν είναι διαθέσιμα με αποτέλεσμα να δημιουργείται η ανάγκη ύπαρξης αξιόπιστων μοντέλων υπολογισμού των βαθμοημερών. Ένα ακριβές μοντέλο εκτίμησης των βαθμοημερών ξηρού θερμομέτρου είναι αυτό των Erbs et al. [15], στο οποίο χρησιμοποιείται η μέση τιμή μακρών χρονοσειρών μηνιαίας θερμοκρασίας ξηρού θερμομέτρου του περιβάλλοντος με σκοπό τον υπολογισμό των βαθμοημερών. Το μοντέλο αυτό έχει ως στόχο τη διόρθωση των χαμηλών ή και υψηλών τιμών των βαθμοημερών και τη χρήση ενός μειωμένου συνόλου δεδομένων, καθώς για τους υπολογισμούς χρησιμοποιούνται οι μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες περιβάλλοντος.

Σύμφωνα με το μοντέλο των Erbs et al. [15], 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.

2.4.5 Εξισώσεις Hitchin

Παρόμοια με τη μέθοδο ASHRAE, ο Hitchin [17] πρότεινε μια μέθοδο εκτίμησης μηνιαίων βαθμοημερών χρησιμοποιώντας δεδομένα μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας (T_m) και της τυπικής απόκλισης (σ_m) της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας [7].

Οι μηνιαίες βαθμοημέρες θέρμανσης και ψύξης δίνονται από τις παρακάτω εξισώσεις [16]. Το m αντιπροσωπεύει το μήνα και το x αντιπροσωπεύει τη θερμοκρασία βάσης.

$$HDD_m = \frac{N_m \cdot (T_{base} - T_m)}{1 - e^{-k(T_{base} - T_m)}}$$

Και οι βαθμοημέρες ψύξης δίνονται από τη σχέση:

$$CDD_m = \frac{N_m \cdot (T_m - T_{base})}{1 - e^{-k(T_m - T_{base})}}$$

Όπου:

$$k = \frac{2.5}{\sigma_m}$$

Όπου:

HDD_m , οι βαθμοημέρες θέρμανσης για τον εκάστοτε μήνα m ,

CDD_m , οι βαθμοημέρες ψύξης για τον εκάστοτε μήνα m ,

N_m , ο αριθμός των ημερών του εκάστοτε μήνα m .

2.4.6 Η μέθοδος της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας κατά Schoenau και Kehrigh (S-K)

Πρόκειται για μια στατιστική προσέγγιση για τον προσδιορισμό των μηνιαίων βαθμοημερών σε οποιαδήποτε θερμοκρασία βάσης (T_{base}) και αναπτύχθηκε από τους Schoenau και Kehrigh κάνοντας την παραδοχή ότι οι μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες είναι κανονικά κατανοημένες γύρω από τη μέση μηνιαία θερμοκρασία [35]. Ο υπολογισμός των μηνιαίων βαθμοημερών θέρμανσης με βάση τη θερμοκρασία βάσης υπολογίζονται από τη σχέση:

$$HDD_m = N_m \cdot \sigma_m \cdot [Z_b \cdot F(Z_b) + f(Z_b)]$$

Όπου:

$$Z_b = \frac{T_{base} - T_m}{\sigma_m}$$

Για τον υπολογισμό των μηνιαίων βαθμοημερών ψύξης με βάση τη θερμοκρασία βάσης χρησιμοποιείται ο παρακάτω τύπος:

$$CDD_m = N_m \cdot \sigma_m \cdot [Z_b \cdot F(Z_b) + f(Z_b)]$$

Όπου:

$$Z_b = \frac{T_m - T_{base}}{\sigma_m}$$

Όπου:

N_m , ο αριθμός των ημερών του εκάστοτε μήνα m ,

Z_b , η διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας βάσης (T_{base}) και της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας (T_m), η οποία έχει εξομαλυνθεί με την τυπική απόκλιση της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας (σ_m) [15].

3. Δεδομένα και Μεθοδολογία

Έχοντας πλέον κατανοήσει πλήρως την έννοια των βαθμοημερών, τις εφαρμογές τους αλλά και τις μεθόδους υπολογισμού τους, ακολουθεί η περιγραφή της μεθοδολογίας που χρησιμοποιήθηκε στη συγκεκριμένη μελέτη.

Το κύριο θέμα της παρούσας εργασίας διαρθρώνεται σε τρία επίπεδα. Το πρώτο αφορά στην σύγκριση των αποτελεσμάτων των βαθμοημερών που υπολογίστηκαν με αυτές που αναγράφονται στην Τεχνική Οδηγία Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. του Κ.Εν.Α.Κ. 2014 [47]. Επιπλέον, εξετάζεται η πιθανή χωρική αλλαγή των βαθμοημερών θέρμανσης και κατ' επέκταση των κλιματικών ζωνών σε δύο μελλοντικές περιόδους.

Στο δεύτερο μέρος της εργασίας αναλύονται οι τάσεις τεσσάρων μεταβλητών (βαθμοημέρες θέρμανσης, βαθμοημέρες ψύξης, μέση θερμοκρασία, μέγιστη θερμοκρασία) για τους τρεις χρονικούς ορίζοντες ενδιαφέροντος. Επιπλέον, εξετάζονται οι διαφορές των δεικτών των μελλοντικών περιόδων σε σύγκριση με την παρελθοντική περίοδο (περίοδος αναφοράς).

Τέλος, στο τρίτο μέρος της εργασίας, προτείνεται μια διαφορετική προσέγγιση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων σε σχέση με αυτή του Κ.Εν.Α.Κ., συνδυάζοντας τους δύο δείκτες HDD και CDD για τον ορισμό των κλιματικών ζωνών. Πιο συγκεκριμένα, δίνεται νέος ορισμός των κλιματικών ζωνών στον οποίο συνυπολογίζονται οι βαθμοημέρες θέρμανσης και ψύξης και οι κλιματικές ζώνες χαρακτηρίζονται από την συνολική ενέργεια που απαιτούν τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη.

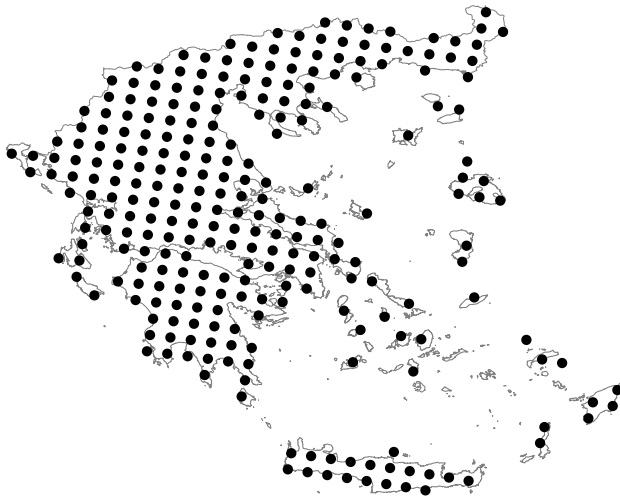
Για τον υπολογισμό των μέσων ετήσιων τιμών των βαθμοημερών θέρμανσης και ψύξης για κάθε σημείο πλέγματος της εξεταζόμενης περιοχής χρησιμοποιούνται ημερήσιες τιμές θερμοκρασίας. Τα δεδομένα αυτά προέρχονται από το περιοχικό μοντέλο RegCM4, εφαρμόζοντας το σενάριο RCP4.5 για 267 σημεία πλέγματος στην ελληνική περιοχή και καλύπτουν τις περιόδους 1980-2000, 2040-2060 και 2080-2099.

Κατά τον υπολογισμό των δύο δεικτών έγιναν οι ακόλουθες παραδοχές, ώστε τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων να καταστούν συγκρίσιμα:

- Για τον υπολογισμό των βαθμοημερών θεωρείται εικοσιτετράωρη λειτουργία του κτιρίου
- Υπολογίζονται οι ενεργειακές ανάγκες για το ίδιο πρότυπο κτίριο, μεταβάλλοντας μόνο την τοποθεσία του
- Ο μη θερμαινόμενος χώρος θεωρείται ενεργειακά αδρανής, δηλαδή, χωρίς ενεργειακή ζήτηση για θέρμανση, ψύξη και αερισμό, ενώ ο φωτισμός και τα εσωτερικά θερμικά κέρδη θεωρούνται μηδενικά

- Για τον υπολογισμό της κατανάλωσης θέρμανσης και ψύξης θεωρείται ότι το σύστημα καλύπτει πλήρως όλες τις θερμικές ζώνες του κτιρίου.

Στο παρακάτω σχήμα (σχήμα 8) παρουσιάζεται η γεωγραφική θέση των 267 σημείων πλέγματος που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.



Σχήμα 8: Γεωγραφική διανομή των σημείων πλέγματος

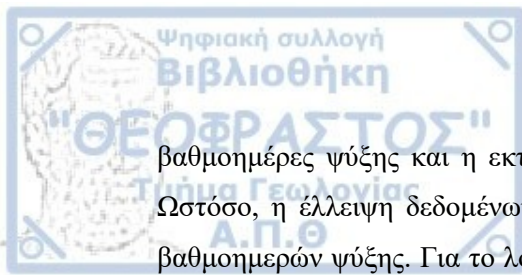
3.1 Επιλογή θερμοκρασίας βάσης

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, οι βαθμοήμερες θέρμανσης και ψύξης δίνουν την τιμή της ποσότητας και της διάρκειας που η θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από ένα ορισμένο κατώφλι, το οποίο ονομάζεται θερμοκρασία βάσης [18]. Η θερμοκρασία βάσης εξαρτάται από τις κατασκευαστικές προδιαγραφές κάθε κτιρίου. Για θέρμανση, η συνήθης θερμοκρασία βάσης για των υπολογισμό των βαθμοημερών θεωρείται η τιμή 18°C [5]. Η τιμή αυτή προέκυψε από το συνδυασμό της θεωρίας και εμπειρικών παρατηρήσεων που υποθέτουν πως, σε μακροπρόθεσμο μέσο όρο, τα ηλιακά και εσωτερικά κέρδη θα αντισταθμίζουν την απώλεια θερμότητας όταν η μέση ημερήσια εξωτερική θερμοκρασία είναι 18°C και ότι η κατανάλωση ενέργειας είναι ανάλογη με τη διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας βάσης και της ημερήσιας μέσης θερμοκρασίας [18].

Σε μελέτη που επικεντρώθηκε σε δύο πόλεις στην Ελλάδα (Αθήνα και Θεσσαλονίκη), οι ερευνητές χρησιμοποίησαν ετήσιες τιμές των βαθμοημερών θέρμανσης και ψύξης για δύο θερμοκρασίες βάσης 15°C (για θέρμανση) και 24°C (για ψύξη) με βάση τα ιστορικά ωριαία δεδομένα θερμοκρασίας. Επίσης, σύγκριναν τις τιμές των βαθμοημερών με εκείνες που προέκυψαν χρησιμοποιώντας ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών βάσης ($10\text{--}20^{\circ}\text{C}$ για θέρμανση και $20\text{--}28^{\circ}\text{C}$ για ψύξη). Παρατήρησαν μείωση της ζήτησης ενέργειας θέρμανσης κατά 11.5% και 5% και αύξηση της ζήτησης ενέργειας ψύξης κατά 26% και 10%, για την Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη, αντίστοιχα [29].

Η θερμοκρασία βάσης των 18°C χρησιμοποιείται στον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ) με σκοπό τον υπολογισμό των βαθμοημερών θέρμανσης διάφορων ελληνικών περιοχών και εφαρμόζεται και στις δύο μεθόδους της εργασίας αυτής. Η θερμοκρασία βάσης των 23°C επιλέχθηκε για τον υπολογισμό των βαθμοημερών ψύξης διότι θεωρείται περισσότερο αντιπροσωπευτική για κτίρια που βρίσκονται στη Νότια Ευρώπη, τα οποία είναι περισσότερο εκτεθειμένα στις κλιματικές συνθήκες λόγω της έλλειψης θερμομόνωσης.

Επιπλέον, είναι χρήσιμο να σημειωθεί ότι κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου, τα παράθυρα των κτιρίων συνήθως παραμένουν κλειστά, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει μεγάλη ανταλλαγή αέρα μεταξύ κτιρίου-περιβάλλοντος. Συνεπώς, δεν υπάρχει σημαντική διαφορά στα αποτελέσματα των βαθμοημερών θέρμανσης και των βαθμοωρών θέρμανσης για την εκτίμηση της ετήσιας κατανάλωσης θέρμανσης ενός κτιρίου. Από την άλλη μεριά, κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου, η έναρξη της μηχανικής ψύξης μπορεί να αναβληθεί με το άνοιγμα των παραθύρων, ειδικά κατά τη διάρκεια της νύχτας, όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι συνήθως κάτω από τη θερμοκρασία του σημείου ισορροπίας [15]. Επομένως, οι βαθμοώρες ψύξης αντιπροσωπεύουν καλύτερα την περίοδο λειτουργίας κλιματισμού σε αντίθεση με τις



βαθμομέρες ψύξης και η εκτίμηση της κατανάλωσης ενέργειας ψύξης είναι πιο ακριβής. Ωστόσο, η έλλειψη δεδομένων σε πολλές περιπτώσεις καθιστά απαραίτητη τη χρήση των βαθμομερών ψύξης. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται ένα πιο συντηρητικό κατώφλι (23°C αντί για 26°C) προκειμένου να συμπεριλαμβάνονται οι παραπάνω λόγοι στα αποτελέσματα.

Εν ολίγοις, με στόχο να καλυφθεί όλη η γεωγραφική περιοχή της Ελλάδας, η θερμοκρασία βάσης για θέρμανση θεωρήθηκε ίση με 18°C , ενώ για ψύξη θεωρήθηκε ίση με 23°C .

3.2 Επιλογή της μεθόδου υπολογισμού βαθμοημερών θέρμανσης και ψύξης

Μετά από λεπτομερή μελέτη των διαθέσιμων μεθόδων υπολογισμού των βαθμοημερών, στο προηγούμενο κεφάλαιο, και σε συνδυασμό με τα διαθέσιμα δεδομένα επιλέχθηκε η μέθοδος των ημερήσιων θερμοκρασιών, όμως τροποποιημένη. Στην παρούσα εργασία έχουν επιλεγθεί δύο θερμοκρασίες βάσης, μία για τον υπολογισμό των βαθμοημερών θέρμανσης και μία για τον υπολογισμό των βαθμοημερών ψύξης. Για θέρμανση επιλέχθηκε η θερμοκρασία 18°C και για ψύξη 23°C. Είναι πολύ σημαντικό να τονιστεί ότι για τον υπολογισμό των βαθμοημερών θέρμανσης χρησιμοποιήθηκαν τιμές μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας, ενώ για τις βαθμοημέρες ψύξης χρησιμοποιήθηκαν τιμές μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας. Για τον υπολογισμό των βαθμοημερών ψύξης χρησιμοποιήθηκε η μέγιστη θερμοκρασία αντί της μέσης καθώς ότι ο δείκτης CDD προορίζεται να καταγράψει τη ζήτηση για ψύξη κατά τη διάρκεια του θερμότερου μέρους της ημέρας, το οποίο συνήθως αντιπροσωπεύεται από τη μέγιστη θερμοκρασία.

Η μέθοδος αυτή κρίθηκε η καταλληλότερη, διότι:

- Δεν υπήρχαν διαθέσιμα ωριαία δεδομένα και τα δεδομένα του μοντέλου περιέχουν ημερήσιες μέσες και μέγιστες θερμοκρασίες, οπότε δε θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί αναλυτικότερη μέθοδος.
- Για τον υπολογισμό των βαθμοημερών θέρμανσης χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες, ενώ για τον υπολογισμό των βαθμοημερών ψύξης χρησιμοποιήθηκαν οι μέγιστες ημερήσιες θερμοκρασίες.
- Τέλος, για να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων της εργασίας με αυτών του Κ.Εν.Α.Κ. κρίθηκε αναγκαία η επιλογή της ίδιας μεθόδου αναφορικά με τον υπολογισμό των βαθμοημερών θέρμανσης.

Οι σχέσεις που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των βαθμοημερών θέρμανσης είναι:

$$HDD = \sum (T_{base} - T_{mean})^+$$

Ενώ η σχέση για τον υπολογισμό των βαθμοημερών ψύξης είναι:

$$CDD = \sum (T_{max} - T_{base}')^+$$

Όπου T_{base} : Η θερμοκρασία βάσης για τον υπολογισμό των βαθμοημερών θέρμανσης (18°C)

T_{base}' : Η θερμοκρασία βάσης για τον υπολογισμό των βαθμοημερών ψύξης (23°C)

T_{mean} : Η μέση ημερήσια θερμοκρασία

T_{max} : Η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία

3.3 Μεθοδολογία Καθορισμού Κλιματικών Ζωνών

Σε προηγούμενη ενότητα, παρουσιάστηκαν τα πρότυπα υπολογισμού των τεσσάρων κλιματικών ζωνών σύμφωνα με τους δείκτες HDD και CDD, με τη χρήση αρχείων καιρού για την περίοδο 1993-2003 και τη μέθοδο υπολογισμού μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας. Για την επικύρωση των κλιματικών ζωνών, πραγματοποιήθηκε ανάλυση με χρονοσειρά είκοσι ενός ετών (1980-2000). Με αυτό τον τρόπο έγινε σύγκριση των δύο παρελθοντικών περιόδων προκειμένου να ελεγχθεί η πρώτη από τη δεύτερη. Η κατάταξη του Κ.Εν.Α.Κ. περιλαμβάνει τα παρακάτω όρια:

Πίνακας V: Όρια κλιματικής κατάταξης Κ.Εν.Α.Κ.

Ζώνη	Όρια
A	$600 \leq \text{HDD} < 1100$
B	$1100 \leq \text{HDD} < 1600$
Γ	$1600 \leq \text{HDD} < 2200$
Δ	$\text{HDD} \geq 2200$

Στην παρούσα εργασία προτάθηκε μια επιπλέον κλιματική ζώνη, η οποία περιλαμβάνει τιμές του δείκτη HDD μικρότερες ή ίσες από 600. Αυτό συνέβη διότι χωρίς την προσθήκη αυτή, περιοχές με δείκτη $\text{HDD} \leq 600$ δε θα κατηγοριοποιούνταν σε κάποια κλιματική ζώνη. Επομένως, κρίθηκε αναγκαία η επέκταση της ήδη υπάρχουσας κατάταξης ώστε να συμπεριλαμβάνονται οι εκτιμώμενες μελλοντικές αλλαγές που αφορούν τη μέση θερμοκρασία και επηρεάζουν το δείκτη HDD. Κατά συνέπεια για τη νέα προτεινόμενη κατάταξη ισχύει:

Πίνακας VI: Όρια κλιματικής κατάταξης Κ.Εν.Α.Κ. μετά της προσθήκης μιας επιπλέον κλιματικής ζώνης

Ζώνη	Όρια
0	$0 \leq \text{HDD} < 600$
A	$600 \leq \text{HDD} < 1100$
B	$1100 \leq \text{HDD} < 1600$
Γ	$1600 \leq \text{HDD} < 2200$
Δ	$\text{HDD} \geq 2200$

Στη συνέχεια, κρίθηκε απαραίτητο να δημιουργηθεί μια κατάταξη κλιματικών ζωνών οι οποία θα περιγράφει τις ενεργειακές απαιτήσεις ενός κτιρίου συνολικά για θέρμανση και ψύξη. Έτσι, χρησιμοποιήθηκε η κατάταξη των Tsikaloudaki et al. [41] με σκοπό να συμπεριληφθούν και οι βαθμοημέρες ψύξης στην ενεργειακή απόδοση.

Ζώνη	Περιγραφή	Ενεργειακές απαιτήσεις
A'	$CDD \geq 500$ και $HDD < 1500$	Υψηλή ανάγκη για ψύξη, χαμηλή ανάγκη για θέρμανση
B'	$CDD \geq 500$ και $1500 \leq HDD < 3000$	Υψηλή ανάγκη για ψύξη, μέτρια ανάγκη για θέρμανση
Γ'	$CDD < 500$ και $HDD < 1500$	Χαμηλή ανάγκη για ψύξη, χαμηλή ανάγκη για θέρμανση
Δ'	$CDD < 500$ και $1500 \leq HDD < 3000$	Χαμηλή ανάγκη για ψύξη, μέτρια ανάγκη για θέρμανση
Ε'	$CDD < 500$ και $HDD \geq 3000$	Χαμηλή ανάγκη για ψύξη, υψηλή ανάγκη για θέρμανση

Η ζώνη A' αντιπροσωπεύει περιοχές οι οποίες έχουν μικρό HDD και μεγάλο CDD και χαρακτηρίζονται από υψηλή ανάγκη για ψύξη, αλλά χαμηλή ανάγκη για θέρμανση. Στη ζώνη B' ανήκουν οι περιοχές οι οποίες, όπως στη ζώνη A', έχουν υψηλή ανάγκη για ψύξη, όμως η ανάγκη τους για θέρμανση είναι μέτρια. Από την άλλη μεριά οι ζώνες Γ', Δ' και Ε' απαιτούν χαμηλή ψύξη, ωστόσο η πρώτη έχει χαμηλή ανάγκη για θέρμανση, η δεύτερη μέτρια και τέλος, η τρίτη υψηλή. Ουσιαστικά, η ζώνη A' αντιπροσωπεύει θερμότερα κλίματα, η ζώνη Ε' ψυχρότερα, ενώ οι υπόλοιπες χαρακτηρίζουν ενδιάμεσα κλίματα.

4. Αποτελέσματα μεθόδου Κ.Εν.Α.Κ.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τον υπολογισμό των βαθμοημερών θέρμανσης και ψύξης, αντίστοιχα, για τα σημεία πλέγματος της ελληνικής περιοχής σύμφωνα με τη μέθοδο του Κ.Εν.Α.Κ.

Στην πρώτη υποενότητα υπολογίζονται οι βαθμοημέρες θέρμανσης για την περίοδο 1980-2000 και γίνεται κατάταξη των σημείων πλέγματος σε κλιματικές ζώνες, όπως έχουν αναφερθεί στην Τεχνική Οδηγία 20701-3/2010, με βάση τις μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες.

Στη συνέχεια, στη δεύτερη υποενότητα, υπολογίζονται οι βαθμοημέρες θέρμανσης των δύο μελλοντικών περιόδων και κατατάσσονται σε κλιματικές ζώνες. Για την εξυπηρέτηση των αναγκών μελέτης των μελλοντικών περιόδων προτείνεται η εισαγωγή μιας κλιματικής ζώνης, η οποία συμπεριλαμβάνει τιμές βαθμοημερών θέρμανσης μικρότερες από 600.

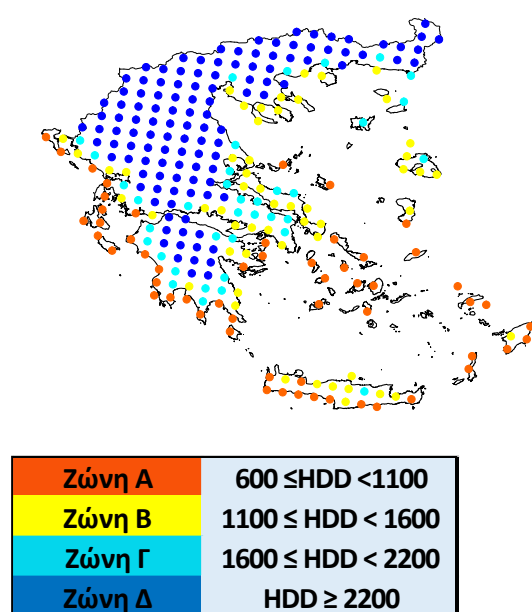
Στην τρίτη υποενότητα αναλύονται οι τάσεις των βαθμοημερών θέρμανσης και ψύξης για τις τρεις περιόδους μελέτης, αλλά και των μέσων και μέγιστων θερμοκρασιών που χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς. Αυτή η μεθοδολογία έχει σκοπό την παρακολούθηση του ρυθμού αλλαγής των τεσσάρων παραμέτρων (HDD , CDD , T_{mean} , T_{max}) προκειμένου να βοηθήσουν στην ερμηνεία ορισμένων αποτελεσμάτων.

Στην τέταρτη υποενότητα εξετάζονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη διερευνητική ανάλυση των βαθμοημερών θέρμανσης. Σχολιάζονται οι διαφορές που παρατηρούνται ανάμεσα στις κλιματικές ζώνες για κάθε χρονική περίοδο αλλά και οι διαφορές ανάμεσα στις υπό εξέταση περιόδους.

4.1 Ανάλυση των κλιματικών ζωνών βάσει της Τεχνικής Οδηγίας του Κ.Εν.Α.Κ.

Για τον έλεγχο και την επικαιροποίηση της κατάταξης των κλιματικών ζωνών του Κ.Εν.Α.Κ. υπολογίστηκαν οι βαθμομέρες θέρμανσης χρησιμοποιώντας τη μέθοδο μέσων ημερήσιων τιμών εξωτερικής θερμοκρασίας με θερμοκρασία βάσης 18°C. Η διαφοροποίηση που έγινε στην παρούσα εργασία είναι η χρήση μεγαλύτερης χρονοσειράς δεδομένων από το 1980 έως το 2000 σε σχέση με την προηγούμενη που ήταν από το 1993 έως το 2003 και η προέλευση των δεδομένων θερμοκρασίας, τα οποία προέρχονται από το περιοχικό μοντέλο RegCM4 και όχι από μετεωρολογικούς σταθμούς όπως έγινε στην Τεχνική Οδηγία. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν.

Κλιματικές ζώνες 1980-2000



Σχήμα 9: Κλιματικές ζώνες σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ. για την περίοδο 1980-2000.

Στο Σχήμα 9 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των κλιματικών ζωνών σύμφωνα με τις βαθμομέρες θέρμανσης με θερμοκρασία βάσης 18°C, στην ευρύτερη περιοχή της Ελλάδας, με βάση το μοντέλο RegCM4. Στο σχήμα οι κουκκίδες αντιπροσωπεύουν τις διάφορες κλιματικές ζώνες για τη χρονική περίοδο 1980-2000, όπως ορίζονται από την Τεχνική Οδηγία. Σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ. η ελληνική επικράτεια χωρίζεται σε τέσσερις κλιματικές ζώνες με βάση τις βαθμομέρες θέρμανσης, οι οποίες παρουσιάζονται μαζί με τα όρια τους στο σχήμα 9 και ταξινομούνται από τη θερμότερη προς την ψυχρότερη. Σε αυτή την εργασία ο χαρακτηρισμός των κλιματικών ζωνών ως «θερμότερης» και «ψυχρότερης» γίνεται έχοντας ως μέτρο τον αριθμό βαθμομερών θέρμανσης. Ουσιαστικά, μια «θερμή» κλιματική ζώνη αποτελείται από μικρό αριθμό βαθμομερών θέρμανσης, ενώ μια «ψυχρή» κλιματική ζώνη αποτελείται από μεγάλο αριθμό βαθμομερών θέρμανσης.

Είναι εμφανές ότι για την περίοδο 1980-2000 η επικρατούσα κλιματική ζώνη στην Ελλάδα είναι η ζώνη Δ. Η ζώνη αυτή καλύπτει το βόρειο τμήμα της χώρας και εκτείνεται νοτιότερα στα κεντρικά όμως του ηπειρωτικού κορμού και κυρίως σε περιοχές με ορεινό ανάγλυφο. Από την άλλη μεριά, στην αμέσως επόμενη θερμότερη ζώνη (ζώνη Γ) φαίνεται να ανήκουν οι γειτονικές περιοχές με πιο χαμηλό υψόμετρο και κοντά σε πεδιάδες. Ακολουθεί η κλιματική ζώνη Β με περιοχές που βρίσκονται κοντά στην ακτογραμμή ή σε νησιά. Τέλος, στη θερμότερη κλιματική ζώνη (ζώνη Α) κατατάσσονται οι περιοχές της Νότιας Ελλάδας και κυρίως τα νησιά του Ιονίου και του Αιγαίου.

Συγκρίνοντας τη γεωγραφική κατανομή των κλιματικών ζωνών (Σχήμα 9) με το γεωμορφολογικό χάρτη της Ελλάδας είναι εμφανές πως οι θερμότερες κλιματικές ζώνες βρίσκονται στο πεδινό και νησιωτικό μέρος της χώρας, ενώ οι ψυχρότερες κλιματικές ζώνες καλύπτουν τις ορεινές περιοχές.

Πίνακας VIII: Ποσοστά κάθε κλιματικής ζώνης για την περίοδο 1980-2000.

Ζώνη	Μετεωρολογικοί σταθμοί		Σημεία πλέγματος	
	Άθροισμα	Ποσοστό	Άθροισμα	Ποσοστό
A	27	44%	56	21%
B	12	19%	54	20%
Γ	14	23%	37	14%
Δ	7	11%	120	45%

Μετά την επεξεργασία των δεδομένων του περιοχικού μοντέλου φαίνεται πως η ζώνη Δ είναι η επικρατέστερη στον ελληνικό χώρο με ποσοστό 45% (120 σημεία πλέγματος). Στη συνέχεια ακολουθούν οι ζώνες Α και Β με ποσοστά 21% και 20% αντίστοιχα (56 και 54 σημεία πλέγματος αντιστοίχως), ενώ η ζώνη με τη μικρότερη εξάπλωση φαίνεται να είναι η Γ με ποσοστό 14% (37 σημεία πλέγματος).

Από την άλλη μεριά, σύμφωνα με την Τεχνική Οδηγία του Κ.Εν.Α.Κ. στην Ελλάδα υπερισχύει η κλιματική ζώνη Α, στην οποία ανήκουν οι περισσότεροι (27) μετεωρολογικοί σταθμοί με ποσοστό 44%. Αντιθέτως, η ζώνη Δ είναι η ζώνη με τη μικρότερη γεωγραφική έκταση αφού σε αυτήν ανήκουν οι λιγότεροι σταθμοί (7), με ποσοστό 11%. Στη ζώνη Β ανήκουν 12 σταθμοί και αποτελούν το 19% και ακολουθεί η ζώνη Γ με 14 σταθμούς και ποσοστό 23%. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό το γεγονός ότι δύο μετεωρολογικοί σταθμοί δεν ταξινομούνται σε καμία από τις τέσσερις κλιματικές ζώνες αφού η μέση ετήσια τιμή του HDD είναι μικρότερη από 600.

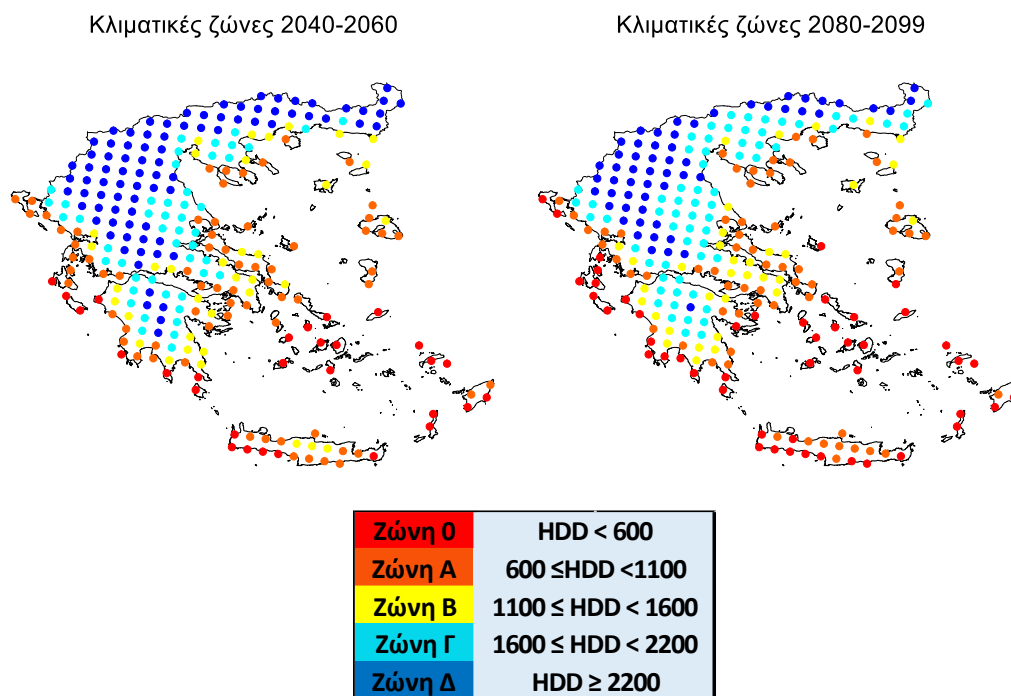
Στην προσπάθεια να εξεταστεί και να εκτιμηθεί η πιθανή αλλαγή των κλιματικών ζωνών στο μέλλον παρατηρήθηκε πως η παραπάνω κατάταξη, αν και ικανοποιητική για την περίοδο αναφοράς, είναι ελλιπής για τις δύο μελλοντικές περιόδους. Συνεπώς, δημιουργήθηκε μια ακόμη κλιματική ζώνη, η οποία ονομάστηκε Ζώνη Θ, στην οποία ανήκουν οι περιοχές με

αριθμό βαθμοημερών θέρμανσης μικρότερο του 600. Η εισαγωγή της νέας κλιματικής ζώνης οφείλεται στο γεγονός ότι ορισμένα σημεία πλέγματος (36 σε αριθμό) δεν μπόρεσαν να καταταχθούν στις αρχικές τέσσερις κλάσεις. Έτσι, με την προσθήκη μιας ακόμα ζώνης (Ζώνη 0), η οποία προκύπτει από τη συνθήκη $0 \leq HDD < 600$, δηλαδή μιας ζώνης με ακόμη λιγότερες βαθμοημέρες θέρμανσης από τη ζώνη Α, μπορούν να καταταχθούν και τα υπόλοιπα 36 σημεία.

Με βάση το σχήμα 10 (αριστερά), το οποίο αναφέρεται στην πρώτη μελλοντική περίοδο, παρατηρείται ότι οι παράκτιες περιοχές και γενικότερα οι περιοχές του νότιου τμήματος της χώρας ανήκουν στη θερμότερη κλιματική ζώνη, όπου οι ανάγκες για θέρμανση είναι μικρότερες συγκριτικά με την υπόλοιπη χώρα. Αντίθετα, οι ηπειρωτικές περιοχές με μεγαλύτερο γεωγραφικό πλάτος ανήκουν σε ψυχρότερες κλιματικές ζώνες, με μεγαλύτερες ανάγκες κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση. Η παραπάνω χωρική κατανομή δηλώνει πως οι ενεργειακές ανάγκες για θέρμανση παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλομορφία εντός της ευρύτερης περιοχής της Ελλάδας. Πράγματι, οι περιοχές που βρίσκονται κοντά στη θάλασσα έχουν πιο ήπιο χειμώνα από εκείνες που βρίσκονται στα μέσα της ηπείρου. Έτσι, είναι λογικό πως περιοχές κοντά και γύρω από τις παράκτιες περιοχές να ανήκουν σε θερμότερη κλιματική ζώνη, σε σχέση με άλλες περιοχές που έχουν παρόμοιο υψόμετρο αλλά βρίσκονται στα ηπειρωτικά. Σαφώς, οι ενεργειακές ανάγκες των περιοχών αυτών για θέρμανση είναι μικρότερες. Αντίστοιχα, αναφορικά με τη συσχέτιση του υψομέτρου και της κλιματικής ζώνης κάθε περιοχής φαίνεται πως βρίσκεται σε συμφωνία με το χάρτη αναγλύφου της χώρας, καθώς τα ορεινά τμήματα ανήκουν στις ψυχρότερες ζώνες καθώς ο δείκτης HDD είναι μεγαλύτερος, ενώ οι πεδινές περιοχές ανήκουν σε πιο θερμές ζώνες.

Η κατάταξη των κλιματικών ζωνών γίνεται από τη θερμότερη ζώνη (κόκκινο και πορτοκαλί χρώμα), δηλαδή εκείνη με τις μικρότερες ενεργειακές απαιτήσεις, προς την ψυχρότερη ζώνη (γαλάζιο χρώμα), δηλαδή εκείνη με τις μεγαλύτερες ενεργειακές απαιτήσεις. Σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ. [46], σε κάθε νομό, οι περιοχές που βρίσκονται σε υψόμετρο άνω των 500 μέτρων εντάσσονται στην επόμενη ψυχρότερη κλιματική ζώνη από εκείνη στην οποία ανήκουν σύμφωνα με τις βαθμοημέρες θέρμανσης. Ωστόσο, στην παρούσα εργασία δεν εφαρμόζεται αυτή η συνθήκη διότι η κατάταξη έγινε με σημεία πλέγματος περιοχικού μοντέλου και όχι με μετρήσεις μετεωρολογικών σταθμών. Στο σχήμα 10 (αριστερά) φαίνεται πως στη Βόρεια Ελλάδα επικρατούν οι ψυχρότερες κλιματικές ζώνες, οι οποίες ακολουθούν το ορεινό ανάγλυφο της χώρας και ειδικότερα την οροσειρά της Πίνδου, ενώ όσο μειώνεται το γεωγραφικό πλάτος οι κλιματικές ζώνες είναι θερμότερες κυρίως στα δυτικά και ανατολικά αλλά και στη Νότια Ελλάδα. Αντίστοιχα, οι θερμότερες κλιματικές ζώνες συναντώνται στα ελληνικά νησιά. Στο σχήμα 10 (αριστερά) ήδη φαίνεται η εμφάνιση της καινούργιας και θερμότερης κλιματικής ζώνης 0, η οποία αντικαθιστά σε πολλές περιοχές, κυρίως νησιωτικές, τη ζώνη Α. Επιπλέον, παρατηρείται πως κι άλλες κλιματικές ζώνες αντικαθίστανται από την

επόμενη θερμότερη ζώνη σε πολλές περιοχές της χώρας. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται από το διάγραμμα μέσων θερμοκρασιών, το οποίο παρουσιάζει αυξητική τάση για την περίοδο 2040-2060 σε σχέση με την περίοδο 1980-2000 και εκτιμά ότι οι μέσες θερμοκρασίες θα αυξηθούν μέχρι το τέλος του αιώνα (Σχήμα 26). Ακόμη πιο έντονα φαίνονται όλα τα παραπάνω στο σχήμα 10 (δεξιά) όπου πλέον η κλιματική ζώνη Δ μειώνεται ακόμη περισσότερο σε έκταση, ενώ ταυτόχρονα είναι ξεκάθαρη η επέκταση της ζώνης 0, κυρίως στη Νότια Ελλάδα.



Σχήμα 10: Κλιματικές ζώνες σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ. για τις περιόδους 2040-2060 (αριστερά) και 2080-2099 (δεξιά).

Στον πίνακα ΙΧ που ακολουθεί παρουσιάζεται ο αριθμός σημείων πλέγματος που αντιστοιχεί σε κάθε κλιματική ζώνη για τις δύο μελλοντικές περιόδους 2040-2060 και 2080-2099. Είναι φανερό από την πρώτη κιόλας μελλοντική περίοδο ότι η ζώνη 0 αντιπροσωπεύει μεγάλο αριθμό σημείων δηλώνοντας πως οι ενεργειακές ανάγκες για θέρμανση θα μειωθούν. Η ζώνη Δ αν και εξακολουθεί να είναι η επικρατέστερη με ποσοστό 32%, φαίνεται να παρουσιάζει σημαντική μείωση ποσοστού. Η ζώνη Α είναι η δεύτερη επικρατέστερη ζώνη με ποσοστό 26% ποσοστό και ακολουθούν οι ζώνες Γ (18%), Β (14%) και 0 (11%). Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι αυξάνονται τα ποσοστά των θερμότερων κλιματικών ζωνών, ενώ μειώνονται αυτά των ψυχρότερων κλιματικών ζωνών.

Ακόμη πιο έντονα φαίνονται όλα τα παραπάνω τη δεύτερη μελλοντική περίοδο όπου πλέον η κυρίαρχη κλιματική ζώνη είναι η Γ (24%), με τη ζώνη Δ να μειώνεται σημαντικά σε ποσοστό συγκριτικά με την παρελθοντική περίοδο και να φτάνει το 21%. Οι ζώνες Α και Β δεν



παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές στα ποσοστά τους, όμως η ζώνη 0 επεκτείνεται ακόμη περισσότερο και φτάνει πλέον το ποσοστό 18%.

Πίνακας ΙΧ: Αριθμός σημείων πλέγματος κάθε κλιματικής ζώνης για τις περιόδους 2040-2060 και 2080-2099.

	2040-2060		2080-2099	
Ζώνη 0	29	11%	49	18%
Ζώνη Α	69	26%	62	23%
Ζώνη Β	36	14%	34	13%
Ζώνη Γ	48	18%	65	24%
Ζώνη Δ	85	32%	57	21%

4.2 Χωρική σύγκριση HDD και CDD: Περίοδος αναφοράς – Μελλοντικές περιόδους

Παρόλο που η παραπάνω ταξινόμηση δίνει μια γενική εικόνα της κλιματικής κατάταξης της χώρας σύμφωνα με τις ενεργειακές ανάγκες, παρατηρείται ότι επικεντρώνεται στις βαθμοημέρες θέρμανσης οι οποίες αφορούν μόνο την ζήτηση για θέρμανση και όχι για κλιματισμό. Συνεπώς, δημιουργείται η ανάγκη μελέτης της εξέλιξης των βαθμοημερών ψύξης για την περίοδο αναφοράς, αλλά και για τις μελλοντικές περιόδους. Για τον παραπάνω λόγο κρίθηκε απαραίτητη η εξέταση της παραμέτρου των βαθμοημερών ψύξης με σκοπό να κριθεί αν είναι ή όχι σημαντικό να συμπεριληφθούν στην τελική κατάταξη του κλίματος της χώρας.

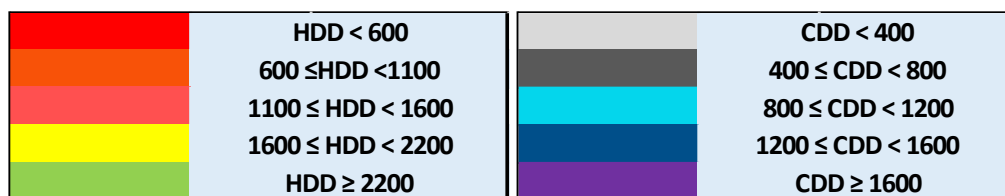
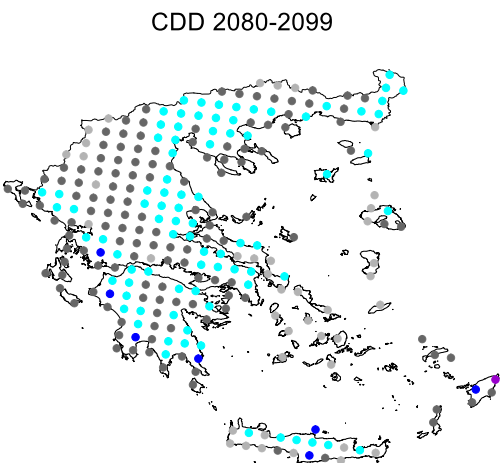
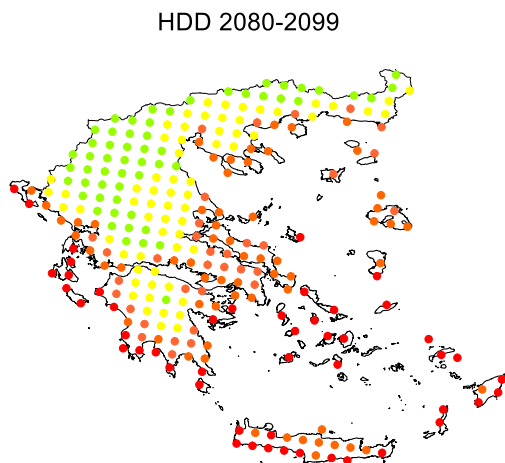
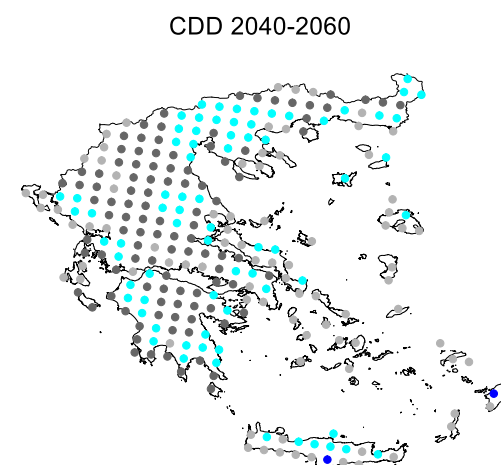
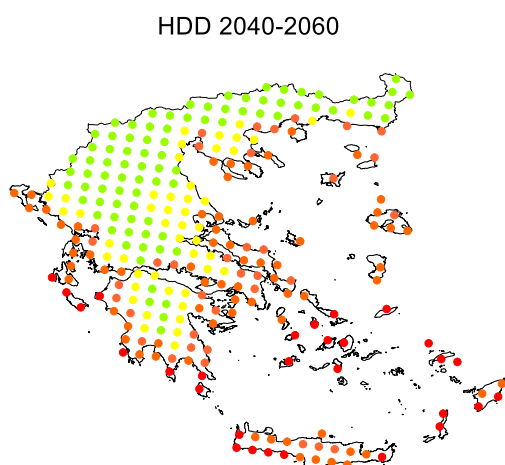
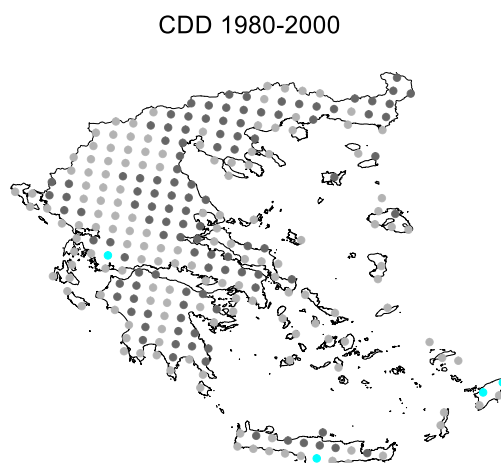
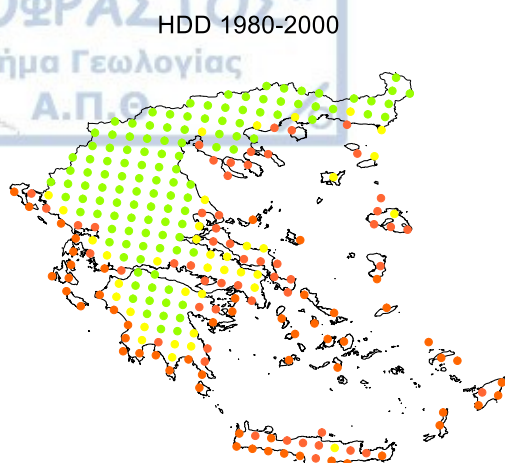
Στην παρακάτω ανάλυση γίνεται παρουσίαση της χωρική κατανομής των μέσων ετήσιων τιμών των δεικτών HDD και CDD για τους τρεις χρονικούς ορίζοντες ενδιαφέροντος: το «πρόσφατο παρελθόν – περίοδος αναφοράς», το «εγγύς μέλλον – πρώτη μελλοντική περίοδος» και το «μακρινό μέλλον – δεύτερη μελλοντική περίοδος» (Σχήμα 11). Συγκεκριμένα, προβάλλονται οι μέσες ετήσιες τιμές HDD και CDD για το πρόσφατο παρελθόν, δηλαδή 1980–2000 (12α,β), για το εγγύς μέλλον, δηλαδή 2040–2060 (Σχήμα 11γ,δ) και για το μακρινό μέλλον, δηλαδή 2080–2099 (Σχήμα 11ε,στ).

Όσον αφορά στη χωρική κατανομή των βαθμοημερών στο πρόσφατο παρελθόν τόσο για το HDD όσο και για το CDD υπάρχουν σαφή μοτίβα που σχετίζονται με το γεωγραφικό πλάτος και το υψόμετρο. Γενικά, στο βόρειο τμήμα της χώρας, που χαρακτηρίζεται από χαμηλότερες θερμοκρασίες και υψηλά επίπεδα βροχοπτώσεων, με έντονες χιονοπτώσεις κατά τους χειμερινούς μήνες, παρουσιάζονται υψηλές τιμές HDD και χαμηλές τιμές CDD, γεγονός που αντανακλά την ανάγκη για θέρμανση κατά την ψυχρή περίοδο του έτους. Αντίθετα, στο μεγαλύτερο μέρος της Νότιας Ελλάδας, που χαρακτηρίζεται από υψηλότερες θερμοκρασίες, με χαμηλά επίπεδα βροχοπτώσεων, παρουσιάζονται χαμηλές έως μέτριες τιμές HDD και υψηλές τιμές CDD, γεγονός που αντανακλά την ανάγκη για ψύξη κατά τη θερμή περίοδο του έτους.

Για το εγγύς μέλλον παρατηρείται μείωση του HDD στο σύνολο της χώρας. Ακόμη, εμφανίζονται τιμές του HDD μικρότερες του 600, που σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ. σηματοδοτούσε το πρώτο όριο της ζώνης Α. Φαίνεται, δηλαδή, πως από την πρώτη κιόλας μελλοντική περίοδο πως η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του αέρα θα επηρεάσει την ενεργειακή κατάσταση στη θέρμανση. Ομοίως, για τον αριθμό του CDD είναι εμφανής η αύξηση των περιοχών που θα απαιτούν μεγαλύτερη ψύξη, γεγονός που οφείλεται στην αύξηση των μέγιστων θερμοκρασιών (Σχήμα 27), οι οποίες θα εξεταστούν παρακάτω. Τέλος, αναφορικά με το μακρινό μέλλον, παρατηρείται ότι οι ανάγκες για κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση θα μειωθούν ακόμη περισσότερο, ιδιαίτερα στη Νότια Ελλάδα. Η Βόρεια Ελλάδα



παρουσιάζει τις πιο μεγάλες τιμές HDD (>2200), ωστόσο, κατά πολύ μικρότερες συγκριτικά με τις δύο προηγούμενες χρονικές περιόδους. Αντίστοιχα, οι βαθμομέρες ψύξης καταγράφουν τιμές μεγαλύτερες από 1600. Συμπερασματικά, μέχρι το τέλος του 21^{ου} αιώνα φαίνεται πως τα κτίρια στην ελληνική περιοχή θα έχουν πολύ μικρότερη ανάγκη για θέρμανση σε σχέση με το παρόν, ενώ αντίθετα η κατανάλωση ενέργειας για ψύξη φαίνεται πως θα αυξηθεί σημαντικά.



Σχήμα 11: Χωρική κατανομή των μέσων ετήσιων HDD και CDD για τους τρεις χρονικούς ορίζοντες ενδιαφέροντος (1980–2000, 2040–2060, 2080–2099), σύμφωνα με τα όρια της Τεχνικής Οδηγίας Κ.Εν.Α.Κ., για τα όρια του δείκτη CDD δεν υπήρχε σχετική οδηγία οπότε ορίστηκαν από τη συγγραφέα.



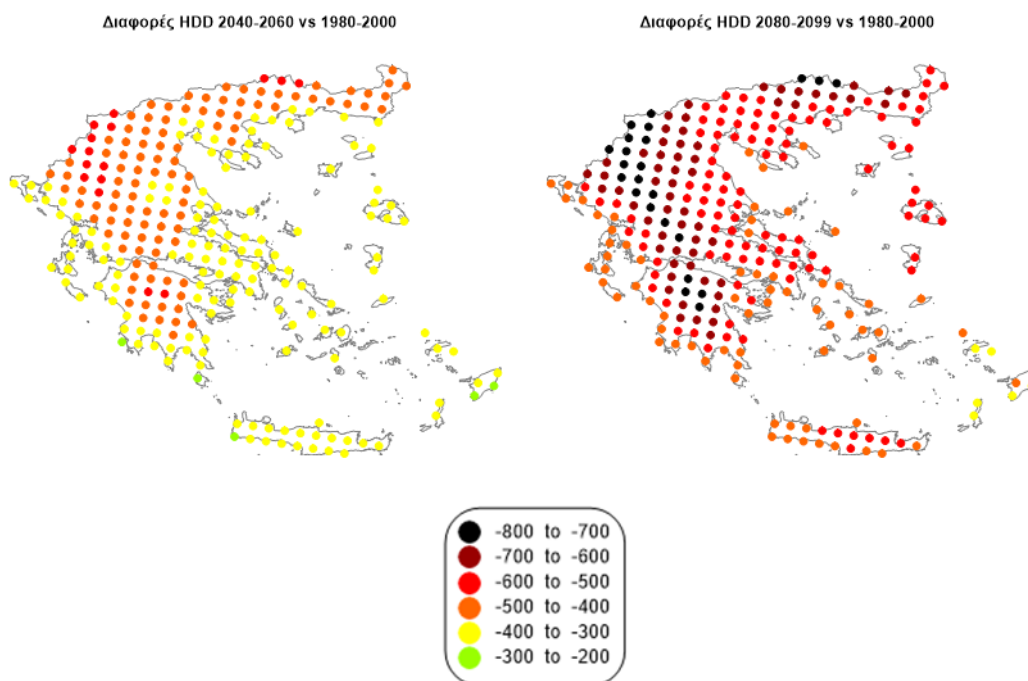
Στον πίνακα X παρουσιάζονται οι μέσες ετήσιες τιμές των δεικτών HDD και CDD και σχολιάζεται η πορεία που ακολουθεί κάθε δείκτης. Για την περίοδο 1980-2000, η τιμή που προκύπτει από τα 267 σημεία πλέγματος για το μέσο όρο των βαθμομερών στη χώρα είναι $2057^{\circ}\text{C} \times \text{D}$ ανά έτος, ενώ οι βαθμομέρες ψύξης $369^{\circ}\text{C} \times \text{D}$ ανά έτος. Στη συνέχεια, για την περίοδο 2040-2060 οι βαθμομέρες θέρμανσης σημειώνουν πτώση ($1658^{\circ}\text{C} \times \text{D}$ ανά έτος), ενώ οι βαθμομέρες ψύξης μειώση. Τελικά, την περίοδο 2080-2099 οι βαθμομέρες θέρμανσης μειώνονται ακόμη περισσότερο και φτάνουν τις 1500 βαθμομέρες ανά έτος και αντίστοιχα οι βαθμομέρες ψύξης αυξάνονται κι άλλο και φτάνουν τις 675 ημέρες ανά έτος.

Πίνακας X: Μεσοποιημένες τιμές των ετήσιων HDD και CDD (1990-2000, 2040-2060 και 2080-2099).

	1980-2000		2040-2060		2080-2099	
	HDD	CDD	HDD	CDD	HDD	CDD
average	2057	369	1658	594	1500	675

4.3 Διαφορές των δεικτών HDD και CDD μεταξύ των περιόδων

Στη συνέχεια, διερευνάται το μέγεθος μεταβολής των δεικτών HDD και CDD στην ελληνική περιοχή. Για το λόγο αυτό στα παρακάτω σχήματα απεικονίζονται οι διαφορές στις βαθμοημέρες θέρμανσης και ψύξης ανάμεσα στις δύο μελλοντικές περιόδους με την περίοδο αναφοράς. Οι διαφορές προέκυψαν από την αφαίρεση της μέσης ετήσιας τιμής των βαθμοημερών θέρμανσης ή ψύξης της καθεμιάς μελλοντικής περιόδου από την αντίστοιχη μέση τιμή της παρελθοντικής περιόδου. Όπως θα φανεί και στη συνέχεια, το αρνητικό πρόσημο δηλώνει μείωση του δείκτη κατά τις μελλοντικές περιόδους, ενώ το θετικό πρόσημο δηλώνει αύξηση.



Σχήμα 12: Διαφορές μεταξύ του μέσου ετήσιου HDD στο εγγύς μέλλον (2040-2060) (αριστερά), το μακρινό μέλλον (2080-2099) (δεξιά) με το πρόσφατο παρελθόν (1980-2000).

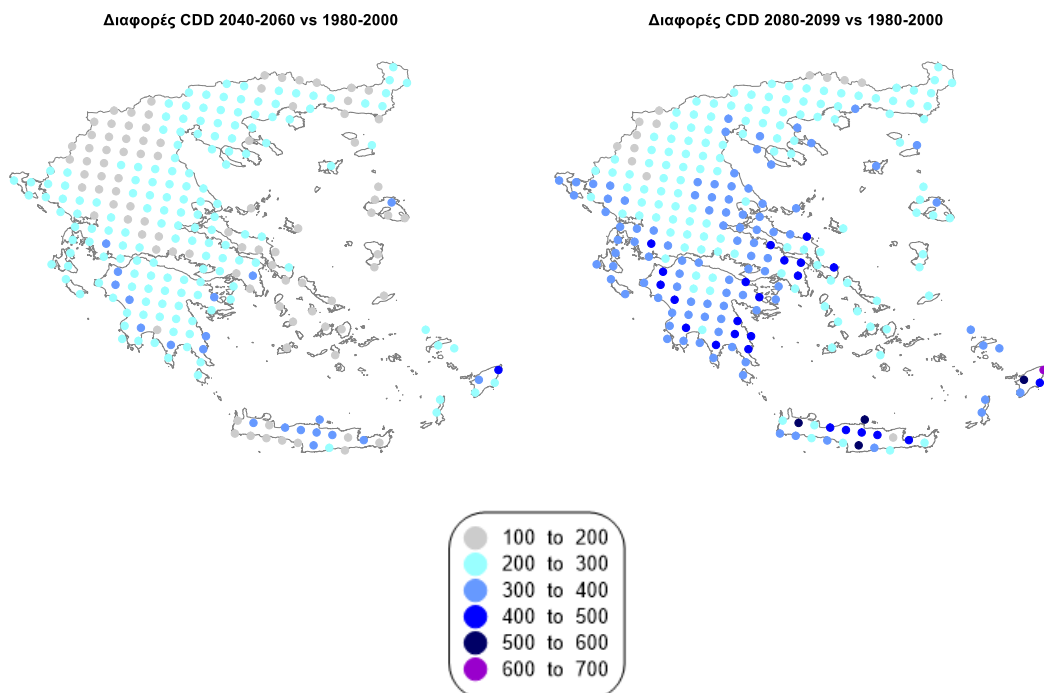
Εξετάζοντας τον τρόπο μεταβολής του δείκτη HDD μεταξύ των μελλοντικών περιόδων και της περιόδου αναφοράς 1980-2000 διακρίνονται σημαντικές διαφορές στον αριθμό των βαθμοημερών θέρμανσης σε ολόκληρη τη χώρα. Τα αποτελέσματα προβλέπουν μια χωρική ετερογένεια με σημαντικές αρνητικές διαφορές την περίοδο 2040-2060 και 2080-2099 (Σχήμα 12 αριστερά και δεξιά). Αυτό δείχνει ότι για τα σημεία πλέγματος που εξετάζονται οι ανάγκες στη ζήτηση θέρμανσης θα εξελιχτούν σε διαφορετικό βαθμό. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχουν περιοχές οι οποίες παρουσιάζουν μείωση στον αριθμό των βαθμοημερών τους, ωστόσο, η μείωση αυτή δεν είναι αρκετή ώστε να μεταβάλει την κλιματική ζώνη στην οποία ανήκουν. Από την άλλη μεριά, άλλες περιοχές σημειώνουν μεγάλη μείωση η οποία μπορεί να τις ωθήσει προς επόμενες «θερμότερες» κλιματικές ζώνες. Οι αρνητικές τιμές υποδηλώνουν μείωση στον

αριθμό των βαθμοημερών σε ολόκληρη τη χώρα, δηλώνοντας πως δεν υπάρχουν περιοχές με αύξηση των βαθμοημερών θέρμανσης.

Αναλυτικότερα, για την περίοδο 2040-2060 οι μεγαλύτερες διαφορές συναντώνται στο βόρειο και κεντρικό ηπειρωτικό τμήμα της χώρας, κυρίως σε περιοχές με ορεινό ανάγλυφο με τις τιμές να κυμαίνονται από -400 έως -600. Οι μικρότερες διαφορές εντοπίζονται στα νησιά, την Αττική και την Εύβοια και γενικά στις περιοχές που βρίσκονται κοντά στη θάλασσα όπου οι διαφορές των βαθμοημερών θέρμανσης κυμαίνονται από -200 έως -400.

Για τη μελλοντική περίοδο 2080-2099, το μοτίβο της απεικόνισης της γεωγραφικής κατανομής των μεγαλύτερων και μικρότερων τιμών παρουσιάζει ομοιότητες με αυτό της περιόδου 2040-2060. Ωστόσο, οι διαφορές εντείνονται και παρατηρείται ακόμη μεγαλύτερη μείωση στις βαθμοημέρες θέρμανσης σε όλη τη χώρα. Οι μεγαλύτερες διαφορές παραμένουν στο ηπειρωτικό κομμάτι της Ελλάδας, όμως πλέον φτάνουν από -600 έως -800. Αντίστοιχα, τα νησιά και οι παράκτιες περιοχές παρουσιάζουν τις μικρότερες διαφορές, οι οποίες κυμαίνονται κατά κύριο λόγο από -400 έως -600.

Συνολικά, τόσο για την πρώτη όσο και για τη δεύτερη μελλοντική περίοδο φαίνεται πως ο αριθμός των βαθμοημερών θα μειωθεί, καθώς δε βρέθηκαν περιοχές με μηδενική ή θετική διαφορά σε σύγκριση με την περίοδο 1980-2000. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει πως σε όλες τις περιοχές εκτιμάται μεταβολή στον αριθμό του δείκτη HDD σημειώνοντας μείωση, ωστόσο σε διαφορετικό βαθμό για κάθε περίοδο και κάθε περιοχή.



Σχήμα 13: Διαφορές μεταξύ του μέσου ετήσιου CDD στο εγγύς μέλλον (2040-2060) (αριστερά), το μακρινό μέλλον (2080-2099) (δεξιά) με το πρόσφατο παρελθόν (1980-2000).

Οι βαθμοημέρες ψύξης φαίνεται να ακολουθούν αντίθετη πορεία από τις βαθμοημέρες θέρμανσης, καθώς σημειώνονται θετικές τιμές, οι οποίες υποδηλώνουν αύξηση του αριθμού των βαθμοημερών σε ολόκληρη τη χώρα (Σχήμα 13). Οι περιοχές που σημείωσαν την εντονότερη μείωση στον αριθμό των βαθμοημερών θέρμανσης τώρα εμφανίζουν τη μικρότερη αύξηση στον αριθμό των βαθμοημερών ψύξης. Οι περιοχές που αναμένεται να αυξήσουν τον αριθμό του CDD είναι εκείνες που εμφάνισαν μικρότερη μείωση του HDD και αφορούν παράκτιες περιοχές στα ανατολικά και δυτικά του ηπειρωτικού κορμού.

Αναλυτικότερα, την περίοδο 2040-2060 τη μικρότερη αύξηση του δείκτη CDD αναμένεται να έχει η Δυτική Μακεδονία, τα νησιά του Αιγαίου και η Νότια Κρήτη. Ακόμη, μικρή αύξηση των βαθμοημερών ψύξης παρατηρείται στην Ανατολική Μακεδονία και Θράκη (100 βαθμοημέρες διαφορά). Εντονότερη είναι η αύξηση των νησιών του Ιονίου, της Κεντρικής Μακεδονίας, της Πελοποννήσου και της Στερεάς Ελλάδας με διαφορές 200 με 300 βαθμοημερών. Τέλος, η μεγαλύτερες διαφορές εντοπίζονται στη Βόρεια Κρήτη, νοτιοδυτικά της Πελοποννήσου και στη Ρόδο, όπου φτάνουν τις 500 βαθμοημέρες διαφορά.

Στη δεύτερη μελλοντική περίοδο (2080-2099), η αύξηση των βαθμοημερών ψύξης φαίνεται να ενισχύεται ακόμη περισσότερο. Στο μεγαλύτερο μέρος της χώρας συνεχίζουν να επικρατούν οι διαφορές μεταξύ 200 με 300, ωστόσο, στη Νότια Ελλάδα οι διαφορές φτάνουν τις 700 βαθμοημέρες.

Ακολουθώντας, με σκοπό την ποσοτικοποίηση της μεταβολής των βαθμοημερών θέρμανσης και ψύξης κατά τις δύο μελλοντικές περιόδους, παρουσιάζονται οι μεσοποιημένες ετήσιες τιμές των δύο δεικτών καθώς και οι διαφορές που προέκυψαν (Πίνακας XI).

Πίνακας XI:

Βαθμοημέρες	1980-2000	2040-2060	2080-2099	1980-2000 με 2040-2060	1980-2000 με 2080-2099
	M.O	M.O	M.O	Διαφορά %	Διαφορά %
HDD	2052	1654	1496	-24%	-37%
CDD	368	593	674	38%	45%

Συγκεκριμένα, διακρίνεται σημαντική μείωση στις βαθμοημέρες θέρμανσης ανάμεσα στις περιόδους. Η μείωση αυτή είναι της τάξης του 24% για την πρώτη μελλοντική περίοδο και 37% για τη δεύτερη. Αντίθετα, οι βαθμοημέρες ψύξης παρουσιάζουν αύξηση 38% κατά την πρώτη μελλοντική περίοδο και 45% κατά τη δεύτερη. Τα αποτελέσματα αυτά οδηγούν σε χαμηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις για κάλυψη των αναγκών για θέρμανση και υψηλότερες απαιτήσεις για ψύξη. Επίσης, παρατηρείται ότι η διαφορά στις μελλοντικές περιόδους είναι μεγαλύτερη για τις βαθμοημέρες ψύξης από ότι για τις βαθμοημέρες θέρμανσης. Αυτό πιθανώς οφείλεται στη χρήση μεγίστων ημερήσιων θερμοκρασιών για τον υπολογισμό του δείκτη CDD, ενώ στην περίπτωση του δείκτη HDD χρησιμοποιήθηκαν μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες.

4.4 Διερευνητική ανάλυση δεδομένων [exploratory data analysis (EDA)]

Τα θηκογράμματα των βαθμομερών θέρμανσης και των κλιματικών ζωνών παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την κατανομή των απαιτήσεων θέρμανσης σε διάφορες περιοχές, με βάση τα κλιματικά χαρακτηριστικά τους. Συγκρίνοντας τα θηκογράμματα για τις διαφορετικές κλιματικές ζώνες, μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο ποικίλλουν οι απαιτήσεις θέρμανσης κάθε ζώνης. Παρακάτω ακολουθεί η ερμηνεία των πληροφοριών που εξάγονται από τα θηκογράμματα που προέκυψαν για κάθε κλιματική ζώνη στην Ελλάδα, όπως ορίζονται από τον Κ.Εν.Α.Κ. [46] και για τους τρεις εξεταζόμενους χρονικούς ορίζοντες. Σε πρώτο στάδιο, σχολιάζονται οι διαφορές που παρατηρούνται ανάμεσα στις κλιματικές ζώνες για κάθε χρονική περίοδο και στη συνέχεια σχολιάζονται οι διαφορές ανάμεσα στις περιόδους.

Από το σχήμα 14, το οποίο αναφέρεται στην περίοδο 1980-2000, μπορούν να γίνουν πολλές παρατηρήσεις. Αρχικά, η διάμεσος της κλιματικής ζώνης Α είναι πολύ χαμηλή, ακολουθούν οι ζώνες Β και Γ, ενώ η ζώνη Δ είναι αυτή με την υψηλότερη διάμεσο. Αυτό συνεπάγεται ότι η ζώνη Α απαιτεί λιγότερη θέρμανση, ενώ η ζώνη Δ απαιτεί περισσότερη θέρμανση κατά μέσο όρο.

Όσον αφορά τα τεταρτημόρια, φαίνεται πως για τις τρεις κλιματικές ζώνες (Α, Β και Γ) το ενδοτεταρτομοριακό εύρος είναι σχεδόν ίδιο. Εξαίρεση αποτελεί η ζώνη Δ της οποίας το πλαίσιο είναι μεγαλύτερο και υποδηλώνει μεγαλύτερο εύρος τιμών βαθμομερών θέρμανσης. Αυτό είναι λογικό διότι πρόκειται για τη μοναδική ζώνη της οποίας το ένα άκρο είναι ελεύθερο, με αποτέλεσμα να συμπεριλαμβάνει μεγαλύτερο εύρος τιμών. Το μικρό εύρος των τιμών στην περίπτωση των ζωνών Α, Β και Γ υποδηλώνει επίσης ότι το κλίμα σε αυτές τις ζώνες είναι σχετικά σταθερό, γεγονός που θα μπορούσε να διευκολύνει την πρόβλεψη της χρήσης ενέργειας και τη βελτιστοποίηση των συστημάτων ψύξης. Αντίθετα, το ευρύ φάσμα τιμών της ζώνης Δ υποδηλώνει ότι το κλίμα στη ζώνη αυτή μπορεί να διαφέρει σημαντικά από περιοχή σε περιοχή, το οποίο που θα μπορούσε να θέσει προκλήσεις για τους σχεδιαστές κτιρίων και τους μελετητές ενεργειακής απόδοσης που πρέπει να λάβουν υπόψη τους αυτή τη μεταβλητότητα.

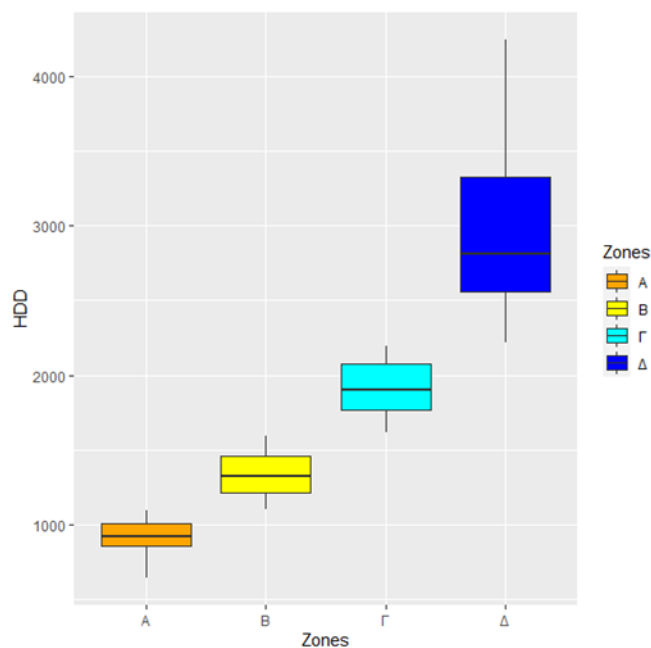
Συνεχίζοντας την ανάλυση, ακολουθεί η επεξήγηση των διαφορών που παρατηρούνται στις κλιματικές ζώνες ανάμεσα στις περιόδους. Πιο αναλυτικά, συγκρίνοντας τα σχήματα 14 και 15 διακρίνεται πως οι διάμεσοι σε όλες τις ζώνες για την περίοδο 1980-2000 είναι ελαφρώς υψηλότερες από τις διαμέσους της περιόδου 2040-2060, υποδεικνύοντας ότι η ζήτηση θέρμανσης θα μειωθεί με την πάροδο του χρόνου. Επιπρόσθετα, το ενδοτεταρτομοριακό εύρος της περιόδου 2040-2060 είναι στενότερο από αυτό της περιόδου 1980-2000, υποδεικνύοντας

για ακόμη μια φορά ότι η μεταβλητότητα της ζήτησης θέρμανσης αναμένεται να μειωθεί με την πάροδο του χρόνου. Η περίοδος 1980-2000 έχει αρκετές τιμές εκτός του πλαισίου με εξαιρετικά υψηλές τιμές HDD, γεγονός που υποδηλώνει ότι υπήρξαν μερικές περιοχές με ασυνήθιστα υψηλή ζήτηση θέρμανσης κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου.

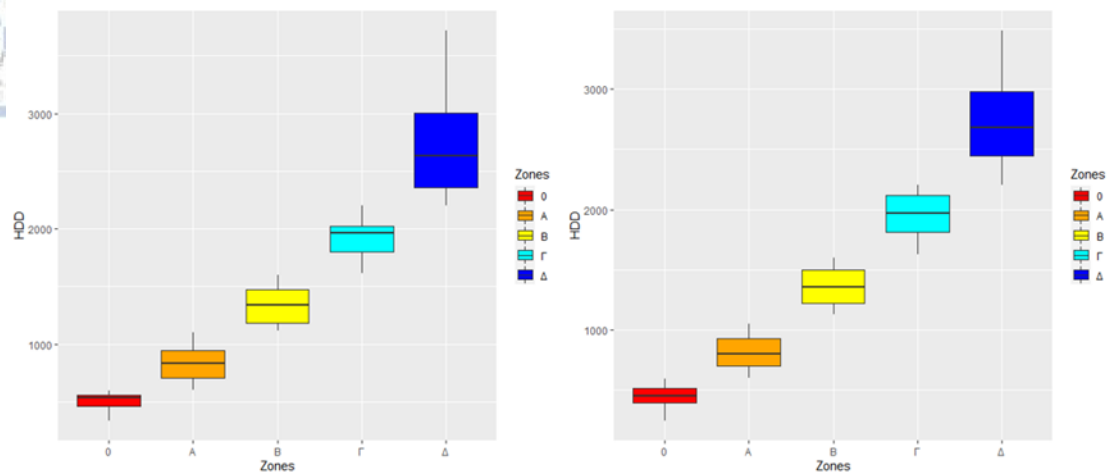
Για τις ζώνες Α, Β και Γ παρατηρείται συμμετρία ως προς τη διάμεσο. Η ζώνη Δ αν και σχετικά συμμετρική προς τη διάμεσο εμφανίζει σημεία εκτός του πλαισίου τα οποία υποδηλώνουν πως ο αριθμός των βαθμομερών γι' αυτή τη ζώνη ξεπερνά κατά μεγάλο βαθμό το μέσο όρο των τιμών. Αυτό είναι λογικό γιατί άλλωστε, όπως εξηγήθηκε και προηγουμένως, πρόκειται για μια συνθήκη η οποία ικανοποιείται από ένα ανοιχτό διάστημα τιμών. Πιο συγκεκριμένα, για τη ζώνη Δ ισχύει $HDD \geq 2100$.

Η εμφάνιση της ζώνης 0 κατά την πρώτη μελλοντική περίοδο παρουσιάζει ασυμμετρία ως προς τη διάμεσο και πολύ μικρό ενδοτεταρτομοριακό εύρος.

Από το σχήμα 15 (δεξιά), αντίστοιχη πορεία φαίνεται να ακολουθούν οι βαθμομέρες θέρμανσης και στη δεύτερη μελλοντική περίοδο (2080-2099). Ωστόσο, οι διάμεσοι των ζωνών 0, Α και Γ που στην περίοδο 2040-2060 δεν ήταν συμμετρικές, αποκτούν συμμετρία.



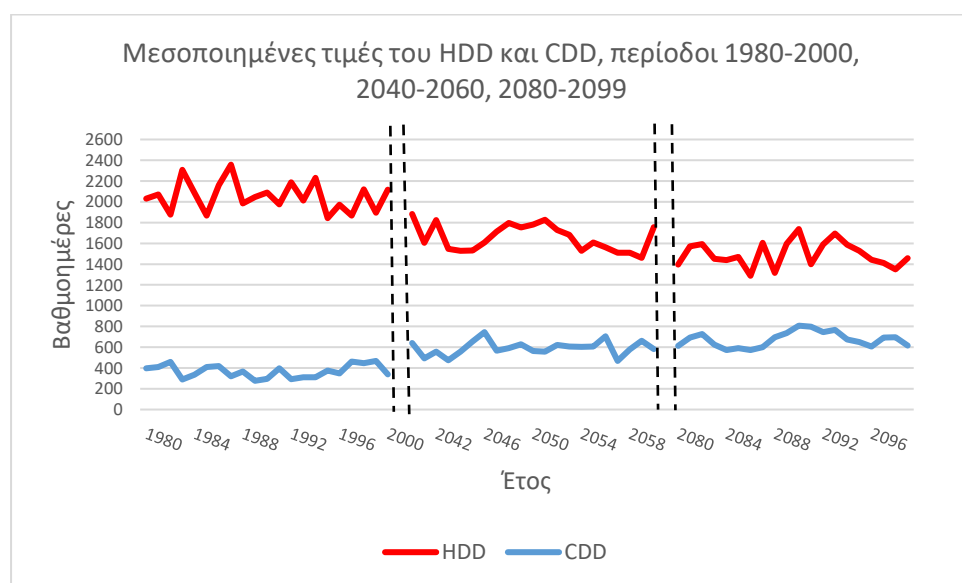
Σχήμα 14: Κλιματικές ζώνες για την περίοδο 1980-2000 (σε συνάρτηση μόνο με HDD).



Σχήμα 15: Κλιματικές ζώνες για τις περιόδους 2040-2060 (αριστερά) και 2080-2099 (δεξιά) (σε συνάρτηση μόνο με HDD).

4.5 Ανάλυση τάσεων των HDD, CDD, T_{mean} , T_{max} από το 1980 έως το 2099

Προκειμένου να προσδιορισθεί ο ρυθμός μεταβολής των βαθμομερών θέρμανσης και ψύξης, συγκρίνονται οι μέσες τιμές της περιόδου 1980-2000 με τις μέσες τιμές των περιόδων 2040-2060 και 2080-2099. Στο σχήμα 16 παρουσιάζεται συγκεντρωτικά η ετήσια πορεία των μεσοποιημένων τιμών των βαθμομερών θέρμανσης (κόκκινο χρώμα) και ψύξης (μπλε χρώμα) στον ελληνικό χώρο για τις περιόδους 1980-2000, 2040-2060 και 2080-2099 αντίστοιχα.



Σχήμα 16: Μεσοποιημένες τιμές των δεικτών HDD και CDD για τους τρεις χρονικούς ορίζοντες.

Συνολικά, τόσο οι βαθμομέρες θέρμανσης όσο οι βαθμομέρες ψύξης κυμαίνονται σε διαφορετικές κλίμακες για κάθε περίοδο. Πιο συγκεκριμένα, την περίοδο 1980-2000 οι βαθμομέρες θέρμανσης έχουν εύρος από 1878 έως 2358 βαθμομέρες. Αντίστοιχα, το εύρος για την πρώτη μελλοντική περίοδο (2040-2060) είναι μεταξύ 1462 και 1883 βαθμομερών και τη δεύτερη μελλοντική περίοδο (2080-2099) μεταξύ 1288 και 1737 βαθμομερών. Ως εκ τούτου, συμπεραίνεται πως οι βαθμομέρες θέρμανσης τείνουν να μειωθούν έως το τέλος του 21^{ου} αιώνα.

Αντίθετα, οι βαθμομέρες ψύξης ακολουθούν ανοδική πορεία, με την κλίμακα για την περίοδο 1980-2000 να κυμαίνεται από 288 έως 469 βαθμομέρες. Ακολούθως, στην πρώτη μελλοντική περίοδο (2040-2060) η κλίμακα είναι πλέον 478 έως 745 βαθμομέρες, ενώ στη δεύτερη μελλοντική περίοδο (2080-2099) η διακύμανση είναι περίπου 572 έως 808 βαθμομέρες.

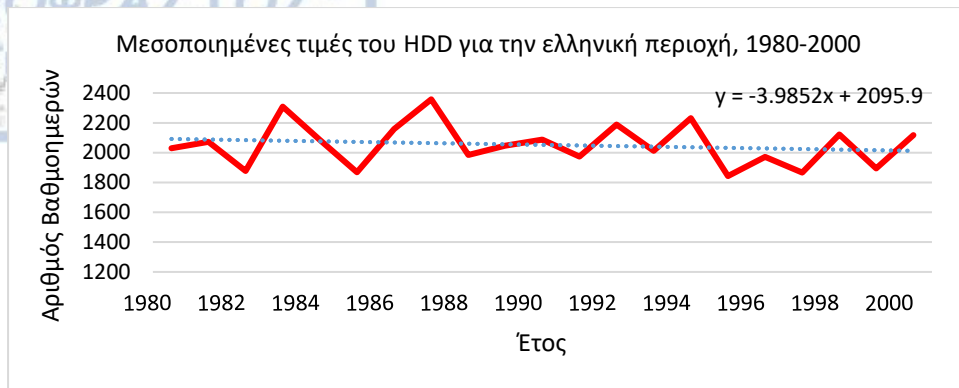
Στα παρακάτω σχήματα αναλύονται οι ρυθμοί μεταβολής των δεικτών HDD και CDD για κάθε περίοδο ξεχωριστά.

Εξετάζοντας το ρυθμό με τον οποίο μεταβάλλονται οι βαθμομέρες θέρμανσης κατά τη διάρκεια της παρελθοντικής περιόδου, παρατηρείται πως η τιμή του δείκτη HDD μειωνόταν

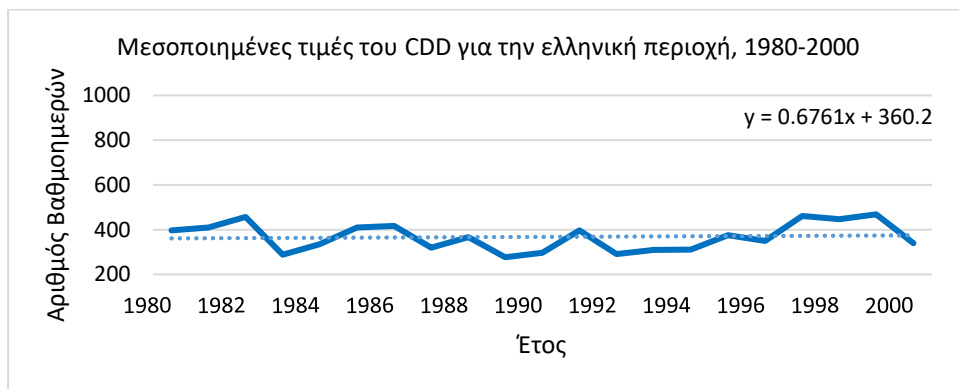
κατά 39 βαθμομέρες ανά δέκα χρόνια (Σχήμα 17). Για το εγγύς μέλλον (Σχήμα 19) αναμένεται να συνεχίσει να μειώνεται ο αριθμός των βαθμομερών θέρμανσης, ωστόσο, με εντονότερο ρυθμό (64 βαθμομέρες ανά δέκα χρόνια). Η μείωση φαίνεται πως θα συνεχίσει και στη δεύτερη μελλοντική περίοδο (Σχήμα 21), αυτή τη φορά όμως με μικρότερο ρυθμό σε σχέση με τις προηγούμενες περιόδους (18 βαθμομέρες ανά 10 χρόνια). Είναι σημαντικό να υπογραμμιστεί πως οι αλλαγές αυτές παρατηρούνται σε διαφορετικές κλίμακες. Πιο συγκεκριμένα, από το σχήμα 16 μπορεί να διακριθεί πως η παρελθοντική περίοδος καλύπτει συνολικά μεγαλύτερους αριθμούς στο HDD συγκριτικά με της επόμενες δύο περιόδους. Το γεγονός αυτό φανερώνει πως συνολικά ο αριθμός των βαθμομερών αναμένεται να μειωθεί μέχρι το τέλος του 21^{ου} αιώνα, αλλά με διαφορετικούς ρυθμούς ανά περίοδο.

Αναφορικά με το δείκτη CDD είναι εμφανής η αντίθετη πορεία του δείκτη σε όλες τις περιόδους (Σχήμα 16). Για την περίοδο 1980-2000 έχει καταγραφεί αύξηση με ρυθμό 6 βαθμομέρες ανά 10 χρόνια (Σχήμα 18). Αντίστοιχα, για το κοντινό μέλλον (Σχήμα 20) εκτιμάται πως θα συνεχίσει η αύξηση, με σχεδόν διπλάσιο ρυθμό από το παρελθόν (16 βαθμομέρες ανά δέκα χρόνια). Για τη δεύτερη μελλοντική περίοδο (Σχήμα 22) αναμένεται ακόμη εντονότερη αύξηση του δείκτη CDD με ρυθμό 25 βαθμομέρες ανά 10 χρόνια. Συμπερασματικά, φαίνεται πως και στις τρεις περιόδους ο δείκτης CDD θα αυξηθεί, με επιταχυνόμενο ρυθμό και κατ' επέκταση θα αυξηθούν οι μελλοντικές ανάγκες για ψύξη. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί πως οι ρυθμοί αύξησης των βαθμομερών ψύξης είναι μικρότεροι συγκριτικά με τους ρυθμούς μείωσης των βαθμομερών θέρμανσης.

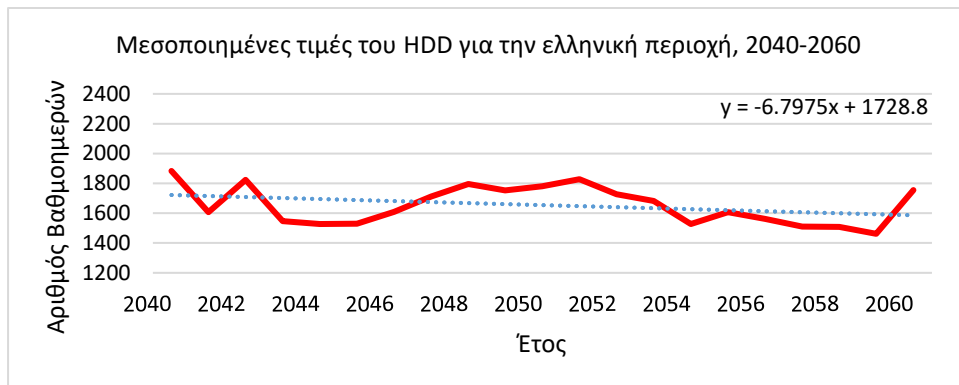
Τελικά, οι βαθμομέρες θέρμανσης δείχνουν ότι θα μειωθούν στην Ελλάδα ιδιαίτερα τη δεύτερη μελλοντική περίοδο καθώς το κλίμα αναμένεται να γίνει θερμότερο. Αυτή η αλλαγή υποδηλώνει ότι οι ανάγκες θέρμανσης θα μειωθούν συνολικά. Από τις γραμμές τάσης γίνεται αντιληπτό πως η μείωση στον αριθμό των βαθμομερών θέρμανσης θα είναι εντονότερη από την πρώτη έως την τρίτη περίοδο μελέτης. Από την άλλη μεριά, οι βαθμομέρες ψύξης καταγράφουν αύξηση τα επόμενα 100 χρόνια. Η αύξηση θα είναι πιο αισθητή τις τελευταίες δεκαετίες, υποδηλώνοντας ότι η ζήτηση ενέργειας για κλιματισμό επίσης θα αυξηθεί. Από τις γραμμές τάσης φαίνεται πως εκτιμάται αύξηση στον αριθμό των βαθμομερών ψύξης με αυξανόμενο ρυθμό.



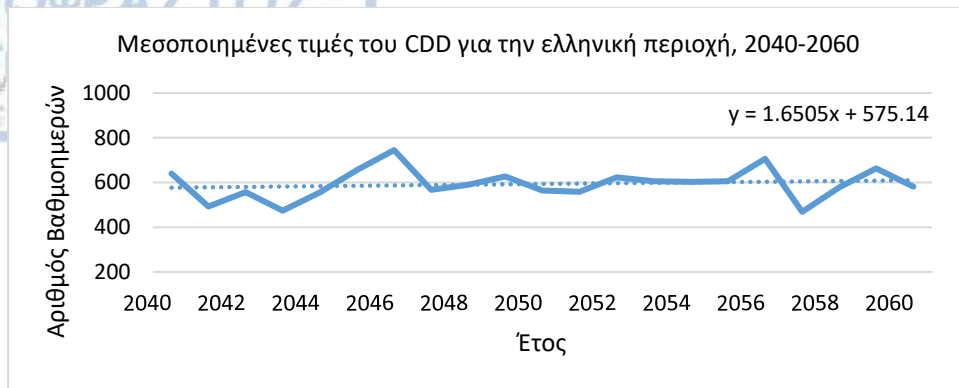
Σχήμα 17: Μεσοποιημένες τιμές του δείκτη HDD για την περίοδο 1980-2000.



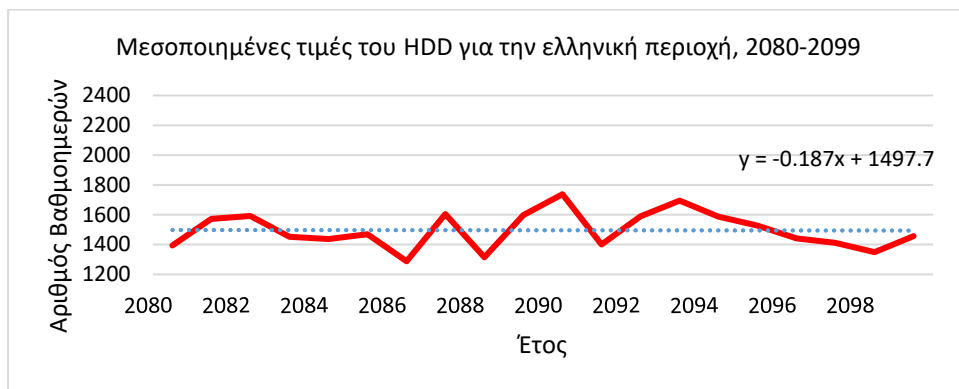
Σχήμα 18: Μεσοποιημένες τιμές του δείκτη CDD για την περίοδο 1980-2000.



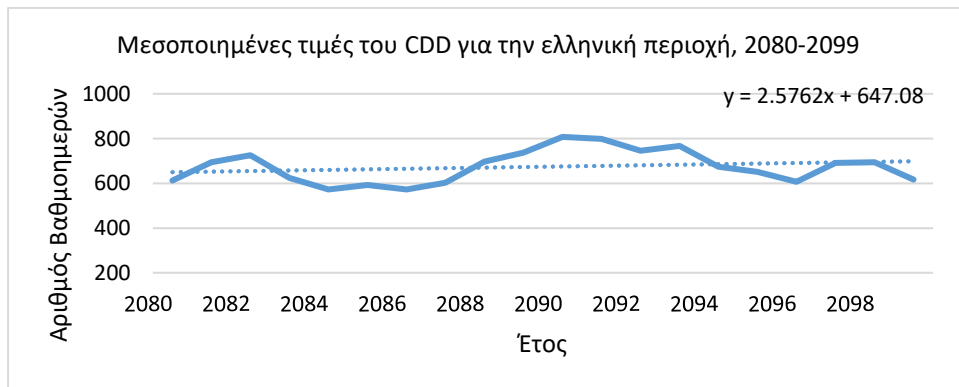
Σχήμα 19: Μεσοποιημένες τιμές του δείκτη HDD για την περίοδο 2040-2060.



Σχήμα 20: Μεσοποιημένες τιμές του δείκτη CDD για την περίοδο 2040-2060.



Σχήμα 21: Μεσοποιημένες τιμές του δείκτη HDD για την περίοδο 2080-2099.



Σχήμα 22: Μεσοποιημένες τιμές του δείκτη CDD για την περίοδο 2080-2099.

Συγχρόνως, είναι σημαντικό να εξεταστεί η πορεία που ακολουθούν οι μέσες και μέγιστες θερμοκρασίες, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των βαθμοημερών θέρμανσης και ψύξης. Στο σχήμα 23 απεικονίζεται η ετήσια πορεία των μεσοποιημένων τιμών της μέσης (πορτοκαλί χρώμα) και μέγιστης θερμοκρασίας (κόκκινο χρώμα) στον ελληνικό χώρο για τις περιόδους 1980-2000, 2040-2060 και 2080-2099 αντίστοιχα.

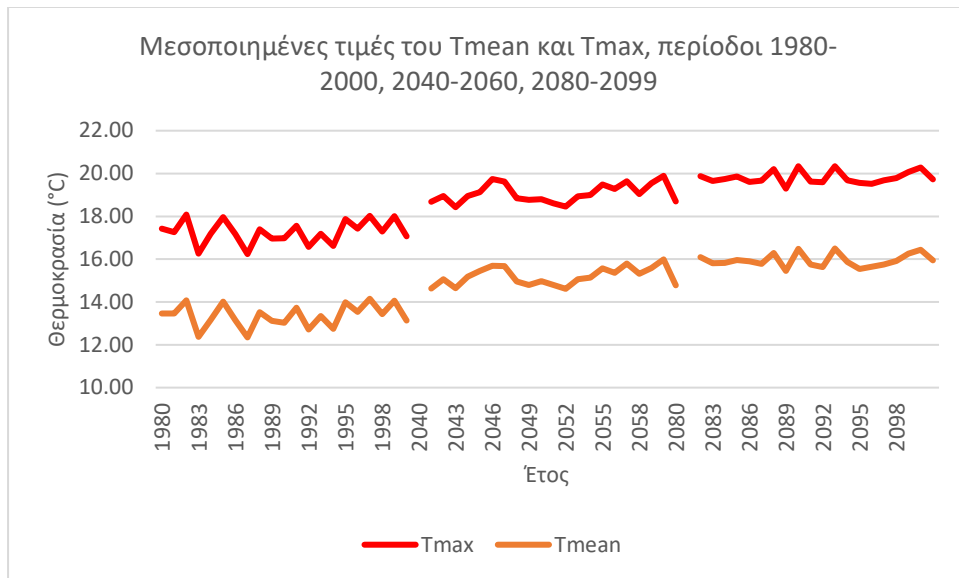
Συνολικά, τόσο οι μέσες όσο οι μέγιστες θερμοκρασίες κυμαίνονται σε διαφορετικές κλίμακες για κάθε περίοδο. Πιο συγκεκριμένα, την περίοδο 1980-2000 οι μέσες θερμοκρασίες έχουν εύρος από 12.3°C έως 14.1°C, Αντίστοιχα, το εύρος για την πρώτη μελλοντική περίοδο (2040-2060) είναι μεταξύ 14.6°C και 16°C και τη δεύτερη μελλοντική περίοδο (2080-2099) από 15.4°C έως 16.5°C. Έτσι, συμπεραίνεται πως η μέση θερμοκρασία τείνει να αυξηθεί έως το τέλος του 21^{ου} αιώνα.

Αντίστοιχα, η μέγιστη θερμοκρασία ακολουθεί ανοδική πορεία, με την κλίμακα για την περίοδο 1980-2000 να κυμαίνεται από 16.2°C έως 18°C. Ακολούθως, στην πρώτη μελλοντική περίοδο (2040-2060) η κλίμακα είναι πλέον 18.4 έως 19.9°C, ενώ στη δεύτερη μελλοντική περίοδο (2080-2099) η διακύμανση είναι περίπου 19.3°C έως 20.4°C.

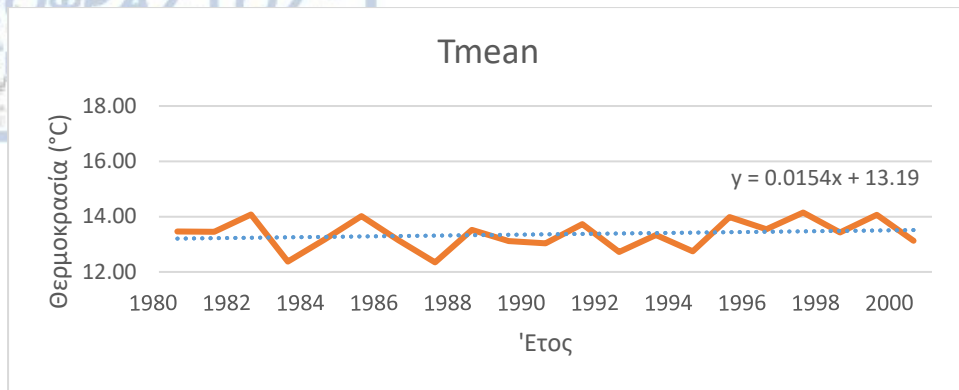
Αναλυτικότερα, κατά την περίοδο 1980-2000 ο ρυθμός αύξησης της μέσης θερμοκρασίας (Σχήμα 24) είναι 0.15°C ανά δέκα χρόνια. Όσον αφορά τη μέγιστη θερμοκρασία (Σχήμα 25), ο ρυθμός αύξησής της ήταν 0.13°C ανά δεκαετία, πολύ κοντά, δηλαδή, στο ρυθμό αύξησης της μέσης θερμοκρασίας. Αντίστοιχα με τη μέση θερμοκρασία, οι μέγιστες θερμοκρασίες εμφανίζουν απότομες κορυφές με πολλά μέγιστα και ελάχιστα (Σχήμα 25).

Για την περίοδο 2040-2060 η μέση θερμοκρασία εμφανίζει πιο ομαλή κατανομή συγκριτικά με το 1980-2000. Ο ρυθμός αύξησης των μέσων θερμοκρασιών γίνεται εντονότερος (0.2°C ανά δεκαετία) με ελάχιστη τιμή μέγιστων θερμοκρασιών περίπου 14.6°C και μέγιστη 16°C (Σχήμα 26). Όσον αφορά τις μέγιστες θερμοκρασίες (Σχήμα 27) είναι εμφανές ότι οι κορυφές είναι αρκετά πιο ομαλές από αυτές τις περιόδου 1980-2000. Οι τιμές κυμαίνονται από 18.4°C έως 19.8°C. Ο ρυθμός αύξησης της μέγιστης θερμοκρασίας γίνεται εντονότερος (0.24°C ανά δεκαετία).

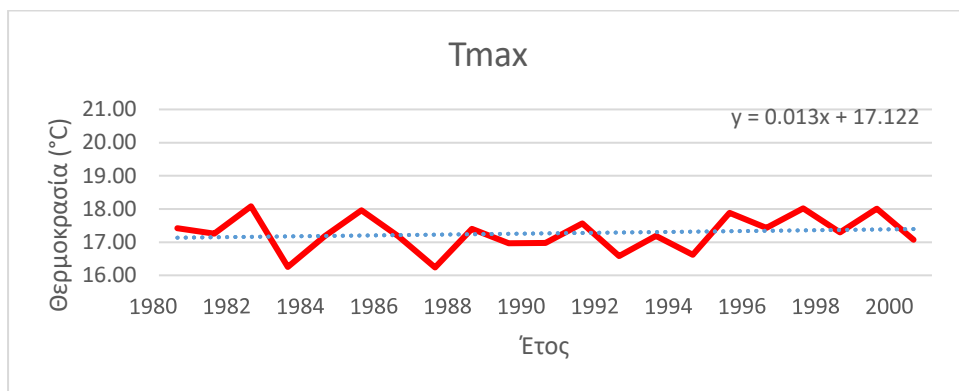
Τέλος, για την περίοδο 2080-2099 διακρίνεται σχεδόν αμελητέα αύξηση της μέσης θερμοκρασίας, η οποία συμφωνεί με το IPCC report, κατά το οποίο στις τελευταίες δεκαετίες του αιώνα η θερμοκρασία αναμένεται να σταθεροποιηθεί καθώς θα σταθεροποιηθούν οι εκπομπές CO₂ [20]. Η μέγιστη θερμοκρασία αυξάνεται και αυτή αμελητέα (0.06°C ανά δέκα χρόνια) με ελάχιστη τιμή τους 19.3°C και μέγιστη τους 20.3°C (Σχήμα 29).



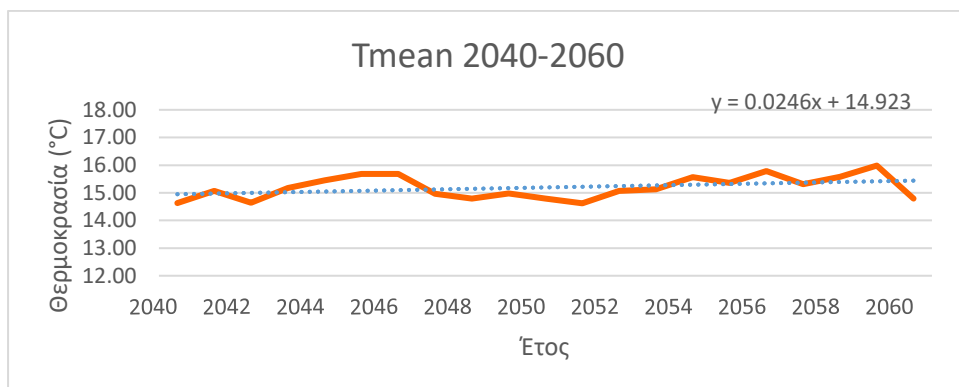
Σχήμα 23: Μεσοποιημένες τιμές της μέσης και μέγιστης θερμοκρασίας για τους τρεις χρονικούς ορίζοντες.



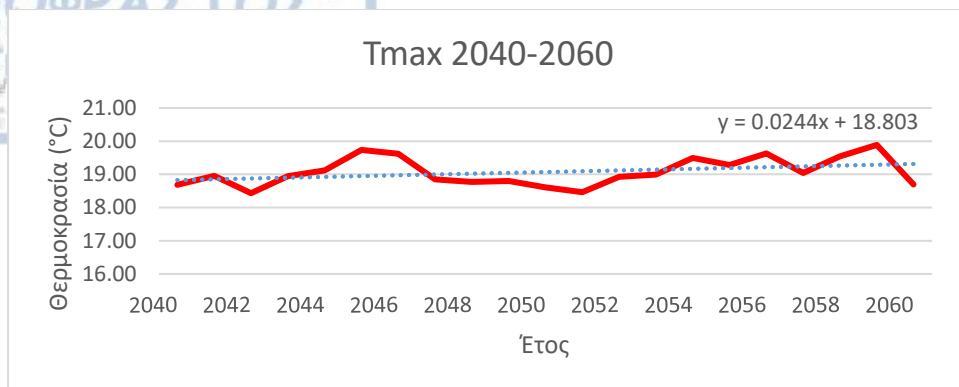
Σχήμα 24: Μεσοποιημένες τιμές της μέσης θερμοκρασίας για την περίοδο 1980-2000.



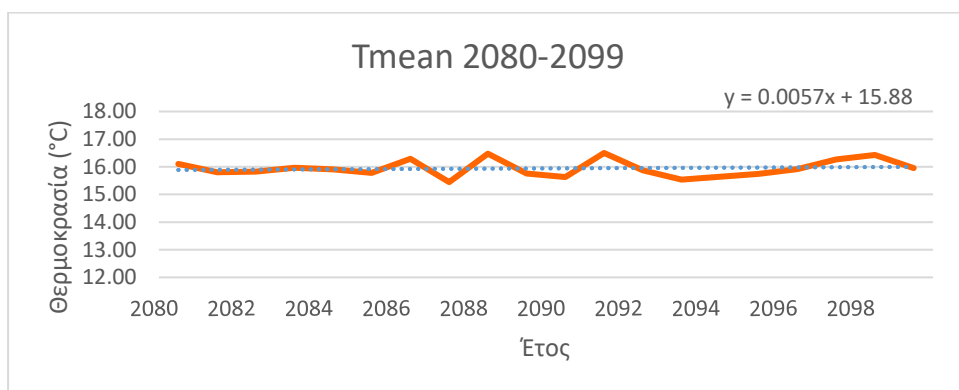
Σχήμα 25: Μεσοποιημένες τιμές της μέγιστης θερμοκρασίας για την περίοδο 1980-2000.



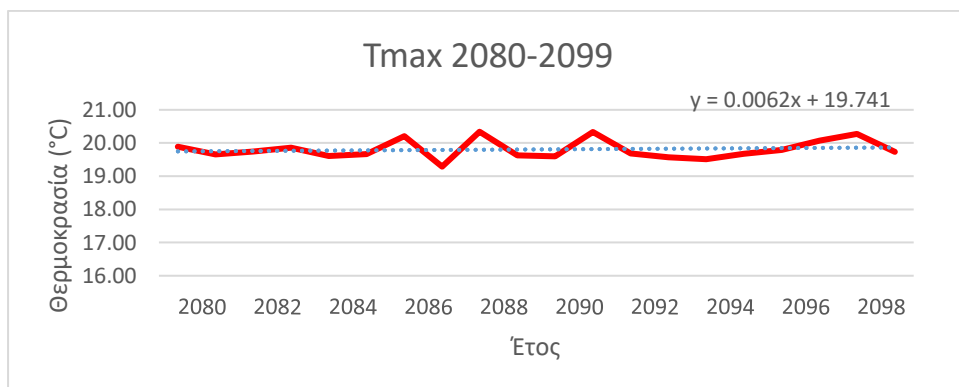
Σχήμα 26: Μεσοποιημένες τιμές της μέσης θερμοκρασίας για την περίοδο 2040-2060.



Σχήμα 27: Μεσοποιημένες τιμές της μέγιστης θερμοκρασίας για την περίοδο 2040-2060.



Σχήμα 28: Μεσοποιημένες τιμές της μέσης θερμοκρασίας για την περίοδο 2080-2099.



Σχήμα 29: Μεσοποιημένες τιμές της μέγιστης θερμοκρασίας για την περίοδο 2080-2099.

5. Αποτελέσματα νέας κλιματικής κατάταξης

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τον υπολογισμό των βαθμοημερών θέρμανσης και ψύξης, αντίστοιχα, για τα 267 σημεία πλέγματος της ελληνικής περιοχής σύμφωνα με τη μέθοδο των Tsikaloudaki et al [41].

Στην πρώτη υποενότητα γίνεται αναθεώρηση της μεθόδου του Κ.Εν.Α.Κ. και υπολογίζονται από την αρχή οι βαθμοημέρες θέρμανσης και ψύξης χρησιμοποιώντας διαφορετικά όρια, όπως ορίστηκαν από τους Tsikaloudaki et al [41]. Σε αυτή την περίπτωση εξετάστηκαν οι ενεργειακές ανάγκες τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη για ολόκληρη τη χώρα. Με στόχο τον έλεγχο των δύο μεθόδων καθορισμού κλιματικών ζωνών, τα σημεία πλέγματος που επιλέχθηκαν για την ανάλυση κατηγοριοποιήθηκαν σε ζώνες σύμφωνα με τις δύο μεθόδους (μόνο με τη χρήση των βαθμοημερών θέρμανσης και με το συνδυασμό των βαθμοημερών θέρμανσης και ψύξης). Εκτός από την κατηγοριοποίηση των σημείων σε ζώνες, υπολογίζονται και οι ενεργειακές ανάγκες κάθε κλιματικής ζώνης.

Στη δεύτερη και τρίτη υποενότητα γίνεται κλιματική κατάταξη της χώρας για την περίοδο αναφοράς (1980-2000) αλλά και για τις δύο μελλοντικές περιόδους (2040-2060 και 2080-2099) σύμφωνα με την κατάταξη Tsikaloudaki et al [41] και εξάγονται συμπεράσματα για τις συνολικές ενεργειακές ανάγκες.

Τέλος, στην τέταρτη υποενότητα υπολογίζονται οι διαφορές των δεικτών HDD και CDD για τις δύο μελλοντικές περιόδους 2040-2060 και 2080-2099 σε σύγκριση με την περίοδο αναφοράς 1980-2000.

5.1 Πρόταση νέας κλιματικής κατάταξης σύμφωνα με τους Tsikaloudaki et al [41].

Η χρήση των βαθμομερών θέρμανσης ως μοναδική παράμετρος ταξινόμησης του κλίματος απλοποιεί τη διαδικασία, καθιστώντας ευκολότερη την κατανόηση και την εφαρμογή της. Ωστόσο, η χρήση μόνο των βαθμομερών θέρμανσης για το χαρακτηρισμό του κλίματος κάνει την κατάταξη ελλιπή, εφόσον δε λαμβάνονται υπόψη οι ανάγκες ψύξης, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε ελλιπή εικόνα των κλιματικών συνθηκών σε μια περιοχή. Επιπλέον, δεδομένου ότι η μέθοδος των βαθμομερών θέρμανσης δε λαμβάνει υπόψη τις ανάγκες ψύξης, μπορεί να είναι λιγότερο χρήσιμη για την ενεργειακή ανάλυση και τις αποφάσεις σχεδιασμού κτιρίων. Τέλος, σε περιοχές όπου οι ανάγκες ψύξης είναι σημαντικές, η χρήση μόνο των βαθμομερών θέρμανσης ενδέχεται να μην παρέχει ακριβή αναπαράσταση των κλιματικών συνθηκών.

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, γίνεται αντιληπτό πως είναι αναγκαία η δημιουργία μιας νέας κλιματικής κατάταξης της χώρας. Η κατάταξη αυτή πρέπει να είναι αντιπροσωπευτική για το παρόν και το μέλλον, ενώ ταυτόχρονα θα λαμβάνει υπόψη τόσο τις βαθμομέρες θέρμανσης όσο και τις βαθμομέρες ψύξης ως δείκτη της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αφενός αναμένεται αύξηση της θερμοκρασίας για τις μελλοντικές περιόδους και ως αποτέλεσμα οι ενεργειακές απαιτήσεις για ψύξη θα αυξηθούν και αφετέρου είναι πολύ γενικευμένο να κατηγοριοποιηθούν περιοχές με ίδιες απαιτήσεις για θέρμανση στην ίδια κλιματική ζώνη ενώ έχουν πολύ διαφορετικές απαιτήσεις για ψύξη. Με βάση την παραπάνω παρατήρηση, η νέα κατηγοριοποίηση των κλιματικών ζωνών συνδυάζει όσο τον αριθμό των βαθμομερών θέρμανσης και ψύξης. Στον Πίνακα XII παρουσιάζονται τα όρια κάθε κλιματικής ζώνης ανάλογα με τον αριθμό βαθμομερών θέρμανσης και ψύξης, ενώ ταυτόχρονα ορίζονται και οι ενεργειακές τους απαιτήσεις.

Πίνακας XII: Παρουσίαση του προτεινόμενου συστήματος για τον καθορισμό κλιματικών ζωνών στην Ελλάδα (2η προσέγγιση, κατά Tsikaloudaki et al [41]).

Ζώνη	Περιγραφή	Ενεργειακές απαιτήσεις
A'	$CDD \geq 500$ και $HDD < 1500$	Υψηλή ανάγκη για ψύξη, χαμηλή ανάγκη για θέρμανση
B'	$CDD \geq 500$ και $1500 \leq HDD < 3000$	Υψηλή ανάγκη για ψύξη, μέτρια ανάγκη για θέρμανση
Γ'	$CDD < 500$ και $HDD < 1500$	Χαμηλή ανάγκη για ψύξη, χαμηλή ανάγκη για θέρμανση
Δ'	$CDD < 500$ και $1500 \leq HDD < 3000$	Χαμηλή ανάγκη για ψύξη, μέτρια ανάγκη για θέρμανση
Ε'	$CDD < 500$ και $HDD \geq 3000$	Χαμηλή ανάγκη για ψύξη, υψηλή ανάγκη για θέρμανση

Η τιμή του κατωφλίου των 500 βαθμομερών θεωρείται το όριο, πάνω από το οποίο στην περιοχή κυριαρχεί η ανάγκη κατανάλωσης ενέργειας για ψύξη. Συγχρόνως, η τιμή των 1500 και 3000 βαθμομερών θεωρείται το όριο για περιοχές στις οποίες κυριαρχεί η ανάγκη κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση. Μικρότερες ή μεγαλύτερες τιμές των βαθμομερών

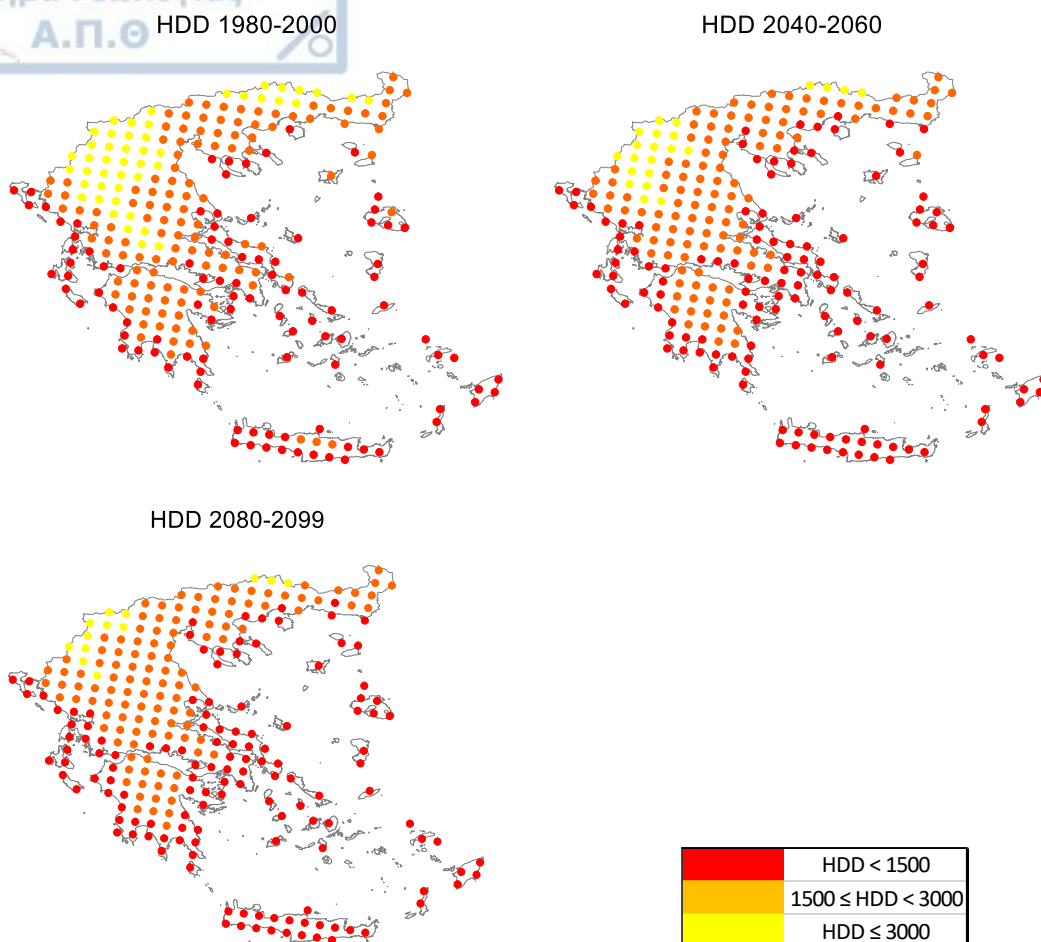
υποδηλώνουν χαμηλότερες ή υψηλότερες ενεργειακές ανάγκες για ψύξη και θέρμανση αντίστοιχα.

Σύμφωνα με τους Tsikaloudaki et al [41] εφόσον ο αριθμός των βαθμοημερών θέρμανσης και ψύξης χρησιμοποιείται ως δείκτης της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, τότε μπορεί να είναι πολύ γενικό να ταξινομηθούν όλες οι τοποθεσίες με μεσαίο HDD στο ίδια ζώνη, αφού ορισμένες τοποθεσίες έχουν χαμηλές ανάγκες ψύξης (CDD κάτω από 500) και άλλες πολύ μεγαλύτερες. Ακολουθώντας την παραπάνω παρατήρηση, οι κλιματικές ζώνες χαρακτηρίζονται με βάση τις ενεργειακές τους ανάγκες για θέρμανση και ψύξη ως υψηλές, μέτριες και χαμηλές.

Για την περίοδο 1980-2000 τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι υψηλότερες τιμές του δείκτη HDD επικρατούν στις βορειοδυτικές περιοχές της χώρας με τις τιμές να ξεπερνούν τις 3000 βαθμοημέρες ανά έτος (Σχήμα 30α). Οι περιοχές αυτές χαρακτηρίζονται από υψηλές απαιτήσεις θέρμανσης και πρόκειται για ορεινούς τόπους με υψηλό υψόμετρο. Από την άλλη μεριά, οι πεδινές περιοχές εμφανίζουν αριθμό HDD από 1500 έως 3000°C × D ανά έτος και χαρακτηρίζονται από μέτριες ανάγκες για θέρμανση. Τέλος, οι παράκτιες περιοχές και τα νησιά έχουν το μικρότερο αριθμό βαθμοημερών θέρμανσης, που κυμαίνεται από 0 έως 1500°C × D ανά έτος και έχουν μικρή έως ελάχιστη απαίτηση για θέρμανση. Συνεχίζοντας στις δύο μελλοντικές περιόδους, παρατηρείται για ακόμη μια φορά πως ο αριθμός των βαθμοημερών μειώνεται στο σύνολο της χώρας και οι περιοχές με υψηλές ανάγκες για θέρμανση γίνονται όλο και λιγότερες. Η γεωγραφική κατανομή των βαθμοημερών για τις δύο μελλοντικές περιόδους ακολουθεί το ίδιο μοτίβο με την περίοδο 1980-2000, ωστόσο είναι ξεκάθαρος ο περιορισμός των περιοχών με μεγάλο αριθμό βαθμοημερών (>3000), αλλά και η επέκταση των περιοχών με μέτριες και μικρές τιμές βαθμοημερών.

Αναφορικά με το δείκτη CDD ο διαχωρισμός των απαιτήσεων για ψύξη γίνεται σε δύο ομάδες (μεγάλες και μικρές ανάγκες) και όχι σε τρεις, όπως συμβαίνει στην περίπτωση του δείκτη HDD. Επομένως, υπάρχει μικρότερη λεπτομέρεια στο χαρακτηρισμό των ενεργειακών απαιτήσεων όσον αφορά την ψύξη και τα αποτελέσματα είναι πιο γενικευμένα, καθώς δεν υπάρχει η μεταβατική ομάδα των μέτριων ενεργειακών αναγκών.

Για την περίοδο 1980-2000 η χωρική κατανομή του δείκτη δείχνει χαμηλές απαιτήσεις ψύξης (< 500) στις ορεινές περιοχές, αλλά και στις περιοχές κοντά στην ακτογραμμή της χώρας και τα νησιά. Αντίθετα, στις πεδινές περιοχές στο εσωτερικό του ηπειρωτικού κορμού της χώρας σημειώνονται υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις για ψύξη (≥ 500). Η γεωγραφική κατανομή των βαθμοημερών για τις δύο μελλοντικές περιόδους ακολουθεί το ίδιο μοτίβο με την περίοδο 1980-2000, ωστόσο είναι ξεκάθαρος ο περιορισμός των περιοχών με μικρό αριθμό βαθμοημερών, αλλά και η εξάπλωση των περιοχών με μεγάλες τιμές.



Σχήμα 30: Γεωγραφική κατανομή ενεργειακών ομάδων με βάση τις βαθμομημέρες θέρμανσης κατά Tsikaloudaki et al [41].

Πίνακας XIII: Ποσοστά για κάθε εύρος HDD σε κάθε χρονική περίοδο.

	1980-2000		2040-2060		2080-2099	
HDD	%	Άθροισμα	%	Άθροισμα	%	Άθροισμα
<1500	37.1	99	47.9	128	50.9	136
≥1500 & <3000	45.3	121	43.8	117	44.2	118
≥3000	17.6	47	8.2	22	4.9	13

Όπως προαναφέρθηκε, οι κλιματικές ζώνες χαρακτηρίζονται με βάση τις ενεργειακές τους ανάγκες για θέρμανση και ψύξη ως υψηλές, μέτριες και χαμηλές [41].

Έτσι, για την περίοδο 1980-2000 διακρίνεται πως στο μεγαλύτερο μέρος της Ελλάδας οι ενεργειακές ανάγκες για θέρμανση είναι μέτριες, καθώς κατέχουν το μεγαλύτερο ποσοστό (45.3%) (Σχήμα 30). Στη συνέχεια, ακολουθούν οι περιοχές με χαμηλή ανάγκη για θέρμανση με ποσοστό 37.1% και λιγότερες είναι αυτές με υψηλή απαίτηση για θέρμανση (17.6%). Στην

πρώτη ενεργειακή ομάδα ανήκουν οι θερμότερες περιοχές, οι οποίες έχουν μικρές απαιτήσεις για θέρμανση και πρόκειται για τα νησιά και τις περιοχές που βρίσκονται κοντά στην ακτογραμμή. Στη δεύτερη ενεργειακή ομάδα ανήκει η Πελοπόννησος, η Αττική και η Κεντρική Μακεδονία, ενώ στην τρίτη ομάδα ανήκει η Δυτική Μακεδονία, η Θεσσαλία καθώς και οι περιοχές που βρίσκονται βόρεια της Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης.

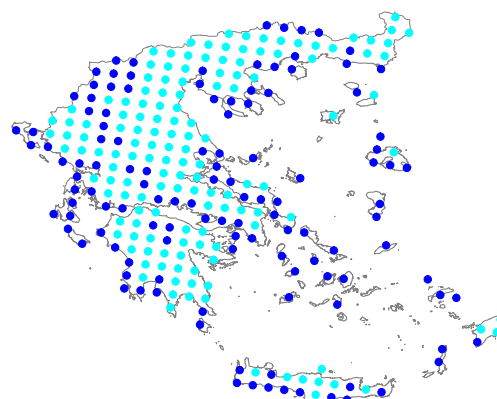
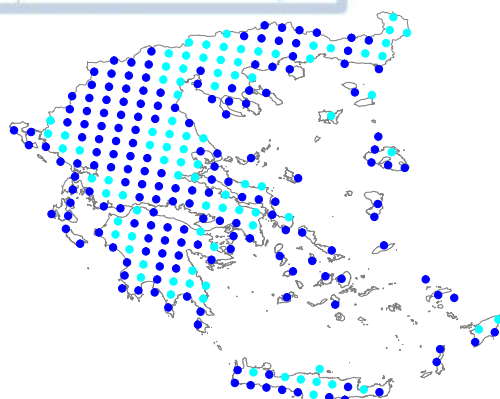
Συνεχίζοντας στην περίοδο 2040-2060, οι ενεργειακές ανάγκες για θέρμανση στο μεγαλύτερο μέρος της χώρας είναι πλέον χαμηλές, καθώς υπερσχύουν οι περιοχές όπου ο δείκτης HDD είναι μικρότερος από 1500, με ποσοστό 47.9%. Γενικά, παρατηρείται πως τα ποσοστά που αφορούν μέτρια και υψηλή ενεργειακή ζήτηση για θέρμανση μειώνονται συγκριτικά με την περίοδο 1980-2000 και πλέον αφορούν μόνο τη Δυτική Μακεδονία και βόρειες περιοχές της Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης.

Τέλος, την περίοδο 2080-2099 οι ενεργειακές ανάγκες για θέρμανση μειώνονται ακόμη περισσότερο συγκριτικά με τις προηγούμενες περιόδους. Επικρατέστερη είναι η πρώτη ενεργειακή ομάδα με ποσοστό 50.9% και ακολουθούν οι άλλες δύο ενεργειακές ομάδες, οι οποίες με τη σειρά τους μειώνονται ακόμη περισσότερο σε ποσοστό (44.2% και 4.9% αντίστοιχα). Πλέον η τρίτη ενεργειακή ομάδα περιορίζεται στα όρια Κεντρικής και Δυτικής Μακεδονίας και λίγες περιοχές στα βόρεια της Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης.

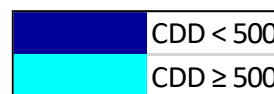
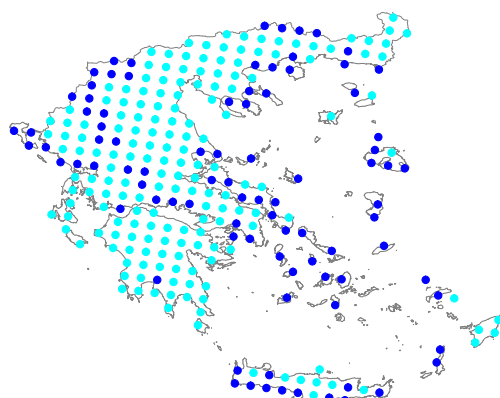
Συμπερασματικά, για τον ελληνικό χώρο θα μπορούσε να ειπωθεί πως για την περίοδο αναφοράς (παρελθοντική περίοδος) επικρατούσαν οι μέτριες ενεργειακές ανάγκες για θέρμανση, ενώ στις μελλοντικές περιόδους θα επικρατούν οι χαμηλές ανάγκες θέρμανση.

CDD 1980-2000

CDD 2040-2060



CDD 2080-2099



Σχήμα 31: Γεωγραφική κατανομή ενεργειακών ομάδων με βάση τις βαθμοημέρες ψύξης κατά Tsikaloudaki et al [41].

Πίνακας XIV: Ποσοστά για κάθε εύρος CDD σε κάθε χρονική περίοδο.

	1980-2000		2040-2060		2080-2099	
CDD	%	Άθροισμα	%	Άθροισμα	%	Άθροισμα
<500	66.7	178	46.1	123	33.7	90
≥500	33.3	89	53.9	144	66.3	177

Με αντίστοιχο τρόπο, στον πίνακα XIV παρουσιάζεται ο αριθμός των σημείων πλέγματος που ανήκει σε κάθε ενεργειακή ομάδα για ψύξη, μαζί με τα ποσοστά τους. Οι ενεργειακές ομάδες για ψύξη χωρίζονται σε δύο κατηγορίες και διακρίνονται από χαμηλές ανάγκες για CDD < 500 και υψηλές για CDD ≥ 500.

Κλιματικές ζώνες



Για την περίοδο 1980-2000 το μεγαλύτερο μέρος της χώρας (66.7%) απαιτεί χαμηλή ψύξη, ενώ το 33.3% απαιτεί μεγάλη ψύξη. Οι περιοχές που απαιτούν υψηλή ενέργεια για ψύξη αποτελούν το 1/3 των σημείων πλέγματος, γεγονός που υποδηλώνει ότι για την περίοδο 1980-2000 η Ελλάδα μπορεί να χαρακτηριστεί ως χώρα με χαμηλές απαιτήσεις για ψύξη.

Συνεχίζοντας στην περίοδο 2040-2060, ήδη φαίνεται πως τα σημεία που αντιπροσωπεύουν υψηλή ανάγκη για ψύξη αυξάνονται και μάλιστα ξεπερνούν σε αριθμό την πρώτη ενεργειακή ομάδα. Πλέον η δεύτερη ομάδα έχει ποσοστό 53.9%, ενώ η πρώτη μειώνεται στο 46.1%. Ωστόσο, τα δύο αυτά ποσοστά είναι πολύ κοντά μεταξύ τους οπότε θα μπορούσε να ειπωθεί πως για την περίοδο 2040-2060 οι ενεργειακές απαιτήσεις τις χώρας για ψύξη θα ποικίλλουν.

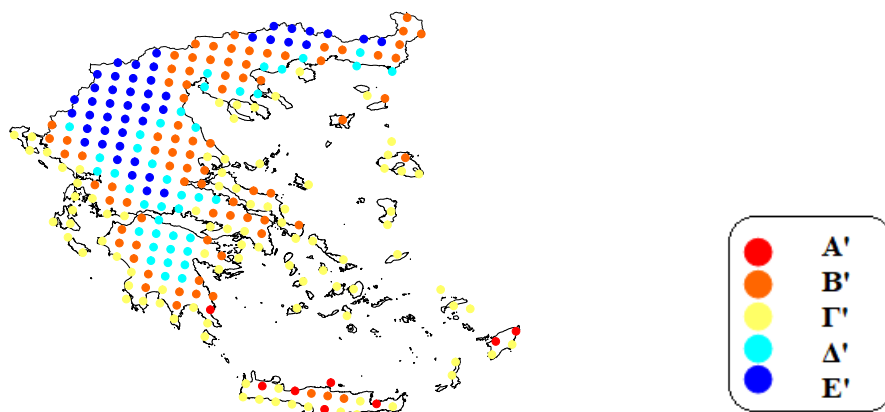
Η προηγούμενη παρατήρηση εντείνεται ακόμη περισσότερο κατά την περίοδο 2080-2099 όπου πλέον στα 2/3 της χώρας (66.3%) επικρατούν υψηλές απαιτήσεις για ψύξη. Από την άλλη μεριά, μόνο το 33.7% της χώρας φαίνεται να ανήκει στην ομάδα με χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις για ψύξη. Έτσι, φαίνεται πως μέχρι το τέλος του 21^{ου} αιώνα η Ελλάδα θα χαρακτηρίζεται κυρίως από περιοχές που απαιτούν μεγάλη ενέργεια για ψύξη, καθώς αναμένεται να αυξηθούν οι μέγιστες θερμοκρασίες.

Συμπερασματικά, για τον ελληνικό χώρο θα μπορούσε να ειπωθεί πως για την ιστορική περίοδο επικρατούσαν οι χαμηλές ενεργειακές ανάγκες για ψύξη, ενώ στις μελλοντικές περιόδους θα επικρατούν οι υψηλές ανάγκες ψύξης.

5.2 Χωρική ανάλυση νέας κλιματικής κατάταξης

Μετά τη χωριστή μελέτη των ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση και ψύξη, είναι σημαντικό να ερευνηθεί ο τρόπος με τον οποίο συνδυάζονται οι δύο αυτές παράμετροι σε κάθε κλιματική ζώνη. Στην παρακάτω υποενότητα εξετάζονται οι κλιματικές ζώνες που προκύπτουν από τη νέα προσέγγιση σύμφωνα με τους Tsikaloudaki et al (2011) και εξάγονται συμπεράσματα αναφορικά με την περίοδο αναφοράς 1980-2000.

Κλιματικές ζώνες 1980-2000



Σχήμα 32: Κλιματικές ζώνες για την περίοδο 1980-2000 σύμφωνα με τη νέα κλιματική κατάταξη κατά Tsikaloudaki et al [41].

Πίνακας XV: Ποσοστά που αναλογούν σε κάθε κλιματική ζώνη για κάθε περίοδο.

Ζώνη	1980-2000		2040-2060		2080-2099	
	%	Άθροισμα	%	Άθροισμα	%	Άθροισμα
A'	3	8	11.6	31	24.7	66
B'	30.3	81	42.3	113	41.6	111
Γ'	34.1	91	36.3	97	26.2	70
Δ'	15.4	41	2.6	7	2.6	7
Ε'	17.2	46	7.1	19	4.9	13

Σύμφωνα με το σχήμα 32 και τον πίνακα XV, η ζώνη Α' (υψηλή ανάγκη για ψύξη, χαμηλή ανάγκη για θέρμανση) παρουσιάζει τη μικρότερη γεωγραφική εξάπλωση με ποσοστό 3% των σημείων πλέγματος κατά την περίοδο 1980-2000 και εντοπίζεται στα νησιά της Κρήτης και της Ρόδου. Πρόκειται για μια ζώνη στην οποία ανήκουν περιοχές με χαμηλή ανάγκη για θέρμανση και υψηλή ανάγκη για ψύξη.

Στη ζώνη Β' (υψηλή ανάγκη για ψύξη, μέτρια ανάγκη για θέρμανση) ανήκει ένα μεγάλο ποσοστό της χώρας (30.3%), κυρίως τα πεδινά τμήματα που βρίσκονται κοντά στα ορεινά. Η ζώνη αυτή απαντάται στο εσωτερικό της Κεντρικής Μακεδονίας και Θράκης, στις χαμηλές

περιοχές της Δυτικής Μακεδονίας, στις ημιορεινές/ορεινές περιοχές της Βόρειας και Δυτικής Θεσσαλίας, καθώς και της Ανατολικής Ηπείρου. Επιπλέον, σημειώνεται σε νησιά του βορειοανατολικού Αιγαίου, αλλά και στην Κρήτη. Οι ενεργειακές ανάγκες σε αυτή τη ζώνη είναι μέτριες για θέρμανση και υψηλές για ψύξη.

Στη ζώνη Γ' (χαμηλή ανάγκη για ψύξη, χαμηλή ανάγκη για θέρμανση) κατατάσσεται το μεγαλύτερο ποσοστό της χώρας (34.1%) και αντιπροσωπεύεται κυρίως από νησιωτικές και παράκτιες περιοχές της χώρας. Πιο συγκεκριμένα, σε αυτή τη ζώνη ανήκουν τα νησιά του Ιονίου, του Αιγαίου, ένα μεγάλο μέρος της Νότιας Κρήτης και παράκτιες περιοχές της Πελοποννήσου και της Εύβοιας. Η ζώνη αυτή χαρακτηρίζεται από χαμηλές ενεργειακές ανάγκες θέρμανσης και ψύξης.

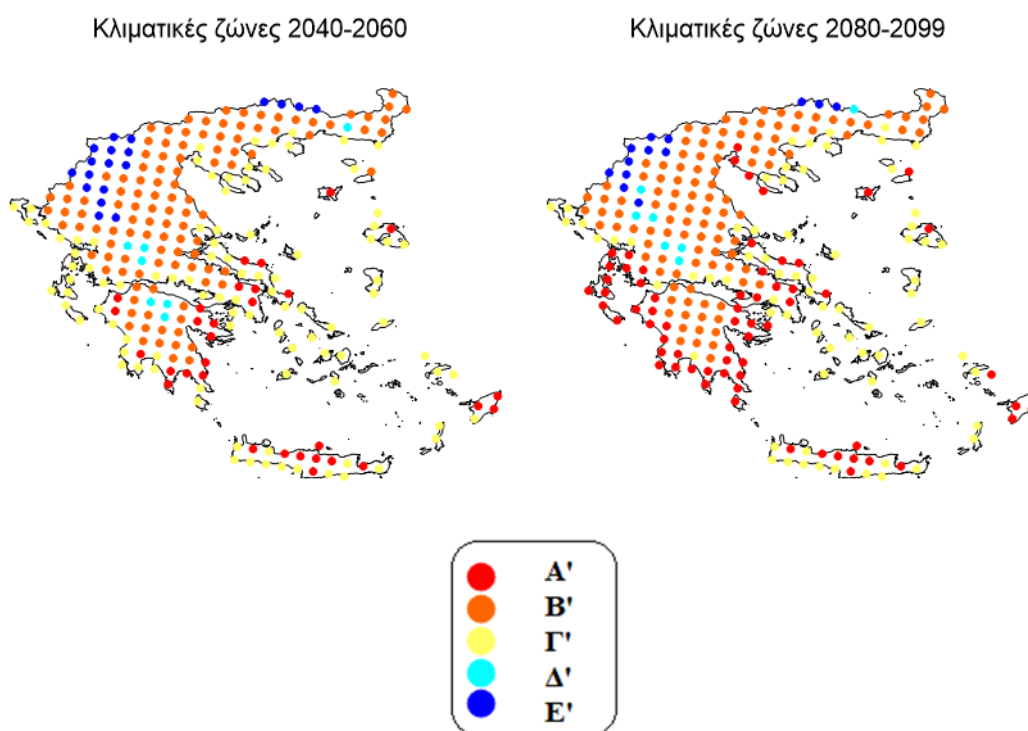
Η κλιματική ζώνη Δ' (χαμηλή ανάγκη για ψύξη, μέτρια ανάγκη για θέρμανση) καταλαμβάνει ποσοστό 15.4% και εμφανίζεται από την Κεντρική Πελοπόννησο και συνεχίζεται κατά μήκος προς τα βόρεια σε μεγάλα υψόμετρα και πάνω στη Δυτική Μακεδονία, Ήπειρο, Βόρεια και Δυτική Θεσσαλία. Οι ενεργειακές ανάγκες αυτής της ζώνης είναι μέτριες για θέρμανση και χαμηλές για ψύξη.

Τέλος, η κλιματική ζώνη Ε' (χαμηλή ανάγκη για ψύξη, υψηλή ανάγκη για θέρμανση) εμφανίζεται στα σύνορα μεταξύ της Δυτικής Μακεδονίας της Ηπείρου και της Θεσσαλίας και κυρίως σε περιοχές με ορεινό ανάγλυφο. Καλύπτει το 17.2% της ελληνικής περιοχής και χαρακτηρίζεται από υψηλή ανάγκη για θέρμανση και χαμηλή ανάγκη για ψύξη.

Είναι υψίστης σημασίας για τα αποτελέσματα το γεγονός ότι συμφωνούν σε ένα μεγάλο βαθμό με την κατάταξη Köppen (Σχήμα 1).

5.3 Αποτελέσματα μελλοντικών περιόδων νέας κλιματικής κατάταξης

Μετά την ανάλυση των κλιματικών ζωνών και των ενεργειακών απαιτήσεων της χώρας για την περίοδο αναφοράς ακολουθεί η διερεύνηση της κατάστασης των μελλοντικών περιόδων. Στην υποενότητα αυτή εξετάζονται οι κλιματικές ζώνες που προκύπτουν από τη νέα προσέγγιση σύμφωνα με τους Tsikaloudaki et al [41] και εξάγονται συμπεράσματα για τις δύο μελλοντικές περιόδους (2040-4060 και 2080-2099).



Σχήμα 33: Κλιματικές ζώνες για τις περιόδους 2040-2060 (αριστερά) και 2080-2099 (δεξιά) σύμφωνα με τη νέα κλιματική κατάταξη κατά Tsikaloudaki et al [41].

Σύμφωνα με τον Πίνακα XV και το Σχήμα 33 (αριστερά) παρατηρείται το γεγονός ότι την περίοδο 2040-2060 η κλιματική ζώνη Α' παρουσιάζει αύξηση ποσοστού (11.6%) και εμφανίζεται σε πολλές πεδινές περιοχές της Πελοποννήσου και στην Αττική, καθώς και στο μεγαλύτερο μέρος της Κρήτης και πολλών νησιών του Αιγαίου (Σχήμα 33 αριστερά). Γι' αυτή την περίοδο επικρατέστερη είναι η ζώνη Β' με ποσοστό 42.3% και συναντάται στο μεγαλύτερο μέρος του ηπειρωτικού κορμού της χώρας. Η ζώνη Γ' παρουσιάζει κι αυτή μικρή αύξηση ποσοστού (36.3%) και η εικόνα αυτής της ζώνης είναι παρόμοια με της παρελθοντικής περιόδου. Αντίθετα, οι ζώνες Δ' και Ε' μειώνονται σημαντικά και φτάνουν τα ποσοστά 2.6% και 7.1% αντίστοιχα, ενώ εμφανίζονται μόνο σε πολύ ορεινές περιοχές της Πίνδου και της Ροδόπης.

Κατά την περίοδο 2080-2099, η κλιματική ζώνη Α' συνεχίζει να σημειώνει άνοδο στον αριθμό των περιοχών που αντιπροσωπεύονται από αυτή και φτάνει το ποσοστό 24.7%, σε αντίθεση με

όλες τις υπόλοιπες οι οποίες εμφανίζουν μια μικρή έως πολύ μεγάλη μείωση στα ποσοστά τους. Στο Σχήμα 33 (δεξιά) διακρίνεται η αντικατάσταση πολλών ζωνών από τις αμέσως επόμενες «θερμότερες» ζώνες. Συνολικά, το 66.3% της χώρας να αντιπροσωπεύεται από τις ζώνες Α' και Β', τις δύο ζώνες που απαιτούν υψηλές ανάγκες για ψύξη και μέτριες έως χαμηλές ανάγκες για θέρμανση.

Συνδυάζοντας όλα τα παραπάνω, εξάγεται το συμπέρασμα πως για την περίοδο αναφοράς 1980-2000 η λιγότερο επικρατούσα ζώνη είναι η Α' στην οποία ανήκουν περιοχές με υψηλές ανάγκες για ψύξη και χαμηλές ανάγκες για θέρμανση, ενώ παραπάνω από το ¼ των σημείων πλέγματος ανήκει σε ζώνες με χαμηλές ανάγκες σε θέρμανση αλλά και σε ψύξη (Ζώνη Γ').

Αντίθετα, για την περίοδο 2040-2060 παρατηρείται αύξηση των περιοχών που ανήκουν στη ζώνη Α', με τη ζώνη Β' να είναι πλέον η επικρατέστερη με ποσοστό 42.3%. Συμπερασματικά, για το κοντινό μέλλον, αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά η ανάγκη κατανάλωσης ενέργειας για ψύξη, με λιγότερο αισθητή την ανάγκη για θέρμανση. Η σημαντική μείωση που παρατηρείται στο ποσοστό των ζωνών Δ' και Ε' λόγω της αύξησης της μέσης και μέγιστης θερμοκρασίας δηλώνει πως όλο και λιγότερες θα είναι οι περιοχές που δε θα χρειάζονται σημαντική ψύξη. Τέλος, για την περίοδο 2080-2099 είναι φανερό πως η κλιματική ζώνη Α' σημειώνει μεγάλη αύξηση και το ποσοστό της είναι πλέον το μέγιστο. Αντίστοιχα, η ζώνη Ε' έχει το μικρότερο ποσό τόσο σε σχέση με τις προηγούμενες περιόδους όσο και με τις υπόλοιπες ζώνες.

6. Σύνοψη και συμπεράσματα

Ο κύριος στόχος της παρούσας μελέτης ήταν να διερευνήσει την πιθανή εξέλιξη των δεικτών HDD και CDD, που χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή πληροφοριών σχετικά με τη ζήτηση ενέργειας [12], και των κλιματικών ζωνών μέχρι το τέλος του 21^{ου} αιώνα στην Ελλάδα. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε για 267 σημεία πλέγματος στον ελληνικό χώρο χρησιμοποιώντας δεδομένα μέσης και μέγιστης θερμοκρασίας που προέρχονται από το περιοχικό μοντέλο RegCM4, υπό το σενάριο RCP4.5.

Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να υπογραμμιστεί πως σε ένα μεγάλο βαθμό τα αποτελέσματα της Τεχνικής Οδηγίας του Τεχνικού Επιμελητηρίου της Ελλάδας παρουσιάζουν διαφορές με αυτά της παρούσας εργασίας, λόγω των διαφορετικών παραμέτρων που χρησιμοποιούνται στις δύο μελέτες. Πιο συγκεκριμένα, οι κύριες διαφορές μεταξύ των μεθόδων της Τεχνικής Οδηγίας και της εργασίας αυτής θεωρείται ότι προκύπτουν για τους παρακάτω λόγους:

- Στην πρώτη οι υπολογισμοί γίνονται με χρήση δεδομένων 62 μετεωρολογικών σταθμών, ενώ στη δεύτερη χρησιμοποιούνται δεδομένα από το μοντέλο RegCM4 για 267 σημεία πλέγματος. Επομένως, όπως είναι αναμενόμενο στη δεύτερη υπάρχει μεγαλύτερη λεπτομέρεια και ακρίβεια λόγω της μεγάλης χωρικής ανάλυσης που χρησιμοποιείται.
- Στην εργασία αυτή δε λαμβάνεται υπόψη το υψόμετρο. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, στην Τεχνική Οδηγία σε κάθε νομό οι περιοχές που βρίσκονται σε υψόμετρο μεγαλύτερο των πεντακοσίων μέτρων, εντάσσονται αυτόματα στην αμέσως ψυχρότερη κλιματική ζώνη. Κάτι τέτοιο δεν ισχύει στην παρούσα εργασία καθώς η συνθήκη αυτή δε θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί δεδομένου ότι τα αποτελέσματα προέρχονται από περιοχικό μοντέλο και όχι από μετεωρολογικούς σταθμούς.
- Στην Τεχνική Οδηγία τα δεδομένα αφορούν στην περίοδο 1993-2003, ενώ η εργασία αυτή χρησιμοποιεί δεδομένα των περιόδων 1980-2000, 2040-2060 και 2080-2099, καθώς στοχεύει στη δημιουργία μιας κατάταξης που θα αφορά στο μελλοντικό κλίμα μέχρι το τέλος του 21^{ου} αιώνα. Συνεπώς, η εργασία αυτή παρέχει πιο σταθερά αποτελέσματα επειδή χρησιμοποιεί μεγαλύτερη χρονοσειρά δεδομένων, ενώ ταυτόχρονα είναι επαρκής για τη μελέτη των μελλοντικών συνθηκών του κλίματος και των ενεργειακών αναγκών των κτιρίων.
- Οι δύο εργασίες ακολουθούν διαφορετική προσέγγιση κατάταξης του κλίματος. Πιο συγκεκριμένα, στην εργασία αυτή προτείνεται μια μέθοδος η οποία συνδυάζει τις βαθμοήμερες θέρμανσης και ψύξης στον καθορισμό των κλιματικών ζωνών και θεωρεί ότι μια κλιματική ζώνη χαρακτηρίζεται τόσο από τις ανάγκες της για θέρμανση όσο

και για ψύξη. Αντίθετα, η κατάταξη του κλίματος με βάση τον Κ.Εν.Α.Κ. γίνεται σύμφωνα με τις βαθμοημέρες θέρμανσης, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι βαθμοημέρες ψύξης. Κύρια ευρήματα περιόδου αναφοράς (1980-2000).

Σύμφωνα με την Τεχνική Οδηγία του Κ.Εν.Α.Κ. [46] στην Ελλάδα:

- Επικρατέστερη είναι η κλιματική ζώνη Α, με ποσοστό 44%
- Μικρότερη εξάπλωση έχει η ζώνη Δ, με ποσοστό 11%
- Στις ζώνες Β και Γ ανήκει το 19% και 23% των μετεωρολογικών σταθμών, αντίστοιχα

Είναι ιδιαίτερα σημαντικό το γεγονός ότι δύο μετεωρολογικοί σταθμοί δεν ταξινομούνται σε καμία από τις τέσσερις κλιματικές ζώνες αφού η μέση ετήσια τιμή του HDD είναι μικρότερη από 600.

Χρησιμοποιώντας την ίδια μέθοδο με τον Κ.Εν.Α.Κ. και μετά την επεξεργασία των δεδομένων του περιοχικού μοντέλου φαίνεται πως:

- Επικρατέστερη είναι η κλιματική ζώνη Δ, με ποσοστό 45%
- Ακολουθούν οι ζώνες Α και Β με ποσοστά 21% και 20% αντίστοιχα
- Η ζώνη με τη μικρότερη εξάπλωση είναι η Γ με ποσοστό 14%

Η σύγκριση των παραπάνω αποτελεσμάτων δείχνει ότι παρουσιάζουν διαφορές όσον αφορά στα ποσοστά, ωστόσο, η γεωγραφική κατανομή των κλιματικών ζωνών εμφανίζει πολλές ομοιότητες. Άλλωστε, στην περιοχή που επικρατεί η ζώνη Δ το υψόμετρο είναι αρκετά μεγαλύτερο και το δίκτυο των μετεωρολογικών σταθμών περιορισμένο. Η έλλειψη μετεωρολογικών σταθμών στις ορεινές περιοχές της Ελλάδας μπορεί να έχει επιπτώσεις στις βαθμοημέρες θέρμανσης και ψύξης διότι χωρίς ακριβή δεδομένα θερμοκρασίας από αυτές τις περιοχές είναι δύσκολο να εκτιμηθούν με ακρίβεια οι ενεργειακές απαιτήσεις των κτιρίων που βρίσκονται σε αυτές τις περιοχές. Αυτό μπορεί να έχει σημαντικές οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις, καθώς οι ανακριβείς εκτιμήσεις των ενεργειακών απαιτήσεων μπορεί να οδηγήσουν σε αναποτελεσματικές πρακτικές θέρμανσης και ψύξης, οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν σε αυξημένη κατανάλωση ενέργειας και εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Ως εκ τούτου, η χρήση ενός κλιματικού μοντέλου για την προσομοίωση της χώρας μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ακόμη και σε περιοχές που δεν έχουν διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα.

6.1 Κύρια ευρήματα μελλοντικών περιόδων (2040-2060 και 2080-2099)

Για τη μελέτη των μελλοντικών κλιματικών ζωνών παρατηρήθηκε πως η κατάταξη της Τεχνικής Οδηγίας είναι ελλιπής καθώς υπήρχαν τριάντα έξι σημεία πλέγματος που δεν μπορούσαν να ταξινομηθούν σε καμία από τις ήδη υπάρχουσες ζώνες. Συνεπώς, δημιουργήθηκε μια ακόμη κλιματική ζώνη, η οποία ονομάστηκε Ζώνη 0, στην οποία ανήκουν οι περιοχές με αριθμό βαθμομερών θέρμανσης μικρότερο του 600. Το γεγονός αυτό έρχεται σε συμφωνία με την αύξηση των μέσων θερμοκρασιών των δύο μελλοντικών περιόδων, δηλώνοντας πως με το πέρασμα το χρόνων η χώρα θα οδηγηθεί προς θερμότερα κλίματα.

Συνοπτικά, το μεγαλύτερο κομμάτι του ελληνικού χώρου χαρακτηρίζεται από υψηλές απαιτήσεις για θέρμανση, οι οποίες όμως γίνονται μέτριες μέχρι το τέλος του αιώνα. Επίσης, είναι σημαντικό ότι συνολικά παρουσιάζεται μείωση στο ποσοστό των περιοχών με μεγαλύτερες ενεργειακές ανάγκες θέρμανσης και μετατοπίζονται σε ζώνες με μικρότερες ενεργειακές ανάγκες.

- Την περίοδο 1980-2000 η μέση ετήσια τιμή του δείκτη HDD για ολόκληρη τη χώρα ήταν 2057 βαθμομέρες, ενώ για το δείκτη CDD ήταν 369 βαθμομέρες. Οι μεγαλύτερες τιμές HDD εμφανίζονται στις βόρειες περιοχές και σε μεγάλα υψόμετρα.
- Την περίοδο 2040-2060 η μέση ετήσια τιμή του δείκτη HDD αναμένεται να μειωθεί σημαντικά σε ολόκληρη τη χώρα φτάνοντας τις 1658 βαθμομέρες, σε αντίθεση με τη χωρική κατανομή του CDD που παρουσιάζει αύξηση και φτάνει τις 594 βαθμομέρες.
- Την περίοδο 2080-2099 η μέση ετήσια τιμή του HDD φτάνει τις 1500 βαθμομέρες και η τιμή του CDD τις 675.

Προκύπτει ότι γενικά υπάρχει σημαντική αύξηση στον αριθμό των βαθμομερών ψύξης. Η αύξηση αυτή είναι της τάξης 38% για την πρώτη μελλοντική περίοδο και 45% για τη δεύτερη μελλοντική περίοδο, αντίστοιχα. Αντίθετα, οι βαθμομέρες θέρμανσης θα μειωθούν κατά 24% και 37% αντίστοιχα. Οι αλλαγές είναι μεγαλύτερες στις βαθμομέρες ψύξης οι οποίες μέχρι το τέλος του 21^{ου} αιώνα αναμένεται να γίνουν σχεδόν διπλάσιες από αυτές της παρελθοντικής περιόδου. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν τάση για μείωση της απαιτούμενης ενέργειας για θέρμανση και αύξηση των αναγκών λειτουργίας των συστημάτων κλιματισμού.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις διαφορές του δείκτη HDD κάθε μελλοντικής περιόδου σε σύγκριση με την περίοδο αναφοράς προβλέπουν μείωση της ζήτησης ενέργειας θέρμανσης το 2040-2060 και ακόμη μεγαλύτερη μείωση το 2080-2099 σε ολόκληρη τη χώρα. Τα αποτελέσματα αποκάλυψαν επίσης ότι η συνολική μείωση του HDD είναι μεγαλύτερη στις ορεινές περιοχές, καθώς και άλλες περιοχές κατά μήκος της ηπειρωτικής Ελλάδας.

Για τη μελλοντική περίοδο 2080-2099, το μοτίβο της απεικόνισης της γεωγραφικής κατανομής των μεγαλύτερων και μικρότερων τιμών παρουσιάζει ομοιότητες με αυτό της περιόδου 2040-2060. Ωστόσο, οι διαφορές εντείνονται και παρατηρείται ακόμη μεγαλύτερη μείωση στις βαθμομέρες θέρμανσης σε όλη τη χώρα.

- Η μέση ετήσια μείωση των βαθμομερών θέρμανσης ανάμεσα στις περιόδους είναι της τάξης του 24% για την πρώτη μελλοντική περίοδο και 37% για τη δεύτερη.
- Αντίθετα, οι βαθμομέρες ψύξης παρουσιάζουν αύξηση κατά 38% για την πρώτη μελλοντική περίοδο και 45% για τη δεύτερη.

Τα αποτελέσματα αυτά οδηγούν σε χαμηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις για κάλυψη των αναγκών για θέρμανση και υψηλότερες απαιτήσεις για ψύξη. Επίσης, παρατηρείται ότι η διαφορά στις μελλοντικές περιόδους είναι μεγαλύτερη για τις βαθμομέρες ψύξης από ότι για τις βαθμομέρες θέρμανσης. Αυτό πιθανώς οφείλεται στη χρήση μεγίστων ημερήσιων θερμοκρασιών για τον υπολογισμό του δείκτη CDD, ενώ στην περίπτωση του δείκτη HDD χρησιμοποιήθηκαν μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες.

6.2 Συμπεράσματα τάσεων

Μια διαπίστωση που προκύπτει από την εξέλιξη των τιμών των βαθμομερών είναι ότι οι βαθμομέρες θέρμανσης παρουσιάζουν τάση μείωσης με την πάροδο των χρόνων, ενώ οι βαθμομέρες ψύξης παρουσιάζουν τάση αύξησης. Πιο συγκεκριμένα:

- Την περίοδο αναφοράς (1980-2000) καταγράφεται μείωση του δείκτη HDD
- Την πρώτη μελλοντική περίοδο (2040-2060) καταγράφεται ταχύτερη μείωση του δείκτη HDD σε σύγκριση με την περίοδο αναφοράς
- Τη δεύτερη μελλοντική περίοδο (2000-2099) καταγράφεται και πάλι μείωση του δείκτη HDD αλλά μικρότερης τάξης σε σύγκριση με τις προηγούμενες δύο περιόδους
- Την περίοδο αναφοράς (1980-2000) καταγράφεται αύξηση του δείκτη CDD
- Την πρώτη μελλοντική περίοδο (2040-2060) καταγράφεται ταχύτερη αύξηση του δείκτη CDD σε σύγκριση με την περίοδο αναφοράς
- Τη δεύτερη μελλοντική περίοδο (2000-2099) καταγράφεται συνεχίζεται η αύξηση του δείκτη CDD με ακόμη ταχύτερο ρυθμό σε σύγκριση με τις προηγούμενες δύο περιόδους.

Οι παραπάνω παρατηρήσεις επιβεβαιώνουν την εκτιμώμενη μείωση των ενεργειακών αναγκών για θέρμανση και την αύξηση των ενεργειακών αναγκών για ψύξη.

6.3 Συμπεράσματα νέας κλιματικής κατάταξης

Η νέα κλιματική κατάταξη οδηγεί σε πιο ολοκληρωμένα αποτελέσματα για τις ενεργειακές απαιτήσεις κάθε περιοχής καθώς συνδυάζει τις ανάγκες θέρμανσης και ψύξης. Ταυτόχρονα, η κατάταξη αυτή παρέχει πληροφορίες για τις ενεργειακές ανάγκες της περιόδου αναφοράς αλλά και πως αυτές εκτιμάται ότι θα αλλάξουν τις δύο μελλοντικές περιόδους.

- Την περίοδο αναφοράς (1980-2000) η επικρατέστερη ζώνη είναι η Γ' στην οποία ανήκουν περιοχές με χαμηλή ανάγκη για ψύξη και χαμηλή ανάγκη για θέρμανση.
- Την περίοδο 2040-2060 η επικρατέστερη ζώνη είναι η Β' στην οποία ανήκουν περιοχές με υψηλή ανάγκη για ψύξη και μέτρια ανάγκη για θέρμανση.
- Την περίοδο 2080-2099 η ζώνη Β' παραμένει επικρατέστερη, όμως με ακόμη μεγαλύτερο ποσοστό.

Επιπλέον, στην πρώτη και δεύτερη μελλοντική περίοδο σημειώνεται σημαντική μείωση των ποσοστών των ζωνών Γ', Δ' και Ε' οδηγώντας στο συμπέρασμα πως όλο λιγότερες θα είναι οι περιοχές που δε θα χρειάζονται σημαντική ψύξη. Από την άλλη μεριά, οι ζώνες Α' και Β' παρουσιάζουν σημαντική αύξηση ποσοστού κατά τις μελλοντικές περιόδους δηλώνοντας πως κατά το πέρας των χρόνων θα επικρατούν οι περιοχές με υψηλές ανάγκες για ψύξη και οι ανάγκες θέρμανσης θα είναι μέτριες έως χαμηλές.

Αξίζει να αναφερθεί ότι οι προτεινόμενες κλιματικές ζώνες της περιόδου αναφοράς προσεγγίζουν σε μεγάλο βαθμό εκείνες της κατάταξης Köppen, η οποία είναι το πρώτο και το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο αντικειμενικό σύστημα κλιματικής κατάταξης [11]. Η κατάταξη Köppen βασίζεται στην άποψη ότι η βλάστηση και η εποχικότητα της θερμοκρασίας και των βροχοπτώσεων ενός τόπου καθορίζει την κλιματική του ταξινόμηση [11, 31, 22]. Παρόλο που η προτεινόμενη μεθοδολογία βασίζεται αποκλειστικά στην ποσότητα των βαθμοημερών θέρμανσης και ψύξης και είναι κυρίως προσανατολισμένη στα κτίρια, η εφαρμογή της επικαιροποιείται καθώς εμφανίζει σημαντικές ομοιότητες με τους χάρτες που παράγονται με βάση την κλιματική ταξινόμηση Köppen. Για παράδειγμα, οι περισσότερες πόλεις που βρίσκονται στη Νότια Ελλάδα και κοντά στην ακτογραμμή ανήκουν στη ζώνη Α σύμφωνα με την προτεινόμενη προσέγγιση, καθώς και στη ζώνη "Θερμό μεσογειακό κλίμα" (τύπος Csa) κατά Köppen. Κατά μήκος της ηπειρωτικής γραμμής της χώρας "εύκρατο Μεσογειακό κλίμα" επικρατεί σύμφωνα με τον Köppen (τύπος Csb)- ζώνη Γ στην προτεινόμενη προσέγγιση.

Αναφορικά με την επικαιροποίηση των μελλοντικών αποτελεσμάτων, οι Spinoni et al [36] συμφωνούν με τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας καθώς δείχνουν ότι εκτιμάται γενική μείωση του δείκτη HDD στην Ευρώπη, ενώ αναμένεται σημαντική αύξηση του δείκτη CDD στην περιοχή της Μεσογείου. Κατά μέσο όρο σε ολόκληρη την Ευρώπη, η πτωτική τάση του HDD υπό τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5 είναι πιθανό να αποκλίνει περίπου 6-10 χρόνια πριν

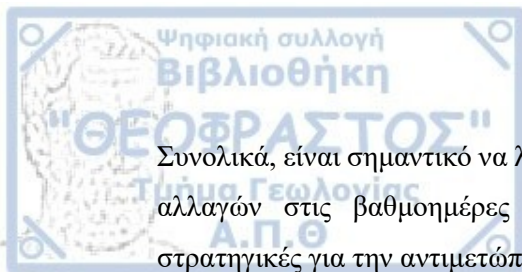
από τις αυξητικές τάσεις του CDD. Αυτό υποδηλώνει ότι η κλιματική αλλαγή που ακολουθεί το πιο απαισιόδοξο σενάριο εκπομπών (RCP8.5) είναι πιθανό να έχει νωρίτερα επιπτώσεις στη ζήτηση ενέργειας κατά τη διάρκεια του χειμώνα, σε σύγκριση με το σενάριο RCP4.5.

6.4 Τελικά συμπεράσματα

Τα ευρήματα της παρούσας εργασίας δείχνουν μείωση του δείκτη HDD στην Ελλάδα, ενώ ο δείκτης CDD παρουσιάζει σημαντική αύξηση. Παρόλο που το σενάριο RCP4.5 βασίζεται σε μια προοδευτική σταθεροποίηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου μετά τα μέσα του 21^{ου} αιώνα [40, 20], η μείωση της HDD και η αύξηση της CDD είναι πιθανό να σταθεροποιηθούν μόνο την τελευταία δεκαετία του αιώνα. Συμπερασματικά, μέχρι το τέλος του 21^{ου} αιώνα φαίνεται πως τα κτίρια στην ελληνική περιοχή θα έχουν μικρότερη ανάγκη για θέρμανση σε σχέση με το παρόν, ενώ αντίθετα η κατανάλωση ενέργειας για ψύξη φαίνεται πως θα αυξηθεί σημαντικά.

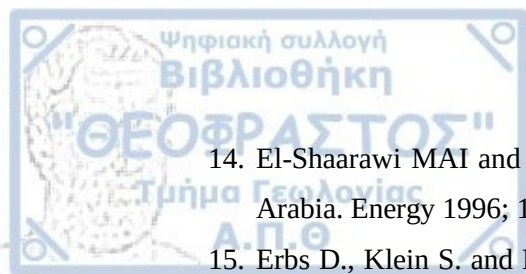
Τα ευρήματα της εργασίας αυτής έδειξαν ότι η ταξινόμηση της χώρας σε κλιματικές ζώνες με βάση τις βαθμομέρες θέρμανσης και ψύξης είναι ιδιαίτερα σημαντική, κυρίως όταν εφαρμόζεται για την αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Αυτή η κλιματική ταξινόμηση μπορεί να βοηθήσει για το σχεδιασμό ενεργειακών κανονισμών. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης θα βοηθήσουν στην ανάπτυξη ενιαίων κατευθυντήριων γραμμών για τις θερμικές παραμέτρους των κτιρίων σε διαφορετικές κλιματικές ζώνες και θα αφορούν τόσο στη θέρμανση όσο και στην ψύξη των κτιρίων καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Οι προβλεπόμενες αλλαγές στους δείκτες HDD και CDD αναμένεται να διαφέρουν μεταξύ των περιοχών της Ελλάδας. Οι παράκτιες και νησιωτικές περιοχές είναι πιθανό να παρουσιάσουν μεγαλύτερη αύξηση των βαθμομερών ψύξης λόγω της εγγύτητάς τους στη θάλασσα, η οποία μπορεί να μετριάσει τις θερμοκρασίες του χειμώνα, αλλά και να συμβάλει σε υψηλότερη υγρασία και καύσωνες κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Οι περιοχές στο εσωτερικό του ηπειρωτικού κορμού, ιδίως εκείνες που βρίσκονται σε μεγαλύτερα υψόμετρα, ενδέχεται να βιώσουν ψυχρότερους χειμώνες, αλλά μικρότερης διάρκειας και με ηπιότερες θερμοκρασίες συνολικά.

Ο αντίκτυπος αυτών των αλλαγών αναμένεται να γίνει διαφορετικά αισθητός σε διάφορους τομείς της οικονομίας, όπως ο τουρισμός, η γεωργία και η ενέργεια. Για παράδειγμα, η τουριστική βιομηχανία στις παράκτιες περιοχές μπορεί να ωφεληθεί από την επιμήκυνση της θερινής περιόδου, αλλά μπορεί επίσης να αντιμετωπίσει προκλήσεις που σχετίζονται με τους καύσωνες και την έλλειψη νερού. Ο τομέας της ενέργειας μπορεί να χρειαστεί να επενδύσει σε νέες τεχνολογίες για να καλύψει τις αυξανόμενες ανάγκες για ψύξη, ενώ παράλληλα θα διερευνήσει ευκαιρίες για την ενίσχυση της ενεργειακής απόδοσης και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



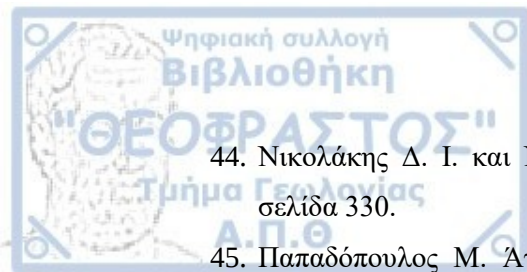
Συνολικά, είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη η περιφερειακή διακύμανση των προβλεπόμενων αλλαγών στις βαθμοημέρες θέρμανσης και ψύξης να αναπτυχθούν προσαρμοσμένες στρατηγικές για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής σε κάθε περιοχή.

1. Al-Hadhrami LM. Comprehensive review of cooling and heating degree-days characteristics over Kingdom of Saudi Arabia. *Renew Sustain Energy Rev* 2013; 27: 305–314.
2. ASHRAE Handbook “Fundamentals”. American Society of Heating Refrigeration and Air-Conditioning Engineering, Atlanta, Georgia, Edition 2005.
3. ASHRAE Handbook-Fundamentals; American Society for Heating, Refrigerating and Air Conditioning: Atlanta, GA, USA, 2009.
4. Beck, H.E.; Zimmermann, N.E.; Mcvicar, T.R.; Vergopolan, N.; Berg, A.; Wood, E.F. Data Descriptor: Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Sci. Data* 2018, 1–12. [CrossRef]
5. Buyukalaca, O.; Bulut, H.; Yilmaz, T. Analysis of variable-base heating and cooling degree-days for Turkey. *Appl. Energy* 2001, 69, 269–283.
6. Cartalis, C.; Synodinou, A.; Proedrou, M.; Tsangrassoulis, A.; Santamouris, M. Modifications in energy demand in urban areas as a result of climate changes: An assessment for the southeast Mediterranean region. *Energy Convers. Manag.* 2001, 42, 1647–1656.
7. CIBSE. Degree-days: theory and application. TM41:2006. London, UK: The Chartered Institution of Building Services Engineers, 2006.
8. D’Amico, A., Giulla, G., Panno, D. & Ferrari, S., 2019. Building energy demand assessment through heating degree days: The importance of a climatic database. *Elsevier Science Direct Applied Energy* , Τόμος 242 , pp. 1285-1306.
9. Day, A. R. & Karayiannis, T., 1998. Degree-days: Comparison of calculation methods. *Building Services Engineering Research and Technology*, 19(1), pp. 7-13.
10. Day, T. (2006). Degree-days: theory and application. The Chartered Institution of Building Services Engineers, London, Vol. 106.
11. De Castro, M.; Gallardo, C.; Jylha, K.; Tuomenvirta, H. The use of a climate-type classification for assessing climate change effects in Europe from an ensemble of nine regional climate models. *Clim. Change* 2007, 81, 329–341.
12. De Rosa M, Bianco V, Scarpa F, Tagliafico LA. 2014. Heating and cooling building energy demand evaluation: a simplified model and a modified degree-days approach. *Appl. Energy* 128: 217–229. (14) (PDF) Changes of heating and cooling degree-days in Europe from 1981 to 2100.
13. Dombaycı, A. Degree-days maps of Turkey for various base temperatures. *Energy* 2009, 34, 1807–1812.



14. El-Shaarawi MAI and Al-Masri N. Weather data and heating-degree days for Saudi Arabia. *Energy* 1996; 1:39–44.
15. Erbs D., Klein S. and Beckman W. (1983), Estimation of Degree-Days and Ambient Temperature Bin Data from Monthly-Average Temperatures, *ASHRAE Journal* 25
16. Hitchin E. R.. (1990). Developments in Degree-Day Methods of Estimating Energy Use. *Building and Environment*, Vol. 25 (No1), pp. 1-6. DOIQ 10.1016/0360-1323(90)90034-O.
17. Hitchin, E. Degree days in Britain. *Build. Serv. Eng. Res. Technol.* 1981, 2, 73–82.
18. Indraganti M. and Boussaa D.: A method to estimate the heating and cooling degree-days for different climatic zones of Saudi Arabia, 2017
19. IPCC. 2014a. In *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Core Writing Team, Pachauri RK, Meyer LA (eds). IPCC: Geneva, Switzerland 151 pp.
20. IPCC. 2014b. In *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM (eds). Cambridge University Press: Cambridge, UK and New York, NY 1535 pp.
21. Kadioğlu M., Sen Z. and Gültekin L., 2001. Variations and trends in Turkish seasonal heating and cooling degree days., Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.
22. Kottek, M.; Grieser, J.; Beck, C.; Rudolf, B.; Rubel, F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol. Z.* 2006, 15, 259–263.
23. Laes, E., Valkering, P., De Weerd, Y. (2019). Diagnosing Barriers and Enablers for the Flemish Energy Transition. *Sustainability*, 11, 5558, <https://doi.org/10.3390/su11205558>
24. Malcolm N. Mistry (2019). Historical global gridded degree-days: A high-spatial resolution database of CDD and HDD. Published by PANGAEA, 2019]
25. Martinopoulos, G., Papakostas, K.T., Papadopoulos, A.M. (2018). A comparative review of heating systems in EU countries, based on efficiency and fuel cost. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 687, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.060>.
26. Matzarakis, A.; Balafoutis, C. (2004) Heating degree-days over Greece as an index of energy consumption. *Int. J. Climatol.* 2004, 24, 1817–1828.
27. Mourshed M. Relationship between annual mean temperature and degree-days. *Energy Build* 2012; 54:418–425.

28. Moustris K. et al. 2015. Energy consumption based on heating/cooling degree days within the urban environment of Athens, Greece. *Theoretical and Applied Climatology*, Τόμος 122, pp. 517-529.
29. Papakostas K, Mavromatis T and Kyriakis N. (2010). Impact of the ambient temperature rise on the energy consumption for heating and cooling in residential buildings of Greece. *Renew Energy* 2010; 35: 1376–1379.)
30. Papakostas K., Tsilingiridis G., Kyriakis N., “Heating Degree-Days for 50 Greek Cities” *Technica Chronica, Sci. J. TCG*, Vol.4 (1-2), 2005.
31. Peel, M.; Finlayson, B.; McMahon, T. Updated world map of the Koppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth. Syst. Sci.* 2007, 11, 1633–1644.
32. Quayle RG, Diaz HF. 1980. Heating degree day data applied to residential heating energy consumption. *J. Appl. Meteorol.* 19(3):241–246.
33. Rehman S, Al-Hadhrani LM and Khan S. Annual and seasonal trends of cooling, heating, and industrial degree-days in coastal regions of Saudi Arabia. *Theor. Appl Climatol* 2011; 104: 479–488.
34. Said SAM, Habib MA and Iqbal MO. Database for building energy prediction in Saudi Arabia. *Energy Conver Manage* 2003; 44: 191–201.
35. Schoenau GJ and Kehrig R. A method for calculating degree-days to any base temperature. *Energy Build* 1990; 14: 299–302.
36. Spinoni J. et al., December 2017. Changes of heating and cooling degree-days in Europe from 1981 to 2100
37. Thom EC. 1959. The discomfort index. *Weatherwise* 12(2): 57–61
38. Thom HCS. 1954. The rational relationship between heating degree-days and temperature. *Mon. Weather Rev.* 82(1): 1–6.
39. Thomsen F., Matzarakis A., 2008. Climate change and heating/cooling degree days in Freiburg. Meteorological Institute, Albert-Ludwigs-University of Freiburg, Germany
40. Thomson, A.M., Calvin, K.V., Smith, S.J. et al. RCP4.5: a pathway for stabilization of radiative forcing by 2100. *Climatic Change* 109, 77 (2011).
41. Tsikaloudaki K., Laskos K. and Bikas D., 2011, On the Establishment of Climatic Zones in Europe with Regard to the Energy Performance of Buildings, *Energies*; doi:10.3390/en5010032.
42. Yildiz, I., Sosaoglu, B. Spatial distributions of heating, cooling, and industrial degree-days in Turkey. *Theor. Appl. Climatol.* 2007, 90, 249–261.
43. Ματζαράκης Α., Μπαλαφούτης Χ. (2002). Γεωγραφική Κατανομή Βαθμομερών Θέρμανσης στον Ελληνικό Χώρο για Ενεργειακή Χρήση, 6ο Πανελλήνιο Συνέδριο Μετεωρολογίας Κλιματολογίας και Φυσικής της Ατμόσφαιρας, 25-28 Σεπτεμβρίου 2002 (σ 153-155).



44. Νικολάκης Δ. Ι. και Νάστος Π.Θ. 5ο πανελλήνιο συνέδριο μετεωρολογίας 2000, σελίδα 330.
45. Παπαδόπουλος Μ. Άγις (2006). Θερμική Άνεση στα Κτίρια. Νέα Πρότυπα και Βελτίωση Θερμικής Άνεσης στα Κτίρια. Μάιος 2006.
46. Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-1/2017
47. Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 2618/23.10.2014

Ιστοσελίδες:

48. Passipedia, The Passive House Report. www.passipedia.org
49. Photodentro.edu.gr/lor – Σχεδίαση, Ανάπτυξη, Λειτουργία: ΙΤΥΕ «ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ» - Διεύθυνση Στρατηγικής και Ψηφιακού Εκπαιδευτικού Υλικού
50. Ελληνικό ινστιτούτο παθητικού κτιρίου <https://eipak.org/pathitiko-ktirio-passivehouse/vasikes-arxes-pathitikou-ktiriou>
51. Υπουργείο Οικονομικών, Ενέργειας και Περιβάλλοντος, 2017 <https://ypen.gov.gr/>